creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

도시계획학석사 학위논문

재목 가공품의 도시가로공간 적용이 도시 열섬현상 저감에 미치는 영향 분석

- 중구 광희동 일대 미기후 분석을 중심으로 -

2023 년 8 월

서울대학교 대학원

협동과정 도시설계학전공

김 민 석

재목 가공품의 도시가로공간 적용이 도시 열섬현상 저감에 미치는 영향 분석

- 중구 광희동 일대 미기후 분석을 중심으로 -

지도교수 강 준 석

이 논문을 도시계획학석사 학위논문으로 제출함
2023 년 8 월

서울대학교 대학원
협동과정 도시설계학전공
김 민 석

김민석의 석사 학위논문을 인준함
2023 년 8 월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국문초록

대도시의 개발경향은 정책적·사회적·경제적 요인들에 의해 도시 기능이 집적되고 용적률 높은 건축물이 선호되고 있다. 고밀화된 도시에서는 도시공간형태로 인하여 열섬효과(UHI)가 발생하는데, 지금에 이르러서는 자연재난인 폭염과 더불어 도시 내 취약계층에서 온열질환자를 발생시키고 있다. 기존 선행연구를 통해 열섬효과의 원인을 건물의 밀집도, 용적률, 피복의 종류로 정의하였다. 이들에 의해 영향을 받는 도시공간인 가로공간은 취약계층의 삶에 직접적으로 영향을 미치는 공간으로 연구의 공간적 범위이다. 범위 설정 후 가로공간에서 발생하는 열섬효과를 절감하기 위하여 가로공간을 구성하는 요소별로 열섬저감 방법을 도출하였다. 연구 대상지는 열섬효과와 취약계층이 동시에 관측되는 중구 광희동 단독주택 밀집지역이다. 현재 연구 대상지는 정책적으로 관리형 주거환경개선사업 및 주택성능개선지역으로 지정되어 있어 주택 및 가로의 환경개선이 필요한 상황이다. 가로환경개선방법으로 주택과 가로에 열적성능이 상대적으로 뛰어난 재목 가공품을 적용하여 가로 내 열환경 개선과 도시 이미지 개선을 목표로 하였다. 세부적인 재목 가공품 적용 범위와 대상은 가로공간 구성요소에 따라 도출된 열섬저감 방법과 서울시 지원정책 범위를 비교한 후 단독주택 밀집지역에 적용 가능한 범위 내에서 선정하였다. 재목 가공품 적용에 의한 개선효과를 관찰하기 위하여 전산유체역학 시뮬레이션을 이용하였고, 열쾌적성 요소인 공기온도, 평균복사온도, 그리고 열쾌적성 지표에서 열섬저감에 긍정적인 변화를 보였다. 그 후 시뮬레이션 결과를 해석하여 가로환경개선 방법을 제안하였다.

연구를 통하여 몇 가지 결론을 내렸다. 첫 번째로 목재의 높은 비

열용량으로 인한 재목 가공품의 온도변화가 크지 않아 온도가 급격히 증가하는 여름철 폭염 상황에서 상대적으로 안정적인 열적 변화를 보였다. 두 번째로는 열쾌적성 지표(PET) 결과 건축물의 외피부근에서 평균 1℃의 열적 개선과 낮은 열스트레스를 보였다. 이는 고온이 예측되는 여름철 실외활동이 필요한 취약계층에게 열환경이 개선된 공간을 제공할 수 있는 실마리를 주었다. 마지막으로 미기후 시뮬레이션 연구는 지역 환경에 맞는 개선방법을 강구할 수 있게 해준다. 재료의 한계와 행정적 범위에서 벗어나 도시를 객관적으로 관찰하여 소규모 정비사업의 활성화를 유도할 수 있는 근거를 마련해준다.

주요어 : 열섬효과, 온열질환자, 가로공간계획, 재목 가공품, 열쾌적성 지표, ENVI-met
학 번 : 2014-20603

목 차

제 1 장 연구의 필요성 및 목적 ····· 1
제 1 절 연구의 필요성 ····· 1
제 2 절 연구의 목적 ····· 3

제 2 장 이론적 배경 ····· 4
제 1 절 도시공간과 열섬효과 ····· 4
제 2 절 가로공간계획 요소 도출 ····· 6

제 3 장 전산유체역학 시뮬레이션 구상 ····· 9
제 1 절 연구 대상지 ····· 9
1. 연구대상지 설정 ····· 9
2. 연구대상지 답사 ····· 14
제 2 절 재목 가공품 ····· 16
제 3 절 건축물 구조체 유형화 ····· 18
제 4 절 시뮬레이션 설정 ····· 21
1. 재료 및 구조체 데이터베이스 구축 ····· 21
2. 시뮬레이션 기후, 기간, 비교 데이터 설정 ····· 24

제 4 장 해석 결과 논의 및 제안 ····· 25
제 1 절 시뮬레이션 결과 논의 ····· 25
1. 공기온도 비교 ····· 25
2. 평균복사온도 비교 ····· 27
3. 습도 비교 ····· 29
4. 풍속 비교 ····· 31

5. 열쾌적성 지표 비교 ····· 33
제 2 절 가로환경계획 제안 ····· 35
1. 건축물 마감재료 법규검토 ····· 35
2. 가로환경개선방법 제안 ····· 36

제 5 장 결론 ····· 46
제 1 절 연구결과 요약 ····· 46
제 2 절 연구의 한계 및 토론 ····· 48

참고문헌 ····· 51
Abstract ····· 56

표 목 차

[표 1] 가로의 구성 요소 ····· 6
[표 2] 가로공간에 적용 가능한 열섬저감방법 선행연구 ··· 7
[표 3] 구조지수 관련 용어의 정의 ····· 12
[표 4] 에너지효율개선 공사 자재사용 기준 최소 사용기준 12
[표 5] 에너지효율개선 공사 자재사용 기준 권장 사용기준 12
[표 6] 대상지 내 건축물 현황 ····· 13
[표 7] ENVI-met 시뮬레이션에 적용되는 재목 가공품 ··· 17
[표 8] NEST사의 WPC 데크와 외벽마감재 종류 ····· 17
[표 9] 벽체, 지붕, 바닥포장 구조 ····· 19
[표10] 건축물의 에너지절약설계기준 중부2지역 ····· 20
[표11] 도로포장 재료 데이터베이스 ····· 21
[표12] 벽체 및 지붕 재료 데이터베이스 ····· 22
[표13] 재목 가공품 적용 전 구조별 구성 ····· 22
[표14] 재목 가공품 적용 후 구조별 구성 ····· 22
[표15] 재료별 반사율 ····· 23
[표16] 재료별 방사율 ····· 23
[표17] 열쾌적성 지표(PET) 온도별 구분 ····· 24

그 림 목 차

[그림 1] 서울과 양평 연평균 기온 비교 ····· 4
[그림 2] 중구 광희동 내 연구 대상지 범위 ····· 10
[그림 3] 중구 광희동 내 연구 대상지 사진 ····· 15
[그림 4] 재목 가공품 종류 ····· 17
[그림 5] 재목 가공품 적용 전·후 공기온도 변화 최댓값 차이 ····· 25
[그림 6] 2018년 8월 1일 13:00 재목 가공품 적용 전·후 공기온도 차이 ····· 26
[그림 7] 재목 가공품 적용 전·후 평균복사온도 변화 최댓값 차이 ····· 27
[그림 8] 2018년 8월 1일 15:00 재목 가공품 적용 전·후 평균복사온도 차이 ·· 28
[그림 9] 재목 가공품 적용 전·후 상대습도 변화 최댓값 차이 ···· 29
[그림10] 2018년 8월 1일 12:00 재목 가공품 적용 전·후 상대습도 차이 ···· 30
[그림11] 재목 가공품 적용 전·후 풍속 차이 평균값 ····· 31
[그림12] 2018년 8월 1일 15:00 재목 가공품 적용 전·후 풍속 차이 ··· 32
[그림13] 2018년 8월 1일 13:00 재목 가공품 적용 전·후 PET 시뮬레이션 비교· 33
[그림14] 2018년 8월 1일 13:00 재목 가공품 적용 전 PET 시뮬레이션 결과· 34
[그림15] 2018년 8월 1일 13:00 재목 가공품 적용 후 PET 시뮬레이션 결과· 34
[그림16] 가로환경개선계획 개념 ····· 37
[그림17] 연구 대상지 내 가로환경개선계획 가로 샘플 ····· 38
[그림18] 도로A 가로환경개선계획 ····· 39
[그림19] 도로A 가로환경개선계획 이미지 ····· 40
[그림20] 도로B 가로환경개선계획 ····· 41
[그림21] 도로B 가로환경개선계획 이미지 ····· 42
[그림22] 도로C 가로환경개선계획 ····· 43
[그림23] 도로C 가로환경개선계획 이미지 ····· 43
[그림24] 도로D 가로환경개선계획 ····· 44

[그림25] 도로D 가로환경개선계획 이미지 ····· 45
[그림26] 방재기상관측(AWS)와 시뮬레이션 결과 비교 ···· 49

제 1 장 연구의 필요성 및 목적

제 1 절 연구의 필요성

세계적으로 지구온난화에 의해 지구전체 온도가 지속적으로 상승할 것으로 예측되고 있고, 한국도 매년 여름 폭염과 열대야가 보고되고 있다. 이러한 이상기온은 취약계층에서 온열질환 환자를 발생시키고, 여름철 냉방부하도 증가시키고 있다. (이수미, 2019) 증가하는 냉방부하는 전력 소비를 촉진하는데 화석연료 사용에 의존하고 있는 한국의 상황에서 탄소를 계속 배출해야 하는 악순환을 가져온다. 환경문제가 부각됨에 따라 경제발전의 패러다임도 변화하고 있다. 화석연료 사용에 의존하는 기존의 방식에서 벗어나 환경을 보전하면서 생산할 수 있는 대안 요구되고 있다. 이는 현재 세대의 발전과 함께 미래 세대도 발전할 수 있도록 경제적·사회적·환경적 차원의 발전모델이 필요하다. 이에 UN은 17개 지속가능한 발전목표(SDGs)를 채택하였고, 한국은 한국형 지속가능한 발전목표(K-SDGs)를 수립하여 국제사회의 공동 목표 달성을 위해 노력하고 있다. 환경과 도시분야에 관해서, K-SDGs의 목표11은 포용적이고 안전하며 회복력 있는 지속가능한 도시와 주거지 조성에 관한 세부사항을 담고 있다. 세부목표인11-5에서는 재난으로 인한 인명피해와 경제적 손실을 현저히 감소시키며, 통합적 도시재난 위기관리를 개발, 이행하는 것을 촉구하고 있다. 이는 앞으로 계속해서 기후변화로 인한 재난으로 취약한 계층에서 피해가 발생할 것으로 예측하기 때문에, 이들을 보호하는 것이 도시관리 측면에서 잠재적 손해를 줄이는 사항인 것이다. 이런 경향은 2021년부터 2040년까지의 기본계획을 담은 제4차 지속가능한 발전 기본계획에서도 궤를 같이 하고 있다. 지속가능한 기본계획 목표11은 지속가능한 삶이 이루어지는 안심생태도시를 위한 것으로, 주요내용으로는 소규모 정비사업 활성화를 통해 지역 여건에 맞는 정비사업 추진 및 정비사업에 대한 공공지원 강화, 안전취약계층 보호 및 지원을 위한 법과 제

도 정비, 안전취약계층 보호를 위한 인프라 확대 등이 있다. 환경문제와 함께 도시공간 안에서의 삶의 질적 향상은 산림청 계획에서도 찾아볼 수 있다. 제4차 산림기본계획부터는 지속가능한 산림경영기반 구축과 사람과 숲이 어우러진 풍요로운 녹색국가 실현을 위하여 심는 정책에서 가꾸는 정책으로 정책 기조가 바뀌었다. 제5차 산림기본계획은 본격적으로 기후변화에 대응하기 위하여 산림탄소 관리체계 구축이 논의되었고, 현재 제6차 산림기본계획은 산림을 자원순환경제의 플랫폼으로 보고 있으며, 도시와 관련하여 녹색인프라구축을 통한 미세먼지 및 폭염 저감, 친환경소재를 이용하는 목조건축의 확대 등을 계획하고 있다. 즉, 산림자원을 이용하여 도시공간의 환경적·사회적·경제적 질적 향상에 초점을 두고 있다. 산림과 산림자원의 이용은 오랫동안 논의되었다. 교토체제 이후 지구온난화에 대한 대응으로 세계 각 나라들이 탄소중립을 위한 추진전략들을 수립하고 있는 가운데, 공통적으로 산림과 목재를 천연의 탄소흡수저장고로 인정하였다. 파리협정에서는 온실가스 흡수원을 보전하고 증진해야 한다고 결정하여 산림과 함께 목재의 적극적인 이용이 고려되고 있다. 목재는 생장 중에 탄소를 흡수하고, 수확한 이후에는 생장 중에 저장한 탄소를 고정하여 탄소저장량을 산정할 수 있다. 두 번째 이유로는 가공에너지가 철, 콘크리트에 비해 적기 때문에 탄소대체효과를 볼 수 있다. 이러한 이유들로 인해 목재사용을 권고하고 있는 것이다. 또 다른 관점으로는 도시재생과 관련이 있다. 도시재생 활성화 및 지원에 관한 특별법(2018)에서 도시재생이란 인구 감소, 산업구조의 변화, 도시의 무분별한 확장, 주거환경의 노후화 등으로 쇠퇴하는 도시를 지역역량의 강화, 새로운 기능의 도입 및 창출, 지역자원의 활용을 통하여 경제적·사회적·물리적·환경적 활성화를 의미한다. 또한, 국토교통부 공고(제2013-1094호)에 따르면 도시재생은 주민과 지방자치단체, 국가, 민간 투자자 및 기업의 역할을 통해 도시 재창조의 마중물 역할을 하도록 하고 있다. 따라서, 목재의 적극적 사용은 도시 내 취약계층의 주거환경을 현시대 요구에 맞게 개선하며, 이와 관련된 여러 이해 관계자들의 요구를 동시에 만족하는 도시재생방법이 된다. (김민지 등, 2022)

제 2 절 연구의 목적

최근 서울시에서는 녹지 생태 도심 재창조 전략을 공개하였다. 녹지 공간 확보와 함께 건축의 높이제한 규제 완화로 용적률 증가를 통한 고밀·복합개발이다. 높이제한 완화 혜택은 서울시가 발표하는 최근의 다른 계획들에서도 찾아볼 수 있다. 2040 서울도시기본계획의 경직된 도시계획 대전환에서는 35층 높이규제 삭제를 발표하였다. 지구단위계획 수립 기준을 전면 재정비에서는 불합리한 높이규제 개선이 있다. 이를 위해 아파트 높이계획 기준을 폐지하고 법령과 심의로 대체하기로 하였다.

물론 이들의 계획에는 녹지 확보를 포함하고 있다. 녹지를 도입하는 도시 디자인 방향은 도시 내 열을 저감하는데 효과적이고 지속가능한 디자인 방법으로 타당한 도시개발 방법이다. (McPherson, 1994; 박종훈, 2013; 예태곤 등, 2018) 현재 서울시가 구상하는 고밀·복합개발 계획의 도시구성이 실제로 도시 내 열 환경문제 해결에 기여할 것인지는 아직 증명이 된 것이 없다. 도시구성요소 중 열섬과 가장 상관관계가 높은 요소는 건축물의 연면적 합계이다. (서지은 등, 2009) 또한 용적률 증가는 고층화로 인한 인공배열량이 증가하고, 도시 내 공기의 온도가 증가하면 도시 공간 내 풍속의 감소로 도시현열의 대류확산이 저해되어 도시 고온화의 원인이 된다. (여인애 등, 2009) 그리고 사회적·경제적 측면에서 고밀·복합개발방식이 취약한 계층에 직·간접적으로 도움이 될 수 있는지도 미지수이다. 사회적·경제적으로 취약한 계층비율은 열섬효과가 발생하는 지역에서 높게 나타나기 때문이다. (조혜민, 2015)

따라서 기후변화로 인한 환경문제 대응과 사회적 취약계층을 고려한 열섬효과 저감방법이 검토되어야 한다. 이 연구에서는 사회적·경제적 취약계층이 분포하며, 관리형 거주환경개선사업 구역으로 지정된 중구 광희동 지역 내 단독주택단지 한 곳을 선정하여 가로공간의 재목 가공품 적용이 열환경 개선에 효과가 있음을 전산유체역학분석을 통해 분석하고, 분석결과를 바탕으로 지역여건에 적합한 가로환경계획을 제안하려고 한다.

제 2 장 이론적 배경

제 1 절 도시공간과 열섬효과

도시의 공간적 특성에서 기인하는 환경적 문제 중 하나는 열섬이다. 이 개념은 19 영국의 기상학자 Luke Howard에 의해 처음 등장한 개념으로, 도시가 교외지역보다 기온이 높게 나타나는 현상을 말한다. 기상청자료에 따르면 <그림1>과 같이 1985년부터 현재까지 서울은 인접 비도시 지역보다 기온이 평균적으로 1℃ 이상 높게 나타나고 있다.

<그림1> 서울과 양평 연평균 기온 비교

열섬의 원인들은 많으나 이 연구에서는 도시의 공간적 관점에서 공간을 구성하는 고밀도 건축물의 군집형태, 군집형태에 의해 형성된 도시협곡, 마지막으로 건축물에 사용되는 인공재료에 초점을 맞추고 있다. 도시기후는 도시 내 자연지형뿐만이 아니라 인공적으로 조성되는 도시의

크기, 형태, 개방된 공간의 비율 등에 의해 영향을 받는다. (주현수 등, 2006) 비정상적인 도시기후는 도시 공간 내 공기순환을 저하시킨다. 특히 저녁시간 동안 냉각되지 않은 구조체와 도시 내 잔류하는 가열된 공기는 열섬효과로 나타난다. (Yunfei Li, 2020) 열섬효과에 영향을 주는 도시 내 열 발생량의 주요 변수 중 하나는 용적률이다. (여인애, 2009) 높은 용적률에 의한 고밀도 도시 내에서는 풍속이 약해지고, 고온에 의해 약해진 풍속은 높은 대기온도를 도시공간에 잔류시켜 여름철 집 밖은 불쾌감이 증가한다. 이는 도시민들의 야외활동에까지 영향을 미치게 된다. (Edward Ng, 2010) 두 번째 요소인 도시협곡은 고층·고밀도의 건축물이 형성하는 공간형태를 뜻한다. 도시 협곡의 정도는 협곡을 형성하는 건물 간 배치 간격과 건물의 높이의 관계에서 결정된다. (Oke, 1988) 도시협곡의 외관비가 대기질 특성에 미치는 영향 분석에서는 건축물 높이와 길이가 클수록 대기오염물질이 제대로 순환하지 못하여 협곡 내 하부에 집중된다. (박수진, 2013) 이는 도시협곡의 공간형태가 공기의 흐름에 직접적인 영향을 미친다는 것을 의미하고, 앞에서 언급한 도시공간 내 뜨거운 공기의 잔류현상을 뒷받침하게 된다. 마지막으로 도시공간의 피복을 형성하는 재료는 도시공간 내 기온변화에 영향을 준다. (오규식 and 홍재주 2005) 서울의 토지이용 유형별 면적을 도시 피복과 비도시 피복으로 구분하여 비교했을 때, 도시피복이 비도시피복보다 상대적으로 많은 경우 그 지역의 열섬강도가 강하게 나타난다. (김유진 2012, 김상옥 등, 2009) 선행연구를 통해 열섬효과는 가로공간의 물리적 특성에 의해 영향을 받음을 유추할 수 있다. 그러므로 환경문제를 고려한 개발을 위해서는 다양한 방법들을 발굴하여 가로공간을 구성해야 한다. 대도시인 서울시의 경우 특히 가로공간구성이 다양하고, 지역별 개발계획에 따라 변화하고 있어 지역마다 다른 미기후를 형성한다. (이채연 등, 2015) 또한, 사용자 측면에서 이상기온으로 인한 취약계층의 외부활동 저하는 사회적 고립 문제로 나타난다. (이수미, 2019) 결과적으로 열환경 완화를 위한 가로공간계획은 지역개발의 맥락을 존중하면서 사용자의 활동을 보조할 수 있도록 가로공간을 구성해야 한다.

제 2 절 가로공간계획 요소 도출

고온의 환경으로 인한 직접적인 건강문제는 열에 의한 신체적 스트레스이다. 지역 내 취약계층인 고령자의 비율이 높을수록 열 스트레스에 의한 온열질환자가 증가한다. (이수미 등, 2019) 이는 취약계층이 거주하는 지역의 기반시설과 인프라가 충분하지 않아 열스트레스 환경에 대응하기 힘들기 때문이다. (조혜민 등, 2015) 한국의 격자형 밀집주거는 높은 피복율, 축열량 높은 재료의 사용 그리고 무계획적 단지형성에 따른 부족한 통풍공간을 형성하기 때문에 낮은 열쾌적성을 형성한다. (김민영 and 문은설, 2016) 즉, 밀집주거지의 부족한 인프라는 공간의 낮은 열쾌적성을 형성하여 취약계층의 건강을 악화시키는 원인이 되는 것이다. 이 중 실외공간인 가로공간은 취약계층의 삶을 연결해주는 매개체로 열스트레스 저감에 효과적인 가로공간구성이 필요하다. 쾌적한 가로공간을 위한 가로공간계획방법을 제시하기 위해서는 열섬저감 방법들을 적용할 수 있는 가로공간의 요소들을 파악해야 한다. 안건혁(1994)은 국토연구원 2000년대를 대비한 도시정책의 방향에서 가로의 구성요소를 <표1>과 같이 정리하였다. 도시환경에서 가로의 구성은 1차 요소, 2차 요소, 3차 요소로 나눌 수 있다. 이 중 이 연구의 적용범위로는 실외가로의 공간을 이루는 1차 요소인 노면, 노변 건물 벽면, 천장면(지붕 또는 옥상)을 대상으로 한다.

<표1> 가로의 구성 요소

구분		분류		
가로의 구성요소	1차 요소	노면 (폭, 포장), 노변 건물 벽면, 천장면(비가시적)		
	2차 요소	자연요소	물리적 요소	가로수, 물, 돌 등
			비물리적 요소	주야, 계절 변화, 향 등
		인공요소	가로구조물	교량, 지하도, 환기시설 등
			가로시설물	전기·통신시설, 가로등 등
			가로장치물	공중전화, 표지판, 조형물 등
	3차 요소	인간의 행위		

<표2> 가로공간에 적용 가능한 열섬저감방법 선행연구

구분		제목	열섬저감 방법	적용방법
분류	요소			
노면	녹화	도시블록 단위에서 소규모 녹지가 기온저감에 미치는 효과 (박종훈, 2013)	녹지 확보	소규모 공지를 찾아 녹지를 적용하여 녹지비율을 증가시킨다.
	재료	A Feasibility Study of Wood-plastic Composite Paver Block for Basic Rest Areas (양성철, 2017)	**재료 개선**	대상지 내 노면의 재료를 변화시킨다.
	식재	미시적 열섬현상 저감을 위한 도시 가로수 식재 시나리오 (권유진, 2019)	가로수 배치	효과가 좋은 식재배치방법으로 기존 식재배치를 개선시킨다.
	습지	도시 내 녹지공간 조성을 위한 소규모 HSSF 인공습지 개발 (이정용 등, 2011)	인공습지 적용	대상지 내 인공습지를 적용하여 불투수면을 감소시킨다.
건물 벽면	녹화	Modeling a Tropical Urban Context with Green Walls and Green Roofs as an Urban Heat Island Adaptation strategy (Herath, 2018)	녹화 적용	건물벽면을 녹화시켜 공간 내 녹지비율을 증가시킨다.
	재료	도시열섬현상 저감을 위한 PCM(Phase Change Material)의 단열성능 시뮬레이션 분석 (이효은 등, 2017)	**재료 개선**	신소재를 적용으로 인한 단열성능 증가로 구조체의 축열을 방지한다.
옥상	녹화	도심지 옥상녹화에 의한 열섬현상 저감효과 분석 (송진희 등, 2013)	녹지 적용	옥상녹화를 통해 녹지면적을 증가시킨다.
	재료	PCM cool roof systems for mitigating urban heat island - an experimental and numerical analysis (Young Kwon Yang et al, 2019)	**쿨루프 적용**	신소재를 지붕에 적용하여 축열효과를 저하 시킨다.
	습지	도시열섬현상의 저감을 위한 지속가능한 해결책으로서의 옥상습지 연구 (김병우, 2021)	습지 적용	옥상에 인공습지를 적용하여 불투수면 감소와 녹지비율을 증가시킨다.
	색상	지붕 색상 변화에 따른 건축물의 열환경 및 쿨루프 적용가능성 분석 (김경아 등, 2016)	**색상 변화**	알베도 값을 증가시켜 열반사율을 높여 축열효과를 감소시킨다.

<표2>는 가로공간요소의 범위 설정 후, 각 구성요소별로 적용 가능한 열섬효과저감 방법들을 분류하였다. 선행연구들을 고찰한 결과 가로공간에 적용할 수 있는 열섬저감 방법으로 녹지면적 증가, 불투수면 감소, 재료의 개선, 표면의 색상변화로 구분할 수 있었다. 하지만 취약계층이 거주하는 노후주거지에서 가로환경개선을 위한 공간계획은 지역 개발계획을 고려해야 한다는 점에서 각 방법들을 짚어볼 필요가 있다. 녹지비율을 증가시키려면 기존 노후주거지에서 새로운 녹지공간 확보와 건축물의 벽면 또는 옥상에 녹화 또는 인공습지 조성이 가능하다. 이 방법들은 불가능하지는 않지만 소규모 녹지 조성을 위한 공공공간 확보와 노후건축물의 구조적 문제로 인하여 적용에는 한계가 있다. 열반사율을 고려한 건물의 벽면, 옥상 또는 노면의 색상변화는 상대적으로 적용하기 쉽다는 장점이 있다. 다만, 미시적 관점에서 반사된 열이 보행자에게 영향을 끼친다는 점을 고려하여 적용해야 한다. 마지막으로 건축물 재료의 개선을 통해 건축 구조물의 축열효과 저하 방법이 있다. WPC+PCM 복합체를 사용한 선행연구와 같이 외벽과 지붕 또는 옥상에 재목 가공품의 복합적인 적용(WPC+목섬유단열재)이 가능하다. 노면의 경우 WPC블록을 이용한 투수포장으로 아스팔트와 콘크리트 포장의 불투수면을 대체하여 투수성능을 증가시킬 수 있다. 추가적으로 노후주택의 리모델링에서는 구조체 보강이 필요하다. 구조체 보강을 위해서는 CLT를 고려해 볼 수 있다. CLT도 목재성질에 의한 열적성능이 있어 WPC와 목섬유단열재의 복합적 사용 시 열적성능 개선을 보조할 수 있다. 다만, 본 연구에서는 CLT는 보강용 구조체로만 보고 있다.

선행연구들을 통해 가로공간의 열섬저감을 위한 방법들을 분류하면서 재목 가공품(WPC, 목섬유단열재, CLT)을 이용한 연구가 많지 않아 연구의 한계점으로 볼 수 있다. 하지만 연구의 대상지로 지정된 광희동 중구의 경우 관리형 주거환경개선 사업지역이면서 동시에 주택성능개선지역으로 기존 도시조직의 부분적 개선만 지원하기 때문에 도시설계 관점에서 재목가공품 적용은 정책적 범위 내에서 열섬효과 완화를 기대할 수 있는 가로환경개선 방법으로 볼 수 있다.

제 3 장 전산유체역학 시뮬레이션 구상

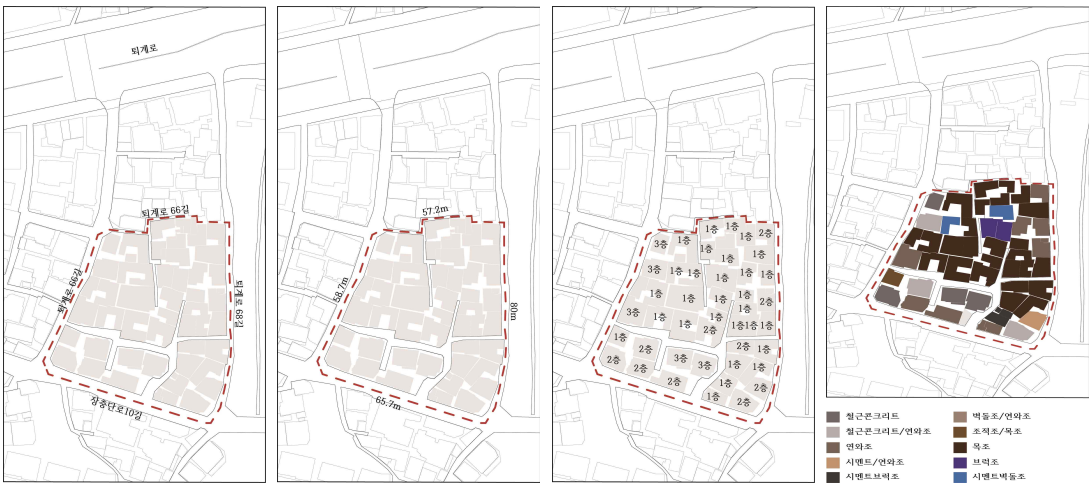
제 1 절 연구 대상지

1.1. 연구대상지 설정

연구 대상지는 2021년 서울연구원 도시정보실 빅데이터분석팀의 서울시 주거지역 폭염 취약도 진단 레포트를 참고하여 선정하였다. 보고서의 내용은 서울시내 S-DoT 센서로 취득한 자료를 이용하여 폭염에 취약한 안전취약계층을 선별하였다. 그 중 관리형 주거환경개선 사업 구역으로 지정된 중구 광희동 일대를 연구 대상지로 선정하였다. 광희동은 도성 8문 중 하나인 광희문에 인접해 있어 이름이 붙어졌다. 1943년 중구에 편입되어 1946년 광희동 1·2가로 바뀌었다. 조선시대에는 광희문과 흥인지문 사이에 위치해 있어 두 문을 통해 성안을 왕래하는 사람들을 대상으로 객주집이 발달하였다. 1981년 12월 31일까지 유효한 임시법인 주택개량촉진에 관한 임시조치법의 제정으로 불량 무허가 건물 집단지구의 재개발을 촉진 하였다. 1976년 재개발조항을 도시계획법에서 삭제하고 도시재개발법을 단일법으로 제정하여 재개발사업을 촉진하였다. 1973년 건설부고시에 의해 서울시내 10개 재개발지구가 개발촉진지구로 지정되었고, 중구의 경우 1973년 12월 소공지구의 대형 호텔건물의 기공식이 거행되면서 본격적인 도심재개발사업이 시작되었다. 그럼에도 불구하고 연구 대상지 내 건물들의 사용승인일자와 도시조직의 형태를 고려하면 중구의 재개발 영향 흔적을 찾아볼 수 없다. 현재 연구 대상지 내에는 사용승인일자 기록이 없는 건물이 51%를 차지하며, 가장 오래된 사용승인일자가 1950년으로 조사되었다. 1990년 이후에 지어진 철근콘크리트조 또한 지역 재개발의 일환으로 보이지 않았다.

열섬효과는 도시 내 다양한 원인이 복합적 작용하여 나타나는 이상기온 현상으로 이에 영향을 줄 수 있는 인적·물적·행태적 변수들을 제어할

필요가 있다. 이를 위해 중구 광희동 주거지역 중 사용승인일자가 오래 되었거나, 기록이 많이 누락된 단독주택 밀집지역으로 거주자들의 경제적 수준이 유사한 일부지역을 선택하였다. 시뮬레이션 범위는 퇴계로 66번 길, 68번 길 그리고 장충단로 10길에 의해 둘러싸여 있다. 각 가로의 거리는 58.7m, 57.2m, 80m, 65.7m으로 취약계층의 이동반경을 고려한 보행권 범위 내로 제한하였다. 각 건축물에 대한 정보는 건축물 생애이력 관리시스템을 이용하여 <그림2>와 <표6>의 정보를 취득하였다. 연구 대상지 내 건축물의 용도는 대부분 3층 이하의 단독주택이고, 벽체와 지붕구조의 재료는 다양하게 사용되었다. 특히 사용승인일자를 통해 건축물들의 노후 정도를 예측할 수 있었다. <표3>은 소득세법에 의한 건물기준시가에서 제공하는 자료로 건축물 생애이력 관리시스템으로 조사된 건축물의 구조와 특징을 유형화 하는데 사용되었다.



<그림2> 중구 광희동 내 연구 대상지 범위

연구 대상지에 지정된 관리형 주거환경개선 사업지역은 단독주택 및 다세대주택이 밀접한 지역, 해제된 정비(예정)구역·재정비촉진지구·재정비촉진지구 존치지역 그리고 기존 정비구역 중에서 토지 등 소유자 50%이상 주거환경개선사업 전환에 동의한 지역에서 선정된다. 주요 지원내용으로는 주거지 환경과 관련된 도로 및 골목길 정비, 범죄 예방환경 설계, 생활기반시설 확충이 있고, 집수리와 관리를 위해서는 저금리

융자 지원, 주택개량비 지원 그리고 집수리 교육을 포함하고 있다. 관리형 주거환경개선사업은 2009년 살기 좋은 마을 만들기를 시작으로 2010년 서울휴먼타운, 2012년 주거환경관리사업 그리고 2018년 관리형 주거환경개선사업으로 변화해 왔다. 2021년 까지 일반지역 68개 성곽지역 19개로 중구 광희동은 성곽지역 중 하나이다. 연구 대상지의 가로환경개선과 관련해서는 주택성능개선지원구역의 혜택인 서울가꿈주택 집수리 보조사업이 있다. 대상주택으로는 주택성능개선지원구역 내 사용승인일이 20년 이상 경과한 단독주택 및 공동주택으로 2021년 기준 2000년 대 이전에 지어진 건물들이 대상이다. 지원금액 규모는 단독주택(다중·다가구주택 포함)기준 성능개선 집수리인 지붕, 방수, 외부창호, 단열, 외벽, 설비 등에 해당되며, 일반적으로 공사비용의 50%, 취약계층의 경우 90%, 최대 지원금액은 1,200만원이다. 공동주택(다세대·연립주택)의 경우 개별세대 전유부분 성능개선 집수리(외부창호, 내단열, 설비 등)는 공사비용의 50%, 취약계층은 90%, 세대별 최대 500만원이다. 공용부분 성능개선 집수리는 지붕, 방수, 외부창호, 외단열, 외벽, 설비 등에 해당되면 공사비용의 50%, 최대 1,700만원을 지원받을 수 있다. 더불어 단독주택·공동주택 모두의 외부공간개선 지원도 있다. 담장철거와 담장철거 후 재조성의 경우 둘 중 하나의 공사에 대하여 최대 지원금 각각 300만원, 150만원 범위 내에서 공사비용의 100%를 지원하고 있다. 쉼터 또는 화단 조성은 공사비용 100%, 최대 50만원 지원을 받을 수 있다. 추가지원으로는 외관 변경공사와 에너지효율개선 공사 자재 사용 시 추가지원이 있다. 외관 공사비용의 20%, 최대 500만원 이내 범위에서 지원되고 있으며, 공사 내용 및 규모를 고려하여 입면디자인 시 개선효과가 뛰어날 것으로 판단이 되는 경우 선택된다. 에너지효율개선 공사 자재 기준은 <표4>와 <표5>와 같이 관리형 주거환경 개선사업에서 제시하고 있으며 권장 사용기준 이상의 성능을 가진 자재 사용 시 공종 공사비 10% 이내에서 지급된다. 가로공간요소와 관련해서 지원범위는 지붕, 단열, 외벽에 해당하고, 보행환경 개선과 마을 디자인 정비 측면에서 가로의 노면이 연구의 대상으로 포함된다.

<표3> 구조지수 관련 용어의 정의

종류	정의
철근콘크리트조	철근콘크리트를 써서 건축을 하거나 이 구조와 조적 기타의 구조를 병용한 구조.
연와조	3면 이상이 연와 또는 이와 유사한 벽돌로 축조된 구조. 다만, 시멘트블록조와 시멘트벽돌조에 외벽 1/2이상의 돌 붙임, 타일 붙임, 인조석 붙임, 대리석 붙임, 벽돌형 타일붙임 등은 모두 연와조로 본다.
시멘트벽돌조	외벽을 시멘트벽돌로 쌓은 후 화장벽돌, 각종 타일 또는 몰탈을 바르는 구조.
시멘트블럭조	주체인 외벽의 재료가 시멘트블럭 또는 시멘트 콘크리트 블록으로 된 구조.
목조	기둥과 들보 및 석가래 등이 목재로 된 건물.

<표4> 에너지효율개선 공사 자재사용 기준 최소 사용기준

구분	최소 사용기준
창호	에너지효율등급 3등급
외단열	열관류율 0.56W/㎡·K 이하(가등급 단열재 60mm 이상)
내단열	열관류율 1.13W/㎡·K 이하(가등급 단열재 30mm 이상)
지붕단열	열관류율 0.309W/㎡·K 이하(가등급 단열재 110mm 이상)
바닥단열	열관류율 0.68W/㎡·K 이하(가등급 단열재 50mm 이상)
등기구	고효율에너지 기자재 인증 LED 조명

<표5> 에너지효율개선 공사 자재사용 기준 권장 사용기준

구분	권장 사용기준
창호	에너지효율등급 2등급
외단열	열관류율 0.37W/㎡·K 이하(가등급 단열재 60mm 이상)
내단열	열관류율 0.68W/㎡·K 이하(가등급 단열재 30mm 이상)
지붕단열	열관류율 0.2W/㎡·K 이하(가등급 단열재 110mm 이상)
바닥단열	-
등기구	-

<표6> 대상지 내 건축물 현황

번지	주구조	용도	지붕구조	지상 층수	높이 (m)	사용 승인 일자
124-1	일반목구조	단독주택	기와	1	4.7	1956-10-02
127	철근콘크리트구조	단독주택	(철근)콘크리트	3	11.65	1995-08-25
128	벽돌구조	단독주택	(철근)콘크리트	2	8.2	1995-02-20
130	일반목구조	단독주택	기타지붕	1	0	
130	철근콘크리트구조	단독주택	(철근)콘크리트	3	9.13	1995-02-09
132	벽돌구조	단독주택	(철근)콘크리트	1	3.5	1994-10-31
133-1	블록구조	단독주택	슬레이트	1	0	1965-07-30
134-1	벽돌구조	단독주택	(철근)콘크리트	2	0	1965-01-20
135	일반목구조	단독주택	기와	1	0	1950-09-30
137-1	일반목구조	단독주택	기와	2	0	
137-3	일반목구조	단독주택	기와	1	0	
138	철근콘크리트구조	단독주택	(철근)콘크리트	3	10.73	1995-06-05
39	철근콘크리트구조	단독주택	(철근)콘크리트	3	10.38	1995-06-05
140-1	벽돌구조	단독주택	(철근)콘크리트	2	7.8	1996-11-22
141	철근콘크리트구조	단독주택	(철근)콘크리트	3	10.4	1997-01-14
142-1	기타조적구조	단독주택	(철근)콘크리트	1	3.9	
142-2	철근콘크리트구조	단독주택	(철근)콘크리트	2	7.7	1996-12-02
143	벽돌구조	단독주택	기타지붕	3	9	1963-11-04
144	일반목구조	단독주택	기와	1	0	
145	일반목구조	단독주택	기와	1	0	1961-05-06
146	일반목구조	단독주택	기와	2	0	
154-3	일반목구조	단독주택	기와	1	0	
154-4	일반목구조	단독주택	기와	1	0	
155	일반목구조	단독주택	기와	1	0	
156	일반목구조	단독주택	기와	1	0	
156-2	벽돌구조	단독주택	기와	1	0	1964-01-22
156-4	일반목구조	단독주택	기와	1	0	
156-4	블록구조	단독주택	기와	1	0	1977-07-19
156-4	일반목구조	단독주택	기타지붕	1	0	
156-6	일반목구조	단독주택	기타지붕	1	0	
157-1	일반목구조	단독주택	기타지붕	1	0	
157-2	벽돌구조	단독주택	기와	1	0	
157-4	일반목구조	단독주택	기와	1	0	
157-4	일반목구조	단독주택	기와	1	0	
158	일반목구조	단독주택	기와	1	0	
159	일반목구조	단독주택	기와	1	0	
159	벽돌구조	단독주택	(철근)콘크리트	3	9.3	1999-09-08
160	철근콘크리트구조	단독주택	(철근)콘크리트	3	9	2003-05-14
161	일반목구조	단독주택	기와	1	0	
136	일반목조	제2종근린생활시설	기와	1		

1.2. 연구대상지 답사

시뮬레이션의 신뢰성을 높이고과 실제 현황을 파악하기 위하여 답사를 진행하였다. 답사진행의 이유는 건축물 생애 이력관리 시스템의 자료와 수치 지형도 또는 항공사진을 통해 건축물의 정보를 파악할 수 있지만 대상지 내에는 노후 주거지가 많이 분포하고 있어 정확한 파악이 필요하여 진행하였다. <그림3>과 같이 퇴계로66길, 장충단로10길 그리고 퇴계로 68번길을 제외한 연구 대상지 내 도로는 도로 폭이 좋아 차량접근이 불가능하다. 즉, 연구 대상지 내부 도로는 사람, 자전거, 오토바이만 통행이 가능한 상태이다. 답사는 두 가지 측면에서 진행되었다. 첫 번째로 건물들이 가지는 외벽 마감 형태 그리고 지붕의 종류를 확인하는 것이고, 두 번째는 가로에 사용된 노면포장의 재료와 형태이다. 관찰을 통하여 건축물의 벽체 구성을 직접적으로 파악하기는 쉽지 않았고, <표6>의 자료를 토대로 자료와 건축물의 현황을 비교하면서 건축물별 구조현황을 파악하였다. 답사결과 대상지 내 주요 외벽 마감재 재료는 붉은 벽돌 치장 쌓기와 시멘트 몰탈 마감이 주로 사용되었다. 지붕은 철근콘크리트의 경우 평지붕과 지붕경사 위 기와마감이 관측되었으며 일반목구조나 벽돌구조의 경우 목재 지붕틀 위에 기와를 마감재로 하는 경사지붕이 관측되었다. 가로 포장은 아스팔트포장과 콘크리트포장이 혼합적으로 사용되었으며, 이들 포장방식에 의해 노면은 불투수층을 형성하는 것으로 판단하였다. 결론적으로 가로공간에 사용된 건축물의 피복재료는 대부분은 열축적 능력이 큰 재료가 사용되었고, 열부하 대응에 부적절한 구조체 구성 또는 기준이 적용되어 열적 대응 능력이 부족한 실정이다. 또한 재료들은 열반사율이 높은 밝은 색은 많이 사용되지 않았다. 노면의 경우 불투수층을 형성하는 아스팔트 포장이고, 열 흡수율이 높은 어두운 색을 대부분 사용하여 열적 대응에 유리하지 않은 조건을 형성하고 있다. 이를 통해 가로환경 개선을 위한 열적 대응 방법으로 건축물의 외부 마감 구조나 재료를 보강 또는 대체하여 일정 수준 이상의 열적 대응 능력을 확보해야 하고, 투수층을 형성하는 도로포장을 적

용하는 방법을 고려해야 한다.

<그림3> 중구 광희동 내 연구 대상지 사진

제 2 절 재목 가공품

재목이란 목조의 건축물·기구 따위를 만드는데 사용되는 목재를 칭한다. 이 연구에서는 재목 가공품을 원목이 아닌 목재 또는 목재 부산물을 공학적으로 가공하여 건축 재료로써 성능을 가진 재료로 정의하려고 한다. 연구에 사용하려는 재목 가공품으로는 <표7>과 같이 WPC, 목섬유 단열재, 구조용 집성재인 CLT이다. 합성목재인 WPC는 <표8>과 같이 건축물의 외벽 마감재와 데크에 사용가능하며, 최근에는 지붕마감재로도 적용되고 있다. 가로포장용 제품들은 연구·개발되고 있고, 선행연구로는 양성철(2019) 연구에서 WPC블록을 휴게소와 주차장에 설치하여 사용에 문제가 없음을 보였다. 최재진(2017)의 연구에서는 톱밥과 우레탄 수지를 혼합한 포장재가 놀이터에 적합함을 보였다. 또한, 폐목재를 이용한 포장재는 투수성을 가지고 있어 열섬저감에 효과가 있음을 보였다. 외국 사례로는 핀란드에서 개발한 목재와 콘크리트를 혼합한 블록이 있으며, Black Locust Hardwood에서는 주차장과 주택정원 그리고 어린이놀이터에 사용가능한 우드블록을 생산하고 있다. 블록형 제품의 경우 다양한 목재 부산물을 재활용하여 친환경 제품을 생산할 수 있다는 점과 투수성 포장공법과 연계하여 가로의 열환경 개선을 동시에 만족하는 장점이 있다. 두 번째 재목 가공품 제품인 목섬유단열재는 국내생산이 되고 있으며 나등급 단열재로 약 0.035~0.037W/m·K의 성능을 가지고 있다. 또한, TVOC 배출을 저감할 수 있고. 난연처리로 화재 대비도 가능하다. (이민 등, 2020) 영국의 Larch House의 경우 목섬유단열재를 적용하여 제로카본이면서, 저비용의 패시브하우스를 만족하여 친환경 재료를 통한 에너지 절감을 증명하였다. 마지막 재료인 CLT는 공학용 목재로써 이 연구에서는 Cross Timber Systems의 제품을 참고하고 있다. Spruce 나무가 주재료이고, 밀도는 500kg/㎥, 열전도율은 0.13 W/m·K, 열용량은 1,300 J/kg·K이다. CLT재료는 열적효과와 밀도가 좋아 얇은 두께로도 충분한 건축 강도를 발현할 수 있다. (Mazzucchelli, Persello et al. 2014) 게다가 CLT 재료의 적절한 구조적 적용은 목재가 가지는 열적성능으로 인해

단열재 두께를 줄일 수 있다. (팽성준 등, 2017)

1) 네스트사의 합성목재 사이딩과 데크　2) 국립산림과학원 목섬유단열재　3) CLT

<그림4> 재목 가공품 종류

<표7> ENVI-met 시뮬레이션에 적용되는 재목 가공품

용어	개념
CLT	Cross Laminated Timber의 약자로 구조용 직교 집성판이다.
WPC	Wood-Plastic Composites의 약자로 목재 부산물과 재활용 플라스틱을 혼합하여 만든 패널이나 목재 제품이다.
목섬유단열재	목재를 원료로 제조하는 단열재

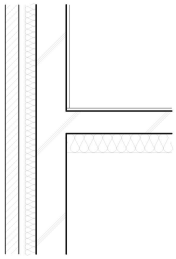
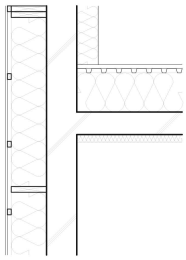
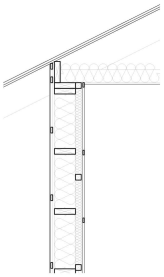
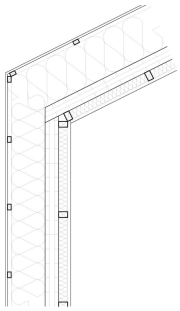
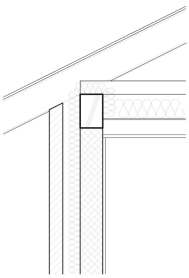
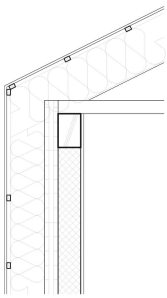
<표8> NEST사의 WPC 데크와 외벽마감재 종류

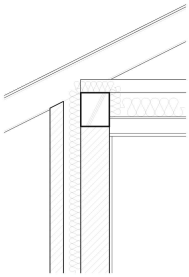
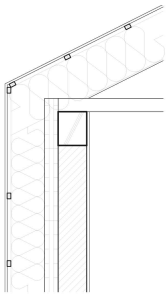
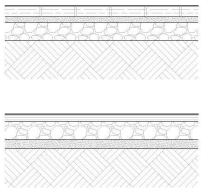
구분	종류		
Deck	솔리드	클립형	2400x150x25T
			2400x150x20T
			3000x150x25T
			3000x150x20T
		피스형	2400x150x25T
			2400x145x20T
			2400x90x20T
			3000x150x25T
			3000x145x20T
			3000x90x20T
	중공형	클립형	2400x150x25T
			2400x138x25T
			2400x135x25T
			3000x150x25T
			3000x138x25T
			3000x135x25T
Cladding	NW015	3000x225x17T	
	NW022	2400x219x26T	
		3000x219x26T	

제 3 절 건축물 구조체 유형화

<표6>에서 조사된 구조로 철근콘크리트, 일반목구조, 벽돌구조, 블록구조, 일반목조가 있다. 노후주거지에서의 건축물 구조 파악은 쉽지 않다. 이 연구에서는 조사된 건축물의 실제 구조형태와 단열재 두께를 그대로 이용하기 보다는 해석하기 쉽게 유사한 구조로 대체하여 실험하였다. 일반목구조와 일반목조는 경량목구조 형태로 해석하였고, 연와조는 시멘트 벽돌조가 주요 구조부로 가정하였다. 최종적으로 벽체 구조는 철근콘크리트조, 경량목구조, 시멘트 벽돌조 그리고 시멘트 블록조 네 가지 주요 구조부로 구분하였다. 지붕구조는 기와를 사용한 경사지붕과 철근콘크리트 위 평지붕 구조로 구분하였다. 마지막으로 가로포장에 사용된 아스팔트 포장이나 콘크리트 포장은 서울특별시 도로포장 유지관리 매뉴얼과 도로포장 하부구조 시공 지침을 참고하여 포장구조만 고려하였다. 재목 가공품 적용 전의 구조체를 구성할 때 단열재 두께는 2001년 시행된 건축물의에너지절약설계기준의 중부지역으로 설정하였다. 연구대상지에서 사용승인일자는 1963년부터 2003년까지 다양하고, 누락된 부분도 있어 개별적인 사용승인 일자 고려는 불가능하였다. 사용된 단열재는 나등급 유리면보온판 2호로 거실의 외벽에서 외기에 직접 면하는 경우 75mm, 외기에 직접 면하는 지붕의 경우 125mm를 적용하였다. 이후 재목 가공품 적용을 위하여 <표10>의 단열재 두께 규정 법규를 적용하여 <표9>와 같이 구조를 재설정하였다. CLT 제품과 목섬유단열재는 앞에서 언급한 재료를 채택하였다. 다만, 국내의 건축물의 에너지절약설계기준에 따르면 열전도율이 0.037인 목섬유 단열재의 경우 나등급 단열재로써, 거실의 외벽이 외기에 직접 면하는 경우 공동주택의 경우 225mm이며, 단독주택에는 155mm를 적용하여야 한다. 지붕은 주택의 유형과 관계없이 외기에 직접 면하는 경우 260mm를 적용하여야 한다. 가로 포장은 WPC 블록을 이용한 노상 침투형 투수성 도로포장으로 구성하였다. 건축물 외벽과 지붕 마감은 WPC를 이용하여 외피를 구성하는 방법으로 건축물의 구조에 적합하도록 구성하였다.

<표9> 벽체, 지붕, 바닥포장 구조구성

적용 전		적용 후	
철근콘크리트조			
			
벽체	지붕	벽체	지붕
T:90 치장벽돌 T:40 중공층 T:75 유리면보온판2호	우레탄도막방수	T:26 WPC 사이딩 T:155 목섬유단열재	T:25 WPC 데크 T:225 목재섬유단열재
목구조			
			
벽체	지붕	벽체	지붕
T:20 시멘트 몰탈 또는 T:90 치장벽돌 쌓기 T:140 유리면보온판2호	T:20 기와지붕 T:125 유리면보온판2호	T:26 WPC 사이딩 T:155 목섬유단열재 T:90 CLT(구조재)	T:25 WPC 지붕재 T:225 목섬유단열재 T:90 CLT(구조재)
시멘트 블록조			
			
벽체	지붕	벽체	지붕
T:90 치장벽돌 쌓기 T:40 중공층 T:75 유리면보온판2호	T:20 기와지붕 T:125 유리면보온판2호	T:26 WPC 사이딩 T:155 목섬유단열재 T:90 CLT(보강구조재)	T:25 WPC 지붕재 T:225 목섬유단열재

시멘트 벽돌조			
			
벽체	지붕	벽체	지붕
T:90 치장벽돌 쌓기 T:40 중공층 T:75 유리면보온판2호	T:20 기와지붕 T:125 유리면보온판2호	T:26 WPC 사이딩 T:155 목섬유단열재 T:90 CLT	T:25 WPC 지붕재 T:225 목섬유단열재
아스팔트 및 콘크리트 포장			
			
포장		포장	
T:50 아스콘표층 T:70 아스콘중간층 T:140 아스콘기층 보조기층	T:100 무근 콘크리트 노상	T:60 WPC 블록 T:30 쿠션 모래 T:100 기초용 골재 노상	T:40 아스콘표층(투수성) T:100 투수성입상기층 T:50 필터층(모래층) 노상

<표10> 건축물의 에너지절약설계기준 중부2지역

건축물의 부위 \ 단열재의 등급			단열재 등급별 허용 두께(mm)			
			가	나	다	라
거실의 **외벽**	외기에 직접 면하는 경우	공동주택	190	**225**	260	285
		공동주택 외	135	**155**	180	200
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택	130	155	175	195
		공동주택 외	90	105	120	135
최상층에 있는 거실의 반자 또는 **지붕**		외기에 직접 면하는 경우	220	**260**	295	330
		외기에 간접 면하는 경우	155	180	205	230
최하층에 있는 거실의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방인 경우	190	220	255	280
		바닥난방이 아닌 경우	165	195	220	245
	외기에 간접 면하는 경우	바닥난방인 경우	125	150	170	185
		바닥난방이 아닌 경우	110	125	145	160
바닥난방인 층간바닥			30	35	45	50

제 4 절 시뮬레이션 설정

4.1. 재료 및 구조체 데이터베이스 구축

가로를 구성하는 구성요소들에 재목 가공품을 적용하면 발생하는 미기후 변화를 관찰하기 위하여 전산유체역학 시뮬레이션 프로그램인 ENVI-met을 사용하였다. 그리고 재료 데이터베이스 구축 시 시뮬레이션의 정확도를 높이고, 오류를 줄이기 위해서 ENVI-met의 시스템 데이터베이스를 최대한 참고하였고, 부족한 재목 가공품 재료성질은 선행연구와 생산업체의 데이터를 이용하여 보충하였다. <표11>과 <표12>는 벽체, 지붕 그리고 도로포장에 사용 된 재료의 열적·물리적 성질을 나타내고 있고, 재료 데이터베이스 구축 후 <표9>의 구조형식에 따라 <표13>과 <표14>를 구성하였다. 재료 중 WPC의 열·물리적 성질은 나무의 종류에 따라 그리고 가공 중 첨가되는 첨가제의 종류와 첨가량에 따라 제품의 성질이 다르게 나타난다. 이 연구에서는 건축 재료로 흔히 사용되면서, WPC 제작에 사용되는 Red Maple Wood의 열적·물리적 성질을 적용하였다. Red Maple Wood를 이용한 WPC는 폴리머, 폴리스틸렌, 폴리푸르푸릴 알코올 등과 배합하여 WPC를 생산한다. (Couturier, 1996) 이 중 접착제 첨가 후 재료의 성질변화가 크지 않아 원목과 비슷한 폴리푸르푸릴 알코올을 첨가하여 만든 WPC의 성질을 적용하였다. 노면에 사용되는 WPC블록 또한 WPC 마감재와 같이 가공 후 재료의 열적성질 변화가 크지 않다고 가정하여 시스템 데이터베이스에 등록되어 있는 Wood Plank의 열적·물리적 성질을 참고하였다.

<표11> 도로포장 재료 데이터베이스

Database-ID	재료명	Volumetric heat capacity Specific Heat (J/㎥ ℃)	Heat conductivity (W/m K)
0000ZB	시멘트콘크리트	2.083	1.63
0100SD	모래	1.463	0
0100AP	아스팔트	2.214	1.16
0100WP	WPC 블록 (Wood Plank 값 사용)	0.454	0.9

<표12> 벽체 및 지붕 재료 데이터베이스

Database-ID	재료명	Specific Heat (J/g·℃)	Thermal Conductivity (W/m·K)	Density (g/㎤)
0100RC	철근콘크리트	0.88	2.3	2.3
0100GW	유리섬유단열재 24K	0.84	0.038	0.024
0100CB	콘크리트 블록	1	1.63	2.3
0100RB	붉은 벽돌	0.8	0.73	1.7
0100CR	시멘트 벽돌	0.8	0.73	1.7
0100TR	기와	0.84	0.75	0.933
0100CT	CLT	1.3	0.13	0.5
0100WP	WPC	1.6	0.159	0.801
0100TI	목섬유단열재	2.1	0.037	0.5

<표13> 재목 가공품 적용 전 구조별 구성

Database-ID	구조	레이어1	레이어2	레이어3
0100AS	아스팔트 가로포장	THK260 Asphalt (with Gravel)	THK50 자갈	Sandy Clay Loam(노면)
0100PG	콘크리트 포장	THK100 무근콘크리트	Sandy Clay Loam(노면)	-
0100CW	철근콘크리트 벽체	THK90 치장벽돌	THK75 유리섬유단열재	THK200 철근콘크리트
0100RC	철근콘크리트 슬라브	THK150 철근콘크리트	THK125 유리섬유단열재	-
0100LW	경량목구조 벽체	THK20 목재사이딩	THK75 유리섬유단열재	-
0100LR	경량목구조 지붕	THK20 기와지붕	THK125 유리섬유단열재	-
0100BW	시멘트 블록조 벽체	THK90 치장벽돌	THK75 유리섬유단열재	THK150 시멘트 블록
0100BR	시멘트 블록조 & 벽돌조 지붕	THK20 기와지붕	THK125 유리섬유단열재	-
0100RW	시멘트 벽돌조 벽체	THK90 치장벽돌	THK75 유리섬유단열재	THK190 시멘트 벽돌

<표14> 재목 가공품 적용 후 구조별 구성

Database-ID	구조	레이어1	레이어2	레이어3
0100WS	WPC블록 투수성 가로포장	THK60 WPC 블록	THK30 쿠션 모래	THK100 기초용 골재
0100TC	철근콘크리트 벽체	THK26 WPC 사이딩	THK155 목섬유단열재	THK200 철근콘크리트 벽체
0100TS	철근콘크리트 슬라브	THK25 WPC 데크	THK225 목섬유단열재	THK150 철근콘크리트 슬라브
0100TW	경량목구조 벽체 -> CLT벽체 대체	THK26 WPC 사이딩	THK155 목섬유단열재	THK90 CLT 벽체(구조보강)
	경량목구조 지붕 -> CLT지붕 대체	THK25 WPC 지붕재	THK225 목섬유단열재	THK90 CLT 지붕(구조보강)
	콘크리트블록조 벽체 -> CLT 벽체 보강	THK26 WPC 사이딩	THK155 목섬유단열재	THK90 CLT 벽체(구조보강)
	콘크리트블록조 지붕 -> CLT 지붕 대체	THK25 WPC 지붕재	THK225 목섬유단열재	-
	붉은벽돌 조적조 벽체 -> CLT 벽체 보강	THK26 WPC 사이딩	THK155 목섬유단열재	THK90 CLT 벽체(구조보강)
	붉은벽돌 조적조 지붕 -> CLT 지붕 대체	THK25 WPC 지붕재	THK225 목섬유단열재	-

이 외에도 시뮬레이션에 필요한 정보 중 재료가 가지는 색은 재료의 반사율(알베도)에 영향을 미친다. 반사율은 입사된 태양복사 에너지가 반사되는 비율이며, 지구 복사균형을 이루는 요소 중 지표의 수분과 에너지균형에 직접적으로 영향을 주어 지구 온난화와 밀접한 관련을 가진다. 또한, 0.01의 반사율 변화는 대기 중 이산화탄소의 2배 증가와 같다고 보고되어 반사율은 열적성질과 관련이 있다. 시뮬레이션에 적용된 반사율 값은 <표15>과 같이 Aniceto Zaragoza Ramirez and Cesar Bartolome Munoz (1991) 연구에서 밝힌 도시 내 재료가 가지는 반사율 값을 적용하려고 한다. 이 중 가로사용자의 사용성을 고려하여 반사율이 큰 값 보다는 중간 값을 이용하려고 한다. Nest사의 WPC의 제품은 Deep black, Black, Chocolate, Golden Teak, Wood, Stone Gray, Gray 색상이 있고, 이 중 나무의 색과 유사한 갈색계통의 Golden Teak 또는 Wood로 고려하였다. 시뮬레이션에 필요한 또 다른 정보는 재료의 방사율이 있다. 방사율은 <표16>과 같이 국제공인교정기관에서 인증한 코아테크코리아의 방사율 표에서 제시하는 값을 이용하였다. 방사율 값이 범위 값을 가지는 경우 중간 값을 고려하였다. 재목 가공품의 방사율은 목재의 성질과 크게 다르지 않다고 가정하고 있어 목재의 방사율 값을 적용하였다.

<표15> 재료별 반사율 값

종류	반사율 값	중간 값
아스팔트	0.05-0.2	0.125
콘크리트	0.25-0.7	0.475
적색 및 갈색 타일	0.1-0.35	0.225
벽돌 및 석재	0.2-0.4	0.3

<표16> 재료별 방사율 값

종류	방사율 값	중간 값
아스팔트	0.9-0.98	0.94
콘크리트	0.7	0.7
붉은벽돌	0.75-0.9	0.825
목재	0.8-0.9	0.858
시멘트	0.96	0.96
모래	0.9	0.9
흙	0.92-0.96	0.94

4.2. 시뮬레이션 기후, 기간, 비교 데이터

태양의 고도는 낮 12시 경이 가장 높지만, 기온은 오후 2~3시 경이 가장 높다. 국민재난안전포털에서는 폭염이 발생하는 여름철 오후 2시에서부터 오후 5시 사이에는 가장 더운 시간으로 실외작업을 권장하지 않는다. 특히 취약계층의 경우 이 시간동안 야외활동을 자제해야 한다. 시뮬레이션은 2018년 8월 1일 폭염이 가장 심했던 날 12시부터 17시까지 1시간간격으로 미기후 변화 실험을 진행하였다. 연구에 사용된 기상데이터는 2007년부터 2020년까지의 서울 기상정보를 담은 EPW자료를 이용하였다. 현재 기상청에서 제공하는 기상데이터로는 ENVI-met에서 요구하는 기상 설정 값을 만족할 수 없어 한국의 기상조건을 완벽하게 구현하지 못하는 연구의 한계점이 있다. 시뮬레이션을 통해 비교하려는 데이터는 가로 공간의 열 쾌적성에 영향을 주는 요소들로 공간유형이 같더라고 토지피복특성에 따라 열쾌적 지수가 다르게 나타나기 때문이다. (이정아 등, 2010) 가로 공간의 열 쾌적성과 관련이 있는 공기온도, 평균복사온도(MRT), 풍속, 습도, 열쾌적성 지표를 비교하여 공간에서의 미기후 변화가 가지는 의미 도출과 변화 특성을 관찰하고 그에 따른 개선방법을 제안하려고 한다. 열쾌적성 지표인 PET는 Physiologically Equivalent Temperature의 약자로 독일에서 개발되었다. PET의 사용목적은 여름철 야외공간에서 열스트스레스 정도를 <표17>과 같이 파악하기 위함이다. 열스트레스는 인체로 흡수되는 에너지량과 주변으로 방출되는 에너지량을 계산하여 얻어지는 값으로 인간과 공간 그리고 미기후변화를 함께 고려하여 결정된다. PET 시뮬레이션 실험은 면역력이 많이 떨어지는 열에 취약한 80세 남성 노인을 대상으로 재목 가공품 적용 전·후 공간 내 열스트레스 정도를 비교하기 위하여 진행하였다.

<표17> 열쾌적성 지표(PET) 온도별 구분

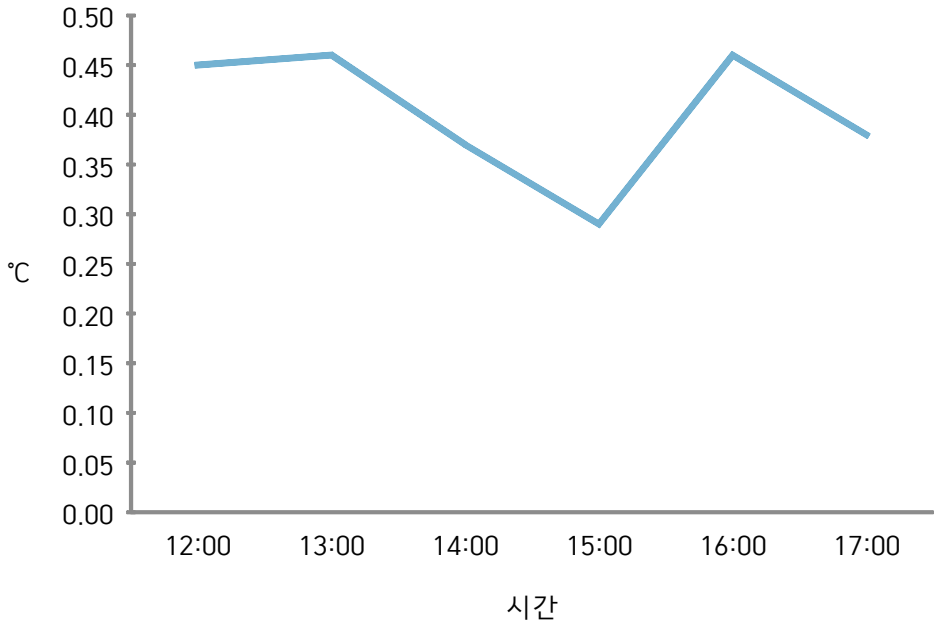
온도(℃)	열스트레스 정도
23~29	약한 열스트레스
29~35	중간 열스트레스
35~41	강한 열스트레스
41~	극한 열스트레스

제 4 장 시뮬레이션 결과 논의 및 결론

제 1 절 시뮬레이션 결과 논의

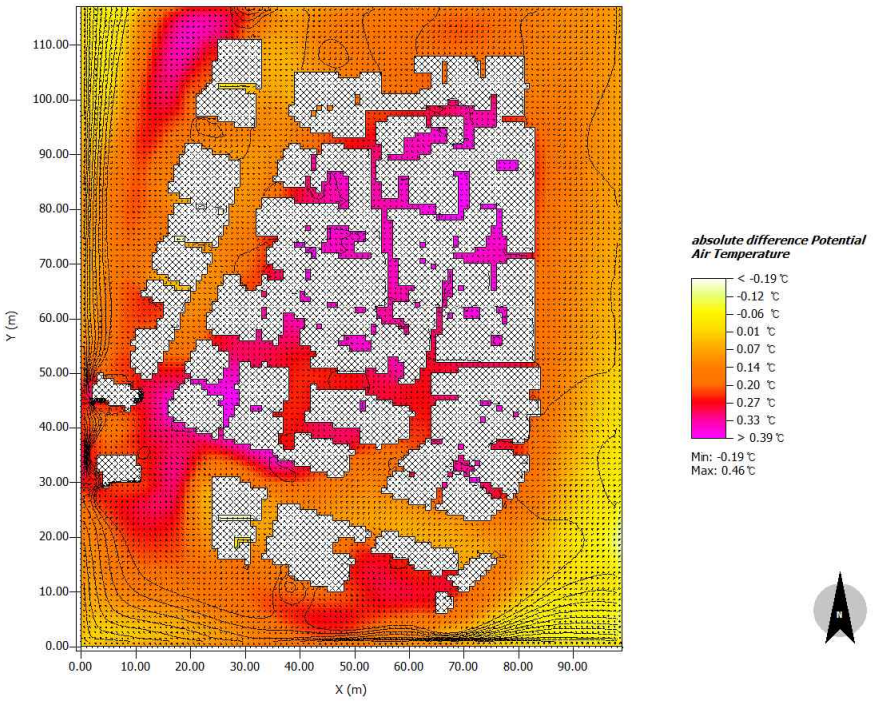
1.1. 공기온도 비교

대도시에서의 외부공간은 단순히 이동하는 통로가 아닌 삶을 영위하는 공간이면서, 사회적 삶을 연결해주는 공간이다. 관리형 주거환경개선사업은 중앙정부 주도의 하향식 정책이 아닌 지역 주도의 상향식 정책으로 시민 주도의 지역 맞춤 활성화를 추구하고 있다. 이러한 점에서 지역개발계획을 고려하여 가로공간을 평가하고, 가로공간의 질적 개선을 위한 계획의 제안은 연구의 의미를 가진다. 우선 실외 가로공간의 질적평가를 위하여 열쾌적성 요소들을 비교하였다. 첫 번째 요소는 재목 가공품 적용 전·후의 공기온도 변화 비교이다.



<그림5> 재목 가공품 적용 전·후 공기온도 변화 최댓값 차이

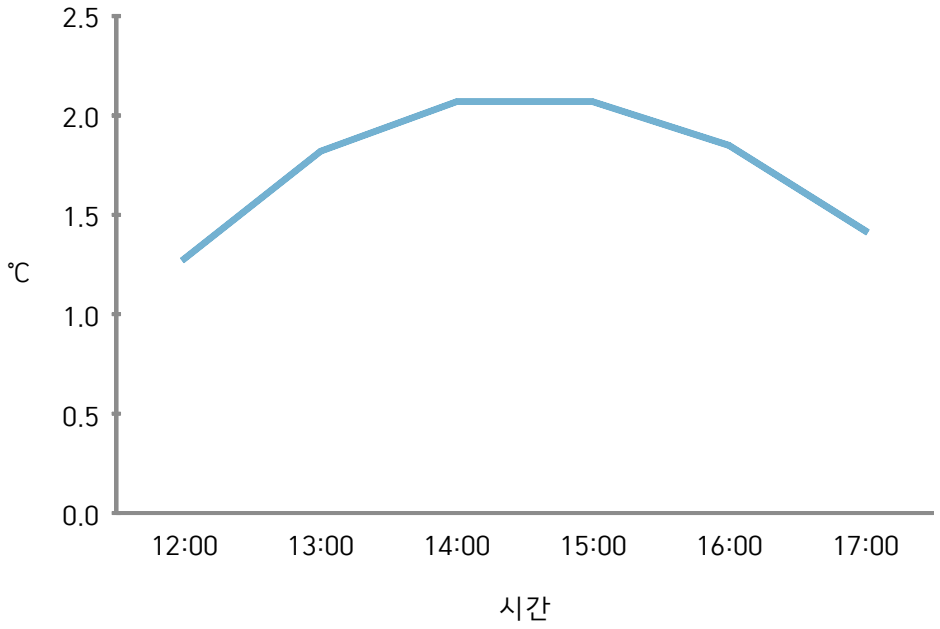
공기온도 시뮬레이션 결과 대상지 내부에서는 재목 가공품 적용에 따른 공기온도 차이가 발생하였다. <그림4>와 같이 각 시간대 별로 변화의 폭은 달랐지만, 12시부터 17시까지 일반적으로 재목 가공품 적용 후에 대상지 내 온도가 적용 전보다 낮았고, 최대로 낮은 경우는 13시와 16시에 각각 0.46℃까지 낮아졌다. 이를 통해 건축물의 외피재료 변경으로 도시 내 온도변화를 가져올 수 있음을 알 수 있다. 그리고 온도차이가 가장 큰 시간대 중 하나인 13시의 데이터를 통해 대상지 내부의 부분적 온도 차이를 확인 할 수 있다. <그림5>와 같이 공기온도 차이가 큰 지역은 대부분 연구 대상지 내 건물들에 의해 둘러싸인 부분에서 관측되었다. 이를 통해 재목 가공품의 적용은 구조물에 의해 둘러싸인 좁고 밀폐된 공간일수록 더 큰 효과를 보이고 있다. 즉, 좁고 밀집한 도시조직 형태에서 재목 가공품 적용은 온도 개선 효과를 보이고, 이를 통해 취약계층이 모여 있는 연구 대상지의 경우 기존 도시조직의 형태를 유지하면서 거주지 내부 및 가로환경 개선에 긍정적임을 알 수 있다.



<그림6> 2018년 8월 1일 13:00 재목 가공품 적용 전·후 공기온도 차이

1.2. 평균복사온도 비교

외부공간의 열 쾌적성을 판별하는 다른 요소로는 평균복사온도(MRT)가 있다. 평균복사온도는 폐쇄된 공간의 벽, 바닥, 천정 표면 복사열을 평균한 값이다. 이 지표는 공기온도와 다르게 물체의 표면과 인간 사이에서 발생하는 열적 교환을 설명한다. 이 연구에서는 실내공간의 열쾌적성 판단보다는 실외공간에서 공간을 둘러싼 건축물의 외피와 인간 사이에 발생하는 열적 교환을 수치적으로 파악하려고 한다.



<그림7> 재목 가공품 적용 전·후 평균복사온도 변화 최댓값 차이

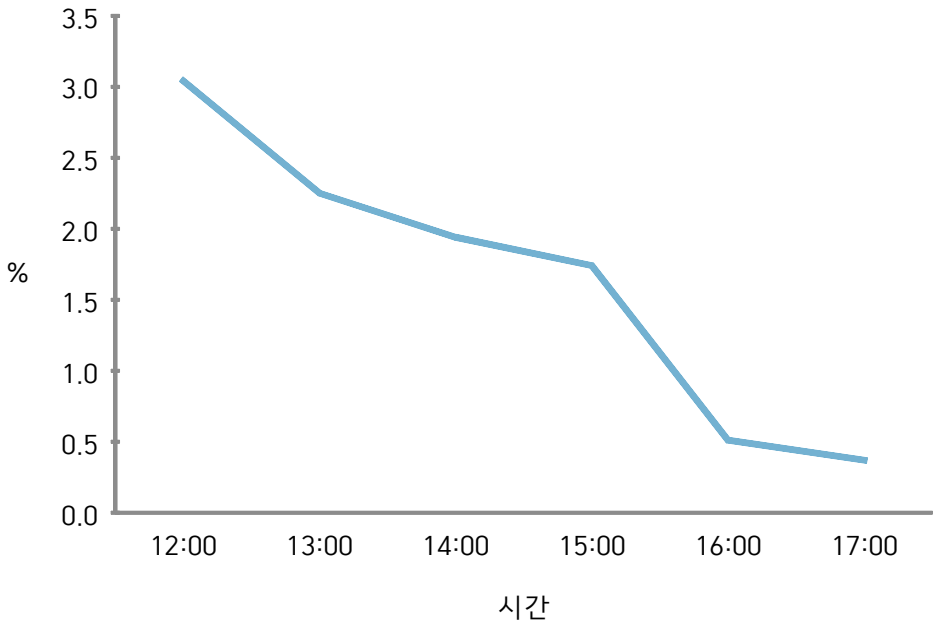
시뮬레이션 결과 14시와 15시에 재목 가공품 적용으로 인한 건축물 외피와 인간 사이에 발생하는 열 교환 차이가 최대 2.07℃까지 발생하였다. 그리고 눈여겨봐야 할 특징으로 평균복사온도 차이는 <그림7> 같이 건축물 외피부분에 가까울수록 재료변화에 따른 온도변화 차이가 크게 나타나고 있다. 이는 도로의 중앙으로 갈수록 온도변화 차이가 작아짐을 예측할 수 있어 공간 설계 관점에서 재료의 선택과 설계의 우선순위에 단서를 주고 있다. 또한, 공간설계 시

물리적 변화 뿐만 아니라 심리적 부분으로 확장할 수 있다. 평균복사온도를 설명할 때 실내기온이 같아도 여름의 뜨거운 표면에서 더 덥게 느껴지고, 겨울의 차가운 표면에서 더 춥게 느껴진다는 점에서 평균복사온도는 신체적·심리적 영향을 동시에 주고 있어 복합적인 가로환경개선을 도모해 볼 수 있다. 보행자의 보행특성을 고려할 때 보행은 주로 도로 중심보다는 건축물에 인접하여 나타나고, 건물의 출입구 위치 또는 용도에 따라 영향을 받는다. 즉, 도시공간을 구성하는 건축물의 외피 마감재는 도시공간을 이용하는 이용자에게 직접적인 영향을 줄 수 있음을 예측할 수 있다. 따라서 평균복사온도 결과는 대상지내 주거하는 취약계층의 신체적·정신적 열 쾌적성 개선을 물리적 환경개선을 통해 도울 수 있다.

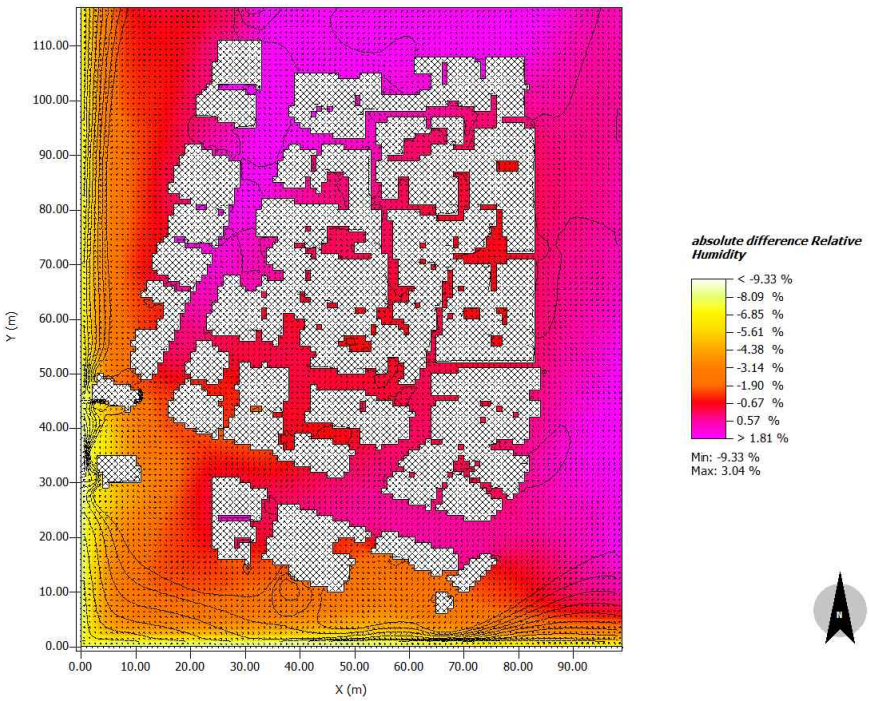
<그림8> 2018년 8월 1일 15:00 재목 가공품 적용 전·후 평균복사온도 차이

1.3. 습도 비교

습도는 인체의 냉온감에 영향을 미쳐 저습도와 고습도 환경에서 인체는 불쾌감을 느끼게 된다. 그리고 온도와의 관계에서 고온이나 저온에서 습도에 따라 인체의 열평형은 영향을 받는다. 한국의 여름철은 고온다습한 기후환경으로 불쾌지수가 증가하여 사건사고가 보고되기도 한다. 특히, 만성질환자의 경우 습도에 따라 질병이 악화되기에 취약계층을 위한 공간계획에서 고려할만한 요소이다. 열 쾌적성을 구성하는 요소로서 습도 차이 변화를 관측한 결과 <그림8>과 같이 습도는 재목 가공품 적용 후에 감소하는 것으로 나타난다. 습도 차이의 최댓값은 12시에 3.04%로 가장 높게 차이가 발생하였다. 다만, 연구 대상지 중심보다는 주변부에서 가장 크게 나타났다. 이는 대상지 중심부에서 재목 가공품 적용 전이 적용 후 보다 습도가 대략 -0.67%정도 낮게 나타났기 때문이다. 시뮬레이션 결과가 상반되게 나타나는 이유는 습도의 성질과 관련이 있다.



<그림9> 재목 가공품 적용 전·후 상대습도 변화 최댓값 차이

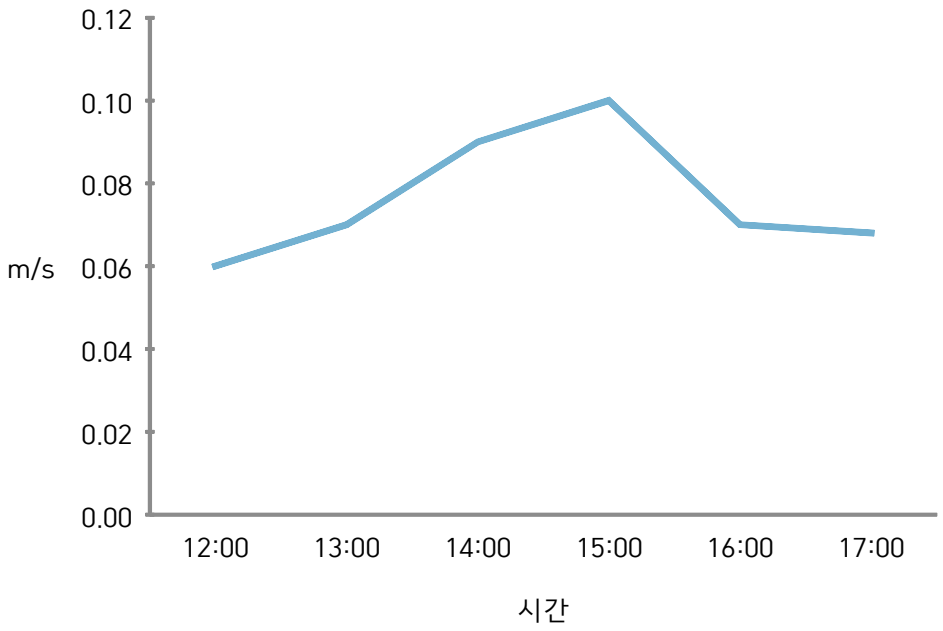


<그림10> 2018년 8월 1일 12:00 재목 가공품 적용 전·후 상대습도 차이

습도는 기온에 따라 다르게 나타나는데, 더운 낮에는 낮게 관측되고 냉각이 시작되는 밤에는 높게 관측되는 일변화를 보인다. 앞에서 재목 가공품 적용 전이 적용 후보다 공기온도가 높다는 것을 밝혔고, 그 결과 상대적으로 습도는 재목 가공품 적용 전이 낮게 나타나는 것으로 이해할 수 있다. 그리고 오후 시간으로 갈수록 재목 가공품 적용 전과 적용 후의 공기온도가 유사해짐에 따라 습도의 차이 또한 비슷해지는 경향을 보이고 있다. 습도 시뮬레이션 결과는 재목 가공품 적용이 주변부와 같은 건물이 덜 밀집한 지역에서 효과를 발휘함을 알 수 있었다. 따라서 습도를 고려한 가로환경개선은 연구 대상지 내 도로 폭 및 건축물 사이의 간격 확보가 우선적으로 제안되어야 한다. 하지만 기존 도시 조직을 유지해야 하는 이 연구의 특징으로 봤을 때 재목 가공품을 이용한 가로환경개선은 습도 개선에 한계점을 가지고 있다.

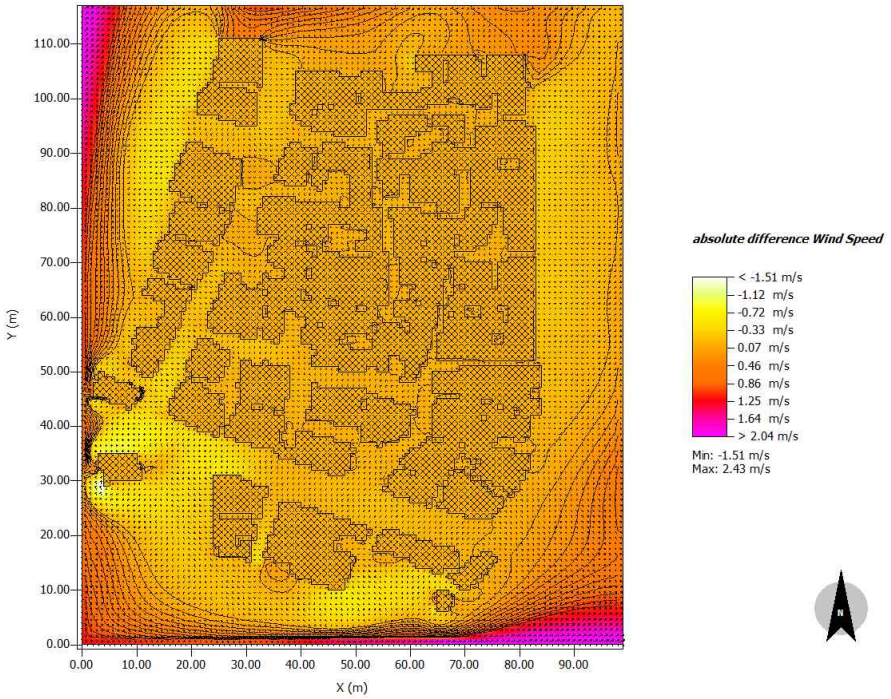
1.4. 풍속 비교

선행연구들에서 열섬효과 저감을 위한 방법으로 바람 길과 통풍공간 확보의 필요성을 제기하였다. 이를 위해 바람길을 고려한 단지배치 유형, 건축물의 형태 또는 통풍효과를 증대하기 위한 노후 주거지의 담장철거 및 장애물 철거 등 다양한 방법들을 제시하였다. 그 만큼 풍속 변화는 도시의 열섬효과에 효과가 있음은 분명하다. 하지만 연구 대상지의 경우 재개발 계획 보다는 소규모주택 정비사업 지역이기에 바람길 형성을 위한 건물의 재배치나 장애물 철거 등과 같은 물리적 환경 변화는 쉽지 않다. 하지만 풍속의 변화는 피복재료 변화로 인한 대기온도변화가 있으면 풍속도 개선될 수 있기 때문에 시뮬레이션 결과를 비교해 볼 수 있다. 풍속 시뮬레이션을 통해 재목 가공품 적용 전과 후의 풍속 변화를 비교했을 때, <그림11>과 같이 풍속 변화의 최댓값은 대상지 내부가 아닌 연구 대상지와 무관한 최외각에서 발생하였다. 따라서 풍속은 대상지 내부에서 발생하는 변화정도를 평균값을 비교하려고 한다.



<그림11> 재목 가공품 적용 전·후 풍속 차이 평균값

<그림10>과 같이 대상지 내부에서 발생하는 풍속 변화 차이를 확인했을 때, 최소 0.06m/s~0.16m/s의 범위 내에서 풍속이 개선되었다. 최대 변화인 0.16m/s의 변화는 15시경으로 나타났다. 도시 내 공기온도가 증가하면 공기흐름이 저하되어 풍속이 저하되고, 이는 열섬효과로 이어짐을 이론적 배경에서 설명하였다. 앞에서 공기온도와 평균복사온도가 개선되었음을 밝혔고, 이에 따라 풍속변화를 예상할 수 있었다. 시뮬레이션 결과 또한 큰 변화는 아니지만 이를 뒷받침하고 있어 재목 가공품 적용이 기존 선행연구와는 다른 방식의 열섬저감 방법으로 볼 수 있다. 다만 피복재료 변화를 통한 열섬효과 개선방법은 풍속변화에 큰 변화를 가져오지 않기 때문에 단일 방법 적용을 통한 열섬 개선은 한계점을 가진다.

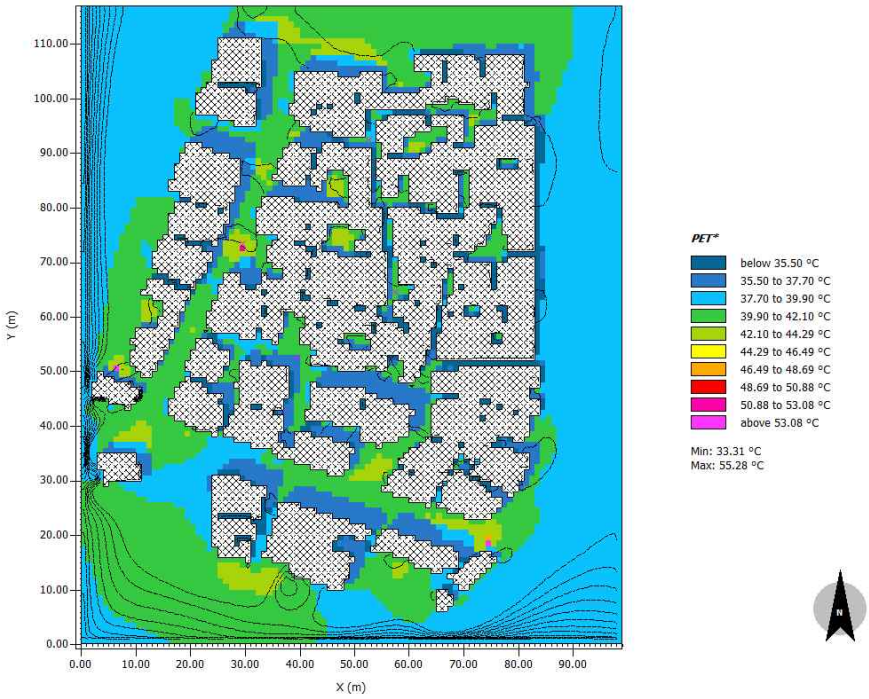


<그림12> 2018년 8월 1일 15:00 재목 가공품 적용 전·후 풍속 차이

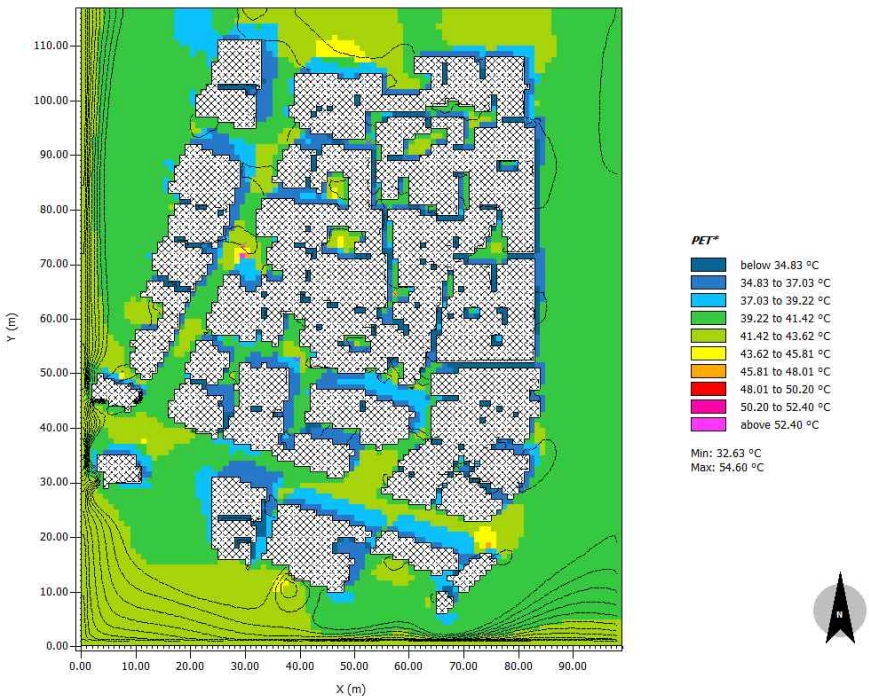
1.5. 열쾌적성 지표 비교

열쾌적성 지표는 여름철 야외공간을 대상으로 대기기온, 상대습도, 풍속, 평균복사에너지를 적용하여 공간의 열환경 특성 중 인간이 느끼는 열스트레스 정도를 파악할 수 있다. 열쾌적성 지표인 PET 시뮬레이션결과 12시부터 17시까지 재목 가공품 적용으로 대상지 내부에서는 온도개선 효과가 있었다. 그 중 <그림12>와 같이 건축물 주변에서 0.1~2.37℃의 범위로 열쾌적성 지표의 차이를 보였다. 이 결과로부터 온도차이가 가장 큰 부분은 주로 건축물의 외벽 주변에서 발생하고 도로의 중앙으로 갈수록 온도변화가 크지 않음을 알 수 있다. 이는 앞에서 실행했던 평균복사온도의 시뮬레이션 결과와 비슷한 경향을 따르고 있다. <그림13>과 <그림14>는 13시경 재목 가공품 적용 전과 후의 PET 시뮬레이션 결과로 건축물의 외피 부근에서의 온도를 구체적으로 확인하여 열스트레스 정도를 비교할 수 있다. 재목가공품 적용 전 최저 온도가 35.5℃로 강한 열스트레스 상태를 나타내고 있으며, 재목 가공품 적용 후 최저기온이 34.8℃인 중간 열스트레스 상태로 스트레스 지수가 감소하였다.

<그림13> 2018년 8월 1일 13:00 재목 가공품 적용 전·후 PET 시뮬레이션 비교



<그림14> 2018년 8월 1일 13:00 재목 가공품 적용 전 PET 시뮬레이션 결과



<그림15> 2018년 8월 1일 13:00 재목 가공품 적용 후 PET 시뮬레이션 결과

제 2 절 가로환경계획 제안

시뮬레이션 결과를 통해 재목 가공품 적용이 열섬저감에 효과가 있음을 확인하였고, 열쾌적성 요소들 중 평균복사온도와 열쾌적성 지표의 결과 비교를 통해 공간을 둘러싼 건축물의 외피, 가로의 노면 그리고 인간 사이에서의 열적 변화 특징을 확인 할 수 있었다. 이는 가로환경계획 시 재목 가공품 적용에 대한 방향성을 시사한다. 이번 장에서는 열쾌적성 지표 분석결과를 바탕으로 재목 가공품 적용을 통한 가로환경개선방법을 제안할 때, 재목 가공품 적용과 관련한 법규검토와 구체적인 가로환경개선 방안을 제안해보고자 한다.

2.1. 건축물 마감재료 법규검토

건축물 마감재로 목재와 관련된 재료를 사용하려면 법적 규제 안에서 적용되어야 한다. 가장 큰 이유로는 목재가 화재에 취약한 성질을 가지고 있어 화재의 확산을 방지해야 하기 때문이다. 따라서 건축법 및 국토교통부령에서는 화재에 취약한 재료의 무분별한 사용을 방지하기 위하여 목재사용을 위한 규제를 지키도록 명시하고 있다. 건축법 제52조의 제②항에서는 대통령령으로 정하는 건축물의 외벽에 사용하는 마감재료는 방화에 지장이 없는 재료로 하여야 하고, 마감재료의 기준은 국토교통부령으로 정한다고 명시되어 있다. 대통령령으로 정하는 건축물을 건축법시행령 제61조 제②항에서 설명하고 있다. 연구대상지 내의 건축물 특징과 관련해서는 제②항 제3호인 3층 이상 또는 높이 9미터 이상인 건축물의 경우 방화에 지장이 없는 재료로 해야 한다. 건축물의 마감재와 관련해서는 국토교통부령 제24조를 확인해야 하는데, 제⑦항에서 5층 이하이면서 높이 22미터 미만인 건축물의 경우 난연재료를 마감재료로 할 수 있다. 동일 항목에서 건축물의 외벽을 국토교통부장관이 정하여 고시하는 화재확산 방지구조 기준에 적합하게 설치하는 경우에는 난연성능이 없는 재료를 마감재료로 사용할 수 있다고 언급하고 있다. 여기서 화재확산방지구조는 국토교통부고시 제2020-263호의 제7조 제①항에서 수직 화재확산 방지를 위하여 외벽마감재와 외벽마감재 지지구조 사이의 공간을 화재확상방지재료를 매 층마다

최소 높이 400mm 이상 밀실하게 채울 것을 요구하고 있다. 제②항에서는 5층 이하이면서 높이 22미터 미만인 건축물의 경우에는 화재확산방지구조를 매 두 개 층마다 설치할 수 있음을 언급하고 있다.

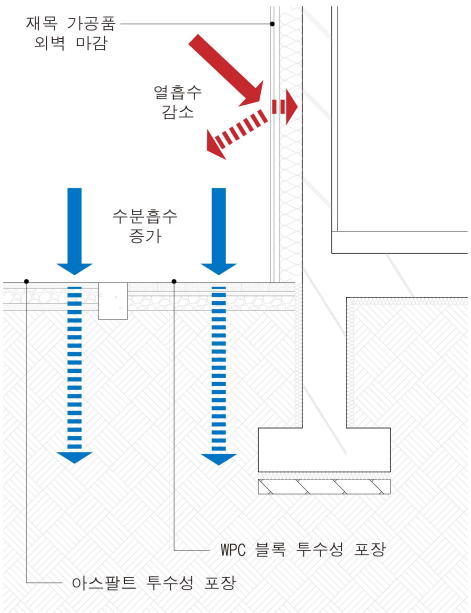
연구 대상지 내 건축물의 경우 3층 이상 또는 9미터 이상인 건축물에 해당하는 건축물은 8채에 해당하고, 주로 철근콘크리트 구조이며 일부 벽돌구조이다. 법적 제한을 받는 건축물들의 주구조인 철근콘크리트는 난연성능을 가지고 있어 구조적 재료에는 문제가 되지 않지만 외장재는 난연재료 또는 화재확산방지구조를 설치한 후 난연성능이 없는 재료를 설치하는 방법이 요구된다. 법적 검토를 통해서 연구 대상지는 대부분 저층 단독주택이 많아 재목 가공품 적용에 유리한 측면이 있다. 또한, 재료별 선행연구들을 살펴보면 목재의 난연처리는 목재의 고유기능과 성능을 해치지 않으면서 난연성능을 부여할 수 있어 건축 재료가 만족해야 하는 구조적 성능과 난연 성능을 동시에 만족할 수 있다. (손동원 등, 2013) WPC의 경우 열에 취약하다는 인식이 있지만 난연제를 주입하면 난연 성능을 향상시킬 수 있다. (이단비 and 김범준, 2016) 또 다른 재목 가공품인 목섬유단열재도 난연제 도포가 가능하고, 도포로 인하여 단열성능 저하가 없어 소방기준을 만족하는 단열재가 가능하다.

법적 검토와 선행연구를 통해 재료별로 적용 가능성을 검토하였고, 결과적으로 외벽에 사용되는 WPC와 목섬유단열재는 화재기준을 만족하면서 일반 단독주택단지에 적용할 수 있음을 알 수 있었다. 연구 대상지는 대부분이 3층 미만의 저층주거지로 난연재료의 사용이 반드시 필요한 것이 아니나 일부 3층 이상의 주택의 경우 난연성능이 있는 목재나 화재확산방지구조를 적용한 후 난연성능이 없는 재료를 사용하여야 한다.

2.2. 가로환경개선방법 제안

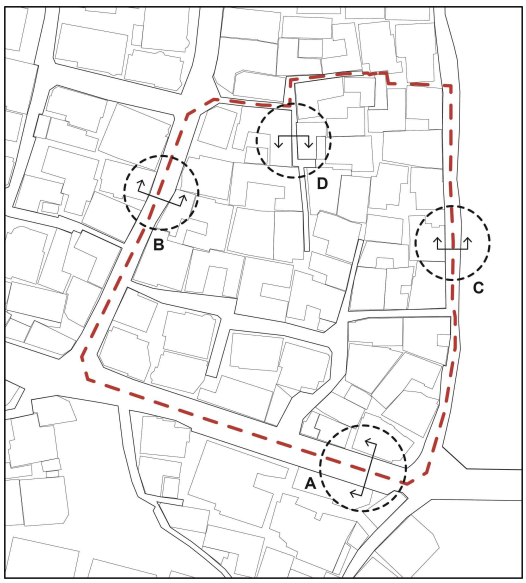
주거지 근린보행환경은 근린생활권 내 거주자의 생활이 이루어지는 공간이자 통행이 이루어지는 곳이다. 근린보행환경 내에서의 보행활동은 근린 생활권 내의 도시 형태나 물리적 환경에 영향을 받고, 보행환경의 질적 판단은 보행자의 개개인의 특성과 경험적·인지적 요인들에 의해 이루어진다. (이소민, 2022)

이 연구에서는 시뮬레이션 결과를 바탕으로 근린 보행환경의 열환경 개선을 위한 근린 보행환경의 질적 개선방법을 제안하려고 한다. 가로별 열환경 개선을 위한 가로공간계획은 시뮬레이션 결과 중 열쾌적성 지표에서 나타난 열적 분포 특성을 참고하였다. 재목 가공품 적용 후 PET 시뮬레이션에서 열변화가 가장 큰 부분은 건축물의 외피부근에서 나타났고, 열스트레스 지수 또한 건축물의 외피부근이 도로의 중심보다 낮게 관측이 되었다. 취약계층인 고령자의 경우 보행 경로선택에 영향을 주는 물리적 요소는 건물높이, 보도유무, 도로위계, 공공시설 접근성, CCTV의 유무이다. (이소민, 2022) 취약계층의 보행특성 중 보도유무와 공공시설 접근성을 고려했을 때, 가로환경개선은 건축물의 외피와 외피부근의 보행공간에서 우선적으로 시작되는 것이 합당해 보인다. 가로환경개선을 위한 계획 개념은 <그림15>와 같이 건축물의 피복과 보도에 재목 가공품을 적용하여 열 흡수를 줄이는 것을 목적으로 하고 있으며, 노면의 경우 투수성 포장에 의한 수분 유지로 노면이 건조해지는 것을 방지하려고 한다. 이 연구에서는 재목 가공품 적용을 통한 가로환경개선방법을 가로의 유형과 건축물의 구조 유형에 따라 제안하려고 한다.



<그림16> 가로환경개선계획 개념

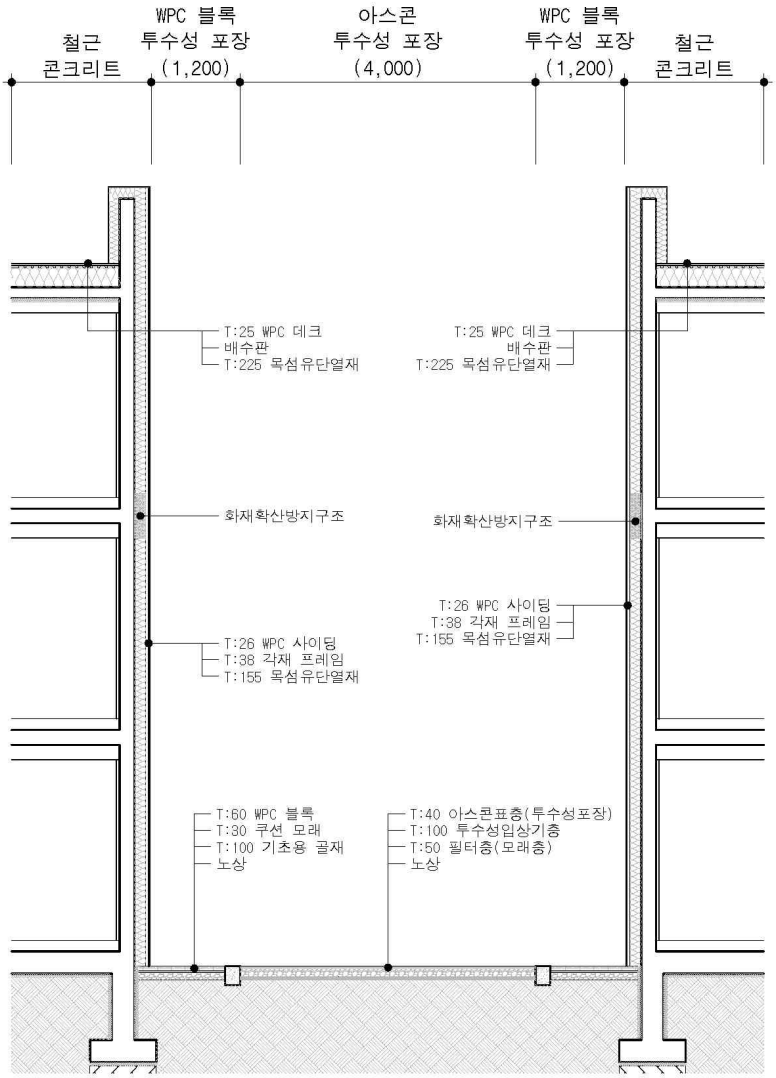
가로 유형별로 재목 가공품을 건축물의 피복과 도로에 적용하기 위해서는 가로별 특징을 파악해야 한다. 가로 위계별로 보면 <그림16>과 같이 A>B>C>D로 볼 수 있다. A, B, C 도로는 연구대상지를 둘러싸고 있는 보차혼용도로로 보행자와 자동차의 사용이 동시에 일어나고 있으며, 도로 D는 연구대상지 내부도로로써 좁은 도로 폭을 가지고 있어 보행과 오토바이, 자전거 이동만이 가능하다. 이들 도로는 인보구 범위의 보행권 안에 위치해 있어 거주자의 보행이 가장 빈번하게 이루어고 있으며, 일상과 가장 밀접한 공간으로 볼 수 있다. 건축 구조 유형으로 보면 연구 대상지 내부는 목조주택이 대부분이며 도로 A, B, C에 인접하여 철근콘크리트 및 연와조 등 목조 이외의 다른 구조 형식의 건물이 위치해 있다.



<그림17> 연구 대상지 내 가로환경개선계획 가로샘플

첫 번째 제안은 도로A인 장충단로 10길을 중심으로 제안하려고 한다. 도로A는 평균 6.4m로 대상지 내에서 위계가 가장 큰 도로이고 보행자와 차량이 혼재하여 사용되고 있다. 이는 가로의 사용성과 내구성이 보장되어야 하며, 또한 보행자의 쾌적한 보행을 동시에 보장해야 한다. 이를 위해서 건축법 상 일반도로 규정인 4m를 충분히 확보한 후, 나머지 2.4m 부분에 재목 가공품을 적용한 보행환경을 제안하려고 한다. <그림17>과 같이 건축물의 외피에 WPC

외장재를 적용하여 외벽을 개선하고, 외벽 부근 노면에는 WPC 블록 투수포장을 적용하여 열환경 개선 보행통로를 구성할 수 있다.



<그림18> 도로A 가로환경개선계획

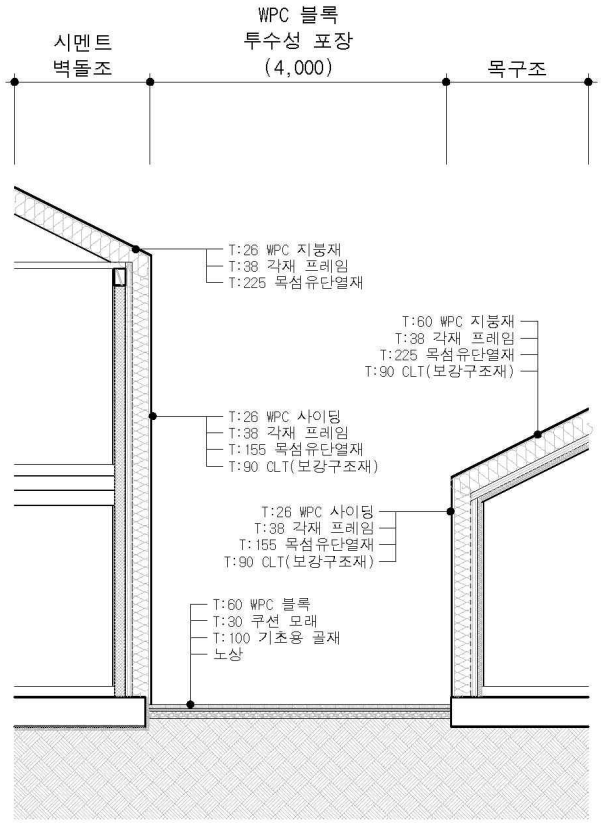
열쾌적 지표 결과인 도로 중심으로 갈수록 열환경 개선에 큰 변화가 없다는 점에서 차량을 위한 4m 도로 폭에는 WPC 블록 투수포장이 아닌 아스팔트 투수포장으로 대체하여 차도의 성능을 유지하면서 불투수면을 감소하는 방법을 제안한다. 구조 유형별로는 도로 A에 인접한 건물들의 높이가 3층 이상이 되

는 경우가 많다. 9m 이상 또는 3층 이상의 건축물은 외벽 마감재 사용에 대한 법적 제한이 있어 규정에 맞게 적용해야 한다. 목재 외장재를 사용할 수 있는 방법으로는 난연성능이 있는 WPC 외벽마감재를 사용하거나, 화재확산방지구조 규정에 따라 외벽 일부에 화재확산방지재료를 적용하여 난연성능이 없는 목재 외장재를 사용하는 방법이 있다. 그리고 3층 이상이 되는 건축물은 대부분 철근콘크리트 건축물로 주요 구조부가 온도변화에 취약하여 목섬유단열재의 설치 방법과 적용 두께를 고려해야 한다. 재목 가공품의 외벽 적용 방법은 구조형식에 상관없이 모두 같은 시공방법을 적용한다. 외벽 구조 위에 형강 또는 각재를 이용하여 프레임을 만들고 그 사이에 목섬유단열재를 채운다. 그리고 그 위에 외벽 마감인 WPC 사이딩을 T&G방법과 피스로 고정한다. 이 방법을 통하여 건축물의 열 축적을 방지하고, 화학제품 사용을 줄여 친환경적인 보행공간을 형성하는 방식이다.

<그림19> 도로A 가로환경개선계획 이미지

도로 B는 퇴계로 66길로 연구 대상지 좌측에 있는 도로이다. 도로 폭은 대략 4m로 건축법 상 일반도로 기준을 충족한다. 하지만 도로 A와 다르게 차량을 위한 아스팔트 투수포장은 고려되지 않고 <그림19>과 같이 WPC 블록 포장만 적용하고, 건축물의 외벽 마감은 WPC 외벽 마감재를 100% 활용하는 방

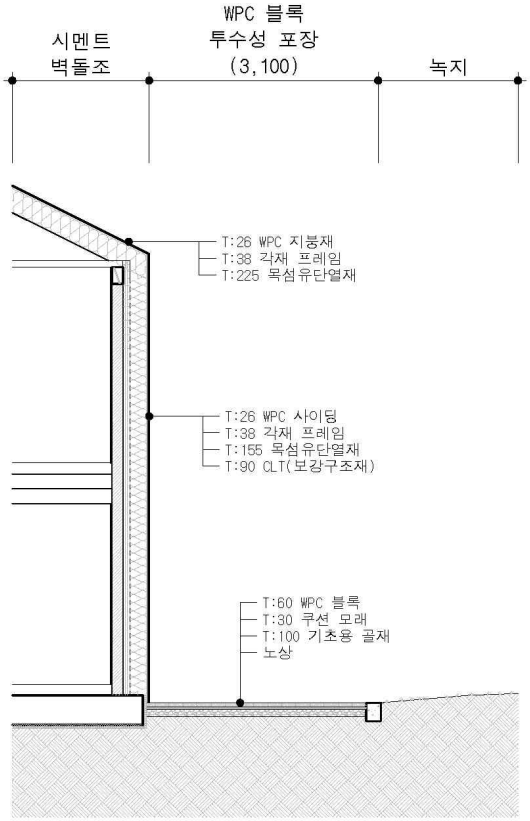
안을 제시하려고 한다. 구조 유형별로 보면 도로 B의 경우 평균 4m의 폭을 두고 다양한 형식의 건축구조형식이 분포해 있다. 도로 B에서도 3층 이상의 철근콘크리트 구조물이 있어 난연성능이 있는 WPC 외벽마감재 또는 화재확산방지구조를 적용하여야 한다. 방화규정 구조 형식은 <그림17>에서와 같이 건축물의 외벽에 적용하면 된다. 도로 B에서의 건축물의 구조는 철근콘크리트, 목구조, 시멘트 블록조로 조사되었다. 철근콘크리트구조를 제외한 목구조, 시멘트 벽돌조는 재목 가공품 적용을 위해서 리모델링이 가능하지만 건축물의 현재 상태에 따라 추가적인 구조보강 이나 신축이 요구될 수 있다. 이 연구에서는 리모델링을 위한 벽체보강은 공학용 구조재인 CLT 판재를 적용하는 방법을 제안하려고 한다. <그림19>는 도로 B의 한 부분을 예시로 작성되었으며, 시멘트 벽돌조와 목구조에 의해 둘러싸인 가로를 대상으로 개선계획을 제안하고 있다.



<그림20> 도로B 가로환경개선계획

<그림21> 도로B 가로환경개선계획 이미지

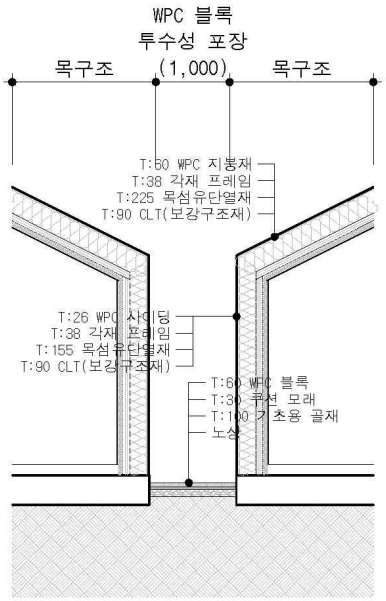
도로 C는 퇴계로 66번길 중 연구 대상지 우측에 위치해 있다. 이 도로는 최대 폭이 3.1m로 일반도로 규정인 4m를 충족하지 못하고 있어 일반도로로 볼 수는 없지만 차량이나 오토바이 등 이동수단 접근은 가능하다. 또한 도로 한편은 녹지에 인접해 있어 충분한 통풍공간을 확보할 수 있다. 녹지와 통풍공간 확보는 WPC 블록 투수포장과 재목 가공품으로 구성된 공간에 추가적인 열적 개선을 기대해 볼 수 있다. 또한, 다른 지역과 다르게 광희문과 성곽이 있어 일반적인 녹지공간이 아닌 문화자원으로서의 녹지공간으로 접근해야 한다. 녹지와 문화자원을 동시에 고려하면서 가로환경을 개선하기 위해서는 가로환경을 구성하는 재료의 적절한 선택이 필요하다. 이러한 도시적 맥락에서 재목 가공품 적용은 향후 문화적 맥락을 만족하는 이미지를 형성하고, 동시에 가로의 환경을 개선할 수 있는 제안이 될 것이다. 이에 도로 C도 도로 B와 같이 가로 노면과 건축물 외벽에 재목 가공품을 100% 활용하는 가로환경개선계획을 제안하려고 한다. 구조 유형별로는 도로에 인접한 건축물의 경우 2층 이하의 저층 구조물이 대부분이며 목조와 벽돌조가 대부분이다. 따라서 재목 가공품 적용에 자유롭지만 재목 가공품을 적용할 때 도로 B와 같이 구조별 현황을 제대로 파악한 후 구조적 안정성을 확보할 수 있는 방법을 적용해야 한다.



<그림22> 도로C 가로환경개선계획

<그림23> 도로C 가로환경개선계획 이미지

도로 D는 대략 1m의 폭으로 대상지 내에서도 좁은 가로환경을 형성하고 있다. 보행자의 통행과 오토바이 또는 자전거의 이동만 가능하며, 연구 대상지 내부의 주택들을 진입할 때 필요한 주요 통로이다. 도로 D는 위계상으로 가장 낮으며 내부에 위치해 있어 거주자의 활동과 이동에 가장 큰 영향을 주는 공간으로 볼 수 있다. 즉, 취약계층에게는 주요 통행로이자 이웃과 만나는 삶의 공간으로 도로 D의 가로공간의 열환경 개선은 취약계층의 삶에 큰 영향을 줄 것으로 예측할 수 있다. PET 분석 결과 최대 2.37℃ 열스트레스 저하가 관측되어 다른 가로보다 도로 D와 같이 밀집한 주거에 의해 형성된 가로에서 재목 가공품 적용이 더 큰 열섬저감 효과를 보였고, 이는 이 연구에서 목표로 하는 취약계층을 위한 열섬현상 저감방법으로 도시조직을 유지하면서 가로환경개선을 제안할 때 재목 가공품 적용이 효과적인 대안으로 볼 수 있다. 도로 D도 WPC 투수포장과 재목 가공품을 외벽에 100% 적용하는 방법으로 가로를 구성하는 것을 제안하려고 한다. 건축물 구조 형식은 대부분 목조구조이며 일부 블록조 건축물로 가로가 구성되어 있다. 도로 B와 C 같이 재목 가공품 적용 시 구조별 현황을 제대로 파악해야 하며, 적절한 구조보강이 필요하다.



<그림24> 도로D 가로환경개선계획

<그림25> 도로D 가로환경개선계획 이미지

제 5 장 결론

제 1 절 연구결과 요약

본 연구는 도시 열섬효과의 원인을 도시공간의 형태와 피복의 종류에 의해서 발생한다고 보았다. 그리고 여름철 도시열섬현상은 이상기온인 폭염과 함께 취약계층에서 온열질환자를 발생시켜 취약계층의 삶을 위협하고 있다. 이상기후변화는 일시적인 현상이 아니라 계속해서 심화될 것으로 예측되고 있어 도시공간 형태에 의해 발생하는 열적 문제로부터 취약한 계층을 보호하는 것은 도시 관리 측면에서 잠재적 손해를 줄일 수 있다. 이에 심화되고 있는 열환경 변화 속에서 취약한 계층을 지원할 수 있는 대응책으로 가로공간에 재목 가공품을 적용하는 것이다. 재목 가공품은 목재의 성질과 유사하거나 개선되어 열적·물리적 성질이 향상되고 있으며 적용범위도 다양해지고 있는 추세이다. 이는 기존 건축물에 사용되는 재료와 비교하여 상대적으로 유리한 측면이 있다. 그 중 하나는 기존 도시 조직에 쉽게 적용이 가능하고, 열적 성능이 상대적으로 좋다는 점이다. 재목 가공품의 내구성과 수명 또한 건축 재료가 갖추어야 할 성능을 만족하고 있어 기존 재료를 대체하는데 큰 무리가 없다. 이에 열섬효과와 취약계층이 동시에 관측되는 중구 광희동 단독주택 밀집지역을 대상으로 가로의 열환경 개선을 위하여 재목 가공품을 적용하였고, 전산유체역학 시뮬레이션을 이용하여 재목 가공품 적용에 따른 미기후 변화를 관측하였다. 그 후 시뮬레이션 결과를 분석하여 가로환경개선을 위한 가로별 계획들을 제안하였다.

ENVI-met 시뮬레이션을 사용하여 열쾌적 요소인 대기온도, 평균복사온도, 풍속, 습도 그리고 열쾌적성 지표(PET)를 재목 가공품 적용 전과 후로 나누어 실행한 후 결과를 비교하였다. 결과적으로 열쾌적 요소들은 전체적으로 재목 가공품 적용으로 개선됨을 보였다. 이에 몇 가지 결론을 도출할 수 있었다. 첫 번째로 목재의 높은 비열용량으로 인한 재료의 온도변화가 크지 않았고, 이는 가로공간에도 영향을 미쳐 미기후가 상대적으로 개선되었다. 이러한 특징은 온도가 급격히 증가하는 여름철 폭염 상황에서 다른 건축 재료에 비해 상대적으로

안정적인 열적 변화를 가져올 수 있다. 두 번째로는 열쾌적성 지표(PET) 결과에서 보인 것과 같이 건축물의 외피에서 평균 1℃의 열적 개선과 낮은 열스트레스 결과이다. 건축물의 외피에서의 온도개선은 실제로 가로공간을 사용하는 사용자의 입장에서 직접적으로 영향을 받는 부분이다. 특히, 고온이 예측되는 여름철 실외활동이 필요한 경우 건축물의 외피부근에서 열환경이 개선된 통행로 또는 외부 쉼터를 제공할 수 있으며 이는 다른 인공적인 피복보다 열적으로 안전한 환경을 제공할 수 있다. 게다가 열쾌적성 지표의 시뮬레이션에서 보이는 열적 변화 패턴을 이용하여 도시설계적 대안을 제시해 볼 수 있다. 세 번째는 시뮬레이션을 통해 미시적 관점에서 지역 환경에 맞는 개선방법을 강구할 수 있다는 점이다. 전산유체역학 시뮬레이션의 장점으로 다양한 재료의 적용과 자유로운 연구범위를 설정 할 수 있다. 이는 재료의 한계와 행정적 범위에서 벗어나 도시를 관찰할 수 있다는 점이다. 이를 통해 열쾌적성 요소들의 국지적 변화를 재료별로 또는 규모별로 비교할 수 있고, 이는 적절한 소규모 정비사업 활성화를 유도할 수 있다. 시뮬레이션을 통한 소규모 정비사업 지원이 미치는 영향으로는 지역의 물리적·정책적·환경적 여건을 고려한 정비사업 추진, 안전취약계층 보호 및 지원을 위한 법과 제도 정비, 안전취약계층 보호를 위한 인프라 확대 등이 있을 수 있다.

제 2 절 연구의 한계 및 토론

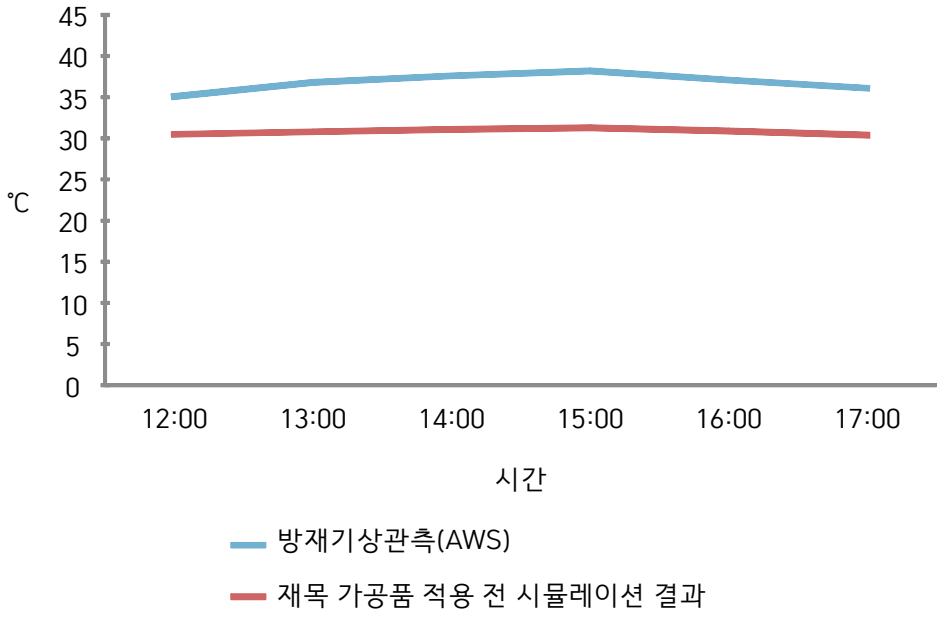
도시 내 열섬효과 저감을 위하여 외부 가로공간을 구성하는 요소인 건물의 외벽과 지붕, 그리고 노면에 재목 가공품을 적용한 후 전산유체역학 시뮬레이션 프로그램인 ENVI-met으로 가로환경을 평가를 진행하였다. 시뮬레이션 결과 열쾌적성 요소인 공기온도, 평균복사온도, 풍속, 습도, PET가 개선됨을 확인하였다. 그리고 시뮬레이션 결과를 바탕으로 가로환경개선을 위한 대안들을 대상지 내 가로별 특징에 따라 제안하였다. 그러나 시행된 시뮬레이션은 서울시 내 일부지역을 대상으로 제한된 조건 속에서 진행되었기에 시뮬레이션 결과가 대표성을 가질 수 없다는 점과 재목 가공품들의 도시 내 적용에 대한 연구와 논의가 충분하지 않다는 한계점을 가지고 있다. 이에 연구가 가지는 한계점을 자세하게 논의를 해보고자 한다.

1) 도시 공간 내에서 미기후 변화는 위치별·시간별·계절별로 다르게 나타나고 변화된 미기후는 외부 환경뿐만이 아니라 실내 환경에도 영향을 준다. 이 연구에서는 외부 환경 중에서도 가로공간만 대상으로 하고 있어 외부환경과 내부환경 모두를 통합적으로 다루고 있지 않는 한계점을 가지고 있다. 이에 다양한 관점에서 추가적인 데이터와 방법론이 축적되어야 할 필요성이 있다.

2) 시뮬레이션에 사용된 데이터가 대부분 해외업체나 연구들에 의존하고 있어 한국의 상황을 100% 반영하지 못한 한계성을 가지고 있다. 한국의 경우 재목 가공품 또는 목재를 도시에 적용하는 사례는 많지 않다. 이는 데이터의 부족으로 이어져 도시 범위에서 목재나 재목 가공품을 이용한 연구가 쉽지 않은 상황이다. 이러한 환경이 조성된 이유는 신생 사업이 가지는 산업 인프라 부족, 부족한 산림자원과 산림운영, 목재 사용에 부정적인 사회적 분위기, 제품 가격의 경쟁성, 건축 재료로써의 법적 규제, 부족한 정책 지원 등으로 추측해 볼 수 있다. 또 다른 데이터 한계는 한국의 기상청 데이터로는 시뮬레이션에 필요한 데이터 구성을 만족할 수 없었다. 특히, ENVI-met 시뮬레이션에서 요구하는 값 중 운량 데이터 값을 구할 수 없었다. 태양 복사 에너지는 지표면으로 도달하는 양이 많지만 대기의 기상상태에 따라 우주로 반사되는 양이 달라진다. 특히, 구름의 종류와 양은 태양 복사 에너지 반사에 영향을 주는 요소이고 이는

시뮬레이션 결과에 영향을 주기 때문이다.

3) 시뮬레이션 결과를 검증하기 위해 실측이 진행되지 않아 시뮬레이션 결과가 실제와 다를 수 있다는 점이다. 시뮬레이션 결과를 방재기상관측(AWS) 자료와 비교해본 결과 <그림21>과 같이 차이를 보였다. 중구를 관측하는 방재기상관측시설은 2개소로 관측기구의 설치 위치가 시뮬레이션 설정과 같지 않아 미기후 변화가 다르게 나타난다. 다양한 도시공간 형태는 각기 다른 미기후를 형성한다는 점에서 충분한 연구를 통한 수정과 보완이 필요하다.



<그림26> 방재기상관측(AWS)과 시뮬레이션 대기온도 결과 비교

4) ENVI-met의 특성상 시뮬레이션 모델링이 정밀하지 않다는 점이다. 이는 노후 주거지와 같은 조밀한 도시조직에서는 프로그램의 한계로 인하여 시뮬레이션이 원활하지 않다. 이 연구에서도 건물이 밀집하게 인접 배치된 경우와 좁은 도로에서 세부적인 표현이 불가능했으며, 건물의 입면 디테일을 실제 건물의 입면만큼 표현할 수 없었다. 이에 따라 도시공간을 완벽하게 해석할 수 없다는 점에서 아쉬운 점이 남는다. 한계점 극복을 위해서는 다른 전산유체역학 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션 결과 비교·분석 또는 실측을 통한 방법이

있을 것이다.

5) 재목 가공품을 이용한 가로환경개선 제안 과정 중 정책적 지원에 관하여 몇 가지 한계점을 찾아볼 수 있었다. 재목 가공품들은 개별분야에서 연구가 활발히 진행되고 있지만, 이들이 복합적으로 적용된 환경에 관한 연구와 논의가 드물었다. 또한, 실제 지원정책에서는 적용 가능한 제품의 범위를 제한하고 있어 재목 가공품 적용이 불리하게 되어있다. 에너지효율개선 공사 자재 권장 사용기준을 보면 외단열 기준 열관류율 0.37W/㎡·K 이하를 만족해야 하며 가등급 단열재 60mm 이상을 사용해야 지원을 받을 수 있다. 이 기준에서 0.37W/㎡·K 이하를 만족하려면 가등급 단열재는 80mm 이상 사용해야 하고, 건축물의 상태에 따라 적용 두께가 달라질 수 있다. 하지만 나등급 단열재인 목섬유 단열재는 기본적인 요구조건인 등급을 만족하지 못하고 있어 지원 대상에서 제외된다. 가등급 단열재가 나등급 단열재보다 가격 경쟁성이나 성능면에서 현재 우수하지만 대부분의 가등급 단열재는 화학제품으로 장기적인 관점에서 친환경 제품인 재목 가공품 사용은 재고 할만하다. 또한 다른 재목 가공품의 복합적인 사용으로 단열재 두께를 줄일 수 있다. 건축물의 외벽에서 외부 마감재 종류와 설치방법에 따라 단열성능을 확보할 수 있기 때문이다. 따라서 복합적인 재료 사용과 적용에 관한 충분한 연구와 지원정책 논의는 가로환경 개선을 위한 다양한 가능성을 제시할 것이다.

이 연구가 가지는 의의는 도시적 관점에서 재목 가공품 적용에 대한 긍정적인 효과를 객관적으로 밝히고 그 결과에 따라 재목 가공품의 적용 방법을 제안한다는 점에서 기존 연구들과는 차별성을 가지고 있다. 하지만 이 연구에서 제안하는 방법은 실제로 도시에 적용된 적이 없어 현실성이 많이 부족한 실정이다. 이에 후속 연구로는 앞에서 논의한 한계점을 바탕으로 추가적인 연구 및 논의가 진행될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

Ng, Edward (2010). "Urban Climate in Dense Cities." Designing High-Density Cities. Routledge, 2010. 100-12. Web.

Abdollahzadeh, N. and N. Biloria (2021). "Outdoor thermal comfort: Analyzing the impact of urban configurations on the thermal performance of street canyons in the humid subtropical climate of Sydney." Frontiers of Architectural Research 10(2): 394-409.

Aniceto Zaragoza, R. and M. César Bartolomé (2012). Albedo Effect and Energy Efficiency of Cities. Sustainable Development. G. Chaouki. Rijeka, IntechOpen: Ch. 1.

Chatzinikolaou, E., et al. (2018). "URBAN MICROCLIMATE IMPROVEMENT USING ENVI-MET CLIMATE MODEL." The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-4: 69-76.

Couturier, M. F., et al. (1996). "Thermophysical properties of wood-polymer composites." Wood Science and Technology 30(3): 179-196.

Herath, H. M. P. I. K., et al. (2018). "Modeling a Tropical Urban Context with Green Walls and Green Roofs as an Urban Heat Island Adaptation Strategy." Procedia Engineering 212: 691-698.

Kandya, A. and M. Mohan (2018). "Mitigating the Urban Heat Island effect through building envelope modifications." Energy and buildings 164: 266-277.

Lee, H., et al. (2016). "Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany." Landscape and Urban

Planning 148: 37-50.

Li, Y., et al. (2020). "On the influence of density and morphology on the Urban Heat Island intensity." Nature Communications 11(1): 2647.

Lim, H., et al. (2022). "Analysis of Thermal Environment Modification Effects of Street Trees Depending on Planting Types and Street Directions in Summertime Using ENVI-Met Simulation." Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 50(2): 1-22.

Lucchini, A., et al. (2014). FAÇADISM AND CLT TECHNOLOGY: AN INNOVATIVE SYSTEM FOR MASONRY CONSTRUCTION REFURBISHMENT.

Manteghi, G., et al. (2016). "ENVI- MET SIMULATION ON COOLING EFFECT OF MELAKA RIVER." International Journal of Energy and Environmental Research 4: 7-15.

Oke, T. R. (1988). "Street design and urban canopy layer climate." Energy and buildings 11(1-3): 103-113.

Pang, S.-J., et al. (2017). "Insulation Saving Effect for Korean Apartment House Using Cross-Laminated Timber (CLT)." 목재공학(Journal of the Korean Wood Science and Technology) 45(6): 846-856.

Roman, K. K., et al. (2016). "Simulating the effects of cool roof and PCM (phase change materials) based roof to mitigate UHI (urban heat island) in prominent US cities." Energy 96: 103-117.

Yang, S. (2019). "A Feasibility Study of Wood-plastic Composite Paver Block for Basic Rest Areas." Journal of the Korean Wood Science and Technology 47: 51-65.

Yang, S. (2019). "A Feasibility Study of Wood-plastic Composite

Paver Block for Basic Rest Areas." Journal of the Korean Wood Science and Technology 47: 51-65.

Yang, Y. K., et al. (2017). "Effect of PCM cool roof system on the reduction in urban heat island phenomenon." Building and Environment 122: 411-421.

Yang, Y. K., et al. (2019). "PCM cool roof systems for mitigating urban heat island - an experimental and numerical analysis." Energy and buildings 205: 109537.

구해정, et al. (2012). "인공열이 도시경계층에 미치는 영향 -경인지역을 중심으로." 환경영향평가 21(5): 665-681.

권유진, et al. (2019). "미시적 열섬현상 저감을 위한 도시 가로수 식재 시나리오별 분석 - 서울시를 대상으로." 환경영향평가 28(1): 23-34.

김경아, et al. (2016). "지붕 색상 변화에 따른 건축물의 열환경 및 쿨루프 적용가능성 분석." 한국건축친환경설비학회 논문집 10(6): 409-415.

김민영, et al. (2016). "폭염 및 도시열섬현상에 따른 노후 주거지의 적응 계획기법에 관한 연구 - The Research of Planning Method of Adaption for Old Residential Neighborhoods According to Heat wave and Urban Heat-island Phenomena - Focused on Gun-Ja Dong, Gwang-Jin Gu." KIEAE Journal: 31-40.

김병우 (2021). 도심열섬현상의 저감을 위한 지속가 능한 해결책으로서의 옥상습지 연구, 제주대학교 대학원.

김상옥, et al. (2009). 토지피복 변화가 도시열수지에 미치는 영향에 관한 수치시뮬레이션, 한국태양에너지학회.

김용진, et al. (2011). "기후변화에 따른 도시열섬현상 특성 변화와 도시설 계적 대안 모색에 관한 기초연구." 한국도시설계학회지 도시설계 12(3): 5-14.

박소희, et al. (2017). "도시열섬 완화를 위한 쿨 루프 성능평가." 대한건

축학회 논문집 - 구조계 33(4): 55-62.
박수진 (2013). "도시협곡 외관비에 따른 대기질 특성 연구." 부경대학교 대학원 석사학위논문.
박종화 (2023). "ENVI-met v4.0을 활용한 노후 공업단지 인접 단독주택지의 열 쾌적성 평가." 디지털콘텐츠학회논문지 24(1): 153-166.
박종훈 (2013). "도시블록 단위에서 소규모 녹지가 기온저감에 미치는 효과." 서울대학교 박사학위논문.
서지은, et al. (2009). "도시지역의 열섬현상에 영향을 미치는 요소 분석: 서울시를 중심으로." 대한건축학회 학술발표대회 논문집-계획계 29(1): 581-584.
손동원, et al. (2013). "난연처리 목재의 방미 및 방부성능." 목재공학 (Journal of the Korean Wood Science and Technology) 41(6): 559-565.
송진희, et al. (2013). 도심지 옥상녹화에 의한 열섬현상 저감 효과 분석, 한국태양에너지학회.
송현호, et al. (2021). 도시 열섬 현상 저감을 위한 SAP 아스팔트 기초 연구, 대한토목학회.
신창섭 (2017). 열섬효과 완화를 위한 PCM Cool Roof System의 열성능 평가. 서울, 中央大學校 大學院.
여인애, et al. (2009). "도시의 건폐율 및 용적률이 도시기후에 미치는 영향 분석." Journal of the Korean Solar Energy Society 29(3): 19-27.
예태곤, et al. (2018). "공동주택 녹색건축인증기준의 외부공간 환경성능 평가지표 보완방안." 대한건축학회 논문집 - 계획계 34(1): 3-14.
유병로 and 고은아 (2010). "Envi-met에 의한 바람길 해석 및 건물배치 계획." 한국환경기술학회지 11(4): 207-215.
이단비 and 김범준 (2016). "친환경 난연제와 탈크를 첨가한 목재·플라스틱 복합재의 기계적, 열적, 형태학적 및 수분흡수 특성에 관한 연구." Journal of the Korea furniture society 27(2): 137-144.

이소민 (2022). 주거지 근린환경이 보행취약계층별 통행 만족도와 경로 선택에 미치는 영향. 서울, 한양대학교 도시대학원.

이수미, et al. (2019). "도시 환경이 온열질환 발생에 미치는 영향에 관한 연구." 한국콘텐츠학회논문지 19(12): 84-92.

이정용, et al. (2011). "도시내 녹지공간 조성을 위한 소규모 HSSF 인공습지 개발." 한국습지학회지 13(2): 199-208.

이채연, et al. (2015). "서울시 건물형태에 따른 거칠기길이 분포특성 연구." Atmosphere 25(2): 339-351.

임은나, et al. (2013). "도시근린공원의 열환경 개선을 위한 열쾌적성 평가." 한국지리정보학회지 16(4): 153-170.

정민희, et al. (2015). 도시열섬 저감을 위한 쿨루프(Cool Roof)의 적용 사례 연구, 대한건축학회.

조혜민, et al. (2015). "도시열섬현상과 사회적 취약계층의 공간적 분포 특성분석." 한국도시행정학회 학술발표대회 논문집: 129-148.

최재진 and 송진우 (2011). "폐목재 칩을 활용한 목질계 보도포장재의 특성에 대한 기초연구." 대한토목학회논문집 D 31(3D): 413-420.

최재진, et al. (2017). "톱밥과 우레탄 수지 혼합물로 제조한 탄성 포장재의 특성." 한국산학기술학회 논문지 18(6): 673-680.

최현정 (2016). "미기상 도시모델(Envi-Met.)을 이용한 도시 내 열환경 안정도 연구." 한국건축친환경설비학회 논문집 10(6): 416-427.

Abstract

An Analysis of the Effect of the Application of Timber Processed Products to Urban Street Space on the Reduction of Heat Island Phenomenon - Focused on Microclimate analysis in Gwanghui-dong, Jung-gu

Kim, Min Seok
Interdisciplinary Program in Urban Design
The Graduate School
Seoul National University

As for the development trend of large cities, buildings with highly integrated urban functions and a high floor area ratio are preferred due to policy, social, and economic factors. In dense cities, Urban Heat Island Effect (UHI) occurs because of the urban form, and now, along with the Heat wave which is one of the natural disasters, it is a matter of heat-related illness among vulnerable groups in the cities. Through the process of reviewing previous studies, the causes of UHI were considered to be the building density, floor area ratio, and building materials. Street space that is a part of urban space affected by them is a space that directly affects the lives of the vulnerable groups, and is a spatial scope of this research. In order to reduce the UHI effect generated in the street space, reduction methods were derived for each element constituting the street space. The study site is a concentrated area of detached houses in Gwanghui-dong, Jung-gu, where the heat island effect and vulnerable groups are observed at the same time. Currently, the research site is designated as "관리형 주거환경개선사업" and "주택성능개선지역", so it is necessary to improve the environment of houses and streets. As a method of improving the street environment, it was aimed to improve the heat environment and the urban image in the street by applying timber processed products which are relatively excellent thermal performance to houses and streets. After comparing findings between the collected methods to alleviate the UHI effect from the research review and government policies supporting the site area, the specific scope and targets that are applied of timber processed products were selected to fit the single-family dense area. Computational fluid dynamics simulation was carried out to observe the improvement of the application of timber processed products, and there were positive results to reduce the heat island effect in air temperature, mean

radiation temperature, and PET. The simulation results were interpreted to suggest a method for improving the street environment.

Several conclusions were drawn from the study. First, the temperature change of timber processed products due to the high specific heat capacity of wood was not large, showing a relatively stable thermal change in the summer heat wave situation where the temperature rapidly increased. Second, as a result of PET, the average of 1°C and low thermal stress were shown near the outer skin of the building. This gave a clue to providing a space with an improved thermal environment to the vulnerable in need of outdoor activities in summer when high temperatures are predicted. Finally, microclimate simulation researches allow us to discover suitable improvement methods for the local environment. It provides a basis for inducing the revitalization of small-scale maintenance projects by objectively observing the city beyond the limitations of materials and administrative scope.

keywords : UHI mitigation, Heat illness, Street space planning, Timber-processed product, ENVI-met, Physiological Equivalent Temperature(PET)

Student Number : 2014-20603