



**걷고 싶은 골목길이 만드는
시원한 우리 동네**



연구책임

추소연 RE도시건축 소장

연구진

이우주 RE도시건축 실장

김준오 RE도시건축 연구원

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서
서울특별시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

목차

01 서론	1
1_연구배경 및 목적	1
2_연구내용 및 방법	4
02 선행연구 조사	6
1_선행연구를 통한 골목길 온열환경 영향요소 분석	6
2_골목길 디자인 요소별 열섬현상 저감 효과	15
3_열섬현상 저감 골목길 디자인 및 정책 사례	27
03 서울시 골목길 정비사업 현황과 온열환경	38
1_서울시 골목길 정비사업 현황 및 사례	38
2_서울시 골목길 열섬현상 완화 관련 정책 및 제도	50
04 능동 골목길의 온열환경 평가 및 시원한 골목길 디자인 제안	54
1_골목길 온열환경 평가 및 측정 기준	54
2_능동 골목길 사례 온열환경 평가	59
3_능동 골목길 사례 마감재료에 따른 온도변화 측정	68
4_능동 시원한 골목길 디자인 제안	86
05 시원한 골목길을 위한 정책 제안	90
1_시원한 골목길을 위한 정책 제안	90
2_연구의 한계 및 향후 연구의 방향	93
참고문헌	95

표 목차

[표 2-1] 도시 열섬현상에 영향을 미치는 주요 변수들	14
[표 2-2] 도로마감재의 열섬현상 관련 선행연구 요약	17
[표 2-3] 벽면 마감재의 열섬현상 관련 선행연구 요약	19
[표 2-4] 그늘막의 열섬현상 관련 선행연구 요약	20
[표 2-5] 친수공간 및 수경시설의 열섬현상 관련 선행연구 요약	21
[표 2-6] 식생과 가로수의 열섬현상 관련 선행연구 요약	22
[표 2-7] 근린공원의 열섬현상 관련 선행연구 요약	23
[표 2-8] 도시 인공열의 열섬현상 관련 선행연구 요약	25
[표 2-9] 골목길 구조 및 건물 밀도의 열섬현상 관련 선행연구 요약	26
[표 2-10] 토론토 그린빌딩 스탠다드: 열섬현상 저감 설계기준	37
[표 3-1] 연도별 그린파킹사업 추진 실적	39
[표 3-2] 2019년 가꿈주택사업 중 골목길 개선 요청 사항 사업내용	41
[표 3-3] 성북동 선잠로 골목길 재생사업 계획	42
[표 3-4] 용산구 후암동 골목길 재생사업 계획	43
[표 3-5] 서울시 골목길 정비사업 도로 마감 현황	45
[표 3-6] 시험결과 적용기준	52
[표 3-7] 국내 제조사별 차열 성능 측정 결과	52
[표 4-1] 골목길 온열환경 평가기준표	56
[표 4-2] 능동로 32길 녹색주차마을 사업 진행지 온열환경 평가결과	61
[표 4-3] 능동로 32길 주변 주택가 2m 도로 온열환경 평가결과	66

그림 목차

[그림 1-1] 연구흐름도	5
[그림 2-1] 골목길 도시협곡의 지표에너지모델과 열섬현상	7
[그림 2-2] 골목길 디자인 관련 열섬현상 영향 요소	15
[그림 2-3] 시카고 그린 골목길 프로그램의 적용 기술 요소	28
[그림 2-4] 시카고 그린 골목길 프로그램의 적용 기술 요소	28
[그림 2-5] SLAGAMP 녹색 골목길 시나리오	30
[그림 2-6] 아발론 그린 골목 네트워킹 시범 프로젝트 마스터플랜	31
[그림 2-7] 아발론 그린 골목 시범사업 경과	32
[그림 2-8] 필라델피아시 그린 인프라 사업 주요 적용 기술	34
[그림 2-9] 뉴욕주 GreenLITES 인증 평가표	35
[그림 3-1] 장위동 감나무골목 가꿈주택 연계형 골목길 정비사업 전후사진	41
[그림 3-2] 서울시 골목길 정비사업 주요 마감재	44
[그림 3-3] 도막형 바닥재와 컬러문양콘크리트 등의 관리실태	46
[그림 3-4] 화단과 연계한 골목길 정비사업	47
[그림 3-5] 골목길 나무 식재 사례	47
[그림 3-6] 골목길 녹화 사례	48
[그림 3-7] 인수봉 숲길 빗물마을 안내도	49
[그림 3-8] 기타 골목길 온도를 높이는 요인들	49
[그림 4-1] 골목길 온열환경 평가 및 온도 측정지점	54
[그림 4-2] 대기온도 횡단 모니터링 측정 경로	55
[그림 4-3] 골목길 온습도 및 표면온도 측정 장비	58

[그림 4-4] 분석대상 1: 능동로32길 녹색주차마을사업 진행지의 도시협곡구조	59
[그림 4-5] 분석대상 1: 능동로32길 녹색주차마을사업 진행지의 골목길 전경	60
[그림 4-6] 분석대상 2: 능동로32길 주변 2m 도로의 도시협곡구조	64
[그림 4-7] 분석대상 2: 능동로32길 주변 2m 도로의 전경	65
[그림 4-8] 측정지점 A: 공원 앞 보행로의 도시협곡구조	68
[그림 4-9] 측정지점 A: 공원 앞 보행로의 전경	69
[그림 4-10] 측정지점 A의 표면온도 측정 마감재 현황	69
[그림 4-11] 측정지점 A의 정오경 기온 및 표면온도 측정 결과	70
[그림 4-12] 측정지점 A의 오후 4시경 기온 및 표면온도 측정 결과	71
[그림 4-13] 측정지점 A의 오후 7시경 기온 및 표면온도 측정 결과	71
[그림 4-14] 측정지점 B의 표면온도 측정 위치 현황	72
[그림 4-15] 측정지점 B의 표면온도 측정 마감재 현황	73
[그림 4-16] 측정지점 B의 정오경 기온 및 표면온도 측정 결과	74
[그림 4-17] 측정지점 B의 오후 4시경 기온 및 표면온도 측정 결과	74
[그림 4-18] 측정지점 B의 오후 7시경 기온 및 표면온도 측정 결과	75
[그림 4-19] 측정지점 C의 표면온도 측정 위치 현황	76
[그림 4-20] 측정지점 C의 표면온도 측정 마감재 현황	76
[그림 4-21] 측정지점 C의 정오경 기온 및 표면온도 측정 결과	77
[그림 4-22] 측정지점 C의 오후 4시경 기온 및 표면온도 측정 결과	77
[그림 4-23] 측정지점 C의 오후 7시경 기온 및 표면온도 측정 결과	77
[그림 4-24] 측정지점 D: 대공원 담장길의 도시협곡구조	79
[그림 4-25] 측정지점 D: 대공원 담장길의 전경	79
[그림 4-26] 측정지점 D의 표면온도 측정 마감재 현황	80
[그림 4-27] 측정지점 D의 정오경 기온 및 표면온도 측정 결과	81
[그림 4-28] 측정지점 D의 오후 4시경 기온 및 표면온도 측정 결과	81
[그림 4-29] 측정지점 D의 오후 7시경 기온 및 표면온도 측정 결과	81
[그림 4-30] 골목길 측정지점별 정오경의 기온변화 비교	82
[그림 4-31] 골목길 측정지점별 오후 4시경의 기온변화 비교	82

[그림 4-32] 골목길 측정지점별 오후 7시경의 기온변화 비교	83
[그림 4-33] 골목길 기온 횡단 모니터링에 따른 기온 변화	84
[그림 4-34] 골목길 습도 횡단 모니터링에 따른 상대습도 변화	85
[그림 4-35] 8m 녹색주차마을 생활도로 디자인 개선 제안 - 투시도	86
[그림 4-36] 8m 녹색주차마을 생활도로 디자인 개선 제안 - 입면도	87
[그림 4-37] 2m 골목길 디자인 개선 제안 - 투시도 I	88
[그림 4-38] 2m 골목길 디자인 개선 제안 - 투시도 II	88

01. 서론

1_연구배경 및 목적

1) 자동차가 주인이 되어 버린 걷고 싶지 않은 골목길

언제부터가 서울에는 골목길을 뛰어 놀던 아이들이 사라졌다. 아이들이 바빠진 것일 수도 있지만, 자동차가 주인이 되어 버린 골목길에 아이들을 혼자 내보낼 수 있는 용감한 부모도 많지 않다. 또한 골목길에서 사라진 건 아이들만이 아니다. 평상을 펴 놓고 수다 떨던 아낙네들도 사라졌고, 이웃과 인사를 나누며, 여유롭게 산책을 즐기는 주민들을 만나기도 쉽지 않다.

골목길이 아스팔트로 덮일 때, 주민들은 골목길이 깨끗해졌다며, 동네 좋아졌다며, 칭찬을 아끼지 않지만, 자동차가 다니기 편해진 골목길의 주인은 더 이상 보행자가 아니다. 불법주차에 거주자 우선 차량까지, 주차장이 되어 버린 골목길을 일상적으로 마주하고, 규정 속도를 넘겨 빠르게 주행하는 자동차들에 깜짝 놀라기 일쑤인 것이 ‘깨끗한’ 골목길의 현실이다. 게다가, 이미 많은 과학적 연구는 검은색 아스팔트를 도심 열섬현상을 일으키고, 보행자 레벨의 온열환경을 저해하는 주요 원인으로 주목하고 있다(Akbari et al., 2001; Taha, 2004; Lopes et al., 2001).

오늘도 서울 곳곳에서 골목길 환경개선 사업들이 이루어지고 있지만, 온열환경을 포함하여, 보행 쾌적성에 대한 고민은 부족해 보인다. 대중교통 이용 활성화 캠페인을 벌이지만, 정작 대중교통을 이용하는 주민들이 안전하고 쾌적하게 거닐 수 있는 골목길은 많지 않다. 여름철 폭염 속 진득해진 아스팔트 골목길을 걸으며, 바닥에서 올라오는 뜨거운 열기에, 자동차가 뿜어내는 복사열에 얼굴을 찌푸려본 경험은 어느새 보편적인 일상이 되어가고 있다.

2) 폭염과 도심의 골목길

'숲세권'이라는 신조어가 만들어질 만큼 숲과 나무가 도시에 미치는 긍정적인 영향이 사회적으로 공유되고 있다. 실제로 공원 주변의 동네에선 공원 둘레길로 들어서자마자 온도가 낮아지고, 시원한 바람이 부는 것을 쉽게 체감할 수 있다. 매미가 우는 마당의 나무 그늘만 해도 주택 사이사이의 열기를 식혀준다. 그러나, 언제부턴가 여름이면 우거지던 마당의 나무들이 주택가에서 사라지고, 그 자리를 덩그러니 채운 콘크리트 주차장들의 열기가 밤새 시민들의 잠자리를 방해하고 있다.

2018년 여름, 지독한 폭염이 지나갔다. 기상청 자료에 따르면, 2018년 서울 경기 지역의 폭염일수는 27.8일로 1900년 관측 이래 가장 많았고, 열대야일수도 23.8일로 세 번째로 많았다. 기상청이 발행한 한반도 기후변화 전망분석서(기상청, 2018)는 서울지역에서 폭염일수 및 열대야일수 증가 속도가 가장 빠를 것이라고 예측하고, 2018년의 여름이 우리의 일상이 될 수 있음을 보여주고 있다. 이 보고서는 파리협정에 따라 온실가스 농도가 현재와 유사한 420ppm 수준으로 유지된다고 하더라도(시나리오 RCP2.6), 21세기 중반기(2041 ~ 2070년) 서울지역의 폭염일수가 현재 11.1일에서 29일로, 열대야일수가 현재 8.2일에서 22일로 늘어날 것으로 전망하고 있다. 또한 현재 추세로 저감 없이 온실가스가 배출되는 최악의 경우(시나리오 RCP8.5)라면, 폭염일수는 44.3일, 열대야일수는 32.9일까지 증가할 것으로 보고하고 있다.

기후변화를 피할 수 없다면, 지금은 기온 상승에 적응하고, 도심의 열섬현상을 완화할 수 있도록, 골목길과 그 주변의 디자인을 다시 고민해야 하는 시점이다. 선행연구들이 지적하듯, 도심의 높은 온도는 여름철 건물에서 냉방에너지 소비를 증가시키고, 스모그나, SO₂, CO, NO_x, 미세먼지 등의 대기오염 발생을 촉진한다(Rosenfeld et al., 1998; Lopes et al., 2001; Taha, 2004). 더욱이 2000년 미국 캘리포니아나 2011년 우리나라의 대규모 정전사태처럼 냉방부하의 증가가 전력시스템 피크부하를 높이고, 이를 관리하기 위한 사회적 비용 부담으로 연결되기도 한다. 반대로, 도심 온도를 낮추는 골목길 디자인은 보행자 열환경을 개선하고, 스모그를 줄이는 등 대기 환경을 향상시킬 뿐 아니라, 주변의 냉방에너지 절감에도 기여함으로써, 결과적으로 관련 전력 인프라에 대한 투자 지연이나 온실가스 배출 저감 등 다른 긍정적인 효과도 기대할 수 있다(Santamouris, 2001; McPherson et al., 1994; Akbari et al., 2001; Taha, 2004; Yu and Wong, 2006).

3) 도심 열섬현상을 줄일 수 있는 골목길 재생방안

이 연구의 목적은 서울의 골목길 재생사업으로 도심 열섬현상을 줄일 수 있는 방법을 제시하는 데 있다. 서울에서는 해마다 다양한 주제로 골목길 정비사업들이 이루어지고 있지만, 대부분 주차 공간 확보, 소방도로 폭 확보, 보안, 쓰레기 문제 해결, 환경미화 등이 주요 관심사일 뿐, 골목길의 열환경 문제를 적극 다루지는 못하고 있다. 그러나, 골목길의 열환경 관리는 보행자의 쾌적성뿐 아니라, 주거지역의 열스트레스를 최소화하고, 주거취약계층의 기후변화 적응력을 높일 수 있다는 점에서 중요하다, 따라서, 골목길 재생사업에서 열환경 개선을 위한 디자인 가이드라인을 제공하고, 이를 평가할 수 있는 기준을 마련하는 것이 필요하며, 이 연구는 이에 대한 기본 방향과 정책 과제를 제시하려고 한다.

2_연구내용 및 방법

1) 연구내용의 구성

연구내용은 우선 열섬현상 저감요소들을 분석하고, 이 중 골목길 디자인에 적용할 수 있는 요소들을 정리하고자 하였다. 이에 따라, 제2장에서는 지표 에너지 수지와 관련된 선행연구를 통하여 골목길 온열환경 영향요소를 분석하고, 골목길 디자인 요소별로 열섬현상 저감효과의 규모를 비교하고자 하였다. 또한 이러한 요소들이 적용된 열섬현상 저감 골목길 디자인 사례도 정리하였다.

제3장에서는 서울시 골목길 정비사업의 현황을 정리하고, 온열환경 관리와의 관련성에 대해 알아보았다. 또한 도로포장이나 재료 선택, 우수관리, 조경디자인 등 골목길 열섬현상 완화 관련 제도와 기준을 정리하였다.

제4장에서는 현장에서의 다양한 골목길 디자인 요소가 온열환경에 미치는 영향을 평가하기 위해 실제 물리적인 환경이 다른 능동의 골목길 네 곳을 선정하여, 골목길 열섬 영향 디자인 요소들을 분석하고, 매일 같은 시각 해당 지점의 기온과 서로 다른 마감 재료의 표면온도를 측정하였다. 그리고 이를 바탕으로 해당 골목길에 대한 열섬현상 저감 디자인 사례를 제안하였다.

마지막으로 제5장에서는 서울시 골목길 재생사업에 적용할 수 있는 시원한 골목길 디자인을 유형에 따라 제시하고, 이를 적용하기 위해 보완되어야 할 기준이나 정책을 제시하였다. 아울러 연구 환경의 시간적 물리적 제약에 따른 이 연구의 한계를 명시하고, 향후 연구 방향도 제안하고자 하였다.

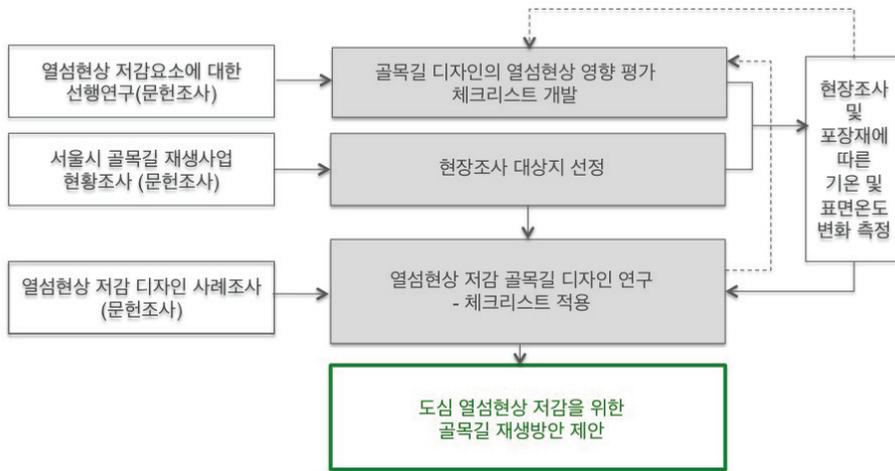
2) 연구방법

이 연구는 크게 문헌연구와 현장조사로 나누어 진행되었고, 문헌연구와 현장조사는 상호 보완적인 관계에 있다.

문헌연구는 먼저 열섬현상 저감 전략에 대한 선행 연구들을 조사하고, 골목길 디자인과 연관된 요소들을 분석하였다. 국내 골목길 환경 정비 사업의 현황이나 디자인 사례도 1차적으로 문헌을 통해 조사하였으며, 국내의 열섬현상 저감 골목길 디자인 사례도 조사하여 정리하였다. 또한 국내 골목길 열섬현상 저감과 관련된 제도 및 기준도 조사하였다. 현장조사는 체크리스트를 이용한 실태조사와 온습도계 및 표면 온습도계, 온도데이터 로

거를 활용한 측정조사로 구분된다. 실태조사는 문헌연구를 통해 만들어진 골목길 디자인의 열섬현상 영향 평가표로 열섬현상 영향 요소들이 실제 골목길에 어떻게 적용되고 있는지를 파악하고자 하였다, 측정조사는 골목길의 서로 다른 물리적 환경 조건이 기온 변화에 어떤 영향을 미치는지 관측하고자 하였고, 온습도계와 표면 온습도계를 이용하여 마감 재료에 따른 표면온도 차이 측정과 온도데이터 로거를 통한 수평적 기온 변화 측정을 구분하여 시행하였다.

다음 [그림 1-1]은 이 연구의 연구 흐름도이다.



[그림 1-1] 연구흐름도

02. 선행연구 조사

1_선행연구를 통한 골목길 온열환경 영향요소 분석

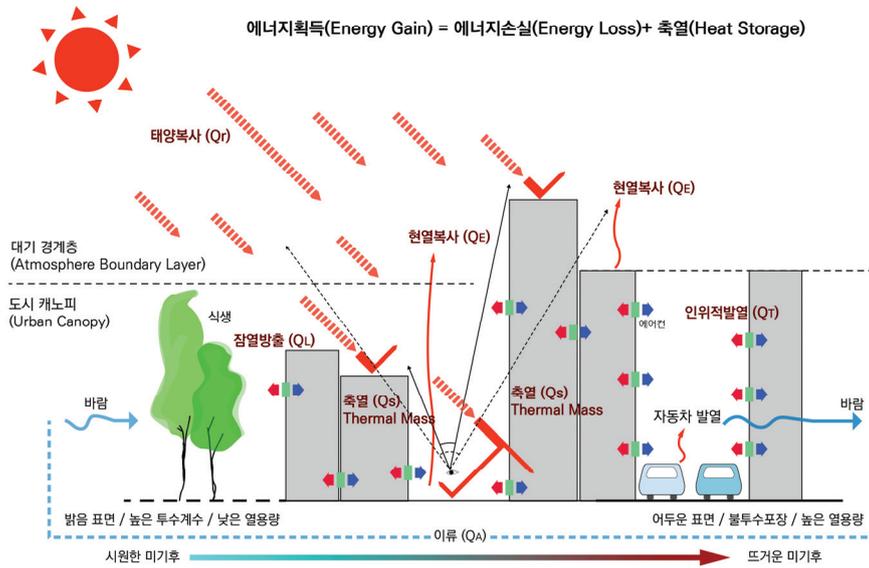
1) 도시화에 따른 골목길의 열섬현상

골목은 집과 집 사이, 집과 큰길을 연결하는 매개 공간(국립국어원 표준국어사전)이다. 그러나 우리가 골목길을 의미를 물리적인 ‘연결’, ‘순환’, ‘물류’에서 많은 시민의 삶을 연결하고 도시로 확장시키는 공간, 사회적인 상호작용이 이루어지는 공간으로 보게 된다면, 사람들이 머물 수 있는 환경, 특히 미기후와 쾌적성에 주목할 수밖에 없다.

도시화가 진행될수록 골목길에서 식생의 비중은 자연스레 줄어들고, 차들을 위한 투수되지 않는 바닥면적의 비중은 커진다. 또한 건물의 밀도가 높아짐에 따라 골목길의 구조가 열을 가두어 두기 쉬운 형태로 특성화되고, 건물들이 배출하는 에너지의 양도 늘어난다. 이러한 도시화, 고밀화된 골목의 특성은 골목길 내에 복사열을 가두고, 증발산이나 수평 바람을 통해 대기 중으로 배출하는 열을 줄여, 도시 지역의 온도를 주변 지역보다 높이는 결과를 초래한다(Oke, 2002). 우리는 이를 열섬현상이라고 부르며, 열섬현상 강도(UHII: Urban Heat Island Intensity)는 도심지역과 주변지역의 온도차로 결정된다(Li et al., 2018; Memon et al., 2008; Memon et al., 2009; Santamouris, 2001). 열섬현상 강도는 대기온도 또는 표면온도를 기준으로 평가할 수 있는데, 대기온도가 기준일 경우에는 태양복사로 충분히 데워졌던 도시협곡의 열기가 다시 방출되는 늦은 저녁과 이른 새벽에 높은 경향이 있으며, 표면온도가 기준일 경우에는 골목길에 태양이 비침에 따라 지속해서 높게 나타나고 있다(Santamouris, 2001; Memon et al., 2008; Memon et al., 2009). 반면, 도시열섬강도에 대한 관측치는 측정 장소의 날씨, 바람 등 기상조건이나, 도시의 규모에 따라 기상현상이 미치는 영향 정도, 측정방법 등이 다르기 때문으로 보인다(Sukopp, 1998; Memon et al., 2008; Memon et al., 2009).

2) 지표 에너지 수지(Surface Energy Balance)와 도시의 열섬현상 영향 변수

열섬현상은 기본적으로 지표 에너지 수지(Surface Energy Balance)의 변화로 초래된다(Santamouris, 2001). 일반적으로 골목길의 표면구조를 따라 [그림 2-1]과 같이 도시 협곡(Urban Canyon) 모델을 가정하면, 골목길, 즉 도시협곡에 들어오는 에너지 획득(Energy Gain)은 대기경계층(Atmosphere Boundary Layer)으로 빠져나가는 에너지 손실(Energy Loss)과 도시의 구조 내에 축적되는 저장열(Heat Storage)의 합으로 볼 수 있으며, 여기에 수평 이류를 추가로 고려할 수 있다.



출처: Soltani and Sharif(2017)의 그림과 Santamouris(2001)의 그림을 재구성한 결과임.

[그림 2-1] 골목길 도시협곡의 지표에너지모델과 열섬현상

지표 에너지 수지의 에너지 획득은 대표적으로 태양복사를 비롯한 복사수지(Q_r)와 인위적인 발열(Q_h)로 나눌 수 있으며, 대기경계층으로의 열손실은 현열복사(Q_c)와 잠열손실(Q_l)로 구분된다. 따라서, 골목길의 지표에너지수지는 다음 식(1)과 같이 정의될 수 있다(Oke, 1987; Santamouris, 2001; Memon et al., 2008).

$$Q_r + Q_T = Q_E + Q_L + Q_S + Q_A \quad (1)$$

- Q_r : 전 파장 복사 수지 (Net All-wave Radiation)
 Q_T : 인위적인 발열 (Anthropogenic Heat Release)
 Q_E : 현열속, 대기와의 현열 교환 (Sensible Heat Flux)
 Q_L : 잠열속, 대기와의 잠열 교환 (Latent Heat Flux)
 Q_S : 지중 및 표면 축열 (Surface Heat Storage)
 Q_A : 이류에 의한 수평 확산 (Horizontal Heat Advection)

많은 연구가 도심 열섬 효과에 영향을 미치는 지표 에너지 수지의 각 항이 하루 동안의 태양 복사 주기와 건축 환경에 영향을 받는 것으로 보고하고 있다. 이에 따르면, 도심이 고밀화되고 식생의 비중이 적어질수록, 현열속(QE)과 잠열속(QL) 중 현열속의 영향이 큰 것으로 보았으며, 대부분의 경우, 현열속(QE)과 잠열속(QL), 그리고 지중 및 표면의 열저장(QS)의 합이 전파장 복사에너지(QR)의 변화를 따르는 것으로 나타났다. 또한 낮 동안에는 현열속(QE)의 영향이 지배적이었다가, 해가 지고 나면, 대체로 지중 및 표면의 축열(QS)이 가장 큰 영향을 미치고 있는 것으로 분석하고 있다(Oke, 1987; Grimmond, 1992; Sasaki, et al., 2008).

전 파장 복사 수지(Q_r : Net All-wave Radiation)는 지표 에너지 수지에서 가장 중요한 부분을 차지하며, 흡수되는 장단파 복사와 지표에 의해 방출되는 장파복사의 차이로, 다음 식(2)와 같이 정의할 수 있다(Oke, 1987; Memon et al., 2008).

$$Q_r = (I_b + I_d)(1 - \alpha) - I_l \quad (2)$$

- I_b : 직달 일사(the beam solar radiation)
 I_d : 산란 일사(the diffuse solar radiation)
 α : 태양복사에 대한 도시의 평균 반사율
 I_l : 도시 표면에 의해 흡수($I \downarrow$)되고 방사($I \uparrow$)되는 장파복사 평형

여기서 태양의 일사량을 주어진 조건으로 본다면, 총 장단파 복사수지에 영향을 미치는 요소는 도시의 평균 반사율과 장파복사 평형이 될 것이다. 여기에 건물이나 골목길과

같은 도시의 표면마감이 중요한 역할을 하며, 마감재의 반사율이 클수록 도시협곡의 지표 에너지 수지에 입사되는 직달 및 산란 일사량이 직접적으로 줄어든다고 볼 수 있다. 게다가 마감재의 성질은 2차적으로 I_{\uparrow} 장파복사 평형에도 영향을 미치는데, 방사되는 장파복사 에너지(I_{\uparrow})는 스테판 볼츠만의 법칙에 따라 표면 마감재료의 방사율과 표면온도의 네 제곱에 비례하는 것으로 추정할 수 있다(식 (3)). 도시 표면에 의해 흡수되는 장파복사 에너지(I_{\downarrow})도 스테판 볼츠만의 법칙에 따라 추정할 수 있기는 하지만, 기온이 일정하지 않기 때문에 천공기온이라는 별도의 개념을 통해 정리할 수 있다(식 (4)). 여기에 에어로졸과 같은 대기오염물질도 장파복사 평형에 영향을 주는데, 대기오염물질들이 장파복사를 다시 흡수하고 방사함으로써 대기로부터의 장파 복사량을 증가시키기 때문이다(Oke, 1987; Santamouris, 2001; Memon et al., 2008)..

$$I_{\uparrow} = e \sigma T_0^4 \quad (3)$$

I_{\uparrow} : 도시 표면으로부터 방사되는 장파복사

e : 표면 마감재료의 방사율

σ : 스테판 볼츠만 상수

T_0 : 표면온도

$$I_{\downarrow} = \epsilon_s \sigma T_{\text{sky}}^4 \quad (4)$$

I_{\downarrow} : 도시 표면에 흡수되는 장파복사

σ : 스테판 볼츠만 상수

T_{sky} : 천공 온도

T_a : 지표 부근의 절대 주변 온도 cl

ϵ_s : 천공의 방사율

인위적인 발열은 건물에서 에너지 사용과 같은 정적 열원과 자동차 배기열 방출 등의 동적 열원으로 구분될 수 있으며(Memon et al., 2008), 주변 지역의 온도에 중요한 영향을 미치고, 도심의 열섬강도를 높이는 역할을 하는 것으로 나타난다(Santamouris, 2001; Taha, 2004). 특히, 인위적인 발열에 대한 제어는 인간 행동의 변화나 도시 정책

의 입안 등에 따라 직접적으로 조절 가능한 요소로, 지역 편차가 큰 것으로 추정되며, 연구자들도 발열량이나 이에 따른 온도 상승 효과를 다르게 평가하고 있다. 다만, 도시가 고밀화될수록 온도 증가 폭이 크고, 특히 난방을 많이 하는 겨울철의 기온 상승 경향이 뚜렷하게 나타나고 있어, 도시의 규모나 밀도, 인구, 주변 건물의 에너지 성능, 교통량, 토지이용 등을 이와 관련된 변수로 볼 수 있다(Taha et al., 1988; Santamouris, 2001; Oke et al., 1991; Oke and East, 1971; Memon et al., 2008; Ichinose et al., 1999).

난류 열속(Turbulent Heat Flux)은 현열속(Sensible Heat Flux)과 잠열속(Latent Heat Flux)으로 이루어지며, 일반적으로 도시에서는 잠열보다는 현열속의 영향이 크게 나타난다(Memon et al., 2008). 현열속은 식(5)와 같이 표면온도와 기온의 차이로 정의되며, 낮에는 대기방향으로, 밤에는 지표방향으로 향하는 경향이 있다. 대류 열교환 계수는 단위 온도차에 대한 대류를 통한 열교환율을 정의하며, 표면 바로 위의 정체된 층으로 말미암은 열저항을 의미하기도 한다. 이 저항층은 풍속이 높을수록 얇아지기 때문에, 건물이나 구조물에 따른 지표면 거칠기의 영향을 받는다(Taha, 2004; Takebayashi and Moriyama, 2009; Mizraei and Haghighat, 2010).

$$Q_E = h_c(T_o - T_a) \quad (5)$$

h_c : 대류 열교환 계수(W/m²K)

T_o : 표면온도

T_a : 대기 온도

잠열속은 증발산 과정과 관련이 있는데, 이는 대기 중의 습도뿐 아니라, 기상변화를 가능하게 하는 지표 부근의 기온에도 영향을 받는다. 현열속과는 다르게 결로가 일어나는 경우를 제외하면 거의 항상 대기 방향으로 향하고, 식(6)과 같이 정의될 수 있다(Taha, 2004; Takebayashi and Moriyama, 2009; Mizraei and Haghighat, 2010). 보웬 비율은 증발 효율을 뜻하고, 잠열속과 현열속의 비율로도 정의되므로, 보웬 비율이 크다는 것은 현열속이 크다는 의미로 대기 온도의 상승과 연결된다(Taha, 2004). 보웬 비율은 공원과 같은 도시 내 녹지와 수목의 비중이나 녹화 면적, 기타 스프레이, 수변 공간 등 수증기 공급원, 보수성 마감재 등의 비중에도 영향을 받는다.

$$Q_L = \lambda E = \beta \alpha_w (X_s - X_a) = \beta \alpha / C_p (X_s - X_a) \quad (6)$$

λ : 증발 잠열(the latent heat of vaporization)

E : 증발산율(the evaporation rate)

β : 증발 효율, 보웬 비율

α : 대류 열교환 계수(W/m²K)

C_p : 공기 비열(J/kgK)

X_s : 포화 습도(kg/kg)

X_a : 공기 절대 습도(kg/kg)

지중 및 지표에 의한 축열은 열저장 매체의 부피 용량과 축열을 하게 되는 토양 및 건물 등의 열용량, 그리고 단위시간당 평균 온도변화에 영향을 받게 된다. 특히, 전 파장 복사의 증가는 축열속(stored heat flux)을 직접적으로 증가시키는 것으로 나타난다. 그러나, 많은 모델에서 다양한 표면재료와 주향, 각 재료 간의 상호작용 등에 따라 현실에서 이 양을 직접적으로 측정하는 것은 불가능하다고 보고, 이 부분은 지표 에너지 방정식의 나머지로 표현하는 경향이 있다(Memon et al., 2008; Grimmond, 1992).

지중 및 지표에 의한 축열은 종종 지표온도에 기초한 지중열속(Ground Heat Flux)의 개념으로 표현되기도 하며, 지표 층에 따른 온도변화와 지중의 열전도율 및 흙의 열용량에 비례하는 것으로, 식(7)과 같이 표현될 수 있다(Oke, 1987). 앞서 언급한 것처럼 지중 및 지표, 도시협곡의 표면 재료에 의해 축적된 에너지는 해가 진 후 대기 온도가 떨어지게 되면, 대기 중으로 방출되면서, 야간의 열섬현상 강도에 직접적인 영향을 미치게 된다(Giridharan, 2005)

$$Q_G = - K_{HS} \cdot C_s \Delta T_s / \Delta z \quad (7)$$

Q_G : 지중 열속 (Ground heat fluxes)

C_s : 흙의 열용량

K_{HS} : 지중의 열전도율

ΔT_s : 시간에 따른 평균 표면온도

마지막으로 총 열 이류(The net heat advection)는 온도차가 있는 서로 다른 지역 간에 볼게 되는 수평 공기의 이동으로 현열 및 잠열의 직접적인 형태로 열에너지를 다른 지역으로 환기시키는 역할을 하며, 온도, 습도, 바람의 공간적 변화에 비례하는 것으로 식(8)처럼 정의된다(Oke, 1987; Kikegawa et al., 2003; Kikegawa et al., 2006; Memon et al., 2008), 예를 들어, 수면과 지표면은 서로 다른 물성에 따라 같은 일사 조건에서 온도차가 나타나게 되며, 국지적인 바람이 불지 않더라도 공기의 이동이 일어나게 된다. 해안이나 호숫가 등에 부는 미풍은 이러한 현상의 대표적인 사례이며, 도심 협곡의 정체된 에너지를 수평방향으로 해소시키는 역할을 할 수 있다(Oke, 1987).

$$Q_A = C_p \rho (\alpha V) \cdot \nabla \theta \quad (8)$$

Q_A : 이류에 의한 열전달

$C_p \rho$: 공기의 열용량

V : 바람 속도

θ : 공기 온도

그러므로, 식(1)의 지표 에너지 수지는 다시 다음 식(9)와 같이 정리될 수 있다. 이에 따르면, 도심 내 온도를 상승시키는 열섬현상의 주 열원은 태양으로부터의 복사에너지이며, 여기에 인간 활동에 따른 발열이 직간접적으로 에너지를 공급하고 있음을 알 수 있다. 또한 태양 복사에너지의 일부는 직접적인 반사를 통해, 일부는 도시의 건물이나 지표에 흡수되었다가 장파복사의 형태로 빠져나가며, 대기와 표면온도의 차이 또는 포화습도와 공기 중 절대습도의 차이는 대기와 지표 사이의 지속적인 열교환으로 열을 대기 중으로 방출하는 역할을 하고 있다. 마지막으로, 바람을 통해 지표의 열에너지가 수평방향으로 이동하게 되면, 나머지 남은 열이 지표의 건물이나 구조물, 지중 또는 대기 중에 저장되어 도시의 온도를 높게 됨을 이해할 수 있다.

따라서, 태양복사 평형과 관련된 표면 마감재의 성질이나 도시협곡의 형태적 구조, 차양요소, 운량, 대기오염 등과 에너지를 방출하는 인간 활동, 대류를 이용한 열교환에 영향을 주는 지표의 풍속 및 이와 관련된 도시 구조의 표면 거칠기, 수변 분포, 식생 및 녹지 면적, 지표의 보수율 등이 열섬현상의 주요 영향요소가 될 수 있다.

$$(I_b+I_d)(1-\alpha)-(e \sigma T_0^4 - \epsilon_s \sigma T_a^4) + Q_T$$

$$= h_c(T_o-T_a) + l\beta \alpha/C_p(X_s-X_a) - K_{HS} \cdot C_s \bar{\Delta T}_S/\Delta z + C_p\rho (\alpha V) \cdot \nabla\theta \quad (9)$$

- I_b : 직달 일사(the beam solar radiation)
 I_d : 산란 일사(the diffuse solar radiation)
 α : 태양복사에 대한 도시의 평균 반사율
 e : 표면 마감재료의 방사율
 T_0 : 표면온도
 σ : 스테판 볼츠만 상수
 T_{sky} : 천공온도
 T_a : 지표 부근의 절대 대기 온도 t
 ϵ_s : 천공의 방사율
 h_c : 대류 열교환 계수(W/m²K)
 T_a : 대기 온도
 λ : 증발 잠열(the latent heat of vaporization)
 E : 증발산율(the evaporation rate)
 β : 증발 효율, 보웬 비율
 α : 대류 열교환 계수(W/m²K)
 C_p : 공기 비열(J/kgK)
 X_s : 포화 습도(kg/kg)
 X_a : 공기 절대 습도(kg/kg)
 C_s : 흙의 열용량
 K_{HS} : 지중의 열전도율
 \bar{T}_S : 시간에 따른 평균 표면온도
 $C_p\rho$: 공기의 열용량
 V : 바람 속도
 θ : 공기 온도

다음 [표 2-1]은 식(9)의 각 항으로부터 정리된 도시 열섬현상에 영향을 미치는 주요 변수들과 그 특징을 정리한 결과이다.

[표 2-1] 도시 열섬현상에 영향을 미치는 주요 변수들

주요 변수		특징				
기상학적 지리적 변수	기온	위도와 관련된 조정 불가능한 변수, 온도가 높을수록 도시 캐노피 하부에 장파복사가 빠져나가지 못할 가능성이 큼				
	운량	지역 기후 특성에 따른 조정 불가능한 변수, 구름이 많고 풍속이 느릴수록 도시 캐노피 하부에 장파복사가 빠져나가지 못할 가능성이 큼				
	바람	지역 기후 특성에 따른 조정 불가능한 변수, 풍속이 느릴수록 도시 캐노피 하부에 장파복사가 빠져나가지 못할 가능성이 큼				
	습도	지역 기후 특성에 따른 조정 불가능한 변수, 습도가 높을수록 잠열 열속이 낮아짐				
	도시의 지리적 위치	<table border="1"> <tr> <td>산맥 분포, 고도</td> <td rowspan="2">조정 불가능한 변수로 온도, 풍속 및 풍량, 습도, 강우, 안개, 등 기후에 영향을 줌</td> </tr> <tr> <td>위상</td> </tr> <tr> <td>강 등 수변 분포</td> <td>조정 불가능한 변수로 온도, 풍속 및 풍량, 습도, 강우, 안개, 등 기후에 영향을 줌. 미풍은 열섬현상 해소에 중요</td> </tr> </table>	산맥 분포, 고도	조정 불가능한 변수로 온도, 풍속 및 풍량, 습도, 강우, 안개, 등 기후에 영향을 줌	위상	강 등 수변 분포
산맥 분포, 고도	조정 불가능한 변수로 온도, 풍속 및 풍량, 습도, 강우, 안개, 등 기후에 영향을 줌					
위상						
강 등 수변 분포	조정 불가능한 변수로 온도, 풍속 및 풍량, 습도, 강우, 안개, 등 기후에 영향을 줌. 미풍은 열섬현상 해소에 중요					
도시적 변수	도시 규모		도시 규모는 인구와 밀도에도 비례, 인위적 발열과 밀접한 관련이 있음			
	건물 밀도	건폐율	표면재료의 반사율, 식생 비율이나 보수율과 관련된 잠열 열속과 관련된 도시 복사 수지에 직접적인 영향			
		건물 간 간격	통풍에 중요한 영향을 미치며, 좁은 간격은 장파복사가 빠져나가는 것을 저해함			
		평균 건물 높이	건물이 높을수록 지표 부근 풍속을 낮추는 결과를 가져오며, 건물 표면에 의한 복사에너지 흡수율을 높임			
	도시의 형태적 구조	Sky View Factor	도시협곡 형태 구조는 복사에너지를 받는 표면면적과 이에 따른 다중 복사에 의해 유효반사율에 영향을 줄 수 있음. 또한 거칠기 증가는 도시 표면의 수평 유속을 떨어뜨릴 수 있음			
		H/W 비율				
		표면 면적 비				
	인구		인구가 많을수록 인위적인 발열량이 늘어나는 경향이 있음			
	풍속	표면 거칠기	건물, 구조물 등이 공기 이동을 방해함으로써 대류를 이용한 열교환을 방해함			
	인위적 발열		산업, 수송, 건물부문의 에너지 사용에 의해 대기 중으로 방출되는 열로, 전도, 대류, 복사를 통해 대기온도를 올림			
	표면 방수		배수 속도가 빨라짐에 따라 잠열 열속이 현저히 줄어들게 되는 원인이 됨			
	도심 구조의 열적 특성	표면 마감재 반사율	콘크리트, 아스팔트 등의 재료에 의해 주간의 단파복사 흡수량이 커질수록 열섬현상 강도가 커짐. 반사율이 높을수록 표면 방사율이 커지며, 열섬현상 완화효과가 커질 수 있음. 표면재료의 열용량이 커질수록 더 많은 에너지가 저장되었다가 야간 열섬현상을 유도함			
		표면 마감재 방사율				
		표면 마감재 열용량				
	토지 이용		토지이용용도에 따라 전형적인 건물 배치, 식생 비중 등이 결정되어 열섬현상에 영향을 주게 됨			
대기 오염		장파복사를 대기 중에 잡아두는 역할을 함				
식생 면적	보웬 비율	보웬 비율이 클수록 증발산에 따른 열손실이 줄어들면서, 대기 온도가 높아짐. 식생면적이 넓어질수록 보웬비율은 줄어듦				

출처: Che-Ani(2009)의 Table1의 내용을 보충하여 재구성한 결과임

2_골목길 디자인 요소별 열섬현상 저감 효과

1) 골목길 온열환경에 영향을 미칠 수 있는 주요 디자인 요소들

[표 2-1]에 정리된 도시 열섬 현상에 영향을 미치는 변수들은 크게 계획 가능한 요소들과 계획 불가능한 요소들로 분류하여 다음 [그림 2-2]와 같이 요약하여 정리할 수 있다. 그러나, 계획 가능한 요소 중에서도 건물 배치나 건물의 밀도 등은 골목길과 같이 이미 구축되어 있는 도시 구조에서는 쉽게 바꾸기 어려운 부분이다. 따라서, 골목길 디자인에 영향을 미칠 수 있는 요소들을 따로 정리하면, 크게 복사에너지 평형과 관련된 표면마감재의 열성능, 증발산량과 관계된 표면마감재의 투수 및 보수 성능, 식생 및 가로수 현황, 근린공원과 친수공간의 배치, 차양과 관련된 식생이나 가로수, 근린공원 배치 및 캐노피 그늘막, 그리고 인위적 발열과 관련된 건물에너지 성능, 실외기, 주차 등이 될 수 있다.



출처: Santamouris(2001)의 그림을 보충하여 재구성한 결과임

[그림 2-2] 골목길 디자인 관련 열섬현상 영향 요소

이 중, 많은 연구 결과가 그늘을 이용해 태양일사 자체를 차단하는 것을 단일 요소로는 열섬현상 완화 효과가 가장 큰 것으로 지목하고 있으며(Yu and Wong, 2006; Flohn, 1971; Oke, 1987; Taha et al., 1989; Taha et al., 1991; Santamouris, 2001; Taha, 2004; Wong and Yu, 2005), 식생은 그늘에 따른 차양 효과뿐 아니라, 증발산을 통한 잠열 효과까지 기대할 수 있을 것으로 평가하고 있다(Taha et al., 1998;

Taha, 1994; Taha, 1997; Akbari et al., 2001; Lopes et al., 2001; Santamouris, 2001; Taha, 2004; Oke, 1997; 김세창 외, 2013; 정주리, 2017). 다만, 일부 연구는 증발산을 통한 잠열 손실보다도 1차적으로 그늘에 따른 복사 차단 효과가 더욱 중요하기 때문에, 잎의 크기가 클수록 열섬현상 완화효과가 큰 것으로 보고 있다(Yu and Wong, 2006). 또한 증발산에 따른 온도 저감 효과가 크지만, 상대습도 증가로 불쾌지수가 올라갈 수도 있기 때문에(김성락 외, 2015), 고온 다습한 기후에서 연못이나 분수, 쿨링포그, 클린로드 등의 열섬 저감방안은 세심하게 계획되어야 한다.

표면마감재에 관한 연구는 다각적으로 이루어지고 있는데, 마감재의 반사율, 방사율 등 열적 성능이 복사 수지에 직간접적인 영향을 미치는 요소일 뿐 아니라(Santamouris, 2001; Taha et al., 1998; Bretz et al., 1998; Akbari et al., 2001; Synnefa et al., 2006), 보수 성능에 따라 잠열방출을 기대할 수도 있고(Stone and Norman, 2006; Chen et al., 2009; Escourrou, 1991; Li et al., 2013; 광병석 외 3인, 2009), 비열 및 열용량에 따라 열대야의 원인이 될 수도 있기 때문이다(Gridharan, 2005; Santamouris, 2001; Junsuf et al., 2007).

열대야로 대표되는 야간의 열섬현상은 낮시간 도시협곡 내에 축열된 열들이 해가 지면서 방출되어 발생하는 것으로, 전체 축열량 증가에 영향을 줄 수 있는 마감재의 열용량, 골목길의 형태적 구조, 건물이나 구조물 등 축열체의 질량, 인공 발생열 등이 중요한 영향을 미친다(Santamouris, 2001; Taha, 2004; Memon et al., 2008).

다음은 골목길과 관련된 열섬현상 영향요소에 대한 선행연구들을 디자인 요소별로 요약하여 정리한 것이다.

2) 도로마감재가 열섬현상에 미치는 영향

다음 [표 2-2]는 앞서 살펴본 골목길 디자인 영향 요소 중 도로 마감재의 열섬현상과 관련된 특성 요소와 영향도, 관련 디자인 요소들을 요약한 결과이다.

도로마감재는 지표 에너지 수지의 다양한 항목에 영향을 미치는데, 반사율과 색상(명도), 오염도 등은 단파 복사 수지와, 방사율은 장파 복사 수지와 관련된다. 또한 표면 재료의 비열이나 열용량에 따라 야간의 열섬현상 강도가 달라질 수 있으며, 투수율과 보수율은 증발산에 의한 잠열 방출과 관계된다. 이밖에 열섬현상 저감형 도로 표면 마감의 적용 가능성을 높이기 위해서는 도로 고유의 기능이 침해되지 않도록 눈부심, 미끄럼 저항성, 평활도, 내구성 및 소음도 등도 고려해야 할 사항으로 지적되고 있다.

[표 2-2] 도로마감재의 열섬현상 관련 선행연구 요약

구분	특성요소	영향	중요도	선행연구	관련 디자인 요소
도로 마감재	반사율	태양에너지 흡수율에 반비례	0.25 정도의 반사율 차이로 (대략 아스팔트와 시멘트 콘크리트 차이) 표면 온도는 약 10℃까지 차이	Santamouris, 2001; Taha, 1997; Taha et al., 1988; Taha, 1994; Taha et al., 1999; Akbari et al., 2001; Lopes et al., 2001; Taha, 2004; Cambridge Ststematics, 2005; Akbari et al., 1999; 정주리, 2017; Guan, 2011	도로포장재 색상, 차열성 도로, 차열도로보수재, 보수성 포장재, 보도블록 종류 (투수, 보수성, 색상 등), 보도 데크 설치
	방사율	물체 표면온도에 반비례	표면온도에 직접 영향	Bretz et al., 1998; Synnefa et al., 2006	
	색상 (명도)	밝은색이 근적외선 반사율이 높음	밝은색과 어두운색 표면온도는 약 5℃ 차이	Wong, 2002; Ichnose et al., 2008; retz et al., 1998; erdahl and Bretz, 1997; takebayashi and Moriyama, 2007; Taha, 2004; EPA 208	
	비열 (열용량)	클수록 열대야 증가	Cannyon 구조 중요 (예: CBD)/얇은 표면층 시공 도움	Gridharan, 2005; antamouris, 2001; Wong, 2007; Junsuf et al., 2007	
	오염도	색상변화로 반사율 변화	낮음(어두운색 증가, 밝은색 감소)	Akbari et al., 2001; EPA 2008	
	눈부심	반사율 증가하지만 차량 사고 우려	사고위험 경감차원에서 밝은 회색도 온도저감효과 유효	Akbari et al., 2001; Ziedman, 2005; Pomerantz et al., 2000	
	증발산량 (투수율, 보수율)	바닥 마감재의 투수성이나 보수성에 비례	토양수분증발에 따라 주변기온 저하 (표면방수 59%일 때 증발 75% 감소)	Stone and Norman, 2006; Chen et al., 2009; Escourrou, 1991; Li et al., 2013; 광병석외 3인, 2009	
	미끄럼 저항성 평활도/내구성 소음도	보행 및 주행환경에 영향	안전 및 관리, 거주 쾌적성 등 현장적용 가능성 문제	Akbari et al., 2001; Kevern et al., 2008; Kevern et al., 2010; Pomerantz, et al., 2000	

반사율이 높거나 밝은 색상의 도로마감재는 가장 대표적인 열섬현상 저감방법으로, 반사율이 낮은 마감은 태양복사에너지의 흡수율이 높아 마감재와 관련된 선행연구들은 이를 표면온도 상승의 원인으로 보고 있다(Santamouris, 2001; Taha, 1997). 중위도 온대 지역을 기초로 한 시뮬레이션에서 지붕 반사율을 높이거나 반사도가 높은 마감 색상을 사용함으로써 표면 반사율(albedo)을 0.25에서 0.4로 올릴 경우 약 4℃까지 온도 편차가 나는 것으로 보거나(Taha et al., 1988; Taha, 1994; Taha, 2004), 차도 포장재와 관련하여 검은색 아스팔트(반사율 약 0.05~0.12)를 시멘트 콘크리트(회색, 반사율 약

0.35)로 바꾸었을 때, 여름철 오후 3시 도로 표면온도가 약 12℃(캘리포니아) ~ 16℃(로마)까지 차이가 난다고 보고하는 연구도 있다(Akbari et al., 2001). 국내 연구도 이와 비슷한 측정결과가 나타나는데, 8월 말 일주일간의 서로 다른 마감 재료 표면온도 측정에서, 아스팔트의 하루 중 최고 표면온도는 약 64.1℃로, 콘크리트(약 39.6℃), 보도블록(약 34.0℃)과 비교하여, 약 25~30℃까지 차이를 보였다(정주리, 2017). 반사율은 마감 표면의 성질이기 때문에, 코팅도 낮시간 약 4℃, 밤시간 약 2℃까지 온도 저하 효과가 나타나지만, 도로 마감으로 적용하기에는 눈부심 등의 제약이 있다고 지적된다(Akbari et al., 2001)

색상을 고반사율 재료 선정을 위한 주요 기준으로 보기도 하는데, 색상이 밝을수록 가시광선뿐 아니라 근적외선 스펙트럼의 반사율도 높은 경향이 있기 때문이며(Bretz et al., 1998), 표면온도는 어두운색이 기온보다 7℃까지 높았던 반면, 밝은색은 기온보다 2~3℃정도만 높은 것으로 측정되기도 하였다(Wong, 2002).

또한 마감 재료가 외부에 노출되고 밝은 색상일수록 오염도가 쉽게 증가하는 경향에 비추어, 시간에 따라 반사효과가 감소할 수 있다는 문제 제기가 있지만, 측정값들은 그 영향을 무시할 수 있을 수준을 보이며, 아스팔트의 오염도 증가에 따라 반사율이 높아지고, 시멘트 콘크리트의 반사율이 낮아져도, 여전히 오염된 시멘트 콘크리트의 반사율이 오염된 아스팔트보다 높음을 알 수 있다(Akbari et al., 2001; EPA, 2008) .

방사율도 열섬현상 저감을 위한 마감재 선정기준으로 제시되기도 하는데, 햇볕 아래서 방사율이 낮은 재료가 흡수율이 높기 때문에 표면온도와 방사율이 반비례하는 것으로 나타난다(Bretz et al., 1998; Synnefa et al., 2006).

마감재의 표면 성질은 이미 도시 협곡 내로 들어온 태양 복사열의 대류 열교환에도 영향을 미치는데, 증발산과 관련이 있으며, 도시화가 진행될수록 높아지는 불투수 포장의 면적비가 증발산량을 감소시켜 도심 온도 상승에 기여하는 것으로 보인다(Stone and Norman 2006; Chen et al., 2009). Escourrou는 도심 증발산량 감소를 토양의 불투수성 포장 비율의 함수로 보고하며, 방수면적이 전체의 25%일 때, 증발산량은 약 19% 감소하고, 방수면적 38%로 증가할 때, 증발산량이 약 50% 줄고, 전체의 59%가 불투수 포장일 때, 증발산량은 75%까지 감소하는 것으로 보았다(Escourrou, 1991). 이밖에 야간의 열섬현상에 영향을 미치는 마감재의 열용량에 대해, 테크와 같이 열용량이 적은 얇은 표면층을 시공함으로써 열대야 현상을 완화할 수 있다는 연구결과도 있었다(Wong, 2007).

3) 건물 파사드(벽면) 마감재가 열섬현상에 미치는 영향

건물 파사드의 마감재 역시 장단파 복사수지에 직간접인 영향을 미치며, 축열이나 잠열 방출에도 중요한 역할을 한다. 다음 [표 2-3]에 정리된 벽면마감재와 관련된 열섬현상 관련 선행연구들의 분석결과는 도로 마감재와 대체로 비슷하지만, 미끄럼, 평활도, 내구성, 눈부심 등 기능 유지를 위한 제약은 상대적으로 적어, 도로 마감에는 적용하기 어려운 통기성 파사드 시공이나, 벽면녹화, 차열성 도로 등이 적극 활용될 수 있다.

[표 2-3] 벽면 마감재의 열섬현상 관련 선행연구 요약

구분	특성요소	영향	중요도	선행연구	관련 디자인 요소
벽면 마감재	반사율	태양에너지 흡수율에 반비례	낮은 반사율은 표면 온도	Santamouris, 2001; Tah et al., 1998; Taha, 1994; Taha, 1997; Akbari et al., 2001	통기성 파사드 시공, 벽면녹화, 파사드 마감재 색상, 차열성 도로
	방사율	물체 표면온도에 반비례	표면온도에 직접 영향	Bretz et al., 1998; Prado and Ferreira, 2005; Synnefa et al., 2006	
	색상 (명도)	밝은색이 근적외선 반사율이 높음	밝은색과 어두운색 표면온도는 약 5°C 차이	Wong, 2002; Ichnose et al., 2008; Bretz et al., 1998; Berdahl and Bretz, 1997; takebayashi and Moriyama, 2007; Taha, 2004	
	비열 (열용량)	클수록 열대야 증가	Canyon 구조 주요 (예 CBD)/얇은 표면 층 시공 도움	Gridharan, 2005; Santamouris, 2001; Wong, 2007; Junsuf et al., 2007	
	눈부심	반사율 증가하지만 안전 사고 우려	보행 쾌적성에 영향	Akbari et al., 2001; Ziedman, 2005; Pomerantz et al., 2000	
	증발산량	증발산에 따른 잠열 흡수로 직접 온도저감 효과	벽면 녹화 등 식생을 통한 증발산량	Falahi et al., 2016; Alexandri and Jones, 2008; Corgnati et al., 2009; Vaezizadeh, 2016	

4) 그늘막이 열섬현상에 미치는 영향

그늘막은 가장 직접적으로 태양복사를 차단하는 방법으로, 반사율이 높은 재료를 활용해 들어오는 태양복사의 상당한 부분을 도시협곡 외부로 반사하거나, 식생 그늘, 태양광 캐노피처럼 입사한 에너지의 일부를 전환하여 활용함으로써 지표 에너지 수지에 입사하는 복사량을 최소화할 수 있다. [표 2-4]는 태양광 캐노피 그늘막의 열섬현상 저감효과에 대한 선행연구를 요약한 것이며, 그늘이 없는 아스팔트, 태양광 캐노피 하부의 아스팔트, 나무 그늘 하부의 아스팔트의 각 표면온도를 측정하여 비교한 결과, 태양복사의 투과율 차이로, 그늘이 없는 곳보다 아스팔트 표면온도가 태양광 캐노피 하부는 약 13.2℃, 나무 그늘 하부는 약 6.2℃ 낮았다(Golden et al., 2007).

[표 2-4] 그늘막의 열섬현상 관련 선행연구 요약

구분	특성요소	영향	중요도	선행연구	관련 디자인 요소
캐노피 그늘막	투과율	태양에너지 전면 차단	가로수보다도 투과율이 낮은 캐노피 설치로 표면온도 15~20℃ 차이	Golden et al., 2007	태양광 등 캐노피, 그늘막, 어닝

5) 친수공간 및 수경시설이 열섬현상에 미치는 영향

친수공간은 증발산을 위한 수분을 직접 제공해주는 요소로 [표 2-5]에 요약된 선행연구를 보면, 수증기와 공기의 접촉 면적이 클수록 증발산이 효과적으로 이루어지기 때문에 스프레이(물방울 직경 수 mm 수준), 노즐(물방울 직경 1mm 또는 그 이하)을 활용한 쿨링포그나 클린로드 시스템, 분수 등을 통해 더 적극적으로 증발산을 유도하고 수온을 낮출 수 있는 것으로 보고 있다(Lopes et al., 2001).

그러나, 김성락 외(2015)가 대구에서 클린로드 시스템의 열적 개선 효과를 측정한 결과에서는 한여름 낮 잠열을 통한 온도저감효과는 증가한 상대습도와 상쇄되어 불쾌지수 개선에는 크게 기여하지 못하는 것으로 분석되었다. 이에 대해 다른 연구들은 열섬현상이 일어나는 지역의 범위가 더 건조하고, 더 큰 규모일 때, 수변공간의 온도저감효과가 더 뚜렷하며, 대규모 친수공간 주변으로 형성되는 하강기류 냉각 효과가 미풍을 통해 주변 온도를 낮추는 효과가 큰 것으로 보고하고 있다(Sproken-Smith et al., 2000; Oke, 2002; Coutts et al., 2012; Manteghi et al., 2015).

[표 2-5] 친수공간 및 수경시설의 열섬현상 관련 선행연구 요약

구분	특성요소	영향	중요도	선행연구	관련 디자인 요소
친수공간	증발산량	잠열 흡수에 따른 직접 온도 저감효과 Cf. 보웬비율	수증기 증발열 약 590kcal/kg (온도 저하로 현열 비율도 낮아짐)	Escourrou, 1991; Taha, 2004; Oke, 1997	연못, 분수대, 스프레이, 노즐, 쿨링포그, 클린로드시스템, 투수블록, 보수성 마감재, 정원, 공원
	수증기-공기 접촉면적	스프레이 노즐 등 활용 증발률 증가	증발열로 기온 및 표면온도는 하강, 단, 상대습도 증가로 불쾌감 우려	Lopes et al., 2001; 김성락 외, 2015	

6) 식생과 가로수가 열섬현상에 미치는 영향

앞서 언급된 바와 같이 식생과 가로수는 그늘 형성에 따른 복사 차단과 잠열흡수에 따른 온도 저하로 열섬현상을 완화할 수 있으며, 많은 연구가 이 두 가지 메커니즘에 따른 냉각 효과를 중요한 주제로 다루고 있다.

Taha et al.(1996)은 3D 시뮬레이션 모델을 활용해 선정한 10개 도시를 대상으로 대규모 식재 프로그램이 기온에 미치는 영향을 추정한 결과 평균적으로 오후 2시 도시별로 약 0.3~1℃의 냉각 효과가 있으며, 로스앤젤레스는 최대 3℃까지 기온이 낮아짐을 확인하였다. 이 외에도 Taha(2004)는 식생 면적률을 30%까지 높일 경우 3℃ 이상의 온도 저감효과를, Stone and Norman(2006)은 식생 면적률을 45%에서 60%로 높일 경우 총 장파 복사속이 14%까지 줄어드는 것으로 분석하였다.

특히 그들의 효과를 지적하는 연구들이 많은데, Yu and Wong(2006)은 LAIs(Leaf area index - 특정지역의 지표면적 대비 잎 면적의 비율) 개념을 사용하여, 공원 내부의 온도 변화가 식생 밀도와 밀접한 관련이 있음을 밝혔고, Yang et al.(2010)은 반대로 대규모의 그늘이 없는 잔디밭이 그늘이 있는 불투수성 마감보다 온도가 올라가는 것으로 보고하고 있다. Stone and Norman(2006)은 이러한 맥락에서 잔디밭의 비율이 25% 줄어들 경우 총 장파 복사속이 13% 감소하므로, 주거지역의 잔디밭을 지양해야 함을 주장한다. 반면, Takebayashi and Moriyama(2009)는 제한된 조건에서이긴 하지만, 모든 아스팔트 주차장을 잔디주차장으로 바꿀 경우 최대 0.1℃ 정도의 온도저감효과를 기대할 수 있다고 강조한다.

Taha(2004)는 식생의 열섬현상 저감효과에 대한 정확한 추정이 반사율 증가 등 다른 열섬현상 저감 조치와 비교하여 어려우며, 특히 건조할 경우 등에 수목 내부 또는 상부

의 기온이 오히려 올라가는 사례도 있음을 지적하고 있다.

식생의 잠열효과에 대한 연구 중 상당수는 키가 크지 않아 그늘이 많지 않은 옥상녹화를 중심으로 이루어졌는데, Takebayashi와 Moriyama(2007)는 옥상녹화 지붕과 고반사 지붕의 현열속을 비교하여, 옥상녹화 지붕이 고반사 지붕보다 최대 약 60W/m²까지 낮으며, 밤에도 이러한 경향이 유지됨을 확인하였다. 그리고, 식생의 낮은 반사율에도 불구하고 이렇게 현열속이 낮은 이유는 옥상녹화를 통한 잠열속 때문으로 보고 있다.

Wont et al.(2003)은 식물이 있는 사이트와 없는 사이트의 최대 온도차가 4.2℃까지 나며, 해가 진 후에 전구 온도는 약 4.05℃, 평균복사온도(MRT: Mean Radiation Temperature)는 약 4.5℃까지 차이가 나므로, 녹화된 지붕에서 장파복사가 덜 방출되는 것을 확인하였다. 또한 Wong et al.(2007)은 경량 녹화시스템으로도 최대 60% 이상의 열획득이 줄어들고, 식생이 잘 덮인 곳은 최대 18℃까지 온도차가 나는 것으로 관측하였다. 반면, 식생이 드문드문 덮인 곳은 주간 온도 73.4℃까지도 올라가며(Wong et al., 2007), 도쿄 오테마치의 고층 건물 녹화와 교바시 중층건물 옥상녹화는 모두 보행자 레벨의 온도에는 영향을 끼치지 못한 것으로 나타났다(Chen et al., 2009).

[표 2-6]은 관련 선행연구들을 요약한 결과이다.

[표 2-6] 식생과 가로수의 열섬현상 관련 선행연구 요약

구분	특성요소	영향	중요도	선행연구	관련 디자인 요소
식생 가로수	증발산량	잠열 흡수에 따른 직접 온도저감효과 Cf. 보웬비율	차양효과와 복합적으로 대규모 식수 프로그램 진행 시 0.3~1℃ 효과	Takebayashi and Moriyama, 2007; Taha et al., 1998; Taha,1994; Taha, 1997; Akbari et al., 2001; Lopesetal., 2001; Santamouris, 2001; Taha, 2004; Oke, 1997; 김세창 외, 2013; 정주리, 2017	화분형 식재, 작은 정원, 상자 텃밭, 가로수 식재, 조경 면적, 벽면녹화, 근린 숲 또는 공원
	차양 (그늘)	그늘 형성으로 태양 복사 차단(잎이 없는 잔디밭은 냉각효과 없거나 미미)	식물 밀도 및 나뭇잎 면적에 따라 식생 냉각효과가 큼 (그늘효과)	Yu and Wong, 2006; Wong et al., 2007; Yang et al., 2010; Stone and Norman, 2006; Takebayashi and Moriyama, 2009s	

7) 근린공원이 열섬현상에 미치는 영향

많은 연구가 식생과 가로수에 의한 열섬현상 저감효과의 연장 선상에서 근린공원의 열섬현상 저감효과를 다루고 있다. Yu and Wong(2006)은 싱가포르 대규모 도심 공원 두 곳의 온도와 습도를 측정하여, 근린공원의 온도저감효과가 단지 공원 내로 제한되는 것이 아니라 근처의 도심 환경에까지 미침을 확인했고, Envi-met 프로그램을 통한 시뮬레이션에서도 주야간을 통해 의미 있는 수준의 냉각 효과가 있음을 알아냈다.

Taha(2004)의 연구 역시 공원의 냉각 효과를 보고하고 있는데, 고위도 지역의 도시에서는 공원 주변 지역의 온도가 약 0.5~1.5℃ 낮지만, 저위도 지역의 도시에서는 1~3℃ 까지도 낮아지는 것으로 관측되었다.

여기에 최근 연구들은 공원의 냉각 효과가 있는 범위를 Park Cooling Distance라는 개념으로 설명하고 있으며, 공원 면적에 따라 차이가 있지만, 연구자에 따라 80~300m 까지 냉각효과가 유효하다고 보고되고 있다(Buyadi et al., 2014; Bernard et al., 2018; Bao et al., 2016; Al-Gretawee, 2016; 이지수 외, 2016; 이호진 외, 2018). 또한 이러한 공원의 온도 저감과 습도 유지의 효과를 주변 지역으로 확대하기 위해서는 바람과 바람길의 역할이 중요한 것으로 평가된다(김대욱 외, 2010).

[표 2-7] 근린공원의 열섬현상 관련 선행연구 요약

구분	특성요소	영향	중요도	선행연구	관련 디자인 요소
근린 공원	증발산량	잠열 흡수에 따른 직접 온도저감 효과	증발산과 그늘효과로 공원지역 등이 주변보다 기온 저하 가능(저위도 1~3℃, 고위도 0.5~1.5℃) + 냉방부하 저감에 따른 간접저감효과	Flohn, 1971.; Oke, 1987; Taha et al., 1989; Taha et al., 1991; Santamouris, 2001; Yu and Wong, 2006; Taha, 2004; Wong and Yu, 2005	조경면적, 작은 정원, 한평공원, 근린공원, 근린 숲
	차양효과	그늘 형성으로 태양복사 차단			
	Park Cooling Distance	공원중심 온도 저감 효과가 주변에 영향	공원 면적에 따라 다르며 근린공원 약 200~300m	Buyadi et al., 2014; Bernard et al., 2018; Bao et al., 2016; Al-Gretawee et al., 2016; 이지수 외, 2016; 이호진 외, 2018	

8) 도시 인공열이 열섬현상에 미치는 영향

인간의 활동으로 발생하는 도시 인공열은 도시의 위치, 기후, 지리, 경제·사회·문화적 특성과 인프라, 크기, 인구밀도 등에 따라 큰 차이를 보인다. 따라서, 인간 활동이 열섬 현상에 미치는 영향은 매우 클 수도, 작을 수도 있으며, 계절변이처럼 시간의 주기에 따라 변화를 보이기도 한다. 일반적으로는 난방이 활발히 일어나는 겨울철 한대기후 도심이나 건물 간 간격이 좁은 고밀 지역, 여름철 열대기후 도심 등에서 높게 나타나는 경향이 있으며, 열섬현상에 미치는 영향이 매우 미미하게 평가되는 경우도 있다(Oke, 1987; Oke, 2002; Arnfield, 2003; Memon et al., 2008; Grimmond, 1992; Ichnose et al., 1999; Newcombe, 1976; Banacquisti et al., 2006; Chen et al., 2009).

Taha(1997)는 주거 상업지역에서의 인간 활동에 의한 열 배출이 반사율이나 식생 면적보다 열섬현상에 미치는 영향에 비해 무시할 수 있는 수준으로 평가하기도 했지만, Offerle et al.(2006)은 겨울철 난방열을 매우 중요한 영향요소로 간주하기도 하였다. Taha(2004)는 주거지역의 전형적인 인공열속밀도를 10~20W/m², 고밀 중심지역 50~100W/m², 맨해튼과 같은 초고밀 지역에서는 120~150W/m²까지 될 것으로 보았고, 일본에서는 보편적이지는 않지만 일부 500W/m²까지도 보고되었다.

에너지 효율 향상은 인공열 발생을 줄이는 전형적인 열섬현상 저감방법 중 하나이다. 그러나, 몇몇 연구 결과는 에너지 효율향상을 통한 열섬현상 저감 방법은 자동차의 에너지 절감 장치 설치를 제외하고는 수분공급, 반사도 증가 등 다른 열섬현상 저감방안보다 효과적이지 못한 것으로 평가하고 있기도 하다(Ihara et al., 2008; Ichinose et al., 1999). 다만, 같은 연구에서 다양한 에너지 효율화 방안과 일반적인 열섬현상 저감방법을 동시에 도입할 때, 단순히 열섬현상 저감방법만을 수행하는 것과 비교해서 더 효과적인 것으로 나타났다(Ihara et al., 2008).

또한 Kikegawa et al.(2006)은 저밀 주거지역에서는 벽면녹화의 열섬현상 저감효과가 크지만, 건물 간 간격이 좁은(SVF가 작음) 중심상업지구에서는 에어컨 사용을 줄이는 것이 가장 효과적이라는 결과를 보고하기도 했다.

많은 선행연구는 에너지 절약 방안을 포함하여 인위적인 열 발생을 줄이는 방법으로 다음과 같은 구체적인 대안들을 제시하고 있다(Ichnose et al., 1999; Yamamoto, 2006; Ihara et al., 2008; Yang et al., 2010).

- 교통량 제어: 교통 수요관리, 자전거 이용 캠페인 등
- 발전소와 산업의 에너지 효율 향상
- 건물 냉난방 에너지 효율 향상: 지역 냉난방 시스템 도입, 히트펌프, 고효율 에어컨, 야간 패시브 자연 환기 등
- 건물 외피 단열 강화: 고단열 마감재 설치
- 에너지 사용 제품 효율 향상: 고효율 조명, 고효율 가전, 사무용 기기 등
- 폐열 회수 장치 도입
- 신재생에너지의 도입 등

[표 2-8] 도시 인공열의 열섬현상 관련 선행연구 요약

구분	특성요소	영향	중요도	선행연구	관련 디자인 요소
인공열 발생	인공열 발생원	차량 복사열이나 실외기열원 등 직접적인 기온 상승	인위적인 발열량 측정이 어려워 간접적으로 에너지 사용프로필 등으로 추정하며, 건물 밀도 증가에 따라 열발생 총량 증가 (저밀 주거 10~20W/m ² , 고밀 CBD 등 (120~600W/m ²) cf. 구름없는 날 최대 태양복사 (800~1,000W/m ²)	Memon et al., 2008; Christen and Vogt, 2004; Offerle et al., 2005; Steinecke, 1999; Sailor and Lu, 2004; Ichinose et al., 1999; Taha, 2004; Taha et al., 1988; Oke et al., 1991; Gutman and Torrance, 1975	Canyon내 실외기 설치 제한, 주차대수 제한, 주변 건물 에너지 성능 개선
	주변 건물 에너지성능	건물 단열 성능에 따른 직접적인 에너지 전달 및 냉난방 부하로 인한 간접 열 발생			

9) 골목길 구조 및 건물 밀도가 열섬현상에 미치는 영향

도시협곡, 즉 골목길의 구조는 지표 에너지 수지의 유효반사율을 낮추고, 표면 거칠기 증가에 따라 유속을 감소시킴으로써, 대기경계층층으로의 원활한 열교환을 어렵게 한다 (Oke, 1987; Oke et al., 1991; Santamouris, 2001; Taha, 2004). 지표 유효반사율은 표면 마감재 자체의 반사율 외에도, 좁은 도시 협곡에 들어온 복사선이 다중 반사를 거쳐 협곡 내부에 추가로 흡수되는 에너지의 비율을 반영한 값으로(Taha, 2004), 천공개폐율(SVF: Sky View Factor)이 작을수록(Santamouris, 2001; Giridharan et al., 2004; Y. Kikegawa et al., 2006; Memon et al., 2008), H/W 비율이 클수록(Oke,

1987), 태양에너지 유입 총지역요인(TSF: Total Site Factor¹⁾)이 작을수록(Yang et al., 2010) 작아진다. 천공 개폐율이 작은 경우 저녁에 복사를 통해 천공으로 열을 내보내는 데 취약하며, 갇힌 열들이 장파 복사 형태로 도시 협곡 내부로 발산되어 저녁 시간 열섬현상이 심해질 수 있으며, 인간 활동으로 발생하는 도시 인공열에도 취약하게 된다(Oke, 1987; Santamouris, 2001; Giridharan et al., 2004; Kikegawa et al., 2006; Memon et al., Yang et al., 2010; Taha, 2004).

바람길을 형성해 통풍속도를 높이는 것도 열섬현상 저감에 중요한 요인 중 하나지만(Santamouris, 2001), 건물의 재배치나 추가적인 바람길 형성 등은 골목길 조성사업을 대상으로 하는 이 연구범위를 벗어나는 것으로 판단된다.

[표 2-9] 골목길 구조 및 건물 밀도의 열섬현상 관련 선행연구 요약

구분	특성요소	영향	중요도	선행연구	관련 디자인 요소
Canyon 구조 (건물 밀도)	H/W ratio	열섬현상강도가 골목길 너비 대 높이 비율의 로그함수에 비례	유효 열반사율과 관계됨(좁고, 깊은 골목길은 태양입사는 적지만 열용량에 따라 열대야가 심할 수 있음) - 주로 열대야와 밀접한 관계	Oke, 1987; Oke et al., 1991; Santamouris, 2001; Taha, 2004	골목길 구조에 따라 하루 중 변화를 고려하여 차별화된 열섬 저감요소 고려 필요
	Sky View Factor	복사냉각과 관계된 열린 공간 비율		Santamouris, 2001; Taha, 2004; Giridharan et al., 2004; Kikegawa et al., 2006; Memon et al., 2008; Yang et al., 2010	

이밖에 담장 허물기로 주택가 외부공간의 열환경을 평가한 연구도 있다(류지원 외 4인, 2012). 이 연구는 담장이 있는 경우와 담장만 제거한 경우, 일부 또는 전체 담장을 제거하고 식생을 심은 경우, 여기에 추가로 옥상녹화를 적용한 경우를 3차원 열환경 시뮬레이션 프로그램인 THERMORender 3.0을 이용하여 분석하였다. 그 결과 단순히 담장만 제거한 경우에는 표면온도 및 MRT(Mean Radiant Temperature), HIP(Heat Island Potential)가 오히려 높아졌으며, 식생이나 수목식재 등이 동반되어야 직달일사를 차단하고, 증발산 등으로 온도를 낮출 수 있는 것으로 나타나, 앞서 다른 선행연구 결과와 마찬가지로, 차양과 식생의 역할을 확인해 주고 있다.

1) 캐노피 내부와 캐노피 상부의 직접 및 산란되는 복사량의 비율로 천공 개폐율(SVF: Sky View Factor)과 비교하여 낮 시간 일부 구름 낀 날 등을 더 잘 묘사하기 위해 도입된 개념

3_열섬현상 저감 골목길 디자인 및 정책 사례

1) 미국 환경청 열섬 저감 프로그램(HIRP: Heat Island Reduction Program)

미국 환경청(EPA)의 열섬 저감 프로그램(HIRP)은 도심 열섬현상과 관련된 과학적 연구들과 각 도시의 열섬현상 저감 전략 수립을 지원하고 있다. 그동안 미국 환경청은 도심 열섬 시범사업(UHIPP: Urban Heat Island Pilot Program), 저감효과 선별도구(MIST: Mitigation Impact Screening Tool) 등을 시행해왔으며, 현재는 열섬 저감 개요서와 비정기적인 웹캐스트(Webcast)를 활용해 열섬 저감과 관련하여 축적된 과학적 정보들을 제공하고, 효과적인 열섬현상 관리에 관한 정보를 공유할 수 있도록 하고 있다.

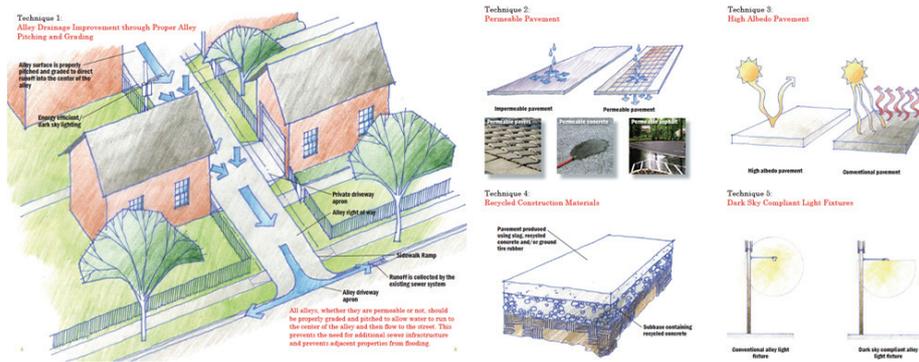
도심 열섬 시범사업(UHIPP)은 1998~2002년 사이 Baton Rouge, Chicago, Houston, Sacramento, Salt Lake City 등의 도시를 대상으로 시행되었다. 주요 목표는 해당 도시들의 열섬현상 저감 전략 수립을 지원하고 결과를 평가하며, 연구, 교육, 홍보 사업을 독려하고, 성공적인 사례를 다른 도시들과 공유할 수 있도록 하는 것이었다.

저감효과 선별도구(MIST)는 사용자들이 반사율 증가나 식생 증가 또는 혼합적인 시나리오의 영향을 시행 전에 테스트해 볼 수 있도록 한 웹 기반 프로그램이다. 이 툴은 기존 시범사업이나 연구사업 등으로 수집된 도시의 기상정보 및 시뮬레이션 정보 등을 토대로 추정하는 방식으로 다소의 부정확성이 있기는 했지만, 정책입안자가 사업 시작 전에 입안하려는 저감 전략이 각 도시에 미칠 수 있는 영향을 일차적으로 예측해 볼 수 있다는 데 의의가 있다. 2006년 초반까지 미국 환경청 열섬현상 사이트를 통해 제공되었다. 현재 미국 환경청은 그동안 축적된 연구 결과 및 실증 사례들을 바탕으로 열섬현상 저감에 대한 포괄적인 개요서(Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies)를 제공하고 있다. 이 개요서는 이해관계자에게 열섬현상의 원인과 결과를 이해하도록 하고, 식재, 옥상녹화, 쿨루프, 차열성 도로포장과 같은 열섬현상 저감 전략들의 방법과 효과를 설명하며, 적용 가능한 사업들이나 정책 사례들을 공유하도록 구성되어 있다. 환경청이 열섬현상 저감에 관한 직접적인 정책수단을 가지고 있지 않기 때문에, 지방정부가 채택할 수 있는 조달기준, 결의안, 조경 조례, 디자인 가이드라인, 용도지구 규정, 건축법, 녹색건축 인증 등을 안내하며, 연방 대기오염방지법에 따른 주정부 실행계획(SIP: State Implementation Plan)에 열섬현상 저감계획을 포함하도록 유도하고 있다.

2) 미국 시카고 녹색 골목길(Green Alley) 프로그램

2006년 시카고시는 우수관리 및 열섬현상 저감, 자원 재활용, 에너지 절감, 눈부심 관리 등 복합적인 목적으로 녹색 골목길(Green Alley) 프로그램을 도입하였다.

시카고에는 약 1900마일(3,060km)의 골목길이 있으며, 대부분 배수 환경이 열악하여 물이 고여 넘치거나 침투된 물이 다시 하수로 들어가고 있었다. 이에 따라 녹색 골목길 프로그램은 다음 [그림 2-3]처럼 도로 구배 최적화, 투수성 포장, 고반사 포장, 재활용 재료 사용, 빗공해 저감형 조명 등 다섯 가지 대표적인 기술을 상황에 맞게 조합하여 골목환경을 개선하고자 하였다(CDOT, 2007).



출처: Chicago Department of Transportation, 2007, "The Chicago Green Alley Handbook".

[그림 2-3] 시카고 그린 골목길 프로그램의 적용 기술 요소



출처: Chicago Department of Transportation, 2007, "The Chicago Green Alley Handbook".

[그림 2-4] 시카고 그린 골목길 프로그램의 적용 기술 요소

이 프로그램을 통해 2006년 시범사업으로 6개의 골목길을 정비한 것을 시작으로 2017년까지 300개 이상의 골목길 환경을 개선하였다(CDOT Homepage). [그림2-4]는 시카고 녹색 골목길 프로그램을 통한 골목길 개선 사례이다.

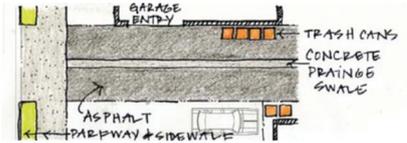
시카고의 녹색 골목길 프로그램은 적용 기술요소를 단순화함으로써 단시일에 많은 골목길의 환경을 개선하는 데 기여했다는 평가를 받고 있지만, 다른 한편으로는, 골목길의 구조 전체에 대한 고려나, 식생, 인위적인 발열량 제한 등이 없이 도로 포장재를 교체하는 것만으로는 더운 여름철의 열기를 식히는 데 거의 기여할 수 없다는 지적도 있다(Coseo and Larsen, 2015).

3) 미국 로스앤젤레스 녹색 골목길 마스터플랜(Green Alley Master Plan)

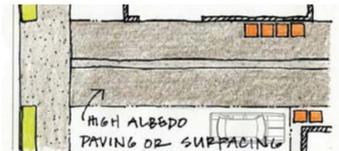
남부 LA 녹색 골목길 마스터플랜(이하 SLAGAMP: The South LA Green Alley Master Plan)은 원래 South California 대학의 지속가능한 도시 센터(CSC: Center for Sustainable Cities)와 Trust for Public Land, TreePeople, Pacoima Beautiful, Los Angeles Neighborhood Land Trust 등의 지역 비영리 기관들의 협력 사업이었던 Back Alley LA라는 연구프로젝트에서 2006년 시작되었다(Newell et al., 2012). 이 프로젝트에서는 LA지역 골목길 기초조사부터 주변 주민 그룹에 대한 연구, 비포장도로의 토양 오염 측정, 골목길 재생 프로젝트 조직 지침 수립 등 다양한 연구가 이루어졌다. 공원 접근성이 특별히 낮은 지역에서 골목길 밀도가 일반적으로 매우 높으며(Wolch et al., 2010), 이 지역의 주민 소득 수준이 상대적으로 낮고, 주민들이 뒷골목에 대해 더럽고 위험하다고 인지하는 10곳 중 3곳 정도가 중금속 오염이 기준치보다 높아 이에 대한 개선이 필요하다는 점 등이 주요 연구 결과였다(Sister et al., 2010; Wolch et al., 2005; Seymour et al., 2010; Devinny and Longcore, 2008). Back Alley LA 프로젝트가 종료되어 가던 2008년, LA의 빗물 관리 문제 해결 의지가 커지면서, LA 공사업국(the Los Angeles Department of Public Works)은 녹색도로위원회(Green Street Committee) 내에 녹색 골목길(Green Alley) 소위원회를 세웠고, LA 위생국은 2008년 주 전략적 성장위원회의 보조금을 토대로 남부 LA 녹색 골목길 마스터플랜을 수립하였다(LA Stormwater 홈페이지).

이에 따라 이 프로그램은 처음부터 대기와 수질 관리 및 공급(우수 및 유출수 관리 개선, 우수 이용, 지하수 보충 등), 열섬현상 저감, 녹지 및 오픈스페이스 창출, 안전, 보행자 및 자전거 네트워크 구축, 주민 교육 및 홍보 등 다양한 목표를 포괄하고 있었다. 이 목

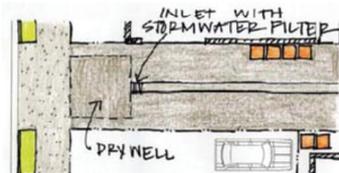
표들은 법이나 조례로 규정되지는 않았지만, 소위원회가 받아들였고, 2009년 [그림 2-5]와 같은 6개의 골목길 디자인 시나리오를 채택하여 이후 진행되는 골목길 프로젝트의 디자인 및 엔지니어링이 이 기준을 따르도록 하였다(City of Los Angeles Department of Public Works, 2009). 이 가이드라인은 폭 약 6m, 길이 약 20m 도로를 기준으로 제시되었고, 각 시나리오는 도로의 현재 상황과 개선하고자 하는 목표, 예상 소요 비용 등을 토대로 구분된다.



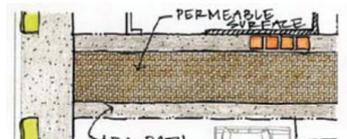
표준 도로 설치 기준



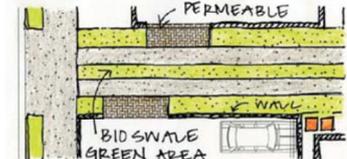
시나리오1-아스팔트만 교체



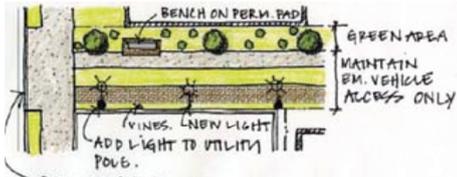
시나리오2-Drywell을 통한 침투



시나리오4-투수포장을 통한 침투



시나리오5-Biofiltration을 통한 우수정화



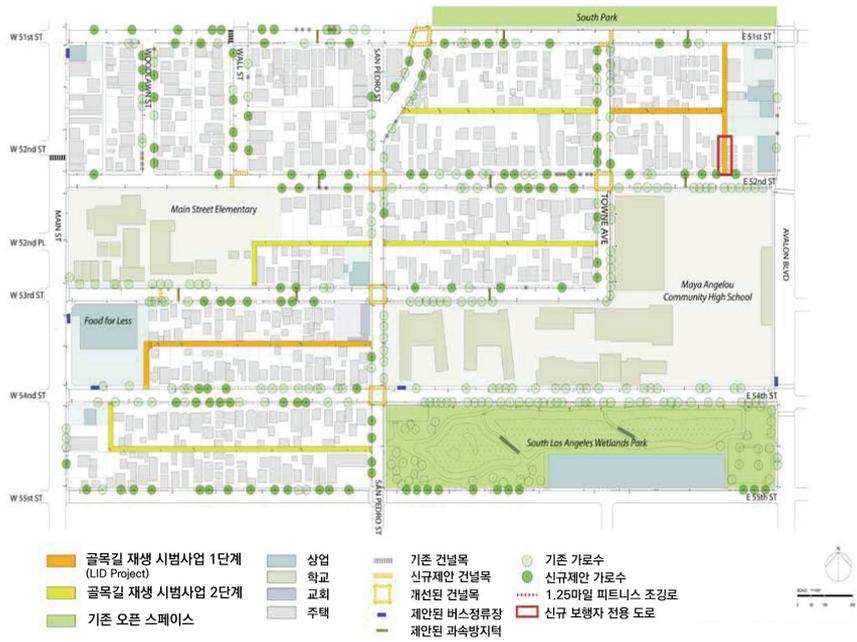
시나리오6-보행자 중심으로 전환

출처: City of Los Angeles Department of Public Works, 2009

[그림 2-5] SLAGAMP 녹색 골목길 시나리오

프로젝트는 특히 LA 남부의 경제적으로 쇠퇴하고 낙후된 약 16제곱마일(약 40km²)의 지역에 집중하여, 녹색 골목 네트워크가 가장 긍정적인 영향을 미칠 수 있는 장소를 식별하고, 사이트 조건 및 커뮤니티 목표에 가장 적합한 지침을 제공하고자 하였다. 이에 대상지역을 1~2제곱마일(약 2.5~5km²) 규모의 하위 단위로 나누어 잠재성을 분석하고, 우선순위가 가장 높은 3~5개의 골목길 및 도로 네트워크들을 광범위한 녹색 골목 모범 사례 리스트와 함께 개발하였다(The Trust for Public Land et al., 2012). 그리고, 다음 단계로 이 네트워크 내에 위치한 개별 골목들에 대한 구체적인 디자인 제안들이 이루어졌다.

두 개의 아발론 골목 프로젝트(Avalon Alley Project)는 SLGAMP로 진행된 대표적인 사례이다. 이 골목 개선 사업은 더욱 광범위한 아발론 그린 골목 네트워크 (Avalon Green Alley Network) 시범프로젝트의 일부로, [그림 2-6]과 같이 LA 남부 주거지역의 약 10개 골목과 2개 공원, 2개 학교 사이트를 자전거 도로와 보행도로로 연결하고, 골목의 환경을 단계별로 개선해나가는 계획을 포함하고 있다. 각 골목길은 우수 환경을 개선하고, 보도를 정리함으로써 물리적 환경을 바꾸는 것뿐 아니라, 식수와 예술작품 등을 통해 주민들을 참여시키고, 골목을 커뮤니티 공간으로 확장함으로써 주변 지역 주민의 삶의 질에도 영향을 끼칠 수 있도록 모색되고 있다(Newell et al., 2012, The Trust for Public Land 웹사이트(tpl.org)).



Avalon Green Alley Network Demonstration Project



출처: Lindt et al., 2015

[그림 2-6] 아발론 그린 골목 네트워킹 시범 프로젝트 마스터플랜

다음 [그림 2-7]은 [그림 2-6]의 네트워크 중 우선순위가 가장 높은 주황색 골목길에서 수행된 시범사업의 변화 과정이다. 1단계 사업은 저영향 개발(LID: Low Impact Development) 그린 인프라스트럭처(Green Infrastructure)를 중심으로 계획되어 아스팔트 포장을 유출수를 줄일 수 있는 투수성 포장이나 고반사율 콘크리트로 대체하고, 드라이웰 및 침투성 트렌치 등을 설치하였으며, 포도나무나 다른 나무들을 공공예술과 접목하여 심는 사업에 중점을 두었다. 특히 북동쪽의 T형 골목에는 선행된 East Cahuenga 골목처럼 보행자 전용구간을 설정하고, 표지판이나 새로운 가로수, 포도나무, 커뮤니티 활동에 기반을 둔 벽화 등의 예술 작품도 설치되었는데, 우수관리와도 연계하여 투수성 블록이나 침투성 트렌치 등에 의해 침투되지 않은 물은 골목 양쪽 면에 심어 놓은 포도나무 등의 식재에 이용될 수 있도록 계획되었다. LA 시정부는 SLAGAMP 사업하에 개발된 시범사업에 적용되었던 요소들을 다른 지역으로 단계적으로 확대해 나가도록 계획하고 시행 중이다(LA 시정부 우수관리 홈페이지(Lastormwater.org), The Trust for Public Land et al., 2009).



출처: salt landscape architect 홈페이지

[그림 2-7] 개발된 그린 골목 시범사업 경과
a) 사업 시행 전, b), c) 리모델링 공사현황, d) 사업 시행 후

4) 미국 필라델피아시 Green Works - 불투수면 제한 도시계획

필라델피아시는 2009년 도시의 포괄적인 지속가능성 계획으로 Greenworks Philadelphia를 채택하였고, 2015년 1단계가 종결된 이후 2016년부터 2단계가 시행 중이다. 이 장기 계획은 8가지 비전으로 이루어져 있으며, 그중 5번째 양질의 천연자원(Quality Natural Resource)은 공원과 수목 확충, 우수 관리, 건강한 수로 개편을 토대로 녹색 기반시설(Green Infrastructure)을 확대해 나가는 계획이다. 이에 따라 1단계에서 2016년까지 750GA(Green Acre: 우수 관리시설이 설치된 면적) (약 3km²) 설치와 연간 6억 갤런(약 230만 m³)의 합류식 하수 월류수(CSO: Combined Sewer Overflow) 감축 목표를 달성하였고, 2단계에서는 2021년까지 2,148GA(약 8.7km²) 설치와 연간 20억 갤런(약 760만 m³)의 하수 월류수 감축을 목표로 하고 있다(The City of Philadelphia Office of Sustainability, 2016).

필라델피아시의 그린 인프라 확대를 위해 2011년 채택된 “Green City, Clean Water” 이니셔티브는 공공과 민간의 협력 투자에 기반을 두고 현재까지 1,100여 개의 그린 우수시설을 설치하고 있다(<http://www.phillywatersheds.org>). 시수도국(이하 PWD: Philadelphia Water Department)은 그린 인프라 면적을 확대하기 위해, 주택 소유주들에게 무료 빗물 저장통을 제공하기도 하고, 수직 낙수 흡통 화단이나, 레인 가든, 투수성 포장 설치 지원금을 지급하는 등 민간 토지 소유주들에게 인센티브를 제공하는 정책을 채택하고 있다(Rain Barrel & Rain Check Program). 또한 2013년 이후 모든 상업 및 산업 PWD 고객들은 대지 규모와 불투수 면적에 따라 우수비용을 내도록 하고, 우수관리 시설을 설치할 때에는 용자를 제공하거나, 2012년에 도입된 우수관리 인센티브 프로그램(SMIP: The Stormwater Management Incentives Program) 또는 2014년 도입된 그린 에이커 리트로핏 프로그램(GARP: The Greened Acre Retrofit Program)에 따라 보조금을 제공함으로써 우수관리시설 도입을 장려하고 있다(Freeh and Wu, 2016(Greenworks 2015 보고서)). 다음 [그림 2-8]은 필라델피아 그린인프라 사업이 채택하고 있는 주요 우수관리 기술들이며, 식생 침투 트렌치(Stormwater tree trench), 빗물 화단(Stormwater Planter), 투수성 포장, 옥상녹화, 빗물저장통(Rain Barrel), 빗물 정원(Rain Garden), 수직낙수흡통 화단(Downsprout planter) 등이 대표적이다(<http://www.phillywatersheds.org>).



출처: <http://www.philywatersheds.org>

[그림 2-8] 필라델피아시 그린 인프라 사업 주요 적용 기술

이외에도 필라델피아시는 Philadelphia Park & Recreation(PPR), Philadelphia Water Department, Street Department의 범부처 간 협력으로 2025년까지 Tree Canopy 비율을 30%까지 높이는 목표로 하고 있다. 이에 따라 시는 도로변의 가로수 인벤토리를 구축하고 가로수 식재를 확대해 나가고 있으며(The City of Philadelphia Office of Sustainability, 2016), 녹색도로(Green Street), 녹색학교(Green School), 녹색 공공기관(Green Public Facilities), 녹색주차(Green Parking), 녹색 오픈스페이스(Green Open Space), 녹색건물(Green Building), 녹색 골목길(Green Alley) 등과 연계하여 녹지면적을 넓혀가고 있다(Office of Watershed, 2011).

5) 미국 뉴욕주 GreenLITES 지속가능성 평가체계

뉴욕주 교통부(DOT: Department of Transportation)는 도로 및 교통시설에 대한 자체 지속가능성 평가체계인 GreenLITES(Green Leadership In Transportation Environmental Sustainability)를 2008년에 도입하여 확대 적용하고 있다.

GreenLITES는 자가 인증 프로그램으로 초기에는 NYSDOT이 사업 성과를 평가하고, 좋은 사례를 구분하며, 향후 향상해야 할 부분들을 파악하는 목적으로 개발되었다. 인증 결과는 GreenLites Certified, GreenLITES Silver, GreenLITES Gold, GreenLITES Evergreen의 4개 등급으로 구분되며, 프로젝트의 입찰 및 계약 시에 평가 조건으로 사용된다. 지속가능한 토지 이용(Sustainable Sites), 수질 관리(Water Quality), 재료 및 자원(Materials and Resources), 에너지와 대기(Energy and Atmosphere), 혁신(Innovation/Unlisted)의 총 5개 분야 21개 평가항목으로 구성되어 있고, 각 평가 기준의 시행 여부에 따라 점수가 부여되는 방식이며, 평가표를 이용해 프로젝트 진행 과정에서 사전 검토를 할 수 있게 되어 있다(<https://www.dot.ny.gov/programs/greenlites>). 프로그램은 cool pavement에 대한 별도의 항목을 두고 있지는 않지만, 수질 관리(Water Quality) 항목 중 도로의 투수성 포장, 초생수로, 필터, 드라이웰 등 침투 및 비점오염 관리 기준이 있고, 그 외에 대지의 맥락을 고려한 설계나 식재 계획 및 관리, 재료의 선정 기준, 연료 이용 감소 항목에 열섬현상 저감을 고려해 점수를 받을 수 있도록 하고 있다(그림 2-9), GreenLITES scorecard v.2.1.0).

GreenLITES Project Environmental Sustainability Rating System Scorecard v.2.1.0			POINTS		
Please fill in all yellow highlighted cells and follow all instructions in red text .			Available Scored	Element Specific?	
CATEGORY	ID	DESCRIPTION	Available Scored	Element Specific?	
			INSTRUCTIONS	EXPLANATION OR COMMENTS (optional)	
Water Quality (W)	S-5j	Preserving, replacing, or enhancing vegetation associated with historic properties or districts, or which maintain the character of unique areas.	1	=<= Please enter 0 or 1	
	W-1	Stormwater Management (Volume & Quality)			
	W-1a	Improve water quality and/or nearby habitat through the use of stormwater retrofitting, stormwater crediting strategies, stream restoration, additional wetland protection, and inclusion of permanent stormwater mg practices.	2	=<= Please enter 0 or 2	
	W-1b	Detecting and eliminating any non-stormwater discharges from unpermitted sanitary or other residential, commercial or industrial sources that enter the Right-Of-Way or flows that ultimately discharge to the RCW.	2	=<= Please enter 0 or 2	
	W-1c	Demonstrate, through the use of models, a reduction of pollutant loadings to adjacent water resources by the use of Best Management Practices (BMPs).	2	=<= Please enter 0 or 2	
	W-1d	Reduction in overall impervious area (post-project impervious surface area to be less than existing).	2	=<= Please enter 0 or 2	
	W-1e	Requirements for staged construction so that less than five acres of bare soil are exposed at any given time and site runoff is controlled.	1	=<= Please enter 0 or 1	
	W-1g	Detecting and documenting non-stormwater discharges from unpermitted sanitary or other residential, commercial or industrial sources that enter the right-of-way or flows that ultimately discharge to the right-of-way but which cannot be eliminated for reasons beyond our control.	1	=<= Please enter 0 or 1	
	W-2	Best Management Practices (BMPs)			
	W-2a	Design features that make use of highly permeable soils to remove surface pollutants from runoff through infiltration trenches or basins, bioretention cells or rain gardens, grass buffers and stormwater wetlands that treat water quality and water quantity requirements in accordance with NYSDOT Highway Design Manual Chapter B, Appendix B, subsections 2.3.2 and 2.3.3.	2	=<= Please enter 0 or 2	
	W-2b	Use of other structural BMPs including wet or dry swales, sand filters, filter bags, stormwater treatment systems (e.g., oil/grease separators and hydrodynamic devices), underground detention systems or catch basin inserts.	2	=<= Please enter 0 or 2	
W-2c	Inclusion of "permeable pavement" such as grid pavers where practical.	2	=<= Please enter 0 or 2		
W-2d	Minimize the project's overall impervious surface area increase.	1	=<= Please enter 0 or 1		
W-2e	Include grass channels, where appropriate.	1	=<= Please enter 0 or 1		
W-2f	Designate qualified environmental construction monitor to provide construction oversight in sensitive environmental areas.	2	=<= Please enter 0 or 2		
M-1 Reuse of Materials	M-1a	Specify that 75% or more of topsoil removed for grading is reused on site.	2	=<= Please enter 0 or 2	
	M-1b	Design the project so that "out-and-fills" are balanced to within 10 percent.	2	=<= Please enter 0 or 2	

출처: GreenLITES scorecard v.2.1.0

[그림 2-9] 뉴욕주 GreenLITES 인증 평가표

7) 캐나다 토론토 그린빌딩 스탠더드(Toronto Green Building Standard)

토론토 그린빌딩 스탠더드(이하 TGBS: Toronto Green Building Standard)는 토론토의 신축 민간 및 공공 개발에 대한 지속가능한 디자인 기준으로 인허가 과정에서 지켜야 하는 1단계 조건인 Tier1과 인센티브와 연결된 자발적 참여 기준으로 구성된 Tier 2~4 단계로 구성되어 있다. 이 기준은 처음 2006년에 신축 개발 프로젝트의 자발적 기준으로 도입되었으며, 대상과 기준이 점차 강화되어 2018년부터는 Version 3로 업그레이드 되어 모든 신축 인허가 접수 계획에 2030년 온실가스 감축 및 건물 에너지 절감 목표를 포함하는 Tier 1~4단계의 기준을 적용하고 있다(토론토 그린빌딩 스탠더드 홈페이지). TGBS는 저층 주거, 중고층 주거 및 비주거, 공공의 세 부문으로 구분되어 있지만, 설계 기준은 모두 대기질(Air Quality), 에너지 효율, 온실가스와 적응력(Energy Efficiency, GHG & Resilience), 수질 관리 및 효율(Water Balance, Quality & Efficiency), 생태(Ecology), 폐기물(Solid Waste)로 구성되어 있다. 이 중 대기질 부문에 열섬현상 저감 대책이 별도 항목으로 구분되어 있고, 다음 [표 2-10]의 Tier1은 의무 기준, Tier2는 권장기준으로 정하고 있어, 도로에서 건물로 이어지는 외부 공간들의 열섬현상 저감 관리를 유도하고 있다.

또한 열섬현상 저감 대책 항목 이외에서도 개별 필지에서 이루어질 수 있는 다양한 열섬현상 관련 완화방안들이 포함되어 있는데, 대기질 부문에서 보행자 및 자전거 인프라를 확충하고, 저배출 수송을 장려하며, 에너지효율, 온실가스와 적응력 부문에서 건물의 냉난방 에너지 성능을 관리하는 것은 인위적인 열배출 최소화와 연결될 수 있다. 그뿐만 아니라 우수관리나 투수성 마감과 관련된 항목은 수질 관리 및 효율 부분에, 도시 내 녹지공간 확대와 관련된 항목은 생태 부분에 별도로 마련되어 있다.

이미 토론토시는 그린빌딩 스탠더드에 앞서 미국의 사례와 유사하게 저영향 개발(LID: Low Impact Development)과 그린 인프라 개념을 포함하는 그린스트리트 정책도 채택하여 시행하고 있기 때문에(토론토 그린스트리트 홈페이지), 그린빌딩 스탠더드에 열섬현상 관련 기준을 포함함으로써, 골목과 도로의 열섬현상 완화 시도를 개별 필지로 확대하는 시너지 효과를 기대할 수 있다.

[표 2-10] 토론토 그린빌딩 스탠다드: 열섬현상 저감 설계기준

구분	Tier 1 (의무 기준)		Tier 2 (권장 기준)	
저층 주거	AQ 2.1 비지붕 마감면	비지붕 마감면의 50% 이상에 대해 다음 기준을 따라야 함 ○ SRI 29 이상 또는 반사율 0.33 이상의 고반사 마감 ○ 투수율 50% 이상의 틈새투수블록 사용 ○ 기존 또는 신규 나무 캐노피 그늘 ○ 녹화된 또는 SRI 29 이상 또는 반사율 0.33 이상의 고반사 마감된 구조물에 의한 그늘 ○ 에너지사용 구조물에 의한 그늘	AQ 2.3 비지붕 마감면	AQ4.1의 비지붕 마감면 기준을 75% 이상 면적에 적용
	AQ 2.2 옥상녹화 쿨루프	지붕은 반드시 다음 기준 중 하나를 따라야 함 ○ 지붕면적의 50% 이상 녹화 ○ 지붕면적의 100% 쿨루프 ○ 녹화, 쿨루프, 태양광 설치면적을 총합하여 지붕면적의 75% 이상		
중고층 주거 및 비주거	AQ 4.1 비지붕 마감면	비지붕 마감면의 50% 이상에 대해 다음 기준을 따라야 함 ○ SRI 29 이상 또는 반사율 0.33 이상의 고반사 마감 ○ 투수율 50% 이상의 틈새투수블록 사용 ○ 기존 또는 신규 나무 캐노피 그늘 ○ 녹화된 또는 SRI 29 이상 또는 반사율 0.33 이상의 고반사 마감된 구조물에 의한 그늘 ○ 에너지사용 구조물에 의한 그늘 ※ 비주거 건물에는 위 기준 중 하나 또는 여러 가지를 접목하여 따르거나, 전체 의무주거면적의 75% 이상에 지붕을 두고, 이 지붕 마감은 SRI 29 이상 고반사 마감 또는 옥상녹화나 PV로 할 것	AQ 4.3 비지붕 마감면	AQ 4.1의 비지붕 마감면 기준을 75% 이상 면적에 적용
	AQ 4.2 옥상녹화 또는 쿨루프	옥상녹화 의무 기준이 적용되는 건물은 의무기준을 따라야 함 의무 대상이 아닌 건물의 지붕은 반드시 다음 기준 중 하나를 따라야 함 지붕은 반드시 다음 기준 중 하나를 따라야 함 ○ 지붕면적의 50% 이상 녹화 ○ 지붕면적의 100% 쿨루프 ○ 녹화, 쿨루프, 태양광 설치면적을 총합하여 지붕면적의 75% 이상		
공공	AQ 4.1 비지붕 마감면	비지붕 마감면의 75% 이상에 대해 다음 기준을 따라야 함 ○ SRI 29 이상 또는 반사율 0.33 이상의 고반사 마감 ○ 투수율 50% 이상의 틈새투수블록 사용 ○ 기존 또는 신규 나무 캐노피 그늘 ○ 녹화된 또는 SRI 29 이상 또는 반사율 0.33 이상의 고반사 마감된 구조물에 의한 그늘 ○ 에너지사용 구조물에 의한 그늘	-	-
	AQ 4.2 옥상녹화 쿨루프	바닥면적 100m ² 이상 모든 신축건물은 옥상녹화 의무기준을 따르거나 지붕면적의 50% 이상을 녹화해야 함 옥상녹화되지 않은 모든 지붕면적은 쿨루프로 마감해야 함		

03. 서울시 골목길 정비사업 현황과 온열환경

1_서울시 골목길 정비사업 현황 및 사례

1) 서울시의 주요 골목길 정비사업 현황 및 사례

(1) 그린파크사업(녹색주차마을사업)

서울소식의 정책 소개에 그린파크사업(녹색주차마을사업)은 담장을 허물어 내 집 주차장을 조성함으로써 주차장 설치비용을 줄이고 주택가 이면도로의 기능을 보행자 중심으로 회복하여 주택가 주차난을 해결하기 위한 사업으로 안내되고 있다.

2019년 현재 주차면 1면 기준 약 900만 원이 지원되고 있고, 이후 1면 추가 시마다 150만 원이 추가 지원되어 최대 2,800만 원까지 지원된다. 여기에 자치구별로 추가 인센티브가 제공되기도 한다. 관악구는 80만 원 한도 내에서 가구주 동의하에 무인자가방범시스템이나, 방범창 등의 보안시설 설치를 지원하기도 하고, 우편함도 설치해 준다. 도봉구와 광진구도 주택 내·외부 카메라 2대 및 저장장치, 표지판 등으로 구성된 자가방범시스템 설치를 지원하고, 담장허물기 사업이 50% 이상 진행된 골목길 중심으로 보행자 중심의 걷기 편한 생활도로를 조성하고 있다. 동작구에서는 방범창이나 무인자가방범시스템 등은 지원기준 금액 내에서 지원하되, 주차면 단차를 변경해야 하거나 정화조 시설, 출입구 변경 등 난 공사 시 공사비의 30%까지 지원 한도를 상향하는 방향을 채택했다. 또한 서울시는 최근의 연계사업으로 사물인터넷(IoT) 기술을 적용한 실시간 공유주차 시스템도 도입하고 있는데, 조성한 주차공간을 다른 사람과 공유해 부가 수입을 얻고 주택가 주차난 해결에도 기여한다는 취지이다. 주차면 바닥의 IoT 센서가 차량 유무를 실시간 감지하면, 이용자는 민간 공유주차 앱을 이용해 내 주변 그린파크 주차면을 확인하여 예약 및 결제를 할 수 있다. 소유주도 CCTV 화면을 휴대폰으로 확인할 수 있어 언제든지 내 집 앞 주차장을 확인할 수 있는 장점이 있다(서울소식 홈페이지, 2019).

주택가 공동주차장 1면 건설 시 5,000만 원 이상 드는 것에 비해, 900만 원의 저렴한 비용으로 주택가 주차난을 단기간 내에 해결하는 정책으로 평가되며, 그 결과, 서울시 골목길 정비사업 중 그린파크사업의 규모가 가장 크고 폭넓게 이루어지고 있다고 볼 수 있다. 다음 [표 3-1]은 그린파크사업의 연도별 추진 실적으로, 2004년 사업이 시작된 이래, 2018년까지 주택 27,378동이 참여하여, 주차면 55,381면이 만들어졌고, 생활도로도 111,772m 조성한 것으로 나타난다. 다만, 해가 갈수록 사업 규모가 줄어들고 있고, 2014년 이후에는 서울시 차원의 생활도로사업이 더는 진행되고 있지 않다. 따라서, 이 사업을 도심 열섬현상 완화와 연계하여 계속 확대해 나가기 위해서는 생활도로를 조성한 지역에서 원칙적으로 금지된 노상 불법주차 문제나 주차장 담장 허물기 외의 경관 지원, 방법 및 사생활 보호계획, 보차분리 및 보행 편의 개선 등(신중진·신영도, 2011; 김한배 2010) 그동안 지적되어온 여러 문제점을 지금까지는 고려되지 않았던 열섬현상 저감 디자인 요소와 연계하여 해결하는 것이 필요하다. 실제로 불법주차 문제나 화단 조성, 도로 및 주차면 포장 등의 경관 디자인 요소들은 열섬현상 저감에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 요소들로 이에 대한 세심한 계획이 필요하다.

[표 3-1] 연도별 그린파크사업 추진 실적

구분	담장 허물기 사업		생활도로 사업
	동수	면수	
계	27,378동	55,381면	111,772m
2004년~2009년	18,580동	34,881면	100,312m
2010년	1,805동	4,176면	4,729m
2011년	1,406동	2,904면	3,859m
2012년	1,254동	2,826면	1,652m
2013년	857동	1,942면	1,256m
2014년	762동	1,681면	-
2015년	761동	1,679면	-
2016년	750동	1,702면	-
2017년	595동	1,539면	-

*출처: 서울소식(new.seoul.go.kr) <교통> 교통수요관리 > 주차·물류 > 주차 > Green Parking사업

(2) 주거환경관리사업의 가로환경개선 사업

주거환경개선사업은 「도시 및 주거환경정비법」에 따라 도시 저소득 주민이 집단 거주하는 지역으로서 정비기반시설이 극히 열악하고 노후·불량건축물이 과도하게 밀집한 지역의 주거환경을 개선하거나 단독주택 및 다세대주택이 밀집한 지역에서 정비기반시설과 공동이용시설 확충을 통해 주거환경을 보전·정비·개량하기 위한 사업이다. 대상 지역에는 전용주거지역이나 1·2종 일반주거지역, 해제된 정비(예정)구역 또는 재정비촉진지구, 재정비촉진지구 내 존치지역, 정비구역 중 주민 50% 이상 주거환경관리사업 전환 동의 지역 등이 해당한다. 서울시는 현재 관리형 주거환경개선사업을 진행 중이다.

이 사업에서 공공이 지원하는 사항은 크게 공동체 활성화 지원, 주택개량 및 관리 지원, 기반시설 확충을 통한 환경개선으로 나눌 수 있다(서울시 정책소개). 공동체 활성화 사업의 핵심 요소 중 하나로 사업 시행 초기부터 공동이용 시설 확충 및 공동체 활동 지원 등으로 공동체가 형성되고 이를 토대로 주민 참여형 재생사업이 되도록 유도된다. 그리고 사업구역별로 주택개량에 관한 상담을 지원하고, 용자 제도 등 기관별 지원을 안내하며, 이를 통해 주거환경관리구역 내 주택개량 및 신축공사 비용의 80% 이내로 용자를 받을 수 있도록 지원하고 있다. 마지막으로 도로, 주차장, 광장, 보안등, CCTV 등 기반시설 설치와 보행환경 개선을 위한 특화 가로 및 산책로 조성 등의 방법으로 가로환경개선사업이 시행되고 있고, 이 외 쓰레기 처리시설 설치, 담장 허물기 및 그린파킹사업 등은 연계사업으로 진행하고 있다(맹다미, 2016). 그러나 이러한 가로환경개선 사업들은 주민의 제안을 우선하여 시행하고 있고, 전문가 지원이 잇기는 하지만, 열섬현상 저감 등과 연계할 수 있는 디자인 관련 설계 기준은 마련되어 있지는 않다.

2018년 8월 기준으로 77개 구역(일반마을 58개, 성곽마을 19개), 4,175천 m²를 대상으로 사업이 추진 중이다(서울시 정책소개, <http://news.seoul.go.kr/>). 18개 구역을 대상으로 한 서울연구원의 연구자료에 의하면, 사업비는 사업구역에 따라 다르지만, 대부분 10억~30억 원 수준인데, 이 중 공동이용시설 설치 비용의 비중이 크고, 기반시설 설치비용은 최소 3.2억 원, 최대 26.6억 원, 평균 약 12.8억 원 규모로 조사되었다. 또한 기반시설 설치 내용으로는 가로 및 보행환경 개선(도로포장, 가로시설물 정비, 노후계단 정비 등), CCTV 설치, 보안등개선, 공원쉼터 조성 등의 비중이 높았고, 이외에도 그린파킹, 쓰레기 처리시설 설치, 마을안내판 설치, 하수관정비, 벽화조성, 쉼터·텃밭산책로·소공원 설치 등이 다양하게 시행되고 있었다(맹다미 외, 2015). 그러나, 도로포장이나 가로시설물 정비 디자인들은 지역에 따라 다르게 나타나고 있다.

(3) 가꿈주택 연계형 골목길 정비사업

가꿈주택사업은 저층 주거지 노후주택 집수리에 대한 주민들의 인식 개선 및 집수리 공감대를 확산하여 주민 스스로 수리하고 가꾸는 집수리 활성화를 위한 사업으로, 도시재생활성화지역을 대상으로 하고 있다. 원래는 집수리 지원만 대상이었지만, 가꿈주택사업의 주거환경 개선 체감도를 높이고, 사업효과를 극대화할 수 있도록, 2017년 골목길 정비를 연계한 장위동 감나무골목 사업이 시범적으로 진행되었고, 2019년에는 단체참여(인접한 주택 소유주 5인 이상)를 대상으로 골목길 정비 대상지 5곳이 별도로 선정될 예정이다. 다음 [표 3-2]는 2019년 가꿈주택사업 공고 중 골목길 개선 요청 사항 사업내용이며, 이외에도 기존의 담장허물기 사업 등이 연계가 가능하다.

[표 3-2] 2019년 가꿈주택사업 중 골목길 개선 요청 사항 사업내용

기반시설	하수관 정비, 도로 정비, 전신주 정비
안전시설	방범시설, 방재시설, 야간 조명 개선
기타	게시판, 쉼터, 상징 조형물, 조경

[그림 3-1]은 장위동 감나무골목 가꿈주택 연계형 골목길 정비사업의 전후 사진으로, 개별주택의 집수리와 함께 담장 높이를 조절하고, 스트리트 퍼니처 등을 활용하여 공공장소를 만들 수 있는 공간을 확보함으로써 개방감을 높였다. 이외에도, 보안등 정비, CCTV 설치, 골목길 조명계획, 도로포장, 화단조성, 바닥 배수 및 선홍통, 전신주 및 통신라인의 재정비도 함께 이루어져 집수리 사업의 만족도를 높이는 데 이바지했다.



출처: 내 손안에 서울(<http://mediahub.seoul.go.kr>)

[그림 3-1] 장위동 감나무골목 가꿈주택 연계형 골목길 정비사업 전후사진

(4) 서울시 골목길 재생사업

서울시는 2019년 공포된 ‘서울특별시 골목길재생 활성화 및 지원에 관한 조례(제정)’를 바탕으로 ‘서울형 골목길 재생사업’을 본격 추진할 계획이며, 이미 2018년부터 시행된 성북동 선잠로 2가길과 후암동 두텁바위로40길 2곳 외에 추가로 11곳이 선정될 예정이다. 이 사업은 기존의 도시재생사업과 달리 폭 4m 이내의 생활 골목길이나 10~12m 이내의 골목상권, 보행 중심 골목을 대상으로 한다.

[표 3-3]은 먼저 선정된 성북동 선잠로 골목길 재생사업 계획의 주요 내용이다. 성북동 골목길은 폭 0.6m~2.0m, 총 길이 약 800m로, 가파른 경사들이 많고, 최고 경사는 18.7도이다. 선정 이유에는 오래전 형성된 필지의 역사성, 자연 발생적으로 형성된 골목의 희소성, 답장에 가려진 구릉지 전망의 가치, 재개발해제 이후 주거환경 변화 도모 등이 있다. 약 25억 원의 예산이 편성되어, 골목길 인프라 정비 및 공공서비스 개선, 공동체 활동 지원, 정주 여건 개선 등에 지원될 계획이다.

[표 3-3] 성북동 선잠로 골목길 재생사업 계획

인프라 기반 개선 (안전, 쾌적성)	<ul style="list-style-type: none"> · 골목길 확장, 정비 · 골목길 입구 계단 일부 경사로 전환 · 하수관 정비 사업 연계 추진 · 입구에 CCTV설치, 소방안전 강화 · 담장개선 · 안전, 아름다운 경관조망, 마당 공유 · 공동 대문 설치로 안전도모 및 일상의 삶 존중
공공서비스 (편의성)	<ul style="list-style-type: none"> · 폐점포(3~4평) 임차 등을 통한 커뮤니티 공간 조성 · 택배 보관함 운영 등 · 자투리 공간 활용, 쉼터 등 주민 편의시설 설치 · 쓰레기처리 공동집하장 설치 · 소방안전 강화(소방용수 신설 등)
주민공동체 (자치역량)	<ul style="list-style-type: none"> · 현장활동가 참여 · 골목재생 지속성 담보 · 폐가 정비를 통한 공동마당, 커뮤니티공간 조성
골목길 성장 (정주여건)	<ul style="list-style-type: none"> · 저층주거지 환경 개선사업과 연계 추진 · 주민 스스로 건축할 수 있는 제도 개선 · 집수리 및 개보수 컨설팅 지원

출처: (주)태하엔지니어링건축사사무소, 2018, 「서울시 골목길 재생 기본계획 최종보고서」, 서울특별시.

[표 3-4]는 후암동 골목길 재생사업 계획의 주요 내용이다. 후암동 골목길은 폭 1.0~2.5m, 총 길이 약 430m 규모이다. 후암동 골목길은 주거환경개선지구 사이 남은 골목으로 아름다운 경관 조망이 가능하며, 상권이 확대되고 있는 지역이다. 활용도가 낮은 경로당이

나 나대지를 활용하여 소통 공간을 조성하고 골목활력을 도모할 수 있다고 판단되어 골목길 재생시범사업에 선정되었다. 약 20억 원의 예산이 편성되었으며, 골목길 인프라 개선뿐 아니라, 주민의견에 따른 편의시설이나 마을 공동시설, 주택정비사업 등에도 사용될 예정이다.

[표 3-4] 용산구 후암동 골목길 재생사업 계획

인프라 기반 개선 (안전, 쾌적성)	<ul style="list-style-type: none"> · 하수구 관리 강화(우기 안전대책 등) · 가로등 개선 및 확충 · 일출, 일몰시간 반영한 가로등 운영 · 계단높이 개선(골목길, 경로당) · 중간 계단, 핸드레일, 미끄럼방지 · 폐가 정비 · 빗물관, 오수관 연결
공공서비스 (편의성)	<ul style="list-style-type: none"> · 쓰레기처리 공동 집하장 · 간단한 운동시설 비치 · 골목 전망대 및 편의시설 설치
주민공동체 (자치역량)	<ul style="list-style-type: none"> · 마을카페 설치 운영 · 현장 활동가 참여 · 테마 있는 공동텃밭 정원
건축행위, 주택정비	<ul style="list-style-type: none"> · 경로당시설 개방 공유(개방형으로 리모델링) · 집수리 지원, 전신주 정리 · 골목길 불법 적치물 정리

출처: ㈜태하엔지니어링건축사사무소, 2018, 「서울시 골목길 재생 기본계획 최종보고서」, 서울특별시.

골목길 재생사업 계획 중 담장을 낮추어 골목길을 확장·정비하고, 계단의 일부를 경사로로 전환하는 과정에서 열섬현상 완화 계획과 연계할 수 있는 가능성이 있지만, 주민의 견수렴을 중심으로 추진되는 사업 계획 과정에 관련된 요소가 반영될 수 있기 위해서는 거주민들이 열섬현상 저감계획을 수립해 경제적으로도 환경적으로도 이익이 될 수 있음을 인지하도록 적절한 가이드라인이 제공되어야 할 것으로 보인다.

2) 서울시 골목길 정비사업 주요 마감 사례

다음 [그림 3-2]와 [표 3-5]는 이 연구에서는 조사된 골목길 정비사업 지역의 도로 및 주차장 마감 현황을 정리한 결과이다. 아스콘은 가장 보편적으로 적용된 마감재로 3m 이하의 도로에도 다수 적용된 것으로 보이며, 녹색주차마을의 디자인 요소로 아스콘 위에 도장 또는 폴리머 도막형 바닥재 등을 덧씌우거나 컬러 문양 콘크리트를 사용한 예도 자주 볼 수 있었다. 그러나, 2000년대 후반에 진행된 사업부터 최근으로 올수록 보도나 3m 이하의 소로에는 콘크리트 틈새 투수블록이나 소형고압블록, 인조 화강석 등 투수성 마감재 사용의 빈도가 증가하는 것으로 보인다. 2018년 관악구 녹색주차마을 사업 안내 등에는 주차장 바닥면 재질을 콘크리트 블록으로 명시되어 있기도 하다.

아스콘이나 폴리머 도막형 마감의 경우 반사율은 일반적으로 10~15% 정도로 매우 낮지만(정주리, 2017; 정주리 외, 2016), 비열은 0.21~0.23cal/g·°C(ASHRAE)로 높은 편이다. 또한 콘크리트블록이나 인조 화강석, 소형고압블록 등의 투수블록 및 틈새투수블록들의 반사율은 0.15~0.30으로 색상에 따라 차이가 크지만(정주리, 2017; 정주리 외, 2016), 투수계수는 투수블록들(3등급 이상)이 0.01cm/s 이상인데 반해(the-gl.com, daeiltec.co.kr, usbrick.co.kr, (주)삼이씨엔지), 아스콘은 0.25cm/s, 콘크리트는 7.1X 10~10cm/s(한국건설생활환경시험연구원)로 투수 성능이 거의 없다고 볼 수 있다. 아울러 일부 투수블록은 보수성능을 가지고 있기도 하다.



[그림 3-2] 서울시 골목길 정비사업 주요 마감재

[표 3-5] 서울시 골목길 정비사업 도로 마감 현황

사업대상	시행사업	사업시기	도로면 적용 마감재	특징	도로폭
광진구 능동로 32길 일대	녹색주차마을 생활도로조성사업	2005년	아스콘 및 도막형 투수콘크리트	보차분리 보수공사 시 아스콘 포장 후 컬러 도장	약 8M
강남구 양재대로 27길, 29길, 31길, 33길 일대	녹색주차마을 생활도로조성사업	2007년	콘크리트블록		약 4M
강남구 양재대로 39길 일대	녹색주차마을 생활도로조성사업	2008년	콘크리트블록	녹화시공	약 4M
종량구 망우로 72가길 10~10-2번지 골목길	녹색주차마을 생활도로조성사업	2008년	콘크리트블록		약 2M
중량구 용마산로 94길, 96길 일대	녹색주차마을 생활도로조성사업	2009년	콘크리트블록 주차장 점토블록	화단 조성	약 3M
강북구 삼각산로 4나길 일대	주거환경관리사업 (녹색주차마을 +빗물마을사업)	2012년 (녹색주차) 2016년 (빗물마을)	컬러문양콘크리트/아스콘 위 폴리머 도막형 바닥재 또는 콘크리트블록	빗물마을 조성사업 (우수관거)	약 4M
광진구 긴고랑로 47길 일대	녹색주차마을사업	2008년	아스콘 위 폴리머 도막형 바닥재		약 3M
관악구 조원로 13길 일대	녹색주차마을사업 생활도로조성	2006년	아스콘 및 소형고압블록	보차분리	약 8M
강동구 고덕1동 638-2번지 일대	녹색주차마을사업	2006년	아스콘 (컬러도장) (주차장은 소형고압블록)		약 5M
강동구 고덕동 659번지 일대	녹색주차마을사업	2006년	아스콘 (컬러도장) (주차장은 소형고압블록)		약 5M
상일동 305-1번지 일대	녹색주차마을사업	2010년	컬러문양콘크리트/소형고압블록	보차분리	
구로구 개봉동 343번지 일대	녹색주차마을사업	2005년	아스콘		약 8M
서대문구 홍은동 415-20번지 일대	녹색주차마을사업	2005년	아스콘		약 3M
성동구 마장동 800-1번지 일대	녹색주차마을사업 생활도로조성	2004년	아스콘/콘크리트 블록(보행로)	일부구간만 콘크리트 블록 보행로 + 식재	약 4M/ 8M
강북구 수유1동 삼양로 77가길	도시재생지역 도로정비사업	2016년	아스콘/인조화강석 블럭	보차분리	

특이할 점은 골목길 포장재나 그린파킹사업에 따라 신규 조성된 주차장 마감재로 많이

쓰이는 도막형 바닥재나 컬러문양콘크리트이다. 이러한 마감재는 상대적으로 적은 비용으로 다양한 컬러나 문양을 연출할 수 있기에 적용 빈도가 높은 편이지만, 복사 수지 면에서 일반 아스팔트보다 장점이 없으며, 시간이 지날수록 [그림 3-3]처럼 관리되지 못하고 박리되는 경향이 있어, 사업에 대한 부정적인 인식으로 이어지는 요인이 된다. 따라서 골목길 정비사업의 마감재 선정 시 내구성이나 관리 효율성 등도 함께 고려될 필요가 있다.



[그림 3-3] 도막형 바닥재와 컬러문양콘크리트 등의 관리실태

3) 서울시 골목길 정비사업 주요 식생 적용 사례

초기에 진행된 그린파크 사업은 화단 조성 등의 기준이 없어 기존 정원을 콘크리트 주차장으로 대체하는 데 대한 비판이 있었지만, 사업이 진행되면서 많은 자치구가 조경 설치 기준을 도입하고 있다. 예를 들어, 관악구는 담장허물기 주차장 조성사업 시에 가구별로 가급적 많은 양의 식재를 하도록 유도하고, 주차면 진입 동선을 제외한 여유 공간은 수목식재 공간으로 활용하도록 하고 있다. 그뿐만 아니라, 주거환경정비사업이나 도시재생과 연계된 지역에서는 공동체 사업과 연계한 꽃길 가꾸기사업도 진행되고 있다. [그림 3-4]의 중랑구 용마산로 96나길 일대는 집마다 담장을 따라 화분을 설치해 부족한 녹지를 조성하고, 골목에 활력을 주고 있다. 또한 ‘꽃피는 서울상’을 수상한 인수봉 숲길 마을은 주민들이 자발적으로 담장을 낮춰 기존 주택의 정원을 골목으로 개방함으로써, 도심 속 전원마을의 분위기를 가꾸고, 이웃 간의 교류도 증진하고 있다.



[그림 3-4] 화단과 연계한 골목길 정비사업

더불어 나무식재가 이루어지는 골목길은 주로 나무 식재 이후에도 차량 통행이 가능한 경우들이었다. [그림 3-5]의 조원로 13길 일대와 같이 보차분리가 이루어질 수 있는 조금 넓은 도로가 대표적으로, 보행로 및 차도에 그늘을 제공해 줄 수 있을 뿐 아니라, 적절한 간격일 경우에는 자동차 진입을 방해해 불법주차를 방지하는 효과도 있는 것으로 보인다. 그러나 가로수나 화단이 오히려 보행 구역을 침해하여 유모차 등의 이동이나 보행에 방해가 되는 사례도 있어 배치가 중요한 것으로 보인다. 양재대로 39길 일대는 그보다 좁은 골목길로 골목길 양측에 번갈아 화단이 설치되고 식재가 되면서 기존 주거지 담장 내의 마당이 골목길로 확장될 수 있는 가능성이 엿보이지만, 실제 화단의 위치는 그와 무관하게 계획된 것으로 보인다. 이러한 화단계획은 골목길을 곡선화하여 주행 속도를 줄이는 데 기여하는 것으로 판단된다.



[그림 3-5] 골목길 나무 식재 사례

이외에도 [그림 3-6]은 좁은 골목길에 도입된 다양한 화단의 사례이며, 작은 규모의 화단일수록 주민의 관심과 참여가 유지 관리에 중요한 것으로 보인다. 일부 기존 담장에 녹화 유도시설을 설치하여 담쟁이 등을 활용한 벽면녹화를 시도한 사례들도 찾아볼 수 있다.



[그림 3-6] 골목길 녹화 사례

4) 서울시 골목길 정비사업 빗물활용 사례

드물지만 서울시 빗물마을 조성사업에 따라 골목길 개선과 우수관리 시스템이 복합적으로 시도된 사례들도 있다. 서울시는 지난 2016년 이후 2018년까지 10곳을 빗물마을로 지정했으며, 2022년까지 추가로 13곳을 선정할 예정이다(서울시 물순환 안전국). 이러한 빗물마을 조성사업은 도시 내 물순환 회복을 목적으로 단순히 도로 마감을 투수 포장으로 바꾸는 것이 아니라 빗물저금통이나 빗물 침투 및 저류 시설 등을 설치하고 있다. [그림 3-7]은 2016년에 선정된 빗물마을 중 하나인 인수봉 숲길 마을의 안내도이다.



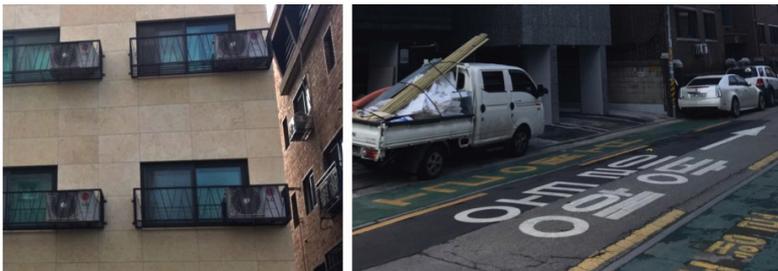
[그림 3-7] 인수봉 숲길 빗물마을 안내도

5) 서울시 골목길 정비사업 기타 열섬현상 관련 현황

이 외에 [그림 3-8]에서 보듯이 파사드에 설치되는 에어컨 실외기나 도로변의 주차 차량은 정비사업이 이루어진 골목을 포함하여 서울시 대부분 골목길이 가지는 공통의 문제라고 볼 수 있다. 여름철이면 실외기나 차량은 도시 협곡으로 직접 많은 열기를 배출하고, 좁은 골목일수록, 바람길이 제대로 형성되지 않은 골목일수록 이러한 열기가 빠져나가지 못해 보행로의 열적 쾌적성을 떨어뜨리고, 열대야 현상을 심화시키는 원인이 된다.

특히 녹색주차마을은 담장을 허물고 주차를 할 수 있도록 함으로써 주차난 해결에 기여하고자 하는 목적이 있기는 하지만, 담장 내에 충분한 주차 공간을 확보하지 못함으로써 오히려 조성된 보행로가 무색하게 불법 주차로 채워지거나, 도로 외 건물 사이 대부분 공간을 주차장으로 만들어 버리는 경향이 있어 이에 대한 대안도 필요하다.

또한 에어컨 실외기의 문제는 실외기 위치뿐 아니라, 건물 성능을 개선해 냉방부하 자체를 낮추는 것이 중요하다.



[그림 3-8] 기타 골목길 온도를 높이는 요인들

2_서울시 골목길 열섬현상 완화 관련 정책 및 제도

1) 서울시 열섬현상 완화 관련 정책 및 제도 현황

여름철 심해지는 열섬현상과 관련하여 서울시는 매년 폭염 종합대책 추진계획을 세우고 있다. 그러나, 이는 근본적인 열섬현상 저감 대책이라기보다 무더위 쉼터 운영, 취약계층 보호 활동, 공사장 휴식시간제 운영, 폭염 취약시설물 안전관리, 도로변 그늘막 설치, 전력수급관리, 수도물 비상급수 공급 등의 방재계획에 그치고 있다. 2018년 서울시가 추진한 보행로 폭염 저감 대책은 실제로 쿨링포그 운영(1곳), 서울로의 쿨팬(2대) 및 스프링클러 설치(난간스프링클러 1구간, 바닥스프링클러 6개소)와 야자매트 설치, 도로변 그늘막 설치, 살수 차량을 동원한 도로 물청소와 같이 임시로 온도를 낮추는 대부분이며, 노후 사회복지시설 및 주택의 쿨루프 설치만 장기적이고 지속적인 사업으로 볼 수 있다. 다만, 서울형 쿨루프 사업은 건물에너지효율화 용자지원사업(BRP)을 통해 건물에너지 효율화 사업의 하나로 추진되고 있어 정책목표 설정에 조정이 필요한 것으로 보인다. 쿨루프는 여름철 도시 전체의 온도를 낮추는 데에는 비용 효과적이지만, 건물 거주자의 주거환경 개선 체감도나 직접적인 에너지 비용 절감효과는 적어, 부정적 인식이 확대될 수 있다.

그러나 많은 선행연구 결과에서 볼 수 있듯이 도시 온도를 내리는 데는 쿨루프 사업보다 그늘을 제공할 수 있는 대안들이 더 효과적이며, 가로수 식재 및 녹화, 우수관리 등의 인프라 계획이 수반되어야 한다. 서울시도 이와 관련된 많은 사업을 진행하고 있기는 하지만, 신축 대규모 프로젝트에 적용하거나 시범사업에 그치고 있는 사례가 많아 한계가 있다. 따라서, 이를 체계화하여 종합적이고 장기적으로 도시 전역에 확대할 수 있는 계획을 수립할 할 필요가 있다.

서울시는 2000년부터 2007년까지 '10만 녹색지붕만들기' 사업을 발판으로 옥상녹화 활성화 사업을 시작하였고, 2005년부터는 이와 별도로 공공건축물 옥상녹화사업을 시행하여 옥상녹화 보급률을 높여나가고 있다. 서울시는 2002년부터 시작된 옥상녹화 텃밭 조성 사업에 2017년까지 68,269백만 원의 예산을 투입하고, 약 715개소, 33,469m²의 옥상녹화 면적을 조성한 것으로 보고하고 있다(서울시 푸른도시국). 2018년 현재 서울시에서는 공공건축물에 대해 시 교육청 건물은 녹화 비용의 100%, 구건물은 70% 이하, 기타는 50% 이하를 지원하고 있으며, 민간건물에는 최대 1억 원 이내 소요 비용의 50%

와 구조안전진단 용역비를 지원하고 있다. 또한 2014년부터는 저비용 녹화기법을 토대로 도시구조물 벽면녹화사업을 추진하여 2017년까지 약 147개소 15,801m², 길이 약 25,538m의 벽면녹화시설을 조성하였다.

이밖에 공원녹지 관리계획과 더불어 추가적인 녹화 사업으로 가로정원 사업이나 걷고 싶은 녹색 연결로 조성사업 등 일부 구역을 대상으로 하는 가로수 조성 및 관리사업이 있으며, 봄철마다 식재 면적 확대를 목표로 조림사업도 진행 중이다(서울시 푸른도시국). 서울시는 2013년 6월 빗물관리 기본계획, 2013년 10월 건강한 물순환도시 조성 종합계획을 수립하여, 5대 분야 42개 과제로 구성된 물순환 회복 실천계획을 세웠다. 여기에는 시행 규모는 제한적이지만, 8m 이하 이면도로 도로 투수포장 확대, 도로변 침투형 빗물받이 확충, 식생수로, 여과시설, 침투화분, 인공습지 조성 등 비점오염저감계획, 빗물 저류조 및 중수도 하수처리수 재이용 확대, 빗물분담량 적용, 자연지반 보전과 불투수면 억제 대안 마련, 물순환 회복 지구단위 계획 수립 대안 마련, 소형 빗물이용시설 지원확대, 빗물요금제 도입 검토, 빗물관리 시범마을 조성 사업 등이 포함되어 있다. 또한, 2014년 빗물의 자연 침투능력을 보전하고, 빗물의 표면 유출 억제를 위한 정책을 종합적이고 체계적으로 추진하기 위한 사항을 규정하여, 도시화로 악화된 자연 물순환 회복과 물환경 보전을 위한 저영향 개발의 기본방향을 제시함을 목적으로 “서울시 물순환 회복 및 저영향개발 기본조례”를 제정하였다. 이 조례에 따라 서울시장은 빗물관리 기본계획을 10년마다 수립하여야 한다. 아울러 대지면적 1,000m² 이상이거나 연면적 1,500m² 이상인 건축물, 고등교육법에 따른 학교 건축공사, 공공주택지구조성사업, 도시개발법에 따른 도시개발사업, 도시 및 주거환경정비법에 따른 주택재개발사업 및 도시환경 정비사업 등 이 법에서 규정하는 빗물관리시설 설치 권장 또는 의무 대상 사업들은 빗물분담량을 적용한 빗물관리시설 도입을 계획하여 저영향개발 사전협의 또는 심의위원회 자문을 받아야 한다. 이밖에 서울시는 2020년까지 서울시 물순환 기본계획을 수립할 예정이며, 2019년 연중으로 물순환 인프라를 갖춘 물순환건축 인증제를 도입할 계획도 갖고 있다(서울시 물순환 안전국).

2) 서울시 도로 바닥 포장에 관한 현행 기준

국토부 도로설계 편람에 따르면, 도로 포장은 배수성 포장과 투수성 포장으로 구분된다. 배수성 도로포장은 차량의 원활한 주행을 위해 신속히 배수되도록 설계되어야 하며, 배수계수, 배수조건 및 포장 수명에 미치는 영향을 기준으로 가이드라인이 제시되고 있다.

투수성 도로포장은 경사도, 구조안전성, 사후관리 등을 중심으로 지침이 제시되고 있고, 단위 시간당 투수량을 기준으로 투수계수를 성능 기준으로 보고 있다.

서울시는 별도로 투수포장 가이드라인을 마련하고 있으며, 2012년 11월부터 투수블록, 저소음 배수성 아스팔트, 투수콘크리트, 황토투수제품 등 투수기능이 있는 모든 포장재에 대해 '투수성능 지속성 검증시험'을 시행하고 있고, 투수 배수성 포장의 포기 투수계수 기준(KS): 0.1mm/s 이상에 따라 원칙적으로 등급이 높은 제품을 우선 사용하도록 하며, [표 3-6]에 따른 '등급 외' 제품은 서울시에서 사용할 수 없도록 규정하고, 3등급 이상의 제품 사용을 원칙으로 하고 있다.

[표 3-6] 시험결과 적용기준

구분	1등급	2등급	3등급	4등급	5등급
투수계수 (mm/s)	1.0 이상	0.5 이상 1.0 미만	0.1 이상 0.5 미만	0.05 이상 0.1 미만	0.05 미만

또한 서울도시디자인 가이드라인에 따르면 도로나 광장 등에 불투수 포장을 지양하고 비점오염원 저감을 위한 자연배수로 설치 및 식재를 권장하고 있지만, 실제 도로포장에 적용되는 사례는 많지 않은 것으로 보인다.

열섬현상과 관련된 다른 도로포장 마감 성능 기준으로는 반사율 및 방사율과 관련된 차열능이나 열용량 등의 열적 특성들이 있다. 선행연구의 토론토 사례에서 비지붕 면적 또는 지붕 면적의 성능 기준 중 하나였던 SRI 값은 대표적인 차열성능 관련 기준으로 들 수 있다. 우리나라에는 차열성 재료 인증등급 등에 대한 검토는 있지만, 객관적 지표가 아직 채택되지 못해 관련된 다양한 재료들이 개발되는 데에도 제한이 있는 것으로 보인다.

[표 3-7] 국내 제조사별 차열 성능 측정 결과

제조사	색상	SR	TE	SRI
N사	회색	0.57	0.88	67
	녹색	0.29	0.89	30
	백색	0.77	0.88	95
S사	회색	0.61	0.89	
	녹색	0.39	0.90	
	백색	0.78	0.87	

출처: 해당업체 제공

현재 서울시는 2019년 서울특별시 건물에너지효율화사업(BRP) 용자지원계획 중 차열도료를 사용할 목적으로 지원을 받을 때 미국 재료시험협회(ASTM: American Society for Testing Materials)의 규격을 기준으로 발행한 공인시험기관 시험성적서를 제출해야 하고 태양열 반사율이 초깃값 0.65 이상인 도료에 한하도록 하고 있다. [표 3-7]은 이 기준에 따라 국내 도료 제조사들이 제시하는 차열도료의 성능 측정 결과이다. 그러나, 도로나 건물 표면 마감 등에 관련된 기준은 없으며, 이에 따라 관련 성능 데이터를 제공하는 업체들도 찾을 수 없었다.

04. 능동 골목길의 온열환경 평가 및 시원한 골목길 디자인 제안

1_골목길 온열환경 평가 및 측정 기준

1) 골목길 온열환경 평가 및 측정 대상지 현황

이 연구는 골목길 온열환경의 실태를 구체적으로 평가해 보려고 광진구 능동의 저층 주거지를 중심으로 온열환경을 평가하고 온도 및 표면온도 변화를 측정하고자 하였다. 먼저 골목길 온열환경 평가는 다음 [그림 4-1]의 기존 골목길 정비사업으로 보차분리가 이루어진 8m 골목(1)과 근처의 차량 통행이 쉽지 않은 2m 골목길(2)을 대상으로 하여, 추후 도시 협곡 구조의 차이에 따라 차별화된 개선방안을 제시하기 위한 기초자료를 수집하려고 하였다.



[그림 4-1] 골목길 온열환경 평가 및 온도 측정지점

온도 및 표면온도 변화 측정은 위 두 골목에 위치한 측정지점 B와 C 외에도, 공원 녹지의 영향을 비교하고자 공원 앞 보행로의 A 지점과 공원 둘레길 D 지점에서 이루어졌다. 또한 공원 녹지의 영향 거리를 분석하기 위해 추가로 차량을 이용한 횡단 모니터링도 시행하였는데, 측정경로는 다음 [그림 4-2]와 같다.



[그림 4-2] 대구온도 횡단 모니터링 측정 경로

2) 골목길 온열환경 평가 기준

이 연구는 선행연구 결과를 토대로 다음 [표 4-1]과 같이 골목길 온열환경 평가표를 작성하여 골목길의 현황을 점검하고, 열섬현상 저감을 위해 개선할 수 있는 부분을 분석할 수 있는 지표로 활용하였다.

평가표는 크게 태양 일사 조절 요소, 인공열 발생원, 증발산량 현황, 표면마감재의 복사수지 관련 열적 특성의 네 부분으로 구분하여, 관련된 요소의 현황을 기록하고, 평가기준에 따라 비교할 수 있도록 구성하였다. 또한 중요도 항목은 선행연구를 기초로 해당 항목의 열섬현상 영향도를 7단계로 나눈 것인데, 골목길 열섬현상 저감 계획 수립 시, 우선순위 판단의 근거로 활용하고자 하였지만, 국내 기후 조건 등을 반영한 실증데이터가 없는 관계로 향후 보완이 필요한 부분이며, 이 연구에서는 참고자료로만 남겨두었다. 그리고, 4)항의 바닥마감재와 벽면마감재는 각각 면적비중이 가장 높은 주요 마감재 3개를 기준으로 작성하도록 하였다.

[표 4-1] 골목길 온열환경 평가기준표

항목	현황		평가			중요도	Bench Mark
	입력	단위	기준	입력	단위		
1) 태양 일사 조절 요소(그늘)							
가) 가로수 식재에 따른 그늘	평균 수관폭 (D)	M	비딴면적 비중			%	Medium-High
	식재 개수	개					
	식재 비딴면적 (=r*(평균 수관폭(D)/2)2* 개수)	M ²					
	총 골목길 면적	M ²					
나) 관목 조경수 식재에 따른 그늘	식재 비딴면적	M ²	비딴면적 비중			%	Low-Medium
	총 골목길 면적	M ²					
다) 인공 그늘막 설치	종류	-	비딴면적 비중			%	Very High
	면적	M ²					
	투과율	%					
라) 골목길 구조	골목길의 너비 (W)	M	H/W 비율			-	Medium
	건물의 평균 높이 (H) (담장포함)	M					
2) 인공열 발생원							
가) 에어컨 실외기 개수 (10M간격 구역 평균)							
		개	개수		개	High	
나) 주변건축물 에너지효율	평균 허가연도	년	예상방향 에너지 부하			kW /M	Medium-High
	주 용도	-					
	평균 연면적	M ²					
	층수	층					
다) 평균 주차 대수 (10M간격 구역 평균)	낮	대	발열량				Medium-High
	밤	대	발열량				High
3) 증발산량 현황							
가) 화분형 식재							
	개소 수	개	비중			%	Medium
	식재 면적	M ²					
	식재수종	-					
	이동 가능성 여부						
	총 골목길 면적	M ²					
나) 가로수 식재	개소 수	개	비중			%	High
	식재 면적	M ²					
	식재 수종						
	총 골목길 면적	M ²					
다) 조경면적 비율	총 조경면적	M ²	비중			%	High
	총 골목길 면적	M ²					
라) 벽면녹화 비율	벽면녹화 면적	M ²	비중			%	Medium-High
	전체 벽면 면적	M ²					
마) 근린 숲 또는 공원 현황	녹지 면적	M ²	300M내 녹지면적			M ²	High
	녹지까지의 거리	M					
바) 바닥 포장재 투수성능	투수성 블록 적용 여부	-	투수 성능 여부			-	Medium-High
	투수성 블록 종류 (틈새형성블록, 출논확대블록, 자체투수블록)	-					
	투수성 블록 재료	-					
	현장 투수시간	초					

항목		현황		평가			중요도	Bench Mark
		입력	단위	기준	입력	단위		
사) 다공성 포장재 보수성능	보수성포장재 적용 여부		-	보수성능 여부		-	Medium-High	
	단위포장면적 살수량		l					
아) 쿨링포그 및 살수시설(10M간격 구역 평균)			개소	개수		개소	Medium-High	
자) 수변 공간(10M간격 구역 평균)			개소	개수		개소	Medium-High	
4) 표면마감재의 열적 특성(태양복사수지)							Medium	
가) 바닥마감재 1	종류		-	반사율			Medium	
	색상		-					
	차열도로 적용여부		-					
	구조(경량/중량)			비열 (열용량)				
	눈부심		-					
	기타 특성 (평활도, 소음도, 미끄럼저항성)		-					
다) 벽면마감재 1	종류		-	반사율			Medium	
	색상		-					
	구조(경량/중량)			비열 (열용량)				
	기타 특성 (눈부심, 평활도, 소음도, 미끄럼저항성)		-					

3) 골목길 기온 및 마감재료 표면온도 측정 조건

골목길 기온 및 마감 재료 표면온도 측정은 실제 골목길의 환경이 기온에 미치는 영향을 실측 데이터를 이용해 분석하고, 선행연구를 바탕으로 만들어진 골목길 온열환경 평가지표를 검증하고, 보완하기 위한 목적으로 시행되었다.

측정지점 A~D에 대한 기온 및 마감 재료 표면온도 측정은 초기에는 매일 정오에 5분 이내의 도보 이동 시간을 간격으로 측정되다가 일사량이 증가한 3월 이후에는 매일 정오 외에 추가로 4시, 7시경에도 측정하여 축열 영향에 관해서도 확인하고자 하였다.

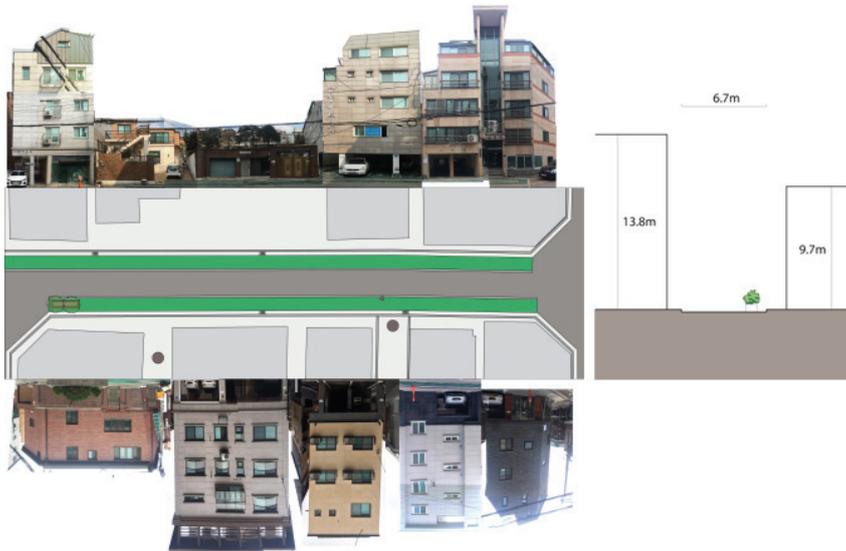
또한 날씨에 따른 영향을 파악하고자 측정 시점과 측정 시점 이전 오전 시간의 운량과 강수 여부 등 일기 현상도 함께 기록하였다. 측정에 사용된 온습도계는 TESTO 625로, 측정 가능 범위는 상대습도 0~100% RH, 온도 -10~60℃이며, 분해능 각각 0.1% RH와 0.1℃, 정확도는 상대습도가 5~95% RH일 때 ±2.5% RH, 온도는 ±0.5℃이다. 더불어 표면온도계로 사용된 TESTO 830 T1의 측정 가능 범위는 -30~400℃, 분해능은 0.1℃, 정확도는 영상일 때 ±1.5℃이다.

골목길 기온 횡단 모니터링에서는 Soltani와 Sharifi가 2017년에 수행한 연구와 비슷한

2_능동 골목길 사례 온열환경 평가

1) 분석대상 1: 능동로32길 녹색주차마을사업 진행지

능동로32길은 총 약 900m의 군지역에서 아차산역 사이를 잇는 8m 도로로 실제 도로 폭은 약 6.7m 정도이나 신축과정의 도로 확폭에 따라 건물 간 간격은 8m 이상으로 유지되고 있다. 2005년 녹색주차마을로 지정되어 생활도로 조성사업이 진행되었으며, 이에 따라 아스팔트 포장 위에 녹색 도막형 마감재로 보행 구역과 주행 구역이 구분되어 있다. 또 보행로 위에 화산석 마감의 60cm 높이의 화단도 불규칙한 간격으로 설치되어 있다. 도로 양쪽으로 사업 시행 이전에는 마당이 있는 80년대 이전의 연와조 주택들이 있어 담장허물기 사업이 가끔 진행되었던 것으로 보이나, 최근 도시형 생활주택 및 다세대 주택으로 빠르게 대체되어가고 있다.



[그림 4-4] 분석대상 1: 능동로32길 녹색주차마을사업 진행지의 도시협곡구조

[그림 4-4]는 온열환경 평가를 진행한 약 60m 구간의 도시협곡구조에 대한 평면 및 입면과 단면도이다. 이 구간에는 양옆으로 총 12채의 주택이 위치하여 있으며, 이 중 그린 파킹 사업 참여 주택 1동, 마당이 보존된 주택 1동을 포함하여 녹색주차마을사업 시행 이전에 건축된 주택이 4동이고, 나머지는 모두 사업 이후 신축된 건물들이다.



[그림 4-5] 분석대상 1: 능동로32길 녹색주차마을사업 진행지의 골목길 전경

다음 [표 4-2]는 골목길 온열환경 평가표에 따라 해당 구간의 열섬현상 관련 요소들을 기록한 결과이다.

먼저 태양 일사 조절 요소 및 증발산량과 관련된 식재의 양은 매우 부족한 것으로 보인다. 골목길 도로면의 식재는 1개 화단에 식수된 키 작은 침엽 관목 2주가 전부이다. 이들은 수관폭이 좁아 그늘을 형성한다고 보기는 어렵고, 측정이 이루어진 겨울철에는 다른 초목 없이 관목만 띄엄띄엄 자라고 있어 빈 곳에 버려진 쓰레기들도 종종 목격되었다. 주변 건물에도 식재 면적은 부족해 보인다. 원래 마당이 있었던 그린파크 참여주택의 자연지반은 소형 고압 블록으로 마감되어 있고, 그 옆의 연와조 주택 한 곳에만 마당이 남아 있어 침엽수와 활엽수가 식재된 것이 전부이다. 신축주택들은 조경면적을 확보하지 못했으며, 1층 필로티 주차 구간을 포함해 대지 안의 공지가 대부분 우레탄 방수나 컬러 문양 콘크리트로 마감되었고, 투수 블록이 적용된 주택은 한 곳뿐이었다. 다만, 공원까지 거리가 100m 이내로, 대부분의 선행연구가 지목한 공원 냉각 효과가 있는 범위에 들어올 것으로 보이지만, 골목길 자체는 공원과 평행하게 위치하여 공원에서부터의 찬 공기 유입이 어느 정도 효과적인지는 여름철에 확인이 필요하다.

[표 4-2] 능동로 32길 녹색주차마을 사업 진행지 온열환경 평가결과

항목	현황		평가			중요도	Bench Mark
	입력	단위	기준	입력	단위		
1) 태양 일사 조절 요소(그늘)							
가) 가로수 식재에 따른 그늘	평균 수관폭(D)	0	M	바닥면적 비중	0	%	Medium-High
	식재 개수	0	개				
	식재 바닥면적 (=π*(평균 수관폭(D)/2) ² *개수)	0	M ²				
	총 골목길 면적	402	M ²				
나) 관목 조경수 식재에 따른 그늘	식재 바닥면적	1.2	M ²	바닥면적 비중	0.3	%	Low-Medium
	총 골목길 면적	402	M ²				
다) 인공 그늘막 설치	종류	-	-	바닥면적 비중	0	%	Very High
	면적	0	M ²				
	투과율	-	%				
라) 골목길 구조	골목길의 너비(W)	6.7	M	H/W 비율	1.76	-	Medium
	건물의 평균 높이(H) (담장포함)	11.8	M				
2) 인공열 발생원							
가) 에어컨 실외기 개수(10M간격 구역 평균)							
나) 주변건축물 에너지효율	평균 하기연도	2005	년	예상냉방 에너지 부하	160	W/M	Medium-High
	주 용도	주택	-				
	평균 연면적	218	M ²				
	층수	3	층				
다) 평균 주차 대수 (10M간격 구역 평균)	낮	8	대	발열량			Medium-High
	밤	16	대	발열량			High
3) 증발산량 현황							
가) 화분형 식재	개소 수	1	개	비중	0.3	%	Medium
	식재 면적	1.2	M ²				
	식재수종	참엽 관목	-				
	이동 가능성 여부	불가					
	총 골목길 면적	402	M ²				
나) 가로수 식재	개소 수	0	개	비중	0	%	High
	식재 면적	0	M ²				
	식재 수종	-					
	총 골목길 면적	402	M ²				
다) 조경면적 비율	총 조경면적	60	M ²	비중	15	%	High
	총 골목길 면적	402	M ²				
라) 벽면녹화 비율	벽면녹화 면적	0	M ²	비중	0	%	Medium-High
	전체 벽면 면적	1040	M ²				
마) 근린 숲 또는 공원 현황	녹지 면적	50만	M ²	300M내 녹지면적	50만	M ²	High
	녹지까지의 거리	100	M				
바) 바닥 포장재 투수성능	투수성 블록 적용 여부	X	-	투수성능 여부	X	-	Medium-High
	투수성 블록 종류	X	-				
							Parking Cooling Intensity/Parking Cooling Distance 노상투수계수 0.1mm/sec 이상 현장투수시간 15초이내

항목	현황		평가			중요도	Bench Mark
	입력	단위	기준	입력	단위		
	(투수성블록, 흡수확대블록, 자체투수블록)						
	투수성 블록 재료	X	-				
	현장 투수시간	X	초				
사) 다공성 포장재 보수성능	보수성포장재 적용여부	O	-	보수성능 여부	미미	-	Medium-High
	단위포장면적 살수량	0.1	l				
아) 쿨링포그 및 살수시설(10M간격 구역 평균)	0	개소	개수	0	개소	Medium-High	
자) 수변 공간(10M간격 구역 평균)	0	개소	개수	0	개소	Medium-High	
4) 표면마감재의 열적 특성(태양복사 수치)						Medium	
가) 바닥마감재 1	종류	아스콘	-				Medium
	색상	진한 회색	-	반사율	0.1		
	차열도로 적용여부	X	-				
	구조(경량/중량)	중량		비열(열용량)			
	눈부심	X	-				
	기타 특성(평활도, 소음도, 미끄러움저항성)	특이 사항 없음	-				
나) 바닥마감재 2	종류	투수콘	-				Medium
	색상	초록색	-	반사율	0.1		
	차열도로 적용여부	X	-				
	구조(경량/중량)	중량		비열(열용량)			
	눈부심	X	-				
	기타 특성(평활도, 소음도, 미끄러움저항성)	특이 사항 없음	-				
다) 벽면마감재 1	종류	벽돌	-	반사율	0.2		Medium
	색상	붉은색	-				
	구조(경량/중량)	중량		비열(열용량)			
	기타 특성(눈부심, 평활도, 소음도, 미끄러움저항성)	특이 사항 없음	-				
라) 벽면마감재 2	종류	화강석	-	반사율	0.2		Medium
	색상	밝은 회색	-				
	구조(경량/중량)	경량		비열(열용량)			
	기타 특성	특이 사항	-				

항목		현황		평가			중요도	Bench Mark
		입력	단위	기준	입력	단위		
	(눈부심, 평활도, 소음도, 미끄럼저항성)	없음						
마) 벽면마감재 3	종류	리임스톤	-	반사율	0.2	Medium		
	색상	노란색	-					
	구조(경량/중량)	경량		비열(열용량)				
	기타 특성 (눈부심, 평활도, 소음도, 미끄럼저항성)	특이 사항 없음	-					

이외에 태양 일사 조절요소로 별도의 인공 그늘막은 없으며, 골목길 구조가 고밀화되어 감에 따라 H/W 비율은 1.76 정도이다. Oke(1987)에 따르면, 열섬현상 강도와 도시협곡의 H/W 비율은 자연로그 함수의 관계로, H/W 비율이 1보다 클수록 증가하는 경향이 있다.

인공열 발생원과 관련해서는 골목을 향해 직접적으로 열을 배출하는 에어컨 실외기의 개수가 10M마다 평균 4개 정도로 높은 편이지만, 실제 열 배출량은 주변 건축물의 에너지 효율 및 에어컨 사용습관 등과도 관련될 것으로 판단했다. 이에 따라 주변 주택의 평균 허가연도와 주용도, 평균 연면적 및 층수 등에 따른 에너지 성능 구간 토대로 단위 골목길당 주변 건축물의 평균 냉방부하를 추정하여 평가 기준으로 사용하였다. 그러나 일반적으로 저층 주거지 주택들의 냉방에너지 사용량이 에너지 성능에 미치지 못함을 고려할 때, 실제 사용량에 따른 평가 기준에 대한 추가 연구가 필요하다. 마지막으로 이 골목길에는 평균 주차대수가 많은 편이었으며, 특히 밤 평균 주차대수가 많은 것이 열대야와 관련하여 우려되는 점이었다.

복사 수지 면에서는 바다과 벽체 모두 반사율이 높지 않은 편이며, 벽면을 포함하여 열용량이 많은 아스팔트, 콘크리트, 석재, 벽돌 등 중량 마감들이 적용되어 열대야 가능성을 높일 것으로 생각된다.

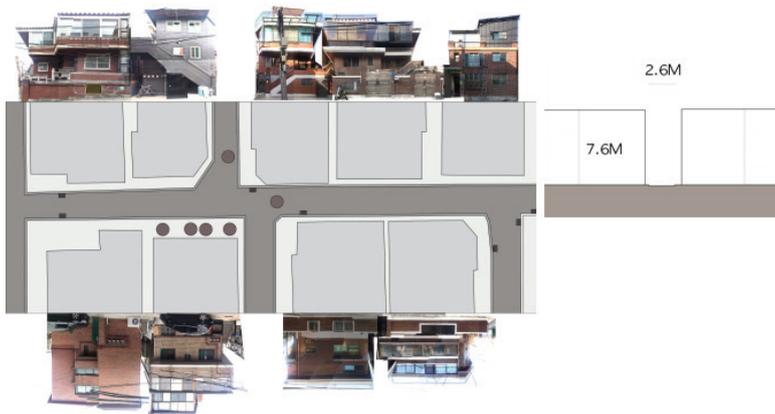
따라서, 이 지역의 온열환경 개선을 위해서는 가로수 식재를 늘리고, 크고 작은 화단을 조성함으로써 골목길 협곡 구조에 그늘을 제공하고, 증발산을 통한 열배출을 유도하는 것이 효과적이다. 또한 현재의 보행로 포장재를 투수형으로 바꾸어 증발산량을 늘릴 뿐 아니라 보도와 차도를 명확히 분리함으로써 불법 주차에 따른 인공열 발생을 줄이는 방

안도 검토될 수 있다. 이외에도 실외기 및 바람 배출 방향의 위치를 옥상 쪽으로 유도하거나 차도 마감도 밝은 색 시멘트 콘크리트 등으로 명도를 높이는 것도 여름철 골목길 온도를 낮추는 데 이바지할 것으로 예상된다.

2) 분석대상 2: 능동로32길 주변 주택가 2m 도로

두 번째 온열환경 분석 대상지는 [그림 4-1]에 표시된 것처럼 첫 번째 분석 대상지와 어린이대공원 사이에 평행하게 위치한 2m 도로로 차량 진입이 제한적이지만, 노면은 아스콘으로 포장되어 있다. 도로 주변의 주택은 대부분 1980년대 말에서 90년도 초에 지어진 것으로 반지하에 지상 2층 규모 붉은 벽돌 다가구 주택이며, 외부계단으로 연결되는 구조이다. 마당은 있지만 조경은 없으며, 주차장도 계획되어 있지 않고, 건물 간 간격이 매우 좁으며, 지붕에 처마가 남아있는 구조이다.

[그림 4-6]은 온열환경 평가를 진행한 약 50m 구간의 도시협곡구조에 대한 평면 및 입면과 단면도이다. 이 구간에는 양옆으로 총 9채의 주택이 있으며, 중앙으로 2m 소로가 관통하여 지나는데, 이 소로는 공원과 수직으로 연결되어 공원에서부터 바람이 유입될 가능성이 있다.



[그림 4-6] 분석대상 2: 능동로32길 주변 2m 도로의 도시협곡구조



[그림 4-기 분석대상 2: 능동로32길 주변 2m 도로의 전경

다음 [표 4-3]은 이 골목길에 대한 온열환경 평가 결과이다.

이 골목은 조경 요소나 그늘막 요소가 거의 없다고 볼 수 있지만, 골목길의 H/W값이 큰 편으로 이에 따라 연구가 진행되는 겨울철에는 햇볕이 거의 들지 않았다. 그러나, 태양고도가 높은 여름철에는 복사의 영향을 받을 수 있을 것으로 보이며, 골목 내 축열로 야간 열섬현상 강도가 높아질 가능성도 예상된다.

인공열원은 직접적인 배출원인 에어컨 실외기나 차량 주차는 미미했지만, 주변의 건물 에너지 성능이 낮은 편이라 그 영향을 예측할 수 있다. 다만, 실제 해당 주택들은 냉방을 거의 하지 않고 난방을 주로 하기 때문에, 여름철보다 겨울철에 열섬현상의 영향을 추정할 수 있다.

골목 내부에 증발산을 통한 냉각 효과를 기대할 수 있는 요소는 없지만, 공원과의 거리가 50m 미만이며, 직접 연결된 바람길이 있어, 공원을 통한 온도 저감은 있을 수 있다. 복사 수지 면에서는 분석대상지 1)과 마찬가지로 바닥과 벽체 모두 반사율이 높지 않은 편이며, 열용량이 많은 아스팔트 바닥과 붉은 벽돌로 마감되어 열대야 가능성을 예상할 수 있다.

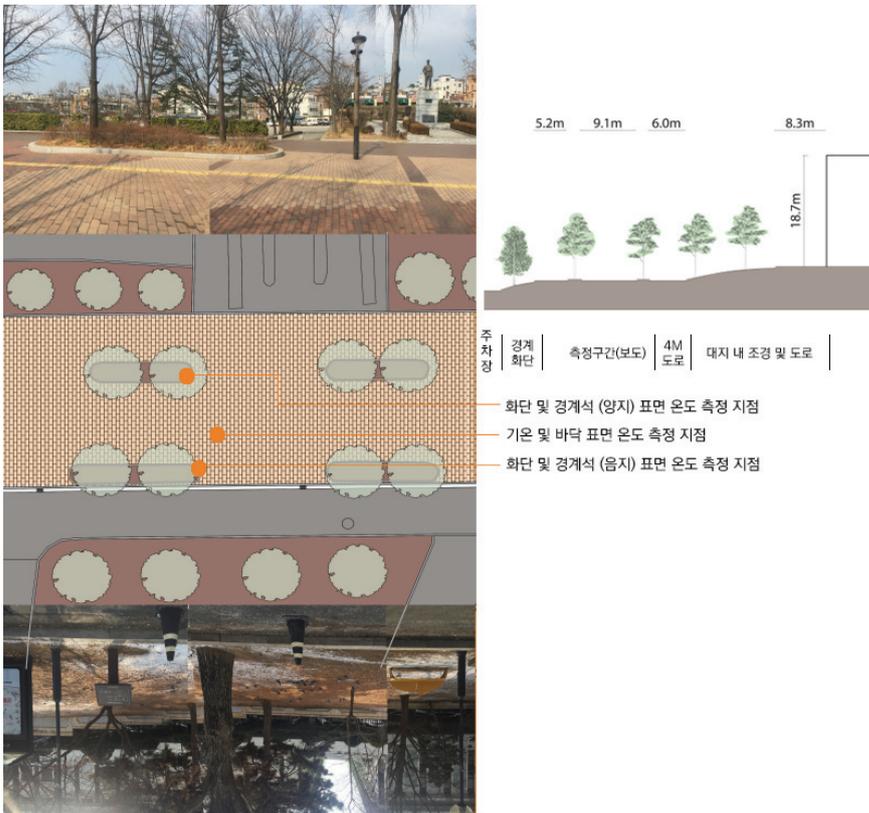
항목	현황		평가			중요도	Bench Mark
	입력	단위	기준	입력	단위		
사) 다공성 포장재 보수성능	투수성 블록 재료	X	-				
	현장 투수시간	X	초				
	보수성포장재 적용 여부	X	-	보수 성능 여부	X	-	Medium-High
	단위포장면적 살수량	X	l				
아) 쿨링포그 및 살수시설(10M간격 구역 평균)	0	개소	개수	0	개소	Medium-High	
자) 수변 공간(10M간격 구역 평균)	0	개소	개수	0	개소	Medium-High	
4) 표면마감재의 열적 특성(태양복사수지)						Medium	
가) 바닥마감재 1	종류	아스콘	-	반사율	0.1	Medium	
	색상	진한 회색	-				
	차열도로 적용여부	X	-				
	구조(경량/중량)	중량		비열 (열용량)			
	눈부심	X	-				
	기타 특성 (평활도, 소음도, 미끄럼저항성)	특이 사항 없음	-				
나) 벽면마감재 1	종류	벽돌	-	반사율	0.3	Medium	
	색상	붉은색	-				
	구조(경량/중량)	중량		비열 (열용량)			
	기타 특성 (눈부심, 평활도, 소음도, 미끄럼저항성)	특이 사항 없음	-				

분석대상지 2)는 골목길 협곡에 의해 유효 반사율이 높아지고, 축열 증가에 따른 야간 열섬현상이 가장 우려되는 부분이므로, 그늘막 등을 이용해 협곡 내로 입사되는 태양에너지를 최소화하고, 통기층을 두는 벽면 마감 등으로 열용량을 최소화하는 것이 열섬현상 감소에 도움이 될 것으로 보인다. 개별 건물의 창을 중심으로 어닝을 설치하면, 건물의 냉방부하도 줄이고, 골목 내에 입사하는 태양복사를 제한할 수 있다. 건축법에 따른 문제들이 예상되기는 하지만, 만약 재래시장처럼 골목길 상부에 태양광 BIPV 아케이드를 설치한다면, 실내화한 골목길을 커뮤니티 공간으로 사용하는 동시에, 버퍼 공간으로도 에너지 성능 개선에도 기여할 수 있고, 지붕 면적을 활용해 신재생에너지 전력생산도 가능할 수 있다. 또한 벽면을 따라 별도의 통기 가능한 구조물을 설치하고 담쟁이 등이 타고 올라가는 방식의 벽면 녹화는 표면 마감재의 열용량을 줄일 뿐 아니라 증발산을 통한 냉각 효과도 기대할 수 있어, 대상지와 같은 좁은 골목길에 효과적인 방안이 될 수 있다.

3_능동 골목길 사례 마감재료에 따른 온도변화 측정

1) 측정지점 A: 공원 앞 보행로

[그림 4-1]의 측정지점 A가 위치한 공원 앞 보행로는 아스팔트 일방통행 도로(폭 4m)와 고압블록 투수포장이 된 보행로(폭 12m)로 구성되어 있으며, 도로 남측에는 높이 20m 정도의 학교 및 공연장이 있지만 도로와 건물 사이에도 조경 화단과 접근 도로 등으로 20m 이상의 이격거리가 있다. 공원 후문에서 측정지점까지의 거리는 약 110m이다. 또한 보행로 양쪽으로 가로수가 이중으로 배치되어 있으며, 안쪽 가로수 사이에는 관목으로 구성된 화단이 있다. [그림 4-8]과 [그림 4-9]는 각각 측정지점이 위치한 도로의 도시협곡구조와 전경이다.



[그림 4-8] 측정지점 A: 공원 앞 보행로의 도시협곡구조



[그림 4-9] 측정지점 A: 공원 앞 보행로의 전경

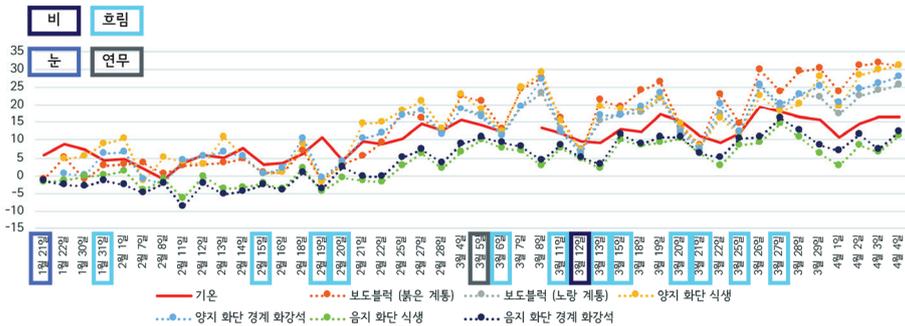


[그림 4-10] 측정지점 A의 표면온도 측정 마감재 현황

측정은 오전 시간에 대체로 음지로 유지되는 남쪽 화단과 오전부터 해가 비치는 북쪽 화단 그리고 그사이의 바닥마감재를 대상으로 이루어졌고, 측정 과정에서 보도 소형 고압블록 바닥의 색상에 따라 표면온도 차이가 유지되는 것으로 나타나 노란색 도로 포장면과 붉은색 도로 포장면을 구분하여 바닥 표면온도를 측정하였다. [그림 4-10]은 측정된 바닥 마감 현황이다.

다음 [그림 4-11] ~ [그림 4-13]은 각각 정오, 오후 4시, 오후 7시경의 측정온도 변화를 나타낸 결과이다.

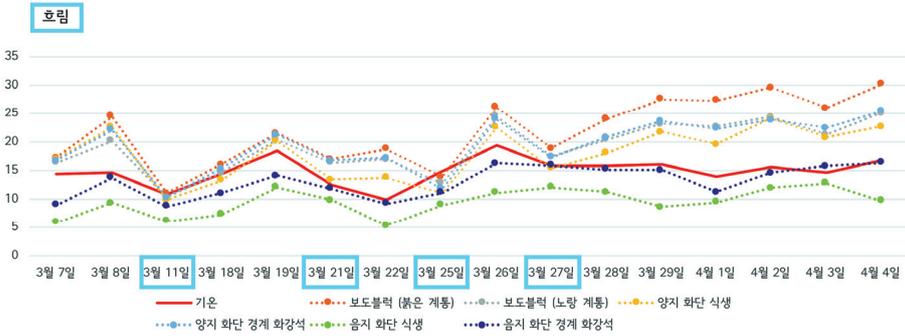
[그림 4-11]의 정오경 측정결과에서 측정기간인 1월 말에서 3월 말까지 날씨에 따른 변동은 있었지만, 기온과 표면온도는 꾸준히 상승하는 추세이다. 그래프에 표기된 날씨 현황은 측정 시점의 날씨이며, 그래프의 기온과 표면온도는 측정 시점 이전의 날씨 영향을 많이 받는 것으로 분석되었다. 예를 들어, 2월 8일에는 2월 7일 측정 이후 오후에서 저녁까지 진눈깨비가 있었고 그 영향으로 기온 및 표면온도 모두 낮았다. 4월 1일 역시 그래프의 기록에는 없지만 3월 31일에 비가 내리면서 기온이 낮게 나타났다.



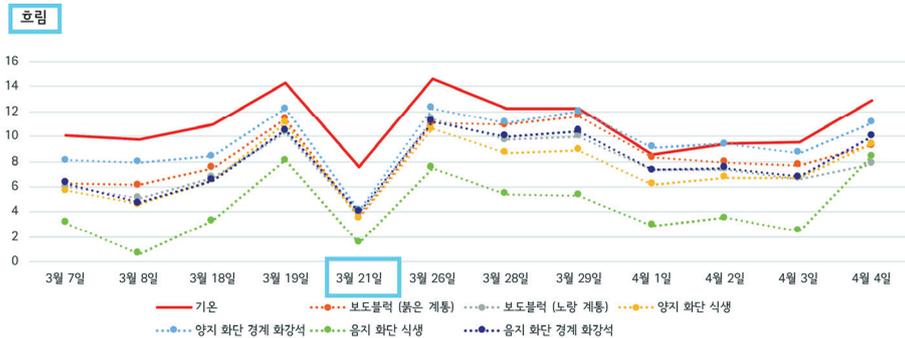
[그림 4-11] 측정지점 A의 정오경 기온 및 표면온도 측정 결과

측정 시점이 겨울과 이른 봄에 집중되어 있어, 나무 그늘이나 증발산량에 따른 영향보다 태양 복사 수지의 영향이 표면온도 변화에 지배적인 것으로 관측되었다. 눈비가 있거나 흐린 날 등 구름에 의해 해가 가리는 날에 표면온도가 특히 낮게 측정되며, 맑은 날일수록 음지와 양지의 표면온도 차이가 뚜렷하게 나타났다. 그러나 양지 화단은 잎이 나기 전인 겨울철에는 보도블록보다 표면온도가 높았다가 봄철 이후 점차 낮아지고 있는 것으로 보아, 겨울철에는 초목들이 없어 반사율이 낮고 열용량이 큰 흙이 그대로 노출되다가, 봄철에 잎이 나면서 그늘이 형성되고 증발산도 시작된 영향으로 추정된다.

또한 기온이 오르면서 밝은색 소형고압블록의 표면온도가 어두운색 블록의 표면온도보다 낮아지는 경향이 뚜렷해지는 것으로 보아 색상명도와 반사율에 따른 영향이 있는 것을 알 수 있다.



[그림 4-12] 측정지점 A의 오후 4시경 기온 및 표면온도 측정 결과



[그림 4-13] 측정지점 A의 오후 7시경 기온 및 표면온도 측정 결과

[그림 4-12]와 [그림 4-13]은 각각 하루 중 기온이 가장 높은 오후 4시경과 해가 진 이후인 오후 7시경의 온도 및 표면온도 측정 결과이다. 오후 4시경의 측정결과는 대체로 정오경의 측정 결과와 비슷한 경향을 보이지만, 음지 부분의 표면온도가 정오경 측정 결과보다 기온에 가까워지는 경향이 눈에 띈다. 그러나 해가 진 이후의 측정결과는 태양 에너지 추가 유입이 사라진 이후여서 표면온도가 기온보다 급격히 떨어지는 것을 볼 수 있다. 특히 이러한 결과는 측정지점 A에서 가장 뚜렷이 나타났다. 또한 낮에는 온도가 높게 유지되던 양지 화단의 표면온도가 3월 말에서 4월 초로 올수록 음지 경계석 표면온도보다 낮아지는 것도 눈에 띄는 데 식생에 의한 그늘로 축열량이 감소한 까닭으로 추정된다.

2) 측정지점 B: 능동로32길 녹색주차마을 도로

측정지점 B는 앞 절의 분석대상지 1) 서쪽 끝단에 위치한 다음 [그림 4-14]에 표시된 화단 근처이다. 측정지점 B는 측정지점 A와 달리 뚜렷한 도시 협곡의 내부에 있으므로, 기온과 바닥 마감 표면온도뿐 아니라 도시 협곡 양쪽의 벽면 마감 표면온도도 측정하여, 하루 중 도시 협곡 내 수직면의 온도 변화 및 축열 정도도 살펴려고 하였다.

해당 도로는 동서로 배치된 도로이며, 화단이 위치한 측이 남쪽으로, 남쪽 건물에 의해 겨울철에는 거의 음지로 유지된다. 따라서, 측정지점을 도로 중앙에서 대칭되게 좌우로 나누어 [그림 4-14]에서 왼쪽을 양지, 오른쪽을 음지로 보아 측정하였다. 다음 [그림 4-15]는 표면온도 측정 대상 마감재 현황이다.



[그림 4-14] 측정지점 B의 표면온도 측정 위치 현황

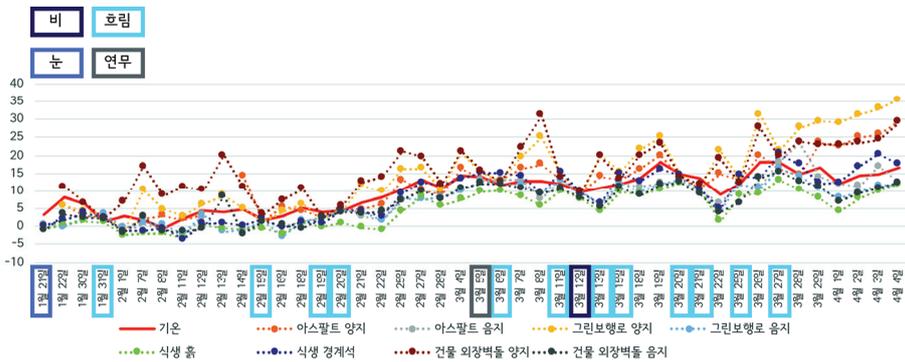


[그림 4-15] 측정지점 B의 표면온도 측정 마감재 현황

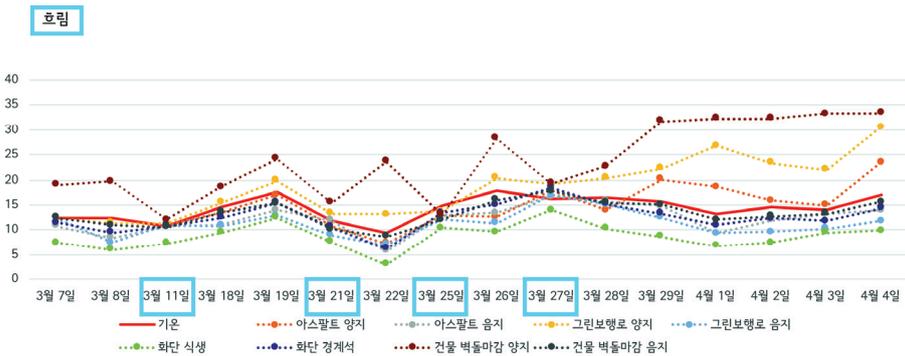
다음 [그림 4-16] ~ [그림 4-18]은 측정지점 B에서 각각 정오, 오후 4시, 오후 7시경의 기온 및 표면온도를 측정한 결과이다. 전체적으로 측정지점 A에서의 결과와 마찬가지로, 측정기간인 1월 말에서 3월 말까지 날씨의 변동을 제외하고는 기온과 표면온도가 꾸준히 오르고 있다. 맑은 날 음지와 양지의 표면온도 차이는 가장 뚜렷하게 나타나는 공통된 결과이며, 흐리거나 눈비가 있는 날은 일사량이 줄어들면서 양지와 음지의 표면온도 차이가 사라지는 것으로 보아 표면온도 변화에 태양 일사의 유무가 가장 큰 영향 요소로 보인다.

먼저 정오경 측정 결과인 [그림 4-16]을 보면, 입사각이 낮은 1월~2월까지는 양지의 건물 벽면 표면온도가 전반적으로 가장 높았지만, 3월 이후 태양고도가 높아지면서, 양지의 바닥 표면온도가 더 높게 나타나고 있다. 또한 아스팔트 주행로와 도막형 투수 포장 이 적용된 보행로의 표면온도를 비교하면, 음지에서는 큰 차이가 없지만, 양지에서는 도

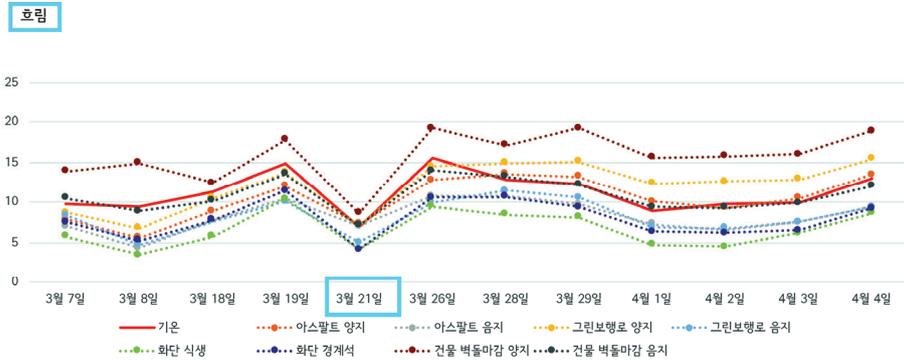
막형 투수 포장의 표면온도가 아스팔트보다도 높았으며, 이 경향은 봄철로 올수록 더욱 뚜렷해지고 있다. 반면, 음지에서는 차이가 미미하지만, 봄철로 올수록 녹색 보행로보다 아스팔트 주행로의 표면온도가 더 높은데, 이는 차열성능 때문인지, 입사각이 높아지면서 위치상 산란광의 영향을 아스팔트 주행로가 더 받고 있기 때문인지 불분명하다. 이 부분은 차양 조건이 똑같은 지점에서의 재측정을 통한 비교가 필요할 것으로 생각한다. [그림 4-17]의 오후 4시경 측정 결과는 전반적으로 정오경의 측정 결과와 비슷한 결과를 보이지만, 정오와 비교해 건물 벽체 표면온도가 더 높은 것이 특징이며, 태양고도가 높아지고 있는 최근의 측정값일수록, 증가 폭이 더 뚜렷해지고 있다. 아울러 정오경 측정값에서는 양지 벽면 표면온도보다 보행로 바닥 표면온도가 더 높지만, 오후 4시경에는 양지 벽면 표면온도가 더 높게 나타나고 있다. 다만, 보행로와 아스팔트 바닥 표면온도가 계속 상승하여, 건물 벽면 표면온도와 격차가 줄어들고 있다.



[그림 4-16] 측정지점 B의 정오경 기온 및 표면온도 측정 결과



[그림 4-17] 측정지점 B의 오후 4시경 기온 및 표면온도 측정 결과



[그림 4-18] 측정지점 B의 오후 7시경 기온 및 표면온도 측정 결과

해가 진 후인 [그림 4-18]의 오후 7시경 측정 결과에서는, 측정지점 B의 측정이 측정지점 A보다 5분 정도 늦게 이루어졌음에도 불구하고, 측정지점 A와 다르게 여전히 양지 벽면 표면온도가 기온보다 높게 유지되고 있다. 특히, 최근으로 올수록 양지 벽면 표면온도뿐 아니라 양지 바닥 표면온도도 점차 상승하고 있어, 앞으로 여름에 가까워질수록 축열에 따른 야간의 표면온도 증가 추이를 주목할 필요가 있다.

전체적으로 측정지점 B는 음지보다 양지 온도가 항상 높게 유지되고 있었으며, 해가 있는 시간에는 유입되는 일사량과 그늘 여부가 온도변화에 가장 큰 영향을 미치는 요소로 분석된다. 또한 해가 진 이후에 도시 협곡 마감의 표면온도가 떨어지는 속도가 더딘 것으로 보아 축열량이 많은 것으로 풀이된다. 골목길 내부에서의 체감온도는 기온뿐 아니라 주변의 표면온도에 따른 복사의 영향을 받을 수 있고, 이는 야간의 열섬현상으로 이어질 수 있기 때문에 그 대안이 필요한 것으로 보인다.

3) 측정지점 C: 능동로32길 주변 2m 도로

측정지점 C는 앞 절 분석대상지 2)에 위치하며, 분석대상지 2)의 중앙을 관통하는 바람길의 영향에서 벗어난 지점을 대상으로 하였다. 풍량을 따로 측정하지는 못했지만, 겨울철 측정지점이 있는 도로로 들어서면, 바람이 거의 없어, 다른 측정지와 견주어 체감온도가 높게 느껴졌으며, 분석대상지 2)와 수직으로 만나는 공원으로부터의 바람길 내부와도 풍량 차이를 뚜렷이 체감할 수 있었다. [그림 4-19]는 측정지점 B의 정확한 위치를 표시하고 있다.



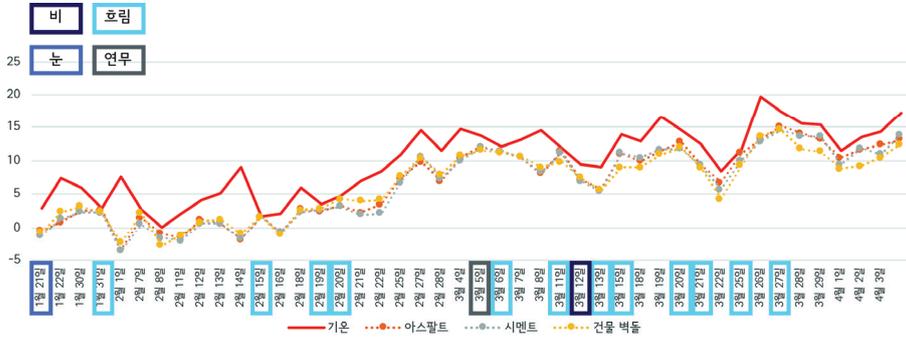
[그림 4-19] 측정지점 C의 표면온도 측정 위치 현황

해당 도로 역시 측정지점 B와 마찬가지로 동서로 배치되어 있는데, 측정지점 B와 비교하여 도로 폭과 높이 비율(H/W 비율)이 커 측정 지점인 겨울철에는 도로 내부 직달일사가 없었다. 따라서, 측정지점 C는 양지와 음지의 구분이 큰 의미가 없는 것으로 생각하고, 기온과 붉은 벽돌로 이루어진 건물 벽면, 소로 중앙의 아스팔트 콘크리트, 대지 경계선 내부의 시멘트 콘크리트 마감의 표면온도를 측정하였다. 다음 [그림 4-20]은 표면온도 측정 대상 마감재 현황이다.

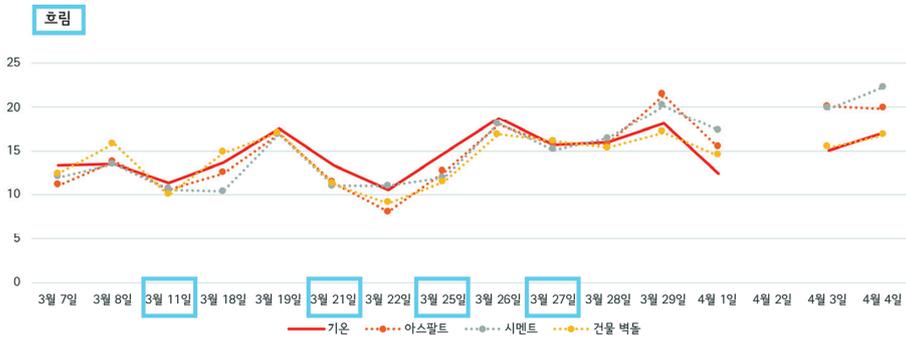


[그림 4-20] 측정지점 C의 표면온도 측정 마감재 현황

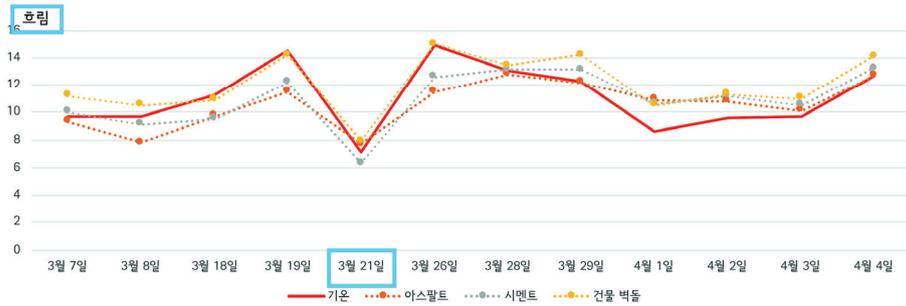
다음 [그림 4-21] ~ [그림 4-23]은 각각 측정지점 C에서의 정오, 오후 4시, 오후 7시경의 기온 및 표면온도 측정 결과이다.



[그림 4-21] 측정지점 C의 정오경 기온 및 표면온도 측정 결과



[그림 4-22] 측정지점 C의 오후 4시경 기온 및 표면온도 측정 결과



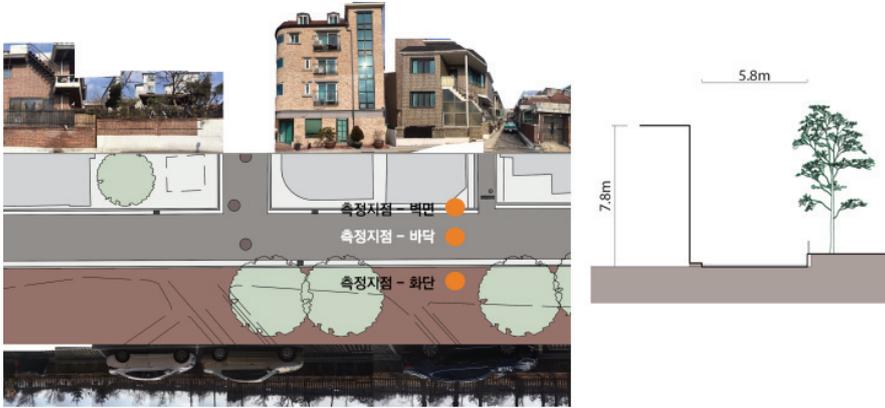
[그림 4-23] 측정지점 C의 오후 7시경 기온 및 표면온도 측정 결과

앞서 언급한 것처럼 직달일사가 없는 관계로 전반적으로 측정지점의 기온이 표면온도보다 높게 관측되었지만, 3월 말 이후 오후 시간대의 표면온도가 기온보다 높아지는 경향을 나타내고 있다. 또한 측정 시간대와 무관하게 겨울철에는 벽면의 표면온도가 바닥의 표면온도보다 높았지만, 태양고도가 높아지는 최근으로 올수록 바닥의 표면온도가 오르고 있다. 다만, 정오와 오후 4시경에는 이미 바닥 표면온도가 벽체 표면온도보다 높게 관측되고 있는 반면, 오후 7시경에는 둘 사이의 온도 편차가 줄어들기는 했지만, 아직 벽체 표면온도가 더 높아, 장기적인 관측이 필요할 것으로 보인다. 더불어 시멘트와 아스팔트는 색상으로만 비교했을 때에는 시멘트의 반사율이 더 높을 것으로 예상되지만, 측정 시간을 통틀어 둘 사이의 표면온도 차이는 눈에 띄지 않았다. 이는 오염도 탓에 반사율 차이가 미미하기 때문인지, 반사율이 표면온도에 미치는 영향이 크지 않기 때문인지, 혹은 일사의 영향을 거의 받지 않는 장소적 특성 때문인지는 원인이 불분명하며, 별도의 시험 관측이 요구된다.

전체적으로 측정지점 C는 겨울에는 해가 들지 않다가 봄철 이후에서야 태양 일사의 영향을 받고 있어, 연중을 두고 좀 더 장기적인 관측이 필요할 것으로 보인다. 또한 지금까지의 관측 결과로부터는, 여름철 축열에 따른 야간 열섬현상이 우려되는데, 일사 영향이 점차 증가하는 상황에서, 도시협곡이 반사율은 낮고 열용량은 많은 재료들로만 마감되어 있고, 별도의 냉각효과를 기대할 수 없는 것도 문제이다.

4) 측정지점 D: 공원 담장길

측정지점 D는 [그림 4-1]에서 보는 것처럼 남쪽에 공원을 두고, 공원 담장을 따라 배치된 도로로 이곳의 측정 결과를 토대로 공원의 직접적인 효과를 비교하고자 하였다. 해당 도로는 아스팔트로 포장된 6m 도로이며, 공원 담장을 따라서는 거주자 우선 주차구역이 설치되어 있어 저녁 시간에는 항상 차들로 채워져 있다. 또한 도로 북쪽의 주택가 쪽으로는 2~4층 규모의 다가구 주택들이 있지만, 주택의 건축 시기나 규모 유형은 다양하다. 대공원 쪽으로는 1m 정도 높이의 축대벽 위로 텃밭으로 사용되는 공간이 조성되어 있지만, 측정 시점인 겨울철에는 경작이 이루어지지 않기 때문에 비어 있는 논밭의 상태로 있었다. 그리고 이 텃밭과 담장 사이에는 폭 3m 정도의 경계화단이 있어 메타세쿼이아가 식재되어 있지만, 잎이 없는 상태였으며, 하단부에 있는 무궁화 개나리 등도 이파리 없이 겨울을 나고 있었다. [그림 4-24]와 [그림 4-25]는 각각 측정지점이 있는 도로의 도시협곡구조와 전경이다.



[그림 4-24] 측정지점 D: 대공원 담장길의 도시시험구조



[그림 4-25] 측정지점 D: 대공원 담장길의 전경

남쪽이 공원으로 트여 있어 그늘의 범위가 넓지 않은 것이 특징이지만, 비교를 위해 대공원 담장 바로 밑의 시멘트와 경계석 음지를 구분하여 측정하였고, 대공원 경계 쪽 자연 지반은 측정 기간의 대부분에 걸쳐 앞이나 초목이 없었고, 낙엽과 줄기들이 남아있는 상태로 흙 부분을 측정하였다. 다음 [그림 4-26]은 측정 대상 마감재 현황이다.

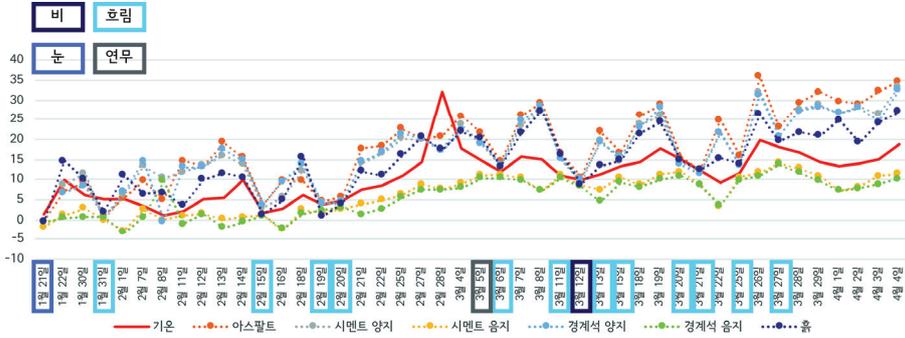


[그림 4-26] 측정지점 D의 표면온도 측정 마감재 현황

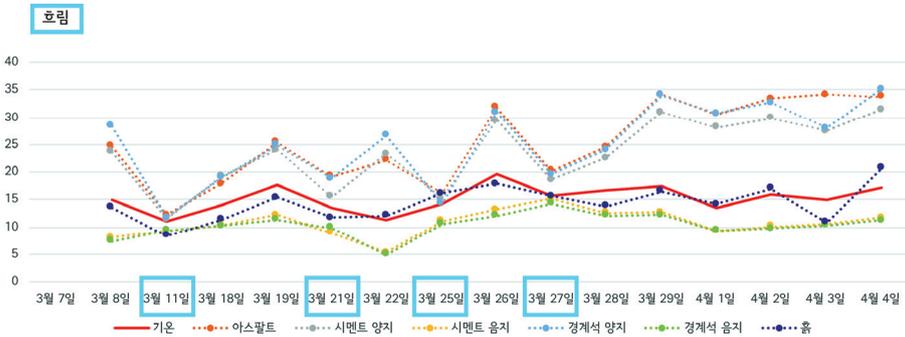
다음 [그림 4-27] ~ [그림 4-29]는 측정지점 D에서 정오, 오후 4시, 오후 7시경에 이루어진 기온 및 표면온도 측정 결과로, 여기서도 해가 있는 시간에는 음지의 표면온도 측정값이 가장 낮게 유지되었고, 측정지점 C에서와는 달리 아스팔트의 표면온도가 시멘트보다 최근으로 올수록 높아지는 경향이 뚜렷했다. 따라서, 햇빛이 충분히 입사되는 곳에서는 반사율의 영향이 큰 것으로 추정된다.

재미있는 것은 자연지반 위의 표면온도 변화이다. [그림 4-27]의 정오 측정값을 보면, 1월과 2월에 측정된 결과에서는 자연지반 위의 표면온도가 맑은 날 높게 유지되는 편이었지만, 잎이 돋기 시작한 3월 말 이후 눈에 띄게 낮아지고 있다. 3월 이후 오후 4시경에는 기온과 흙의 표면온도가 유사한 수준으로 나타났으며, 해가 진 오후 7시 저녁 시간 이후는 음지의 표면온도보다 더 낮게 유지하고 있다. 오후 4시와 오후 7시경의 측정은 3월 이후부터 진행되어 겨울철의 측정값은 없다. 흙 자체는 열용량이 많기 때문에, 이러한 자연지반의 온도변화는 자연지반을 덮고 있는 낙엽이나 초목의 영향 때문으로 추정되기는 하지만, 연중에 걸친 좀 더 면밀한 비교 관측이 필요하다.

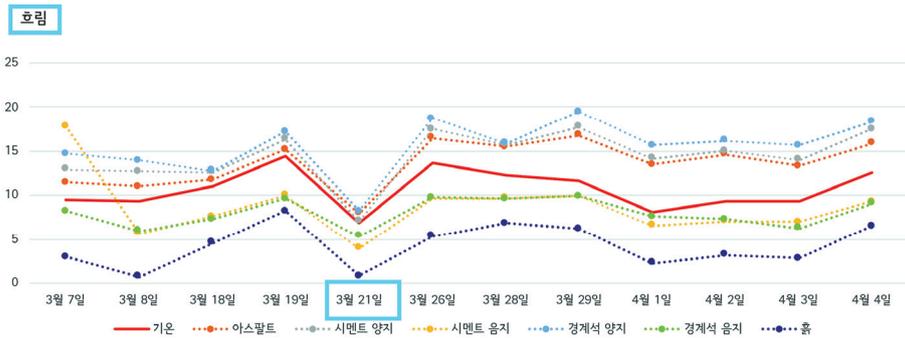
마지막으로 오후 7시경 관측 결과에서 가장 높은 온도를 유지하고 있었던 것은 화강석 경계석으로 아스팔트나 시멘트보다 열용량이 많기 때문으로 보인다.



[그림 4-27] 측정지점 D의 정오경 기온 및 표면온도 측정 결과



[그림 4-28] 측정지점 D의 오후 4시경 기온 및 표면온도 측정 결과

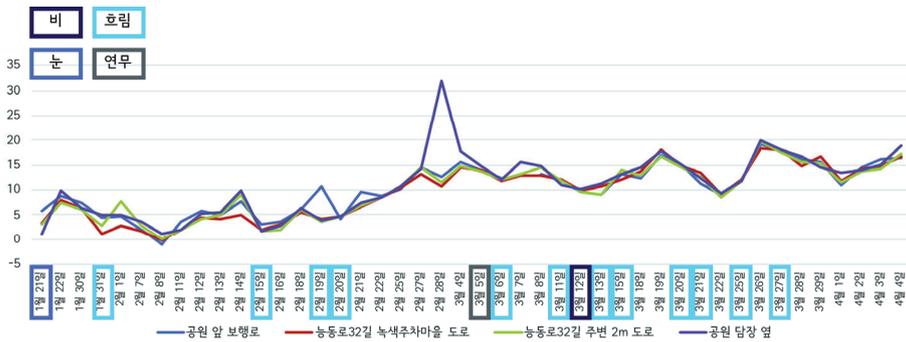


[그림 4-29] 측정지점 D의 오후 7시경 기온 및 표면온도 측정 결과

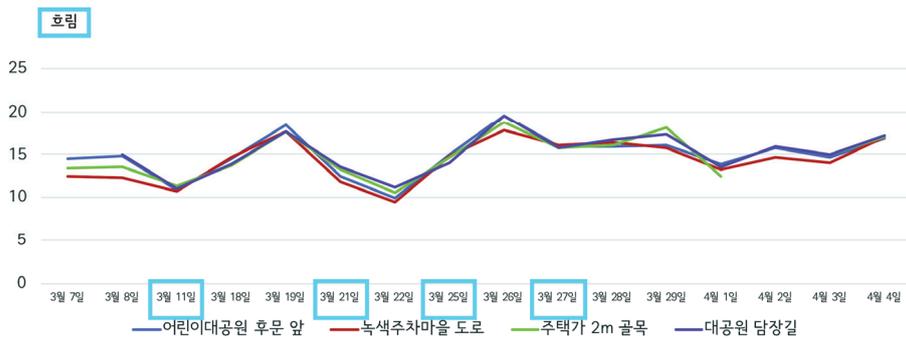
5) 골목길 기온 및 표면온도 측정 소결

[그림 4-30]~[그림 4-32]는 각각 정오, 오후 4시, 오후 7시경의 측정지점별 기온을 비교한 것이다. 기온은 같은 날이라도 측정지점별로 측정 시간의 풍량 등에 따라 기온변화가 나타나며, 측정 시간 사이에도 변화가 계속되어 측정을 위해 머무르는 동안의 평균 온도를 기록하였지만, 그 보정 작업이 필요하며, 로거 등과 병행하여 측정하는 것도 필요할 것으로 생각한다.

정오 시간대에는 해가 잘 드는 공원 담장길과 공원 앞 보행로의 온도가 비교적 높은 편이지만, 나무 그늘이 많은 공원 앞 보행로는 겨울철보다 봄철로 올수록 상대적으로 온도가 낮게 나타난다. 반면, 2m 주택가 골목길은 해가 들지 않았던 겨울철에 낮은 온도를 유지했지만, 3월 이후 점차 기온이 높아지는 경향이 관측되었다.



[그림 4-30] 골목길 측정지점별 정오경의 기온변화 비교



[그림 4-31] 골목길 측정지점별 오후 4시경의 기온변화 비교



[그림 4-32] 골목길 측정지점별 오후 7시경의 기온변화 비교

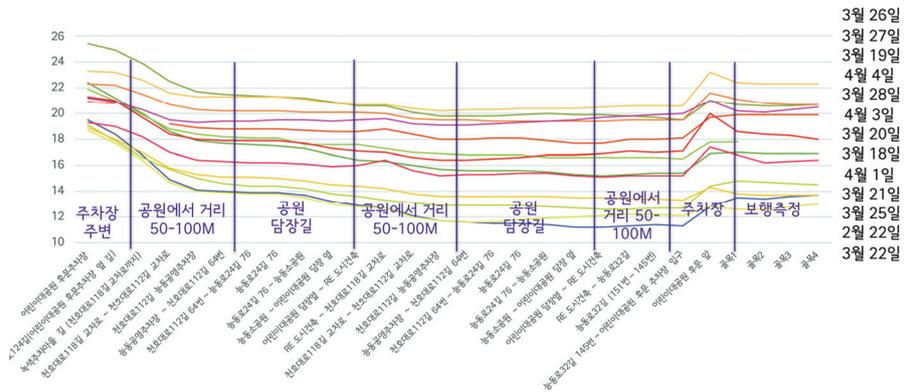
3월 이후 측정된 결과에서 오후 4시의 기온은 대체로 능동로32길이 가장 낮고 대공원 담장길이 가장 높았다. 그러나 3월 말 이후 공원 주변의 기온이 상대적으로 낮아지는 추세를 보이므로, 정확한 분석을 위해서는 좀 더 장기적인 관측이 필요할 것으로 판단된다. 반면, 해가 진 이후의 기온은 편차가 1°C 이내이기는 하지만, 대체로 공원 주변보다 주택가 2m 골목길이 높아, 수목이나 열용량의 영향을 추측할 수 있었다.

지난 1월부터 4월까지 진행했던 골목길 기온과 표면온도 측정은 시기적으로 아쉬움이 남고, 태양 고도 변화의 영향을 충분히 분석하기에는 기간이 너무 짧았지만, 지금까지의 측정 결과를 바탕으로 다음과 같은 사실들을 확인할 수 있었다.

- 기온 변화는 표면온도 변화에 비해 느리게 이루어진다.
- 해가 떠 있는 시간에는 태양복사의 입사량이 표면온도 및 기온에 가장 큰 영향을 미치며, 이에 따라 색상이나 반사율이 표면온도에 미치는 영향도 크다.
- 태양복사를 차단하는 그늘을 제공하는 것이 온도저감에는 가장 효과적이다.
- 식생에 따른 표면온도 저감 효과도 그늘 형성과 관계된 것으로 보인다.
- 오후로 갈수록 바닥보다는 벽면의 표면온도가 높아지는 경향이 있다.
- 수목이 없고, 마감 재료의 열용량이 높은 지역은 야간 온도가 상대적으로 높게 나타난다(저녁시간 벽면과 바닥재의 표면온도가 뚜렷이 높고, 화단 등은 표면온도 저감이 관측됨).
- 야간의 열대야 현상을 피하려면 열용량이 많은 석재, 아스팔트 등의 마감재 사용을 자제하고, 열용량이 적은 재료로 그늘을 만들어 주는 것이 도움되며, 나무를 심고 녹화를 하는 것이 효과적일 수 있다.

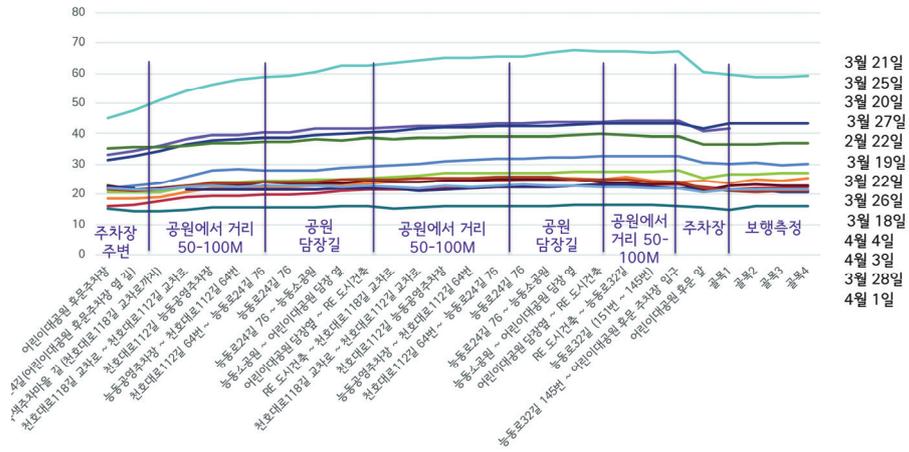
6) 골목길 기온 횡단 모니터링

이 측정은 서로 다른 골목길 구조나 공원에서부터의 거리에 따라 위치별로 기온의 차이가 나타나는지를 확인하려는 목적으로 시도되었으며, [그림 4-2]에 표시된 경로를 따라 차량 주행과 보행을 병행하여 측정한 결과이다. 측정 방법은 앞 절에서 설명되었다. 데이터 로거를 이용한 측정 과정에서 데이터 로거의 온도계가 골목길 기온 및 표면온도 측정에 쓰였던 온도계보다 반응 속도가 느린 것으로 나타났고, 이에 따른 시행착오로 다음 [그림 4-33]과 [그림 4-34]는 몇 번의 시험 재설계를 거쳐 마지막 3주간 측정된 결과값으로 볼 수 있다. 측정의 오차를 최소화하기 위해 실내에서 나오기 5분 전에 미리 로거를 외부에 두었고, 같은 장소를 두 번 반복 주행함으로써 온도 적응 기간을 두었다. 보행 측정 부분의 기온이 주행 측정 부분의 기온보다 높은 것은 자동차를 20km/h 미만의 속도로 주행하였지만, 보행하는 것보다 풍속의 영향이 있었을 것으로 추측되며, 추후 측정 시에는 풍속 및 풍량을 병행하여 측정할 필요가 있다.



[그림 4-33] 골목길 기온 횡단 모니터링에 따른 기온 변화

[그림 4-33]의 온도 측정 결과에서 반복적으로 눈에 띄는 부분은 어린이 대공원 후문 야외 주차장에서 기온이 가장 높다는 점으로, 차량 열기가 기온에 1.5~2℃가량 영향을 주고 있음을 알 수 있었다. 공원 영향은 이에 비해 매우 미미하게 나타나기는 하는데, 두 번째 공원 담장길 측정 결과가 그 전후 온도 측정값보다 0.5℃ 미만으로 약간 낮게 나타나고 있기는 하다. 다만, 이 부분은 측정이 아직 더워지기 전에 이루어졌고, 수목들도 잎이 자라기 이전이므로, 연중 변화에 대한 관측이 필요할 것으로 보인다.



[그림 4-34] 골목길 습도 횡단 모니터링에 따른 상대습도 변화

[그림 4-34]는 온도와 함께 기록된 상대습도의 변화인데, 여기서도 눈에 띄는 점은 마지막 주차장에서 상대습도가 내려간다는 점이고, 이는 온도변화와 관계가 있을 것으로 예상된다.

4_능동 시원한 골목길 디자인 제안

1) 분석대상 1: 능동로32길 녹색주차마을사업 진행지

분석대상 1)의 8m 녹색주차마을 생활도로는 온열환경 평가 및 측정 데이터 분석 결과 태양고도가 높아질수록 태양광 입사를 효과적으로 차단해 줄 수 있는 그늘이 부족하고, 수목의 수량과 식재면적도 매우 낮은 것으로 파악되었다. 또한 도로면으로 노출된 에어컨 실외기 배치나 노상 불법 주차 및 오픈된 필로티 주차장 등도 대상 골목길의 온도를 높일 수 있는 주요한 특징 중 하나이다. 마지막으로 표면 마감재 대부분이 반사율은 낮고 열용량은 많아서 여름철 온도 상승의 원인이 될 수 있다.

따라서, 해당 도로는 가로수를 식재해 그늘을 제공하는 동시에 불법 주차를 억제하며, 인공열 발생을 최소화하고, 화단 설치 및 불투수면 제한으로 증발산량을 늘리는 것이 시급해 보인다. 그리고 표면 마감재의 반사율을 높이기 위해 아스콘 대신 밝은색 시멘트 콘크리트나 차열성 도로 포장재를 권장하고, 보행로도 차로와 확실히 분리될 수 있도록 밝은 색 투수 블록 등을 제안한다.

이외에도 지구단위 계획 등을 통해 신규 주택의 도로 쪽 실외기 설치를 제한하고, 단열 성능을 높이면, 추가로 인공열 발생을 줄일 수 있을 것이다.



[그림 4-35] 8m 녹색주차마을 생활도로 디자인 개선 제안 - 투시도



[그림 4-36] 8m 녹색주차미를 생활도로 디자인 개선 제안 - 입면도

[그림 4-35]와 [그림 4-36]은 능동로32길과 비슷한 8m 도로에 대한 디자인 제안 예시이다. 특히 차로와 보도 사이에 띠 녹지 등 침투성 식재 구간을 설치하고 우수관리 시설과도 연계하면, 비점오염원을 줄이고, 물순환 회복에도 기여할 수 있을 뿐 아니라, 보행안정성이나 불법주차 억제 측면에서도 효과적일 것으로 예상된다.

또한 화분 식재 시에도 단순히 시에서 설치해 두는 것보다 주민 스스로 가꿀 수 있는 내 집 앞 화분의 개념으로 접근될 때, 화분이 지속가능하게 관리되고 골목길 생활환경 개선에 직접적인 영향을 줄 것으로 판단된다.

2) 분석대상 2: 능동로32길 주변 주택가 2m 도로

주택가 2m 소로인 분석대상 2)는 선행된 온열환경 평가 및 측정 데이터 분석 결과, 좁은 골목길 협곡 사이로 열기가 빠져나가지 못하고, 열용량이 큰 마감재 탓에 축열량이 증가하면서 열대야 가능성이 높은 것으로 나타났다.

따라서, 그늘막으로 도로 협곡으로 들어오는 태양에너지를 차단하고, 벽면 마감의 열용량을 줄일 수 있는 방안을 모색하는 것이 가장 중요한 디자인 요소가 될 것으로 파악된다. 또한 식재 면적의 확충은 지표에너지 수지 향상에도 효과적이지만, 실제 골목길 생활 환경 개선 체감도와 연결될 수 있다. 다만, 디자인 요소들을 적용할 수 있는 유휴 공간이 부족하기 때문에, 담장을 허물고 그 공간을 녹화로 대체하는 방식의 디자인 제안이 필요하다. 다음 [그림 4-37]과 [그림 4-38]은 이에 따른 디자인 예시이며, 도로 바닥의 아스콘을 걷어내고 밝은색 투수블록으로 대체하는 것과 기존 담장을 허물고, 그 자리에

녹화 시설물을 설치하여 벽면녹화를 시도하는 것을 디자인의 주안점으로 두었다.



[그림 4-37] 2m 골목길 디자인 개선 제안 - 투시도 I



[그림 4-38] 2m 골목길 디자인 개선 제안 - 투시도 II

2m 골목길은 차량 통행이 많지 않아 상대적으로 오염발생 가능성은 낮지만, 비점오염방지를 위해 적절한 침투시설이나 우수관리 시설 등과 연계될 필요가 있다. 벽면녹화는

다양한 방식으로 이루어질 수 있는데, 특히 벽면 앞쪽으로 통기가 가능한 시설물을 설치하고 담쟁이가 이를 타고 올라갈 수 있도록 하는 시스템들은 외벽의 손상을 방지하면서도, 벽면에 그늘을 제공해 줄 뿐 아니라 표면 열용량을 낮추어 주어 야간의 온도를 낮추는 데 크게 기여할 수 있다. 이외에도 창문이나 바닥에 화분을 거치할 수 있는 다양한 디자인들이 스트리트 퍼니처와 연계하여 제안될 수 있다.

마지막으로 그늘막에 대해서는 겨울철에는 해가 들지 않는 문제가 있기에 가변형 차양을 이용해 건물의 냉방부하도 낮추고 여름철 골목길 내의 입사도 조절하는 역할을 할 수 있도록 하는 것이 효과적이다.

앞서 언급한 것처럼 재래시장들에 설치되고 있는 BIPV 아케이드 지붕 등도 골목길 열환경 개선에는 효과적이겠지만, 관련 법규나 주민 동의 등 다양한 문제와 관련되어 있기에 이 부분에 대한 별도의 논의가 필요하다.

05. 시원한 골목길을 위한 정책 제안

1_시원한 골목길을 위한 정책 제안

1) 도로 및 보행로 포장재의 열성능 관리기준 마련

서울시가 8m 이내의 도로에 대한 투수 포장을 확대하겠다는 계획을 발표한 지 5년이 경과했지만, 아직도 저층 주거지의 골목길 도로포장을 전면 교체할 때에 아스콘이 적용되는 사례들이 빈번하고, 능동 지역만 해도 주변에 투수 포장이나 차열성 도로포장이 되어 있는 골목길을 찾기는 매우 어렵다.

투수 포장이나 차열성 도로포장이 확대되지 못하는 데에는 여러 가지 원인이 있지만, 차열성 도로포장에 관한 국내 기준 자체가 없고, 실제로 적용할 수 있는 자재가 시장에 많지 않은 것도 이유일 수 있다. 특허청 발표 자료에 따르면, 국내의 차열 및 보수 포장재에 관한 출원이 800건이 넘지만, 이를 효과적으로 관리할 수 있는 열성능 관리기준도 없을 뿐 아니라, 투수성 포장과 비교해서도 이를 적용해야 하는 지침이나 제도적 기준도 없다. 따라서, 국내에도 도로 포장재의 차열성능에 관한 성능 관리기준 및 설치 기준이 마련될 필요가 있다.

또한 건축자재의 성능 표기 기준을 전반적으로 강화할 필요가 있다. 비열이나 열용량과 같은 정보들은 재료의 기본 성질로 열섬현상과 관계없이도 자재의 올바른 활용을 위해 제공될 필요가 있지만, 국내 대부분 자재는 성분 및 물성 정보를 자세히 제공하지 않고 있다. 도시협곡의 열용량을 줄일 수 있도록 건축물의 마감 재료 등에 관한 기준을 만드는 것은 지구단위계획으로도 가능한 부분이지만, 이를 객관적으로 평가할 수 있는 기준이 없으면, 특정 마감재를 지정하거나 하는 제한된 방식으로 접근할 수밖에 없다.

2) 골목길 구조별로 최적화된 시원한 골목길 디자인 가이드라인 수립

이 연구의 측정 결과처럼 서로 다른 골목길 구조는 골목길 내부의 온열환경에 큰 영향을 줄 뿐 아니라 추후 골목길을 디자인하는 과정에도 영향을 미친다. 따라서, 골목길 구조별로 온열환경의 특징을 파악하는 연구가 필요하며, 이를 바탕으로 골목길 구조에 따라 차별화된 ‘시원한 골목길 디자인 가이드라인’을 수립할 필요가 있다.

‘시원한 골목길 디자인 가이드라인’은 골목길 아스팔트 포장 제한이나, 조사 과정에서 내구성 및 차열성에 문제가 있는 것으로 나타나는 문양콘크리트나 도막형 포장재 등의 사용을 제한하는 것이 필요하다. 이외에 보수성, 투수성 혹은 차열성 포장재의 적용, 한 평 정원, 상자정원 등 소규모 식재 공간 확대, 녹화 면적 확대, 8m 이상 골목길 보차분리 및 가로수 식재 의무화, 띠녹지 등 침투성 녹지의 설치, 비점오염관리 방안, 에어컨 실외기 설치 지침 강화, 건물에너지 효율화 인센티브 제공, 녹색주차마을 불법주차 단속 및 관리 강화 등이 포함될 수 있다. 또한, 이런 다양한 요소들이 골목길의 구조 및 현황에 맞게 적절히 적용될 수 있도록, 맞춤형 분석이 필요할 것으로 판단된다.

3) 골목길 정비사업에 시원한 골목길 디자인 적용 의무화

서울 디자인 가이드라인에는 이미 어느 정도 투수성 포장이나 골목길 식재를 통한 보행 환경 개선에 대한 권장 사항이 포함되어 있지만, 서울시에서 시행하고 있는 다양한 골목길 정비사업에 이러한 디자인 가이드라인이 제대로 반영되지 못하고 있는 것이 현실이다. ‘시원한 골목길 가이드라인’도 단순히 디자인 가이드라인의 형태로 제공되어서는 실효성이 떨어질 수 있다. 이 연구에서 제시된 예시처럼 객관적인 평가 기준과 지표를 설정하고, 이를 관리해 나가는 것이 필요하며, 이것이 골목길 정비사업에서 의무적으로 적용되도록 사업별 시행지침에 포함되어야 한다.

4) 에너지효율화 집수리와 연계한 도시재생 골목길 정비사업 계획 수립

열섬현상 저감과 건물에너지 효율화는 기후변화를 완화하는 동시에, 이에 적응해 나가기 위해 건물의 안팎에서 할 수 있는 중요한 접근 방법이다. 특히 둘은 서로에게 직간접적인 영향을 주는 요소로 도시 기온이 적절히 유지될수록 개별 건물의 냉난방 부하가 줄어들고, 건물 자체가 받는 스트레스도 줄어들 수 있을 뿐 아니라, 반대로 건물의 냉난방 부하가 줄어들면 도시의 기후 조절에도 도움이 될 수 있다. 따라서, 이 두 사업의 상호

시너지 효과는 매우 크며, 도시재생활성화 지역과 같이 기존 건축물을 정비할 수 있는 지역에 이를 연계한 사업들이 집중적으로 이루어진다면, 도시 기후 관리에 가시적인 효과를 기대할 수 있을 것이다.

현재 서울시에서 시행하고 있는 가꿈주택 연계형 골목길 정비사업은 이러한 측면에서 잠재성이 크며, 여기에 골목길 녹화 및 저영향 개발 관련 기준 등을 의무적으로 적용하게 되면, 도시재생활성화사업을 이용한 주민들의 생활 환경 개선 체감도도 크게 높일 수 있다.

2_연구의 한계 및 향후 연구의 방향

1) 골목길 디자인 요소들의 열섬현상 저감 영향 평가를 위한 실증데이터 부족

이 연구는 열섬현상 완화에 기여할 수 있는 영향 요소들을 이론적인 고찰을 거쳐 추론하고, 현실 디자인에 적용할 수 있는 디자인 요소들을 정리하였다는 데에 의미가 있다. 그러나 각 디자인 요소가 열섬현상 저감에 미치는 영향을 객관적으로 평가하고 비교하기에는 충분한 실증데이터를 확보하지 못했다.

먼저 국내외 선행연구 데이터만으로는 다양한 디자인 요소를 다루는 데 한계가 있었으며, 해외의 실증 연구 데이터들은 열섬현상에 미치는 영향력의 디자인 요소 간 우위를 비교하는 데는 유용하였지만, 국내와 주어진 환경여건이 다르기 때문에, 객관적인 효과를 예측하는 데에는 한계가 있다.

또한 이를 보완하기 위해 시행하였던 측정조사는 풍량 등 다른 영향요소에 대한 평가를 추가로 포함하고, 측정 빈도 등을 높인다면, 좀 더 객관적인 평가지표로 발전시킬 수 있을 것으로 보이지만, 연구 시기와 여건의 한계로 이 연구에서는 1월~3월까지 동절기의 데이터 수집에 그칠 수밖에 없었던 아쉬움이 있다.

따라서 앞으로 골목길 열환경을 개선할 수 있는 디자인에 대한 평가 지표를 개발하기 위해서는 국내 실정에 맞는 골목길 디자인 요소들의 열섬현상에 미치는 영향에 관한 실증적 연구와 충분한 데이터 축적이 선행될 필요가 있다.

2) 골목길 유형별 열환경 개선 디자인 가이드라인 개발

이 연구결과에 따르면, 골목길 열환경 개선을 위해 공통적으로 적용이 가능한 디자인 요소들도 있었지만, 각 골목길 고유의 특성에 따라, 열환경 개선 효과를 높일 수 있는 차별화된 접근도 필요함을 알 수 있었다. 2m 도로와 8m 도로의 사례처럼 골목길 협곡 구조 등이 지표에너지수지에서 중요한 역할을 함에도, 골목길 재생사업의 규모 내에서는 조정하기 어려운 점도 알 수 있었다. 2m의 좁은 골목길은 유효반사율이 낮기 때문에, 낮에 입사된 태양복사에너지가 밤까지 빠져나가지 못하고, 협곡 내에 축열되는 경향이 있으므로, 열대야 대응이 우선될 필요가 있다. 반면, 8m의 보차분리가 가능한 골목에서는 보행로 위의 불법주차를 통한 인공열 방출이나, 그늘 부족에 따른 표면온도 상승이 중요한 과제로 나타났다.

따라서 앞으로 서울형 골목길 정비사업에 효과적으로 반영할 수 있는 서울형 골목길 열 환경 개선 디자인 가이드라인을 마련하기 위해서는 서울 시내의 전형적인 골목길 구조를 유형별로 정리하고, 유형별 특성에 맞추어 사업 전후의 열환경 개선 효과의 체감도를 높일 수 있는 세심한 디자인 지침을 제안할 필요가 있다.

참고문헌

- 곽병석·서영찬·송철영·김주원, 2009, “포장가속시험을 이용한 보수형 배수성포장의 온도저감 효과 및 소성변형 저항 특성 연구”, 「한국도로학회논문집」, 11(3), pp.97~109.
- 권용석, 2015, 「환경도시 대구를 위한 도시열섬현상 저감 방안」, 대구경북연구원.
- 김대육·김중권·정응호, 2010, “도시공원 조성에 따른 미기후환경의 변화 분석 - 대구광역시 중구를 대상으로”, 「한국도시계획학회지」, 11(2), pp.77~94.
- 김세창·이현정·박봉주, 2013, “한국잔디식재 옥상녹화의 온도저감 및 증발산량 평가”, 「한국환경과학회지」, 22(11), pp.1443~1449.
- 류지원·정응호·시미즈 아카·오상학·호야노 아키라, 2012, “담장허물기로 인한 주택지 외부공간의 열환경 평가”, 「한국주거학회논문집」, 23(1), pp.19~26.
- 맹다미, 2016, “서울시 주거환경 정비사업”, 서울정책아카이브(<https://seoulsolution.kr/>)
- 맹다미·장남중·백세나, 2015, “서울시 주거환경관리사업의 추진실태와 개선방안”, 서울연구원.
- 신중진·신영도, 2011, “저층주거지 환경개선을 위한 그린파킹사업 개선방향 연구”, 「대한건축학회논문집 계획계」, 27(5), pp.175~186.
- 이지수·이영곤·김백조, 2006, “Climate Analysis Seoul(CAS)를 이용한 서울 도심 녹지 주변의 열환경 분석”, 「한국기상학회 대기」, 26(3), pp. 413~421.
- 이호진·조성식·강민석·김준·이훈택·이민수·전지현·이채연·Nicke·조창범·김규랑·김백조·김현석, 2018, “여름철 도시 인근 산림에 의한 냉각효과의 정량화에 대한 연구”, 「한국농림기상학회지」, 20(1), pp.73~87.
- 임지현·조혜진·전우훈, 2009, “열섬현상 완화를 위한 도시부 도로횡단설계 연구”, 「2009 대한토목학회 정기학술대회」, pp.3075~3078
- 정주리, 2017, “단지 유형에 따른 열섬현상 저감 방안에 관한 연구”, 중앙대학교 대학원 석사학위논문.
- 정주리·정민희·박진철, 2016, “지붕 표면 반사율에 따른 단지 유형별 도시열섬 저감 성능 분석 연구”, 「2016 대한건축학회 추계학술발표대회논문집」, 36(2), pp.490~496.
- 정한도, 2018, “대전시 폭염대응 정책방향을 위한 사례조사 연구”, 대전세종연구원.

- (주)태하엔지니어링건축사사무소, 2018, “서울시 골목길 재생 기본계획 최종보고서”, 서울특별시.
- 최영은·박미나·김유진·김민기·김다현·서상원, 2018, 「한반도 기후변화 전망분석서」, 기상청.
- Akbari, Pomerantz, and Taha, 2001, “Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas”, *Solar Energy*, Vol. 70, No. 3, pp.295~310.
- Algretawee, 2016, “The cooling effect of a medium sized park on urban environment”, *International Journal of Geomate*, 11(26), pp.2541~2546.
- Arnfield, 2003, “Two decades of urban climate research : a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island”, *International journal of climatology*, Vol. 23, p.1~26.
- Bao, Li, Zhang and Tian, 2016, “Assessing the Distribution of Urban Green Spaces and its Anisotropic Cooling Distance on Urban Heat Island Pattern in Baotou, China”, *International Journal of Geo-Information*, MDPI, 2016, 5(12).
- Bernard, Rodler, Morille and Zhang, 2018, “How to design a Park and its Surroundings Urban Morphology to optimize the Spreading of Cool Air?”, *Climate*, MDPI, 2018, 6(1).
- Bonacquisti, Casale, Palmieri, and Siani, 2006, “A canopy layer model and its application to Rome”. *The Science of the total environment*. 364. pp.1~13.
- Bretz Akbari and Rosenfeld, 1998, “Practical issues for using high-albedo materials to mitigate urban heat island”, *Atmospheric Environment*, Vol. 32(1), pp.95~101.
- Buyadi, Wan Mohd and Misni, 2014, “Quantifying Green Space Cooling Effects on the Urban Microclimate using Remote Sensing and GIS Techniques”, *FIG Congress 2014*.
- Che-Ani, Shahmohamadi, Sairi, Mohd-Nor, Zain and Surat, 2009, “Mitigating the Urban Heat Island Effect: Some Points without Altering Existing City Planning”, *European Journal of Scientific Research*, Vol. 35, pp.204~216, <http://www.eurojournals.com/ejsr.htm>
- Chen, Ooka, Huang and Tsuchiya, 2009, “Study on mitigation measures for outdoor thermal environment on present urban blocks in Tokyo using coupled simulation”, *Building and Environment*, Vol. 44, pp.2290~2299
- City of Los Angeles Department of Public Works, 2009, “Green Streets & Green Alleys Design Guidelines Standards(1st ed.)”.
- CDOT, 2007, “The Chicago Green Alley Handbook”, City of Chicago.
- Coseo and Larsen, 2015, “Cooling the Heat Island in Compact Urban Environment: The effectiveness of Chicago’s Green Alley Program”, *Procedia Engineering*, 118, pp.691~710.
- Coutts, Tapper, Beringer, Loughnan and Demuzere, 2013, “Watering our cities The

capacity for Water Sensitive Urban Design to support urban cooling and improve human thermal comfort in the Australian context”, *Progress in Physical Geography*, 37(1), pp.2~28.

Devinny and Longcore, 2008, “Survey of soil contamination in Los Angeles alleys”, Los Angeles: University of Southern California Center for Sustainable Cities.

EPA, 2008, “Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies”, Office of Atmospheric Programs, Washington, DC.

Escourrou, 1991, *Le Climat et la Ville*. Nathan University Editions, Paris.

Fleeh and Wu, 2016, “Greenworks Philadelphia 2015 Progress Report”, The City of Philadelphia Mayor’s office of Sustainability.

Flohn, 1971, “Saharization: natural causes or management?”, *Environ. Rep. No.2*, WMO Rep. No. 312, WMO, Geneva, pp.101~106.

Girdharan, Lau and Ganesan, 2005, Nocturnal heat island effect in urban residential developments of Hong Kong, *Energy and Buildings*, Vol. 37, pp.964~971.

Golden, Carlson, Kaloush and Phelan, 2007, “A comparative study of the thermal and radiative impacts of photovoltaic canopies on pavement surface temperatures”, *Solar Energy*, Vol.81, pp.872~883.

Grimmond, 1992, “The suburban energy balance: methodological considerations and results for a mid latitude west coast city under winter and spring conditions”, *International Journal of Climatology*, Vol.12, pp.481~497.

Ichinose, Shimodozono and Hanaki, 1999, “Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo”, *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp.3897~3909.

Ihara, Kikegawa, Asahi, Genchi and Kondo, 2008, “Changes in year-round air temperature and annual energy consumption in office building areas by urban heat-island countermeasures and energy-saving measures”, *Applied Energy*, Vol. 85, pp.12~25.

Jusuf, Wong, Hagen, Anggoro and Hong, 2007, “The influence of land use on the urban heat island in Singapore”, *Habitat International*, Vol. 31, pp.232~242.

Kikegawa, Genchi, Yoshikado and Kondo, 2003, “Development of a numerical simulation system toward comprehensive assessments of urban warming countermeasures including their impacts upon the urban buildings’ energy-demands”, *Applied Energy*, Vol. 76, pp.449~466.

Kikegawa, Genchi, Kondo and Hanaki, 2006, “Impacts of city-block-scale

countermeasures against urban heat-island phenomena upon a building's energy-consumption for air-conditioning", *Applied Energy*, Vol. 83, pp.649~668.

Li, Bou-Zeid, Baeck, Jessup and Smith, 2013, "Modeling land surface processes and heavy rainfall in urban environments: Sensitivity to urban surface representations", *Journal of Hydrometeorology*, Vol.14, pp.1098~1118.

Li, Zhou, Li, Meng, Wang, Wu and Sodoudi, 2018, "A new method to quantify surface urban heat island intensity", *Science of the Total Environment*, Vol.624, pp.262~272.

Lindt, Callahan, DeShazo and Bieber, 2015, "The Avalon Green Alley Network Demonstration Project-Lessons learned from previous projects for green alley development in Los Angeles & Beyond", The Trust for Public Land & UCLA Luskin School of Public Affairs Luskin Center for Innovation.

Lopes, Adnot, Santamouris, Klitsikas, Alvarez and Sanchez, 2001, "Managing the Growth of the Demand for Cooling in Urban Area and Mitigating the Urban Heat Island Effect", *Proceedings of ECEEE congress*, vol.II, Mandelieu, 11-16 June 2001.

Manteghi, bin Limit and Remaz, 2015, "Water bodies an urban microclimate: A review", *Modern Applied Science*, 9(6).

Memon, Leung and Liu, 2008, "A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island", *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 20, pp.120~128.

Memon, Leung and Liu, 2009, "An investigation of urban heat island intensity(UHII) as an indicator of urban heating", *Atmospheric Research*, Vol. 94, pp.491~500.

McPherson, Nowak and Rowntree, 1994, "Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project", Forest Service, U.S. Dept. of Agriculture. NE-186.

Mirzaei and Haghighat, 2010, "Approaches to study urban heat island - Abilities and limitations", *Building and Environment*, Vol. 45, pp.2192~2201.

Newcombe, 1976, "Energy use in Hong Kong: Part III, spatial and temporal patterns", *Urban Ecology* 2 (2), pp.139~172.

Newell, Seymour, Yee, Renteria, Longcore, Wolch and Shishkovsky, 2013, "Green Alley Programs: Planning for a sustainable urban infrastructure?", *J. Cities*, 31, pp.144~155.

Nichols Consulting Engineers, Chtd., 2012, "Cool Pavements Study Final Reports", submitted to City of Chula Vista, California, CTL Group.

Offerle, Grimmond, Fortuniak, and Pawlak, 2006, "Intraurban difference of surface energy

fluxes in a central european city”, *Journal of meteorology and climatology*, Vol. 45, pp.125~136.

Office of Watersheds, 2011, “Amended Green City Clean Waters – The City of Philadelphia’s Program for Combined Sewer Overflow Control”, The Philadelphia Water Department.

Oke and East, 1971, “The urban boundary layer in Montreal”, *Boundary Layer Meteorology*, Vol. 1, pp.411~437.

Oke, 1987, “Boundary Layer Climates”, 2nd Edition, University Press, Cambridge, UK

Oke, 2002, “Boundary Layer Climates”, Routledge, Abington-on Thames, UK.

Oke, Johnson, Steyn and Watson, 1991, “Simulation of Surface Urban Heat Islands under Ideal Conditions at Night – Part 2: Diagnosis and Causation”, *Boundary Layer Meteorology*, Vol. 56, pp.339~358.

Rosenfeld, Akbari, Romm and Pomerantz, 1998, “Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction”, *Energy and Buildings*, Vol. 28, pp.51~62.

Sailor, 2006, “Mitigation of urban heat Islands – recent progress and future prospects”, Portland State University.

Santamouris, 2001, “Energy and climate in the urban built environment”, James& James, London, UK.

Sasaki, Mochida, Yoshino, Watanabe and Yoshida, 2008, “A new method to select appropriate countermeasures against heat-island effects according to the regional characteristics of heat balance mechanism”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 96, pp.1629~1639.

Seymour, Wolch, Reynolds and Bradbury, 2010, “Resident perceptions of urban alleys and alley greening”. *Applied Geography*, 30, pp.380~393.

Shepherd and Shepherd, 2014, “Energy Studies”, 3rd Ed., World Scientific Publishing Company.

Sister, Wolch, and Wilson, 2010, “Got green? Addressing environmental justice in park provision”. *GeoJournal*, 75, pp.229~248.

Soltani and Sharifi, 2017, “Daily variation of urban heat island effect and its correlations to urban greenery: A case study of Adelaide”, *Frontiers of Architectural Research*, 6, pp.529~538.

Spronken-Smith, Oke and Lowry, 2000, “Advection and the surface energy balance across

- an irrigated urban park”, *International Journal of Climatology*, 20(9), pp.1033~1047.
- Stone and Norman, 2006, “Land use planning and surface heat island formation: Aparcel-based radiation flux approach”, *Atmospheric Environment*, Vol. 40, pp.3561~3573.
- Sukopp and Wittig, 1998, “Stadtökologie. Ein Fachbuch für Studium und Praxis. 2. überarbeitete Auflage.” Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, Ulm, Lübeck.
- Synnefa, Santamouris and Livada, 2006, “ A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment”, *Solar Energy*, Vol. 80, pp.968-981.
- Taha, Akbari, Rosenfeld and Huang, 1988, “Residential cooling loads and the urban heat island: the effects of albedo”, *Building and Environment*, vol. 23, No.4, pp.271~283.
- Taha, Akbari and Rosenfeld, 1989, “Vegetation microclimate measurements: the Davis project”, *Lawrence Berkeley Lab. Rep.* 24593.
- Taha, Akbari and Rosenfeld, 1991, “Heat Island and Oasis effects of vegetative canopies: micro-meteorological field measurements”, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 44, pp.123~138.
- Taha, 1994, “Analysis of Energy Efficiency of Air Quality in the South Coast Air Basin: Phase II, Meteorological and photochemical simulations of the south coast air basin”, *Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley CA.* pp.161~218.
- Taha, 1997, “Modeling the impacts of large-scale albedo changes on ozone air quality in the south coast air basin”, *Atmospheric Environment*, Vol. 31, pp.1667~1676.
- Taha, Konopacki and Akbari, 1998, “Impacts of lowered urban air temperatures on precursor emission and ozone air quality”, *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol. 48, pp.860~865.
- Taha, 2004, “Heat Islands and Energy”, *Encyclopedia of Energy*, Vol. 3.
- Taha, 2008, “Meso-urban meteorological and photochemical modeling of heat island mitigation”, *Atmospheric environment*, Vol.42, pp.8795~8809.
- Takebayashi and Moriyama, 2007, “Surface Heat Budget on Green Roof and High Reflection Roof for Mitigation of Urban Heat Island”, *Solar Energy*, Vol. 83, pp.1211~1223.
- Takebayashi and Moriyama, 2009, “Study on the urban heat island mitigation effect achieved by converting to grass-covered parking”, *Solar Energy*, Vol. 83, pp.1211~1223.
- The Trust for Public Land, Polytechnic University Pomona, Council for Watershed Health, 2009, “Alleys Amplified – The South Los Angeles Green Alley Master Plan”, The City of Los Angeles Bureau of Sanitation.

The City of Philadelphia Office of Sustainability, 2016, "Greenworks - A Vision for Sustainable Philadelphia", the City of Philadelphia Office of Sustainability.

The City of Philadelphia Office of Sustainability, 2017, "Greenworks Initiatives 2017 Updates", the City of Philadelphia Office of Sustainability, retrieved from <https://www.phila.gov/documents/greenworks-initiatives-update-2017/>

Wolch, Wilson and Fehrenbach, 2005, "Parks and park funding in Los Angeles: An equity-mapping analysis". *Urban Geography*, 26, pp.4~35.

Wolch, Newell, Seymour, Huang, Reynolds, and Mapes, 2010, "The forgotten and the future: Reclaiming back alleys for a sustainable city", *Environment & Planning A*, 42, pp. 2874~2896.

Wong, 2002, "A Study of the Urban Heat Island in Singapore, A Report of Heat Island Project", National University of Singapore.

Wong, Chen, Ong and Sia, 2003, "Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment", *Building and Environment*, Vol. 38, pp.261~270.

Wong and Yu, 2005, "Study of Green Areas and Urban Heat Island in a Tropical City", *Habitat International*, Vol.29, No.3, 2005, pp.547~558.

Wong, Yok and Chen, 2007, "Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate", *Building and Environment*, Vol. 42, pp.25~54.

Yamamoto, 2006, "Measures to mitigate urban heat islands", *Science & Technology trends*, Quarterly review No. 18.

Yang, Lau and Qian, 2010, "Summertime heat island intensities in three high-rise housing quarters in inner-city Shanghai China: Building layout, density and greenery", *Building and Environment*, Vol. 45, pp.115~134.

Yu and Wong, 2006, "Thermal benefits of city parks", *Energy and building*, Vol. 38, pp.105~120.

<http://data.kma.go.kr/>(기상자료개방포털)

<http://news.seoul.go.kr/>(서울시 정책소개)

https://www.chicago.gov/city/en/depts/cdot/provdrs/street/svcs/green_alleys.html
(시카고 시 Green Alley 프로그램)

<https://www.epa.gov/heat-islands>(미국 환경청 열섬완화 프로그램 사이트)

<https://www.lastormwater.org/green-la/south-la-green-alley-master-plan/>(LA 시정부 우

수관리 홈페이지)

<https://www.tpl.org>(The Trust for Public Land 홈페이지)

<http://www.phillywatersheds.org>(필라델피아 수도국 홈페이지)

<https://www.dot.ny.gov/programs/greenlites>(뉴욕 교통부 GreenLITES 홈페이지)

<https://www.toronto.ca/city-government/planning-development/official-plan-guidelines/toronto-green-standard/>(토론토 Green Building Standard 홈페이지)

<https://www.toronto.ca/services-payments/streets-parking-transportation/enhancing-our-streets-and-public-realm/green-streets/>(토론토 Green Street 홈페이지)

작은연구 좋은 서울 18-11

걷고 싶은 골목길이 만드는
시원한 우리 동네

발행인 서왕진

발행일 2019년 5월 1일

발행처 서울연구원

비매품

06756 서울특별시 서초구 남부순환로 340길 57

이 출판물의 판권은 서울연구원에 속합니다.