

수시 16-03

도시지역 미기후 관리방향 연구

A Study on the Urban
Area Microclimate Management Direction

안승만 외



국토연구원
KRIHS

도시지역 미기후 관리방향 연구

A Study on the Urban Area Microclimate Management Direction

안승만, 김승종, 이형찬

■ 연구진

안승만 책임연구원
김승종 연구위원
이형찬 연구위원

■ 외부연구진

엄정희 계명대학교 조경학과 교수
심 헌 한국폴리텍대학 전기에너지과 교수
이채연 차세대도시농림융합기상사업단 선임연구원

■ 연구심의위원

김성일 국토연구원 선임연구위원
최 수 국토연구원 연구위원
왕광익 국토연구원 연구위원
김중은 국토연구원 책임연구원

주요 내용 및 정책제안

FINDINGS & SUGGESTIONS

본 연구보고서의 주요 내용

- 1 쾌적한 미기후(Goldilocks Microclimate)를 도시에 조성하기 위해서는 자연피복과 인공피복을 합리적으로 이용해 도시 온열환경을 개선해야함
- 2 수도권 일대의 미기후 조사결과 여름철 야간에는 주로 1종일반주거지역과 산업단지에서 야간열섬이 강하게 형성되고 있으며 야간열섬의 원인은 높은 인공피복의 밀도와 열용량, 좁은 인동간격, 통풍불량 등이어서 토지피복 구조 개선이 필요함
- 3 도시 토지피복 관리를 통해서 융·복합적 그린인프라 확장, 신재생에너지 사용, 도시생태계 안정화, 신 도시문화 창출 등의 효과가 발생되면 우리 사회는 기존 에너지·환경(고탄소 사회) 문제들을 포용하면서도 자연스럽게 저탄소 사회로 진입하게 될 것임
- 4 고탄소 사회의 에너지·환경문제들을 포용하기 위해서는 현재보다 도시 미기후 관리 방향과 수단들이 확장되어야 하고 공익과 공동이득을 최대한 증대하는 방향으로 추진하여 도시의 기반시설의 기능들을 다양화하고 체계적으로 연계하여야 할 것임

본 연구보고서의 정책제안

- 1 도시·군 등 자치단체의 지구단위 계획수립지침에서 쾌적한 도시미기후가 조성할 수 있도록 도시피복의 계획적 관리를 구체화하는 정책과 조치들이 필요
- 2 저탄소 녹색성장과 도시 미기후 관리를 제도적·기술적으로 연계하여 고탄소 사회 패러다임과 저탄소 사회 패러다임의 충돌을 완화하고 도시 생태계 안정과 경제적 혜택을 함께 누리도록 도시공간에 미기후 친화적인 인공피복을 정착하는 정책이 필요

차 례

CONTENTS

주요 내용 및 정책제안	i
--------------------	---

제1장 연구의 개요	1
-------------------	----------

1. 연구의 배경	3
2. 연구의 목적	7
3. 연구의 범위 및 방법	8
1) 연구의 범위	8
2) 연구의 방법	9
4. 선행연구와의 차별성	11

제2장 연구의 이론적 틀	15
----------------------	-----------

1. 도시 미기후(Urban Microclimate)	17
2. 도시열섬(Urban Heat Island, UHI)	21
3. 도시 미기후 관리	23
4. 그린인프라 기반 저탄소친환경 녹색도시 조성 정책	25

제3장 도시 미기후 관리 관련 제도 및 사례	29
---------------------------------	-----------

1. 도시 미기후 관리 관련 제도	31
--------------------------	----

1) 독일의 도시 미기후 관리 관련 제도	31
2) 국내의 도시 미기후 관리 관련 제도	33
2. 도시 미기후 관리 사례	36
1) 뉴욕市 도시열섬 관리	36
2) 새크라멘토市(Sacramento) 주차장 그늘 조성	37
3) 하렘피어스농장(Harlem Piers Farm)	38
4) 애리조나 파워파라솔(PowerParasol®)	39
5) 도시 미기후 관리 효과	42

제4장 서울 주변 수도권의 도시 미기후 47

1. 접지기층 열환경 분포	49
1) 지표온도 분포	49
2) 서울의 바람분포와 온도분포 관련성	61
2. 일사량 분포	62
1) 세계 및 국내 일사량 분포	62
2) 서울 주변 수도권 일사량(태양에너지) 분포	63
3. 용도지역지구와 도시열섬의 관계	65

제5장 도시 미기후 관리방향 69

1. 도시 미기후 관리를 위한 해결과제	71
2. 도시 미기후 관리방향	75
1) 도시 미기후 관리를 위한 방향 설정	75
2) 도시 미기후 관리 체계	77

제6장 결론 및 향후과제 83

1. 연구성과 및 기대효과	85
2. 연구의 한계 및 향후과제	87

참고문헌	91
SUMMARY	99
부록	103

연구의 개요

01 연구의 배경	3
02 연구의 목적	7
03 연구의 범위 및 방법	8
04 선행연구와의 차별성	11

연구의 개요

1. 연구의 배경

□ 도시 및 시가화건조지역¹⁾의 면적이 지속적으로 확장될 전망

- 인구증가 및 도시화가 현재처럼 진행된다면 도시 면적은 2010년 약 40만km²에서 2030년 약 120만km²로 3배가 증가하고 2025년 세계인구의 90%(약 80억 명)가 도시에 거주할 것이며 이러한 도시성장의 결과로서 시가화건조지역에서 주로 나타나는 인공피복의 면적이 증가할 것으로 전망(Seto et al., 2012)²⁾
- 우리나라도 1980년대 2,133km²(국토면적의 2.1%)에서 2000년대 4,154km²(국토면적의 4.1%)로 시가화건조지역이 약 95% 증가(환경부, 2011)

□ 지금처럼 인공피복이 확장된다면 도시의 기후변화 적응능력이 크게 저하될 것임

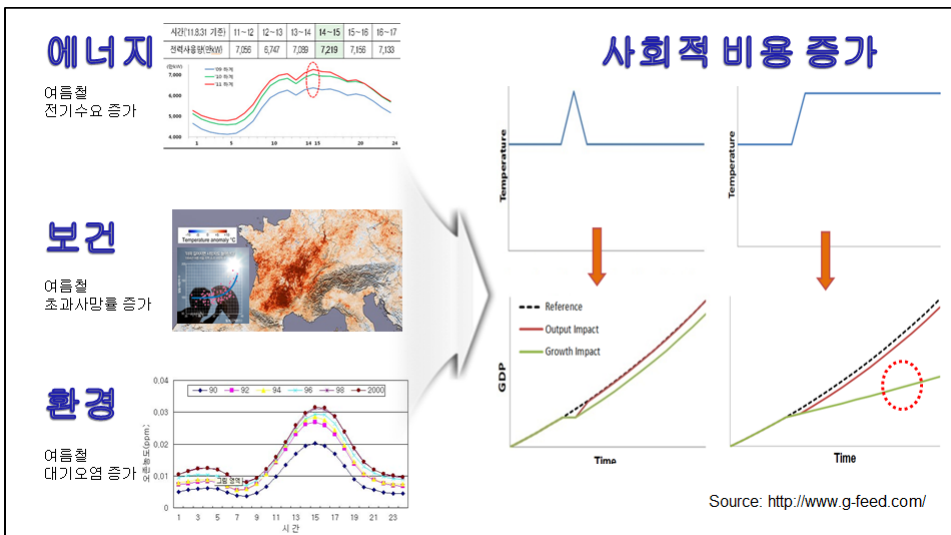
- 아스팔트·콘크리트 등 인공피복 밀도 증가는 도시에서 물리적으로 비축 가능한 열용량을 크게 증가시켜 도시열섬, 도시열섬, 극한기후를 심화시킬 것임
- 도시의 물리적 구조가 범지구적 기후변화 및 도시 미기후에 악순환을 유발하는 형태로 결합되면 극한기상(예: 폭염·한파) 또는 이상기후(예: 개화시기변화) 등의 형태의 기상·기후 현상들이 발생하여 도시 생태계를 교란하게 되고 생물 다양성을 크게 감소시켜서 결과적으로 도시를 지탱하는 기반시설, 용도지역제, 토지이용 등의 기능이 약화거나 심할 경우 제 기능을 수행하지 못할 수 있음

1) 주택, 도로, 위락시설 등의 도시기반시설이 있는 지역(환경부, 2011)

2) Seto, et al(2012) Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(40): p. 16083을 참고하여 작성

- 기후변화 및 사회·경제 여건 변화를 고려한 도시문제의 전략적 관리가 필요
- 기후변화, 세계화, 기술혁신 가속화 등과 더불어 국내에서 진행되는 고령화, 경제성장 둔화, 세방화 등 여건변화가 사회구조 및 도시구조를 빠르게 변화시키고 있으며 여러 요인들의 복합작용으로 도시문제가 발생하고 있음
 - 복합적 요인들로 발생하는 도시문제를 개별적인 사안으로 대응해서는 다양한 사회적 요구를 충족할 수 없으므로 과학기반의 정책, 효율적 재정, 통치권의 조율과 시민의 참여를 고려하는 전략적 관리정책이 필요함
- 지구온난화·도시미기후 통합 관리체계 구축을 통한 사회적 비용 저감
- 도시열섬, 공기오염, 극한의 기후변동은 사회적·경제적·환경적 문제를 유발
 - 극단적인 도시열섬현상으로 인해 발생하는 사회적 비용은 도시 미기후 관리체계가 성숙하지 못하여 발생하는 것이므로 합리적 도시 미기후 관리 방향 및 체계를 구축하고 적용하여 사회적 비용을 저감해야 함

그림 1-1 에너지, 보건, 환경 부문에서 미기후관리 미숙으로 발생하는 사회적 비용



출처: NASA Terra위성 MODIS 영상. <http://climate.nasa.gov> (최신접속일: 2016.7.30.) <http://www.g-feed.com> (최신접속일: 2016.7.30.)

- 여름철 극단적인 도시열섬 현상(예: 열대야 일수 증가)으로부터 도시민들은 실내의 온열쾌적성을 유지하기 위하여 선풍기나 에어컨 등을 이용
- 도시민의 온열쾌적성 유지 활동들은 도시규모에서 발생하는 전기이용 수요를 증가(Rosenfield et al., 1995)³⁾시키기 때문에 도시의 최대전력수요가 공급을 초과하지 않도록 화력발전소 건설 등 대기오염유발 시설을 증설하는 과정에서 연쇄적으로 오염물질의 배출이 증가하여 대기질이 악화되고 이로 인한 보건피해가 증가하게 됨(Hogrefe et al., 2004)
- 또한, 에어컨 등을 통해 실내의 온열쾌적성을 유지할 경제적 능력이 부족한 도시의 사회적 취약계층들은 도시열섬 증가로 인한 열적 피로가 상대적으로 크게 누적되어 사망비율이 증가하게 됨
- 결과적으로 도시민들은 막대한 사회적 관리비용(social cost)을 간접적으로 지출함(Sailor et al., 2002; Scherer et al., 2013; Kim et al., 2014)⁴⁾

□ 도시피복의 전략적 관리를 통한 도시 미기후 관리 방향이 필요

- 우리나라는 지속가능한 도시개발과 기후변화 적응형 도시를 구현하고자 그린 인프라(Green Infrastructure, GI) 전략을 10년 넘게 추진하였으나 가시적인 도시열섬 완화 및 미기후 관리 성과를 도출하지 못하고 있음
- 에너지 사용은 세계 인구의 90%가 생활하게 될 도시에서 도시민들의 안정된 삶을 위한 필수 요소이나 대기오염 및 도시열섬 등도 유발하고 있음
- 시가화건조지역은 대부분 열용량이 크고 인공피복의 밀도가 높는데 그린인프라 전략은 자연피복을 확장하는 정책에 집중되어 있어 인공피복 지역의 생태

3) Rosenfield, A. H., Akbari, H., Bretz, S., Fishman, B. L., Kurn, D. M., Sailor, D. and Taha, H. 1995. Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. Energy and Buildings 22, no.3: 255-265를 참고하여 작성

4) Sailor, D. and Kalkstein, L. E. Wong (2002) Alleviating heat-related mortality through urban heat island mitigation. Bulletin of the American Meteorological Society 83, no.5: 663-664, Scherer, D., Fehrenbach, U., Lakes, T., Lauf, S., Meier, F., Schuster, C. 2014. Quantification of heat-stress related mortality hazard, vulnerability, risk in Berlin, Germany. DIE ERDE-Journal of the Geographical Society of Berlin 144(3/4): 238-259, Kim KR, Yi C, Scherer D, Jung H-S. 2013. Impact of distance from the city-core and land cover on air temperature in Seoul metropolitan area (in Korean). In Proceedings of the Spring Meeting of the Korea Meteorology Society, Seoul, 496-497를 참고하여 작성

적 특성과 에너지사용 특성을 고려한 관리수법을 충분히 제공하지 않음

- 도시 미기후 관리를 위해서는 그린인프라 활용체계가 에너지, 보건, 환경을 통합적으로 고려하여 통한 온열환경 개선, 대기오염 개선, 에너지수요 저감 등 다기능성(multi-function)을 증진하는 수법들을 확대하여야 함
- 도시 미기후 관리를 통해 공동이익(co-benefit)이 최대로 충족되도록 인공피복과 자연피복을 통합 관리하는 국토·토지이용 정책방향 연구가 필요
 - 환경정책과 국토정책의 전체적인 목표와 방향이 조화되도록 도시 미기후 관리의 종합적인 연결성을 확보하고 다기능성(multi-function)을 확대해야 함 (강정은 외, 2012)⁵⁾
 - 다양한 도시 미기후 관리 요인들을 도시계획 단계에서 고려하고 이를 통합정책 형태로 발전시킨다면 하나의 도시 미기후 관리 사업을 추진하여도 이를 통해 최대의 공동이익(co-benefits)을 얻을 수 있을 것임

□ 도시 미기후 관리의 중요성 인식, 과학적 조사체계, 정책적인 해결방향 필요

- 조사체계가 정립되어 있지 않고 도시 미기후 관리의 중요성에 대한 인식이 낮음
 - 현재 도시 미기후 조사를 위한 과학적·기술적 연구들을 통해 계획적 활용방안들이 다양하게 제시되고 있으나 조사체계가 정립되어 있지 않고 도시민들 또한 도시열섬을 제외하면 미기후에 대한 사회적 인식이 부족한 실정임
- 도시 미기후를 과학적이고 이해하기 쉽게 조사하고 관리하는 연구방향이 필요
 - (1) 도시 미기후, (2) 도시 열섬, (3) 도시 미기후 관리 개념에 대한 학술적 의미는 유지하되 사회구성원들과 도시 미기후 관리 이슈들이 공유되어야 함
 - 도시 미기후의 조작적 정의를 통해 과학적 조사체계를 수립하고 도시 미기후 관리의 틀을 공간계획으로 발전시켜 계획적으로 활용할 수 있도록 정책 수립을 목적으로 하는 기초연구가 필요

5) 강정은, 2012. 기후변화 적응형 도시구현을 위한 그린인프라 전략 수립, 한국환경정책평가연구원. p. 27을 참고하여 작성

2. 연구의 목적

□ 과학적 수법들을 이용한 도시 미기후 분포 조사

- 서울 주변 수도권을 대상으로 일사량과 지표온도(접지기층 도시열섬)를 중요한 미기후(추세와 예측) 관리인자로 정의하고 분포특성들을 조사
 - 도시의 접지기층 야간열섬 현상을 원격탐사를 통해 조사할 수 있고 이해하기 쉽도록 조작적으로 정의하여 공간화하고 서울 주변 수도권의 야간열섬 조사
 - 도시열섬을 발생하는 주요인자인 일사량과 입체적 도시파복(건물, 수목 등)의 관계를 3차원 태양복사모델을 이용해 조사하고 태양광자원 활용성 검토
 - 용도지역지구 DB(Korea Land Information System, KLIS)를 이용하여 토지이용 관리범위와 수도권 접지기층 야간열섬 분포의 공간적 관련성 조사

□ 통합적 도시계획을 위한 도시 미기후 관리방향과 저탄소 녹색성장의 연계

- 탄소저감, 도시열섬, 친환경계획 등 분절된 도시계획 요소들을 통합적으로 검토하여 도시계획에 적용될 수 있도록 도시 미기후 관리 방향을 종합적으로 검토하고 연계방향 모색

□ 합리적이고 통합적인 도시 미기후 관리방향 제시

- 도시공간에서 도시민 행복추구를 위한 개발가능성과 인간과 자연환경의 지속가능성이 조화를 이루는 합리적인 통합방향 및 도시 미기후 관리방향 제시
- 도시 미기후 관리를 통한 기후변화 적응 및 도시 거주민의 취약성
- 국토교통부, 농림부, 환경부 등 개별 기관에서 분산되어 추진되는 도시 미기후 관리활동들을 통합적으로 관리할 수 있도록 추진 수단들과 추진 기구들의 역할을 고려하고 합리적 관리 방향 제시

3. 연구의 범위 및 방법

1) 연구의 범위

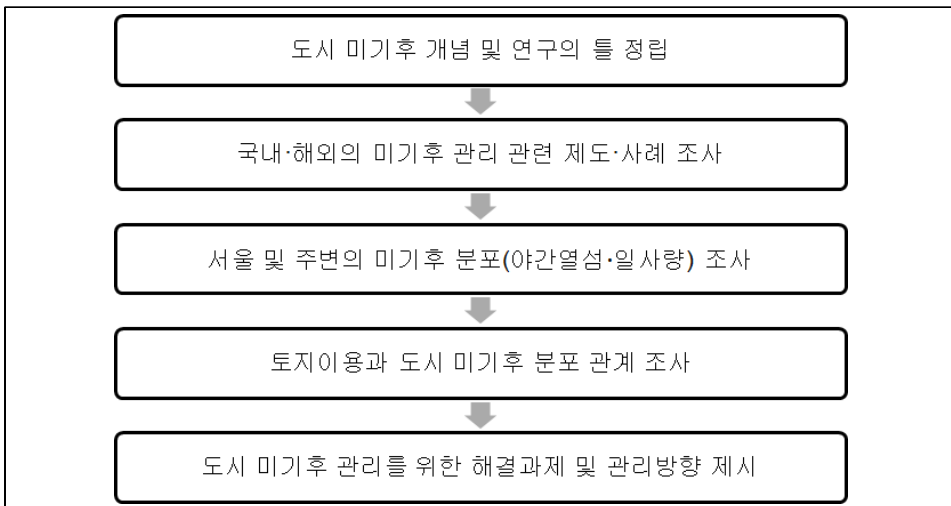
□ 내용적 범위

- 도시 미기후 관리 개념 및 연구의 틀 정립
- 국내·해외의 미기후 관리 관련 제도·사례 조사
- 서울 및 주변 수도권의 미기후 분포(야간열섬 및 일사량) 조사
- 도시의 토지이용과 도시 미기후 분포의 관계 조사
- 도시 미기후 관리를 위한 해결과제 및 관리방향 제시

□ 공간적·시간적 범위

- 수도권 일대 및 여름(2013년 ~ 2015년)⁶⁾

그림 1-2 연구의 수행 흐름



자료: 저자작성.

6) 3차원 일사량 모델링 기반 조사 및 원격탐사자료 기반 조사 기간 적용

2) 연구의 방법

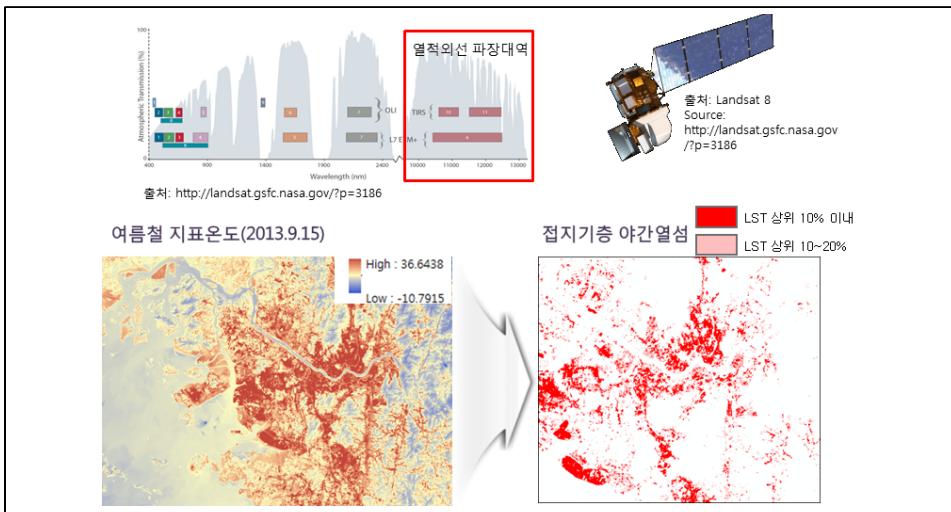
□ 도시 미기후 관리 및 연구의 틀 정립

- 도시 미기후, 도시열섬 관련 연구사례 조사
- 도시 미기후 관리방향 및 조사체계 정립
- 도시 미기후 관리 관련 제도 및 사례 조사

□ 원격탐사 기법을 통한 접지기층 야간 열섬 조사⁷⁾

- 접지기층 야간열섬 조사: 수도권 일대(Path/Row: 213/210)를 촬영한 열적외선(Thermal Infra-Red, TIR) 밴드 영상(Band10, Band11)으로부터 복사휘도(輝度)를 지표온도(Land Surface Temperature, LST, °C) 변환하는 산식을 적용하여 산출된 열섬지도(2015:256:22:20, KST)를 조사에 활용

그림 1-3 서울시 및 주변의 여름철 야간 지표온도 및 열섬



출처: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-data-continuity-mission/>(최신접속일: 2016.7.30.)

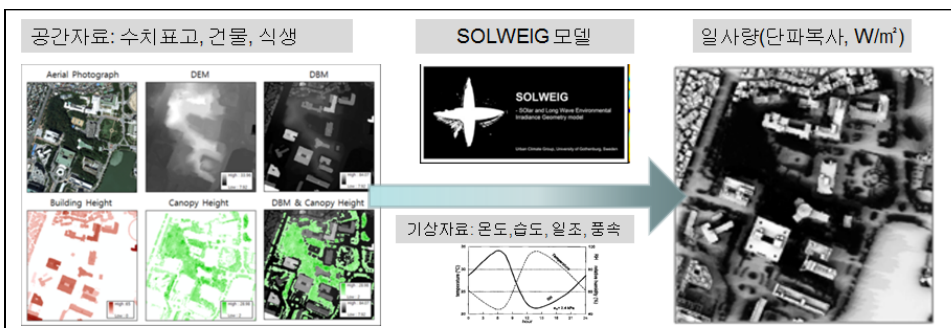
7) 이 연구에서는 접지기층 야간열섬지역은 야간지표온도(원격탐사)를 통해 나타나는 지표온도 중 열섬강도가 높은 지역으로서 전체면적 중 상위 20% 고온지역인 것으로 조작적 정의하고 접지기층 야간열섬을 조사

- 조사구역 내 야간 지표온도 상위 20% 범위 접지기층의 야간열섬 구간 중 열섬 강도 중점관리지역(0%~10%)의 분포 현황과 발생원인 조사
 - 상위 10% 이내(0%~10%)는 열섬관리 중점구간, 10%~20%는 열섬관리 관심구간으로 보고 집단화되거나 강도가 높은 지역들을 조사⁸⁾

□ 3차원 태양복사모델링 기법을 통한 일사량 조사

- 3차원 태양복사모델링을 통해 산출된 자료(2015/8/5) 중 단파복사(shortwave radiation, W/m^2) 자료를 이용하여 서울 및 주변 수도권의 일사량 분포 조사⁹⁾

그림 1-4 SOLWEIG 모델 기반 3차원 태양복사 모의



출처: 안승만, 손학기, 이규석, 이재연. 2016. 도시립의 여름철 평균복사온도 저감 추정 연구. 한국조경학회지 44, no.1: 93-106. 재구성.

□ 용도지역과 접지기층 도시미기후와의 관련성 조사

- 도시지역 토지이용유형별 평균야간지표온도를 비교하여 접지기층 야간열섬 강도가 높은 토지이용유형의 순위 및 관련성 조사

8) 조사에 활용된 일사량 자료는 계절과 시간에 따라 변화하는 일조시간 및 태양복사에너지, 지형과 건물 및 수목 등에 의해 차단되는 태양복사 크기 등을 입체적으로 고려할 수 있는 3차원 복사모델링 기술이 적용되었으며 야간에 방출되는 열적외선 파장 에너지는 복사, 전달을 통해 인접한 접지기층 열섬에 바로 반영되며 이는 원격탐사 지표온도와 비례하며, 바람길(난류혼합)과 같은 이류효과는 지표온도에 이미 반영되었다고 가정하였음

9) 수도권을 대상으로 정교한 3차원 태양복사모델링을 수행하기 위해서는 방대한 자료구축 및 모델링 시간이 소요되어 이 연구에서는 차세대도시·농림융합기상사업단(Weather Informations Service Engine, WISE)에서 SOLWEIG(the solar and longwave environmental irradiance geometry)모델을 통해 구축되어진 4m 해상도의 서울 및 주변 수도권 일사량 자료를 이용하여 조사를 수행하였음

4. 선행연구와의 차별성

□ 인공피복의 적극적인 관리를 중요한 도시 미기후 관리방향으로 제시

- 도시에서 인공피복의 적극적인 관리 없이는 저탄소 녹색성장 및 기후변화에 적응하는 도시 구현이 어려운 현실적 도시 미기후 관리의 문제점을 고려
 - 기후변화 적응형 도시구현 전략은 대부분 시가화건조지역에 자연녹지와 물길을 조성 등 자연피복을 확충하여 도시열섬을 저감하는 방안을 제안하고 있음
- 이 연구는 기존 그린인프라(green infrastructure, GI) 전략¹⁰⁾을 확장하여 자연피복·인공피복을 통합하여 미기후 관리수단으로서 활용할 것을 제안

□ 접지기층 도시 미기후 조사체계를 공간계획으로 활용하는 방향을 제시

- 도시 미기후 관리를 위해서는 개념을 간소화 하고 지도화를 통해 도시 관리계획과 연계되는 기반이 조성되어야 하나 현재 도시 미기후의 개념화 및 관리적 접근을 지원하는 기초자료가 부족한 상황
- 도시 미기후와 관련 현상들을 분석하고 이해하기 위한 과학·기술 연구들이 수행되었으나 이를 공간계획과 연결시키는 성과는 부족한 상황
 - 김운수, 김학열(2000)은 서울시 바람길 조성 등 공간계획 시사점을 제시하였으나 기상청의 대기후 관측망자료 및 협소한 서울 일부지역의 미기후모델링(Envi-met)을 결과에 근거하여 광역의 미기후 조사 부족
 - 엄정희(2010)는 독일의 기후계획 수립 법적 근거 및 계획적 조치를 실현하는 법적근거와 관련한 사례조사 및 고찰하고 서울시 규모에서 도시기후 분석도구를 활용한 미기후관리를 제안(Eum et al., 2013)¹¹⁾
 - 오규식 외(2014)는 열섬현상 발생기작의 이해와 중장기 미래 예측이 필요하며 도시 열환경 분석·설계·관리기술이 필요함을 역설

10) 주로 열섬강도(기온편차)의 완화를 위해 바람통로의 확보를 통한 폐열 및 오염물질의 배출 기온 저감을 통한 열적 스트레스 및 오염발생 빈도 저감을 기본정책으로 적용

11) Eum, J., Scherer, D., Fehrenbach, U., Köppel, J., Woo, J. 2013. Integrating urban climate into urban master plans using spatially distributed information—The Seoul example. Land Use Policy 34: 223-232를 참고하여 작성

- 이채연 외(2014)은 서울 주변 수도권의 열섬분포 현황 및 열섬의 공간분포와 위치적 특성을 계량화 하는 연구를 수행하여 제시하였으며 이를 도시 미기후 관리를 위한 제도화 근거로서 활용할 것을 제안
- McPherson et al. (2002)은 “주차장 그늘 조성 조례(Parking Lot Shade Ordinances)”가 충분히 이행되지 않은 원인을 조사하고 식재의 기온감소, 배출저감 효과를 제시하였으나 공간계획 대신 식재관리 지침을 제시
- Rosenweig et al. (2009)은 도시열섬완화 수단들인 도시 숲(urban forestry), 옥상녹화(living roofs), 그리고 알베도(albedo) 높은 페인트 활용(light surface) 정책을 이행할 경우 기대할 수 있는 잠재적인 기온저감 효과를 모의하여 도시열섬 완화정책을 통해 얻을 수 있는 뉴욕시(New York)의 평균기온 저감 효과를 최대 1.5℃로 추정하였으며 시가화 건조지역 비율이 높은 도시기온 저감을 위해서는 알베도 높은 페인트 활용 정책이 가장 유리하지만 옥상녹화와 가로수 등 도시 숲 조성을 통한 국부적인 기온저감 효과도 함께 수행되어야 함을 제언하였으나 그들이 적용한 기술은 접근성이 낮아(모의·분석이 쉽지 않음) 계획적 활용이 어려움
- 이 연구는 접지기층 도시열섬의 공간분포 및 토지이용과의 관계를 조사하고 관리계획과 연계될 수 있도록 조사체계를 단순화 하고 모델 및 원격탐사 기반의 지도를 통한 미기후 분포 조사 및 계획적 활용방향을 제시

□ 도시 미기후 관리와 저탄소 녹색성장의 합리적 연계가 필요함을 제시

- 도시미기후 관리방향을 도시문제 통합관리 전략으로 균형감 있게 조정
 - 도시의 인프라 요소로서 그린인프라를 확장·통합하는 관점을 통해 개선할 수 있는 도시 미기후 관리 및 저탄소 녹색성장 관련 에너지 이용방향 제시
 - 에너지 사용 저감을 통한 저탄소 녹색도시 구현 방향과 도시 미기후 관리 방향을 합리적으로 연계하고 태양광 발전시설들의 활용성을 도시 미기후 관리와 연계하였으며 이를 통해 발전을 통한 경제적 이득의 추구보다 사회적 공동 이득(co-benefit)을 최대화 되는 상호 보완적 방향을 제안

표 1-1 선행연구와의 차별성

구 분	선행연구와의 차별성		
	연구목적	연구방법	주요 연구내용
주요 선행 연구	1	- 독일 사례조사 - 서울 기상특성 조사 - 기상특성을 활용한 공간 계획기법 제안	- 독일의 법체계 검토 - 기후변화에 대응하기 위한 서울시 공간구조를 계획 및 실행을 위한 시사점 제시
	2	독일의 기후계획 수립 법적 근거 및 계획적 조치를 실현하는 법적근거와 관련한 사례조사 및 고찰	- 독일의 기후계획 수립 관련 법적 근거 조사 - 기후관리 관련 계획적 조치를 실현하는 법적 근거 제시 - 한국과 독일의 비교 및 시사점 도출
	3	- 선행연구 및 사례조사 - GI계획 모형 및 취약성 평가모형 구축 - 계획모형 및 취약성 평가 위한 사례지역 적용	- 계획모형, 평가지표 통한 취약성분석 및 그린인프라 조성전략/기법 제시 - 서울시에 계획모형 및 평가지표 적용 - 국내 GI 활성화 위한 주요 정책수단 제언
	4	- 국내외 기술환경조사 - 기술개발 기획 - 시스템개발 기획 - 지원체계 개발 기획	- 도시열 발생 및 저감 기여도 산정 방향 제시 - 열섬저감 도시공간 설계 위한 시스템 제시 - 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 및 지원체계 개발
	5	- 법적근거와 관련한 사례 조사 및 고찰 - 현장조사 및 분석 - 그늘조성 지침개발	- Sacramento 의 “주차장 그늘 조성 조례”의 이행과정의 문제점 분석 - 교목 식재를 통한 미기후개선 효과를 (1) 기온감소, (2)주차된 차량의 배출량 감소로 정량화 - 주차공간 그늘조성 가이드라인 제시
	6	- 원격탐사(열섬분포) - 수치모델링(MM5) - 현장조사 - GIS 분석 - 저열섬 구현전략 평가	- 도시 숲 조성, 옥상의 생녹화, 고알베도 표면조성 정책 이행 시 잠재적인 기온저감 효과 시뮬레이션 - New York 시의 도시기온 저감을 위한 과학적 결과 기반 정책방향 제시
본 연구	도시 인공파복의 다기능성과 공동이익을 높여 저탄소녹색성장과 도시 미기후 관리가 연계되는 방향을 제시	- 원격탐사 및 모델링을 통한 도시 미기후 조사 - 공간분석을 통한 용도지역과 미기후 관계 조사 - 국내외 사례 조사	- 수도권 미기후(일사량 및 야간열섬) 분포 특성 및 발생 원인 조사 - 용도지역(규제지역)과 미기후(일사량 및 야간열섬)의 관계 제시 - 저탄소 녹색도시 구현을 위한 통합적 미기후 관리방향 제시

저자작성.

CHAPTER 2

연구의 이론적 틀

01 도시 미기후(Urban Microclimate)	17
02 도시열섬(Urban Heat Island, UHI)	21
03 도시 미기후 관리	23
04 그린인프라 기반 저탄소친환경 녹색도시 조성 정책	25

연구의 이론적 틀

1. 도시 미기후(Urban Microclimate)

□ 미기후(microclimate)는 접지기층¹²⁾과 같은 작은 공간에서 수평적 또는 수직적으로 나타나는 기후(Geiger, 1942)

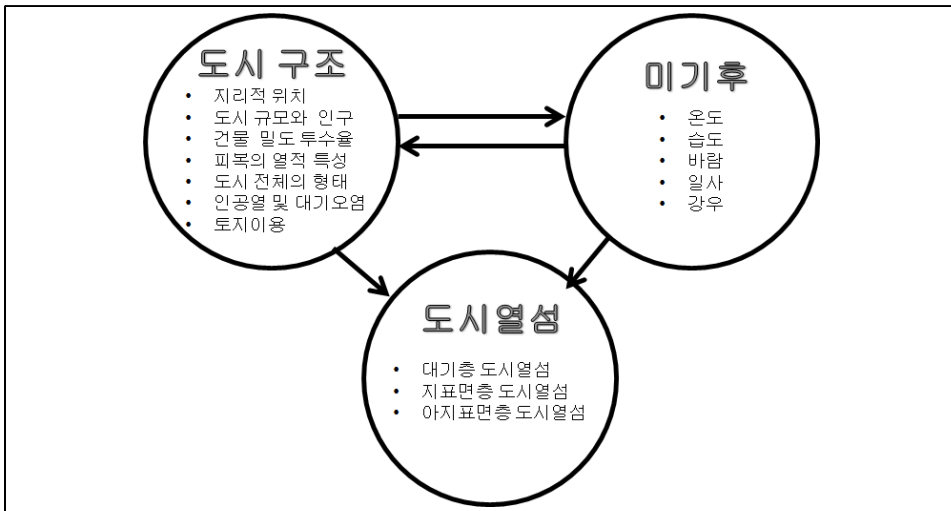
- 기후(climate)는 출현 확률이 높은 대기의 종합적 상태
 - 기후는 기상현상을 시간적·공간적으로 일반화한 상태(10년~30년의 기상관측 자료들을 이용해 통계적으로 설명)이며 19세기에는 대기의 평균적 상태로 정의되었으나 근래에는 대기의 동적·종관적 상태로 정의됨
- 미기후(microclimate)는 접지기층기후(climate of the air layer close to the ground), 식물기후(plant climate), 생물서식지기후(climate of the habitat), 생태기후(ecological climate)라고도 불리는 작은 규모의 기후
 - 토양층 또는 지면과 가까운 작은 공간에서 나타나는 기후
 - 대기후 모니터링이나 기상관측망을 통해서는 식물의 성장과 관련한 기후조건의 미세한 변화가 잘 나타나지 않지만 지표면 인자들이 집단화 되어 있거나 규모가 클수록 기상관측망을 통해 변화가 뚜렷하게 감지됨
 - 대기의 난류활동 규모에 따라 접지기층의 높이는 지속적으로 변화하므로 정확하게 관측하기는 어려우나 보편적으로 미기후는 사람들이 거주하는 지면(地面)으로부터 보통 수 m 높이에 있는 접지경계층 아래에서 땅위에 건조되거나 서식하는 모든 것들에 영향을 받는 작은 규모의 기후로 인식되고 있음

12) 접지기층(air layer close to the ground)은 지표면 1.5m 아래의 기층으로 생물들의 터전이자 기상요소들이 지면특성에 민감하게 반응하는 구간. Geiger, R. 1942. The climate near the ground. Cambridge, MA: Havard Press. p.1을 참고하여 작성

□ 도시미기후(urban microclimate)는 주변지역과 차별화 되는 도시 지표면 접지경계 층의 종관적·통계적_ 대기특성(높은 기온, 낮은 습도, 약한 바람 등)

- Oke(1982)가 저서인 경계층기후(boundary layer climate)에서 소개¹³⁾
- 도시의 지리적 위치, 도시의 규모와 인구, 건물밀도, 지표면 투수율, 도시를 피복하는 물질들의 열적 특성, 건물숲을 포함한 도시 전체의 형태, 인공열, 대기오염, 토지이용 등 도시의 구조는 도시 미기후와 즉각적이고 직접적으로 상호작용하며 도시열섬은 이러한 도시 미기후 요인들이 복합적으로 결합하여 나타나는 열환경적 현상
- 특히, 인공적 피복의 크기와 밀도는 도시 미기후 변화와 상관성이 매우 높으며(이채연 외, 2014), 원인을 제공한 물리적 대상(담, 고층건물 등과 같은 건조물)이 사라질 때까지 해당 장소에서 온도 및 습도 등과 같은 미기후 요소들을 통해 주변 환경에 지속적으로 영향을 미침

그림 2-1 도시구조 인자들과 (미)기후 인자들의 상호작용



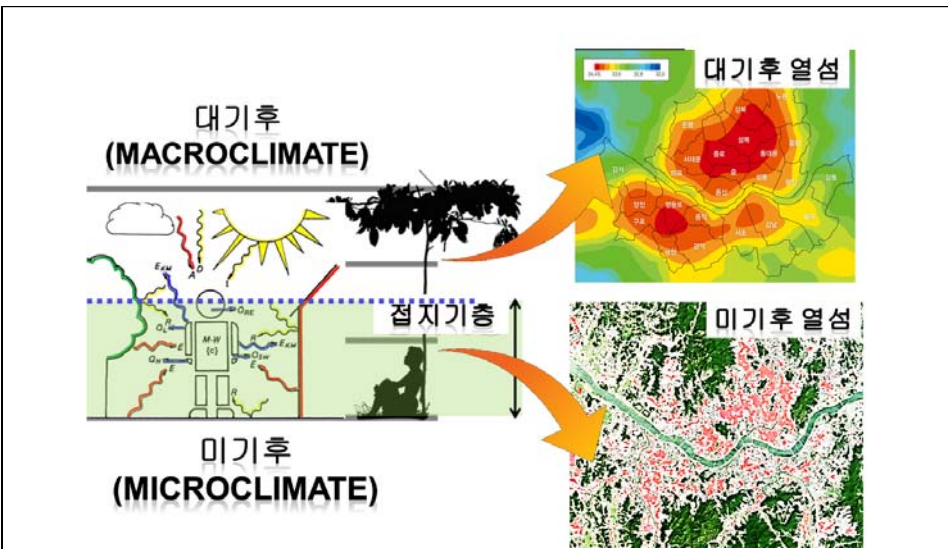
출처: Shahmohamadi et al., 2012. Mitigating urban heat island effects in Tehran metropolitan area. Air Pollution—A Comprehensive Perspective, by Budi Haryanto. InTech: 281-282. 저자 재구성.

13) Oke, T. R. 2002. Boundary layer climates. : Routledge. pp. 284-297을 참고하여 작성

□ 도시 미기후(urban microclimate) 공간분포

- 도시 미기후의 공간분포는 국소규모에서 주변지역과의 차이를 보이는 대기의 상태를 나타내므로 기상관측망을 통해 관측되는 도시기후(urban climate)의 공간분포보다 공간적 변동성이 크고 규모에 따라 다르게 나타남
 - 발생규모 및 주요 영향 요인들을 기준으로 거시적 규모의 도시기후와 미시적 규모의 도시미기후의 분포는 공간적으로 명확하게 차이가 있으며 일반적으로 도시미기후의 공간적 변동성이 더 크게 나타남
- 지표면 피복을 통해 태양복사에너지가 차단, 반사, 흡수, 방출되는 과정이 복잡하므로 이러한 인자들의 영향을 직접적으로 받는 접지기층의 도시 미기후 공간분포는 대기후 공간분포보다 파편화되고 세밀하게 나타남
 - 방출된 지표면복사열은 접촉하는 공기에 전달되며 풍속은 다양한 생물들로 구성된 지표면피복과의 마찰에 의해 감소하므로 상대적으로 상층에 비해 공기가 덜 혼합되는 경향을 보이며 고유한 접지기층 도시열섬 공간을 형성

그림 2-2 규모의 차이(미기후 vs. 대기후)에 따른 도시열섬 공간분포의 차이



출처: 안승만 외. 2016. 도시의 미기후 관리방향, 국토정책 Brief No. 583. p.2 저자 재구성.

□ 도시 미기후(urban microclimate) 분석기법 및 연구들

- 도시 미기후의 분포를 공간적으로 설명하기 위해서 관측과 더불어 모델링· 분석을 통한 도시 미기후 추정 기법들이 개발되고 있음
 - 현재 운용되는 기상관측망 또는 백엽상은 넓은 주변지역을 대표할 수 있는 지점을 선정하며 지면 약 1.5m 이상의 높이에서 거시적인 대기의 상태를 관측하므로 이러한 이유로 생물권과 대기의 상호작용으로 나타나는 접지기층 기상현상들을 관측하거나 미기후를 조사하는 방법으로서 취약성이 높음
 - 기상관측망의 맹점을 보완하기 위해서 공간 분석 기법들을 활용하여 미기후 거동과 관여하는 주요 요인들을 선별하고 도시 미기후 공간분포를 추정하는 연구들이 지속적으로 수행되고 있음
 - 도시 미기후와 관련된 공간분포를 설명하기 위한 주요 지표(index) 인자들로써 바람(wind), 태양일사(solar radiation), 기온(air temperature), 상대습도(relative humidity) 등이 주로 이용되고 있음
 - 도시 지표면의 형태적·물리적 지표 인자들로서는 천개지수(sky view factor, SVF), 평균복사온도(Mean Radiant Temperature, MRT), 거칠기길이(roughness length), 열용량(heat capacity), 반사도(albedo) 등이 함께 연구되고 있음(Macdonald, et al., 1998; Grimmond et al., 1999; An et al., 2014a; Lee 2015; Yi et al., 2016)¹⁴⁾
 - 도시에서 발생하고 있는 기후 및 미기후 관련 연구들은 국제기후학회지(International Journal of climatology, IJOC), 도시기후(Urban climate), 이론 및 응용기후(Theoretical and Applied Climatology) 등의 국제학술지 및(Bulletin of American Meterological Society, BAMS)등의 잡지를 통해 새로운 도시 미기후 분석기법들이 출판되어 활용되고 있음

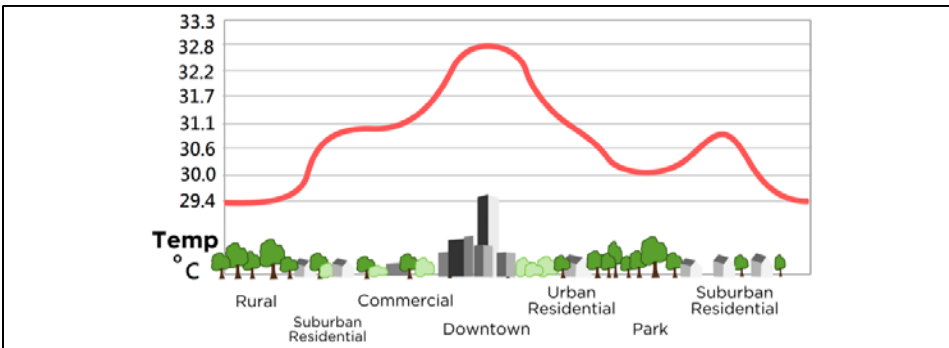
14) Eum, J., Scherer, D., Fehrenbach, U., Köppel, J., Woo, J. 2013. Integrating urban climate into urban master plans using spatially distributed information—The Seoul example. Land Use Policy 34: 223-232., Yi, C., Kim, K. R., An, S. M., Choi, Y., Holtmann, A., Jänicke, B., Fehrenbach, U., et al. 2016. Estimating spatial patterns of air temperature at building-resolving spatial resolution in Seoul, Korea. International Journal of Climatology 36(2), 533-549., 이채연, 김규량, 안승만, 최영진. 2014. 수도권 열섬 중심으로부터 교외까지의 거리 및 국지적 지표특성이 야간 기온분포에 미치는 영향. 대기 17(1): 35-49.을 참고하여 작성

2. 도시열섬(Urban Heat Island, UHI)

□ 도시열섬은 주변지역보다 도시 내부 온도가 상대적으로 높게 나타나는 현상¹⁵⁾
(Sukkop et al., 1993)¹⁶⁾

- 도시열섬현상은 도시화가 원인인 뚜렷한 기후변화 현상이며 지표면의 인위적 변화로 인한 미기후 변화가 열 환경으로 투영되는 총체적 현상임

그림 2-3 도시열섬 현상의 개념



출처: wikimedia(원출처: U.S. NOAA, <https://www.crh.noaa.gov>)(최신접속일: 2016.7.30.)

□ 기후분석을 통한 도시열섬 강도(UHI intensity) 분석

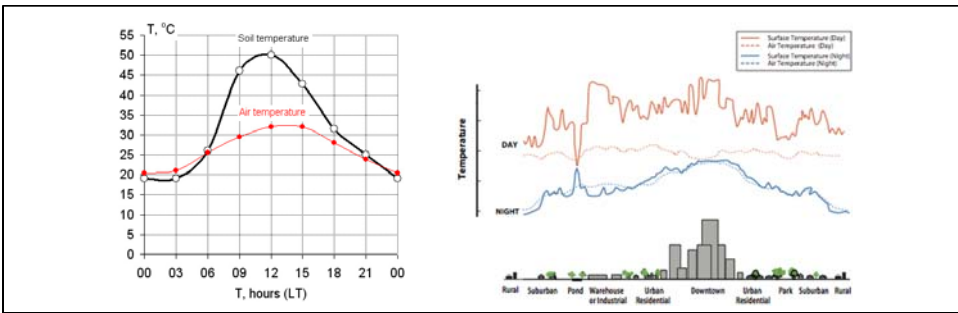
- 도시열섬은 일몰 후 2~3시간 이후 크게 발달하며 이로 인해 도시와 교외의 기온편차의 크기인 열섬강도(UHI intensity)가 크게 나타남
 - 일몰 후 열용량이 작은 공원의 잔디밭은 일몰 이전부터 냉각을 시작하기 때문에 상대적으로 표면온도가 낮은 반면 건축물 벽면과 아스팔트는 일몰 후 2시간 후에도 주변 기온보다 높은 표면온도를 유지하며(송영배, 2007)¹⁷⁾ 이러한 도시와 주변의 상대인 온도편차를 도시열섬강도로 분석

15) 도시미기후(urban microclimate)와 도시열섬(urban heat island, UHI) 모두 도시를 관심의 대상으로 지속적으로 나타나는 기상현상에 관심을 두고 있다는 측면에서 공통점이 있으나 도시열섬은 '현상' 자체에 관심을 두는 반면 미기후는 도시열섬을 포함해 "도시에서 나타나는 현상과 이를 일으키는 대상의 구조적 인과관계"에 관심을 두고 있다는 점에서 차이가 있음

16) Sukkop et al., 1993, Stadtoikologie, Ulm: Gustav FISHER, p.57을 참고하여 작성

17) 송영배, 2007, 바람통로 계획과 설계방법, 그린토마토, p.170을 참고하여 작성

그림 2-4 수도권 기상관측망으로부터 나타나는 여름철 겨울 수도권의 도시열섬



출처: Zhamsueva, G et al. 2011. Particularities of Formation and Transport of Arid Aerosol in Central Asia.
<http://www.geocoops.com/urban-microclimates.html>(최신접속일: 2016.7.30.)

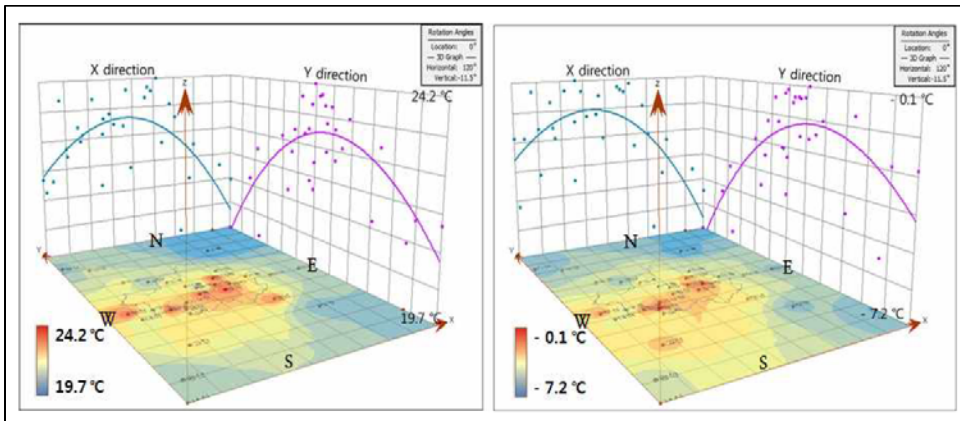
- 복사편차(radiation deviation)와 기온편차(air temperature deviation)는 도시 열섬강도를 평가하는 주요 관측인자들로서 도시기후 분석 기법을 통해 도시 열섬강도를 설명할 수 있음(Eum et al., 2013; Yi et al., 2016)
 - 도심의 야간열섬현상은 일출까지 지속되므로 기상관측 결과에서도 도시 최저 기온이 교외보다 상대적으로 높게 나타나 열섬강도를 분석할 수 있음
 - 도시열섬을 규정하는 기준은 현재 분명하지 않으나 일반적으로 열섬강도가 높아지면 도시열섬현상이 심화되는 것으로 간주되므로 도시의 열환경 개선의 필요성을 평가하는 계획적 척도로서 이용되고 있음(Sukkop et al., 1993; Akbari et al., 2001; Roswnzweig, 2009)¹⁸⁾

□ 수도권의 도시열섬 분포

- 수도권 기상관측망으로부터 얻어진 여름 야간(20:00~06:00) 평균기온 분포는 19.7°C~24.2°C로서 도심과 교외에서 약 4.5°C차이 발생(이채연 외, 2014)
- 겨울철 야간 평균기온 분포 역시 -7.2°C~-0.1°C 로 7.1°C 차이를 보였으며 도시열섬은 여름과 겨울에 걸쳐 지속적으로 나타나는 현상임

¹⁸⁾ Sukkop et al., 1993, Stadtoikologie, Ulm: Gustav FISHER. p.57, Akbari, et al., 2001. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. Solar energy, 70(3), 295-310., Roswnzweig et al. 2009. Mitigating New York City's heat island: Integrating stakeholder perspectives, scientific evaluation. Bulletin of the American Meteorological Society 90, no.9: 1297-1312을 참고하여 작성

그림 2-5 수도권 기상관측망으로부터 나타나는 여름철 겨울 수도권의 도시열섬



출처: 이채연 외. 2014. 수도권 열섬 중심으로부터 교외까지의 거리 및 국지적 지표특성이 야간 기온분포에 미치는 영향. 대기 17(1): p.40.

3. 도시 미기후 관리

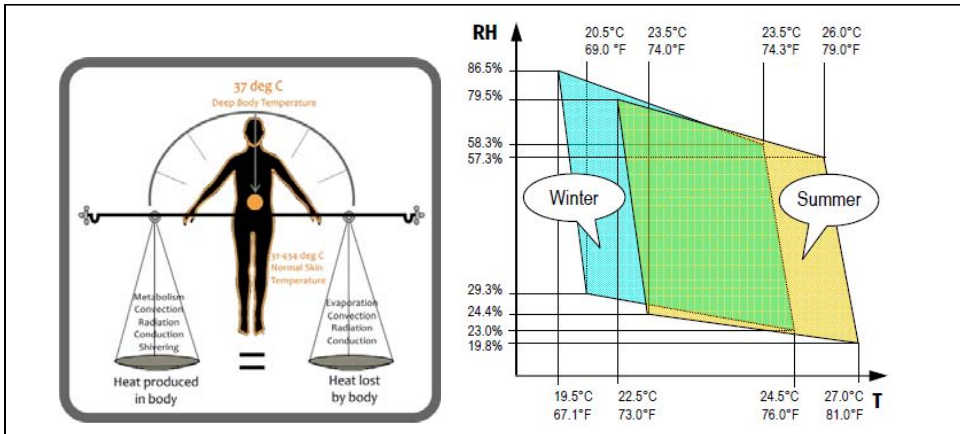
□ 도시 미기후 관리목표는 쾌적한 미기후(Goldilocks Microclimate) 조성

- 인체는 열적 평형상태를 유지하기 위해 여러 신진대사 기작을 수행
 - 인체는 항온성을 가지고 있어 주변 온열환경이 변하여도 화학적 체온조절(섭취한 음식을 체내에서 산화시켜 열을 생산)과 물리적 체온조절(피부혈관의 확장과 수축, 발한, 호흡촉진 등을 통해 체내의 열을 대류 전도 복사 증발시켜 조절)을 통해 약 37°C(구강온도)의 체온을 유지하지만 물리·화학적 항온조절 범위를 초과하면 열사(熱士) 또는 동사(凍死)함(박준희, 유진정, 2015)¹⁹⁾
- 역사적으로 인류는 미기후적으로 편안한 공간(comfort zone)을 조성하고 열적 평형상태를 유지하기 위해 지속적으로 피복 및 주거환경을 개선하여 왔음
 - 일사, 온도, 습도, 바람 인자들에 의해 온열쾌적성이 변화하므로 인체의 특성과 미기후 인자들의 상관성에 따른 열적쾌적성을 측정하는 다양한 지표들

19) 박준희, 유진정. 2015. 환경온도를 이용한 온도 자극이 혈액학 반응 및 체온조절 반응에 미치는 영향. 한국생활환경학회지 22(2) p. 176을 참고하여 작성

(인지온도 등)을 통해 보건·산업 전반에서 온열환경을 과학적으로 개선

그림 2-6 인체의 항온조절 활동(좌) 및 ASHRAE에서 제시하는 쾌적기후대 조건(우)

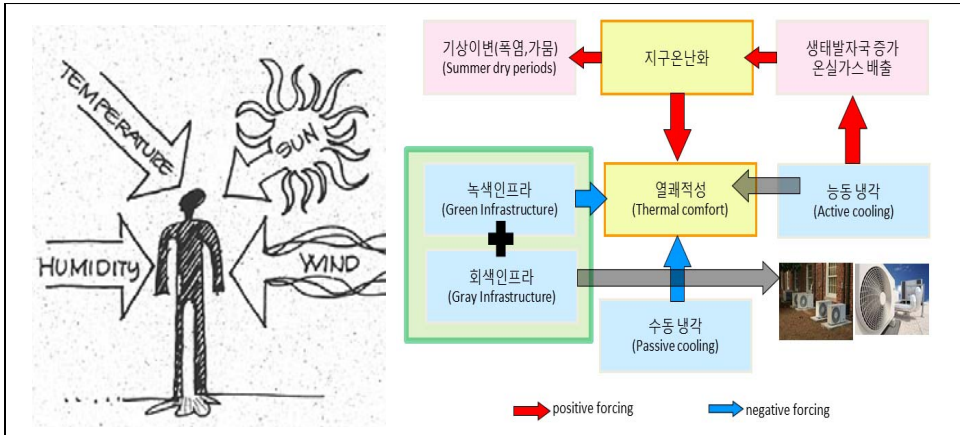


출처: www.nzeb.in(최신접속일: 2016.7.30.) 및 <http://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=487>(최신 접속일: 2016.7.30.)

- 지속 가능하고 친환경적인 도시 미기후 환경 조성을 위해서는 합리적인 온열쾌적성 유지수단 및 순환체계 관리가 필요
 - 지구온난화 효과의 하나로 기후변화 변동성이 크게 증가하면서 폭염과 한파 발생일수가 증가하고 있음
 - 도시가 외연적으로 확산되면서 축열·방출에 유리한 물리적 구조로 바뀌었고 이로 인해 도시는 폭염·한파 등 온열환경 관련 기후변동성에 취약해짐
 - 산업화와 기후변화로 인해 도시를 중심으로 열적 쾌적성을 유지하기 위한 에너지가 다변화 되고 있으며 총 에너지 사용량이 급증하는 추세
 - 우리나라에서도 기후변화의 영향으로 매년 폭염 및 한파 일수가 증가하고 있으며 도시민들은 에어컨 등 냉난방 설비를 이용하여 실내의 온열환경 개선에 적극적으로 개입하고 있는 실정임
 - 도시민들의 열적 쾌적성 유지를 위한 과도한 에너지 사용은 온실가스 배출량 증가를 가져와 지구온난화로 인한 기후변동성을 증가시키고 폭염 및 가뭄 등 기상이변으로 가져오는 악순환으로 발전될 가능성이 높으므로 에너지 사용을

줄이거나 전환하는 체계가 필요

그림 2-7 미기후 요인들(좌) 및 온열쾌적성 유지수단 선택에 따른 순환체계 변화(우)



출처: Shiller, M. 2004. Mechanical and electrical systems²⁰⁾, 안승만 외. 2016. 도시의 미기후 관리방향, 국토정책 Brief No. 583. p.6. 저자 재구성.

4. 그린인프라 기반 저탄소친환경 녹색도시 조성 정책

□ 그린인프라는 자연·생태적 요소의 구조·기능을 활용하여 인간 삶 영위 및 질적 향상을 도모할 수 있는 도시공간요소 및 시스템(강정은 외, 2012)

- 공원, 녹지 등과 같은 자연·생태적 요소를 뜻하는 그린(green)과 생활의 기반이 되는 구조물인 인프라(infrastructure)의 합성어로 그린인프라(Green Infrastructure) 관련 정의와 설명들이 다양(표 2)
- 그린인프라는 기존의 인프라²¹⁾와 차별화 되지만 양병이(2011)는 기존 인프라가 다기능성 목표에 부합되고 친환경적으로 이용 가능하다는 조건에서 그린인프라 요소로서 편입 가능하다는 유연한 개념을 제시²²⁾

20) <https://shannonchance.net/tag/human-comfort/>에서 재인용(최신접속일: 2016.7.30.)

21) 인프라(Infrastructure)는 도시의 기반시설로 도시민의 삶을 영위하기 위해 도시가 기본적으로 수행해야 하는 기능들을 담당하는 시설들로 주택, 도로체계 및 교각, 전력체계 및 발전소, 하수-우수체계 및 관망, 통신설비, 운송설비 등 공공 기반시설 일체를 포함하며 '그레이인프라'라고도 불림

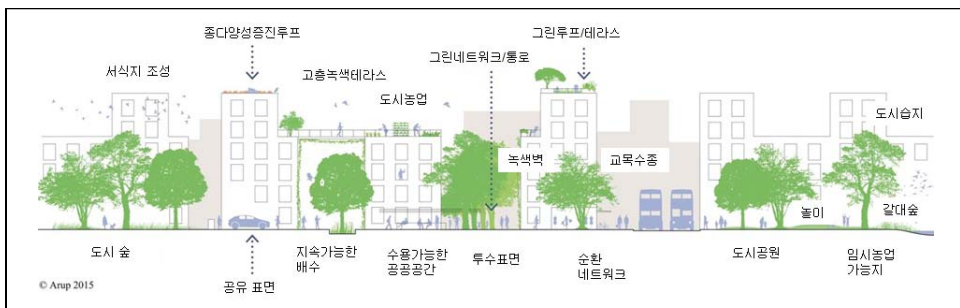
표 2-1 그린인프라(green infrastructure) 관련 정의들

출처	그린인프라 관련 정의 및 서술
Sustainable Cities Institute(2010)	• 생태계를 구성하는 토지, 자연서식지 등의 시스템으로 우수 유출이나 도시열섬 영향 등과 같은 부정적인 환경적 영향 상쇄하는 요소
New England	• 광범위한 높은 질의 녹지공간과 그 밖의 환경적 요소들로 구성되어 전략적으로 계획되고 인도되는 네트워크
PPS12: Local Statistical Planning(2008)	• ‘새로운 그리고 현존하는’ 및 ‘시골 그리고 도시에 있는’ 다기능(multi-function) 녹지 공간의 네트워크
Ecology Institute(2011)	• 생태계의 건강과 레질리언스를 강화하고 생물다양성 보전에 기여하며 생태계 서비스 강화/유지를 통해 인간에게 이익을 주는것
EPA(2009)	• 불투수층 증가에 따른 도시홍수 및 우수관리 개념을 확장한 것
CNT(2010)	• 옥상녹화, 나무, 빗물정원, 투수포장 관 같은 분산화 되어 있는 폭우관리 방법들의 네트워크
EPA et al.(2007)	• 우수 유출수를 침투, 증발산, 재사용 하는 자연적인 물의 수환과정 및 이와 비슷한 게 만드는 시스템이나 기술
양병이(2011)	• 토지개발·성장관리·인공시설 인프라계획과 조화시켜 자연생태계가치·기능을 보전하고 인류에게 이익을 제공하는 녹지공간 네트워크

출처: 강정은 외. 2012. 기후변화 적응형 도시구현을 위한 그린인프라 전략 수립, 한국환경정책평가연구원. pp.21-23. 저자 재구성.

- 그린인프라의 다기능성(multi-function)은 기후변화적응형 도시를 위한 중요한 전략적 수단으로서 다양한 요소와 기능이 공간전략을 통해 통합되어야 함

그림 2-8 다기능성을 지닌 도시의 그린인프라 요소



출처: <http://www.sepaview.com> (최신접속일: 2016.7.30.)

22) 양병이. 2011. 녹색도시 만들기. 서울대학교 출판본부. pp. 358-372 을 참고하여 작성

□ 그린인프라는 정책의 추진은 도시홍수 방지, 도시 열환경 완화, 대기오염 개선 등 도시의 생태적 기능을 증진(강정은 외, 2012)

- 도시화는 도시주변 교외의 토지를 도시 용도로 전환하는 과정을 거쳐 진행되는 이를 통해 확장되는 도시의 인공피복은 대부분 불투수성 표면으로 이산화탄소 흡수계를 파괴하고 홍수, 열섬, 종다양성 감소 등 환경적 위험을 강화하기 때문에²³⁾ 그린인프라를 통해 도시피복을 개선하고 생태적 기능을 증진하여야 함
- 그린인프라의 다기능성을 이용한 기후변화적응형 도시를 조성 정책은 도시민과 도시 생태계를 위한 쾌적한 미기후(Goldilocks Microclimate) 조성과 관리수법 및 관리 목표 측면에서 연계성이 매우 높으므로 다양한 세부목표들을 통합하여 그린인프라 정책 추진을 통한 다기능성을 증진하여야 함

표 2-2 그린인프라 적용 사례

도시(국가)	그린인프라 적용사례
포틀랜드(미국)	• 가로수와 녹화를 통해 도시 물관리 부분에서 3~6배 효과 • 녹색길(greenway) 조성으로 연간 40%의 유출수 감소
런던(영국)	• 녹지지역이 주변지역보다 평균 0.6℃ 낮게 측정 • 그늘이 없는 거리보다 공원이 3℃ 낮게 측정
맨체스트(영국)	• 숲이 도심보다 12.8℃ 낮게 관측
시카고(미국)	• 1에이커당 연간 1,044달러의 대기오염농도 감소 • 344만 달러의 사회적 비용 절감효과
뉴욕(미국)	• 도시미기후 관리 투자비용(6.9 백만\$) 투자 시 2006년 열(heat)로 촉발된 140 명의 초과사망자 및 약10억\$ 사회적 비용 손실 저감 예상²⁴⁾
서울(한국)	• 1인당 병·의원수 및 녹지면적 비중이 높을수록 사망률 감소

출처: 강정은 외. 2012. 기후변화 적응형 도시구현을 위한 그린인프라 전략 수립, 한국환경정책평가연구원. pp.27-29. 저자 재구성.

23) 국토연구원. 2014. 기후변화와 도시-도시기후변화연구네트워크 제 1차 평가보고서-. 창조적 도시재생시리즈 55 pp. 308-311을 참고하여 작성

24) CVM(contingent valuation method)기반 VSL(value of statistical life) 통해 사회비용 추정(Cantalano 2012. New York City Microclimate Policy Applying Green Infrastructure to Mitigate Environmental Health caused by the Urban Heat Island Effect, Heat Waver, MS thesis. pp. 4-8을 참고하여 작성)

□ 저탄소 녹색성장을 위한 도시 그린인프라 기반 도시 미기후 관리방향

- 선진국을 포함해 우리나라도 지속가능한 발전과 ‘기후변화-에너지’ 순환체계 문제 해결을 위한 새로운 틀로서 저탄소 사회를 지향하고 있음
 - 2008년 금융위기로 인한 세계적 불황으로 유가가 급락하였지만 향후 세계 경기의 회복과 오일피크(peak Oil) 이슈를 고려할 때 장기적으로는 고가 에너지 시대가 도래 할 것으로 전망되며 대체 에너지 발굴이 시급(과학기술정책연구원, 2009)
 - 대체 에너지를 통해 석유매장량이 고갈되는 분량을 상쇄하려면 전 세계 에너지 수요의 20% 이상을 충족할 수 있어야 하므로 유럽연합, 일본, 미국을 포함해 우리나라도 녹색성장(Green Growth) 정책을 추진하고 있으며 녹색경제, 기후변화, 에너지, 지속가능한 발전, 국토종합계획 등의 키워드를 중심으로 저탄소 녹색성장을 위한 국가비전과 지역 거버넌스를 연계하여 추진(켄턴, 2007, 오바마 2008, 과학기술정책연구원, 2009)²⁵⁾
 - 저탄소 녹색사회 패러다임으로 전환하기 위해서는 지역적 수준에서의 도전적 시험과 성공적인 정착을 위해 최적의 녹색지역혁신시스템(Green Regional Innovation System)이 요구되며 이를 위해 독일 프라이부르크 등의 도시는 지역혁신정책의 목표, 전략, 지원수단 등을 모두 동원하여 저탄소 사회로 전환하기 위한 활동들을 활발하게 추진하고 있음(과학기술정책연구원, 2009)
 - 도시 미기후 관리를 위해 사용되는 키워드 및 기술적 제도적 수단들은 저탄소 녹색성장을 위한 키워드 및 기술적 제도적 수단들과의 포함관계에 있음
 - 따라서 저탄소 패러다임의 틀 속에서 미기후 관리의 방향 또한 기후변화 적응 및 대응, 온실가스 배출 및 에너지 사용량 감축 또는 친환경적인 재생 에너지로의 전환 등 녹색사회로의 전환 목표에 도달하도록 지원하기 위해서 미기후 관리가 담당할 수 있는 역할, 세부적인 정책과 제도 등을 포함해야 함

25) 과학기술정책연구원, 2009, 저탄소 녹색성장 종합평가지수 개발-국가와 지역 적용을 초점으로-, 정책연구 2009-14, pp. 37-38의 인용을 재인용 하였으며 pp. 35-39를 참고하여 작성

CHAPTER 3

도시 미기후 관리 관련 제도 및 사례

01 도시 미기후 관리 관련 제도	31
02 도시 미기후 관리 사례	36

도시 미기후 관리 관련 제도 및 사례

1. 도시 미기후 관리 관련 제도

1) 독일의 도시 미기후 관리 관련 제도

□ 연방자연보호법

- 독일 연방자연보호법(Bundesnaturschutzgesetz, BNatSchG)은 독일의 자연 자원 보호를 위한 연방 차원에서 관리적 방향성을 제시하고 있음
 - 대기나 토양, 물과 같은 환경요소는 법적인 환경규제기준을 통해 도시의 환경관리 목표를 설정하고 계획적 조치를 마련하지만 도시기후에 대해서는 법적인 규제기준이 없기 때문에 도시기후 또는 도시 미기후 관리에 대한 관리 목표를 설정하고 계획을 수립할 수 있는 근거 부족
 - 독일 연방자연보호법은 비도시·도시지역 생태계의 기능·작용을 지속적으로 보장하기 위한 자연과 경관의 보호를 관리의 목표로 설정
 - 대기, 토양, 물, 동·식물 등과 함께 ‘기후’²⁶⁾를 관리·개발·복원하여야 하는 자산으로서 명시²⁷⁾
 - 기후를 개별적 자연자산 요소로서 법에 명시함으로써, 도시 환경 관리 목표 설정 및 계획 수립에 기후요소를 반드시 고려하도록 유도
- 독일 연방자연보호법은 기후 및 대기의 구체적인 보호내용을 포함
 - 차고 신선한 공기생성 또는 바람통로처럼 유익한 대기·환경 작용, 기후조절을 담당하는 토지에 자연보호·경관관리 조치를 마련하도록 규정²⁸⁾

26) 독일 연방자연보호법에서 기술하는 기후를 대기, 토양, 물, 동물, 식물 등 자연자산과 상호작용하는 지면에 가까운 대기의 상태로 협의적으로 해석하여 미기후와 유사한 개념으로 간주함

27) 연방자연보호법 제7조 제1항 2호

- 자연보호·경관관리 목표를 계획적으로 이행하기 위해 독일은 공간환경계획(Landschaftsplanung)의 수행²⁹⁾을 제도화
 - 공간환경계획은 예방차원의 자연보전을 위한 환경계획도구
 - 계획·행정적 결정이 계획공간에서 자연과 경관에 작용할 수 있도록 자연보호와 경관관리의 목표를 위계별 계획공간에 맞춰 구체화
 - 지자체는 그 지역의 도시기후를 보호·개선하기 위해 공간환경계획 단계에서 구체적 목표와 이행조치를 반드시 포함해야 함³⁰⁾
- 독일의 자연보호 및 관리 관련한 내용은 연방환경보호법에서 지정하고 있으며 한국의 환경정책기본법에 대응하는 환경법은 명시되어 있지 않음³¹⁾

□ 연방건설법전(Baugesetzbuch, BauGB)

- 연방건설법전은 건설기본계획을 통한 기후보호를 규정하고 있어 자연보호·경관관리를 위한 제도적·법적 근거를 규정하는 연방자연보호법과 대조
- 연방건설법전(Baugesetzbuch, BauGB)은 건설기본계획의 수립·집행을 위한 토지수용, 토지구획정리 등 각종 수단들을 규정(김현준, 2000)³²⁾
- 1998년 환경보호 등의 규정을 강화하기 위해 연방건설법전이 전면 개정되고 2004년에 다시 환경보호를 강화하여 전면 개정(송동수, 2008)³³⁾
- 2004년에 연방건설법전 개정 전까지는 도시계획법(Städtebaurecht)에서 지방(lokal) 혹은 지역적인(regional) 요소로써 기후에 관한 이슈가 고려되었으나 2004년 2001/42/EC³⁴⁾를 건설법에 통합하기 위해 개정되면서 일반적 기후

28) 연방자연보호법 제7조 제3항 4호

29) Bundesamt für Naturschutz, Landscape Planning - the basis of sustainable landscape development, Bonn, 2008, p. 52.

30) 연방자연보호법 제9조 제3항 4e호 참조

31) Lee, Y.H., Bückmann, W., "Implementation des Nachhaltigkeitsprinzips in das deutsche und das koreanische Recht". Korean Journal of Comparative Law 32:141-180, 2004.

32) 김현준. 2000. 건설계획법을 통한 환경보호-독일건설법전(BauGB)의 시사. 환경법연구22: 513-535를 참고하여 작성

33) 송동수. 2008. 독일의 습지보전 및 관리법제-자연보호법과 건설법전의 연계성을 중심으로 : 환경법연구 30, 3: 277-305를 참고하여 작성

34) 2001/42/EC는 계획과 프로그램이 환경에 미치는 영향을 평가(assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment)하는 내용에 관한 지침을 참고하여 작성

보호 개념을 연방건설법전에서 사용³⁵⁾

- 제1조에는 건설기본계획의 업무, 정의, 원칙이 명시되어 있으며 건설활동이 인문환경과 자연생활공간을 ‘일반적 기후보호 책임’의 의무를 다하며 수행되어야 함을 건설기본계획에서 강조³⁶⁾
- 지속가능한 도시의 중요한 원칙으로 ‘기후를 보호하는 도시개발’이 고려
 - 지구적인 기후변화 관련 일반적 기후보호(연방건설법전 제1조 제5항)와 지역적 상황에 해당하는 미기후 보호(1조 제6항 7호)를 분리해 명시³⁷⁾
- 지방자치단체는 환경보고서(Umweltbericht)를 이용해 계획 초안에 기후보호와 관련된 계획적 근거를 추가
 - 환경보고서는 지역의 환경보호 현황을 조사하고 평가내용을 제시³⁸⁾
 - 환경보고서는 계획과정에서 지역의 기후상황으로 고려해 예상되는 심각한 기후적 영향과 이를 저감하기 위한 환경 친화적 대안들을 작성³⁹⁾

2) 국내의 도시 미기후 관리 관련 제도

(1) 환경정책기본법과 자연환경보전법

- 환경정책기본법 제3조와 자연환경보전법 제2조에서 환경요소를 정의
 - 환경정책기본법 및 자연환경보전법의 목적 또는 목표는 독일의 연방자연보호법과 같이 생태계의 기능을 지속가능하게 보장하기 위해 기후적으로 유익한 지역을 보호하고 관리하기 위한 구체적인 목표를 밝히고 있지 않음
 - 대신 최근 도시내 대기환경을 개선하기 위한 방안으로서 바람순환(바람통로)

35) 이 내용은 EAG Bau법을 통해 2004년에 처음으로 도시계획법(Städtebaurecht)에 채택. EAG Bau는 Europarechtsanpassungsgesetz Bau (Das Gesetz zur Anpassung des Baugesetzbuchs an EU-Richtlinien)로써 연방건설법전을 유럽연합의 지침에 맞추기 위한 법률임. 이 법은 2001/42/EG뿐만 아니라 지침 2003/35/EG(특정한 환경관련 계획과 프로그램 과정에서 공공의 참여) 및 다른 지침들의 개정에 관여.

36) 연방건설법전 제1조 제5항

37) Mitschang, S., “Die Belange von Klima und Energie in der Bauleitplanung”, *Natur und Recht* 30: 601–612, 2008.

38) 연방건설법전 제2a조 제2항

39) BDLA(Bund Deutscher Landschaftsarchitekten), *Baugesetzbuch 2004: Die neue Umweltprüfung*, 2004, p. 18을 참고하여 작성

이 제안되어 대기환경보전법에서 관련내용을 규정하고 있음⁴⁰⁾

- 국내에서 ‘대기’는 보전되고 관리되어야 하는 환경요소로써 정의되고 있지만, ‘기후’에 대해서는 양 법 모두 명확하게 명시하지 않고 있음
- 법에서 기후를 환경요소의 하나로 명확히 명시하지 않기 때문에 결과적으로는 계획수립 및 정책결정 과정에서 환경적 목표를 이행하는데 있어서 기후라는 요소가 간과될 수 있음

표 3-1 환경정책기본법과 자연환경기본법

구분	내용
환경정책기본법	• 주 목적: 모든 국민이 건강하고 쾌적한 삶을 누릴 수 있도록 함⁴¹⁾ • 규정: 포괄적이고 통합적인 환경법으로써 환경정책의 기본이 되는 사항 • 부 목적 1: 환경오염과 환경훼손을 예방 • 부 목적 2: 환경을 적정하고 지속가능하게 관리·보전
자연환경보전법	• 주 목적: 자연환경의 지속가능한 이용을 도모하고, 국민이 쾌적한 자연환경에서 여유 있고 건강한 생활을 할 수 있도록 함⁴²⁾ • 통합원칙: 자연환경을 인위적 훼손으로부터 보호하고, 생태계와 자연경관을 보전하는 등 자연환경을 체계적으로 보전하고 관리

출처: 환경정책기본법[법률 제14494호, 2016.12.27.] 및 자연환경보전법[법률 제13885호, 2016.1.27.]

(2) 도시군 관리계획 수립 지침과 지구단위계획 수립 지침

□ 도시·군 관리계획 수립지침

- 일반원칙: 도시·군 관리계획은 토지이용계획 수립 시 해당 지역 개발밀도, 주변여건과 주위 환경 등에 따라 예상되는 재난발생 및 방재상황, 미기후 환경(바람유동 및 열섬현상) 등을 고려하여 계획을 수립하며(1-5-2-11), 도시·군관리계획은 기후변화 재해 취약성 분석결과를 토지이용, 기반시설 배치계획 등

40) 대기환경보전법 제10조에 따라 대기순환 장애의 방지를 위해 관계 중앙행정기관의 장, 지방자치단체의 장 및 사업자는 각종 개발계획을 수립·이행할 때 계획지역 및 주변 지역의 지형, 풍향·풍속, 건축물의 배치·간격, 바람통로 등을 고려해 대기오염물질 순환에 장애가 발생하지 아니하도록 함[시행 2016.7.28.] [법률 제13874호, 2016.1.27., 일부개정]

41) 환경정책기본법 제1조 [시행 2017.3.28.] [법률 제14494호, 2016.12.27., 일부개정]

42) 자연환경보전법 제1조 [시행 2016.1.27.] [법률 제13885호, 2016.1.27., 일부개정]

부문별 계획에 반영(1-5-2-13)하기 위해 (1)경관 및 안전계획, (2)환경성 검토 부분에서 도시 미기후를 고려하도록 명시⁴³⁾

표 3-2 도시·군 관리계획수립지침의 도시 미기후 부문

구분	내용
경관 및 안전계획 (6-2-1-4)	기후변화에 대한 선제적 적응 및 대응을 통해 국민의 생명과 재산을 보호하기 위해 도시·군관리계획 수립 시 자연재해대책법 제 16조에 따른 풍수해저감 종합계획을 고려하여 계획
환경성검토 (7-2-3)	환경성검토는 도시·군 관리계획이 환경오염, 기후변화, 생태계 및 주민의 생활에 미치는 영향의 원천적 해소·저감을 목표

출처: 국토교통부 훈령 제551호 도시·군관리계획수립지침

□ 지구단위계획수립지침

- 지구단위계획은 토지이용의 합리화, 기능능진, 경관·미관 개선, 양호한 환경 확보, 체계적·계획적 개발·관리를 위해 건축물 그 밖의 시설의 용도·종류 및 규모 등에 대한 제한을 완화하거나 건폐율 또는 용적률을 완화하여 수립하는 계획으로 산업유통형 지구단위 계획에서 기후조절 부문을 통해 미기후 관리적 요인들을 고려

표 3-3 지구단위계획수립지침 중 산업유통형 지구단위계획의 도시 미기후 부문

구분(조항)	내용
5-5-4-1	개구부는 여름철 풍상측을 향하게 하고 자연환기가 잘되게 함
5-5-4-2	열기가 발산되는 공장시설은 충분한 냉각장치 마련
5-5-4-3	홍수발생지역은 시설물 설치 지양하고 홍수방재구역으로 이용
5-5-4-4	버스정류소는 눈과 비바람을 피할 수 있도록 설치
5-5-4-5	- 옥외의 생활중심부나 공공공간에 분수대나 환경조형물을 설치 - 차양-파라솔 등 가로시설물을 설치하여 여름의 태양을 차폐

출처: 국토교통부 훈령 제407호 「지구단위계획수립지침」

43) 도시·군관리계획의 수립절차는 수립 전 당해 시·군의 자연적·사회적·경제적 현황조사와 계획상 필요한 현황조사를 실시하고 기후변화 재해취약성분석을 수행하여 그 내용을 도시·군관리계획서에 첨부

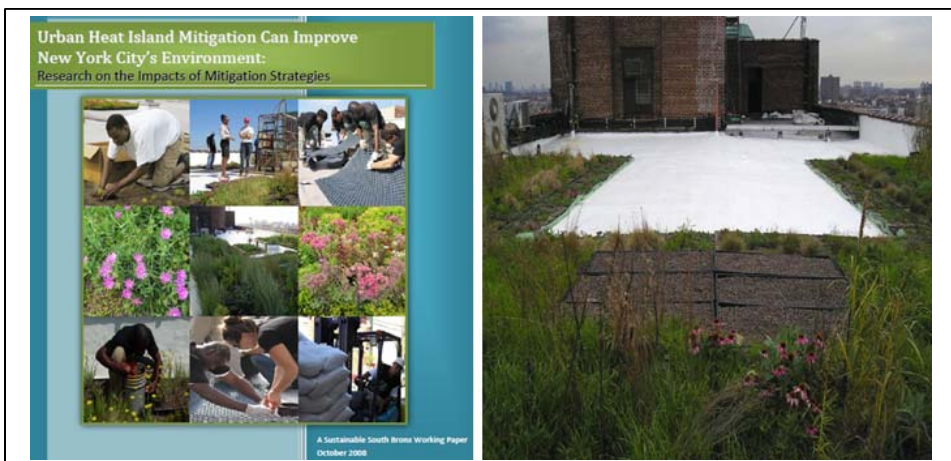
2. 도시 미기후 관리 사례

1) 뉴욕市 도시열섬 관리

□ 뉴욕시(New York City, NYC) 도시열섬 관리 핵심목표: 최대전력수요관리

- 뉴욕시는 최대전력수요가 증가할수록 화력발전설비를 늘림으로서 발생하는 배출오염 및 보건위해 등 부작용들을 근본적으로 해결하기 위해서 도시의 온열환경 구조 자체를 구조적으로 개선하는 정책을 추진하고 있음⁴⁴⁾
- 특히 (1)교목 식재량 증가 및 (2)쿨 루프(cool roof) 및 그린루프(green roof) 조성을 통한 인공피복의 개선을 주요 열섬완화 전략으로 추진

그림 3-1 NYC South Bronx 열섬완화 프로그램 및 Smart Roof



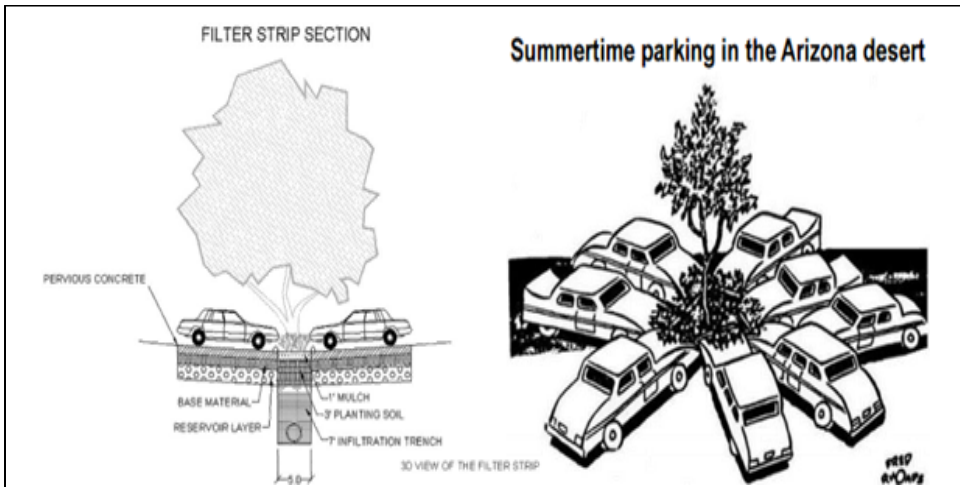
출처: Rosenthal, J. K., Crauderueff, R., Carter, M. 2008. Urban Heat Island Mitigation Can Improve New York City's Environment. Sustainable South Bronx: New York, NY, USA. pp. 1-11. 저자 재구성.

44) 화력발전소들의 전력생산과정에서 지구온난화를 가속화하는 이산화탄소를 다량 배출하고 이와 더불어 화력발전 및 자동차 엔진 연소과정에서 발생하는 일산화탄소(CO), 질소산화물들(NO_x) 및 휘발성유기화합물들(volatile organic compounds, VOC_s)은 상대적으로 기온이 높고 자외선이 강한 도시에서 화학적으로 잘 반응하여 결합되고 이로 인해서 도심에서 인체에 위한 오존(O_3) 생성률 및 호흡기 또는 폐질환 발생 비율이 교외지역보다 높게 조사되고 있어 최대전력수요 대비 화력발전소 증설정책을 버리고 도시의 체질개선 정책을 선택

2) 새크라멘토市(Sacramento) 주차장 그늘 조성

- 캘리포니아는 강한 자외선, 도시열섬, 자동차의 NOx 및 VOCs 배출로 여름마다 고농도 오존(O₃)발생 빈도 높아 도시민의 보건 위생에 비상
- 주차장 그늘 조성 조례(Parking Lot Shade Ordinances)를 통해 주차장 공간에 50%이상의 그늘(shade)확보를 위해 도시림 캐노피 비율을 의무화
- McPherson et al(2002)에 의하면 아래와 같이 캘리포니아의 기후적 특성과 도시민 문화의 선호도와 관련한 이유들로 인해 “주차장 그늘 조성 조례”가 충분히 이행되지 않는 것으로 조사
 - 여름철 덥고 건조한 새크라멘토시의 기후적 특성으로 인해 그늘을 조성할 수 있는 수목의 식재에 많은 관리적 부담이 있으며 새크라멘토시가 보유한 차량 대수에 비하여 이를 수용할 만큼 충분한 주차장 교목들과 녹음이 부족
 - 시민들은 주차장의 수목 캐노피가 전신주를 훼손하거나 또는 야간에 가로등 불빛을 차단하여 야간안전 위협하는 기반시설의 기능저해 요인으로 인식

그림 3-2 Sacramento 주차장 그늘 조성 조례 지침 및 문제점

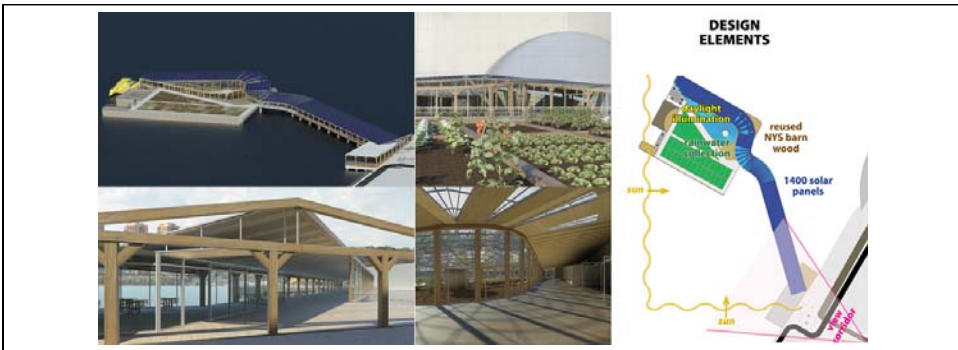


출처: McPherson, E. G., Simpson, J., Scott, K. 2002. Actualizing microclimate, air quality benefits with parking lot shade ordinances. Wetter und Leben 4(98): 353-369. 저자 재구성.

3) 하렘피어스농장(Harlem Piers Farm)

- 태양광 발전 설비를 통한 다기능성 확대를 제안하는 설계사례
- 뉴욕시 허드슨 강변 있는 오래된 부두/허간을 시민들의 공동농업, 교육 다양한 건축적 기능과 목적을 가지는 건물통합형 태양광발전(Building Integrated PhotoVoltaic, BIPV)설비 형태로 정비하여 활용하는 방향으로 설계안 작성
- 건축요소를 확대해서 빗물을 받아 농업용수로 활용하고 전기 및 온수를 생산하는 등 기존의 기능들을 수용하면서 문화적, 사회적 가치를 증진하는 방향 제시

그림 3-3 뉴욕시 하렘피어스농장(Harlem Piers Farm) 설계안



출처: <http://archinect.com/firms/project/106324/urban-farm-sustainably-repurposed-nyc-harlem-pier/>
38305497(최신접속일: 2016.7.30.). 저자 재구성.

표 3-4 뉴욕시 하렘피어스농장(Harlem Piers Farm) 설계안

구분	내용
부지 면적	약 5,054m ²
건물 면적	2,717m ²
정원/온실 면적	2,000m ²
추진 프로그램	커뮤니티 정원, 카페, 자전거 대여, 수상택시 역, 지역 사회 허브
지속가능한 디자인 특징	건물통합형 태양광발전(BIPV), 태양열 패널, 빗물 수집 및 저장 장치, 허간목재 재사용, 자연광 조명(daylight illumination)
연누적전기생산	약 27만kWh
연누적빗물저장	약 530m ³

출처: Urban Farm <http://archinect.com/firms/project/106324/urban-farm-sustainably-repurposed-nyc-harlem-pier/>
38305497(최신접속일: 2016.7.30.). 저자 재구성.

4) 애리조나 파워파라솔(PowerParasol®)

- 파워파라솔(PowerParasol®)은 기술 활용모델을 통해 저탄소 녹색성장 산업에 동참하면서 더불어 다기능성의 확대를 통해 이용자들의 공간적 경험과 만족을 확장하는 체계를 제시
- PowerParasol® 관련 건축 및 에너지 기술들은 에너지 산업의 미래 및 미래세대의 수요전망에 맞춰 정책적으로 추진
- 현재 다수의 PowerParasol®프로젝트 수행사례들이 수행되어 평가되고 있음
 - 아리조나주립대학교(ASU)의 Gammage 공원길, Memorial Union, 59번 주차장 필지(Lot 59), 및 Fry's 식품점 주차장 등에서 PowerParasol® 프로젝트가 장소적 특성으로 고려하여 고유한 형태로 수행

표 3-5 PowerParasol® 수행 프로젝트

프로젝트	내용
아리조나주립대학교(ASU) Gammage 공원길	4,424㎡ (47,616 square foot) 면적을 1,716 개 태양광 패널 모듈들이 설치된 PowerParasol®로 덮어서 494 킬로와트의 직류(DC) 전기 생산
아리조나주립대학교(ASU) Memorial Union	3,330㎡ (35,840 square foot) 면적을 1,380 개 태양광 패널 모듈들이 설치된 PowerParasol®로 덮어서 397 킬로와트의 직류(DC) 전기를 생산하고 구조물 하부 공간에 조명, 음향, 조정 시설을 설치
West Bell 거리 2027번지 Fry's 식품점	6,949㎡ (74,800 square foot) 면적을 1,932 개 태양광 패널 모듈들이 설치된 PowerParasol®로 덮어서 580 킬로와트의 직류(DC) 전기를 생산하고 구조물 하부 공간에 220대를 주차할 수 있는 도로, 통로, 보행로 등 주차시설 설치
아리조나주립대학교(ASU) 59번 주차장 필지(Lot 59)	212,267㎡ (228,916 square foot) 면적을 7,584 개 태양광 패널 모듈들이 설치된 PowerParasol®로 덮어서 2.124 메가와트의 직류(DC) 전기를 생산하고 구조물 하부 공간에 800대를 주차할 수 있는 도로, 통로, 보행로 등 주차시설 설치

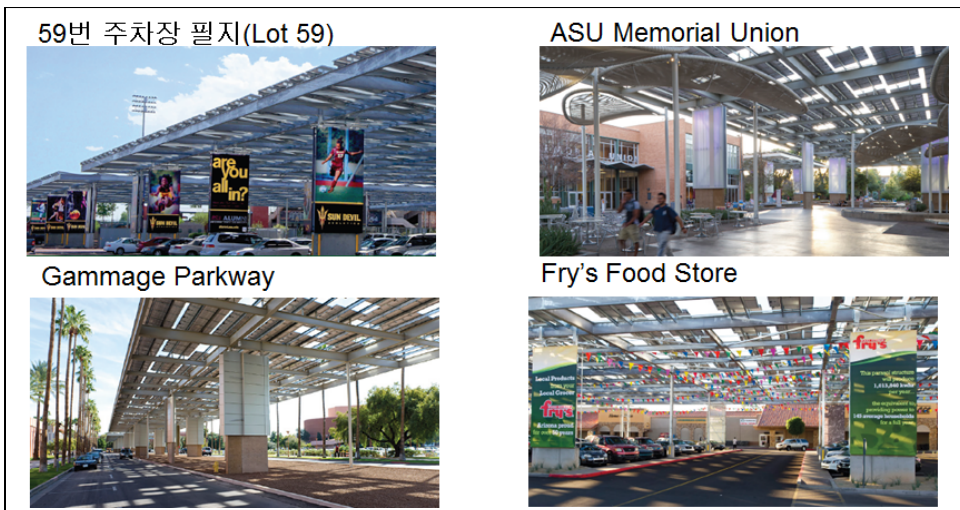
출처: <http://powerparasol.com/wp-content/uploads/2014/04/ENERGIZESeptember2014.pdf>. (최신접속일: 2016.7.30).
저자 재구성.

- PowerParasol® 상부의 태양광발전 패널을 통해 생성되는 태양에너지 자원의 가치보다 더 큰 사회적 가치와 공동이익(co-benefit)을 태양광 패널

하부공간의 다기능적 이용(건축/조경, 문화/예술 등)을 통해서 창출하는 것을 목적으로 하며 ‘토지의 가치 향상 및 효율적인 에너지 생산’을 지향

- 건축적 요소과 태양광발전 요소를 결합한 일종의 그늘조성 구조물
- 애리조나는 대체로 뜨거운 여름과 온화한 겨울의 기후적 특성
- 애리조나 주립대학교(ASU)와 애리조나 벤처업체가 식물의 생육에 불리한 기후 취약성을 보완하고 적응에 유리한 환경을 조성할 수 있도록 첨단 태양광에너지 자원화 기술과 건축기술을 융·복합하는 방안 제안
- 기능적이고 심미적이며 ‘에너지 생산-미기후관리’가 함께 하는 융·복합적 미래상(picture of future) 제시

그림 3-4 PowerParasol® 프로젝트 사례



출처: <http://powerparasol.com>. (최신접속일: 2016.7.30.). 저자 재구성.

- PowerParasol® 프로젝트 평가요소
 - 주요 평가 및 고려 요소로서 PowerParasol® 프로젝트는 신·재생에너지 생산 능력과 더불어 건축적 융·복합 구조물로서의 내구성(durability), 기능성(function), 심미성(beauty)을 평가요소로서 함께 고려

표 3-6 PowerParasol®의 평가항목 및 고려사항

평가항목	PowerParasol® 프로젝트 고려사항
내구성 (Durability)	• 입지의 선정 및 설치단계에서 내구성 확보를 위해서 다양한 계획적 요소를 반영. 설치이전 단계에서는 에너지산업 전문가들, 엔지니어들, 설치전문가들로 구성된 그룹이 부지분석, 타당성 분석, 프로젝트 단계와 관련된 중요 활동들을 함께 수행 • 태양광(photovoltaic, PV) 패널을 지지하기 위해서 약 7.3 m (24') 높이의 대형 철재 기둥 및 프레임은 건축적 요소로 도입 • 건축적 요소는 태양광패널 아래로 공기의 흐름을 원활하게 하여 냉각효과를 높여서 PV 패널 수명 연장에 기여 • 척박한 Arizona 기후적 요인들로부터 대형 구조물들의 내구성을 높임과 더불어 하부에 설치되는 모든 구조물의 내구성 및 수명 연장에 기여
기능성 (Function)	• 이용실적이 저조했던 옥외 공간들을 PowerParasol® 프로젝트를 통해서 유용하고 보행자 친화적인 공원들, 쇼핑물들, 놀이터들, 주차장들, 및 공공집회 장소들로 변화 유도 • PowerParasol® 프로젝트의 특허 받은 설계를 통해서 조성되는 “자연광이 들어오는” 일광조명 환경을 통해 구조물 하부공간을 잔디, 화초들, 관목들, 교목들이 함께 하는 공간으로 조경하여 사람들을 모으고 PV 패널 하부공간을 편안한 옥외 휴식공간으로 조성 • 2013년 아리조나주립대학교(ASU)는 기념관 옥외에 PowerParasol®을 설치하였으며 이를 통해 한때 학생들의 수업이동 통로로 지나치던 장소가 인지도 높은 모임장소로 변화 • 커피전문점, 서점 등은 기후 친화적인 옥외로 서비스 공간을 확장 • ASU 학생회의 지원을 받아 ASU PowerParasol® 아래에서 정기적인 야간영화 상영, 콘서트 등 다양한 이벤트들과 활동들이 만들어지고 이는 대학문화 및 공동체 의식 형성에 기여
심미성 (Beauty)	• PowerParasol®은 심미적인 요소를 추가하여 건축적으로 설계 • 설치를 의뢰하는 기관들은 소비자들, 학생들, 또는 직원들이 보다 향상된 시각적 경험을 누릴 수 있도록 설계 요청 • 분위기 조성을 위해 창의적 LED 조명들과 음향시설들 함께 설치 • PowerParasol® 각각은 주변 건축물들과 조화되도록 독창적으로 설계

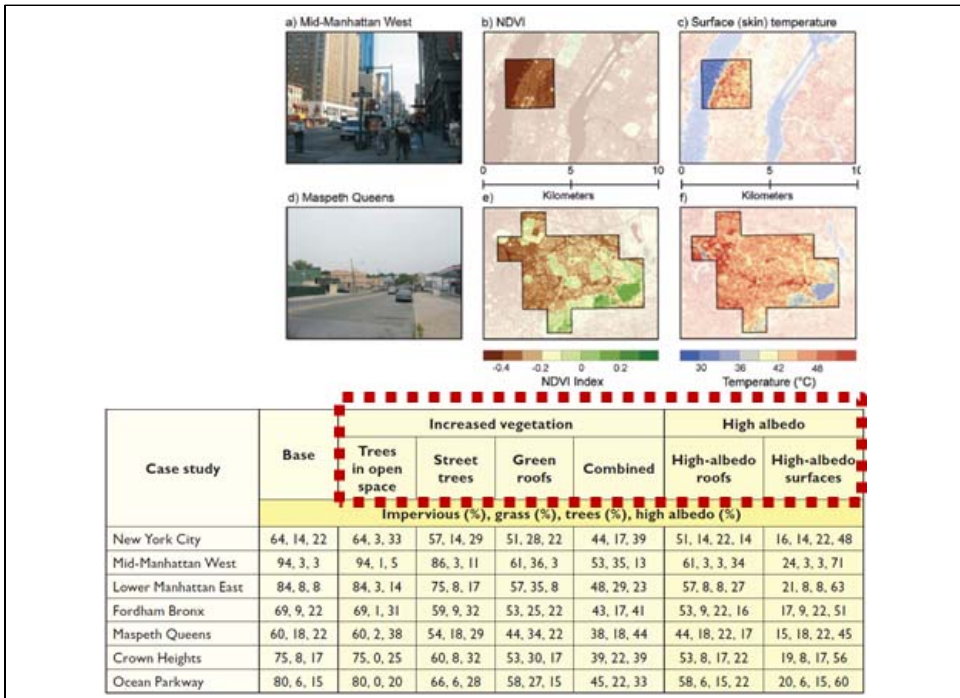
출처: <http://powerparasol.com/wp-content/uploads/2014/04/ENERGIZESeptember2014.pdf>. (최신접속일: 2016.7.30.).
저자 재구성.

5) 도시 미기후 관리 효과

□ 도시의 회복 개선을 통한 미기후 관리 효과⁴⁵⁾

- Rosenzweig et al. (2009)은 도시열섬완화 수단들인 도시 숲(urban forestry), 옥상녹화(living roofs), 그리고 알베도 높은 페인트 활용(light surface) 정책을 이행할 경우 뉴욕시(NYC)에서 기대할 수 있는 잠재적인 기온저감 효과를 시뮬레이션 하였으며 이를 통해 인위적인 노력으로 얻을 수 있는 뉴욕시의 도시 전체 평균기온 저감 효과를 최대 1.5℃까지 추정하였음⁴⁶⁾

그림 3-5 NYC 사례지역의 식생 증가 및 반사율 증가에 따른 조사 특성



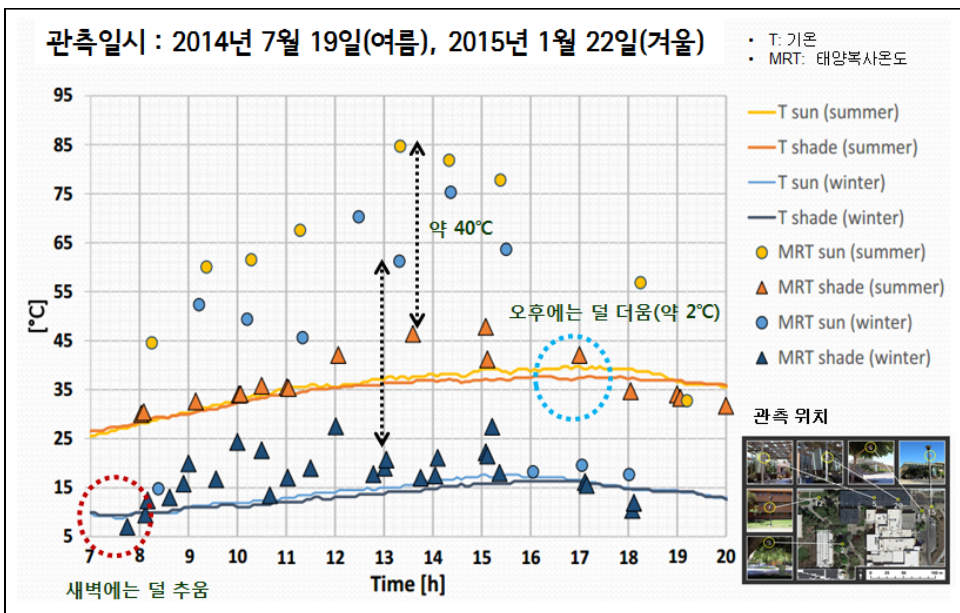
출처: Rosenzweig et al. 2009. Mitigating New York City's heat island: Integrating stakeholder perspectives and scientific evaluation. BAMS 90. p.1302. and p.1307. 저자 재구성.

45) 여름철 도시 미기후 관리 효과는 시간적으로 주간과 야간의 최고·최저기온 감소, 공간적으로 도시와 교외의 상대적 온도편차 감소를 통해 측정 가능

46) Rosenzweig et al. 2009. Mitigating New York City's heat island: Integrating stakeholder perspectives and scientific evaluation. BAMS 90. pp. 1306-1308 을 참고하여 작성

- McPherson et al. (2002)은 여름철 도시열섬현상이 크게 나타나는 캘리포니아 새크라멘토시 주차장에 교목 식재(tree planting)정책을 추진하면 (1)주차장 기온이 감소하고, (2)주차된 차량 내부의 온도도 감소하며, 결과적으로 (3)차량의 연료통에서 누출되는 휘발성유기화합물(VOCs)의 배출이 줄어드는 등 미기후가 개선되고 이로 인한 사회·환경적 이득이 발생할 것임을 제시⁴⁷⁾
- Middel et al. (2016)은 PowerParasol[®]이 주간에 태양일사를 차단하고 야간에 지표면복사를 차단하여 온화하고 쾌적한 미기후(Goldilocks Microclimate)를 조성함을 관측을 통해 검증(Middel et al., 2014, Middel et al., 2015)

그림 3-6 PowerParasol[®] 미기후(기온)조절 효과



출처: Middel et al. 2016. Microclimate Effects of Photovoltaic Canopies: Ongoing Research Projects. 포스터발표자료. 저자 재구성.

47) McPherson, E. G., Simpson, J., Scott, K. 2002. Actualizing microclimate, air quality benefits with parking lot shade ordinances. Wetter und Leben 4, no.98: 353-369을 참고하여 작성

- PowerParasol[®]의 내부(음지)와 외부(양지)의 기온(air temperature, T) 차이를 여름철 및 겨울철 시간대 별 조사결과 여름철 오후 3시 경에는 내부가 외부보다 온도가 약 2℃ 정도 낮은 것으로 나타남
- 겨울철의 밤시간 기온 분포를 보면 PowerParasol[®] 내부가 야간 복사차단 효과로 인해서 외부보다 온도가 1℃ 정도 높은 것으로 나타남
- 태양복사온도(mean radiant temperature, MRT)의 경우 여름철·겨울철 모두 내부(약 0℃ 이상 차이)가 외부(약 40℃ 이상 차이)보다 온도가 약 20℃ 정도 일평균 온도차가 낮게 나타남

□ 도시 국지기후대(Local Climate Zone) 별 야간 평균기온 저감 효과

- 2010년 3월, 구름과 바람이 없는 밤 시간 밴쿠버시(Vancouver)에서 각각의 국지기후대 유형별 온도 관측 결과 고층 고밀에서 가장 높은 기온분포가 나타나고, 저층 식생지역에서 가장 낮은 기온분포 조사
- 이동형차량 관측에서 국지기후대 유형별 평균 약 6℃ 내외 온도차 발생

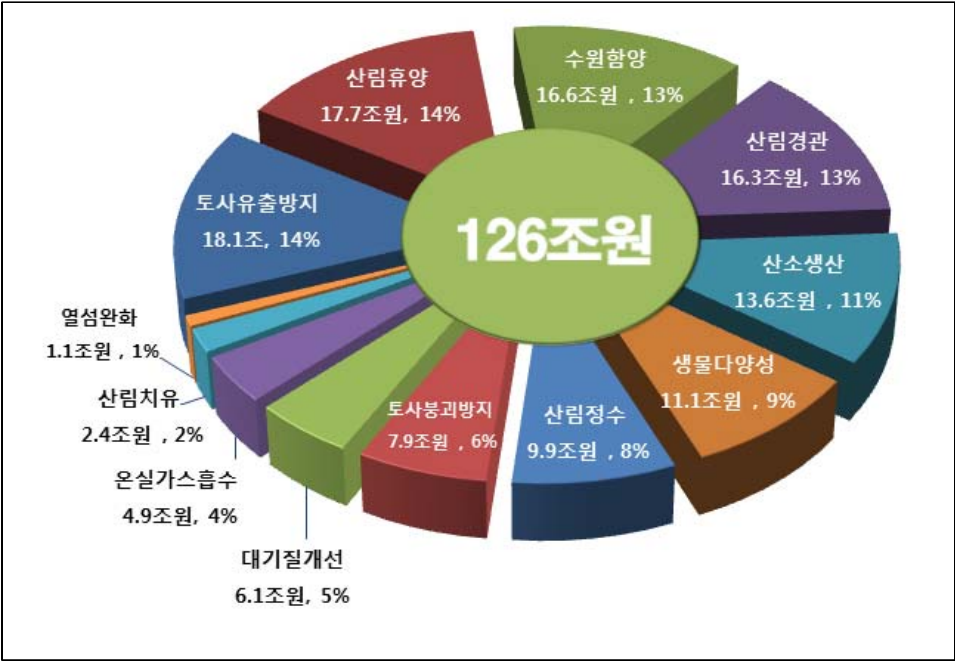
□ 우리나라 도시림의 열섬저감 효과

- 우리나라 도시림의 열섬완화 효과의 공익적 가치는 약 1조 1천억원 수준
- 산림과학원에서는 2014년을 기준으로 토사유출방지 18조 1천억원(14.4%), 산림휴양 17조 7천억원(14.1%), 수원함양 16조 6천억원(13.2%), 산림경관 16조 3천억원(13.0%), 산소생산 13조 6천억원(10.8%), 생물다양성보전 11조 1천억원(8.8%), 산림정수 9조 9천억원(7.9%), 토사붕괴방지 7조 9천억원(6.3%), 대기질개선 6조 1천억원(4.8%), 온실가스흡수 4조 9천억원(3.9%), 산림치유 2조 4천억원(1.9%), 열섬완화 1조 1천억원(0.9%)을 합한 우리나라 산림이 가지는 공익기능의 가치를 약 126조 원으로 평가하였음⁴⁸⁾
- 2014년 처음으로 산림의 열섬완화가 가지는 공익기능의 가치를 평가하였으

48) 2014년 기준 산림공익기능 평가결과보고 (<http://www.forest.go.kr>, 산림청 기자브리핑 자료, 2016. 3. 30)를 참고하여 작성

며 여름철 도시림의 온도조절기능 때문에 발생하는 전력소비량 감소 비용을 대체비용법⁴⁹⁾으로 평가한 결과로 약 1조 9백 60억원(총 공익가치의 1%)의 공익적 가치가 발생할 것임을 제시하였음

그림 3-7 산림의 공익기능 평가(2014년 기준)



출처: <http://www.forest.go.kr>. 2016년 국립산림과학원 10대 뉴스 발표. (최신접속일: 2016.7.30.).

49) 산림으로부터 받는 혜택을 대체하는데 드는 비용으로 평가하는 방법

CHAPTER 4

서울 주변 수도권의 도시 미기후

01 접지기층 열환경 분포	49
02 일사량 분포	62
03 용도지역지구와 도시열섬의 관계	65

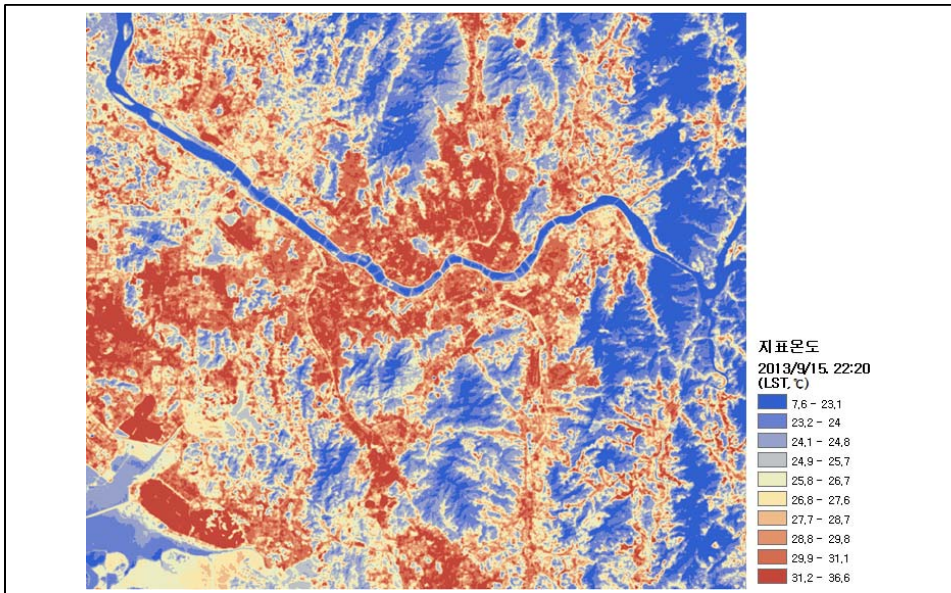
서울 주변 수도권의 도시 미기후

1. 접지기층 열환경 분포

1) 지표온도 분포

- 구름이 적은 야간(2013. 9. 15 22:20)에 Landsat 위성의 열적외선(Thermal Infra-Red, TIR) 영상으로부터 지표온도(Land Surface Temperature, LST, °C) 산출결과 여름 밤 서울 및 수도권의 지표면 접지기층에서의 도시 열섬강도가 주변보다 높은 것으로 조사(약 29°C 차이, 7.6°C~36.6°C)

그림 4-1 서울 및 주변 수도권의 야간 지표온도

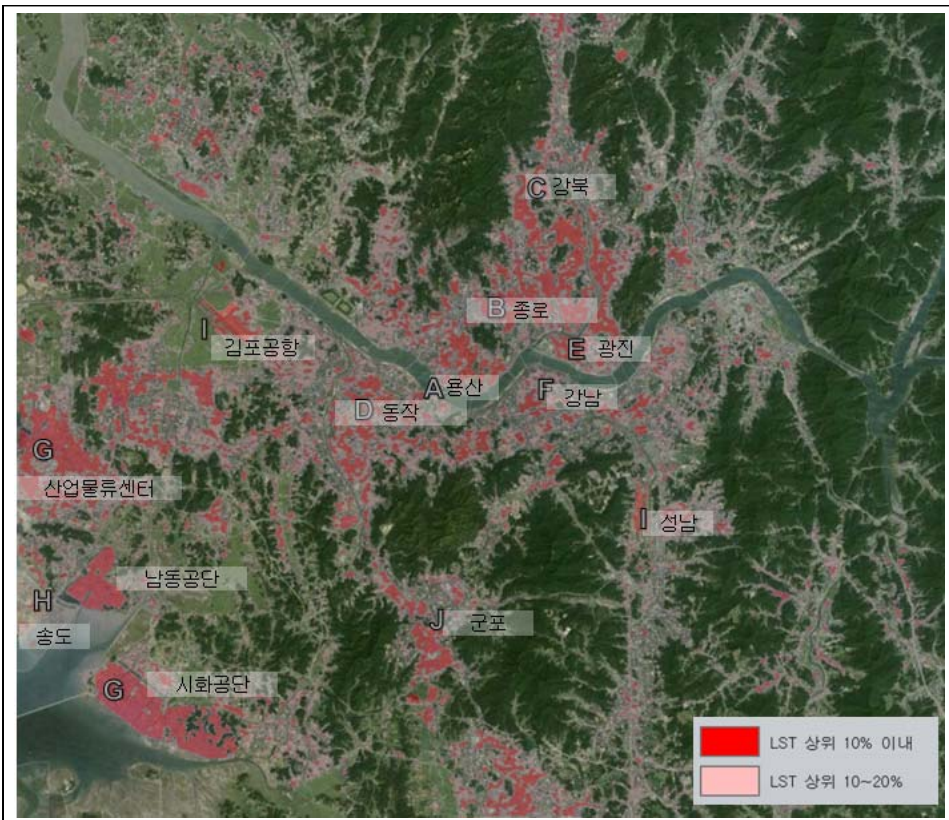


자료: 저자작성.

□ 서울 및 수도권 일대 접지기층 열섬 분포

- 서울 및 수도권 접지기층 야간열섬⁵⁰⁾ 공간분포 특성 조사 결과 인공피복비율이 높은 (1) 산업단지(안산시화공단, 인천 남동공단 및 물류산업단지), (2) 공항(김포공항 및 성남비행장), (3) 저층의 구시가지에서 큰 규모 도시열섬이 형성
- 지역별 조사(A~J)에서는 한강 이북 지역에서 도시열섬이 집단화 되고 큰 규모로 나타난 반면 한강 이남에서는 열섬이 파편화되고 작은 규모로 형성되고 있음

그림 4-2 서울 주변 수도권 일대의 접지기층 야간열섬 분포



자료: 저자작성.

50) 열섬의 범위에 대한 견해가 다양하나 이 연구에서는 열섬(heat island)라는 현상을 공간적으로 구현하기 위해서 LST 분포 상위 20% 지역을 수도권 일대의 접지기층 야간열섬 발생지역 우려지역으로, LST 분포 상위 10% 지역을 접지기층 야간열섬 발생지역으로 간주하고 공간적 분포특성 조사를 수행하였음

□ 용산구 일대 접지기층 열섬 분포 (A)

- 용산구 일대 접지기층 야간열섬 조사결과 한강 및 남산을 중심으로 하는 큰 산림 분포 지역의 접지기층 열섬강도가 매우 낮게 형성(지표온도 낮음)
- 시가화지역 중 저층 건물 밀집지역인 한남동 재정비 촉진지구 및 (구)용산미군기지 일대의 지표온도가 높게 형성
- 시가화지역 중 한강변에 위치한 고급 고층건물지역의 야간지표온도가 낮고 접지기층 야간열섬이 파편화되어 형성
- 구 용산미군기지 및 한남동 재정비 촉진지구⁵¹⁾는 열섬이 집단화 되어 넓은 면적에 걸쳐서 형성
- 용산역 일대는 통풍조건 및 일부 옥상녹화로 위/아래 지역보다 지표온도가 낮고 접지기층 열섬도 작게 형성

그림 4-3 용산구 일대의 접지기층 야간열섬 분포



자료: 저자작성.

51) 서울특별시도시 제 2006-357호(2006.10.19.) 목적: 노후 불량주택이 밀집되고, 도로·공원 등 기반시설이 열악한 보광동 일대의 주거환경개선과 기반시설 확충 등을 통한 종합적·체계적 도시정비를 위하여 재정비촉진지구로 지정

□ 종로구 일대 접지기층 열섬 분포 (B)

- 구시가지인 종로구는 오래된 전통가옥들이 다수 분포하고 있어 용도지역지구도 상에서 방화지구⁵²⁾로 지정
- 북한산 아래에 있는 종로구 일대는 고궁터인 경복궁, 창덕궁 및 대학교 캠퍼스 등의 열섬강도가 낮게 형성
- (구)세운상가 일대, 신당동, 보문동, 서울약령시장, 마장동 등 구시가지 건물의 열섬강도가 높게 형성
- 서울시청 일대, 청구아파트 일대, 왕십리 뉴타운 일대 및 청계천 복원사업을 통해 정비된 지역은 상대적으로 열섬강도가 낮게 형성
- 세운상가 일대 등 주변에 저층건물 밀집지역이 넓게 분포하는 일부구역에서는 수변구역(청계천)이 조성되어도 열섬강도가 상대적으로 높게 형성⁵³⁾

그림 4-4 종로구 일대의 접지기층 야간열섬 분포



자료: 저자작성.

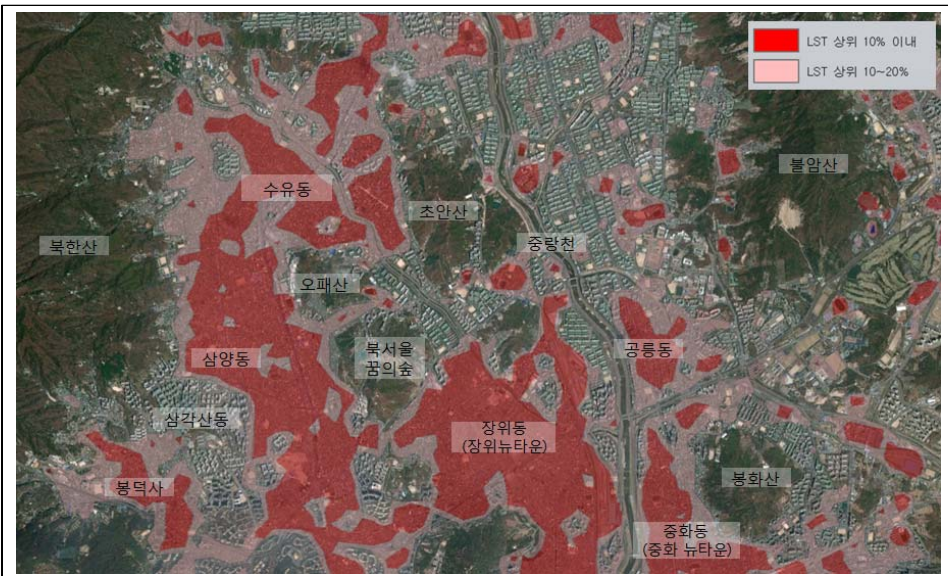
52) 서울시는 지정된 방화지구 107개소(약 3.5km²) 중 각종 개발 및 정비사업이 완료됨에 따라 기능을 상실한 방화지구 68개소 일괄폐지를 위한 도시관리계획 결정(서울특별시공고 제 2014-887호)

53) 이 연구는 Landsat 열적외선 자료를 이용하였으며 조사규모 및 방법에 따라 열섬의 규모와 분포는 다르게 해석될 수 있음

□ 강북구 일대 접지기층 열섬 분포 (C)

- 북한산, 초안산, 불암산, 봉화산 및 산림이 고루 분포하고 있는 강북구의 경우 이러한 주요 거점녹지들 및 중랑천과 연결되어 있음
 - 양호한 통풍환경⁵⁴⁾ 지역에서는 열섬강도가 상대적으로 낮게 형성
- 북한산 자락에 인접한 저층 단독주택 밀집지역의 경우 비슷한 밀도의 주거지 분포를 가지는 삼양동에 비해서 상대적으로 열섬강도가 낮게 형성
- 수유동, 삼양동, 장위동, 중화동의 경우 열섬효과가 상대적으로 크게 형성
 - 장위동 및 중화동은 뉴타운 조성예정지 위치
 - 뉴타운이 조성된다면 주변 고층아파트 단지처럼 지표 인공 피복비율 감소 및 고층건물에 의한 그늘효과로 도시열섬현상이 저감될 것으로 전망⁵⁵⁾

그림 4-5 강북구 일대의 접지기층 야간열섬 분포



자료: 저자작성.

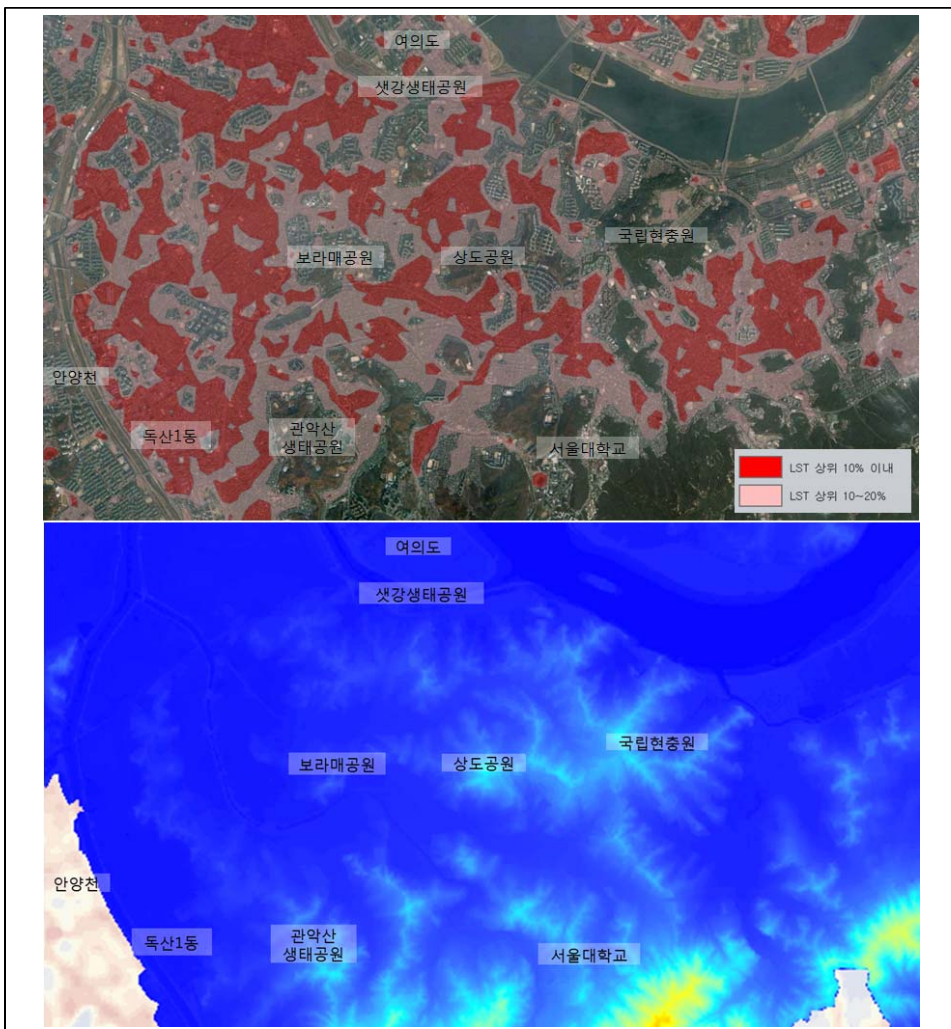
54) 양호한 통풍환경에 대한 평가는 건물의 배치 및 인동간격의 시각적 판단을 통해 결정하였음

55) 서울시는 제18차 도시계획위원회를 통해서 성북구 장위동 일대 장위12 주택재개발정비구역 등 7개 구역 (70.2ha)을 해제(도시 및 주거환경 정비법제4조의3 제1항5호[시행 2016.9.1.] [법률 제13782호, 2016.1.19., 타법개정])

□ 동작구 일대 접지기층 열섬 분포 (D)

- 동작구의 경우 구릉성 지형에 위치하고 있으며 이러한 지형특성에 의해 보호된 산림자원들 및 공원녹지들에 의해 도시열섬들이 파편화되는 형태
- 개발 가능한 대부분의 토지가 개발되었으나 재개발로 고층 저밀도 아파트들이 들어서면서 동작구 접지기층 열섬을 파편화하여 열섬 저감에 기여

그림 4-6 동작구 일대의 접지기층 야간열섬 분포 및 지형분포

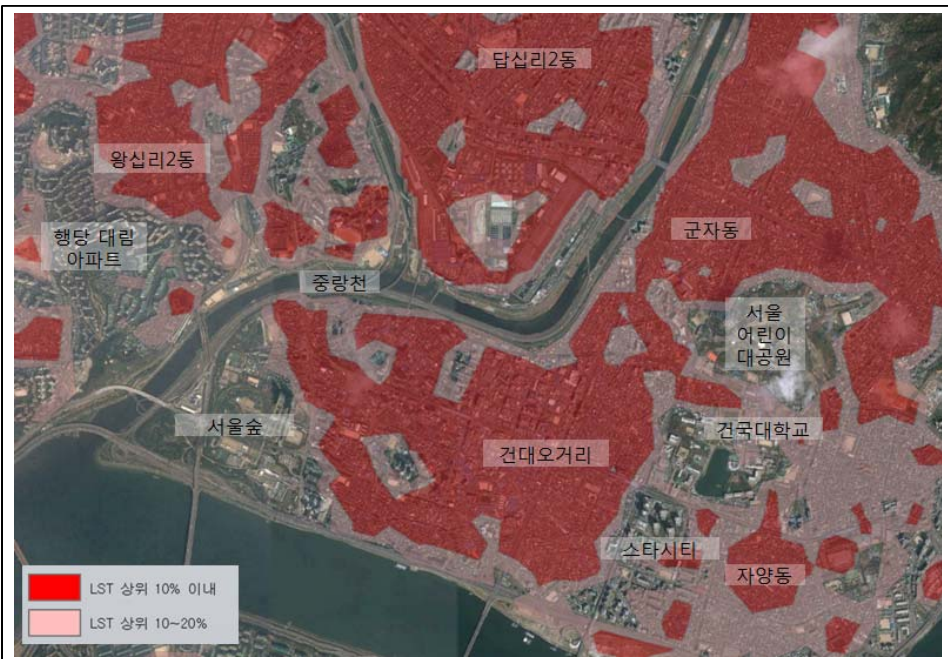


자료: 저자작성.

□ 광진구 일대 접지기층 열섬 분포 (E)

- 광진구 일대는 서울시 기상관측망 자료에서 매년 도시열섬 강도가 높아서 도시 미기후 관리 조치를 우선적으로 검토할 필요성이 있는 자치구
- 소규모 공장시설들이 건대 오거리 주변에 밀집되어 있으며 군자동, 답십리, 왕십리 일대에서 큰 규모의 야간 접지기층 열섬이 형성
- 한강, 중랑천, 아차산, 서울어린이대공원, 서울숲, 건국대학교 캠퍼스 등이 광진구의 접지기층 열섬을 저감하는 거점으로서의 역할을 수행
- 최근 건국대학교 저밀도 고층건물들과 스타시티와 같은 초고층빌딩들이 들어서며 광진구의 접지기층 야간열섬을 파편화
- 건대오거리 저층 고밀 지구의 접지기층 열섬 분포는 건물의 밀집도와 배치에 따라 강변에서 같은 거리에 있더라도 열섬강도가 다를 수 있음을 시사

그림 4-7 광진구 일대의 접지기층 야간열섬 분포



자료: 저자작성.

□ 강남구 일대 접지기층 열섬 분포 (F)

- 강남구는 고층빌딩에 의한 접지기층 열섬 파편화가 가장 뚜렷하게 형성
- 청담공원, 봉은사, 정릉, 서리풀 공원, 도곡공원 등 작은 녹지들이 배치되어 있고 테란로 좌우로 형성된 고층빌딩들과 저밀도 고층아파트 단지들에 의해 접지기층 열섬들이 잘게 파편화 되어 있으며 논현 1동, 역삼동, 대치 4동, 잠실종합운동장, 잠실본동 등에서 비교적 큰 규모의 접지기층 열섬이 형성
- 신사동, 반포 3동 등 한강변에 위치한 저밀도 고층아파트 단지에서는 풍부한 바람, 낮은 인공피복 비율, 충분한 그늘의 형성으로 인해 주간에 접지기층이 천천히 가열되고 야간에 빨리 냉각되어 접지기층 열섬이 미미하게 형성
- 그러나 한강변으로부터 200~300m 내부로 들어오게 되면 한강변을 따라 병풍 처럼 나란히 늘어서 있는 고층 아파트 건물배치로 인해서 동일한 인공피복 비율과 지표형상을 가짐에도 접지기층 열섬 발생 빈도와 강도가 높아지는 경향

그림 4-8 강남구 일대의 접지기층 야간열섬 분포

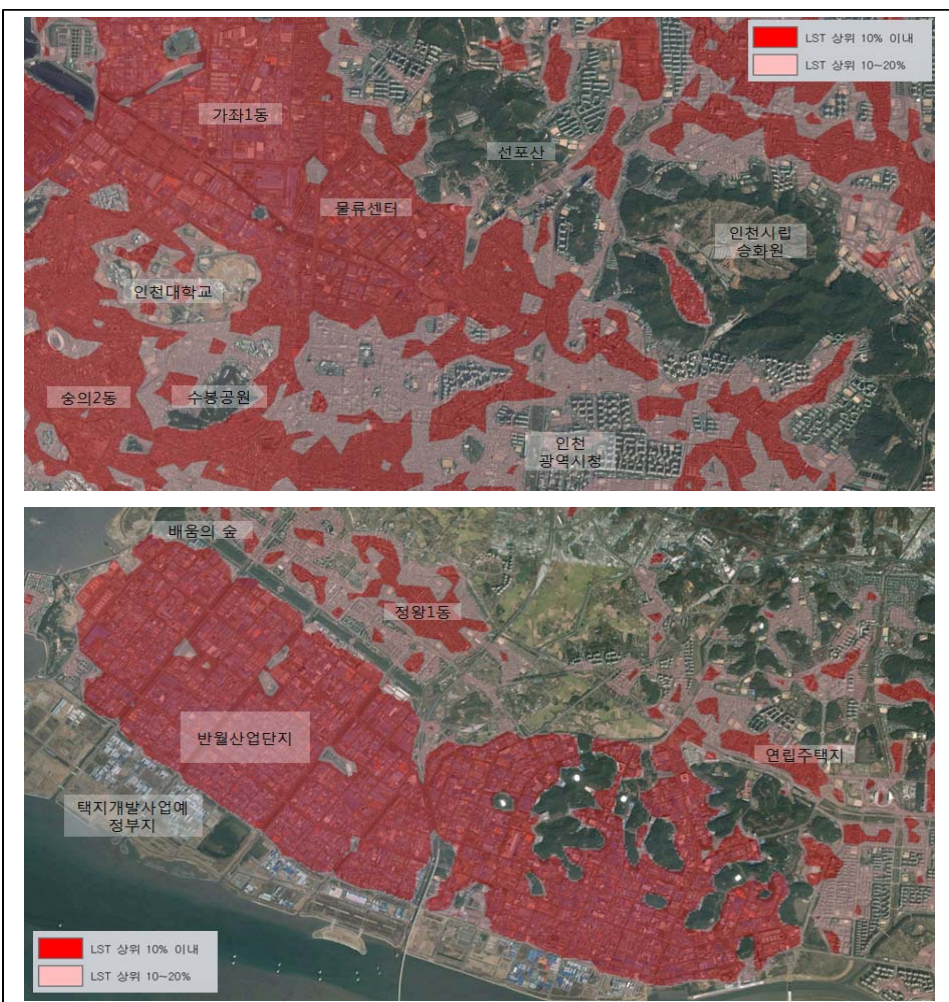


자료: 저자작성.

□ 산업단지 일대 접지기층 열섬 분포(1): 인천 물류센터 및 안산 시화지구 (G)

- 여름철 산업단지 일대는 주변지역보다 강도 높은 접지기층 열섬을 형성
- 인천 가좌동 및 안산 시화지구 일대는 해안에 인접하여 지면을 냉각할 바람이 풍부하지만 물류센터 내의 창고 건물 대부분이 열용량과 열전도율이 큰 강판재질의 공장지붕으로 구성되어 있어 여름철 야간에 강한 접지기층 열섬을 형성

그림 4-9 인천 물류센터 및 안산 시화지구 일대의 야간열섬



자료: 저자작성.

□ 산업단지 일대 접지기층 열섬 분포(2): 인천 남동공단 vs. 송도 신도시 (H)

- 송도신도시와 인천 남동공단은 인공피복 비율, 재질, 입체적 형태 등의 차이로 인한 접지기층 열섬 형성 결과가 극단적으로 비교되는 것으로 조사
- 송도 신도시의 경우 건물의 평면적이 큰 저층 단지에서 소규모의 접지기층 열섬이 나타나는 반면 인천 남동공단의 경우 산업단지 내의 녹지지역을 제외한 단지 전체가 강도 높은 접지기층 열섬을 형성
- 송도 신도시 북쪽의 접지기층 야간열섬은 아스팔트 및 콘크리트로 넓게 포장되어 있는 중고차 수출단지 주차장 및 송도 테마파크 주차장에서의 야간 열 방출로 인해서 발생
 - 중고차 수출단지 주차장 및 송도 테마파크 주차장 면은 약 50만㎡로 파워파라솔(PowerParasol®)처럼 합리적인 미기후관리 및 태양광자원 관리를 검토할 필요가 있음

그림 4-10 송도 신도시 및 인천 남동공단 일대의 접지기층 야간열섬 분포

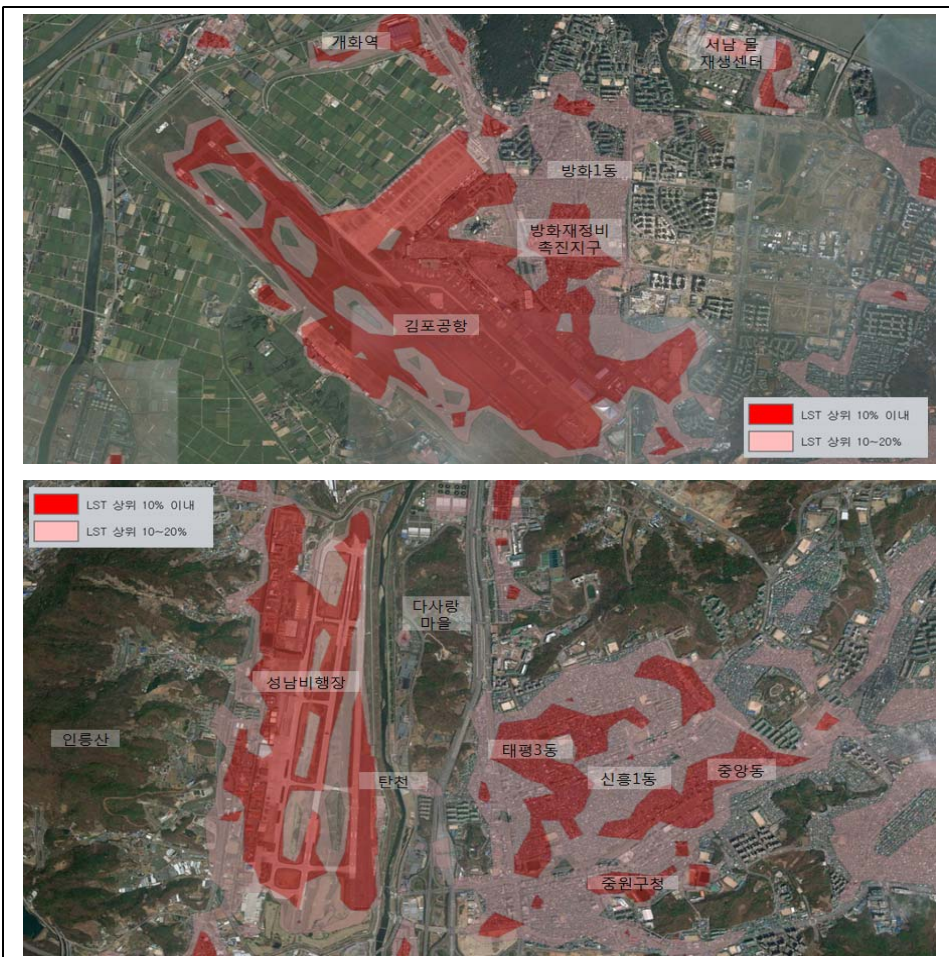


자료: 저자작성.

□ 김포공항 및 성남비행장 일대 접지기층 열섬 분포 (I)

- 김포공항 및 성남비행장 일대는 공항부지 특성상 비행기의 잦은 이·착륙으로 인한 인공열 효과 및 주간에 넓은 활주로(아스팔트 및 콘크리트)에 집적된 태양 에너지가 인한 일몰 후 야간에 방출되면서 큰 규모의 접지기층 열섬을 형성
- 방화재정비 촉진지구 및 성남 태평3동은 접지기층 열섬이 크게 형성
- 공항 주변의 농경지 및 주변의 고층 저밀도 건물단지는 열섬강도가 낮게 형성

그림 4-11 김포공항 및 성남비행장 일대의 접지기층 야간열섬 분포



자료: 저자작성.

□ 서울 주변 수도권 도시의 접지기층 열섬 분포: 안양시 vs. 군포시 (J)

- 수리산은 안양시와 군포시에 걸쳐 있으나 안양시는 수리산 자락에 저층 고밀 주거지가 입지되어 있고 군포시는 고층 저밀 아파트 단지가 들어서 있음
- 수리산에 인접한 안양시 주거지는 산자락에서 번어나자 바로 접지기층 열섬이 형성되는 반면 군포 주거지는 큰 접지기층 열섬이 거의 형성되지 않고 있음
- 군포시는 강철 재질의 공단 건물옥상들로 인해서 접지기층 열섬이 크게 형성

그림 4-12 수리산 인접지역 (안양 및 군포) 일대의 접지기층 야간열섬 분포



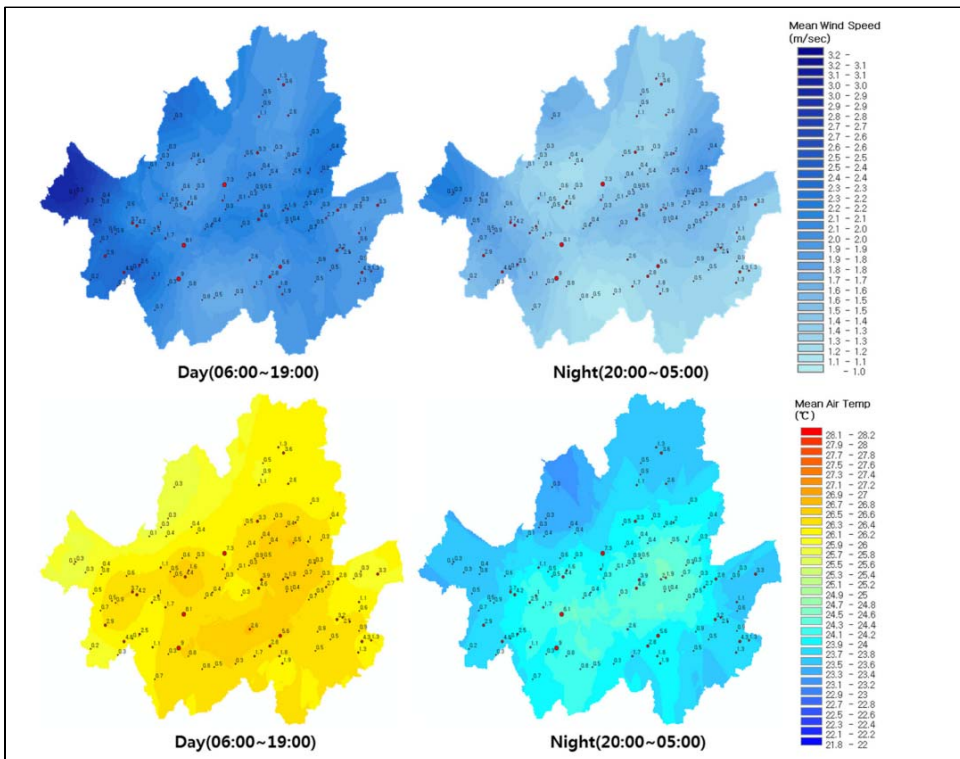
자료: 저자작성.

2) 서울의 바람분포와 온도분포 관련성

□ 서울시의 평균바람이 강하면 기온이 낮아지고 평균바람이 약하면 기온이 높아짐

- 이채연 외(2015)가 서울시의 기상관측망 및 고밀도 민간관측망을 이용하여 2013년 여름철(7월 1일 ~ 9월 30일) 주간/야간 평균바람 및 평균기온을 조사한 결과 건물들의 수평·수직 배치형태 관련 인자(거칠기길이)와 평균바람·평균기온 분포가 연관되어 있으며 평균바람과 평균기온이 음(-)의 상관성을 가지고 있음을 제시⁵⁶⁾

그림 4-13 수도권 기상관측망으로부터 나타나는 여름철 겨울 수도권의 도시열섬



출처: 이채연 외. 2015. 서울시 건물형태에 따른 거칠기길이 분포특성 연구. 대기 25(2) p. 346.

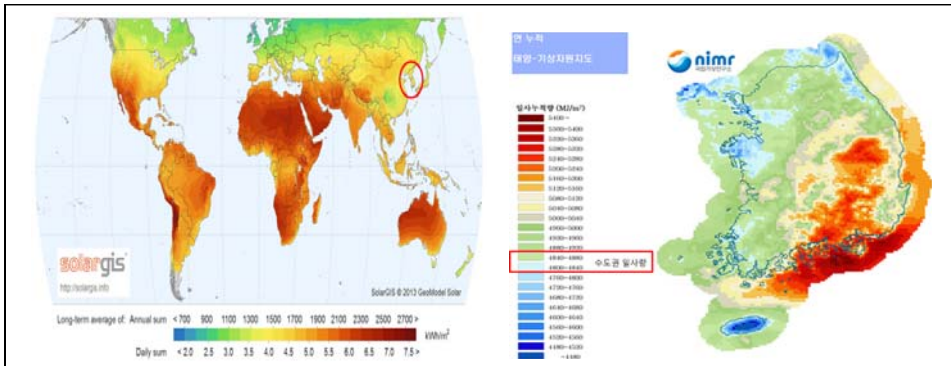
56) 이채연, 권태현, 박문수, 최영진, 안승만. 2015. 서울시 건물형태에 따른 거칠기길이 분포특성 연구. 대기 25(2): 339-351을 참고해 작성

2. 일사량 분포

1) 세계 및 국내 일사량 분포

- 태양에너지는 지구적 규모에서 해류 및 대류를 통해 열에너지 순환체계를 형성하는 기인이자 여름철 도시열섬을 야기하는 에너지의 근원
- 세계적으로 일사량이 낮은 지역은 $700\text{kW}/\text{m}^2$ 이하, 일사량이 높은 곳은 $2700\text{kW}/\text{m}^2$ 이상이며 한국은 연평균 약 $1300\text{kW}/\text{m}^2$ 수준
- 국내 연일사량이 낮은 곳은 $4,480\text{MJ}/\text{m}^2$ (약 $1,200\text{kW}/\text{m}^2$) 이하, 높은 곳은 $5,400\text{MJ}/\text{m}^2$ (약 $1,500\text{kW}/\text{m}^2$) 이상 분포(태양-기상자원지도⁵⁷⁾)
- 수도권 주요 도시들의 연평균 일사량은 $4,880\text{MJ}/\text{m}^2$ (약 $1,350\text{kW}/\text{m}^2$) 수준이지만 현재의 태양-기상자원지도가 지형에 의한 차폐효과를 고려하는 반면 건물 및 식생들과 같은 지표층을 구성하는 입체적 구조물들에 의한 영향은 고려되지 않고 있어 실제 일사량은 더 낮을 것으로 추정⁵⁸⁾

그림 4-14 세계 및 국내의 일사량 분포



출처: SolarGIS(<http://solargis.info>)(최신접속일: 2016.7.30.), 기상과학원(www.nimr.go.kr) (최신접속일: 2016.7.30.)

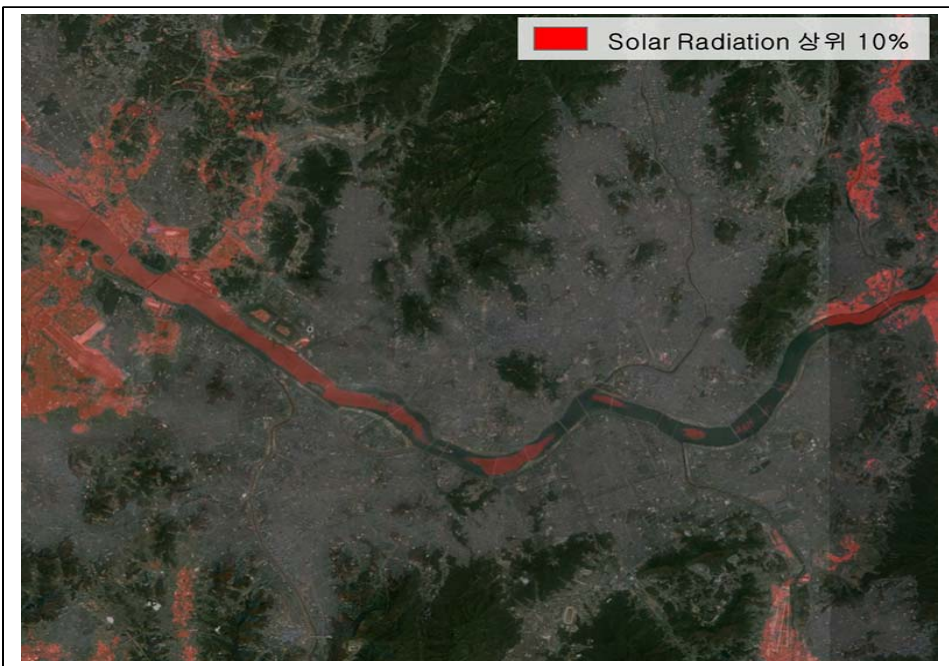
57) 구름 정보(cloud fraction), 습도, 강수량, 대기 중 오존, 이산화탄소, 에어로솔, 지형특성을 종합적으로 고려하여 4km 해상도 및 1km 해상도로 태양-기상자원지도 산출하여 2009년 배포

58) 입체적인 건물 밀도가 높은 서울 및 수도권 지역의 일사량 추정을 위해서는 수 m 정도의 상세한 해상도와 더불어 건물 및 교목들에 의한 일사차단 효과를 반영할 수 있는 모델이 필요함

2) 서울 주변 수도권 일사량(태양에너지) 분포

- 건물 및 산림(교목)들에 의해 일사가 차단될 때 지면에 도달하는 일사량(단파 복사, watt/m^2) 분포 우수지역을 조사한 결과⁵⁹⁾ 상위 10% 우수지역으로는 김포공항 일대, 하늘공원, 한강 수역 및 북쪽의 고수부지 일부가 건물 및 수목 등에 의한 햇빛 차단이 적어 상대적으로 높은 일사량을 확보하고 있으며 더불어 넓은 부지에 걸쳐 햇빛을 이용할 수 있는 부지를 확보하고 있음⁶⁰⁾
- 서울시 외곽으로는 고양시 일대 및 구리시 일대의 평야지대(농경지), 성남시 일대의 비행장 및 주변 평야지대에서 넓은 부지와 높은 일사량을 확보하고 있음

그림 4-15 태양광 자원(일사량)이 우수한 상위 10% 지역(건물 수목 고려)



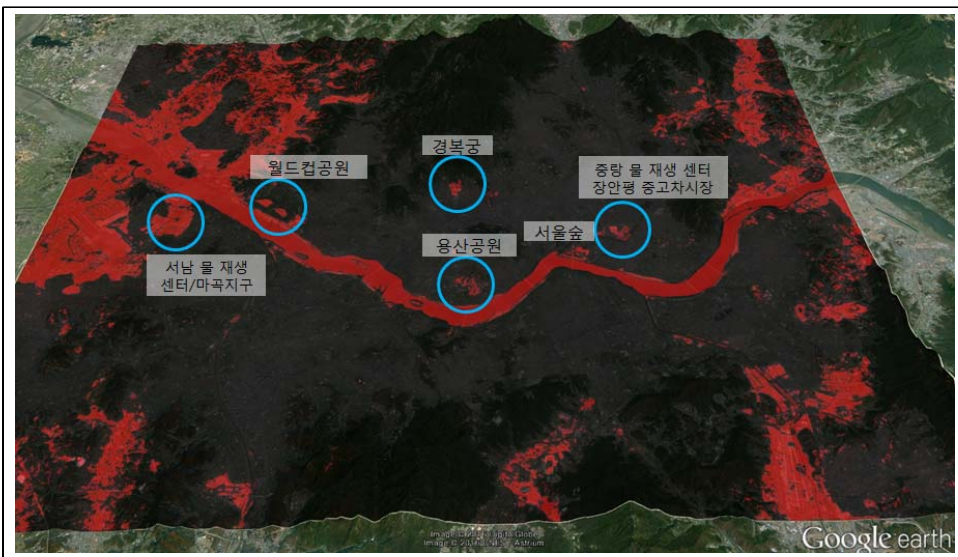
자료: 저자작성.

59) WISE 사업단의 수목과 건물의 차폐를 고려한 3차원 태양복사자료 이용(2015/8/20, 13:00)

60) 그 외 서울의 토지는 대부분 건물 및 수목들에 의한 일사(solar insolation) 차단으로 인해 상대적으로 태양광 자원 활용성이 낮았으며 아파트 건물 옥상(고층)의 경우 단위면적 당 발전량은 우수하였으나 설치가능 면적이 작았음

- 태양광 자원(단파복사, watt/m^2) 분포 우수지역 조사 범위를 상위 20%로 조정하면 단위면적당 일사량 평균은 감소하나 서울시 내에서도 건물옥상 면적 이상의 규모화 가능한 지역을 찾을 수 있음
- 김포공항 및 주변 평야지대와 월드컵 공원 일대 외에도 경복궁, 용산공원 ((구)용산미군기지), 서울숲, 중랑/서남 물재생 센터, 장안평 중고차 시장 부지, 강북지역 한강 고수부지 등 오픈스페이스가 일사량이 높게 나타나며 서울시는 공공용지를 대상으로 태양광 발전 지원 사업을 추진하고 있음(부록 참조)
- 서울시 외곽에서는 고양시 일대 및 구리시 일대의 평야지대(농경지)가 더 넓어지고 서울과 인접한 남양주, 하남, 성남, 광명, 부천 평야지대를 찾을 수 있음(넓은 부지와 높은 일사량을 가진 장소)
- 단위면적 당 1년간 일사되는 태양에너지는 약 $1,270\text{kW/m}^2$ 로 추산⁶¹⁾

그림 4-16 태양광 자원(일사량)이 우수한 상위 20% 지역(건물 수목 고려)



자료: 저자작성.

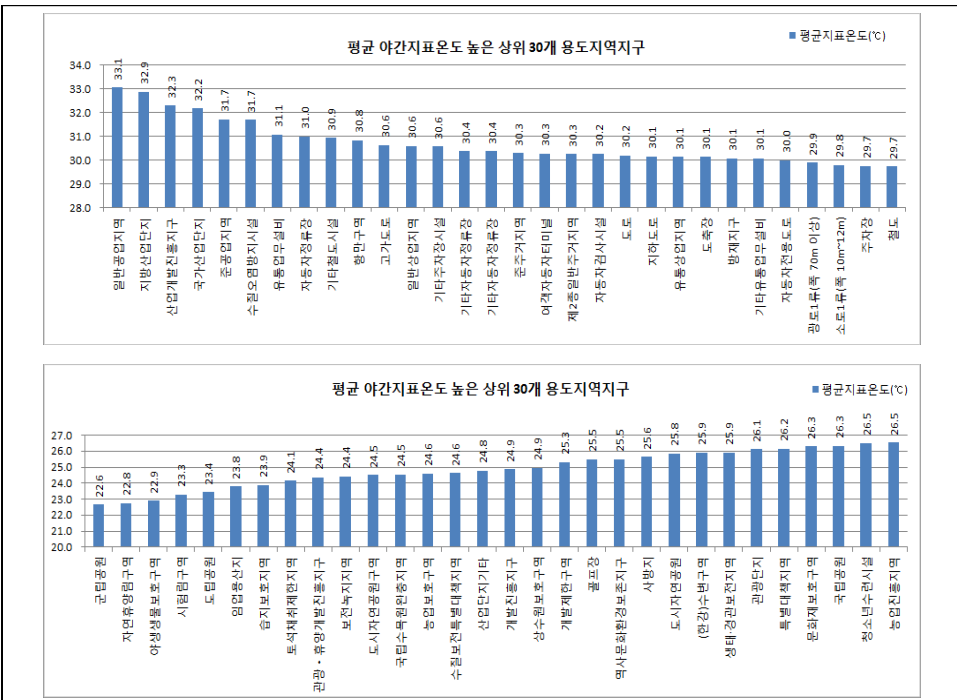
61) 수목과 건물의 차폐를 고려한 평균 연누적태양에너지 계산에 많은 전산시간이 필요해 여기서는 우수지역에 건물 및 수목의 영향이 없다고 가정하고 하여 지형만을 고려한 연누적일사량 평균값 적용함

3. 용도지역지구와 도시열섬의 관계

□ 용도지역지구 별 야간 평균지표온도

- 용도지역지구 별 야간 평균지표온도 조사결과 크게는 약 10℃ 이상의 평균지표온도 차이가 있는 것으로 조사(22.6℃~ 33.1℃)⁶²⁾
- 평균지표면온도 높은 용도지역지구 조사 결과 주로 아스팔트 및 콘트리트 등 인공적인 포장비율이 높은 토지이용지역에서 평균지표온도가 높았고 인공피복 비율이 낮은 토지이용은 평균지표온도 열섬 발생위험이 낮은 것으로 조사
 - 공업지역, 산업단지, 주차장, 도로 등의 평균야간지표온도: 29.7℃~ 33.1℃
 - 공원, 산지, 습지 등의 평균야간지표온도: 22.6℃~ 26.5℃

그림 4-17 상위 30개 및 하위 30개 용도지역지구의 평균 LST



자료: 저자작성.

62) 한국토지정보시스템(KLIS) 용도지역지구도 자료(shape) 이용

□ 토지이용의 접지기층 도시열섬과 포함비율

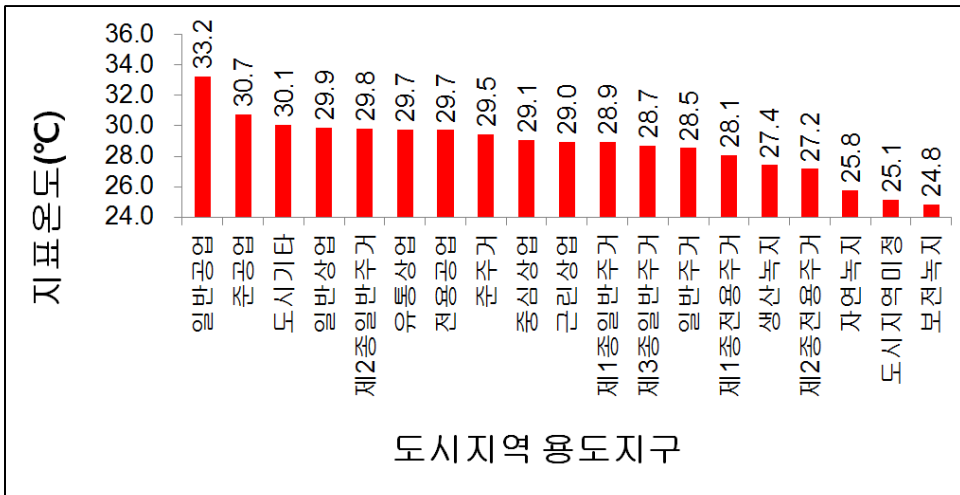
- 토지규제 법령과 관계된 지구를 대상으로 접지기층 열섬(LST 상위 10%) 지역과 포함비율(%) 조사 결과 산업시설구역 77.3%(22.7km²), 국가산업단지 56.8%(30.75km²)로 접지기층 열섬지역 포함비율이 높게 나타났음
- 재정비촉진지구, 지구단위계획구역, 장애물 표면구역은 전체 규제지역 중 도시열섬 포함비율이 상대적으로 낮았으나 10km² 이상 넓은 면적에서 발생하였음
- 지원시설구역, 공공시설구역, 녹지구역, 일반산업단지는 규제지역 중 접지경계층 도시열섬 포함비율은 높으나 큰 면적을 차지하지 않았음

표 4-1 열섬분포 비율 및 면적이 큰 규제지역(용도지역지구)

규제지역(용도지역지구)	비율(%)	면적(km ²)
지원시설구역	78.7	2.58
산업시설구역	77.3	22.69
공공시설구역	65.2	5.98
녹지구역_산업집적활성화및공장	57.2	3.17
국가산업단지	56.8	30.75
일반산업단지	50.6	2.29
비행안전제1구역	46.5	1.21
건축허가착공제한지역	43.6	3.98
방화지구	43.6	7.64
재정비촉진지구	31.8	14.18
비행안전제4구역	28.0	0.73
가로구역별최고높이제한지역	27.7	4.22
특수지역	19.0	9.96
개발행위허가제한지역	14.5	4.01
지구단위계획구역	13.9	15.50
비행안전제5구역	10.1	2.21
장애물제한표면구역	9.9	11.12

- 시설을 제외한 용도지구 별 여름철 야간 평균지표온도 조사결과 일반공업지역이 33.2℃로 가장 높았으며 보전녹지가 24.9℃로 가장 낮았음
- 제3종일반주거지역의 여름철 야간 평균지표온도는 제2종일반주거지역보다 1℃ 이상 낮은 것으로 나타났음

그림 4-18 상위 30개 및 하위 30개 용도지역지구의 평균 LST



출처: 안승만 외. 2016. 도시의 미기후 관리방향, 국토정책 Brief No. 583. p.4.

CHAPTER 5

도시 미기후 관리방향

01 도시 미기후 관리를 위한 해결과제	71
02 도시 미기후 관리방향	75

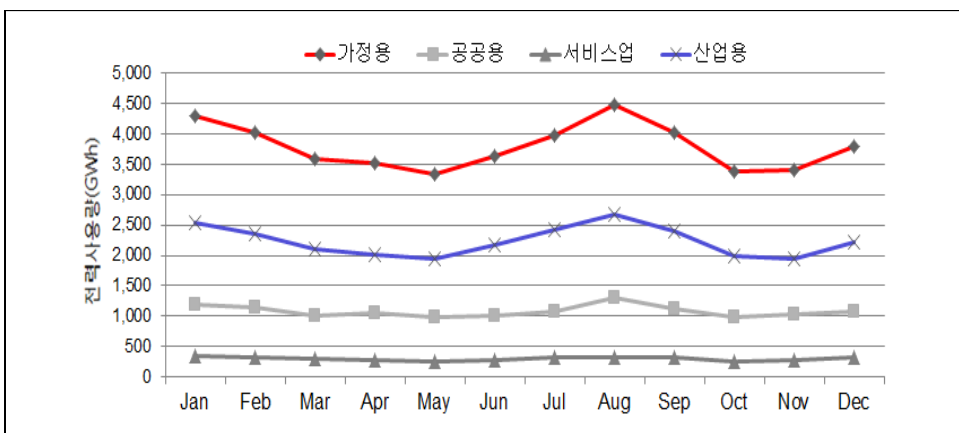
도시 미기후 관리방향

1. 도시 미기후 관리를 위한 해결과제

□ 수도권의 실내 온열환경 관리 중심 에너지 소비가 증가하는 추세

- 서울 및 수도권에서도 뉴욕 시의 최대전력수요 관리를 위한 도시미기후 목표 설정 및 관리제도·프로그램 도입이 필요함
 - 여름과 겨울마다 반복되는 열대야, 한파 등 서울시의 미기후 변동성이 커지고 있으며 1년 중 쾌적한 기후대를 벗어나는 일수가 증가함으로 인해서 에너지 사용의 월별 변동성도 커지고 있음
 - 2015년 서울시 월별 사용량 조사에서 가정용 전력과 산업용 전력 모두 폭한 기인 1월과 혹서기인 8월이 5월 및 10월에 비해 약 1.5배 많이 사용

그림 5-1 서울시 월별 전력사용량 변화(2015년)



출처: 한국전력공사에서 제공한 2015년 서울시 월별 전력사용자료를 이용하여 저자작성.

- 전력사용량(45,381GWh) 중 가정용 전력(약 50%)과 산업용 전력(약 30%)은 전체전력의 80%를 차지(한국전력공사)
 - 서울의 1년 에너지 소비량은 약 45,000GWh로 국내 총발전량의 17.3%를 차지하여, 이를 태양광 발전으로 100% 대체하려 한다면 946km²의 부지확보가 필요(국토면적의 1%, 서울시면적의 1.5배)
- 기후, 산업구조, 사회구조의 변화로 인해서 전기에너지사용량이 증가하고 있어 쾌적한 도시 미기후 조성은 도시민들의 에너지 사용량(쾌적한 실내 온열환경 관리를 위해 사용)을 저감 또는 전환하기 위해서 반드시 필요
 - 폭염·한파가 발생하면 빠르게 가열·냉각되며 열용량이 큰 아스팔트 및 콘크리트 등 인공피복의 물리적 특성들로 인해서 냉·난방을 위한 에너지 사용이 급증하고 있어 수도권 초과전력수요가 발생하는 원인을 제공함
 - 특히 서울을 포함한 수도권 온열환경 관리 패턴이 실내 온열환경 관리 중심으로 운영되고 있어 도시전체의 체계적 온열환경 조절이 어려우며 이로 인해 도시가 근교·농촌보다 온도가 높음(명수정, 2009; 이채연 외, 2014)⁶³⁾
 - 쾌적한 실외 온열환경을 조성하여 도시민의 실내 에너지사용을 자연스럽게 저감하기 위해서는 체계적인 미기후 관리가 필요

□ 수도권 인공피복 면적·밀도가 지속적으로 증가하는 추세

- 인공피복률 크기가 도시의 미기후 및 온열환경 분포 결정
 - 일사, 온도, 바람, 습도 등의 복합적 상호작용에 의해 도시미기후 및 국지적 온열환경 특성이 결정되지만 주로 지표의 일사량과 인공피복률 차이가 국지적 온열환경 분포를 결정하는 중요한 요인(이채연 외, 2014)⁶⁴⁾
- 인공피복의 재질 및 통풍환경 관리를 통한 도시열섬 저감 체계가 필요

63) 명수정. 2009. 도시지역의 기후변화 적응을 위한 열섬현상 완화방안 연구, 한국환경정책평가연구원. pp. 8-15., 이채연, 김규량, 안승만, 최영진. 2014. 수도권 열섬 중심으로부터 교외까지의 거리 및 국지적지표특성이 야간 기온분포에 미치는 영향. 대기 17(1): 39-42를 참고하여 작성

64) 이채연, 김규량, 안승만, 최영진. 2014. 수도권 열섬 중심으로부터 교외까지의 거리 및 국지적지표특성이 야간 기온분포에 미치는 영향. 대기 17(1): 43-47를 참고하여 작성

- 수도권 미기후 분포 조사결과 높은 인공피복률, 좁은 건물 간 간격(인동간격), 낮은 건물 층고, 열용량이 큰 옥상 지붕면의 재질 등으로 인해서 접지기층 열섬 강도가 높으며 이는 공간적으로는 패턴화 되어 나타나고 있음
- 3종 일반주거지역이 1종 일반지역보다 접지기층 열섬강도가 크게 조사
- 산업단지는 지붕면 열용량이 커서 집단화 되고 강도 높은 야간열섬 발달
- 바람통로를 고려한 공간배치가 뚜렷한 경우 산자락 멀리까지 열섬강도가 약하게 나타나는 반면 바람통로를 고려한 공간배치가 뚜렷하지 않은 경우 산자락 가까이에서부터 강한 열섬이 조사

□ 그린인프라를 통한 도시 미기후 관리 수법의 다변화 필요

- 교목의 생육조건을 고려할 때 도시공간에서 교목 식재를 통한 그늘의 확충 및 증발산 등 미기후 관리적 효과⁶⁵⁾를 얻기 위해서는 생육 가능한 토지 확보와 물 공급 등 여러 제약요인⁶⁶⁾들을 해소해야 함
- 국내의 열섬저감 정책은 여름철 과잉 집적되는 태양에너지를 바람길 또는 알베도 높은 페인트 등을 이용해 도시 밖으로 빠르게 되돌리는 열환경 배출정책에 크게 의존하고 있어 수단의 다변화가 필요함
- 특히 바람길은 공학적 제어 및 인위적인 개선이 어려운 대상으로 현재는 바람길 순환체계를 유지하는 보수적 관리정책이 적용되고 있음

□ 신재생에너지 정책과 도시 미기후 관리 정책의 부조화

- 도시의 태양광 발전은 주거지에 집중되어 있어 발전 효율성 낮음
- 태양광에너지 자원화 전략은 전기 생산을 위한 설치밀도 확보에 주력
- 경제성을 우선하여 설치밀도 확보에만 치중하게 되면 획일적이고 유쾌하지

65) 여름철 수도권에 일사되는 태양에너지는 균질하지만 지형적 특성, 시가화건조지역 수목 및 건축물들의 입체적 특성들에 따라 열섬강도가 크게 달라지므로 미기후 관리적 효과를 도출

66) (1) 옥상녹화 등 녹지 확충을 통한 지표구조 개선들이 다양한 프로그램을 통해 수행되고 있으나 도시 내에 조성 가능한 녹지공간이 충분치 않음, (2) 인공피복비율이 높은 도시에서는 식재를 위한 자연토양 토지확보 부족, (3) 옥상녹화에 사용되는 경량토는 초본 및 관목을 지탱할 수 있어 그늘을 생성할 수 있는 교목식재에 대한 비용부담 및 관리의 어려움, (4) 식물의 생장에 불리한 건축물 옥상미기후 환경은 그늘 조성 및 물 공급 등 인위적인 관리 없이는 자연적인 생태계 유지 어려움

많은 도시미관을 형성하고, 도시생태계와의 부조화 등 다양한 문제들이 파생될 수 있으므로 신재생에너지 정책과 도시 미기후 관리 정책이 절충되고 조화되는 지점을 찾을 필요 있음

- 신재생에너지 산업의 한 분야인 태양광발전 사업은 현재의 기술적 한계로 경제성을 확보하고 있지 못하고 있으며 당초 목표였던 저탄소녹색성장으로 산업구조를 바꾸는 데 오랜 시간이 걸릴 것으로 전망

□ 인공피복의 확대 시 발생할 수 있는 사회적 문제들에 대한 고려 필요

- 열용량이 높은 인공피복으로 둘러싸인 도시에 다양한 형태의 인공 구조물을 통해 도시 미기후를 관리하는 정책을 이행하게 되면 도시 전반에 걸쳐 방대한 입체적 공간변화를 일으키게 됨
- 따라서 공공의 지지와 사회적 합의가 필요하며 구조적 안전성, 도시경관과의 조화, 생태적 안정성 등 다양한 사항들을 고려하여야 함

표 5-1 시가화건조지역에 미기후 친화적 인공피복 확대 시 고려사항

항목	고려사항
구조적 안전성	• 도시는 다양한 목적의 입체적 시설들이 집약되어 있어 새로운 입체적 도시피복 시설이 제도적으로 편입되기 위해서는 기존 시설들과 조화되는 관계 및 구조물로서의 안정성에 대한 충분한 검토가 필요
도시경관 조화 (심미성)	• 도시경관과 친화되어야 하고 심미성에대한 검토가 필요 • 태양광에너지 확보 및 기타 제도권 내의 규제 외에 설치지침이 없어 태양광설치시설들이 미관상 심미성이 관리되고 있지 않음 • BIPV 형태로 도시경관과 친숙하고 심미적으로 선호되는 형태로 조성될 수 있도록 건축 및 경관 심의와 같은 제도적인 규제나 지침 마련
생태적 안정성	• 합리적 에너지 이용과 도시 미기후 관리를 아스팔트·콘크리트 등의 인공피복, 나지·초지·벌개지 등의 자연피복 적용 시 생태특성을 고려 • 인공피복: 척박한 옥상공간에서도 생물이 서식 가능성이 높은 미기후 환경을 조성할 수 있을 것이므로 적극적·계획적 이행이 필요 • 자연피복: 적절한 일조권 등 소생태계(비오톱)환경에서 서식하는 생물들의 생태적 특성을 배려하고 서식환경을 보장하는 정책 필요

저자작성.

- 사회적 문제들이 종합적으로 고려되면서 열용량이 낮고 반사율이 높은 차양을 통한 그늘조성 및 태양광발전 시설을 통한 그늘 조성 등 도시의 그린인프라 적용 범위를 확장하면 도시가 외연적으로 확장되어도 도시열섬이 확대되지 않고 오히려 생물의 서식조건이 개선되어 도시 미기후 환경이 개선될 것으로 전망

2. 도시 미기후 관리방향

1) 도시 미기후 관리를 위한 방향 설정

□ 도시 지표면 구조의 포괄적 개선을 통한 도시 미기후 관리

- 개별적 문제 해결 및 공동이익의 극대화를 위해 연계범위를 포괄적으로 검토
 - 일례로 도시는 열섬관리 및 에너지 확보가 함께 필요하며 두 정책을 통합하면 상승작용(synergy)을 통해 얻을 수 있는 공동이익이 극대화 되므로 지속가능하고 합리적인 도시 미기후 미래상을 제시할 수 있을 것
- 그린인프라에 미기후 친화적 인공피복을 포함하는 포괄적인 지표구조 개선으로 관리수단을 다양하게 검토해야 함
 - 자연적 투수층이 부족한 도시의 여건을 합리적으로 반영하는 공간계획 필요
 - 여름철 일사량 관리를 통해 인공구조물에 비축되는 태양에너지를 적절히 비축하고 재사용 할 수 있도록 신재생에너지 관련 지표면 인공피복 구조물을 우선적으로 검토하여 도시의 필수 에너지 자급을 지원
 - 다양한 미기후 인자들이 도시 생태계와 조화될 수 있도록 다양한 자연피복 및 인공시설들의 조합을 통해 합리적으로 관리
- 시가화건조지역 면적이 확대되어도 여름철 도시열섬이 심화되지 않고 쾌적한 도시 미기후가 조성될 수 있도록 합리적 관리 패러다임으로 전환

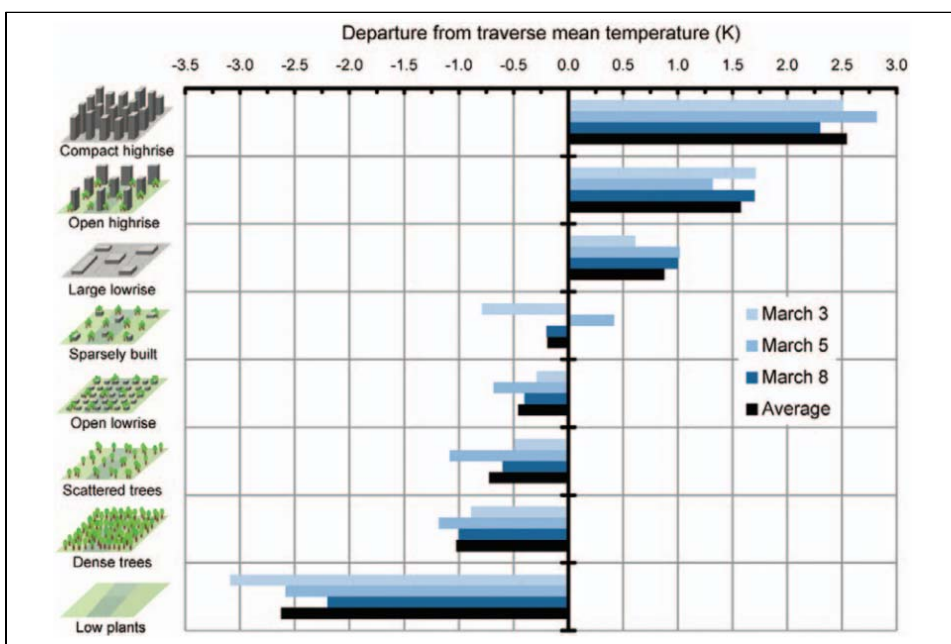
□ 국지기후대 단위의 도시 미기후 관리

- 국지기후대(local climate zone, LCZ)는 도시공간에서 고유한 미기후특성들이

나타나는 지구로서 이를 통해 열섬강도 등 도시에서 나타나는 국지적 특성들을 설명할 수 있으며 관리를 위한 계획적인 도구로서 활용될 수 있음

- 국지기후대는 도시규모에서의 지면구조 및 토지피복 차이로 인해 나타나는 기후적 특성을 공간적으로 유형화한 결과
- 지면의 형태적 물리적 특성이 접지기층 미기후 환경을 크게 강제하기 때문에 독특한 미기후 특성이 나타나는 지표들을 지구단위로 국지기후대(local climate zone, 유형들로서 범주화 할 수 있으며 개개의 유형별 미기후 특성들을 관리를 목적으로 조사 및 평가할 수 있음(Stewart and Oke, 2012)⁶⁷⁾
- 국지기후대 유형 별 열섬강도에 대한 체계적 이해를 바탕으로 맞춤형 미기후 관리체계를 수립할 수 있도록 계획적 활용

그림 5-2 도시의 피복 유형별로 나타나는 야간 평균기온의 차이(국지기후대)



출처: Stewart and Oke. 2012. Local climate zones for urban temperature studies. BAMS 93(12). p.1888.

67) Stewart, I. D. and Oke, T. R. 2012. Local climate zones for urban temperature studies. Bulletin of the American Meteorological Society 93, no.12: 1879-1900 을 참고하여 작성

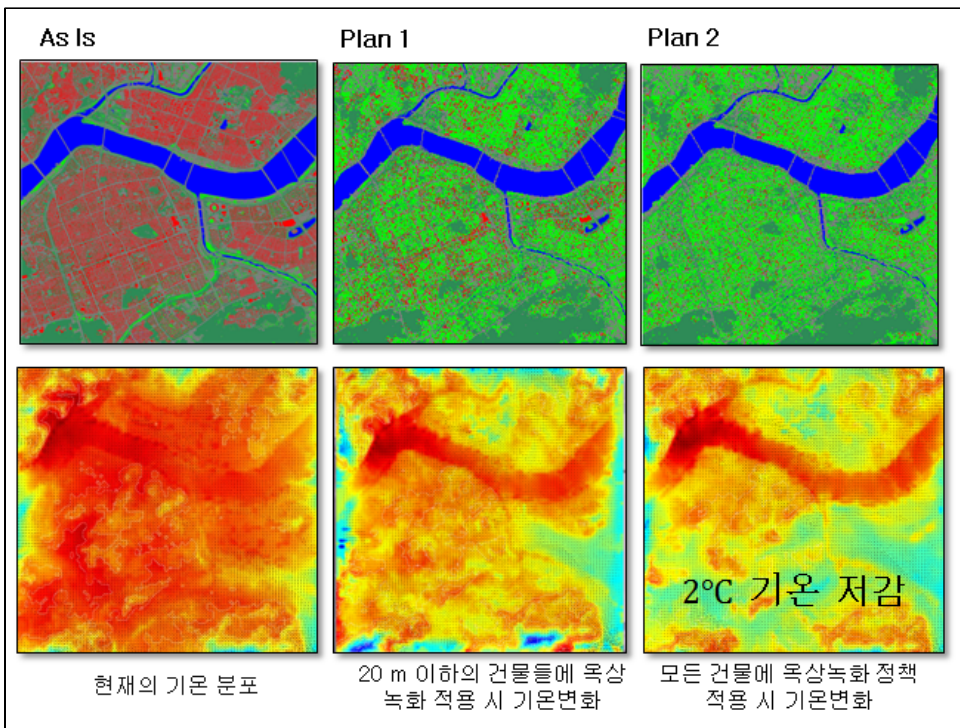
2) 도시 미기후 관리 체계

(1) 자연피복을 통한 도시 미기후 관리

□ 녹화를 통한 미기후관리

- 서울시에서 시민들과 함께 추진하는 옥상녹화·텃밭 조성 지원사업 등의 도시농업, 산림청에 추진하는 ‘도시 숲 조성 사업’ 등과 같은 자연피복 확충 사업을 통해 탄소 흡수원을 늘리고 쾌적한 도시 미기후 관리효과를 유도
- 서울시 강남구 일대를 대상으로 모든 건물들에 옥상녹화(도시농업)를 통한 자연피복의 확충 계획을 이행할 경우(그림 41의 plan 2) 약 2℃의 기온이 저감될 것으로 시뮬레이션을 통해 추정(기상과학원, 2012)

그림 5-3 도시 자연피복(옥상녹화) 계획 적용 시 기온저감 효과 추정(강남구)

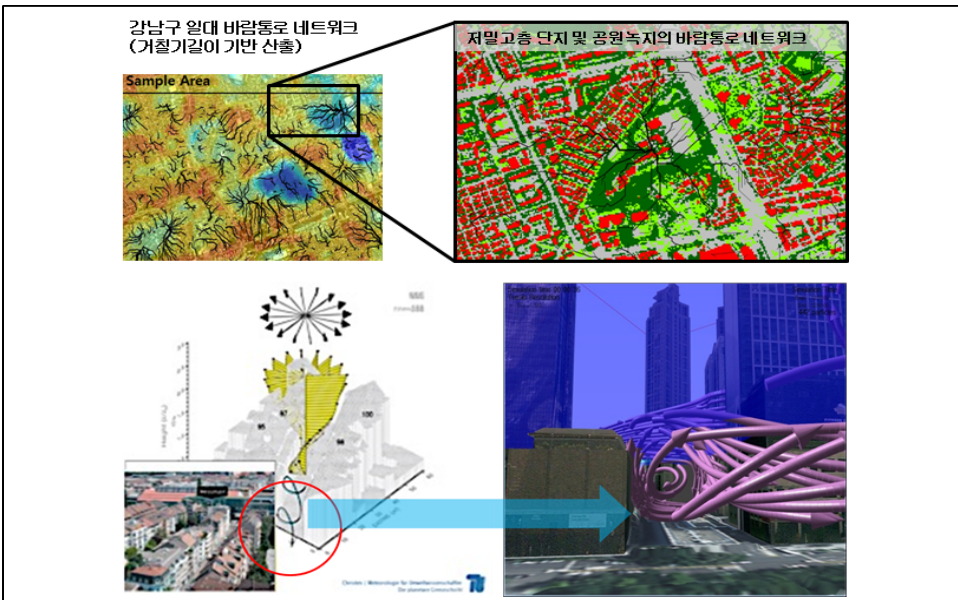


출처: 국립기상연구소, 2012, 생명산업기상기술 개발연구(I). pp. 95-97. 저자 재구성.

□ 바람길 조성을 통한 미기후관리

- 도시 내부로 바람이 통할 수 있는 공극을 확보하는 미기후 관리
 - 도심지에서 나타나는 공통적 특성으로 고밀 주거환경 개선이 있는 뉴타운 지역은 열섬이 과편화 되는 반면 재정비촉진지구, 비행안전구역, 건축허가 차공제한지역, 방화지구 등에서는 열섬이 집단화 되어 형성
 - 뉴타운 조성과 같은 주거개선 사업을 추진한다면 (1)녹지조성, (2)인동간격 확보, (3)바람통로 확보 등 미기후 관리를 위해 적용하는 프로그램들이 함께 이행될 수 있어 도시열섬이 저감될 전망
- 건물 숲에 의해 과편화 되고 있는 바람길 네트워크를 조사하여 계획적 활용
 - 도시의 거칠기길이(loughness length, z_0) 및 과편화되고 있는 도시의 바람길 연결망체계를 조사하고 이를 통해 도시 미기후 관리방향 수립에 활용

그림 5-4 저밀 고층 단지 및 공원녹지 조성을 통한 열환경 관리



출처: 안승만 외. 2015. 거칠기길이를 이용한 바람통로 네트워크 구축. 한국조경학회지 43, no.3 pp. 109-111, An et al. 2014b. Geospatial spreadsheets with microscale air quality visualization, synchronization for supporting multiple-scenario visual collaboration. IJGIS 28(12)p. 2522., TU Berlin(강익교재). 저자 재구성.

(2) 미기후 친화적 인공피복을 통한 도시 미기후 관리

□ 미기후 친화적인 인공피복의 다기능성 확대

- 차양 등 태양에너지 비축 관련 열용량이 낮은 미기후 친화적 인공피복은 여름철 유입되는 일사를 반사하거나 차단하고 겨울철 지면에서 방출되는 열을 가두어 여름에 덜 덥고 겨울에 덜 추운 미기후를 조성하며 건축적 요소로서 활용을 통해 다기능성과 공동이익을 함께 창출해야 함

표 5-2 미기후 친화적 인공피복으로 태양광 패널 활용을 통한 공동이익

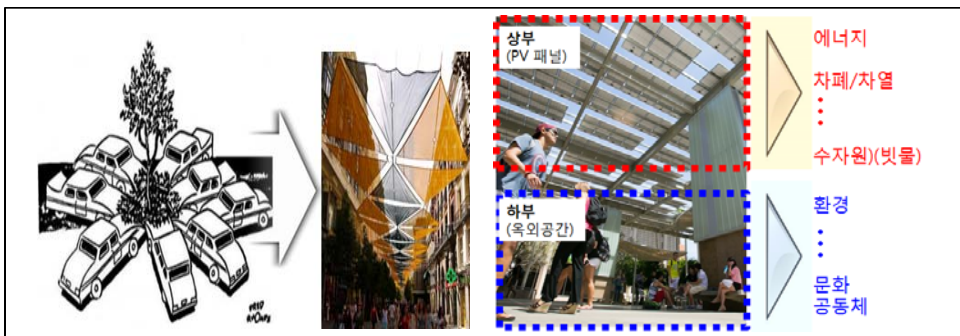
공동이익	내용
자연적/인공적 기술 통해 쾌적한 미기후 조성	• PV 패널 설치를 통해 확보될 청정에너지를 필요한 시점에 활용함으로써 미기후 관리 능력이 높아져 인간 친화적 미기후 환경을 조성 • 미기후 관리를 위한 적정 높이가 확보된 규모화 된 PV 패널 배열은 인공피복 햇빛이 강한 주간에도 패널 아래에 적당한 일광과 그늘(shade)을 지면으로 전달함으로써 열저장용량이 큰 시가지지역의 열섬저감 및 생물 친화적인 공간을 조성할 수 있을 것이며 겨울밤 야간복사 차단을 통해서 한파 피해를 줄일 수 있어 결과적으로 “도시민을 포함한 동·식물의 서식에 쾌적한 도시 미기후” 환경을 조성
깨끗한 빗물저장 및 용수활용 통한 가뭄문제 보완	• 다기능성을 지닌 새로운 인공피복 구조물이 조성되고 이 스마트한 인공적 태양광 숲(artificial solar forest) 또는 검은 숲(black forest) 구조물이 에너지의 저장 및 이용, 물의 저장 및 이용 등 자연의 숲이 가지는 기능들을 담아내고 도시의 물 부족 문제 등을 보완
초과전력수요 해결 및 대기/보건 환경 개선	• 주/야간 냉방수요에 필요한 전기의 30%를 확보함으로써 예비전력 확보를 위해 필요한 화력발전소가 사라지고 환경/보건문제를 개선 • 일례로 1km² 단위면적 당 연누적발전량을 80GWh⁶⁸⁾라고 할 때 수도권 200km² 부지에 PV 설치 시 1년에 16,000GWh 전력을 생산하여 주택용 전력공급(13,261GWh) 및 도시기반시설 운영을 위한 전력공급을 수용할 수 있을 것이며 초과전력수요를 위한 화력발전소 불필요
공동체 활동 강화 및 문화 창출	• PowerParasol® 프로젝트 사례에서처럼 공동체 활동 강화 • 공원의 파골라와 같은 형태적 친숙함과 휴식공간으로서 활용성이 높아 도시 내에 설치한다면 유흥지를 효과적으로 활용 • 심미성이 높은 설계를 통해 청정에너지 및 미래를 제시하는 지역사회의 랜드마크(Landmark) 조성 • 지역에서 생산되는 에너지를 지역의 공공활동에 활용함으로써 문화창출에 있어서도 다기능성과 공동이익을 추구

자료: 저자작성.

68) 전남 영암 F1 경기장 태양광발전(18GWh, 0.23km²) 강원 춘천 봉어섬 태양광발전(17.4GWh, 0.31km²), 전남 해남 황산면 태양광발전(19.7GWh, 0.38km²) 참고해 적용. 출처: <http://www.paru.co.kr/>

- 일례로 태양광 패널을 미기후 친화적 인공피복으로 이용할 경우 피복에 해당하는 상부는 에너지 확보, 차폐/차열, 빗물을 통한 수자원 확보 등 도시의 물리적 기능 증진에 활용할 수 있으며 하부 공간은 도시범죄 예방⁶⁹⁾ 등 다양한 사회 문화적 공동체 기능을 강화하고 새로움을 창출하며 저탄소 녹색성장 교육과 시민의 지지·참여를 유도하는 거점공간으로 활용할 수 있음
- 특히 여름철 폭염·일사(日射) 또는, 폭우·폭설로 인해 도시의 보행자동선 기능이 상실되는 것을 방지하는 인공피복으로서의 기능을 함께 고려해야 함

그림 5-5 도시 그늘 확충 및 다기능적 활용 사례



출처: 안승만 외. 2016. 도시의 미기후 관리방향, 국토정책 Brief No. 583. p.15 저자 재구성

□ 산업단지의 미기후 관리

- 인천 남동공단 및 안산 시화공단의 공통된 미기후 특성은 집단화된 열섬으로 산업단지 주변에 위치한 녹지구역⁷⁰⁾의 열섬(야간지표온도 상위 10% 이상) 포함비율이 57%(3.2km²)에 이를 정도로 야간열섬 강도가 높음
- 인천 남동공단과 안산 시화공단은 연안 가까이 위치하고 있어 방출되는 폐열을 냉각·이송할 바람이 풍부하지만 강도 높은 접지기층 열섬을 형성
- 공단 내 대형 건물들의 지붕면은 대부분 열용량이 큰 강판 재질로서 주간에 비축한 열에너지를 일몰 이후 복사 방출하여 도시열섬 강화

69) 도시범죄예방설계(Crime Prevention Through Environmental. Design)와 태양광발전 연계

70) 「산업집적활성화 및 공장설립에 관한 법률」제 33조(시행 2016.12.27.) [법률 제14480호, 2016.12.27., 타법 개정]: 제5항제3호에 따른 용도별 구역은 산업시설구역·지원시설구역·공공시설구역 및 녹지구역으로 구분 관리

- 산업단지 건물들의 넓은 옥상지붕면이 대부분 철판지붕임을 고려 할 때 태양층 확보 및 물 공급 등 자연피복 녹화에 불리하고 비효율적이므로 미기후 친화적인 인공피복을 활용한 도시미기후 관리 검토가 필요
 - 건축물통합정보DB에 의하면 전국적으로 분포하는 약 1천 50만채의 건물 중 평면적 2000㎡ 이상의 건물은 전국적으로 3만 4천채(약 0.3%)로서 이들 건물의 옥상 총 면적은 약 153㎢ 정도이며 5000㎡ 이상 건물(7,120채)의 옥상 총 면적 또한 약 75㎢로서 대부분은 태양광 발전 시설 설치가 가능한 공장 또는 물류창고 건물임
 - 태양광 패널을 인공피복으로 이용할 경우 공단에서 사용하는 전력의 일부를 지급하여 ‘전력피크제’로 인한 부담을 저감할 수 있고 옥상의 그늘 조성을 통한 공단 내 전기수요 절감효과 등 공동이익을 얻을 수 있음⁷¹⁾
- 중소기업의 경제적 여건이 취약한 경우 경제적인 인공소재 등을 이용해서도 조절할 수 있도록 제도적인 지원이 필요
 - 경제적 비용대비 효과가 높은 햇빛 반사율 및 단열효과 우수 소재들을 이용해 산업단지 건물들 전반에 열 환경 개선전략이 추진될 수 있도록 기술적·행정적 지원이 필요
 - 전력피크제도 등 규제와 혜택을 통해 미기후 친화적 인공피복 또는 설비가 산업단지에 도입될 수 있도록 유도가 필요

그림 5-6 르노삼성차 부산공장 태양광 발전소



출처: <http://news.joins.com/article/8703519>(최신접속일: 2016.7.30.)

71) 현대자동차 아산공장, 르노자동차 부산시화공장 등 재정능력이 있는 기업은 공장 지붕에 대규모 태양광 발전단지 설치사업을 환경친화적 기업이미지 구축을 위한 거점으로서 추진하고 있음

(3) 도시 미기후 관리를 위한 자원 마련

□ 도시 미기후 관리센터 운영 및 자원 마련

- 도시의 물리적·생태적 여건들을 개선하고 저탄소 녹색성장과 연계하는 도시 미기후 관리를 수행하기 위해서는 상당한 투자가 필요하며 프로젝트를 통한 투자 보다는 도시 미기후 관리센터와 같이 별도의 운영센터를 두어 관리 목표, 역할 등을 조직화 하여야 하므로 지속적인 활동이 가능하도록 운영을 위한 자원의 마련이 필요함
 - 도시의 자연환경과 인공적 환경은 상대적으로 변화가 적은 정적인 요소이지만 지속가능한 도시계획, 거버넌스(governance), 시민참여 등을 통해 동적 요소로 변화되도록 유도해야 함
 - 접지기층 도시 미기후 관리를 통해 범지구적인 기후변화 적응 및 완화까지 이어지도록 유도하기 위해서는 도시민들의 라이프스타일을 변화시켜서 개개의 도시민 일상적 활동들이 탄소발생 저감, 쾌적한 미기후 환경 조성 등으로 이어지도록 정책적·기술적 활동들을 통해 유도되어야 하므로 지속성을 가지고 추진될 필요성이 있으며 이러한 취지에서 도시 미기후 관리센터의 지속적인 운용이 필요
- 도시 미기후 관리센터가 이러한 기능을 담당하도록 운영되기 위해서는 실질적인 자원의 마련이 필요함
 - 도시 기후변화 대응을 위한 자원마련 수단으로서 도시개발을 위한 자원, 공적개발원조(ODA), 다자개발은행에서 제공하는 양허성 차관, 지구환경금융(Global Environmental Facility) 등의 공공 자원과 더불어서 민간 자원을 혼합적으로 이용할 수 있으므로⁷²⁾ 미기후 관리를 위한 자원마련 수단 또한 이러한 틀 속에서 연계방안을 검토할 필요가 있음
 - 도시 미기후 관리를 통해서 다기능성이 증진되는 파생적 효과를 고려할 때 다양한 출처를 고려하여 자원마련 방안을 검토할 수 있을 것임

72) 대외경제정책연구원. 2014. 도시의 기후변화 대응을 위한 개발협력: 논의 동향 및 시사점 pp. 46-50을 참고하여 작성

CHAPTER 6

결론 및 향후과제

01 연구성과 및 기대효과	85
02 연구의 한계 및 향후과제	87

결론 및 향후과제

1. 연구성과 및 기대효과

□ 연구의 성과

- 도시 미기후 관리의 목표를 쾌적한 미기후(Goldilocks Microclimate) 즉, 덥지도 춥지도 않은 미기후 조성에 두고 이러한 관리목표의 구현 방향으로서 ‘자연 피복과 미기후 관리 친화적인 인공피복’의 합리적 이용을 통해 도시의 온열환경을 개선하는 방향을 제시하였음
- 조작적 정의를 통해 도시 미기후 공간에서 나타나는 접지기층 도시 열섬을 공간화하고 이를 조사하여 계획적으로 활용할 수 있는 체계를 제시하였음
 - 서울 주변 수도권의 지표온도기반 접지기층 열섬을 공간적으로 시각화하여 상세하게 조사하였으며 이를 통해 시가화건조지역에서 나타나는 접지기층 야간열섬의 원인을 분석하고 해소방안을 모색

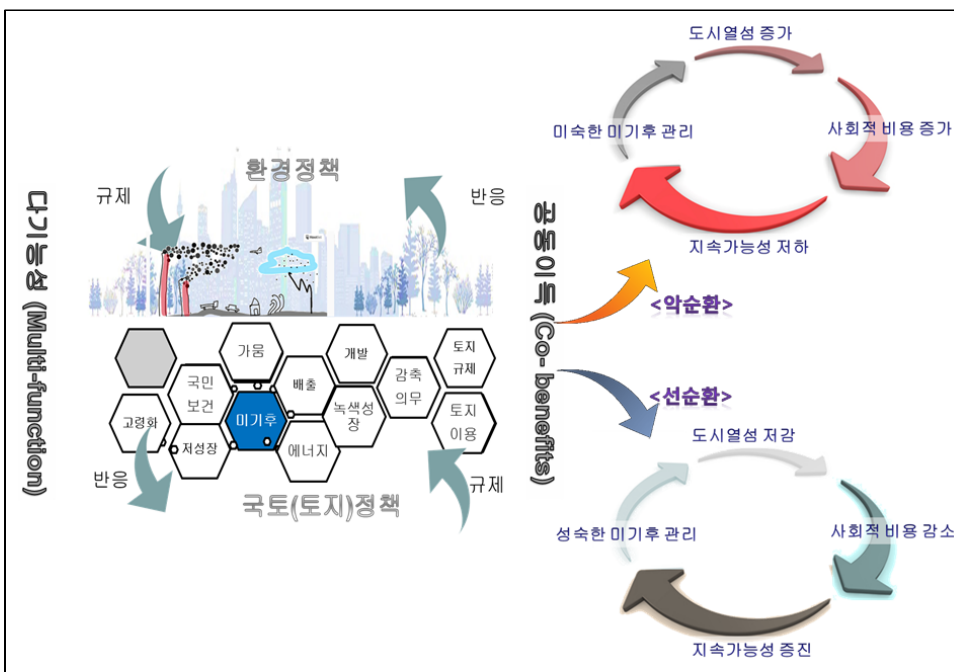
□ 기대효과

- 향후 도시 미기후 관리체계는 고탄소 사회에서 저탄소 사회로 전환되는 과정에서 충돌을 최소화 하고 ‘저탄소 사회 패러다임의 동력인 과학기술, 정책, 시민사회의 쐼기 역할(wedge role)⁷³⁾’을 유도하는 데 기여할 것이며 저탄소 녹색성장 정책의 추진을 위한 중요한 동반자로서 자리매김 할 것임
- 도시 미기후 관리 방향이 추진되어 그린인프라 확장 및 도시 시설의 다기능성이 확보된다면 저탄소 사회로의 진입이 용이한 사회적 구조가 조성될 것임

73) 과학기술정책연구원, 2009, 저탄소 녹색성장 종합평가지수 개발-국가와 지역 적용을 초점으로-, 정책연구 2009-14, p.43을 참고하여 작성

- 이산화탄소 증가로 인한 지구온난화, 기후변화 효과의 하나로 발생하는 여름철 폭염과 함께 동반하는 도시열섬 문제, 실내 온열 쾌적성 유지를 위해 사용되는 냉방전기 수요, 여름철 초과전기수요를 위해 증설되는 화력발전소, 발전과정에서 추가적으로 배출되는 이산화탄소와 도시열섬 증가로 이어지는 악순환 기제 모형은 대표적인 기후변화 대응실패(지구온난화 가속) 모형
- 도시 미기후 관리 방향을 통해 지속가능성이 높아지고 저탄소 녹색성장을 위한 선순환 구조로 변화되면 도시가 확장되어도 도시열섬 문제가 발생하지 않게 되므로 결과적으로 도시 미기후 관리를 통해 저탄소 사회로 진입을 견인할 수 있을 것임⁷⁴⁾

그림 6-1 도시 인프라의 다기능성을 고려한 도시 미기후 관리방향



출처: 안승만 외. 2016. 도시의 미기후 관리방향, 국토정책 Brief No. 583. p.6.

74) 에어컨 등 능동적인 냉각 방식을 이용하면 부정적 힘(negative force)으로 작용하여 화석연료 사용 증가, 지구온난화로 이어져 에어컨 사용을 다시 증가시키는 악순환 기제가 활성화되고, 부채 등 전통적 수동적 냉각방식을 이용하거나 사회적으로 그린인프라 시스템이 구축되면 에너지사용을 줄여 지구온난화 속도를 줄이고 도시민의 열쾌적성 향상으로 이어져 지속가능한 선순환 기제가 활성화 됨

2. 연구의 한계 및 향후과제

□ 도시 미기후 상세조사 및 검증

- 본 연구에서 수행된 미기후 공간분포 조사는 원격탐사 기법과 모델링 기법의 적용체계에 대한 합의가 이뤄지지 않아 검정이 필요하며 또한 현장 실증 없이 조사가 수행되었기 때문에 기술적 검증과 제도적 활용을 위한 보완이 필요함
- 원격탐사기법이 거시적인 지표의 특성을 빠르게 조사하기 위한 수단으로서는 유용하지만 도시라는 입체적인 공간에서 복합적인 요인들의 상호작용에 의해 나타나는 미기후 상호작용 기작들을 모두 조사하는 도구로 활용될 수 없음
- 향후 Landsat 기반 도시열섬 분포 조사 및 태양광 일사분포 모델 및 결과에 대한 현장 조사를 통해 도시 미기후 조사체계의 활용성이 실증되어야 할 것임

□ 도시 미기후 관리방안 마련을 위한 계획적 활동과 주체의 구체화 필요

- 이 연구는 서울 주변 수도권 미기후 조사를 통해 접지기층 도시열섬과 토지이용의 장소적 관련성을 파악할 수 있었으나 도시 미기후 관리를 위한 공간계획, 시민활동과의 연계성 강화를 위한 계획 등 복합적인 접근체계로 발전되기 위한 주체와 역할에 대해서 접근하지는 못하였음
- 현재는 도시 미기후 조절과 관련된 법체계 및 제도적 기반이 전혀 없는 상태로 향후 미기후 관리가 이행될 수 있도록 관리의 주체를 포함한 제도 및 운영활동에 대한 검토를 통해 구체적 추진체계로 발전될 수 있도록 이어져야 할 것임

□ 미기후 친화적 인공피복이 도시공간에 정착될 수 있도록 제도적 지원

- 미기후 친화적 인공피복이 도시에 정착·확장할 수 있도록 제도적 기반이 필요
- 일례로 수도권지역 중 일조량이 우수한 지역 대부분은 농업진흥지역⁷⁵⁾으로 묶여 있어 서울시에서 태양광발전 지원사업을 추진하려 하여도 도시의 에너지 자

75) 농지법 제28조(농업진흥지역 등의 변경·해제) ① 법 제31조제1항에 따라 시·도지사가 농업진흥지역 또는 용도구역의 변경 또는 해제할 수 있는 경우(각 호) (시행 2016.12.1.) [법률 제14242호, 2016.5.29., 타법개정]

- 급 구조를 바꿀 수 있는 규모의 설비가 들어설 수 있는 토지가 부족한 실정임
- 미기후 친화적 형태의 태양광설비가 다기능적인 인공피복으로 확장될 수 있도록 주변 토지의 활용성을 고려하여 전용을 유도하거나 이용형태를 다변화하여 저탄소 녹색성장 추진이 원활하도록 제도적 정비가 필요

그림 6-2 농업진흥지역 일조조건 사례(적색은 상위 10%이내 일조조건)



Google Meshup 통해 저자 작성. 배경 이미지 출처: <https://www.google.co.kr> 및 map.daum.net.

□ 저탄소 녹색성장을 위한 토지정책과의 연계 방향 검토

- 도시의 토지이용 정책과 지구 시스템 기능 간의 상호작용은 서로 분리해서 생각할 수 없을 정도로 긴밀하게 연결되어 있어⁷⁶⁾ 토지이용과 미기후 관리를 종합적으로 연계하는 정책적 검토가 필요
- 기후변화가 가속화 될수록 토지의 생산적 가치가 감소하고 환경적 가치가 증가할 것으로 전망되고 있으므로 지속적으로 변화되는 국토 및 도시의 여건을 종합적으로 반영하여 다양한 저탄소 녹색성장을 지원하는 토지정책 연구가 수행되어야 할 것임(정희남, 2010; 정희남 외, 2015)⁷⁷⁾

76) 국토연구원. 2014. 기후변화와 도시-도시기후변화연구네트워크 제 1차 평가보고서-. 창조적 도시재생시리즈 55 p.315를 참고하여 작성.

- 지금까지의 토지정책의 적용을 통한 도시의 확장은 미기후의 변화, 농지 및 산지의 감소, 자연 서식지의 파편화(fragmentation), 공기·토양·물의 오염, 강우 시 유출속도 증가, 도시의 물 사용량 증가, 새로운 외래종 침입 등으로 인한 생태계 교란, 자연 생태계의 변화로 인한 생물 다양성의 감소 등 복합적인 인과관계를 가지고 있으며 공간적으로는 도시의 경계를 넘어서까지 광범위한 환경에 영향을 미쳐왔음⁷⁸⁾
- 우리나라도 도시 외곽으로 개발을 통해 전철과 도로 등 도시기반시설이 추가되면서 기존의 토착생태계가 파괴되고 그 자리에 잔디밭과 조경수가 들어서면서 유지관리를 위해 많은 비용과 에너지가 투입되고 있으며 오래된 도시는 중심성을 상실해 지역경제가 쇠퇴하는 반면 에너지사용 증가, 환경문제 광역화, 기후변화로 인한 자연재해 등 도시의 관리비용은 줄지 않고 있기 때문에⁷⁹⁾ 저탄소 녹색성장을 위한 합리적인 토지관리 정책과 목표가 필요
- 일례로 도시 토지이용 집중(용적률 증가)으로 고층건물 숲이 수평·수직적으로 확장되면 이러한 입체적 도시피복 구조가 강수특성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며⁸⁰⁾ WISE사업단에서는 서울시의 건물 숲에 의해 발생하는 여름철 집중호우·돌발홍수를 실시간으로 감시하는 시스템과 돌발홍수 예측 모델을 구축하여 도시기후변화 적응대책을 수립하는 방안을 모색 중임⁸¹⁾
- 향후 고탄소 산업 및 사회경제 구조 개편, 에너지 자립 등에 있어 고탄소 사회 패러다임과 저탄소 사회 패러다임의 충돌과 갈등이 전망되고 있어 토지이용 관리정책이 향후 도시를 포함한 국토 환경의 질을 개선하고 다양한 사회적 충돌과 갈등을 합리적으로 조정할 수 있도록 합리적 이용을 위한 연계의 틀을 구체적으로 제시할 수 있어야 할 것임

77) 정희남. 2010. 토지정책 패러다임 재정립 방안 연구. 국토해양부. pp. 1-7., 정희남, 한만희, 김채규 외 21인 편저. 2015. 토지정책론, 부연사. pp.519-521을 참고하여 작성

78) 국토연구원. 2014. 기후변화와 도시-도시기후변화연구네트워크 제 1차 평가보고서-. 창조적 도시재생시리즈 55 p.315을 참고하여 작성

79) 기후변화 시대의 도시계획(인터넷 PDF 자료) 90 p.을 참고하여 작성

80) 국토연구원. 2014. 기후변화와 도시-도시기후변화연구네트워크 제 1차 평가보고서-. 창조적 도시재생시리즈 55 pp.315-320을 참고하여 작성

81) 차세대도시농림융합기상사업단 홈페이지(<http://wise2020.org>)에서 도시농림 맞춤형 스마트 기상서비스 구현 웹페이지를 참조하여 작성(최신접속일: 2016.7.30.)

【인용문헌】

- 강정은. 2012. 기후변화 적응형 도시구현을 위한 그린인프라 전략 수립, 한국환경정책평가연구원.
- 과학기술정책연구원, 2009, 저탄소 녹색성장 종합평가지수 개발-국가와 지역 적용을 초점으로-, 정책연구 2009-14.
- 국립기상과학원. 2012. 선진기상기술개발 - 생명산업기상기술개발연구(I)). 기상청.
- 국토연구원. 2014. 기후변화와 도시-도시기후변화연구네트워크 제 1차 평가보고서-. 창조적 도시재생시리즈 55
- 김운수, 김학열. 2000. 서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법 연구(III) : 서울시.
- 김현준. 2000. 건설계획법을 통한 환경보호-독일건설법전(BauGB)의 시사. 환경법연구22: 513-535.
- 대외경제정책연구원. 2014. 도시의 기후변화 대응을 위한 개발협력: 논의 동향 및 시사점
- 명수정. 2009. 도시지역의 기후변화 적응을 위한 열섬현상 완화방안 연구, 한국환경정책평가연구원.
- 박준희, 유신정. 2015. 환경온도를 이용한 온도 자극이 혈액학 반응 및 체온조절 반응에 미치는 영향. 한국생활환경학회지 22(2); 176-188.
- 송동수. 2008. 독일의 습지보전 및 관리법제-자연보호법과 건설법전의 연계성을 중심으로 : 환경법연구 30, 3: 277-305.

- 송영배. 2007. 바람통로 계획과 설계방법. 그린토마토.
- 안승만, 최영진, 엄정희, 전상희, 성효현. 2011. 수치모델을 이용한 기후변화 KML 콘텐츠 출판 연구. 한국지형공간정보학회지 19, no. 4: 35-45.
- 안승만, 이규석, 이채연. 2015. 거칠기길을 이용한 바람통로 네트워크 구축. 한국조경학회지 43, no. 3: 101-113.
- 안승만, 손학기, 이규석, 이채연. 2016. 도시림의 여름철 평균복사온도 저감 추정 연구. 한국조경학회지 44, no. 1: 93-106.
- 안승만, 김승종, 이형찬, 손은영. 2016. 도시의 미기후 관리방향. 국토정책 Brief 583: 1-6.
- 양병이. 2011. 녹색도시 만들기. 서울대학교 출판본부.
- 엄정희. 2010. 공간계획에서 기후를 고려하기 위한 독일의 법적 체계 검토 및 그 시사점-도시의 바람순환을 중심으로. 환경법연구, 32(2): 201-222.
- 오규식 등, 2014. 기후변화적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템 기술 개발 기획. 국가교통과학기술진흥원.
- 이영균, 안승만, 성효현, 최영진, 김규량, 엄정희. 2009. 풍력자원 다차원 시각화를 통한 재생에너지 활용 연구. 한국지도학회지 9, no. 2: 1-7.
- 이채연, 김규량, 안승만, 최영진. 2014. 수도권 열섬 중심으로부터 교외까지의 거리 및 국지적지표특성이 야간 기온분포에 미치는 영향. 대기 17(1): 35-49.
- 이채연, 권태현, 박문수, 최영진, 안승만. 2015. 서울시 건물형태에 따른 거칠기 길이 분포특성 연구. 대기 25(2): 339-351.
- 정희남, 최혁재. 2001. 국토이용체계 개편에 따른 용도지역지구 구역 등의 정비방향 연구, 국토연구원.
- 정희남. 2010. 토지정책 패러다임 재정립 방안 연구. 국토해양부
- 정희남, 한만희, 김채규 외 21인 편저. 2015. 토지정책론, 부연사

환경부. 2011. 통계로 본 국토·자연 환경. 세종 : 환경부.

황지욱, 김소정. 2003. 도시열섬현상의 주거 형태별 비교분석. 국토계획 38, no.7: 235-244.

Akbari, H., Pomerantz, M., Taha, H. 2001. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. Solar energy, 70(3), 295-310.

An, S., Kim, B., Lee, H., Kim, C., Yi, C., Eum, J., Woo, J. 2014a. Three-dimensional point cloud based sky view factor analysis in complex urban settings. International Journal of Climatology 34, no.8: 2685-2701.

An, S. M., Lee, H., Kim, B., Yi, C., Eum, J., Woo, J. 2014b. Geospatial spreadsheets with microscale air quality visualization, synchronization for supporting multiple-scenario visual collaboration. International Journal of Geographical Information Science 28, no.12: 2511-2532.

BDLA(Bund Deutscher Landschaftsarchitekten). 2004. Baugesetzbuch 2004: Die neue Umweltprüfung

Bundesamt für Naturschutz, Landscape Planning – the basis of sustainable landscape development, Bonn, 2008.

Cantalano M. A. 2012. New York City Microclimate Policy Applying Green Infrastructure to Mitigate Environmental Health caused by the Urban Heat Island Effect, Heat Waver, MS thesis.

Eum, J., Scherer, D., Fehrenbach, U., Köppel, J., Woo, J. 2013. Integrating urban climate into urban master plans using spatially distributed information—The Seoul example. Land Use Policy 34: 223-232.

Grimmond, C. S. B., Oke, T. R. 1999. Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form. Journal of applied meteorology,

38(9): 1262–1292.

- Hogrefe, C., Lynn, B., Civerolo, K., Ku, J., Rosenthal, J., Rosenzweig, C., Goldberg, R., et al. 2004. Simulating changes in regional air pollution over the eastern United States due to changes in global and regional climate and emissions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 109, no.D22.
- Geiger, R. 1942. *The climate near the ground*. Cambridge, MA: Harvard Press.
- Kim, K. R., Yi, C., Lee, J., Meier, F., Jänicke, B., Fehrenbach, U., Scherer, D. 2014. BioCAS: Biometeorological Climate impact Assessment System for building-scale impact assessment of heat-stress related mortality. *DIE ERDE-Journal of the Geographical Society of Berlin* 145, no.1–2: 62–79
- Lee, H. 2015. *Increasing heat waves require human-biometeorological analyses on the planning-related potential to mitigate human heat stress within urban districts* (Doctoral dissertation, Faculty of Environment and Natural Resources, Albert-Ludwigs-University, Freiburg).
- Lee, Y.H., Bückmann, W. 2004. , “Implementation des Nachhaltigkeitsprinzips in das deutsche und das koreanische Recht”. *Korean Journal of Comparative Law* 32:141–180.
- Macdonald, R. W., Griffiths, R. F., Hall, D. J. 1998. An improved method for the estimation of surface roughness of obstacle arrays. *Atmospheric environment*, 32(11): 1857–1864.
- McPherson, E. G., Simpson, J., Scott, K. 2002. Actualizing microclimate, air quality benefits with parking lot shade ordinances. *Wetter und Leben* 4, no.98: 353–369.

- Middel et al. 2016. Microclimate Effects of Photovoltaic Canopies: Ongoing Research Projects(Web PDF)
- Mitschang, S., 2008. “Die Belange von Klima und Energie in der Bauleitplanung”, *Natur und Recht* 30: 601–612.
- Oke, T. R. 1982. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 108, no.455: 1–24.
- Oke, T. R. 2002. *Boundary layer climates.*: Routledge.
- Rosenfield, A. H., Akbari, H., Bretz, S., Fishman, B. L., Kurn, D. M., Sailor, D. and Taha, H. 1995. Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. *Energy and Buildings* 22, no.3: 255–265.
- Rosenthal, J. K., Crauderueff, R., Carter, M. 2008. *Urban Heat Island Mitigation Can Improve New York City’s Environment. Sustainable South Bronx*: New York, NY, USA.
- Rosenzweig, C., Solecki, W. D., Cox, J., Hodges, S., Parshall, L., Lynn, B., Goldberg, R., et al. 2009. Mitigating New York City's heat island: Integrating stakeholder perspectives, scientific evaluation. *Bulletin of the American Meteorological Society* 90, no.9: 1297–1312.
- Sailor, D. and Kalkstein, L. E. Wong (2002) Alleviating heat-related mortality through urban heat island mitigation. *Bulletin of the American Meteorological Society* 83, no.5: 663–664.
- Shahmohamadi, P., Cubasch, U., Sodoudi, S., Che-Ani, A. I. 2012. Mitigating urban heat island effects in Tehran metropolitan area. *Air Pollution—A Comprehensive Perspective*, by Budi Haryanto. InTech: 281–282.
- Scherer, D., Fehrenbach, U., Lakes, T., Lauf, S., Meier, F., Schuster, C. 2014. Quantification of heat-stress related mortality hazard, vulnerability, risk in Berlin, Germany. *DIE ERDE-Journal of the*

- Geographical Society of Berlin 144(3/4): 238–259.
- Schiller, M. (2004). Mechanical and Electrical Systems. Chicago, IL: Kaplan AEC Architecture
- Rosenthal, J. K., Crauderueff, R., Carter, M. 2008. Urban Heat Island Mitigation Can Improve New York City's Environment. Sustainable South Bronx: New York, NY, USA.
- Sukkop et al., 1993, Stadtoikologie, Ulm: Gustav FISHER.
- Stewart, I. D. and Oke, T. R. 2012. Local climate zones for urban temperature studies. Bulletin of the American Meteorological Society 93, no.12: 1879–1900.
- Seto, K. C., Güneralp, B., Hutyra, L. R. 2012. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(40)
- Yi, C., Kim, K. R., An, S. M., Choi, Y., Holtmann, A., Jänicke, B., Fehrenbach, U., et al. 2016. Estimating spatial patterns of air temperature at building-resolving spatial resolution in Seoul, Korea. International Journal of Climatology.
- Zhamsueva, G., Ayurzhanaev, A., Zayakhanov, A., Dementeva, A., Azzaya, D., Oyunchimeg, D., Tsydypov, V. 2011. Particularities of Formation and Transport of Arid Aerosol in Central Asia. INTECH Open Access Publisher.

【관련문헌】

- 김명수, 박정은, 최영국, 심우배, 임은선, 이문원, 정진규. 2009. 기후변화에 대응한 지속가능한 국토관리 전략(Ⅱ) - 기후변화 완화 및 적응을 위한 정책과제 도출 - : 국토연구원.

김영준, 김현수, 김연매, 김진국, 김유근. 2014. 폭염사례의 열쾌적성 평가. 2014. 농림수산물기술기획평가원. 2011. 기후변화 대응 농림수산물 R&D 동향 및 전망.

모리아마 마사카즈 등(김해동, 한상주 공역). 2011. 도시열섬: 대책과 기술. 푸른길.

Jihad, A. S. and Tahiri, M. 2016. Modeling the urban geometry influence on outdoor thermal comfort in the case of Moroccan microclimate. Urban Climate 16: 25-42.

【관련 법령 및 고시】

농지법 [시행 2016. 12. 1.] [법률 제14242호, 2016. 5. 29., 타법개정]

대기환경보전법 [시행 2016. 7. 28.] [법률 제13874호, 2016. 1. 27., 일부개정]

도시및주거환경 정비법 [시행 2016. 9. 1.] [법률 제13782호, 2016. 1. 19., 타법개정]

산업집적활성화 및 공장설립에 관한 법률 [시행 2016. 12. 27.] [법률 제14480호, 2016. 12. 27., 타법개정]

자연환경보전법 [시행 2016. 1. 27.] [법률 제13885호, 2016. 1. 27., 일부개정]

환경정책기본법 [시행 2017. 3. 28.] [법률 제14494호, 2016. 12. 27., 일부개정]

서울특별시고시 제 2006-357호(2006. 10. 19.)

【관련홈페이지】

AZO Sensors: <http://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=487>

GEOCOOPS site: <http://www.geocoops.com/urban-microclimates.html>

Landsat8 site: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-data-continuity-mission/>

Global Food, Environment and Economic Dynamics site: <http://www.g-feed.com>

Global Climate Change site: <http://climate.nasa.gov/news/2309/europe-and->

pacific-northwest-face-record-heat/

Net Zero Energy Building site: <http://www.nzeb.in>

NOAA site: <https://www.crh.noaa.gov>

PowerParasol®: <http://powerparasol.com>

SEPA View megazine: <http://www.sepaview.com>

하렘피어스농장: <http://archinect.com/firms/project/106324/urban-farm-sustainably-repurposed-nyc-harlem-pier/> 38305497

SolarGIS: <http://solargis.info>

국립기상과학원: <http://www.nimr.go.kr>

산림청: <http://www.forest.go.kr/>

중앙일보: <http://news.joins.com/article/8703519>

파루: <http://www.paru.co.kr/>



SUMMARY

A Study on the Urban Area Microclimate Management Direction

An Seungman, Kim Seungjong, Lee Hyeongchan

Keywords: Microclimate, Urban Heat Island(UHI), Thermal Comfort, Goldilocks
Microclimate, Green Infra structure, Energy, Land Use

City is a major place of interest for the global warming adaptation initiative and sustainable green growth planning. In addition, microclimate is one of major green growth components and special issue for the urban reconstruction for sustainable life of citizen and urban revitalizing initiative by citizen.

This study aims to develop microclimate management policy directions to mitigate urban heat island(UHI) effects with the promotion of rebuilding urban structure or reorganizing urban surface components by using the land management tools.

For this study, firstly, we surveyed hot spots of the urban heat island subsurface layer using remote sensing technology and also investigated solar insolation(W/m^2) using SOLWEIG(the solar and longwave environmental irradiance geometry) model to know where is warmer(intense UHI) area at

night and where is more energy productive area at day in and around Seoul Metropolitan Area(SMA). Secondly, we surveyed advanced microclimate management technology, adaptation program and regulatory base from other developed countries such as Germany.

As results, we found that major night UHI hot spots were mainly located on industrial complex area such as Sihwa and Namdong where many large and iron-roof buildings are densely located. Secondly bigger night UHI hot spots were located on row-rise and dense residential area where green space is very rare. On the other hand, more solar energy productive place were located on agricultural(paddy) area, airport and surroundings and water area(Han river).

From those survey results, we proposed inspirable urban microclimate management strategy called 'green infrastructure expansion', which is an integrated strategy for microclimate control and solar energy generation, which will cover large urban artificial surface with high rise PV frame and panels to expand multi-function and co-benefits such as mass amount of shadow, electricity in summer day in and around urban area. We referred architectural photovoltaic(PV) structure model from PowerParasol®, which is proposed by initiative venture company in Arizona, U.S.A.

As a picture of future, expanded green infrastructure strategy to accelerate positive urban energy use cycle by mitigating urban heat island. It will also support GHGs reduction and air quality(AQ) enhancement in urban by providing large amount of electricity to many urban public utilities such as subway or public parks instead of fire power plants. However, to make it real, many advanced researches and accompanying studies should perform to validate survey results, regulate laws, and to share it with society. Actually, proposal is not validated and a intimate large scale application would not

recommended without validation.

Despite the difficulty, proposed microclimate management direction in urban area is so fancy and clear that it would make a good partnership with the low-carbon green growth.

□ 국내 태양광 산업 현황 및 발전 유형별 적용 사례

- 태양광발전시장이 급성장하면서⁸²⁾ 발전비용도 저렴해지고 있음
- 약 10만km²의 국토에 일사되는 태양에너지는 약 1,161,080×103[toe/년]이며 전국에 약 9,939 GW의 태양광 발전설비를 설치하면 국내 총발전 설비용량(101.4GW)⁸³⁾의 11.5배, 1년 국내 총발전량(546TWh)의 2.1배의 전기 에너지가 생산 가능
- 국내에서는 2035년까지 신재생에너지 분담율 11% 달성⁸⁴⁾을 위하여 태양광 대역사업, 친환경에너지타운, 제로에너지 빌딩 등 사업을 시행 중
- 신재생에너지 보급정책 중 RPS, 공공의무화, 지방보급사업 등을 통하여 도심지내 다양한 형태로 태양광 발전이 설치가 진행되고 있으며 특히, RPS사업의 경우 건물 내에 태양광 발전을 설치하는 BIPS(Building in PV system)를 장려 중⁸⁵⁾
 - 2013년 현대차 아산공장이 RPS사업의 일환으로 설치한 10MW급 지붕형 태양광 발전설비는 전력 생산 판매, 차열을 통한 하절기 냉방에너지의 감소 등의 효과를 목적
 - 2013년도 세종시가 도로 중앙의 자동차도로에 설치한 5MW급 태양광 발전 설비는 차양 효과, 전력 생산 판매, 친환경도시 이미지 재고 목적
 - 신축 전경련회관(서울시 여의도에 소재) 건물의 남쪽 및 동쪽, 지붕에

82) 총누적설치용량이 2006년 9 GW에서 2015년 192 GW로 증가, 연 성장을 13%이상 유지

83) 2015년 국내 발전설비 및 발전량을 기준으로 함

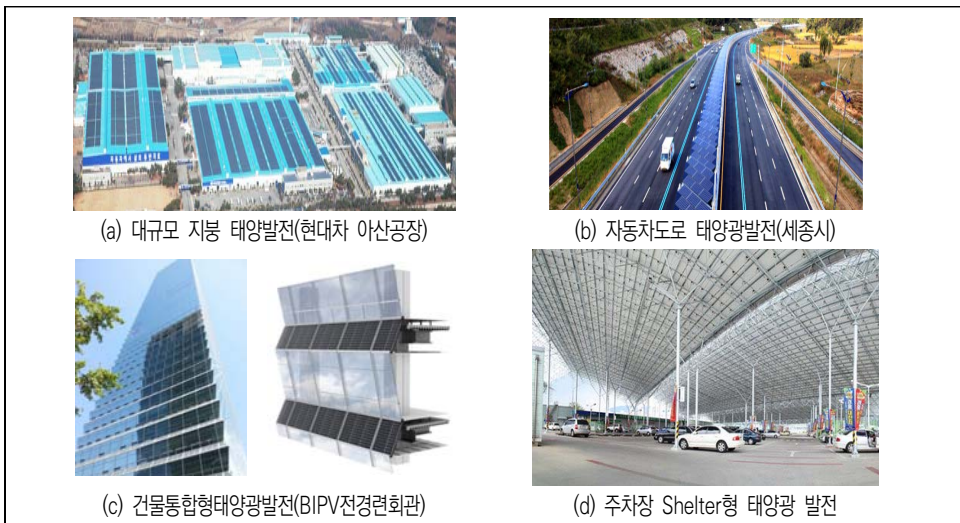
84) 제 4차 신재생에너지 기본계획: 2035년까지의 신재생에너지 개발 보급 등 관련 기본계획

85) 건축 내에 설치 시 REC(Renewable Energy Certificate) 가중치 1.5 적용 혜택

780kW급 태양광발전을 목적으로 설치된 커튼월 차양형 BIPV(Building Integrated PhotoVoltaic System) 설비는 발전 시 태양전지 모듈 및 창호의 태양열을 흡수하여 건물 내 온수 및 난방 공급에 활용⁸⁶⁾

- 한국도로공사⁸⁷⁾는 관공서⁸⁸⁾ 및 민간기업⁸⁹⁾ 주차장에 그늘막(Shelter)형 태양광 발전설비를 설치하고 있으며 이를 통해 발전과 더불어 유희부지의 효율적 활용, 차량의 차양막 제공

그림 1 **국내의 태양광 발전사례 및 설비**



□ 서울시 원전하나 줄이기 정책

- 서울시는 전력사용을 줄이기 위한 에너지절약 활동을 함께 추진하고 있으며 이를 통해 2014년 전력사용량을 2013년 대비 1.4% 줄이고 2015년에는 2014년 대비 3.3%가량 전기사용량을 줄였음

86) 태양광 모듈을 건물에서 직달 일사강도에 유리한 각도(60°)로 시공하여 수직형(Facade) 대비 약 40%의 발전량의 향상과 차양형으로 전창형 건물의 단점인 직사광선 유입을 방지할 수 있음

87) 태양광 발전 위해 전국 고속도로 주차장을 25년간 임대하여 10MW의 태양광 발전시설을 설치 중

88) 전북도청, 전남도청, 광주광역시, 양산청사, 김대중 컨벤션센터(1MW) 등 관공서 주차장에 Shelter형 태양광 발전설비 설치

89) 르노자동차(지붕포함 총 20MW), 영암 F1경기장(13.3MW) 태양광 발전시설 주차장 설치

- 2011년 후쿠시마 원전사고를 계기로 원전하나 줄이기 종합대책을 수립하고 최소한의 도시기반시설 가동 가능한 신재생에너지 자급비율 확보
 - 서울시는 영광원전 5호기의 전력생산량과 맞먹는 900만GWh를 줄이고 석유나 도시가스 등 에너지 121만TOE를 줄여 화력이나 원자력 발전에 대한 의존도를 낮추기 위해서 태양광발전이 가능한 서울시 부지에 PV 시설을 설치하고 이를 통해 주요시설의 에너지 자급비율을 늘리려 함
- 태양광 발전의 적극적인 도입을 위해 RPS(Renewable Portfolio Standard) 용유휴지 임대, 시민펀드, 발전차액지원, 미니태양광 등 장려
- 친환경 도시 개선사업의 일환으로 도로, 주차장, 공원 등에 태양광 발전을 설치할 수 있는 방안을 적극적으로 모색 중
 - 소규모 태양광설비(미니태양광)를 10MW까지 확대 보급하고 시민들이 적극 참여할 수 있는 시민펀드형 태양에너지 보급사업 확대

그림 2 서울시 태양광 발전 지원사업 유형



- 2014년까지 320MWh 규모 태양광발전소 설치계획이었으나 2016년 약 105MWh 설치(계획대비 30%). 부지확보 문제로 추진일정 지연⁹⁰⁾

90) 2011년 서울의 전력량은 46,903 GWh로 전국 전력소비의 10.3 % 차지하는 반면 전력생산은 1,384 GWh로 서울시 전력 자급률은 약 2.9 %였음

수시 16-03

도시지역 미기후 관리방향 연구

지 은 이 안승만, 김승중, 이형찬

발 행 인 김동주

발 행 처 국토연구원

출판등록

인 쇄 2016년 7월 31일

발 행 2016년 7월 31일

주 소 경기도 안양시 동안구 시민대로 254

전 화 031-380-0114

팩 스 031-380-0470

가 격 5,000원

ISBN 979-11-5898-106-8

한국연구재단 연구분야 분류코드 B150900

홈페이지 <http://www.krihs.re.kr>

© 2016, 국토연구원

이 연구보고서의 내용은 국토연구원의 자체 연구물로서 정부의 정책이나 견해와는 상관없습니다.

이 연구보고서는 대한인쇄문화협회가 제공한 바른바탕체와 한국출판인회의에서 제공한 Kopub돋움체가 적용되어 있습니다.

도시지역 미기후 관리방향 연구



제1장 연구의 개요

제2장 연구의 이론적 틀

제3장 도시 미기후 관리 관련 제도 및 사례

제4장 서울 주변 수도권의 도시 미기후

제5장 도시 미기후 관리방향

제6장 결론 및 향후과제



국토연구원
KRIHS

14067 경기도 안양시 동안구 시민대로 254
전화. 031.380.0114 팩스. 031.380.0470



5,000원

9 791158 981068
ISBN 979-11-5998-106-8