일반 과제(O) / 공개(O) / 발간등록번호( )
기후변화 적응형 도시 열환경 설계시스템 연구단
최종 보고서

Architecture & Urban Development Research Program

R&D / 20AUDP-B102406-06

기후변화 적응형 도시 열환경 설계시스템 기술 개발

최종보고서(연구단 과제)

2021. 03. 12.

주관연구기관 / 한양대학교 산학협력단

1세부

협동연구기관 / 서울대학교 산학협력단

공동연구기관 / 한국건설기술연구원

공동연구기관 / 서울시립대학교 산학협력단

공동연구기관 / 계명대학교 산학협력단

2세부

주관연구기관 / 한양대학교 산학협력단

공동연구기관 / ㈜볼트시뮬레이션

공동연구기관 / ㈜정도UIT

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원
기 후 변 화 적 응 형
도시열환경설계시스템
연 구 단

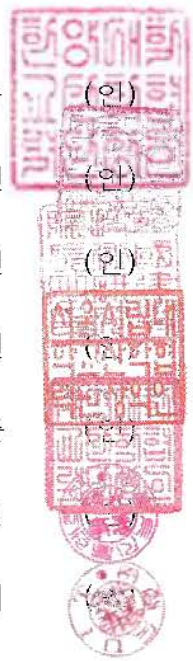
제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장)귀하

'기후변화 적응형 도시 열환경 설계시스템 기술 개발'(연구개발 기간 : 2015.08.31~2020.12.31) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2021.03.12.

주관연구기관명 :	한양대학교 산학협력단	하 성 규	(인)
협동연구기관명 :	서울대학교 산학협력단	최 해 천	(인)
참여기관명	한국건설기술연구원	한 승 헌	(인)
	서울시립대학교 산학협력단	김 정 현	(인)
	계명대학교 산학협력단	김 범 준	(인)
	㈜볼트시뮬레이션	김 석 철	(인)
	㈜정도UIT	노 성 기	(인)



주관연구기관책임자:	오 규 식	(한양대학교 산학협력단)
협동연구기관책임자:	이 동 근	(서울대학교 산학협력단)
공동연구기관책임자:	정 승 현	(한국건설기술연구원)
	이 승 일	(사을시립대학교 산학협력단)
	정 응 호	(계명대학교 산학협력단)
	김 석 철	(㈜볼트시뮬레이션)
	김 유 진	(㈜정도UIT)

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	20AUDP-B102406-06	해당 단계 연구 기간	2020-01-01 ~ 2020-12-31 (12 개월)	단계구분	4단계/4단계
연구사업명	중사업명	도시건축연구사업			
	세부사업명				
연구과제명	세부과제명	세부과제1: 도시 열발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링 기술 개발			
		세부과제2: 열섬저감 도시공간 설계기술 개발			
연구책임자	오규식	해당단계 참여연구원 수	총: 71명 내부: 68명 외부: 3명	해당단계 연구비	정부:1,152,000천원 민간:349,700천원 계:1,501,700천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 117명 내부: 113명 외부: 4명	총 연구비	정부:9,367,000천원 민간:1,936,964천원 계:11,303,964천원
연구기관명 및 소속 부서명	한양대학교 산학협력단			참여기업명	㈜신영ESD, ㈜정도UIT, ㈜볼트시뮬레이션

※ 국내・외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반	보안이 필요한 과제는 아니나, 원활한 특허 등록 및 사업화를 위해 상세기술에 대한 직접적 노출은 자제하는 것이 바람직할 것으로 판단됨

9대 성과 등록・기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설・장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정보	생물자원	정보	실물
등록・기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설・장비 현황

구입기관	연구시설・장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

보고서 면수: 344페이지

요약문

연구의 목적 및 내용	**<연구목적>** • 기후변화 적응형 도시 열환경 설계시스템 개발 및 실증 **<연구내용>** • **(1세부)도시 열발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링 기술 개발:** (1-1) 도시 열환경 분석을 위한 DB 구축 및 열 취약지역 분석기술 개발, (1-2) 도시 열발생 및 저감 모니터링시스템 개발 및 실증, (1-3) 도시 열저감에 의한 에너지 사용 저감효과 분석기술 개발, (1-4) 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시 조성기법 가이드라인 개발 및 제도개선(안) 제시 • **(2세부)열섬저감 도시공간 설계기술 개발**: (2-1) 도시 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 개발, (2-2) 열섬저감 도시공간 설계시스템 프레임워크 개발 및 실증, (2-3) 열섬저감 도시공간 설계시스템 소프트웨어(S/W) 개발 및 실증
연구개발성과	**<기술 자립, 범용·실용 시스템 개발>** • '열섬저감 도시공간 설계시스템'을 순수 국내 기술에 의해 개발(기술자립도 100% 달성) • 도시 전체(미시-거시 연동) 열환경을 고해상도 (10mx10m, 1시간)로 PC환경에서 신속(서울시 규모 60분 이내) 예측 시뮬레이션기술 개발 • 도시 열환경 개선을 위한 도시계획·설계 업무 범용 시스템 개발 **<도시 열환경 개선 계획·설계 의사결정 실천성 제고>** • 도시공간 위계별·유형별 기후구역, 현행 법·제도, 비용/편익 타당성 고려 열환경 계획·설계 의사결정지원 **<도시계획·설계 기술력 향상, 과학적 준거 확보>** • 도시계획·설계, 녹색건축·건설, 재난분석, 공간정보 활용·분석 등 기술력 향상, 도시계획·설계 관련 평가·심의에 긴요한 과학적 준거 확보 **<사회·경제적 파급효과>** • 도시민 삶의 질, 체감 건강복지 향상, 도시민의 쾌적성 향상 등 사회적 편익 확보 • 가후변화에 의한 재해 피해규모(인명, 재산) 및 비용 절감 • 건설산업, 환경산업, ICT산업 등 관련 일자리 창출 및 산업발전 **<정책적 파급효과>** • 도시계획·설계기법의 선진화 및 과학적 분석기법에 의해 도출되는 실천가능성 높은 도시계획·설계 지원 • 선제적 재난관리, 사회적 약자의 편익 증진, 국민 삶의 질 향상에 기여
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	**<중앙정부 및 지자체>** • 도시 열섬현상 원인 규명 및 관리 • 도시개발계획(안)의 열환경 심의·검토 지원 도구 • 열환경 개선을 위한 지자체 특성에 맞는 조례 및 심의기준 제시 • 저열섬도시 조성을 위한 도시계획·설계, 건설(시공) 방안 제시 및 의사결정지원 **<건설관련 공기업 및 민간기업>** • 저열섬도시 조성을 위한 도시계획·설계 지원 • 도시개발계획(안)의 심의 전 열환경의 사전 분석 도구 및 근거자료 • 도시(단지)개발사업 수행시 공간적 특성에 따른 사업타당성검토 지원 **<연구원 및 대학교>** • 열환경, 열섬 등 도시 열환경 관련 연구분석 지원 • 열환경 개선을 위한 공간계획 및 설계 • 도시열섬 메커니즘, 저열섬도시 조성 관련 교육 및 연구도구로 활용

국문핵심어 (5개 이내)	기후 변화 적응	도시열섬 저감	도시 계획 설계	열 환경 시뮬레이션	의사결정 지원 시스템
영문핵심어 (5개 이내)	Climate Change Adaptation	Urban Heat Island Mitigation	Urban Planning and Design	Thermal Environmental Simulation	Decision Support System

〈 목 차 〉

제1장 연구개발과제 개요 ····· 1

제1절 연구개발의 배경 및 중요성 ····· 1

1. 연구개발의 배경 ····· 1
2. 연구개발의 중요성 ····· 5

제2절 연구개발의 목표와 범위 ····· 15

1. 연구개발 목표 ····· 15
2. 연구개발 범위 ····· 16

제3절 연구개발의 최종 성능목표 ····· 31

1. 정성적 목표 ····· 31
2. 정량적 목표 ····· 31

제2장 연구수행내용 및 성과 ····· 35

제1절 도시 열발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링 기술 개발 ··· 35

1. 도시 열환경 분석을 위한 DB구축 및 열 취약지역 분석기술 개발 ····· 35
2. 도시 열발생·저감 모니터링시스템 개발 및 실증 ····· 78
3. 도시 열저감에 의한 에너지 사용 저감 효과분석 기술개발 ····· 113
4. 기후변화적용 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 가이드라인 개발 및 제도개선(안)제시 143

제2절 열섬저감 도시공간 설계기술 개발 ····· 178

1. 도시 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 ····· 178
2. 열섬저감 도시공간 설계기술 개발 ····· 195
3. 열섬저감 도시공간 설계시스템 소프트웨어(S/W)개발 및 실증 ····· 238

제3절 연구개발 양적 성과 ····· 271

1. (1세부) 도시열발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링 기술개발 ····· 271
2. (2세부) 열섬저감 도시공간 설계기술 개발 ····· 288

제3장 연구목표 달성 및 관련분야 기여도 ····· 301

제1절. 연구목표 달성도 ····· 301

제2절. 양적목표 달성도 ····· 319

제4장 연구개발성과의 활용계획 ····· 323
제1절. (1세부) 도시열발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링 기술개발 ····· 323
제2절. (2세부) 열섬저감 도시공간 설계기술 개발 ····· 325
제3절. 연구성과 활용을 위한 후속 연구의 필요성 ····· 327

참고문헌 ····· 329

제1장 연구개발과제 개요



제1장 연구개발과제 개요

제1절 연구개발의 배경 및 중요성

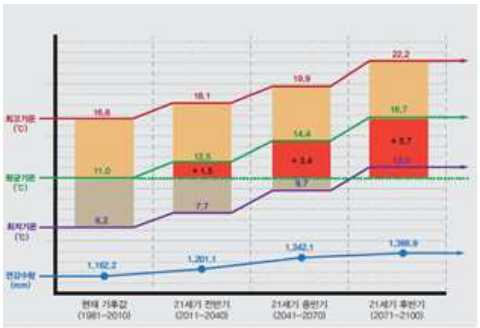
1. 연구개발의 배경

가. 환경적 측면

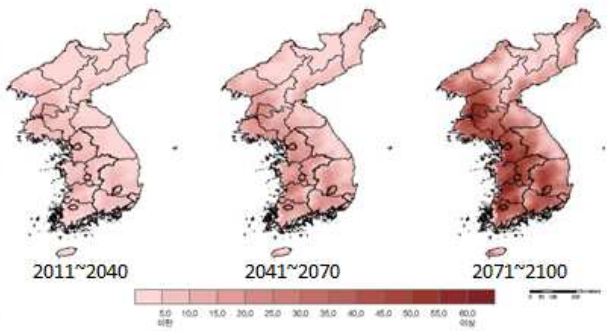
기후변화 및 도시 열환경 악화 문제를 해결할 수 있는 구체적 방안 시급

1) 기후변화로 인해 폭염과 같은 부정적 환경문제 심화

- 기상청(2012)에 의하면 현 추세대로 기온이 상승할 경우, 21세기말 한반도 기온은 현재보다 5.7℃까지 오를 것으로 예상함. 한편, 폭염으로 인한 우리나라의 일사병·열사병 사망자 수가 2000년 이후 급격히 증가하고 있는 추세임(김도우 외, 2013)
- 이 같은 문제의 근본적 원인은 기후변화로서 세계 전지역에서 도시로의 집중과 대도시화, 도시내부 인간 활동의 증가, 화석연료 중심의 에너지 사용 증가 등에 의해 빠르게 가속화되고 있음
- 기후변화 추세는 더욱 심화될 것으로 예상되고 있으며, 우리나라의 경우 2020년에 이르면 30일이 넘는 폭염 속에 1만여 명에 달하는 사망자가 발생할 수 있다고 예측됨(이종설 외, 2014)
- 기후변화에 의한 문제의 완화 방안으로 전지구적 온실가스 감축이 있으나 그 효과의 가시화를 위해서는 장기간이 소요되고 세계 주요 국가들의 일치된 협력이 전제되어야 하는 어려움이 있음



〈한반도 기후변화 전망(RCP 8.5)〉



〈폭염일수변화〉

▌그림 1-1▐ 기후변화에 의한 한반도 기후 전망
출처: 기상청(2012)

2) 도시 열환경 악화 문제를 효과적으로 해결할 수 있는 과학적 기술필요

- 도시 차원에서 볼 때, 도시계획을 통한 열섬현상의 거시적 저감과 도시설계를 통한 열환경 개선과 같은 미시적 적응 조치가 병행 실천되어야 도시민의 체감 효과를 보다 즉각적으로 거둘 수 있음
- 서울시의 경우, 도시기온에 영향을 미치는 열에너지의 10% 이상이 인공요인(건물 및 교통량)에 의해 발생하고 있음. 이 같은 사실은 도시 인공환경을 보다 효과적으로 계획하고 설계함으로써 도시 열환경을 바람직하게 유도·개선할 수 있음을 시사함
- 열환경 개선을 위해서는 도시전반에 걸친 열환경 분석 및 예측, 도시계획·설계, 관리 노력이 복합적으로 이루어져야 하며, 이를 과학적으로 뒷받침할 수 있는 첨단시스템 기술 개발이 필요함

나. 정책적 측면

국민행복을 위해 기후변화 적응과 도시 열환경 개선 필요, 국민이 체감할 수 있는 실천전략 필요

1) 도시 열환경은 국민 삶의 질에 직결되는 공공재로서 국민이 체감할 수 있는 쾌적한 열환경 조성을 위한 실천전략 마련 필요

- 세계 주요 선진국에서는 일찍이 기후변화 대응 차원에서 열섬문제의 심각성을 인식하고, 해결방안을 모색하고자 모니터링 및 분석체계 강화, 도시계획·설계를 위한 가이드라인 수립, 시범도시 사업 수행 등 구체적이고도 다각적인 노력을 경주하고 있음
- 우리나라 정부는 국민행복을 위한 핵심국정과제로 '온실가스 감축 등 기후변화 대응', '기상이변 등 기후변화 적응', '환경과 조화되는 국토개발' 등 국토환경의 중요성을 강조함과 동시에 기후변화 대응책 마련에 노력하고 있음
- 특히 선제적 재난관리, 사회적 약자 편익증진 및 국민 삶의 질 향상을 위한 국민 체감형 서비스 R&D를 중점 추진하고 있음. 아울러 중소기업 중심의 ICT와 국토교통 기술 간 융복합 기술개발 지원으로 미래 신성장 동력화를 도모함
- 이 같이 현 정부는 국민행복을 위해 기후변화 문제의 해결을 중요 선결 사안으로 파악하고 다양한 정책과 연구개발사업을 펼치고 있는 바, 도시 열환경 개선을 위한 국민체감형 실천전략 마련은 시의성과 필요성이 높은 사회문제 해결형 R&D 과제임

다. 기술적 측면

선도국 대비 기술격차 상당, 기후변화를 고려하고 도시 전반의 건물, 녹지 및 수공간 인프라, 교통량 등을 종합적으로 고려한 열환경 분석 및 예측, 도시계획·설계, 관리 등의 기술 개발수준 미흡

1) 선도국 대비 기술격차가 상당하여 추격 시급

- 도시 열환경 개선을 위한 설계 및 관리를 위한 의사결정 지원 기술은 현재 기술개발 도입기로 국내에서 소수 개발된 바는 있으나, 선도국 대비 기술격차가 상당함(해당 기술 선도국 대비 60% 수준)
- 해당 기술의 연구수준을 나타내는 SCI(SSCI)논문의 게재 건수 경우, 총 247편 중 우리나라에서 발표된 논문은 3건에 불과함
- 한편 전 세계적으로 열섬 저감을 위한 인프라의 시공기술은 상당 수 개발되어 있으나 열섬 저감을 위한 의사결정지원 기술의 개발은 현저히 부족하여 시급한 추격이 필요함

2) 도시 전반에 대한 상세한 열환경 분석, 중·장기적 기후변화 차원의 대응전략 필요

- 국내·외에서 열섬현상 저감과 관련된 일련의 연구가 수행되었으나, 도시열섬현상을 개별 건물 내지 인접 공간을 대상으로 미시적, 부분적으로 파악하는 데 그치고 있으며, 도시 전반의 열섬문제 해결을 위한 구체적이고도 실천가능한 기술 제시는 미흡함
- 또한 도시열섬현상 분석 대부분은 개발 전·후만을 비교하는 근미래적 차원에서 이루어지고 있어, 중·장기적 측면(20~50년 후를 예측)에서 다루어져야 하는 기후변화 대응 노력은 부족함

3) 실천가능성 높은 도시 열환경 개선안 도출을 위해 도시계획 및 관련 법·제도 틀 속에서 실질적 문제 규명 및 의사결정 필요

- 기존에 제시된 도시 열환경 개선대책 대부분은 피상적이고도 원론적 수준의 방향제시에 그치고 있음. 현행 도시계획·설계 관련 법·제도의 틀 속에서 실질적 문제 규명과 실천가능성 높은 도시공간 개선안 도출이 필요함
- 이를 위해 도시공간의 위계 및 유형을 체계적으로 고려하여 건물 및 교통, 각종 인간활동에 기반한 도시전체 규모의 열환경 분석 및 예측, 도시계획·설계, 관리기술 개발이 요구됨

- 또한 실천가능한 개선안 도출과 의사결정을 위해서는 현행 법·제도의 틀 속에서 도시공간의 변화 및 개발용량 메커니즘에 대한 구체적 이해가 필요함(예: 허용가능 개발용량의 해석)
- 아울러 개발에 의해 지속적 변화하는 도시공간의 열환경 관리를 위해서는 계획 수립단계에서 사전에 열섬 문제를 과학적으로 해결할 수 있는 계획 및 설계 의사결정 지원 시스템의 개발이 긴요함. 아울러 지속적인 열환경 관리를 위해 모니터링 체계와 관리 기술 개발도 필요함

라. 사회·경제적 측면

열섬현상 완화에 따른 사회·경제적 편익의 증대, 환경복지 차원에서 열 취약계층 대책 필요, 건설시장의 신성장 동력 확보 및 시장 활성화 필요

1) 열섬현상 완화에 따른 사회·경제적 편익의 증대, 환경복지 차원에서 열 취약계층 대책 필요

- 열환경 악화는 국민의 생활안전과 건강보건에 직접적 위협으로 작용하여 사망자수 증가, 삶의 질 및 건강보건 저하, 생산성 저하와 같은 심각한 문제를 야기함
- 열환경 개선을 통해 고온(폭염)에 의한 사망자수 감소, 의료비 절감 등 보건학적 측면의 편익이 증대되며, 궁극적으로 도시민의 수명이 연장될 수 있음
- 열섬현상이 완화됨으로써 여름철 냉방에너지 사용량을 절감할 수 있으며, 부수적으로 대기오염 감소, 도시민의 쾌적성 향상과 같은 사회·경제적 편익을 얻을 수 있음
- 환경복지의 차원에서 폭염과 같은 열환경 재해에 취약한 계층(노인 및 아동 저소득 계층)의 생활공간을 중심으로 한 대책 마련이 시급함
- 기후변화에 의해 열 취약지역 규모가 지속적으로 증대되고 있기 때문에 이에 대한 개선조치가 시급하며, 도시계획적 차원에서 도시민 건강보건 증진차원의 열환경 개선노력이 선제적으로 이루어져야 함

2) 건설 및 관련 시장의 신성장 동력 확보 및 시장 활성화 필요

- 일본과 유럽 등 국외시장에서 경쟁함에 있어, 타 건설 분야에 비해 기술경쟁력이 60% 수준으로 매우 취약함. 따라서 국외시장 수출경쟁력 확보를 위한 정부 지원이 절실함
- 일본의 경우 도시개발 및 건설에 있어 열환경 분석기술이 상당히 진보된 상태이며, 관련 기술이 확산되어 있음. 따라서 기술개발이 지체될 경우 선도국과의

기술격차는 더욱 커지게 되고, 결과적으로 기술 종속화를 초래할 수 있음

- 본 연구가 성공적으로 이루어 질 경우, 건설산업(도시계획·설계, 녹색건축 및 건설)뿐만 아니라 환경산업(기후 및 기상, 대기, 재해·재난 분석 및 영향평가), ICT산업(GIS, 공간의사결정 지원 및 도시정보시스템 구축) 등 다양한 산업 부문의 활성화 및 신규 일자리 창출이 가능하여 창조경제 실현에 기여할 수 있음

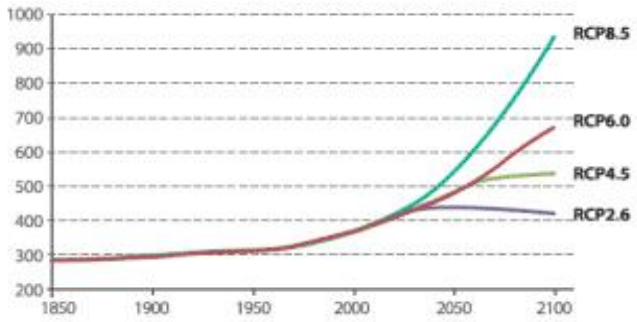
2. 연구개발의 중요성

- 기존의 환경적, 정책적, 기술적, 경제적 문제점과 한계를 극복하기 위해 본 연구는 다음과 같은 연구의 중요성과 차별성에 초점을 맞추어 기술을 개발함

중요성 1 ▶	**RCP 기후변화 시나리오 기반 중·장기적 도시 열환경 예측 시뮬레이션, 열 취약 도시공간 개선전략 도출**
중요성 2 ▶	**도시 열환경의 미시적(건물군 중심)·거시적(도시 전체) 분석의 연동 수행**
중요성 3 ▶	**도시 열섬문제의 근원 파악을 위한 도시공간 세분화 및 기후구역 유형화 접근**
중요성 4 ▶	**실천가능한 열환경 개선안 도출을 위해 도시계획·설계 관련 법·제도 내 허용용량을 고려한 의사결정, 개선안의 경제성(비용편익) 산정**
중요성 5 ▶	**중소기업 자체 기술에 의한 개발, 기술 자립화, 개발기술의 객관적 성능확보를 통한 독자 생존**
중요성 6 ▶	**열발생 요소와 열저감 요소를 복합적으로 해석하여 도시 내의 열환경을 분석하고, 도시계획·설계, 관리 기술을 개발**
중요성 7 ▶	**도시 공간 열환경 개선을 위한 정확한 열수지 산정을 위한 규모별 분석 수행**
중요성 8 ▶	**열저감에 따른 에너지 사용 저감량 규명, 열저감 유발효과로서 대기오염 저감 분석**
중요성 9 ▶	**대표적 분지형 열섬도시 대상 Pilot Test 실증 및 검증, 연구성과의 확산 (서울특별시, 대구광역시)**
중요성 10 ▶	**실용화 가능한 열환경 개선안 도출을 위해 도시계획·설계 관련 법·제도를 고려한 가이드라인 및 열 취약지역 평가인증체계 개발**

❑ **중요성 1 RCP 기후변화 시나리오 기반 중·장기적 도시 열환경 예측 시뮬레이션, 열 취약 도시공간 개선전략 도출**

- 기존에 시도된 도시 열섬현상 분석 대부분은 개발 전·후만을 비교하는 현시점 및 근미래적 차원에서 이루어진 바, 기후변화에 의한 중·장기적(20~50년 후의 예측) 열환경 악화 가능성을 고려하여 도시공간의 기후변화 적응성을 향상시키고 지속가능성을 제고하는 노력이 중요함
- 기상청은 고해상도 RCP(온실가스 농도 2.6, 4.5, 6.0, 8.5) 시나리오[1] 정보를 제공하고 있음
- 본 연구에서는 이들을 선택적으로 복합하여 예측 시뮬레이션을 실행함으로써 기후변화에 따른 도시 열환경 변화 예측과 대응책 수립을 보다 정확하고 상세하게 수행함
- 이를 통해 기후변화에 의해 증대되고 있는 열 취약지역을 규명하고 도시계획·설계에 의해 도시민 건강보건 증진을 위한 열환경 개선방안을 제시함. 특히 환경복지의 차원에서 폭염과 같은 열환경 재해에 취약한 계층(노인 및 아동, 저소득 계층)의 생활공간을 중심으로 개선전략을 수립함으로써 선제적 재난관리, 사회적 약자의 편익증진, 국민 삶의 질 향상에 기여함



▌그림 1-2 ▌ RCP 시나리오의 온실가스 농도변화 비교
출처:https://www.climate.go.kr

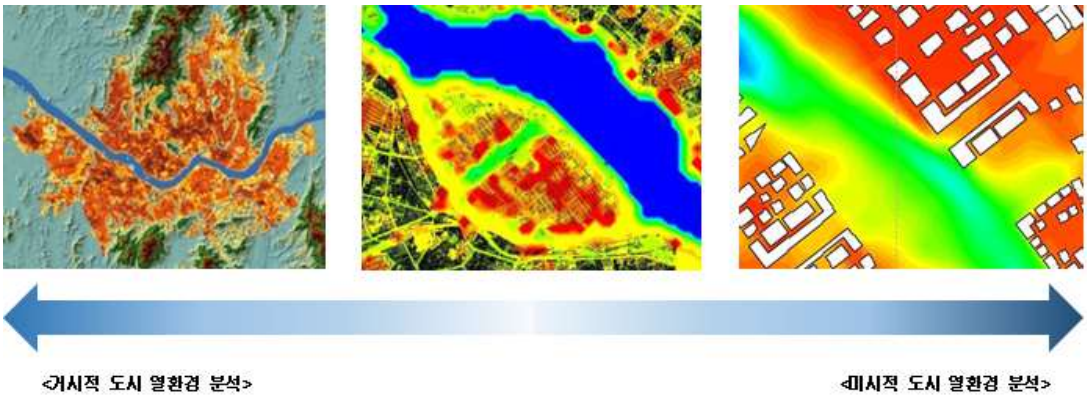
❑ **중요성 2 도시 열환경의 미시적(건물군 중심) 분석과 거시적(도시 전체) 분석 연동 수행**

- 저열섬도시 조성을 위해서는 도시계획을 통한 거시적 차원의 열섬현상 저감과 도시설계를 통한 미시적 차원의 열환경 개선 조치가 동시에 이루어져야 소기의 목적을 달성할 수 있음
- 이에 본 연구가 목표하는 최종성과 시스템이 단위 건물군 또는 국지적 분석뿐

1) RCP2.6: 인간 활동에 의한 영향을 지구 스스로가 회복 가능한 경우(CO2 배출농도: 420ppm), RCP4.5: 온실가스 저감 정책이 상당히 실현되는 경우(CO2 배출농도: 540ppm), RCP6.0: 온실가스 저감 정책이 어느 정도 실현되는 경우(CO2 배출농도: 670ppm), RCP8.5: 현재 추세(저감 없이)로 온실가스가 배출되는 경우(BAU 시나리오, CO2 배출농도: 940ppm)

만 아니라 도시 전체의 분석을 연동하여 수행 중에 있음

- 그리고 도시 전체 공간의 열환경 예측 시뮬레이션을 고해상도(공간해상도: 10m×10m, 시간해상도: 1시간)를 유지하면서 PC급 전산환경에서 단시간(서울시 규모 60분) 내에 수행 가능하도록 연구를 진행함
- 이를 통해 부분적 도시공간들의 열환경 개선이 도시 전체에 합으로 나타나는 종합적 효과의 범위와 강도를 규명할 수 있을 것이며, 거시적 열섬현상과 미시적 열환경 개선을 위한 도시계획·설계전략의 효과를 동시에 검증할 수 있음



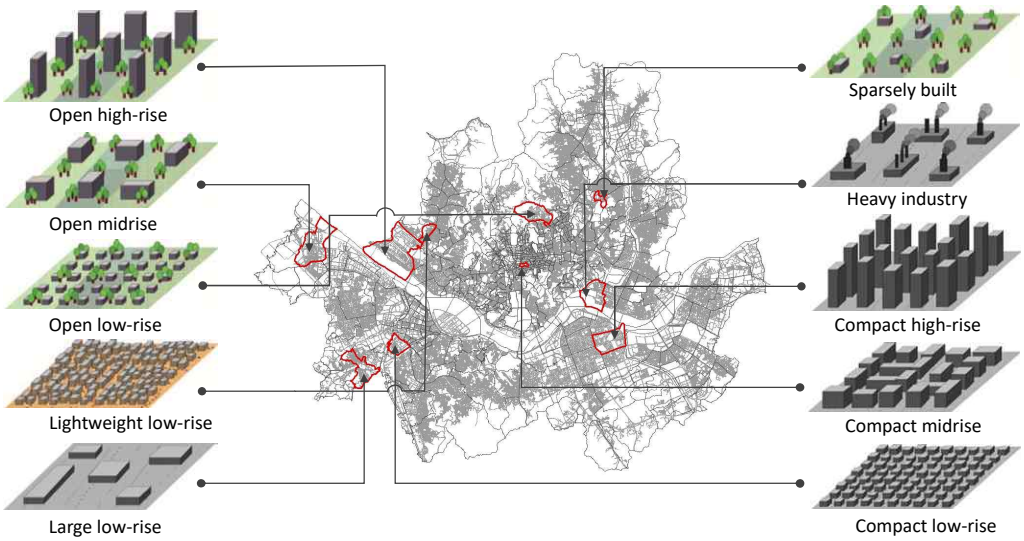
▌그림 1-3▐ 열환경분석결과 예시
출처: 김석철 외(2010)

❑ 중요성 3 도시 열섬문제의 근원 파악을 위한 도시공간 세분화 및 기후구역 유형화 접근

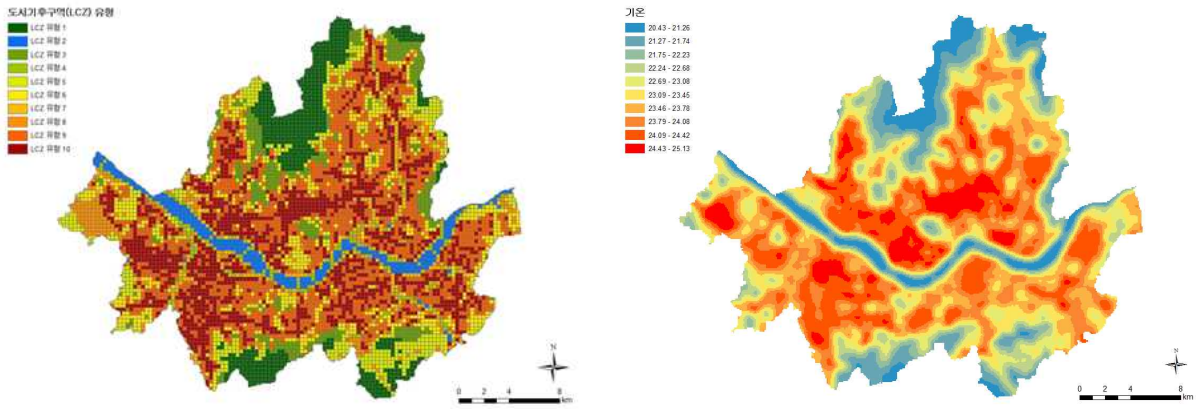
- 도시 열섬현상은 인위적으로 조성된 도시공간 속에 인간의 토지이용과 활동에 의해 그 분포와 규모, 강도가 결정됨. 따라서 도시공간의 맥락과 특성을 충분히 고려치 않은 채 도시열섬현상을 단편적으로 이해하는 것은 부적절한 문제해결방향을 낳게 됨(Benedict & McMahon, 2002)
- 이에 도시공간의 유형화(개발 집중도와 공간적 위계)를 바탕으로 도시열섬 문제의 근본적 원인을 파악함으로써 보다 구체적이고 효과적인 개선책을 도출함
- 우리나라의 경우 도시기본계획을 통해 도시공간 위계를 중심지역(도심, 부도심)과 전이지역(지역중심, 지구중심), 외곽지역(그 외의 지역) 등으로 구분함. 그리고 개발 집중도에 따라 고밀, 중밀, 저밀 등으로 도시공간을 유형화·세분화함
- 아울러 도시기후 차원에서 공간밀도와 피복 특성에 따른 LCZ(Local Climate Zone)[2](Stewart & Oke, 2011) 기후구역유형과 건물 규모(높이), 종횡비, 단위

2) LCZ(Local Climate Zone): 도시의 형태와 표면 특성에 따라 국지적 기후(Local Climate)가 나타나는 지역으로, 인간의 활동 범위 및 도시의 구조에 따라 100m ~ 10,000m에 해당하는 공간적 범위를 가짐

면적당 건물 비율 등을 고려한 UCZ(Urban Climate Zone)[3](Stewart & Oke, 2011) 기후구역유형을 우리나라 도시 조건에 적합하도록 변형·적용함



▌그림 1-4▐ LCZ의 개념(예시)



<도시기후구역(LCZ) 유형화 결과> <기온분석 결과>

▌그림 1-5▐ LCZ 유형화 결과(예시)

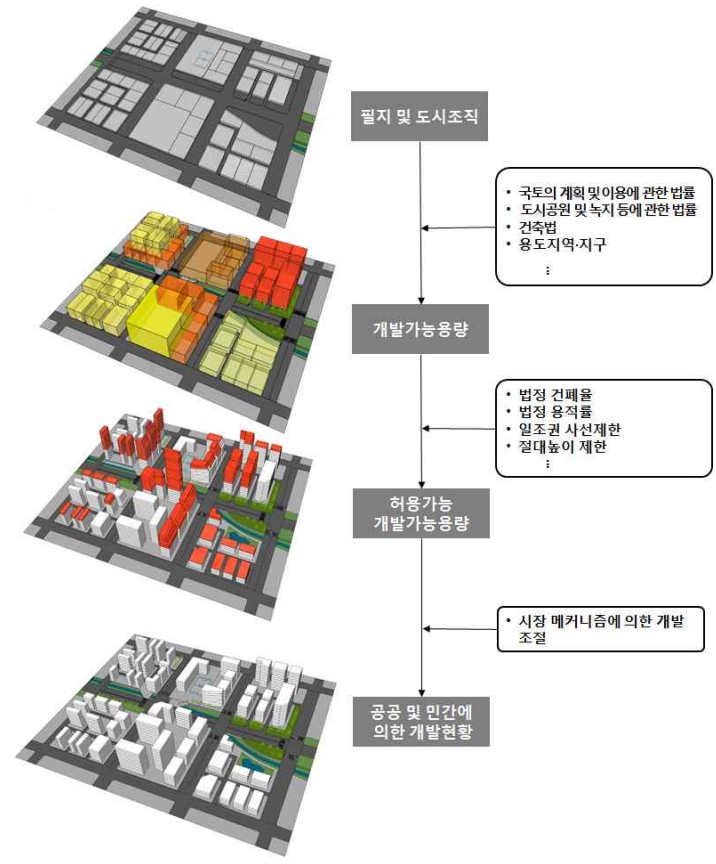
❑ **중요성 4 실천가능한 열환경 개선안 도출을 위해 도시계획·설계 관련 법·제도 내 허용용량을 고려한 의사결정, 개선안의 경제성(비용편익) 산정**

- 현재까지 제시된 도시 열환경 개선대책 대부분은 피상적이고도 원론적 수준의 방향제시에 그치고 있음
- 현실적으로 실천가능한 열환경 개선안 도출을 위해서는 우선 도시계획·설계 관련 현행 법·제도에 의한 도시공간의 변화 및 허용가능 개발용량 산정 메커

3) UCZ(Urban Climate Zone): 도시기후 연구를 위해 건축물의 규모(높이), 종횡비, 단위면적에서 건축물이 차지하는 비율 등을 고려한 도시 유형화 기법으로 총 7가지로 구분되며, 구역(District) 내 주거지(Settlement)규모 정도 수준으로 분류됨

니즘에 대한 구체적 이해가 전제되어야 함

- 이를 기반으로 법·제도의 허용한계 내에서 도시공간의 개발과 인간활동이 최대한 이루어질 경우 발생할 열환경 악화 정도를 예측 시뮬레이션하고 선제적 의사결정을 모색할 수 있음. 열환경 개선안 또한 법·제도의 허용범위 내에서 실험, 발전시킴으로써 실천가능성을 제고함
- 한편 건물 및 구조물, 도로, 녹지공간, 수공간 등의 변화를 수반하는 열환경 개선안에 소요되는 비용과 발생하는 편익을 구체적으로 분석·산정(Cost- Benefit Analysis)[4]함으로써 개선안의 우선순위를 경제성 관점에서 비교·검토하고 최선안을 선택할 수 있도록 의사결정을 지원함
- 이 같이 본 연구의 성과물은 법·제도적 및 경제적 타당성을 지닌 실용성 높은 열환경 개선안을 도출함



▌그림 1-6▐ 허용가능 개발용량의 개념

4) 열환경 개선안의 비용편익 분석에는 다음과 같은 항목이 주로 고려될 수 있음
• 비용: 열환경 개선안(녹지 및 녹화, 수공간 등) 조성 비용, 조성된 열저감 요소의 관리비용(수목 및 식물, 수공간 관리 등) 등
• 편익: 환경효과(에너지 사용량 저감, 이산화탄소 발생량 저감, 대기질 개선효과), 건강증진효과(열환련 질병 의료비 감소, 고온에 따른 사망자 수 감소), 기타효과(도시 쾌적성 향상, 재해재난 감소, 관련기술 향상) 등

❑ **중요성 5: 중소기업 자체 기술에 의한 개발, 기술 자립화, 개발기술의 객관적 성능확보를 통한 독자 생존 - 자체 열예측 시뮬레이션 엔진 및 GIS엔진 기반**

- 본 연구의 최종성과인 '열섬 저감 도시공간 설계기술 개발'은 연구 참여 국내 중소기업들의 자체 기술로 개발하는 열 예측 시뮬레이션 엔진과 GIS 엔진에 의해 구동됨
- 이는 현 정부가 국가R&D사업을 통해 적극 권장하는 바로서, 중소기업 중심의 ICT와 국토교통 기술 간 융복합 기술개발 촉진에 의해 미래 신성장동력화를 도모하려는 국가정책에 적극적으로 부응하는 중요한 노력임
- ㈜볼트시뮬레이션이 보유한 열 예측 모델링 기술은 서울시 규모의 대도시를 10m급 해상도를 유지하면서 PC급 전산환경에서 분석할 수 있는 유일한 기술임(아래 도표를 참조)

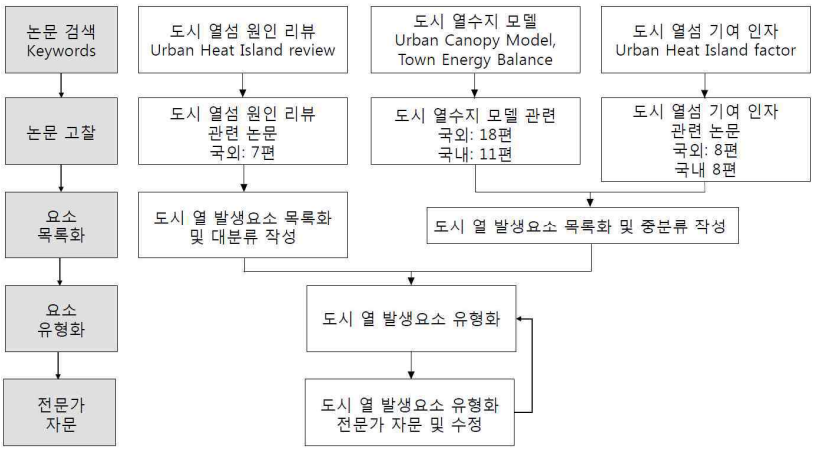
❙표 1-1 ❙ 기존 열환경 시뮬레이션기술과 본 연구단 보유 기술의 특징 비교

구분	ENVI-met	WRF-UCM	UCSS	AUSSUM	HCM (본 연구단 열환경 분석 엔진)
개발 국가	• 독일	• 미국	• 일본	• 일본	• 한국 (한국건설기술연구원, ㈜볼트시뮬레이션)
개요	• 소규모 도시 환경 및 구조물 녹화 영향 평가를 위한 3차원 CFD 시뮬레이션 모델	• 중규모 수치 기상 예보 모델에 도시 캐노피 모델 결합	• 도시기상 시뮬레이션 모델	• 도시열섬 평가 모델	• 기후변화 및 도시 계획에 따른 거시·미시규모 열환경 분석 모델
장점	• 건물규모 이하의 미시규모에서 정밀한 모델링 가능	• 수 시간 이상의 예측 가능 • 도시규모의 모델링 가능	• 인공열 부분적 고려	• 계산부하 적음 • 지표면 열전달 고려 가능 • 건물규모를 포함하는 도시 기후에 적용, 수송부문 열 고려 가능	• 고해상도 광역분석 가능 • 건물과 인공열 반영 • PC에서 운용 가능 • 비전문가 운용 가능 • 빠른 분석 속도 • 대형건물 효과 반영
단점	• 계산부하 과다 • 시뮬레이션 시간 제약 • 비전문가 운용 불가	• 계산부하 과다 • 다층의 도시 캐노피에서 오차 발생 증가	• 대규모 도시 분석 시 계산부하 과다 • 비전문가 운용이 어려움	• 고층대형건물의 대도시 미기상 예측은 불충분	• 건물규모 이하 매우 상세한 모델링 수행 시 정확도 향상 필요
서울규모 고해상도 해석	• 불가	• 불가	• 불가	• 불가	• 가능

- 아울러 열원 역추적이 가능한 역추적 모델링 기반기술을 보유함. 열 예측 시뮬레이션 엔진의 일부로서 열원 역추적 엔진은 열 발생원 및 저감원의 위치, 규모, 강도 등을 구체적으로 파악할 수 있게 함으로써 실효성 있는 열환경 개선책 수립을 가능케 함
- ㈜정도UIT는 국제 OGC 표준 인증을 받은 GIS 엔진을 보유하여 도시계획·설계에 사용되는 공간·속성 정보의 표출 및 조회 과정에서의 호환성을 보장하는 기술력을 보유하고 있음. 이를 통해 의사결정 과정에 있어 표준명세에 근거하여 상호 운용성을 확보할 수 있는 소프트웨어(S/W) 개발이 가능함
- 또한 도시계획·설계 분야에 있어 다년간의 사업과 연구과제 수행을 통해 정책·법·제도 개발 지원, 도시계획시스템의 구축·운용 지원, 의사결정 지원 시스템 개발, 국외사업 수행 등 폭넓은 노하우와 경험을 보유하고 있음
- 이 같이 본 연구를 통해 기술 자립화와 개발기술의 객관적 성능 확보에 의한 독자 생존이 가능한 성과를 도출함

❑ 중요성 6 열발생 요소와 열저감 요소를 복합적으로 해석하여 도시 내의 열환경을 분석하고, 도시계획·설계, 관리 기술 개발

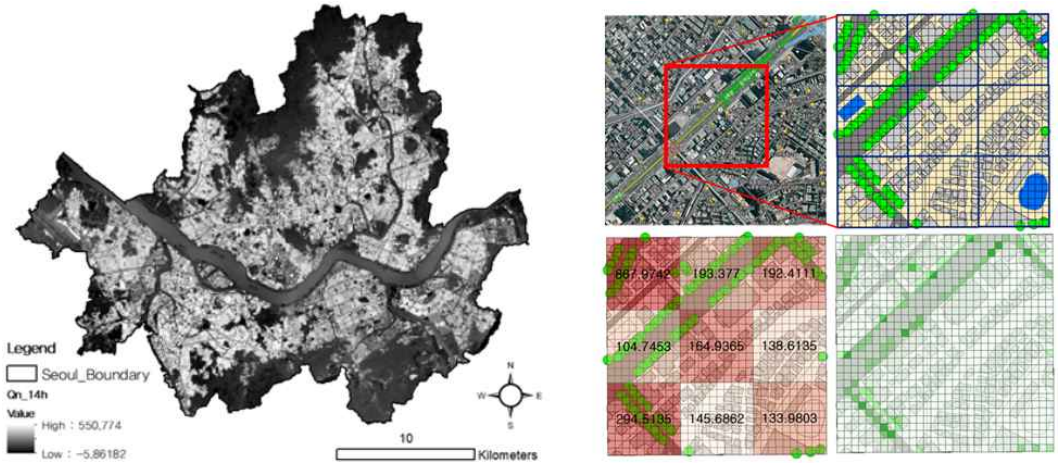
- 도시협곡, 건축물, 도로 등 물리적인 열발생요소와 건물에서 이용하는 에너지, 교통수단과 같은 비물리적인 열발생 요소를 분석하여 도시 내의 열발생 메커니즘을 이해하고, 추후 저열섬도시 조성 시, 열발생 관리 대상 설정을 위한 가이드라인을 제시함
- 녹지 및 수공간 등의 열저감 요소를 분석하여 도시 내 열저감 메커니즘을 이해하고, 열저감 기여도를 복합적으로 해석하고 이에 기반하여, 도시계획·설계, 관리 기술을 개발함



▌그림 1-7▐ 도시 열 발생 요소 유형화 방법 흐름도 예시

❑ 중요성 7 도시 공간 열환경 개선을 위한 정확한 열수지 산정을 위한 규모별 분석 수행

- 도시 열환경 요소는 도시 차원의 거시적 규모와 건물 차원의 미시적 규모에 따라 열발생, 저감 요소의 발생 기작 및 기여도에 차이가 있음
- 이에 본 연구는 규모별로 열환경에 영향을 주는 요소들을 구분하여 규모별로 정확한 열수지 산정을 위한 기술 개발을 수행함
- 그리고 도시 열발생·저감 모니터링 시스템을 거시적 규모(공간해상도: 100m×100m, 시간해상도: 1시간)를 유지하면서 실시간으로 정보를 제공하며, 미시적 규모에서는 필요에 따라 해당 지역을 분석하도록 하며, 이는 PC급 전산환경에서 단시간(서울시 규모 60분) 내에 수행할 수 있도록 함
- 이를 통해 규모에 따른 정확한 열수지 산정 결과를 얻을 수 있으며, 이를 기반으로 저열섬도시 계획이라는 거시적 측면과 열환경 개선을 위한 미시적 측면에 대한 효과적인 도시계획·설계전략을 수립할 수 있을 것임



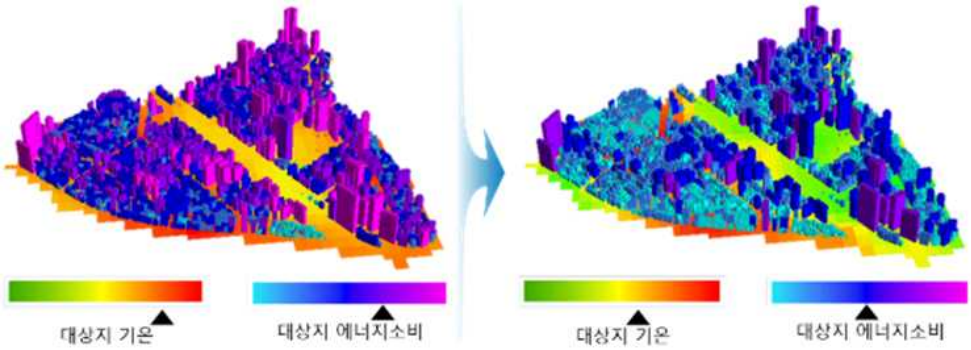
▌그림 1-8▐ 규모별 열수지 산정 결과 예시 (왼쪽: 거시규모, 오른쪽: 미시규모)

❑ 중요성 8 열저감에 따른 에너지 사용 저감량 규명, 열저감 유발효과로서 대기오염 저감 분석

- 본 연구에서는 우선적으로 다양한 열저감 요소들을 활용하여 도시 열환경을 개선함으로써 나타나는 건물 에너지 사용 저감효과를 계량적으로 분석함
- 도시 열환경이 개선됨에 따라 도시공간의 여름철 냉방에너지 사용량을 절감할 수 있으며, 대기오염의 감소, 도시민의 쾌적성 향상과 같은 다양한 사회적 편익을 얻을 수 있음
- 아울러 열저감에 따라 유발되는 대기오염 물질(NOx, SOx, O3)의 저감효과를

분석함

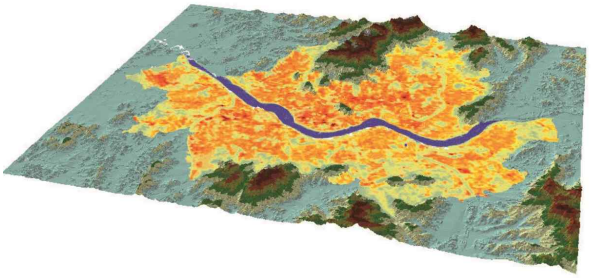
- 이 같은 분석 결과는 도시 에너지 관리 및 환경관리 정책 수립을 위해 중요한 기반을 제공할 것임(예:'서울시 원전 하나 줄이기 정책')



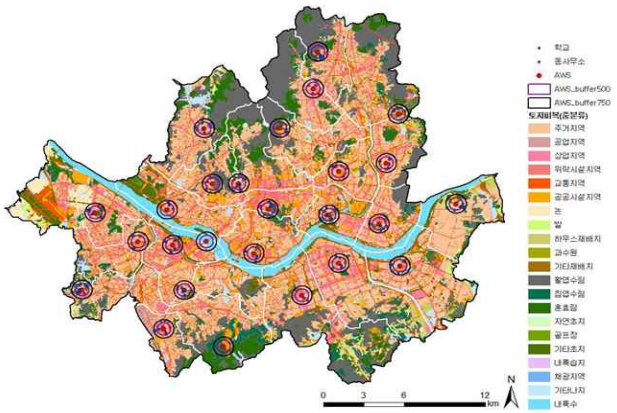
▌그림 1-9▐ 열환경 개선에 따른 건물 에너지 저감효과 분석 예시

❑ **대표적 분지형 열섬도시 대상 Pilot Test 실증 및 검증, 연구성과의 확산 - 서울시, 대구시**

- 본 연구 주요 성과의 실증과 검증을 위한 Pilot Test 대상지를 서울시로 함. 우리나라 광역시 중 가장 규모가 크고 도시화 수준이 높으며 대표적 분지형 도시로서 열섬현상이 빈발하기 때문에 성과 실증과 검증에 적절한 조건과 의미를 지님
- 한편 서울시에는 각종 도시공간 기초정보가 GIS DB로 충분히 구축되어 있고, 우리나라 도시 중 가장 많은 수의 AWS 측정소가 장기간 설치 및 운영되어왔고 방대한 과거 기상자료가 축적되어 있기 때문에 본 연구 성과의 실증과 검증을 위해 매우 유리한 조건을 지님
- 또한 2015년 서울에서 개최된 지방자치단체국제환경협의회(ICLEI) 총회에서 '서울의 약속: 기후변화 대응 행동요강(Promise of Seoul: Taking Actions against Climate Change)' 발표를 통해 폭염과 같은 열환경 악화로 인한 기상재해의 예방과 대응역량을 향상시키기 위한 적극적인 의지를 표명한 바 있음
- 아울러 유사한 조건을 지닌 대구시도 연구성과의 적용과 확산을 위한 대상지로 함



❙그림 1-10❙ Pilot Test 대상지(서울시)의 지형지세와 열섬현상



❙그림 1-11❙ Pilot Test 대상지(서울시)내 기상청 AWS 운용 현황

❑ **중요성 10 실용화 가능한 열환경 개선안 도출을 위해 도시계획·설계 관련 법·제도를 고려한 가이드라인 및 열 취약지역 평가인증체계 개발**

- 실용화 가능한 열환경 개선안 도출을 위해서 도시기본계획, 도시관리계획, 지구단위계획과 같이 공간위계에 따른 유형 설정을 통한 열환경 계획·설계·관리 가이드라인을 개발함
- 도시공간 위계, 유형별 공간 특성에 적합한 열환경을 평가하는 지표를 개발하고, 조례 개정 등 정책적 제안과 연계하여 평가인증체계의 실용화를 도모함

지구단위계획 평가지표 우선순위

지표분류	우선순위	평가항목	평균척도
열발생지표	1	건폐율	5.8
	2	지붕재료의 열용량	5.5
	2	인공피복율	5.5
	4	녹지율	5.4
	5	녹지율	5.4
	6	녹지율	5.4
	7	녹지율	5.4
	7	녹지율	5.4
	9	녹지율	5.4
	10	녹지율	5.4
열저감지표	1	녹지율	5.4
	2	녹지율	5.4
	3	녹지율	5.4
	4	녹지율	5.4
	4	녹지율	5.4
	6	녹지율	5.4
	7	벽면녹화	
	8	도로살수	
	9	옥상살수	

도시기본계획 평가지표 우선순위

지표분류	우선순위	평가항목	평균척도
기후적지표	1	열	
	2		
	3	열	
열발생지표	1		
열저감지표	1		
	2		

도시관리계획 평가지표 우선순위

지표분류	우선순위	평가항목	평균척도
열발생지표	1	도로율	5.5
	2	용도지역 건폐율	5.5
	3	용도지역 면적률	5.0
	4	용도지역 용적률	5.0
열저감지표	1	녹지면적(공원녹지 등)	6.2
	2	수변 공간	5.9
	3	바람길 조성(유동성체계)	5.8
	4	토지피복(투수성 토지피복)	5.7

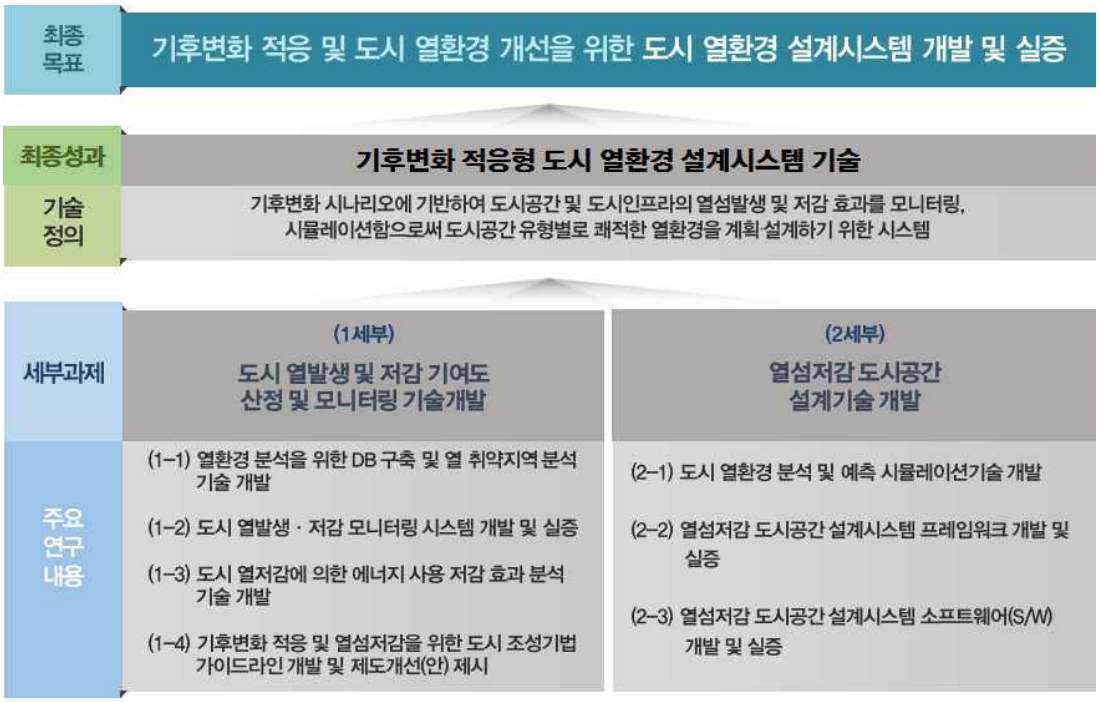
❙그림 1-12❙ 열 취약지역 평가지표 예시

제2절 연구개발의 목표와 범위

1. 연구개발 목표

가. 연구개발의 최종목표

- 본 연구단의 연구개발 최종목표는 기후변화 적응형 도시 열환경 설계시스템 개발 및 실증임
- 이를 위해 1) 도시 열발생 및 저감 기여도 산정에 기반한 열환경 모니터링 기술, 2) 도시계획·설계시 열섬 저감을 위한 도시공간 설계시스템 기술, 3) 개발된 기술을 기반으로 기후변화 적응 및 열섬 저감을 위한 도시 조성기법 가이드라인 및 제도개선안 등을 연구함
- 이 같은 연구의 결과, 저열섬도시 조성을 위해 도시계획·설계 업무에 범용성 및 실용성을 지닌 세계적 수준(기술 자립도 100% 달성)의 차별화된 도시 열환경 설계시스템을 개발함



▌그림 1-13 ▌ 연구의 최종 목표

나. 연구개발 전략목표

- 도시 열환경 개선을 위한 도시계획·설계 업무 범용 시스템 개발
- PC환경에서 도시 전체 열환경을 고해상도(공간해상도 10m×10m, 시간해상도 1시간)로 유지하여 단시간(서울시 전체 60분) 내에 시뮬레이션 분석
- 도시 열환경의 미시적(단위 건물군 중심) 분석과 거시적(도시 전체) 분석 연동 수행
- AWS 기온 실측치 대비 시뮬레이션 오차 NRMSE(Normalized Root-Mean-Square Error) 15% 내 정확도 확보
- 열섬지역 예년 평균기온 대비 기온 저감(미시적 1℃, 거시적 0.3℃) 개선안 도출
- 기후변화, 도시계획 법·제도, 비용편익 등을 고려한 실천가능한 열환경 개선안 도출
- 열저감에 따른 에너지 사용 저감과 대기오염 저감 산정

2. 연구개발의 범위

가. 공간적 범위

- 본 연구는 부분적 도시공간들의 열환경 개선이 도시 전체에 합으로 나타나는 종합적 효과의 범위와 강도를 규명하고, 거시적 열섬현상과 미시적 열환경 개선을 위한 도시계획·설계전략의 효과를 동시에 검증하고자 함
- 주요 성과의 실증과 검증을 위한 Pilot Test 대상지는 서울시로 함. 서울시는 우리나라 광역시 중 가장 규모가 크고 도시화 수준이 높으며 대표적 분지형 도시로서 열섬현상이 빈발하기 때문에 성과 실증과 검증에 적절한 조건과 의미를 지님. 아울러 유사한 조건을 지닌 대구시도 연구성과의 적용과 확산을 위한 대상지로 함.
- 또한, 미시적 규모에서의 성과의 실증과 검증은 잠실동(잠실주공5단지), 장위동(장위4주택개발지구), 서교동·동교동(마포지구 지구단위계획구역)으로 함

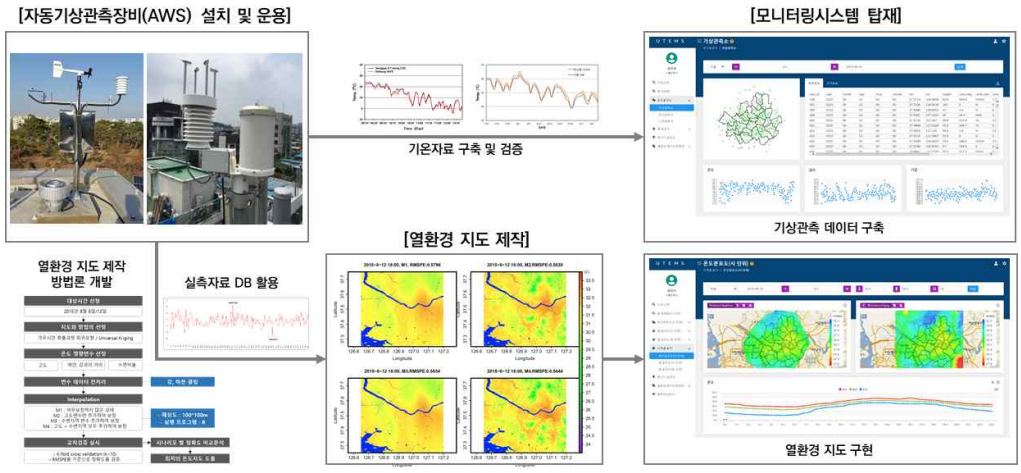
나. 시간적 범위

- 현시점 및 가까운 미래뿐만 아니라 기상청에서 제공하는 고해상도 RCP 및 앙상블 기후변화 시나리오를 선택적으로 복합하여 기후변화에 의한 중·장기적(20~50년 후의 예측) 미래를 시뮬레이션하고 대응책을 수립하고자 함

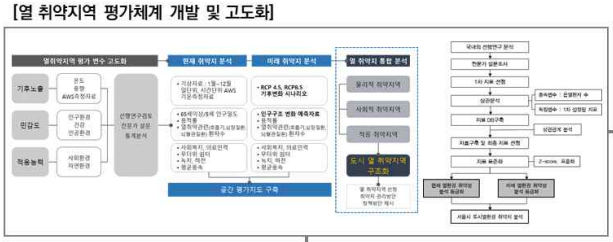
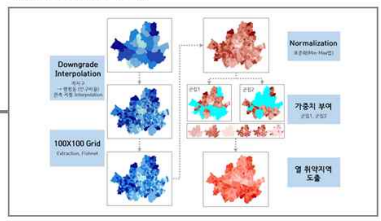
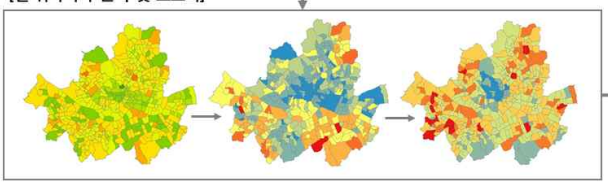
다. 내용적 범위

가) 열환경 분석을 위한 DB구축 및 열 취약지역 분석기술 개발

❑ (CTE 1-1)도시공간의 열환경 평가지표

정의	• 자동기상관측장비(AWS) 설치를 통한 기온현황 실측, 열환경 지도제작
설정 사유	• 열 환경 개선을 위해 현재 도시의 열환경 현황이 어떠한지 파악하고 분석하여 이를 대비하는 것이 중요함. 현재보다 더 조밀한 관측망 구축을 통해 도시 열환경을 관측하고 활용방안을 개선하고자 함
목적	• 도시공간의 열환경 평가를 위한 자동기상관측장비 설치 및 열환경 지도화
단위 성과	• 기온현황 실측 및 도면 • 도시공간의 열환경 평가지표
성능 목표	**(기존기술 수준)** • 도시 열환경분석을 위해서는 한정적인 기존의 지자체, 기상청 기상관측망 자료는 관련 분석 활용에 한계가 있으며, 기존 관측 기상자료에는 기계 오작동, 통신장애 등으로 인해 이상치, 결측치 존재 • 도시 열환경의 공간적 해결책 마련을 위해 도시기후지도나 열섬지도를 이용한 도시계획 해외사례가 다수 있으나, 국내 도시계획제도상에서는 포함되지 않음 **(개발기술 수준)** • 기온관측망 영향범위와 AWS 분포 적정성을 평가하여 추가적인 자동기상관측장비 설치 • 데이터전처리, 공간자기상관관계 분석 등을 통해 결측치와 이상치를 판단하여 자동기상관측장비 자료 품질분석을 통한 분석자료의 안정성 확보 • 관측고도, 강유역 거리 등을 고려한 보정으로 도시열지도 제작 기술 제시 • 각 관측소별 연계될 모듈을 통해 수신된 데이터구축, 측정된 자료를 기반으로 보간기법을 활용한 기온분포도 열환경지도 모니터링시스템 탑재 • 자동기상관측장비 제작 및 설치부터 데이터 품질분석, 온도지동 작성방법과 사례, 취약성 평가방법 등에 대해 가이드라인 작성
기술 개념도	

- (CTE 1-2)기후변화 시나리오 기반 열 취약지역 평가기술

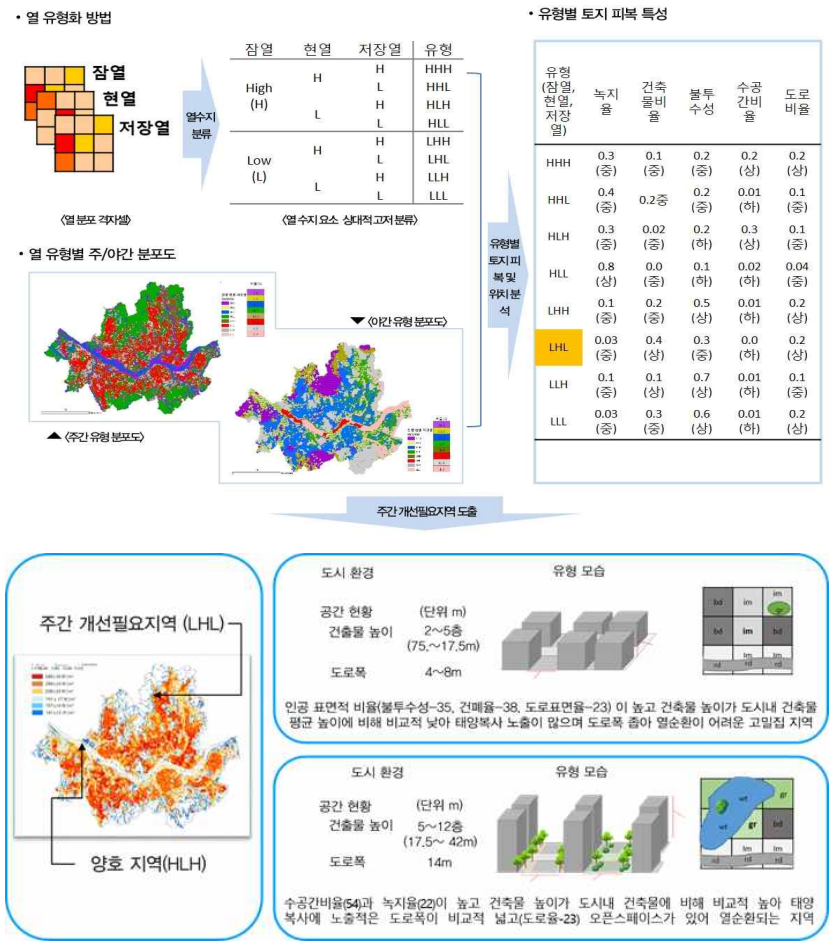
정의	• 도시공간 열 취약지역 평가체계 개발
설정 사유	• 기후변화와 폭염 등으로 온열질환 수 증가, 사망자 수 증가, 폭력성 증가 등의 심각한 문제를 가져옴. 특히 사회적으로 취약한 계층의 주거지역이 열 환경이 악화되기 쉽기 때문에 열 취약지역에 대한 평가와 대비가 필요함 • 현재 열환경 취약지역 파악뿐만 아니라 기후변화에 의한 중·장기적 열환경 악화 가능성을 고려하여 열환경 측면에서 도시의 지속가능성을 확보가 중요함
목적	• 도시 열환경 취약지역 평가체계 개발 및 모니터링시스템과의 연계기술
단위성과	• 기후변화를 고려한 열 취약지수 및 취약지 평가기술(DB) • 도시열발생 저감 모니터링시스템과의 연계기술(시스템 내 세부모듈)
성능 목표	**(기존기술 수준)** • 기존 연구는 기온이 높은 지역을 중점으로 도시 열환경 취약지가 분석되어 단순 폭염현상뿐만 아니라 주민 건강, 경제수준, 주변 환경, 물리적인 변화 등의 복합적인 피해가 발생되는 특성이 고려되기에 한계가 있음 • 대상지에 한정되어 있거나, 자료 구득이 용이하지 않아 평가방법론의 일반화 필요 **(개발기술 수준)** • 기후노출, 민감도(인구환경, 보건, 물리적 환경), 적응능력(사회, 자연환경) 등을 종합적으로 고려하여 도시 열환경 취약지역 도출 • 범용성, 자료 구득의 용이성, 법령 지침 준수 원칙에 의해 열 취약지 평가방법론 개발 • 기후변화 시나리오, 미래 인구예측을 통해 현재 뿐만 아니라 미래 열환경 취약성 평가 • 열 취약성 분석 모듈 알고리즘 기반 도시 열환경 모니터링 시스템 탑재
기술 개념도	[열 취약지역 평가체계 개발 및 고도화]  [평가지표 DB구축]  [열 취약지역 분석 및 고도화]  [모니터링시스템 탑재] 

나) 도시 열발생 및 저감 모니터링 시스템 개발 및 실증

❑ (CTE 1-3) 도시공간 요소별 열수지 산정기술

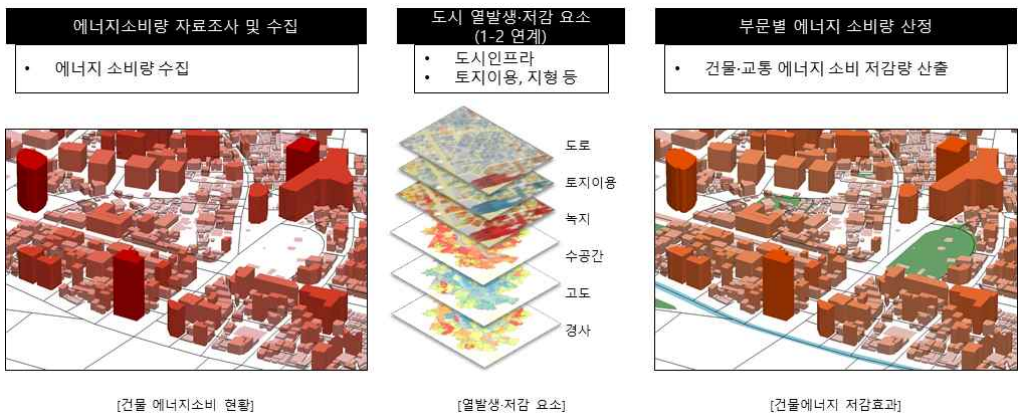
정의	• 도시공간과 인프라의 열발생 및 저감 효과를 정량적으로 산정하여 쾌적한 열환경을 위한 공간의 유형별 계획 시스템 기술
설정 사유	• 인간의 토지이용과 활동에 의해 분포와 규모, 강도가 높아지고 있는 도시 열섬의 저감을 위해서 열이 발생되는 원인과 이를 저감시킬수 있는 요인에 대해 파악 가능한 열현황 모니터링 시스템 개발 필요
목적	• 열현황 모니터링 시스템에 적용될 지역(100㎡)/미시(10㎡)규모 열수지 산정기술개발 • 열발생 및 저감 요소 파악 가능한 열현황 모니터링 시스템 개발
단위 성과	• 지역규모 도시공간 열수지 산정기술 및 실증 • 미시규모 도시공간 열수지 산정기술 및 실증 • 열환경 모니터링 시스템에 반영
성능 목표	**(기존기술 수준)** • 열환경 개선을 위한 도시계획 및 설계 수립에 있어 열수지 접근을 활용한 기술 부재 • 도시계획(설계) 수립에 있어 도시 공간의 열발생 원인과 저감 요인을 정량적으로 고려한 현황 파악 가능한 모니터링 시스템과 진단할 수 있는 도구 부재 • 도시계획(설계) 수립 시 열섬 저감을 위한 외부 공간 요소(공원·녹지·수공간 등)의 구체적 조성 제안을 위한 미시적 공간(근린 생활 공간) 스케일에서의 정량적 접근의 기술 개발 부재 **(개발기술 수준)** • 국내 도시공간 특성과 지역기후가 접목된 열발생 원인에 대한 논리적 타당성 확보 • 도시 열섬 저감을 위한 외부공간 요소(녹지·수공간, 가로수 등)를 활용한 공간 규모별 (지역/미시) 열수지 산정 기술의 열현황 모니터링 시스템 가시적 표출에 대한 혁신성 확보 • 지역/미시 규모의 열 산정을 통한 공간규모별 도시설계 및 계획에의 실용성 확보 • 외부 공간에서의 열발생 원인에 대한 물리학적, 정량적 접근의 과학성 제고 • 설문을 바탕으로 한 모니터링 시스템의 UI 개발을 통한 사용자 중심의 편의성, 실효성 도모
기술 개념도	

❑ (CTE 1-4) 열 취약지역 원인 및 개선효과 산정기술

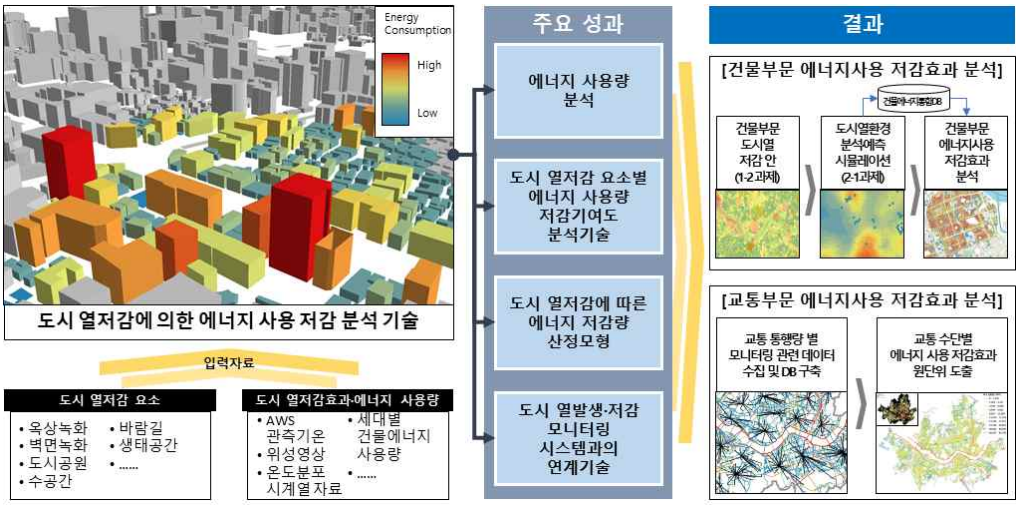
정의	• 열환경 개선을 위한 도시공간 차원에서의 열수지 취약지역 도출 위한 유형화 기술
설정 사유	• 기존 도시 열섬현상 분석은 기온의 고저와 사회과학적 요소를 분석하여 열환경 취약지역 도출을 통해 이루어진 바, 공간적 특성을 파악하여 취약지역의 원인을 정량적으로 파악할 수 있는 열수지를 바탕으로 한 도시공간의 열 취약지역에 대한 적응성을 향상시키고 지속가능성을 제고하는 열 취약지역 도출 기술 필요
목적	• 도시 공간 열 취약지역 열수지 개선 필요지역 평가 및 유형화
단위성과	• 도시 공간 열 취약지역 원인평가기술 개발
성능 목표	**(기존기술 수준)** • 열환경 개선을 위한 도시계획·설계에 대한 열수지 접근방법과 도시 특성을 반영한 열수지 유형화 개발 사례 전무 • 기후변화 적응차원에서 도시 열환경 개선을 위한 과학적 정량적 준거 미확보 **(개발기술 수준)** • 도시 공간의 열수지에 따른 공간 유형을 통해 열 취약지역이 되는 공간적 특성(토지피복, 건축물 높이 등)을 파악하여 열환경 개선방안 수립을 위한 도시 계획 및 설계 분야에서의 활용성 확보 • 열에 근거한 유형화를 통해 도시 열섬 현상의 원인적 접근 방법 제공 • 도시 계획 단계에서의 반영 가능한 취약지역의 도시재생 뉴딜과 같은 구체적 개선 사업 제시 가능
기술 개념도	

다) 도시 열저감에 의한 에너지 사용 저감 효과 분석기술 개발

❑ (CTE 1-5) 도시 열저감 요소별 에너지 사용량 저감 기여도 분석 기술

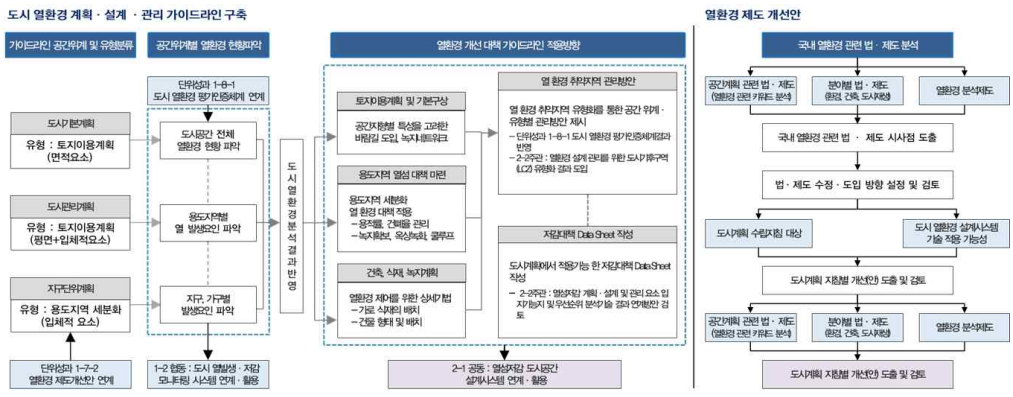
정의	• 도시 열을 저감하는 개별 요소들이 에너지 사용 저감에 기여하는 효과 분석
설정 사유	• 도시의 토지이용과 인간의 활동에 의해 형성되는 도시 열 환경은 에너지소비와 같은 경제적 요인에 영향을 미침, 따라서 도시 열 환경을 개선함으로써 나타나는 건물(전기)에너지 사용 저감효과를 계량적으로 분석할 필요가 있음
목적	• 도시 열저감 요소별 에너지 저감량 산정기술 개발 및 실증
단위 성과	• 도시에너지 사용량 DB관리시스템 개발 • 도시 열저감 요소와 건물에너지 소비와의 관계분석 • 도시 열저감 요소별 에너지 사용량 저감 기여도 분석기술
성능 목표	**(기존기술 수준)** • 전국 차원 도시에너지 사용현황 DB 구축 중 • 도시설계적 요소(옥상녹화, 벽면녹화 등)에 따른 에너지 사용량 저감효과 정성지표를 통한 추정 수준 **(개발기술 수준)** • 열섬 저감 요소의 규모, 형태, 배치 등을 고려한 실증 분석 : 상관계수 0.4이상 확보 • 도시계획·설계적 차원의 다양한 요소를 고려한 건물에너지 사용량 산정 • 도시에너지 사용량 DB 구축 : 건물(전기)에너지 통합시스템(국토교통부)와 연계성 확보 • 도시 지역·지형·사회경제·미기후 여건을 고려한 세대별 건물(전기)에너지 소비특성 분석
기술 개념도	

❑ (CTE 1-6) 도시 열 개선에 따른 에너지 사용 저감량 산정기술

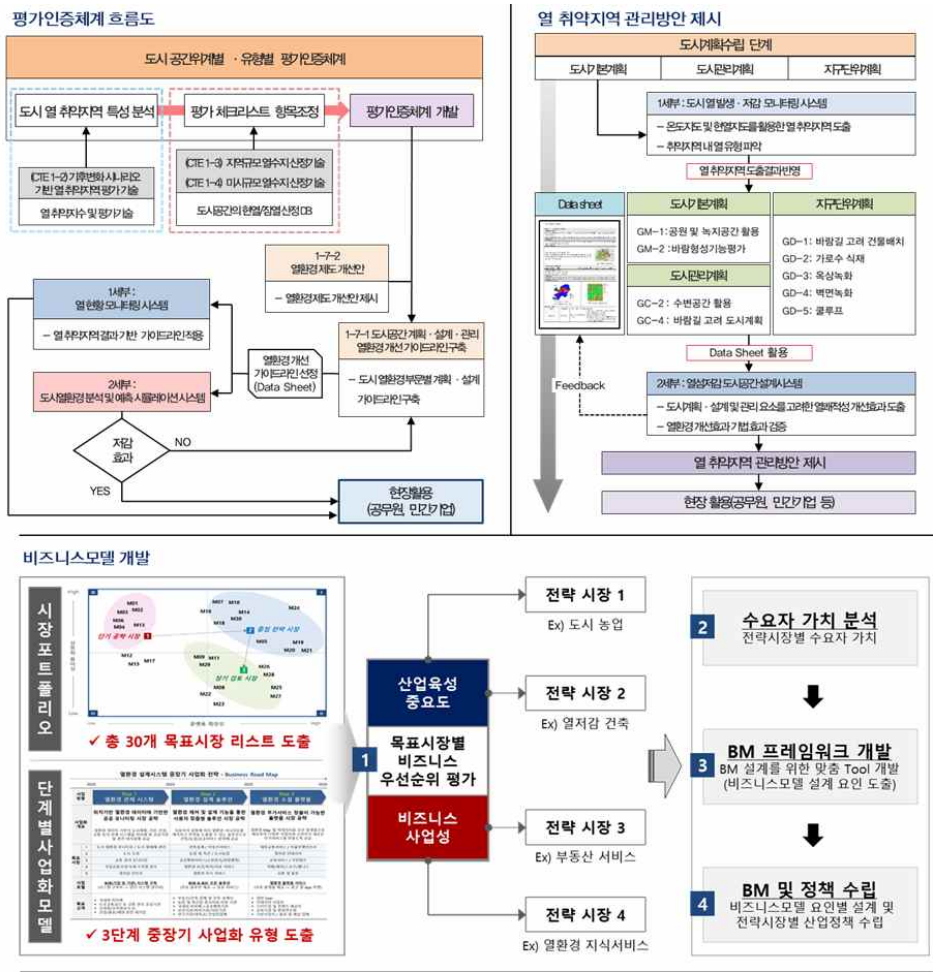
정의	• 열환경 개선안에 의한 에너지 사용 저감량 산정기술 개발
설정 사유	• 도시 열환경이 개선됨에 따라 도시공간의 여름철 냉방(전기)에너지 사용량을 절감할 수 있으며, 대기오염의 감소, 도시민의 쾌적성 향상과 같은 다양한 사회적 편익을 가져옴, 이를 예측하기 위한 시뮬레이션 도구가 필요
목적	• 도시에너지 사용량 DB 구축과 도시재생 및 도시개발사업 시 도시 열저감방안 도입에 따른 에너지 사용 순저감량 산정기술 개발 및 실증
단위성과	• 도시 열저감에 따른 도시에너지 저감량 산정모듈 • 도시 열저감에 따른 에너지 저감량 산정기술 • 도시 열발생·저감 모니터링 시스템의 세부모듈 개발
성능 목표	**(기존기술 수준)** • 도시 열환경 개선에 따른 도시에너지와의 실증적 관계분석기술 부재 • 개별 사례(건축물 또는 인프라)를 대상으로 열환경 개선에 따른 에너지 사용량 저감효과를 분석하고, 다양한 도시계획 요소를 고려하여, 도시 전체를 대상으로 종합적으로 분석하는 수준 미흡 • 도시 열 분포에 따른 에너지 소비특성을 단일시점 기준으로 분석함 **(개발기술 수준)** • 도시 열저감 요소에 대한 종합적인(건물, 교통) 에너지 사용 저감 기여도 분석 • 도시 열저감에 따라 저감되는 에너지 순사용량 산정과 실증 • 도시재생 및 도시개발사업에 대해 도시 에너지 소비량을 기준으로 대안 평가
기술 개념도	

라) 기후변화 적응 및 열섬 저감을 위한 도시조성기법 가이드라인 개발 및 제도개선(안) 제시

❑ (CTE 1-7)저열섬 도시 조성을 위한 제도 개선안

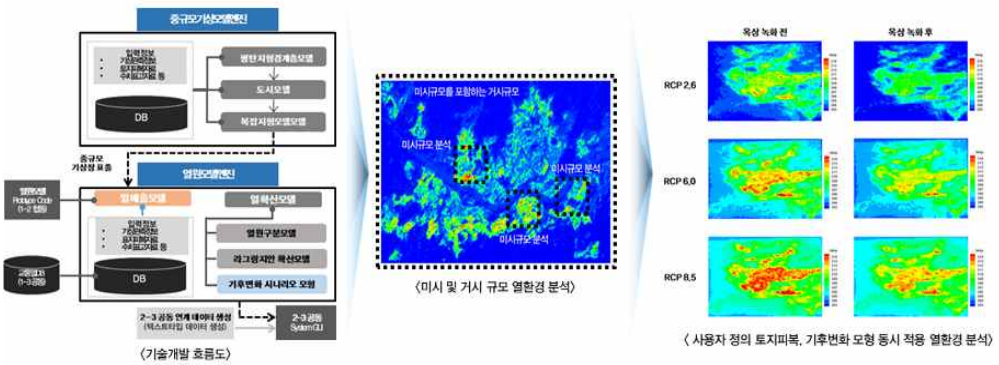
정의	• 열섬 저감 도시조성과 열환경 개선 계획·설계·시행의 지속적 확대를 위한 제도적 기법
설정 사유	• 저열섬 도시조성을 위해 개발되어지는 도시 열환경 설계시스템기술의 실효적 현장적용을 위해서는 도시계획 제도상의 기반조성이 필요하기 때문에 이를 위한 제도적 개선안 마련이 요구됨
목적	• 기후변화에 능동적으로 적응하고 도시 열섬현상을 과학적·계획적으로 제어함으로써 선진국 수준의 쾌적한 도시환경 창출에 기여
단위 성과	• 도시공간의 계획·설계·관리 열환경 개선 가이드라인 구축 • 열환경 제도개선안
성능 목표	**(기존기술 수준)** • 현재 시행되고 있는 도시 열섬현상 저감 관련 기술은 건축물 녹화 정책과 관련된 제도가 주류를 이루고 있음 • 기후변화 적응정책과 관련된 기술, 그린도시 조성과 관련된 제도는 상대적으로 부족한 실정임 • 현행 도시계획 제도상에 있어서 저열섬도시 조성을 위한 종합적이고 체계적인 제도정비 부재 **(개발기술 수준)** • 기후변화 적응과 지역적 특성을 반영하여 도시의 열환경을 설계하고 관리하는 종합적이고 통합적인 가이드라인 및 제도 정책 제안 • 저열섬도시 조성을 위한 계획 위계별(도시기본계획에서 지구단위계획까지) 제도정비 가이드라인 제시 • 현장 실무자 중심의 실효적인 제도 방안 제시
기술 개념도	

❑ (CTE 1-8)기후변화 적응을 위한 도시 열 취약지역 개선안

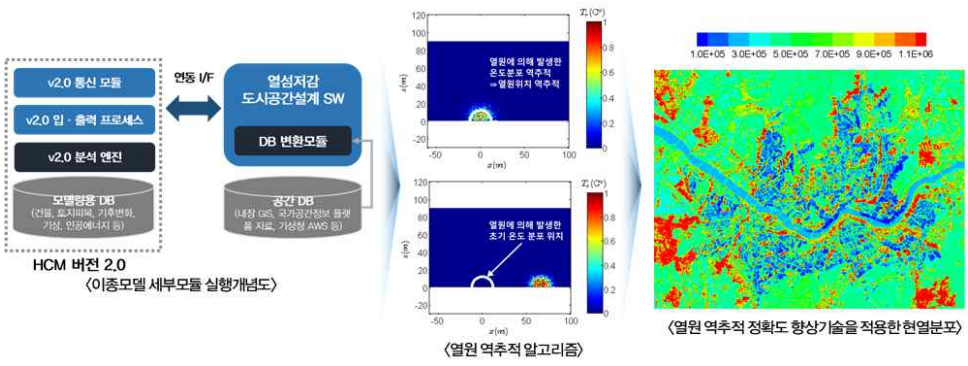
정의	• 도시 열환경 실태와 개선에 대한 객관적이고 계획적인 평가체계를 확보하여 도시 열 취약지역 개선 및 관리를 위한 제도 개선안
설정 사유	• 실제 도시공간에서 도시 열 취약지역을 효과적으로 평가하고 이를 기반으로 도시계획과정에서 도시 열 취약지역 개선안을 체계적으로 도출하여 적용하기 위한 방안 마련이 필요함
목적	• 도시 열 취약지역에 대한 개선 및 관리방안을 기존 도시계획 및 관리를 위한 제도의 틀안에서 제시하고, 이를 활성화 할 수 있는 방안을 마련
단위성과	• 도시공간 위계별·유형별 열환경 개선 평가인증체계(2~4차년도) • 도시 열 취약지역 개선 및 관리(6차년도) • 비즈니스 모델(2~3차년도, 5~6차년도)
성능 목표	**(기존기술 수준)** • 도시 열 취약계층 및 취약지역을 체계적으로 개선 관리하는 계획적 제도는 개발되어 있지 않음 • 도시 열 취약지역 평가를 위한 표준 인증체계 부재로 인한 정책 제도적 지원·관리 미흡 **(개발기술 수준)** • 기후변화 적응을 위한 국내도시의 특성을 반영하여 도시 열 취약지역을 객관적 지속적으로 관리하는 평가인증체계 개발 • 도시공간 위계별·유형별 계획 수립 단계에서의 도시 열 취약지역 평가 체계 확보 정책 입안자, 평가자, 실무자 등에게 도시 열 취약지역 평가체계 및 개선방안 제시
기술 개념도	

마) 도시 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 개발

❑ (CTE 2-1)도시기상을 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술

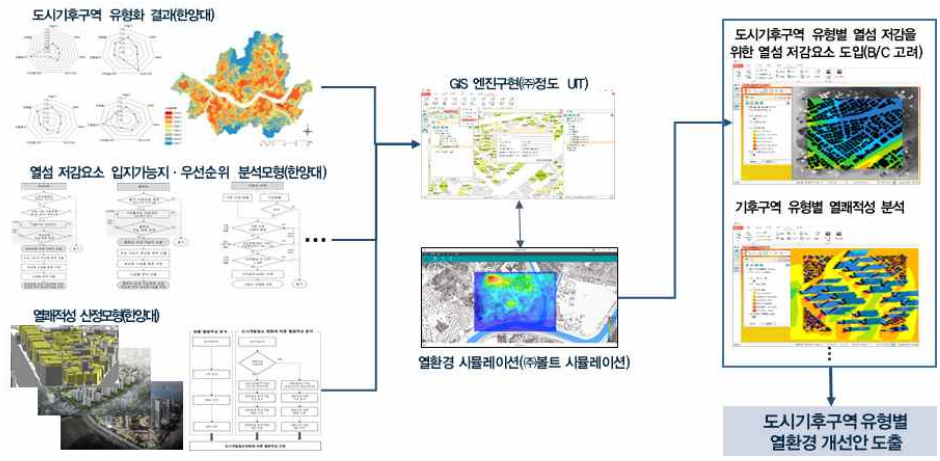
정의	• 열확산에 영향을 주는 도시기상인자를 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술
설정 사유	• 도시기후구역(LCZ) 유형별 맥락과 특성을 고려한 도시계획·설계 의사결정 지원시스템을 제작하기 위해서 LCZ 규모 이하의 열환경 분석기능이 요구되므로 도시기상 특성을 반영한 열환경 시뮬레이션 기술개발이 필요
목적	• 도시기상(기온, 풍향, 풍속, 습도, 일조 등)과 도시의 물리적 특성(지형, 토지피복, 건축물의 배치 및 밀도 등)을 종합적으로 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 개발 및 실증
단위 성과	• 도시 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 개발 • 기후변화 모델 통합기술 개발 • 웹환경 GIS 기반 사용자 GUI
성능 목표	**(기존기술 수준)** • 미기상모델의 경우 분석 범위가 단지규모로 한정되어 건축물의 배치나 밀도 변화와 같은 미시적인 개선안에 따른 도시 전체의 영향을 파악할 수 없음 • 중규모 기상모델은 도시전체 규모의 분석은 가능하나 미시적인 개선안의 반영이 어렵고, 미시공간규모의 분석 정확도가 떨어짐 • 도시 열환경에 미치는 영향이 큰 도로 교통량, 에너지 사용량 및 인구 등에 의한 인공열발생량을 고려하지 못함 • 기 개발된 모델시스템 활용 시 모델시스템 내 구성모듈에 대한 충분한 이해가 부족해 시뮬레이션 결과치에 오류가 있어도 감지할 수 없는 불합리한 점이 존재함 • 외국에서 개발된 모델의 경우 지형·지세 등과 같이 외국의 상황과 국내의 상황 차이로 인해 외국에서 적합한 모델이라 할지라도 국내에서 사용할 경우 만족할 만한 시뮬레이션 결과를 도출할 수 없는 경우도 있음 **(개발기술 수준)** • 도시 전체 규모에서 단지수준의 미시적 규모까지 동시분석이 가능한 시뮬레이션기술 개발 • 기후변화로 인한 배경기상인자 변화를 고려할 수 있는 열환경 분석 및 예측
기술 개념도	 〈기술개발 흐름도〉 〈미시 및 거시 규모 열환경 분석〉 〈 사용자 정의 토지피복, 기후변화 모형 동시 적용 열환경 분석〉

❑ (CTE 2-2)열원 역추적 모델링 기술

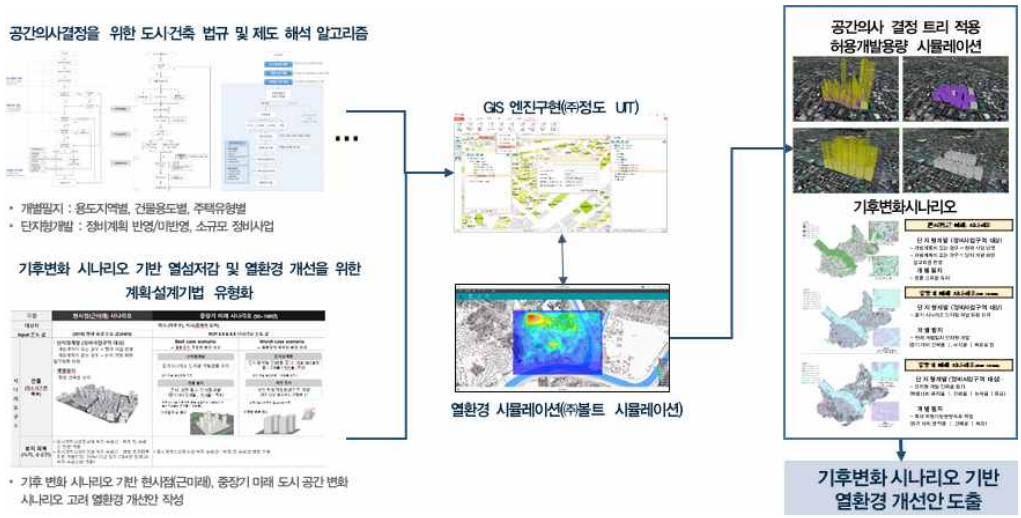
정의	• 도시 열환경 변화의 원인이 되는 열원파악을 위한 역추적 모델링기술
설정 사유	• 열섬 저감을 위한 도시계획·설계 의사결정 지원시스템에서는 특정지역의 열환경 기여원인을 공간별로 파악할 수 있는 기능 필요
목적	• 기후변화 및 도시 열환경 대책의 효율성 제고를 위한 도시 열환경 영향인자 파악
단위성과	• 열원 역추적 분석 모델링기술 개발 • 열섬 저감 도시공간 설계시스템과의 연계기술 개발 • 역추적기반 열환경시뮬레이션 정확도 향상기술(I/F엔진) 개발
성능 목표	**(기존기술 수준)** • 기 개발된 도시 열환경 시뮬레이션기술은 열원으로부터 발생된 열과 기상 및 지형 등의 자료를 이용해 열이 확산되는 현상만을 예측함 • 열원에 대한 정보없이 열환경 변화만 관측될 경우 열발생의 원인을 파악할 수 없어 효율적인 대책 마련이 어려움 **(개발기술 수준)** • 기상장 정보를 이용한 역시간 이류확산 계산을 통해 탐지된 열의 발생정보를 추적할 수 있는 열원 역추적 모델 개발 • 열섬 저감 도시공간 설계 시스템과의 통합 시스템 환경구축을 위한 연계 시스템 개발(원격서버 구축, 입/출력 규약 및 통신 프로토콜 확립) • 모델링 정확도 향상을 위해 계산된 기온분포가 관측온도에 부합되도록 역추적기반 정확도 향상기술 개발
기술 개념도	 HCM 버전 2.0 〈이종모델 세부모듈 실행개념도〉 〈열원 역추적 알고리즘〉 〈열원 역추적 정확도 향상기술을 적용한 현열분포〉

바) 열섬저감 도시공간 설계시스템 프레임워크 개발 및 실증

❑ (CTE 2-3)도시기후구역(LCZ) 유형별 열섬저감을 위한 도시계획·설계 의사결정 지원기술

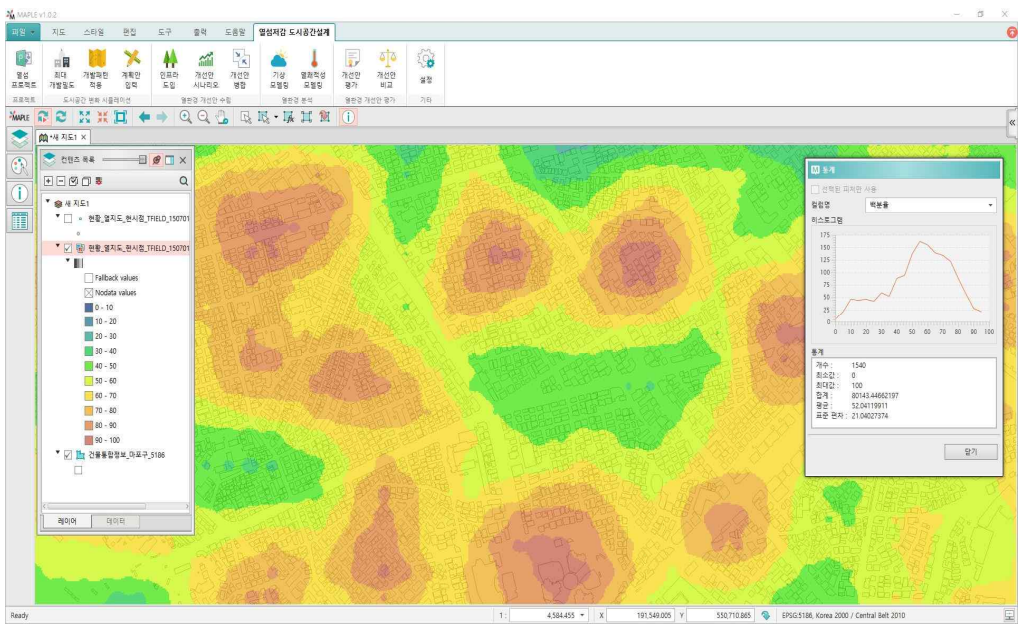
정의	• 도시기후구역(LCZ) 유형별 열섬 저감을 위한 도시계획·설계 의사결정 지원기술
설정 사유	• 인위적으로 조성된 도시공간 속에 인간의 토지이용과 활동에 의해 도시열섬의 분포와 규모, 강도가 결정되어, 열섬 저감을 위해서는 도시기후구역(LCZ) 유형별 맥락과 특성을 충분히 고려한 도시계획·설계 의사결정 지원기술 개발 필요
목적	• 도시계획(설계) 수립에 있어 열환경 개선대책의 경제성 및 실효성 확보
단위 성과	• 도시기후구역(LCZ)유형화 • 열섬 저감을 위한 도시계획·설계 및 관리요소의 입지가능지 및 우선순위 분석기술 • 열성능 기반 도시개발사업의 허용가능 개발밀도 산정기술 • 도시개발밀도 변화에 따른 열쾌적성 산정기술 • 열섬 저감 도시공간 설계시스템 통합·연계기술 I
성능 목표	**(기존기술 수준)** • 도시계획(설계) 수립에 있어 도시공간의 위계와 유형을 구체적으로 고려한 열환경 개선대책 수립 미흡 • 도시계획(설계) 수립 시 열섬 저감을 위한 도시인프라(공원·녹지·수공간 등)의 구체적 조성기법에 관한 기술 개발 미흡 • 주요 선진국의 경우 도시미기후 모델을 개발하여 도시 열환경 관리를 위한 의사결정 지원도구로 활용하고 있음, 그러나, 도시계획·설계 및 관리요소를 적극적으로 활용하여 도시 열환경을 개선하기 위한 기술 개발 미흡 **(개발기술 수준)** • 국내 도시공간 특성과 기후특성이 반영된 도시기후구역(LCZ)의 논리적 타당성 확보 • 도시기후구역별 열섬 저감을 위한 도시인프라(공원·녹지·수공간 등) 입지·순위 분석기술의 실용성 확보 • 우선순위 결정 시 경제적 타당성 분석을 통한 개선안의 실용성 제고 • 대상지의 도시계획 관련 법규와 현재의 개발 여건이 고려된 상황에서 허용가능 개발밀도 산정 결과 도출 • 경제적 타당성 분석을 통한 실천 가능한 개선안 도출
기술 개념도	

❑ (CTE 2-4)기후변화 시나리오 기반 도시계획·설계 의사결정 지원기술

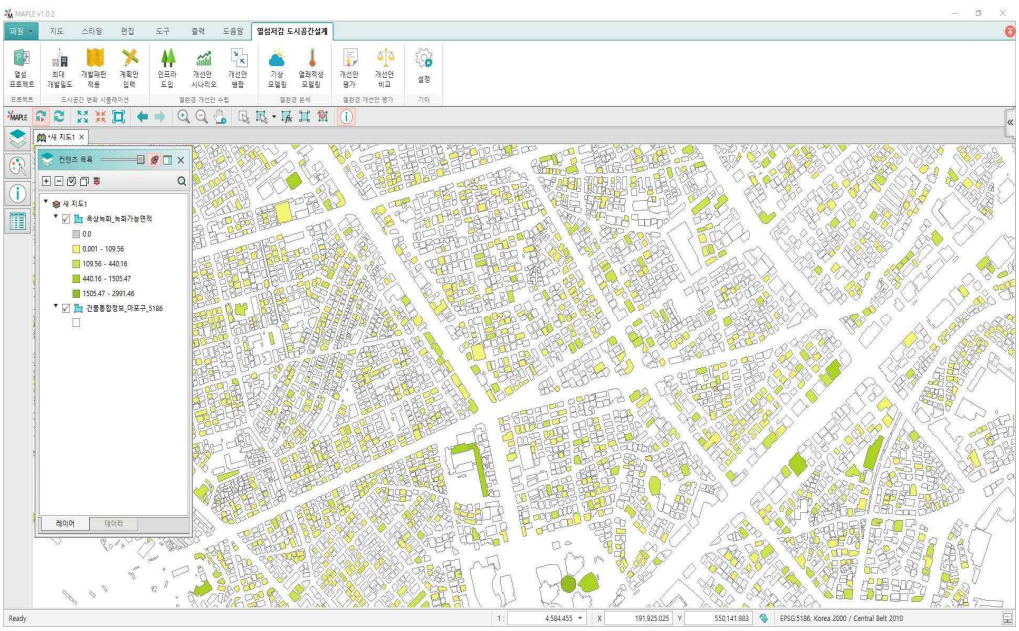
정의	• 현 시점과 중·장기적 차원에서 열환경 개선을 위한 도시계획·설계 의사결정 지원기술
설정 사유	• 기존 도시 열섬현상 분석은 개발 전·후의 비교로 현시점 및 근미래적 차원에서 이루어진 바, 기후변화에 의한 중·장기적 열환경 악화 가능성을 고려하고 도시공간의 기후변화 적응성을 향상시키며 지속가능성을 제고하는 의사결정 지원기술이 필요
목적	• 중·장기적 차원에서 열섬 저감도시 조성
단위성과	• 기후변화 시나리오와 열환경 개선을 위한 도시계획·설계 연동체계 • 공간의사결정을 위한 도시·건축 법규 및 제도 해석 알고리즘 • 기후변화 시나리오 기반 열섬 저감 및 열환경 개선을 위한 계획·설계기법 유형화 • 열섬 저감 도시공간 설계시스템 통합 · 연계기술II
성능 목표	**(기존기술 수준)** • 중·장기적 차원에서 열환경 개선을 위한 도시계획·설계 의사결정 지원기술 개발 사례 전무 • 기후변화 적응차원에서 도시 열환경을 개선을 위한 과학적 준거 미 확보 **(개발기술 수준)** • 기후변화 적응 측면의 중·장기적 도시계획 관련법규(용적률, 건폐율 등)와 현재의 개발 여건(토지이용, 개발밀도 등)을 고려한 열환경 개선안 도출 • 우선순위 결정 시 경제적 타당성 분석을 통한 개선안의 실용성 제고 • 현 시점과 기후변화 시나리오별 열환경 개선안 도출 • 종합적 타당성 분석을 통한 실천 가능한 개선안 도출
기술 개념도	

사) 열섬저감 도시공간 설계시스템 S/W 개발 및 실증

❑ (CTE 2-5)열섬저감 도시공간 설계시스템 소프트웨어(S/W)

정의	열섬 저감 및 도시 열환경 개선을 위한 도시공간정보 시각화 기능과 도시계획·설계를 위한 의사결정 지원기능을 제공하는 소프트웨어(S/W)
설정 사유	도시공간을 시각화하고, 도시 열환경 분석·예측 시뮬레이션 및 도시기후구역 유형별 도시계획·설계 의사결정모형을 통해 도출된 도시공간 내 열섬 저감 요소를 실무자와 전문가들이 효율적으로 활용할 수 있도록 지원하는 도시계획·설계 소프트웨어 개발 필요
목적	열섬 저감을 위한 도시계획·설계 지원 및 도시 열환경 분석 시뮬레이션 결과의 활용, 열환경 개선을 위한 의사결정지원 기반으로 상호 운용성을 갖춘 도시공간 시각화 및 설계지원 소프트웨어(S/W) 설계 및 개발
단위 성과	• 표준 GIS 상호운영성을 고려한 열섬 저감 도시공간 설계시스템 개발 • 소프트웨어 사용성을 고려한 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발 • GIS엔진 기반 시스템 기능 개발
성능 목표	**(기존기술 수준)** • 도시계획·설계 과정에서 기후변화 적응 및 도시 열환경 요소 미고려 • 도시 열환경 변화 상황을 고려한 도시계획·설계 대안 미비 **(개발기술 수준)** • 도시 열환경 요소 및 열섬저감을 위한 도시계획·설계 기능을 제공 가능한 S/W 기술 개발 (기존도시계획/설계 S/W 대비 90% 사용성 확보) • 기존 도시계획·설계 시스템과의 호환성을 보장할 수 있는 표준 GIS 명세 기반의 상호 운용성 확보 (OGC WMS/WFS 표준 ETS 대비 95% 수준 호환성 달성)
기술 개념도	

❑ (CTE 2-6)도시 열환경 시뮬레이션 및 도시계획/설계 의사결정 지원 연동모듈

정의	도시 열환경 시뮬레이션 및 도시계획·설계 의사결정 지원 연동모듈
설정 사유	도시 열환경 시뮬레이션 결과와 열섬 저감 도시설계·관리요소에 필요한 공간 및 속성정보를 입출력 및 처리하고, 의사결정 모형을 통해 도출된 결과를 설계시스템 소프트웨어로 전달하기 위한 미들웨어 연동 기능 필요
목적	도시 열환경 시뮬레이션 분석 및 예측 결과와 함께 LCZ 유형별 도시설계·관리 요소를 다차원으로 가시화하고, 열환경 개선을 위한 도시계획·설계, 의사결정 지원에 필요한 요소들을 입출력하고 시각화를 지원하는 연동모듈의 설계 및 개발
단위 성과	• 의사결정 지원을 위한 허용가능개발용량 알고리즘 개발 및 기능 구현 • 타 시스템 및 활용성 관련 공간/속성정보 입출력 호환성을 고려한 시스템 개발 • 시스템 성능을 고려한 연동모듈 개발 및 실증
성능 목표	**(기존기술 수준)** • 도시계획·설계를 위한 속성·공간 데이터의 취합 및 가공은 지원하나 열환경 관련 요소 지원 미흡 **(개발기술 수준)** • 도시 열환경 분석·예측 모델링 및 시뮬레이션 결과로 도출되는 해석 요소를 도시계획·설계 과정에 활용할 수 있도록 입출력 및 시각화 지원 (도시계획 과정 내 활용되는 10종 이상의 공간/속성정보 입출력 호환성 확보) • 도시공간 의사결정 지원 모델링에서 도출되는 DB 및 알고리즘 해석 결과에 대한 상용 수준의 입출력 성능 및 시각화 지원 (국내·외 상용 도시계획·관리시스템 수준의 단위시간 내 평균요청처리량 및 CPU 및 메모리 사용량 달성: 상용 성능평가 S/W 기반 200 TPS, CPU 40% 이하, 메모리 60% 이하)
기술 개념도	

제3절 연구개발의 최종 성능목표

1. 정성적 목표

❑ 시스템의 범용성 및 편의성

- 도시 열환경 개선을 위한 도시계획 및 설계, 건축·건설, 환경분석·평가 업무에 광범위하게 활용 가능
- PC 환경에서 일반 사용자 작동 용이
- 열환경 시뮬레이션 목적에 따라 미시-거시적 도시공간 규모의 자유로운 선택

❑ 분석의 구체성

- 고해상도 RCP 기후변화 시나리오를 복합 고려하여 불확실성 최소화
- 건물 및 교통, 각종 인간활동에 의한 열발생 기여와 녹지 및 수공간 인프라 간의 열저감 기여를 복합 고려
- 도시공간 특성을 기반으로 도시기후구역 세분화
- 국내 지형 및 기상특성을 반영한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션

❑ 법·제도 및 경제적 타당성

- 도시 열환경 개선안 수립 시 현행 법·제도 및 경제적(비용편익) 타당성 고려

❑ 기술 자립성

- 국내 중소기업 자체 기술 열 예측 시뮬레이션 엔진과 GIS 엔진 기반 시스템 개발

2. 정량적 목표

❑ 시스템의 자료 정확도

- 기존 AWS 기온 실측치 대비 신규 AWS 정확도 90% 이상 확보

❑ 분석 해상도(정밀도)

- 대도시(서울시) 전체 열 예측 시뮬레이션 시 공간해상도 10m×10m, 시간해상도 1시간 유지

❑ 분석 정확도

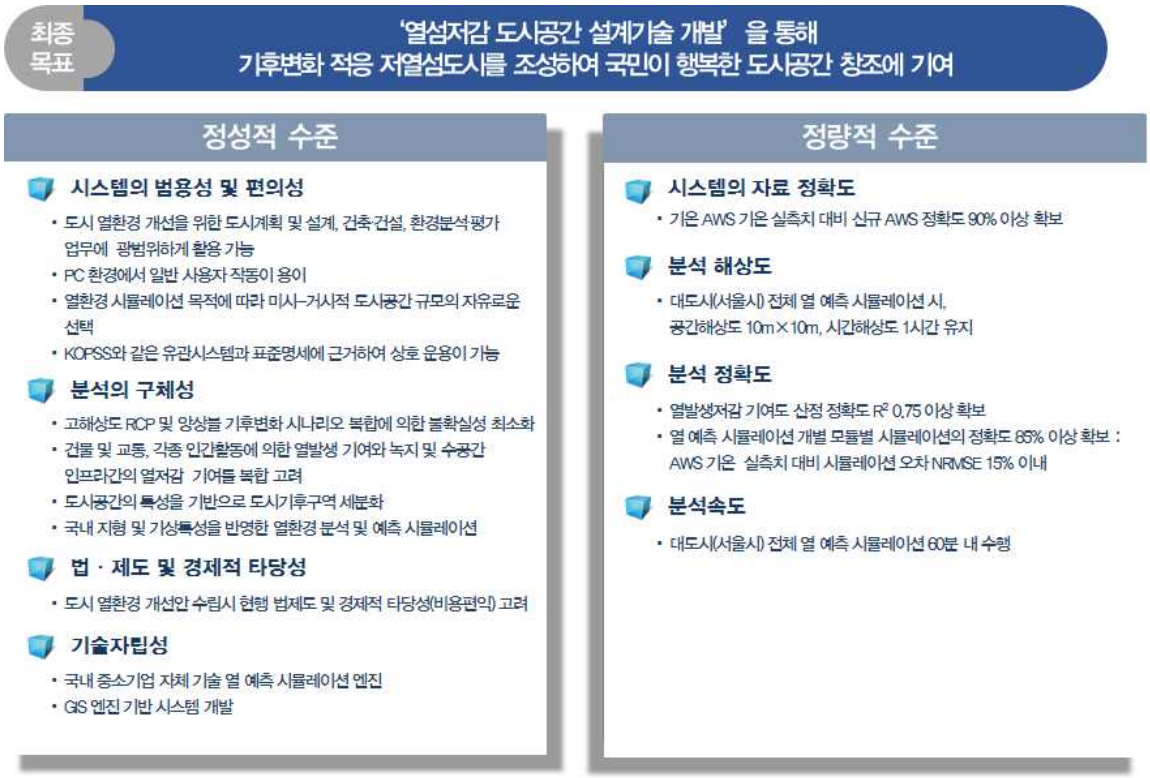
- 열발생·저감 기여도 산정 정확도 R^2 0.75 이상 확보
- 열 예측 시뮬레이션 개별 모듈별 시뮬레이션의 정확도 85% 이상 확보: AWS 기온 실측치 대비 시뮬레이션 오차 NRMSE(Normalized Root-Mean-Square Error) 15% 이내

❑ 분석 속도

- 대도시(서울시) 전체 열예측 시뮬레이션 60분 내 수행

❑ 분석 결과

- 실증 대상도시에 대한 Pilot Test를 통해 열섬지역이 예년 평균기온 대비 기온 저감(미시적 1℃, 거시적 0.3℃)[5]할 수 있는 법·제도·경제적 타당성을 지닌 도시계획·설계안을 도출함으로써 최종성과의 정량적·정성적 연구목표 달성

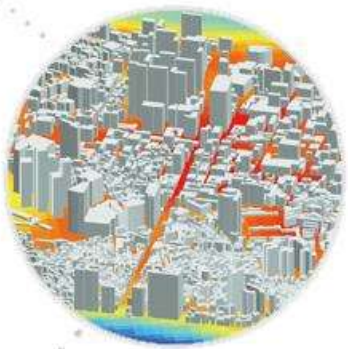


❙그림 1-26❙ 연구개발의 최종 성능목표

5) Liu and Bass(2005)는 캐나다 토론토를 대상으로 도심지 건물옥상의 50%를 녹화할 경우 도시 전체 기온이 0.8~1.0℃ 감소하는 것으로 예측함. Rosenweig and Solecki(2006)은 뉴욕시에서 가용 옥상면적 전부의 녹화를 가정하고 옥상으로부터 2m 상공 대기온도를 시뮬레이션 한 결과, 도시 전체 일평균온도가 0.2℃ 감소하고, 오후 3시 온도가 0.4℃ 감소하였으며, 일부 구역에서 최대 1.0℃의 감소가 나타나는 것으로 보고함

제2장 연구수행 내용 및 성과







제2장 연구수행내용 및 성과

제1절 도시 열발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링 기술 개발

1. 도시 열환경 분석을 위한 DB구축 및 열 취약지역 분석기술 개발

가. 도시공간 열환경 평가지표

1) 기온현황 실측 및 도면

❑ **기온자료 품질분석 틀 개발 (장비 운용 가이드라인)**

- 관측된 기상자료에는 기계적인 오작동, 통신장애로 인한 자료 전송 오류 등으로 인해 결측치가 존재할 수 있음. 분석자료의 안정성을 높이기 위해 결측치와 이상치에 대한 판단이 필요하며, 해당 지점의 데이터를 시계열로 분석하고, 주변지역 관측지점 데이터와 비교·분석하는 품질분석이 실시되어야 함
- 민간 통신업체(SK TechX)에서 구득한 현재까지 측정된 자료부터 연구단에서 설치한 자동기상관측장비의 측정자료 검증까지 다음과 같은 방법으로 품질분석이 시행될 수 있음

- 관측장비에서 측정된 기온자료를 분석 해상도에 맞게 전처리하고 취합한 후, 결측치를 평가하고 결측률 20% 이상의 지역은 제외한 후 이상치 평가를 실시하고 보정함
- 이상치 평가는 공간표준편차 분석을 이용하여 분석
- 공간표준편차 분석은 결측률이 20% 미만인 전체 관측소들의 기온관측 영향범위 내에 포함되는 월별 평균 기온을 산정하고 평균한 값을 기준으로 각 관측소들의 평균기온과의 표준편차를 산정한 후, 표준편차가 3배를 벗어나는 관측소를 이상치로 평가함

- 보정이 필요한 지점에서 기온관측망 영향범위 내 위치한 가용관측소 자료에 결측이 없을 경우 RDS(Reciprocal Distance Squared) 방법을 이용하여 보정함

- RDS 방법은 이상·결측된 관측소의 강우를 인근 관측소들의 관측치에 가중치를 주어 평균한 값으로 보완하는 방법으로 거리가 가까운 관측소일수록 큰 가중치를 갖게 됨



▌그림 2-1▐ 기온 데이터 이상치 평가 방법

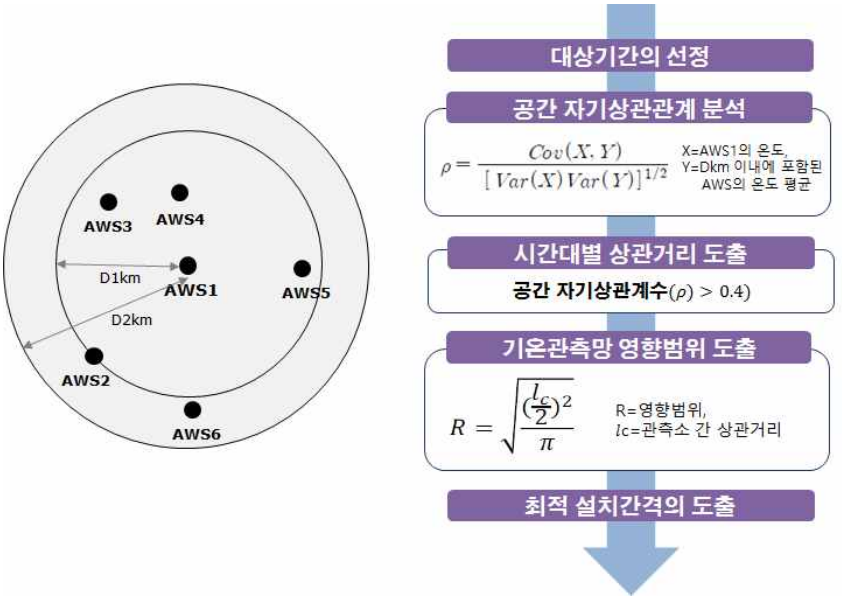
• 자동기상관측장비 설치 위치 선정

- 도시 열환경의 균형적 측정을 위해 현재 설치되어 있는 기온관측망의 영향범위를 분석하고 이를 하나의 변수로 활용하여 추가적으로 설치될 자동기상관측장비의 설치적지를 분석
- 기온관측망 영향범위는 7월 중 강우량이 없고, 운량이 맑음 또는 구름조금을 충족하는 날의 시간대별 평균을 이용하여 분석 실시
- 기온관측망 영향범위 분석을 위한 최종 분석자료는 결측률이 20% 미만에 해당되는 개소만을 활용하여 각 시간대별로 데이터의 이상치를 평가하여, 관측값이 인근 관측소 평균치의 3배 이상의 편차가 발생하는 것은 오류일 가능성이 있다고 보고, 이 같은 극단적 이상치는 제외하고 분석을 실시
- 기온관측망의 영향범위 파악을 위해 공간 자기상관분석을 실시함. 기온분포에 대한 공간상관구조는 기온관측소간 거리에 대한 상관계수로 정량화하게 되며 이것을 공간상관함수 또는 공간상관도라고 함. 공간상관도는 기온의 공간상관구조를 파악할 수 있을 뿐만 아니라 공간상관구조의 대표적인 값이라 할 수 있는 상관거리를 정량화하는 데에도 이용됨(North 등, 1991; 유철상 등, 2008)
- 분석은 임의의 지점 기온 관측 신뢰도가 인근지점 기온 관측소에 대한 공간상관함수로 설명될 수 있다는 가정 하에 정량화
- 공간상관거리는 기온자료의 공간적인 변동 특성에 따라 달라짐. 서울시에 존재하는 기온관측 자료 사이의 상호종속성 또는 관련성은 관측소간의 상관계수에 의해 정량화 될 수 있으며 다음 식(첫 번째)에 의해 표현될 수 있음. $Var(X), Var(Y)$는 각각 X, Y의 분산이며, $Cov(X,Y)$는 다음 식(두 번째)와 같이 계산되는 X와 Y의 공분산임

$$\rho = \frac{Cov(X,Y)}{[Var(X)\,Var(Y)]^{1/2}}$$

$$Cov(X,Y) = E(XY) - E(X)E(Y)$$

- 4개의 시간대(05시, 16시, 20시, 23시)의 포인트별 기온자료를 활용하여 해당 지점과 인접거리(0.1km - 40km까지 100m 단위) 자료의 평균 자료를 바탕으로 피어슨 상관계수를 도출하고, 공간적 자기상관지수로 활용함
- 공간적 자기상관지수는 -1에서부터 +1까지의 값을 가지며, +1에 가까울수록 강한 정적인 공간적 자기상관성이 있음을 의미하며, 반대로 -1에 가까울수록 강한 부적 공간적 자기상관성이 존재하고 있다고 해석할 수 있음
- 본 연구에서는 공간적 자기상관계수가 0.4이상일 경우 서로 공간적상관성이 있다고 판단(박창열 등, 2015; 김재복 등, 2007; 유철상 등, 2008)하여 이에 해당되는 상관거리를 도출하여 제시함



▌그림 2-2▐ 기온관측망 영향범위 분석 절차

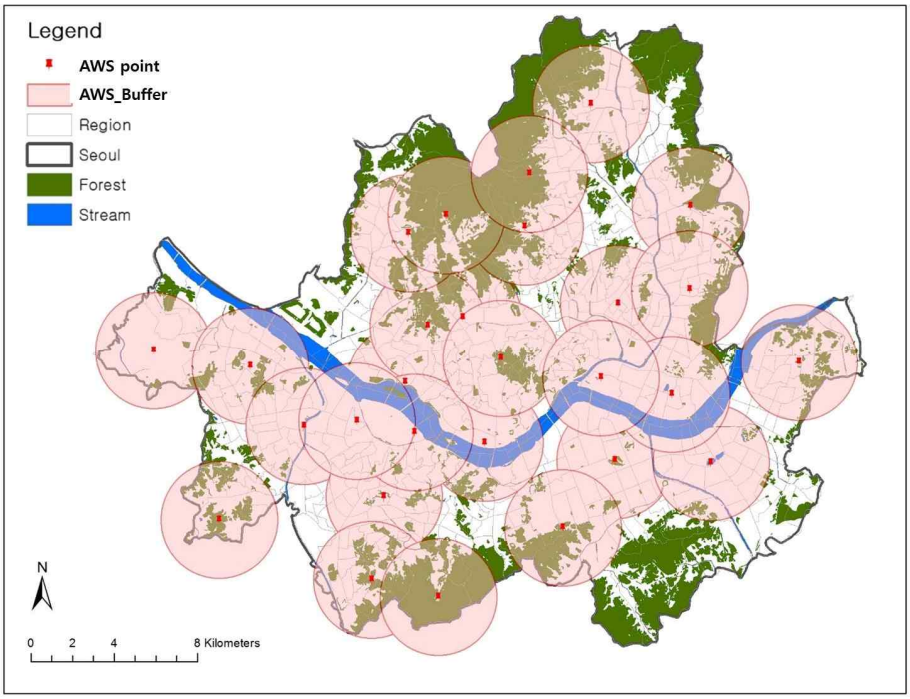
• 기온관측망 영향범위 도출

- 기온관측소의 영향범위는 원형으로 가정함
- 이 경우 공간적으로 등방향성 가정을 포함함
- 각 기온관측소의 영향범위를 원형으로 하는 경우 그 반지름 R은 다음 식과 같이 추정할 수 있음(유철상 등, 2008; 박창열 등, 2015).
- l_c는 관측소 간 상관거리를 나타내며, 이에 따라 $(l_c/2)^2$는 각 기온측정장비를 격자 형태로 위치시키는 경우 지배면적이 되고, 이 면적을 갖는 원의 반지름이 R이 됨
- 이때 R은 $l_c/2$에 비해 상대적으로 작은 값을 갖게 되고, 이 값은 $l_c/2$를 바로 사용하는 경우에 비해 엄격한 기준이 됨

$$R = \sqrt{\frac{(l_c/2)^2}{\pi}}$$

• 기온관측망 영향범위 분석

- 시간대별 관측망의 영향범위를 정량적으로 살펴보기 위해 공간상관분석을 통해 유도된 상관거리를 영향범위로 환산함
- 앞서 도출된 상관거리의 경향과 같이 일출 전 오전 5시의 영향범위가 2.82km로 가장 작으며, 오후 4시의 영향범위는 6.63km로 가장 크게 나타남
- 기온 관측망의 상관거리 및 영향범위를 결정하는데 온도의 높고 낮음이 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며, 온도가 높은 시간보다 온도가 낮은 경우 상관거리가 더 작게 나타나고 있어, 기온관측을 위한 기상관측장비가 더 조밀하게 설치될 필요가 있음
- 그러므로 관측소가 설치될 경우 최저기온부터 최고기온까지 모든 시간대를 포괄해야 하므로 7월의 모든 시간대를 포괄할 수 있는 기온관측망의 영향범위는 2.8km임을 알 수 있음
- 다음은 주요시간대별 기온관측망의 상관거리와 영향범위를 나타낸 것임
- 현재 기상청에서 관리하는 서울시 자동기상관측장비를 기준으로 연구결과로 도출된 영향범위를 2.8km로 적용하여 지점별로 나타내면 다음 그림과 같음
- 현재 기상청 기온관측망의 영향범위를 벗어난 지역은 주로 도시외곽에 해당되며, 서울시 경계에 위치한 도봉산, 수락산, 북한산, 청계산, 구룡산, 대모산 일대와 장위동, 상계동, 행당동, 상암동, 수색동 일원이 영향범위에서 벗어나 있음을 알 수 있음



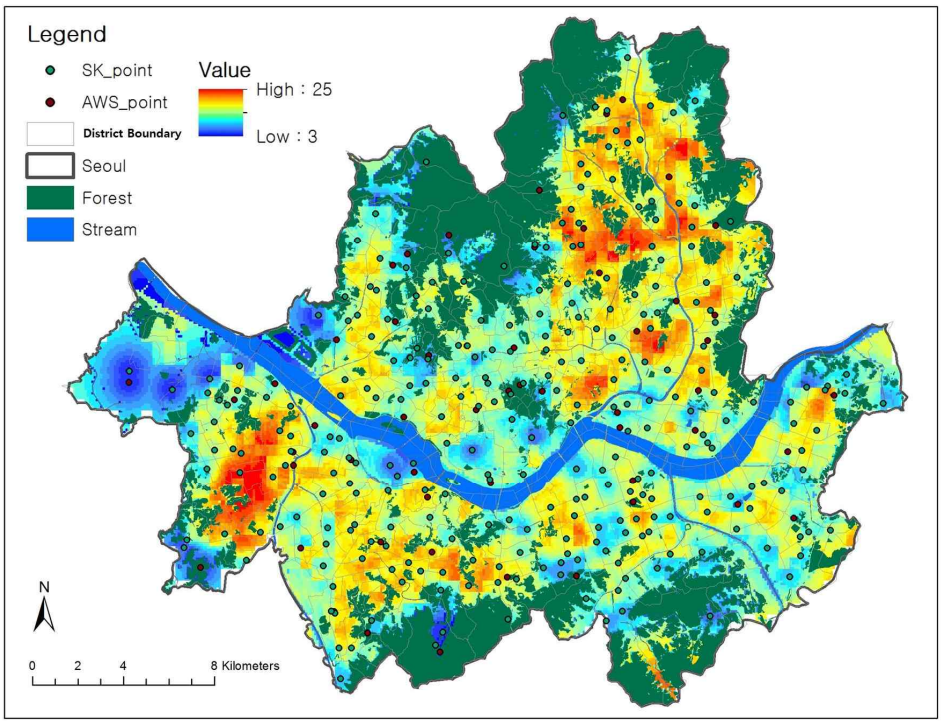
▌그림 2-3▐ 기상청 기온관측망을 중심으로한 영향범위 도식

• 자동기상관측장비 설치 우선지역 선정

- 기상관측망의 영향범위를 반영하여 AWS의 우선설치지역을 선정함
- AWS 장비 우선 설치 기준은 다음과 같이 5가지로 설정함
- 첫 번째는 기 설치된 기상관측장치의 영향범위를 벗어난 지역,
- 두 번째는 인구가 밀집되어 도시 열환경 영향을 많이 받을 수 있는 지역,
- 세 번째는 온도가 높게 나타나는 지역,
- 네 번째는 자동기상관측장비를 설치하기 어려운 산, 강, 하천은 제외,
- 다섯 번째는 설치가 용이한 학교 및 주민센터 등 공공시설이 입지한 지역
- 설정한 5가지 기준을 바탕으로 평가변수들을 지도화함. 우선 산, 하천, 강의 경우 AWS 설치에 어려움이 있고, 그늘과 바람의 영향으로 이상치가 발생되기 쉬워 이 지역은 점수를 0으로 부여함
- 각 변수는 natural breaks 방법을 이용하여 10개 구간으로 점수화하였으며, 점수화 된 변수는 AWS 영향범위 변수를 기준으로 단계적으로 중첩함
- 첫 번째로 우선설치지역 선정에서 가장 중요한 기상관측망 영향범위에서 벗어난 지역을 거리별로 점수화하였으며, 두 번째는 기상관측망 영향범위와 인구밀도 변수를 중첩하여 결과를 도출함
- 기상관측망 영향범위, 인구밀도, 온도 변수를 모두 중첩하여 결과를 도출함. 세 도면이 중첩된 결과만을 토대로 설치지역을 선정할 경우 AWS와의 거리 변수가 저평가 되어 결과가 왜곡될 수 있으므로, 최종적으로 각 세 개의 도면에서 점수가 높은 지역을 추출하여 2번 이상 중복해서 선택된 지역을 최종적으로 선정함

• 설치 우선지역의 선정

- 앞서 도출한 기온관측망 영향범위와 추가적으로 인구밀도, 온도를 고려하여 AWS 우선 설치지역을 선정함
- 단계적으로 중첩한 3개의 결과에서 상위 10번째에 속하는 지역을 선정한 것으로, 설치 우선순위에 따라 나열함
- 3개의 결과 중 2회 높은 점수를 얻은 지역은 목4동, 방화1동, 신림8동, 천호1동 이었으며 3회 모두에서 높은 점수를 얻은 지역은 신정1,7동, 중계1동, 행당1동과 도선동, 장위1,2동임
- 선정된 동별 설치 지점은 지역 내의 주민센터, 파출소 등의 공공시설과 오픈스페이스가 상대적으로 넓은 초 ·중 ·고등학교 교육시설 등의 옥상이 민간 건물에 비해 설치 협의가 용이하다고 판단되어 우선적으로 고려될 수 있음

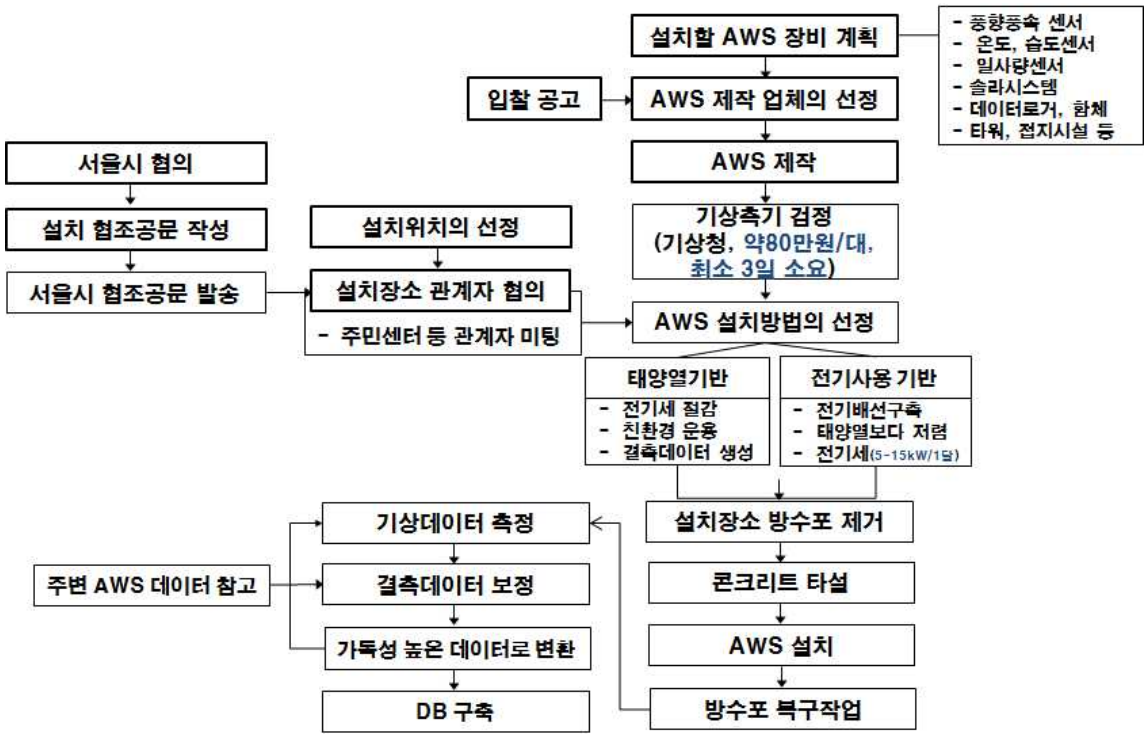


▌그림 2-4▐ AWS 영향범위, 인구밀도와 온도 변수를 중첩한 도면

• 자동기상관측장비 제작, 협의, 설치

- 자동기상관측장비(AWS)는 기상관측소가 없는 곳에 설치되어 집중호우, 우박, 뇌우, 돌풍 등과 같은 국지적인 악기상 현상을 실시간으로 감시하고, 특히 산악지역이나 섬처럼 사람이 관측하기 어려운 곳에 설치되어 집중호우 등과 같은 돌발 악기상을 감시하며, 관측된 자료는 수치예보 모델의 초기 입력 자료로 사용하는 것을 말함

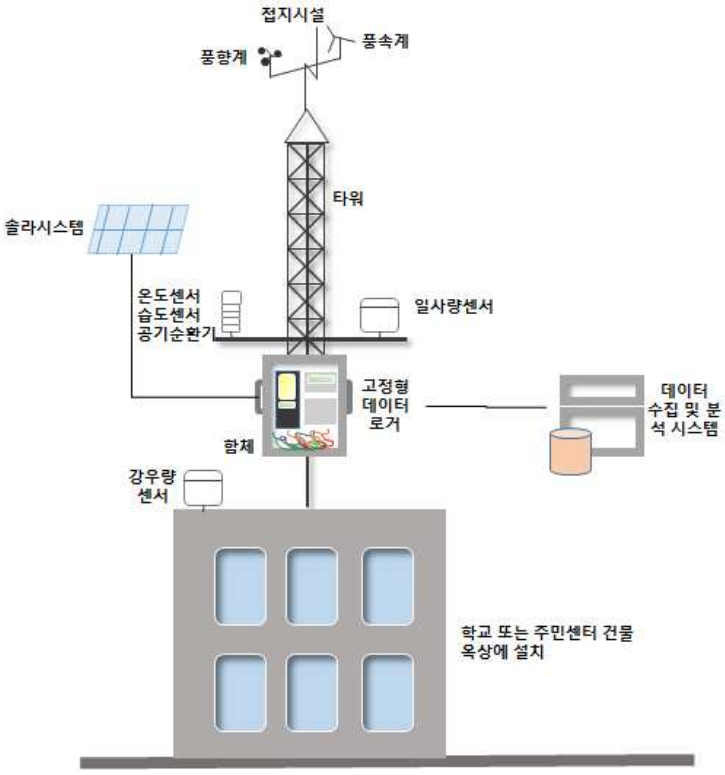
- AWS의 기상관측체계는 AWS에 부착된 기상센서에서 기온, 강수량 등을 관측하면 장비 데이터 로거에 자료가 수집되고, 장비에 연결된 모뎀에서 전용회선을 통해 기상관서의 모뎀으로 자료가 송신됨
- 기상관측 기기의 점검 및 관측 자료의 검증
- 「기상관측표준화법」 및 「자동기상관측장비의 표준규격」등에 따라 검증작업 수행
- 다음 그림과 같은 절차로 자동기상관측장비의 제작, 협의, 설치, 운용이 진행



▌그림 2-5 ▐ 자동기상관측장비의 설치 과정

❑ 자동기상관측장비 제작, 설치, 운용(장비 운용 가이드라인)

- 모든 장비 품목은기상청에서 검정된 기기를 기반으로 제작되었으며, 관련 법령 및 규격에 적합한 것을 사용함
- 시작품 설치 시 전력사용과 관련하여 설치장소의 전력공급이 가능할 경우 전력선을 인입하여 설치하고, 불가할 경우 솔라시스템(태양광)을 활용한 전력공급방법을 이용함
- 네트워크 연결과 관련하여 설치장소의 외부네트워크 접속이 불가할 경우 수동으로 데이터검침이 가능하도록, 시작품 내부함체에 데이터 저장 및 기록을 위한 데이터로거(6대)를 설치하고, 자료 취합, 분석, 전송을 위한 이동식 데이터 수집 및 분석시스템(1대)를 구성함



▌그림 2-6▐ 자동기상관측장비 설계 모식도

- 자동기상관측장비 설치

- 1차 설치 관측소: 서울시 화곡동, 서교동, 상계동, 장위동, 사근동, 신천동 6개소
- 2차 설치 관측소: 서울시 마포구의 서교동, 연남동, 합정동 10개소

▌표 2-1▐ 1차 설치 관측소 기상개황

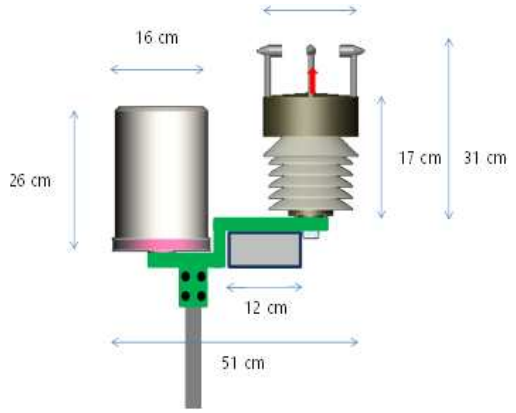
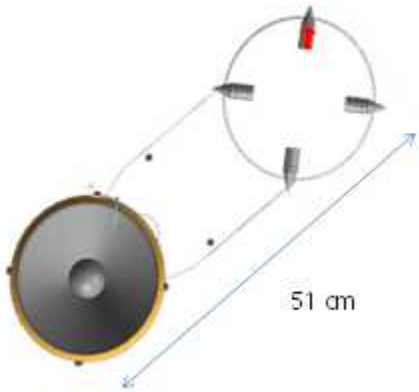
No	관측소	AWS ID	기온 (℃)	상대 습도 (%)	평균 풍속 (m/sec)	주풍향	주소
1	화곡4동주민센터	1401	8.3	58.0	0.7	북북서	강서구 곰달래로57가길 26
2	서교초등학교	1402	6.0	54.9	0.8	남	마포구 와우산로23길 20-27
3	상계6,7동주민센터	1403	11.7	59.6	0.4	북북서	노원구 노원로 429
4	장위초등학교	1404	5.9	56.7	0.5	북동	성북구 장월로8가길 41
5	사근동주민센터	1405	2.9	72.9	1.5	서북서	성동구 사근동길 37 공공복합청사 1층
6	신천초등학교	1406	7.3	57.1	0.3	서	송파구 올림픽로 215

▌표 2-2▐ 관측소 목록

No	관측소	지점번호	AWS ID	건물 층수	지면 고도	해발 고도	주소
1	연남동	11336	1109	4	12.0	31.0	마포구 연남동 73-18번지
2	서교동2	11337	1106	5	18.0	39.5	마포구 서교동 330-1번지 낙원주택
3	서교동3	11338	1101	6	10.0	36.0	마포구 서교동 468-2번지
4	합정역	11339	1110	15	20.0	76.5	마포구 서교동 393-5번지 화승리버스텔MC
5	홍대입구역	11340	1107	7	12.0	48.5	마포구 동교동 162-4번지
6	성산동	11341	1102	5	13.0	35.5	마포구 성산동 113-1번지 삼영빌딩
7	서교동5	11342	1104	6	10.0	33.5	마포구 서교동 463-2번지 관양빌딩
8	서교동6	11343	1103	5	24.0	46.5	마포구 서교동 364-22
9	합정동	11344	1105	5	11.0	32.5	마포구 합정동 376-27번지
10	창천동	11345	1108	4	46.0	64.0	서대문구 창천동 184

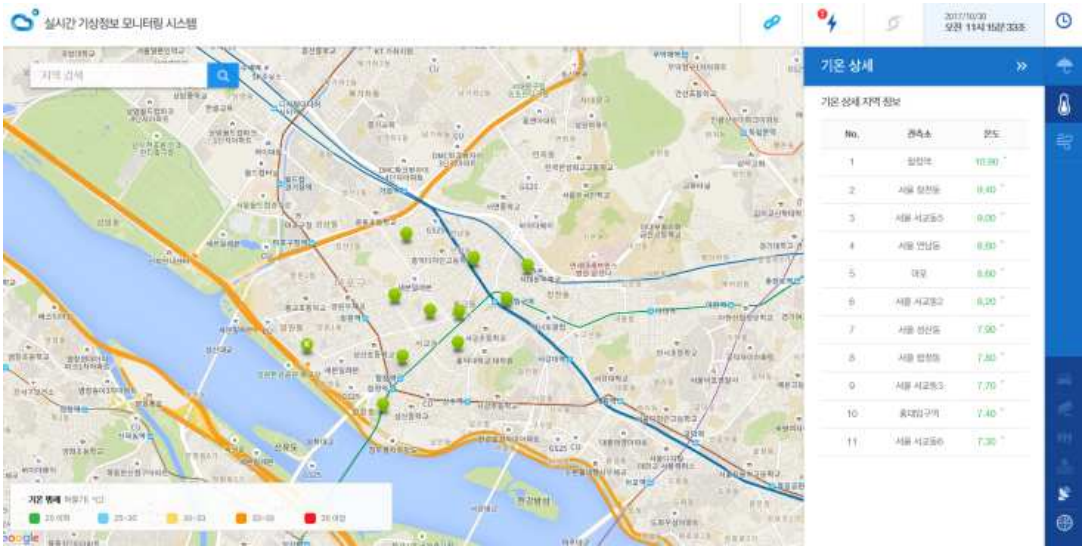
❑ 기온현황 실측을 위한 자동기상관측장비 추가 제작 및 설치

- 모든 품목은 기상청에서 검정된 기기를 기반으로 제작되었으며, 기상센서모듈, 우량계, 모뎀, 데이터로거 및 함체, 설치구조물이 각 10개 제작되었으며, 일사량계의 경우로 3개 장비가 제작되어 조립하였음

단면도	평면도
	

▌그림 2-7▐ 기상관측장비 평면 및 단면

- 실시간 기상정보 모니터링 시스템
  - 강수량, 온도, 풍속에 대해 서교동 설치지점 10곳과 기상청 관측지점 1곳, 서울시 설치지점 6곳의 총 17개의 관측데이터 실시간으로 1분 단위의 확인 가능
  - 기상청에서 예보하는 위성영상, 레이더영상을 중첩하여 분석 가능
  - 실시간 변화와 48시간 동안만 감지가능



▌그림 2-8▐ 설치된 자동기상관측장비 실시간 기상정보 모니터링 시스템 모습

❑ 실측자료와의 검정

- 6개 설치지점과 인근 기상청 자동기상관측장비와의 측정항목별 상관분석을 종합한 결과, 기온현황에 대한 도면은 실측자료와 유사도 94% 이상을 만족함
- 추가 10개 설치지점의 기온현황에 대한 도면은 실측자료와 유사도 98% 이상을 만족함

❙표 2-3❙ 지점별 상관분석 결과(6개 설치지점)

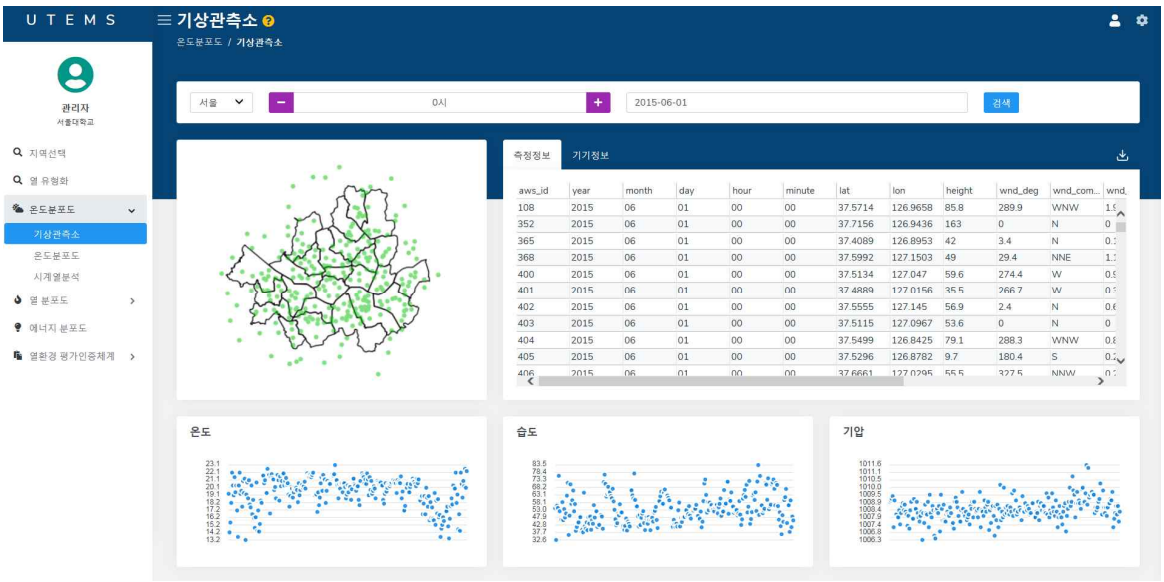
지점번호	구분	상관분석지점	상관계수		
			기온	습도	풍속
1401	화곡4동 주민센터	강서	0.9971	-	0.4079
		양천	0.9977	-	0.6706
1402	서교 초등학교	마포	0.9968	0.9919	0.4361
		서대문	0.9907	-	0.0507
1403	상계6,7동 주민센터	도봉	0.9923	0.9593	0.3229
		강북	0.9980	0.9813	0.4079
1404	장위 초등학교	노원	0.9472	0.8596	0.4226
		강북	0.9956	0.9850	0.6746
1405	사근동 주민센터	동대문	-	-	-
		성동	-	-	-
1406	신천 초등학교	송파	0.9918	-	0.6070
		광진	0.9915	0.9223	0.6436

❙표 2-4❙ 지점별 기온 상관분석 결과(추가 10개 설치지점)

지점번호	지점명	상관계수		
		기온	습도	풍속
11336	연남동	0.988	0.992	0.662
11337	서교동2	0.988	0.991	0.610
11338	서교동3	0.983	0.985	0.514
11339	합정역	0.977	0.984	0.420
11340	홍대입구역	0.980	0.988	0.651
11341	성산동	0.986	0.988	0.629
11342	서교동5	0.952	0.921	0.316
11343	서교동6	0.978	0.986	0.491
11344	합정동	0.973	0.956	0.540
11345	창천동	0.987	0.991	0.683

❑ 모니터링시스템 연계

- 각 관측소별 연계된 모듈을 통해 수신된 데이터 구축 및 확인
- 열환경 DB관리 프로그램 SW등록(C-2019-021881호)



❙그림 2-9❙ 모니터링시스템 기상관측소 DB 연계

❑ 도시 열환경 평가지표 가이드라인

- 도시 열환경 측정 및 활용에 관하여 자동기상관측장비 제작 및 설치부터 데이터 품질분석, 온도지동 작성방법과 사례, 취약성평가방법 등에 대해 가이드라인을 저서로 정리함



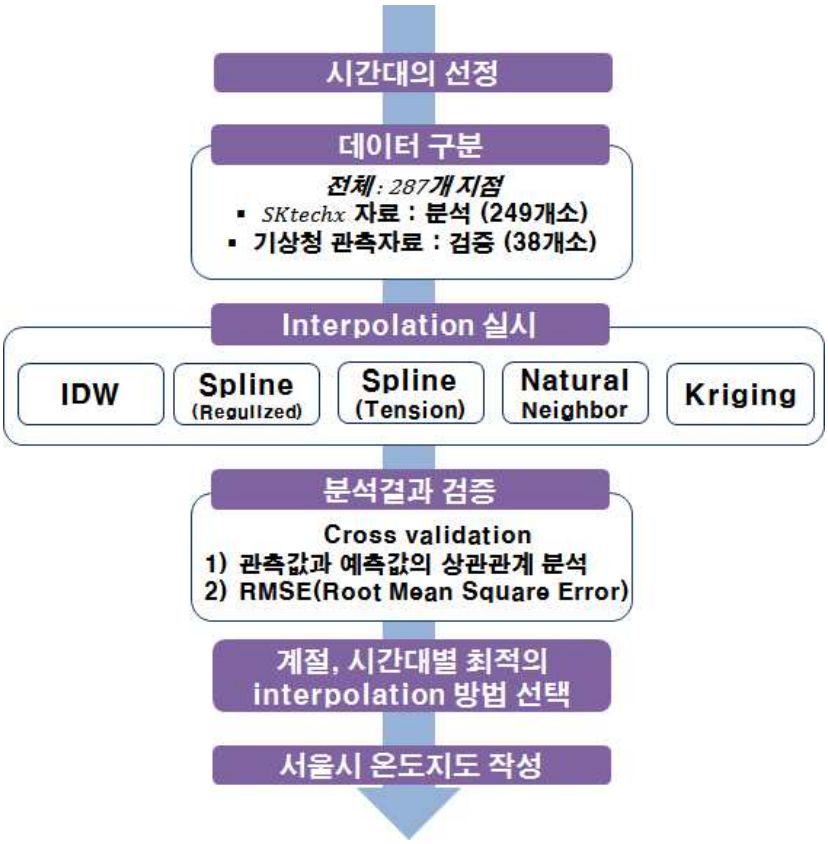
❙그림 2-10❙ 모니터링시스템 기상관측소 DB 연계

2) 도시공간의 열환경 평가지표

❑ 열환경 지도제작 기술

- 기후변화로 인한 폭염일수 증가와 도시열섬현상으로 관련 질병과 사상자가 발생하고 있으며, 이러한 문제를 도시공간으로 한정하여 기후변화에 의한 재해 대응가능성을 검토해보면, 도시열섬에 의한 폭염문제 해결에 대한 중요성이 매우 높음을 알 수 있음
- 시간대 선정: 여름과 겨울 기간 중 강우가 없고 운량이 2.0이하로 온도에 영향을 미치는 요소가 최소한으로 되는 날을 선정하였으며, 선정된 날 중 열섬강도가 가장 큰 시간과 최고온도를 기록하는 시간을 정해 분석을 실시함
- 분석지점 선정: 서울시 경계와 접한 경기도 지역의 지점 또한 분석지점으로 선정해야 함. 외곽지역 지점선정을 위해서는 Thiessen polygon 방식을 적용함

- 보간을 위해 관측지점을 무한대로 추가할 수 없는 상황에서 관측지점을 추가함으로 인해 보간에 영향을 미치는 지점만을 선별하여 보간법을 적용하는 원리
- 분석대상 범위 외부에 충분한 관측지점이 존재할 경우 사용 가능함



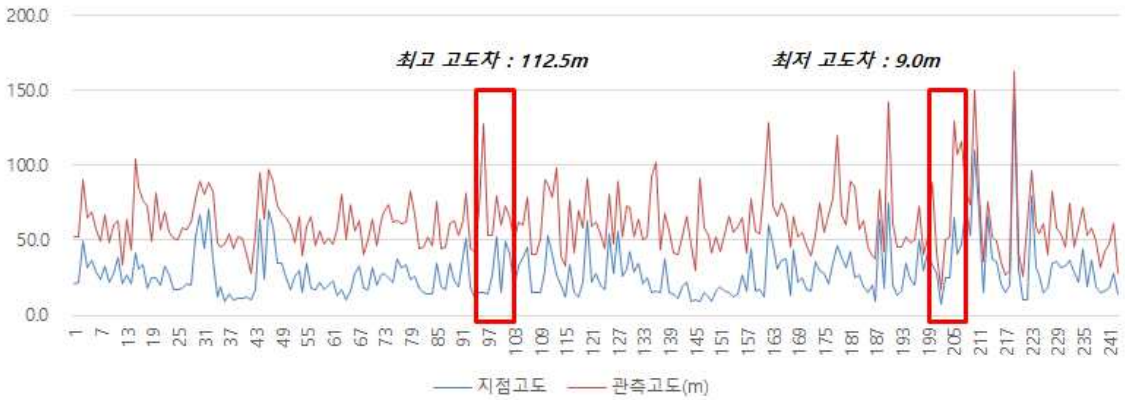
▌그림 2-11▐ 열환경지도 작성 절차

• 기온보정

- 평균기온감률(높이에 따라 기온이 낮아지는 비율) 방법에 따라 높이를 보정
- 일반적으로 100m 높아짐에 따라 건조한 공기는 0.5 ℃, 습윤한 공기에서는 1 ℃ 정도 낮아지며, 보통 대기에서는 0.65 ℃씩 낮아지게 됨
- 연구에서 사용된 기온보정 공식은 다음과 같음

$$\text{보정된기온}(℃) = \text{관측기온}(℃) - \frac{0.65℃ \times (\text{관측고도} + \text{설치높이} - \text{지점고도} + 1.5)}{100m}$$

- 분석에서 사용된 SK techx 관측장소는 대부분 건물 옥상이 많으므로 지면과의 최대 고도차는 112.5m, 최저 고도차는 9.0m로 나타나, 최대 약 100m 이상이 차이나는 것으로 분석됨



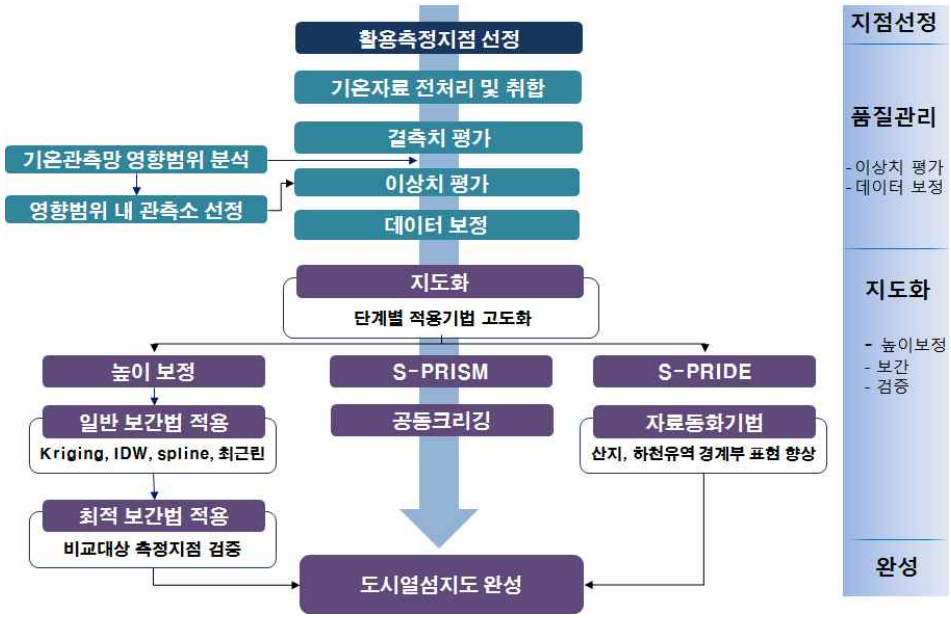
▌그림 2-12▐ 분석데이터의 지점고도, 관측고도 비교

• 보간방법

- Interpolation 방법에는 다양한 방법이 있지만, 2차년도에는 열환경지도화의 첫 번째 단계로 IDW, SPLINE, Natural Neighbor, Kriging 방법을 사용하여 관측지점 데이터를 보간함
- IDW(Inverse Distance Weighted): 점에 가까운 곳일수록 비슷한 값을 같게 된다는 공간적 자기상관(Spatial Autocorrelation)의 개념을 도입한 것으로 셀에 가까울수록 큰 영향을 미친다고 가정하고 값을 예측
- SPLINE: 가장 복잡하고 어려운 방법으로 데이터의 속성을 파악하여 Interpolation을 진행하는 방법
- Natural Neighbor: 이산공간 집합의 보로노이 모자이크(Voronoi Tessellation) 처리를 기반으로 함. 데이터 측정 지점의 가장 가까운 입력 샘플의 부분 집합을 찾아 거리에 비례하여 가중치를 적용하여 값을 보간
- Kriging: 모든 점에 대해서 공간적인 자기 상관성을 구하여 모델을 실시하여 가장 적절한 모형을 찾아내고 이를 적용하여 모르는 지점의 값을 추출

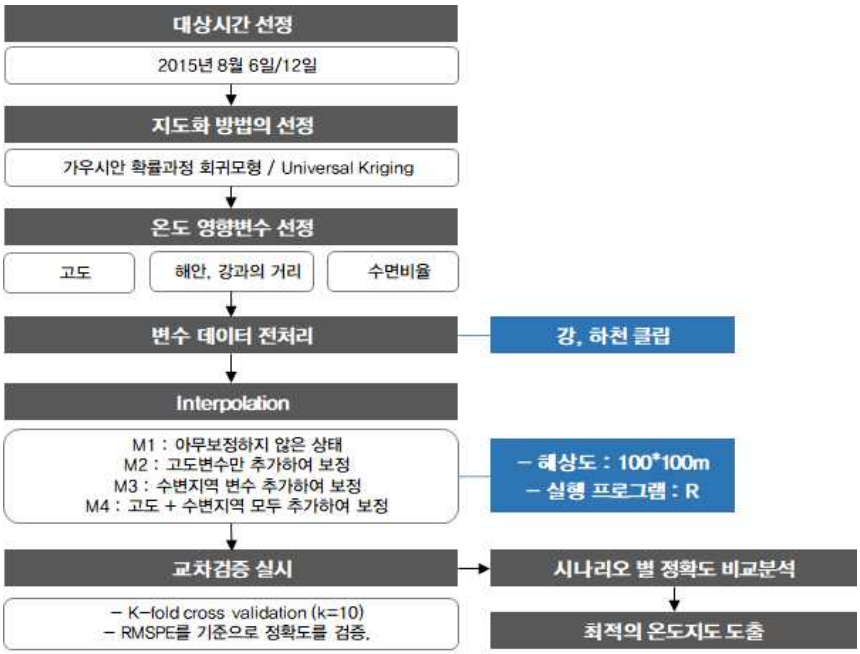
❑ 열환경 지도화 모듈

- 도시 열섬지도 작성 전과정에 대해 자동화 되고, 사용자 기반의 편리한 이용을 위해 다음 그림과 같은 절차에 따라 자동화 프로그램을 개발



▌그림 2-13▐ 열섬지도 작성절차

- 도시 열환경 지도 작성 고도화
  - SK TechX와 기상청 AWS 지상기온자료를 기반으로, 지형정보를 활용한 통계모형을 통하여 서울지역 지상기온 상세자료 생산체계를 구축함
  - 온도내삽은 크리깅 방법 중 Universal Kriging 방법을 사용하여 온도지도를 생산하였으며 고도, 해안·강과의 거리, 수면비율을 온도에 영향을 미치는 변수로 넣음
  - 물위에서 측정된 자료가 없으므로 강, 하천의 경우 클립하여 모델링하였으며, 강, 하천의 효과는 고려하기 위해 영향변수로 넣어서 수변지역의 온도보정을 진행하였음
  - 해상도: 100m×100m
  - 온도맵 작성 자동화 프로그램: R
  - 검증방법: RMSPE방법을 통해 각 시나리오별 최적 지도 도출
  - 테스트 시간: 2015년 8월 6일, 12일 24시간



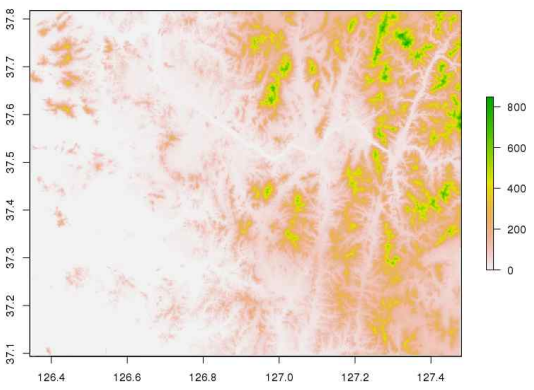
▌그림 2-14▐ 도시 열환경지도 작성 방법

• 모형 검증

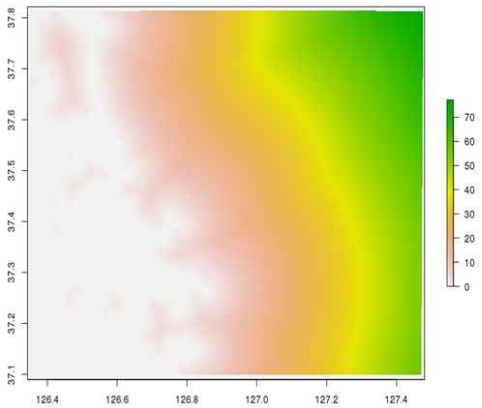
- RMSPE(Root Mean Squared Prediction Error): 연속형 값의 예측성능에 대하여 가장 널리 쓰이는 방법은 평균 제곱근 편차(RMSE: Root Mean Squared Error)임. 본 연구에서도 예측모형 평가의 방법으로 RMSPE를 기준으로 투입변수에 따른 정확도를 검증함

• 사용변수

- DEM(Digital Elevation Model)

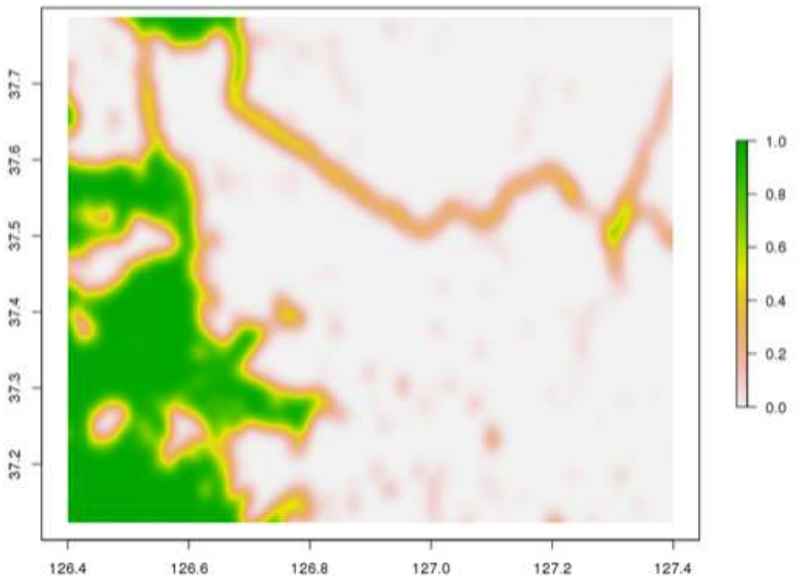


강·해안과의 거리



• 수면 비율

- Focal Statistics 필터 중 Gauss Filter를 사용하여 반경 3km 내의 수면비율을 산정함



• 영향변수에 따른 모델 구분

- M1: 보정하지 않은 상태
- M2: 고도 보정
- M3: 강·해안과의 거리 + 수면비율 포함하여 보정
- M4: 고도 + 강·해안과의 거리 + 수면비율 모든 변수 포함하여 보정

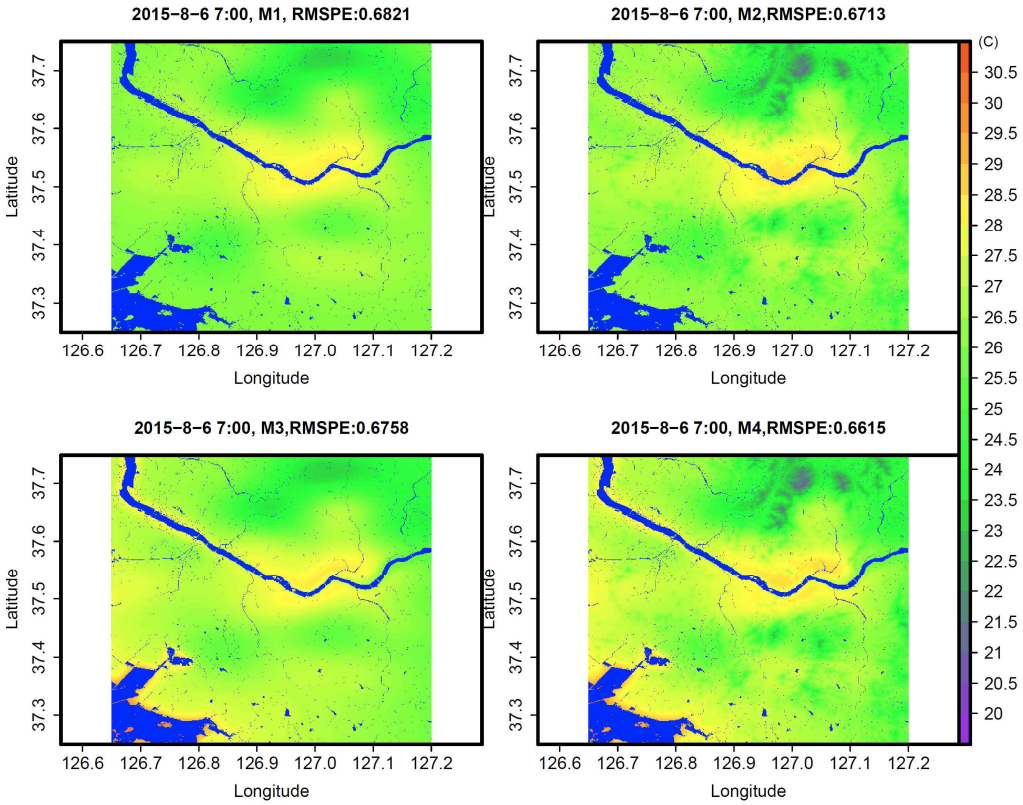
• 온도맵 구현 예시

• 2015년 8월 6일 7시

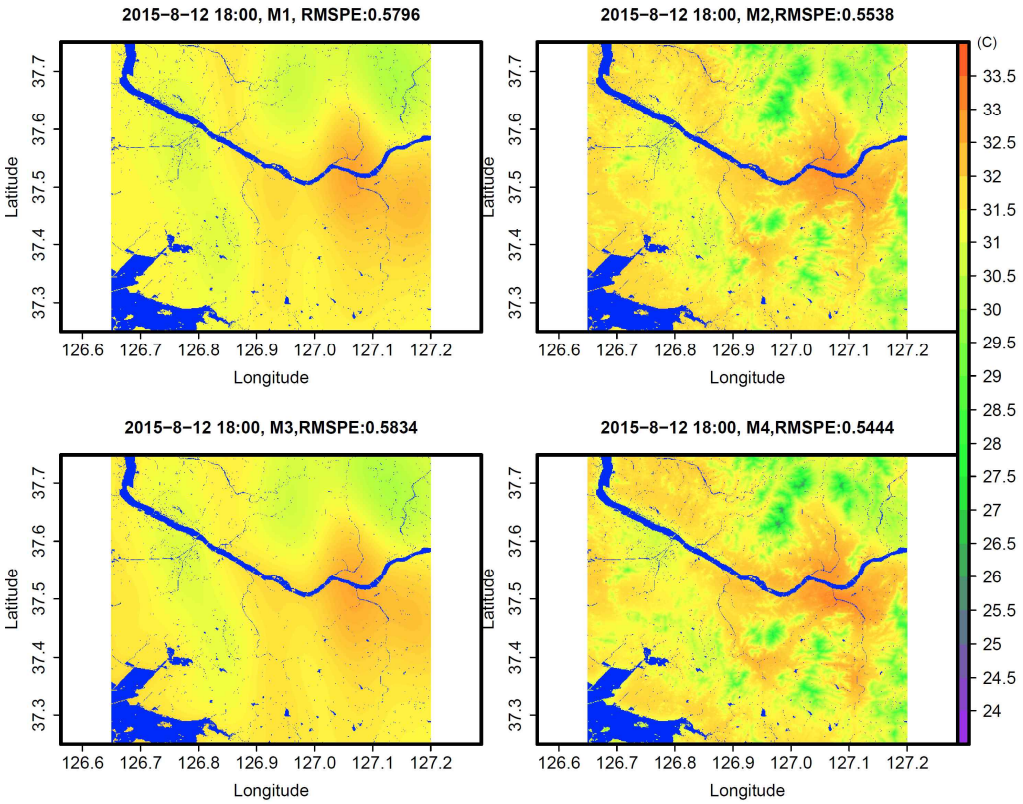
- 앞서 구분한 영향변수 투입에 따른 모델결과를 분석해 보면, 아무변수를 넣지 않았을 때보다 고도변수를 보정하였을 경우 정확도가 더 높아졌으며, 세가지 변수를 모두 넣었을 경우 정확도가 가장 높음을 알 수 있음
- RMSPE 값은 낮을수록 높은 정확도를 가짐

• 2015년 8월 12일 18시

- 3가지 변수가 모두 보정되었을 경우 가장 높은 정확도를 보임
- RMSPE 값은 낮을수록 높은 정확도를 가짐



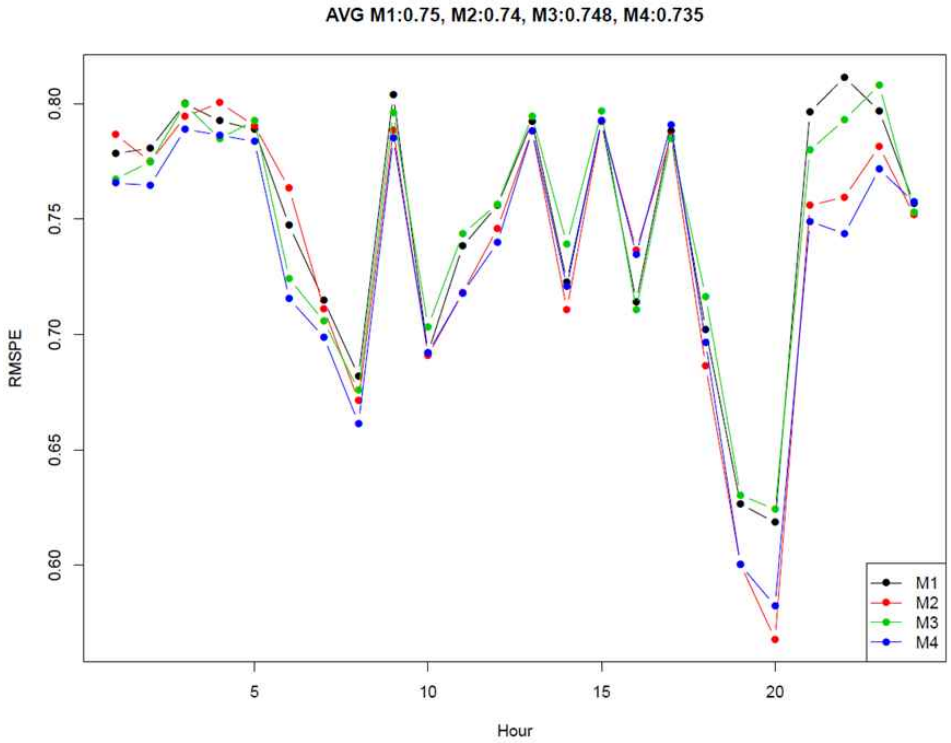
▌그림 2-15▐ 2015년 8월 6일 7시 각 모델별 온도맵 예시



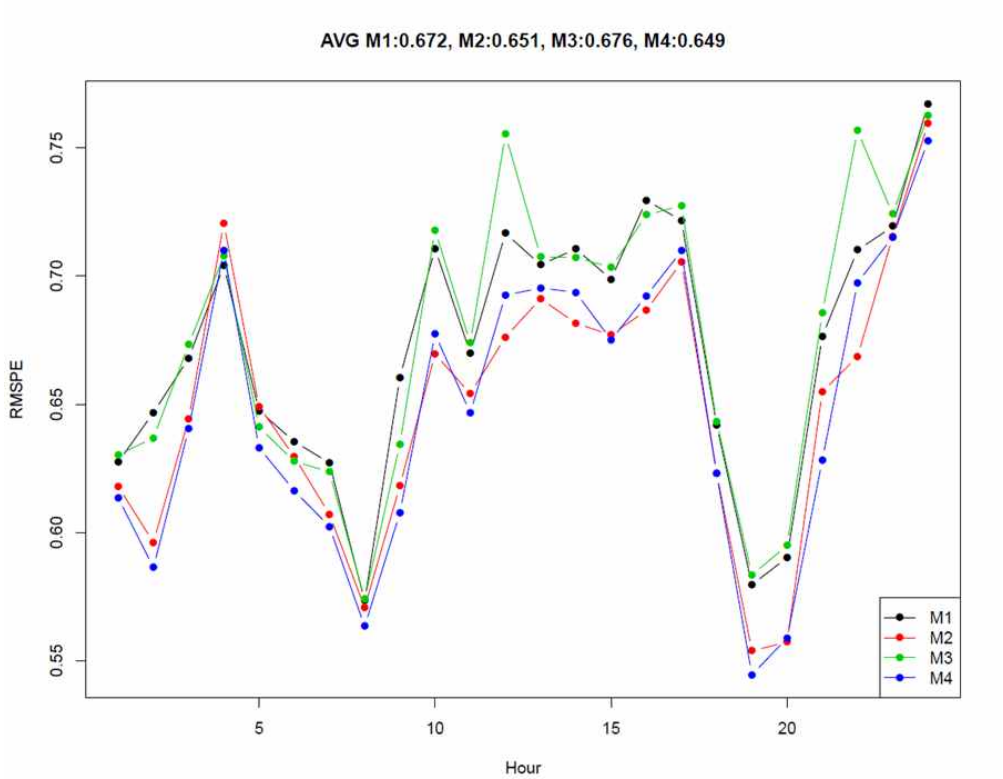
▌그림 2-16▐ 2015년 8월 12일 18시 각 모델별 온도맵 예시

• 검증결과 비교

- 0시에서 24시까지 변수보정에 따른 모델(M1-4)별 RMSPE 값을 비교한 것은 다음과 같음
- 각 시간대별로 변수보정에 따른 정확도 값은 차이가 나고 있으나, 각 모델별 정확도 값을 평균내어 비교한 결과 M4모델(3개의 변수를 모두 보정하였을 경우)이 가장 낮은 RMSPE 값을 나타냄
- M4의 RMSPE 값이 8월 6일은 0.735로, 8월 12일은 0.649로 가장 낮게 나옴



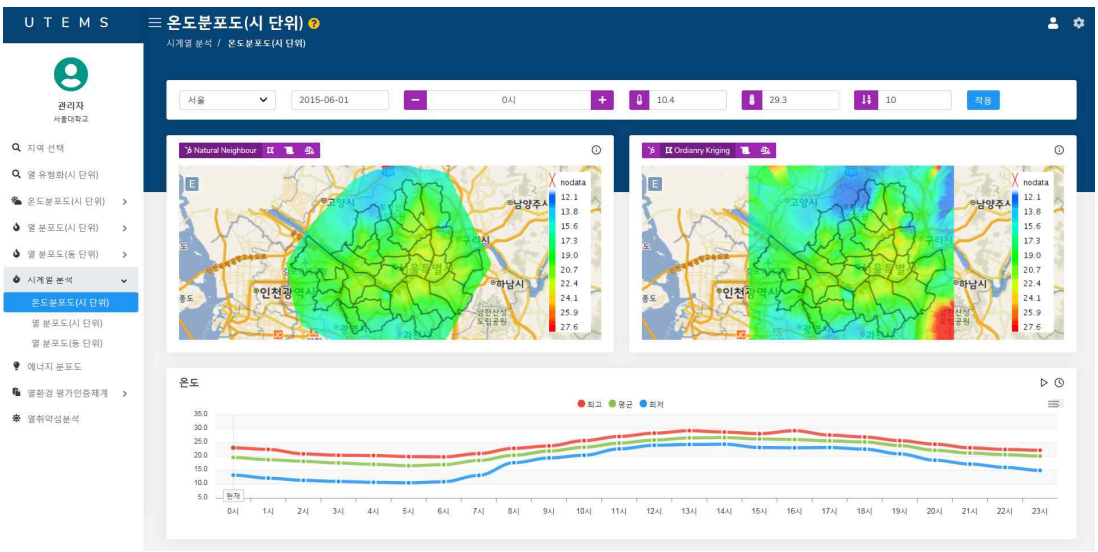
▌그림 2-17▌ 2015년 8월 6일 시간대별 모델에 따른 정확도
(RMSE 값 낮을수록 높은 정확도)



▌그림 2-18▐ 2015년 8월 12일 시간대별 모델에 따른 정확도
(RMSE 값 낮을수록 높은 정확도)

❑ 도시 열환경 모니터링 시스템 열환경지도 탑재

- 열환경 DB관리 프로그램 SW등록 (C-2019-0218881호)
- 측정된 AWS 기온자료를 기반으로 보간기법(Natural Neighbour, Ordinary Kriging, Thin Plate Spline, Inverse Distance Weighted)을 활용한 온도분포도



▌그림 2-19▐ 모니터링시스템 온도분포도 탑재

3) 시사점

- 본 연구에 적용된 방법론과 연구결과는 도시환경의 질적 향상과 관련하여 도시계획 분야에서 다음과 같이 활용될 수 있음
- 도시환경 측정 인프라의 활용방안을 제시함. 최근 기상, 대기오염, 수질 등 도시환경의 질적 수준을 측정할 수 있는 인프라가 확대되고 있음. 그러나 이러한 인프라를 도시계획차원에서 이용하기 위한 노력은 많지 않은 상황으로 본 연구의 방법론은 적정 온도분포도 작성을 위한 측정지점의 선정과 활용방안을 제시할 수 있음
- 도시열섬문제의 근원 파악을 위한 지도제작에 활용가능함. 국외에서 도시기후지도나 열섬지도를 이용한 도시계획 사례가 다수 있으나(Ren et al., 2011), 국내 도시계획 제도상에서 도시 열섬지도가 포함되지 않고 있음. 따라서 본 연구의 결과는 점단위에서 측정된 정보가 면단위로 변환될 때 구체적인 공간범위를 제시할 수 있어 도시온도 지도제작에 적극 활용될 수 있음
- 열발생과 저감 기여도 파악을 통한 근거에 기반한 계획설계를 가능하게 함. 궁극적으로 도시열섬지도의 제작을 통해 도시기후지역(Local Climate Zone)의 설정, 바람통로(Wind Corridor)의 보전, 열발생 건축물, 도로망, 녹지의 배치와 설계에 있어서 열섬지도는 구체적인 위치정보를 제공할 수 있기 때문에 활용도가 매우 높음

나. 기후변화시나리오 기반 열 취약지역 평가기술

1) 기후변화를 고려한 열 취약지수 및 취약지 평가기술

❑ 열환경 예측적용 기후변화 시나리오

- 22년만의 최악의 폭염이 발생한 2016년 이후 온열환경에 대한 관심이 급증함
- 각 지자체에서는 폭염대응을 위해 폭염주의보 및 경보제도의 시행, 옥상녹화를 비롯한 녹지 확대, 투수성 포장공간의 확보, 친수공간 조성, 취약계층 지원 등 다양한 대응책을 수립하여 추진하고 있음
- 기후변화에 따른 기온증가세는 지속될 것으로 예측되고 있으며, 해마다 온열질환자가 증가하는 등 폭염으로 인한 피해가 심각해지고 있음
- 폭염자체에 대한 발생제어가 어려운 상황에서 이 같은 폭염 피해에 대응하기 위해서는 사전에 취약지역을 선정하여 선별적인 대응책 마련이 필요함
- 폭염취약지는 단순히 기온이 높은 지역이 아니라 폭염현상이 발생했을 때 건축물의 단열, 거주민의 건강 상황, 경제적 수준, 주변 환경 등 해당 지역의 사회·경제적, 물리적 환경 등이 폭염에 의한 피해규모에 영향을 줌
- 본 연구에서는 서울시의 인구구성 특성, 보건여건, 물리적 상황 등을 종합적으로 고려하여 서울시의 폭염취약지역을 도출하고자 함. 기후변화 시나리오를 통한 미래 열환경 취약성 평가로 통합적인 관점에서 서울시 열환경 취약지를 분석하여 향후 폭염대책 수립을 위한 기초자료로 활용하고자 함

❑ 열 취약지 평가결과 DB 구축

- 열 취약지역 평가지표 선정(1차)
  - 다양한 선행연구를 바탕으로 열환경 취약지역을 평가할 수 있는 지표 취합
  - 지표는 크게 온도와 관련된 기후노출(Exposure)지표와 인구지표, 사회·경제적 지표를 포함하는 민감도(Sensitivity)지표, 도시환경과 기후적응정책현황과 관련된 적응(Adaptation)지표로 구분 됨
  - 도시, 환경, 건축, 조경 등 관련 전문가를 대상으로 실시한 설문조사 결과와 자료구득 가능성을 바탕으로 지표를 선정하여 분석에 용이한 데이터로 가공함

- 열 취약지역 평가지표 선정(2차)
  - 앞서 종합된 지표를 바탕으로 열환경 취약지역을 평가하는데 유의한 변수를 도출함
  - 온열환자수는 열사병, 열탈진, 열경련, 열실신, 열부종 등으로 진료 받은 환자와 온도가 높아질수록 악화되는 질환인 호흡기, 심장질, 뇌혈관질 환자수를

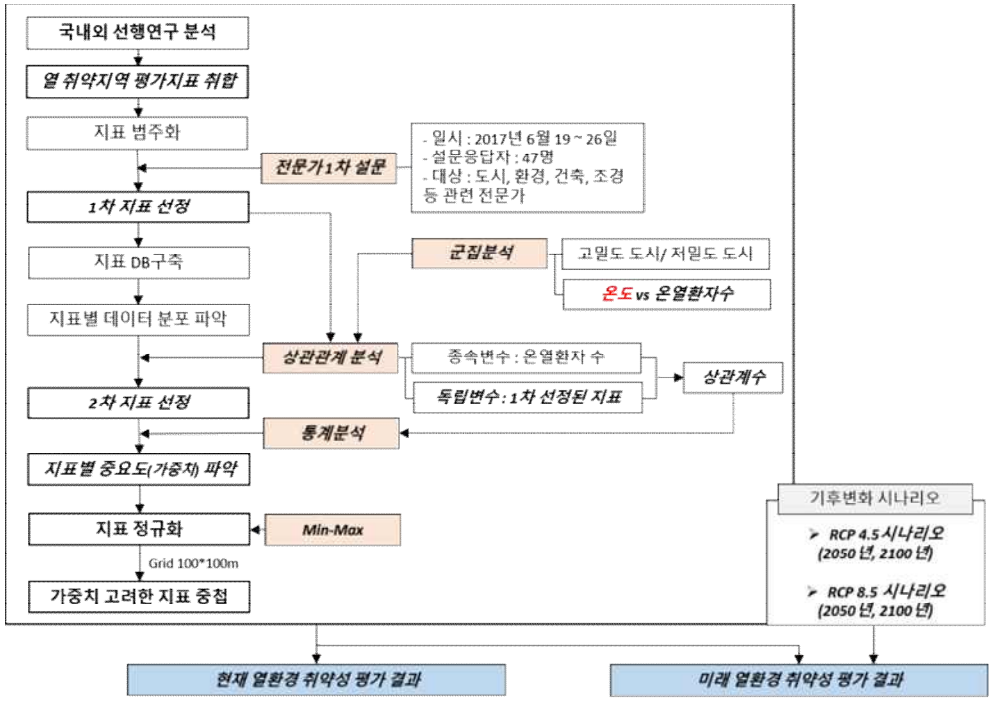
포함하여 통계에 활용
- 열에 취약한 지역과 온도가 높은 지역은 일치하지 않으므로, 본 연구에서는 서울시에서 발생한 온열환자수와 이에 영향을 미치는 변수와의 관계를 다변량 통계분석을 이용하여 분석한 후 유의한 변수를 도출함
- 서울시의 경우 동일한 도시지역이라도 미시적 도시환경 특성에 따라 온도에 따른 환경변화가 달라지며, 특히 온열환자수의 경우 환경변화의 민감도에 따라 발생빈도가 달라짐
- 계층적 군집분석을 이용하여 2개의 군집으로 구분한 후 각 군집별 온도와 온열환자 발생수의 관계를 파악함

❑ 열 취약지 평가방법론 개발

• 가중치 선정
- 통계분석 결과와 전문가 설문을 통한 AHP방법을 통합한 결과를 바탕으로 각 지표별 중요도를 반영하여 가중치를 산출함
- 평가지표 선정 2차의 군집분석 결과에 따라 기후노출의 지표 '온도'는 2개의 군집으로 구분하여 가중치를 부여함

• 지표별 표준화
- 선정된 변수를 토대로 각 지표별 데이터 분포를 파악하고, 편향된 분포를 가지는 지표의 경우 평가가 왜곡될 우려가 있으므로 지표를 정규화하여 중첩함
- 서로 다른 단위와 특성을 가진 각 지표를 취합하여 하나의 지표로 정의하기 위하여 표준화가 필요함
- 가장 보편적인 가장 보편적인 Z-score 표준화 방법은 지표의 평균값 차이에서 오는 변형을 방지할 수 있으나 이상치 값이 가지는 영향력을 줄이지 못함 (신호성,이수형, 2014)
- Min-Max법은 지표 값들의 범위에 근거하여 값을 산출. 작은 범위에 몰려있는 지표의 경우 재계산 과정을 통해 지표 값의 범위가 넓어지게 되어 각 지표가 가지는 의미를 보다 정확하게 반영할 수 있음
- 본 연구는 지표별 표준화를 위해 Min-Max법을 적용함

• 지표 중첩 및 열환경 취약성 평가
- 미래의 열환경 취약지역 분석을 위해서는 기후노출 지표를 제외한 민감도, 적응지표는 동일하다고 가정하여 평가를 실시함
- 기후노출지표는 RCP 기후변화 시나리오를 통해 예측된 서울시의 미래 온도를 평가변수로 선정하여 현재 취약성평가 방법과 동일하게 평가를 진행함
- 최종적으로 평가된 현재와 미래의 열환경 취약지역을 토대로 기후, 인구, 환경 등의 특성을 중심으로 각 지역별 취약요인과 추후 위험요인에 대해 고찰함



▌그림 2-20▐ 연구의 방법

❑ 최종 지표 선정개요

- 1차로 선정된 46개 지표 중, 지표별 상관관계분석을 통해 서로 다중공선성이 높은 지표를 제외하고 유의미한 지표를 최종적으로 선정함
- 도시환경 특성에 따라 온도의 환경변화가 달라지므로 이를 반영하기 위해, 서울시를 계층적 군집분석을 통해 구분된 군집으로 온도의 상관관계를 파악함

▌표 2-5▐ 최종지표 상관분석 결과

지표 구분			지표		변수특성 (왜도)	변환방법	상관계수
종속변수			온열환자 비율		2.60	x-1	-
독립변수	1 기후 노출	1-1 온도	일최고기온이 33도 이상인 날수	군집1	0.72	none	+0.611~
				군집2	-1.148	none	-0.688**
	2 민감도	2-1 인구환경	65세 이상의 인구수		-0.538	none	+0.546**
			5세 미만의 인구수		0.92	none	+0.507**
		2-2 건강	호흡기환자수		-0.135	logx	+0.570**
			심장질환자수		-0.509	logx	+0.635**
			뇌혈관질환자수		-0.769	logx	+0.591**
		2-3 인공환경	용적률		0.649	none	+0.472*
	3 적응 능력	3-1 사회환경	사회복지기관수		0.097	none	-0.407*
			의료인력 수		2.681	x-1	-0.446*
			무더위쉼터 수		1.955	x-1	-0.413*
		3-2 자연환경	평균풍속		-0.057	none	-0.277**

• 군집분석

- 서울시의 경우 동일한 도시지역이라 해도 미시적 도시환경 특성에 따라 온도에 따른 환경변화가 달라지며, 특히 온열환자수의 경우 환경변화의 민감도에 따라 발생빈도가 달라짐
- 본 연구에서는 계층적 군집분석을 이용하여 2개의 군집으로 구분한 후 각 군집별 온도와 온열환자발생수의 관계를 파악함
- 사용변수: 상업면적, 천공차폐율, 연면적
- 군집1: 강남구, 강서구, 구로구, 금천구, 노원구, 서초구, 송파구, 용산구, 영등포구
- 군집2: 강동구, 강북구, 관악구, 광진구, 도봉구, 동대문구, 동작구, 마포구, 서대문구, 성동구, 성북구, 양천구, 은평구, 종로구, 중구, 중랑구

• 최종 지표의 선정

- 지표구분은 기후노출, 민감도, 적응능력으로 나뉘며 최종지표는 온도(일최고기온이 33도 이상인 날수), 인구환경(65세 이상의 인구수, 5세 미만의 인구수), 건강(호흡기환자수, 심장질환자수, 뇌혈관질환자수), 인공환경(용적률), 사회환경(사회복지기관수, 의료인력수, 무더위쉼터수), 자연환경(평균풍속)
- 상관분석 결과를 바탕으로 각 지표별 중요도를 반영하여 지표별 가중치를 산출
- 1차 선정된 46개 지표중, 지표별 상관관계분석을 통해 서로 다중공선성이 높은 지표를 제외하고 유의미한 지표를 최종적으로 선정
- 도시환경 특성에 따라 온도의 환경변화가 달라지므로 이를 반영하기 위해, 서울시를 계층적 군집분석을 통해 구분된 군집으로 온도의 상관관계를 파악

• 지표별 표준화

- 서로 다른 단위와 특성을 가진 각 지표를 취합하여 하나의 지표로 정의하기 위하여 표준화 필요
- 가장 보편적인 Z-score 표준화 방법은 지표의 평균값 차이에서 오는 변형을 방지할 수 있으나 이상치 값이 가지는 영향력을 줄이지 못함(신호성과 이수형, 2014)
- Min-Max법은 지표 값들의 범위에 근거하여 값을 산출
- 작은 범위에 몰려있는 지표의 경우 재계산 과정을 통해 지표 값의 범위가 넓어지게 되어 각 지표가 가지는 의미를 보다 정확하게 반영

$$I_{qc}^{t} = \frac{x_{qc}^{t} - \min_{c}(x_{q}^{t})}{\max_{c}(x_{q}^{t}) - \min_{c}(x_{q}^{t})}$$

▌표 2-6▐ 최종지표 자료구축

대분류	중분류	소분류	출처	공간단위
1 기후 노출	1-1 온도	일최고기온이 33도 이상인 날수	기상청, SKTechX	관측지점. Natural Neighbor 내삽
2 민감도	2-1 인구환경	65세 이상의 인구	국토지리정보원	집계구
		5세 이하의 인구	국토지리정보원	집계구
	2-2 건강	호흡기환자수 (결핵 등 포함)	보험공단	자치구/동
		심장질환자수		
		뇌혈관질환자수		
	2-3 인공환경	용적률	국토지리정보원	건축물
3 적응 능력	3-2 사회환경	사회복지기관수	공공데이터포털	자치구
		의료인력 수	서울통계	행정동
		무더위쉼터 수	공공데이터포털	자치구
	3-2 자연환경	평균풍속	기상청,SKTechX	관측지점 Natural Neighbor 내삽

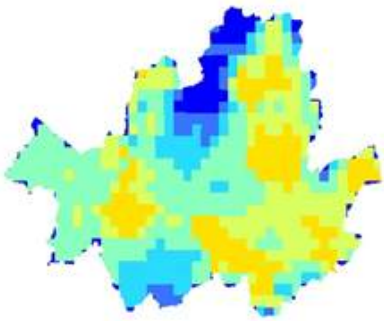
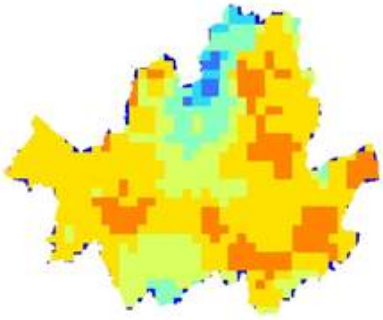
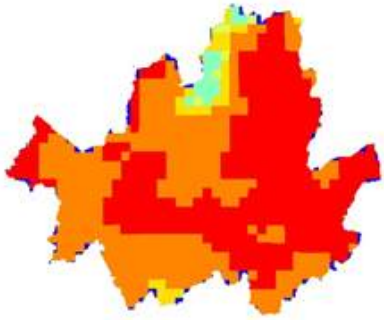
• 미래 열 취약지역 분석 평가기후변화 시나리오 선택

- IPCC 5차 평가 보고서에서는 미래 기후변화를 모사하기 위해서 SRES 시나리오를 기반으로 인간 활동이 대기에 미치는 복사량으로 온실가스 농도를 정의함
- 온실가스 농도 산출은 사회경제적 가정과 기후변화 대응정책 수행여부를 기반으로 구조화함. 기후변화 시나리오 중 RCP4.5와 RCP8.5를 선택하여 2050년, 2100년의 최고기온 33도 이상인 날 수를 적용하여 미래 열 취약지역을 분석함

▌표 2-7 ▌ 기존 시나리오(SRES)와 새로운 시나리오(RCP)의 비교(기상청, 2015)

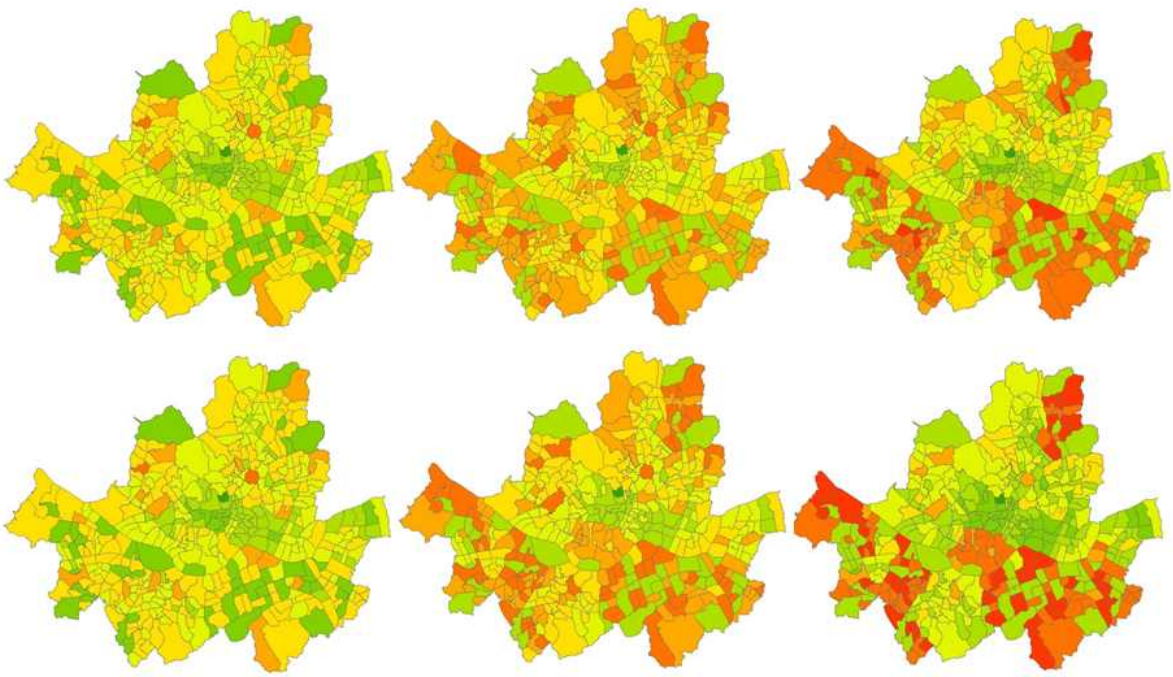
시나리오 종류 (PPM농도)	새로운 시나리오(RCP)				기존 시나리오(SRES)		
	2.6	4.5	6.0	8.5	B1	A1B	A2
CO2기준(ppm)	420	540	670	940	550	720	830
<RCP 시나리오> * 기후변화 대응정책과 연계하여 선정					<SRES 시나리오> * 미래 사회구조를 중심으로 선정		
• RCP4.5: 온실가스 저감 정책이 상당히 실현되는 경우 • RCP6.0: 온실가스 저감 정책이 어느 정도 실현되는 경우					• B1(지속발전형 사회): 지역간 격차가 적고, 인구감소, 청정자원 절약기술 도입 • A1B(고성장 사회): 화석에너지와 비화석에너지원 균형, 신기술, 고효율화 기술 도입		
• RCP8.5: 현재 추세(저감없이)로 온실가스가 배출되는 경우(BAU 시나리오)					• A2(다원화 사회): 인구증가, 경제성장은 낮고, 환경에의 관심도 상대적으로 낮음		

▌표 2-8 ▌ RCP4.5, RCP8.5 기온 시나리오

RCP4.5 2050	RCP4.5 2100	범례
		0.0 15.0 15. - 25. 25. - 35. 35. - 45. 45. - 55. 55. - 65. 65. - 75. 75. - 85.
RCP8.5 2050	**RCP8.5 2100**	
		

• 현재, 미래 열 취약지역 1차 분석

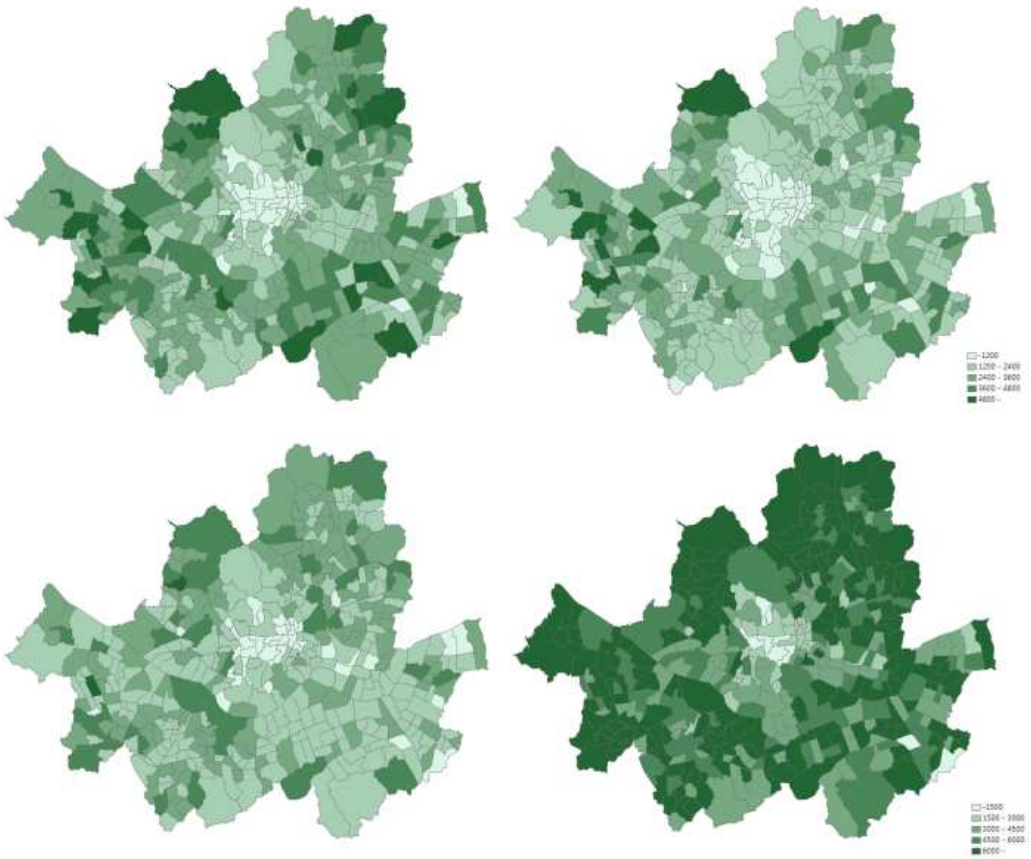
- 국내·외 선행연구 고찰을 바탕으로 1차 지표 선정 후, 각 지표와 온열환자수의 상관관계 분석을 통해 도시 열환경 취약지역 평가를 위한 11개의 최종지표를 선정하여 평가를 진행함
- 서울시 열환경에 밀접한 영향을 미치는 도시특성에 따라 2개의 군집으로 구분한 후 열환경취약지역 분석을 위한 온도의 가중치를 다르게 하여 분석을 실시함으로써 도시의 미시적 특성에 따른 시민 적응력과 온도의 관계를 반영함
- 열환경 취약지역과 밀접한 관련이 있는 뇌,심혈관질환자, 고혈압환자, 온열환자 수 등을 분석시 지표로 적극 활용 하였으며, 피해예방을 위한 사회적인 지표 또한 반영하여 통합적 분석을 실시함
- 분석결과, 강남지역이 강북지역에 비해 취약한 것을 알 수 있으며, 특히 압구정동, 잠실본동, 등촌동, 대림동, 상계동 지역의 경우 미래(2050년, 2100년)에 열환경이 더 취약해질 수 있으므로, 이에 대한 대응책 마련이 시급함



▌그림 2-21 ▌ 현재, RCP4.5(2050년, 2100년), RCP8.5(2050년, 2100년) 열 취약지역

• 열 취약지 평가결과 체계 개발

- 미래 열 취약지역 분석 고도화: 장래인구추계 반영
- 인구주택총조사 결과를 기초로 자치구별 인구의 추이를 반영한 서울특별시 자치구별 장래인구추계를 활용함
- 추계기간은 2015년-2035년까지 20년간이며, 공간범위는 서울시 25개 자치구임
- 기준인구에 인구 변동요인(출생, 사망, 이동) 연령별 장래수준 예측 가감으로 코호트요인법 추계방법은 반영함(서울특별시, 2017)
- 자치구별 인구규모는 2015년 대비 2035년 인구 증가율이 높은 자치구는 강서구(9.7%)와 서초구(3.0%)이며, 증가율이 낮은 자치구는 종로구(-17.1%), 영등포구(-16.9%), 성북구(-15.7%)임
- 저출산 현상의 영향으로 유소년 인구는 감소하고, 고령인구는 지속적으로 높아질 것으로 전망됨. 자치구별 유소년인구(15세 미만), 고령인구(65세 이상)를 현재(2015년) 자치구별 인구대비 행정동 인구비율을 고려하여 미래 취약지역 변수로 활용함

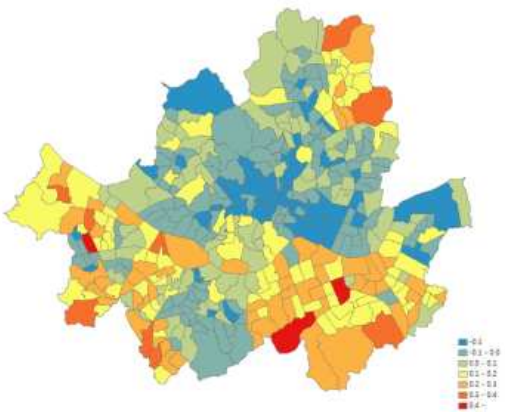
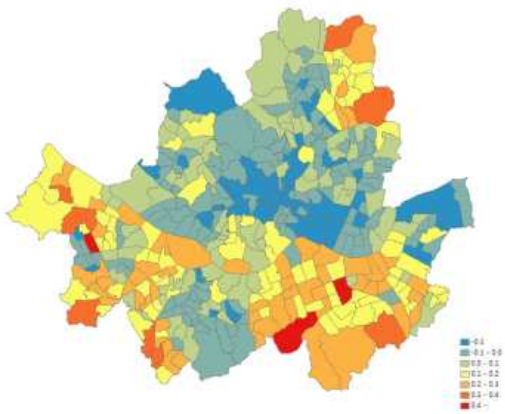
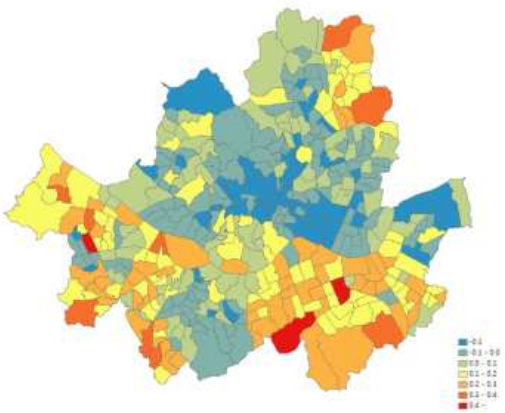
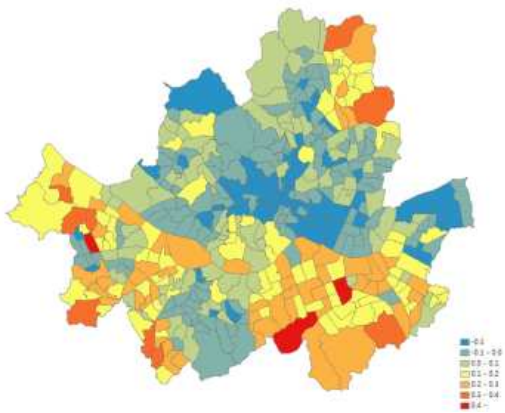


▌그림 2-22▐ 유소년 인구(위), 고령 인구(아래)의 2015년, 2035년 인구추계

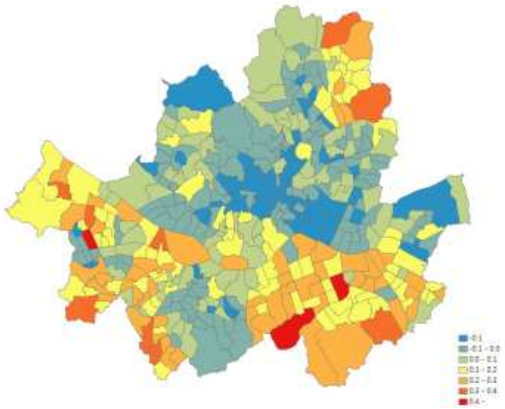
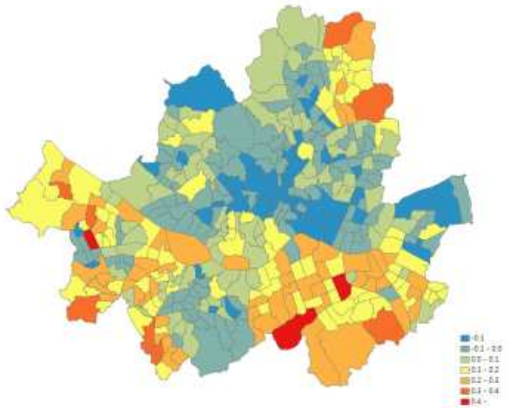
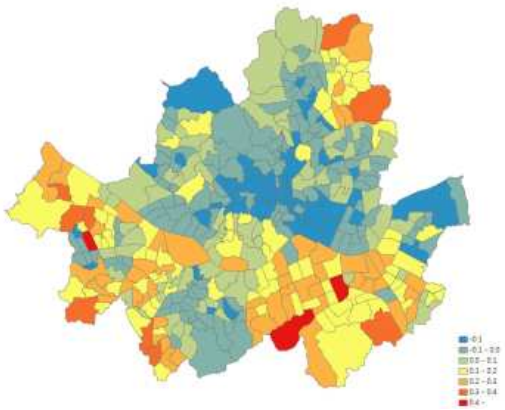
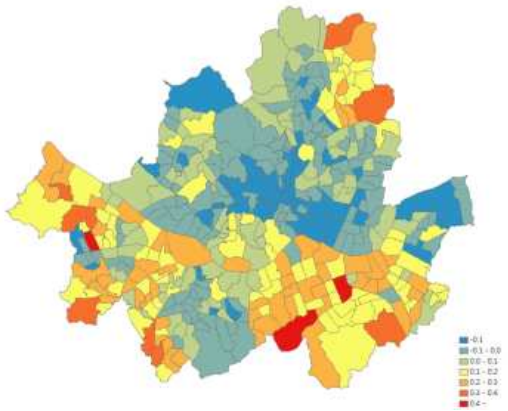
• 미래 열 취약지역 분석 고도화 결과

- 기후변화 시나리오 RCP4.5와 RCP8.5 적용 시 열 취약지역 평가값이 높은 지역은 양재1동, 화곡1동, 대치2동, 세곡동, 방화1동, 우장산동, 오류2동, 상계1동, 시흥1동, 독산1동 순으로 현재 결과값과 평이하게 나타남
- 강남구, 서초구, 강서구, 영등포구 등 고밀도 지역인 군집1에 분포함
- 군집 1은 용적률, 연면적이 높고, 고층빌딩, 도로, 교통 등으로 인해 평균기온이 높은 특성을 가지고 있음
- 향후 미래의 취약지역을 분석하려면 현재와 2025년, 2030년, 2035년, 2035년을 비교 시, 기온에 따라 결과값이 달라져 열 취약지가 상이함을 고려해야하며, 취약지수 뿐만 아니라 미래의 취약지수 상승률 또한 고려해야 함
- 현재와 약 15년 후 열 취약지역을 관리한다면, 강남구, 서초구 등 고밀화된 도시지역 관리에 집중해야 하며, 장기적으로 30년, 50년 후까지 고려한다면 노원구, 은평구 등에 열섬 및 폭염 완화 대책을 수집해야 함

▌표 2-9 ▌ 미래 열 취약지역(RCP4.5 적용 시)

RCP4.5 2020년	RCP4.5 2025년
	
RCP4.5 2030년	**RCP4.5 2035년**
	

▌표 2-10▐ 미래 열 취약지역(RCP8.5 적용 시)

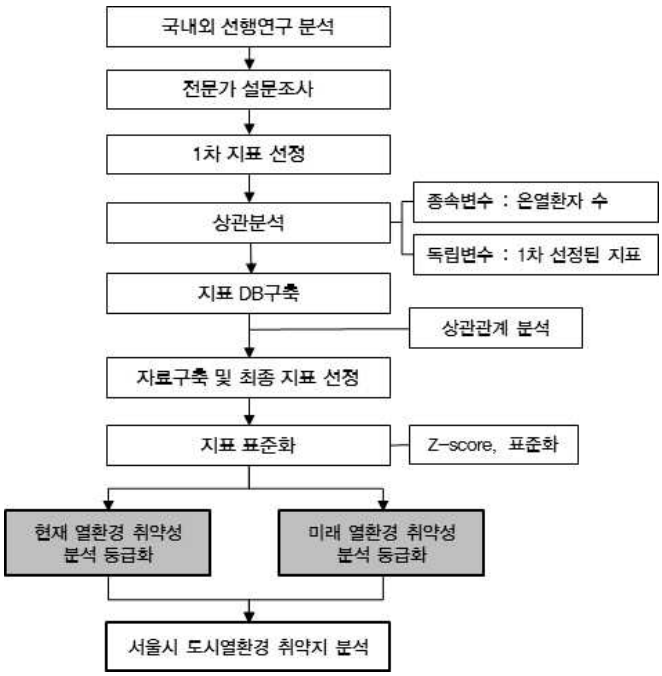
RCP8.5 2020년	RCP8.5 2025년
	
RCP8.5 2030년	**RCP8.5 2035년**
	

❑ 현재, 미래 열 취약지역 2차 분석

- 현재, 기후변화 시나리오 RCP4.5와 RCP8.5를 적용 시 열 취약지역 평가값이 높은 지역은 양재1동, 화곡1동, 대치2동, 세곡동, 방화1동, 우장산동, 오류2동, 상계1동, 시흥1동, 독산1동 순으로 모두 군집1에 분포함
- 또한, 현재와 미래를 비교하여 현재는 열 취약지 평가 값이 낮으나 미래에는 값이 증가하는 잠재적 열 취약지인 진관동, 종암동, 석관동, 인수동 등도 고려되어야 함
- 현재와 약 15년 후 열 취약지역을 관리한다면, 강남구, 서초구 등 고밀화된 도시지역 관리에 집중해야 하며, 장기적으로 30년, 50년 후까지 고려한다면 노원구, 은평구 등에 열섬 및 폭염 완화 대책을 제시해야 함
- 분석결과, 강남지역이 강북지역에 비해 취약한 것을 알 수 있으며, 진관동, 종암동, 석관동, 인수동 등 지역의 경우 향후 미래에 열환경이 더 취약해질 수 있으므로, 이에 대한 대응책 마련이 시급함

• 열 취약지역 평가분석방법 고도화

- 본 연구에서는 서울시를 대상으로 인구구성 특성, 보건여건, 물리적 상황 등을 종합적으로 고려하여 현재와 미래의 폭염취약지역을 도출하고자 함
- 기후변화 시나리오를 통한 미래 열환경 취약성 평가로 통합적인 관점에서 서울시 열환경 취약지를 분석하여 향후 폭염대책 수립을 위한 기초자료로 활용하고자 함
- 기존 연구는 서울시의 미시적 도시환경 특성을 고려하여 계층적 군집분석을 이용하고, 상관계수를 통한 지표별 가중치를 부여함. 더 나아가, 본 열 취약지 평가방법론이 범용적으로 적용될 수 있도록 열 취약지역 평가과정을 개선함
- 또한, 오픈소스로 자료구득이 용이한 자료를 사용하며 「도시 기후변화 재해 취약성분석 및 활용에 관한 지침」을 준수함



▌그림 2-23▐ 도시 열 취약지역 평가과정 개선안

- 앞서 선행된 다양한 선행연구를 바탕으로 열환경 취약지역을 평가할 수 있는 지표를 취합하여 열 취약지역 평가지표를 선정함
- 지표는 크게 온도와 관련된 기후노출(Exposure)지표와 인구지표, 사회·경제적 지표를 포함하는 민감도(Sensitivity)지표, 도시환경과 기후적응정책현황과 관련된 적응(Adaptation)지표로 구분 됨
- 전문가 설문조사를 통해 1차 지표를 선정하고 온열환자수가 높은 지역이 열환경이 취약한 지역으로, 온열환자를 종속변수로 정의하고 그 외의 변수는 독립변수로 정의하여 상관분석을 통해 최종 지표를 선정함
- 최종 지표는 온도(일최고기온이 33도 이상인 날수), 인구환경(65세 이상의 인구수, 15세 미만의 인구수), 건강(호흡기환자수, 심장질환자수, 뇌혈관질환자

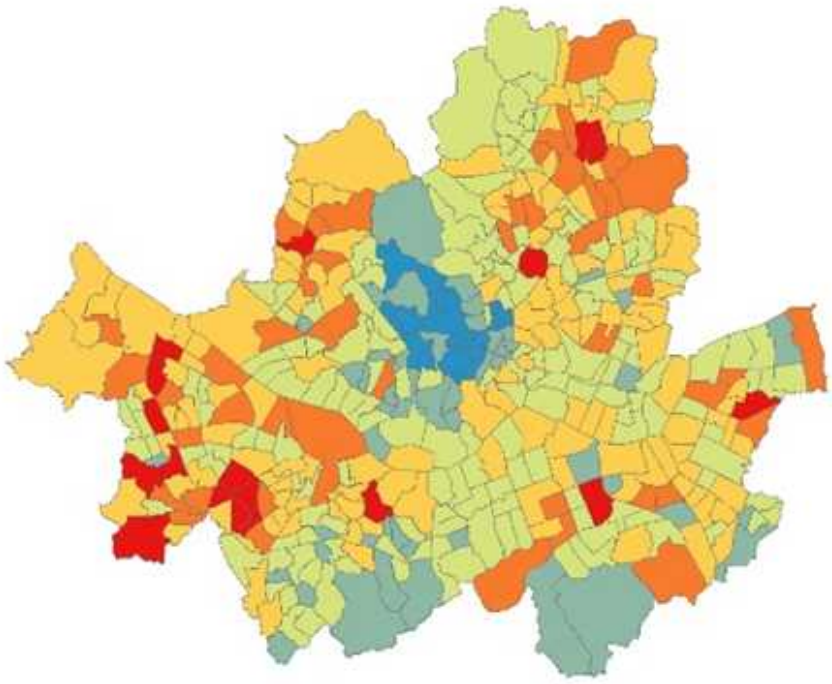
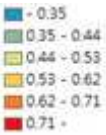
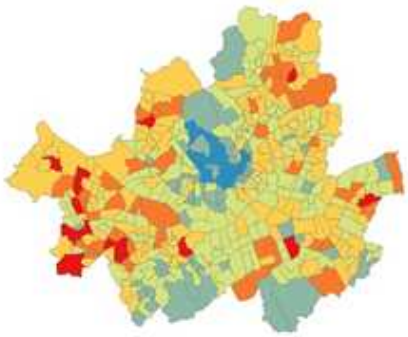
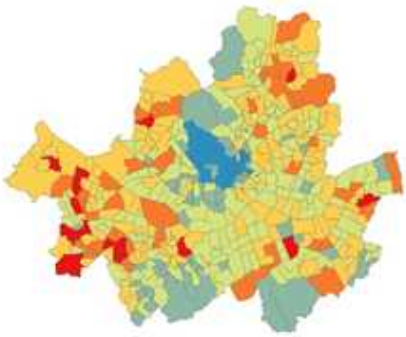
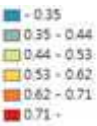
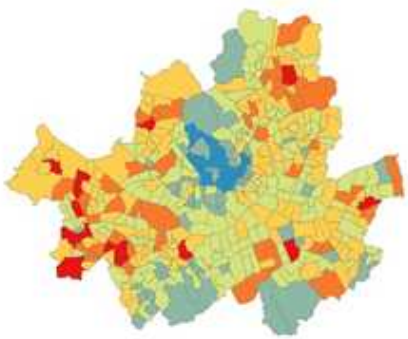
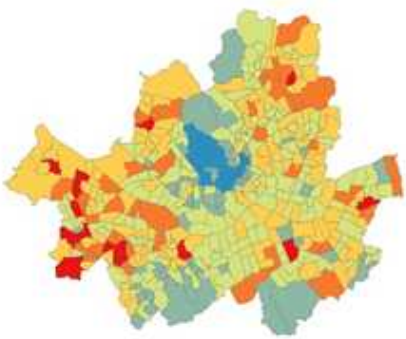
수), 사회환경(사회복지기관수, 의료인력수, 무더위쉼터수), 자연환경(평균풍속)
- 미래 열환경 취약지역 평가 시, 온도지표인 일최고기온이 33도 이상인 날수는 기후변화 시나리오 RCP 4.5와 8.5로 미래온도가 예측되며, 인구환경지표인 65세 이상, 15세 미만의 인구수 비율은 서울시 인구추계자료로 미래인구가 추정
- 최종 선정되어 표준화된 지표들은 동일한 가중치로 중첩 후 취약지역이 도출

• 현재, 미래 열 취약지역 3차 분석
- 현재(2015년)과 가까운 미래인 10년후, 20년후를 분석한 결과, 열환경 취약지역은 강서구, 구로구, 노원구 일대에 분포하였으며 이 지역은 보건지표(환자수), 인구환경지표(65세 인구수)가 높은 지역에 분포함
- 기온이 높은 날수가 많은 지역인 강남구에도 일부 취약지가 분포함
- 현재와 미래 열 취약지역 분석지표를 구득 가능한 자료로 맞춰 분석지표를 조정하였으며, 범용성을 위해 군집분석과 상관계수를 통한 가중치부여 과정을 제시하여 기존의 결과보다 열 취약지역예측 결과가 보다 현실적이며 지역특성이 반영됨

▌표 2-11 ▌현재와 미래 열환경 취약지역(행정동)

	현재(2015년)	RCP4.5, RCP8.5(2025년)	RCP4.5, RCP8.5(2035년)
1	역촌동	화곡1동	화곡1동
2	길동	길동	역촌동
3	화곡1동	역촌동	길동
4	구로4동	구로4동	구로4동
5	구로2동	구로2동	구로2동
6	오류2동	오류2동	오류2동
7	중계2.3동	등촌3동	등촌3동
8	신정3동	대치2동	대치2동
9	대치2동	구로5동	신정3동
10	구로5동	중계2,3동	우장산동
11	등촌3동	우장산동	구로5동
12	상도1동	상도1동	중계2,3동
13	상계6,7동	방화1동	방화1동
14	종암동	상계6,7동	상도1동
15	우장산동	신도림동	상계6,7동
16	신도림동	종암동	신도림동
17	방화1동	염창동	염창동
18	월계2동	월계2동	종암동
19	공릉1동	공릉1동	월계2동
20	천호2동	천호2동	화곡본동

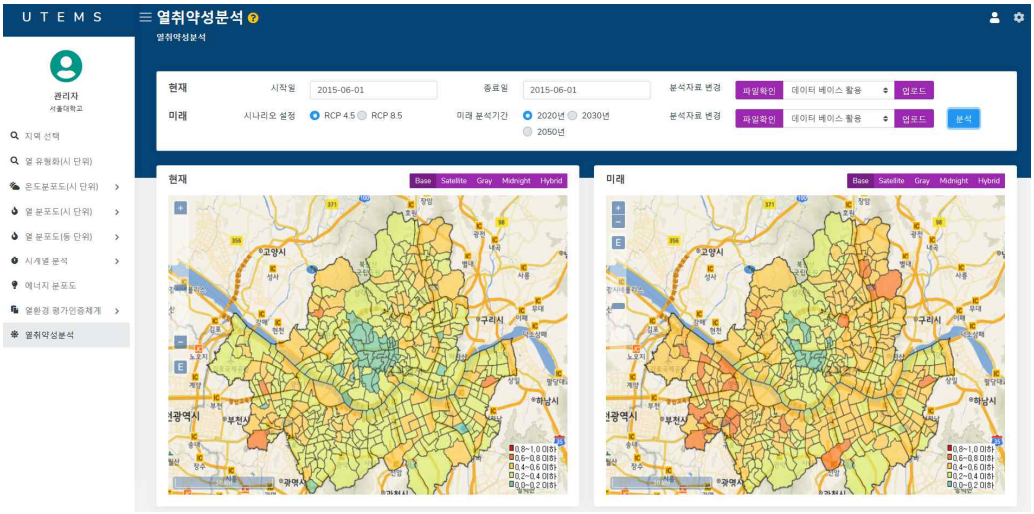
❙표 2-12❙ 현재와 미래 열환경 취약지역

<table>
<tr><th colspan="2">현재 2015년</th><th>범례</th></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td rowspan="2"> 
</td></tr>
<tr><th>RCP4.5 2025년</th><th>RCP4.5 2035년</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td rowspan="2"> 
</td></tr>
<tr><th>RCP8.5 2025년</th><th>RCP8.5 2035년</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>

2) 도시열발생 저감 모니터링시스템과의 연계기술

❑ 모니터링 시스템 모듈 탑재

- 도시 열환경 모니터링시스템 기반 열 취약성분석 모듈 SW등록 (C-2019-033780호)
- 분석된 열 취약성 분석 알고리즘을 바탕으로 데이터베이스에서 연산된 모니터링시스템을 기반으로 가시화하는 기능을 탑재함
- CSV 형태의 자료를 입력기능을 통해 입력하면 Postgres DBMS에 입력되며, 입력된 자료를 기반으로 분석을 시행하고 가시화함



▌그림 2-24▐ 모니터링시스템 열 취약성분석 탑재

3) 시사점

- 취약지역 평가결과를 DB로 구축하여 중·장기적으로 도시 열환경 분석 및 관리 기법 개발에 활용할 수 있음
- 재해취약성 평가의 기초자료, 취약지 선정방법론 제시 등으로 활용 될 수 있으며, 폭염 취약지역 선정 및 유형화, 유형별 관리방안 제시하여 정책방안에 활용 될 것으로 기대함
- 폭염대책 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있음. 폭염 발생 자체를 완벽히 제어하는 데는 한계가 있으나 폭염완화와 대응을 위한 환경개선은 가능함. 특히 사전에 폭염에 취약한 지역을 파악하여 관리할 수 있다면 보다 체계적인 접근이 가능함

다. 기후변화 적응을 위한 도시 열 취약지역 개선안

1) 도시공간 위계별유형별 열환경 개선 평가인증체계

❑ 열환경 개선 인증체계 구축

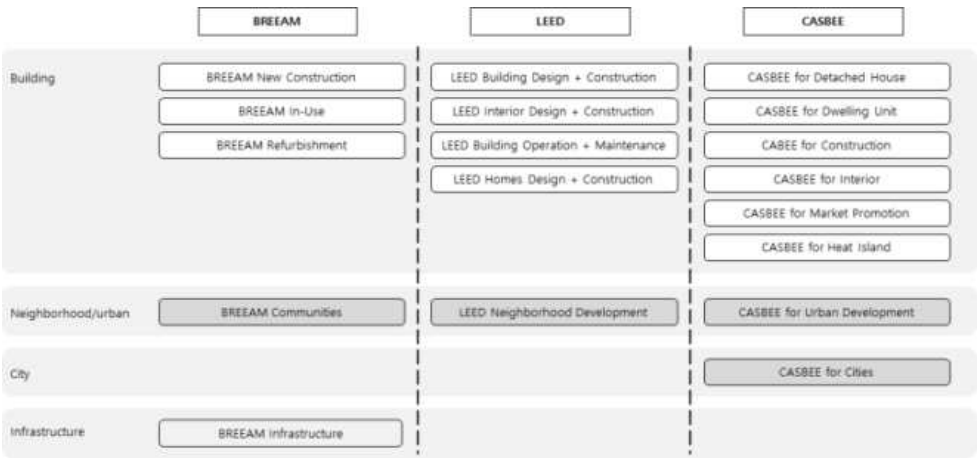
• 근린단위 녹색건축인증 평가체계 비교

- 현재 적용되고 있는 녹색건축인증기준 중 영국 BRE에서 개발한 BREEAM, 미국의 LEED, 일본의 CASBEE가 대표적이며, 녹색건축인증 관련 선행연구에서 분석됨
- 이 중 BREEAM은 1990년 영국 BRE에서 최초로 개발된 녹색건축인증으로 영국을 비롯하여 유럽, 미국, 남미, 중국까지 전 세계에 걸쳐 광범위하게 적용됨
- BREEAM은 건축물에서 도시분야로 그 적용분야를 확대하였는데, 근린단위 이상을 대상으로 하는 평가기준으로 BREEAM Communities가 있음
- BREEAM Communities는 개발원칙 수립, 개발의 얼개 결정, 상세부문에 대한 설계의 3단계로 평가하고 있으며, 사회, 경제, 환경의 3분야에 대해서 5개의 중요 항목과 하나의 혁신항목으로 구성됨
- LEED는 미국의 그린빌딩협의회에서 개발한 인증기준으로 2016년 기준으로 총 5개의 하위 평가체계가 존재하며 이중 근린개발 단위 이상의 도시분야와 관련된 평가체계는 2009년 5월에 USGBC, 자연자원보호위원회(Natural Resources Defense Council), 뉴어바니즘위원회(Congress for the New Urbanism)와의 협업에 의해 출시된 LEED for Neighborhood Development (이하 LEED-ND)
- LEED-ND는 2016년 8월 15일 기준으로 버전 4까지 개정되었으며, 이노베이션 항목을 포함하여 총 5개 평가항목으로 구성
- 일본은 한국과 유사한 방식으로 정부주도로 녹색건축인증이 개발되었으며 CASBEE는 타 건축기준에 비해서 그 적용대상과 범위가 가장 넓고 다양
- 건축물에 대한 CASBEE for New Construction(이하 CASBEE-NC) 외에 근린규모와 그 이상의 도시개발을 대상으로 하는 CASBEE for Urban Development(이하 CASBEE-UD)가 있으며, 최근에는 도시(CASBEE-Urban)와 열섬에 관련된 녹색건축인증(CASBEE-Heat Island, 이하 CASBEE-HI)도 개발되어 시행 중임

• 하위 평가체계 구분

- 세 가지 평가대상 근린개발 분야 녹색건축인증 중 BREEAM Communities와 LEED-ND는 그 하위 평가체계의 구분에 있어서 건설시장의 수요에 맞춰서 개발된 특징으로 시장의 필요에 의해 확대되는 특징이 있으며, CASBEE-UD는 중앙부처 주도로 선제적인 지속적 확장을 통해 평가도구군(CASBEE Family)을 형성함
- 인증체계 중 가장 많은 평가기준을 보유하고 있는 기준이 CASBEE이며,

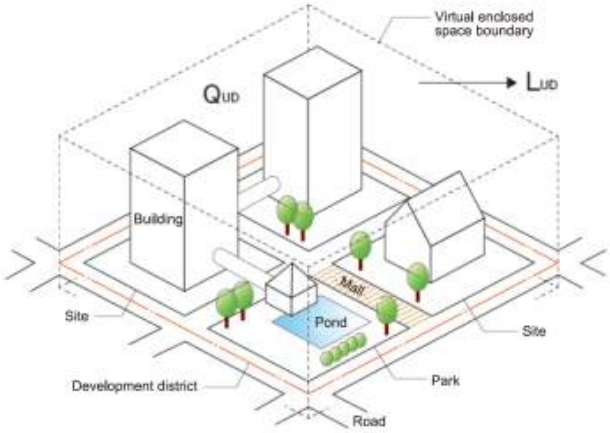
CASBEE의 경우 근린규모의 CASBEE-UD의 영역을 넘어 도시 범위의 CASBEE for Cities를 개발함



▌그림 2-25▐ 인증체계별 평가체계 구분

• 적용범위 비교

- 적용범위에 대해서는 BREEAM Communities는 건축물 외부 공간으로 정의하고 있으며, 대규모 개발사업의 생애주기 전 단계에 대해 평가함
- CASBEE-UD와 LEED-ND에서는 평가범위를 예시 다이어그램과 도면으로 제시함
- 근린개발의 적용범위에 대해서는 기존 평가체계에서 동일하게 건축물의 외부로 정의하고 있으며, 건축물 외부의 한계에 대해서는 CASBEE-UD의 경우가 가장 구체적으로 제시되어 있음
- CASBEE-UD에서는 가상경계(virtual bounday)라는 개념이 제시되고 있는데, 이 경계는 평가대상이 되는 사업지의 경계를 기준으로 설정되는 입체적인 영역으로, 평가시 경계 내부의 환경적 질과 외부의 환경부하를 모두 평가함
- 국내 근린개발을 위한 녹색건축인증에서도 기존 건축물에 대한 인증체계와의 차별화를 위해서 건축물을 포함한 가상의 옥외공간을 설정하고 그 내부의 환경적 수준을 평가하는 것이 필요하며, 그 최대범위는 근린주구에 대한 평가, 도시전체에 대한 평가와 같이 개발목적에 맞게 보완하는 것이 타당함



▌그림 2-26▐ CASBEE-UD의 가상경계
(Virtual Boundary)

• 평가항목 비교

- 평가체계의 핵심이라고 할 수 있는 평가항목을 검토하기 위해 BREEAM Communities, LEED-ND, CASBEE-UD의 근린개발분야에서 제시하는 항목을 유형별로 비교
- 세 평가체계의 공통점은 환경, 사회, 경제의 3가지 가치를 중심으로 평가항목을 구성하고 있는데, BREEAM Communities의 경우 평가를 3단계로 구분하여 진행하며 해당단계별로 적용되는 항목이 다르게 분류되어 있음
- LEED-ND의 경우 전제조건(Prerequisite)과 평가항목(Credit)의 두 가지로 구분된 평가기준으로 구성되어 있고 CASBEE-UD의 경우 CASBEE 고유의 점수부여 시스템 적용을 위해 환경부하와 환경질의 수준으로 구분된 평가항목이 존재함. 실제 CASBEE는 독특한 평가체계를 보유하고 있는데, 점수는 환경부하를 분모로 환경의 질을 분자로 구성한 수식에 의해 산정하는 방식임
- 평가항목 분석에서 나타난 가장 큰 특징은 각 평가항목들이 근린단위 이전의 건축물을 대상으로 한 평가항목들과 밀접한 관련이 있다는 점으로 BREEAM Communities의 경우 일부 평가항목들은 건축물 단위의 평가와의 연계성을 측정함

▌표 2-13▐ 인증별 평가항목구분의 특징

녹색건축인증	특성
BREEAM Communities	• 환경, 사회, 경제의 3가지 측면에서 항목을 구분함 • 혁신항목을 포함하여 6개의 대분류로 구분되어 있음 • 적용단계를 3단계로 구분하여 단계별 적용되는 평가항목이 다름
LEED-ND	• 전제조건과 평가항목으로 구분된 기준을 제시하고 있음 • 혁신항목 외에 지역적 우선순위와 관련된 항목을 추가하여 지역적 특성 반영
CASBEE-UD	• 환경의 질과 환경부하로 구분된 평가항목으로 구성됨 • 평가항목의 구성이 환경, 사회, 경제의 3가지로 명확히 구분됨

• 관련제도와의 관계

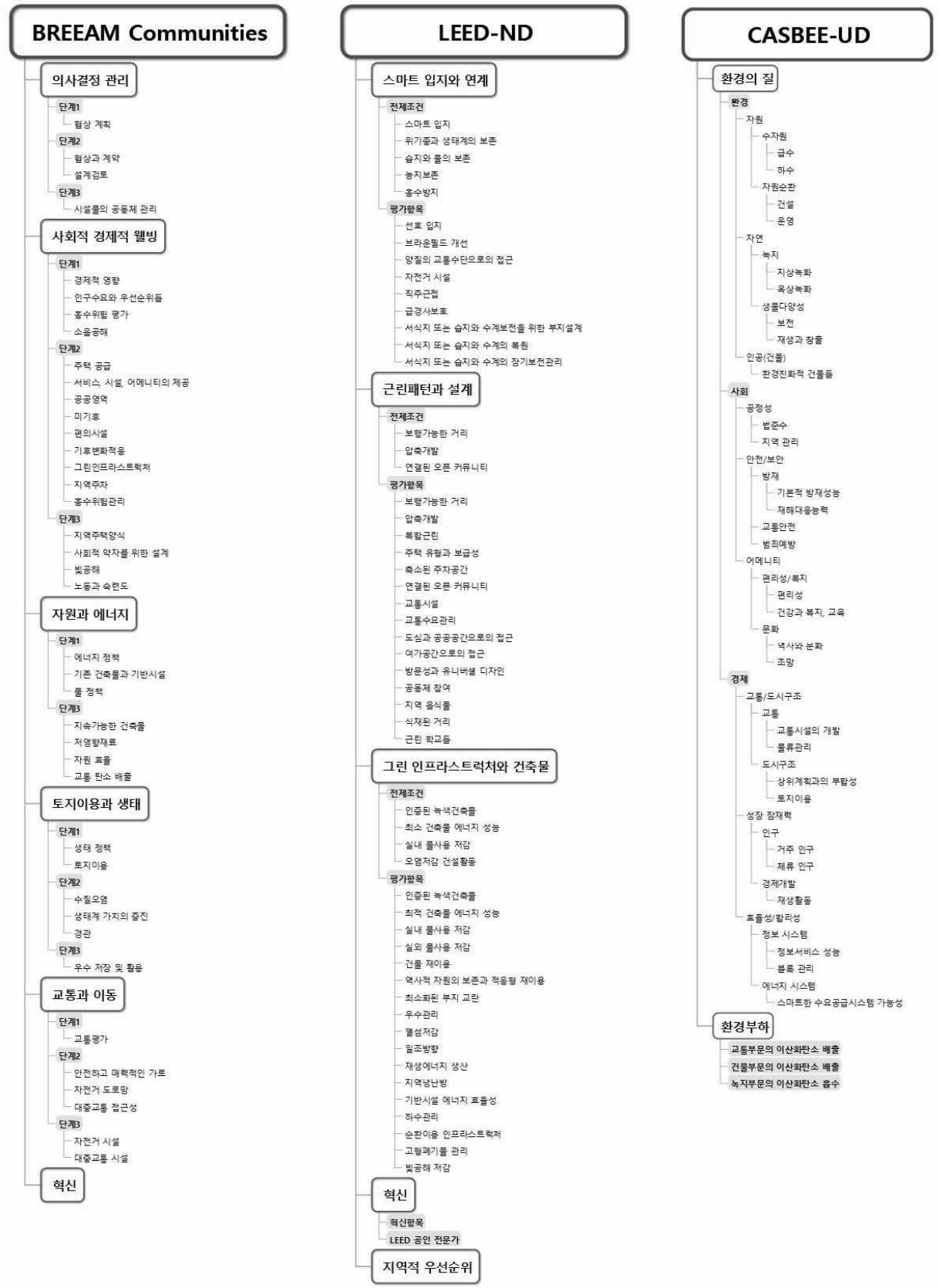
- 녹색건축인증이 도시분야로 확대되기 위해서는 기존에 시행되어온 유사한 평가제도간의 관계정립이 필요함
- 환경부문에 대한 평가와 관련하여 국내에는 환경영향평가제도를 시행하고 있으며, 환경영향평가의 대상에 행정계획과 개발사업이 모두 포함되기 때문에 이들 제도와 근린개발 단위의 녹색건축인증이 어떠한 차별성을 가져야 하는지 명확히 할 필요가 있음
- 환경영향평가는 개발사업으로 인해 야기될 수 있는 환경적 영향, 즉 부정적인 영향을 중심으로 평가를 진행하는데 반해, 녹색건축인증은 부정적 영향과 함께 개선된 성능에 대한 평가가 동시에 이루어진다는 점에서 차별성이 있음

• 근린단위 녹색건축인증 적용 범위

- 근린단위 녹색건축인증의 적용범위는 건축물을 포함한 옥외 공간으로 개발사업대상지의 경계가 적용대상임
- CASBEE-UD의 가상경계 사례를 참고로 평면적 경계구획이 아닌 입체적 경계구획이 필요하며 평면적으로는 계획 및 설계대상지가 존재하기 때문에 이를 1차로 평면적 경계로 구획될 수 있으며, 2차로 지하와 지상의 입체적인 영역 획정이 필요함
- 지하개발과 대기질, 열섬과 같은 옥외환경에 대한 고려를 위해 일정부분 지상과 지하에 대한 영역이 설정될 수 있으므로, 최대로 개발할 수 있는 지상과 지하의 범위, 그리고 사업대상지 경계를 기준으로 개념적인 영역 설정이 가능함



▌그림 2-27▐ 근린단위 녹색건축인증 적용범위



▌그림 2-28▐ 녹색건축인증 평가항목 비교

• 근린단위 녹색건축인증 평가항목 도출

- 건축물이 모여 근린단위를 구성한다는 의미에서 기존 건축물단위의 녹색건축인증항목의 틀을 그대로 유지하기 위한 방안이며 신축건축물, 기존건축물과 같은 하위 평가체계에 근린단위가 포함된다고 봤을 때 일관성 확보가 필요함
- 기존 건축물 단위의 녹색건축인증에서는 토지이용 및 교통, 에너지·환경오염, 재료자원, 물순환 관리, 유지관리, 생태환경, 실내 환경으로 구분되어 있는데, 이중 재료자원을 폐기물 배출감소와 순환활용과 관련된 자원순환으로 수정하였고, 유지관리는 지속가능성 관점에서 사회경제역사문화 부문의 고려를 위한 근린계획과 관리라는 분야로 설정하였으며, 실내 환경의 경우 건축물 외부 공간으로 영역을 변경하여 옥외환경으로 명명함

▌표 2-14 ▌ 근린단위 녹색건축인증 평가분야 구분과 설명

전문분야	설명	평가항목(안)
1.토지이용 및 교통	근린단위 개발 이전의 토지의 친환경적 보전과 친환경교통수단의 활성화를 위한 설계 내용반영 여부를 평가	· 생태학적 가치 · 원지형 보전 · 대중교통 접근성 · 친환경교통수단의 도입 · 교통수요관리
2.에너지 및 환경오염	친환경, 저탄소 배출 에너지원의 활용 수준에 대한 평가 (녹색건축인증 건축물 현황 반영)	· 신재생에너지 이용 · 저탄소 에너지원 적용 · 녹색건축인증 건축물
3.자원순환	근린단위 폐기물 처리, 자원순환 방식 등에 대한 평가	· 저영향 자재의 사용 · 자원 효율성 향상
4.물순환 관리	빗물활용, 침수대응, 지역 물순환을 위한 계획기법 적용 수준에 대한 평가	· 자연계 물순환 관리 · 인공계 물순환 관리 · 물순환 효율화 · 재해대응 능력(침수)
5.근린계획과 관리	커뮤니티의 지속가능성, 역사문화, 경제, 사회적 요소에 대한 고려수준에 대한 평가	· 사회적 약자를 위한 설계 · 역사자원의 보존과 활용 · 범죄예방적 설계 · 생활편의시설의 배치 · 주요경관의 보전
6.생태환경	자연적.생태적 요소의 보전과 활용수준에 대한 평가	· 녹지축 조성 · 공원녹지 비율 · 비오톱 조성
7.옥외 환경	대기질, 열섬, 소음, 빛 등의 옥외공간의 환경적 쾌적성에 대한 평가	· 일조 환경 · 정온 환경 조성 · 열섬현상 완화 기법 적용
ID.혁신적인 설계	제도 운영과정에서 요구되거나 여건성숙으로 반영 가능한 근린단위 설계요소를 대상으로 항목 신설	· 바람길 조성 · 미세먼지 대응 설계

• 근린단위 녹색건축인증 내 열환경 개선 평가항목 반영

• 공원녹지 비율

- 생태환경 조성 뿐 아니라 주거환경의 질 향상에 중요한 역할을 하는 공원·녹지의 확충을 장려하기 위해 도시개발사업에 적용하는 공원녹지 확보기준에 대한 공원녹지 확보비를 계산하여 평가

$$\text{공원녹지확보비} = \frac{\text{개발구역내도시계획시설로결정되는도시공원및녹지면적}}{\text{확보기준}}$$

구분	연간 에너지소요량에 대한 신재생에너지 생산 비율	가중치
1급	공원녹지 확보비가 2.0이상일 경우	1.0
2급	공원녹지 확보비가 1.5이상 2.0미만일 경우	0.8
3급	공원녹지 확보비가 1.0이상 1.5미만일 경우	0.6

• 열섬현상 완화 기법 적용

- 하계 근린단위 내 지붕과 대지 표면온도 상승을 줄여 열섬현상을 완화하고 미기후 조절을 유도하고자 근린단위 내 과열방지 지붕 적용비율과 대지 생태면적률로 평가

$$\text{과열방지지붕 적용비율}(\%) = \frac{\text{근린단위기준}\ SRI\text{값만족지붕면적} + \text{근린단위옥상조경면적}}{\text{근린단위지붕면적}} \times 100$$

구분	과열방지 지붕 적용비율	근린단위 대지 생태면적률	가중치
1급	7% 이상	50% 이상	1.0
2급	5% 이상 7% 미만	40% 이상 50% 미만	0.8
3급	3% 이상 5% 미만	30% 이상 40% 미만	0.6
4급	1% 이상 3% 미만	25% 이상 30% 미만	0.4

- 과열방지 지붕(Cool Roof)이란 표면 반사율과 방사율에 따른 SRI(Solar Reflectance Index) 값이 기준 SRI 값인 0.65를 만족하거나 옥상조경된 지붕을 의미함
- 경사지붕의 경우 기준 SRI 값 만족 지붕 면적은 수평 투영면적으로 산출함
- 지붕에 신·재생에너지 설비 설치한 경우 지붕면적에서 해당 설비 설치면적을 제외함
- 지붕을 제외한 면적 산정 시, 생태면적을 제외한 불투성포장면의 면적으로 SRI 값을 산정함

• 바람길 조성

- 해당 근린개발 지역에서 바람길 확보 및 관리를 통해 쾌적한 도시환경을 조성하고 대기질 개선 및 도시 열섬현상을 저감하고자 바람길 계획 및 설계 심의회의를 통해 평가

구분	바람길 계획 및 설계 심의 점수	가중치
1급	90점 이상	1.0
2급	80점 이상 90점 미만	0.8
3급	70점 이상 80점 미만	0.6
4급	60점 이상 70점 미만	0.4

심의 평가항목	점수
대상지 기상 현황조사 분석	10
대상지 바람길 분석을 위한 수치모델링 기법 적용	30
바람길을 고려한 건물배치	20
바람길을 고려한 건물 형태 및 층수 선정	20
대상지 도시기후에 특성에 따른 대응방안 마련의 적절성	20

2) 시사점

- 타 인증체계 내 열환경 개선 관련 지표 현황, 근린단위 친환경 건축물 인증제도의 적용범위를 검토하여 열환경 개선 평가를 위한 기준 개발 가능성을 검토함
- G-SEED 녹색건축인증 인증기준 운영기관에 기준안을 (『 녹색건축 인증기준』 제3조 (인증기준 및 등급) ①에 별표8의 근린단위개발 인증심사기준 추가) 제안하여 녹색건축인증을 근린단위로 확대 시행할 수 있는 제도적 기반을 마련함
- 열섬현상 완화 기법 적용, 공원녹지 비율, 바람길 조성 등의 항목을 인증기준에 반영하여 제시함
- 열환경 개선 평가지표가 포함된 근린단위 G-SEED 인증제 운영으로 신규 개발사업 또는 도시재생지역에서 도시 열환경 개선이 가능할 것으로 기대됨

2. 도시 열발생·저감 모니터링시스템 개발 및 실증

가. 도시공간 요소별 열수지 산정기술

1) 지역규모 도시공간 열수지 산정기술 및 실증

❑ DB 구축 및 지역규모 열수지 산정식 개발

- 열 수지 산정을 위한 선행 연구 고찰(도시기상 특징)
  - 도시화는 도시 중심부의 고밀도의 건축물 증가와 토지이용의 변화, 토지피복의 변화로 인해 늘어난 인공피복의 증가, 인공열 발생 특징을 보임
  - 늘어난 인공지표는 열용량이 크며, 수분함량이 적고, 알베도가 작은 특징을 지님
  - 또한 건축물들은 거칠기 길이를 증가시켜 인해 바람길 형성에 영향을 미치며, 건물 내 갇힘열을 증가시킴
  - 이러한 도시화는 기온은 높고, 습도가 낮으며, 강수량과 안개일수가 많고, 일사량이 적은 기상형태를 나타냄
- 열 수지 산정을 위한 열 발생 요소 개념 정립
  - Oke에 의해 구분된 열발생(도시열섬) 기여 인자의 대분류는 비조절 인자(도시 규모, 지리적 위치, 시간, 계절, 종관기후)와 조절 인자(도시 구조, 도시 기능) 등으로 나눌 수 있음

▌표 2-15 ▌ 스케일별 열 발생 기작 정리

UBL 레벨	1. 도시 표면 거칠기에 의한 유속 감소
	2. 도시 협곡의 상층부, 지붕에 의한 열 발생
	3. 도시 바운더리 레이어 상에 배출되는 오염물질에 의한 가열
	4. 굴뚝, 환기구로부터의 인공열 발생
UCL 레벨	1. 낮은 알베도 표면에 의한 태양열 흡수와 반사 감소 효과
	2. 단열 소재 표면으로 인한 높은 주간의 표면온도
	3. 천공율의 저하로 인한 표면의 라디에이션 열의 갇힘 효과
	4. 인공열(굴뚝), 오염물질(자동차)의 증가
	5. 유속의 저하와 와류(turbulence)의 증가로 인한 공기온도 상승
	6. 불투수 표면 증가로 인한 표면 습기와 증발산 감소
	7. 도시 재질의 열특성으로 인한 저장열 증가와 늘어난 도시 재질 표면으로 인한 온도 상승

출처: Oke(2006)

- 열 수지 산정을 위한 열 발생 요소 유형화
  - 총 993개의 논문 중 피인용 횟수가 높은 논문을 우선하였으며, 전문가의 추천을 받은 Masson (2002), Kusaka (2004), Lee SH (2008), Lemonsu (2004) 등의 연구자의 논문들을 우선적인 순위로 설정하여 열 발생 요소를 유형화 함
  - 건축 구조에 해당하는 변수로는 천공률, 건충물 높이 및 층수, 건물의 폭, 건축물의 수, 건폐율과 용적율, 지붕의 비율, 도시 협곡의 비율, 도로의 비율이 있음

- 토지이용과 관련된 변수로는 도시 면적률, 불투수 면적률이 있음
- 열 전달 관련변수로는 도시지역 지붕, 벽면, 도로 피복의 열용량과 열 전도도가 있음
- 공기역학 변수로는 도시 피복의 거칠기 길이가 있으며, 반사 및 방출 변수로는 피복의 반사율 및 방출율이 있음
- 건축물 내부 조건으로 인공열, 내부 온도가 있으며 외부조건으로는 토양온도가 있음

• 열 수지 산정을 위한 열 저감 요소 개념 정립

- 열 저감이란 도시열섬을 완화시키는 것으로 정의할 수 있으며, 열 발생과 마찬가지로 도시열섬, 온난화, 도시열섬 저감 등의 키워드로 선행연구를 정리하였으며 총 55편의 논문을 통해 정리함

• 열 수지 산정을 위한 열 저감 요소 유형화

- 도시열섬 완화 관련 논문과 열 수지 관련 논문을 고찰하여 열 저감 목록을 작성함. 녹지, 물, 포장, 도시 구조로 나눌 수 있음
- 녹지와 관련된 변수로는 녹지면적(율), 식재 종류, 식재 높이, 녹지로부터의 거리, 녹지 형태, 정규식생지수(NDVI), 잎면적 지수(LAI)가 있음
- 물과 관련된 변수로는 수공간의 크기, 면적 비율, 수공간으로부터의 거리, 수공간 형태가 있음
- 토지피복과 관련된 변수로는 방출율, 반사율, 투과성 및 다공성, 포장면의 색상, 표면 수량 및 가용 수분과 투수면적율이 있음
- 건물과 관련된 변수로는 천공률, 종횡비, 건축물의 높이 및 층수, 거칠기, 통풍, 건물 배치 및 건폐율이 있음
- 건물의 이용과 관련된 변수로는 옥상 녹화, 벽면 녹화, 쿨루프, 옥상 살수가 있음
- 기상 및 지형과 관련된 변수로는 상대습도, 풍속, 표고, 국지 순환이 있음

• 열 수지 산정 방법 사례 고찰

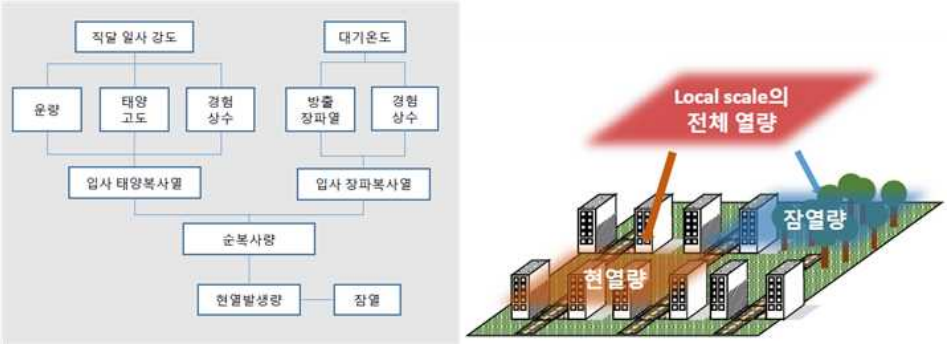
- 열 수지의 분석방법에 있어서 실증적 방법과 수치 모델 방법이 주로 사용되는 것을 확인함
- 실증적 방법의 경우 관측이 선행되어야 통계적인 처리가 가능하기 때문에, 도시 구조의 변화를 예상하여 예측하는데 어려움이 존재함
- 반면, 수치 모델 방법의 경우 실측값과의 비교를 통해 검증을 실시하고, 도시 구조의 변화를 반영할 수 있다는 측면의 장점이 존재함

• 수치모델 방법 분석 사례

- Vegetated Urban Canopy Model(VUCM): 기존 UCM에 수목이 존재할 때 달라지는 플럭스를 계산함(Lee and Park, 2007). 도시의 인공 표면에 대한 물리적 과정의 매개변수화와 식생 지역을 포함한 도시 캐노피 모델임
- 불투수 표면 속에 식생 지역의 물리 과정이 포함되어 있음. 지붕, 벽면, 도로, 식생, 토양 다섯 표면에서의 열과 수분 교환 과정이 표현됨
- 입력변수로 지붕, 협곡, 도로, 식생 지역, 나무, 초화류의 면적률, 빌딩 높이, 식생 높이, h/w, 거칠기(도시, 지붕, 도로), 알베도(지붕, 벽, 도로, 나무, 초화류), 방사율(지붕, 벽, 도로, 토양, 나무, 초화류), 열전도율(지붕, 벽, 도로), 열용량(지붕, 벽, 도로), 최대 수분 함유량(지붕, 도로)이 사용됨
- Surface Energy Balance System(SEBS): 원격탐사를 이용하여 대기의 플럭스를 예측하는 모델임(Su, 2002). 순복사에너지=현열+잠열+지중열 식(SEB 식)을 기초로 만들어짐
- 알베도, 방사율, 온도, 식재 피복 등의 물리적 매개변수를 정의하는 도구임. 입력변수로 지표면 온도, 지표면 알베도, NDVI, PBL 깊이, PBL 압력, PBL 잠재 온도, PBL 습도, PBL 풍속, 지표면 압, 장파복사량, 지표면의 단파복사량 값을 사용함
- 순복사 에너지 플럭스, 현열 플럭스, 잠열 플럭스, 지중열 플럭스 값을 도출할 수 있으며 측정값과 비교하여 모델을 검증함

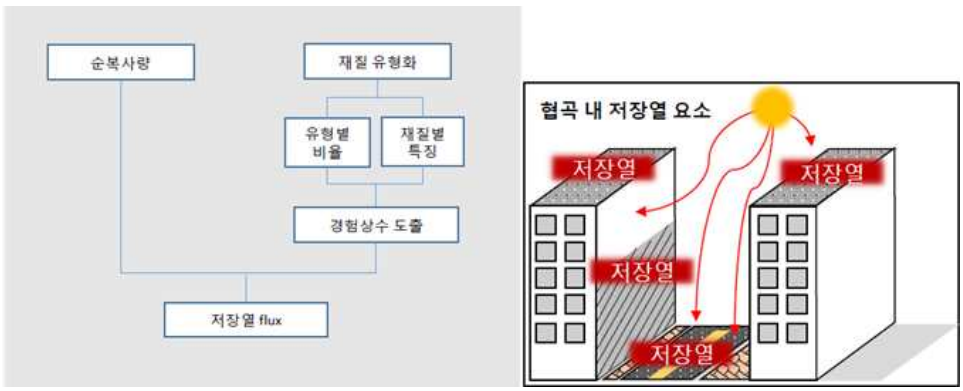
• 열 수지 산정식 후보 선정

- 자료 취득의 용이성, 도시특성의 반영, 계산의 신속성, 수식의 타당성, 결과의 실효성 5가지 기준으로 산정식 후보를 선정함
- 선정된 후모 산정식으로 실증 모형에 Penman-Monteith Method(Holstag, 1983), Storage Heat Flux Model(Grimmond, 2002), 장파 복사 에너지 모형(Offerle, 2003), 순복사열 모형(Lordan, 2011)과 수치 모형의 Single LAyer Model (Masson 2000)가 선정 되었음
- Penman-Monteith Method Model(Holtslag, 1983): Penman-Monteith 방법을 통해 현열량과 잠열량을 산정할 수 있으며, 해당 방법론은 다른 실증적 산정식의 가장 기초가 되는 방법론으로 산정된 순복사량을 각종 피복 및 구성요소들의 특성을 반영하여 현열량과 잠열량으로 분리함. 입력자료와 계산절차가 간결하여 모니터링 시스템을 구축하기 위해 기초 틀을 잡기위한 모델로 적합함



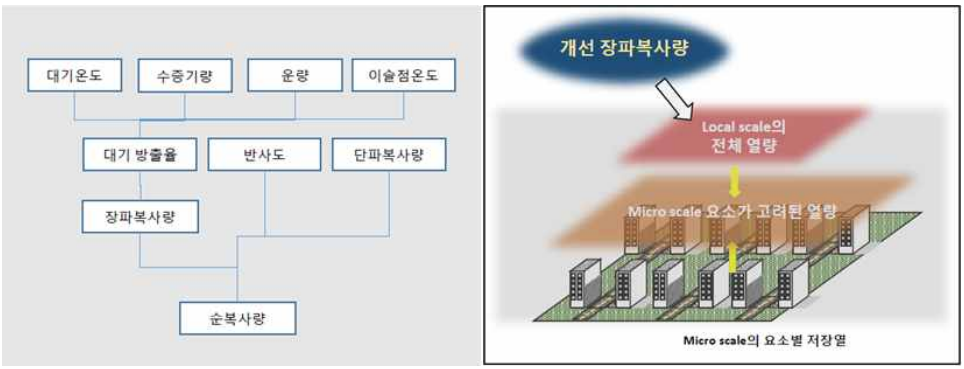
▌그림 2-29 ▌ Penman-Monteith Method의 산정식 구성 및 도식

- Storage Heat Flux Model(Grimmond, 1999): 도시 내 다양한 구성요소(건물, 도로, 수면, 나지, 녹지 등)들은 대기로부터 받은 에너지를 반사, 방출하기도 하나 많은 양을 저장하게 되며 저장열은 도시 내 열환경에 대한 산정에 있어 필수적으로 고려해야 할 요소임. 본 모델은 Objective Hysteresis Model(OHM)의 이력모형을 활용하여 순복사량과 순복사량의 시간에 따른 변화량, 토지피복 분류를 활용하여 저장열량을 산정할 수 있음



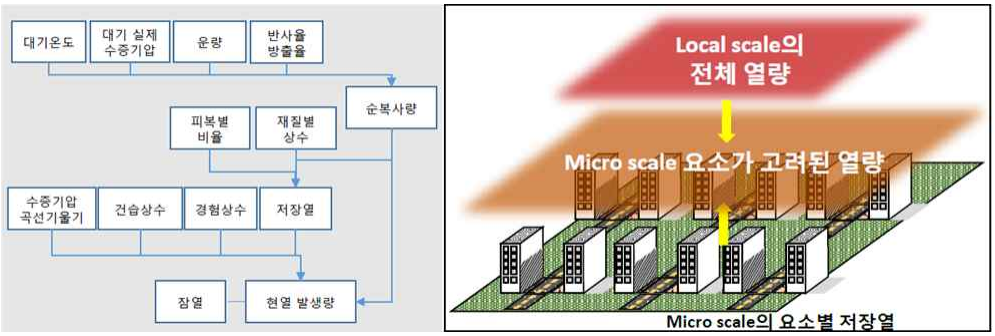
▌그림 2-30▌ Storage Heat Flux Model의 산정식 구성 및 도식

- Longwave Radiation Model(Offerle, 2003): 장파복사량은 단파복사량과 함께 순복사량을 구성하는 요소로, 기존의 실증 산정식들에서 대기온도값을 활용하여 매우 단순한 형태로 산정되었으며 이는 도시 내 에너지산정에 있어 오차를 발생시키는 요소로 작용할 수 있음. NARP(Net All-Wave Radiation Parameterization model)는 2003년 Offerle에 의해 제안된 단파, 장파복사량 산정식으로 100m - 10,000m의 산정 단위에서 세밀한 계산부분(태양고도에 따라 같은 표면에서의 알베도변화을 등)을 생략하였음에도 불구하고 구름에 의한 영향과 반사율에 대한 부분을 가장 잘 반영하여 단파, 장파복사량을 산정함



▌그림 2-31▐ Longwave Radiation Model의 산정식 구성 및 도식

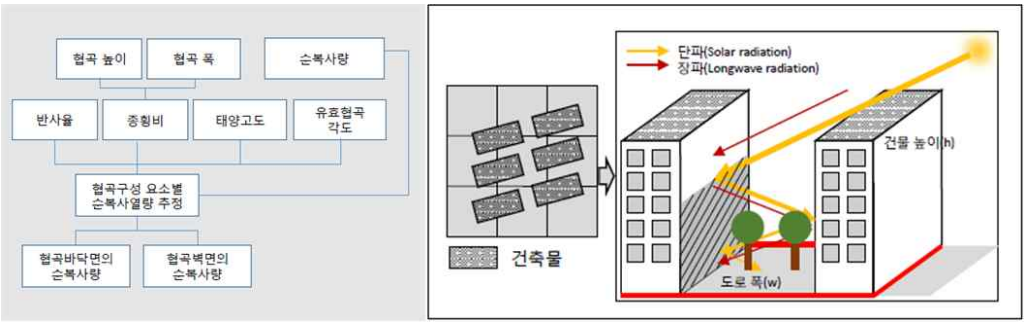
- LUMPS(Local-Scale Urban Meteorological Parameterization Scheme)는 2002년 영국에서 개발된 산정식으로, 기존의 실증적 산정식의 체계를 발전시켜 현열과 잠열을 산정함(Loridan 2011). 열수지 구성 요소 중 저장열에 대한 부분을 기존 순복사량 산정식에 통합하여 하나의 체계로 만든 산정식으로, 열수지 요소 중 도심지에서 큰 비율을 차지하는 저장열 부분이 반영되어 최종 결과물이 되는 현열/잠열 산정에 더 정확도를 높임. 기상과 관련된 DB와 토지피복 DB를 통해 구축되며, 단위면적에 대한 열량을 산정하며 이는 단파복사량, 장파복사량, 순복사량, 저장열량, 현열량, 잠열량이 모두 산정됨



▌그림 2-32▐ Net Radiation Model의 산정식 구성 및 도식

- Single Layer Model (협곡구조 복사열 전달): 실증적 산정식의 한계점인 3차원적 도시 협곡구조를 반영하지 못한다는 점을 보완하기 위해 선택한 수치산정식은 TEB(Town Energy Balance)로, 해당 산정식은 단일층 수치산정식임. 실제 계산과정이 보존방정식에 기반한 미분방정식으로 구성되어 있어 그 계산과정이 복잡하고, 입력자료가 방대하나 본 산정식에서 협곡구조를 가정하고 산정하는 수식은 명료함
- 본 산정식에서 도시 협곡구조에 의한 차폐현상을 산정하는데 있어 협곡을 벽/바닥 두 표면으로 분리하며, 분리된 표면에 대한 입사량(단파복사)은 협곡의 높이(건축물의 높이)와 협곡의 폭(도로의 너비)를 활용한 종횡비(H/W Ratio)

를 활용하여 산정함



▌그림 2-33▐ Single Layer Model의 산정식 구성 및 도식

• 지역규모 열수지 산정식 프로토타입 개발

- 지역규모 열수지 산정기술은 도시공간 내의 열수지(Heat Balance) 구성 요소인 순복사열(Net Radiation, Q_n), 저장열(Storage Heat, ΔQ_s), 잠열(Latent Heat, Q_e), 현열(Sensible Heat, Q_h)의 산정을 수행함
- 이에 본 연구의 목적인 서울시 규모에 대한 열수지 현황 모니터링을 위해 실증모형을 구축하였으며, 이는 6개의 열수지 세부모듈과 1개의 그림자 모듈로 구성됨
- 연구에 활용된 6개 열수지 세부모듈의 경우 순차적인 계산을 통해 각 모형의 입력변수-출력결과가 유기적으로 연계되는 모형이며, 매 시간별 열수지를 산정하는데 있어 총 4단계에 걸친 연산을 수행함

▌표 2-16▐ 열수지 산정기술의 세부 모듈 구분

세부모듈명	내용
단파복사 모형	• 태양에 의한 복사량을 의미 • 직달복사량(Direct Solar Radiation), 산란복사량(Diffuse Solar Radiation) • 태양고도, 태양방위각, 운량 등의 입력자료 필요
장파복사 모형	• 대기 및 도시공간 구성요소의 표면온도에 의해 발생하게 되는 복사량 의미 • 대기온도와 표면온도, 방출율, 운량, 습도 등의 입력자료 필요
순복사 모형	• 단파복사와 장파복사의 인입(Incoming), 유출(Outgoing) 과정이 모두 진행 된 후, 공간 내에 남아있는 복사량을 의미함 • 반사율(Albedo), 인입/방출 단파, 장파복사량이 입력자료 필요
저장열 모형	• 도시공간 내 요소들이 복사를 받았을 때 얼마만큼 열량이 저장되는지를 의미함 • 수식 구성 중 변화량에 대한 고려로 인해 저장량의 방출 또한 산정이 가능함 • 순복사량과, 각 구성요소의 재질에 대한 상수가 입력자료로 필요
현열 모형	• 공간 내 순복사량에서 저장열을 제외한 열량 중 온도를 올리는 열량을 의미 • 기온 상승과 직접적 연관 • 공간 내의 습도, 온도, 구성요소 등에 의해 결정되며 순복사량과 저장열량이 입력자료 필요
잠열 모형	• 공간 내 순복사량에서 저장열을 제외한 열량 중 상태변화에 쓰이는 열량을 의미 • 공간 내의 습도, 온도, 구성요소 등에 의해 결정되며 순복사량과 저장열량이 입력자료 필요
그림자 모형	• 도시공간의 협곡구조와 태양에 의한 그림자를 산정

- 1단계 단파복사/장파복사/그림자 산정: 산정되는 단파/장파복사의 경우, 도시 협곡구조 상부에 인입되는 값으로, 도시공간 내 보행자수준으로 유입되는 과정에 대한 산정은 포함되지 않은 결과값을 의미함. 그림자의 경우, 도시구조와 태양의 이동으로 인해 시간에 따라 시시각각 변화하는 도시공간의 그림자를 산정하게 됨
- 2단계 순복사 산정: 순복사량을 산정하는데 있어 1단계에서 산정한 3가지(단파복사, 장파복사, 그림자)가 입력자료로 활용됨. 순복사량을 산정할 때 입사단파복사(Incoming Solar Radiation), 입사장파복사(Incoming Longwave Radiation), 방출단파복사(Outgoing Solar Radiation), 방출장파복사(Outgoing Longwave Radiation)를 각각 산정하며, 이 과정에서 도시공간의 입체적 구조와 피복에 대한 반영이 고려되며 이를 위해 천공률(Sky View Factor), 토지피복별 반사율(Albedo), 그림자 모듈 산정 결과가 활용됨
- 3단계 저장열 산정: 2단계 결과물인 순복사량을 입력자료로 활용하며, Grimmond(1991)의 Objective Hysteresis Model(OHM)을 기반으로 산정을 수행함. 저장열의 경우 100m 격자를 구성하고 있는 도시공간요소별 저장열을 각각 산정하게 되며, 3가지 요인의 가법모형(Additive Model)으로 구성되어 있음. 3가지 요인은 각각 순복사량, 순복사량의 변화량, 구성요소 물성에 따른 상수이며, 요인별 가법모형의 가중치의 경우 기존 선행연구들을 참고하여 활용함
- 4단계 현/잠열 산정: 공간 내 인입/유출된 단파, 장파복사량을 산정한 후 남은

열량인 순복사량 중 도시공간의 요소별 저장되는 저장열량까지 제외하게 되면 해당 공간에 남은 열량은 잠열요소(수목, 수공간)의 유무에 따라 현열과 잠열로 분리됨. 이때 현/잠열의 분리는 Penman-Monteith Approach를 활용하여 분리를 수행함. 산정 결과는 100m 수준에서 도시공간을 대상으로 한 대푯값으로의 현/잠열이 산정됨

• 지역규모 열수지 산정식 입력변수 DB

- 지역규모 열수지를 산정하기 위해 필요한 입력변수의 경우, 계절변수(Seasonal Variable), 태양변수(Solar Variable), 공간변수(Spatial Variable), 기상변수(Weather Variable)의 4개가 필요하며, 서울시 2015년을 연구의 대상지역 및 시기로 설정한 후 DB를 구축함. 구축된 DB는 다음 표와 같음
- 지역규모 열수지 산정식을 계산하기 위한 벡터 DB도 함께 구축함. 건물 지붕, 벽면, 도로에 대한 알베도, 열전도도, 열용량, 방출율, 잠열 상수 및 저장열 상수에 해당함

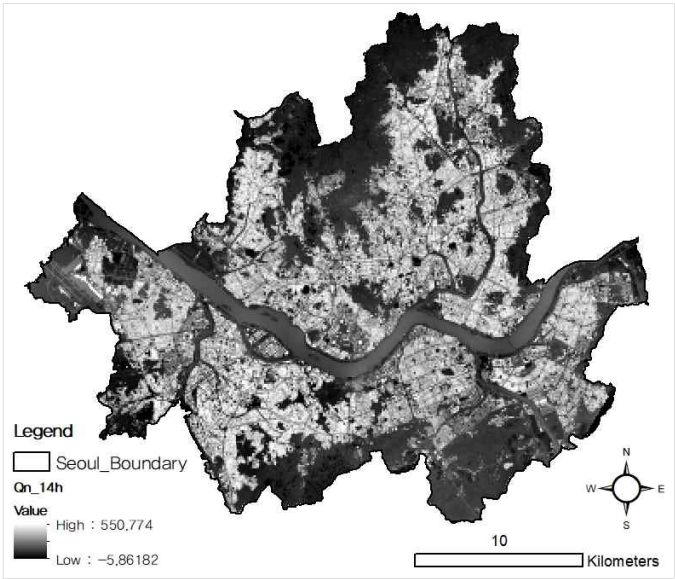
▌표 2-17 ▌ 열수지 산정 시 입력변수

변수항목		내용
계절변수	연중일수 Julian Date	• 매년 1월 1일을 기준으로 한 누적일수
	시간 Hour	• 하루 중 24시간 기준의 시간
태양변수	태양고도 (Solar Elevation)	• 태양이 지구평면과 이루는 각도
	태양천정각 (Solar Zenith Angle)	• 태양이 지구평면의 법선과 이루는 각도
	태양방위각 (Solar Azimuth Angle)	• 태양을 지표면에 투사하였을 때 북쪽과 이루는 각도
공간변수	토지피복 (Land Cover)	• 건물, 도로, 불투수표면, 녹지, 수면의 5개 토지피복
	건축물 좌표 (Building Coordinate)	• 건축물의 평면(x-y) 위치 정보
	건축물 높이 (Building Height)	• 건축물의 높이(z) 정보
	천공률 (Sky View Factor)	• 공간의 상부 중 하늘이 보이는 비율
기상변수	대기온도 (Air Temperature)	• 대기중의 온도(섭씨)
	상대습도 (Relative Humidity)	• 대기중의 상대습도
	대기압 (Air Pressure)	• 대기중의 대기압
	운량 (Cloud Fraction)	• 대기중의 구름 비율로 0-1사이 값

❑ 지역규모 열수지 산정식 보완

• 지역규모 열수지 모듈별 산정식

- 단파복사 모형(Solar Radiation/Shortwave Radiation Model)은 Ilen(1998)의 단파복사모형을 활용하여 대기권 내 단파복사량(R0)를 산정하며, 이후 구름으로 인하여 감소된 전천일사량(I_G)과 직산분리(Direct/Diffuse Radiation partitioning)의 경우, Kasten and Czeplak의 Cloud Radiation Model(CRM)을 활용함
- 장파복사 모형(Longwave Radiation Model)은 입사/방출 장파복사 모형을 Offerle(2003)의 NARP 모형을 활용하였음
- 순복사량을 산정하는데 있어 도시 협곡구조의 복사량 차단을 고려하기 위해 시간에 따라 태양의 움직임을 반영한 도심의 그림자 모형을 구축함
- 순복사 모형은 앞서 산정한 단파복사, 장파복사, 그리자 모형의 결과값을 활용하여 도시공간 내 유입 및 방출 기작 후 남아있는 열량을 산정함



▌그림 2-34▐ 순복사 모형 시뮬레이션 결과
(서울시, ϕ=100m, 2015-Aug-22-14:00)

• 단파복사 모형 검증

- 단파복사 모형의 검증을 위해 사용한 자료는 2016년 서울(108)의 AWS 기상자료 중 일사량에 대한 값을 활용하였음
- 2016년의 365일에 대한 관측값과 모형 산정값의 검증 결과, 기상조건과 관계없이 적절한 성능을 나타냈으며, 이에 대한 설명력(R^2)과 평균제곱근오차는 아래 표와 같이 나타났음

▌표 2-18▐ 단파복사 모형 검증 결과표

모형	설명력	RMSE
단파복사 모형	0.93	85.40W/m^2

- 높은 모형 설명력을 통해 관측값과 모형값의 추세는 유사한 수준으로 나타났음을 알 수 있음

• 장파복사 모형 검증

- 장파복사 모형의 검증을 위해 사용한 자료는 순복사계를 통해 실제 측정한 자료를 활용하였으며, 이때 KIPP & ZONEN의 CNR4(KIPP & ZONEN, 2014)를 이용하여 관측을 수행하였음
- 검증 결과, 입사장파복사모형의 경우, 구름에 의한 영향에 따라 크게 좌우되는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 실측 운량이 아닌 습도를 활용한 운량 산정으로 인한 결과값의 오차항인 것을 확인하였음. 지역에 따라 그 분포가 매우 다양하게 발생하는 구름의 특성상, 해당 부분에 대한 결과값은 보정될 필요가 있음
- 방출장파복사의 경우, 순단파복사량의 10%를 활용하여 본 연구에서는 보정을 수행하였으며 그 결과 추세와 오차항 모두 준수한 수준으로 나타났으며 두 모형에 대한 정보는 아래 표와 같이 나타남

▌표 2-19▐ 장파복사 모형 검증 결과표

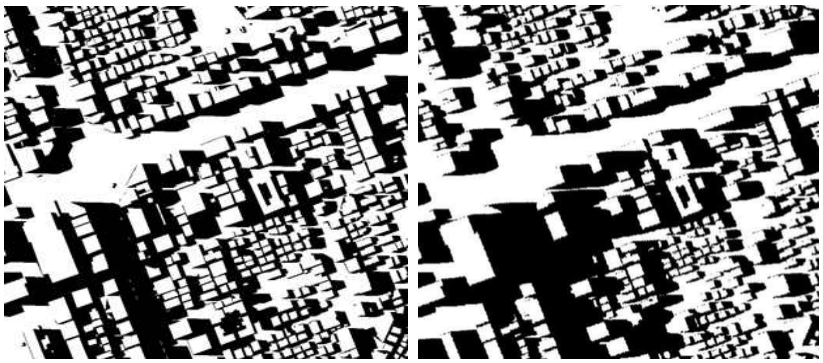
모형	설명력	RMSE
입사장파복사 모형	0.20	25.33W/m^2
방출장파복사 모형	0.86	15.07W/m^2

❑ 지역규모 열수지 산정식 고도화

• 알베도 및 건축물 그림자 산정 보완

- 기존의 알베도 산정 방법에서는 넓은 범위를 차지하는 하나의 토지피복에 단일 알베도를 적용하여 한계가 있었음. 이를 Landsat영상을 이용한 선행 연구들을 토대로 30m, 100m 단위의 Landsat8 알베도 자료를 제작함. 이로 인해 토지피복에 따른 알베도가 지역 규모 모델에 더욱 잘 반영될 수 있음

• 건물 간의 높이차를 고려하지 않았던 프로토타입 산정식의 그림자 산정과 달리, 보완된 산정식에서는 건물 높이차를 반영하여 그림자를 산정함

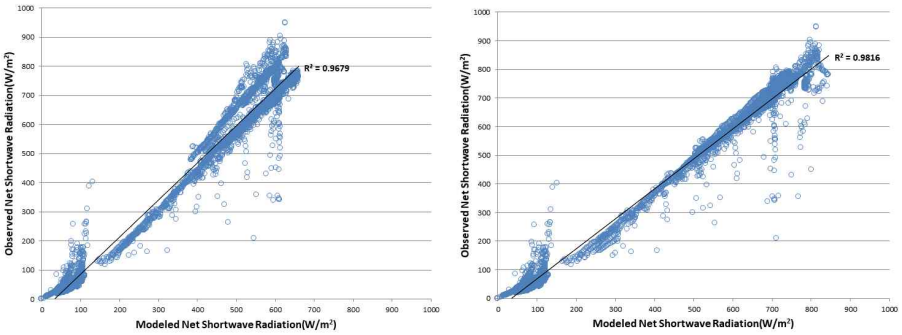


▌그림 2-35▐ 6월 1일 오후 4시 강남역 인근 그림자 산정 결과
프로토타입(좌), 보완 (우)

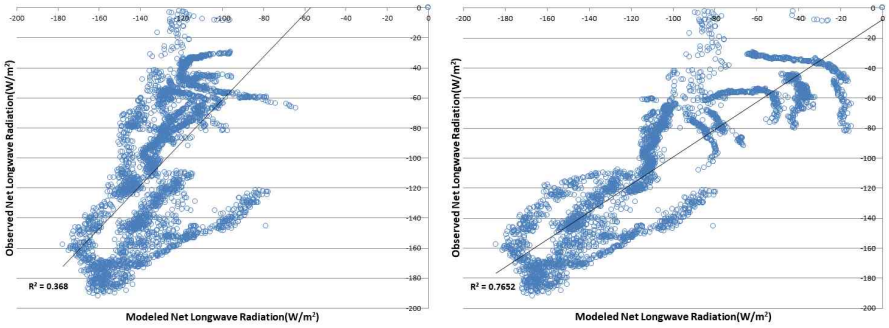
• 건물에서 들어오는 장파 반영
- 기존 NARP 모형에서 입사 단파를 방출 장파로 전환하는 과정에선 지표면을 대상으로 하였는데 본 장파모형에선 지표면이 아닌 건물 벽면에서 방출되는 장파를 산정할 필요가 있었기 때문에 지표와 건물 벽면의 차이를 고려해 흡수한 단파의 양을 다르게 산정하였음
- 이후 순복사량은 위 두식의 합산을 의미하며, 본 방법론을 통해 산정한 순복사량은 보행자수준에서 2m 격자단위 해상도로 산정이 가능함(ϕ=2m, z=1.5m)

• 잠열 및 저장열 상수 고도화
- 피복별로 다른 상수를 이용하여, 녹지나 수공간의 피복 차이에 따른 증발량 차이를 계산할 수 있도록 고도화함
- 피복별 현열 값의 민감도 분석을 실시하여 피복별 현열 차이를 잘 나타낼 수 있도록 고도화함

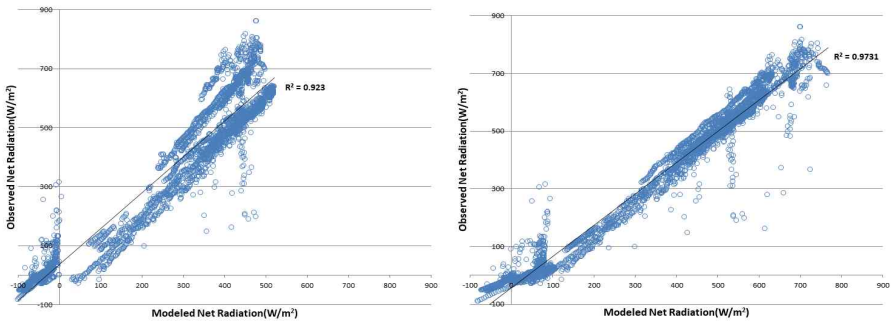
• 보완된 산정식 실증 결과
- Kipp&Zonen CNR4순복사계와 Testo 175 H1 온습도계를 사용하여 측정하였고, SVF는 어안렌즈 촬영 후 Solweig 프로그램을 이용하여 구함
- 측정은 다양한 도시형태에서의 지역규모 산정식 검증을 위해 수변공간을 포함하지 않는 공원, 수변공간을 포함하는 공원, 저밀 상업지역, 고밀 상업지역, 저밀 주거지역, 고밀 주거지역으로 구분하였고 건물 옥상의 검증을 위해 서울대학교 농업생명과학대학 옥상에서 진행하였음
- 단파복사 모형 검증 결과 R^2이 0.96에서 0.98로 증가하였으며, 장파복사 모형 검증 결과 R^2이 0.37에서 0.77로 상승하였으며, 순복사 모형 검증 결과 R^2이 0.92에서 0.97로 상승함



▌그림 2-36▐ 모든 대상지 $S_{네트}$의 수정 전(좌), 후(우) 비교



▌그림 2-37▐ 모든 대상지 $L_{네트}$의 수정 전(좌), 후(우) 비교)



▌그림 2-38▐ 모든 대상지 $Q_{네트}$의 수정 전(좌), 후(우) 비교우)

2) 미시규모 도시공간 열수지 산정기술 및 실증

❑ 미시규모 열수지 산정식 개발

- 미시규모 열수지 산정식 선행연구 고찰

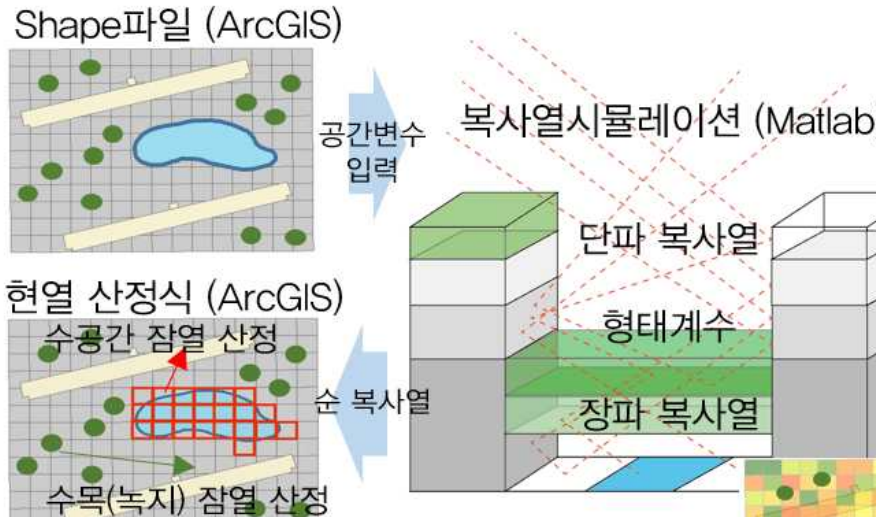
- 미시규모 열수지 산정식은 수치모델을 위주로 고찰함. 선행연구 결과 MRMT (Krayenhoff et al., 2007)와 Dalton 의 증발 모델이 본 연구에서 가장 적합하다고 판단함
- Multi-layer Radiation Model with Trees (MRMT): 본 모델은 Krayenhoff et al. (2014)에서 개발된 것으로, 아래 그림처럼 도시 공간을 수직적으로 여러개

의 층으로 나눠서 도시가 갖는 수직적 구조를 반영한 복사열 산정식임. 추가적으로 빌딩 열(Building Column)과 수목 열(Canopy Column)으로 나누어 도시의 수목이 갖는 복사열 교환 메커니즘을 추가함

- Dalton's Mass Transfer Equation: 증발은 수표면 물 분자의 질량이동에 의해 나타나는 현상으로, Dalton (1802)이 증발에 가장 큰 영향을 미치는 요소가 풍속과 수표면-대기의 수증기압 차이임을 밝혀내면서 질량이동 방정식을 성립함

• 미시규모 열수지 산정식 프로토타입 개발

- 미시규모 도시공간 열수지 산정기술이란, 개별 도시 공간 변수를 이용하여 보다 높은 해상도를 가진 현열을 도출하는 산정기술임. 여기서 미시규모는 10m 정도의 해상도를 의미함
- 본 산정식의 체계는 크게 복사열 산정과 잠열 산정으로 이루어짐. 위의 그림처럼 Shape File을 이용해 구축된 공간변수를 이용해서 복사열을 산정한 후, 산정된 값을 이용해 수공간과 수목에서의 잠열 값을 계산함

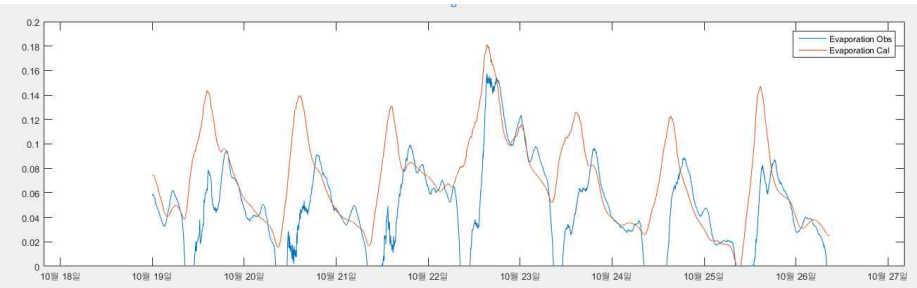


▌그림 2-39▐ 미시규모 도시공간 열수지 산정기술 체계

- 공간변수, 복사열(단파복사, 장파복사, 순 복사), 잠열(수공간, 수목) 모듈로 이루어져 최종적으로 현열을 계산하는 산정식임. 공간변수 도출 → 단파복사 도출 → 장파복사 도출 → 순 복사 도출 → 수공간 잠열 도출 → 수목 잠열 도출 → 현열 도출 순서로 이루어짐
- 공간변수 모듈: 필요한 공간변수는 복사열모듈에 사용되는 건물/ 수목 열(column)길이, 건축 밀도, 지붕 밀도, 수목 밀도, 도로 폭 임. 구축한 DB 중 건물자료(shp), 토지피복도(shp), 수목 자료(shp)을 이용하여 위의 변수를 구축함
- 순복사 모듈: 필요한 변수는 공간변수 모듈 결과(건물 열 길이, 층별 건물 밀도, 층별 지붕 밀도, 도로 폭, 층별 수목 밀도)와 기상자료(대기온도, 이슬점온

도), 위치정보(위, 경도), 시간(date, time)임. 분석이 되는 도메인은 아래 그림과 같음. 수목이 없을 경우, 건축물고(m) 보행로, 차로로 이루어진 공간에서 순복사 교환이 시뮬레이션 되며, 수목이 있을 경우, 비-건축물 열(=수목 열)에서 수목이 포함된 상태에서 시뮬레이션이 수행됨

- 형태계수(View Factor) 모듈: 산란복사열을 구할 때 하늘에서 임의의 무수한 광선이 내려오게 하여 각각의 도시공간에 흡수하는 양을 구하는 것처럼, 어떠한 표면에서 나온 광선이 다른 표면으로 얼마나 입사되는지 그 비율을 형태계수라고 함. 본 산정식에서 형태계수를 구하는 방법은 가장 큰 차별성 중 하나임. Monte Carlo Ray Tracing 기술을 활용하였으며, 자세한 내은 Park et al., (2018)에 출판되어 있음
- 수공간 잠열 모듈: 수공간 잠열 산정식은 실측데이터를 이용한 선형회귀분석을 통해 구하였음. 수공간 증발량 실측은 서울대학교 내에 위치한 면적 약 950㎡인 연못에서 수행되었으며, 사용된 실측장비는 Class A 규격 대형증발팬, 부력식 증발기록기(BYL-EV250), 순복사계(CNR4), 미기상측정기구(DAVIS Weather Station Vantange Pro2), 수온측정기(HOBO Water Temp Pro v2)를 이용함
- 증발량과 풍속, 수증기압차이를 무차원으로 그려낸 그래프는 아래와 같음. 증발량과 풍속, 수증기압 차이는 유사한 패턴으로 진행하고 있음을 관찰할 수 있었음
- 2017년 10월 12일부터 17일까지 관측된 증발량은 오후 3시경 일최대증발량(약 0.15mm)을 보이며, 오전 9시 경에는 증발팬에 응결이 생겨 일최소 증발량(약 -0.1mm)을 보이는 일정한 패턴이 관측되었음. 풍속은 1시간 이동평균값으로, 0 - 1m/s 로 분포되어 있었으며, 0부터 0.1m/s 단위로 구분하고, 각 풍속 구간별로, 절편을 0으로 고정시킨 후, 증발량과 수증기압 차 사이의 선형회귀 분석을 실시하여, 각 구간별 기울기를 구하였음



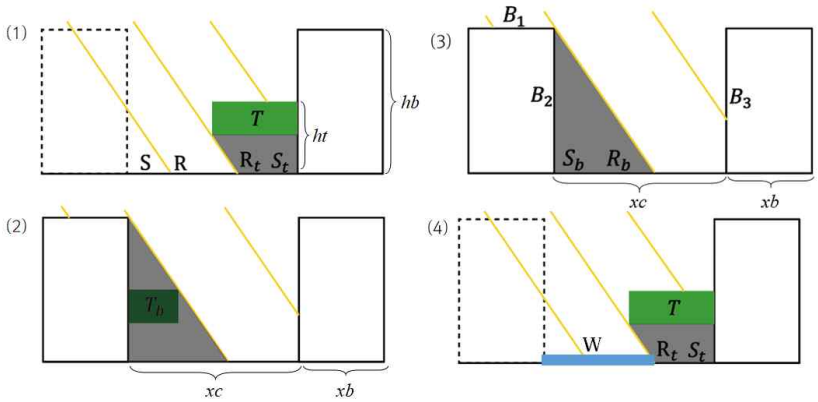
▌그림 2-40▐ 실측값과 모델값 비교

- 수목(녹지) 잠열 모듈: 수목 잠열을 산정하기 위해 필요한 변수는 수목이 받는 복사열, 수목의 높이, 기상자료(대기온도, 상대습도)임. 수목 잠열 모듈은 수목의 높이에 따라 초지, 관목, 교목 산정식으로 나뉘어 있음. 기준식생에 대한 산정식인 FAO-56 model 중 기준식생 높이 0.12m의 경우에는 초지로, 높

이 1m의 경우에는 관목으로 정하였으며, 각각의 경우에 다른 상수 C_n과 C_d를 적용하여 계산함

❑ 미시규모 열수지 산정식 보완

- 다양한 협곡구조를 고려
  - 하나의 도시 협곡 구조에서 복사열을 계산했던 프로토타입 산정식과 달리 고도화된 산정식에서는 4개의 도시 협곡 구조를 만들어 더욱 다양한 도시피복의 순 복사열을 계산함
  - 복사열 도메인을 4가지 도메인으로 변경하여 좀 더 미시적이고 지역적인 도시 공간의 순복사열을 계산할 수 있도록 함. 이로 인해 수목과 건물의 그림자가 미시적 모델 내에서 더욱 잘 반영될 수 있음



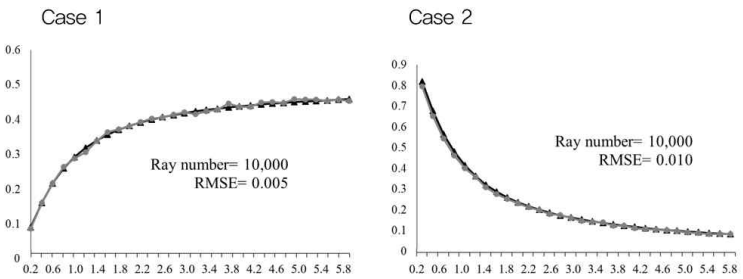
▌그림 2-41 ▌4차년도에 개발한 미시규모 복사열 산정기술 도메인

  - T는 수목, B는 건물의 한쪽 면, W는 수공간, S와 R은 각기 다른 특성을 지면, xc는 건물 사이의 폭, xb는 건물의 너비, 아래 첨자 t는 수목으로 인한 그림자, 아래 첨자 b는 건물로 인한 그림자를 뜻함

- 수목 그림자 산정
  - 수목의 그림자는 태양의 천정각과 방위각, 수목의 위치 등의 변수를 활용하여 계산함. 위 방법은 박채연(2018)으로 출판되었음

- 고도화된 산정식 검증 결과
  - 고도화된 산정식에 대해서는 복사열에 대해서 형태계수, 표면온도, 피복의 순복사열 검증을 실시함
  - 형태계수 검증: Monte Carlo Ray Tracing 방법으로 코딩되서 도출된 결과와 기존 수학적 방법으로 계산할 수 있는 값을 비교함. Monte Carlo Ray Tracing은 복잡한 형태에서 뷰 팩터를 계산할 수 있지만, 기존의 방법과 비교하기 위하여 단순한 두 가지 경우(1. 직교하는 선, 2. 평행하는 선)에 대해서

비교함. 검증결과, 광선의 수를 10,000개로 하였을 때 R^2은 0.99를 만족하였으며 RMSE는 0.01이하를 만족함. 시간적 비용과 정확도를 비교하였을 때 Monte Carlo Ray Tracing을 실행할 때 광선의 수를 10,000개로 하는 것으로 설정함



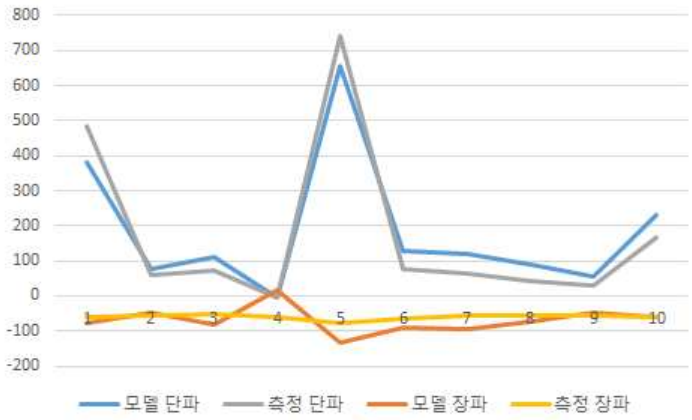
▌그림 2-42▐ 뷰 팩터 검증결과
(출처: Park et al. 2018)

- 표면온도 검증: 열전대를 이용하여 측정한 표면온도와 산정식 결과를 비교함. 표면온도를 구하는 열전대는 Qin (2017)의 논문을 참고하여 제작하였으며 일본 전문가(Takashi Asawa, Akinobu Murakami)의 자문을 받아 완성함. 열전대는 T-type 열전대를 활용하였으며 Hobo 로거와 연결되도록 제작함. 또한 바닥 재질의 온도를 잘 받아드릴 수 있도록 주변을 구리판으로 제작함. 검증결과 R^2이 0.88로 비교적 높은 정확도를 갖는다는 것을 밝힘
- 순복사열 검증: 마지막으로 측정된 실제 도시피복의 순복사열과 모델결과를 비교함으로써 계산 산정식의 신뢰도를 검증하였음. 4곳(대학동, 상도동, 신림동, 몽마르뜨 공원)의 측정 데이터를 사용함: 대학동 (DOY 152), 상도동 (DOY 124), 신림동 (DOY 151), 몽마르뜨 공원 (DOY 172). 대학동은 저층주거지역을, 상도동은 녹지가 포함된 고층 주거지역을, 신림동은 상업지역, 몽마르뜨 공원은 공원녹지지역을 반영하고 있음
- 상도동을 대상으로 시간별 단파, 장파를 비교 분석한 결과 단파복사열이 다소 과소 추정되는 경향이 있으나 14시부터 거의 같은 값을 모의하는 것을 볼 수 있음



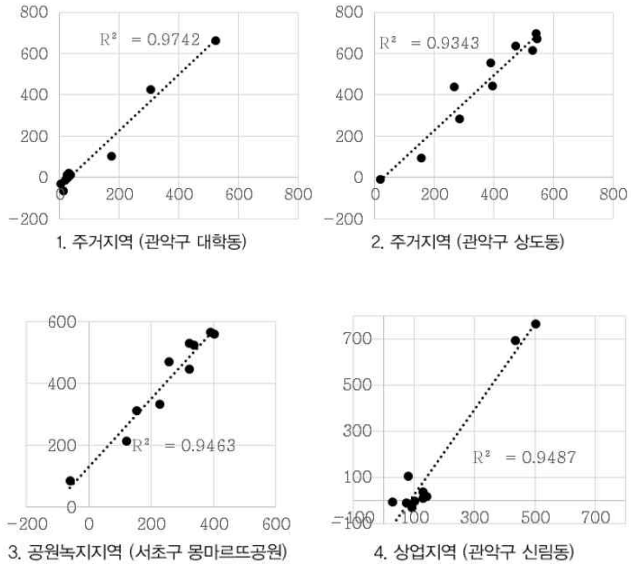
▌그림 2-43▐ 상도동 측정 복사열(단파/장파)와 모델 결과 (단파/장파) 비교 결과 (X축: 시간, Y축: 복사열 W/m²)

- 대학동을 대상으로 시간별 단파, 장파를 비교 분석한 결과 단파복사열은 거의 유사하게 모의하는데 반해 특정 시간대의 장파복사열이 다소 차이가 있는 것을 확인함
- 실제로 장파 복사열은 시간이 지남에 따라 크게 변동이 없고 그 전시간대와 유사하게 관측되는 것으로 나타났음. 그러나 모델은 전 시간대의 순 복사열과 표면온도를 이용해서 모의한다 하더라도 실제의 프로세스를 반영하는데 한계가 있음. 그럼에도 정확도는 매우 높은 것으로 나타남



▌그림 2-44▐ 대학동 측정 복사열(단파/장파)와 모델 결과 (단파/장파) 비교 결과 (X축: 시간, Y축: 복사열 W/㎡)

- 최종적으로 4곳의 순 복사열을 모두 비교한 결과 R^2값이 0.9인 것을 확인함. 각 대상지의 순복사열 비교 결과는 R^2이 0.97(대학동), 0.93(상도동), 0.95(몽마르뜨), 0.95(신림동)으로 나타남

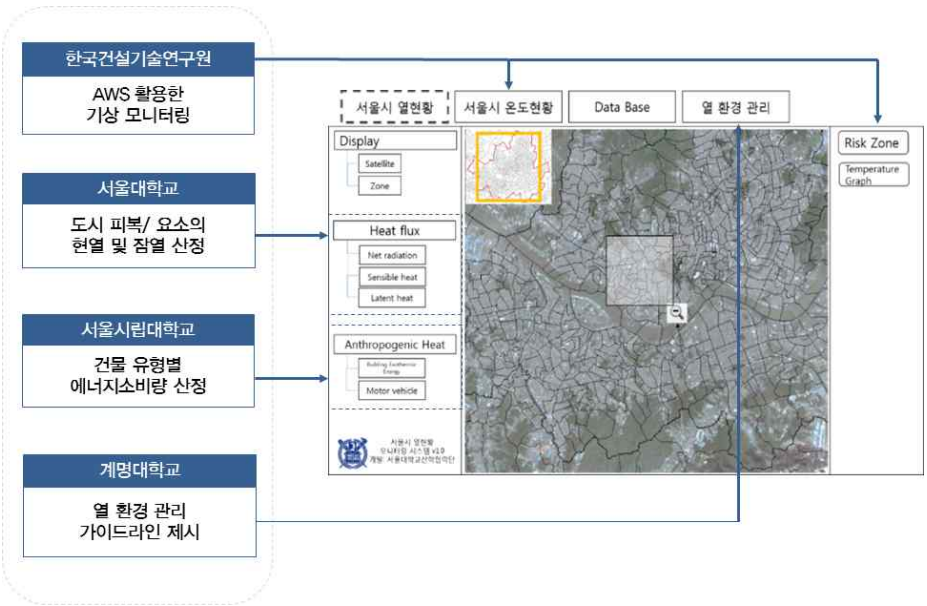


▌그림 2-45▐ 대상지 4곳 각각의 순복사열 검증 결과

3) 열환경 모니터링시스템에 반영

❑ 열환경 모니터링시스템 적용 방안

- 모니터링기술의 정의
  - 열현황 모니터링시스템은 대기온도 보정기술, 열수지 산정기술 등을 기반으로 하여, 도시공간 규모별 기온, 열발생·저감 요소에 따른 열수지, 에너지 세부모듈이 통합된, 열환경을 지속적으로 모니터링하는 시스템을 의미함
- 도시 열발생 · 저감 모니터링시스템 연계방안



▌그림 2-46▐ 도시 열발생 · 저감 모니터링시스템 연계방안 구상안

- 한국건설기술연구원의 AWS 기상 모니터링을 통해 수집한 데이터를 통해, 개발된 대기온도 보정 산정식을 시스템에 적용하여 서울시 온도현황 지도를 표출함
- 서울대학교의 도시 열발생·저감 요소를 반영한 열수지 산정식을 시스템에 적용하여 서울시 열현황 지도를 표출함
- 서울시립대학교는 인공열 부분의 건물단위 에너지 현황과 도로별 교통에너지 현황 지도를 시스템 상에 표출함
- 계명대학교는 각 요소별 열환경 지도를 기반으로 열환경을 관리하기 위한 정책을 분석하여 가이드라인을 시스템 상에 제시함

❑ 열 환경 모니터링 시스템 개발

• 시스템 개발방향

- 열 현황 모니터링 시스템은 주소 검색, 날짜 검색이 가능하며 지정한 날짜 구간의 온도 변화와 열 변화 그래프를 제공함
- 시스템 구성은 오픈소스를 사용하여 확장성과 유지보수 효율성을 높였으며, 데이터베이스는 Postgres를 활용하며, GIS tool은 Post GiS와 GeoServer를 활용하여 구축함

• 시스템 데이터베이스 구성

- 프로토타입으로 구성되는 시스템의 데이터베이스는 2015년 6월부터 8월까지의 기상 및 열현황 자료를 사용함
- 구축된 자료는 100m×100m 국토지리정보원의 행정정보 격자체계를 기준으로 데이터를 생성함
- 온도데이터 작성시 2차년도 연구성과인 한국건설기술연구원 온도맵 생성방법을 활용하였으나, 해당 연구는 특정기간에 한정된 한계와 기상관측센서의 종류에 따른 기초정보 차이가 존재하여 보정방법을 정의하여 산출함

▎표 2-20 ▎구축된 DB 목록

순번	형태정보	table_name	내용
1	도형	GC6_100m_SVF	100m 격자기준 천공율
2	도형	gc6_aws_layer_100m	100m 기준격자
3	도형	gc6_g100_land	100m 토지피복정보
4	GRID	grid_hum	습도정보 그리드
5	GRID	grid_press	기압정보 그리드
6	GRID	grid_temp	온도정보 그리드
7	속성	tb_newhum	신규습도정보
8	속성	tb_newpress	신규기압정보
9	속성	tb_newtemp	신규온도정보
10	속성	tb_albedo_100m	100m 격자기준 알배도
11	속성	tb_albedo_s	알배도 기준값
12	속성	tb_aws_data_2015	AWS 2015년 측정값 정보
13	속성	tb_aws_dist_matrix	AWS 2015년 이격거리정보

순번	형태정보	table_name	내용
14	속성	tb_aws_missing_data	AWS 결측지역 정보
15	속성	tb_aws_spec	AWS 기기상세정보
16	속성	tb_cloud	운량수정정보
17	속성	tb_solarrad_||month||	일사량 공통정보
18	속성	tb_cloudsolar_||month||	운량포함 일사량 산정정보
19	속성	tb_longwave_||month||	장파복사
20	속성	tb_qnet_||month||	순복사량 정보
21	속성	tb_shadowvalue_||month||	그림자비율 정보
22	속성	tb_solarcons_||month||	태양상수 정보
23	속성	tb_qs_||month||	저장열량 정보
24	속성	tb_land_p	잠재요소비율
25	속성	tb_ys	현열잠열 추출상수 정보
26	속성	tb_qhqe_||month||	현열잠열 정보
27	속성	tb_viewtotal_||month||	통합관리정보 테이블
28	속성	tb_viewtotal_summary	통합통계정보 테이블
29	속성	tb_weather	통합기상정보 테이블
30	속성	user_info	사용자 정보

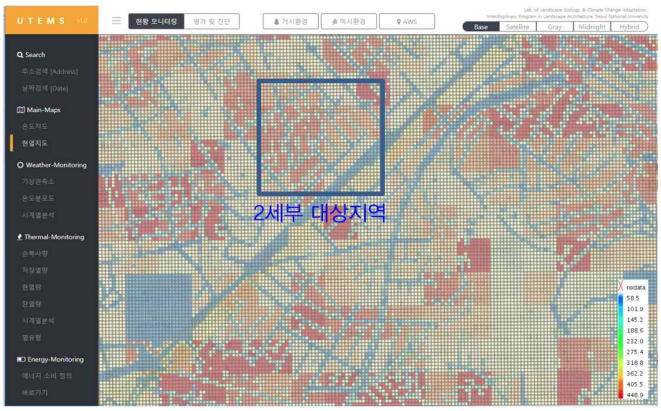
❑ 열 환경 모니터링 시스템 시범분석 및 시스템 개선

• 장위 4구역, 잠실 5단지 열 현황 구축을 위한 DB 추가(5차년도)

- 4차년도에는 서교동일대만을 대상으로 열 환경을 시스템에 표출하였으나 5차년도에는 장위 4구역과 잠실 5단지가 추가됨
- 장위 4구역은 600m×600m로 총 3600개의 격자를 가짐
- 잠실 5단지는 800m×700m로 총 5600개의 격자를 가짐
- 격자별로 GIS자료, 직달일사율, 형태계수(View Factor), 건물 및 수목 그림자, 토지피복분류(그림자 포함)에 대한 DB를 구축함

• 2015년 6월 7일 12시에 대해 파일럿 표출을 진행

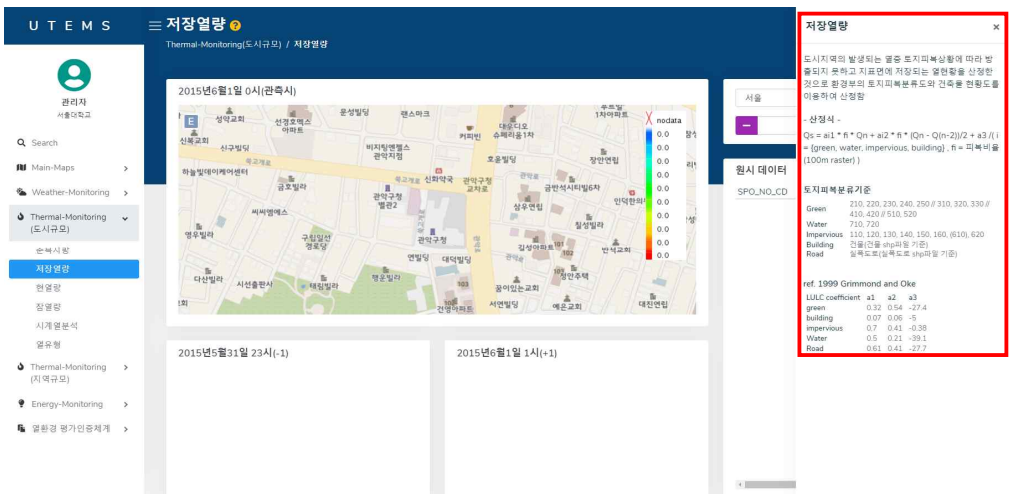
- 건설연의 1차년도 온도맵 결과물을 이용함. 6차년도에는 수정된 알고리즘을 적용하여 온도맵을 생성할 수 있음
- 결과물이 대기온도의 영향을 많이 받는 것을 알 수 있음
- 건물의 그림자 없는 공간의 열이 가장 높게 나타남



▌그림 2-47 ▌미시규모 열 현황 모니터링 시스템 파일럿 표출 결과

❑ 열 환경 모니터링 시스템 시범운영

- 1차 수요자평가 반영
  - 6월 28일에 실시한 수요자평가 결과를 중심으로 시스템을 개선하였음
  - 먼저 시스템의 전체적인 색상이 너무 어둡다는 것을 감안하여 전체적으로 색상을 밝게 변경함
  - 수요자평가에서 설문 결과로 나온 것을 반영하여 순복사량, 저장열량, 현열량, 잠열량, 열유형 등의 열 현황의 상세 정보는 화면에서 지우고, 상단의 물음표 버튼을 클릭했을 시, 우측에 팝업 형태로 제공하는 것으로 변경하였음



▌그림 2-48 ▌모니터링 시스템 상세 설명

  - 각각의 용어나 시스템이 이해가 어렵다는 평가를 반영하여 용어에 대한 설명을 추가함
  - 각각의 열(순복사량, 저장열량, 현열량, 잠열량) 분포도를 시스템에 표출할 때 개선 전 1시간 전후 지도와 해당 시간의 지도를 병렬적으로 나열을 했었지만, 변경된 UI에서는 1시간 전후 지도를 하단으로 재배치하여 선택한 시간에 대

한 지도를 더욱 강조하였음



▌그림 2-49▐ 열 분포도 배치 및 열 데이터 영역 선택 방법

- 순복사량, 저장열량, 현열량, 잠열량 등의 열 분포를 표출할 때 데이터를 제공하는 기능에 있어서 서울시 전체에 대한 데이터 뿐만 아니라 지도에서 선택한 영역의 열 데이터를 제공하는 기능을 추가하였음
- 이로 인해 사용자가 자신에게 필요한 영역에 대해서만 데이터를 얻을 수 있게 됨
- 수요자평가 결과에서 날짜 검색기능 중 시간 선택이 잘 보이지 않는다는 의견을 반영하여 시간 선택이 더욱 잘 보일 수 있도록 변경함
- 웹 표준 PDF 뷰어를 탑재하여 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성 기법 가이드라인을 시스템 내에서 표출할 수 있는 기능을 추가함

• 2차 수요자평가 반영

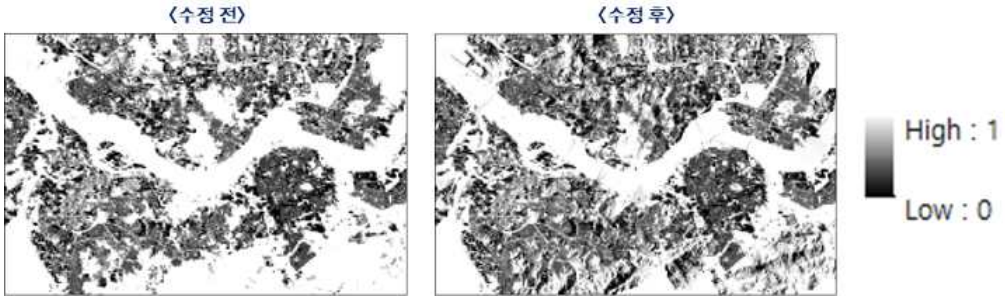
- 10월 10일 공무원과 열섬 관련 실무자들을 대상으로 수요자 평가를 실시한 결과, 공무원을 포함한 일반인들이 시스템을 사용하기에 난해하다는 평가가 많았음
- 대표적인 이유는 영어 표기와 어려운 과학적인 용어 사용이었음
- 또한 온도나 지도를 볼 때 해석이 어렵다고 하였고 시스템이 전체적으로 해당 분야 연구원들을 대상으로 만들어졌다는 평가가 있었음
- 이를 반영하여 시스템을 전문가용과 일반인용으로 구분하여 설계하도록 변경함
- 전문가용과 일반인용 모두 메뉴 구성과 배치를 바꾸어서 사용자가 이해하기 쉽도록 변경함
- 메뉴에는 기존에 있던 영어 표기를 한국어 표기로 교체함
- 또한 '지역 규모'와 '미시 규모'같은 이해하기 어려운 표현을 쉬운 표현인 '시 단위', '동 단위'로 변경하여 처음 이용하는 사용자도 직관적으로 이해할 수 있도록 개선함
- 설문 결과를 토대로 중요도 순으로 메뉴를 재배치함

- 일반인용의 경우, 전문가용과 다르게 표출되는 정보량을 조정함
- 일반인용에는 유용하다고 생각하는 기능에 대한 설문 조사를 한 결과를 바탕으로 시스템 표출 정보량을 변화함
- 설문 결과에서 유용하다고 생각하는 기능에서 높은 결과가 나온'온도 분포도', '실시간 AWS 기온 정보', '열수지 유형화지도'등을 중심으로 메뉴를 구성하였음
- 그에 반해 낮은 결과를 보인 각종 열 값(순복사열, 현열, 잠열, 저장열)에 대해서는 표출하지 않도록 변경하였으며 그 중에서 온도 변화가 가장 직접적으로 영향을 끼치는 현열 분포도는 그대로 표출하도록 유지하였음
- 시스템과 용어에 대해 이해가 어렵다는 평가를 반영하여 용어 설명을 추가함으로써 사용자 이해가 용이하게 개선함
- 일반인용의 경우 시스템과 용어에 대해 쉬운 설명으로 변경하였음

❑ 열 환경 모니터링 시스템 개선 및 고도화

• 지역규모 산림지역 그림자 개선

- 기존 지역규모 모니터링 결과에서는 산림 그림자가 없는 것(=0)으로 처리되었기 때문에 산림의 복사열이 매우 높게 평가되었음
- 그로인해 도심지와 산림의 현열 차이가 적게 표출되는 문제가 있었음
- 산림지역의 DEM을 반영하여 지형으로 인해 생기는 그림자를 생성하는 것으로 변경



▌그림 2-50▐ DEM을 이용한 산림 그림자 반영 전후

• 지역규모 저장열, 현열 상수 보완

- 기존 도로의 현열 값이 산림과 유사하게 산정되고 있었음
- 이것은 기존에 도로 피복에 적용되는 저장열 상수와 현열 상수로 인해 도로의 현열 값이 과소평가되었던 것임
- 서울의 대부분의 도로는 아스팔트로 이루어져 있기 때문에, 유사한 기후조건에 해당하는 일본의 아스팔트 저장열 상수를 사용하는 것으로 변경하여 도로의 저장열 감소로 인해 현열이 증가하였음

▌표 2-21 ▌ 선행 연구의 저장열 상수와 모니터링 시스템에의 적용 전후

변경 전	11곳 평균 값	Grimmond &Oke, 2002	0.70 0.33 -38
Concrete		Doll et al. (1985)	0.81 0.48 –79.9
Concrete	일본 사이타마 대학	Asaeda &Ca (1993)	0.85 0.32 –28.5
Asphalt	일본	Narita et al. (1984)	0.36 0.23 –19.3
Asphalt	일본 사이타마 대학	Asaeda &Ca (1993)	0.64 0.32 –43.6
Asphalt-summer	오스트리아 비엔나	Anandakumar (1999)	0.72 0.54 –40.2
Asphalt-winter	오스트리아 비엔나	Anandakumar (1999)	0.83 –0.83 24.6
변경 값	일본 asphalt 평균 값		0.50 0.275 –31.45

- 기존 건물의 경우, 현열·잠열을 계산할 때 잠열이 거의 일어나지 않는다는 의미의 상수(0.0)를 적용하였음
- 도로 또한 건물과 유사하게 잠열이 거의 일어나지 않으므로 0.2에서 0.0으로 변경하였음
- 도로의 잠열이 감소함에 따라 현열이 증가하였음

• 지역규모 산정식 보완

- 열수지(순복사열, 저장열, 현열, 잠열)를 계산할 때에는 모든 피복을 하나의 피복으로 간주하여 산정하는 그리드 계산 방법과 각 피복별로 계산하여 면적비로 더하는 피복 계산 방법이 존재함
- 현재 모니터링 시스템에는 순복사열(Q_n)은 피복 계산 방법으로 산정하고 저장열(Q_s), 현열(Q_h), 그리고 잠열은 아래 식과 같이 그리드 계산 방법으로 산정하고 있었음

$$Q_s = \sum_{i=1}^{5}\left(a_{1i}f_i Q_n(t) + a_{2i}f_i \frac{(Q_n(t) - Q_n(t-2))}{2} + a_{3i}f_i\right)$$

$$Q_h = \frac{(1 - \sum \alpha_i f_i) + \left(\frac{\gamma}{s}\right)}{1 + \left(\frac{\gamma}{s}\right)}(Q_n - Q_s) - 20$$

- 이것은 선행 연구의 방법을 참고한 것으로, 선행 연구의 경우 순복사열을 측정 값, 특히 하나의 측정 값으로 나머지 열수지를 산정했기 때문에 현재 연구와는 차이가 있음
- 모든 피복을 하나의 피복으로 간주하는 그리드 계산 방법은 저장열과 현열/잠열 상수를 평균 내는 방법이기 때문에 각 피복의 특성이 반영이 잘 안됨
- 따라서 복사열뿐만 아니라 저장열, 현열, 그리고 잠열 열수지 산정또한 피복 계산 방법으로 변경함으로써 각 피복의 열수지를 더욱 상세하게 계산하는 것으로 아래 식과 같이 변경하였음

$$Q_s = \sum_{i=1}^{5}\left(a_{1i}f_i Q_{n,i}(t) + a_{2i}f_i \frac{\left(Q_{n,i}(t) - Q_{n,i}(t-2)\right)}{2} + a_{3i}f_i\right)$$

$$Q_h = \sum_{i=1}^{5}\left[\frac{(1-\alpha_i) + \left(\frac{\gamma}{s}\right)}{1 + \left(\frac{\gamma}{s}\right)} f_i\left(Q_{n,i} - Q_{s,i}\right) - 20f_i\right]$$

- 이를 위해 저장열 상수(a_1, a_2, a_3), 각 피복의 면적 비율(f_i)가 입력되고 이전에 사용되던 해당 그리드의 순복사열, 저장열(Q_n, Q_s)이 아닌 i 피복에서의 순복사열과 저장열($Q_{n,i}$, $Q_{s,i}$)이 사용됨

• 미시규모 산정식 고도화

- 기존 미시규모 산정식은 잠열을 계산할 때 수목으로 인한 증산량이 아주 미미한 것으로 처리하거나, 아예 일어나지 않는다는 전제로 산정하였음
- 이로 인해 미시규모에서의 수목의 잠열은 과소평가, 현열은 과대평가되고 있었음
- 이를 개선하기 위하여 수목의 생리학적 특성을 반영하는 고도화된 산정식을 통해 잠열/현열을 산정하는 것으로 개선하였음
- 증산량, T_v[g]을 계산하기 위해서 공기 밀도(p_a[kg/m3]), 잎의 표면 온도 기준 포화 상태의 비슷($q_s(T_s)$[-]), 대기 온도에서의 비습(q_s[-]), 공기 역학 저항(r_{aw}[s/m]), 잎 경계층 저항(r_b[s/m]), 기공 저항(r_s[s/m]), 그리고 잎면적지수(LAI[-])가 입력됨

$$T_v = \frac{p_a(q_{sat}(T_s) - q_s)}{r_{aw} + \frac{r_b}{LAI} + \frac{r_s}{LAI}}$$

4) 시사점

- **본 연구는 국내 도시 환경에 적합한 산정식을 적용함으로써 한국 도시의 열 현황을 모니터링 할 수 있는 열 지도를 제작함**
- **대상지의 규모에 따라 지역규모, 미시규모로 분류하여 열 현황을 파악, 열 발생·저감 요소를 통해서 현황을 정확하게 평가하고 진단함**
- **도시 열 현황 모니터링 시스템을 통해 누구나 활용 가능한 열수지 지도를 제공하여 지역에 따른 상세한 열 (순복사열, 저장열, 잠열, 현열) 현황 파악이 가능함**
- **잠재 실수요자 평가를 통해 실용성 높은 열환경 모니터링 시스템을 구축함**
- **일반인용과 전문가용으로 시스템을 구분하여 사용자 특성에 맞게 활용 가능케함**

나. 열 취약지역 원인 및 개선효과 산정기술

1) 도시공간 열 취약지역 원인 평가기술 개발

❑ 취약지역 열수지 평가 및 유형화

• 도시공간 열수지 취약지역 정의

- 열수지 취약지역 정의: 주변보다 현열 비율이 주변보다 높으나 잠열과 저장열이 낮은 공간으로 '열환경을 개선해야할 필요가 있는 지역'으로 정의 (이하 열수지 취약지역을 열수지 "열환경 개선필요지역"으로 명시할 것임)

• 정의에 필요한 도출 과정

- 1단계 : 도시공간 의 열수지(Heat Balance)를 구성하고 있는 요소 중 순복사열(Net radiation, Q_n)은 잠열(Latent Heat, Q_e), 현열(Sensible Heat, Q_h), 저장열(Storage Heat, ΔQ_s, 현열, 잠열과는 달리 지중속으로 흐르는 열)로 구분됨. 다음은 수식임
- Q_{K^*} : 순단파복사열, Net Shortwave Radiation
- Q_{L^*} : 순장파복사열, Net Longwave Radiation
- 2단계 : 열수지 공식 적용함

$$Q_n - \Delta Q_s = Q_e + Q_h = Q_{K^*} + Q_{L^*}$$

- 2단계: 열수지 공식 적용함
- 3단계: 열수지 공식에서 열수지 유형화 적용을 위해 현열, 잠열, 저장열을 도입함. 도시 공간속 열의 총량을 구성하고 있는 요소 중 현열은 공간 안에서의 기온에 기여하는 열이므로 주변보다 열이 높아 이용자들에게 여름철 열쾌적성을 저하시키는 공간을 형성하는 주요인이 됨. 잠열은 현열과 부의 관계로 순복사량을 구성하는 요소로 현열과 잠열은 트래이드오프 관계임. 저장열은 현열 및 잠열과는 흐르는 방향이 달라 저장열 값이 증가할수록 대기에서 지하로 침투되는 성질을 지니고 있음(Grimmond, 1999)
- 4단계: 열수지에 따른 열환경 개선 필요지역의 원인 규명과 평가
- 열수지 열환경 개선필요지역의 주 인자는 잠열, 현열, 저장열로 구성됨

• 잠열과 연관된 평가인자

- 결정 원인: 공간속에서의 에너지 상태변화에 관여를 하는 열량으로 순복사열의 3가지 구성요소 중 하나임. 공간 내의 습도(포화수증기압)와 피복율, 건축물 체적 등과 같은 공간 구성요소에 의함
- 주요 변수: 토지피복, 대기압, 운량 등임

• 현열과 연관된 평가인자

- 결정 원인: 공간속에서의 온도에 직접적 관여를 하는 열량으로 순복사열의 구성요소임. 공간 내의 습도, 온도, 구성요소 등에 의함
- 주요 변수 : 토지피복, 대기압, 운량 등임

• 잠열 및 현열 주요 변수의 의미

- 도시공간 안에서 토지 피복에 관여하는 것으로 녹지율, 불투수성 표면비율, 수공간비율을 들 수 있음
- 불투수성 표면비율은 순복사량에서 잠열, 현열, 저장열을 분리하기 위해 건축물비율, 도로비율 그리고 앞의 두가지 피복종류를 제외한 모든 불투수성 표면비율(비건폐지비율)로 구분되어짐
- 대기압에 관여하는 공간적 요소로는 대기압의 특성상 큰 차이가 없는 것으로 간주함
- 열수지 열환경 개선필요지역을 평가하는데 있어서 잠열과 마찬가지로 현열 또한 맑은 날을 기준으로 자료를 수집해야 하므로 운량은 고려 대상이 아님
- 따라서 열수지 열환경 개선필요지역의 파악에 있어 현열 또한 토지 피복의 상태가 가장 중요한 변수임

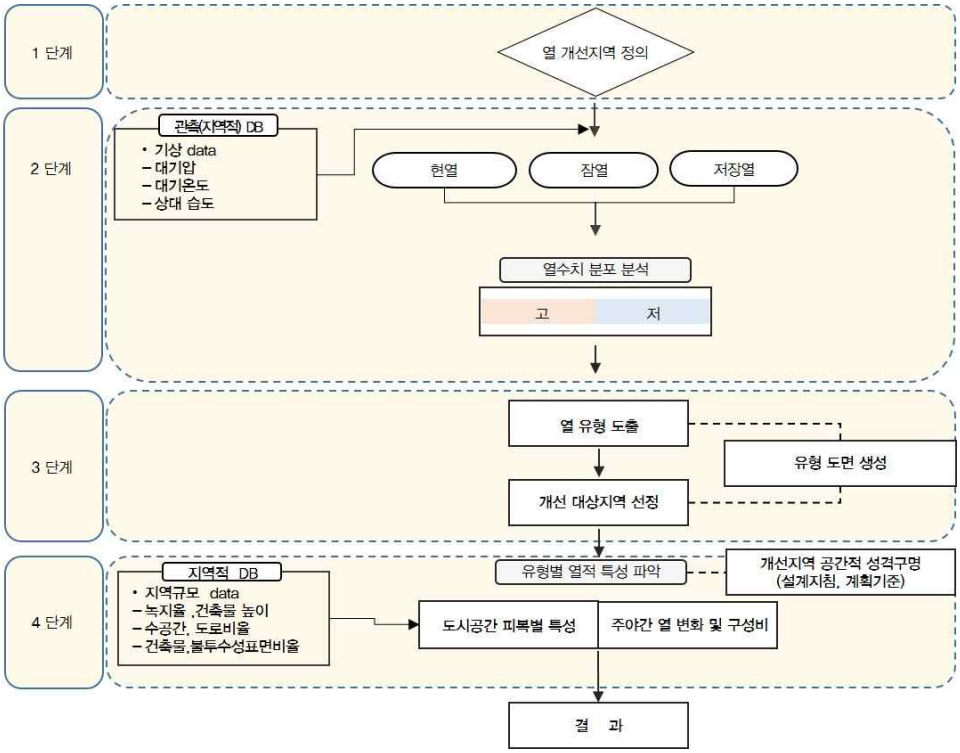
• 저장열과 연관된 평가인자

- 결정 원인: 야간에 현열의 형태로 방출되는 열량으로 대기 중 온도에 관여함. 순복사열의 구성요소로 잠열, 현열과 달리 대기중에서 땅속으로 흐르는 열유속임. 공간 내의 습도, 온도, 구성요소 등에 의함
- 주요 변수: 토지피복, 순복사량 등임. 순복사량을 산정함에 있어 그림자량에 기여하는 건축물의 체적과 천공률이 주요 변수임

• 저장열 주요 변수의 의미

- 도시 공간 안에서 토지 피복에 관여하는 것으로 녹지율, 불투수성표면비율, 수공간 비율을 들 수 있음
- 불투수성표면비율은 순복사량에서 잠열, 현열, 저장열을 분리하기 위해 건축물비율, 도로비율 그리고 앞의 두가지 피복종류를 제외한 모든 불투수성표면비율(비건폐지비율)로 구분되어짐
- 대기압에 관여하는 공간적 요소로는 대기압의 특성상 큰 차이가 없는 것으로 간주함
- 열수지 취약지역을 평가하는데 있어서 맑은 날을 기준으로 자료를 수집이 되므로 운량은 고려 대상이 아님
- 따라서 열수지 취약지역의 파악에 있어서는 토지 피복의 상태가 가장 중요한 변수임

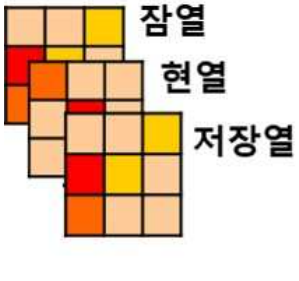
• 열수지 열환경 개선필요지역 도출



▌그림 2-51 ▌열수지 열환경 개선필요지역 유형화 과정

- 연구목적과 열수지 유형화 정의(1단계): 국내·외 선행연구를 참고하여 도시 공간에서의 열 수지 구성 열요소인 잠열, 현열, 저장열의 특성을 통해 열섬 현상에 취약한 공간을 파악
- 열수지 공간적 분포(2단계): 서울시의 기상 데이터(대기온도, 대기압, 상대습도)와 공간 데이터를 통해 100m×100m 격자(pixel)별로 열수지 요소들의 수치를 산정
- 열환경 개선필요지역 도출(3단계): 산정된 열수치를 바탕으로 열수지 요소(잠열, 현열, 저장열; 3. 개선지역 정의 참조)의 밀집도에 따른 1) 상대적 고저를 통해 8개의 군집으로 나눴음, 2) 군집을 열 요소의 고저에 따라 유형화하였다. 3) 8개의 유형들 중에서 개선을 해야 할 지역을 도출하여 지도화함
- 열환경 개선필요지역 공간적 특성 분석(4단계): 유형별 공간적 특성을 파악하기 위해 격자안의 토지피복을 5종류(녹지, 건축물, 불투수성표면, 수공간, 도로)로 구분(Grimmond et al., 1991). 구성한 토지 피복비율 데이터와 8가지 열환경 유형의 주·야간에 따른 열요소 수치의 변화에 영향을 주는 공간특성을 분석

• 열환경 개선필요지역 유형화



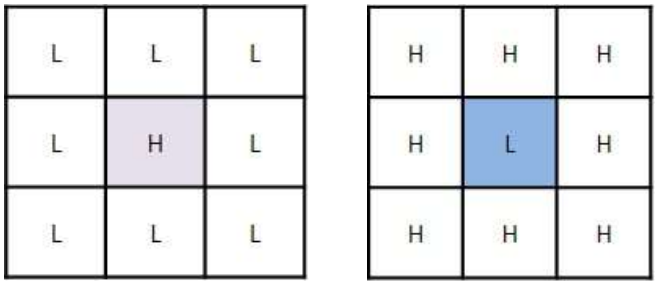
잠열	현열	저장열	유형
High (H)	H	H	HHH
		L	HHL
	L	H	HLH
		L	HLL
Low (L)	H	H	LHH
		L	LHL
	L	H	LLH
		L	LLL

▌그림 2-52▐ 열수치 분포 개념도와 열유형 분석표

- 열 산정식을 통한 열수지 요소들(잠열, 현열, 저장열)의 분포를 바탕으로 열수지 요소들의 상대적 높고 낮음을 분석하여 열환경에 관한 유형이 총 8가지(HHH. HLH, HHL, HLL, LHH, LHL, LLH, LLL)로 구분
- 8가지 유형이란 3가지의 열요소에 대해 각 열수치의 고저로 인하여 나타날 수 있는 가지 수
- 유형의 명칭은 잠열, 현열, 저장열 순으로 열 수치의 상대적 높음과 낮음으로 표현 예) HHH는 해당 격자의 잠열(Q_e), 현열(Q_h), 저장열($\triangle Q_s$)이 다른 격자셀 보다 상대적으로 높고 HLH는 잠열과 저장열이 상대적으로 높고 현열이 상대적으로 낮은 격자셀을 가지고 있는 지역을 의미함

• 열 유형화 격자셀 정의

- 100m×100m 셀을 중심으로 주변 8개의 셀 포함 9개의 셀로 단위를 구성함



▌그림 2-53▐ 열수지 요소의 고저 (좌) 고 , (우) 저

- 고(High : H) - 격자 셀의 중심이 되는 열수지 요소 수치가 그 주변을 둘러싼 열수치에 비해 상대적으로 높은 지역
- 저(Low : L) - 격자 셀의 중심이 되는 열수지 요소 수치가 그 주변을 둘러싼 열수치에 비해 상대적으로 낮은 지역

• 열환경 개선필요지역과 양호지역의 정의

- 개선필요지역(LHL): 열환경에 있어 개선이 필요한 지역으로 대기 온도와 관련된 현열이 높고 현열의 형태로 대지에 축적되는 저장열의 수치가 낮고 음수인 경우 그 절대값이 주변보다 높은 지역
- 또한 물리적 상태 변화에 관여하여 열수지에 있어 현열과 저장열을 상쇄시키는 잠열이 주변보다 낮은 지역
- 양호지역(HLH): 열 환경이 상대적으로 양호한 지역으로 현열이 낮고 잠열과 저장열이 상대적으로 높거나 저장열이 음수로써 그 절대값이 적은 지역

• 개선필요지역 특성

- 열환경 개선지역의 유형화 작업에 의한 8가지 유형 중 개선이 필요한 유형은 상대적으로 잠열과 저장열이 낮고 현열이 상대적으로 높은 LHL 유형으로 앞서 정의했음
- 이 유형의 토지피복 구성요소는 건폐율> 불투수성표면 비율> 도로비율> 녹지율 > 수공간비율 순으로 나타났음

• 열수지의 평균 열수치

- 잠열, 현열, 저장열(20.1, 160.1, 107.5W/㎡)
- 도출된 개선 필요 지역의 세 가지 열수지의 평균값은 기존 연구에서의 여름철 도시의 열수지 수치들인 잠열(±80W/㎡), 현열(±150W/㎡), 저장열(±120W/㎡)과 비교했을 때, 현열이 조금 높고 잠열과 저장열은 낮음 (Spronken-Smith, 2002)

• 열환경 개선 필요 지역의 시간적 변화에 따른 열적 변화 고찰

- 주간에서 야간으로 시간적 여건이 변함에 따라 태양 에너지의 변화로 공간의 열량도 변화
- 그러나 시간에 따른 잠열, 현열, 저장열의 구성비 변화는 시간에 의한 열량들의 자동적인 변화결과가 아닌 열수지 요소들에 영향을 미치는 변수들에서 기인한 차이임
- 즉, 구성비 변화는 각 열량들의 변화 차이로 이어지므로 토지 피복요소와도 연관됨
- 이에 구성비 변화에서 순복사량의 주야간의 변화량만큼 잠열, 현열, 저장열 또한 비례적으로 변화되어야 하지만 비례적이지 않았음
- 해당 유형인 LHL는 열량이 주간에 잠열 : 현열 : 저장열 = 1 : 8 : 5의 비율에서 야간에는 5 : 4 : 2 로 잠열이 많이 차지하는 구성으로 바뀜

▌표 2-22▐ 유형별 열수지 구성 비율 (단위: 비율)

유 형	주 간(14시)			야 간(22시)		
	잠열	현열	저장열	잠열	현열	저장열
HHH	0.16	0.36	0.48	0.42	0.35	0.24
HHL	0.18	0.47	0.35	0.46	0.40	0.15
HLH	0.27	0.27	0.46	0.44	0.31	0.24
HLL	0.45	0.27	0.28	0.47	0.35	0.18
LHH	0.06	0.44	0.50	0.41	0.34	0.25
LHL	0.07	0.56	0.37	0.45	0.38	0.17
LLH	0.06	0.32	0.62	0.41	0.35	0.24
LLL	0.09	0.46	0.45	0.45	0.37	0.18

- 잠열과 저장열의 변화가 현열의 비율 변화보다 역동적임을 나타냄
- 시간이 흐름에 따라 녹지율이 90%인 곳에서 비교적 다량의 식물 증산작용에 따른 결과임(Williams, et al., 2015).
- 야간시간대의 LHL은 8가지 유형들 중 수공간비율이 가장 높고 그 외 건축물, 불투수성표면, 도로, 녹지율 비율이 모두 낮음. 이는 열수지의 열들의 구성 변화 비율이 열환경에 영향을 주고 있기 때문임

• 소결

- 본 연구에서 정의한 열환경 개선 필요지역은 열환경을 향상시키는 방법을 찾기 위하여 열수지를 바탕으로 한 토지피복요소를 고려한 기준을 찾아야 함
- 앞서 언급한 피복 종류를 포함한 공간 요소들의 측정치 평균을 사용하여 유형별 공간요소들의 범위를 산정한 방법(Stewart and Oke, 2012)으로 활용 가능함
- 유형별 토지피복 요소들의 측정치 평균을 열수지와 연관시켜볼 수 있음
- 열환경에 공간적 유형을 달리하는 토지피복요소들과 열수지의 상관성을 갖고 있음

▌표 2-23▐ 잠열, 현열, 저장열에 대한 피복 요소간의 회귀분석

종속변수	R	R 제곱	추정값표준오차				통계량 변화량
			R 제곱 변화량	F 변화량	자유도1	유의확률 F 변화량	
QE	.748a	.560	34.23	.56	19600.18	4	0.0
QH	.727a	.528	31.14	.53	17250.57	4	0.0
QS	.649a	.421	46.27	.42	11215.55	4	0.0

• 피복요소별 열수지 영향 최적비율을 통한 개선방향 제시

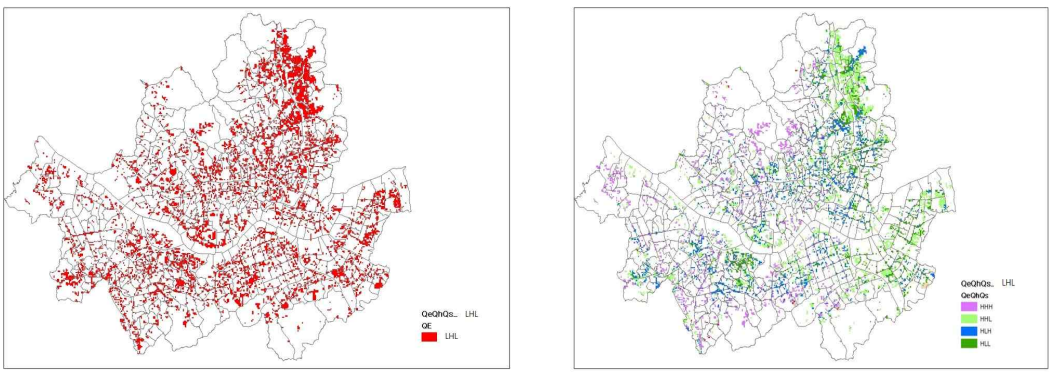
- 서울은 녹지와 수변이 많아 피복조건은 열 환경이 양호한 지역임
- 그러나 상대적 LHL 지역을 탈피하기 위해서는 1)낮에 HLH인 지역과 2)낮에는 LHL 지역이었으나 밤이면 HLH가 되는 지역의 피복 요소를 통해 개선해야할 공간적 특성을 살펴봐야함

▌표 2-24▐ LHL과 HLH 주간 피복 요소비율/열수지 (열단위:W/㎡)

유형	녹지율	건폐율	불투수성 비율	수공간 비율	도로비율	평균 잠열	평균 현열	평균 저장열
HLH	0.3	0.02	0.2	0.3	0.1	104	104	177
LHL	0.03	0.4	0.3	0.0	0.2	20	160	108

• LHL 주간 변화

- 낮에 LHL 유형인 지역이 밤에 다른 유형들로 변화함. 이는 태양에너지의 변화로부터 기인하였으나 토지 피복에 의한 영향이라 할 수 있음
- 토지 피복의 영향을 배제할 경우, 태양에너지의 감소에 따라 서울시의 열수지 열량들이 모두 일정한 비율로 감소하는 경향을 보이거나 적어도 낮의 유형이 밤까지 그대로 유지가 되었을 것임



▌그림 2-54▐ 유형 LHL의 주야간 변화

• LHL 야간 변화

- 야간의 유형별 열량변화에서 낮에는 같은 유형에 속했던 지역들이 밤에는 다른 유형으로 변화되어 열수지의 구성 비율이 낮과는 다른 양상을 보임
- 열수지 구성 비율 측면에서, 열수지 중 현열이 44%, 잠열이 31%, 저장열이 24%로 현열이 대부분 공간적 더위와 연관됨
- LHL지역을 개선시키기 위한 방안을 위해 반대의 열수지 구성비율을 가지고 있는 HLH 지역의 토지 피복 구성에서 녹지 비율과 수공간 비율이 높음 (격자셀의 60%를 차지함)
- 건축물과 도로비율은 아주 낮음

- 열수지의 구성비율 측면에서, HLH 지역은 LHL 지역과 비교해 볼 때, 상대적 잠열이 약 3배, 저장열은 0.2배 증가, 현열이 약 0.5 배로 감소
- 이는 주간에 수공간이 많은 HLH 지역이 LHL지역에 비해 보행자가 공간에서 받을 온도에 관여하는 열수치가 비교적 낮고 지표면 아래로 흐르는 열이 높아 주간에 비교적 쾌적한 공간이라고 할 수 있음

❑ 소결

- 서울의 구도심과 부도심이 열환경 개선 필요지역으로 집중 분포되어 있음
- 강북구와 은평구의 시가지가 열환경 개선 필요지역으로 포함되었음. 이 지역은 불투수성 포장과 건축물 비율이 타 지역에 비해 상대적으로 높은 곳으로 고밀 주거지역임
- 주간

- 잠열과 상관성이 높은 피복요소는 수공간이고 현열과 상관성이 높은 요소는 녹지이지만 음의 상관관계에 있어 녹지가 많을수록 현열이 낮아짐
- 현열과 마찬가지로 저장열에 많은 영향을 미치는 요소 또한 녹지율임
- 수공간이 많으면 잠열이 높아지고, 녹지가 적어지면 현열과 저장열이 낮아짐

- 야간

- 불투수성표면비율이 높아지면 잠열이 낮아지며 건축물비율이 높아지면 현열이 높아지고 도로율이 높아지면 저장열이 높아짐
- 불투수성표면이 야간의 잠열에 가장 많은 영향을 미쳤으나 불투수성표면이 커질수록 잠열이 낮아지게 됨
- 야간의 현열은 열환경 개선 필요지역을 제외하고는 상대적으로 변화가 심하지 않음

- 개선방향 제시

- 여름철 열환경 개선 필요지역에서 토지피복을 통해 열환경이 양호한 지역으로 개선시키기 위해 양호지역의 토지피복 구성비율을 지향해야함

▌표 2-25 ▌ 열환경 개선 필요지역의 기본방향 (단위: 비율, 열단위: W/㎡)

구분		양호	개선	기본방향
SVF		0.85(±0.13)	0.57(±0.08)	천공률 0.3 변화
토지피복요소	gr	0.4(±0.35)	0.03(±0.13)	gr-최소15% 증가 bldg-용도지역별 10%개선 im-10%감소 wt-최대30%증가 rd-10%감소
	bldg	0.03(±0.07)	0.4(±0.11)	
	im	0.2(±0.27)	0.3(±0.11)	
	wt	0.3(±0.41)	0.0(±0.01)	
	rd	0.1(±0.15)	0.2(±0.11)	
열수지요소	Q_e	103.6(±58.17)	20.1(±0.57)	1. 구성비 개선 위한 토지피복변화 지향 2. 잠열의 최대화 3. 현열의 최대치 감소 4. 지하저장열의 최대화
	Q_h	103.5(±13.65	160.1(±24.51)	
	Q_s	177.3(±36.36)	107.5(±15.23)	

- 상단의 표와 같이 열수지 요소들을 산정하기 위해 사용되었던 자료를 검토하여 양호지역, 개선필요지역 각각의 유형에 해당되는 평균값을 활용하였음
- 천공률, 토지피복 요소, 열수지 요소의 범위는 해당 셀들의 표준오차를 통한 산출결과임
- 제안된 양호지역으로 개선하기 위한 천공률, 토지 피복요소, 열수지 요소들의 비율들은 양호지역을 기준으로 개선지역에서 지향할 변화율임
- 열수지 요소들의 여름철 평균 수치(잠열 -±80W/㎡, 현열 ±150W/㎡, 저장열 -±120W/㎡)들을 고려해보면, 개선지역에 대한 표준이 0.0 이하이므로 평균에서 크게 벗어난 수치가 없음. 따라서 개선이 필요한 지역의 천공률(SVF)은 0.57. 양호한 지역은 천공률이 0.85로 많이 개방되어 있는 지역임

• 개선방향 제시 소결

- 천공률은 0.3정도로 변화시켜야 함
- 현열을 감소시키기 위한 녹지율을 10% 증가시킴으로써 열환경을 개선시키는 도시림 조성사업 및 식재계획 필요함
- 불투수성표면비율과 도로율을 10% 감소시켜야 열환경 개선이 됨
- 잠열을 높이기 위해 도시설계에서 수공간 확장이 필요함

2) 시사점

- 열 취약성 평가를 수행함에 있어 기존 연구에서는 온도가 활용되고 있음. 실제 양지와 음지의 온도 차이는 크지 않으나 사람이 실제 느끼는 현열은 양지 및 음지의 환경에 따라 많은 차이가 있음
- 본 연구는 열 취약성 지표의 개발과 커뮤니티 차원에서의 열 취약지역의 특성을 파악하여 온도 기반이 아닌 열에 기반한 열 취약성을 평가함
- 열수치를 활용을 위한 인자파악과 커뮤니티 스케일에서 열수지 산정식을 통해 도시 열환경 유형화의 정량적 방법론을 도출함
- 열 기반 취약성 평가는 온도에 비해 사람의 건강에 더 높은 상관관계를 보여 쾌적한 공간 조성 및 열에 취약한 지역을 도출하기 위한 기초자료로 활용 가능함
- 현열을 낮추는 공간 특성을 활용하여 열 저감 환경 계획 및 쾌적한 공간 구성 설계에 반영
- 현열을 높이는 공간 특성을 지양하는 환경계획 및 설계에 반영 가능함

3. 도시 열저감에 의한 에너지 사용 저감 효과분석 기술개발

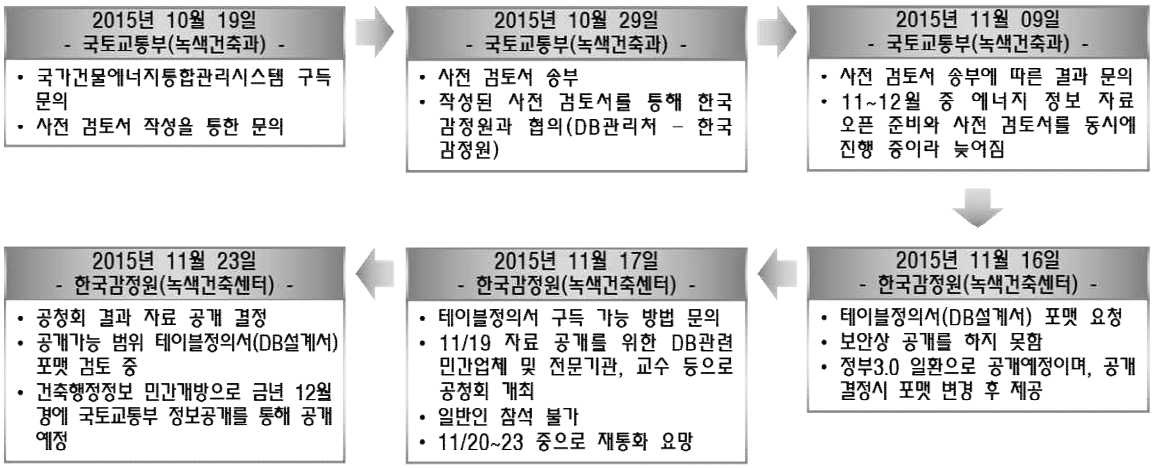
가. 도시 열저감 요소별 에너지 사용량 저감 기여도 분석기술

1) 도시에너지 사용량 DB관리시스템 개발

❑ 건물에너지 데이터 확보

• 도시 최종에너지 부문별 에너지 소비

- 국가 건물에너지 통합관리시스템 구축 일환으로 건물에너지DB가 구축되었음
- 「국가 건물에너지 통합관리시스템DB」는 국토교통부에서 구축한 건축에너지로 건축물대장 정보와 에너지 사용정보(전기, 가스 등)를 연계하여 건축물 단위별 에너지 통계를 구축하는 시스템으로 현재 건물에너지 관련 자료 중 체계적으로 구축된 자료임



▌그림 2-55 ▌국가 건물에너지 통합시스템DB 건물에너지 요청 진행도

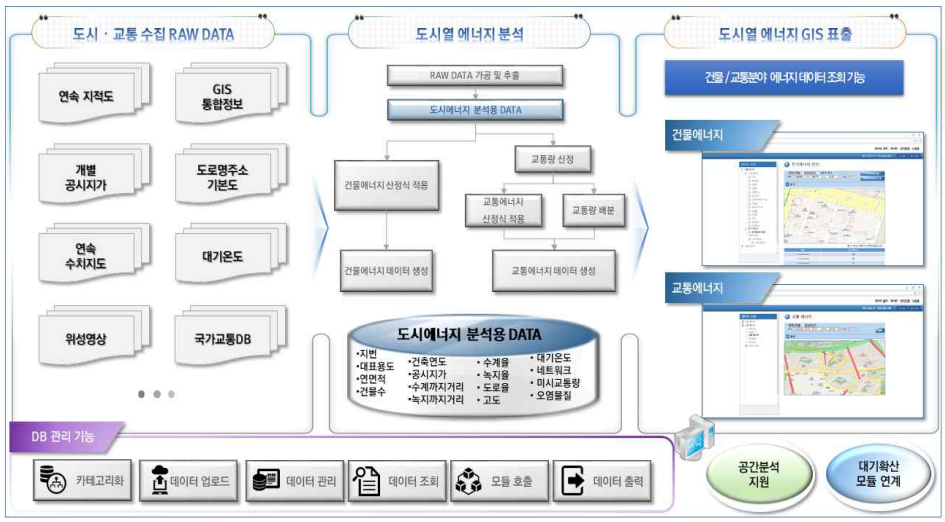
- 결정통지서에 따라 건축데이터개방-건축데이터 민간개방 시스템(open.eais.go.kr)을 통하여 2011 - 2014년 전기·가스에너지DB를 구득하였음

• 행정동 단위 교통량: 연료소비량

- 교통에너지 산정을 위한 연료소비량 수집 및 산정이 필요함
- 차량운행에 필요한 연료로서 한국석유공사 Petronet(petronet.co.kr)에서 시군구별제품별소비를 월별 및 연도별로 2005.01~2015.11까지 제공하고 있음
- 국내석유정보 → 국내소비 → 시군구별제품별소비·시군구별산업별소비·시군구별제품별산업별소비 등 총 3가지 통계자료를 제공하고 있음

❑ 도시에너지 사용량 DB관리시스템 개발

• 도시에너지 사용량 DB 관리시스템 구상

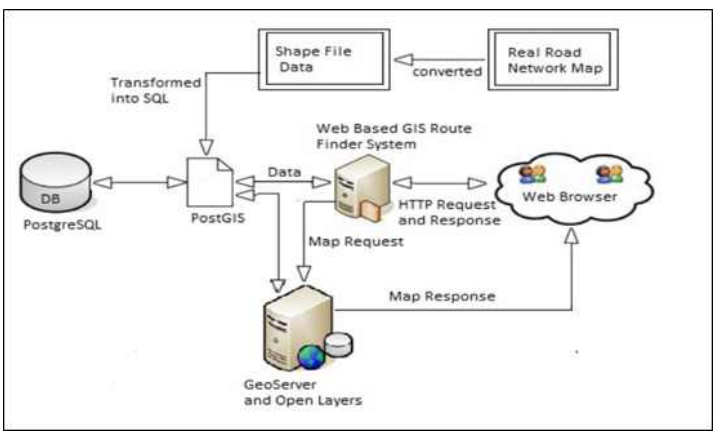


▌그림 2-56▐ 도시에너지 사용량 DB관리시스템 구성 체계

- 도시에너지 사용량 DB관리시스템은 토지이용 변화에 따른 건물에너지 및 교통에너지 소비량 분석을 위하여 방대한 양의 도시·교통 분야 RAW 데이터를 정제·가공하여 도시 부문별 에너지 소비량을 산출하고, 이에 대한 시각적 공간정보를 제공하고 관리 할 수 있는 시스템임

• 시스템 개발환경

구분	개발 플랫폼 및 도구
개발툴	eGovFrameWork 3.6.0
웹서버	Tomcat Apache 7.0
데이터베이스	PostgreSQL9.4 PostGIS2.3.2
응용프로그램 서버	GeoServer 2.6.1
개발언어	Java, Jsp ,서블릿



▌그림 2-57▐ 도시에너지사용량 DB관리시스템 개발환경

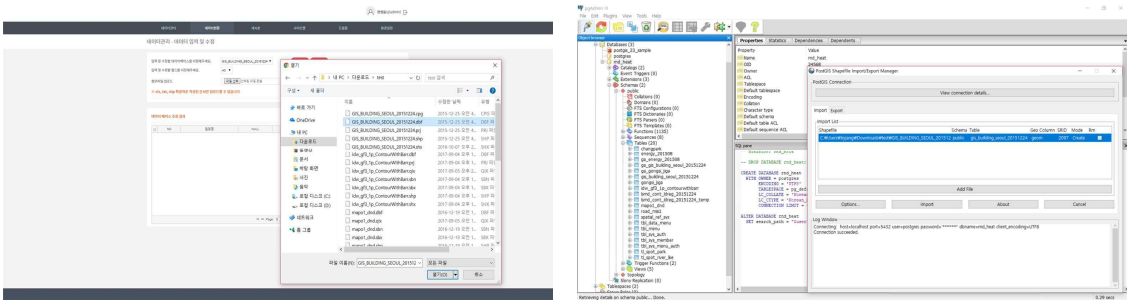
• 시스템 기능정의

- 도시에너지사용량 DB관리시스템은 데이터관리, 데이터현황, 게시판, 분석지원, 환경설정으로 메뉴가 구분되며, 상세기능은 다음과 같음

▌표 2-26 ▌시스템 메뉴 및 기능정의

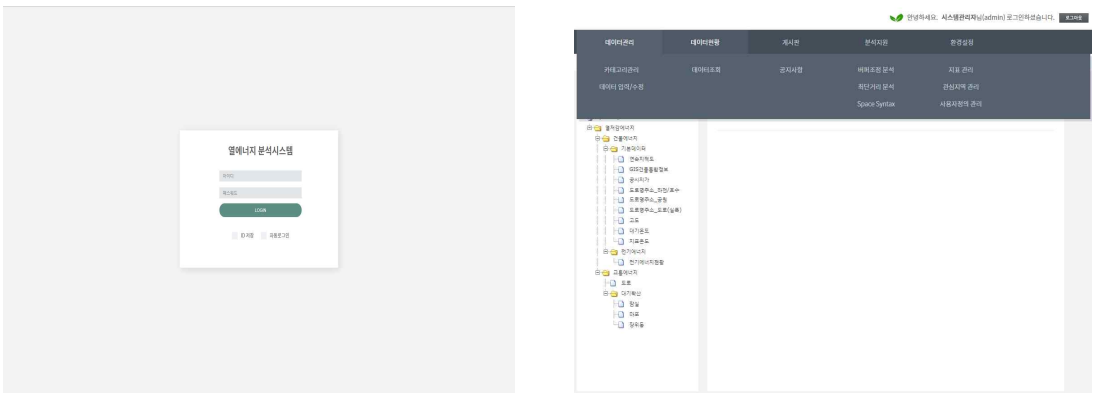
메뉴1단계	메뉴2단계	기능개요
데이터관리	카테고리관리	카테고리 등록/수정/삭제
	데이터입력/수정	카테고리 메뉴항목 데이터 입력/수정
데이터현황	데이터조회	분석용 데이터 및 에너지소비량 GIS 조회
게시판	공지사항	공지사항 등록/수정/삭제/조회
분석지원	버퍼조정분석	버퍼 데이터 조회/DB반영
	최단거리분석	최단거리 데이터 조회/DB반영
	Space Syntax	SpaceSyntax 분석을 위한 Axial Map 생성
환경설정	지표관리	전기에너지, 교통에너지, 오염물질배출량 산술식 조회/적용
	관심지역관리	관심대상지역 조회
	사용자정의관리	사용자별 관심대상지 등록/수정/삭제

- 카테고리 관리: 분석에 필요한 데이터 카테고리를 등록/수정/삭제
- 데이터입력/수정: 카테고리 관리에서 생성한 메뉴에 첨부파일(데이터)을 업로드 및 수정함



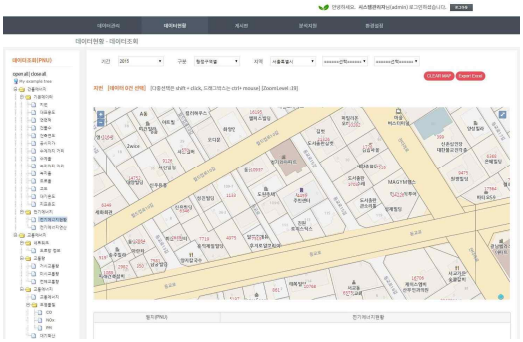
▌그림 2-58 ▌데이터 첨부 및 GIS화 화면

- 도시에너지사용량 DB관리시스템 메인화면
  - 현재 1단계 시스템 개발 중이며, 시스템 보안상 사용자 관리 상태에만 접근이 가능함

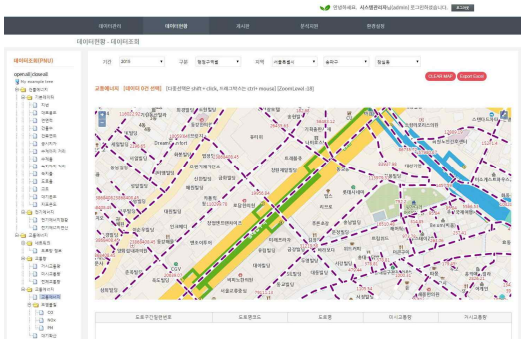


▌그림 2-59 ▌도시에너지사용량 DB관리시스템 메인화면

- 데이터조회: 건물에너지. 교통에너지 메뉴의 기본데이터와 분석데이터를 조회



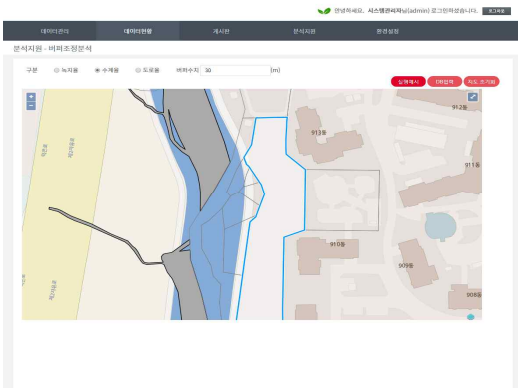
[건물에너지 조회화면]



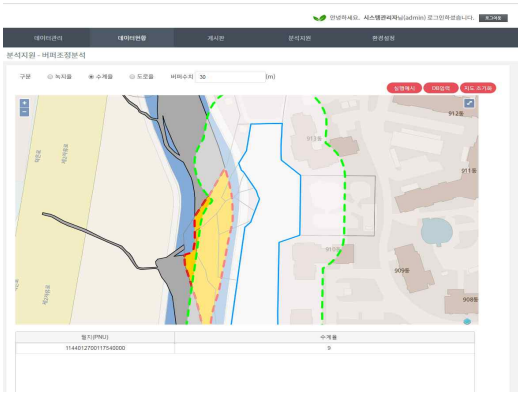
[교통에너지 조회화면]

▌그림 2-60▐ 건물에너지(대표용도) 및 교통에너지(미시교통량) 조회화면

- 버퍼조정분석: 버퍼값 입력을 통해 녹지율,수계율,도로율 조회 및 DB반영
- 최단거리분석: 필지별 녹지 및 수계 최단거리를 조회 및 DB반영

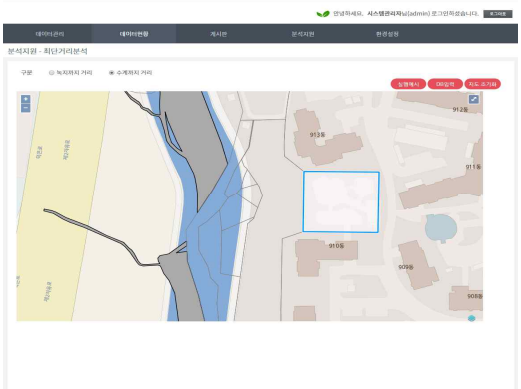


[버퍼조정분석 버퍼 범위 설정]

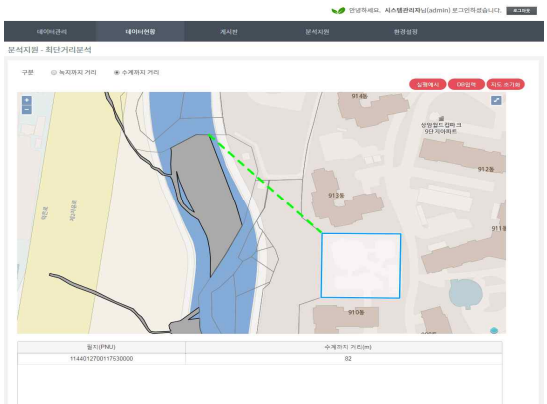


[선택 영역에 대한 버퍼 상 수계율 산정]

▌그림 2-61▐ 버퍼 길이에 따른 버퍼 조정 분석(수계율) 실행화면



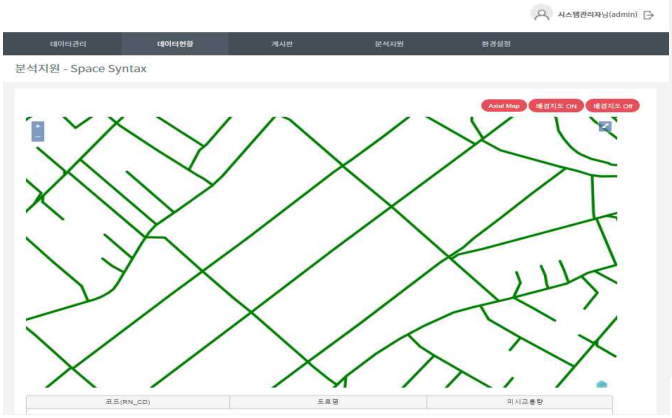
[선택 영역 설정과 수계까지 거리]



[선택 영역에 대한 수계까지의 최단 거리 산정]

▌그림 2-62▐ 선택지에 대한 수계까지 최단 거리 실행화면

- SpaceSyntax: SpaceSyntax 분석을 위한 Axial Map 생성
- 지표관리: 전기에너지, 교통에너지, 오염물질배출량 산술식을 조회 및 DB 반영

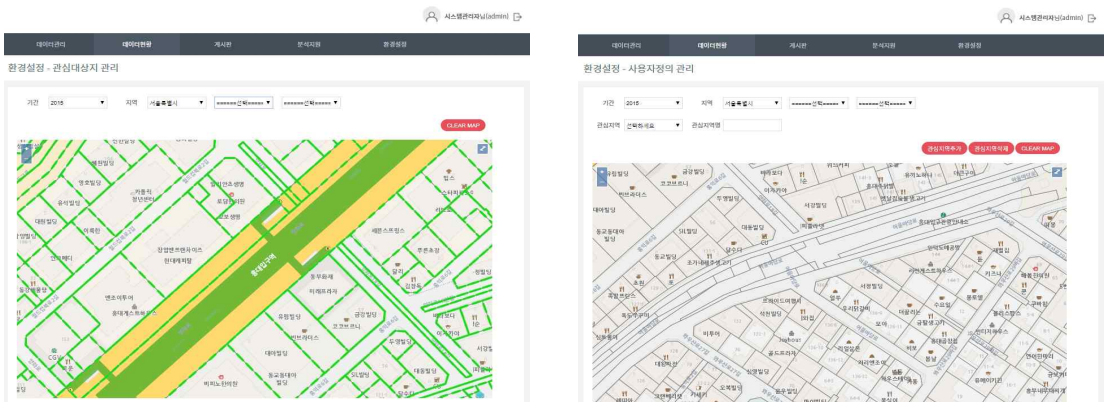


❙그림 2-63❙ Space Syntax 분석지원 화면



❙그림 2-64❙
지표관리(전기·교통에너지, 오염물질) 생성화면

- 관심지역관리: 관심대상지역 조회
- 사용자정의관리: 사용자별 관심대상지 등록/수정/삭제



❙그림 2-65❙ 관심대상지역 및 사용자정의(관심대상지) 관리화면

• DB관리시스템에 대구시 데이터 추가 구축

- 서울시만 대상으로 구축되었던 DB관리시스템 내 대구시 데이터 업로드
- DB시스템 간 연계방식으로 즉시 접속이 가능하며, 서울시에만 적용되던 기능과 데이터 조회를 동일하게 구현 가능
- 이를 바탕으로 대구시를 대상으로한 도시 열저감에 따른 건물에너지 소비량 분석 Pilot Test 수행



▌그림 2-16▐ 도시에너지 사용량 DB관리시스템(대구지역)

2) 도시 열저감 요소와 건물에너지 소비와의 관계분석

❑ 선행연구 기반의 도시 열저감 요소 도출

- 본 연구진들은 도시구성요소가 도시열과 에너지소비에 미치는 직·간접적인 영향관계를 규명하여 도시계획적 측면의 도시 열저감 지표를 실증분석함
  - 선행연구를 통한 분석모형의 내생관측변수와 외생관측변수(도시구성요소)를 설정하였으며, 설정된 변수는 다음과 같음

▌표 2-27▐ 분석 변수 설정

구분		변수명	내용	단위	출처
내생관측변수	에너지 소비	건물에너지 소비량	지번별 2010년 7월 전기에너지 소비량	kWh/㎡	서울연구원(2012)
	도시열	AWS 측정온도	2014. 7. 1. 일평균기온	℃	기상청(2014)
		지표온도	2014. 7. 1. 위성영상 열적외선	℃	USGS(2014)
외생관측변수(도시구성요소)	자연환경 요소	평균고도	행정동 평균 고도	m	수치지형도(2008)
		녹지율	(녹지면적/행정동면적)*100	%	서울연구원 공공데이터(2015)
		수계율	(하천면적/행정동면적)*100		수치지형도(2008)
		천공율	구조물 등 (건물, 자연요소)의 수평면에 대한 입체각 투사율	%	수치지형도(2008)
	물리환경 요소	건축물노후도	2010-(건축년도)	-	서울연구원(2012)
		도로율	(실폭도로면적/행정동면적) *100	%	서울연구원 공공데이터(2015)
		건물수밀도	건축물 수/행정동 면적	건물수/㎡	서울연구원 공공데이터(2015)
		주거연면적	행정동 총 주거용 연면적	㎡	도시계획현황자료(2010)
		토지이용복합도	토지이용 다양성지수[6]	-	
	사회·경제 요소	인구밀도	인구수/행정동 면적	인/㎡	서울연구원 공공데이터(2015)
		종사자수밀도	종사자수/행정동 면적	인/㎡	
		아파트실거래가	평균 아파트실거래가	원	
		공시지가	평균 개별공시지가	원/㎡	
	도시통행 요소	버스노선밀도	Line Density[7]	평균밀도	KTDB교통주제도(2014)
		유동인구	행정동 평균 유동인구	명	서울연구원 공공데이터(2015)
		교통량	교통유발원단위	대	KTDB유출입통행량 조사(2010)

6) 다양성지수$_i$ = $1-\sum_{j=1}^{n}(BFs_{ij}/BFs_i)^2$ 단, i : 행정동, j : 토지이용유형, BFs : 연면적(Gibbs & Martin, 1962:, Lee et al., 2013)

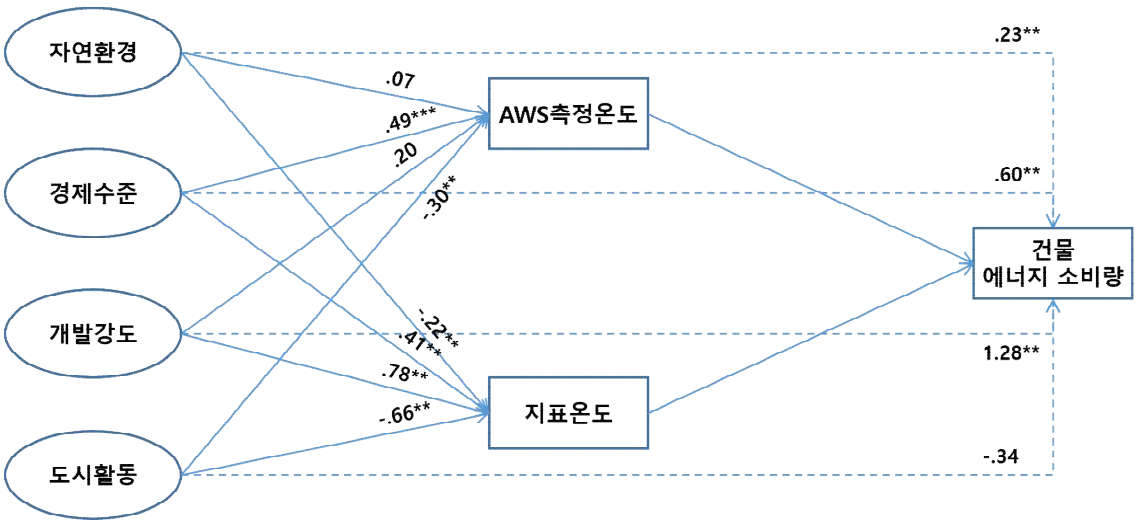
7) GIS 내에 있는 툴로써 셀 단위로 분석이 이루어지며 각 셀 주위 일정 반경 안에 있는 선의 밀도를 단위면적당 크기로 변환시켜주며 수식은 다음과 같음. $Density = (\sum_{i}^{n} L_i \times C_i)/(Area\,of\,Cell)$. 단, L_i = 버스노선, C_i = 버스운행횟수. 본 연구에서는 행정동 안에 포함된 셀의 평균값을 사용하였음(장성만 외, 2011).

- 최종 측정 및 잠재변수를 추출하기 위하여 탐색적 요인분석과 확인적 요인분석으로 추출하였으며, 최종 변수는 다음과 같음

▌표 2-28 ▌ 최종 요인분석 결과와 측정 및 잠재변수

구분	측정변수	잠재변수
요인1	녹지율, 평균고도, 수계율 천공율	자연환경
요인2	아파트실거래가, 공시지가	경제수준
요인3	건물수밀도, 혼합토지이용, 주거연면적	개발강도
요인4	버스노선밀도, 유동인구, 종사자수밀도, 통행량	도시활동

- 최종 산출된 측정 및 잠재변수 활용과 구조방정식 적용을 통해 도시열과 에너지소비에 미치는 직·간접적인 영향관계를 규명하였으며, 다음은 구조방식 모형의 분석결과임



***유의수준 1%(p<0.01), **유의수준 5%(p<0.05), *유의수준 10%(p<0.1)

▌그림 2-71 ▌ 구조방정식 모형의 분석결과

- 도시의 자연환경요인, 도시활동은 도시열과 음(-)의 영향관계로 도시열을 저감하는 지표로 나타남
- 경제수준, 개발강도은 도시열과 양(+)의 영향관계로 도시열을 발생하는 지표로 나타남
- 열저감 주요지표 변수는 다음과 같음

▌표 2-29 ▌ 열저감 주요지표 변수

구분	변수
자연환경	수계율, 녹지율, 평균고도, 천공률
도시활동	대중교통이용

❑ 도시 열저감 요소와 건물에너지 소비와의 상관성 실증분석

- 선행연구에서 활용된 변수 중 행정동 단위요인과 필지 단위요인으로 구분하여 변수 선별함
  - 행정동 단위의 요인: 선행연구 결과와 비교
  - 필지 단위요인 : 연구에 부합하는 공간단위(미시적 공간단위)로서 활용



▌그림 2-72▌ 행정동 및 필지 단위 요인 선별과정

- 도시 열저감 요소와 건물에너지 소비와의 상관관계 분석결과
  - 전기에너지 소비량과 도시 열저감 요소간의 상관성 분석 결과, 다음과 같은 유의미한 결과를 도출함
  - 행정동 단위 요인(거시적 측면)에서 전기에너지 소비량과의 상관성 분석 결과, 상관성계수 0.4이상이며 유의미한 요인은 주택수, 아파트 면적, 단독주택 비율, 상업연면적비율로, 4개 요인이 도출됨

▌표 2-30▐ 행정동 단위 도시열저감 요소와 건물에너지 소비와의 상관분석 결과

구분		변수	상관계수
온도		AWS온도	0.016
		지표온도	0.044
열발생지표		건물밀도	0.326***
		토지이용혼합도	-0.380***
		주거지역연면적	0.364***
		도로율	0.281***
열저감지표		수계율	-0.020
		녹지율	-0.114**
		평균고도	-0.120**
		버스노선밀도	0.189**
기타	경제	단독주택거래가	0.113**
		아파트거래가	0.025
		지가	-0.015
	물리사회	인구밀도	-0.117**
		고용밀도	0.367***
		주택수	**-0.420*** **
		아파트면적	**-0.418*** **
		단독주택비율	**0.567*** **
		상업연면적비율	**0.510*** **
		건물노후도	0.206***
		유동인구	0.293***

- 필지 단위 요인(미시적 측면)에서 전기에너지 소비량과의 상관성 분석 결과, 상관성계수 0.4이상이며, 유의미한 요인은 대지면적, 건물수, 연면적, 건폐율, 오픈스페이스로, 5개 요인이 도출됨
- 필지 단위 상관성계수 0.35이상은 건물바닥면적, 공시지가가 추가됨으로써 0.4 이상 요인 5개를 포함하여 총 7개가 도출됨

▌표 2-31 ▌ 필지 단위 도시열저감 요소와 건물에너지 소비와의 상관분석 결과

구분	변수		상관계수
필지 및 건물특성	**대지면적**		**0.541*** **
	건물수		**0.520*** **
	건물바닥면적		-0.369***
	연면적		**0.750*** **
	건폐율		**-0.610*** **
	건물노후도		-0.004
	공시지가		0.389***
기후조건	온도		-0.033***
	습도		0.011
	평균풍속		-0.021*
주변환경	고도		-0.024**
	오픈스페이스		**0.588*** **
	수계까지거리		-0.196***
	공원까지거리		-0.189***
	공원면적률	15m	0.031***
		50m	0.079***
	수계면적률	15m	0.015
		50m	0.045***
	도로율	15m	-0.101***
		50m	-0.050***

- 행정동 단위 요인(거시적 측면)과 필지 단위 요인(미시적 측면) 두 가지 측면을 고려하여 상관성 분석결과, 행정동 단위 요인 4개, 필지 단위 요인 5개로 현 연구에 있어서 미시적 단위 분석결과인 필지단위 요인이 5개가 도출됨

• 연구대상지 실측

- 연구대상지의 전기에너지 소비량과 도시 열저감 요소간의 상관성 분석결과, 상관성계수 0.4이상이며, 유의미한 요인은 대지면적(0.541***), 건물수(0.520***), 연면적(0.750***), 건폐율(-0.610***), 오픈스페이스(0.588***)로, 5개 요인이 도출됨
- 행정동 단위 요인(거시적 측면)과 필지 단위 요인(미시적 측면) 두 가지 측면을 고려하여 상관성 분석결과, 행정동 단위 요인 4개, 필지 단위 요인 5개로 현 연구에 있어서 미시적 단위 분석결과인 필지단위 요인이 5개가 도출됨

▌표 2-32▐ 필지 단위 도시 열저감 요소와 건물에너지 소비와의 상관분석 결과

구 분	변 수		상관계수
필지 및 건물특성	**대지면적**		**0.541*** **
	건물 수		**0.520*** **
	건물바닥 면적		-0.369***
	연면적		**0.750*** **
	건폐율		**-0.610*** **
	건물노후도		-0.004
	공시지가		0.389***
기후조건	온도		-0.033***
	습도		0.011
	평균풍속		-0.021*
주변환경	고도		-0.024**
	오픈스페이스		**0.588*** **
	수계까지 거리		-0.196***
	공원까지 거리		-0.189***
	공원면적률	15m	0.031***
		50m	0.079***
	수계면적률	15m	0.015
		50m	0.045***
	도로율	15m	-0.101***
		50m	-0.050***

3) 도시 열저감 요소별 에너지 사용량 저감 기여도 분석기술 개발

❑ 도시 열저감 요소별 건물에너지 사용량 저감기여도 산정식 개발

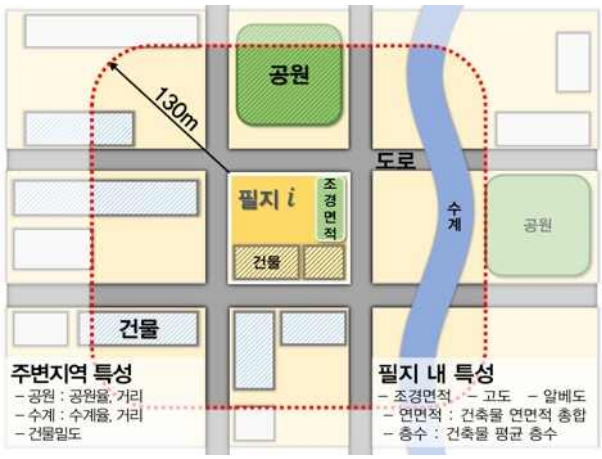
- 건물에너지사용량은 서울시 모든 필지에 대한 에너지사용량을 제공하지 않음. 공개된 자료를 기반으로 산정식을 개발함
- 연구수행 중 2차년도(2016.09)에 국토부 협조를 통하여 장위동에만 국한하여 건물에너지사용량을 구득함. 이 자료는 장위동 대부분의 에너지사용량 자료를 포함하고 있음. 총 7,175개 필지 중 6,983개 필지에 대한 정보가 있음(약 97%)
- 건물에너지사용량 산정식을 장위동을 대상으로 적용한 결과와 국토부에서 제공한 자료를 비교분석함으로써 산정식 검증을 수행함

▌표 2-33▐ 건물에너지 사용량 분석모형 결과

종속변수	모형설명력	영향요인	
필지 총 건물 에너지사용량 (Ln치환)	70%	+	지가, 온도, 건축연도, 도로율, 건물수, 필지면적, 상업지역
		-	철근콘크리트건물구조, 건물유형, 고도
단위면적당 에너지사용량	31.2%	+	온도, 철근콘크리트건물구조, 공동주택, 공원까지거리, 수계율, 도로율, 건물수, 필지면적, 상업지역
		-	철근콘크리트지붕, 연면적, 주거지역

❑ 도시 열저감요소별 건물에너지 저감 기여도 산정식 개선

- 통계모델 기반 산정식은 주거용과 더불어 상업, 업무용 건물의 에너지 산정식을 도출함으로써, 도시열 발생·저감요소별 에너지 저감 기여도를 산출함
- 에너지 저감 기여도뿐만 아니라 향후 도시 열저감 시나리오별 에너지소비량을 추정하기 위하여 추가적으로 머신러닝 기법을 이용함
- 도시 에너지 DB 구축



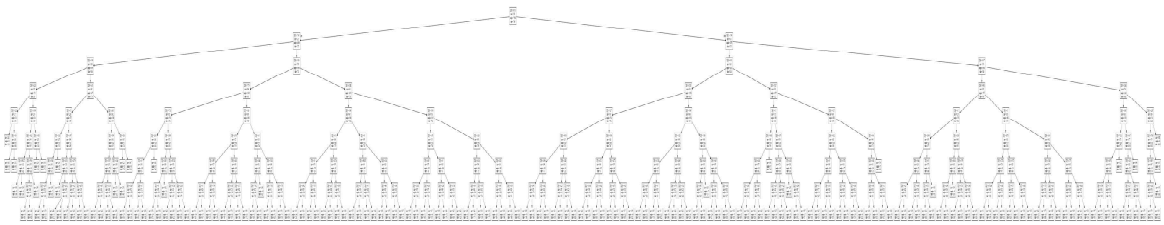
▌그림 2-73▐ 도시 에너지 DB 구축 예시도

- 실증분석을 위한 데이터는 총 105,104개이며. 이 중 단독주택은 4,421개, 공동주택 3,468개, 상업용건물 81,183개, 업무용건물 6,362개로 구성됨
- 3차년도에 구축된 데이터 외 추가적으로 기온 증감율, 필지 내 조경면적, 알베도를 구축함
- 또한 3차년도에는 주변지역 특성을 반영하기 위하여 반경 50m를 적용하였으나, 실증연구[8]를 통하여 필지 주변 영향권 범위를 130m로 재설정하고 변수를 재구축함
- 열환경과 관련된 변수는 월평균기온과 열 취약성을 반영할 수 있는 기온 증감율이며, SK planet 자료를 활용함
- 도시열 발생·저감요소는 알베도, 수계까지의 거리, 조경면적, 수계율, 공원까지 거리, 도로율, 공원율을 구축하였으며, 건물요인으로 필지 내 건물 평균 건축년도, 총 연면적, 건축밀도, 평균 건물층수를 구축함. 이는 필지 내 건물특성을 반영하며, 필지 내 도시개발밀도에 따른 에너지소비 저감량을 측정할 수 있는 변수임

8) 김기중·김동준·이창효·이승일, 2018, "도시공원의 규모와 형태별 주변지역의 지표온도·건물에너지소비저감 영향범위 분석연구", 한국지역개발학회지 제30권2호 p155~176

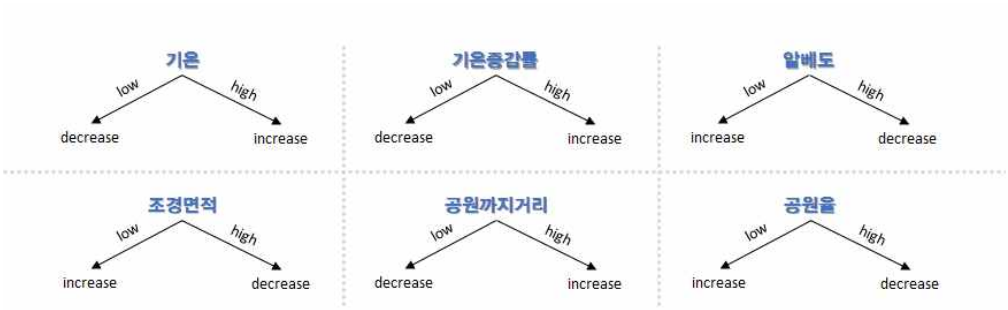
• 본 연구에서는 의사결정나무 머신러닝 기법을 기반으로 한 비모수 방법론을 사용하여 에너지 산정모델을 개발함. 의사결정나무는 머신러닝이론에서 시작된 것으로 분류 및 회귀문제를 해결하기 위한 효율적인 도구임

- 의사결정 회귀의 결과는 아래 그림과 같음. 최대 Depth8, 총 노드수 377개의 트리구조를 가짐



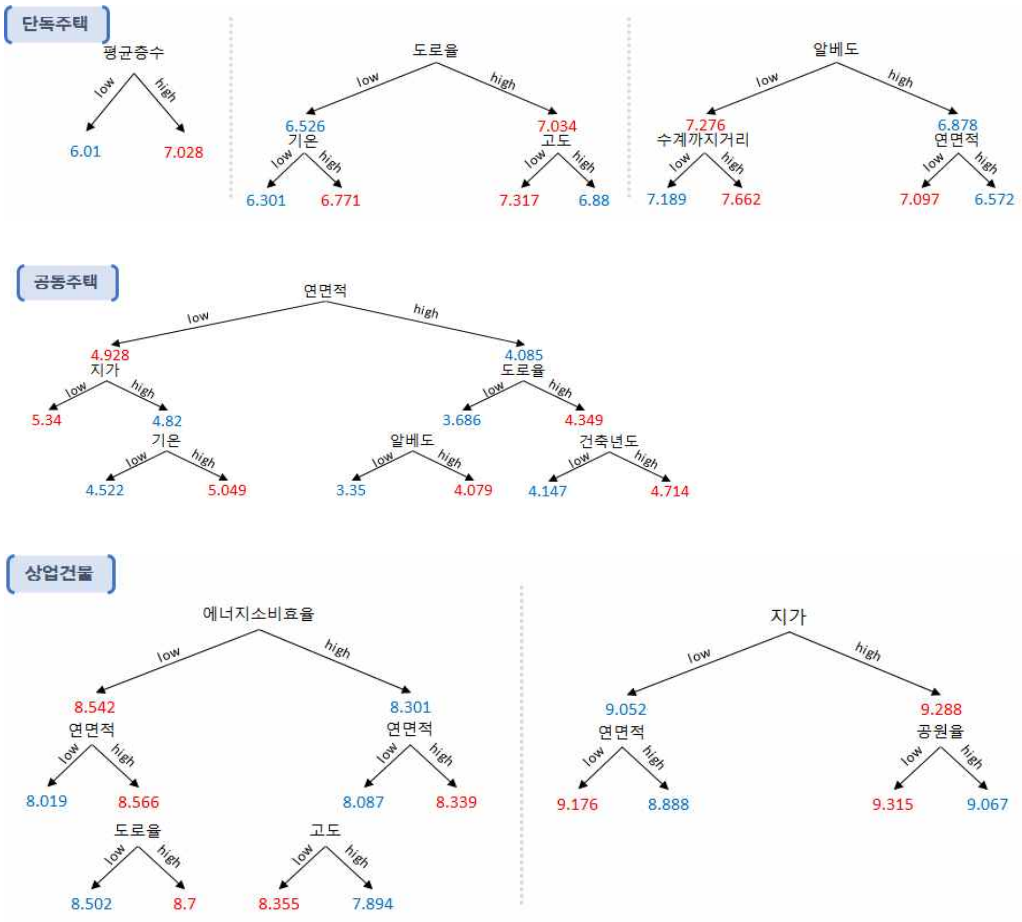
▌그림 2-74▐ 의사결정 회귀 결과

- 모든 트리구조를 해석하기에는 한계가 있으므로 주요 트리구조를 중심으로 분석결과를 해석함. 도시열저감요소와 관련한 의사결정 회귀 주요 트리구조는 다음과 같음. 모든 노드에서 해당되는 사항은 아니지만, 일반적으로 기온이 높고, 기온증감률이 클수록 에너지소비량이 많음. 알베도가 높고, 필지 내 조경면적율이 높으면 에너지소비량이 적으며, 공원까지거리가 가깝거나 공원율이 높을수록 에너지소비량이 낮음



▌그림 2-75▐ 의사결정 회귀 주요 트리구조

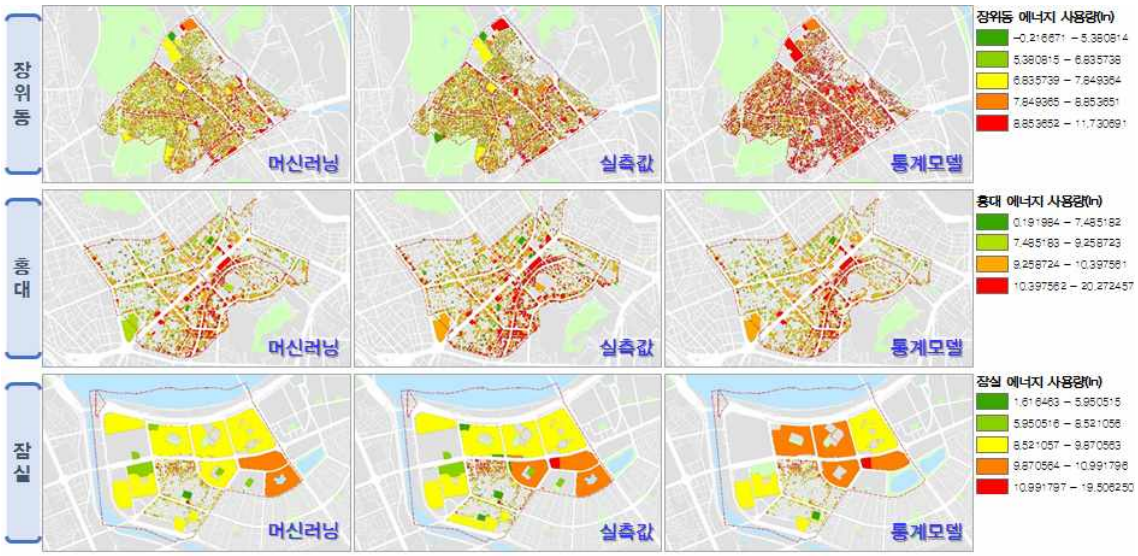
- 각 건물유형별 주요 트리를 정리하면, 단독주택의 경우 평균층수가 높으면 에너지소비량이 많음. 또한 도로율이 높고 고도가 낮을수록 에너지소비량이 많음. 알베도는 낮을수록 수계까지 거리가 멀수록 에너지소비량이 많음
- 공동주택은 연면적이 작고, 필지주변 도로율이 낮으며, 알베도가 낮을수록 에너지소비량이 낮음
- 상업용 건물은 에너지소비효율이 높고 연면적이 낮으며 고도가 높을수록 에너지소비량이 낮음. 또한 지가가 낮고 연면적이 클수록 에너지소비량이 낮음



▌그림 2-76▐ 건물유형별 주요 트리구조

❑ 통계모델과 머신러닝 건물에너지소비 추정결과 비교

- 건물에너지 사용량 추정모델의 성능 평가를 위해 통계모델과 머신러닝의 추정결과를 비교함. 각 모델은 서울시 전역에 있는 약 117,000개 필지를 대상으로 적용하고, 실제 냉방에너지소비량과 추정된 냉방에너지소비량의 분포를 연구대상지(장위동, 홍대, 잠실)를 중심으로 비교함
- 대상지의 에너지사용량 실제값과 추정값의 분포는 아래 그림과 같음. 장위동의 경우, 가로를 중심으로 에너지사용량이 높게 나타남. 이는 머신러닝의 추정결과에 매우 유사한 분포를 보임. 반면 통계모델은 과추정되는 경향을 보이며 장위동의 에너지소비량이 대체적으로 높게 나타남
- 홍대의 경우, 실제값, 머신러닝 추정값, 통계모델 추정값이 매우 유사한 분포를 보임



▌그림 2-77▐ 머신러닝과 통계모델 에너지 추정결과 비교

4) 시사점

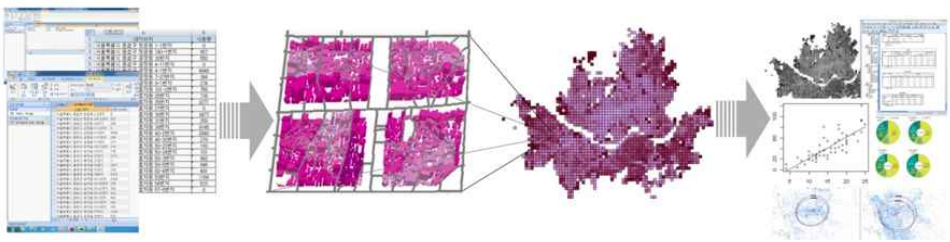
- 도시 열저감 요소별 에너지 사용량 저감 기여도 분석을 위해 에너지 사용량과 관계있는 열발생·저감 요소를 선행연구 고찰과 실증연구를 통해 확인함
- 또한, 방대한 도시 열저감과 발생요소에 대한 Data의 관리와 변수 선정에 있어 반복적 과정을 최소화하고 자동화된 산출과정을 위해 DB관리 시스템을 개발함
- 도시에너지사용량 DB관리시스템은 분석데이터에 대한 GIS 적용 기능을 구현뿐만 아니라 에너지소비 모니터링이 가능하기 때문에 활용가능성이 높음
- 이러한 기술적 개발을 바탕으로 본 연구성과는 도시의 토지이용과 인간의 활동에 의해 형성되는 에너지 소비에 관계성을 확인할 수 있으며, 도시 열 개선 기여와 도시 에너지 사용 저감효과를 계량적으로 분석할 수 있음

나. 도시 열 개선에 따른 에너지 사용 저감량 산정기술 개발

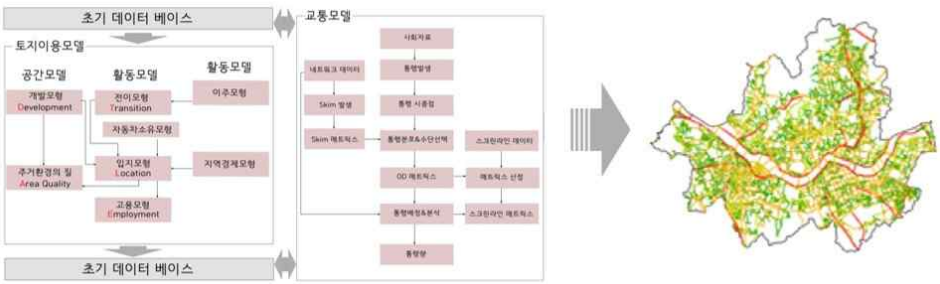
1) 도시 열저감에 따른 도시에너지 저감량 산정모듈 개발

❑ 순에너지 저감량 산정방법 개발

- 건물에너지 저감량 산정방법
  - 건물에너지 소비 데이터 공간 DB화로 통계기법을 통한 에너지 저감량 산정 구상안 도출
- 교통에너지 변화량 산정방법
  - 토지이용교통모델을 이용한 교통에너지 변화량 산정 구상안 도출
- 순에너지 저감량 산정방법 구상안
  - 순에너지는 건물에너지와 교통에너지의 합을 나타내는 에너지로서 건물 및 교통 에너지 저감을 통하여 순에너지 저감을 도출할 수 있음



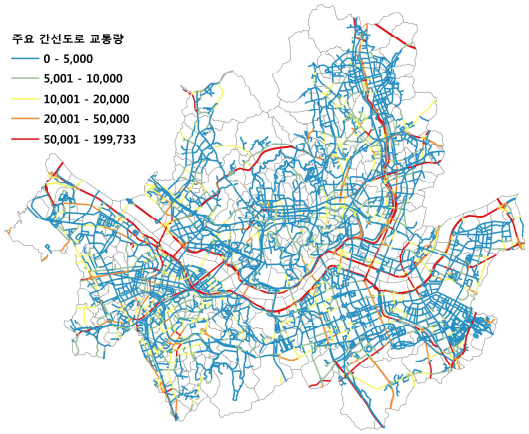
<건물에너지 저감량 산정 구상안>



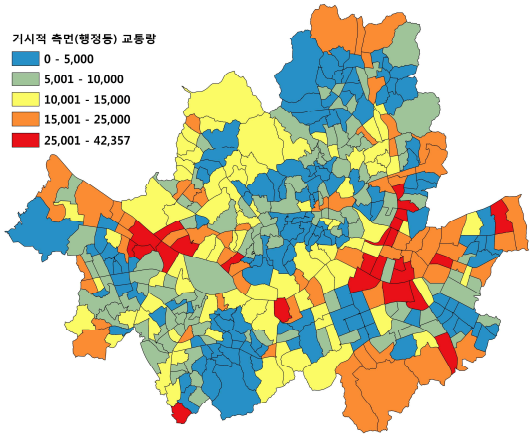
<교통에너지 변화량 산정 구상안>

❑ 행정동단위 교통에너지 산출

- 거시적 측면의 교통량은 KTDB 도로망 data인 LLV2인 주요 간선도로급 교통량을 산정하였음. 산정되어진 간선도로 교통량을 행정동 단위로 합산하여 행정동 단위 교통량을 산정함



▌그림 2-78▐ 주요 간선도로망 KTDB 도로망 LLV2 교통량 산정 결과



▌그림 2-79▐ 거시적 측면(행정동) 교통량 산정 결과

❑ 교통에너지 산출방법과 거시적 측면 교통에너지 산출

- 휘발유 등 유류 소비량의 통계자료는 구(區)단위로 제공되고 있으며, 차량의 통행 행태는 운전자의 자율의지가 내포되어 있어 행정동 단위까지 적용하기에는 한계성이 있어, 에너지관리공단에서 제공되고 있는 「자동차 에너지효율 분석집」의 평균연비(노승철・이희연, 2013)를 활용하여 산출하였음

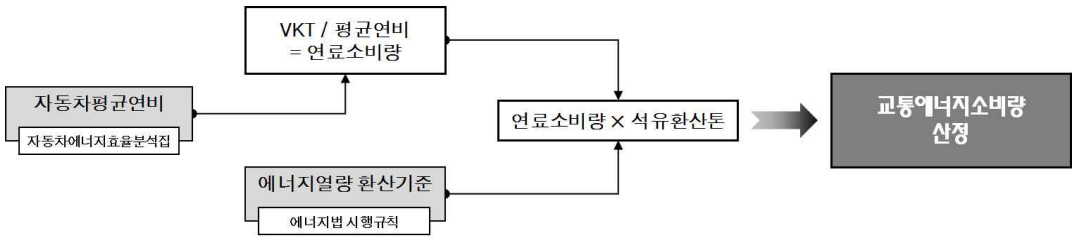
  - 2015년 기준 도심 평균연비: 14.03km/L

- 차량의 에너지소비는 통행거리에 비례하여 나타남으로 총 차량이동거리인 VKT를 산정함

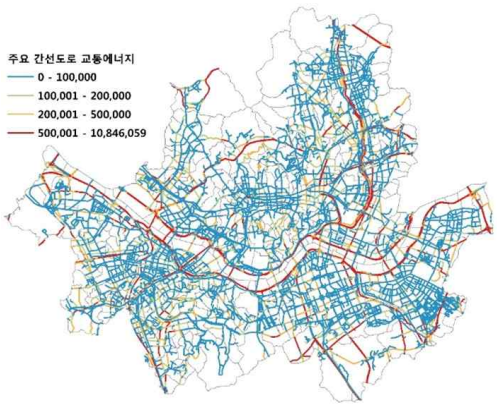
  - 총 교통량 × 이동거리(도로연장) = VKT

- 차량의 유류소비량에 대한 교통에너지 산출을 위해 「에너지법 시행규칙」 제5조 제1항의 에너지 열량 환산기준을 적용하여 석유환산톤(TOE)로 환산하여 교통에너지소비량을 산출하였음

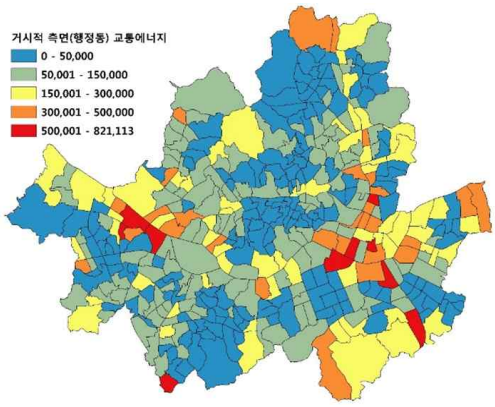
  - 휘발유 기준 1리터 당(총 발열량) → 0.778 10-3toe



▌그림 2-80▐ 교통에너지 소비량 산출 과정



▌그림 2-81▐ 간선도로망 KTDB 도로망 LLV2 교통에너지 산출 결과



▌그림 2-82▐ 거시적 측면(행정동) 교통에너지 산정 결과

2) 도시 열 저감에 따른 도시에너지 저감량 산정기술 개발

❑ 열 저감에 따른 건물에너지 산정식 개발

- 단독주택 에너지소비량 산출식

– 전기소비량(단독주택): 연면적, 건폐율, 건물노후도, 지가, 도심(3핵), 고도, 공원녹지, 오픈스페이스, 수계율, 도로율, 미시교통량, 온도, 습도, 기타의 함수

$$TB_i^1 = f(FA, BCR, HO, LP, CR, CON, GR, OS, WA, RO, TR, TE, HU, Etc)$$

- 공동주택 에너지소비량 산출식

– 전기소비량(공동주택): 연면적, 건폐율, 건물노후도, 지가, 도심(3핵), 고도, 공원녹지, 수계율, 미시교통량, 온도, 습도, 기타의 함수

$$TB_i^2 = f(FA, BCR, HO, LP, CR, CON, GR, WA, TR, TE, HU, Etc)$$

- 상업업무건물 에너지소비량 산출식

– 전기소비량(상업업무): 연면적, 건물노후도, 지가, 역세권, 버스노선, 도심(3핵), 고도, 공원녹지, 수계율, 미시교통량, 온도, 습도, 기타의 함수

$$TB_i^3 = f(FA, HO, LP, SA, BUS, CR, CON, GR, WA, TR, TE, Etc)$$

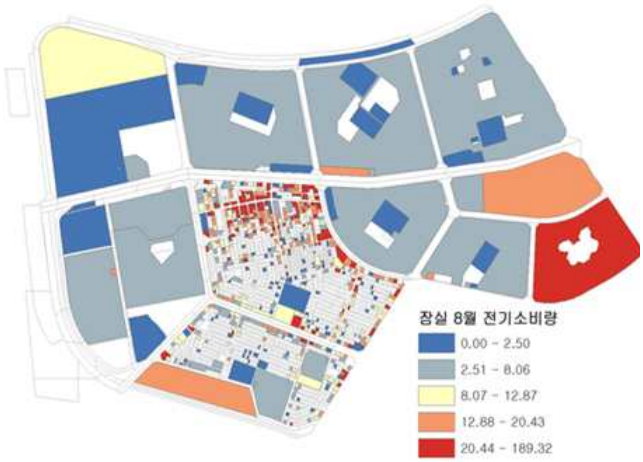
- 대상지별 회귀모형 적용

– 건물유형별 전기에너지 소비에 영향을 주는 요인은 다소 차이가 있음

– 분석모형의 설명력이 낮게 나타났으며, 이는 대상지에 국한하여 모형을 적용하였기 때문에 지역적 동질성이 분석모형의 적합도를 낮추는 것으로 판단됨

– 연구대상지1인 잠실동은 공동주택의 중심으로 분포하고 있으며, 회귀모형을 제시한 결과, 설명력이 83.2%가 나타남

- 전기에너지 소비증가에 영향을 주는 변수는 건물연면적, 주요도로까지 거리이며, 전기에너지 소비감소에 영향을 주는 변수는 건물수밀도임



구 분	표준화계수
평균온도	0.078
평균습도	0.052
건물수밀도	**-0.711*** **
건물연면적	**0.723****
수계까지 거리	-0.197
공원까지 거리	-0.098
주요도로까지 거리	**0.271***
고도	0.058
공시지가	-0.041
건물노후도	0.187
대지면적	-0.435

R^2 = 0.832
*sig<0.1, **sig<0.05, **sig<0.01

❙그림 2-83❙ 연구대상지1. 잠실동 – 공동주택중심

- 연구대상지2인 마포구지구단위계획지구인 서교동·동교동은 상업·업무 중심으로 분포하고 있으며, 회귀모형을 제시한 결과, 설명력이 11.8%가 나타남
- 전기에너지 소비증가에 영향을 주는 변수는 평균온도, 건물수밀도, 수계까지 거리, 주요도로까지 거리, 공시지가, 건물노후도이며, 전기에너지 소비감소에 영향을 주는 변수는 건물연면적, 고도임



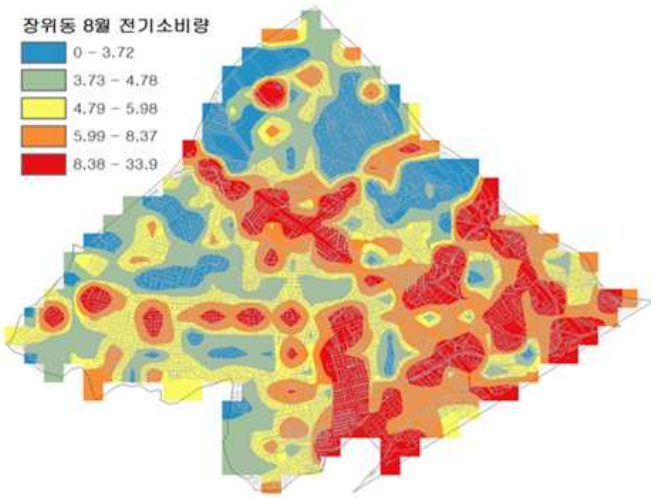
구 분	표준화계수
평균온도	**0.133*** **
평균습도	-0.037
건물수밀도	**0.051***
건물연면적	**-0.136*** **
수계까지 거리	**0.121*** **
공원까지 거리	-0.041
주요도로까지 거리	**0.059****
고도	**-0.082****
공시지가	**0.237*** **
건물노후도	**0.144*** **
대지면적	0.029

R^2 = 0.118
*sig<0.1, **sig<0.05, **sig<0.01

❙그림 2-84❙ 연구대상지2. 마포구 지구단위계획지구 – 상업·업무중심

- 연구대상지3인 장위동은 단독주택 중심으로 분포하고 있으며, 회귀모형을 제시한 결과, 설명력이 13.0%가 나타남
- 전기에너지 소비증가에 영향을 주는 변수는 평균온도, 수계까지 거리, 공원까

지 거리, 고도, 공시지가이며, 전기에너지 소비감소에 영향을 주는 변수는 평균습도, 건물연면적, 주요도로까지 거리임



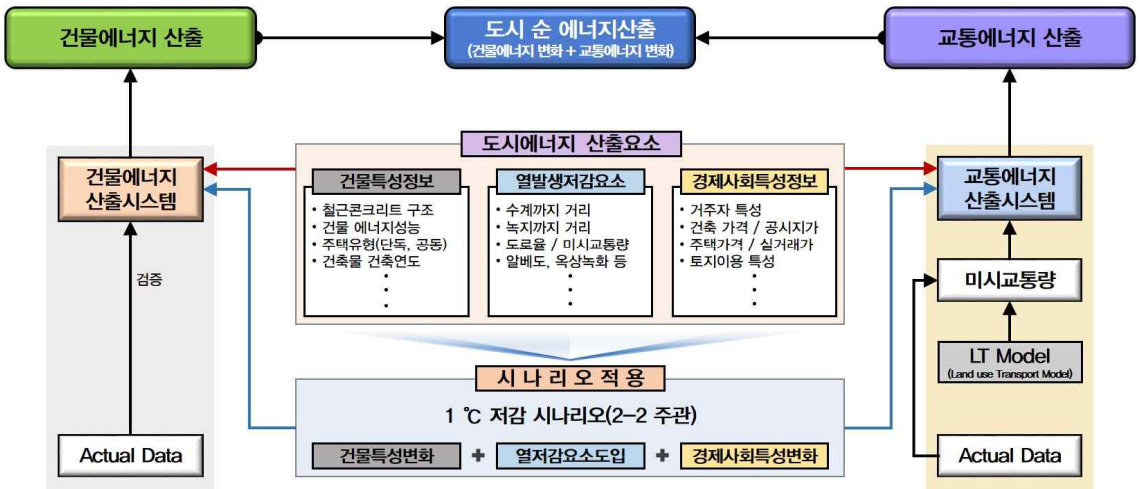
구 분	표준화계수
평균온도	**0.064*** **
평균습도	**-0.104*** **
건물수밀도	-0.014
건물연면적	**-0.070*** **
수계까지 거리	**0.125*** **
공원까지 거리	**0.181*** **
주요도로까지 거리	**-0.033** **
고도	**0.123*** **
공시지가	**0.272*** **
건물노후도	-0.012
대지면적	0.005

R^2 = 0.118
*sig<0.1, **sig<0.05, ***sig<0.01

❙그림 2-85❙ 연구대상지3. 장위동 – 단독주택중심

❑ 도시 열 저감에 따른 부문별 에너지 저감량 산출식 개발

- 도시 열 저감에 따른 에너지 저감량은 건물부문의 저감량과 교통부문의 저감량을 동시에 고려하여 순 에너지의 변화량으로 결과물을 도출함
- 도시 열저감에 따른 순 에너지 저감량을 산출하는 방법은 온도저감 시나리오(CTE2-4)에 따른 도시공간의 변화조건을 에너지소비량 산정식(CTE1-5)에 적용하여 도출함
- 열저감에 따른 도시 순에너지 저감량 산정기술



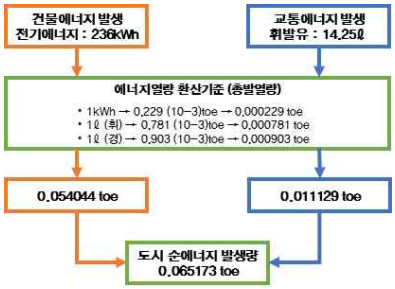
❙그림 2-86❙ 도시 순에너지 산출 개요

❑ 도시 열 저감에 따른 순 에너지 저감 산정모듈 개발

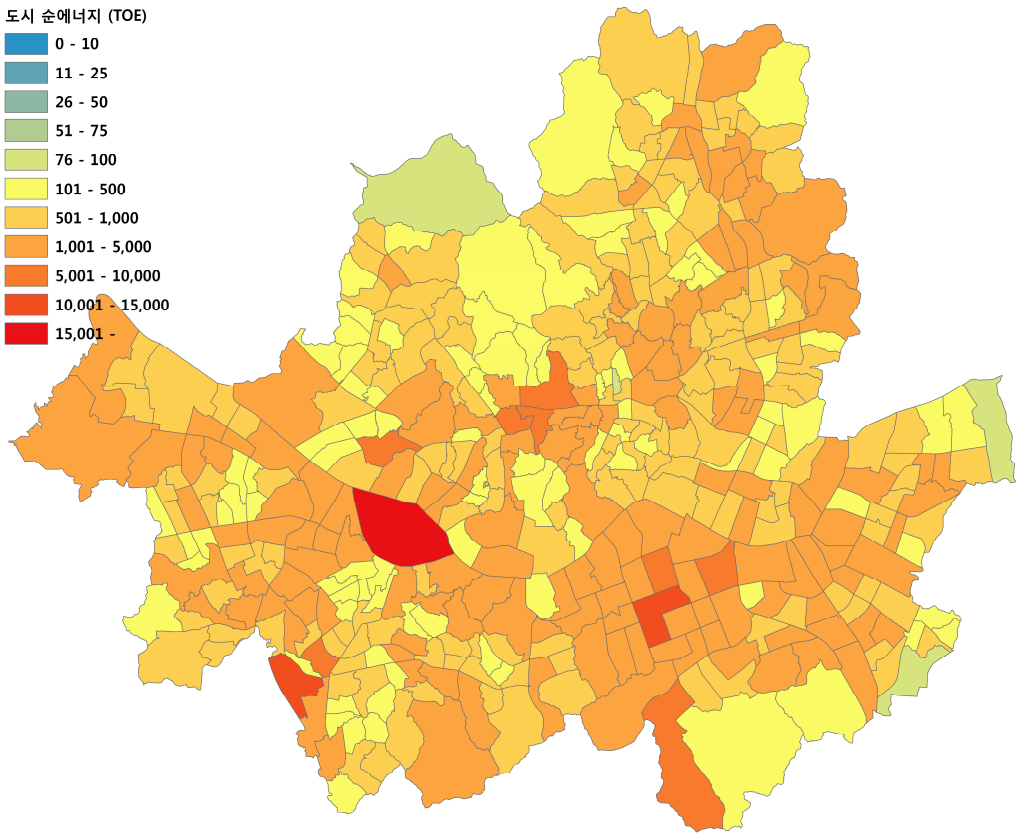
- 건물에서 사용되는 에너지는 전기에너지로 에너지 원단위는 kWh이며, 교통부분에서 사용되는 유류(油類)의 원단위는 ℓ로써, 에너지 단위에서 차이가 있음
- 이에 따라, 도시 순 에너지 산출에 있어서 원단위를 「에너지법 시행규칙」의 에너지열량 환산기준과 국제에너지기구(IEA)에서 권고하고 있는 TOE로 일원화하여 적용함
- 에너지열량 발열량은 「에너지시행규칙」의 총발열량으로 산정하였음

구분	에너지원	단위	총발열량			순발열량		
			MJ	kcal	석유 환산톤 (10^{-3}toe)	MJ	kcal	석유 환산톤 (10^{-3}toe)
전기 등	전기 (소비기준)	kWh	9.6	2,290	0.229	9.6	2,290	0.229
석유	휘발유	ℓ	32.7	7,810	0.781	30.4	7,260	0.726
	경유	ℓ	37.8	9,030	0.903	35.2	8,410	0.841

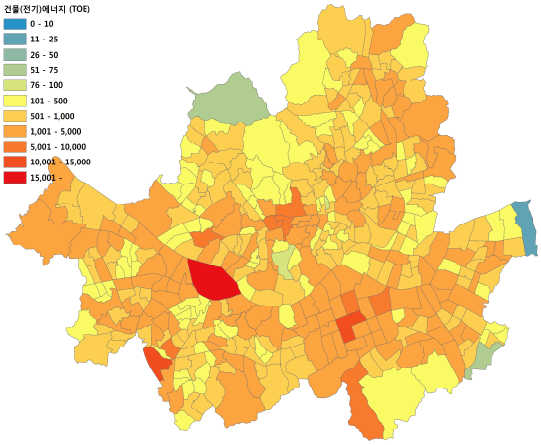
▌그림 2-87▐ 에너지열량 환산기준 (에너지법 시행규칙 제5조 제1항 관련)



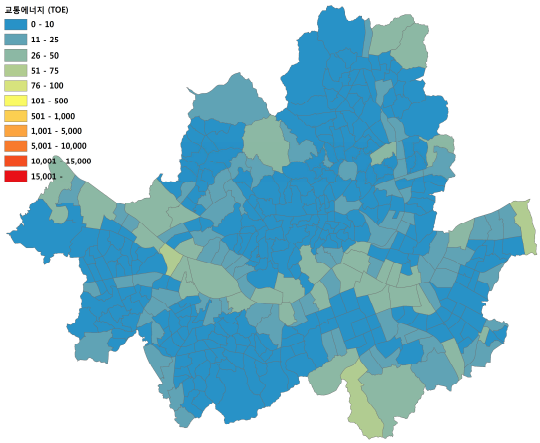
▌그림 2-88▐ 도시 순 에너지 TOE 산출 방법



▌그림 2-89▐ 서울시 거시적 측면(행정동 단위) 도시 순 에너지 산정 결과



▌그림 2-90▐ 건물(전기)에너지 TOE 산정 결과

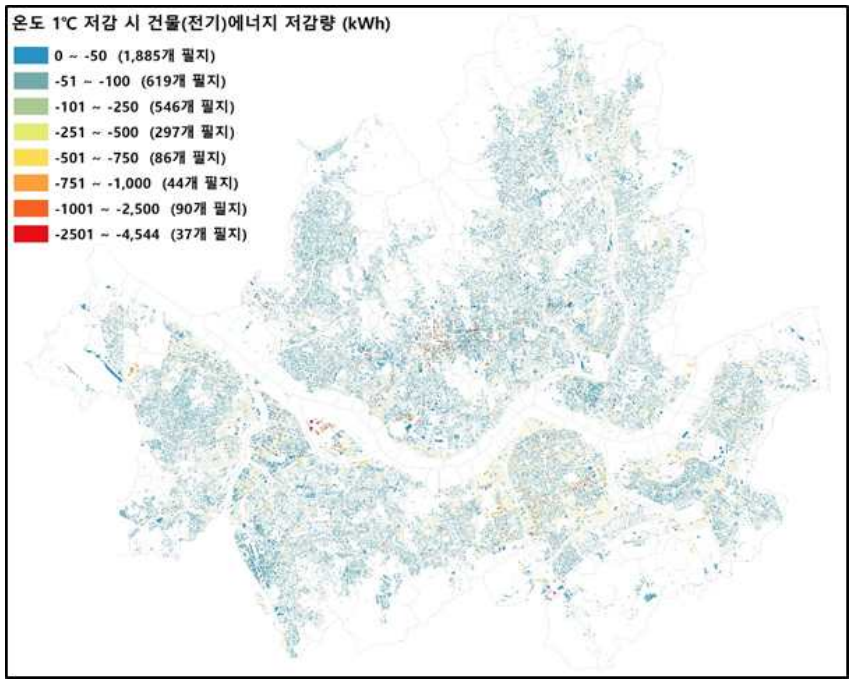


▌그림 2-91▐ 교통에너지 TOE 산정 결과

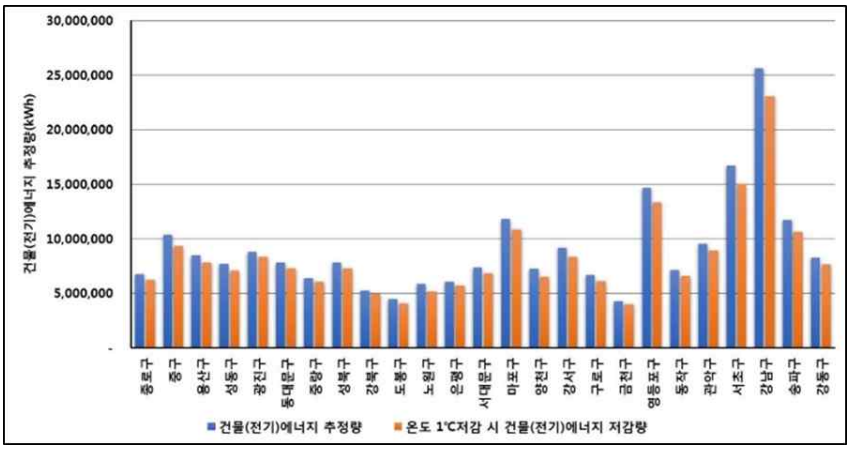
❑ 에너지 저감량 산정기술 고도화

- 의사결정나무회귀에 기반한 산정기술을 바탕으로 온도 저감에 따른 건물 에너지 저감량을 산출함

– 서울시 8월 온도 1℃ 저감 시 건물(전기)에너지 저감량: 18,779MWh



▌그림 2-92▐ 온도 1℃ 저감에 따른 건물에너지 저감량(kWh)



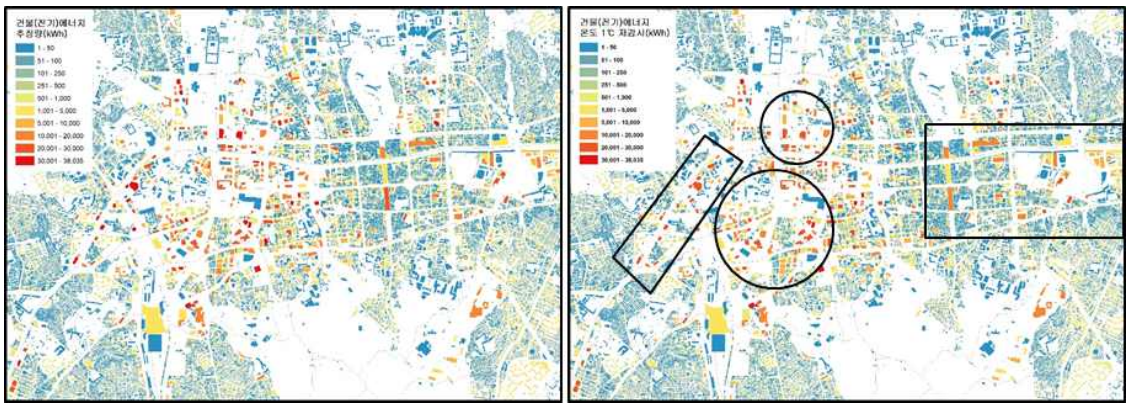
▌그림 2-93▐ 서울시 자치구별 건물에너지 추정량과 저감량

- 서울시 자치구별 저감량 추이(kWh) 상위 5개구는 다음과 같음

▌표 2-35▐ 서울시 자치구별 에너지 저감 상위 5개 구

자치구명	저감량(kWh)
강남구	2,583,989
서초구	1,705,117
영등포구	1,334,429
송파구	1,091,438
중구	1,029,837

- 이상의 산정기술을 바탕으로 서울 종로일대 감소량을 비교한 결과는 다음과 같음(2015년 8월 기준)

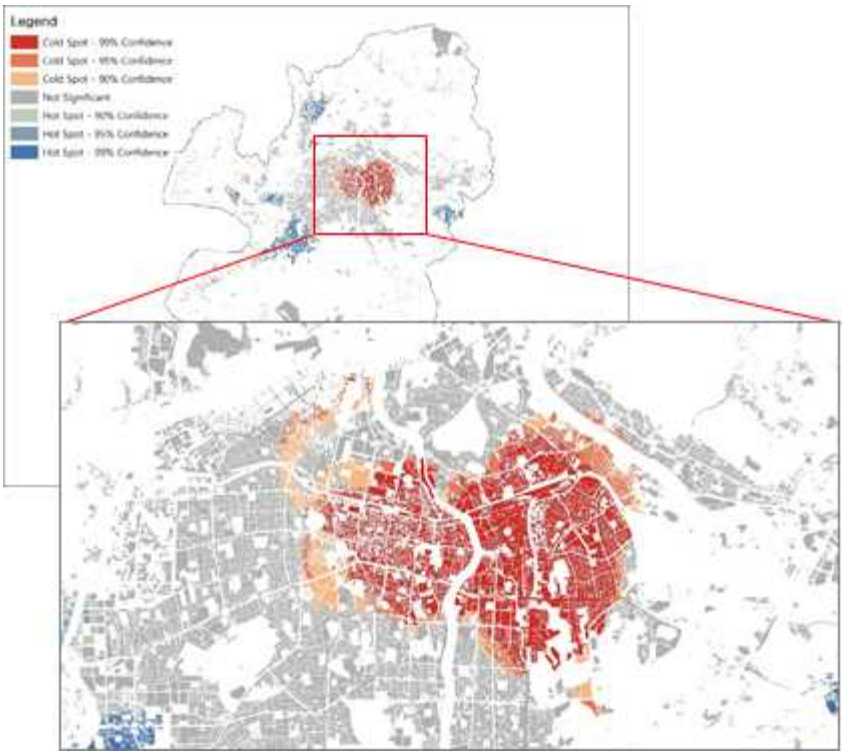


▌그림 2-94▐ 서울시 종로구의 건물에너지 저감량

- 2015년 가구 평균 전력 사용량이 많은 월은 8월로 나타남
  - 평균 전력사용량: 278,16kWh, 평균 전기요금: 42,880원

• 2015년 8월 1℃ 저감 시 서울시 전체 저감량: 18,778,914kWh
- 평균 전력사용량 적용 시 67,511 가구 전력사용량
- 평균 전기요금 적용 시 2,894,880,041원 (약 28억원) 절감효과 확인

• 또한 에너지 저감 양상은 다음과 같이 Hot-spot 분석을 통해 공간적으로 밀집하는 분포를 갖는 것을 실증적으로 확인함



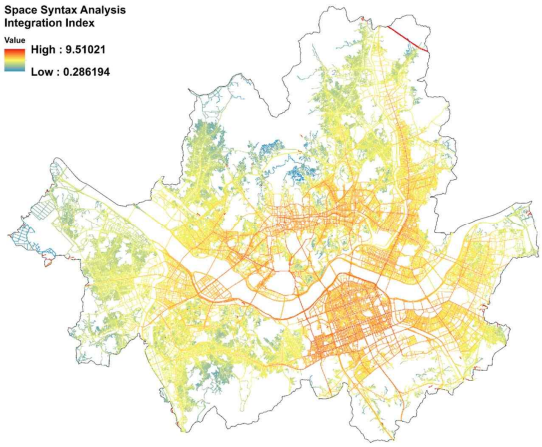
▌그림 2-95▌ 에너지 저감 양상의 공간적 밀집 특성 분석 (대구시)

3) 도시 열발생·저감 모니터링 시스템 세부모듈 개발

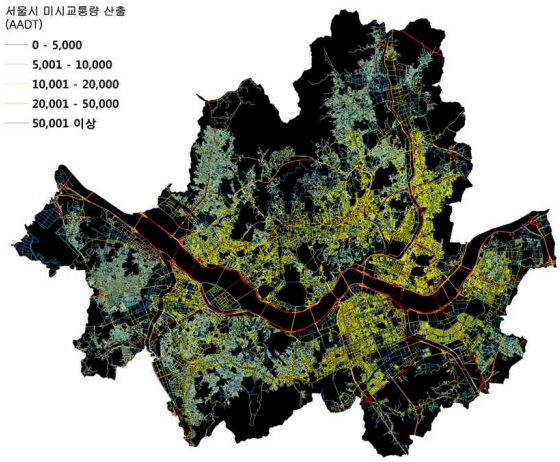
❑ 미시교통량 산출

• 교통량의 주요 발생요인인 토지이용별 건물용도(주거, 상업, 업무 기능)에 따른 교통량 산출
- 도로망의 교통량을 요인인 접근성을 서울시 미시적 단위 도로망을 통합적으로 분석하여 도출함
- Space Syntax의 분석 지표 중 접근성 지표인 통합도(Integration) 중 전체 통합도(Global Integration)를 서울시 미시적 단위 도로망까지 통합적으로 분석하여 도출함
- 접근성 도출 결과, 서울시 강남구와 종로구 일대의 접근성이 높게 나타났으며, 서울시 외곽으로 갈수록 접근성이 낮은 것으로 분석됨

- 서울시 미시교통량의 배분을 위한 접근성의 고도화가 필요하며, 이를 위해 서울을 한정한 접근도 산출보다 설정범위를 확장한 접근성 도출이 필요함
- 또한, 전체 통합도(Global Integration)외 국부 통합도(Local Integration), 명료도를 적용한 분석이 필요함



▌그림 1-96▌ 서울시 미시적 단위 도로망 접근성 도출(Global Integration)



▌그림 1-97▌ 서울시 미시교통량 산출

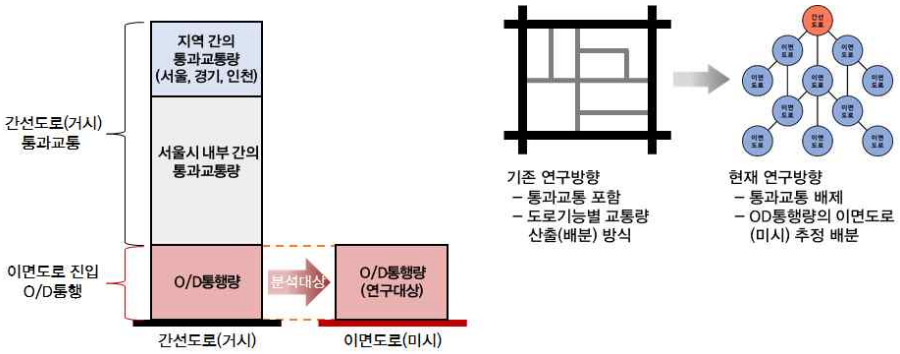
- 서울시 미시적 단위 도로망의 접근성을 나타내는 Global Integration(아래 식)을 활용하여 미시교통량을 산출하였음
  - 추정된 미시교통량을 검증하기 위해, 국토교통부의 「(제6차 개정) 교통시설 투자평가지침, 2017」의 "도로 현황정산을 위한 허용오차 기준"을 적용하였음
  - 허용오차식에 의한 정산기준 산정식은 다음과 같으며, 적용 기준 중 "일교통량 5천대 미만-기타"를 적용하여 허용오차를 30%로 설정함

$$\epsilon(\%) = \frac{f_l^{est} - f_l^{obs}}{f_l^{obs}} \times 100$$

  - f_l^{est}은 통행배정 분석 결과에 의한 링크의 예측교통량이고, f_l^{obs}은 링크의 관측교통량임
  - 20개의 관측교통량 지점에 대한 검증 결과, 평균 허용오차가 28.32%로 나타나 미시교통량의 검증치는 달성하였으나, 개별 검증지점에 따라 허용오차의 편차가 최소 0.35%, 최대 51.80%로 나타남
  - 미시교통량는 차년도 연구의 순에너지 도출에서 중요한 요인으로서 고도화된 방법이 필요함
  - 이에 따라, 미시교통량 배정의 고도화를 위해 블록단위 배분 방법론을 도출함

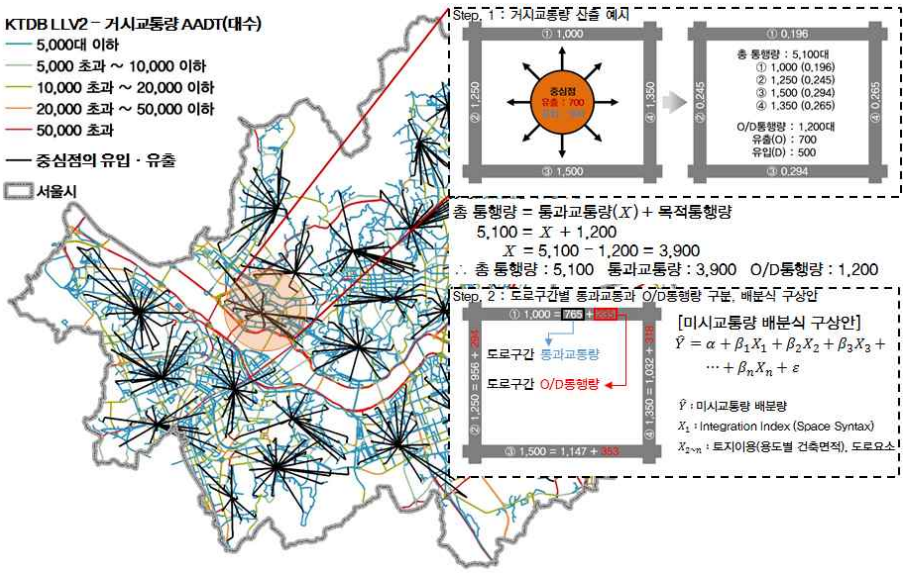
❑ 미시교통량 배정 고도화 방법론 설정

- 토지이용-교통모델을 활용하여 산정한 거시교통량의 간선도로 교통량을 기반으로 미시교통량을 배분함
- 통과교통량은 도로구간 전체 통행량 중 중심점의 유입과 유출 교통량(O/D교통량)을 제외한 교통량을 선정함



▌그림 2-98▐ 통행교통량과 도로망 기준

- 기존 연구방법은 간선도로(거시)와 이면도로(미시)에 대한 도로 기능을 구분하여 미시교통량을 배분함
- 통과교통 배제로 간선도로의 O/D통행량을 이면도로(미시)교통량을 추정 배분하는 산출식을 도출함

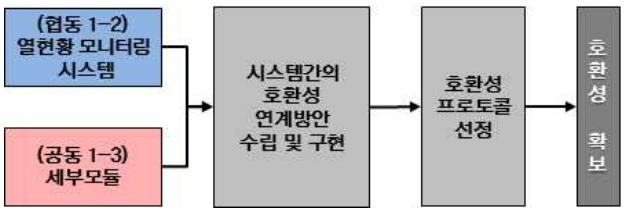


▌그림 2-99▐ O/D통행량과 통과교통량 산출 예시

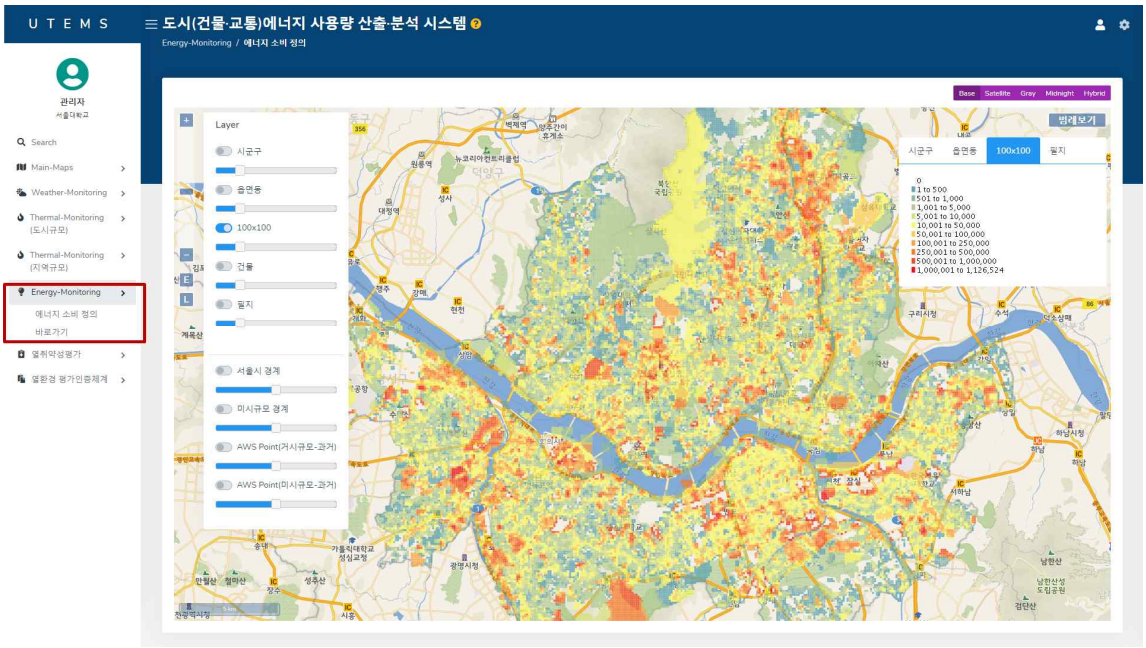
- 미시교통량 배분을 위해 블록 단위 접근으로 배분방법을 설정함
- 거시적 교통존(TAZ)의 센트로이드(Centroid)을 중심으로 추정된 거시적 측면의 교통량과 센트로이드의 유입·유출 교통량으로 간선도로(거시)의 통과교통량과 목적통행량을 구분함
- 간선도로(거시)를 중심으로 블록 단위 미시교통량을 배분함
- 가구통행실태조사자료를 바탕으로 통행(교통)발생 요인(토지이용- 건물용도)을 도출함

❑ 세부모듈과 모니터링 시스템과의 연계방안

- 1세부의 모니터링 시스템과 세부모듈인 도시에너지사용량 DB관리시스템 간의 연계방안을 설정함
- 두 개의 시스템 간의 연계방안을 설정을 위해, 두 가지 연계방안을 설정함
  - 첫째, 열현황 모니터링 시스템과 세부모듈(도시에너지사용량 DB관리시스템) 간의 연계성을 API와 SHP 적용
  - 둘째, 도시(건물·교통)에너지 분석 특성상 SHP를 활용하여, 모니터링 시스템에 표출하며, 그 외 도시에너지사용량 DB관리시스템의 데이터는 사용자가 직접적인 접근으로 시스템 사용 유도 방안 설정



▌그림 2-100▐ 모니터링 시스템과 세부모듈 간의 연계 프로세스



▌그림 2-101▐ 모니터링 시스템과 세부모듈 간의 연동화면

❑ 시스템 세부모듈 고도화

- 모니터링 시스템과의 시각적 연계성 강화를 위해 기존 시스템의 UI을 변경하여 적용함
- 모니터링 시스템의 수요자평가 조사에서 가독성의 문제 제기로 UI를 변경하였으며, 이에 따라 세부모듈 UI를 변경함. 또한, 세부모듈은 도시정보 데이터가 탑재되어 있어 이에 따른 가독성을 위해 변경함
- 또한, 기존 세무모듈의 도시정보 데이터 표출의 고도화함
- 기존 도시정보 데이터의 표출에서 이상값 또는 Null 값의 표출 등으로 사용자의 가독성을 저해시켜 이를 개선하였음



▌그림 2-102▐ 데이터 표출 정확도 향상 알고리즘

- 분석도구 관리 등 시스템상 분석기능에서 지도표출, 분석 결과값에 대한 정확도를 개선함으로써 데이터 위치, 공간분석, 지도표출 정확도를 향상시킴

4) 시사점

- 본 연구성과는 도시열저감 요소 자료와 도시 열저감 효과·에너지 사용량 자료를 활용하여 에너지 사용량 분석, 도시 열저감 요소별 에너지 사용량 저감 기여도 분석, 에너지 저감량 산정모형 등의 성과를 도출함
- 이러한 연구성과는 CTE 1-5의 DB관리시스템에 탑재되며, 도시 열발생·저감 모니터링 시스템과의 연계기술을 적용하여 통합적 분석 결과 제시 가능
- 건물부문 도시열 저감 안을 반영한 도시 열환경 분석예측 시뮬레이션 결과와 DB관리시스템의 DB를 활용하여 건물부문 에너지 사용 저감효과 분석 가능
- 또한, DB 내 교통 통행량 별 모니터링 관련 데이터를 바탕으로 교통 수단별 에너지 사용 저감효과 원단위 도출 가능

4. 기후변화 적용 및 열섬저감을 위한 도시 조성기법 가이드라인 개발 및 제도개선(안) 제시

가. 저열섬도시 조성을 위한 제도 개선안

1) 도시 열환경 계획·설계·관리 가이드라인

❑ 열환경 개선 가이드라인 현황 검토

• 조사목적

- 도시 열환경 개선(열섬저감)을 위한 도시계획(거시 : 도시전체) 및 설계(미시 : 단지 및 건물군)에 적용할 수 있는 가이드라인을 개발하는데 있어 실수요자 대상 가이드라인 수립 시 고려사항 및 도시 열환경 문제 인식 파악을 통한 도시계획업무 활용여부에 중점을 둔 조사임

• 조사방법 및 대상

- 지자체 도시계획 업무담당자와 도시계획기술사 협회의 협조를 받아 도시계획 관련 민간기업 대상 우편을 통한 설문조사 실시
- 지자체 대상 2차례 우편조사 실시(2016년, 2017년) : 56부 회신(서울시, 부산시, 대구시, 인천시 등 56개 지자체)
- 민간기업 대상 1차례 우편조사 실시 : 61부 회신(특별시 및 광역시 57부, 충청도 2부, 전라도 2부 총 61부)

• 가이드라인 관련 설문조사

- **(문항1) : 현재 도시 열환경(열섬)문제가 심각하다고 생각하십니까?**
  지자체와 민간기업 모두 심각하다(지자체:64.3%/민간기업:65.6%)는 답변이 가장 높은 것으로 나타났으며, 심각하지 않다(지자체:1.8%/민간기업:0%)라는 의견은 아주 적은 것으로 나타남
- **(문항2) : 현재 귀 기관의 업무(도시계획, 설계, 건축, 조경 등)에서 도시 열환경(열섬)문제를 고려하고 있습니까?**
  지자체의 경우 '고려하고 있지 않다(지자체:39.3%)', 민간기업의 경우 '경우에 따라 고려하고 있다(민간기업:44.3%)'라는 의견이 가장 높았으며, '매우 고려하고 있다(지자체:1.8%)'는 의견과 '전혀 고려하고 있지 않다'(지자체:1.6%)라는 의견이 가장 낮은 것으로 나타남
- **(문항3) 도시계획 수립 및 설계 시 도시 열환경(열섬문제) 문제를 고려할 필요가 있다고 생각하십니까?**
  지자체는 '경우에 따라 필요하다'(지자체:42.9%)라는 의견이 가장 높았으며, 민간기업의 경우 '필요하다'(민간기업:55.7%)라는 의견이 가장 높았음. 반면 '전혀 필요하지 않다'(지자체:1.8%/민간기업:0%)라는 의견이 가장 적게 나타나

열환경 문제를 고려할 필요성을 인지하고 있는 것으로 해석됨

- **(문항4)현행 도시계획 법·제도상 도시 열환경 계획 및 설계관련 내용이 충분히 고려되어 있다고 생각하십니까?**
  지자체는 '고려되어 있지 않다'(지자체:44.6%)라는 의견이 가장 높았으며, 민간기업의 경우 '경우에 따라 고려되어 있다'(민간기업:44.3%)라는 의견이 가장 높았음
- **(문항5) 도시 열환경 설계 시스템이 개발 될 경우 가장 적합하게 사용될 수 있는 공간 계획상 수립단계는?**
  지자체의 경우 도시·군 기본계획 및 관리계획 수립단계(지자체:37.5%)의 비율이 가장 높았고, 민간기업의 경우 지구단위 수립단계(민간기업:44.3%)의 비율이 가장 높았음

- 지자체와 민간기업 모두 (문항 1)에서 도시 열환경 문제가 심각하다는 인식이 높은 것으로 나타났지만 (문항 2)에서는 업무적인 측면에서 도시 열환경 문제를 '고려하고 있지 않다' 혹은 '경우에 따라 고려하고 있다'라는 응답이 가장 높았음. 이는 도시 열환경 문제의 심각성을 인식하고는 있으나, 대응할 수 있는 법과 제도의 부재가 가장 큰 원인으로 판단됨
- 도시 열환경 문제를 도시계획 수립 및 설계 시 고려해야 한다는 의견이 가장 높게 나타났으나, 현행 도시계획 법·제도상에서 충분히 고려가 되어 있지 않은 것으로 나타남, 이는 현행 도시계획 수립 및 설계 시 도시 열환경 문제를 고려하기 위해서는 법·제도적인 장치가 시급히 마련되어야 할 것으로 판단 할 수 있음
- 열환경 설계 시스템이 개발 될 경우 가장 적합하게 사용될 수 있는 공간계획상의 수립단계로는 지자체의 경우 도시·군 기본계획 및 관리계획 수립단계의 응답률이 가장 높게 나타났으며, 민간기업의 경우 지구단위계획 수립단계에서 적합하게 사용 될 수 있는 답변이 가장 높은 응답률을 보이고 있음. 이는 가이드라인 수립 시 도시·군 기본계획 및 관리계획, 지구단위계획을 공간위계로 설정하는 것이 적합한 것을 나타냄

❑ 지자체와의 연구성과 적용에 대한 협의

• 지자체 방문 인터뷰 의견요약(서울특별시, 부산광역시, 대구광역시 등)

- 도시 열환경을 효율적으로 관리하기 위해서는 도시기본계획부터 지구단위계획까지 통합 연계되어 관리 할 수 있는 개선방안 수립이 필요함
- 열 환경 관련 제도안 도입에 대해 기본적으로 새로이 추가되는 규제로 인식하는 경향이 짙으므로 도시계획 업무에 기틀이 되는 도시기본계획, 도시관리계획, 지구단위계획 상에 현재 명시되어 있는 법령 수정을 통해 도시계획 업무에 활용 할 수 있는 형태의 제도가 수립되어야 함
- 도시 열환경을 효율적으로 관리하기 위한 규제는 도시기본계획이나 도시관리계획 상에서의 열환경 해결방법의 접근보다는 지구단위계획 상에서의 개선방안을 제시해주어야 할 것으로 판단됨

- 법·제도적 정비를 통해 제도 활성화를 위해서는 각 지자체의 도시계획담당 부서의 열환경 전문조직 및 인력 배치가 필요함
- 법·제도적인 규제가 필요하며 국토의 계획 및 이용에 관한 법률상에 구체적인 규제사항들을 제도화 시키는 것이 중요함

• 수도권 도시계획 관련 기업(동명, 경호), 대구소재 기업(해동, EGIS)
- 현재까지 도시계획 수립 시 선행되었던 기초조사항목의 경우 법적인 뒷받침이 있어 활용되고 있으나 조사결과에 따라 적용 할 수 있는 개선대책 및 설계 기법이 제시되어 있진 않음
- 도시 열환경을 효율적으로 관리하기 위해서는 도시기본계획, 도시관리계획 수준이 아닌 지구단위계획에서 구체적인 대책방안들이 제시되어야 업무에 효율적으로 활용될 것으로 예상됨
- 도시 열환경을 효율적으로 관리 할 수 있는 장치(가이드라인)를 도시계획 업무에 실용화하기 위해서는 법적인 근거가 명확하게 제시되어야 할 것임

❑ 도시 열환경 계획·설계·관리 가이드라인 설정

• 도시 공간 위계 설정
- 국내외 선행 연구사례 분석 및 지자체 도시계획 담당자, 도시계획관련 민간기업 대상 설문조사 결과, 연구 성과 실용화 가능성을 도모하기 위한 지자체, 민간기업 인터뷰 결과를 수용하여 도시 공간 위계를 설정함
- 도시 기본계획 정의 : 기본적인 공간 구조와 장기발전을 제시하는 종합계획으로 도시 관리계획 수립의 지침이 되는 계획
- 도시 관리계획 정의 : 용도지역·지구의 지정·변경, 개발제한 구역·시가화 조정구역, 기반시설의 설치 정비 또는 개량, 도시개발사업, 정비사업, 지구단위계획 구역의 지정, 변경에 관한 계획
- 지구단위계획 정의 : 토지이용을 합리화하고 그 기능을 증진, 미관을 개선하고 양호한 환경을 확보하며, 그 지역을 체계적·계획적으로 관리하기 위하여 수립하는 도시관리계획의 일종

• 도시 공간 유형 설정
- 도시기본계획은 '국토의 계획 및 이용에 관한 법률'에 근거하여 도시 공간구조의 설정 및 토지이용계획 등에 따라 계획하며 토지이용계획에 따라 토지의 수요예측 및 용도 배분, 공간구조의 설정 등 평면적인 요소로 계획함
- 도시관리계획 수립 시 토지의 용도 분류의 지침이 되도록 용도지역 지정에 필요한 기준을 제시
- 도시관리계획은 '국토의 계획 및 이용에 관한 법률'에 근거하여 용도지역·지구·구역 등을 단계적으로 집행할 수 있도록 물적으로 표현하는 계획으로 용도지역 제도에 따라 용적률, 건폐율, 높이 등을 제한하고 토지를 경제적, 효율적

으로 이용하기 위해 평면·입체적 요소로 계획함
- 도시기본계획에서 제시된 시·군의 장기적인 발전방향을 공간에 구체화하고 실현 시키는 중기계획임
- 지구단위계획은 '국토의 계획 및 이용에 관한 법률'에 근거하여 건물의 배치, 형태, 색채, 시설계획 등에 따라 계획하며, 용도지역을 세분화하거나 그 밖의 건축물, 시설 등의 입체적 요소로 계획함
- 상위계획에서 제시된 정책방향을 구체화하고 건축계획을 규제하는 중간단계 계획으로 평면적 토지이용계획과 입체적 시설계획이 서로 조화를 이루도록 하는데 중점

• 공간 위계별 열환경 개선방안 수립
- 국내외 선행 연구사례 분석결과 및 법적근거에 따라 공간 위계별 열환경 분석 내용 및 개선 계획을 설정함
- 도시기본계획 단계에서는 도시의 기본 공간구조와 장기발전을 제시하는 계획으로 도시전체의 토지이용, 토지피복상태 개선, 녹지네트워크 및 공간지형별 특성을 고려한 바람길 형성을 위한 개선대책이 필요함
- 도시관리계획 단계에서는 평면·입체적 요소를 계획하는 단계로서, 용적률, 건폐율 관리가 중점이 되는 개선대책이 필요함
- 지구단위계획 단계에서는 건물의 배치, 형태, 색채, 시설계획 등에 따라 계획하는 단계로 옥상녹화, 벽면녹화, 가로수식재, 배치, 건물배치 등과 같이 구체적인 개선대책이 필요할 것으로 판단됨

❑ 도시열환경 부문별 계획·설계 가이드라인 구축(Data Sheet)

• Data Sheet의 개요
- 도시 열환경 저감 방안에는 "바람", "녹화"등의 도시의 환경자원을 활용하는 저감 대책과 인공적인 기술인"고반사화(알베도)"를 활용하는 저감 방안들이 있음
- Data Sheet는 도시 열 환경 취약지역 내 적용 가능한 열환경 저감 방안들을 도출한 결과임
- 도시 열환경 저감 방안으로 국내외에서 제시하고 있는 저감방안들이 많으나 단발성이 짙거나, 도시계획관점에서의 저감 방안과는 상이한 방안들은 제외함
- Data Sheet 저감 방안 항목으로는 도시기본계획에서 녹지면적률, 바람형성기능평가, 도시관리계획에서 수변공간, 녹지공간, 바람길 활용, 지구단위계획에서는 바람길을 고려한 건물배치, 가로수, 옥상녹화, 벽면녹화, 쿨루프로 설정함

❑ Data Sheet 작성

❙표 2-37❙ 도시공간 위계별 · 유형별 가이드라인 Data Sheet(계속)

GM-2 바람형성기능평가

저감방안 개요

바람길 형성지역의 특성요인들은 공간적으로 연속되어 있기 때문에 도시전체적인 바람길 형성상태를 파악하는 것이 중요함
바람길 형성기능에 대한 구체적인 평가를 실시하고, 평가결과에 따라 다양한 활용방안을 모색할 수 있음

기대효과

지역적 특성에 따른 바람길 형성조건과 기능성을 평가한 후 도시공간전체의 쾌적한 환경을 조성할 수 있으며, 도시열섬효과를 완화시킬 수 있다

실제 적용사례

[독일 Stuttgart시 기후분석지도 작성]
전바람 생성지역과 유동에 관한 모형실험에 의해 도시의 바람길 파악
토지이용계획에서 도시전체를 대상으로 도시계획 위계에 따른 바람길 조성을 위한 기본지침 제시



(독일 Stuttgart시 기후분석지도)

적용 가능한 공간위계

도시기본계획 : (●) | 계획 고려정도 : ● 적극고려, ◎ 고려, ○ 보통

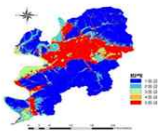
적용가능 범위 및 대상

광역규모 (광역 및 도시 기본계획)
도시규모 (도시관리 및 지역계획)

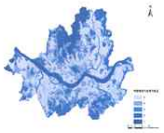
적용기법

바람형성기능평가 결과를 통하여 지역적 특성에 맞는 바람길 도입을 위한 기초자료를 마련할 수 있음

적용예시 및 효과



(대구시 바람형성기능평가 결과)



(서울시 바람형성기능평가 결과)

관련 법 · 제도

법률	국토교통부	국토의 계획 및 이용에 관한 법	
행정규칙	국토교통부	도시 군기본계획 수립지침	제3장 도시군기본계획의 내용과 작성원칙 제2절 계획수립의 기본원칙 3-2-3 환경친화적 계획수립 (1) 도시의 쾌적성과 건강성 확보를 위한 바람길 분석 및 조성 등 도심 열섬현상을 완화할 수 있도록 계획한다

GC-1 수변공간 활용

저감방안 개요

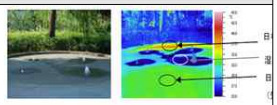
공원이나 역전광장에 분수나 수경시설 등을 설치함으로써 수분을 증발시켜 지표면 온도나 기온을 저하하고 시설주변의 열환경을 개선시킴

기대효과

분수시설 주변의 체감온도가 개선되며, 분수에 의한 습윤면의 표면온도가 양지면과 비교하여 저하되는 것으로 나타남

실제 적용사례

[공원 내 소규모 분수 조성]
공원 내의 소규모 분수에 따른 습윤면은 양지면과 비교해서 약 2.4℃ 낮아짐
수목에 따른 수면에 그늘을 만들어 수온을 낮게 유지



(분수시설 주변 열화상 측정)

적용 가능한 공간위계

도시관리계획 : (◎) | 계획 고려정도 : ● 적극고려, ◎ 고려, ○ 보통

적용 가능 범위 및 대상

도시규모 (도시관리 및 지역계획)
공원, 역전광장, 건물부지

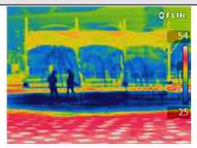
적용기법

공원, 역전광장, 건물부지 등에 소규모 분수를 조성하는 기법

적용예시 및 효과



(부산시설공단 앞 분수대)



(수경시설에 의한 표면온도 저감효과)

관련 법 · 제도

법률	국토교통부	국토의 계획 및 이용에 관한 법	
행정규칙	국토교통부	도시 군관리계획 수립지침	제4편 기반시설계획 제3장 공간시설계획 제1절 일반원칙 4-3-1-2 공원·녹지·수변공간은 각 요소들의 접근성, 개방성, 포함성, 연속성, 상징성, 식별성을 고려하여 공원·녹지·수변공간의 분포 지닌 효용성이 최대한 발휘되도록 계획한다.

GC-2 공원 및 녹지공간 활용

저감방안 개요

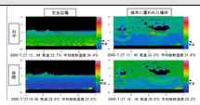
도시 내의 녹지공간은 주변시가지에 비해 기온이 낮은 것으로 알려져 있음
공원 및 녹지공간의 조성으로 열환경 개선 및 도심지까지 유익한 바람의 흐름까지 보전할 수 있음

기대효과

녹지의 시원한 공기는 한 낮의 바람에 의해서 그리고 청명한 바람이 약한 밤에는 자연히 스며들어 주변시가지로 옮겨져 시가지의 열환경을 개선시키는 효과를 나타냄

실제 적용사례

[일본 신주쿠 공원 조성]
일본 환경성에서는 신주쿠 공원주변 구역을 대상으로 신주쿠 공원의 기온을 활용할 수 있는 장래 시가지상을 구상
신주쿠 공원과 일체가 된 녹지를 형성하는 전면개선안 등을 구상



(신주쿠 공원에서의 전지구열화상 측정)

적용 가능한 공간위계

도시관리계획 : (●) | 계획 고려정도 : ● 적극고려, ◎ 고려, ○ 보통

적용 가능 범위 및 대상

도시규모 (도시관리 및 지역계획)
도로, 운동장, 광장, 공공시설

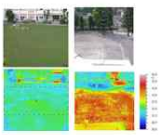
적용기법

학교 및 공공시설에 있는 운동장을 잔디밭으로 활용하여 지역의 냉열원으로써 활용 할 수 있음
도심 내 자투리공간을 활용하여 녹지공간을 창출할 수 있음

적용예시 및 효과



(부산시 자투리공원)



(잔디화에 따른 운동장의 표면온도 차이)

관련 법 · 제도

법률	국토교통부	국토의 계획 및 이용에 관한 법	
행정규칙	국토교통부	도시 군관리계획 수립지침	제4편 기반시설계획 제3장 공간시설계획 제1절 일반원칙 4-3-1-4 녹지공간체계 및 생활권계획과 연계하여 쾌적한 환경조성이 가능하도록 계획을 수립한다.

GC-3 바람길 활용

저감방안 개요

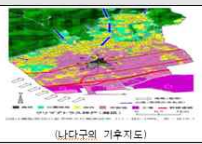
해륙풍 및 산곡풍을 시가지에 잘 유입되도록 하여 시가지의 열환경을 개선하는 대책

기대효과

서늘한 해풍의 진입에 따라서 도심부보다 약 2℃ 기온이 낮게 나타남
산지에서 생성된 냉기류를 시가지에 끌어들임으로써 야간의 서열을 완화할 수 있음

실제 적용사례

[일본 나다구의 기후지도]
산록에서 시가지에 유입된 냉기의 경로를 검토하기 위해 지도 위에 시가지의 형상과 냉기의 유입경로 등의 관련 요소를 나타냄
기온분포나 표면온도 분포 등을 중점함으로써 효과적인 대책을 검토



(나다구의 기후지도)

적용 가능한 공간위계

도시관리계획 : (●) | 계획 고려정도 : ● 적극고려, ◎ 고려, ○ 보통

적용 가능 범위 및 대상

도시규모 (도시관리 및 지역계획)
도시외곽지역(하천, 강, 산지)

적용기법

신선하고 찬 공기 유입통로를 자연적인 요소 및 공간구조와 연계
찬 공기 생성지역과 유동지역의 통로를 복원하고 장애요소를 제거하여 원활한 통풍을 촉진

적용예시 및 효과



(바람길을 고려한 도시계획)



(녹지축 조성 전)



(녹지축 조성 전)

(녹지축 조성 후 바람길 시뮬레이션 결과)

관련 법 · 제도

법률	국토교통부	국토의 계획 및 이용에 관한 법	
행정규칙	국토교통부	도시 군관리계획 수립지침	제5장 도시군관리계획 수립기준 제2절 도시군관리계획 수립의 일반원칙 1-5-2-11 토지이용계획을 수립할 때에는 해당 지역의 개발밀도, 주변여건과 주위환경 등에 따라 예상되는 재난발생 및 방재상황, 미기후 환경(바람유동 및 열섬현상) 등을 고려하여 계획을 수립한다

▌표 2-43▐ 도시공간 위계별 · 유형별 가이드라인 Data Sheet(계속)

GD-1 바람길을 고려한 건물 배치 및 구조

저감방안 개요

건물의 배치유형 및 식재계획을 통하여 바람의 흐름과 방향을 유도
도심의 바람통로에 대형 건축물의 건축 계획을 제한하고 일정한 건물간격을 유지

기대효과

차고 신선한 공기 유입을 통해 도시 내부의 열환경 개선 및 대기 질 개선에 효과적임

실제 적용사례

[독일 슈투트가르트 바람길활용 규제방안]
도시중심부의 바람길이 되는 부분에서는 건축물을 5층 이내로 제한하고, 건물간격을 최소 3미터 이상으로 규제
바람길이 되는 산림지역에는 바람이 빠져나갈 수 있는 통로를 생성



(바람길 확보를 위한 도시 공간 구조 설계)

적용 가능한 공간위계

지구단위계획 : (●) | 계획 고려정도 : ● 적극고려 ◎ 고려 ○ 보통

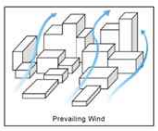
적용 가능 범위 및 대상

지역규모(단지/지구단위계획)
주거지역, 상업지역, 공업지역

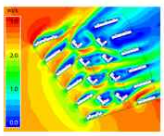
적용기법

바람길을 고려한 도로 배치 및 건물 배치 (예: 공동주택의 타워형 점배치)

적용예시 및 효과



(바람의 흐름을 방해하지않는 건물 배치)



(건물 배치를 통한 바람유동 효과)

관련 법 · 제도

법률	국토교통부	국토의 계획 및 이용에 관한 법	
행정규칙	국토교통부	지구단위계획 수립지침	제3장 도시·군기본계획의 내용과 작성원칙 제2절 계획수립의 기본원칙 3-10-8 건축물의 배치는 바람통로 등의 기사조건을 고려한 환경친화적인 단지가 될 수 있도록 계획한다

GD-2 가로수활용

저감방안 개요

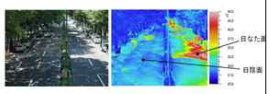
보행공간에 수관이 큰 나무를 심어 나무 그늘을 창출하고 보행자의 열 스트레스를 억제함

기대효과

수고·수관이 큰 수종을 선정하여 보도 및 차도면에서의 일사가 차단되고 노면온도의 상승을 억제
양지면과 그늘에서는 약15℃정도의 온도차이가 발생하는 것으로 선행연구에서 밝혀짐

실제 적용사례

[역전광장, 버스정류장에서의 활용]
역전광장이나 고령자의 이용이 많은 버스 정류장 등 열에 노출되는 보행자 등이 많은 장소에서 효과를 나타냄
가로수에 의해 일사가 차폐되어 있는 장소에서의 보행자 열 스트레스를 억제



(가로수에 의한 노면표면 온도의 상승억제효과)

적용 가능한 공간위계

지구단위계획 : (●) | 계획 고려정도 : ● 적극고려 ◎ 고려 ○ 보통

적용 가능 범위 및 대상

지역규모
역전광장, 버스정류장, 교차로

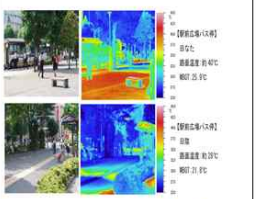
적용기법

역전광장, 버스정류장, 교차로 부근에 나무 그늘을 창출하여 기온상승 및 보행자의 열스트레스를 억제함

적용예시 및 효과



(교차로에서 수목에 의한 나무그늘 사례)



(역전광장의 가로수 식재 사례 및 열 환경 분포 현황)

GD-3 옥상녹화

저감방안 개요

건물 옥상에 경량 토양 등의 식재기반을 깔고 그 위에 잔디나 수목 등으로 녹화하여 건축물의 표면온도를 저하시킴

기대효과

여름철 냉방부하의 삭감효과가 큰 반면, 겨울의 냉방부하에는 거의 변화가 나타나지 않음
표면온도의 상승을 억제하면서 식재기반의 단열효과와 열 침입을 막아고 에너지 소비량을 감소함

실제 적용사례

[대구광역시 푸른대구 가꾸기 사업]
푸른 대구 가꾸기 사업의 일환으로 옥상녹화 조성
공공기관 건물 신축 시 옥상녹화 독려하며, 민간부분은 건물의 유형별로 조성비용 50~80%까지 지원함



(대구광역시 옥상녹화 사례)

적용 가능한 공간위계

지구단위계획 : (●) | 계획 고려정도 : ● 적극고려 ◎ 고려 ○ 보통

적용 가능 범위 및 대상

지역규모(단지/지구단위계획)
주거지역, 상업지역, 공업지역

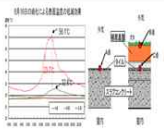
적용기법

건물 옥상에 경량 토양 등의 식재기반을 깔고 그위에 잔디나 수목 등으로 녹화하는 기법

적용예시 및 효과



(룩시티 중점가구 파일럿 사업)



(옥상녹화에 의한 표면온도 저하효과)

관련 법 · 제도

행정규칙	지자체 지원조례	서울광역시, 부산광역시, 대구광역시 등	옥상녹화 조성비용 지원 녹화기법 등의 녹화기술 지원

GD-4 벽면녹화

저감방안 개요

건물 벽면의 온도 상승을 억제해 주변의 열 환경을 개선

기대효과

도쿄도의 벽면녹화 가이드라인에 따르면 건물의 서면에 다수 타입으로 녹화하고 석양이 드리는 16시경에 최대 10℃정도의 표면온도 저하 효과를 나타냄
야간에 축열된 벽면에서 열을 옥외에 방출하는 효과를 나타냄

실제 적용사례

[대구광역시 푸른대구 가꾸기 사업]
푸른 대구 가꾸기 사업의 일환으로 벽면녹화 사업을 시행함
1,2차 사업에서 약1500개소에 담쟁이, 멍굴 등 벽면녹화 실시함



(건축물 벽면녹화 사례)

적용 가능한 공간위계

지구단위계획 : (○) | 계획 고려정도 : ● 적극고려 ◎ 고려 ○ 보통

적용 가능 범위 및 대상

지역규모(단지/지구단위계획)
주거지역, 상업지역, 공업지역

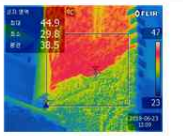
적용기법

덩굴식물 등을 이용해서 건물의 벽면을 식물로 덮는 기법

적용예시 및 효과



(건축물 벽면녹화 사례)

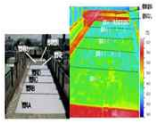


(건축물 벽면녹화 열화상카메라 측정 비교)

관련 법 · 제도

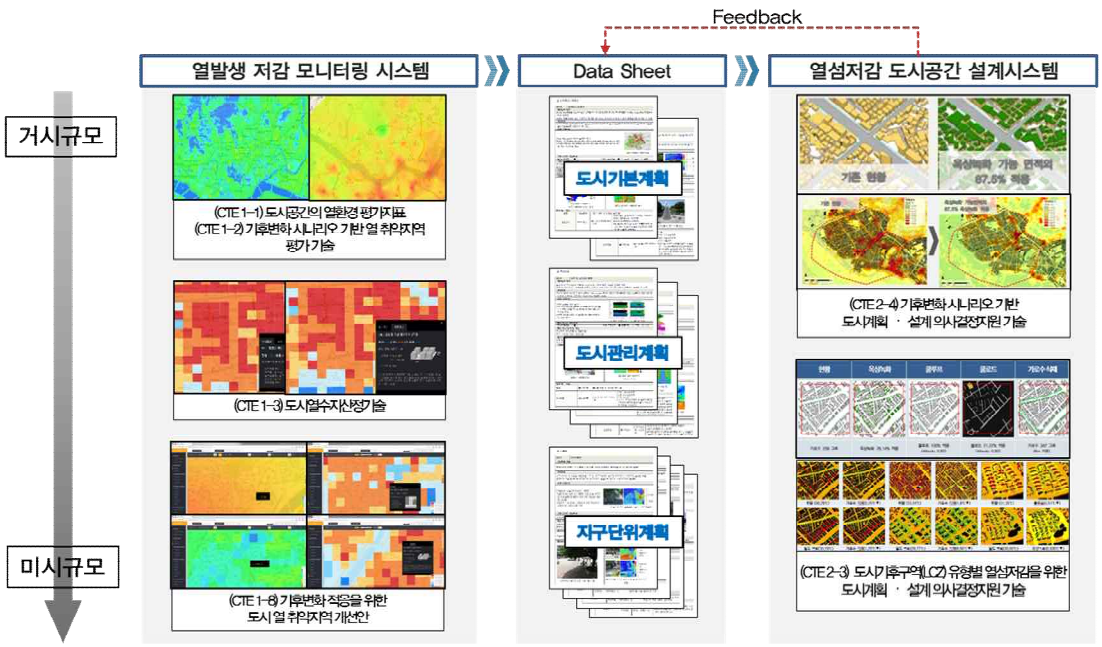
행정규칙	지자체 지원조례	서울광역시, 부산광역시, 대구광역시 등	조경시설의 설치비용 등의 일부를 지원 조경소재 또는 사업비 일부지원

▌표 2-43▐ 도시공간 위계별 · 유형별 가이드라인 Data Sheet

GD-5	지붕면의 고반사화
저감방안 개요	
일반 지붕 마감재에 비하여 높은 반사율을 가지는 재료로 지붕마감을 하여 지붕표면의 온도를 낮추고 건물 최상층으로의 열 침입을 줄여 공조부하를 절감함	
기대효과	
빠른 시공과 높은 경제성이 장점이며, 옥상녹화가 불가능한 건축물에도 적용이 가능함 쿨루프 시공을 받은 건물은 실내온도가 4~5℃까지 낮아지는 효과를 볼 수 있음	
실제 적용사례	
[창원시 기후변화 적응대책] 기후변화 적응대책의 일환으로 시정목상에 쿨루프 시범사업을 실시 국내 지자체 최초로 실증사공을 통한 효과검증을 목적으로 시범사업을 완료	 (창원시청 쿨루프 시공사례)
적용 가능한 공간위계	
지구단위계획 : (◎)	계획 고려정도 : ● 적극고려, ◎ 고려, ○ 보통
적용 가능 범위 및 대상	
지구단위계획(단지/지구단위계획) 상업지역, 주거지역, 공업지역	
적용기법	
건물의 지붕에 태양광내 적외선 영역을 효율적으로 반사하는 특수한 도료를 도포함	
적용예시 및 효과	
 (창양시청 쿨루프 시공사례)	 (고반사율 도료의 표면온도 저하효과)
관련 법 · 제도	
행정규칙	지자체 지원조례
서울특별시, 창원시, 광양시, 김해시 등	쿨루프 캠페인을 통해 시범가구 60여곳 시공 Cool City 조성사업의 일환으로 공공청사 쿨루프 설치사업 실시

❑ 가이드라인 프로토타입 개발(안)

- 가이드라인 프로토타입은 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 근거하여 거시규모와 미시규모로 구분하여 개발함
- 또한, 도시 열 발생·저감 모니터링 시스템에 가이드라인을 연계하여 표출함
- 국내·외 선행 연구사례 분석 및 지자체 도시계획 담당자, 도시계획 관련 민간기업 대상 설문조사를 통한 가이드라인 프로토타입을 개발함



▌그림 2-103▐ 계획 · 설계 · 관리 가이드라인 프로토타입 개발(안)

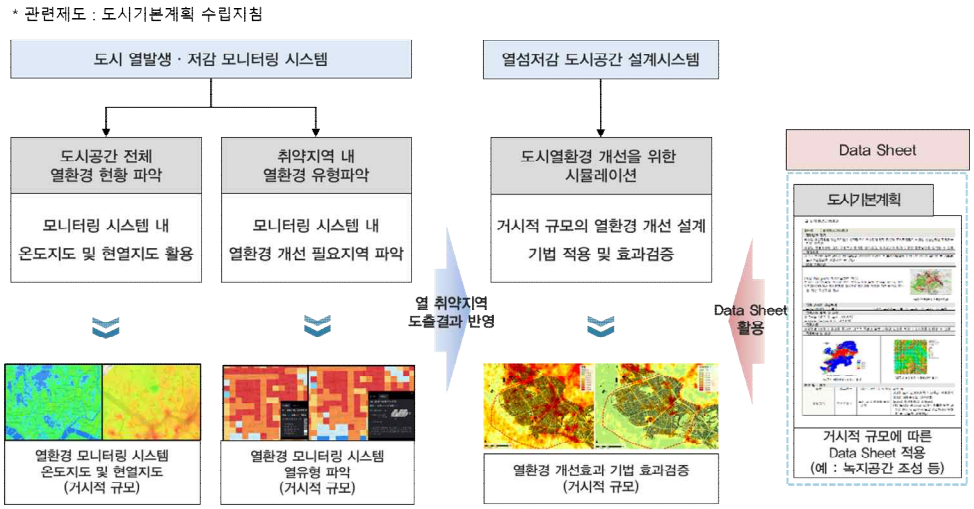
- 거시규모에서부터 미시규모까지의 연계되는 가이드라인 프로토타입 개발(안)을 수립함

- 가이드라인에서는 본 연구단의 “열발생 저감 모니터링 시스템”과 “열섬저감 도시공간 설계시스템”의 연계성 및 활용방안을 마련하는데 그 목적이 있음

- 거시규모에서는 도시공간 전반적인 열환경을 파악하고, 도시의 열 취약지역 내의 개발이 이루어질 경우, 구단위 혹은 동단위에서의 저감방안을 마련하는 것이 올바를 것으로 판단됨
- 미시규모에서는 열취약지역 내 열환경의 유형을 파악하고, 도시계획·설계 및 관리요소를 고려한 열 쾌적성 개선효과를 도출
- 거시규모 가이드라인 프로토타입

- 국내외 선행 연구사례 분석결과 및 법적근거에 따라 거시규모 가이드라인 구분
- 거시규모에서는 도시기본계획으로 설정

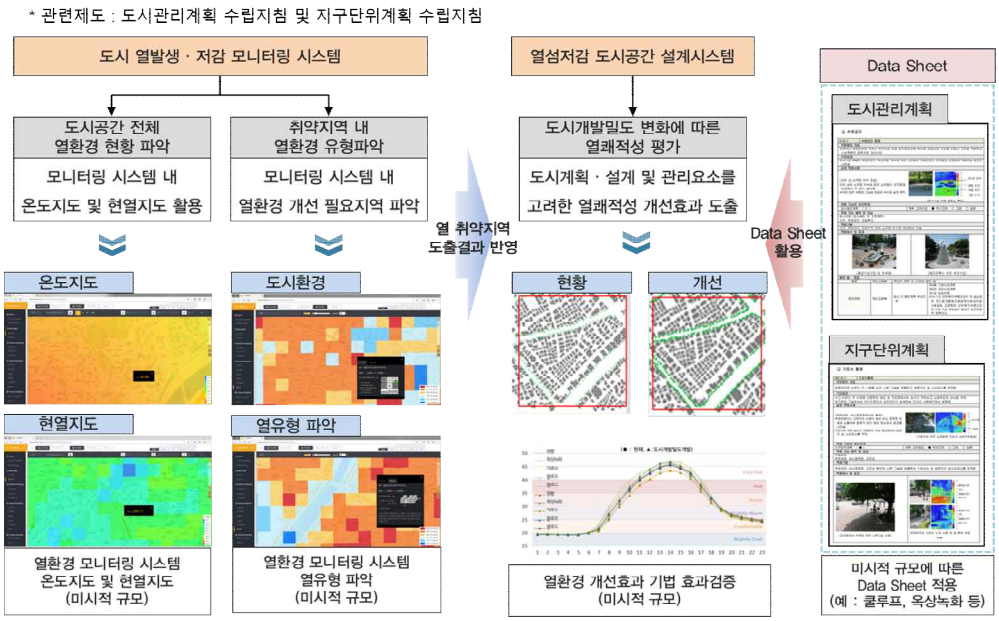
- 도시기본계획 단계에서는 도시의 기본 공간구조와 장기발전을 제시하는 계획으로 도시전체의 토지이용, 토지피복상태 개선, 녹지네트워크 및 공간지형별 특성을 고려한 바람길 형성 등 개선대책이 필요
- 도시관리계획 단계에서는 평면·입체적 요소를 계획하는 단계로 용적률, 건폐율 관리가 중점이 되는 개선대책이 필요



▌그림 2-104▐ 계획 · 설계 · 관리 가이드라인 거시규모 프로토타입

• 미시규모 가이드라인 프로토타입

- 국내외 선행 연구사례 분석결과 및 법적근거에 따라 미시규모 가이드라인 구분
- 지구단위계획 단계에서는 건물의 배치, 형태, 색채, 시설계획 등에 따라 계획하며, 용도지역을 세분화하거나 그 밖의 건축물, 시설 등의 입체적 요소로 계획함



▌그림 2-105▐ 계획 · 설계 · 관리 가이드라인 미시규모 프로토타입

2) 기후변화 적응 및 열섬저감 도시조성을 위한 제도 개선안 제시(녹색인프라 장려제도 포함)

❑ 국내·외 열환경 관련 법·제도

• 국내 법·제도

- 국토계획법상(법령/시행령/시행규칙) 공간계획수립상에 있어 열환경 관련 제도적 내용을 포괄적으로 검토해 보았으나 미흡함. 따라서 현행 공간계획수립에 있어 열환경개선을 위한 계획적 대책수립은 매우 제한적인 것으로 보여짐
- 도시·군 기본·관리 계획 및 지구단위계획 수립지침에서는 열환경 관련 사항이 제시되어 있지만, 열환경을 공간계획과정에서 효과적으로 관리할 수 있는 체계가 미흡함. 즉 열환경 개념에 대한 공간계획적 이해부족으로 내용과 용어사용에 있어서 명료성과 체계성이 낮고 내용의 공간적 위계성이 미약함.

• 국외 법·제도

- 국외(미국, 독일, 일본)에서는 국내에 비해 열환경 개선을 위한 제도가 비교적 체계적으로 마련되어 있으며, 세부적인 가이드라인을 수립하여 시행하고 있음

❑ 공간계획 검토를 위한 설문조사

• 지자체 도시계획 공무원 및 민간기업 대상 열환경 설계시스템 활용에 관한 설문

• 현행 법·제도상 도시 열환경 관련 내용의 고려 유무

- 현행 도시계획 법·제도상 도시 열환경 계획 및 설계관련 내용이 충분히 고려되어 있는지에 대한 질문에 지자체에서는 '고려되고 있지 않다'가 가장 많았으며(25명, 44.6%), 다음으로 '경우에 따라 고려되고 있다'가 21명(37.5%)으로 많았음

• 도시 열환경 설계시스템이 개발된 후 기관의 업무 활용 유무

- 도시 열환5경 설계시스템이 개발된 후 기관의 업무에 활용할 것인지에 대한 질문에 '도시 열환경 관련 법·제도적 의무가 있을 경우에만 기관 업무에 활용한다'는 응답이 지자체 36명(64.3%), 민간기업 37명(60.7%)으로 가장 높았음

• 도시 열환경 설계시스템에 필요한 기능

- 지자체(42명, 27.8%)와 민간기업(36명, 30%) 모두 법·제도 하에서 열환경 개선(열섬저감)을 위한 도시계획·설계 지원 기능이 가장 필요하다고 응답함

• 도시 열환경 설계시스템의 보급·확산되기 위해 필요한 점

- 도시 열환경 설계시스템이 도시계획·설계 관련 업무분야에 보급 확산되기 위해 필요한 점에 대해 지자체(37명, 66.1%)와 민간기업(41명, 67.2%) 모두 '시스템 활용을 위한 법·제도적 지침 마련'이 가장 필요하다고 응답함

• **도시 열환경 설계시스템 정착을 위한 법·제도 방안**

- 도시 열환경 설계시스템이 효과적으로 정착되기 위해 가장 먼저 선행되어야 할 법·제도 방안에 대한 응답 결과로 지자체는 '기존 환경성평가, 토지적성평가, 재해취약성평가 등의 항목에 열섬관련 내용 반영(28명, 50%)'이 가장 높았음

❑ 공간계획 관련 열환경 개선 법·제도 분석

• 열환경 관련 법·제도 분석 및 분류 방법

- 열환경 관련 키워드를 중심으로 한 국내 법·제도 분석(범위 : 법령, 행정규칙, 자치법규)
- 중심키워드: 기후, 열섬, 폭염, 바람, 녹지 등 15개 키워드
- 1차 분류: 중심키워드를 포함하되 공간계획과 관련된 항목을 포함하고 있는 법령(30개), 행정규칙(29개), 자치법규(18개)
- 2차 분류: 1차 분류 결과 중 공간계획이 열환경 개선을 목적으로 하는 법령(4개), 행정규칙(10개), 자치법규(2개)
- 환경계획분야, 도시계획분야, 건축계획 분야에 대한 열환경 관련 법·제도 추가 분석시행

❑ 저열섬도시 조성을 위한 제도개선안

• 실무자 맞춤형 열환경 제도 종합개선(안) 제시

▌표 2-38▐ 도시계획 수립절차 관련 도시 · 군기본계획 수립지침 개선(안)

도시.군기본계획 수립지침(현행) [국토교통부훈령 제 1050호, 2018. 7. 19., 일부개정]	개선(안)	관련 기술
3-2-3. 환경친화적 계획 수립 (10) 도시의 쾌적성과 건강성 확보를 위한 바람길 분석 및 조성 등 도심 열섬현상을 완화할 수 있도록 계획한다.	3-2-3. 환경친화적 계획 수립 (10) 도시의 쾌적성과 건강성 확보를 위해 도시 열환경 변화예측을 하여 바람길 분석 및 조성 등 도심 열섬현상을 완화할 수 있는 중· 장기적 도시계획을 수립한다.	B
4-3-1. 공간구조의 설정 (1) 공간구조의 진단도시 ② 산업 및 기능, 토지이용분포 등을 고려하여 기존 공간구조의 문제점을 종합적으로 분석한다. 4-7-2. 저탄소 녹색도시 조성 (5) 기후변화 완화 및 적응을 위하여 지역의 지리적, 사회· 경제여건 등 지역의 특성을 반영하여 수립하며, 지역의 특성에 따라 계획의 수립 여부 및 계획의 상세 정도를 달리하여 수립할 수 있다.	4-3-1. 공간구조의 설정 (1) 공간구조의 진단 ② 산업 및 기능, 토지이용분포, 열환경 관련 도시 공간의 유형화(개발 집중도와 공간적 위계) 등을 고려하여 기존 공간구조의 문제점을 종합적으로 분석한다. 4-7-2. 저탄소 녹색도시 조성 (5) 기후변화 완화 및 적응을 위하여 지역의 열환경, 지리적, 사회경제여건 등 지역의 특성을 반영하여 수립하며, 지역의 특성에 따라 계획의 수립 여부 및 계획의 상세 정도를 달리하여 수립할 수 있다.	C
5-1-6. 도시·군기본계획은 당해 시·군의 자연적· 사회적 · 경제적 조사와 5년 안에 시행이 예정되는 개발사업 등 계획 기술상 필요한 형태적· 사실적 조사를 실시하고, 국토계획평가와 기후변화 재해취약성 분석, 토지적성평가를 수행한 후 수립한다.	5-1-6. 도시· 군기본계획은 당해 시· 군의 자연적· 사회적· 경제적 조사와 5년 안에 시행이 예정되는 개발사업 등 계획 기술상 필요한 형태적· 사실적 조사를 실시하고, 국토계획평가와 기후변화 재해취약성 분석, 도시 열환경 평가(가칭), 토지적성평가를 수행한 후 수립한다.	A

*A: (1-4) 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시 조성기법 가이드라인 개발 및 제도개선(안) 제시,
B: (2-1) 도시 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 개발,
C: (2-2) 열섬저감 도시공간 설계시스템 프레임워크 개발

- 도시·군관리계획 수립지침에서는 열환경 관련 요소를 언급하고 있으나, 열환경 발생저감 요소를 파악할 수 있는 장치가 없음. 또한, 상위계획인 도시·군기본계획 수립지침의 개선이 필요하게 됨에 따라 연계되는 하위계획지침의 개선도 필요함
- 도시·군기본계획 수립지침에서는 기초조사에 대한 구체적인 언급이 없으며, 본 지침에서 기초조사에 대한 상세한 내용을 언급하고 있음. 그리하여 본 지침에서 도시공간의 계획·설계·관리 열환경 개선 가이드라인 구축과 연계할 수 있는 열환경 조사 항목에 대한 상세 내용을 제시함
- 도시·군기본계획 수립지침의 성격상 열환경 개선을 위한 개괄적인 방향을 제시할 수 있음. 본 지침을 개선함으로써, 보다 구체적인 계획 수립 방안을 제시할 수 있음

▌표 2-39 ▌도시계획 수립절차 관련 도시 · 군관리계획 수립지침 개선(안)

도시.군관리계획 수립지침(현행) [국토교통부훈령 제968호, 2018. 1. 12., 일부개정]	개선(안)	관련 기술
제5장 도시군·관리계획 수립기준 제2절 도시·군관리계획 수립의 일반원칙 1-5-2-11. 토지이용계획은 해당 지역의 개발밀도, 주변여건과 주위환경 등에 따라 예상되는 재난발생 및 방재상황, 환경변화(바람유동· 열섬현상 등 미기후, 도시 내 물순환 체계 등) 등을 고려하여 수립한다. 제6장 도시·군관리계획도서의 작성기준 제1절 도시·군관리계획서 1-6-1-1. 현황분석과 장래 전망, 기후변화 재해취약성 분석 및 계획내용에 대한 자세한 설명과 기존계획의 변경 또는 신규결정에 관한 조서를 포함한다. 다만, 교통성검토서·환경성검토서 및 토지적성평가검토서는 요약하여 계획서에 기술한다.	1-5-2-11. 토지이용계획은 해당 지역의 개발밀도, 주변여건과 주위환경 등에 따라 예상되는 재난발생 및 방재상황, 환경변화(도시 열환경, 도시 내 물순환 체계 등) 등을 고려하여 수립한다. 1-5-2-15. 도시· 군관리계획은 열섬저감 도시공간 설계시스템 활용 결과를 부문별 계획에 반영한다(신설). 1-6-1-1. 현황분석과 장래 전망, 기후변화 재해취약성 분석 및 계획내용에 대한 자세한 설명과 기존계획의 변경 또는 신규결정에 관한 조서를 포함한다. 다만, 도시 열환경평가검토서(가칭), 교통성검토서·환경성검토서 및 토지적성평가검토서는 요약하여 계획서에 기술한다.	B, C
제2편 기초조사 제2장 기초조사 방법 2-2-1. 도시·군관리계획의 입안을 위한 기초조사는 도시· 군기본계획수립지침에 규정된 기초조사 방법을 준용하여 실시하며, 기초조사의 내용에 도시·군관리계획이 환경에 미치는 영향 등에 관한 환경성검토(제7편 참조),「토지의 적성평가에 관한 지침」에 따른 토지적성평가와「도시기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침」에 따라 실시한 재해취약성분석을 포함하여야 한다.	2-2-1. 도시·군관리계획의 입안을 위한 기초조사는 도시·군기본계획수립지침에 규정된 기초조사 방법을 준용하여 실시하며, 기초조사의 내용에 도시·군관리계획이 환경에 미치는 영향 등에 관한 환경성검토(제7편 참조),「토지의 적성평가에 관한 지침」에 따른 토지적성평가와「도시기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침」에 따라 실시한 재해취약성분석,「기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시 조성기법 가이드라인(가칭)」에 따른 도시 열환경평가(가칭)를 포함하여야 한다.	B
제1절 검토항목의 설정 7-3-1-1. 환경성검토는 도시·군관리계호기의 입지 및 토지이용계획을 중심으로 하고, 중대한 영향이 예상되는 경우 사업시행으로 인한 영향 및 이용시의 영향을 함께 고려하여야 한다. (1) 자연환경의 환경성검토항목은 생태적 순환법칙인 '에너지와 물질의 닫힌 순환체계(Closed Circle)' 구축을 유도할 수 있는 항목을 원칙으로 하며, 기상·기후 및 에너지, 지형, 토양 및 지반, 물순환, 녹지, 경관, 주요 비오톱 및 동· 식물 서식지 등의 항목을 도시·군관리계획의 유형별로 적절하게 설정한다.	(1) 자연환경의 환경성검토항목은 생태적 순환법칙인 '에너지지와 물질의 닫힌 순환체계(Closed Circle)' 구축을 유도할 수 있는 항목을 원칙으로 하며, 도시 열환경 및 에너지, 지형, 토양 및 지반, 물순환, 녹지, 경관, 주요 비오톱 및 동· 식물 서식지 등의 항목을 도시·군관리계획의 유형별로 적절하게 설정한다.	A

*A: (1-2) 도시 열현황 모니터링시스템 개발 및 실증.

B: (1-4) 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시 조성기법 가이드라인 개발 및 제도개선(안) 제시,

C: (2-2) 열섬저감 도시공간 설계시스템 프레임워크 개발

- 지구단위계획 수립지침은 분석·계획적 활용이 가능한 세부적인 가이드라인이 필요함. 그리고 현재 언급되고 있는 도시 열섬현상 가중 요소들이 경관과 연계되어 언급되고 있는 경우가 대다수임. 또한, 상위계획인 도시·군관리계획 수립지침의 개선이 필요하게 됨에 따라 연계되는 하위계획지침의 개선도 필요함
- 도시 열환경 분석 기법에 기반하여 지구단위계획 수립 시 그린인프라 구축 등

열섬저감을 위한 도시 조성기법 사항을 검토하여 반영할 수 있는 방안을 제시함. 열환경 개선을 위한 건폐율·용적률·높이 등 건축물 규모에 대한 방향을 제시할 수 있음

▌표 2-40 ▌도시계획 수립절차 관련 지구단위계획 수립지침 개선(안)

지구단위계획수립지침(현행) [국토교통부훈령 제959호, 2018. 1. 2., 일부개정]	개선(안)	관련 기술
제2장 지구단위계획구역의 지정 및 지구단위계획의 수립 제1절 지구단위계획구역 지정의 일반원칙 2-1-1. 지구단위계획구역의 지정은 도시·군관리계획에서 계획한 지역 또는 시·군안에서 특별한 문제점이나 잠재력이 있는 곳으로서 지구단위계획을 통한 체계적· 계획적 개발 또는 관리가 필요한 지역을 대상으로 함을 원칙으로 하되, 지구단위계획구역을 지정할 때에는 당해 구역 및 주변지역의 토지이용, 경관현황, 교통여건, 관련계획 등을 함께 고려하여 지구단위계획으로 의도하는 목적이 달성될 수 있는지 그 타당성을 면밀히 검토하여야 한다. 제3절 지구단위계획 수립의 일반원칙 2-3-9. 입안권자는 지구단위계획을 작성하는 때에 도시· 군계획, 건축, 경관, 토목, 조경, 교통 등 필요한 분야의 전문가의 협력을 받을 수 있다. 제5절 기초조사 2-5-2. 지구단위계획구역 지정 및 지구단위계획 수립을 위한 기초조사는 일반기초조사· 환경성검토· 토지적성평가 및 재해취약성분석으로 구성되며, 다음의 기준에 따라 조사를 시행한다.	2-1-1. 지구단위계획구역의 지정은 도시·군관리계획에서 계획한 지역 또는 시·군안에서 특별한 문제점이나 잠재력이 있는 곳으로서 지구단위계획을 통한 체계적· 계획적 개발 또는 관리가 필요한 지역을 대상으로 함을 원칙으로 하되, 지구단위계획구역을 지정할 때에는 당해 구역 및 주변지역의 토지이용, 경관현황, 교통여건, 도시 열환경, 관련계획 등을 함께 고려하여 지구단위계획으로 의도하는 목적이 달성될 수 있는지 그 타당성을 면밀히 검토하여야 한다. 2-3-9. 입안권자는 지구단위계획을 작성하는 때에 열환경, 도시·군계획, 건축, 경관, 토목, 조경, 교통 등 필요한 분야의 전문가의 협력을 받을 수 있다. 2-5-2. 지구단위계획구역 지정 및 지구단위계획 수립을 위한 기초조사는 일반기초조사·환경성검토·토지적성평가·재해취약성분석 및 도시 열환경 평가(가칭)로 구성되며, 다음의 기준에 따라 조사를 시행한다. (4) 도시 열환경평가(가칭)는 「기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시 조성기법 가이드라인(가칭)」에 따라 시행한다(신설).	A
제3장 지구단위계획 수립기준(공통) 제1절 일반원칙 3-1-10. 지구단위계획 수립 시 건축물 에너지 성능 개선 등 녹색건축물 관련 사항을 검토하여 반영한다.	3-1-11. 지구단위계획 수립 시 그린인프라 구축 등 열섬저감을 위한 도시 조성기법 관련 사항을 검토하여 반영한다(신설).	B

*A: (1-4) 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시 조성기법 가이드라인 개발 및 제도개선(안) 제시,
B: (2-2) 열섬저감 도시공간 설계시스템 프레임워크 개발

- 공간계획관련 법령 및 타 법령상 열섬저감 도시 조성관련 부문별 적용내용을 제시하기 위하여, 도시·군기본계획 수립지침과 도시·군관리계획 수립지침 상의 부문별 관련 법·제도 조사, 도시계획의 부문별 계획 검토, 중심이 되는 법·제도 선정 및 적용내용을 도출하였음
- 도시·군기본계획의 부문별 내용은 토지이용계획, 기반시설계획, 도심 및 주거환경, 환경의 보전과 관리, 경관 및 미관, 공원·녹지, 방재 및 안전, 경제·산업, 사회·문화, 계획의 실행이 있음. 열환경과 관련된 도시·군기본계획의 주요 부문별

내용은 토지이용계획, 기반시설계획, 도심 및 주거환경, 환경의 보전과 관리인 것으로 검토되었음

- 토지이용계획과 밀접한 관련이 있는 (CTE1-3) 에너지지도 제작 기법과 (CTE1-5)의 건물에너지 사용량 산정식을 적용하였으며, 도심 및 주거환경의 도시재생계획과 관련한 (CTE2-3)의 열섬저감을 위한 도시기반시설별 의사결정 지원 기술을 적용할 수 있는 조항을 추가함

▌표 2-41 ▌도시계획 부문별 관련 도시 · 군기본계획 수립지침 개선(안)

구분	현행	개선(안)	관련 기술
토지이용계획	4-4-1. 토지이용의 기본원칙 및 현황분석 (1) ~ (5) 생략 (6) 승인권자는 인접 도시간, 지역간 연담화 방지와 광역적 토지이용 관리를 위하여 시·군의 합리적인 토지이용 방침을 제시하고 조정할 수 있다.	4-4-1. 토지이용의 기본원칙 및 현황분석 (1) ~ (6) 생략 (7) 도시지역에서는 토지이용에 따른 건물용도에 따른 건물에너지 사용량 산정하여 지도화(가칭: 에너지지도)하여 토지이용계획에 활용하여야 한다.(신설)	A, B
기반시설계획	4-5-1. 교통계획 (1) 기본원칙 ① ~ ④ 생략 ⑤ 교통계획은 각종 차량 및 교통시설에 의한 대기오염, 소음, 진동, 경관 저해, 자연생태계 단절 등의 문제가 없도록 계획한다.	4-5-1. 교통계획 (1) 기본원칙 ① ~ ④ 생략 ⑤ 교통계획은 각종 차량 및 교통시설에 의한 대기오염, 소음, 진동, 경관 저해, 자연생태계 단절 등의 문제가 없도록 계획한다. 열환경 등의 문제가 없도록 계획한다.	C
도심 및 주거환경	4-6-1. 도시재생계획 (2) 고려요소 ① (기반시설) 기존 도심지역의 노후한 기반시설을 정비하는 등 도시의 핵심역량 강화 및 기업활동을 지원하고, 압축적 도시공간 활용에 지장을 주지 않도록 물리적 환경여건을 개선하여야 한다.	4-6-1. 도시재생계획 (2) 고려요소 ① (기반시설) 기존 도심지역의 노후한 기반시설을 정비하는 등 도시의 핵심역량 강화 및 기업활동을 지원하고, 압축적 도시공간 활용에 지장을 주지 않도록 물리적 환경여건을 개선하여야 한다. 또한, 열섬저감을 위해 도시기반시설을 합리적으로 개선하여야 한다.	D
환경의 보전과 관리	4-7-2. 저탄소 녹색도시 조성 (1) ~ (4) 생략 (5) 기후변화 완화 및 적응을 위하여 지역의 지리적, 사회·경제여건 등 지역의 특성을 반영하여 수립하며, 지역의 특성에 따라 계획의 수립 여부 및 계획의 상세 정도를 달리하여 수립할 수 있다.	4-7-2. 저탄소 녹색도시 조성 (1) ~ (4) 생략 (5) 기후변화 완화 및 적응을 위하여 지역의 지리적, 사회·경제여건, 열환경 등 지역의 특성을 반영하여 수립하며, 지역의 특성에 따라 계획의 수립 여부 및 계획의 상세 정도를 달리하여 수립할 수 있다.	A, B

*A: (CTE1-3)의 에너지지도 제작 기법,
B: (CTE1-5)의 건물에너지 사용량 산정식,
C: (CTE1-6)의 토지이용에 따른 건물용도 요인과 접근성에 따른 서울시 미시교통량 산출 기법,
D: (CTE2-3)의 열섬저감을 위한 도시기반시설별 의사결정지원 기술

- 열환경과 관련한 도시·군관리계획의 부분별 계획은 용도지역, 도시계획시설, 지구단위계획인 것으로 검토됨
- 용도지역과 관련하여 (CTE 2-2)의 용도지역별 허용가능 개발용량 산정 공간의

사결정트리 시뮬레이션 기법을 적용할 수 있는 조항과 도시계획시설과 관련한 (CTE 1-6)의 건물용도 요인과 접근성에 따른 미시교통량 산출 기법, (CTE 2-3)의 열섬저감을 위한 도시기반시설별 의사결정지원 기술을 적용할 수 있는 조항을 추가하였음. 그리고, 지구단위계획과 관련하여 (CTE 2-4)의 지구단위계획 반영허용가능 개발용량 시뮬레이션 기법을 적용할 수 있는 조항을 추가하였음

▌표 2-42 ▌도시계획 부문별 관련 도시 · 군관리계획 수립지침 개선(안)

구분	현행	개정(안)	관련기술
용도지역	3-1-1-1 ~ 3-1-1-11. 생략 3-1-1-12. 최초의 도시·군관리계획 수립·정비 시 과거에 중복 지정된 용도지역은 토지적성평가를 시행하고, 이에 따라 가장 적합한 용도지역을 선택하여 결정한다.	제3편 용도지역·용도지구·용도구역계획 3-1-1-1 ~ 3-1-1-12. 생략 3-1-1-13. 도시·군관리계획 수립 시 용도지역별 허용가능 개발용량을 산정하기 위한 공간의사결정트리 시뮬레이션 결과를 반영해야한다.(신설)	B
도시계획시설	3-1-1-1. 용도지역계획은 합리적인 공간구조의 형성, 교통계획, 기반시설 배치계획, 주거환경보호 및 경관 등과의 상호관련성을 고려하여 시군의 규모별 또는 시가지의 특성에 따라 적절히 지정하고, 도시기능수행과 효율적인 교통 처리 및 생활환경의 질적 향상 등을 도모할 수 있도록 합리적으로 계획하여야한다.	3-1-1-1. 용도지역계획은 합리적인 공간구조의 형성, 교통계획, 기반시설 배치계획, 주거환경보호 및 경관 등과의 상호관련성을 고려하여 시군의 규모별 또는 시가지의 특성에 따라 적절히 지정하고 도시기능수행과 효율적인 교통 처리 및 생활환경의 질적 향상 등을 도모할 수 있도록 합리적으로 계획하여야 한다. ① 교통계획은 건물용도에 따른 미시교통량을 고려해야한다.(신설) ② 열섬저감을 위한 도시기반시설을 합리적으로 배치해야한다.(신설)	A, C
지구단위계획	3-1-1-4. 토지이용계획을 수립할 때에는 대상지역 전체를 계획적·체계적으로 개발·관리정비·보전하기 위하여 필요한 지역은 지구단위계획구역으로 지정하여 지구단위계획으로 개발할 수 있도록 한다.	3-1-1-4. 토지이용계획을 수립할 때에는 대상지역 전체를 계획적·체계적으로 개발·관리정비·보전하기 위하여 필요한 지역은 지구단위계획구역으로 지정하여 지구단위계획으로 개발할 수 있도록 한다. 또한, 지구단위계획구역으로 지정 시 지구단위계획 반영 허용가능 개발용량 시뮬레이션 결과를 고려해야한다.	D

*A: (CTE1-6)의 건물용도 요인과 접근성에 따른 미시교통량 산출 기법,
B: (CTE 2-2)의 용도지역별 허용가능 개발용량 산정 공간의사결정트리 시뮬레이션 기법,
C: (CTE2-3)의 열섬저감을 위한 도시기반시설별 의사결정지원 기술,
D: (CTE2-4)의 지구단위계획 반영 허용가능 개발용량 시뮬레이션

- 열환경 관련 지구단위계획의 부문별 내용은 건폐율·용적률·높이 등 건축물의 규모와 특별계획구역인 것으로 검토됨
- 건축물의 규모 산정에 관하여 열환경에 따른 용도지역별 허용 가능 개발용량을 감안하여 적절한 건축규모가 되도록 하여야한다는 조항을 수정하여 (CTE 2-2) 용도지역별 허용가능 개발용량 산정 공간의사결정트리 시뮬레이션 기법을 활용할 수 있는 제도적 근거를 마련함

▌표 2-43 ▌도시계획 부문별 관련 지구단위계획 수립지침 개선(안)

구분	현행	개정(안)	관련 기술
건폐율·용적률·높이 등 건축물의 규모	제3장 제9절 건폐율·용적률·높이 등 건축물의 규모 3-9-1. 건축물의 규모 산정에 대한 기본원칙은 다음과 같다. (1) 건폐율과 용적률은 대지별로 산정하되, 스카이라인의 형성, 구역중심지 조성 등을 위하여 필요한 경우 3-1-8에 따라 세분된 용지단위로 산정 할 수 있다. (2) 도시·군계획시설에 해당하는 도로·광장 및 공원용지의 면적은 건폐율 또는 용적률의 산정을 위한 대지((1)에 따라 한의 대지로 보는 용지를 포함한다)의 면적에 이를 산입하지 아니한다. (3) 녹지·공개공지 등이 적절히 확보되어 보행공간 및 녹지공간이 확충되도록 건폐율을 따로 정할 수 있다. (4) 지구단위계획구역내의 인구수용규모와 기반시설 용량을 감안하여 적절한 건축규모가 되도록 한다. (5) 경관에 통일감을 부여하고 스카이라인에 변화를 주기 위하여 건축물의 높이를 가구별획지별로 따로 정할 수 있다. (6) 지구단위계획으로 당해 구역에 적용되는 건폐율·용적률 및 건축물의 허용용도 기준을 완화할 수 있다는 것을 감안한다.	제3장 제9절 건폐율·용적률·높이 등 건축물의 규모 3-9-1. 건축물의 규모 산정에 대한 기본원칙은 다음과 같다. (1) 건폐율과 용적률은 대지별로 산정하되, 스카이라인의 형성, 구역중심지 조성 등을 위하여 필요한 경우 3-1-8에 따라 세분된 용지단위로 산정 할 수 있다. (2) 도시·군계획시설에 해당하는 도로·광장 및 공원용지의 면적은 건폐율 또는 용적률의 산정을 위한 대지((1)에 따라 한의 대지로 보는 용지를 포함한다)의 면적에 이를 산입하지 아니한다. (3) 녹지·공개공지 등이 적절히 확보되어 보행공간 및 녹지공간이 확추오디도록 건폐율을 따로 정할 수 있다. (4) 지구단위계획구역내의 인구수용규모와 기반시설 용량, 열환경에 따른 용도지역별 허용가능 개발용량을 감안하여 적절한 건축규모가 되도록 한다. (5) 경관에 통일감을 부여하고 스카이라인에 변화를 주기 위하여 건축물의 높이를 가구별획지별로 따로 정할 수 있다. (6) 지구단위계획으로 당해 구역에 적용되는 건폐율·용적률 및 건축물의 허용용도 기준을 완화할 수 있다는 것을 감안한다.	A
특별계획구역	제3장 제15절 특별계획구역 3-15-2. 특별계획구역 지정대상은 다음과 같다. (1) 대규모 쇼핑단지, 전시장, 터미널, 농수산물도매시장, 출판단지 등 일반화되기 어려운 특수기능의 건축시설과 같이 하나의 대지안에 여러 동의 건축물과 다양한 용도를 수용하기 위하여 특별한 건축적 프로그램을 만들어 복합적 개발을 하는 것이 필요한 경우 (2) 순차개발하는 경우 후순위개발 대상지역 (3) 복잡한 지형의 재개발구역을 종합적으로 개발하는 경우와 같이 지형조건상 지반의 높낮이 차이가 심하여 건축적으로 상세한 입체계획을 수립하여야 하는 경우 (4) 지구단위계획구역안의 일정지역에 대하여 우수한 설계안을 반영하기 위하여 현상설계 등을 하고자 하는 경우 (5) 주요 지표물 지점으로서 지구단위계획안 작성 당시에는 대지소유자의 개발프로그램이 뚜렷하지 않으나 앞으로 협의를 통하여 우수한 개발안을 유도할 필요가 있는 경우 (6) 공공사업의 시행, 대형건축물의 건축 또는 2필지 이상의 토지소유자의 공동개발 기타 지구단위계획구역의 지정목적을 달성하기 위하여 특별계획구역으로 지정하여 개발하는 것이 필요한 경우	제3장 제15절 특별계획구역 3-15-2. 특별계획구역 지정대상은 다음과 같다. (1) 대규모 쇼핑단지, 전시장, 터미널, 농수산물도매시장, 출판단지 등 일반화되기 어려운 특수기능의 건축시설과 같이 하나의 대지안에 여러 동의 건축물과 다양한 용도를 수용하기 위하여 특별한 건축적 프로그램을 만들어 복합적 개발을 하는 것이 필요한 경우 (2) 순차개발하는 경우 후순위개발 대상지역 (3) 복잡한 지형의 재개발구역을 종합적으로 개발하는 경우와 같이 지형조건상 지반의 높낮이 차이가 심하여 건축적으로 상세한 입체계획을 수립하여야 하는 경우 (4) 지구단위계획구역안의 일정지역에 대하여 우수한 설계안을 반영하기 위하여 현상설계 등을 하고자 하는 경우 (5) 주요 지표물 지점으로서 지구단위계획안 작성 당시에는 대지소유자의 개발프로그램이 뚜렷하지 않으나 앞으로 협의를 통하여 우수한 개발안을 유도할 필요가 있는 경우 (6) 공공사업의 시행, 대형건축물의 건축 또는 2필지 이상의 토지소유자의 공동개발 기타 지구단위계획구역의 지정목적을 달성하기 위하여 특별계획구역으로 지정하여 개발하는 것이 필요한 경우 (7) 열섬저감 도시공간 설계시스템 프레임워크를 적용하기 위한 경우(신설)	B

*A: (CTE2-2) 용도지역별 허용가능 개발용량 산정 공간의사결정트리 시뮬레이션 기법,
B: 2-2 열섬저감 도시공간 설계시스템 프레임워크 개발

- 도시계획 수립 시 열환경이 악화되어 있는 도시와 열환경이 악화되어 있지 않은 도시의 지역별 상황을 고려하기 위하여 도시계획 위원회 구성에 대한 사항은 지자체 조례를 대상으로 개선(안)을 도출하였음

3) 시사점

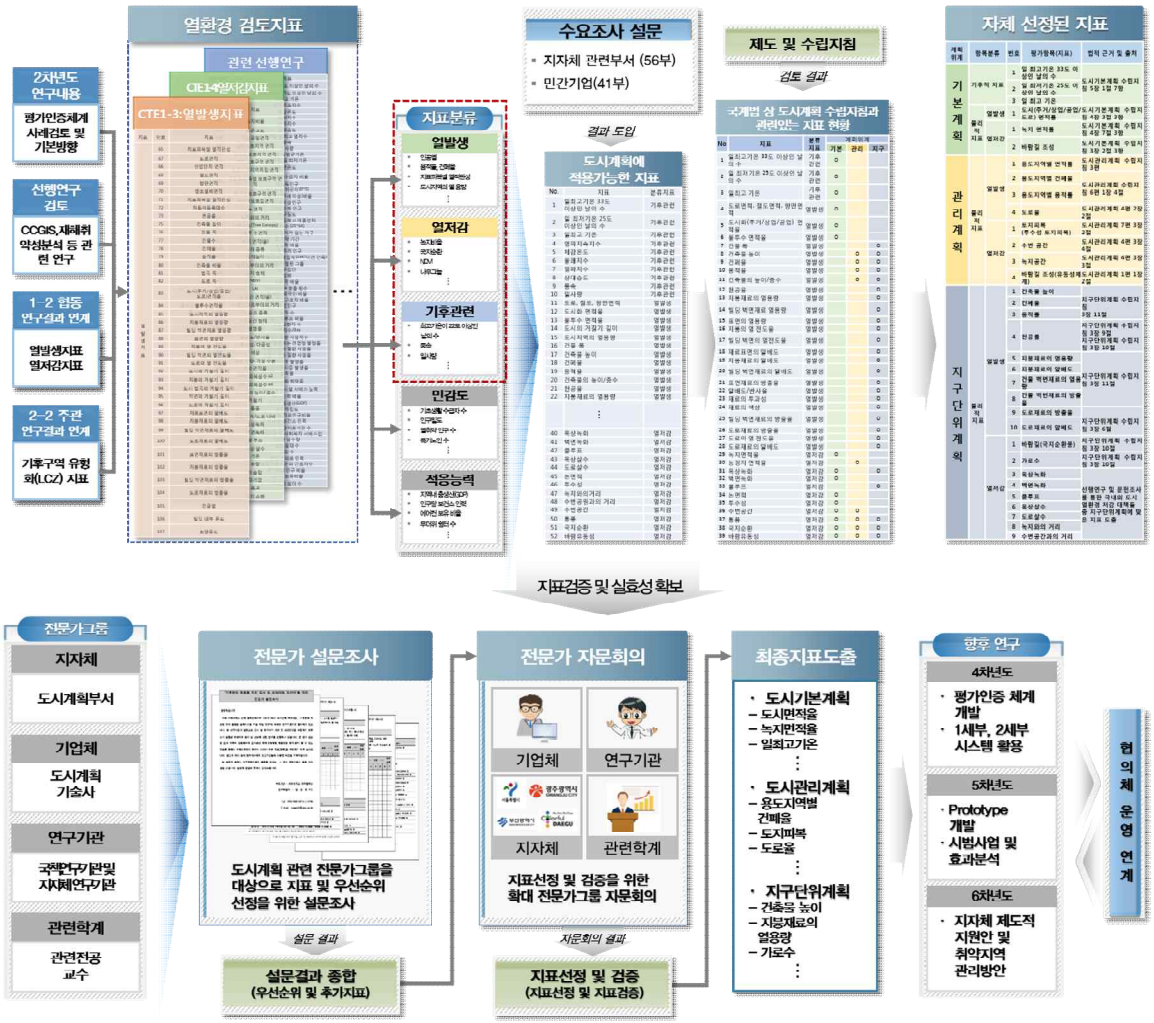
- '국토의 계획 및 이용에 관한 법률'에 근거하여 도시기본계획, 도시관리계획, 지구단위계획으로 위계를 설정하여 가이드라인 개발
- 지자체 도시계획 담당자, 도시계획 관련 민간기업을 대상으로 한 설문조사 및 간담회를 통해 현장실무에서 적용 가능한 위계별·유형별 열환경 개선 가이드라인 개발
- 열환경 관련 키워드를 중심으로 국내 법·제도(법령, 행정규칙, 자치법규 등)를 분석 및 분류하였고, 환경계획분야, 도시계획분야, 건축계획 분야에 대한 열환경 관련 추가 분석
- 법 제도를 대상으로 개선(안)을 도출하여 현장 실무자(지자체 도시계획 담당자, 관련 민간기업 등)가 활용 할 수 있는 도시 열환경 개선방안 마련

나. 기후변화 적응을 위한 도시 열 취약지역 개선

1) 도시공간 위계별 유형별 열환경 개선 평가인증체계

❑ 열환경 개선 인증지표(항목) 개발

- 평가인증지표선정 과정



▎그림 2-106▎ 평가인증체계 지표선정 과정

- (1) 평가인증체계 사례검토 및 기본방향, 선행연구 검토, 타 세세부와의 연구결과를 통한 평가인증체계 지표 추출
- (2) 선행연구에서 검토한 내용을 바탕으로 열발생지표, 열저감지표, 기후관련지표, 민감도지표, 적응능력지표 5개로 지표를 분류
- (3) 수요조사 설문 내용과 도시계획에 적용가능한 지표로 추출
- (4) 제도와 수립지침 검토결과를 바탕으로 지표 추출
- (5) 추가 지표와 지표간 우선순위 선정을 위한 전문가 설문조사 시행

- (6) 가중치 산정 및 추가지표를 위한 전문가 자문회의 시행
- (7) 평가인증체계 33개 최종지표 도출

• 지표 유형화

- 앞서 조사한 154개의 선행연구 된 지표를 지표의 유형에 맞게 구분한 결과 열발생지표, 취약성지표, 적응능력지표, 기후적지표, 열저감지표 등으로 유형화됨
- 선행연구 된 지표 중 도시계획에 적용가능한 지표인 기후관련 지표와 열발생지표, 열저감 지표 총 52개 항목으로 추출

• 도시계획 위계별 평가인증지표 분류

- 국토의 계획 및 이용에 관한 법률(이하 국토계획법) 상 위계에 따라 도시기본계획, 도시관리계획, 지구단위계획으로 분류되어 있음
- 도시기본계획은 국토계획법에 근거하여 공간구조의 설정 및 토지이용계획 등에 따라 계획함. 또한 토지이용계획에 따라 토지의 수요예측 및 용도배분, 공간구조의 설정 등 평면적 요소로 계획
- 도시관리계획은 국토계획법에 근거하여 용도지역·지구·구역 등을 단계적으로 집행할 수 있도록 계획함. 용도지역 제도에 따라 용적률, 건폐율, 높이 등을 제한하고 토지의 경제적 효율적으로 이용하기 위해 평면적+입체적 요소로 계획
- 지구단위계획은 국토계획법에 근거하여 건물의 배치, 형태, 색채, 시설계획 등에 따라 계획. 용도지역의 세분이나 그 밖의 건축물, 시설 등의 입체적 요소로 계획

▌표 2-44 ▌도시계획 위계별 지표 재구분

도시계획 위계	지표의 구분	선행 연구된 지표 분류 내용
도시기본계획	기후적 지표	도시기본계획상 기후와 관련된 지표
	열발생 지표	도시기본계획상 열발생과 관련된 지표
	열저감 지표	도시기본계획상 열저감과 관련된 지표
도시관리계획	열발생 지표	도시관리계획상 열발생과 관련된 지표
	열저감 지표	도시관리계획상 열저감과 관련된 지표
지구단위계획	열발생 지표	지구단위계획상 열발생과 관련된 지표
	열저감 지표	지구단위계획상 열저감과 관련된 지표

- 선행 연구된 지표의 구분 중 도시계획 위계에 맞게 총 39개 항목으로 추출

• 제도 및 수립지침 검토

- 도시계획 위계별 평가인증지표 분류 결과에서 국토계획법 상 도시계획 수립지침과 관련 있는 지표 총 39개 항목으로 추출
- 수립지침과 관련 있는 지표 39개에서 도시기본계획, 도시관리계획, 지구단위계획으로 분류 가능한 33개 항목으로 자체 선정
- 선정된 지표는 도시기본계획 6개, 도시관리계획 8개, 지구단위계획 19개로 구

성되어 있으며, 도시기본계획은 기후적 지표와, 열 발생 지표, 열 저감 지표로 구분되며, 도시관리계획과 지구단위계획은 열 발생 지표와 열 저감 지표로 구분

❑ 전문가 설문조사

- 지자체 도시계획 부서 공무원, 기업체의 도시계획기술사, 국책연구기관 및 지자체 연구기관, 도시계획 관련 교수 4개 그룹으로 설정하여 설문조사 시행
- 지표별 우선순위 및 추가지표 선정을 위한 설문조사 시행
- 선행연구를 통한 지표추출 및 평가인증지표 항목을 확정하고 실용가능성을 검토하기 위해 설문조사 실시

• 도시기본계획 전문가 설문조사 결과

- 도시기본계획 평가항목 우선순위에 관한 전문가 설문 결과 문항별 평균 척도가 모두 '보통' 기준을 넘는 것으로 나타났고, 6개 문항 중 4개 문항이 '높음'으로 분석됨
- 지표 분류 중 기후적 지표에서 우선순위는 'M-1)-1 일 최고기온 33도 이상인 날의 수'(평균 척도 5.7)항목이 가장 우선적인 항목으로 분석 되었고, 다음으로 'M-1)-3 일 최고기온'(평균 척도 4.8), 'M-1)-2 일 최저기온 25도 이상인 날의 수'(평균 척도 4.2)의 순서로 분석됨
- 열 발생 지표는 단일 항목으로 구성되었으며, 열 저감 지표에서 우선순위는 'M-3)-1 녹지 면적률'(평균 척도 6.3)항목이 가장 우선적인 항목으로 분석되었고, 다음으로 'M-3)-2 바람길 조성'(평균 척도 5.8)항목으로 분석됨

• 도시기본계획 전문가 설문조사 결과

- 도시관리계획 평가항목 우선순위에 관한 전문가 설문 결과 문항별 평균 척도가 모두 '보통' 기준을 넘는 것으로 나타났고, 8개 문항 중 2개 문항은 '조금 높음'으로 나타났고, 5개 문항이 '높음', 1개 문항이 '매우 높음'으로 분석됨
- 지표 분류 중 열 발생 지표에서 우선순위는 'C-1)-4 도로율'(평균 척도 5.5)항목이 가장 우선적인 항목으로 분석 되었고, 다음으로 'C-1)-2 용도지역 건폐율'(평균 척도 5.5), 'C-1)-1 용도지역 면적률'(평균 척도 5.0), 'C-1)-3 용도지역 용적률'(평균 척도 5.0)의 순서로 분석됨
- 열 저감 지표에서 우선순위는 'C-2)-3 녹지면적(공원녹지 등)항목이 가장 우선적인 항목으로 분석되었고, 다음으로 'C-2)-2' 수변 공간'(평균 척도 5.9), 'C-2)-4 바람길 조성(유동성체계)'(평균 척도 5.8), 'C-2)-1 토지피복(투수성 토지피복)의 순서로 분석됨

• 지구단위계획 전문가 설문조사 결과

- 지구단위계획 평가항목 우선순위에 관한 전문가 설문 결과 문항별 평균 척도가 모두 '보통' 기준을 넘는 것으로 나타났고, 19개 문항 중 1개 문항은 '보통'

으로 나타났고, 8개 문항은 '조금 높음'으로 나타났으며, 10개 문항이 '높음'으로 분석됨

- 지표 분류 중 열 발생 지표에서 우선순위는 'D-1)-2 지붕재료의 열용량'(평균 척도 5.5)항목이 가장 우선적인 항목으로 분석 되었고, 다음으로 'D-1)-2 지붕재료의 열용량'(평균 척도 5.5), 'D-1)-9 도로재료의 방출률'(평균 척도 5.5), 'D-1)-3 용적률'(평균 척도 5.4), 'D-1)-7 건물 벽면재료의 열용량'(평균 척도 5.3), 'D-1)-10 도료재료의 알베도'(평균 척도 5.3), 'D-1)-8 건물 벽면재료의 방출율'(평균 척도 5.2), 'D-1)-6 지붕재료의 알베도'(평균 척도 5.2), 'D-1)-1 건축물 높이'(평균 척도 4.9), 'D-1)-4 천공률'(평균 척도 4.9)의 순서로 분석됨
- 열 저감 지표에서 우선순위는 'D-2)-1 바람길(국지순환풍)'(평균 척도 6.0)항목이 가장 우선적인 항목으로 분석 되었고, 다음으로 'D-2)-9 수변공간과의 거리'(평균 척도 5.9), 'D-2)-8 녹지와의 거리'(평균 척도 5.8), 'D-2)-2 가로수'(평균 척도 5.8), 'D-2)-3 옥상녹화'(평균 척도 5.8), 'D-2)-5 쿨루프'(평균 척도 5.5), 'D-2)-4 벽면녹화'(평균 척도 5.3), 'D-2)-7 도로살수'(평균 척도 5.0), 'D-2)-6 옥상살수'(평균 척도 4.9), 'D-1)-2 건폐율'(평균 척도 5.8)의 순서로 분석됨

❑ 전문가 자문회의

• 자문회의 개요

- 지자체 도시계획 부서 공무원, 기업의 도시계획기술사, 국책연구기관 및 지자체 연구기관, 도시계획 관련 교수 4개 그룹에서 도시계획 관련 전문가를 초청하여 자문회의를 시행
- 도시계획 관련 자문회의를 개최하여 평가인증체계의 지표 검증 및 지표별 우선순위, 지표 가중치 선정 등을 논의

• 전문가 자문회의 결과

- 자문회의 결과 평가지표는 법·제도 및 선행연구를 통해 지표가 적절하게 선정된 것으로 판단되며, 국토계획 및 이용에 관한 법률상 위계에 따라 잘 구분되었음
- 지구단위계획의 평가지표는 입체적 계획 위주로 작성되어, 현장에서 바로 사용할 수 있는 지표들로 구성된 것으로 판단됨
- 도시 열환경 평가인증체계를 개발하여 가이드라인과 연계하여 활용한다면 장기적으로 도시 열환경을 효율적으로 관리 할 수 있을 것으로 판단됨
- 지표에 가중치를 선정하여 도시 열환경을 평가하는 것이 적정할 것으로 판단되며, 가중치 선정 시 지표에 따라 도시 열환경에 미치는 영향을 고려하여 선정하는 것이 중요할 것으로 판단됨
- 평가인증체계를 모니터링 시스템에 활용한다면 지자체나 기업체등 현장에서 활용하기 용이할 것으로 판단됨
- 향후 평가인증체계를 국토계획법상 수립지침이나 지자체별 기후변화 적응대

책, 토지이용계획 등에 활용한다면 더욱 가치 있는 연구가 될 것으로 판단됨

❑ 평가인증체계 지표선정 및 조정

• Step1. 열환경지표 검토

- 선행연구 검토(CCGIS, 재해취약성 분석, LEED, CASBEE 등 25건), 연구단 연구 지표 검토하여 총 154개 항목을 선정함
- 지표 유형 분류(기후적지표, 열발생지표, 열저감지표, 민감도지표, 적응능력지표)
  열발생 지표 : 열발생과 관련된 지표
  취약성 지표 : 사회 취약과 관련된 지표
  적응능력 지표: 사회 적응능력과 관련된 지표
  기후적 지표 : 기후와 관련된 지표
  열저감 지표 : 열저감과 관련된 지표

• Step2. 도시계획 적용 및 연관성 검토

- 공간계획 연관성을 중심으로 도시계획에 적용 가능한 52개 지표를 선정함
- 지표의 유형 분류 중 도시계획에서 적용할 수 있는 기후적 지표, 열발생 지표, 열저감 지표로 구분하여 선정하였음

• Step3. 수립지침 관련 지표현황

- 「국토계획 및 이용에 관한 법률」상 도시계획 수립지침과 관련 있는 지표 추출(현행 도시계획 용어 및 내용 연관성 중심으로 파악)
- 도시기본계획, 도시관리계획, 지구단위계획 수립지침 등 공간계획과 관련 있는 법·제도(법령 30개, 행정규칙31개, 조례 18개)를 키워드 중심으로 검토하였고, 검토결과를 토대로 도시계획에 적용 가능한 지표를 추출함

• Step4. 공간 위계별 지표선정

- 국토계획법상 위계별 구분 및 용어 중복성 검토(도시기본계획, 도시관리계획, 지구단위계획)
- 도시기본계획 : 「국토계획법」에 근거하여 공간구조의 설정 및 토지이용계획 등에 따라 분류하였고, 토지이용계획에 따라 수요예측 및 용도배분, 공간구조의 설정 등 평면적 요소로 계획
- 도시관리계획 : 「국토계획법」에 근거하여 용도지역·지구·구역등을 단계적으로 집행할 수 있는 물적 계획으로 용도지역 제도에 따라 용적률, 건폐율, 높이 등을 제한하고 토지의 경제적·효율적으로 이용하기 위해 평면적+입체적 요소로 계획
- 지구단위계획 : 「국토계획법」에 근거하여 건물의 배치, 형태, 색채, 시설계획 등에 따라 계획으로 용도지역 세분이나 그 밖의 건축물, 시설 등의 입체적 요소로 계획

• Step5. 지표 적용가능성 검토

- 지표검증 및 적용가능성 검토를 위한 전문가 그룹 설문조사 및 자문회의(지자체 도시계획 관련 부서, 지자체 및 국책 연구기관, 도시계획 관련 교수, 도시계획기술사)를 통해 33개 지표를 선정
- 설문조사는 33개 항목에 대해 7점 척도로 구성하였고, 항목에 대해 평균으로 우선순위를 선정하였음. 평균척도가 동일한 경우 표준편차가 낮은 순으로 선정하였음

▌표 2-45▐ 평가인증체계 지표 선정

계획 위계	항목분류		번호	평가항목(지표)	우선순위 검증결과	계획 고려 정도	자료	가이드라인 Datasheet 연계성
도시기본계획 (M)	1) 기후적 지표		M-1)-1	일 최고기온 33도 이상인 날의 수	5.5	●	기상청	-
			M-1)-2	일 최저기온 25도 이상인 날의 수	4.1	○	기상청	
			M-1)-3	일 최고 기온	4.4	◎	기상청	
	물리적 지표	2) 열발생	M-2)-1	도시(주거/상업/공업/도로) 면적률	5.5	◎	서울대	
		3) 열저감	M-3)-1	녹지 면적률	6.3	●	1-2세세부	GM-1
			M-3)-2	바람길 조성	5.8	◎	-	GM-2
도시관리계획 (C)	물리적 지표	1) 열발생	C-1)-1	용도지역별 면적률	4.9	○	1-2세세부	-
			C-1)-2	용도지역별 건폐율	5.5	●	-	
			C-1)-3	용도지역별 용적률	5.0	◎	-	
			C-1)-4	도로율	5.4	●	1-2세세부	
		2) 열저감	C-2)-1	토지피복 (투수성토지피복)	5.7	○	1-2세세부	GC-1
			C-2)-2	수변 공간	5.7	◎	1-2세세부	GC-2
			C-2)-3	녹지공간	6.1	●	1-2세세부	GC-3
			C-2)-4	바람길 조성(유동성체계)	5.7	◎	-	GC-4
지구단위계획 (D)	물리적 지표	1) 열발생	D-1)-1	건축물 높이	4.8	○	1-2세세부	-
			D-1)-2	건폐율	5.7	●	1-2세세부	
			D-1)-3	용적률	5.3	◎	-	
			D-1)-4	천공률	4.9	○	1-2세세부	
			D-1)-5	지붕재료의 열용량	5.5	●	-	
			D-1)-6	지붕재료의 알베도	5.2	◎	1-2세세부	
			D-1)-7	건물 벽면재료의 열용량	5.3	◎	-	
			D-1)-8	건물 벽면재료의 방출율	5.1	◎	-	
			D-1)-9	도로재료의 방출율	5.5	●	1-2세세부	
			D-1)-10	도로재료의 알베도	5.3	◎	1-2세세부	
		2) 열저감	D-2)-1	바람길(국지순환풍)	6.0	●	-	GD-1
			D-2)-2	가로수	5.7	●	1-2세세부	GD-2
			D-2)-3	옥상녹화	5.7	●	1-2세세부	GD-3
			D-2)-4	벽면녹화	5.3	◎	-	GD-4
			D-2)-5	쿨루프	5.4	◎	1-2세세부	GD-5
			D-2)-6	옥상살수	5.0	○	-	GD-6
			D-2)-7	도로살수	5.0	○	-	GD-7
			D-2)-8	녹지와의 거리	5.7	●	-	GD-8
			D-2)-9	수변공간과의 거리	5.8	●	-	GD-9

● 적극 고려, ◎ 고려, ○ 보통

• Step6. 도시 공간 위계별·유형별 열환경 개선 평가인증체계 지표 조정

- 선정된 지표이나 연구단에서 연구된 열수지 산정결과를 활용하여 지표 조정 (1-1세부 : 서울대학교 현열/잠열 자료)
- 공간지형정보 및 공간특성에 따라 선정(바람길 조성, 바람길 등)
- 1-1세부 연구 자료와 비교한 결과 미시적 자료를 기준으로 작성되어 평가인증체계 전반적으로 적용하기에는 어려울 것으로 판단됨

▌표 2-46▐ 도시공간 위계별 · 유형별 열환경 개선 평가인증체계 지표 조정 결과

계획위계	항목분류	번호	평가항목(지표)	우선순위 검증결과	계획고려 정도
도시기본계획 (M)	1) 열발생	M-1)-1	도시(주거/상업/공업/도로) 면적률	5.5	◎
	2) 열저감	M-2)-1	녹지 면적률	6.3	●
		M-2)-2	바람길 조성	5.8	◎
도시관리계획 (C)	1) 열발생	C-1)-1	용도지역별 면적률	4.9	○
		C-1)-2	도로율	5.4	●
	2) 열저감	C-2)-1	토지피복 (투수성토지피복)	5.7	○
		C-2)-2	수변 공간	5.7	◎
		C-2)-3	녹지공간	6.1	●
		C-2)-4	바람길 조성(유동성체계)	5.7	◎
지구단위계획 (D)	1) 열발생	D-1)-1	건축물 높이	4.8	○
		D-1)-2	건폐율	5.7	●
		D-1)-3	천공률	4.9	○
		D-1)-4	지붕재료의 알베도	5.2	◎
		D-1)-5	도로재료의 방출율	5.5	●
		D-1)-6	도로재료의 알베도	5.3	◎
	2) 열저감	D-2)-1	바람길(국지순환풍)	6.0	●
		D-2)-2	가로수	5.7	●
		D-2)-3	옥상녹화	5.7	●
		D-2)-4	쿨루프	5.4	◎

● 적극 고려, ◎ 고려, ○ 보통

❑ 열환경 개선 평가인증 체계

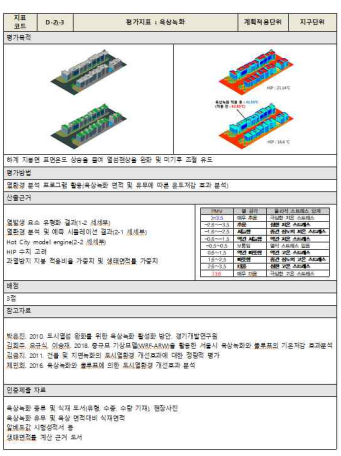
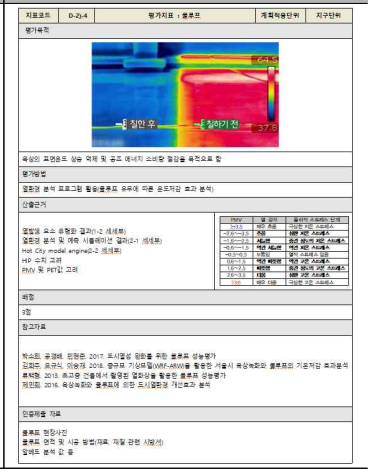
• 도시 계획 열환경 개선 평가인증체계

- 지표선정과 관련된 선행연구(약 30건) 검토결과 평가인증지표 대상이 단일사업과 계획(건축계획, 실내 공기, 산업단지 등)에 국한되어 있어 도시계획 적용을 위한 평가인증체계와 기능적 활용성이 차별됨
- 평가인증체계 지표 중 저감 지표를 활용한 평가인증
- 공간지형정보 및 1-2세세부 열발생 요소 유형화 결과를 토대로 산출

▌표 2-47▐ 도시계획 열환경 개선 평가인증 기준(안)

평가지표	평가목적	평가방법	산출근거
토지피복 (투수성토지 피복)	토지피복에 따른 기온 상승을 완화 하고자 함	토지피복도를 활용한 투수성포장률로 평가	- 1-2세세부 열발생 요소 유형화 결과
수변공간	수변공간은 주변에 낮은 기온을 가지고 있으며, 이를 통해 시가지의 열환경 개선을 목적으로 함	수변 공간의 크기 및 거리에 따른 열저감 효과 평가	- 1-2세세부 열발생 요소 유형화 결과
녹지공간	녹지는 주변에 비해 낮은 기온을 가지고 있으며, 이를 통해 시가지의 열환경 개선을 목적으로 함	녹지면적률 평가	- 1-2세세부 열발생 요소 유형화 결과
바람길 조성 (유동성체계)	찬 공기 생성과 유동 분석을 통해 찬 공기가 시가지로 유입되도록 하여 시가지 기온상승 완화를 목적으로 함	찬 공기 생성 및 유동 분석 프로그램 활용	- 공간지형정보 DB구축 및 등급화
바람길 (국지순환풍)	지구단위 차원에서의 바람유동을 분석, 가구 주변의 통풍을 확보를 통한 기온 저감을 목적으로 함	국지순환 분석 프로그램 활용	- 공간지형정보 DB구축 - 2-1세세부 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션 결과 값
가로수	그늘에 의한 노면 온도 상승 저감 효과와 주변 기온 상승 억제를 목적으로 함	열환경 3D 분석 프로그램 활용	- 1-2세세부 열발생 요소 유형화 결과 - HIP 및 MRT 수치 고려 - PMV 및 PET값 고려
옥상녹화	옥상의 표면온도 상승 억제 및 공조 에너지 소비량 절감을 목적으로 함	옥상녹화 종류 및 면적에 따른 평가 열환경 분석 프로그램 활용	- 1-2세세부 열발생 요소 유형화 결과 - 2-1세세부 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션 결과 값 - PMV 및 PET값 고려
쿨루프	건물 표면온도의 상승을 억제하고 식재기반 단열효과를 목적으로 함	열환경 분석 프로그램 활용)	- 1-2세세부 열발생 요소 유형화 결과 - 2-1세세부 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션 결과 값 - PMV 및 PET값 고려

▌표 2-48▐ 도시계획 열환경 개선 평가인증

평가인증지표		
가로수	옥상녹화	쿨루프
		

2) 기후변화 적응형 도시 열환경 설계시스템 BM 개발

❑ 수요 시장 분류

- 기후변화 대응 산업동향 조사와 기존 연구의 벤치마킹을 통해 도시 열환경 설계시스템의 수요 산업을 도시계획, 도로 및 교통, 건축 및 건설, 에너지·자원, 공공·안전, 보건·복지, 서비스 산업으로 분류하였음.
- 7개 수요 산업별 잠재적 수요시장은 도시계획(5개), 도로·교통(4개), 건축·건설(3개), 에너지·자원(3개), 공공·안전(3개), 보건·복지(3개), 서비스산업(9개)으로 총 30개의 세분 수요시장이 도출됨.
- 기후변화 대응 산업동향 조사와 기존 연구의 벤치마킹을 통해 도시 열환경 설계시스템의 수요 산업을 도시계획, 도로 및 교통 등으로 분류

▌표 2-49 ▌ 시장 포트폴리오 전략

시장 포트폴리오	잠재적 수요 시장	사업 추진 방식	
단기 공략 시장	M01_도시 열환경 모니터링 M02_도시 열재해(재난) 관리 M03_열저감 도시 조경 M04_열저감 쿨링 인프라 M06_교통 관리 모니터링 M13_녹화/수자원/산림 관리	System 기반 사업화	위치기반 열환경 데이터에 기반한 공공 모니터링 시장 공략
중점 전략 시장	M05_도시 농업 M07_녹색교통 M10_열저감 건축 설계 M14_농업 및 축산 M16_소방 관리 M18_경찰 행정 관리 M19_열환경 복지 서비스 M20_공공 보건 서비스 M21_열환경 의료 서비스 M24_부동산 서비스 M30_열환경 지식서비스	Service (Solution) 기반 사업화	열환경 제어 및 설계 기능을 통한 사용자 맞춤형 솔루션 시장 공략
장기 검토 시장	M08_자율주행/전기차 인프라 M09_대중교통 서비스 M11_열저감 인테리어 M25_유통 및 물류 M26_여행/레저/스포츠 M27_웰니스 M28_IT 컨텐츠 M29_교육서비스	Platform 기반 사업화	열환경 부가서비스 창출이 가능한 플랫폼 시장 공략

❑ 중장기 사업화 전략

• 사업화 추진 단계 및 범위

- 시장 포트폴리오 전략에 따라 Step 1) 열환경 관제 시스템, Step 2) 열환경 설계 솔루션, Step 3) 열환경 소셜 플랫폼으로 사업 모델을 확장할 것을 제안
- 단기적으로는 시장포트폴리오 1) 단기공략시장을 중심으로 열환경 관제 시스템 구축 사업을 전개할 것을 권고하며 중점 추진 시기는 2020~2021년으로 제안
- 중기적으로는 시장포트폴리오 2) 중점전략시장을 중심으로 열환경 설계 솔루션 서비스 사업을 전개할 것을 권고하며 중점 추진 시기는 2022~2025년으로 제안
- 장기적으로는 시장포트폴리오 3) 장기검토시장을 중심으로 열환경 소셜 플랫폼 사업을 전개할 것을 권고하며 중점 추진 시기는 2025년 이후로 제안

열환경 설계시스템 중장기 사업화 전략 - Business Road Map

2020 → 2022 → 2025 → 2030

		Step 1 열환경 관제 시스템	Step 2 열환경 설계 솔루션	Step 3 열환경 소셜 플랫폼
사업 방향				
사업화 개요		**위치기반 열환경 데이터에 기반한 공공 모니터링 시장 공략** 열환경 데이터 기반의 도시계획, 기상, 산림, 교통 등의 관제 시스템을 지자체 및 공공기관 및 관련 대기업에 공급	**열환경 제어 및 설계 기능을 통한 사용자 맞춤형 솔루션 시장 공략** 사용자의 설정에 따라 열환경 시나리오를 예측하고 전략을 도출할 수 있는 솔루션으로 건축/농업/공공서비스 분야에 공급	**열환경 부가서비스 창출이 가능한 플랫폼 시장 공략** 열환경 Map 및 빅데이터를 오픈 플랫폼으로 제공하여 다양한 사업자와 소비자가 새로운 부가서비스를 만들도록 공급
목표 시장	1	도시 열환경 모니터링 / 도시 열재해 관리	건축설계 / 부동산서비스	대중교통서비스 / 자율주행인프라
	2	도시 조경	농업 및 축산 / 도시농업	열저감 인테리어
	3	교통 관리 모니터링	공공행정서비스(소방관리/경찰행정)	교육서비스 / IT컨텐츠
	4	국립공원·산림·녹화·수자원 관리	열환경 보건/복지/의료 서비스	여행/레저/스포츠/헬니스
	5	열저감 인프라	열환경 지식 서비스	유통 및 물류
사업 모델		**B2B(기업 및 기관) 시스템 구축** (시스템 구축비 -> 연간 시스템 관리비)	**B2B & B2C 오픈 솔루션** (무료 솔루션 제공 -> 유로 서비스)	**열환경 플랫폼 서비스** (무료 플랫폼 제공 -> 광고 및 App 마켓)
목표 고객		▪ 국내외 지자체 ▪ 도로교통공단 등 교통 관리 공공기관 ▪ 산림청/수자원공사 등 ▪ 건설/물류/해양 관련 대기업	▪ 부동산/건축 업체 및 건축 설계사 ▪ 농업 및 축산업 종사자와 지원 기관 ▪ 국내외 지자체 / 공공행정기관 ▪ 보건기관/복지기관/의료기관 ▪ 연구기관/대학교/ 컨설팅업체	▪ 일반 User ▪ 인테리어 사업자 ▪ 스타트업 및 컨텐츠 제공자 ▪ 교육기관 및 환경연수원 ▪ 기반사업자 / 물류 및 배달 업체

▌그림 2-107▐ 중장기 사업화 전략

❑ 사업화 단계별 추진 방안

- 사업화 1단계(열환경 관제 시스템) : 열환경 관제 시스템은 위치기반 열환경 데이터에 기반한 공공 모니터링 시장 공략 사업으로 열환경 데이터 기반의 기상, 산림, 교통 등의 관제 시스템을 지자체 및 공공기관 및 관련 대기업에 공급하는 비즈니스 모델.
- 사업화 2단계(열환경 설계 시스템) : 열환경 설계 솔루션은 열환경 제어 및 설계 기능을 통한 사용자 맞춤형 솔루션 시장 공략 사업으로 사용자의 설정에 따라 열환경 시나리오를 예측하고 전략을 도출 할 수 있는 솔루션이며 도시계획/건축/농업 분야에 공급하는 비즈니스 모델.
- 사업화 3단계(열환경 소셜 플랫폼) : 열환경 소셜 플랫폼은 열환경 부가서비

스 창출이 가능한 플랫폼 시장 공략으로 열환경 Map 및 빅데이터를 오픈 플랫폼으로 제공하여 다양한 사용자와 소비자가 새로운 부가서비스를 만들도록 공급하는 비즈니스 모델.

❑ 중점 목표시장 선정

• 선정 배경

- 도시 열환경 설계시스템의 사업화가 가능한 수요 산업으로는 도시계획, 도로 및 교통, 건축 및 건설, 에너지·자원 등으로 총 30개의 잠재적 수요 시장으로 세분화함
- 총 7개 수요산업과 30개 잠재적 수요시장에 대한 개별적 BM 개발 연구를 수행하는데는 물리적 한계점이 있으며, 개별 시장에 대한 독립적 사업화 추진 방식은 투자효용(ROI: return on investment)에 대한 리스크가 존재하여 상세 BM 개발 연구를 위해 잠재적 수요시장에 대한 선택과 집중이 필요하며, 우선순위 평가를 통해 전략과제 선정 및 상세 BM 개발 연구를 추진함

• 잠재적 수요시장 특성 분석

- 총 30개 잠재적 수요시장에 대한 통합 및 재분류를 위해 수요시장별 특성 분석
- 특성 분석 항목은 도시 열환경 설계시스템의 사업화 추진 시 적합한 1) 시장주도 유형과 2) 제공가치 유형의 2개 항목으로 구성함.
- 분석 항목 1) 시장주도 유형에 대한 세부 특성 분류 기준은 공공형, 민간형, 융합형으로 구성됨
- 분석 항목 2) 제공가치 유형에 대한 세부 특성 분류 기준은 인프라 구축형, 서비스 제공형으로 구성됨.
- 관련 산업/시장/정책 동향 분석과 전문가 의견 수렴, 연구자의 탐색 과정 등을 통해 잠재적 수요시장별 특성 분석을 실시하였음.

• 목표시장 Pool 재구축

- 1차적으로 잠재적 수요시장별 시장주도 유형과 제공가치 유형에 따라 사업화 추진 시 시너지 및 효율성 등을 고려하여 타 수요시장과의 통합추진 및 독립추진 등을 판단하였고, 통합여부 판단에 따라 2차적으로 수요시장을 정의

❑ 사업 우선순위 평가

• 평가 개요

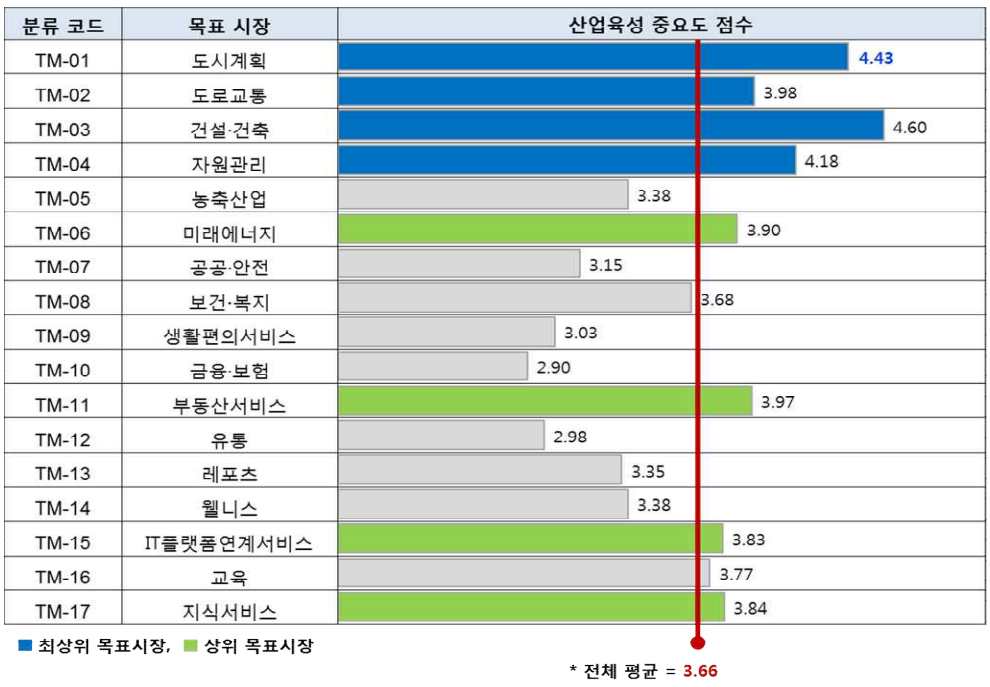
- BM개발을 위한 전략과제를 선정하여 상세 BM개발 연구를 추진하는 것이 현실적 대안, 사업 우선순위 평가를 통해 BM개발을 위한 핵심 목표시장을 선정
- 산업육성 중요도는 도시 열환경 설계시스템을 통한 산업육성의 필요성 수준으로 ① 산업육성 파급 효과, ② 열환경 대응 사업 필요도의 2개 항목으로 평가
- 비즈니스 적합성은 도시 열환경 설계시스템을 통한 사업화 추진 적합성 수준으로 ① 시스템 기술 적합성, ② 연구단 과제 적합성의 2개 항목으로 평가함.

▌표 2-50 ▌ 평가항목 및 기준

평가 요인 1		평가 요인 2
산업육성 중요도	+	비즈니스 적합성
도시 열환경 설계시스템을 통한 산업육성의 필요성 수준 (2개 평가 항목으로 구성)		도시 열환경 설계시스템을 통한 사업화 추진 적합성 수준 (2개 평가 항목으로 구성)
평가요소 ① 산업육성 파급 효과 - 목표시장에 대한 산업육성 시 발생되는 사회적·경제적 파급효과 평가요소 ② 열환경 대응 사업 필요도 - 열환경 대응에 대한 목표시장의 수요(요구) 수준과 필요성 여부		평가요소 ① 시스템 기술 적합성 - 목표시장에서의 수요와 현 시스템의 주요 기능의 연관성 및 활용성 여부 평가요소 ② 연구단 과제 적합성 - 연구단의 과제 추진 방향에 따른 목표시장에 대한 BM개발 적합성

※ 평가 척도: 5점 척도 (● 매우 높음 ◕ 높음 ◐ 보통 ◔ 낮음 ○ 매우 낮음)
※ 평가 방법: ① 산업육성 중요도: 이해관계자(전문가 집단) 설문조사 ② 비즈니스 적합성: 연구팀의 탐색적 자체 평가

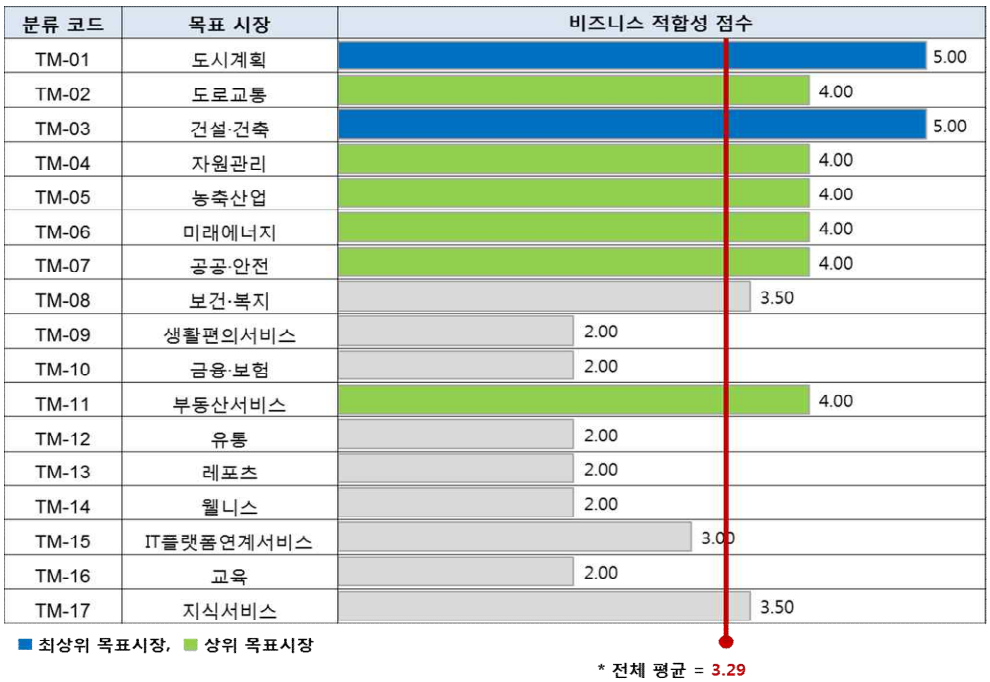
- 평가 방법은 1) 산업육성 중요도의 경우 이해관계자(전문가 집단) 의견수렴을 위한 설문조사로 실시하고, 2) 비즈니스 적합성의 경우 본 사업에 대한 정확한 이해가 필요하여 연구팀의 탐색적 활동을 통한 자체 평가로 실시
- 설문결과를 바탕으로 목표시장별 산업육성 중요도를 최종 평가
- 조사 항목별 평균 점수는 ① 산업육성 파급효과 3.65점, ② 열환경 대응 사업 필요도 3.68점으로 나타나 산업육성 중요도 종합점수는 3.66점으로 평가됨



▌그림 2-108▌ 목표시장별 산업육성 중요도 비교 차트

• 비즈니스 적합성 평가 결과

- 목표시장별 비즈니스 적합성 평가는 ① 시스템기술 적합성과 ② 연구단 과제 적합성 항목을 평가하기 위한 것임.
- 위 항목은 도시 열환경 설계시스템에 대한 상세 지식 없이는 판단하기 힘든 것으로 이해관계자 설문조사 방식이 아닌 본 연구팀의 정성적·탐색적 평가로 수행
- 또한 평가 결과의 객관성을 확보하기 위하여 컨설턴트 그룹(3명)의 3단계 평가회의 절차를 통해 최종 확정함.



▌그림 2-109▐ 목표시장별 비즈니스 적합성 비교 차트

• 목표시장별 평가 결과 종합

- 총 17개 목표시장에 대한 사업 우선순위 도출을 위해 BM개발의 전략적 우선순위를 나타내는 전략지수(Strategic Index)를 진단
- BM개발 전략지수는 「산업육성 중요도×비즈니스 적합성」으로 산출

▌표 2-51 ▌ 목표시장별 평가결과 종합

분류 코드	목표 시장	산업육성 중요도			비즈니스 적합성		
		산업육성 파급효과	열환경대응 사업필요도	평균	시스템기술 적합성	연구단과제 적합성	평균
TM-01	도시계획	4.45	4.40	4.43	5	5	5.00
TM-02	도로교통	3.75	4.20	3.98	4	4	4.00
TM-03	건설·건축	4.50	4.70	4.60	5	5	5.00
TM-04	자원관리	4.20	4.15	4.18	4	4	4.00
TM-05	농축산업	3.40	3.35	3.38	4	4	4.00
TM-06	미래에너지	3.95	3.85	3.90	4	4	4.00
TM-07	공공·안전	3.10	3.20	3.15	4	4	4.00
TM-08	보건·복지	3.75	3.60	3.68	3	4	3.50
TM-09	생활편의서비스	3.15	2.90	3.03	2	2	2.00
TM-10	금융·보험	2.90	2.90	2.90	2	2	2.00
TM-11	부동산서비스	3.95	3.98	3.97	5	3	4.00
TM-12	유통	2.80	3.15	2.98	2	2	2.00
TM-13	레포츠	3.20	3.50	3.35	2	2	2.00
TM-14	웰니스	3.45	3.30	3.38	2	2	2.00
TM-15	IT플랫폼 연계 서비스	3.85	3.80	3.83	3	3	3.00
TM-16	교육	3.80	3.73	3.77	2	2	2.00
TM-17	지식서비스	3.83	3.85	3.84	4	3	3.50

❑ BM개발 전략과제 수립

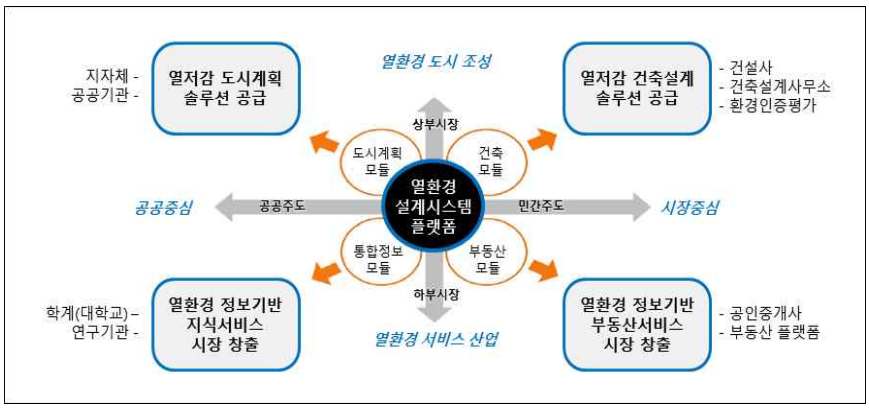
- 도시 열환경 설계시스템이 국가주도 공공플랫폼의 특성을 가지고 있으며, 주요 이해관계자는 지자체와 국민으로서 사업의 파급효과를 극대화하기 위해선 국가주도 도시 육성사업과 연계되어야 한다고 판단됨.
- 도시 열환경 설계시스템의 핵심 고객인 지자체를 대상으로 시스템 활용 증대를 위해 「열환경 혁신도시 조성 사업」을 연계한 사업화 과제를 수립, 도시 열환경 설계시스템의 사업화를 위한 상용 브랜드로 「열환경 혁신도시 육성 플랫폼」을 제시
- 사업화 모델 수립 과제는 Product(플랫폼 가치제안), Process(공급 프로세스), Partner(핵심 파트너), Promotion(프로모션), Policy(정책방안)의 5P 요소로 구성하여 추진

▌표 2-52 ▌ BM개발 전략과제 개요

<table>
<tr><td>사업 명</td><td colspan="5">열환경 혁신도시 조성 사업</td></tr>
<tr><td>사업화
플랫폼 명</td><td colspan="5">열환경 혁신도시 육성 플랫폼
(도시 열환경 설계시스템의 사업화를 위한 상용 브랜드)</td></tr>
<tr><td>사업화 개요</td><td colspan="5"><u>도시 열환경 설계시스템을 활용한 열환경 혁신도시 조성 사업</u>
도시 열환경 설계시스템의 핵심 고객인 지자체를 대상으로 시스템 활용 증대를 위해「열환경 혁신도시」선정과 지원을 통한 사업화 촉진</td></tr>
<tr><td rowspan="5">목표시장
범위</td><td>구 분</td><td colspan="2">분류 코드</td><td colspan="2">목표 시장</td></tr>
<tr><td rowspan="2">핵심목표시장</td><td colspan="2">TM-01</td><td colspan="2">도시계획</td></tr>
<tr><td colspan="2">TM-03</td><td colspan="2">건설·건축</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부목표시장</td><td colspan="2">TM-11</td><td colspan="2">부동산서비스</td></tr>
<tr><td colspan="2">TM-17</td><td colspan="2">열환경 지식서비스</td></tr>
<tr><td rowspan="3">사업화 모델
수립 과제</td><td colspan="5">열환경 설계시스템 사업화 모델 수립 핵심과제(5P)</td></tr>
<tr><td>Product</td><td>Process</td><td>Partner</td><td>Promotion</td><td>Policy</td></tr>
<tr><td>플랫폼 가치제안</td><td>공급 프로세스</td><td>핵심 파트너</td><td>프로모션</td><td>정책방안</td></tr>
<tr><td>추진 방향</td><td colspan="5">○ 수요자 맞춤형 플랫폼 가치 제안
- 도시 열환경 설계시스템이 현재 기술적 가치 중심으로 포지셔닝 되어 있어 수요자 중심의 재 포지셔닝이 필요함
- 수요자들 관점에서 주요 기능을 재 그룹핑하여 맞춤형 서비스 제공이 필요하며, 각 수요자별 맞춤형 가이드라인 제공 필요
○ 중장기 전략 관점의 사업화 방안 수립
- 열환경 혁신도시 육성 플랫폼의 비전 체계 수립
- 사업 비전, 추진 목표, 중장기 전략 방향, 목표 시장, 사업화 과제 등 중장기 전략 체계도 수립
○ 5P 모델 수립
- Product(플랫폼 가치제안), Process(공급 프로세스), Partner(핵심 파트너), Promotion(프로모션), Policy(정책방안)의 5P 요소를 구성하여 사업 모델을 수립할 방침임</td></tr>
</table>

❑ BM 개발 방안

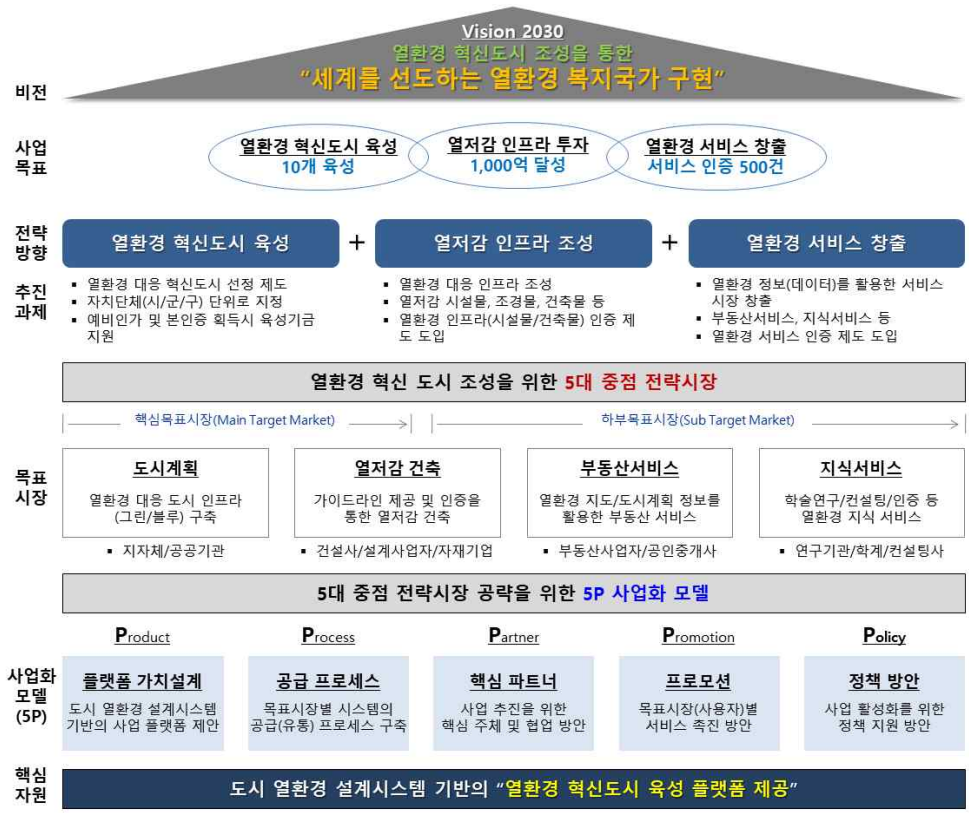
- 사업화 기본 모델(가치 확장 모델)
- 도시 열환경 설계시스템의 활성화를 위해선 플랫폼 기반의 가치 확장 모델 수립
- 도시 열환경 설계시스템의 핵심 기능과 서비스들을 수요자 중심으로 재 모듈화하여, 목표시장별 맞춤형 서비스 제공을 통한 사업 추진 필요.



▌그림 2-110▌ 사업화 기본 모델(플랫폼 가치확장 모델)

❑ 사업 추진 전략 수립

- "열환경 혁신도시 조성을 통한 세계를 선도하는 열환경 복지국가 구현"을 본 사업의 비전으로 제시함
- 2030년 중장기 전략 방향별 사업 목표는 1) 열환경 혁신도시 육성(혁신도시 선정 10개), 2) 열저감 인프라 조성(인프라 투자액 1,000억 살성), 3) 열환경 서비스 창출(서비스 인증 500건)으로 수립하였음



▌그림 2-111▐ 사업화 추진을 위한 비전 체계

3) 시사점

- 사용 가능성이 높은 자료를 근거로 평가인증체계를 개발하여 실제 현장에서 사용가능한 현장 맞춤형 평가인증체계 개발
- 열환경 설계시스템 산업환경 분석을 통해 시장 세분화를 실시하고, "상용화 용이성"과 "플랫폼 확장성"의 2개 요인으로 전략적 우선순위를 평가하여 단계적 목표시장을 선정함
- 사업화 모델 수립 과제는 Product(플랫폼 가치제안), Process(공급 프로세스), Partner(핵심 파트너), Promotion(프로모션), Policy(정책방안)의 5P 요소로 구성하여 추진

제2절 열섬저감 도시공간 설계기술 개발

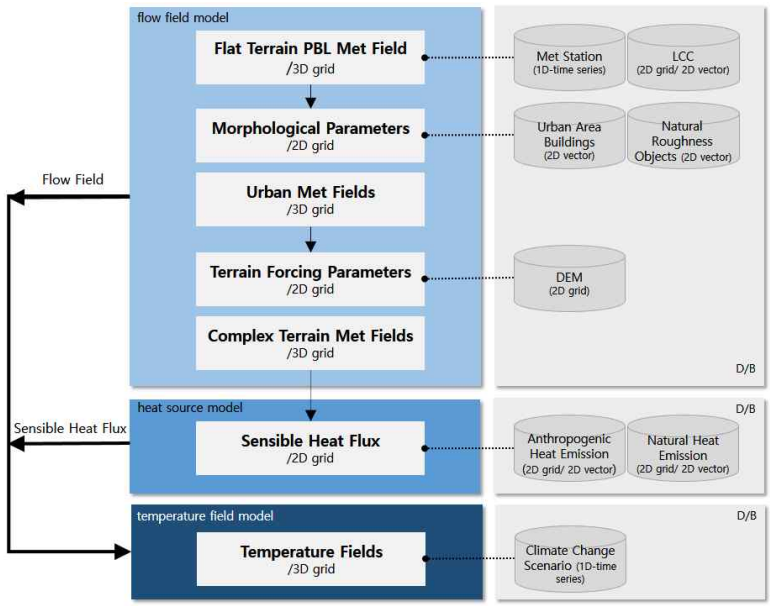
1. 도시 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술

가. 도시기상을 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술

1) 도시 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션(분석엔진)

❑ **선행연구 검토 및 요소모델 알고리즘 기획**

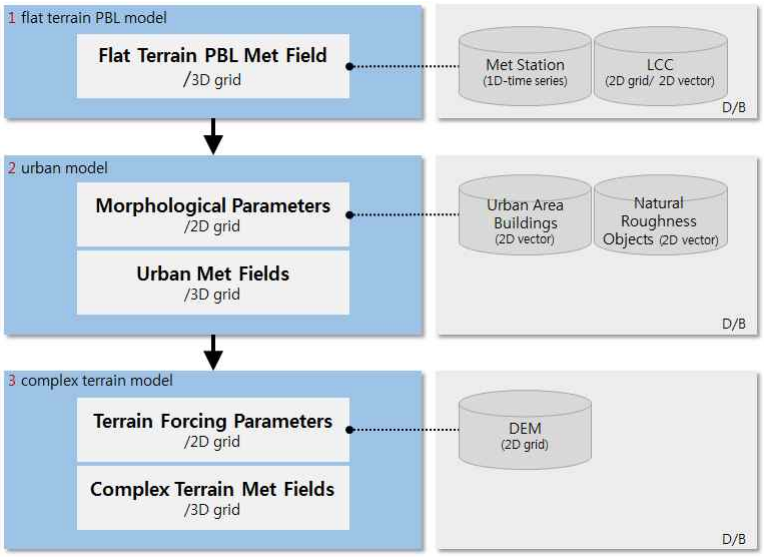
- 세계 주요 선진국에서는 일찍이 기후변화 대응 차원에서 도시열섬문제의 심각성을 인식하고 해결방안을 모색하고자 모니터링 및 분석체계 강화, 도시계획·설계를 위한 가이드라인 수립, 시범 도시 사업 수행 등 구체적이고도 다각적인 노력을 경주하고 있음
- 일반적으로 기 개발된 미기상모델의 경우 분석 범위가 단지규모로 한정되어 건축물의 배치나 밀도 변화와 같은 미시적인 개선안에 따른 도시 전체의 영향을 파악할 수 없는 것으로 나타남. 또한 기 개발된 중규모 기상모델은 도시전체 규모의 분석은 가능하나 미시적인 개선안의 반영이 어렵고, 미시공간 규모의 분석 정확도가 떨어지는 것으로 나타남
- 다양한 형상의 빌딩과 각종 인공구조물이 밀집된 도시지역에서 공기 흐름은 관측 위치와 시간에 따라 대단히 복잡해서 실험 혹은 해석적인 수단을 통해서 도시지역의 기류변화를 예측하는 것은 쉽지 않음
- 이러한 배경아래 선행연구 사례로 Morphological Method와 도로협곡모델(Street Canyon Model)를 검토하였음. 본 연구개발에서는 Morphological Model 기반 풍환경 모델을 기획함. Morphological Model은 대기경계층 이론에 의해 정립된 지상에서의 풍속 프로파일에 도시지역의 특성을 반영하여 프로파일의 형태를 적절히 수정하는 방법임
- 열원 모델은 1세부에서 개발한 도시 열원 모델을 적용하였으며 설계 및 구현은 별도로 진행되었음
- 본 연구개발사업에서는 열환경 시뮬레이션 모델의 전체구성 알고리즘 체계와 함께 각각의 요소모델에 대한 세부 알고리즘을 기획함



▌그림 2-112 ▌열환경 시뮬레이션 모델의 전체구성 알고리즘 체계

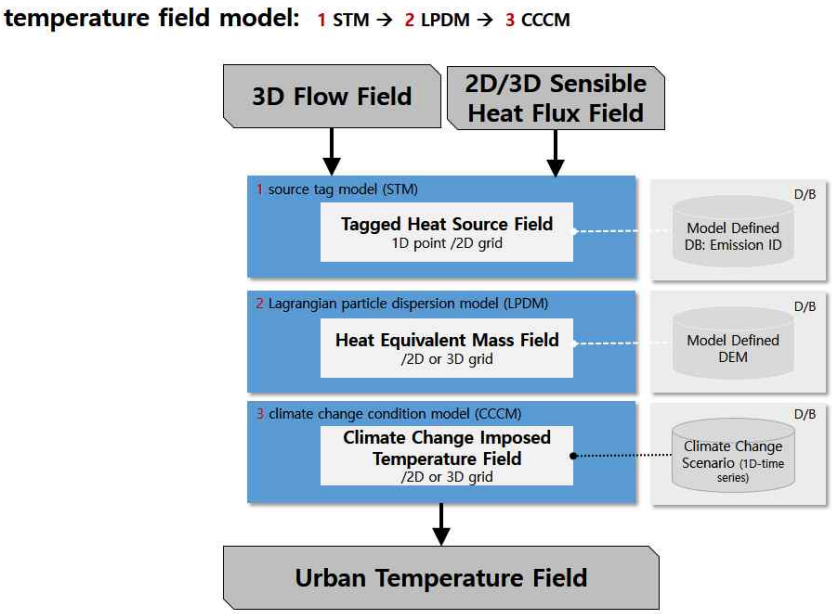
❑ 모델엔진 알고리즘 개발

- 모델엔진은 기상모델 엔진과 열확산 모델엔진으로 나뉨
- 기상모델은 평탄지형경계층모델(Flat Terrain PBL Model), 도시모델(Urban Model) 그리고 복잡지형모델(Complex Terrain Model)의 세 가지 요소 모델로 구성함
- 기상 모델엔진은 특정 위치에서의 기상관측자료를 토대로 전 공간에 대한 기상장을 구축하기 위해 평탄지형경계층모델을 통해 평탄지형을 가정하였고 이를 통해 전 공간에 대한 1차 기상장을 생성함
- 이후 도시모델을 적용해 지형에 의한 영향을 반영하여 복잡지형모델에서 2차 기상장을 최종적으로 완성함
- 기상모델의 전체적인 구성은 다음 그림과 같음



▌그림 2-113 ▌기상모델 알고리즘 체계

- 열확산 모델(Temperature Field Model)의 알고리즘은 열원구분모델(Source Tag Model: STM), 라그랑지안 대기확산모델(Lagrangian particle dispersion model: LPDM), 기후변화조건모델(Climiate Change Condition Model: CCCM)의 세 가지 모델로 구성됨
- 열확산 모델의 전체 알고리즘 체계는 다음과 같음



▌그림 2-114 ▌열확산 모델의 전체 알고리즘 체계

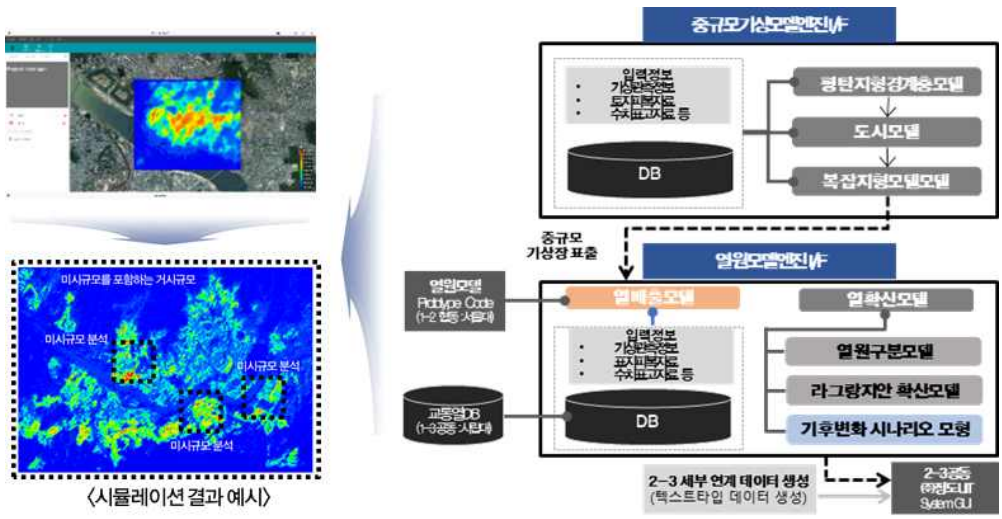
- 열확산 모델 내 열원구분모델(Source Tag Model)은 열배출모델의 결과인 2차원 및 3차원 현열배출분포와 입력 인자로 식별되는 항목에 대한 분포조건을 토대로 열등가질량배출량 분포를 산출함
- 라그랑지안 대기확산모델(Lagrangian Particle Dispersion Model)은 열원구분모델의 결과 즉, 색인된 열등가질량배출량이 기상모델의 결과인 도시 공간의 3차원 난류 바람장 내에서 퍼져나가는 과정을 계산하도록 구현함

❑ 모델링 DB

- 도시 열환경 분석 및 예측 시스템은 모델 엔진과 DB로 구성되어 있음. 모델엔진은 크게 독립적으로 운용되는 기상모델, 열원 모델, 열확산 모델로 분류되고 각각의 요소 모델들은 각 단계에서 요구되는 물리적 현상 분석을 위한 모델링용 DB를 필요로 함
- 도시 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션에 필요한 DB는 토지피복, 수치표고, 건물 및 기상 정보로 모델링 DB는 본 연구개발사업에서 개발된 모델엔진과 연구목표에 적합하도록 데이터 형태와 구조 등에서 개념적·논리적·물리적인 설계가 이루어지도록 설계한 후 구축함

❑ 모델엔진 I/F

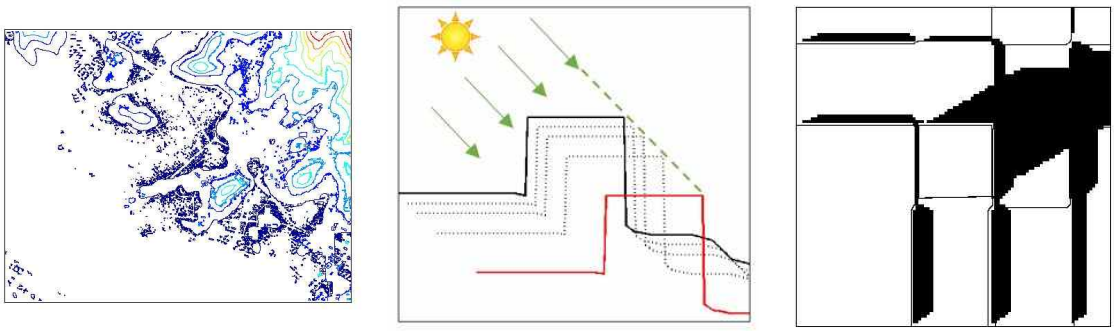
- 통합모델엔진을 통해 유기적으로 통합된 요소모델들이 정보를 교환할 수 있도록 모델엔진 I/F를 개발함
- 모델엔진 I/F 개발은 다음 그림과 같이 진행됨



▌그림 2-115▐ 요소모델 통합을 위한 통합모델엔진 개발 및 모델엔진 I/F

❑ 그림자 산정 알고리즘

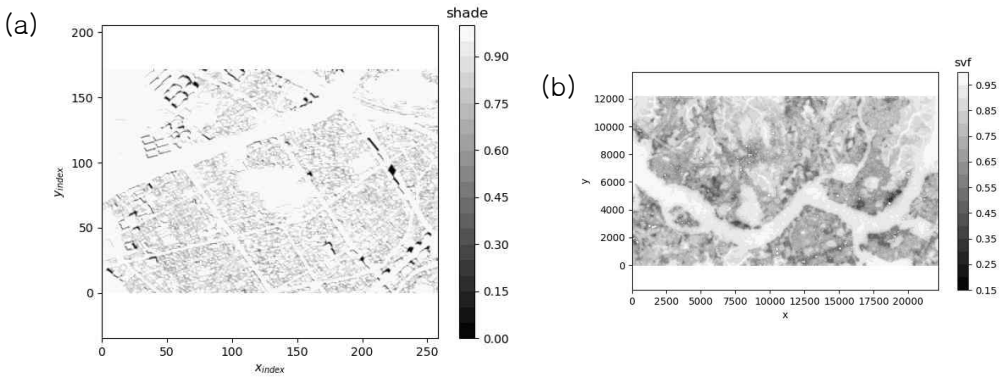
- 열원 모델에서 건물방향을 고려하기 위해 각 건물의 그림자와 천공률을 산정함
- 그림자 산정 알고리즘은 먼저 아래 그림 (a)처럼 계산영역 내의 건물과 지형을 총합하여 등고선을 산정함. 그리고 아래 그림 (b)에서 볼 수 있듯이 모든 영역을 태양 방향을 따라 평행 이동하여 각 지점에서의 그림자 생성 유·무를 한 번에 추론함. 각 지점의 결과는 계산 격자에 통계적으로 반영함. 알고리즘을 통해 계산된 그림자는 그림(c)과 같이 지형과 건물 모두 고려하는 것이 확인됨



(a) 지형+건물 등고선(서교동) (b) 태양방향 지형+건물횡단면 (c) 지형+건물 등고선과 그림자

▌그림 2-116▐ 그림자 산정 알고리즘

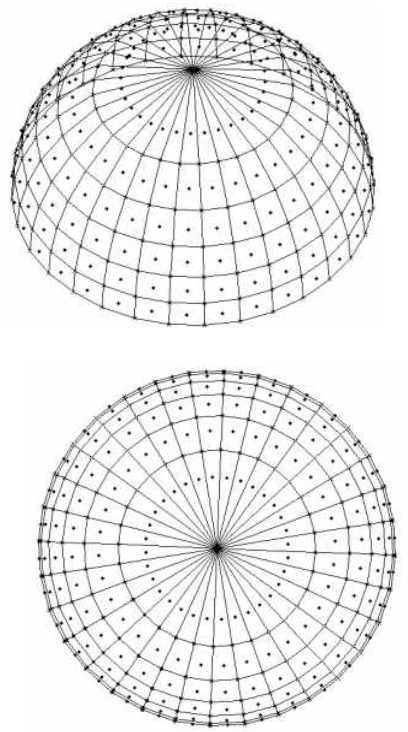
- 다음 그림은 마포구 일대와 서울시 전역의 2015년 06월 10일 13시 그림자 산정 결과임



▌그림 2-117▐ 그림자 모듈 개선 전(a), 후(b) 서울시 그림자 (2015년 06월 10일 13시)

❑ 천공률 산정 알고리즘

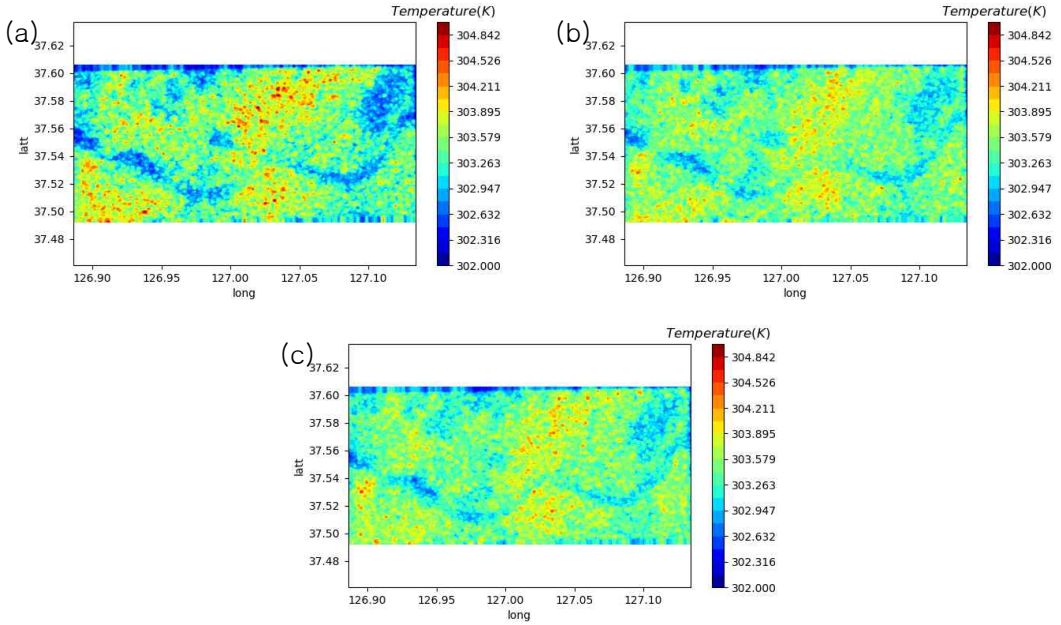
- 천공률은 지상에서의 입체각 투사율임. 즉, 천공률은 위치에서의 열린 하늘의 입체각을 전체 입체각으로 나눈 비율임
- 천공률 산정 알고리즘은 각 태양 위치에서 한 지점에 도달하는지를 그림자 유·무 상태로부터 추론함
- 천공률에서의 전체 입체각은 반구이므로 태양 위치들은 반구를 동일한 입체각 셀로 분할하여 정함



▌그림 2-118▐ 천공률 알고리즘의 동등한 입체각의 태양위치

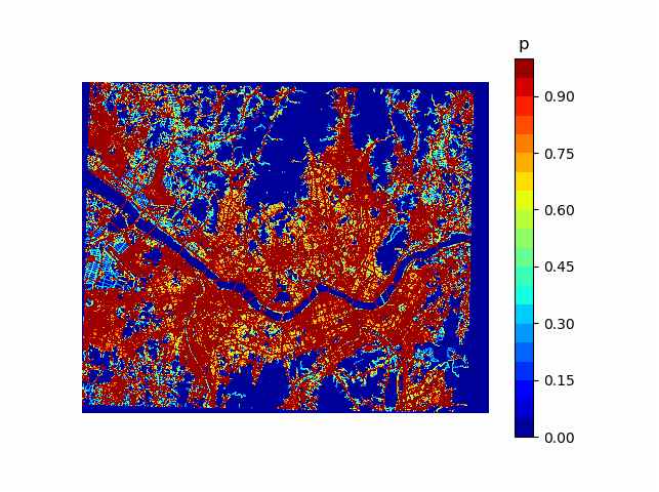
❑ 사용자 정의 토지피복 기능

- 사용자가 다양한 토지피복을 적용할 수 있도록 사용자 정의 토지피복 기능을 구현함. 사용자 정의 토지피복은 사용자가 특정 피복을 엔진에 입력하는 기능으로 물성 정보와 분포만 있다면 피복의 종류, 개수와 상관없이 엔진에 입력정보로 넣을 수 있음
- 다음 그림은 서울시 전역의 건물옥상이 콘크리트이거나 초지, 혹은 쿨루프일 경우의 온도장을 나타낸 것임. 분석 결과 서울시내의 최대온도가 305.2K로 콘크리트 옥상조건의 기온이 제일 높았으며, 쿨루프와 초지옥상 조건은 각각 최대온도가 304.74K, 304.49K로 초지의 열 절감효과가 더 좋은 것으로 나타남



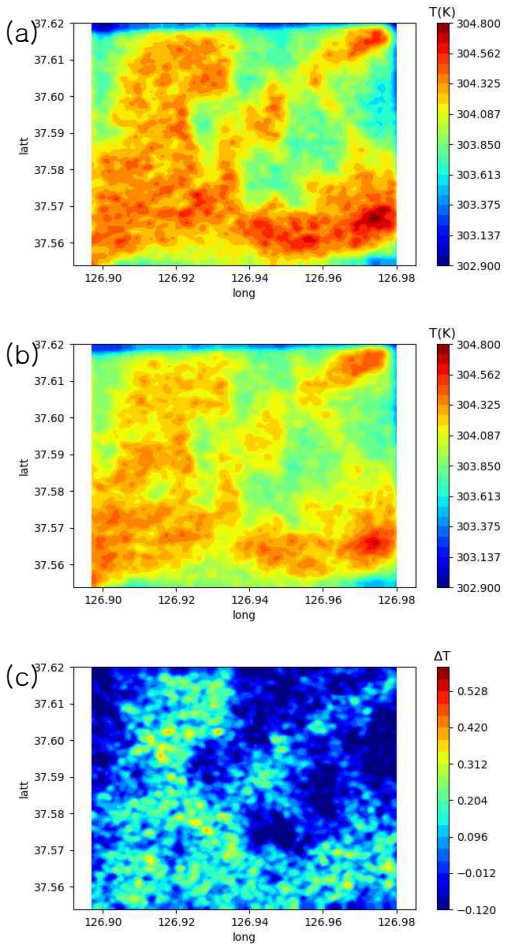
▌그림 2-119▐ 서울 전역에 대한 건물 옥상피복에 따른 온도 현황:
(a) 콘크리트 옥상, (b) 옥상녹화, (c) 쿨루프
(8월 14일 오후 1시)

- 분석엔진이 도로효과를 반영하기 위해서는 토지피복 정보에 도로정보를 추가하면 됨. 다음 그림은 10m×10m 격자 해상도에서의 서울시 도로 면적 비율임



▌그림 2-120▐ 서울시 도로 분포

- 다음 그림은 건물 옥상을 쿨루프로 교체한 경우의 시뮬레이션 결과임. 쿨루프를 서교동 인근 건물들에 적용한 결과 전체적인 기온이 내려가는 것이 확인됨. 쿨루프 외에 다른 대안들의 열 절감효과도 같은 방식으로 확인할 수 있음

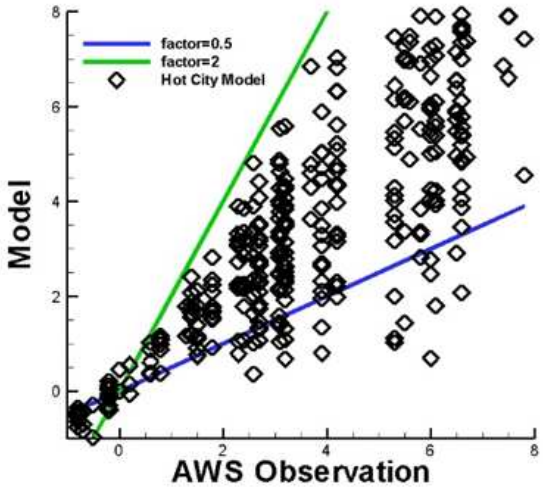


▌그림 2-121▐ 현황 및 대안 시뮬레이션 온도장 결과
(마포구 서교동 인근 2015년 08월 14일 13시):
(a)현황, (b) 대안(옥상표면: 쿨루프), (c) : (a)-(b) 온도장

❑ 기온실측치 대비 모델링 오차(표준문제성능평가) FAC2 80% 분석결과

- 도시 열환경 모델엔진의 통합모델엔진 코드는 도시지역의 AWS 관측결과에 대해 Factor of Two(이하 FAC2) 80% 조건을 만족하도록 개발됨
- 먼저, FAC2 분석 평가의 기준이 될 대상 영역 내부의 AWS 측정지점들을 확인하여 그 측정 위치와 측정값을 확인함. 통합모델엔진은 대상 영역에 대해서 해석 격자를 생성하여 교차점에 결과값을 저장하도록 구현함
- 측정된 AWS 데이터와 해당 위치에서의 통합모델엔진 코드의 결과값을 하나의 데이터 쌍으로 분류함
- FAC2 분석 평가는 데이터 쌍의 두 값을 비교하여 어느 한 쪽을 두배한 범위 내에 나머지 값이 있는 경우를 의미함
- 즉, AWS 측정값이 20이라면 모델엔진 코드결과는 10 - 40의 범위 내에 있는

경우에 FAC2를 만족하며 FAC2 분석 기준을 만족하는 데이터 쌍이 전체의 80% 이상일 때, FAC2 80% 조건을 만족함

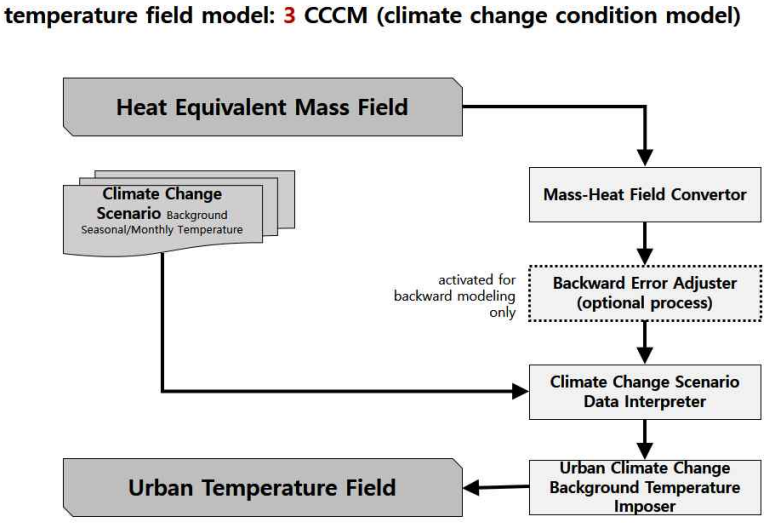


▌그림 2-122▐ FAC2 분석 결과

2) 기후변화 모델 통합기술(분석엔진)

❑ 선행연구 검토 및 요소모델 알고리즘 기획

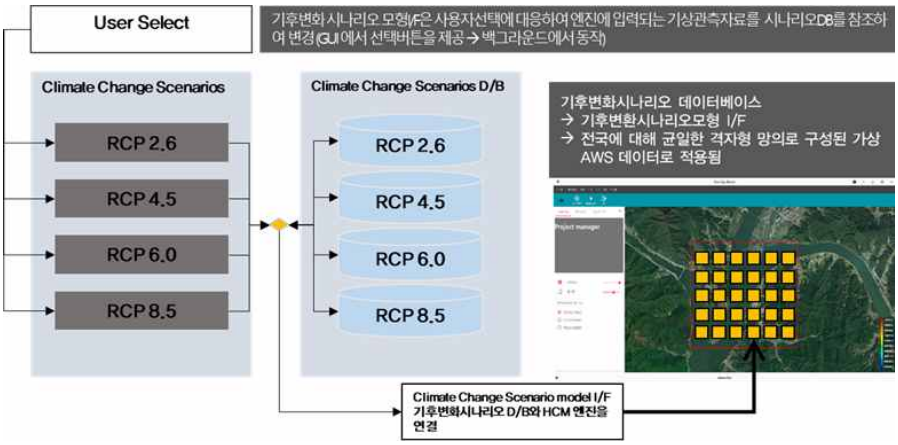
- 미래 기후변화를 전망하기 위해 기후변화 모델이 이용되고 있는데, 오늘날 전 세계적으로 개발 중인 기후변화 모델은 대기-해양-해빙의 접합을 넘어 생지화학 모듈이 결합된 지구시스템모형으로 진화 중에 있음
- 기 개발된 기후변화 모델 선행연구 사례를 검토한 결과 시간 및 공간 해상도에 있어 본 연구개발사업이 목표로 하는 성능과는 현격한 차이가 있음. 또한 국가 및 지자체의 기후변화 대책수립시 요구되는 기후변화 시나리오에 따른 열환경 분석 및 예측에도 한계가 있는 것으로 나타남
- 본 연구개발사업에서 개발한 기후변화 모델 통합기술 요소모델은 기후변화 시나리오에 부합되도록 배경 온도를 설정하고 도시 열환경 분석 및 확산 시뮬레이션 기술의 요소모델로서 개발된 열확산 모델, 라그랑지안 확산모델의 결과인 열등가질량 분포에 상응하는 온도분포 계산 결과와 중첩함으로써 최종적으로 도시 기온분포를 생성하도록 알고리즘을 기획함
- 본 연구개발사업에서 기획한 기후변화 모델 통합기술 요소모델 알고리즘은 다음 그림과 같음



▌그림 2-123▐ 기후변화 모델 통합기술 요소모델 알고리즘

❑ 기후변화 시나리오 모형

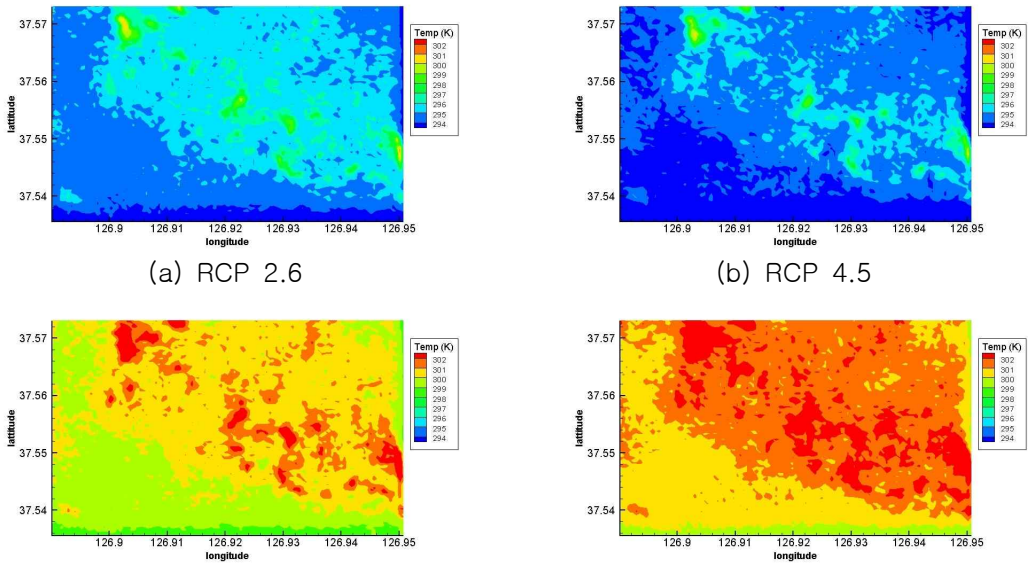
- 기후변화 모델 통합기술 요소모델은 전술한 바와 같이 사용자가 선택한 기후변화시나리오에 부합되도록 배경 온도를 설정하고 열확산모델의 결과와 중첩하여 최종적인 도시 기온분포를 생성하도록 구현함
  - 열원 모델이나 열확산 모델과 같은 요소모델에서는 태양 복사열에 의한 자연배출과 연료사용 등에 따른 인공 열 배출을 합산하여 현열 배출량을 산출함
  - 이때 미래도시의 기후변화에 따른 배경 온도변화는 분석대상 공간으로 유입되는 열로 환산되므로 열배출량 인자로 추가함
- 결론적으로 기후변화 모델에서는 기후변화시나리오 데이터를 모델링 시점에 대해서 대상 공간으로 유입되는 외기조건과 배경조건으로 설정함으로써 기후변화가 반영된 도시 열환경 기온분포를 생성하도록 구현함
- 이와 함께 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션 모델과의 연계를 위해 기후변화시나리오 모형 I/F를 구축함
- 다음 그림은 기후변화시나리오 모형 I/F 개요를 제시한 것임



▌그림 2-124▐ 기후변화시나리오 모형 I/F 개요

❑ 기후변화 모델 시뮬레이션 결과 분석 및 기후변화 시나리오 DB 검토

- 기후변화 시나리오 DB는 RCP 시나리오 데이터로 RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5 시나리오는 각각 2011년부터 2100년까지의 일 단위 최고기온 및 최저기온으로 구성됨
- 기후변화 모델에 최고, 최저기온에 의하여 발생하는 기온변화를 적용하여 서교동 대상지를 분석한 결과 RCP 2.6을 적용한 결과가 RCP 4.5를 적용한 결과보다 온도가 높게 나오는 경우를 발견함
- RCP 시나리오는 온실가스에 의한 복사강제력의 정도에 따라 구분되므로 이러한 결과는 각 RCP 시나리오의 정의와 대치됨

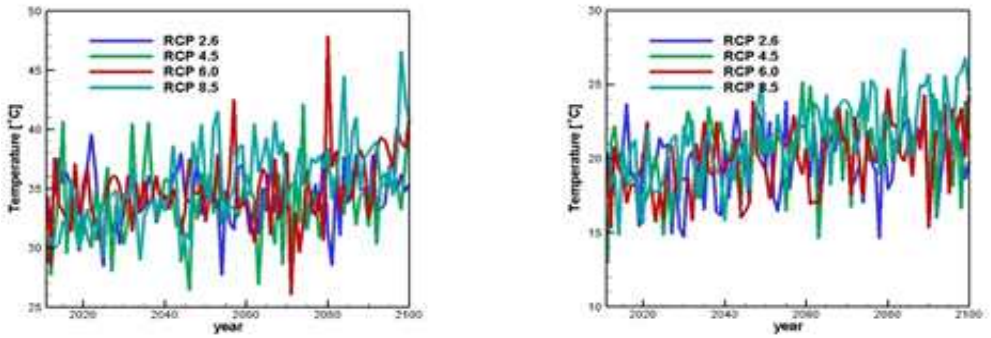


(a) RCP 2.6 (b) RCP 4.5

(a) RCP 6.0 (b) RCP 8.5

▌그림 2-125▐ 기후변화 시나리오 적용 시뮬레이션 결과(서교동, 2050년 여름 오후 2시)

- 2011년부터 2100년까지 4개의 RCP 시나리오별로 8월 14일 하루에 대한 서울의 최저기온과 최고기온의 연도별 변화추이를 살펴보면 서울에서 8월 14일 하루 최저 및 최고기온은 시간이 흐를수록 점차 증가하고, 증가의 정도는 RCP 2.6, RCP, 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5 순서대로 높게 나타남. 시간에 대한 추이에서 증가 경향이 상대적으로 뚜렷한 것과는 대조적으로, 짧은 기간 동안의 변동은 불규칙하고 변동 폭도 큰 것을 확인함
- 이는 기상청에서 제공하는 RCP 시나리오 데이터가 기후 정보가 아니라 각각의 RCP 시나리오를 반영한 기상 데이터의 형태이기 때문임. 공간적으로 넓거나 시간적으로 긴 데이터에서 기후변화 경향이 잘 나타남



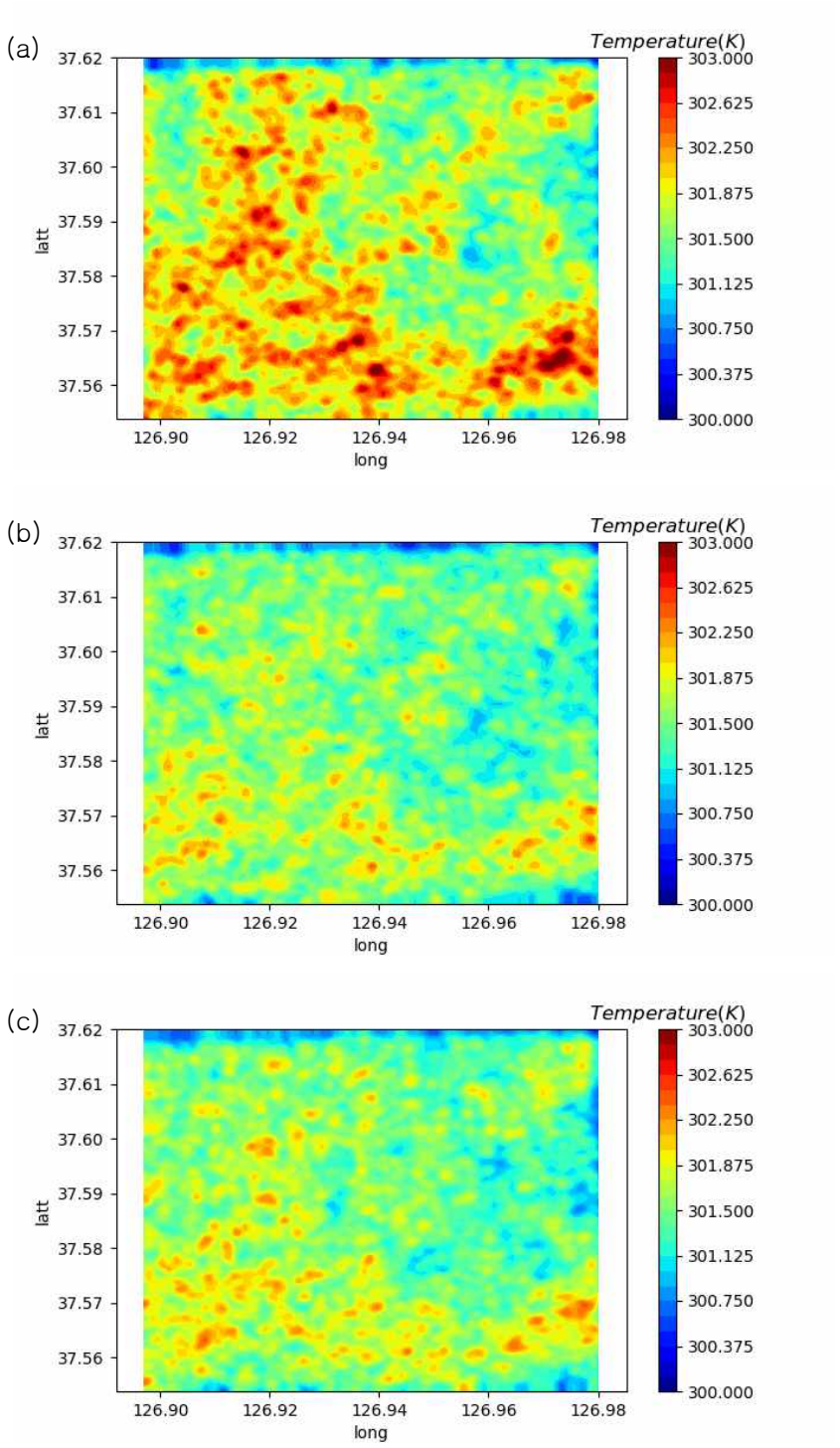
〈최고온도〉 〈최저온도〉

▌그림 2-126 ▌2011년부터 2100년까지 RCP모델에 따른 일별 최고·최저온도 변화

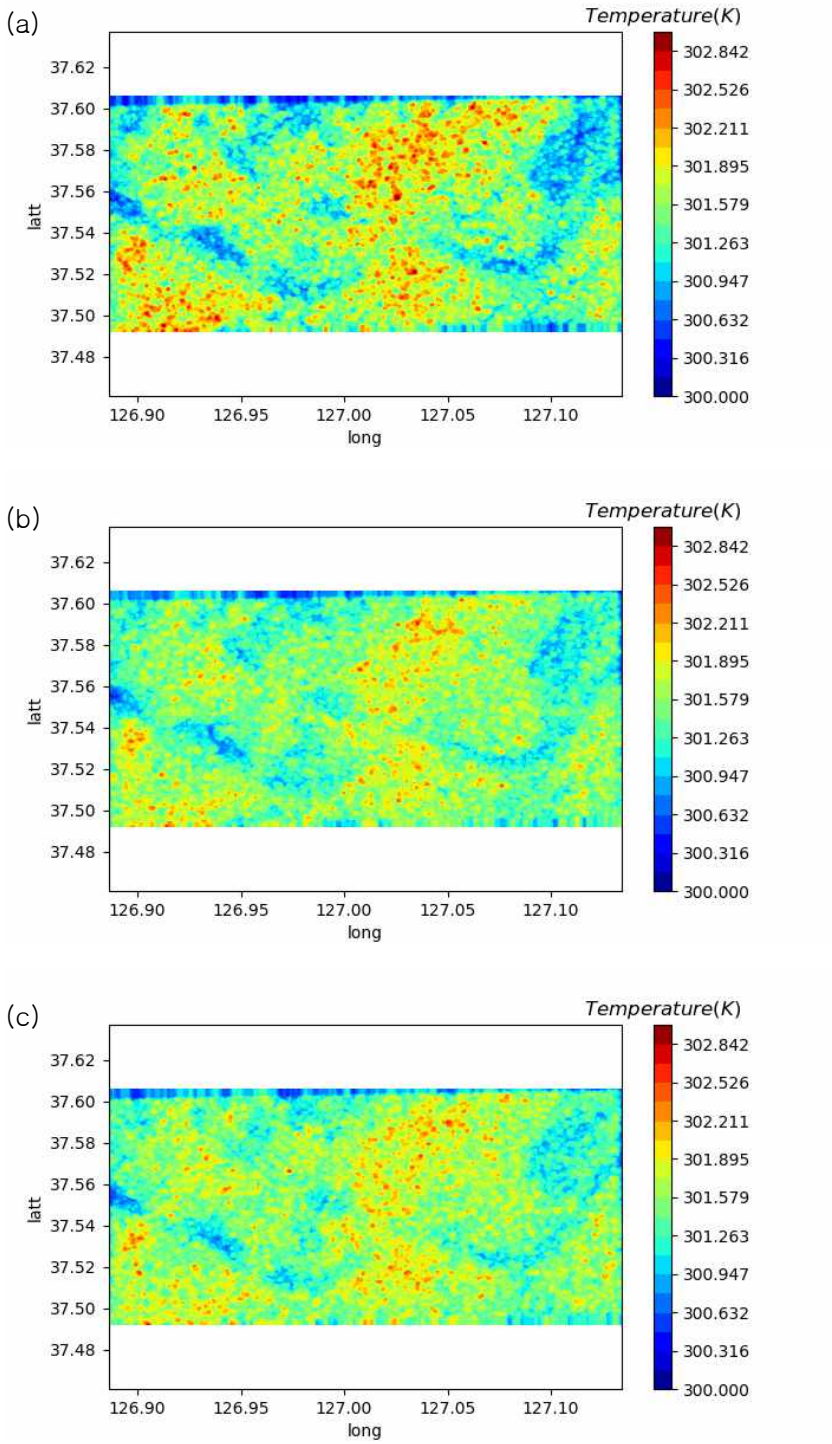
- 기후변화 시나리오 데이터에서 서울과 같은 공간규모는 상대적으로 협소해 단기적 변화는 기후변화의 경향보다는 기상시스템의 단기 변동성에 더 크게 영향을 받음
- 대상이 되는 모델링 공간범위는 서울규모 이하이므로 기후변화 시나리오 데이터가 적용된 시뮬레이션 결과를 해석할 경우 국지적 단기 변동을 기후변화에 의한 변동으로 오인하지 않도록 주의가 필요함

❑ 기후변화 시나리오 모델의 사용자 정의 건물입력 기능 검증

- 기후변화 시나리오 모델과 건물 옥상 피복 입력기능이 혼선 없이 통합적으로 진행이 되는지 확인하고자 서울시 기준 전체 건물 옥상이 콘크리트/초지/쿨루프일 경우의 미래 열환경 시뮬레이션을 진행함



▌그림 2-127 ▌서울시 서교동에 대한 기후변화 시나리오 RCP 6.0 적용 결과:
(a) 콘크리트 옥상, (b) 옥상 녹화, (c) 쿨루프
(2050년 8월 14일 오후 1시)



▌그림 2-128 ▌서울시 전역에 대한 기후변화 시나리오 RCP 6.0 적용 결과:
(a) 콘크리트 옥상, (b) 옥상 녹화, (c) 쿨루프
(2050년 8월 14일 오후 1시)

- 앞에 제시한 그림은 기후변화 시나리오 RCP 6.0을 서울 서교동과 서울시 전역에 적용한 사례로 모든 건물 옥상이 콘크리트, 초지, 쿨루프일 경우의 온도장

을 나타낸 것임

- 서교동 결과를 보면 옥상이 콘크리트일 경우 최고온도가 약 303.3K, 쿨루프, 초지일 경우 최고온도가 각각 302.4K, 302.6K로 열 절감효과가 확인됨
- 서울 전역 결과를 보면 옥상이 콘크리트일 경우 최고온도가 약 303.11K, 초지, 쿨루프의 경우 약 302K으로 서교동 결과와 동일하게 초지와 쿨루프의 열 절감효과가 확인됨
- 위 두 개의 결과에서 볼 수 있듯이 HCM으로부터 동 시간대의 거시-미시 규모 연동 시뮬레이션 결과가 도출됨. 두 결과 모두 역추적 기반 결과로서 미시-거시 규모 역추적 기반 열환경 시뮬레이션 기능도 반영된 결과임

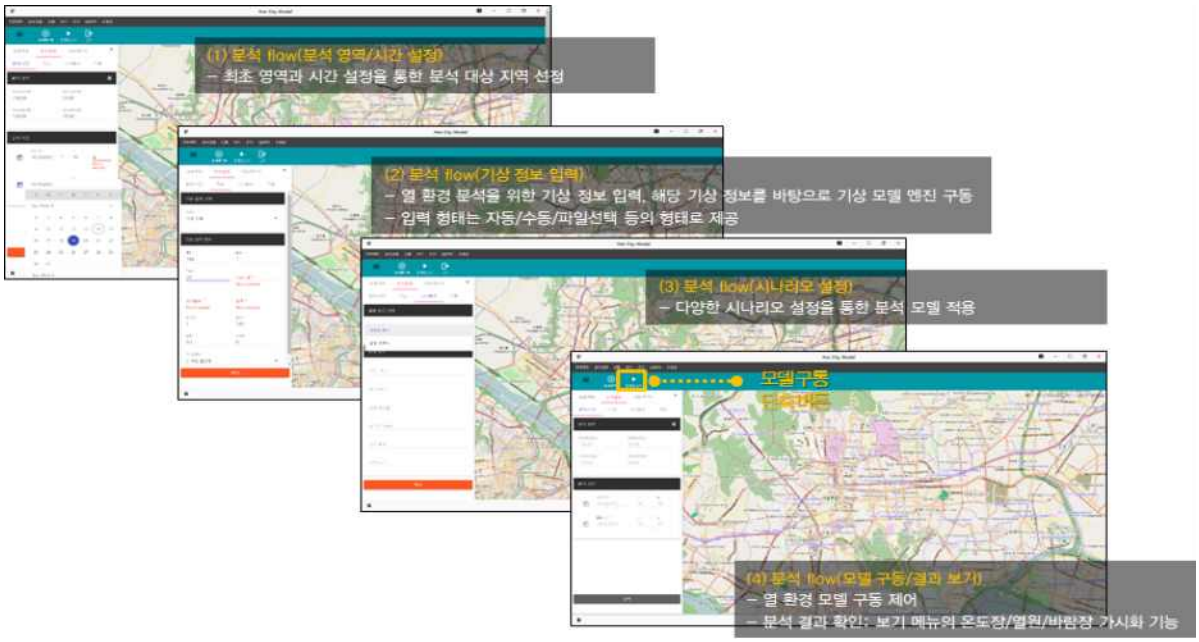
3) 웹환경 GIS 기반 사용자 GUI

❑ 웹 기반 이종 OS 서버·클라이언트 구조 기획

- 사용자 GUI는 구체적인 사용환경에 따라 크게 변동되는 사항임. 이러한 이유로 사용자 환경의 변화를 폭넓게 수용하여 적용대상을 넓게 설정할 수 있도록 구조 및 개발도구를 결정함
- 목표 시스템의 구조로 다양한 사용자 환경에 적용가능하도록 웹 기반 이종 OS 서버/클라이언트 구조를 채택하고 구현언어는 Javascript로 선정함
  - JavaScript는 다양한 웹 브라우저에서 동작하는 스크립트 언어로 OS 종류와 무관하게 프로그램 구동이 가능하고 서버 기반 라이브러리(Node.js 등)를 통해 웹 서버와 클라이언트의 동시 개발이 가능함

❑ 웹 기반 이종 OS 서버·클라이언트 구조 설계

- 본 연구개발사업에서 개발된 도시 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술의 시뮬레이션 구동과 가시화된 결과물 확인을 위해 사용자 GUI를 개발함
- 즉, 대상 도심지역에 대한 지형 및 지리 정보를 파악하기 용이한 웹환경 GIS 기반의 사용자 GUI를 개발하고, 이를 통해 분석모델을 제어할 수 있는 시스템 환경과 인터페이스를 구축함



▌그림 2-129▐ GUI를 통한 모델구동 절차 예시

❑ 열환경 모델 내 웹서비스 GIS DB 구성요소 개발

- 열환경 모델 내 웹 서비스 GIS DB 구성요소 개발 및 GIS 엔진기능 개발 결과를 요약하면 다음 표와 같음

▌표 2-53▐ 웹환경 GIS 기반 사용자 GUI 연구결과 요약

구 분	최 종 결 과
GIS DB 구축	• 벡터 기반의 지리 정보 추가/구축 - 지도서비스를 위한 수치 표고, 건물, 기상 등의 지형정보 추가 구축 - GeoJSON 등 공간정보 데이터 규격에 따라 구축 • 기본 지도 레이어 해상도 업데이트 - 레스터 이미지 기반자료에 고해상도 이미지 추가 - 줌 레벨 10 ~ 17까지 추가 제공
지도서비스 안정화	• 스크립트 분석 자동화 도구를 활용한 GIS DB 연동 등 서비스 안정성 테스트 완료 • 정량 지표: 화면 표출 속도 0.5초 이내
분석모델 연계	• 온도장, 바람장 등의 다양한 모델 물리량의 가시화 • 지리 정보 DB와 지도 이미지를 기반으로 열환경 시뮬레이션 결과 비교·분석에 활용

4) 시사점

- 도시 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션을 O(10m)해상도로 진행하는 엔진을 개발함
- 사용자 정의 토지피복 기능구현으로 다양한 피복들을 건물옥상에 제약없이 적용 가능. 단, 피복정보의 입력값에 민감한 엔진특성을 고려해 열환경 분석시 대상구역의 피복과 옥상표면의 물성정보를 적절하게 설정해야 함
- 고층건물이 밀집한 도시특성을 고려하여 지형과 건물의 그림자 및 천공률을 산정할 수 있는 기능구현
- 기후변화 시나리오(RCP) 적용 알고리즘 구현으로 기후변화를 고려한 열환경 분석 가능
- 기후변화 시나리오 적용시 열저감 방안(예: 옥상녹화, 쿨루프)도 고려 가능

2. 열섬저감 도시공간 설계기술 개발

가. 도시기후구역(LCZ) 유형별 열섬 저감을 위한 도시계획·설계 의사결정 지원기술

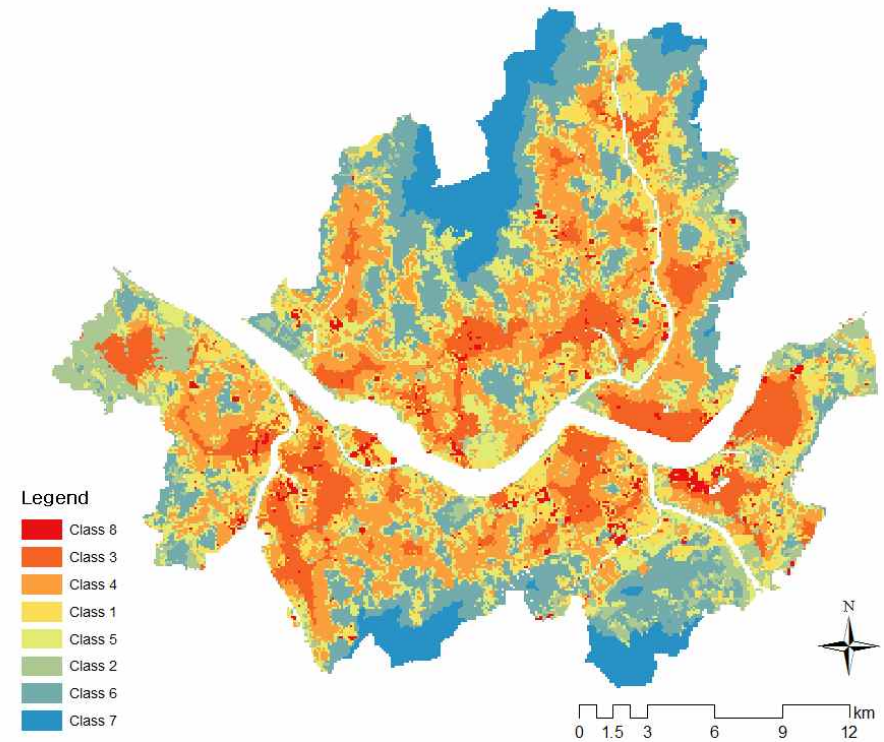
1) 도시기후구역(LCZ) 유형화

❑ 도시기후구역 유형화 변수

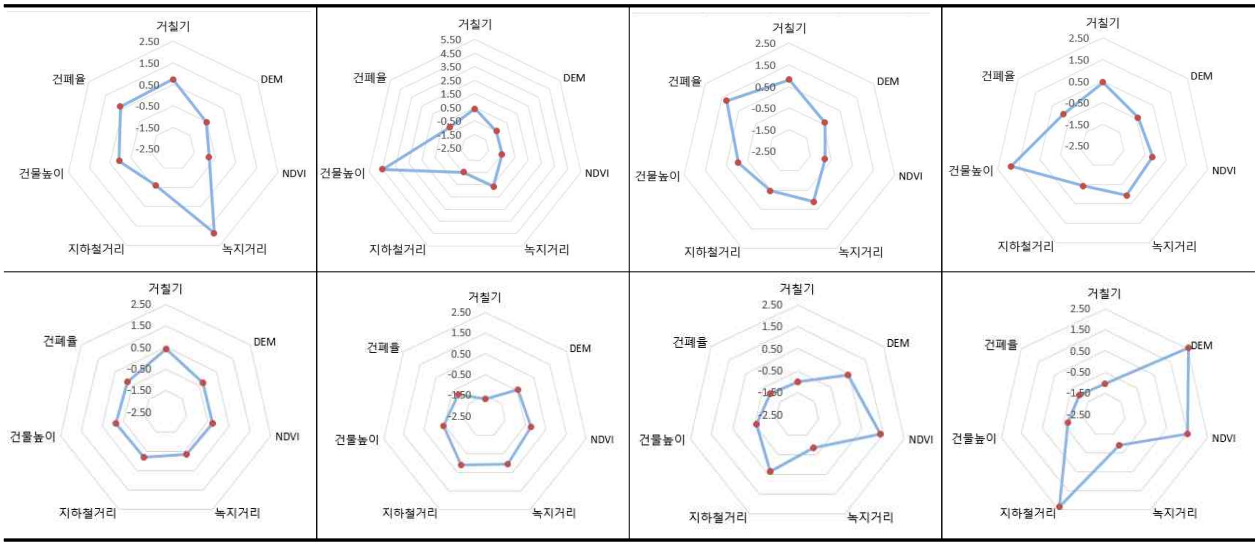
- 기후구역 유형화를 위한 예비변수는 기후구역 유형화연구, 도시기온과 도시형태와의 관계분석 연구 등의 문헌검토를 통해 총 9개의 지표군(지형, 토지이용, 토지피복, 건물, 인간활동, 도시형태, 위치특성)을 도출함
- 도시기후를 형성하는 유력한 변수를 상관분석과 회귀분석을 통해 도출하고 선정된 변수를 기반으로 군집화하는 통계적 방법을 적용하여 기후구역을 유형화함
- 표고, 녹지면적률, 표면거칠기, NDVI, 건물층고, 건폐율, 역과의 거리, 녹지와의 거리가 기후구역 유형화를 위한 최종 변수로 도출됨

❑ 도시기후구역(LCZ)유형화 결과

- 분석결과 대상지는 총 8개의 유형으로 도시기후구역이 구별될 수 있음을 확인함



❙그림 2-130 ❙ 기후구역 유형화 결과
(평균기온이 높은 유형 순으로 정리함)



▌그림 2-131 ▌ 기후구역 유형별 공간적 특성

❑ **결과 검증**

- 군집분석 결과를 토대로 유형별 기온분포를 확인하여 유형화 결과의 적합성을 검증함. 이를 위해 기온값을 종속변수로 하여 일원분산분석과 사후분석을 통해 기후구역 유형별 평균 차이를 분석함
- 일원배치 분산분석결과 유의수준은 .000으로 각 유형간 기온차가 있음을 확인함. 단, 사후검정 결과 유형 3과 유형 8, 유형 4와 유형 1은 집단간 큰 차이가 없는 것으로 확인됨

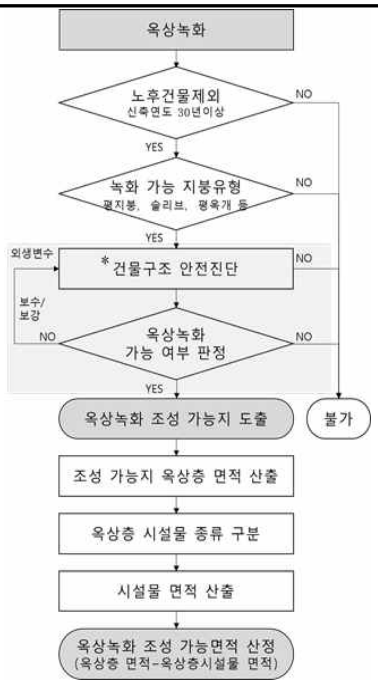
2) 열섬저감을 위한 도시계획·설계 및 관리요소의 입지가능지 및 우선순위 분석기술

❑ **열섬저감을 위한 도시계획·설계 및 관리 요소 선정과 유형화**

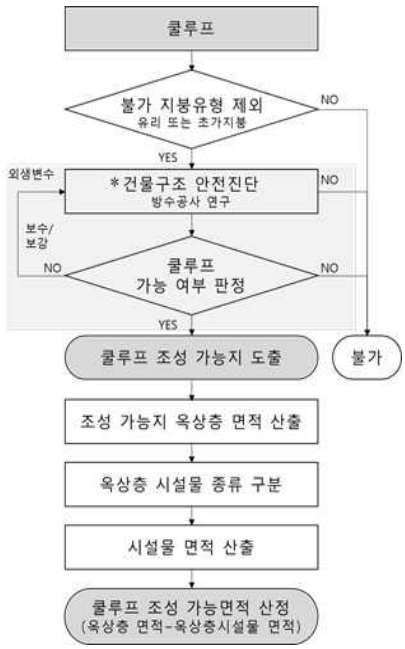
- 열섬저감을 위한 도시계획·설계 관리 요소 선정을 위해「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」「도시·군계획시설의 결정구조 및 설치기준에 관한 규칙」,「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」,「서울특별시 도시녹화 등에 관한 조례」등을 토대로 그레이, 그린, 블루 인프라로 구분하여 유형화 함
  - **그레이 인프라:** 도시민 정주활동에 기본적으로 필요한 물리적 시설인 기반시설 중 도시 골격을 형성하는 도로, 철도, 교량 등 회색의 도시기반시설과 구조물
  - **그린 인프라:** 도시내부 혹은 주변부의 공원지역, 숲, 습지,그린벨트 등 삶의 질 향상에 기여하는 생태계 서비스로 자연자원을 적극 활용한 녹색공간 기반시설 배치와 열저감 기능 강화를 위한 요소간 네트워크 전략 및 계획·실행수단임
  - **블루 인프라:** 하천, 강, 하천변 녹지, 습지 등과 같은 수공간으로 물을 주요 구성요소

❑ 도시계획·설계 및 관리 요소별 입지분석 알고리즘

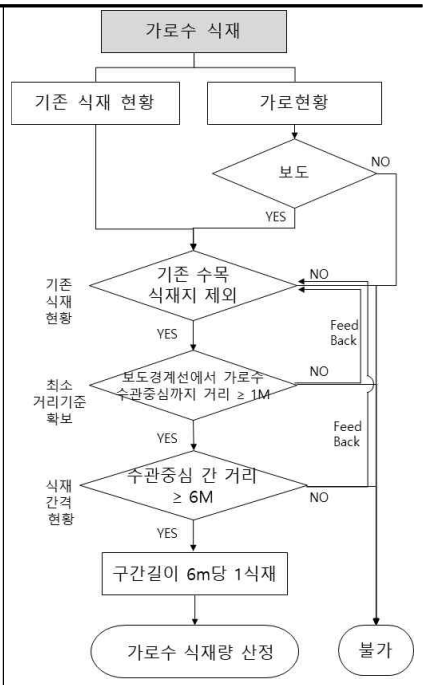
- 선정된 열섬저감을 위한 도시계획·설계 및 관리요소의 특성을 고려하여 입지가능지 분석 알고리즘을 개발함



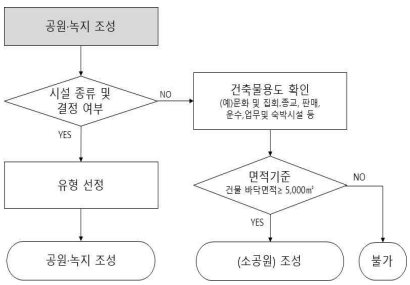
옥상 · 지붕 녹화 입지가능지 분석 흐름도



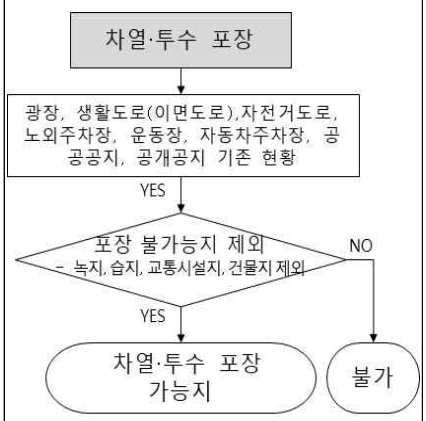
차열(쿨루프) 포장 입지가능지 분석 흐름도



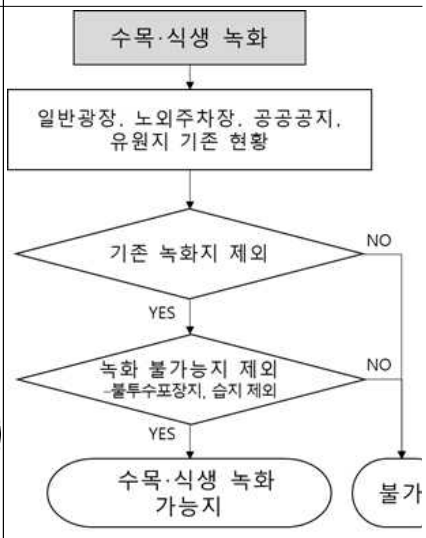
가로수 식재 입지가능지 분석 흐름도



공원 · 녹지 조성 입지가능지 분석 흐름도



차열 · 투수 포장 입지가능지 분석 흐름도

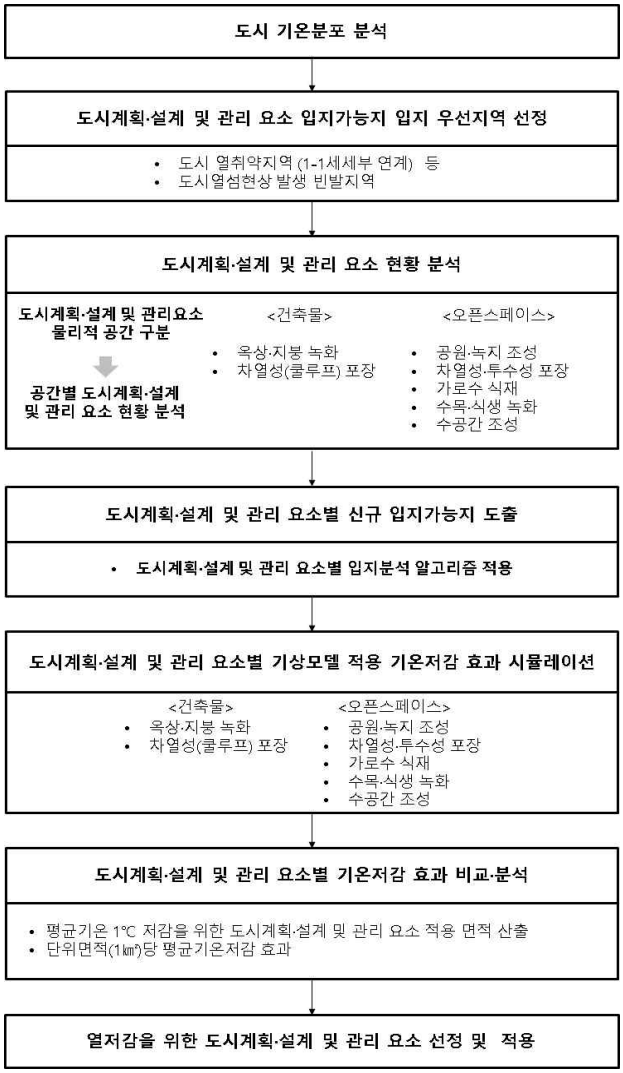


수목 · 식생 녹화 입지가능지 분석 흐름도

▌그림 2-132 ▐ 도시계획 · 설계 및 관리 요소별 입지가능지 분석 알고리즘

❑ 열섬저감을 위한 도시계획·설계 및 관리 요소 우선순위 알고리즘

- 도시 열취약지역과 도시열섬현상 빈발지역을 대상으로 도시계획·설계 및 관리 요소 입지가능지 입지 우선지역을 선정함
- 둘째, 도시계획·설계 및 관리 요소의 건축물, 오픈스페이스로의 구분에 따른 공간별 도시계획·설계 및 관리 요소 현황을 분석함
- 셋째, 도시계획·설계 및 관리 요소별 입지분석 알고리즘을 적용하여 신규 입지가능지를 도출함
- 넷째, 도시계획·설계 및 관리 요소별 기상모델을 적용하여 기온저감 효과를 시뮬레이션 하고 기온저감 효과와 경제성을 비교·분석하여 요소별 우선순위를 선정하고 적용함



▌그림 2-136 ▐ 도시계획·설계 및 관리 요소 입지가능지 우선지역 선정알고리즘

❑ 열섬저감 계획 및 설계요소 경제성 평가모형

- 열섬저감 계획 및 설계요소의 비용-편익 효과를 항목화하고 효과를 구분함

▌표2-54 ▌ 항목화 및 효과구분

항목화			계량화	가치화	효과구분	비고
비용	열섬저감 계획 및 설계요소 설치비용		○	○	시장재효과	
	열섬저감 계획 및 설계요소 수선·교체비용		○	○	시장재효과	
	열섬저감 계획 및 설계요소 유지·관리비용		○	○	시장재효과	
	소음 및 진동 등 기타 외부비용		X	X	비시장재효과	
편익	경제적 효과	에너지(전력) 절감효과	○	○	시장재효과	
		지역경제 활성화효과 (부가가치, 고용유발 등)	○	○	시장재효과	TP주)
	환경적 효과	이산화탄소 저감효과	○	X	시장재효과	유럽 탄소거래 가격 적용
	사회적 효과	건강증진효과	○	○	시장재효과	
		주민 쾌적성 향상효과	X	X	비시장재효과	CVM을 통한 가치화

○: 가능, X: 불가능
주) TP: 이전소득(: Transfer Payment)

- 대상지, 열섬저감 계획 및 설계요소별 비용은 비용원단위(단위 면적 당 비용)와 적용가능 면적(수)을, 편익은 편익원단위(단위 온도 당 편익)와 기온저감효과(℃)를 이용하여 산정함
- 각각의 원단위는 선행연구 분석을 통해 결정함

$$C_{f,t}^{r} = uc_{f,t}^{r} \cdot A(EA)_{f,t}^{r},$$

$C_{f,t}^{r}$: t년도 열섬저감 계획 및 설계요소 f의 도입에 따른 지역 r의 비용 (초기설치비용, 수선·교체비용, 유지·관리비용 포함),

$A(EA)_{f,t}^{r}$: t년도 열섬저감 계획 및 설계요소 f의 적용가능 면적(수),

$uc_{f,t}^{r}$: t년도 열섬저감 계획 및 설계요소 f의 단위면적(개수)당 투입비용.

$$B_{f,t}^{r} = ub_{f,t}^{r} \cdot CE_{f,t}^{r},$$

$B_{f,t}^{r}$: t년도 열섬저감 계획 및 설계요소 f의 도입에 따른 지역 r의 편익 (에너지 절감, 이산화탄소 저감, 의료비절감 편익 포함),

$CE_{f,t}^{r}$: t년도 열섬저감 계획 및 설계요소 f의 기온저감효과(℃),

$ub_{f,t}^{r}$: t년도 열섬저감 계획 및 설계요소 f의 단위기온저감효과당 투입비용.

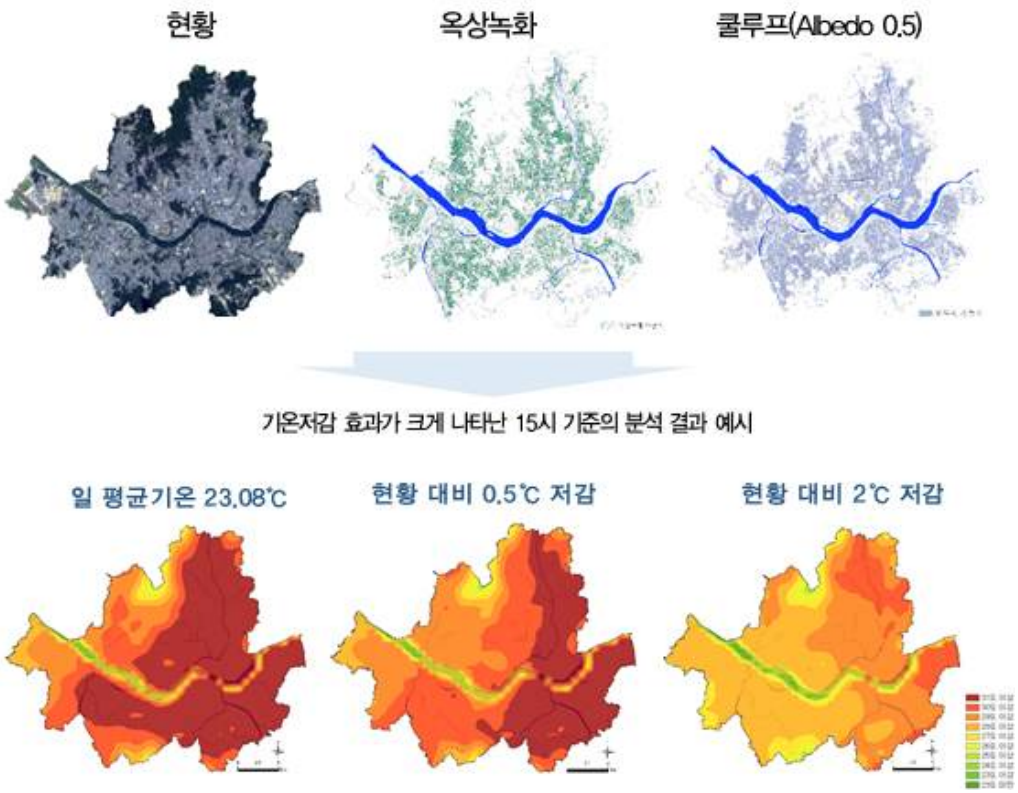
- 사업의 경제성은 순현재가치(NPV)와 비용편익비(B/C)를 통해 평가함. 사업의 기간은 30년, 할인율(r)은 4.5%를 적용함

▌표 2-55 ▌ 경제성 평가 판단 기준

분석지표	판단기준	산출공식
순현재가치(NPV)	NPV>0	$NPV = \sum_{t} \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t} \frac{C_t}{(1+r)^t}$
비용편익비(B/C)	B/C>1	$B/C = \sum_{t} \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t} \frac{C_t}{(1+r)^t}$

❑ 열섬저감 계획 및 설계요소 적용에 따른 기온저감 효과 분석

- 거시규모
  - 도시화율이 높고 고밀개발 되어 도시열섬 현상이 빈번하게 발생하는 서울시를 분석대상지로 선정함
  - 앞서 적용한 입지가능지 분석 알고리즘을 적용하여 다음과 같이 열섬저감을 위한 도시계획·설계 및 관리 요소의 입지가능지를 도출함
  - 수치모델을 적용하여 열섬저감을 위한 도시계획·설계 및 관리 요소 입지에 따른 기온저감 효과 분석을 분석함



▌그림 2-137▐ 거시규모모델 현황, 옥상녹화, 쿨루프의 기온저감 효과

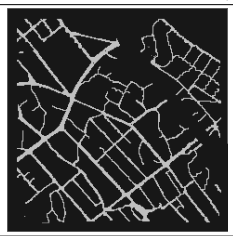
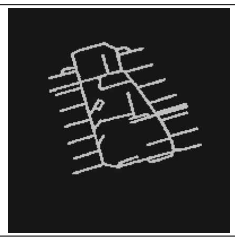


▌그림 2-138▐ 시나리오별 시간대별 현황과의 기온차

• 미시규모

- 도시열섬 현상 발생지역이면서 다양한 토지이용현황, 계획안이 수립된 지역이거나, 수립(중)인 장위4구역, 잠실 5단지, 서교동 일부를 대상지로 선정함
- 각 대상지별 다음과 같은 도시열환경 개선 시나리오를 작성하여 기온저감 효과를 분석함

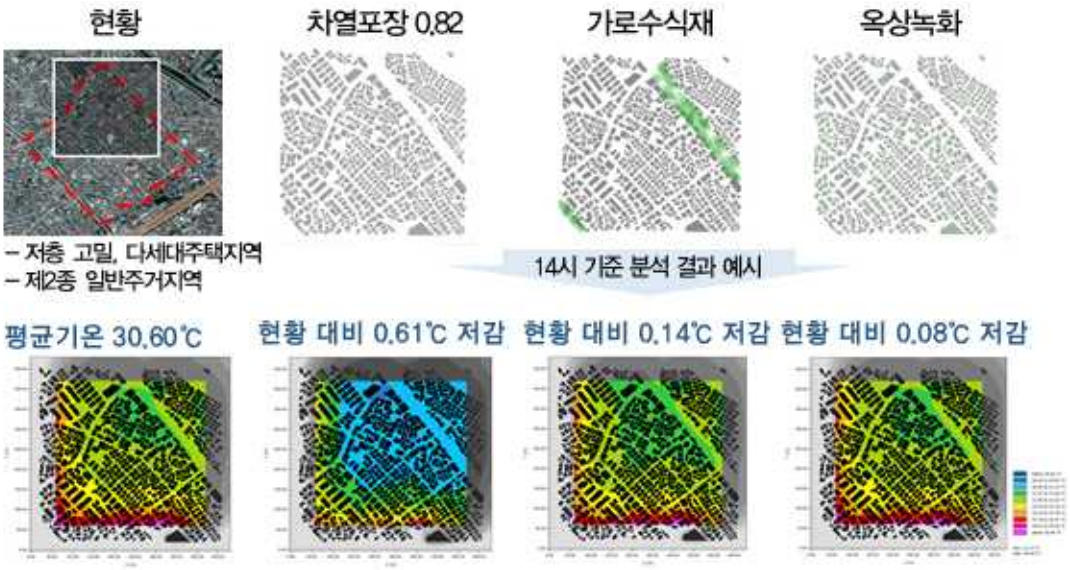
▌표 2-56 ▌미시규모 시나리오 설정

항목	장위 4구역	잠실 5단지	서교동 일부
현황			
옥상녹화		해당없음	
쿨루프 (Albedo 0.5, 0.65, 0.82)			
차열·투수포장 (Albedo 0.5, 0.65, 0.82)			
가로수			
수목·식생 녹화	해당없음		해당없음

- 장위 4구역: 차열포장0.82가 0.61℃로 현황대비 기온저감 효과가 가장 큼

▌표 2-57 ▌ 장위 4구역 시나리오별 분석 결과

기온(℃)	현황	옥상녹화	쿨루프			가로수 식재	차열포장		
			0.5	0.65	0.82		0.5	0.65	0.82
평균	27.1736	27.1110	27.1736	27.1736	27.1869	26.3596	27.0445	26.9859	26.8933
최고평균 기온(시간)	33.0838 (18시)	32.9595 (18시)	33.0838 (18시)	33.0838 (18시)	33.0838 (18시)	32.9497 (18시)	32.8868 (18시)	32.7923 (18시)	32.6226 (19시)
현황대비 최대기온차 (시간)	-	0.1402 (21시)	-	-	-	0.1394 (19시)	0.2996 (14시)	0.4238 (14시)	0.6117 (14시)

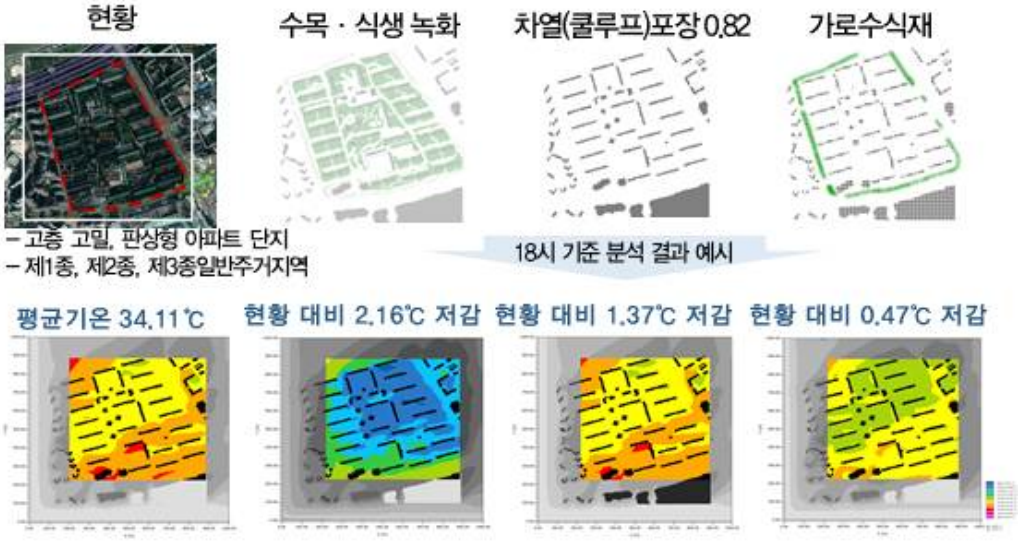


▌그림 2-139 ▌장위 4구역 ENVI-met 분석결과

- 잠실 5단지: 수목·식생 녹화가 2.16℃로 가장 큰 기온저감 효과

▌표 2-58 ▌ 잠실 5단지 시나리오별 분석 결과

기온(℃)	현황	쿨루프			가로수 식재	수목·식생 녹화	차열포장		
		0.5	0.65	0.82			0.5	0.65	0.82
평균	28.3287	28.3248	28.3248	27.6887	28.1053	27.2419	28.2174	28.1677	28.1086
최고평균 기온(시간)	34.1196 (16시)	34.1125 (16시)	34.1125 (16시)	33.0099 (16시)	33.7360 (16시)	32.1562 (16시)	33.8859 (16시)	33.7799 (16시)	33.6542 (16시)
현황대비 최대기온차 (시간)	-	0.0116 (19시)	0.0116 (19시)	1.5572 (21시)	0.4711 (18시)	2.1674 (18시)	0.2384 (15시)	0.3425 (15시)	0.4654 (16시)

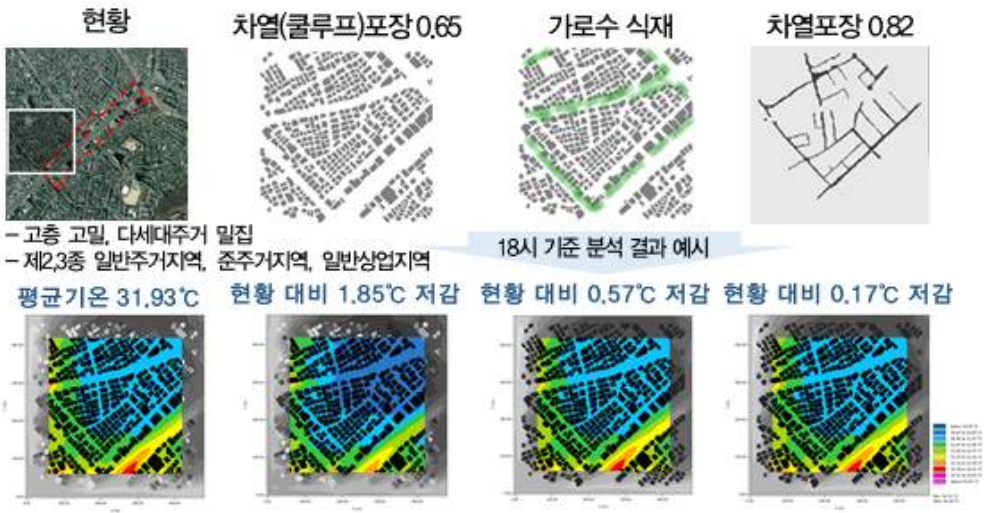


▌그림 2-140▐ 잠실 5단지 ENVI-met 분석결과

- 서교동 일부: 차열(쿨루프)포장0.68가 2.03℃로 가장 큰 기온저감 효과

▌표 2-59 ▐ 서교동 일부 시나리오별 기온분석 결과

기온(℃)	현황	옥상녹화	쿨루프			가로수 식재	차열포장		
			0.5	0.65	0.82		0.5	0.65	0.82
평균	26.6880	26.6351	26.0101	25.8372	25.8372	26.4313	26.6448	26.6172	26.5848
최고평균 기온(시간)	31.9334 (18시)	31.8222 (18시)	30.5116 (17시)	30.1745 (17시)	30.1744 (17시)	31.3567 (18시)	31.8730 (18시)	31.8248 (18시)	31.7647 (18시)
현황대비 최대기온차 (시간)	-	0.1304 (21시)	1.6276 (20시)	2.0360 (20시)	2.0361 (20시)	0.5980 (19시)	0.1192 (14시)	0.1710 (14시)	0.2495 (14시)



▌그림 2-141▐ 서교동 일부 ENVI-met 분석결과(2015.6.10. 18시 기준)

❑ 경제성 평가 결과

- 거시대상지(서울시)
  - 서울시의 경우 쿨루프에 비해 옥상녹화가 기온저감 효과 측면에서 우수하였으나 경제성 측면에서는 쿨루프가 더 우수한 것으로 나타남

▌표 2-60 ▌ 경제성 평가결과(서울시)

열섬저감 계획 및 설계요소	기온 저감량 (℃)	경제성[주] (비시장재화효과 불포함)	
		B/C	NPV (십억원)
쿨루프	0.14	0.03	-5,131
옥상녹화	0.18	0.02	-10,745

주) 30년 합계, 4.5% 할인율 적용

- 미시대상지
  - 서교동 일원에 가로수를 적용할 경우 기온 저감효과가 가장 크게 나타났으나 경제성 측면에서도 가로수가 가장 우수한 것으로 분석됨
  - 장위4구역의 경우 옥상녹화의 기온 저감효과가 가장 우수했으나 쿨페이빙이 경제성이 더 높은 것으로 분석됨
  - 잠실5단지의 경우 쿨루프가 기온 저감효과 및 경제성이 가장 우수한 것으로 나타남

▌표 2-61 ▌ 경제성 평가결과(미시)

대상지	열섬저감 계획 및 설계요소	기온 저감량 (℃)	경제성[주] (비시장재화효과 불포함)	
			B/C	NPV (백만원)
서교동 일원	쿨루프	0.41	0.22	-8,499
	옥상녹화	0.43	0.15	-14,570
	쿨페이빙	0.33	0.91	-186
	쿨루프+쿨페이빙	0.56	0.26	-9,767
	가로수	0.59	1.10	20
장위 4구역	쿨루프	0.20	0.10	-4,820
	옥상녹화	0.28	0.15	-3,964
	쿨페이빙	0.14	0.25	-1,067
	쿨루프+쿨페이빙	0.25	0.09	-6,116
	가로수	0.19	0.14	-71
잠실 5단지	쿨루프	0.91	0.74	-850
	쿨페이빙	0.05	0.07	-1,904

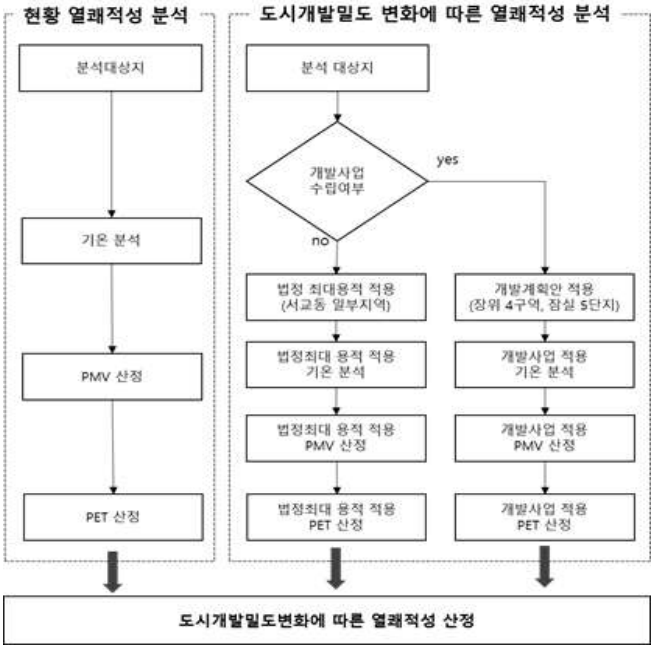
주) 30년 합계, 4.5% 할인율 적용

- 한편, 민감도분석 결과 쿨루프와 옥상녹화는 초기설치비용과 시설수선·교체비용이 핵심파라메타로 분석됨

3) 도시개발밀도 변화에 따른 열쾌적성 산정기술

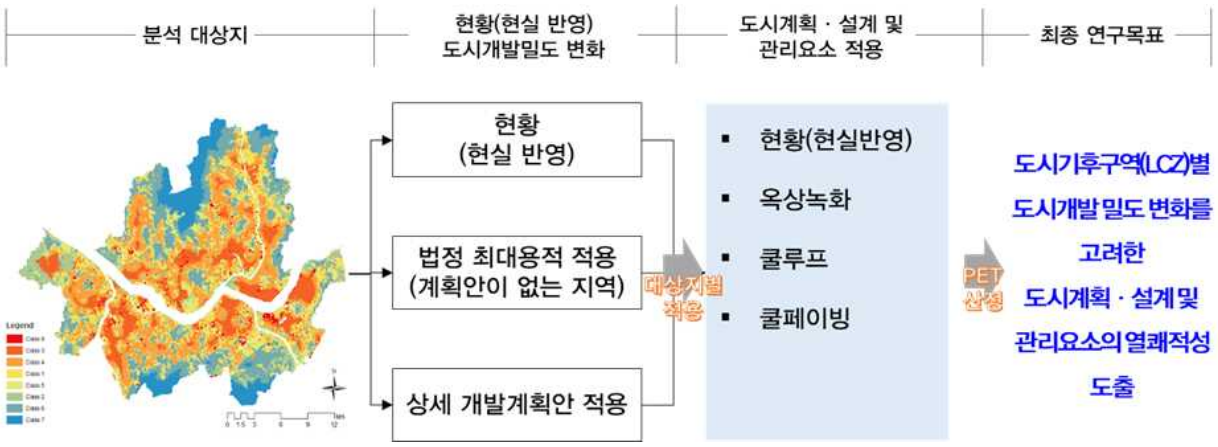
❑ 분석 체계 및 연구방법

- 도시공간의 개발밀도를 변화에 따라 도시민이 실제로 체감하는 열환경의 악화 정도를 열쾌적성 분석을 통해 규명함. 도시개발밀도 변화에 따른 열쾌적성 산정 체계는 다음과 같음



▌그림 2-142▐ 분석의 흐름

- 도시열섬 현상 발생지역이면서 다양한 토지이용현황, 계획안이 수립된 지역이거나, 수립(중)인 장위4구역, 잠실 5단지, 서교동 일부를 대상지로 선정함

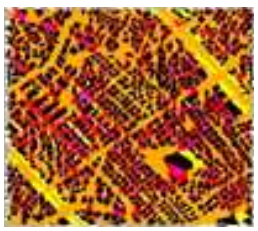
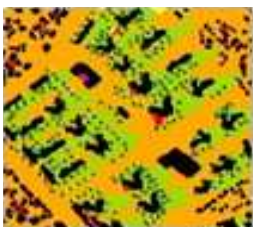
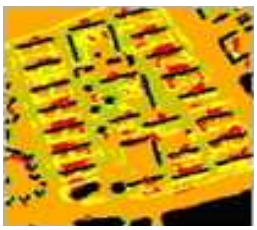


▌그림 2-143▐ 도시개발밀도 변화 시뮬레이션 공간 변화 시나리오

❑ 도시개발밀도 변화에 따른 열쾌적성 산정결과

- 도시계획·설계 및 관리요소들의 열쾌적성 개선효과는 옥상녹화와 쿨루프 순서로 효과가 큰 것으로 분석됨
- 옥상녹화와 쿨루프의 경우 밤 시간보다 낮 시간의 열쾌적성 개선효과가 비교적 큰 것으로 나타남
- 옥상녹화의 경우 고층, 고밀도의 아파트에서 비교적 열쾌적성 효과가 높은 것으로 나타났으며, 쿨루프와 쿨페이빙 경우 도시밀도가 크게 영향을 미치지 못한 것으로 나타남

▌표 2-62 ▌ 열쾌적성 산정 결과

	현황	도시개발밀도 변화
서교동 일부	  PET 30.29℃ / 건폐율 : 41.3%, 용적률 258.8% PET 개선효과: 쿨루프 > 쿨로드 > 옥상녹화	  PET 29.90℃ / 건폐율 13.5%▲, 용적률 153.2%▲ PET 개선효과: 옥상녹화 > 쿨루프 > 쿨로드
장위 4구역	  PET 33.44℃ / 건폐율 52.7%, 용적률 135.8% PET 개선효과: 옥상녹화 > 쿨로드 > 쿨루프	  PET 29.77℃ / 건폐율 29.7%▼, 용적률 113.2%▲ PET 개선효과: 옥상녹화 > 쿨루프 > 쿨로드
잠실 5단지	  PET 31.35 ℃ / 건폐율 10.2%, 용적률 152.3% PET 개선효과: 쿨루프(0.51℃▼) > 쿨로드	  PET 30.60℃ / 건폐율 8.5%▲, 용적률 111.9% ▲ PET 개선효과: 옥상녹화(0.36℃▼) > 쿨루프 > 쿨로드

❑ 열쾌적성 개선안 경제성분석 결과

- 열섬저감 계획 및 설계요소들의 열쾌적성 개선효과를 고려한 주민쾌적성 향상가치는 옥상녹화, 쿨루프+쿨페이빙, 쿨루프, 쿨페이빙, 가로수 순으로 크게 나타남
- 주민쾌적성 향상가치를 포함한 경제성은 서교동 일원의 쿨페이빙, 가로수와 장위4구역의 옥상녹화, 쿨페이빙, 가로수, 잠실5단지의 쿨루프에서 확보됨
- 한편 옥상녹화의 경우 주민쾌적성 향상가치는 타 요소보다 높았으나, 비용대비 효과가 낮아 타 요소보다 경제성이 다소 작은 것으로 분석됨
- 민감도분석 결과 쿨루프와 경우 초기설치비용과 시설수선·교체비용, 쿨페이빙의 경우 사회적할인율, 초기설치비용, 온도효과, 가구당 지불의사금액, 지불의사비율이 핵심파라메타로 분석됨

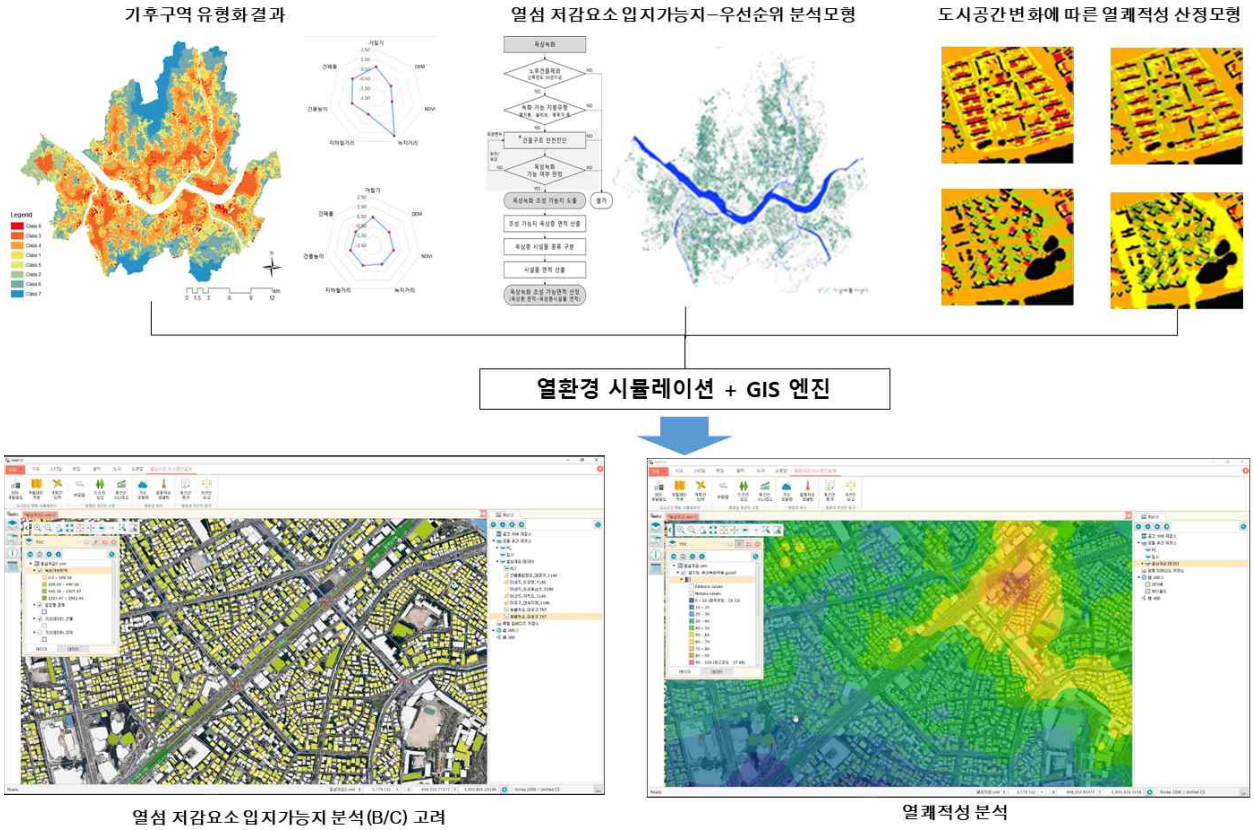
▌표 2-63 ▌ 열쾌적성 개선안 경제성분석 결과

대상지	열섬저감 계획요소	PET 저감량 (℃)	경제성[주] (비시장재화효과 포함)		주민쾌적성 향상가치 (백만원)
			B/C	NPV (백만원)	
서교동 일원	쿨루프	-1 ~ -0.2℃	0.50	-5,482	3,017
	옥상녹화	-0.1 ~ 0℃	0.48	-8,835	5,734
	쿨페이빙	-0.3 ~ 0℃	1.74	1,614	1,800
	쿨루프+쿨페이빙	-1.2 ~ -0.3℃	0.71	-3,868	4,817
	가로수	-1.6 ~ -0.1℃	2.42	295	275
장위 4구역	쿨루프	-0.5 ~ 0.1℃	0.58	-2,249	2,571
	옥상녹화	-1 ~ -0.2℃	1.13	601	4,566
	쿨페이빙	-0.5 ~ -0.1℃	1.43	609	1,676
	쿨루프+쿨페이빙	-0.8 ~ -0.1℃	0.76	-1,640	4,247
	가로수	-2.9 ~ -0.1℃	1.37	30	101
잠실 5단지	쿨루프	-0.9 ~ 0℃	1.68	2,229	3,080
	쿨페이빙	-0.4 ~ 0℃	0.96	-85	1,819

주) 30년 합계, 4.5% 할인율 적용

4) 열섬저감 도시공간 설계시스템통합·연계기술 I

- 열섬저감 도시공간 설계시스템 통한・연계기술 (1)은 열섬 저감을 위한 도시설계・관리요소의 입지・우선순위 분석모형과 열쾌적성 산정모형과 같은 도시공간 의사결정이 GIS엔진, 열환경 시뮬레이션 기술과 접목되어 한 시스템으로서의 역할을 수행할 수 있도록 연계체계를 형성하는 것임
- 연계체계를 기반으로 각 세부기능이 구현가능토록 기능명세를 작성함
  (세부 명세는 2세부 최종보고서 '열섬저감 도시공간 설계기술 개발' pp.598-615 참고)



▌그림 2-144▐ 열섬저감 도시공간 설계시스템 통합·연계체계 I

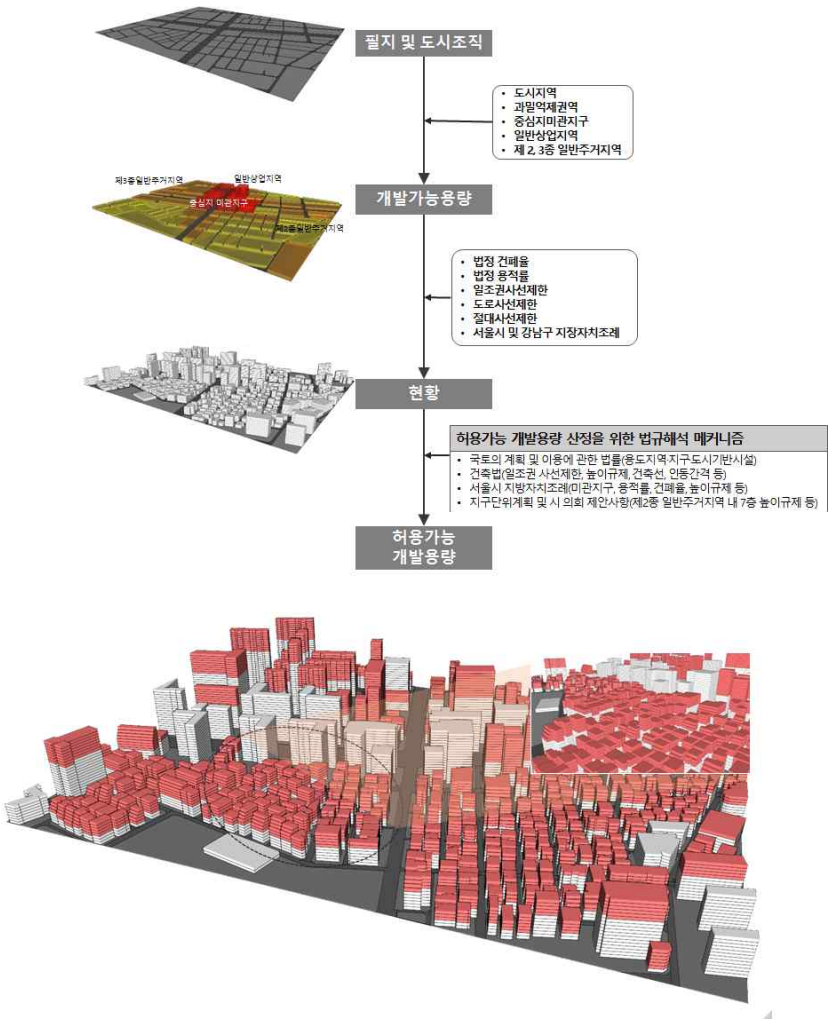
5) 시사점

- 열섬 발생 및 열환경 악화원인 규명, 열환경 개선을 위한 도시공간 유형별 맞춤형 도시계획 대안 수립을 위한 기초정보 제공
- 열환경 개선을 위한 인프라의 입지가능지·우선순위 가능지 분석기준 과학화
- 도시개발밀도 변화에 의해 용적률이 상승하더라도 건폐율 감소 시 열쾌적성은 향상 (건폐율 감소→건축물 형태, 규모, 배치 변화→바람길 및 그림자 확보로 인한 도시 열쾌적성 향상)
- 기온저감 및 비용 효과와 더불어 편익효과를 종합적으로 고려하여 대상지 별 우선순위 적용 요소 평가체계 구축
- 열섬저감요소 유형별 사회적가치를 계량적인 방법으로 측정하여 향후 사회적 후생을 극대화하는 정책 결정 유도

나. 기후변화 시나리오 기반 도시계획·설계 의사결정 지원기술

1) 기후변화 시나리오와 열환경 개선을 위한 도시계획·설계 연동체계

- 기존 도시 열섬현상 분석은 개발 전·후의 비교로 현시점 및 근 미래적 차원에서 이루어진 바, 기후변화에 의한 중·장기적(20-50년 후의 예측) 열환경 악화 가능성을 고려한 도시공간의 기후변화 적응성을 향상시키고 지속가능성을 제고하는 공간의사결정지원기술이 필요함
- 열환경 개선을 위한 공간의사결정의 정의: 현행 법·제도의 허용한계 내에서 도시공간의 개발과 인간활동이 최대한 이루어질 경우 발생할 열환경 악화 정도를 예측한 시뮬레이션 결과를 기초로 선제적 대안을 마련·선정하는 공간의사결정기술 개발

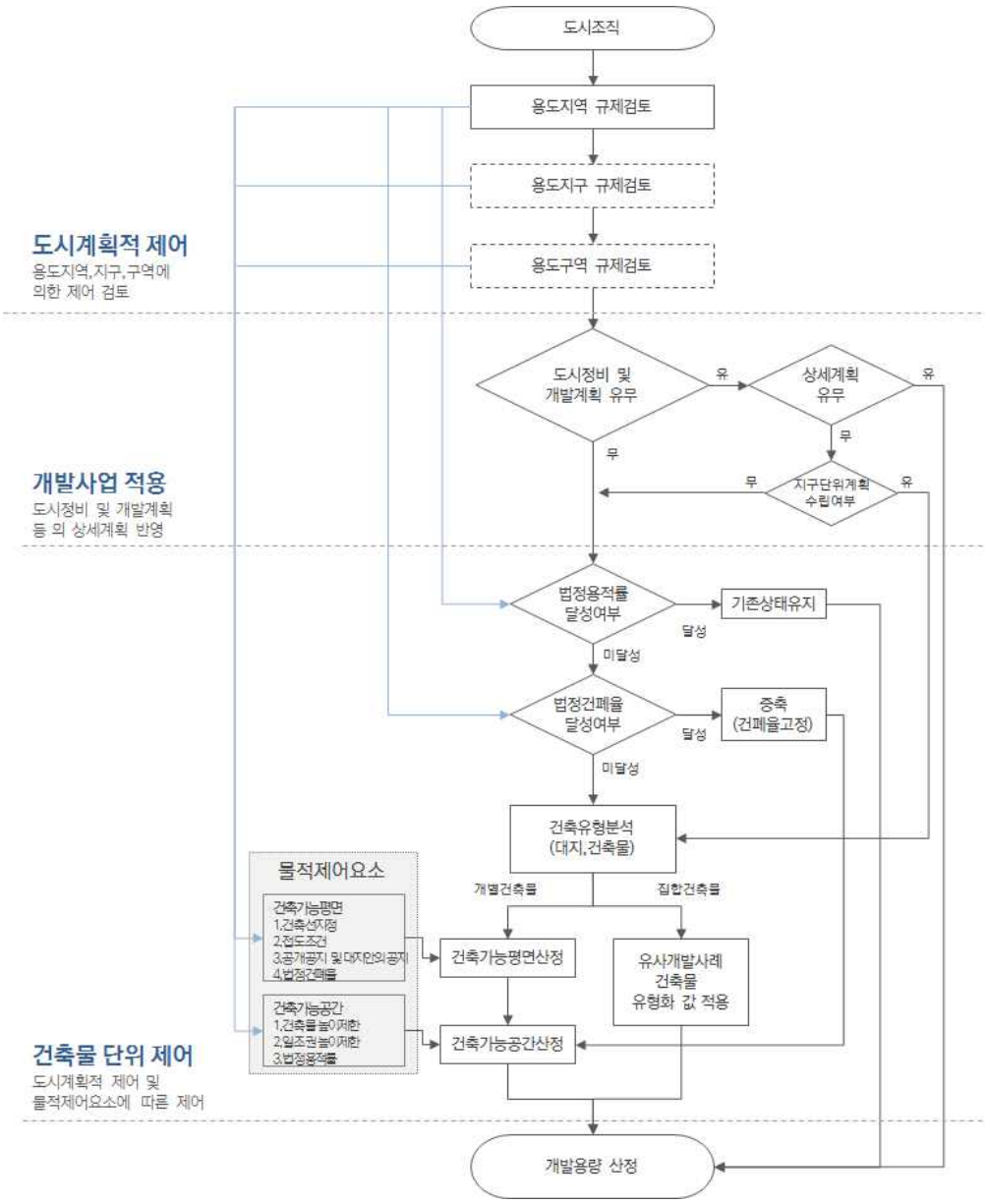


▌그림 2-145▐ 허용가능 개발용량 산정을 위한 법규적용 메커니즘 사례연구

2) 공간의사결정을 위한 도시·건축 법규 및 제도 해석 알고리즘

가) 개발용량 산정을 위한 의사결정트리 개발

- 허용가능 개발용량은 현행 도시·건축 법규의 허용한계 내 도시공간의 개발과 인간활동이 최대한 이루어질 경우를 예측한 개발용량으로 정의함
- 현행 도시계획·설계 관련 법·제도의 틀 속에서 실질적 문제규명과 도시공간 개선안의 도출을 위한 허용가능 개발용량의 고려는 중요한 예측 요인이 됨
- 이에 현실적으로 실천가능한 열환경 개선안 도출을 위해 도시계획·설계 관련 현행 법·제도 안의 도시공간의 변화 및 허용가능 개발용량 산정을 위한 도시·건축 법규적용 메커니즘을 수립함



▌그림 2-146▐ 허용가능 개발용량 산정 의사결정트리 최종

나) 건축물 및 단지패턴 유형화

❑ 건축물 및 단지패턴 유형화의 필요성 및 목적

- 정비(개발)사업 등과 지구단위계획, 개별관리 건축물 등 개발특성 및 형태를 고려하여 단지형개발과 개별건축으로 구분함
  - 단지형 개발은 용도에 따라 아파트단지와 복합개발단지로 구분하고, 대지규모 및 주동형태를 고려하여 세부 유형을 구분함
  - 개별건축물은 5가지 건축물 용도(단독주택, 공동주택(아파트제외), 근린시설, 판매시설, 업무시설)로 유형을 구분함



❙그림 2-147❙ 건축물형태에 따른 유형화 도출

❑ 개별건축 유형화 결과

- 2016년 기준 건축물대장을 활용하여 용도지역, 건축물용도, 대지면적으로 구분하여 대지면적, 용적률, 건폐율에 대한 유형화 값 도출
  - 주거지역에서는 단독주택과 공동주택을 중심, 상업지역은 상대적으로 개발용량이 크고, 근생시설, 판매시설중심, 공업지역은 다양한 용도 혼재되어 있음
- 주택의 경우 세부적인 주택유형에 따라 개발특징에 차이가 크고, 법적기준, 대지조건 등에 따라 개발패턴에 차이가 있으므로 다가구주택, 다세대주택, 연립주택, 도시형생활주택으로 구분하여 유형화함

❑ 단지형개발 유형화 결과

- 단지형개발 유형화는 명확한 자료구득을 위하여 서울시 클린업시스템을 활용하여 최근 개발계획의 아파트단지, 복합개발단지로 구분하여 유형화함
  - 단지형개발 데이터는 2008년-2018년 10년간 사업시행인가를 받은 데이터를 활용하여 최근 개발트랜드를 반영하고자 하였음
- 아파트단지 206개 단지를 대상으로 용도지역별 법정기준에 차이가 있으므로

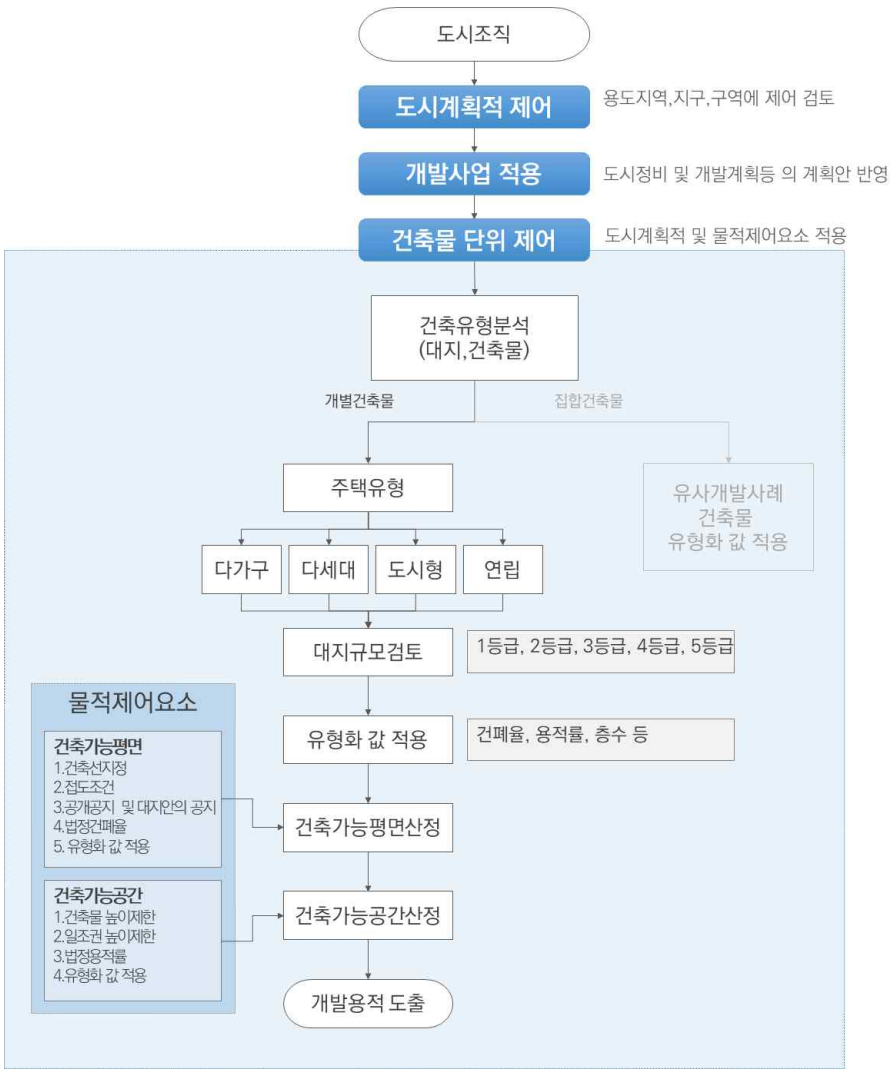
용도지역별 세분화하여 유형화 값 도출

- 주동형태는 대지규모가 작을수록 탑상형(1,2그룹), 대지규모가 커질수록 변형된 L/Y변형판상형(3,4,5그룹)의 형태를 띄고 있음
- 복합개발단지는 19개 단지를 주동형태에 따라 타워형, 포디움형, 타워+포디움형(복합)으로 구분하여 유형화 함

다) 개발유형별 개발용량 산정 의사결정트리 세부 알고리즘 개발

❑ 개별건축 세부 알고리즘 개발

- 기 개발된 전체 허용가능 개발용량 산정 의사결정트리를 기반으로 건물용도와 주택유형을 고려하여 개발용량을 산정할 수 있도록 알고리즘을 고도화 함
- 건물용도와 주택유형을 고려하는 단계는 건축물 단위제어에서 개별건축부분에서 적용되며, 유형화 값을 적용하여 개발용적을 도출할 수 있음



▌그림 2-148▐ 건물 및 주택유형별 개별건축 알고리즘

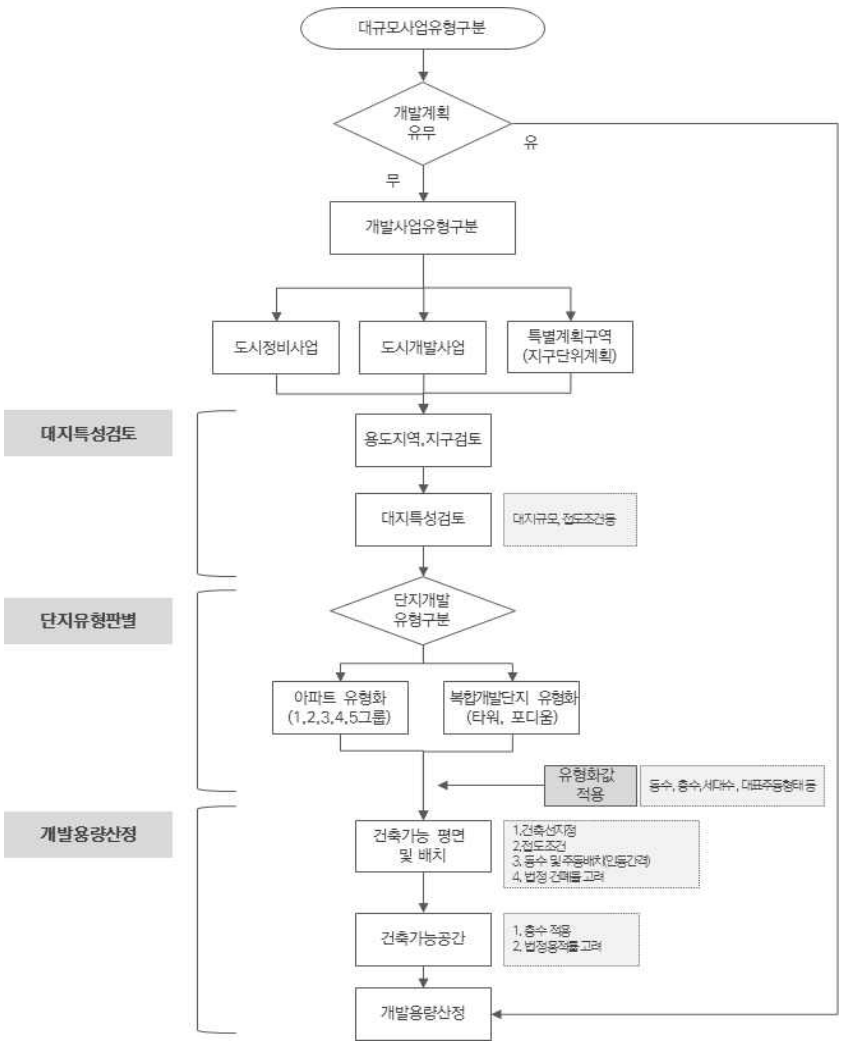
- 개별필지에 건물 및 주택유형 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션 하는 경우 각 유형별 개발패턴을 고려하여 결과 도출 가능

❙표 2-64❙ 개별필지 시뮬레이션 결과 예시

다가구주택	다세대주택	연립주택	도시형생활주택
			

❑ 단지형개발 세부 알고리즘 개발

- 대규모사업을 대상으로 개발계획 유무를 확인하여, 개발계획이 있는 경우에는 개발용량산정으로 연결되고, 개발계획이 없는 경우 개발사업유형을 검토함



❙그림 2-149❙ 단지 개발용량산정 알고리즘(안)



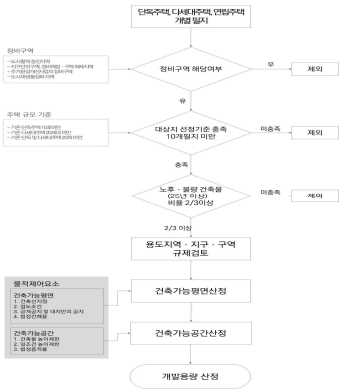
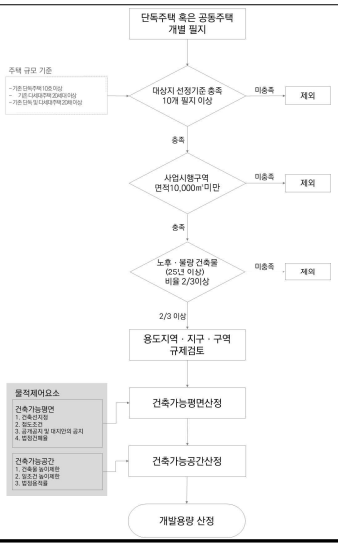
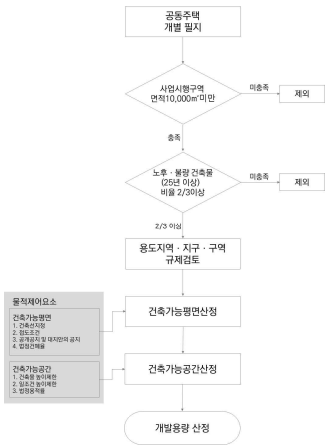
▌그림 2-150▐ 주거지역 의사결정트리에 의한 시뮬레이션 결과 예시



▌그림 2-151▐ 상업지역 의사결정트리에 의한 시뮬레이션 결과 예시

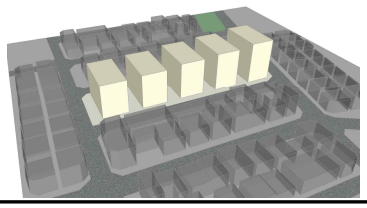
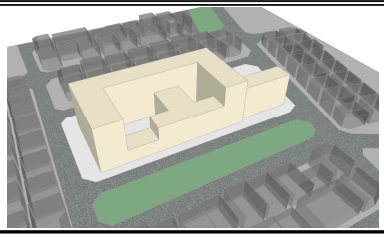


▌그림 2-152▐ 공업지역 의사결정트리에 의한 시뮬레이션 결과 예시

구분		자율주택정비사업	가로주택정비사업 알고리즘	소규모재건축사업 알고리즘
정의		단독주택 , 다세대주택 , 연립주택을 자율적으로 개량·정비	가로구역에서 종전의 가로를 유지하며 소규모로 주거환경 개선	정비기반시설이 양호한 지역에서 공동주택 재건축
대상기준	노후도	노후·불량건축물 이 해당 사업시행구역의 전체 건축물 수의 3 분의 2 이상		
	규모	(단독) 10 호 미만 (다세대) 20 세대 미만 (단독 호수 .다세대 세대수 합산) 20 채 미만	(단독) 10 호 이상 (다세대) 20 세대 이상 (단독 호수 .다세대 세대수 합산) 20 채이상 합산 20 채 미만 이어도 단독만 10 호이상면 가능	노후불량건축물 200 세대 미만
	면적	면적제한 없음	1 만 제곱미터 미만	
알고리즘				

- 개별필지에 건물 및 주택유형 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션 하는 경우 각 유형별 개발패턴을 고려하여 결과 도출 가능

▌표 2-65 ▌ 개별필지 시뮬레이션 결과 예시

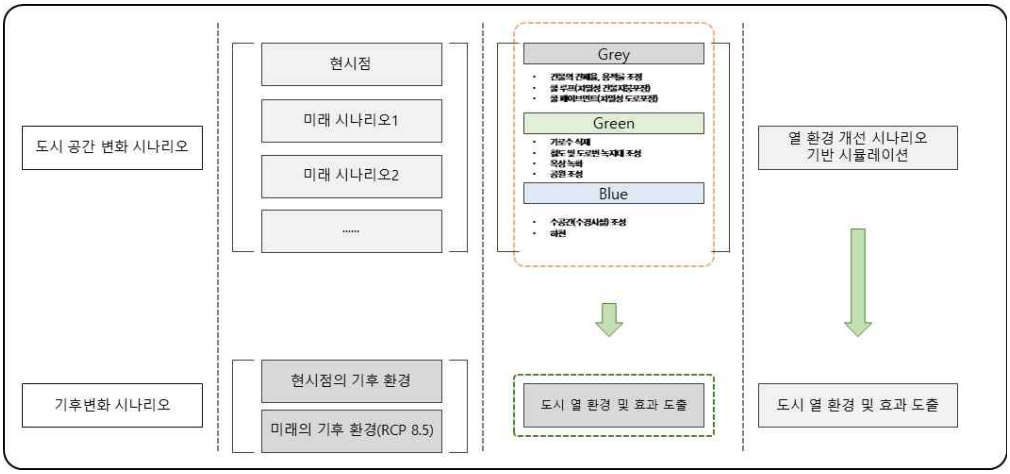
자율주택정비사업	가로주택정비사업	소규모재건축사업
		

3) 기후변화 시나리오 기반 열섬저감 도시계획·설계 기법 개발

가) 기후변화 시나리오 기반 도시공간변화 시나리오 수립

❑ **기후변화에 따른 열환경 개선을 위한 도시계획·설계 시나리오**

- 미래 도시 공간변화 시나리오를 반영한 열환경 개선 도시계획 설계 기법을 작성함
- 현시점(근미래), (중·장기)미래 시점의 도시 열환경 개선을 위한 도시계획·설계 기법을 적용하고, 거시적·미시적 차원의 시뮬레이션을 실행하고 효과를 검증함



▎그림 2-153 ▎ 도시 공간 변화와 기후변화 시나리오를 통한 열환경 개선안 적용

❑ **도시 공간 변화 시나리오 Framework 수립**

- 건축물 용도의 대부분을 차지하는 주거 및 상업·업무용 건물을 대상으로 도시계획 및 설계 시나리오를 수립함
- 건축물 건폐 및 용적에 따라 저층고밀, 고층 고밀로 분류하고, 건물 및 토지피복, 도로, 공원, 수공간 등의 변화를 고려하여 도시계획·설계 기법을 적용함

▎표 2-66 ▎ 온도 저감 시뮬레이션을 위한 도시계획 설계 시나리오 Framework

구분		건축물 용도			
		주거용		상업·업무용	
		저층·고밀	고층·고밀	저층·고밀	고층·고밀
건물 (Gray)	건폐율	A	B	C	D
	용적률				
도로 (Gray)	면적	E	F	G	H
	알베도				
공원 및 녹지 (Green)	위치	I	J	K	L
	면적				
수공간 (Blue)	위치	M	N	O	P
	면적				

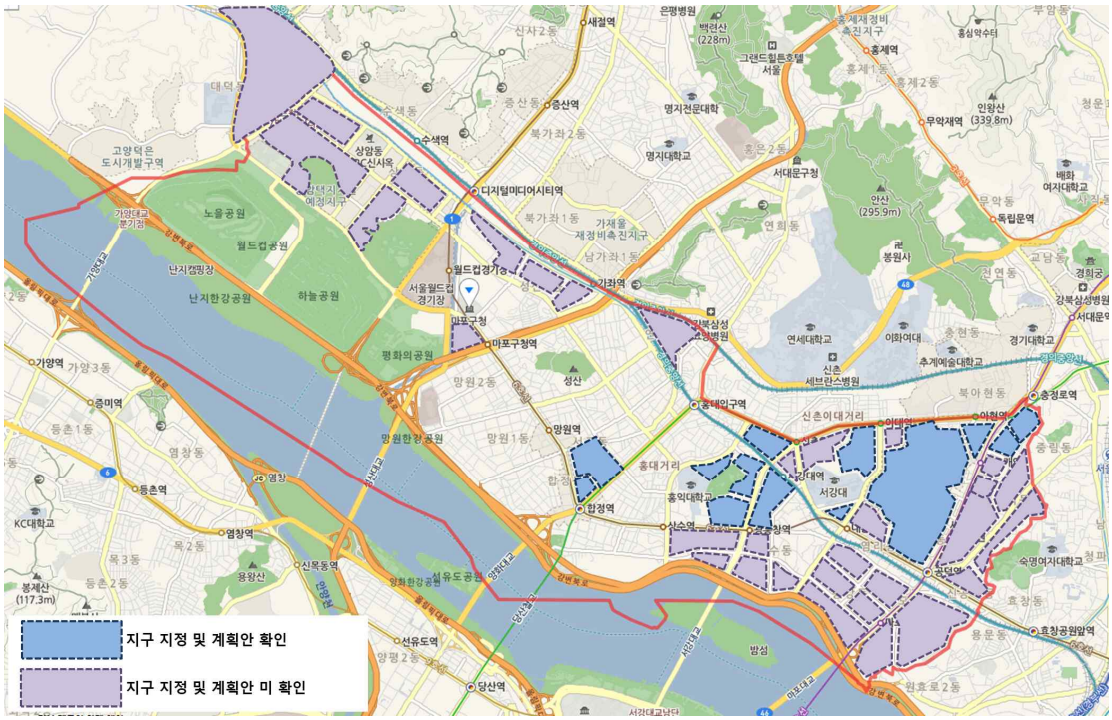
나) 정비유형 및 대상지 특성을 고려한 미래 도시 공간변화 시나리오 수립(Pre-Test)

❑ 기후변화 시나리오 기반 도시공간변화 시나리오를 적용한 열환경 시뮬레이션

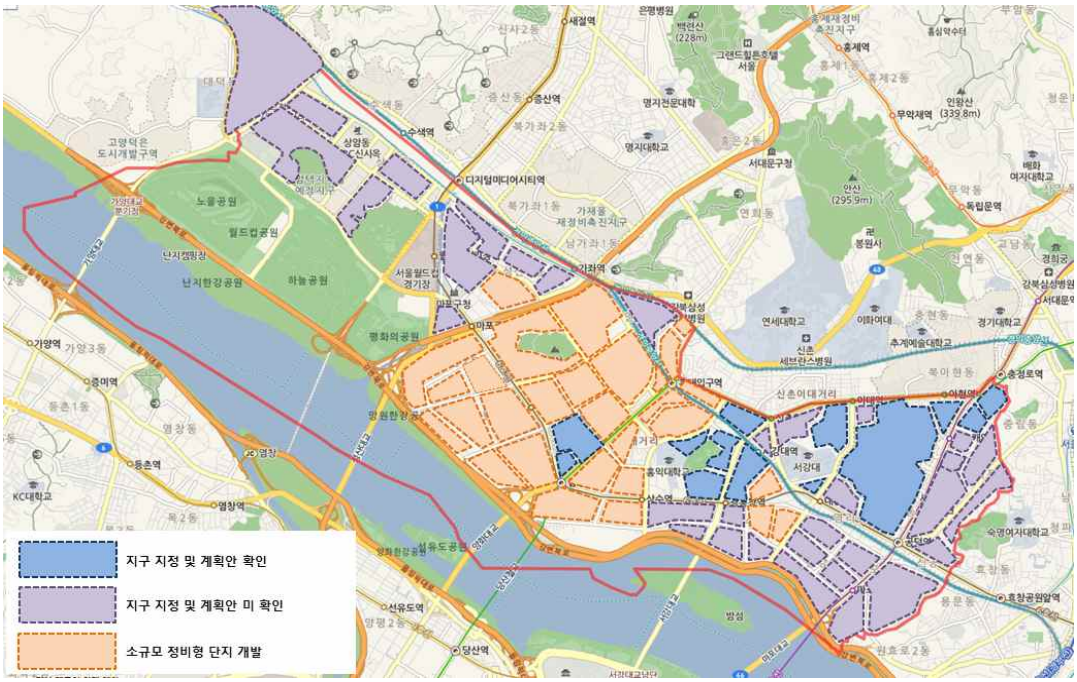
- 사회·경제적 요인을 고려하여 열 취약지역으로 분석된 홍제천 유역의 마포구를 대상으로 시나리오를 적용하고 기온저감 효과를 분석함
- 미래 열환경 변화의 현실성을 고려하여 도시 각 구성요소들의 물리적 현황과 건축 및 도시계획법을 고려한 시나리오를 작성함
- 토지이용에 따른 건폐율, 도로유형에 따른 도로 폭, 현재 녹지 및 수공간에 따른 면적 현황, 용도에 따른 건물 밀도와 형태를 반영한 공간 변화 시나리오를 작성함
- 시뮬레이션 초기 입력 값이 되는 기후 현황 자료는 RCP 4.5 시나리오와 RCP 8.5 시나리오임

❑ 기후변화 시나리오 기반 도시공간변화 시나리오 작성 1단계

- 6개 도로유형(주간선도로, 보조간선도로, 집산도로, 국지도로, 도시 고속도로, 특수도로)중 근린 생활권의 기본이 되는 집산도로를 개발 단위 Block으로 구획함
- 현재(2015년)와 중장기미래(2050년) 시점을 기준으로 도시 공간변화 및 RCP 8.5 기후변화 시나리오를 고려하여 도시개발 패턴을 유형화함



▌그림 2-154▐ 온도저감 시뮬레이션을 위한 도시계획 설계 시나리오 Framework현재 (2015년)

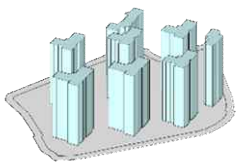
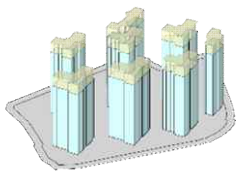
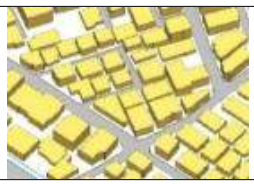
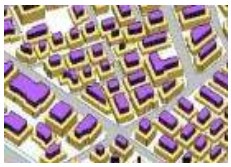
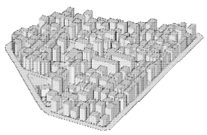
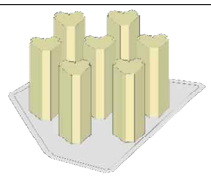
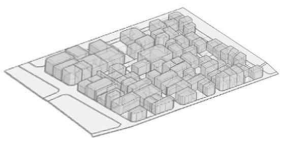
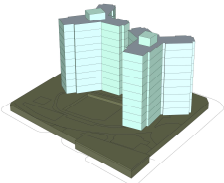


▌그림 2-155▐ 온도저감 시뮬레이션을 위한 도시계획 설계 시나리오 Framework현재 (2015년)

❑ 기후변화 시나리오 기반 도시공간변화 시나리오 작성 2단계

- 시나리오 적용을 위하여 개발 패턴을 4가지로 유형화하였으며, 구체적으로 개발지구 지정 여부와 건물 높이를 기준으로 시나리오 적용을 위한 개발 패턴을 유형화함

▌표 2-67 ▐ 시나리오 적용을 위한 개발 패턴 유형화

구분		Before	After
Type1	지구 미지정 구역으로 10층 미만 건물은 건물필지의 건폐 최대 및 층수 최대 적용		
	지구 미지정 구역으로 10층 이상 건물은 건물 필지의 건폐 유지 및 층수 최대 적용		
Type2	개발 지구로 지정되어 있으나, 계획안이 확정 되지 않은 구역으로 시스템 모듈 (단지개발패턴) 적용		
Type3	개발지구로 지정되어 있으며, 계획안이 존재하는 구역으로 수립된 계획안을 적용		

❑ 기후변화 시나리오 기반 도시공간변화를 고려한 도시계획·설계 시나리오

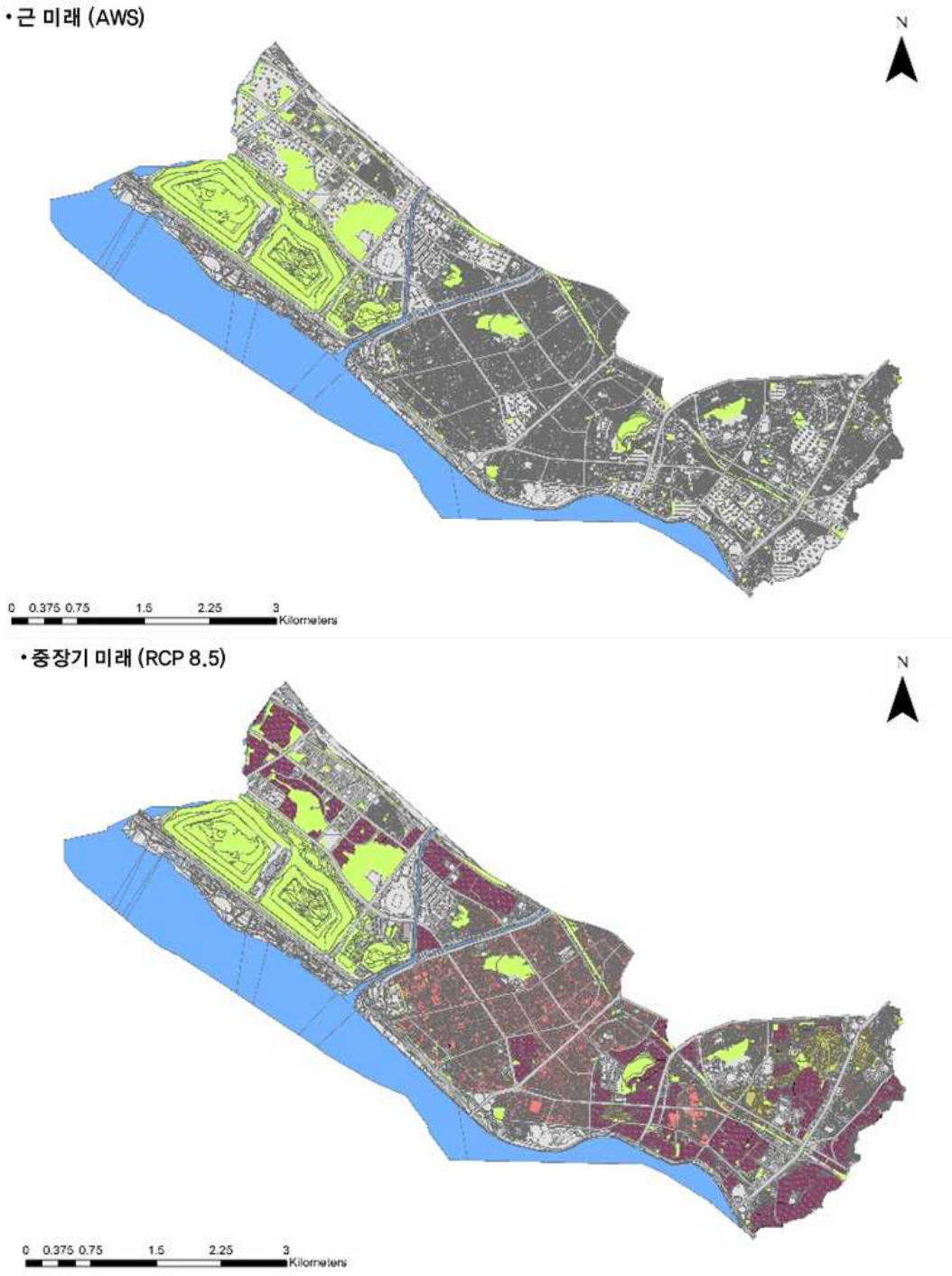
- 근미래(2015년)와 중장기 미래(2050년) 시점을 대상으로 초기 입력 온도값은 근미래의 경우 AWS, 중장기 미래의 경우 RCP 8.5시나리오의 온도 값 적용
- 개발 지구 적용 유무와 현 시점의 건물, 토지피복(녹지) 현황을 고려하여 근미래 시점의 시나리오Ⅰ과 중장기 미래 시나리오Ⅱ를 작성함
- 온도저감 기법의 겨우 옥상녹화, 쿨루프, 쿨페이빙을 적용하고, 토지피복상 공원·녹지 및 수공간은 속성값 변경을 통해 시뮬레이션을 진행함

▌표 2-68 ▌ 기후변화 시나리오 및 도시공간변화를 고려한 온도저감 도시설계계획 기법 Framework

구분		시나리오 Ⅰ 근 미래 : 현재 온도 측정 값(AWS) 기반	시나리오 Ⅱ 중장기 미래 : RCP 8.5 기후변화 시나리오 기반
Input 온도 값		(2015) 현재 측정 온도 값(AWS)	RCP 8.5 시나리오 온도 값
Base Map	건물	• 지구로 지정되어 있지 않은 곳 : 현황 적용 (다세대,다가구,단독주택,기존공동주택유지) • 지구로 지정되어 있는 구역(공동주택단지) - 계획안이 있는 경우: 기 계획안 적용 - 계획안이 없는 경우 : System Module 일괄적용 (공동주택 단지개발패턴 알고리즘)	• 지구로 지정되어 있지 않은 곳 : 허용가능개발용량 최대적용 - 10층 미만 : 건폐최대 → 층수최대 - 10층 이상 : 건폐유지 → 층수최대 • 지구로 지정되어 있는 구역(공동주택단지) - 계획안이 있는 경우: 기 계획안 적용 - 계획안이 없는 경우 : System Module 일괄적용 (공동주택 단지개발패턴 알고리즘)
	토지 피복 (녹지) (수공간)	• 도시계획시설로서의 녹지·수공간 : 녹지 및 수공간 현황 적용 • 도시계획시설 이외의 녹지·수공간 : 현황 토지피복자료 적용 - 330㎡ 이상 필지(대규모 필지)의 녹지·수공간만 적용 **토지피복 입력자료가 고려하는 면적 기준 330㎡이 없는 경우 330㎡적용	• 도시계획시설로서의 녹지·수공간 :녹지 및 수공간 현황 적용

열환경 개선 기온 저감기법 적용

적용법	기온저감기법	(2015) 현재 측정 온도 값(AWS)	RCP 8.5 시나리오 온도 값
System	옥상녹화	온도 저감 목표: 거시 0.1℃, 미시 0.5℃ 저감	
	쿨루프		
	쿨페이빙		
토지 피복	공원·녹지		
	수공간		



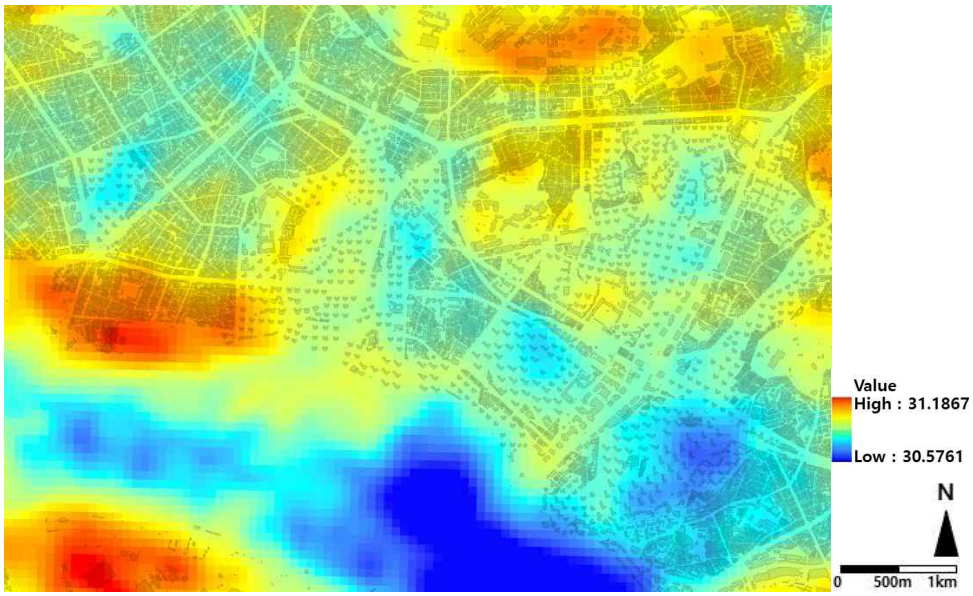
▌그림 2-156▌ 근미래 도시 공간 변화 시나리오(시나리오Ⅰ,시나리오Ⅱ)

❑ 도시 열환경 개선을 위한 시뮬레이션 조건

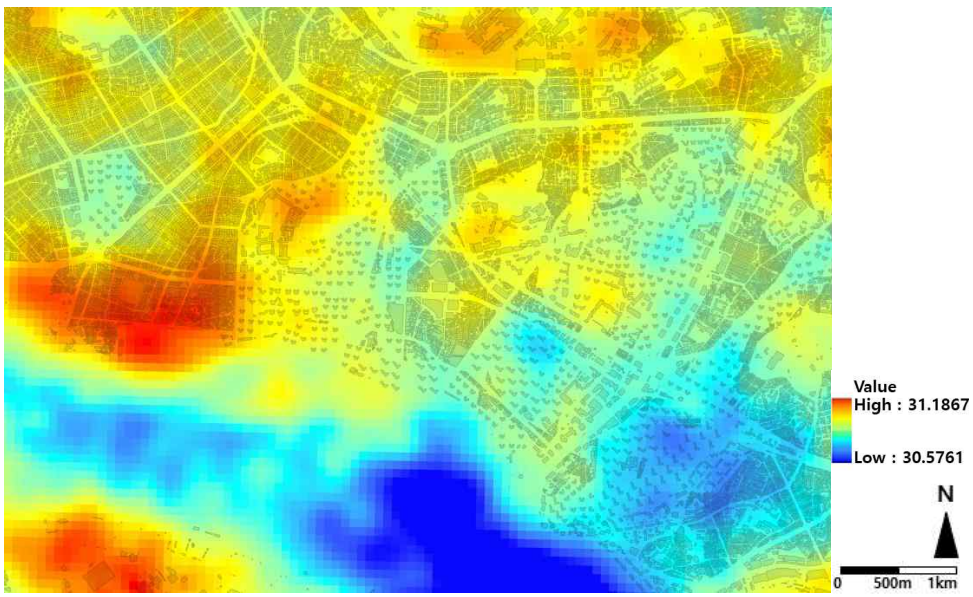
- 거시적 차원에서의 기온저감 효과를 도출하기 위해 기존 현황 건축물 중 옥상녹화가 가능한 건물을 대상으로 옥상녹화 및 쿨루프, 도로는 쿨페이빙을 적용함
- 현재 옥상녹화 0%를 비교군으로 대상지역의 옥상녹화 및 쿨루프가 가능한 건물 옥상면적의 87.5%를 옥상녹화 또는 쿨루프, 도로는 쿨페이빙을 적용함

❑ 시뮬레이션 결과 분석

- 시나리오별 열환경 개선의 정량적 효과를 확인하기 위하여 (1)옥상녹화, (2)쿨루프, (3)쿨페이빙, (4)옥상녹화, 쿨루프, 쿨페이빙 혼합을 적용 및 비교분석함
- 근미래 2015년 8월 10일 거시 분석지역의 열환경 개선 적용 전 온도 시뮬레이션 결과 최저기온 24.23℃, 최고기온 31.02℃이며, 중장기 미래 2050년 8월 10일의 최저기온은 27.13℃, 최고기온 32.97℃로 도출됨



근미래(시나리오 I)_2015년 08월 10일 오후 2시



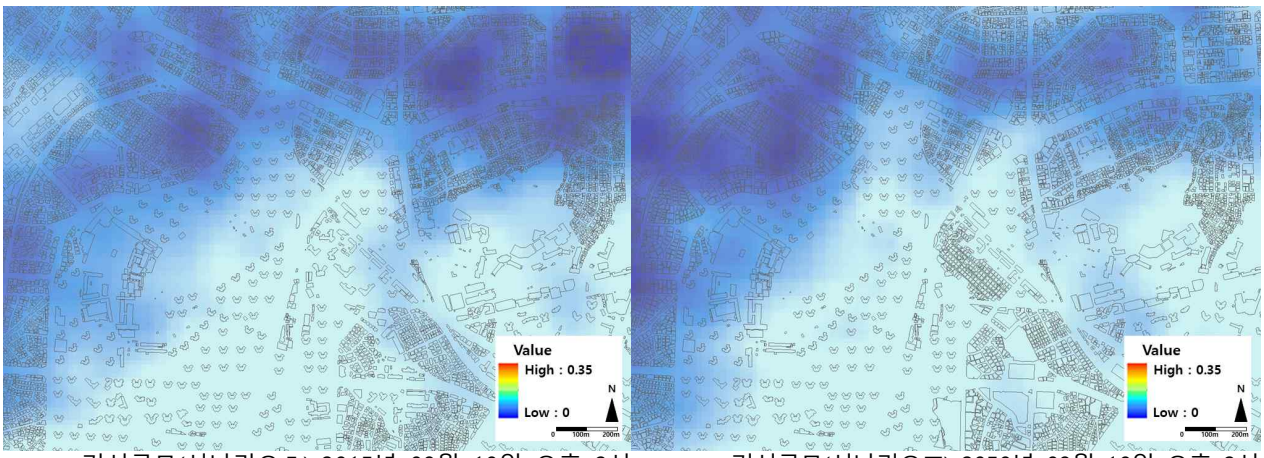
중장기미래(시나리오 II)_2050년 08월 10일 오후 2시

▌그림 2-157▐ 시나리오 별 도시 열 환경 분석 결과

- 근미래 거시 분석 대상 지역의 오후 2시 최고 온도는 31.19℃, 최저 온도는 30.58℃로 분석됨
- 중·장기미래 거시 분석 대상 지역의 오후 2시 최고 온도는 33.16℃, 최저 온도는 32.55℃ 도출됨

❑ 거시 분석 지역의 온도저감 기법 적용 전·후 온도변화 시뮬레이션 결과

- 거시규모 공간단위에서 온도 저감 기법인 쿨루프 및 쿨페이빙 적용하여 시뮬레이션 한 결과 근미래(2015년) 0.13℃ 저감, 중장기 미래 0.15℃ 저감됨

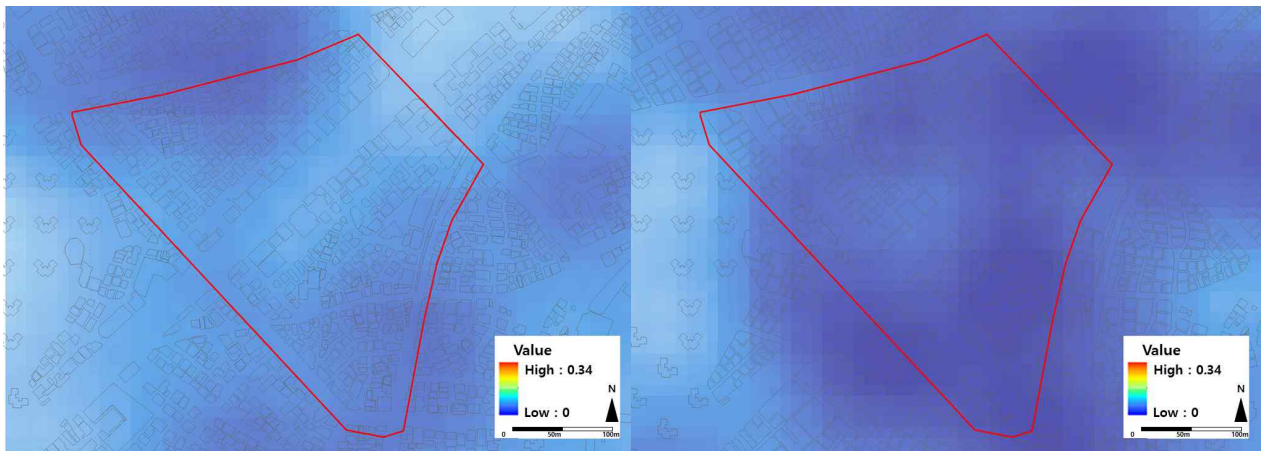


거시규모(시나리오Ⅰ)_2015년 08월 10일 오후 2시　　거시규모(시나리오Ⅱ)_2050년 08월 10일 오후 2시

▌그림 2-158▐　시나리오 별 도시 열 환경 분석 결과

❑ 미시 규모 분석지역의 온도저감 기법 적용 전·후 시뮬레이션 결과

- 미시 규모 공간단위 에서 온도 저감 기법인 쿨루프 및 쿨페이빙 적용 시뮬레이션 결과 근미래(2015년) 거시 0.2℃저감, 중장기 미래 0.35℃ 저감됨



미시규모(시나리오Ⅰ)_2015년 08월 10일 오후 2시　　미시규모(시나리오Ⅱ)_2050년 08월 10일 오후 2시

▌그림 2-159▐　시나리오 별 도시 열 환경 분석 결과

다) 기후변화시나리오 기반 도시공간변화 시나리오 고도화 및 열환경 개선을 위한 도시계획 및 설계 기법 개발

❑ 기후변화 시나리오 분석 기반 도시 공간 변화 시나리오 고도화

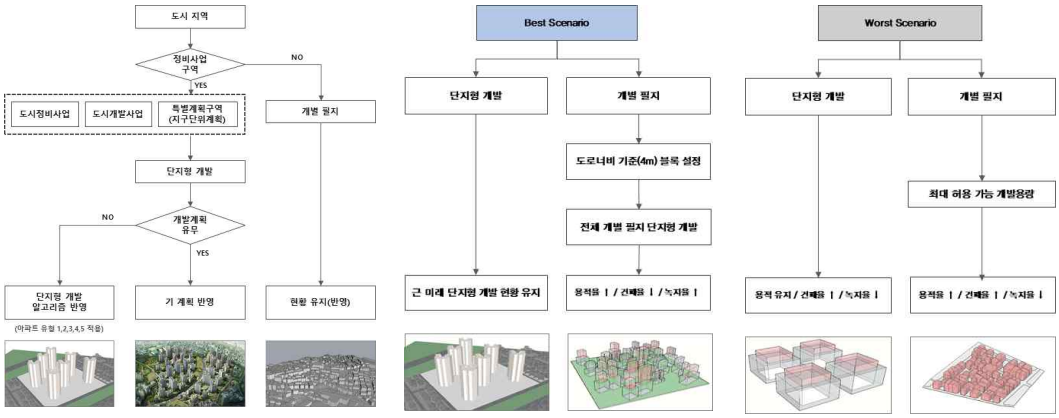
- RCP 시나리오 기반 도시 열환경 및 도시 공간 변화를 종합적으로 반영하여 2050년 중장기 시나리오를 수립함
- 현시점 근미래의 도시 열환경을 기반으로 하여 현재 도시 계획 현황을 반영하여 도시 공간 시나리오를 수립함
- 중장기 미래 시점의 도시 공간 변화 시나리오를 Best 시나리오와, Worst 시나리오로 구분하여 시나리오를 수립함

▌표 2-69 ▌ 도시 공간 변화 시나리오

구분		현시점(근미래)시나리오	중장기 시나리오 2050년	
대상지		거시영역(홍제천 유역권) / 미시영역(당산동 일대)		
초기온도값		현시점(2015년) 측정 온도 값(AWS)	RCP 4.5 시나리오 온도 값	RCP 8.5 시나리오 온도 값
시나리오 구조			Best Scenario -> 열환경에 적합한 환경조성	Worstt Scenario -> 열환경에 취약한 환경조성
건물	단지형 개발	개발계획이 있는 경우: 기 계획 반영 개발계획이 없는 경우: 단지 개발 패턴 알고리즘 적용	개발계획이 있는 경우: 기 계획 반영 개발계획이 없는 경우: 단지형 개발 패턴 알고리즘 적용	단지형 개발 패턴 알고리즘 일괄 적용(현시점(근미래) 시나리오 적용 개발 패턴 대비 건폐율 증가)
	개별필지	현황 건축물 유지	전체 개별 필지 단지형 개발 적용(현시점(근미래) 시나리오 대비 건폐율 감소, 녹지율 증가)	최대 허용가능용량으로 개발(현시점(근미래) 시나리오 대비 건폐율 증가, 녹지율 증가 목표)
토지피복 (녹지·수공간)		도시계획시설인 경우: 현황 적용 도시계획시설이 아닌 경우: 현황 토지피복자료를 적용하되, 대규모 필지(면적 330㎡ 이상)의 녹지·수공간만 적용	도시계획시설인 경우: 현황 적용	

❑ 도시 공간 변환 시나오리 수립 세부 알고리즘 개발

- 도시공간 변화에 따라 시나리오를 수립하였으며, 세부 알고리즘은 정비사업 구역의 지정 여부, 개발 계획 여부, 주거개발 유형(단지개발, 소규모 필지 정비사업)을 반영함
- 근미래 도시 공간 변화 시나리오의 경우 정비사업 구역 지정된 개발구역의 경우 단지형 개발을 적용하고, 정비사업 미지정구역의 경우 기존 현황을 반영
- 중장기 미래 도시 공간 변화 시나리오의 경우 Best 시나리오와 Worst 시나리오로 구분하여 시나리오를 작성함
- 중장기 미래 Best 시나리오는 단지형 개발의 경우 기존 아파트 단지 현황을 유지하고, 개별필지의 경우 도로너비 4m 기준으로 구획하여 개발 Block를 설정하여 해당지역의 용적률 증가, 건폐율 감소, 녹지율 감소를 반영함
- 중장기 미래 Worst 시나리오는 단지형 개발의 경우 건물 용적은 유지하고, 건폐율 증가, 녹지율 증가를 반영하고, 개별 필지의 경우 최대 허용 가능 개발용량을 적용하여 용적률 증가, 건폐율 증가, 녹지율 감소를 반영함



❙그림 2-160❙ 도시 공간 변화 시나리오 세부 알고리즘

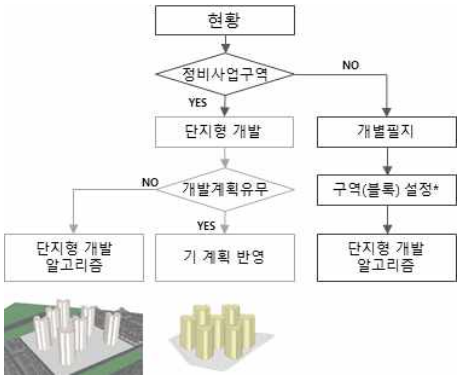


❙그림 2-161❙ 근미래(현시점) 도시 공간 시나리오 거시영역 및 미시영역

❑ 중·장기 미래 도시 공간 변화 시나리오 고도화(Best Scenario)

Best Case Scenario	
단지형 개발	**개별 필지**
중기 시나리오 **단지형 개발현황 유지**	**전체 개별 필지 단지형개발** **(현황 대비 건폐율↓, 녹지율↑ 목표)**

Best Case 알고리즘



*구역(블록)설정 기준

- 서울특별시 2025 도시·주거환경정비기본계획에서 제시하는 정비구역 계 설정기준 준용
- 원칙적으로는 도로를 경계로 구역 설정
- 필지 지적선을 경계로 할 경우 가급적 직선화하여 반영

-> **1만 ㎡이상, 8m 이상 통과도로를 기준으로 설정**

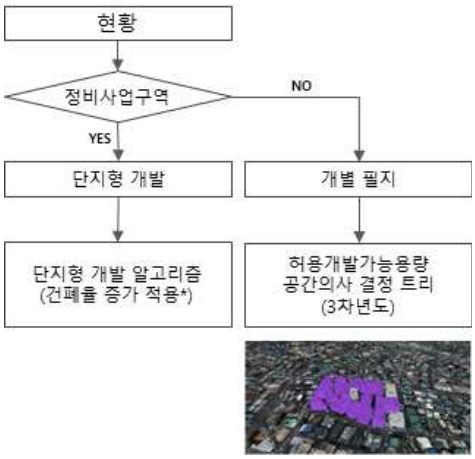


❑ 중·장기 미래 도시 공간 변화 시나리오 고도화(Worst Scenario)

- 각 주동 형태별로 주동 바닥 면적이 15% 증가됨
- 개별 주동 자체의 면적은 증가하나, 아파트 주동 인동간격으로 인하여 필지 내 위치하는 주동의 개수는 감소 할 수 있음
- 이는 주동 혀래, 대지 형태에 따라 건폐율이 감소할 가능성이 존재하지만, 전반적으로 건폐율·용적률이 증가할 것으로 예상

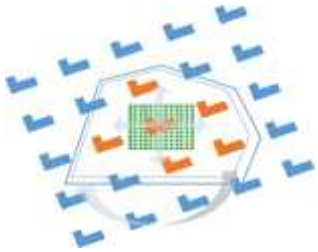
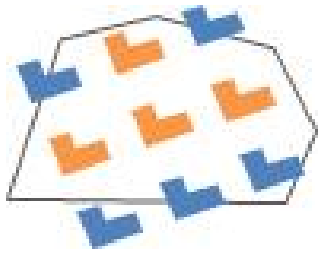
Worst Case Scenario	
단지형 개발	**개별 필지**
단지형개발 건폐율 증가 (현황 대비 용적률 -, 건폐율 ↑,녹지율 ↓)	**최대 허용가능용량으로 개발 (중기 대비 용적률↑, 건폐율 ↑)**

Worst Case 알고리즘



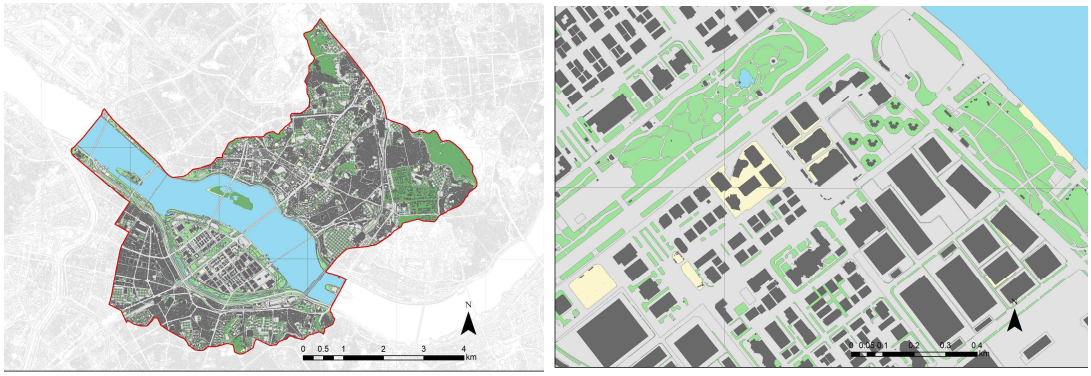
*건폐율 증가 설정 (리모델링 제도 사례 적용)

- 건축법(제2조 10호)과 주택법(제2조 25호)에 의거하여 15년 이상 경과된 건축물에 대해 증·개축 등의 리모델링을 실시하는 것으로, 건폐율·높이제한 등의 건축기준 완화하여 적용
- 일반적으로 아파트 리모델링을 하는 경우 재건축에 비해 건폐율의 증가가 많이 발생

기존 단지형 알고리즘	Worst Scenario 단위주동 넓이 확대, 층수동일
단위세대 84㎡ 기준	단위세대 120~130㎡ 기준
	



▌그림 2-162▐ 중·장기 미래 Best 도시 공간 시나리오 거시영역 및 미시영역



▌그림 2-163▐ 중·장기 미래 Worst 도시 공간 시나리오 거시영역 및 미시영역

4) 열환경 개선을 위한 도시계획·설계 기법을 적용한 시뮬레이션

❑ 시나리오 분석

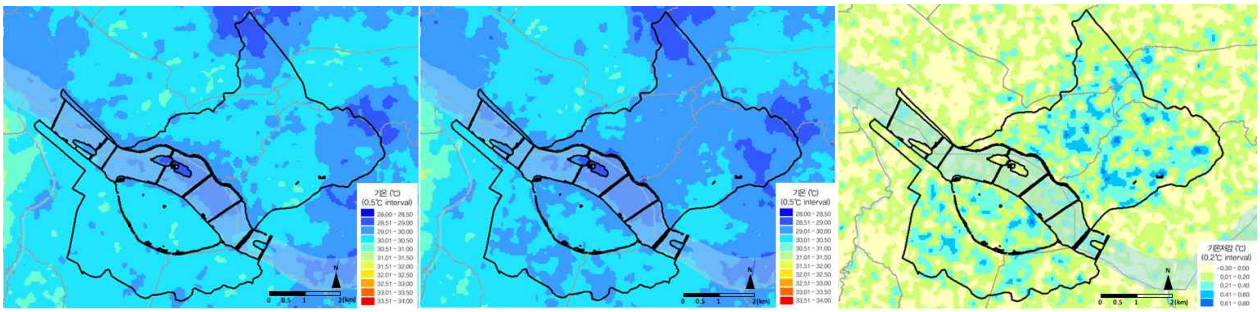
- RCP 시나리오 및 인구통계학적 특성을 종합하여 도출된 열 취약 지역인 홍제천 합류 유역을 거시적 차원의 열환경 분석공간 단위로 하며, 홍제천 유역에 포함되는 당산역 일대를 미시적 차원의 열환경 분석 범위로 정함
- 시나리오별 열환경 개선의 정량적 효과를 확인하기 위하여 건물, 토지피복으로 구분하였으며, (1) 건물 및 단지 및 개별 필지의 피복(옥상녹화, 쿨루프, 녹지), (2) 도로, 녹지 및 수공간(쿨페이브, 가로수)의 값을 단계적으로 변경하여 효과를 비교함
- 열 취약 지역을 대상으로 UTEMP 열환경 분석 프로그램을 활용하여 시나리오별 열환경 시뮬레이션을 진행하여 열환경 개선의 정량적 효과를 도출함
- 도시 피복의 구성비율, 건물 높이 및 건폐면적에 따른 지표면 도달 태양복사에너지의 차이와 건물 그림자 및 가로수의 그림자 효과가 반영되어 도시 열환경의 개선 효과를 기대할 수 있음

▌표 2-70 ▌ 열환경 개선을 위한 도시계획 · 설계 기법 적용 Matrix

구분	기본 조건	
현황	(2015년 8월 10일) AWS 온도 적용	
	열환경 개선을 위한 저감 노력 적용 하지 않음	
	옥상녹화	전체 건물의 80%(건물 옥상 면적의 80%)
	Cool-Roof	전체 건물의 80%(건물 옥상 면적의 80%)
중장기 Best 시나리오	(2050년 8월 10일) RCP 시나리오 4.5 온도 적용	
	열환경 개선을 위한 저감 노력 적용 하지 않음	
	옥상녹화	전체 건물의 80%(건물 옥상 면적의 80%)
	Cool-Roof	전체 건물의 80%(건물 옥상 면적의 80%)
중장기 Worst 시나리오	(2050년 8월 10일) RCP 시나리오 8.5 온도 적용	
	열환경 개선을 위한 저감 노력 적용 하지 않음	
	옥상녹화	전체 건물의 80%(건물 옥상 면적의 80%)
	Cool-Roof	전체 건물의 80%(건물 옥상 면적의 80%)

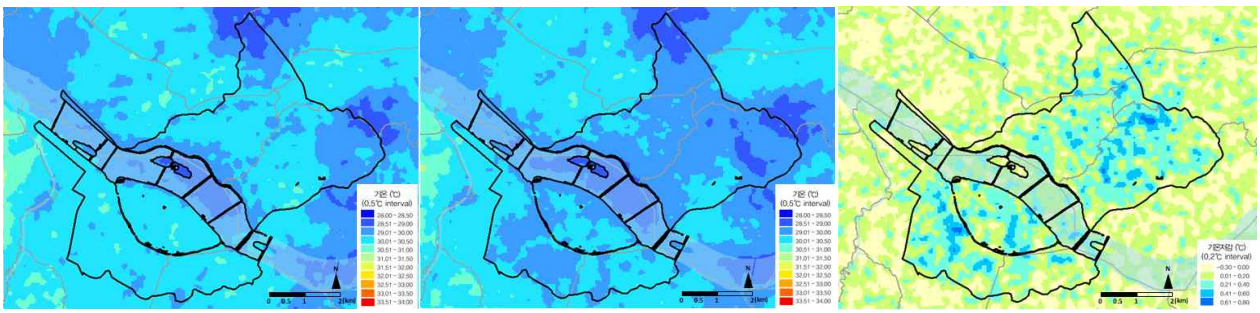
❑ 시나리오 분석 결과(근미래, 거시)

- 근미래(현시점) 2015년 8월 10일 정오 낮 12시의 열환경 개선 기법 적용에 따른 온도 변화 시뮬레이션을 실시하였으며, 시뮬레이션의 공간적 분석 단위는 거시적 공간 분석 단위인 홍제천 유역권을 대상으로 분석을 진행함
- 대표적인 온도 저감 기법인 옥상녹화 및 쿨루프를 적용하여 분석 공간 단위에서의 최고온도, 최저온도를 분석하였으며, 열환경 개선기법을 적용하기 전 낮 12시의 최고온도는 30.18℃, 최저온도는 28.63℃로 도출됨
- 옥상녹화 적용 후 낮 12시의 최고온도는 29.96℃, 최저온도는 28.59℃로 도출되었으며, 기온 저감 효과는 최대 0.71℃로 도출됨
- 쿨루프 적용 후 낮 12시의 최고온도는 30.05℃, 최저온도는 28.59℃로 도출 되었으며, 기온 저감 효과는 최대 0.77℃로 도출됨



근미래(현시점) 기온도 옥상녹화 적용 기온도 기온 저감도

▌그림 2-164▐ 근미래(현시점)온도 저감 기법 적용 전후 및 온도 변화 분석 결과(옥상녹화 적용)

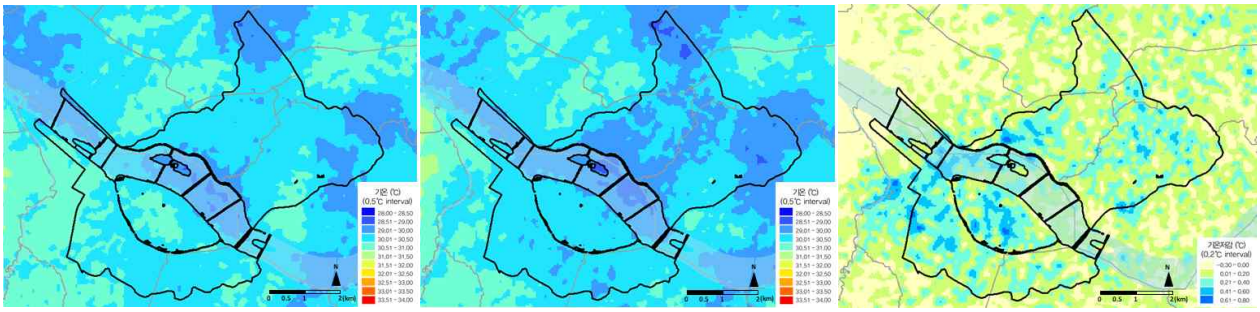


근미래(현시점) 기온도 쿨루프 적용 기온도 기온 저감도

▌그림 2-165▐ 근미래(현시점)온도 저감 기법 적용 전후 및 온도 변화 분석 결과(쿨루프 적용)

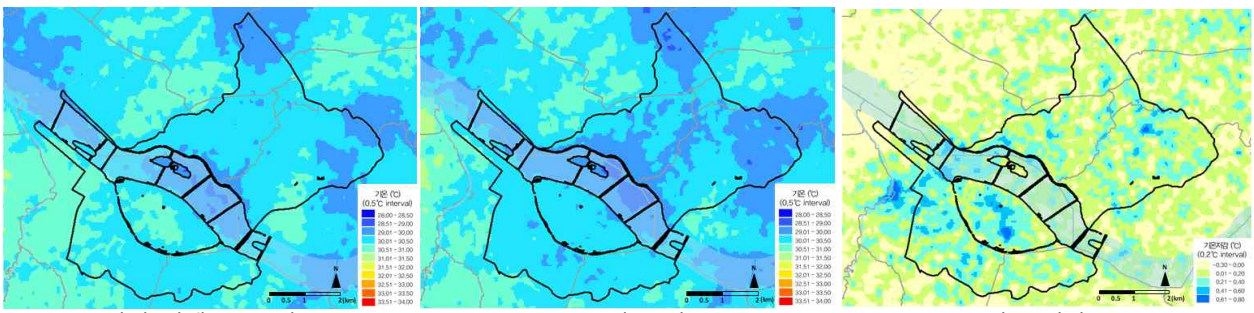
❑ 시나리오 분석 결과(중장기미래 Best, 거시)

- 중장기 미래 Best 시나리오가 반영된 2050년 8월 10일 시간대별(00시~23시) 열환경 개선 기법 적용에 따른 온도 변화 시뮬레이션을 실시하였으며, 시뮬레이션의 거시적 공간 분석 단위인 홍제천 유역권을 대상으로 분석을 진행함
- 대표적인 온도 저감 기법인 옥상녹화 및 쿨루프를 적용하여 분석 공간 단위에서의 최고온도, 최저온도를 분석하였으며, 열환경 개선기법을 적용하기 전 낮 12시의 최고온도는 30.47℃, 최저온도는 28.94℃로 도출됨
- 옥상녹화 적용 후 낮 12시의 최고온도는 30.34℃, 최저온도는 28.75℃로 도출되었으며, 기온 저감 효과는 최대 0.75℃로 도출됨
- 쿨루프 적용 후 낮 12시의 최고온도는 30.21℃, 최저온도는 28.91℃로 도출 되었으며, 기온 저감 효과는 최대 0.75℃로 도출됨



중장기 미래(Best) 기온도 옥상녹화 적용 기온도 기온 저감도

▌그림 2-166▐ 중장기 미래 Best 시나리오 온도 저감 기법 적용 전후 및 온도 변화 분석 결과(옥상녹화 적용)

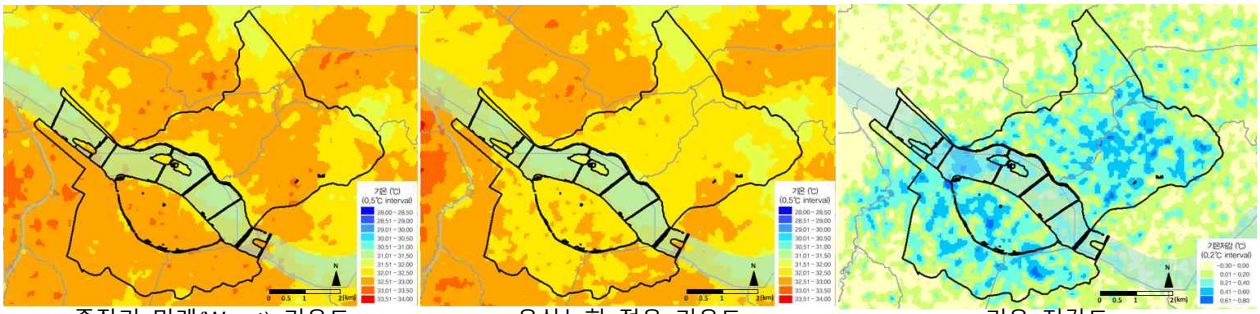


중장기 미래(Best) 기온도 쿨루프 적용 기온도 기온 저감도

▌그림 2-167▐ 중장기 미래 Best 시나리오 온도 저감 기법 적용 전후 및 온도 변화 분석 결과(쿨루프 적용)

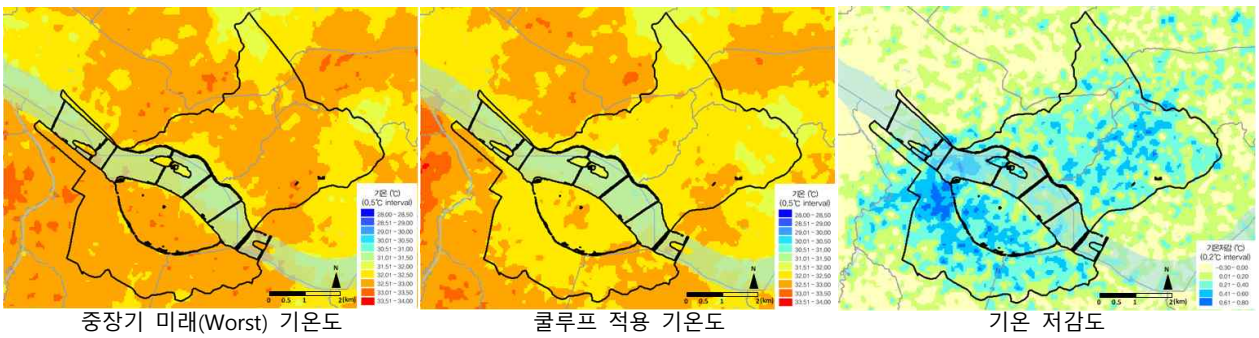
❑ 시나리오 분석 결과(중장기미래 Worst, 거시)

- 중장기 미래 Worst 시나리오가 반영된 2050년 8월 10일 시간대별(00시~23시) 열환경 개선 기법 적용에 따른 온도 변화 시뮬레이션을 실시하였으며, 시뮬레이션의 거시적 공간 분석 단위인 홍제천 유역권을 대상으로 분석을 진행함
- 대표적인 온도 저감 기법인 옥상녹화 및 쿨루프를 적용하여 분석 공간 단위에서의 최고온도, 최저온도를 분석하였으며, 열환경 개선기법을 적용하기 전 낮 12시의 최고온도는 32.62℃, 최저온도는 31.20℃로 도출됨
- 옥상녹화 적용 후 낮 12시의 최고온도는 32.56℃, 최저온도는 31.06℃로 도출되었으며, 기온 저감 효과는 최대 0.87℃로 도출됨
- 쿨루프 적용 후 낮 12시의 최고온도는 32.40℃, 최저온도는 31.03℃로 도출 되었으며, 기온 저감 효과는 최대 0.82℃로 도출됨



중장기 미래(Worst) 기온도 옥상녹화 적용 기온도 기온 저감도

▌그림 2-168▐ 중장기 미래 Worst 시나리오 온도 저감 기법 적용 전후 및 온도 변화 분석 결과(옥상녹화 적용)

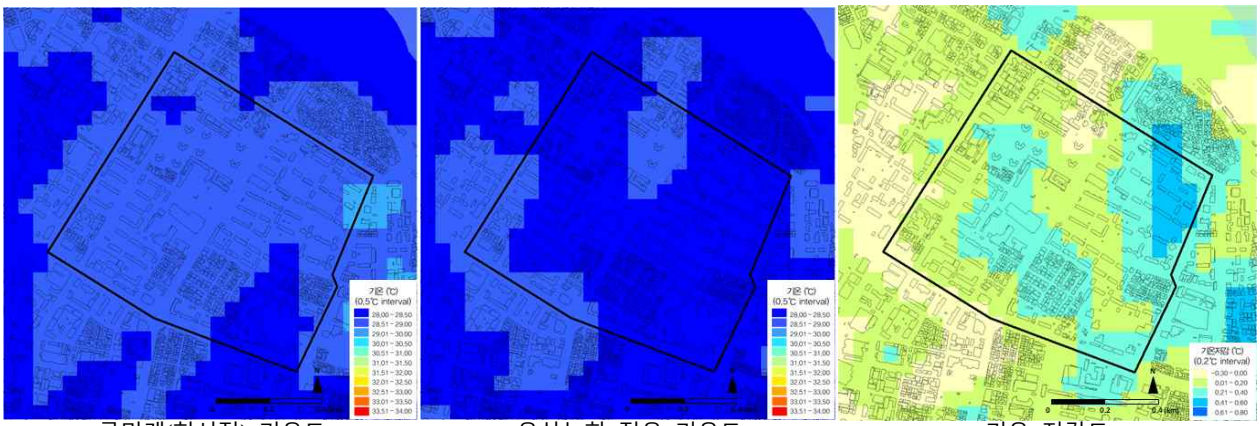


중장기 미래(Worst) 기온도 쿨루프 적용 기온도 기온 저감도

▌그림 2-169▐ 중장기 미래 Worst 시나리오 온도 저감 기법 적용 전후 및 온도 변화 분석 결과(쿨루프 적용)

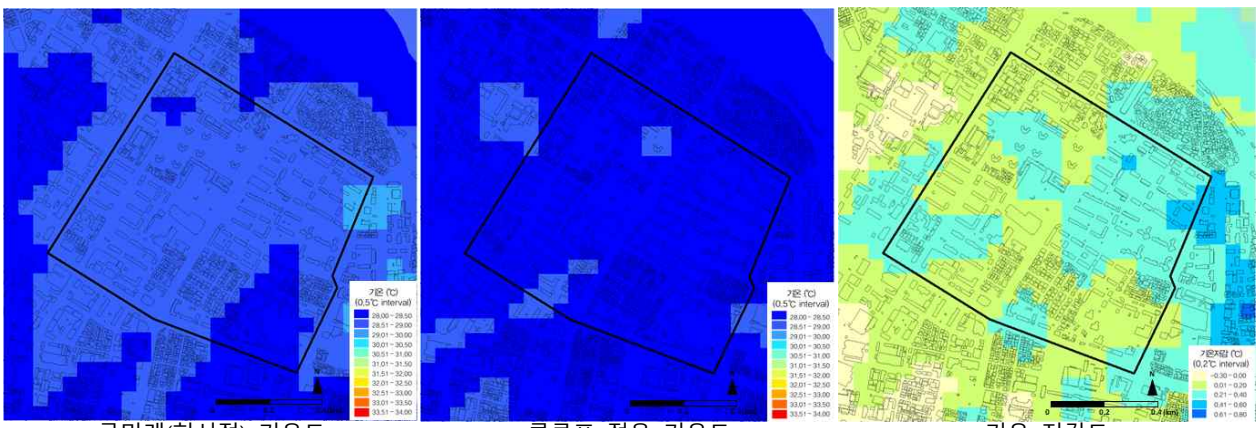
❑ 시나리오 분석 결과(근미래, 미시)

- 근미래(현시점) 2015년 8월 10일 시간대별(00시~23시) 열환경 개선 기법 적용에 따른 온도 변화 시뮬레이션을 실시하였으며, 시뮬레이션의 미시적 공간 분석 단위인 당산역 일대를 대상으로 분석을 진행함
- 대표적인 온도 저감 기법인 옥상녹화 및 쿨루프를 적용하여 분석 공간 단위에서의 최고온도, 최저온도를 분석하였으며, 열환경 개선기법을 적용하기 전 낮 12시의 최고온도는 30.07℃, 최저온도는 29.65℃로 도출됨
- 옥상녹화 적용 후 낮 12시의 최고온도는 29.92℃, 최저온도는 29.40℃로 도출되었으며, 기온 저감 효과는 최대 0.51℃로 도출됨
- 쿨루프 적용 후 낮 12시의 최고온도는 29.80℃, 최저온도는 29.47℃로 도출 되었으며, 기온 저감 효과는 최대 0.45℃로 도출됨



근미래(현시점) 기온도　　옥상녹화 적용 기온도　　기온 저감도

▌그림 2-170▐ 근미래(현시점) 온도 저감 기법 적용 전후 및 온도 변화 분석 결과(옥상녹화 적용)

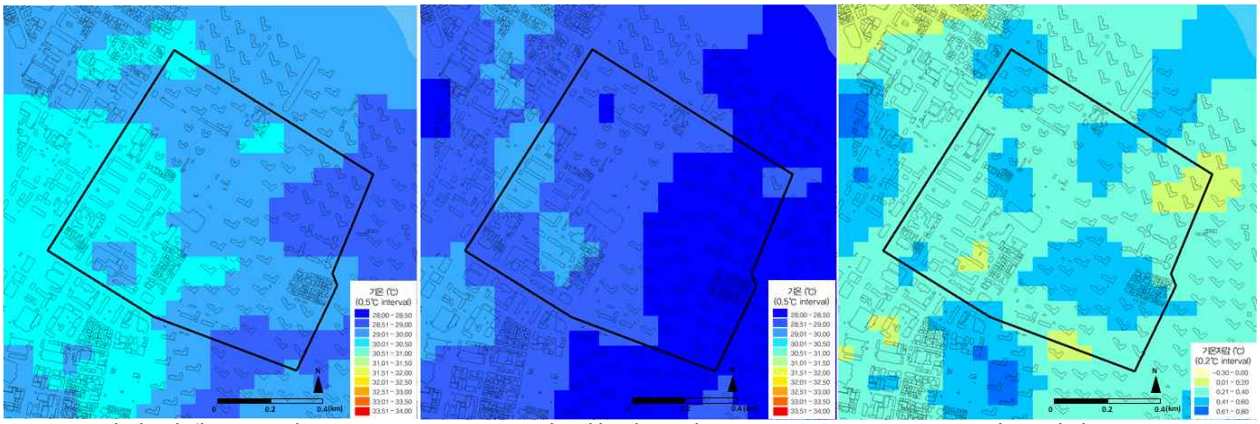


근미래(현시점) 기온도　　쿨루프 적용 기온도　　기온 저감도

▌그림 2-171▐ 근미래(현시점) 온도 저감 기법 적용 전후 및 온도 변화 분석 결과(쿨루프 적용)

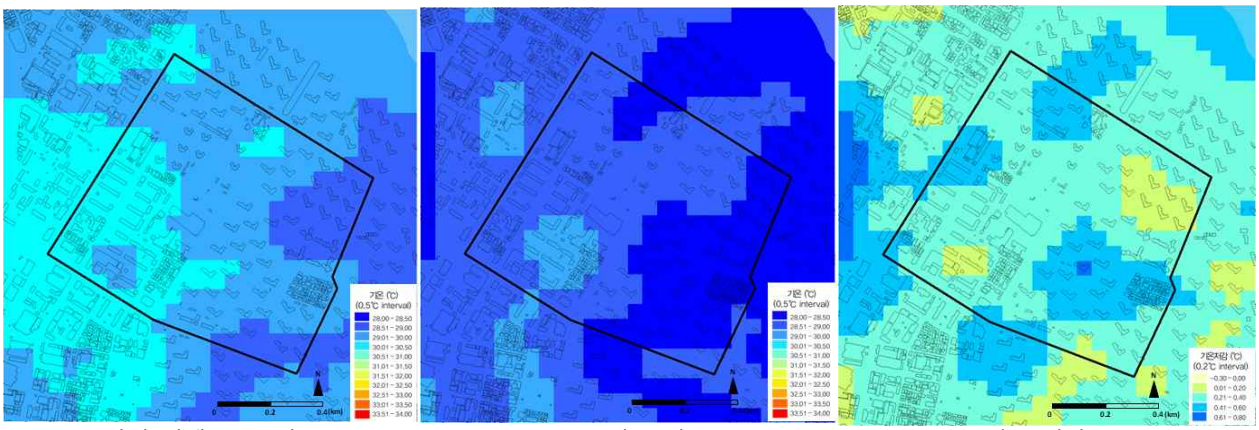
❑ 시나리오 분석 결과(중장기미래 Best, 미시)

- 중장기 미래 Best 시나리오가 반영된 2050년 8월 10일 시간대별(00시~23시) 열환경 개선 기법 적용에 따른 온도 변화 시뮬레이션을 실시하였으며, 시뮬레이션의 미시적 공간 분석 단위인 당산역 일대를 대상으로 분석을 진행함
- 대표적인 온도 저감 기법인 옥상녹화 및 쿨루프를 적용하여 분석 공간 단위에서의 최고온도, 최저온도를 분석하였으며, 열환경 개선기법을 적용하기 전 낮 12시의 최고온도는 30.41℃, 최저온도는 29.80℃로 도출됨
- 옥상녹화 적용 후 낮 12시의 최고온도는 30.16℃, 최저온도는 29.53℃로 도출되었으며, 기온 저감 효과는 최대 0.58℃로 도출됨
- 쿨루프 적용 후 낮 12시의 최고온도는 30.14℃, 최저온도는 29.58℃로 도출 되었으며, 기온 저감 효과는 최대 0.60℃로 도출됨



중장기 미래(Best) 기온도　　옥상녹화 적용 기온도　　기온 저감도

▌그림 2-172▐ 중장기 미래(Best) 온도 저감 기법 적용 전후 및 온도 변화 분석 결과(옥상녹화 적용)

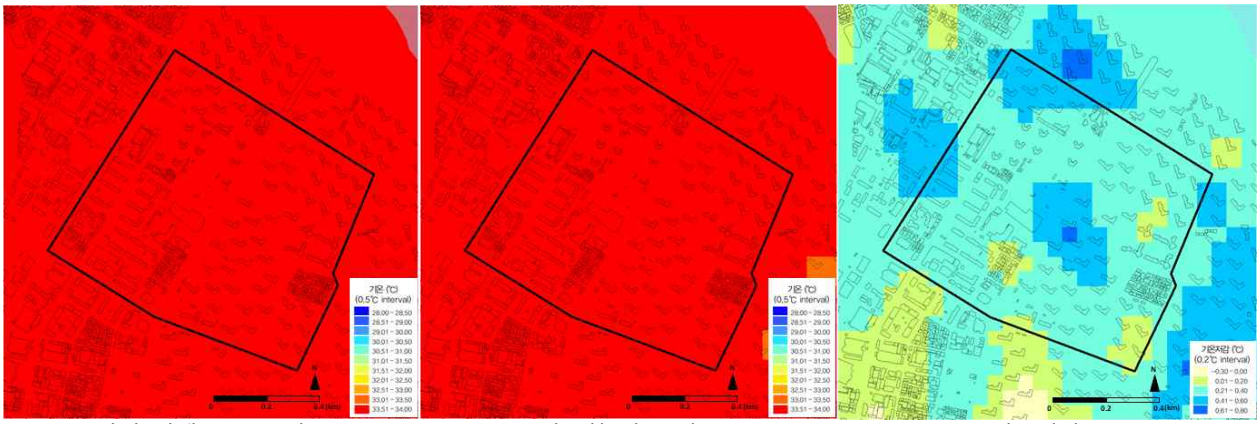


중장기 미래(Best) 기온도　　쿨루프 적용 기온도　　기온 저감도

▌그림 2-173▐ 중장기 미래(Best) 온도 저감 기법 적용 전후 및 온도 변화 분석 결과(쿨루프 적용)

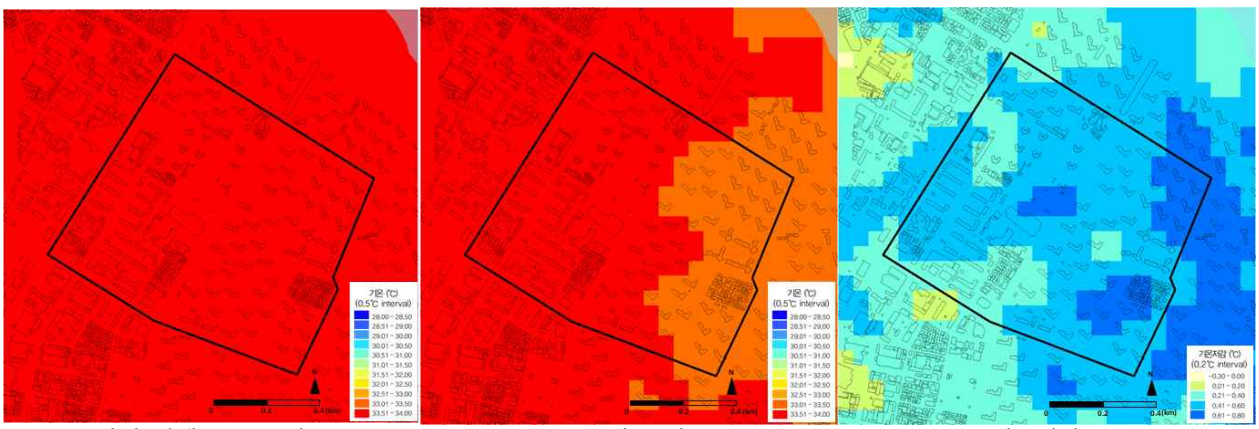
❑ 시나리오 분석 결과(중장기미래 Worst, 미시)

- 중장기 미래 Worst 시나리오가 반영된 2050년 8월 10일 시간대별(00시~23시) 열환경 개선 기법 적용에 따른 온도 변화 시뮬레이션을 실시하였으며, 시뮬레이션의 미시적 공간 분석 단위인 당산역 일대를 대상으로 분석을 진행함
- 대표적인 온도 저감 기법인 옥상녹화 및 쿨루프를 적용하여 분석 공간 단위에서의 최고온도, 최저온도를 분석하였으며, 열환경 개선기법을 적용하기 전 낮 12시의 최고온도는 32.67℃, 최저온도는 32.06℃로 도출됨
- 옥상녹화 적용 후 낮 12시의 최고온도는 32.35℃, 최저온도는 31.73℃로 도출되었으며, 기온 저감 효과는 최대 0.62℃로 도출됨
- 쿨루프 적용 후 낮 12시의 최고온도는 32.28℃, 최저온도는 3148℃로 도출 되었으며, 기온 저감 효과는 최대 0.80℃로 도출됨



중장기 미래(Worst) 기온도 옥상녹화 적용 기온도 기온저감도

▌그림 2-174▐ 중장기 미래 Worst 시나리오 온도 저감 기법 적용 전후 및 온도 변화 분석 결과(옥상녹화 적용)



중장기 미래(Worst) 기온도 쿨루프 적용 기온도 기온저감도

▌그림 2-175▐ 중장기 미래 Worst 시나리오 온도 저감 기법 적용 전후 및 온도 변화 분석 결과(쿨루프 적용)

❑ 시뮬레이션 결과 종합

- 도시 공간 변화에 따른 기온 분포와 이를 개선하기 위한 온도 저감 기법적용에 따른 온도 저감 효과를 분석함
- 한여름 8월 10일을 기준으로 현시점(근미래), 중장기 미래(2050년)의 온도 현황과 온도저감 기법을 적용과 저감 효과를 분석함
- 전체 시나리오를 고려하였을 때 낮 12시의 온도 저감 효과가 가장 큰 것으로 나타났으며, 근미래(현시점) 시점 거시적 분석 단위에서 쿨루프를 적용한 경우(0.77℃), 옥상녹화를 적용한 경우(0.71℃) 기온 저감 효과를 도출함
- 중장기 미래(Best Scenario) 시점 거시적 분석 단위에서는 쿨루프 및 옥상녹화를 적용한 경우 동일하게 (0.75℃) 기온 저감 효과를 도출함
- 중장기 미래(Worst Scenario) 시점 거시적 분석 단위에서 쿨루프를 적용한 경우(0.82℃), 옥상녹화를 적용한 경우(0.87℃) 기온 저감 효과를 도출함
- 근미래(현시점) 시점 미시적 분석 단위에서 쿨루프를 적용한 경우(0.45℃), 옥상녹화를 적용한 경우(0.51℃) 기온 저감 효과를 도출함
- 중장기 미래(Best Scenario) 시점 미시적 분석 단위에서 쿨루프를 적용한 경우(0.60℃), 옥상녹화를 적용한 경우(0.58℃) 기온 저감 효과를 도출함
- 중장기 미래(Worst Scenario) 시점 미시적 분석 단위에서 쿨루프를 적용한 경우(0.80℃), 옥상녹화를 적용한 경우(0.60℃) 기온 저감 효과를 도출함
- 도시공간변화 시나리오 및 공간단위를 모두 고려한 결과 쿨루프를 적용한 경우 옥상녹화 적용한 결과보다 온도 저감 효과가 높은 것을 도출함

❑ 열섬저감 기법에 따른 열환경 개선 효과(B/C)

- 대상지 및 시나리오별 열섬저감 기법에 따른 열환경 개선 효과 분석 결과를 종합하면 다음 표와 같음
- 열섬저감 기법별로는 전 대상지 및 시나리오에서 쿨루프가 옥상녹화보다 경제적 측면에서 더 우수한 것으로 분석됨
- 특히 Best case scenario에서 거시대상지(홍제천 유역)에 쿨루프를 적용할 경우 B/C가 1.10으로 경제성이 확보되었음. 이밖에 타 대상지 및 시나리오에서는 경제성이 없는 것으로 분석됨

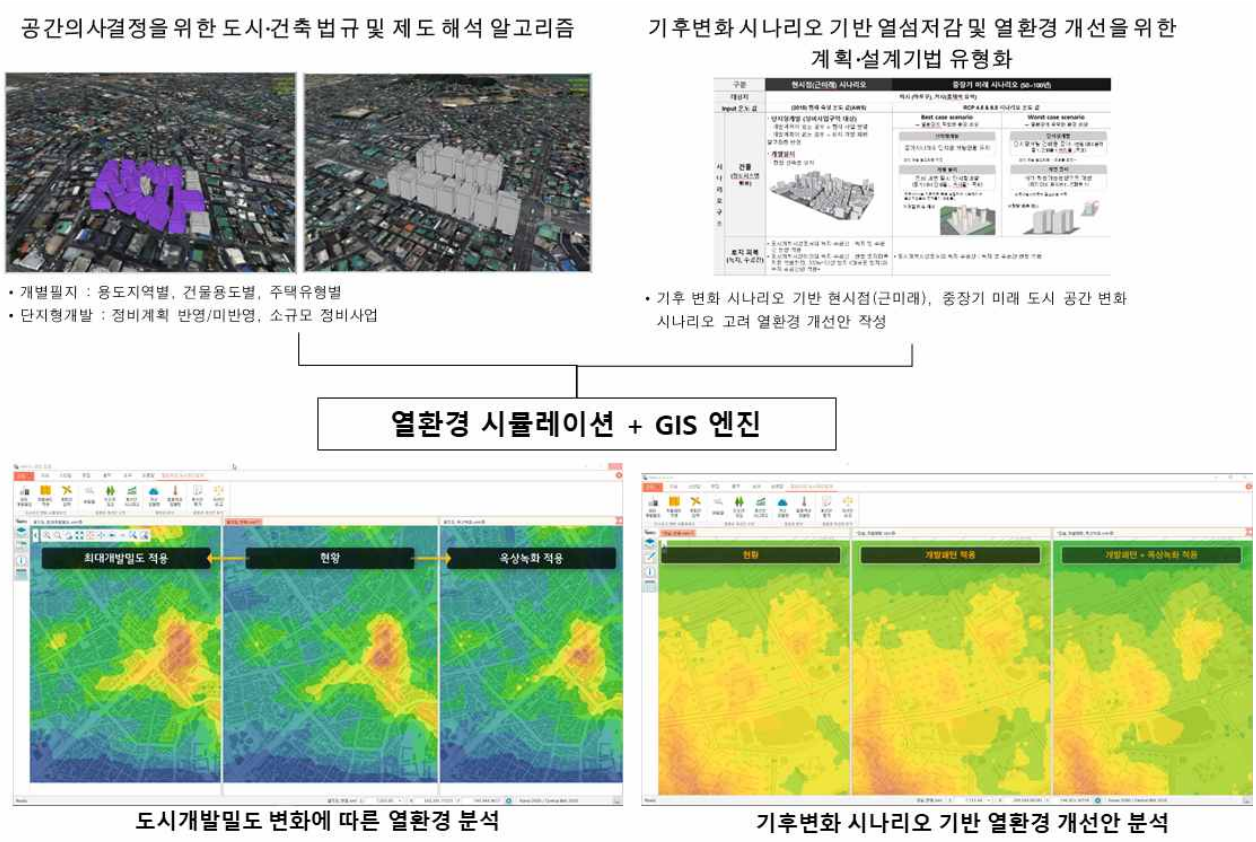
▌표 2-71 ▌ 대상지 및 시나리오별 열섬저감 기법에 따른 열환경 개선 효과(B/C)

대상지	기법	시나리오	면적(m^2)	기온저감효과(℃)	B/C주)
거시	옥상녹화	근미래	5,921,546	0.17	0.21
		Best case	3,175,294	0.18	0.42
		Worst case	5,664,520	0.26	0.24
	쿨루프	근미래	5,921,546	0.19	0.57
		Best case	3,175,294	0.16	1.10
		Worst case	5,664,520	0.25	0.66
미시	옥상녹화	근미래	167,509	0.19	0.17
		Best case	110,199	0.36	0.30
		Worst case	244,715	0.32	0.13
	쿨루프	근미래	167,509	0.20	0.46
		Best case	110,199	0.34	0.82
		Worst case	244,715	0.49	0.41

주) 30년 합계, 4.5% 할인율 적용

5) 열섬저감 도시공간 설계시스템 통합·연계기술 II

- 열섬저감 도시공간 설계시스템 통한·연계기술Ⅱ는 법·제도 해석 알고리즘과 기후변화 시나리오 기반 도시열환경 개선안과 같은 도시공간 의사결정이 GIS 엔진, 열환경 시뮬레이션 기술과 접목되어 한 시스템으로서의 역할을 수행할 수 있도록 연계체계를 형성하는 것임
- 연계체계를 기반으로 각 세부기능이 구현 가능토록 기능명세를 작성함
  (세부 명세는 2세부 최종보고서 '열섬저감 도시공간 설계기술 개발' pp.598-615 참고)



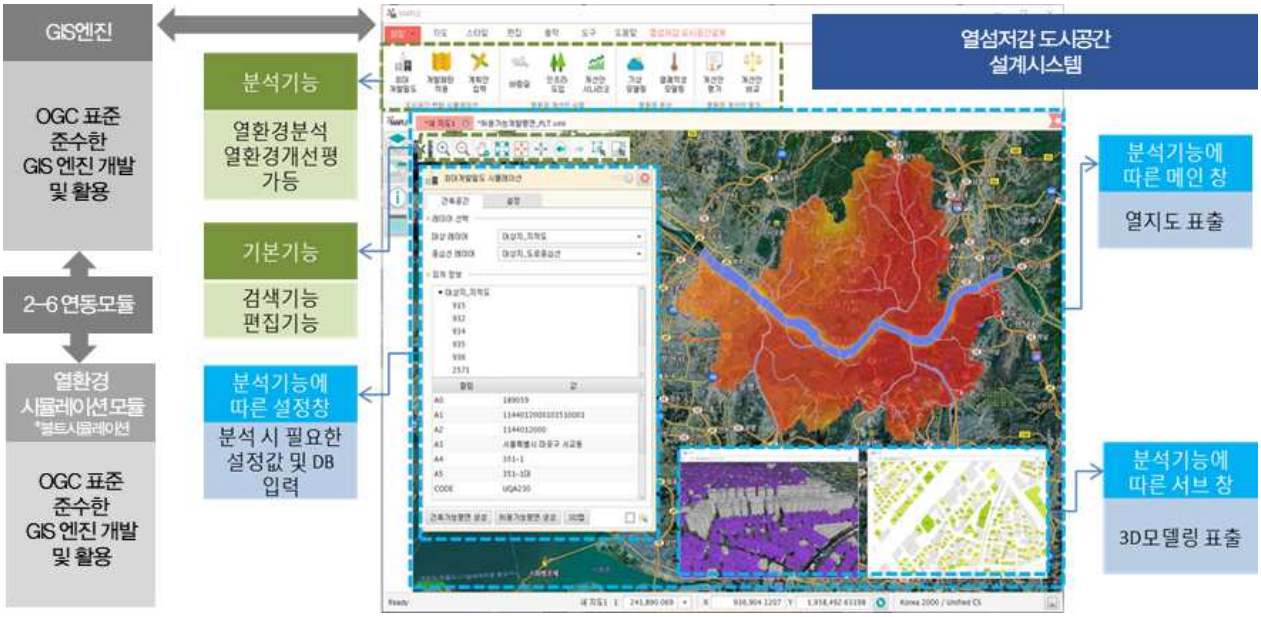
▌그림 2-176▐ 열섬저감 도시공간 설계시스템 통합·연계체계 I

6) 시사점

- 건축물 및 단지패턴 유형화를 통해 현재, 근미래의 개발트랜드를 파악하여, 허용가능 개발용량 산정 의사결정트리에 적용함으로써 시뮬레이션의 객관성 및 현실성 제고
- 정비사업, 개발사업의 정비계획이 없는 경우에 효과적으로 시뮬레이션을 수행할 수 있는 알고리즘과 시뮬레이션을 위한 기초값 제시
- 도시계획·설계 의사결정지원을 위한 알고리즘에 건축물유형 반영, 소규모정비사업 추가 등을 통해 고도화함으로써 더욱 다양하고, 현실성있는 도시공간 시뮬레이션이 가능
- 도시공간 변화 Simulation과 RCP시나리오 특성을 고려한 미래 도시 공간 변화 특성에 따른 열환경 개선 방안 수립
- 현시점·중장기 미래 시점의 도시 공간 변화에 따른 열환경 변화를 예측하고 이를 극복하기 위한 개선안 적용과 효과 검증을 통해 현실성 있는 열환경 개선안 마련 가능

3. 열섬저감 도시공간 설계시스템 소프트웨어(S/W) 개발 및 실증

가. 열섬저감 도시공간 설계시스템 소프트웨어(S/W)



▌그림 2-177 ▌ 열섬저감 도시공간 설계시스템 소프트웨어(S/W)

1) 표준GIS 상호운영성을 고려한 시스템 개발

❑ 국외 유사기술 및 사례조사

- 열섬저감 도시공간 설계시스템의 요구조건(GIS기반 시스템 개발)을 고려하여 GIS 엔진을 활용한 공간정보 표출 시스템의 국외 사례(기능 위주)에 대하여 조사분석 실시

❑ 국내 공간정보사업 OGC 표준 적용 현황 사례조사

- 사업별 공간정보표준 적용 현황 분석
  - 아직 완료되지 않은 스마트 GIS 플랫폼 구축사업을 제외하고 4개 사업에 대한 표준 적용 현황을 정리하면 다음표와 같음

▌표 2-72 ▌ 공간정보사업별 표준 적용 현황

분류	관련표준 개수	적용표준 개수	표준 적용률
지적재조사 행정시스템	12	7	58%
도로관리 통합시스템	8	2	25%
재난관리를 위한 3차원 지도기반 스마트 CCTV 시스템	5	3	60%
국가 주소정보 시스템	10	4	40%
평균	9	4	45%

- 지적재조사 행정시스템은 관련된 표준이 12개이며 이중 적용된 표준은 7개로 적용률은 58%임
- 도로통합관리시스템은 관련된 표준이 8개이며 이중 적용된 표준은 2개로 적용률은 25%임
- 재난관리를 위한 3차원 지도기반 스마트 CCTV 시스템은 관련된 표준이 5개이며 이중 적용된 표준은 3개로 적용률은 60%임
- 국가주소정보시스템은 관련된 표준이 10개이며 이중 적용된 표준은 4개로 적용률은 40%임

• 표준 적용 현황 종합분석 및 시사점

- 데이터 구축 관련 표준들이 준수되지 않으나 WMS나 WFS와 같은 시스템 개발 관련 표준들은 우리나라 시스템 개발 수준이 어느 정도 실력을 갖추고 있기 때문에 대체적으로 잘 준수되고 있음
- 그러나 메타데이터나 품질 원칙, 지형지물 목록작성 방법론 등과 같은 데이터의 구축을 위해서 필요한 표준들은 잘 적용되지 않음
- 공간정보사업 수행자들이 데이터를 구축하면서 자체 작업공정대에 따라 시스템 개발 중이며, 이는 별도의 표준을 참조하지 않아 발생하는 현상으로 보여짐

• OGC 표준을 고려한 열섬저감 도시공간 설계시스템 핵심 컨셉도출

- 본 연구에서는 적합 여부를 확인할 수 있는 OGC 표준 중 공간데이터 서비스 및 정보교환에 가장 많이 사용되는 WMS와 WFS를 시스템 개발에 적용
- 이 중 특히 많이 사용되고 있는 WMS 1.3.0 표준 명세와 WFS 1.1.0 표준 명세를 선정하여 표준 적용 추진

❑ 열섬저감 도시공간 설계시스템 OGC 표준 확보

- OGC 표준이란

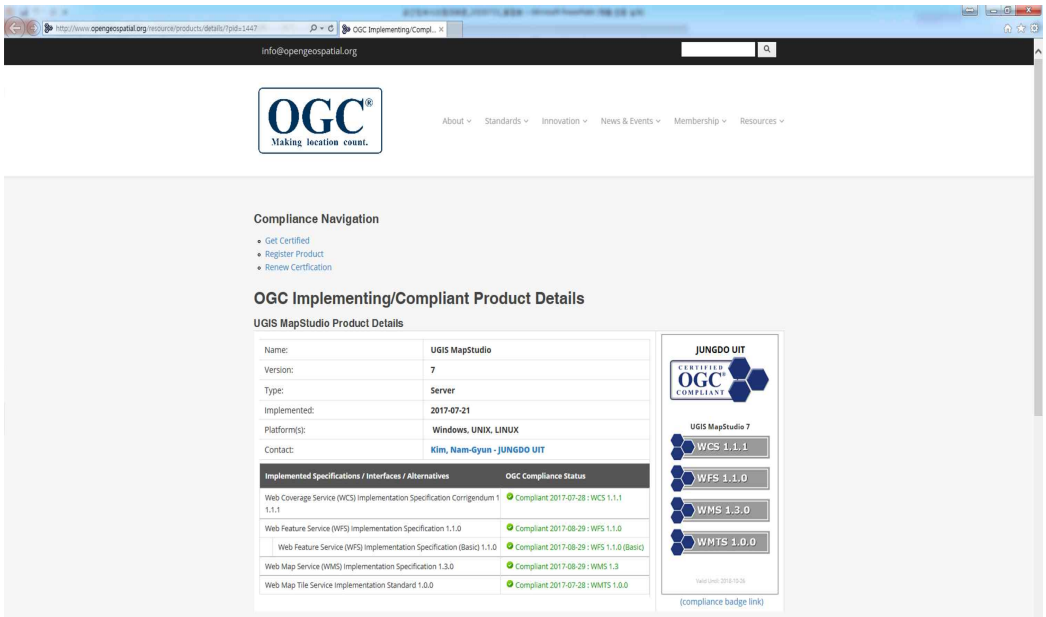
  - OGC 표준은 OGC의 국제 표준 규격을 올바르게 준수하였는지를 테스트하고 이를 OGC가 직접 공식적으로 인증해주는 프로그램(GC Compliance Program)을 통해 진행되는 인증제도로, 현재 812개의 제품에 대한 테스트가 진행되었고, 이 중 202 개의 제품이 인증을 획득, 보유 중으로 GIS 시스템 분야의 상호호환성을 인증하는 대표적인 인증제도임

- 인증결과

  - 본 연구를 통해 열섬저감 도시공간 설계시스템의 핵심 엔진인 GIS엔진 인증 추진
  - OGC에서 추진한 ETS 테스트를 통해 WCS, WFS, WMS, WMTS에 대한 인증을 확보[9]하였으며 결과는 다음 표와 같음

❙표 2-73 ❙ 시스템 기능 및 성능 요구사항 종합

구분	상세 내용
인증 일시	2017.07.31
시스템명	U-GIS MapleStudio (U-GIS 데스크탑 버전)



*http://www.opengeospatial.org/resource/products/details/?pid=1447

9) 3차년도 추진 예정인 OGC 표준 연구를 2차년도 조기 추진, 완료함. 또한 열섬저감 도시공간 설계시스템이 준수해야할 WMS 및 WFS 표준 외에 WCS 및 WMTS를 포함하여 OGC 인증 완료함

2) GIS 엔진 기반 시스템 기능 개발

❑ 연구단 내 선행연구 검토 및 시사점

- 열섬저감을 위한 인프라 관리 요소 검토 및 시사점

- 주관기관 및 공동기관의 선행연구(1차년도)내용을 기반으로 열환경에 영향을 미치는 주요 인프라 관리요소를 검토하고 이러한 요소를 시스템 내에서 변경하기 위한 GIS상의 기본 기능 검토를 추진
- 열섬저감 도시공간 설계시스템에서는 각 인프라별로 그레이 인프라, 그린 인프라, 블루 인프라로 분류하였으며, 해당 인프라 유형에 따라 공간정보를 변경할 수 있는 기능 개발 필요

- 열섬저감을 위한 건축물 관리 요소 검토 및 시사점



▌그림 2-178▐ 도시 · 건축 법규의 개발행위 제어요인

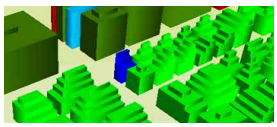
- 주관기관 및 공동기관의 선행연구(1차년도)내용을 기반으로 열환경에 영향을 미치는 주요 건축물 관련 관리요소(인프라)를 검토하고 이러한 요소를 시스템 내에서 변경하기 위한 GIS상의 기본 기능 검토 추진

- 건축물의 제어요인을 크게 용도, 규모, 배치, 형태, 높이로 규정함
- 따라서 열섬저감 도시공간 설계시스템에서는 이에 대한 변경 및 수정이 가능하도록 관련 GIS기능 구현이 필요함
- 형태를 변경하기 위해선 객체를 선택하고, 2차원의 건축바닥형태의 변경과 3차원의 건축물 높이 변경, 건축바닥형태의 이동 등의 기능이 반영되어야 함
- 속성을 변경하기 위해선 객체를 선택하고 그에 대한 속성값 변경이 가능해야 함
- 단 용도 이외의 용도지역지구와 같이 규모와 높이에 영향을 주는 속성 요소들이 있으며, 이에 대한 반영여부 검토가 필요함

❑ 선행연구기반 GIS 기능 요구사항 분석

- 연구단의 연구 내용 및 자문위원의 의견을 종합한 시스템의 GIS측면의 기능 및 성능 요구사항은 아래 표와 같음

▌표 2-74▐ 시스템 기능 및 성능 요구사항 종합

구분		상세 내용
기능	도시계획/설계가 가능한 시스템 개발	- 드레그를 통한 객체 선택기능 - 선택된 객체에 대한 속성 표출 및 변경 기능
	건축물 변경 기능 (형태)	- 클릭에 의한 객체 선택기능 - 폴리라인 생성 및 편집 기능(2D, 3D) - 객체에 대한 면적, 길이 등에 대한 계산 및 표출 기능 - 선택된 객체와 인접한 타 객체에 대한 검색기능 (예 : 선택(클릭)된 필지의 인접 도로 형태 및 속성정보 인식 등)
	건축물 변경 기능 (속성)	- 클릭에 의한 객체 선택기능 - 선택된 객체의 속성정보 변경 기능 - 객체에 대한 면적, 길이 등에 대한 계산 및 표출 기능
	건축바닥형태 정형화 기능	- 클릭에 의한 객체 선택기능 - 폴리라인 생성 및 편집 기능(2D, 3D) - 교차점 생성기능 - 객체에 대한 면적, 길이 등에 대한 계산 및 표출 기능 - 선택된 객체와 인접한 타 객체에 대한 검색기능 (예 : 선택(클릭)된 필지의 인접 도로 형태 및 속성정보 인식 등)
	3D 표출 기능	-3 D 생성 및 변경 기능 - 선택된 객체의 속성정보 변경 기능 - 폴리라인 생성 및 편집 기능(2D, 3D) - 객체 면적, 길이 등에 대한 계산 및 표출색  
	허용가능개발용량 자동화 기능	- 건축물 변경 기능 및 건축바닥형태 정형화 기능, 3D 표출기능 활용 - 허용가능개발용량 알고리즘 추가 적용 - 허용가능개발용량 관련 원단위 변경기능
성능	시뮬레이션 시간	- 서울특별시 전체 대상 60분 내 열환경 분석* 실시 * 해당 성능목표는 2.1세세부에서 수행하는 연구모듈에 따른 열환경 분석시간(목표)으로 이에 대한 데이터 연계차원의 지원기능 필요 * 이에 데이터 전처리 부분을 본 시스템에서 추진(5차년도 자문 및 평가 내용 반영 결과)
	열환경 개선	- 해당 목표는 시스템의 성능목표가 아닌 시스템을 통해 도출되는 개선(안)의 성능으로 2.1세세부 연구 내용 및 결과를 기반으로 성능 검증 실시

3) 소프트웨어 사용성을 고려한 시스템 개발

❑ 요구사항 분석 기반 기능 정의 및 구현

- 연구단의 연구 내용 및 자문위원의 의견을 종합하여 기능목록을 정의하고 시스템을 구현함
- 기능 목록

– 최대개발밀도 기능목록

▌표 2-75 ▌최대개발밀도 기능목록

메뉴	기능	세부기능	프로세스 ID	프로세스	비고
최대개발밀도	최대 개발밀도 시뮬레이션	환경 설정	CA01_A001	저장경로	-
			CA01_A002	건축가능평면 파일명	
			CA01_A003	허용가능평면 파일명	
			CA01_A004	3D 서비스 URL	
		허용가능 평면 시뮬레이션	CA01_B001	레이어선택(지적)	
			CA01_B002	레이어선택(중심선)	
			CA01_B003	영역선택(사각형)	
			CA01_B004	영역선택(자유형)	
			CA01_B005	분석평면 생성 프로세스	
			CA01_B006	피처정보 확인	
			CA01_B007	건축가능평면 생성	
			CA01_B008	허용가능평면 생성	
			CA01_B009	3D 맵 생성	
			CA01_B010	통계정보 생성	추가기능
		허용가능 용량 시뮬레이션(3D)	CA01_C001	허용가능개발용량 산정	-
			CA01_C002	건축가능개발용량 산정	
			CA01_C003	레이어 숨기기/보이기	
			CA01_C004	화면 제어	
	개발패턴 적용	개발패턴 시뮬레이션	CB01_A001	레이어선택(지적)	추가기능
			CB01_A002	레이어선택(중심선)	
			CB01_A003	영역선택(사각형)	
			CB01_A004	영역선택(자유형)	
			CB01_A005	패턴설정(판상형)	
			CB01_A006	패턴설정(탑상형)	
			CB01_A007	패턴설정(변형판상형)	
			CB01_A008	시뮬레이션 결과 생성	
			CB01_A009	분석결과 정보 생성	

- 기상모델링 기능목록

▌표 2-76 ▌ 기상모델링 분석 기능목록

메뉴	기능	세부기능	프로세스 ID	프로세스	비고
기상 모델링	현시점	모델링 요건 정의	AA01_A001	로컬 데이터 로딩	추가기능
			AA01_A002	연계 데이터 로딩	
			AA01_A003	요청 URI 설정	
			AA01_A004	분석날짜/시각/횟수 설정	
			AA01_A005	사용자 정의 건물 선택	
			AA01_A006	사용자 정의 지적도	
			AA01_A007	사용자 정의 토지피복	
			AA01_A008	사용자 정의 수치표고	
			AA01_A009	모델링 영역 설정	
			AA01_A010	분석결과 연동 선택	
		열지도, 바람장 생성 및 저장	AA01_B001	일괄/선택실행 설정	
			AA01_B002	파일 저장 경로	
			AA01_B003	열지도 유형 선택(포인트, 격자형, IDW보간형)	
			AA01_B004	분석결과 지도 생성	
	모델링 입력자료 변환	건물 데이터 변환	AA03_A001	건물 레이어 선택	
			AA03_A002	건물속성 선택(층수, 녹화율)	
			AA03_A003	plt 파일저장	
		지적 데이터 변환	AA03_B001	지적도 레이어 선택	
			AA03_B002	plt 파일저장	
		토지피복 데이터 변환	AA03_C001	토지피복 레이어 선택	
			AA03_C002	토지피복분류 컬럼 선택	
			AA03_C003	plt 파일저장	
			AA03_C004	래스터 생성	
		DEM 데이터 변환	AA03_D001	DEM 레이어 선택	
			AA03_D002	plt 파일저장	
			AA03_D003	래스터 생성	
열쾌적성 모델링	열쾌적성 산정(현시점)	기초데이터 선택	AB01_A001	열지도(plt) 선택	
			AB01_A002	바람장(plt) 선택	
		변수 입력	AB01_B001	상대습도 입력	
			AB01_B002	일사량 입력	
		열쾌적성 지도생성 및 저장	AB01_C001	지도범례 유형 설정	
			AB01_C002	PMV/PET 지도 생성 및 저장	

- 열환경 개선안 수립 기능목록

▌표 2-77 ▌ 열환경 개선안 수립 기능목록

메뉴	기능	세부기능	프로세스 ID	프로세스	비고
인프라 도입	옥상녹화	환경 설정	IB04_A001	저장경로	-
			IB04_A002	기준년도 설정	
		녹화가능 건물 및 면적 시뮬레이션	IB04_B001	건물통합정보(도형) 로딩	
			IB04_B002	건축물대장 (동별개요) 로딩	
			IB04_B003	건축물대장 (층별개요) 로딩	
			IB04_B004	녹화가능면적 산출	
			IB04_B005	녹화가능면적 맵 표출	
	공원녹지	환경 설정	IB01_A001	저장경로	추가기능
		공원녹지 조성 가능지 시뮬레이션	IB01_B001	공간시설(도형) 로딩	
			IB01_B002	토지특성(도형) 로딩	
			IB01_B003	미집행시설(도형) 로딩	
			IB01_B004	도시생태현황도 (도형) 로딩	
	수목식생	환경 설정	IB02_A001	저장경로	
		수목식생녹화 가능지 시뮬레이션	IB02_B001	교통시설(도형) 로딩	
			IB02_B002	공간시설(도형) 로딩	
			IB02_B003	도시생태현황도 (도형) 로딩	
	차열투수포장	환경 설정	IB03_A001	저장경로	
		차열투수포장 가능지 시뮬레이션	IB03_B001	공간시설(도형) 로딩	
			IB03_B002	교통시설(도형) 로딩	
			IB03_B003	인도보도(도형) 로딩	
	수공간조성	환경 설정	IB05_A001	저장경로	
		수공간 데이터 선택	IB05_B001	사용자 데이터(도형) 로딩	
	차열지붕포장	환경 설정	IB06_A001	저장경로	
		차열지붕포장 가능 건물 및 면적 시뮬레이션	IB06_B001	기준년도 설정	
			IB06_B002	건물통합정보 (도형) 로딩	
			IB06_B003	건축물대장 (동별개요) 로딩	
			IB06_B004	건축물대장 (층별개요) 로딩	

- 공통 기능목록

▌표 2-78 ▌ 공통 기능목록

메뉴	기능	세부기능	프로세스 ID	프로세스	비고
지도 제어	지도 조작	확대/축소	MA01_A001	영역지정 확대/축소	-
			MA01_A002	고정비율 확대/축소	
			MA01_A003	전체영역 표시	
		이동	MA01_B001	마우스 드래그 이동	
			MA01_B002	이전/이후 화면 이동	
			MA01_B003	북마크 설정 및 이동	
		출력	MA01_C001	레이아웃 편집	
			MA01_C002	레이아웃 출력	
	레이어 관리	레이어 조작	MA02_A001	레이어 추가/제거	
			MA02_B001	레이어 켜기/끄기	
			MA02_B003	범례 표시/숨기기	
		레이어 스타일	MA02_C001	렌더러 선택	
			MA02_C002	속성 설정	
			MA02_C003	스타일 생성	
			MA02_C004	라벨 설정	
정보 조회 및 편집	정보 조회	피처정보 조회	MB01_A001	피처정보 조회창 호출	
			MB01_A002	레이어 선택 옵션 설정	
			MB01_A003	피처정보 조회	
		정보 측정	MB01_B001	거리 측정	
			MB01_B002	면적 측정	
	정보 편집	도형 편집	MB02_A001	편집모드 전환	
			MB02_A002	객체 생성/삭제	
			MB02_A003	객체 도형 편집	
		테이블 편집	MB02_B001	레코드 편집	
			MB02_B002	편집결과 저장	

- 기능 명세서
  - 최대개발밀도 부문 명세서

❙표 2-79 ❙ 최대개발밀도 기능 부문 명세서 종합

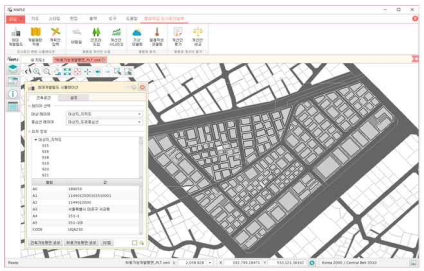
최대개발밀도 환경설정 기능명세서

환경설정			
단위 시스템	최대개발밀도 시뮬레이션	기능	환경 설정
개요	시뮬레이션 기능의 실행 환경을 설정한다.		
프로세스 ID	프로세스명	프로세스 설명	
CA01_A001	저장경로	분석결과 shp 파일의 저장 경로를 설정한다.	
CA01_A002	건축가능평면 파일명	건축가능평면의 파일명을 지정한다.	
CA01_A003	허용가능평면 파일명	허용가능평면의 파일명을 지정한다.	
CA01_A004	3D 서비스 URL	3D 서비스 URL 정보를 설정한다.	
실행 화면			



최대개발밀도 허용가능평면 시뮬레이션 기능명세서

허용가능평면 시뮬레이션			
단위 시스템	최대개발밀도 시뮬레이션	기능	허용가능평면 시뮬레이션
개요	도시계획 기준에 따른 건축가능평면 및 허용개발가능평면을 산정한다.		
프로세스 ID	프로세스명	프로세스 설명	
CA01_B001	레이어선택(대상 레이어)	분석대상 레이어(지적도)를 선택한다.	
CA01_B002	레이어선택(중심선 레이어)	분석대상 레이어(도로중심선)를 선택한다.	
CA01_B003	영역선택(사각형)	지도상에서 분석 영역을 사각형 형태로 선택한다.	
CA01_B004	영역선택(자유형)	지도상에서 분석 영역을 비정형 형태로 선택한다.	
CA01_B005	분석평면 생성 프로세스	영역선택과 동시에 건축가능평면과 허용가능평면을 계산하여 결과를 표출한다.	
CA01_B006	피처정보 확인	분석결과로 도출된 평면에 대한 개별 정보를 표출한다.	
CA01_B007	건축가능평면 생성	3D 맵 생성을 위해 건축가능평면 데이터를 변환한다.	
CA01_B008	허용가능평면 생성	3D 맵 생성을 위해 허용가능평면 데이터를 변환한다.	
CA01_B009	3D 맵 생성	3D 맵 구동 창을 실행한다.	
실행 화면			



최대개발밀도 허용가능용량 시뮬레이션 기능명세서

허용가능용량 시뮬레이션			
단위 시스템	최대개발밀도 시뮬레이션	기능	허용가능용량 시뮬레이션
개요	분석정보에 기초하여 허용가능개발용량 및 건축가능개발용량을 산정한다.		
프로세스 ID	프로세스명	프로세스 설명	
CA01_C001	허용가능개발용량 산정	허용가능평면 정보를 기초로 3D 모델을 생성하여 표출한다.	
CA01_C002	건축가능개발용량 산정	건축가능평면 정보를 기초로 3D 모델을 생성하여 표출한다.	
CA01_C003	레이어 숨기기/보이기	분석된 3D 모델을 표시하거나 숨긴다.	
CA01_C004	화면 제어	3D 맵 화면의 이동, 확대/축소, 회전 등 제어기능을 제공한다.	
실행 화면			



개발패턴 시뮬레이션 기능명세서

개발패턴 시뮬레이션			
단위 시스템	개발패턴 적용	기능	개발패턴 시뮬레이션
개요	단지별 허용개발가능 용량을 패턴적용을 통해 시뮬레이션한다.		
프로세스 ID	프로세스명	프로세스 설명	
CB01_A001	레이어선택(지적)	분석대상 레이어(지적도)를 선택한다.	
CB01_A002	레이어선택(중심선)	분석대상 레이어(도로중심선)를 선택한다.	
CB01_A003	영역선택(사각형)	지도상에서 분석 영역을 사각형 형태로 선택한다.	
CB01_A004	영역선택(자유형)	지도상에서 분석 영역을 비정형 형태로 선택한다.	
CB01_A005	패턴설정(판상형)	시뮬레이션할 개발패턴 중 판상형에 대한 변수를 설정한다.	
CB01_A006	패턴설정(탑상형)	시뮬레이션할 개발패턴 중 탑상형에 대한 변수를 설정한다.	
CB01_A007	패턴설정(변형판상형)	시뮬레이션할 개발패턴 중 변형판상형에 대한 변수를 설정한다.	
CB01_A008	시뮬레이션 결과 생성	지도 위 선택한 필지에 대한 시뮬레이션을 실행하고 결과를 도형으로 생성한다.	
CB01_A009	분석결과 정보 생성	시뮬레이션 분석결과를 표시한다.	
실행 화면			



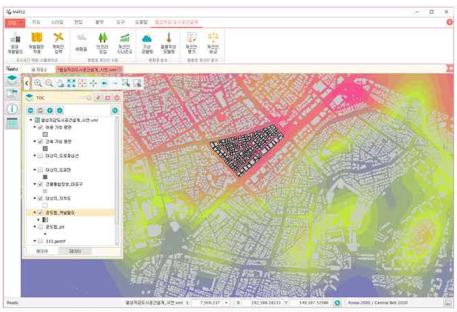
- 기상모델링 부문 명세서

❙표 2-80 ❙ 기상모델링 기능 부문 명세서 종합

기상모델링(온도 현시점/미래시점) 기능명세서

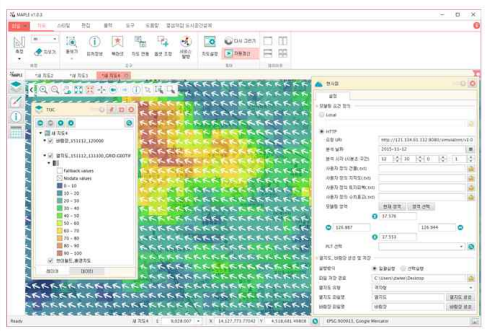
기상모델링(현시점)			
단위 시스템	기상모델링(현시점)	기능	현시점 열지도 연동
개요	현시점 데이터에 기초한 열지도 분석결과를 연동하여 표출한다.		
프로세스 ID	프로세스명	프로세스 설명	
AA01_A001	열환경 분석서버 입출력	열환경분석 서버 연동을 통해 데이터 입출력을 관리한다.	
AA01_A002	열지도 데이터 변환 표출	열환경분석 결과를 지도 데이터로 변환하여 표출한다.	

기상모델링미래시점)			
단위 시스템	기상모델링(미래시점)	기능	미래시점 열지도 연동
개요	미래시점 데이터에 기초한 열지도 분석결과를 연동하여 표출한다.		
프로세스 ID	프로세스명	프로세스 설명	
AA01_A001	열환경 분석서버 입출력	열환경분석 서버 연동을 통해 데이터 입출력을 관리한다.	
AA01_A002	열지도 데이터 변환 표출	열환경분석 결과를 지도 데이터로 변환하여 표출한다.	
실행 화면			



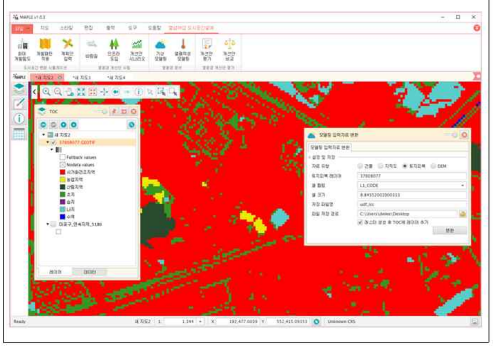
기상모델링(바람장) 기능명세서

기상모델링 현시점			
단위 시스템	기상모델링	기능	현시점
개요	사용자 정의 변수를 고려하여 선택 지역의 열지도 및 바람장을 산출한다.		
프로세스 ID	프로세스명	프로세스 설명	
AA01_A001	로컬 데이터 로딩	로컬 데이터 기반으로 시뮬레이션 한다.	
AA01_A002	연계 데이터 로딩	서버 연동을 통해 시뮬레이션 한다.	
AA01_A003	요청 URI 설정	서버 주소를 설정한다.	
AA01_A004	분석날짜/시각/횟수 설정	분석날짜 및 시각, 반복 횟수를 설정한다.	
AA01_A005	사용자 정의 건물 선택	사용자 정의 건물 정보를 선택한다.	
AA01_A006	사용자 정의 지적도	사용자 정의 지적 정보를 선택한다.	
AA01_A007	사용자 정의 토지피복	사용자 정의 토지피복 정보를 선택한다.	
AA01_A008	사용자 정의 수치표고	사용자 정의 수치표고 정보를 선택한다.	
AA01_A009	모델링 영역 설정	지도 화면상의 모델링 영역을 설정한다.	
AA01_A010	분석결과 연동 선택	시뮬레이션 결과를 선택한다.	
AA01_B001	일괄/선택실행 설정	열지도, 바람장 지도 생성 방식을 설정한다.	
AA01_B002	파일 저장 경로	파일저장 경로를 설정한다.	
AA01_B003	열지도 유형 선택(포인트, 격자형, IDW보간형)	열지도의 시각화 유형을 설정한다.	
AA01_B004	분석결과 지도 생성	분석한 열지도, 바람장을 지도에 시각화한다.	
실행 화면			



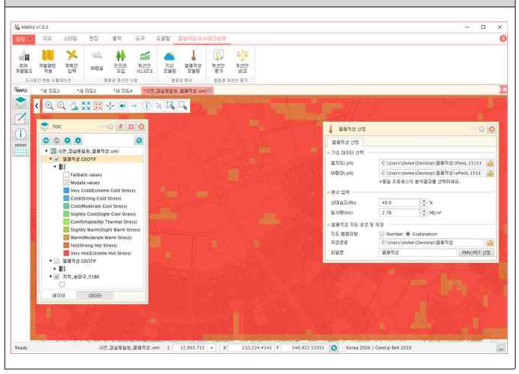
모델링 입력자료 변환 기능명세서

모델링 입력자료 변환			
단위 시스템	기상모델링	기능	모델링 입력자료 변환
개요	열환경개선안을 통해 도출된 데이터를 시뮬레이션 가능한 형식으로 변환한다.		
프로세스 ID	프로세스명	프로세스 설명	
AA03_A001	건물 레이어 선택	변환할 건물 레이어를 선택한다.	
AA03_A002	건물속성 선택(층수, 녹화율)	건물속성 변수 컬럼을 선택한다.	
AA03_A003	plt 파일저장	건물 레이어를 변환한 plt 파일을 생성한다.	
AA03_B001	지적도 레이어 선택	변환할 지적도 레이어를 선택한다.	
AA03_B002	plt 파일저장	지적도 레이어를 변환한 plt 파일을 생성한다.	
AA03_C001	토지피복 레이어 선택	변환할 토지피복 레이어를 선택한다.	
AA03_C002	토지피복분류 컬럼 선택	토지피복분류 컬럼을 선택한다.	
AA03_C003	plt 파일저장	토지피복도를 변환한 plt 파일을 생성한다.	
AA03_C004	래스터 생성	래스터 형식의 지도로 시각화한다.	
AA03_D001	DEM 레이어 선택	변환할 수치표고모델 레이어를 선택한다.	
AA03_D002	plt 파일저장	수치표고모델를 변환한 plt 파일을 생성한다.	
AA03_D003	래스터 생성	래스터 형식의 지도로 시각화한다.	
실행 화면			



열쾌적성 산정 기능명세서

열쾌적성 산정			
단위 시스템	열쾌적성 모델링	기능	열쾌적성 산정
개요	열쾌적성 알고리즘을 적용하여 PMV/PET 지도를 생성한다.		
프로세스 ID	프로세스명	프로세스 설명	
AB01_A001	열지도(plt) 선택	기초데이터인 열지도 데이터를 선택한다.	
AB01_A002	바람장(plt) 선택	기초데이터인 바람장 데이터를 선택한다.	
AB01_B001	상대습도 입력	변수정보인 상대습도를 입력한다.	
AB01_B002	일사량 입력	변수정보인 일사량을 입력한다.	
AB01_C001	지도범례 유형 설정	분석결과를 지도로 표현할 방식을 선택한다.	
AB01_C002	PMV/PET 지도 생성 및 저장	PMV/PET 지도를 생성한다.	
실행 화면			



- 열환경 개선안 기능 부문 명세서

❙표 2-81 ❙ 열환경 개선안 기능 부문 명세서 종합

인프라도입 환경설정 및 옥상녹화시뮬레이션 기능명세서

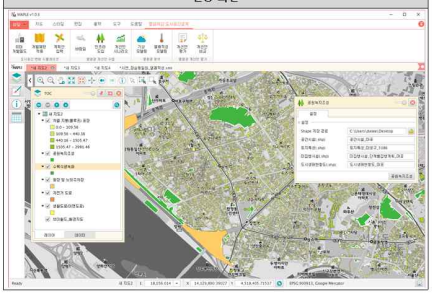
환경설정			
단위 시스템	옥상녹화	기능	환경 설정
개요	시뮬레이션 기능의 실행 환경을 설정한다.		
프로세스 ID	프로세스명	프로세스 설명	
IB04_A001	저장경로	분석결과 shp 파일의 저장경로를 설정한다.	
IB04_A002	기준년도 설정	분석소스 데이터의 기준년도를 설정한다.	

옥상녹화 기능 시뮬레이션			
단위 시스템	옥상녹화	기능	옥상녹화 기능 시뮬레이션
개요	옥상녹화 기능 건물 및 면적을 산정한다.		
프로세스 ID	프로세스명	프로세스 설명	
IB04_B001	건물통합정보(도형) 로딩	옥상녹화 대상 건축물 도형정보를 추출한다.	
IB04_B002	건축물대장(동별개요) 로딩	옥상녹화 가능 건축물 조건(건축물노후도, 층수, 지붕구조, 면적 등)에 대한 정보를 추출한다.	
IB04_B003	건축물대장(층별개요) 로딩	옥상층에 대한 정보(면적, 시설물 등)를 추출한다.	
IB04_B004	녹화가능면적 산출	옥상녹화 가능 건물 및 면적산정 알고리즘에 따라 데이터를 분석한다.	
IB04_B005	녹화가능면적 맵 표출	옥상녹화 가능 건물과 면적정보를 범례화하여 지도상에 표출한다.	
실행 화면			



인프라도입 공원녹지 시뮬레이션 기능명세서

기상모델링 현시점			
단위 시스템	인프라도입	기능	공원녹지/
개요	사용자 정의 변수를 고려하여 선택 지역의 열지도 및 바람장을 산출한다.		
프로세스 ID	프로세스명	프로세스 설명	
IB01_A001	저장경로	공원녹지 분석결과 저장경로를 설정한다.	
IB01_B001	공간시설(도형) 로딩	공간시설 정보를 선택한다.	
IB01_B002	토지특성(도형) 로딩	토지특성 정보를 선택한다.	
IB01_B003	미집행시설(도형) 로딩	미집행시설 정보를 선택한다.	
IB01_B004	도시생태현황도(도형) 로딩	도시생태현황도를 선택한다.	
IB02_A001	저장경로	수목식생 분석결과 저장경로를 설정한다.	
IB02_B001	교통시설(도형) 로딩	교통시설 정보를 선택한다.	
IB02_B002	공간시설(도형) 로딩	공간시설 정보를 선택한다.	
IB02_B003	도시생태현황도(도형) 로딩	도시생태현황도 정보를 선택한다.	
IB03_A001	저장경로	차열투수포장 분석결과 저장경로를 설정한다.	
IB03_B001	공간시설(도형) 로딩	공간시설 정보를 선택한다.	
IB03_B002	교통시설(도형) 로딩	교통시설 정보를 선택한다.	
IB03_B003	인도보도(도형) 로딩	인도보도 정보를 선택한다.	
IB05_A001	저장경로	수공간조성 분석결과 저장경로를 설정한다.	
IB05_B001	사용자 데이터(도형) 로딩	사용자 정의 정보를 선택한다.	
IB06_A001	저장경로	차열지붕포장 분석결과 저장경로를 설정한다.	
IB06_B001	기준년도 설정	기준년도를 설정한다.	
IB06_B002	건물통합정보(도형) 로딩	건물통합정보를 선택한다.	
IB06_B003	건축물대장(동별개요) 로딩	건축물대장 동별개요 정보를 선택한다.	
IB06_B004	건축물대장(층별개요) 로딩	건축물대장 층별개요 정보를 선택한다.	
실행 화면			



기상모델링(현시점/미래시점)

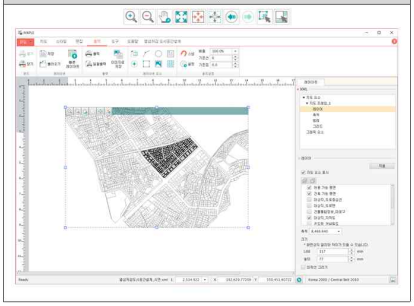
- 공통 기능 부문 명세서

❙표 2-82 ❙ 공통기능 명세서 종합-1

지도조작 기능명세서

공통기능

지도조작			
단위시스템	지도 제어	기능	지도 조작
개요	지도 화면의 확대/축소, 이동, 출력 등 기본 콘트롤 기능을 제공한다.		
프로세스 ID	프로세스명	프로세스 설명	
MA01_A001	영역지정 확대/축소	마우스로 지도화면의 영역을 지정하여 확대/축소한다.	
MA01_A002	고정비율 확대/축소	정해진 비율로 지도화면을 확대/축소한다.	
MA01_A003	전체영역 표시	지도 내 콘텐츠 전체영역을 확대/축소하여 표시한다.	
MA01_B001	마우스 드래그 이동	지도화면 내 마우스 드래그를 통해 위치를 이동한다.	
MA01_B002	이전/이후 화면 이동	이전, 이후 버튼을 통해 지도화면 위치 및 축척을 변경한다.	
MA01_B003	북마크 설정 및 이동	현재 지도화면을 저장하고 불러온다.	
MA01_C001	레이아웃 편집	지도 출력을 위한 레이아웃을 편집한다.	
MA01_C002	레이아웃 출력	작성된 레이아웃을 출력한다.	
실행 화면			



레이어 관리 기능명세서

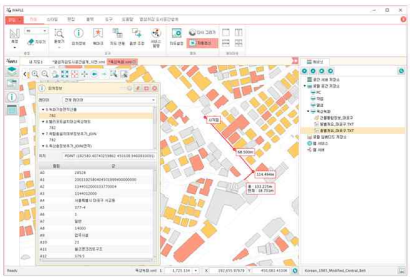
레이어 관리			
단위 시스템	지도 제어	기능	레이어 관리
개요	레이어 추가/제거, ON/OFF 등의 제어와 스타일 변경 기능을 제공한다.		
프로세스 ID	프로세스명	프로세스 설명	
MA02_A001	레이어 추가/제거	저장소에서 선택한 레이어를 추가 또는 제거한다.	
MA02_B001	레이어 켜기/끄기	선택한 레이어를 지도화면상에 표시하거나 숨긴다.	
MA02_B003	범례 표시/숨기기	선택한 레이어의 범례를 표시가거나 숨긴다.	
MA02_C001	렌더러 선택	레이어 스타일 적용을 위해 심볼 구분방식을 선택한다.(단일심볼, 급간구분 등)	
MA02_C002	속성 설정	레이어 스타일 적용 대상 속성을 설정한다.	
MA02_C003	스타일 생성	선택조건에 부합하는 레이어 스타일을 생성하여 적용한다.	
MA02_C004	라벨 설정	레이어에 표시될 라벨의 속성, 표현방식을 설정한다.	
실행 화면			



▌표 2-83 ▌ 공통기능 명세서 종합-2

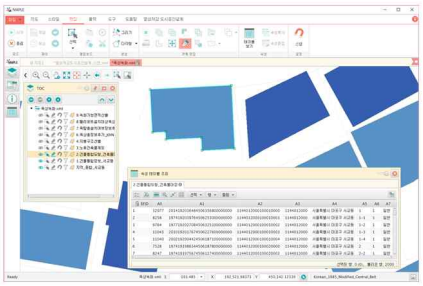
정보 조회기능명세서

정보조회			
단위 시스템	정보조회 및 편집	기능	정보조회
개요	선택한 객체에 대한 정보를 조회하고 화면상의 거리, 면적을 측정한다.		
프로세스 ID	프로세스명	프로세스 설명	
MB01_A001	피처정보 조회창 호출	객체별 정보조회를 위해 피처정보 조회창을 호출한다.	
MB01_A002	레이어 선택 옵션 설정	정보조회 대상 레이어를 선택한다.	
MB01_A003	피처정보 조회	지도화면상의 객체를 선택하여 정보를 조회한다.	
MB01_B001	거리 측정	거리 측정 툴을 활용하여 지도화면상의 거리를 측정한다.	
MB01_B002	면적 측정	면적 측정 툴을 활용하여 지도화면상의 면적을 측정한다.	
실행 화면			



정보 편집 기능명세서

정보 편집			
단위 시스템	정보조회 및 편집	기능	정보편집
개요	선택한 객체에 대한 도형 및 속성정보를 편집한다.		
프로세스 ID	프로세스명	프로세스 설명	
MB02_A001	편집모드 전환	객체 편집을 위해 편집가능한 모드로 전환한다.	
MB02_A002	객체 생성/삭제	선택한 레이어에 객체를 추가 생성하거나 삭제한다.	
MB02_A003	객체 도형 편집	선택한 객체의 도형적 특성을 편집한다.	
MB02_B001	레코드 편집	선택한 테이블의 레코드를 편집한다.	
MB02_B002	편집결과 저장	편집한 결과를 DB에 저장한다.	
실행 화면			

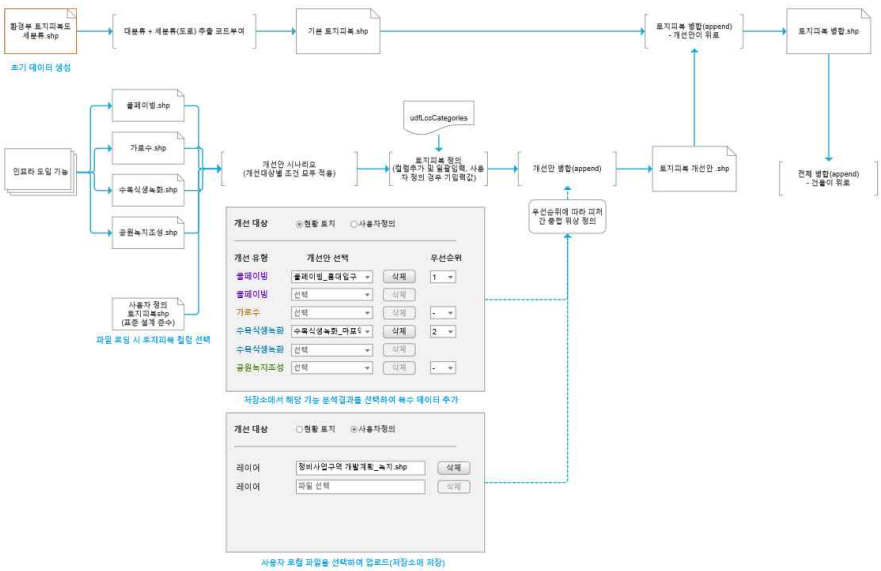


❑ 열섬저감 도시공간 설계시스템 시나리오 및 UI

- 열섬저감 도시공간 설계시스템의 활용시나리오를 기반으로 사용자 편의를 고려한 시스템 UI를 설계함

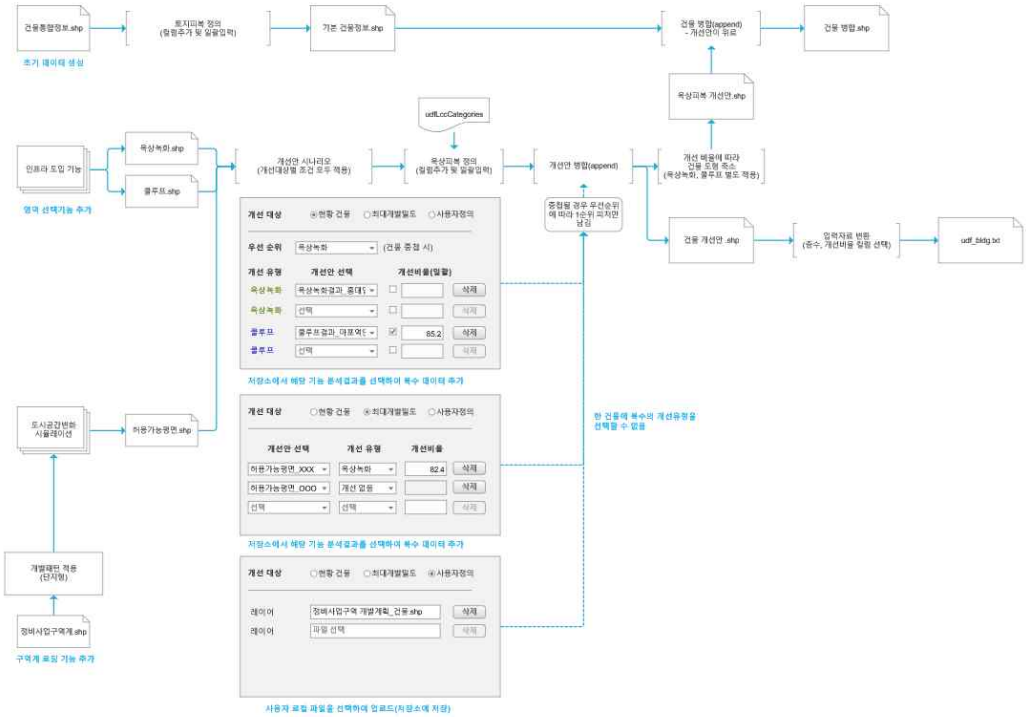
▌표 2-84 ▌ 개선안 시나리오 작성 프로세스 설계(토지)

토지 부문 개선안 시나리오 작성 프로세스 및 UI 설계



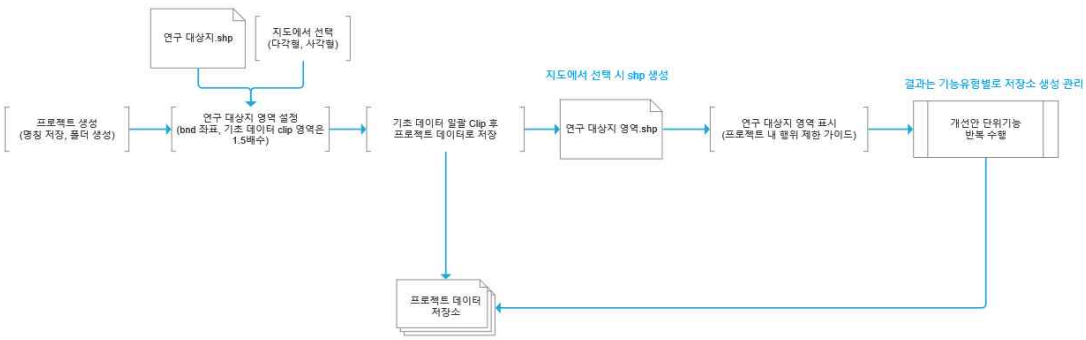
▌표 2-85 ▌ 개선안 시나리오 작성 프로세스 설계(건물)

건물 부문 개선안 시나리오 작성 프로세스 및 UI 설계

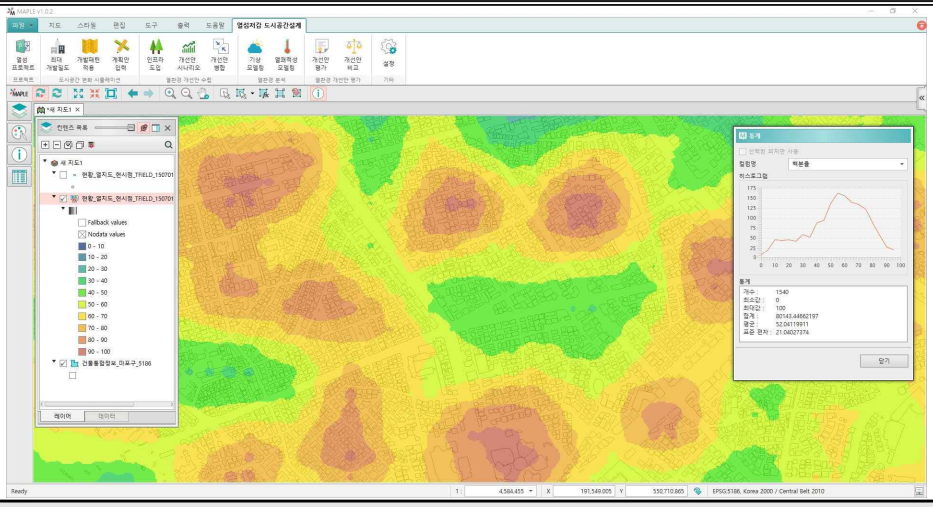
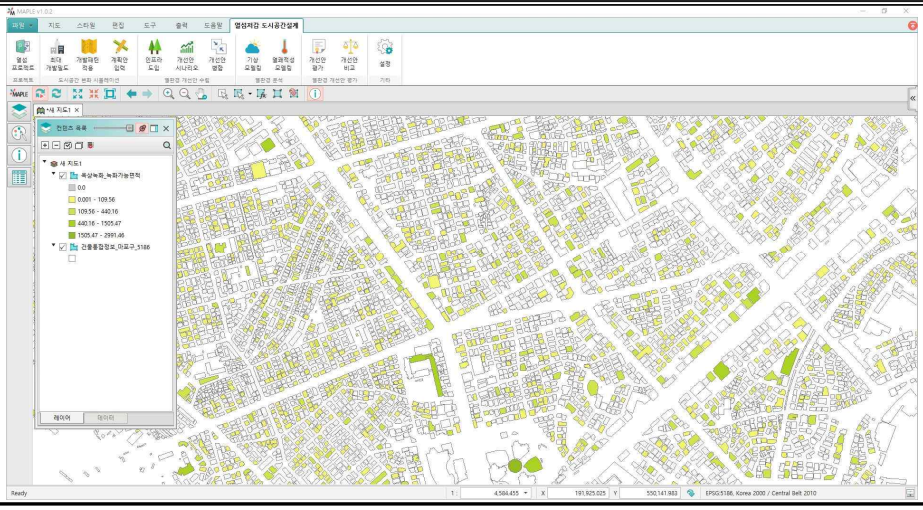


▌표 2-86 ▌ 프로젝트 단위 관리기능 설계

프로젝트 생성 및 환경설정 프로세스 설계



▌표 2-87 ▌ 시스템 최종 UI

열환경 개선안 평가 단계 시스템 화면

인프라도입 검토단계의 인프로도입 가능지(옥상녹화) 시뮬레이션 화면


- 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발에 있어 OGC표준을 준수한 GIS엔진을 사용함으로써 타 시스템간 호환성 확보
- 국산 GIS엔진의 기능 고도화를 통해 타 연구 및 사업에 활용 기반 조성
- 시스템에 요구되는 기능 및 성능에 대하여 주관기관 및 공동기관의 요구사항을 반영하여 시스템 개발 추진
- 특히 각 기관의 요구사항에서 누락되는 기능에 대하여 각 기관의 연구내용을 기반으로 추가 요구사항을 도출하여 반영
- 시스템에 요구되는 기능 및 성능에 대하여 주관기관 및 공동기관의 요구사항을 반영하여 시스템 개발 완료
- 연차별 전문가 자문을 통해 시스템 사용자 편의성 및 사용성을 고려하여 시스템 개발 완료

나. 도시열환경 시뮬레이션 및 도시계획/설계 의사결정지원 연동모듈

1) 의사결정 지원을 위한 허용가능개발용량 알고리즘 개발 및 기능 구현

가) 허용가능개발용량 알고리즘 유형화

❑ 허용가능개발용량 알고리즘 유형화 필요성

- 도시공간 내 벌어지는 다양한 개발 패턴을 고려한 허용가능개발용량 자동 산정 기능 필요
  - 필지의 모양과 크기, 기타 요소에 따라 다양한 형태의 개발 패턴 발생
  - 단 시스템의 목적 및 성능(서울시 1시간 분석) 목표 달성을 위해 최적화된 유형분류 필요

❑ 허용가능개발용량 알고리즘 유형 분류

- 필지단위 허용가능개발용량 알고리즘
  - 단일 필지 내 단일 건물이 건설되는 형태로 부정형 필지(예:플래그형 필지)에 대한 고려를 위한 정형화 로직(건축물 바닥형태의 직사각형화)를 고려한 알고리즘 개발

- 단지단위 허용가능개발용량 알고리즘
  - 대규모 필지 대상 허용가능개발용량을 분석하는 알고리즘으로 대규모 단지에 적합한 공동주택의 입지를 전제로한 알고리즘 개발

- 포디움 허용가능개발용량 알고리즘
  - 포디움 형태의 건축물이 올라갈수 있는 단일 필지 중 업뮤용도의 필지에 적용되는 알고리즘

- 소규모 정비사업 허용가능개발용량 알고리즘
  - 소규모정비사업이 가능한 필지를 대상으로 한 알고리즘으로 필지간 합필 기능 및 현행 건축물 정보를 고려한 후 필지단위 허용가능개발용량 알고리즘 적용

나) 필지단위 허용가능개발용량 알고리즘 기본방안 검토

❑ 건축바닥형태 정형화 로직 검토

- 정형화 로직 필요성
  - 실제 지적현황에서는 직사각형의 정형화된 필지도 있지만 오각형 필지, 삼각형 필지, 플래그형 필지 등 다양한 필지 형태가 존재함



▌그림 2-179▐ 도시공간 내 필지 모양 예

- 이러한 다양한 필지에서 건축물이 입지할 경우 최대한의 건폐율을 확보하기 위해서 필지 형태와 유사한 형태로 건축물이 건축되는 경우도 있지만, 건폐율 확보가 가능할 경우 정형화(직사각형)된 건축바닥의 형태를 띄는 것이 공간 활용 측면에서 있어 현실에 가까운 형태임
- 따라서 실제 건축 현황을 고려하여 부정형 필지에 정형 건축물을 자동으로 그릴 수 있는 로직이 필요함

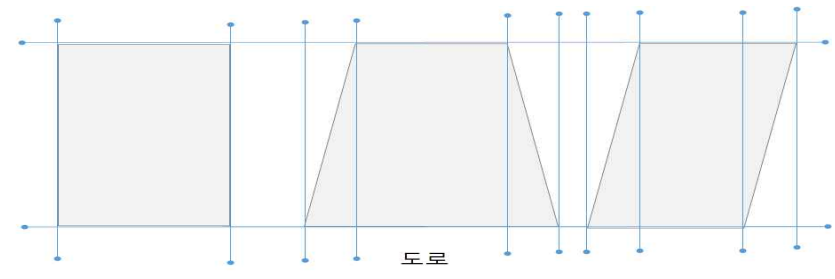
• 정형화 로직 프로세스

- 필지 선택 : 필지 및 인접 도로를 검색함



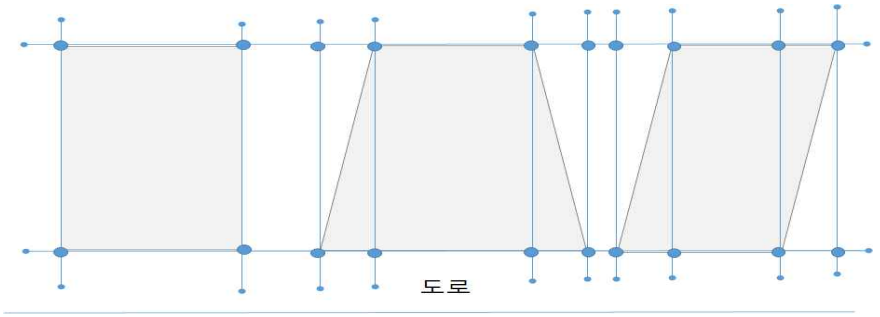
▌그림 2-180▐ 정형화로직 – 도로 검색

- 폴리라인 생성 : 폴리곤의 모서리마다 도로와 수직/수평하는 폴리라인 생성



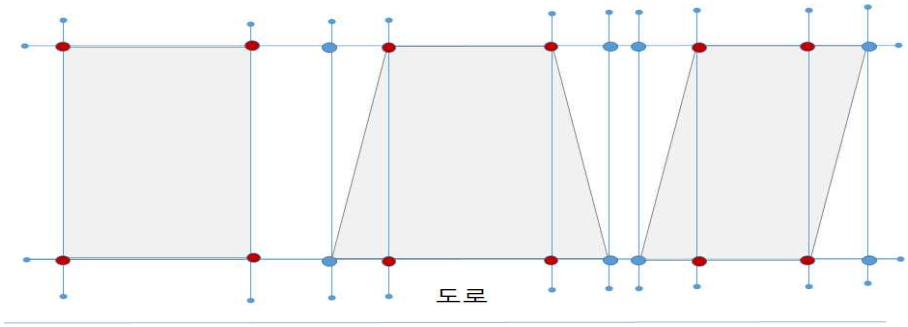
▌그림 2-181▐ 정형화로직 – 폴리라인 생성

- 크로스포인트 생성 : 수직/수평 폴리라인간 교차하는 점(크로스포인트) 생성



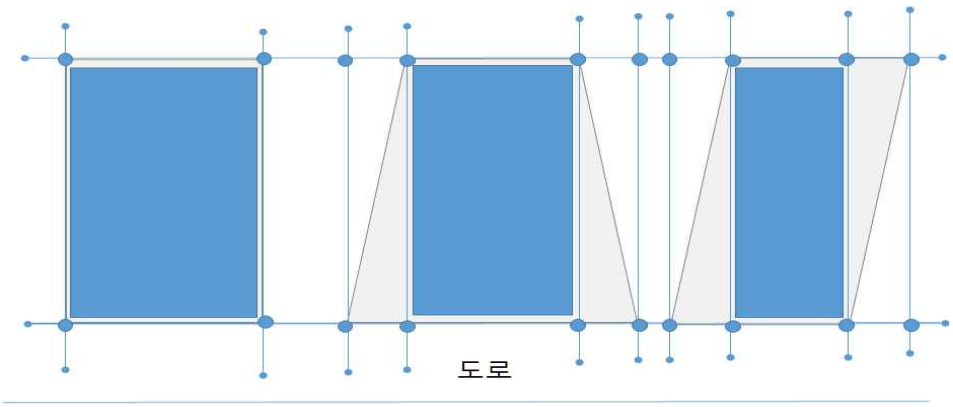
▌그림 2-182▐ 정형화로직 – 크로스포인트 생성

- 폴리곤 내부 크로스포인트 선택 :크로스포인트 중 폴리곤 내부에 있는 크로스포인트를 4개 선택



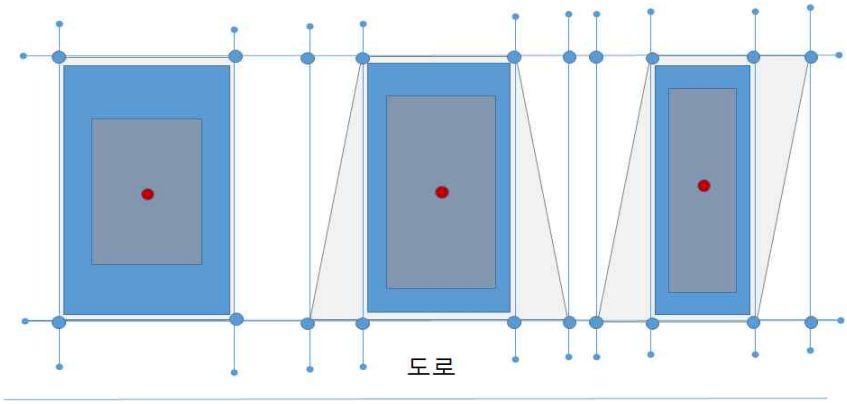
▌그림 2-183▐ 정형화로직 – 크로스포인트 선택

- 최대 직사각형 폴리곤 선택 및 확정 : 크로스포인트 4개로 생성 가능한 직사각형 폴리곤 중 최대 면적을 가진 폴리곤을 선택



▌그림 2-184▐ 정형화로직 – 최대 직사각형 선택

- 최대 건폐율 확보: 선택된 정형화된 폴리곤의 면적을 필지의 용도지역지구에 따른 최대 바닥면적(건폐율)과 비교하여 최종 허용가능개발평면을 도출함

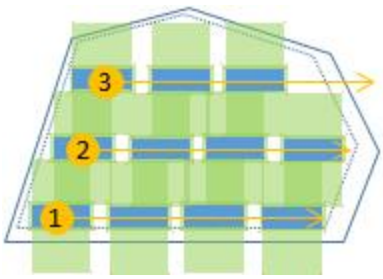


▌그림 2-185▐ 정형화로직 -건폐율 적용

다) 단지단위 허용가능개발용량 알고리즘 기본방안 검토

❑ 단지단위 알고리즘 검토

- 2단계 연구에서 도출된 필지단위(단독주택)의 허용가능개발용량 알고리즘을 단지단위의 공동주택에 적용하는 알고리즘
- 주관기관 요구사항 요약



▌그림 2-186▐
요구 알고리즘 프로세스

STEP1 :건축가능공간 설정은 필지단위의 건축가능공간과 동일

STEP2 :이후 대상지 규모에 따라 유형화된 단지 패턴(건물 모양, 층수 등)을 원단위로 건축물 하나씩 순차적으로 입지

STEP3 :공동주택 모듈 입지할 때마다 용적률 및 건폐율을 시뮬레이션하고 법적 용적률 및 법적 건폐율 확보 시 시뮬레이션 중단

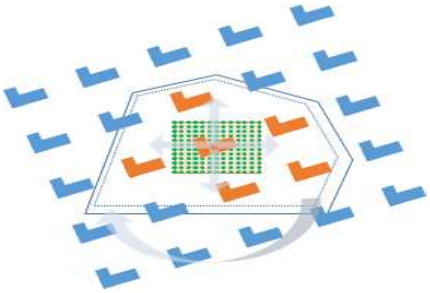
▌표 2- 88▐ 단지 면적에 따른 원단위

그룹	최소면적 (㎡)	최대면적 (㎡)	층수	건폐율 (%)	용적율 (%)	주동형태	주동넓이 (㎡)
그룹 1	0	15,000	17	29.6	247.3	탑상형	565.48
그룹 2	15,000	30,000	22	22.6	255.1	탑상형	
그룹 3	30,000	45,000	25	21.1	258.1	변형판상	837.26
그룹 4	45,000	60,000	26	20.7	249.8	변형판상	
그룹 5	60,000	~	27	21.2	262.1	변형판상	

- 주관기관 요구 기능 구현시 문제점

- 시뮬레이션 시 공동주택 모듈 1개 입지시마다 인동간격, 용적률, 건폐율 계산이 지속적으로 이루어져 시뮬레이션 시간이 비약적으로 증가함

• 개선 방안



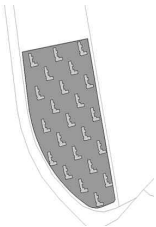
STEP1 :건축가능공간 설정은 필지단위의 건축가능공간과 동일
STEP2 :대상지를 초과하는 유닛패턴을 생성하고 이를 이동 및 회전하는 다양한(안) 도출
STEP3 :대상지 안에 위치한 공동주택 최대동수를 확보하는 배치를 선정

❙그림 2-187❙
개선 알고리즘 프로세스

❑ 개선알고리즘을 활용한 최적 배치(이동/회전) 기준 검토

• 개선된 알고리즘의 최적 이동(X축, Y축) 및 회전(각도) 기준을 찾기 위하여 송파구 및 마포구 도시개발사업지역(30개 지역)을 대상으로 시뮬레이션을 추진함
• 대상지별 시뮬레이션 시간이 30초이하, 30초이상~60초 미만, 60초이상 구간을 도출함

❙표 2-89❙ 대상지별 시뮬레이션 결과 예시

대상지 위치	배치 결과	주소
		서울특별시 송파구 잠실동 101-2

각도	이동거리				
	1	2	3	5	10
1	384.392	101.775	53.709	17.169	4.857
2	201.109	60.63	28.248	8.809	2.527
3	133.285	40.701	16.554	5.988	1.82
4	125.502	30.741	12.447	4.429	1.213
5	103.134	25.37	10.137	3.952	1.046
6	87.077	18.283	8.747	3.089	0.885
7	71.399	15.265	7.319	2.62	0.723
8	65.972	13.526	6.627	2.428	0.672
9	60.053	12.505	5.938	2.138	0.621
10	53.572	11.287	5.544	2.06	0.553
11	49.535	10.316	4.842	1.756	0.496
12	43.229	9.409	4.505	1.669	0.452

대상지 위치	배치 결과	주소
		서울특별시 송파구 송파동 166

각도	이동거리				
	1	2	3	5	10
1	211.228	42.542	28.435	7.468	2.12
2	107.521	32.776	10.45	4.016	1.343
3	89.772	21.969	7.348	2.715	0.792
4	66.181	11.492	5.275	2.002	0.638
5	54.757	9.483	4.55	1.712	0.51
6	46.273	9.062	3.642	1.452	0.431
7	38.741	6.598	3.146	1.179	0.367
8	35.123	5.952	3.17	1.128	0.338
9	33.216	5.62	2.98	0.959	0.32
10	29.662	5.167	2.473	0.96	0.33
11	21.549	4.534	2.243	0.979	0.236
12	19.266	4.07	1.971	0.844	0.279

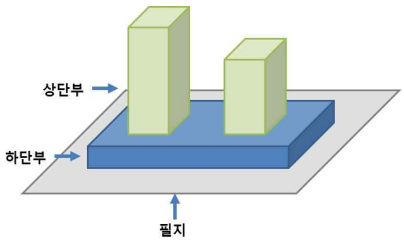
- 시뮬레이션 결과를 종합한 결과 “X 1m, Y 1m, 각도 1도”로 시뮬레이션 시 평균 184초(3분 소요)이 소요되며, 법적 용적율을 99% 이상 만족하면서 시뮬레이션 평균 시간 12.8초 소요되는 기준으로“X 3m, Y 3m, 각도 2도”를 도출함
- 단지단위 허용가능개발용량 시뮬레이션시 해당값을 기본값으로 제공하여 시스템 성능(시뮬레이션 시간 및 사용 PC 부하 저감)을 개선함

라) 포디움 허용가능개발용량 알고리즘 기본방안 검토

❑ 포디움 알고리즘 검토

- 도시의 다양한 건축물을 구현하여 열환경시뮬레이션을 하기위해 포디움 형태의 건축물을 구현하는 알고리즘을 개발
  - 포디움은 건축물 아래 기단형식으로 수평형 건물 위에 타워형 건물이 수직으로 올라가는 건축물로 주상복합 건물 등에 많이 활용되는 건축 형태임

- 알고리즘 순서
  - 필지탐색, 포디움 하단부생성, 포디움 상단부생성의 단계로 알고리즘 진행



STEP1 : 상업용도의 토지를 탐색하거나 소규모 필지를 합필하여 상업용도의 토지를 생성

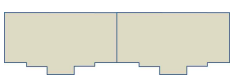
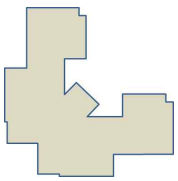
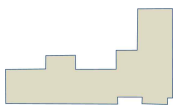
STEP2 : 해당토지에서 정형화 알고리즘을 통해 포디움 하단부의 형태를 생성하고 3D로 건축물 생성

STEP3 : 상단부의 형태를 정의하고 법적규제에 맞게 상단부 생성

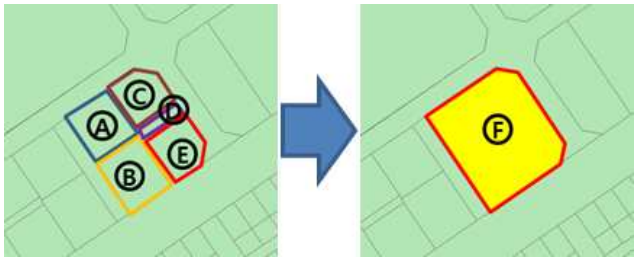
▌그림 2-188 ▌ 포디움 건축물

- (STEP1) 필지탐색
  - 포디움 건축물의 경우 상업용도의 토지에서만 생성되도록 함
  - 포디움 건축물의 경우 상단부에 건축물이 올라가야 되기 때문에 일정 면적 이상의 필지가 필요함
  - 최소면적 기준은 상단부에 올라가는 기본형태 구조물의 바닥면적 이상으로 정의함

▌표 2-90 ▌ 상단부 기본형태 및 면적

상단부 형태	면적(㎡)	상단부 형태	면적(㎡)	상단부 형태	면적(㎡)
 판상형	660	 탑상형	640	 변형판상형	770

- 상단부 기본형태의 면적보다 필지가 적을 경우 주변필지를 합필하여 상업용도의 필지를 새로 생성할 수 있는 옵션을 추가함



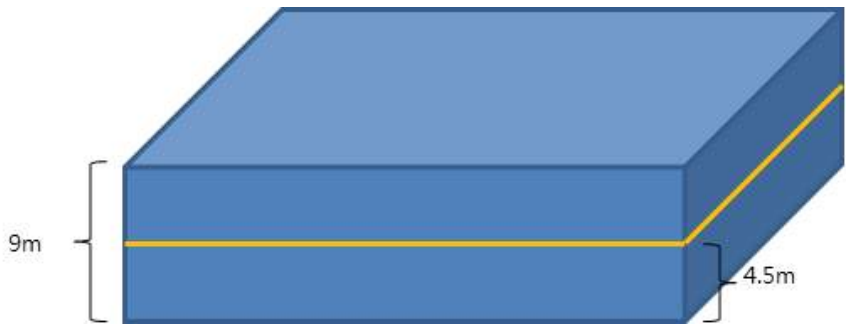
▌그림 2-189 ▐ 소규모토지 합필

• (STEP2) 포디움 하단부 생성

- 기존의 단독필지단위의 건축물생성 알고리즘을 활용하여 구현
- 건축선, 인접대지경계선, 일조권사선제한을 고려하여 해당 필지에서 건축물 생성이 가능한 영역을 탐색
- 이후 정형화과정을 통해 건폐율을 넘지 않는 바닥형태를 생성함
- 바닥형태를 결정한 후에 사전조사결과 포디움 건축물의 하단부의 평균층수가 2.3층으로 조사되어 시뮬레이션 상에서 포디움 하단부의 기본 층수를 2개층으로 설정
- 포디움 하단부의 경우 기본적으로 상업시설이 입점하고 1개층의 층고가 높기 때문에 포디움 하단부의 경우 1개층의 기본 높이를 4.5m로 설정

▌표 2-91 ▐ 포디움형 건축물 사전조사결과

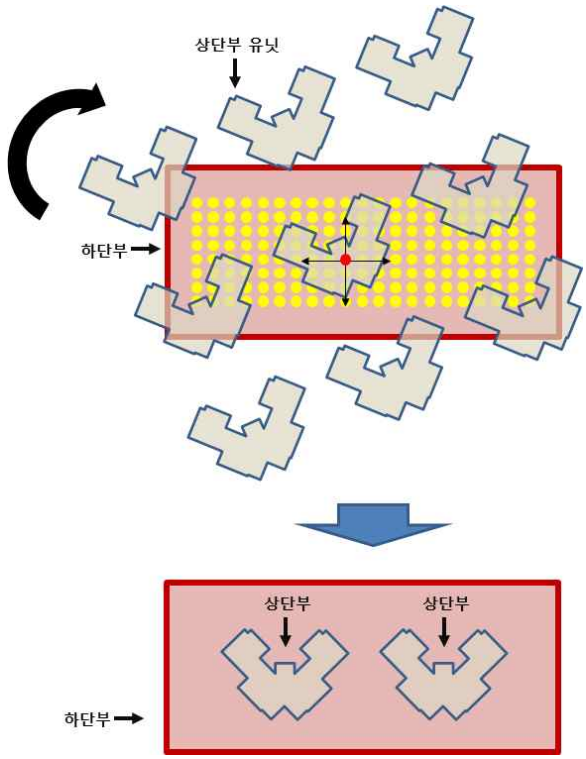
구분	대지면적(㎡)	용적률(%)	건폐율(%)	지상층수(층)	포디움층수(층)	동수(개)
Ave	12133.2	658.0	51.3	31.4	2.3 (평균)	3.1
S.D.	6431.1	197.4	4.2	8.1		1.4
Min	5000.3	454.6	44.8	20.0		2.0
Max	28718.8	991.3	60.0	43.0		6.0



▌그림 2-190 ▐ 포디움 하단부

• (STEP3) 포디움 상단부 생성

- 기존의 단독필지단위의 건축물생성 알고리즘을 활용하여 구현
- 포디움 하단부를 필지처럼 생각하여 그 위에 새로운 건축물을 생성
- 기존 공동주택단지 생성 알고리즘처럼 기본형태를 판상형, 탑상형, 변형판상형으로 정의하여 포디움 상단부 생성
- 포디움 하단부 넓이를 초과하는 건축군 유닛을 생성한뒤 유닛을 이동 및 회전하여 포디움 하단부 안에 위치한 상단부 최대개수를 확보하는 배치를 선정
- 배치가 결정되면 용적률을 초과하지 않는 선에서 층수를 산정
- 상단부의 경우 기존과 아파트단지와 마찬가지로 1개층의 높이를 3m로 설정함



▌그림 2-191▐ 포디움 알고리즘 상단부 생성과정

마) 소규모정비사업 허용가능개발용량 알고리즘 기본방안 검토

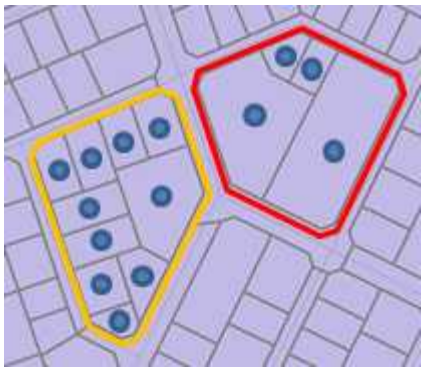
❑ 소규모정비사업 알고리즘 검토

• 최근 빈집 및 소규모주택 정비에 관한 특별법(이하 소규모 정비법)에 의거하여 자율주택정비사업, 가로주택정비사업, 소규모 재건축사업이 지속적으로 이루어지고 있음

• 이에 단독주택, 다세대주택, 연립주택, 도시 및 주거환경정비법 제2조 제7호의 주택단지를 대상으로 정비기반시설이 양호한 지역에서 공동주택을 재건축하는 지역에 적용하는 알고리즘이 필요함

• 알고리즘 순서

- 필지탐색 및 합필, 단독필지 건축물 생성의 단계로 알고리즘 진행



STEP1 : 정비구역 구분하기 위한 필지 탐색 및 합필

STEP2 : 단독필지 건축물 생성 알고리즘 적용

▌그림 2-192▌ 소규모정비사업 필지탐색 및 합필

• (STEP1) 필지탐색 및 합필

- 정비사업의 경우 법적 기준에 의해 실시되고 있음(규모,노후불량주택수)
- 대부분의 정비사업에서 기준이 되는 세대수의 경우 현재 공간정보데이터에서 존재하지 않아 필지기반으로 규모를 산정하는 것이 필요함
- 이에 호수는 하나의 독립된 주택수(각기 구분된 지번)이므로 단독주택 10호는 10개 필지를 의미한다고 판단함
- 따라서 규모 결정시에는 10개의 필지를 기준으로 함
- 정비사업에서 노후불량주택의 기준에 관해서는 법에서 전체 건축물의 3분의 2 이상이라고 정의하고 있음
- 노후불량주택의 기준에 대해서는 법적으로 20~30년이하의 범위로 정의하고 있음
- 이에 노후불량주택은 준공 후 25년 이상의 주택으로 정의하여 알고리즘에 적용

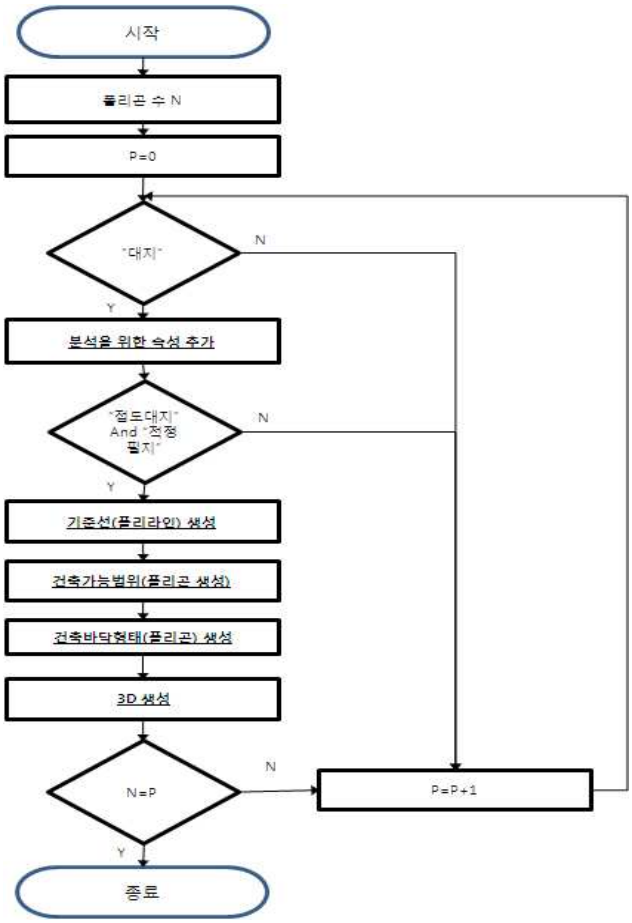
• (STEP2) 정비사업 건축물 생성

- 합필 후 새로 생성된 토지에 건축물을 생성
- 생성 시 중정형, 개별동구분 등의 형태로 시뮬레이션을 하는 경우 고려사항이 많아 시뮬레이션 시간이 증가 될 수 있음
- 면적기준이 1만 제곱미터 미만이므로 개별건축물과 같은 알고리즘을 사용하여 하나의 Volume으로 시뮬레이션을 진행
- 따라서 기존에 사용하였던 단독필지 생성알고리즘을 적용하여 시뮬레이션을 진행

바) 의사결정 지원 모듈(최대개발밀도 시뮬레이션 기능) 설계

❑ 허용가능개발용량 자동화 프로세스

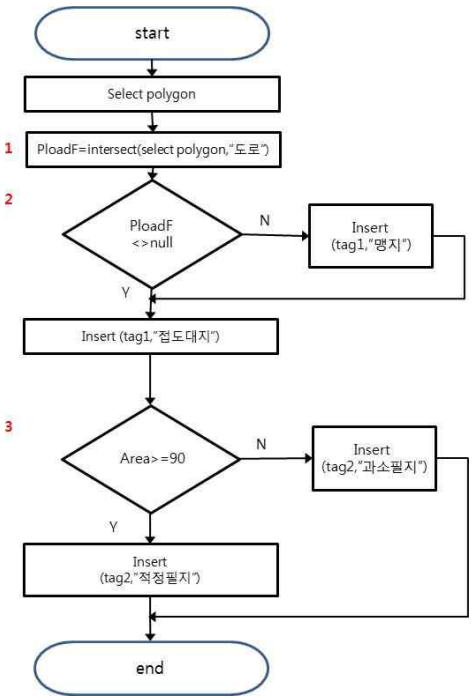
- 허용개발용량 자동화 알고리즘(선행연구)을 기반으로 시스템 구현을 위한 프로세스로 변경하여 구현함
- 보고서에서 기술하는 알고리즘은 필지단위 허용가능개발용량 알고리즘으로 각 유형별 알고리즘은 필지단위 허용가능개발용량 알고리즘을 기본으로 성격에 맞게 일부 수정/보완하여 구현함



▌그림 2-193▌ 허용가능개발용량 전체 시스템 플로우

- 분석을 위한 속성추가는 접도대지와 맹지, 적정필지와 과소필지를 구분하여 허용가능개발용량 자동화 대상 여부를 판단하는 절차임
- 기준선 생성은 건축바닥형태 정형화 시 건축 방향을 정하기 위한 절차임
- 건축가능범위는 건축가능평면을 찾는 절차임
- 건축바닥형태는 최종적인 허용가능개발평면을 확정하는 절차임
- 3D 생성은 허용가능개발공간을 확정하는 절차임

• 1단계 : 분석을 위한 속성 추가



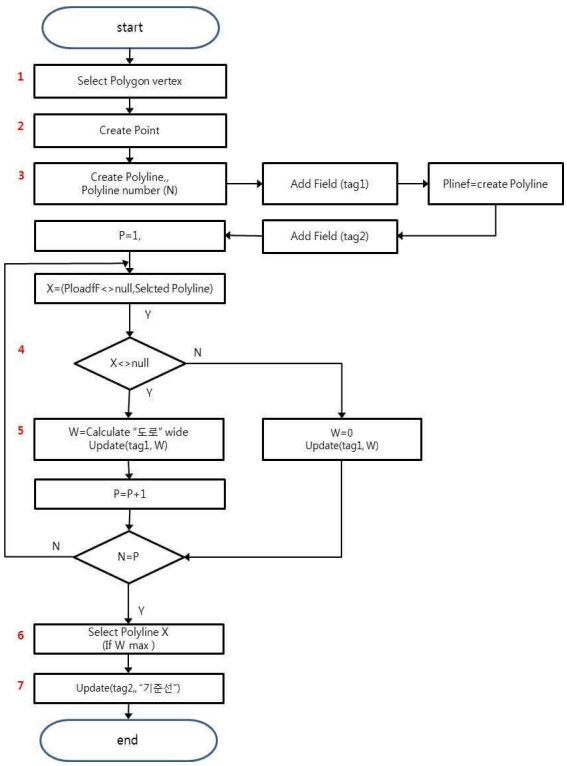
▌그림 2-194▐ 속성 추가 프로세스

1) 필지와 접한 도로 shape 검색

2) 맹지인 대지를 찾기 위한 프로세스접도대지 : 도로에 접한 대지
맹지 : 도로에 접하지 않은 대지P" "F : 전역변수

3) 과소필지인 대지를 찾기 위한 프로세스Area : 폴리곤 면적

• 2단계 : 기준선 생성



▌그림 2-195▐ 기준선 생성 프로세스

1) 폴리곤N의 모든 변곡점 선택

2) 선택된 변곡점 위에 새로운 점 (1,2.....n)생성

3) 생성된 점과 그 다음점을 있는 폴리라인들 생성

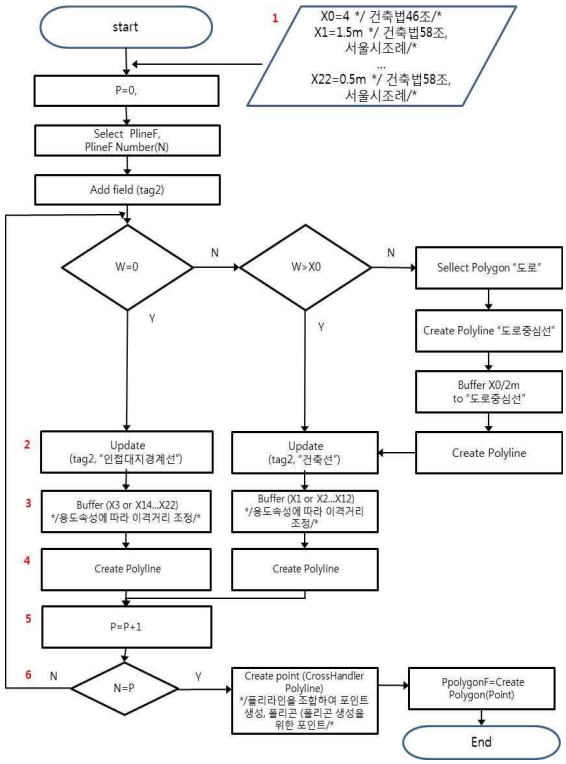
4) 도로에 접합 폴리라인인지 체크

5) 도로에 접합 폴리라인의 경우 도로폭 계산 및 해당 속성값 저장
도로와 접하지 않는 폴리라인에 속성값으로 "-" 저장
W : 인접도로폭
Q : 생성된 폴리라인 수

6) 도로폭이 최대인 폴리라인 선택

7) 선택된 선을 "기준선"으로 지정

• 3-1단계 : 건축가능범위(1) - 건축선 및 인접대지경계선



1) X 값은 법이 변경됨에 따라 변할 수 있는 변수로 별도 DB로 지정
X0 : 건축법 46조 및 2조에 의한 도로 소요 너비(현재=4m)
X1~X22 : 건축법 58조 및 서울시 건축조례 별표 4에 따른 이격거리

2) 건축선과 인접대지 경계선 생성

3) 건축선과 인접대지 경계선 기준 이격

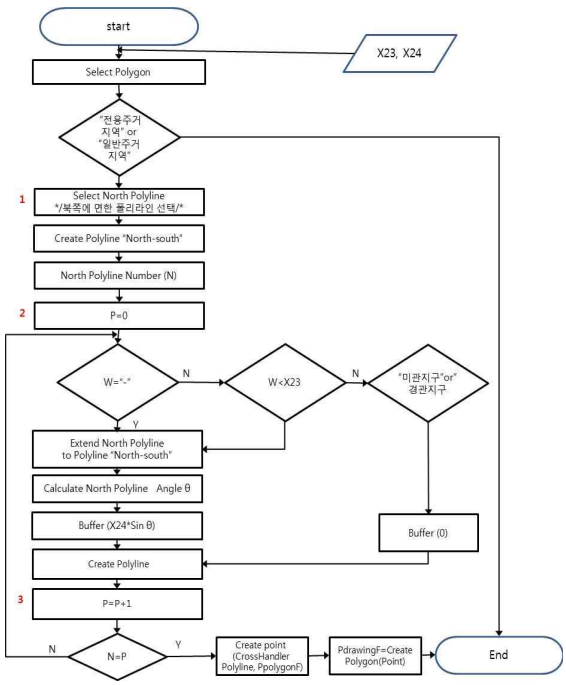
4) 건축선과 인접대지 경계선 기준 이격한 새로운 폴리라인 생성

5) 건축선과 인접대지 경계선 기준 이격한 새로운 폴리라인 생성

6) 새로 생성된 폴리라인을 바탕으로 폴리곤(건축가능범위1단계, PpolygonF, 전역변수)생성

▌그림 2-196▐ 건축가능범위(1) 프로세스

• 3-2단계 : 건축가능범위(2) - 일조권 사선제한



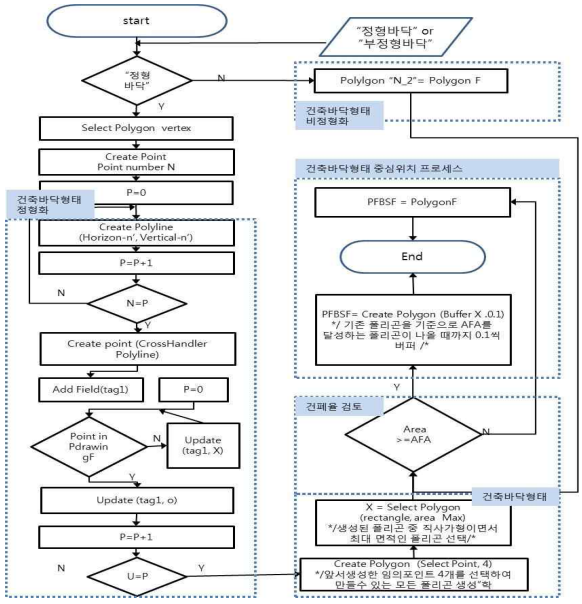
1) 일조권사선제 분석을 위한 북측에 면한 인접대지경계선 분석

2) 인접대지경계선에서 일조권사선제을 고려하여 이격한 폴리라인 생성
X23 : 건축법 시행령 86조 2항 1조 도로 너비(현재=20m)
X24 : 건축법 시행령 86조 1항 1조 이격거리(현재=1.5m)

3) 새로 생성된 폴리라인과 앞서 저장된 폴리곤(건축가능범위1단계, PpolygonF") 을 바탕으로 새로운 폴리곤(최종 건축가능범위 PdrawingF)생성

▌그림 2-197▐ 건축가능범위(2) 프로세스

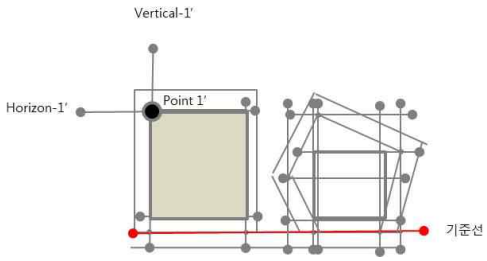
• 4단계 : 건축바닥형태 생성



▌그림 2-198▐ 건축바닥형태 생성 프로세스

AFA: 건축가능 면적(건폐율에 따른 건축가능 면적 =폴리곤 N(필지)*건폐율)

FBS : 최종 바닥 형태 (Final Buinding Shape)

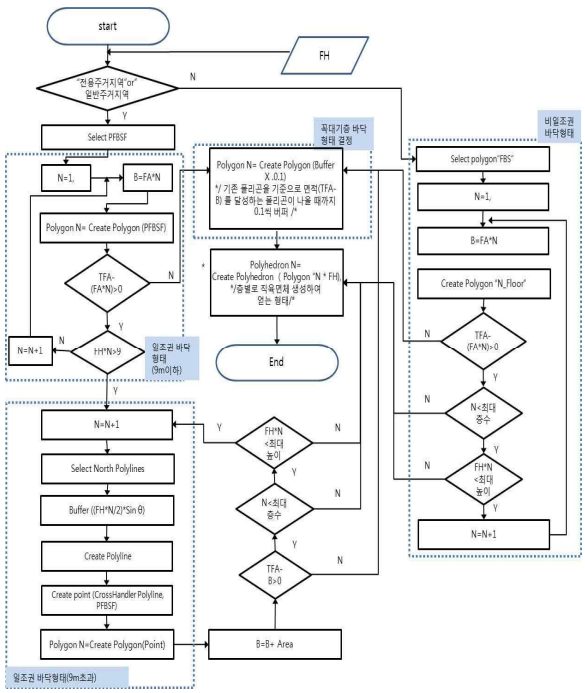


▌그림 2-199▐ 정형화 로직 예

Horizon-n': Point n'을 지나며 "기준선"에 수평하는 선

Vertical-n': Point n'을 지나며 "기준선"에 수직하는 선

• 5단계 : 3D 생성



▌그림 2-200▐ 3D 생성 프로세스

FH : 층고 (floor Heoght) (입력값)

FA : Polyfon "FBS" 바닥 면적

TFA : 최대 바닥연면적 (= 폴리곤 N(필지) *용적율)

L : 층수

TH=건물높이

Polygon N_Floor : N층 바닥형태 폴리곤

Polygon F_Floor : 최고층 바닥형태 폴리곤

2) 공간/속성정보 입출력 호환성을 고려한 시스템 개발

가) 도시공간정보 기초 DB설계

❑ 시스템 DB 설계 방향

- 도시 전체 공간구조의 변화에 따라 도시 기후에 미치는 영향을 판단하고 도시 공간 계획을 수립을 위한 의사결정 지원을 위해 도시공간 구조 모델 구축을 위한 도시공간정보 기초 DB를 설계함

❑ 도시공간정보 가시화용 기초 DB 검토

- 도시공간구조를 조성하는 건축물을 자동으로 가시화하기 위한 데이터 목록을 검토함
  - 주거, 상업, 공업, 교통, 녹지, 수역, 나지 등과 같은 토지이용과 건물의 형태 및 밀도와 같은 건물관련 항목의 변수를 바탕으로 도시공간구조가 조성됨
  - 도시 전체 공간구조 중 건축물은 건축물의 용도·건폐율·용적률·높이 등에 따라 건축물의 형태가 결정되며, 건축물의 다양한 형태를 통해 도시 전체 공간구조가 형성됨
  - 따라서, 도시 전체 공간구조를 가시화하기 위해서는 토지이용에 대한 정보와 건축물의 형태를 결정짓는 용도·건폐율·용적률·높이 등에 대한 정보를 수집하여 이를 바탕으로 도시공간정보 가시화용 모델을 구축함

▌표 2-92 ▌ 도시공간정보 가시화용 기초 DB 검토 항목

구분	변수	
토지이용	주거, 상업, 공업, 교통, 녹지, 수역, 나지	
건물관련	형태	건물 폭
		건물 층수
		건물 평균면적
	밀도	건물 수
		건물 층수
		건물 바닥면적 비율
		건물 연면적 비율

- 건축물의 형태를 산정하기 위해 관련 규정과 산정 방식을 검토함
  - 건폐율은 대지면적(건축 대상 필지면적)에 대한 건축면적(건물 외벽이나 이를 대신하는 기둥 중심선으로 둘러싸인 부분의 수평투영면적)의 비율로, 건폐율의 규제 목적은 대지 안에 최소한의 공지를 확보함으로써 건축물의 과밀을 방지하여 일조, 채광 통풍 등 위생적인 환경을 조성하는데 있으며, 용도지역에 따라 면적이 달라짐
  - 용적률은 대지 내 건축물의 건축 바닥면적을 모두 합친 면적(연면적)의 대지

면적에 대한 백분율로, 용적률이 높을수록 건물의 높이가 높다는 것으로 용도지역에 따라 크기가 달라짐
- 건축물용도는 건축물의 위치·면적·구조·용도·층수 등 건축물의 표시에 관한 사항과 건축물 소유자의 성명·주소·소유권 지분 등 소유자 현황에 관한 사항을 등록하여 관리하는 대장을 말하며, 건축물 용도에 따라 건축물의 면적과 높이가 달라짐

❑ 도시공간정보 가시화용 기초 DB 구축 방안

- 건축물의 용도·건폐율·용적률·높이 등은 연속지적도, 용도지역지구, 건축물대장을 바탕으로 그 값을 측정할 수 있음
  - 건폐율과 용적률 산정을 위한 대지면적 및 건축면적 데이터를 포함하고 있는 지적도 데이터와 건폐율 용적률을 규정하고 있는 용도지역 데이터가 필요함
  - 또한, 건축물의 용도별로 층수, 면적을 조정하기 때문에 향후 건축물 용도를 규정하고 있는 건축물대장 데이터를 활용해야 함

- 건폐율 용적률을 산정하기 위한 관련 데이터와 건축물 용도를 규정하고 있는 데이터를 정의함
  - 연속지적도는 법률로 지정된 행정구역 단위, 지적도 전산파일의 연속된 형태의 GIS데이터, 토지에 관련된 정보, 측량의 기초가 되는 지적측량기준점 정보 등 부동산에 관한 종합정보임
  - 용도지역지구는 토지의 이용 및 건축물의 용도·건폐율·용적률·높이 등을 제한함으로써 토지를 경제적·효율적으로 이용하고 공공복리의 증진을 도모하기 위해여 서로 중복되지 아니하게 도시관리계획으로 결정하는 지역임
  - 건축물대장은 건축물의 종류를 유사한 구조·이용목적 및 형태별로 묶어 분류한 것으로 건축법에서는 28개 종으로 분류하고 있음

- 데이터의 신뢰성 향상을 위해 데이터 생성 시간, 좌표 체계 등을 반드시 고려해야 함
  - 데이터의 신뢰성 향상을 위해 데이터 생성 기간이 동일한 데이터를 활용하였으며, 공간 데이터 분석의 향상을 위해 공간정보의 좌표체계를 통일시킴

나) 도시공간정보 기초 DB 구성 레이어 정의 및 확보방안 수립

❑ 도시공간정보 기초 DB 구성 레이어 정의

- 도시공간정보 기초 DB 구성 레이어는 필지, 도로 레이어로 구분할 수 있음
  - 필지 레이어에는 PNU, JIBUN, BCHK, STD_SGGCD, OBJECTID, 면적, 지목, 법정 용적율, 법정 건폐율, 현재 건물 층수, 현재 건물 면적, 현재 건축물 이용목적, 좌표값 등의 데이터가 포함되어 있음
  - 도로 레이어는 현재 도로의 좌표값을 가지고 있음

❑ 도시공간정보 기초 DB 구성 레이어 확보 방안

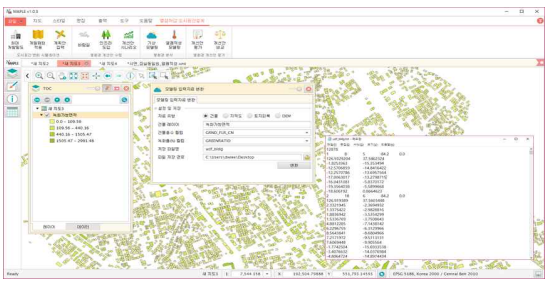
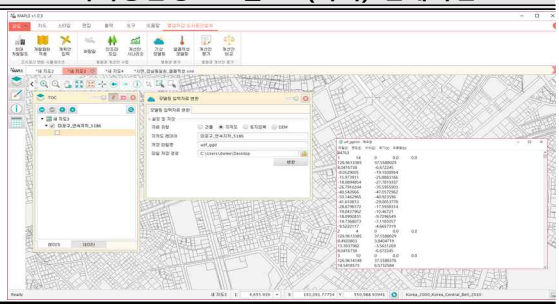
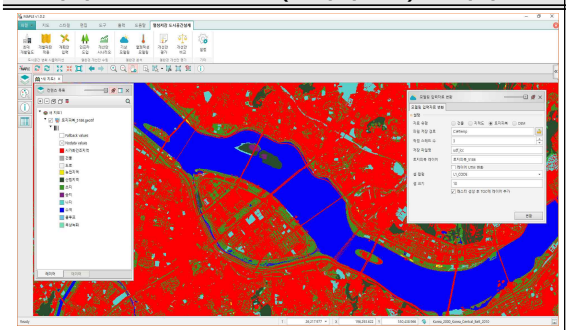
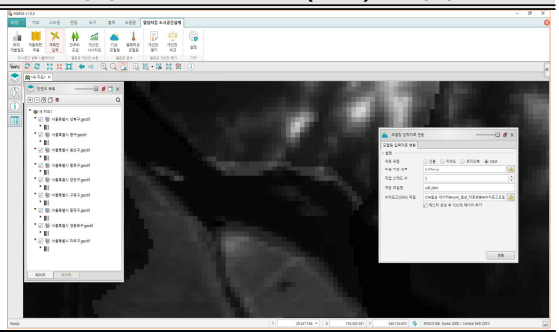
- 필지별 용도지역 지구 데이터를 바탕으로 용적률, 건폐율을 산정하기 위해 연속지적도 데이터와 용도지역지구 데이터를 Join함
  - PNU코드를 바탕으로 연속지적도와 용도지역지구 데이터를 Join 시켜 도시공간정보기초 DB 구성 레이어로 구축함
  - PNU코드는 행정표준코드 관리 시스템에 등록된 코드로 시도(2)+시군구(3)+읍면동(3)+리(2)+필지구분(1)+본번(4)+부번(4)로 구성되어 있음
  - PNU코드를 기준으로 분석의 간편화를 위해 연속지적도와 용도지역구간의 속성값을 Join 시켜 하나의 데이터로 구축함

다) 타 지자체의 시스템 활용성을 고려하여 국가공간정보포탈 연계방안

❑ 국가공간정보포털의 공간 DB를 활용한 공간/속성 정보의 입출력 호환성 확보

- 2단계 단계평가 시 타 지자체의 해당 시스템 활용성을 높이는 방안으로 지자체에서 개별 구축한 공간정보를 활용한 시스템 사용방안 검토 요구 발생
- 이에 따라 현재 테스트 대상지인 서울시 이외의 지자체에서 해당 시스템 사용을 위한 DB 입출력호환성 이슈가 발생함
- 이에 대한 해결방안으로 국가단위의 표준 공간정보를 구축/관리하는 국가공간정보포털의 DB를 활용하는 방안이 논의됨
- 열환경에 영향을 미치는 건축물 및 토지, DEM, 지적정보에 대하여 국가공간정보포털에서 제공하는 DB를 활용할 수 있도록 시스템 기능(좌표계 등) 개선 추진

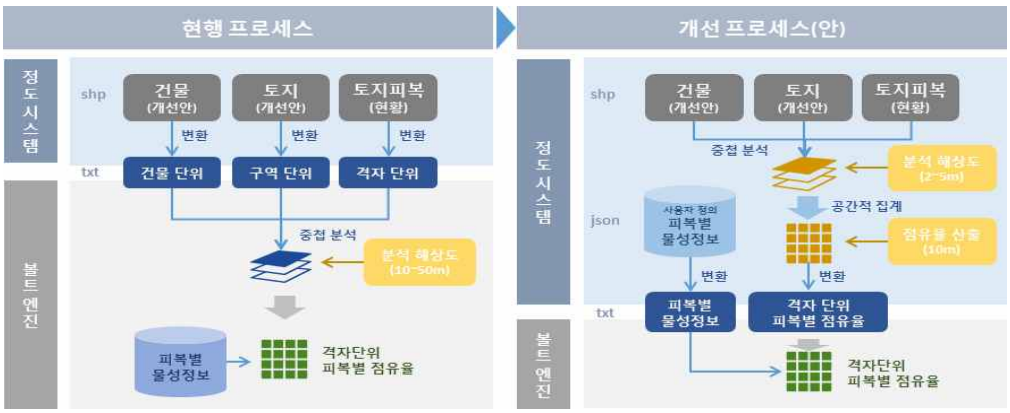
▌표 2-93 ▐ 시스템 내 국가공간정보포털 연계(호환) 예시

국가공간정보포털 DB(건축물) 연계화면	국가공간정보포털 DB(지적) 연계화면
	
국가공간정보포털 DB(토지피복도) 연계화면	**국가공간정보포털 DB(DEM) 연계화면**
	

라) 시스템 성능향상을 위한 DB 전처리 프로세스 개발

❑ 분석 프로세스의 효율적 운영을 위한 전처리 프로세스 도입

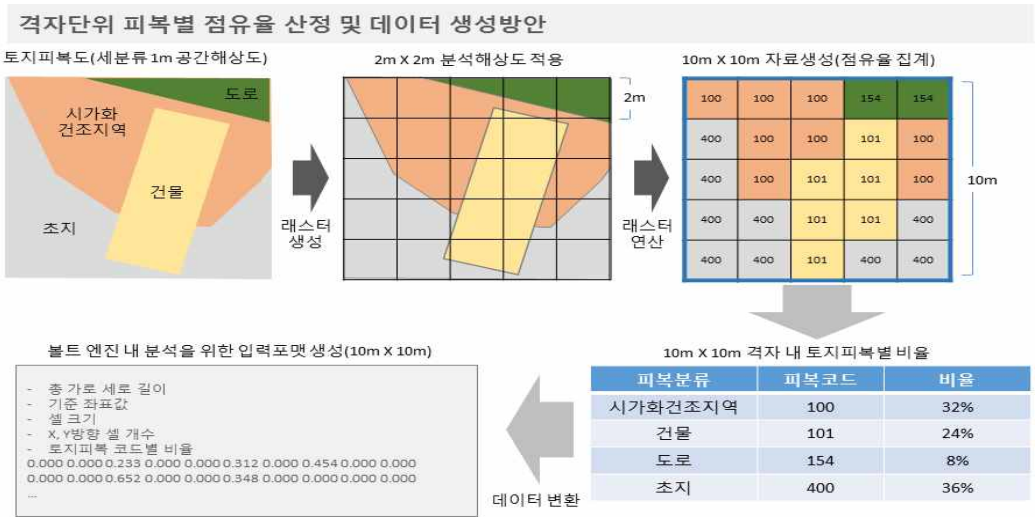
- 열환경 분석 시뮬레이션 엔진과 GIS기반 데이터 운용 및 시각화 프로그램의 특장점을 살려 데이터 전처리 프로세스 기능 개선
- 데이터 전처리 프로세스는 GIS기반 프로그램을 통해 성능이 최적화된 공간적 연산 기능으로 구현하여 전체 분석 공정의 소요시간을 단축



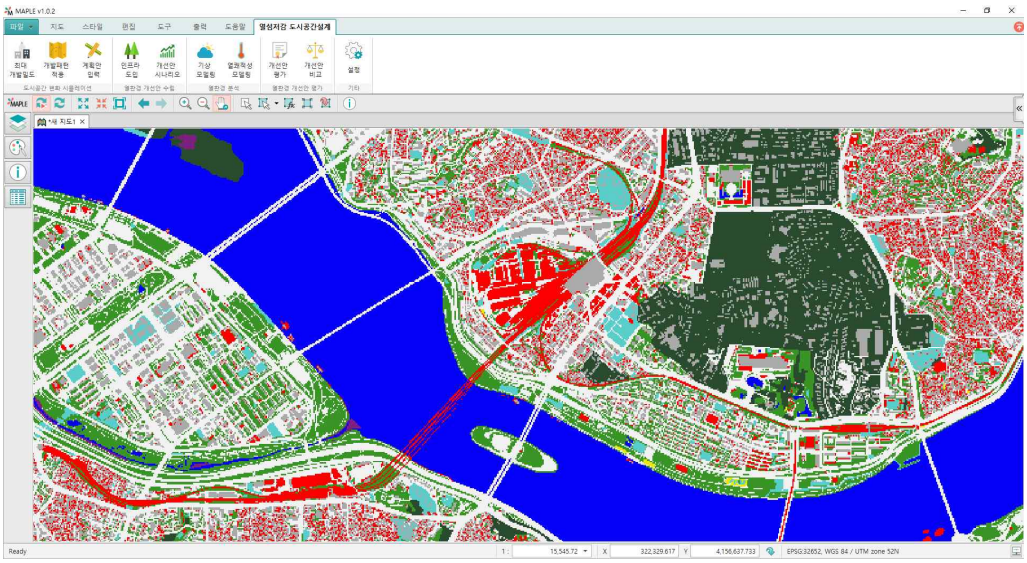
❙그림 2-201❙ 전처리 프로세스 개선방안

❑ 토지피복 전처리 모형의 개선을 통해 분석 해상도 상향 조정

- 기존 프로세스는 토지피복과 건물 옥상피복을 분리하여 열환경 분석 시뮬레이션 엔진이 처리하였으나, 엔진의 연산 과부하 및 처리속도 개선을 위해 전처리 프로세스 상에서 통합하여 처리하도록 개선
- 토지피복의 공간적 연산은 기존 벡터 기반 데이터 모형에서 래스터 기반 데이터 모형 기반으로 처리하도록 구동 모형을 개선



❙그림 2-202❙ 피복정보 통합 전처리 프로세스 모형



▌그림 2-203▐ 통합 전처리 프로세스 결과(토지 + 건물)

3) 시스템 성능을 고려한 연동모듈 개발 및 실증

❑ 연차별 모듈의 성능 목표 및 성능평가 결과

▌표 2-94▐ 연차별 성능 목표 및 성능평가 결과

구분	4차년도		5차년		6차년도	
	초당처리속도	자원사용률	초당처리속도	자원사용률	초당처리속도	자원사용률
목표	75TPS 이상	CPU 70%/ MEM 70% 이하	120TPS 이상	CPU 60%/ MEM 65% 이하	200TPS 이상	CPU 60%/ MEM 65% 이하
평가결과	584TPS	CPU 66%/ MEM 63%	586TPS	CPU 56%/ MEM 63%	576TPS	CPU 41%/ MEM 58%

- 연차별 목표한 성능 달성 완료
- 기후변화 적응형 도시 열환경 설계시스템 기술 개발 과제의 전략 목표인 서울시 대상 고해상도(공간해상도 10mx10m, 시간해상도1시간) 분석을 고려하여 모듈의 성능 달성

- **열섬저감 도시공간 설계시스템을 활용한 도시설계 시 비교군이 되는 최대 개발밀도의 도시공간 및 건축공간을 자동화하여 열섬저감 도시설계시 효과(온도 저감)을 직관적으로 판단할 수 있는 기능 제공**
- **대상지 모양 및 속성정보 기반으로 다양한 유형의 건축공간에 대하여 시스템의 성능목표를 고려한 합리적인 허용가능개발 용량 산정 알고리즘 구현**
- **국가공간정보포털의 DB를 활용함으로써 시스템의 타 지자체 적용 및 활용 가능성 검증**
- **통합 전처리 프로세스를 통해 시스템 성능 향상에 기여**

제3절 연구개발 양적 성과

1. (1세부) 도시열발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링 기술개발

가. 국내외 논문 게재

No	논문명	학술지명	주저자명	권(호)	국명	발행기관	SCI구분(SCI/비SCI)	게재일	등록번호
1	서울시 행정동별 가구의 에너지 소비량에 영향을 미치는 용인의 통합적 분석	국토계획	정재원	50(8)	대한민국	대한국토.도시계획학회	비SCI	2015.12.	
2	도시구성요소가 도시열과 에너지소비에 미치는 직·간접적인 영향관계 규명 연구	서울도시연구	김기중	17(1)	대한민국	서울연구원	비SCI	2016.03.	
3	출발-목적지와 토지이용 패턴의 상관성에 의한 서울시의 행정동별 교통에너지 소비 분석	서울도시연구	정재원	17(2)	대한민구	서울연구원	비SCI	2016.06.	
4	지표면 도시열섬강도의 시공간적 분포와 영향을 주는 변수 분석 – 국내 30개 도시를 대상으로	대한국토.도시계획학회지	박채연	51(1)	대한민국	대한국토.도시계획학회	비SCI	2016. 02.29	1226-7147
5	도시 열환경 평가를 위한 기온관측망 영향범위 분석	한국생태환경건축학회지	김효민	16(6)	대한민국	한국생태환경건축학회	비SCI	2016. 12.20.	2288-9698
6	도시열환경개선을 위한 대구 클린로드 시스템의 확대 운영방안에 관한 연구	한국환경과학회지	정응호	25(11)	대한민국	한국환경과학회	비SCI	2016.11	1225-4517
7	미시적 규모에서 수목의 열섬저감 효과	한국인간식물환경학회지	박채연	19(4)	대한민국	한국인간식물환경학회	비SCI	2016. 08.25	1226-9778

No	논문명	학술지명	주저자명	권(호)	국명	발행기관	SCI구분(SCI/비SCI)	게재일	등록번호
8	서울시 주거지역의 건축물 면적비율에 따른 여름철 주간 지표면온도 영향 분석	대한국토도시계획학회지	안새결	52(2)	대한민국	대한국토도시계획학회	비SCI	2017. 03.20	1226-7147
9	도시열섬현상완화를 위한 그린인프라 전략	한국환경복원기술학회지	박채연	20(5)	대한민국	한국환경복원기술학회	비SCI	2017.10.30	1229-3032
10	도시 열환경 개선을 위한 공간지형적 특성에 따른 바람길 유동 비교 분석	한국지리정보학회지	서보용	20(2)	대한민국	한국지리정보학회	비SCI	2017.06	
11	The Influence of Small Green Space Type and Structure at the Street Level on Urban Heat Island Mitigation	Urban Forestry & Urban Greening	박종훈	21	국외	Urban Forestry & Urban Greening	SCI	2017. 01	1618-8667
12	The impact of weather on tourist satisfaction and revisit intention	Asia Pacific Journal of Tourism Research	Songyi Kim	22(9)	국외	Asia Pacific Journal of Tourism Research	SCI	2017. 07.27	1094-1665
13	통행목적지로서 서울 행정동의 특성이 고령인구 연령대별 비통근 통행에 미치는 영향 분석	한국지역개발학회지	고승욱	29(1)	대한민국	한국지역개발학회지	비SCI	2017.03	
14	도시열섬 지역에 대한 정의 및 구분 방법론에 관한 비교연구	지역연구	김기중	33(2)	대한민국	한국지역학회	비SCI	2017.06	
15	지리가중회귀모형을 이용한 서울시 음식점업 집적에 영향을 미치는 요인 분석	한국지역개발학회지	유경훈	29(2)	대한민국	한국지역개발 학회지	비SCI	2017.06	

No	논문명	학술지명	주저자명	권(호)	국명	발행기관	SCI구분 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
16	Relationship between transit modal split and intra-city trip ratio by car for compact city planning of municipalities in the Seoul Metropolitan Area	Cities	Seungil Lee	70	UK	ELSEVIER	SCI	2017.06	
17	소득격차를 고려한 조건에서 건물과 도시계획 요소가 건물에너지 소비에 미치는 영향요인 분석 : 서울시 8월 전기사용량을 중심으로	국토계획	김기중	52(5)	대한민국	대한국토·도시계획학회지	비SCI	2017.10	
18	도시공원의 규모와 형태별 주변지역의 지표온도·건물에너지소비저감 영향범위 분석 연구	한국지역개발학회지	김기중	30(2)	대한민국	한국지역개발학회지	비SCI	2018.06	
19	Urban Green Space Layouts and Urban Heat Island : Case Study – Analysis of Apartment Complexes in South Korea	Urban Planning and Development	Soo Young Moon	144(2)	미국	Urban Planning and Development	SCI	2018.06	
20	A multilayer mean radiant temperature model for pedestrians in a street canyon with trees	Building and Environment	박채연	141	영국	Elsevier	SCI	2018.05.27	2288-9698
21	열수지를 활용한 서울시 열환경 개선을 위한 공간 유형구분	대한국토계획학회지	권유진	제53권 7호, 통권 239	한국	대한국토계획학회	비SCI	2018.12.	1226-7147
22	건물과 수목의 그림자에 의한 도시의 열 분포 산정 및 저감효과 연구	한국환경복원기술학회지	박채연	115호	한국	한국환경복원기술학회	비SCI	2018.12	1229-3032

No	논문명	학술지명	주저자명	권(호)	국명	발행기관	SCI구분(SCI/비SCI)	게재일	등록번호
23	토지이용 유형별 도시열섬강도 분석	한국콘텐츠학회	제민희	18(11)	대한민국	한국콘텐츠학회	비SCI	2018.11	2018-00567
24	Evaluation and utilization of thermal environment associated with policy: a case study of Deagu metropolitan city in South Korea	Sustainability	Jeong-Hee Eum	Volume 10·Issue 4	swizerland	MDPI	SCI	2018. 4. 11	ISSN 2071-1050
25	열환경 관련 법·제도의 현황 및 시사점 -공간계획을 중심으로-	휴양 및 경관연구 학회지	김권	13(2)	대한민국	휴양 및 경관연구 학회	비SCI	2019.6	ISSN 2093-3150
26	미시적 열섬현상 저감을 위한 도시 가로수 식재 시나리오별 분석 - 서울시를 대상으로 -	환경영향평가학회	권유진	28(1)	한국	환경영향평가학회	비SCI	2019.02	1225-7184
27	Influence of urban form on the cooling effect of a small urban river	Landscape and Urban Planning	박채연	183	Netherlands	Elsevier	SCI	2019.07.11	0169-2046
28	The Effects of Extreme Heat Adaptation Strategies under Different Climate Change Mitigation Scenarios in Seoul, Korea	Sustainability	박채연	11(14)	swizerland	MDPI	SCI	2019.03	0169-2046
29	Thermal Comfort and Longwave Radiation over Time in Urban Residential Complexes	Sustainability	권유진	11(8)	swizerland	MDPI	SCI	2019.04	2071-1050

No	논문명	학술지명	주저자명	권(호)	국명	발행기관	SCI구분 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
30	Determining Favourable and Unfavourable Thermal Areas in Seoul Using In-Situ Measurements: A Preliminary Step towards Developing a Smart City	Energies	권유진	12(12)	swizerland	MDPI	SCI	2019.06	1996 -1073
31	Impact of urban characteristics on cooling energy consumption before and after construction of an urban park: The case of Gyeongui line forest in Seoul	Energy& Buildings	Kijung Kim	191	UK	ELSEVIER	SCI	2019.03	
32	연립방정식을 이용한 도시온도와 건물에너지 소비의 상호영향관계 실증 분석 : 서울시를 중심으로	서울 도시 연구	이수진	20(1)	대한민국	서울 연구원	비SCI	2019.03	
33	서울시 홍대상권 내 업종변화 필지의 공간적 특성 분석 : 상업 젠트리케이션의 관점에서	국토 계획	김동준	54(2)	대한민국	대한국토·도시계획학회	비SCI	2019.04	
34	건물요도별 냉방에너지 소비량 차이에 관한 연구	서울 도시 연구	김기중	20(2)	대한민국	서울 연구원	비SCI	2019.06	
35	Sky view factor calculation in complex urban geometry with terrestrial LiDAR	Physical Geography	허한결	30	영국	Taylor & Francis	SCI	2020.6	

No	논문명	학술지명	주저자명	권(호)	국명	발행기관	SCI구분 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
36	Is Sensible Heat Flux Useful for the Assessment of Thermal Vulnerability in Seoul (Korea)?	International Journal of Environmental Research and Public Health	권유진	17(3)	스위스	MDPI	SCI	2020.2	
37	대구시 열대야 대응 구역 설정을 위한 야간 찬공기 유동성 분석	한국지리정보학회지	서보용	23(3)	대한민국	한국지리정보학회지	비SCI	2020.09	
38	건물과 지역요인을 고려한 서울시 건물에너지 소비 실증분석	대한국토.도시계획학회지	이수진	54(5)	대한민국	대한국토.도시계획학회	비SCI	2019.10.31	1226-7147

나. 국내 및 국제학술회의 발표

No	회의명칭 (발표논문명)	발표자	발표일시	장소	국명
1	8th International Urban Design Conference (Development of an Urban Heat Vulnerability Index and its Applications)	정승현	2015.11.16	브리즈번	호주
2	8th International Urban Design Conference (A Heat Wave Vulnerability Analysis or Urban areas for Improving Climate Change Resilience)	김한샘	2015.11.16	브리즈번	호주
3	AGU 2015 fall meeting (spatial characteristics of small green spaces mitigating effects on microscopic urban heat islands)	박종훈	2015.12.16	샌프란시스코	미국
4	AGU 2015 fall meeting (The urban heat island impact in consideration of spatial pattern of urban landscape and structure)	김준식	2015.12.16	샌프란시스코	미국
5	AGU 2015 fall meeting (Surface urban heat island intensity distribution pattern and explainable variables-focused on 30 cities in South Korea)	박채연	2015.12.16	샌프란시스코	미국
6	(사)대한국토·도시계획학회 2015 추계학술대회 (도시 안에서의 열섬지역 구분을 위한 방법론 고찰 연구 : 서울시를 사례로)	김기중	2015.10.31.	국내	울산

No	회의명칭 (발표논문명)	발표자	발표일시	장소	국명
7	(사)대한국토·도시계획학회 2015 추계학술대회 (사회·경제특성을 반영한 고령인구와 비고령인구의 목적지 통행빈도가 교통에너지소비 미치는 차이 비교연구)	고승욱	2015.10.31.	국내	울산
8	(사)대한국토·도시계획학회 2016 춘계산학학술대회 (서울시 행정동별 상업건축물 유형별 연면적 규모가 유입통행량에 미치는 영향요인 연구)	고승욱	2016.04.30.	서울시립대학교	대한민국
9	(사)대한국토·도시계획학회 2016 춘계산학학술대회 (청년무직자의 밀집 지역 분석과 소득분위에 따른 통행특성 분석 : 서울시를 대상으로)	조윤성	2016.04.30.	서울시립대학교	대한민국
10	2016 International Conference of Asia-Pacific Planning Societies (Effect on Energy Consumption by Reducing Urban Heat: Analysis of the Gyeongui Line Forest Park in Seoul)	Kijung Kim	2016.08.26.	대만	타이페이
11	2016 Urban Planning and Environment 12 Symposium (Urban Heat island Map Making based on Mobile Communication Network Stations)	김한샘	2016.06.01	리스본	포르투갈
12	2016 Urban Planning and Environment 12 Symposium (Evaluating Meteorological Observation Network to Analyze Urban Thermal Environments)	김효민	2016.06.03	리스본	포르투갈
13	한국환경영향평가학회 2016년 추계학술대회 (서울시 고밀도 기온자료 품질분석 틀 개발 및 기상관측장비 우선설치지역 선정)	김효민	2016.10.21	제주도	대한민국
14	한국환경영향평가학회 춘계학술대회 (도시열섬효과 저감요소의 유형화 및 온도저감 기여도 평가 방법론 동향 분석)	박채연	2016.04.22	서울 이화여자대학교	대한민국
15	한국환경영향평가학회 춘계학술대회 (Sky View Factor 분석을 통한 건축물 형태에 따른 건축물 외부공간의 지표면온도 영향 분석)	김준식	2016.04.22	서울 이화여자대학교	대한민국
16	한국기후변화학회 추계학술대회 (도시의 온도감소를 위한 하천의 활용방안 – 도심형태와 하천의 냉각효과 -)	박채연	2016.11.02	제주도 컨벤션 센터	대한민국
17	AGU 2016 fall meeting (Urban geometry effects on the microclimate of streets near the river)	박채연	2016.12.13	샌프란시스코	미국
18	(사)한국환경영향평가학회 2016년 추계학술대회 :기후변화 대응과 국제협력 (독일의 열환경 개선을 위한 법적·계획적 사례고찰)	김상동	2016.10.20	제주 KAL호텔	대한민국
19	(사)한국환경영향평가학회 2016년 추계학술대회 :기후변화 대응과 국제협력 (미국의 도시열섬 관련 법제도 고찰 -연방정부, 지방정부의 열섬저감 사례를 중심으로-)	유정우	2016.10.20	제주 KAL호텔	대한민국
20	(사)한국환경영향평가학회 2016년 추계학술대회 :기후변화 대응과 국제협력 (도시 열 취약지역 개선을 위한 대책 방안 고찰 -대구광역시를 사례로-)	이상범	2016.10.20	제주 KAL호텔	대한민국

No	회의명칭 (발표논문명)	발표자	발표일시	장소	국명
21	(사)대한국토·도시계획학회 2016 추계학술대회 (가구특성에 따른 교통에너지 소비 차이에 대한 분석 : 수도권을 대상으로)	윤진성	2016.10.29	서울시립대학교	대한민국
22	(사)한국환경과학회 2016년 정기학술대회 (토지피복 변화에 의한 도시 고온지역 확산에 관한 연구 -대구광역시를 대상지로-)	이상범	2016.11.03	대구대학교	대한민국
23	ESRI User Conference 2017 (Cool roof map of seoul city)	제민희	2017.07.11	샌디에고	미국
24	ESRI User Conference 2017 (Urban Climate Vulnerability map considering uncertainty)	김효민	2017.07.11	샌디에고	미국
25	한국환경영향평가학회 춘계학술대회 (기후변화에 따른 열환경 취약지역 변화 분석)	제민희	2017.10.20.	제주대학교	대한민국
26	International Association for Impact Assessment (Thermal comfort in typical CBD: Case study of Korea)	안새결, 이동근	2017.04.07	몬트리올	캐나다
27	한국환경영향평가학회 춘계학술대회 (식재패턴에 따른 도시환경의 열저감에 대한 영향)	권유진, 이동근	2017.04.21	연세대학교	대한민국
28	한국기후변화학회 춘계학술대회 (기후변화에 따라 증가하는 도시 복사열을 완화하기 위한 도시 녹화 방안)	박채연, 이동근	2017.06.16	서울대학교	대한민국
29	한국환경영향평가학회 춘계학술대회 (식재에 따른 장파열의 영향)	권유진, 이동근	2017.10.20.	제주대학교	대한민국
30	한국환경영향평가학회 춘계학술대회 (수목의 그림자효과를 통한 보행자 복사열의 저감 방안)	박채연, 이동근, 안새결, 허한결	2017.10.20.	제주대학교	대한민국
31	한국환경영향평가학회 춘계학술대회 (습윤기후에 적합한 연못 증발량 산정 모델링)	허민주, 이동근, 박채연	2017.10.20.	제주대학교	대한민국
32	AGU 2017 fall meeting (Increasing of Radiation of Urban Pedestrians due to Climate Change and Reduction Strategy using Urban Vegetation)	박채연	2017.12.12	뉴올리언스	미국
33	AGU 2017 fall meeting (Causes of Potential Urban Heat Island Space Using Heat Flux Budget Under Urban Canopy)	권유진	2017.12.12	뉴올리언스	미국
34	(사)한국기후변화학회 2017년 상반기학술대회 열환경 개선을 위한 국내·외 녹색인프라 장려제도 비교분석	권순범	2017.06.16	서울대학교	대한민국
35	(사)한국기후변화학회 2017년 상반기 학술대회 국내·외 열환경 개선사례 비교를 통한 도시계획 제도 기본방향 제시	손영훈	2017.06.16	서울대학교	대한민국
36	(사)한국기후변화학회 2017년 상반기 학술대회 기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 평가인증체계 개발방향 검토	석재혁	2017.06.16	서울대학교	대한민국
37	(사)한국지리정보학회 2017년 창립20주년기념 학술대회 열환경 개선 정책을 위한 열 취약성 평가 연구 -대구광역시를 사례로-	김권	2017.11.02	대구 텍스타일	대한민국

No	회의명칭 (발표논문명)	발표자	발표일시	장소	국명
38	(사)한국환경영향평가학회 2017년 추계학술대회 국내외 비즈니스모델 비교분석을 통한 도시 열 저감 연구동향 및 활용방안 제시	신지훈	2017.10.20	제주대학교	대한민국
39	(사)대한국토·도시계획학회 2017 춘계산학학술대회 (서울시 열섬지역과 열 취약지역 비교 및 영향요인 분석)	신정철	2017.04.29.	연세 대학교	대한민국
40	(사)대한국토·도시계획학회 2017 춘계산학학술대회 (1인 가구 통근 및 비통근 통행의 교통에너지 소비 변화 분석 : 2006-2010 수도권가구통행실태조사 자료를 바탕으로)	윤진성	2017.04.29.	연세 대학교	대한민국
41	2017 International Conference of Asia-Pacific Planning Societies (EA Study on Allocation of Microscopic Traffic Volume by Space Syntax : Focusing on residential and Commercial Space)	Yun Jinsung	2017.08.25.	나고야	일본
42	(사)대한국토·도시계획학회 2017 추계학술대회 (건물 용도별 에너지소비와 영향요인 차이에 관한 연구)	김기중	2017.10.28.	대구한의 대학교	대한민국
43	(사)대한국토·도시계획학회 2017 추계학술대회 (가구의 서울시 통행목적지에 따른 통근통행과 비통근통행의 교통에너지 소비 영향 요인 분석)	윤진성	2017.10.28.	대구한의 대학교	대한민국
44	(사)대한국토·도시계획학회 2017 추계학술대회 (건물에너지 소비 실증을 위한 분석방법론 고찰 연구)	이수진	2017.10.28.	대구한의 대학교	대한민국
45	(사)대한국토·도시계획학회 2017 추계학술대회 (직주분리와 여가통행의 관계 실증분석)	전이봄	2017.10.28.	대구한의 대학교	대한민국
46	(사)대한국토·도시계획학회 2018 춘계산학학술대회 (도시 온도와 건물에너지 소비의 상호영향관계 규명 연구 : 2Stage Least Square(2SLS)를 이용한 분석)	이수진	2018.04.28.	중앙 대학교	대한민국
47	2018 International Conference of Asia-Pacific Planning Societies (A Machine Learning Approach for the Prediction of Building Energy Consumption)	Kijung Kim	2017.08.24.	호치민	베트남
48	(사)대한국토·도시계획학회 2018 추계학술대회 (LMDI를 이용한 가정에너지 증감요인 분석 연구 : 서울시를 대상으로)	김해솔	2018.10.27.	한국교통 대학교	대한민국
49	(사)대한국토·도시계획학회 2018 추계학술대회 (O/D통행량을 기초한 서울시 목적지 단위별 통행발생요인 변화연구)	윤진성	2018.10.27.	한국교통 대학교	대한민국
50	38th Annual Conference of International Association for Impact Assessment (Urban Heat Map Making using Network Based Observant)	정승현	2018.05.17	더반	남아공
51	38th Annual Conference of International Association for Impact Assessment (Urban Heat wave vulnerability for climate change - Analysis of Cool Roof Improvement in Thermal Comfort)	제민희	2018.05.17	더반	남아공

No	회의명칭 (발표논문명)	발표자	발표일시	장소	국명
52	10th International Conference on Urban Climate (Prediction of Vulnerable Areas of Urban Thermal Environment According to Changes in Social and Physical Environments)	정승현	2018.08.07	뉴욕	미국
53	10th International Conference on Urban Climate (Construction of Monitoring System on Urban Thermal Environment and Utilization of the System in Urban Planning)	제민희	2018.08.07	뉴욕	미국
54	(사)한국기후변화학회 2018 정기학술대회 도시계획 담당자들의 도시 열환경 인식 조사 지자체 및 민간기업 비교분석	권순범	2018.06.20	제주컨벤션센터	한국
55	(사)한국기후변화학회 2018 정기학술대회 도시계획 위계별 열환경 개선 평가지표 선정	석재혁	2018.06.20	제주컨벤션센터	한국
56	(사)한국기후변화학회 2018 정기학술대회 기후변화 적응을 위한 도시계획 위계별 개선 대책 제시	손영훈	2018.06.20	제주컨벤션센터	한국
57	(사)한국기후변화학회 2018 춘계학술대회 도시 열환경 향상을 위한 법·제도 개선방안	김권	2018.06.20	제주컨벤션센터	한국
58	(사)한국지리정보학회 2018 공동추계학술대회 공간지형정보 특성에 따른 광역 도시지역 바람유동 분석	서보용	2018.11.02	제주대학교 아라컨벤션홀	한국
59	(사)한국지리정보학회 2018 공동추계학술대회 도시 가로 공간 열환경 개선기법에 관한 연구	손영훈	2018.11.02	제주대학교 아라컨벤션홀	한국
60	(사)한국지리정보학회 2018 공동추계학술대회 쿨루프 및 쿨페이브먼트 도로 적용에 따른 열쾌적성 효과 분석	석재혁	2018.11.02	제주대학교 아라컨벤션홀	한국
61	European Geosciences Union (Urban climate, urban biometeorology, and science tools for cities)	권유진	2018.04.11	서울대학교	오스트리아
62	한국영향평가학회 (옥외공간에서 수목의 다기능을 고려한 초적의 위치선정 지원 모델)	박채연	2018.04.20	서울대학교	한국
63	한국기후변화학회 (열수지를 활용한 공간유형 연구)	권유진	2018.06.20	서울대학교	한국
64	10th International Conference on Urban Climate (Evaluation of Latent Heat and Cooling Effect for the Water Body Using Precisely Measured Evaporation Data)	허민주	2018.08.07	서울대학교	미국
65	10th International Conference on Urban Climate (Optimal Street Tree Configuration for Reducing Daytime Radiant flux Density on Pedestrian)	박채연	2018.08.10	서울대학교	미국
66	한국환경복원기술학회 (도시 재생 사업에서의 열환경 개선 위한 최적화)	권유진	2018.10.31	서울대학교	대한민국
67	한국환경복원기술학회 (그림자를 고려한 도시 열 분포 산정)	박채연	2018.10.31	서울대학교	대한민국

No	회의명칭 (발표논문명)	발표자	발표일시	장소	국명
68	한국기후변화학회 2019년 하반기학술대회 (고밀도 기온관측망을 활용한 서울시 기온분포도 작성)	김효민	2019.11.14	부경 대학교	대한민국
69	대한공간정보학회 춘계학술대회 (행정동 단위 현재와 미래의 열취약지 공간분석)	제민희	2019.05.31	부경 대학교	대한민국
70	도시 열환경 비즈니스 모델 프레임워크 설정 방안에 관한 연구	이상범	2019.10.31	제주대학교 아라컨벤션 홀	대한민국
71	도시 열환경개선을 위한 세종시 바람유동 비교 분석	서보용	2019.10.31	제주대학교 아라컨벤션 홀	대한민국
72	찬바람을 이용한 도시 열환경 개선방안 연구 -서울시 중랑천 일대를 대상으로-	이상범	2019.10.31	제주대학교 아라컨벤션 홀	대한민국
73	CELA (Council of educators in Landscape Architecture) (An Optimal Scenario for Thermal Comfort and Proper Renewal Cost in Urban, CELA 2019, Sacramento, CA, U.S.A, Poster presentation)	권유진	2019.03.07	국외	미국
74	한국기후변화학회 2019 상반기 학술대회 (서울열양호지역및열개선필요지역의실험측정을통한검증)	권유진	2019.06.28	세종대학교	대한민국
75	European Geoscience Union (Mapping the cooling effect of vegetation using physically-based method)	윤석환	2019.04.10	국외	오스트리아
76	한국기후변화학회 2019 상반기 학술대회 (물리식 기반의 수목 쿨링 효과 맵핑)	윤석환	2019.06.28	세종대학교	대한민국
77	한국기후변화학회 2019 상반기 학술대회 (기후변화 완화 시나리오에 따른 보행로 열 저감 적응 전략)	박채연	2019.06.28	세종대학교	대한민국
78	American Geophysical Union 2019 Fall meeting (Analyzing Change of Discomfort Index for Transpiration of Street Tree)	윤석환	2019.12.13	국외	미국
79	American Geophysical Union 2019 Fall meeting (A pattern of sensible heat flux shift in community scale for analysing urban thermal vulnerability)	권유진	2019.12.10	국외	미국
80	(사)대한국토·도시계획학회 2019 춘계산학학술대회 (서울시 행정동 쇠퇴유형별 근린공원의 거리와 지가변화 관계분석)	김해솔	2019.04.27.	가천 대학교	대한민국
81	2019 International Conference of Asia-Pacific Planning Societies (A study on spatial distribution and regional characteristic analysis of densly-populated area by age and time : Using data of de facto population of Seoul)	Hae-soll Kim	2019.08.23.	Seoul	Korea
82	(사)대한국토·도시계획학회 2019 추계학술대회 (다층모형을 활용한 서울시 미시교통량 영향요인 연구)	윤진성	2019.10.26.	동아 대학교	대한민국
83	한국기후변화학회 (도시 수목 시나리오에 따른 증산량 변화 산정 모델)	윤석환	2020.11.04	제주 오리엔탈호 텔	대한민국

No	회의명칭 (발표논문명)	발표자	발표일시	장소	국명
84	(사)지리정보학회 2020 추계학술대회 (초폭염 대응을 위한 야간 찬공기 유동분석)	서보용	2020.11.12	제주대학교 아라컨벤션 홀	대한민국
85	(사)지리정보학회 2020 추계학술대회 (도시 가로공간의 열환경 개선방안 효과검증)	서보용	2020.11.12	제주대학교 아라컨벤션 홀	대한민국

다. 지식재산권(특허)

No	지식재산권 등 명칭	국 명	출원			등록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	10-1908865	기온 측정 자료의 품질 분석 방법	한국건설기술연구원	2017-11-15	10-2017-0152157	한국건설기술연구원	2018-10-10	10-1908865	100%
2	SNU-2016-0749	정규화 지수를 이용한 토지이용에 따른 도시 열섬 취약 특성 분석 시스템 및 방법	서울대학교 산학협력단	2016-07-29	10-2016-0096699	서울대학교 산학협력단	2017-11-24	10-1803344	100%
3	SNU-2016-0750	지표면 도시열섬강도의 시공간적 분포에 영향을 주는 변수 분석 시스템 및 방법	서울대학교 산학협력단	2016-08-08	10-2016-0100537	서울대학교 산학협력단	2017-12-05	10-1807579	100%
4	10-1937567	대중교통수단분담률과 내부통행거리비율의 관계 분석 기반의 정보를 제공하기 위한 장치, 이를 위한 방법 및 이 방법을 수행하기 위한 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독 가능한 기록매체	서울시립대학교 산학협력단	2017-06-08	10-2017-0071806	서울시립대학교 산학협력단	2019-01-04	10-1937567	50%
5	10-1990408	이동식 이동측정장치	서울대학교 산학협력단	2017-11-24	10-2017-0158493	서울대학교 산학협력단	2019-06-12	10-990408	100%
6	10-2136807	도시 인프라를 이용한 맞춤형 조깅경로 제공장치 및 맞춤형 조깅경로 제공방법	서울시립대학교 산학협력단	2019-05-24	10-2019-0061408	서울시립대학교 산학협력단	2020-07-16	10-2136807	50%
7	10-0134048	개인 일정 관리 서비스 방법	서울시립대학교 산학협력단	2019-05-21	10-2019-0059585	-	-	-	50%
8	10-0134047	대중교통 안내 서비스 방법	서울시립대학교 산학협력단	2019-05-21	10-2019-0059584	-	-	-	50%
9	10-0135036	플랫폼 유니트가 구비된 평가 장치 및 평가 방법	서울시립대학교 산학협력단	2019-05-24	10-2019-0061407	-	-	-	50%
10	10-0135035	서비스 장치 및 서비스 방법	서울시립대학교 산학협력단	2019-05-24	10-2019-0061406	-	-	-	50%

No	지식재산권 등 명칭	국 명	출원			등록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
11	SNU-2020-12176	열환경취약성 평가방법	서울대학교 산학협력단	2020-11-19	10-2020-0136177	-	-	-	100%
12	SNU-2020-10165	지상 라이다를 이용한 도시 환경에서의 천공률 산정방법	서울대학교 산학협력단	2020-12-09	10-2020-0171650	-	-	-	100%

라. 저작권(소프트웨어, 서적 등)

No	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
1	열환경 모니터링시스템 기온분포 모듈	2018-10-01	한국건설기술연구원	2018-11-23	C-2018-034569	한국건설기술연구원	100%
2	열환경 모니터링시스템 기온분포 모듈	2017-10-31	한국건설기술연구원	2017-11-17	C-2017-028918	한국건설기술연구원	100
3	건물유형별 지적도 기반 단위면적당 에너지사용량 추출 프로그램	2016-11-14	서울시립대학교 산학협력단	2016-12-14	C-2016-032356	이승일, 김기중	100
4	미시교통량 기반 대기확산모형 연산 프로그램	2018-09-30	서울시립대학교 산학협력단	2018-10-19	C-2018-027959	서울시립대학교 산학협력단	100%
5	열환경 DB 관리프로그램	2019-07-01	한국건설기술연구원	2019-08-07	C-2019-021881	한국건설기술연구원	100%
6	도시 열환경 모니터링 시스템 기반 열취약성분석 모듈	2019-10-01	한국건설기술연구원	2019-11-15	C-2019-033780	한국건설기술연구원	100%
7	필지단위 건물(전기)에너지 산출 영향 범위 산출을 위한 버퍼조정 분석 프로그램	2019-07-19	서울시립대학교 산학협력단	2019-07-29	C-2019-020865	서울시립대학교 산학협력단	100%
8	건물(전기)에너지 사용량 예측을 위한 영향 최단거리분석 프로그램	2019-07-19	서울시립대학교 산학협력단	2019-07-29	C-2019-020866	서울시립대학교 산학협력단	100%
9	열현황 모니터링시스템	2019-10-01	서울대학교 맵인어스	2019-11-20	C-2019-034293	서울대학교 맵인어스	100%
10	도시환경 분석을 위한 공간데이터 업로드/변환 프로그램	2020-10-30	서울시립대학교 산학협력단	2020-11-18	C-2020-042868	서울시립대학교 산학협력단	100%
11	도시환경 분석을 위한 공간데이터 다운로드 프로그램	2020-10-30	서울시립대학교 산학협력단	2020-11-18	C-2020-042867	서울시립대학교 산학협력단	100%

No	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
12	도시 열현황 10m격자단위 미시규모 운영모듈	2020-11-03	서울대학교 산학협력단	2020-12-01	C-2020-046908	서울대학교 산학협력단	100%
13	도시 열현황 100m격자단위 지역규모 운영모듈	2020-11-03	서울대학교 산학협력단	2020-12-01	C-2020-046909	서울대학교 산학협력단	100%
14	도시 열현황 모니터링 통합운영 시스템	2020-11-03	서울대학교 산학협력단	2020-12-01	C-2020-046910	서울대학교 산학협력단	100%

마. 인력양성 성과

No	분류	기준 년도	현 황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	정재원	2016		○				○	○				
2	김준식	2016		○			○		○				
3	박채연	2017		○				○	○				
4	장성만	2017	○				○		○				
5	유경훈	2017		○			○		○				
6	고승욱	2017		○			○		○				
7	조윤성	2018		○			○		○				
8	김권	2018		○			○				○		
9	석재혁	2019		○			○				○		
10	손영훈	2019		○			○				○		
11	권순범	2019		○			○				○		
12	손정민	2019		○				○			○		
13	이수진	2019		○				○	○				
14	성웅기	2019		○			○		○				
15	박채연	2019	○					○	○				
16	권유진	2020	○					○	○				
17	윤석환	2020		○			○		○				
총계			3	14			11	6	12		5		

바. 기타

1) 정책반영

No	정책명	주무기관 (관리부처)	제안일자	시행일자	구분
1	도시관리계획 수립	대구광역시 도시계획과	2017-10-27	2017-11-13	부분반영
2	국토교통부 도시건축사업	대구광역시 창의도시재생지원센터	2017-11-20	2017-11-22	전체반영
3	국토교통부 도시건축연구사업	영천시	2018-11-22	2018-11-29	전체반영
4	국토교통부 도시건축사업	경상북도청	2019-10-23	2019-11-01	부분반영
5	국토교통부 도시건축연구사업	대구경북연구원	2019-10-07	2019-11-21	부분반영
6	G-SEED 2020 인증기준 개정안	환경부	2019-11-16	2019-11-21	부분반영
7	국토교통부 도시건축사업	경상북도 자연재난과	2020-10-14	2020-10-30	전체반영
8	국토교통부 도시건축연구사업	영천시 도시계획과	2020-10-08	2020-10-16	전체반영
9	도시관리계획 재정비 수립	문경시 도시과	2020-10-12	2020-10-16	전체반영
10	노후 건축물 리모델링(건축구조)을 통한 건축물 에너지 저감 정책	서울특별시 도시재생지원센터	2020-06-19	2020-11-07	부분반영
11	공원·녹지공간의 형태적 제공으로 도시열 저감과 건물(전기)에너지 효율성 제고	서울특별시 도시재생지원센터	2020-06-19	2020-11-06	부분반영

2) 설계기준, 시방서, 지침에 반영

No	종류	명칭	반영일자	반영내용
1	시방서	기상관측 모니터링 시스템 제작 용역 과업지시서	2019.11.07	도시 열환경 측정장비 제작 및 설치와 관련하여 자동기상관측장비 제작 및 설치 기술 지원 협조 요청을 받아 과업지시서와 시방서를 제공하여 타 국가 R&D과제에 활용

3) 현장적용

No	(기존) 기술명	공사기간	(R&D) 기술명	R&D 기술개요	비용절감(천원)
1	자동기상관 측장비	2016.07.12.~ 2016.10.31	미기상 측정 자동기상관측장비	기존 자동기상관측장비 대비 정확하고 다양한 데이터값을 산출, 저전력화 및 소형화, 내구성 강화	2,000

No	(기존) 기술명	공사기간	(R&D) 기술명	R&D 기술개요	비용절감(천원)
2	미기후 자동기상관측장비	2017.05.26.~ 2017.07.25	네트워크 기반 자동기상관측장비(AWS) 제작 및 설치	기 구축된 통신기지국의 네트워크를 이용하여 실시간 기상데이터 값을 측정, 저전력화 및 소형화, 내구성 강화	65,000
3	미기후 자동기상관측장비	2019.10.01.~ 2019.11.30	이동형 자동기상관측장비	기존 센서와 장비를 활용 및 조립하여 이동형 AWS로 재구성, 타 국가R&D에서 본 과제에서 제작 및 설치된 미기후 자동기상관측장비를 활용하여 현장적용 및 경제성효과를 도출	4,530

4) 성과홍보

No	명칭	구분	일시	장소	내용
1	광주 도시열섬현상 억제와 도시계획 대응방안 토론회	행사개최	2017-06-09	(재)국제기후환경센터 1층 다목적강당	기후변화 대응 도시열섬저감 사례와 제도개선방향
2	2017 대한민국 열섬심포지움	행사개최	2017-07-21	대한건축학회 건축센터 B1강당	여름철 기온저감을 위한 찬공기 활용방안
3	2017 대구국제폭염대응포럼	행사개최	2017-07-27	대구광역시 삼성창조캠퍼스	1.도시 열환경 개선을 위한 바람길 활용방안 2.대구시가지의 열환경 특성 고찰
4	서울대 3차년도	방송	2017-08-03	YTN 사이언스	도시의 열을 식히고 건강하게 되살리기 위해 사람과 도시가 상생할 수 있는 길을 찾아보는 방송 출현하여 성과 홍보
5	2018 대구국제폭염대응포럼	행사개최	2018-07-26	대구창조경제혁신센터	폭염대응방안 제시
6	2019 국토교통대전	행사개최	2019-05-29 ~2019-05-31	킨텍스	연구의 우수성 및 기술적 활용가치를 공유 및 홍보
7	원대동에서 원하는대로 제9호 2019.06.05.	간행물발간	2019-06-05	원대동이야기공동체	원대동 도시재생 뉴딜사업과 기후변화 적응형 도시 열환경 설계시스템 연구단 간 협약
8	과학과 기술 2019년11월호 vol.606 Focus6	간행물발간	2019-11-01	독일 슈투트가르트(Tagungshotel compus.guestder Universitat Stuttgart), 과학과 기술	제3회 한국-독일 환경워크숍에서 도시 폭염 영향을 저감하기 위한 도시계획 방안 홍보

2. (2세부) 열섬저감 도시공간 설계기술 개발

가. 국내외 논문 게재

No	논문명	학술지명	주저자명	권(호)	국명	발행기관	SCI구분 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
1	근린환경특성이 보행만족도에 미치는 영향 분석: 서울 서베이 2013년 자료를 중심으로	국토계획	이수기	51(1)	대한민국	대한국토.도시계획학회	비SCI	2016.02.	2018-00567
2	라그랑지안 입자모델을 활용한 도시기온 예측기법의 연구	한국대기환경학회지	김석철	33(1)	대한민국	한국대기환경학회	비SCI	2017.02.	1598-7132
3	도시 열환경 시뮬레이션을 위한 라그랑지안 열원 역추적 기법의 연구	한국대기환경학회지	김석철	33(6)	대한민국	한국대기환경학회	비SCI	2017.12.31	1598-7132
4	Temporal Effects of Environmental Characteristics on Urban Air Temperature: The Influence of the Sky View Factor	Sustainability	하재현	895	스위스	MDPI AG	SCI	2016.09.	2071-1050
5	An Assessment of Vulnerable Areas in Urban Thermal Environments based on Social and Economic Factors	International Journal of Environmental Science and Development	박봉철	7	싱가포르	IJSED	비SCI	2016.11.07.	2010-0264
6	Classifying Urban Climate Zones based upon Statistical Analysis of Urban Spatial Characteristics	International Journal of Environmental Science and Development	이동우	7	싱가포르	IJSED	비SCI	2016.11.07.	2010-0264

No	논문명	학술지명	주저자명	권(호)	국명	발행기관	SCI구분 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
7	An Analysis of Urban Cooling Island (UCI) Effects by Water Spaces applying UCI Indices	International Journal of Environmental Science and Development	이동우	7	싱가포르	IJSED	비SCI	2016. 11.07.	2010-0264
8	Spatial and Temporal Effects of Built Environment on Urban Air Temperature in Seoul City, Korea: An Application of Spatial Regression Models	Journal of Asian Architecture and Building Engineering	이수기	138	-	JAABE	SCI	2017.01.	1346-7581 1347-2852
9	Association between Three-Dimensional Built Environment and Urban Air Temperature: Focused on Seasonal and Temporal Differences	Sustainability	박철영	1338	스위스	MDPI AG	SCI	2017.09.	2071-1050
10	Spatial and Temporal Effects of Built Environment on Urban Air Temperature in Seoul City, Korea: An Application of Spatial Regression Models	Journal of Asian Architecture and Building Engineering	이수기	138	일본	JAABE	SCI	2017.01.	1346-7581 1347-2852

No	논문명	학술지명	주저자명	권(호)	국명	발행기관	SCI구분(SCI/비SCI)	게재일	등록번호
11	다세대·다가구 우세지역과 아파트 우세지역의 건폐율과 용적률이 열섬효과에 미치는 영향 분석 –서울시 AWS지점을 중심으로-	국토계획	최창규	7	대한민국	대한국토.도시계획학회	비SCI	2017.11.	1226-7147
12	Analyzing Thermal Characteristics of Urban Streets Using a Thermal Imaging Camera A Case Study on Commercial Streets in Seoul, Korea	Sustainability	이수기	519	스위스	MDPI AG	SCI	2018.02.14	2071-1050
13	Analysis of the Changes in Urban Thermal Environments Considering Development Densities(FAR and BCR)	International Journal of Environmental Science and Development	박봉철	9	홍콩	IJESD	비SCI	2018.02.01	2010-0264
14	Classifying urban climate zones (UCZs) based onstatistical analyses	Urban Climate	이동우	24	네덜란드	Elsevier	비SCI	2018.06.01	2212-0955
15	중규모 기상모델(WRF-ARW)을 활용한 서울시 옥상녹화와 쿨루프의 기온저감 효과 분석	서울도시연구	김희주	제19권 2호	대한민국	서울연구원	비SCI	2018.06.21	1738-7124

No	논문명	학술지명	주저자명	권(호)	국명	발행기관	SCI구분(SCI/비SCI)	게재일	등록번호
16	3D 모델링과 일조 시뮬레이션을 활용한 도시가로 건물의 음영효과와 가로수 식재의 적정성 분석_서울시 강남대로와 테헤란로를 대상으로	한국도시설계학회지	한재원	88	대한민국	한국도시설계학회	비SCI	2018.08.31	1598-0650
17	기후변화가 반영된 도시 열환경 시뮬레이션 모델의 연구	한국대기환경학회지	강종화	34(5)	대한민국	한국대기환경학회	비SCI	2018.10	1598-7132
18	Urban physical environments and the curation of high air temperature : Focusing on solar radiation trapping effects	Sustainability	최예리	10(12)	스위스	MDPI	SCI	2018.11	2071-1050
19	Classifying urban climate zones(UCZs) based on patial statistical analyses	Sustainability	이동우	11(7)	스위스	MDPI	SCI	2019.03	2071-1050
20	Developing the urban thermal environment management and planning (UTEMP) system to support urban planning and design	Sustainability	이동우	11(8)	스위스	MDPI	SCI	2019.04	2071-1050

No	논문명	학술지명	주저자명	권(호)	국명	발행기관	SCI구분 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
21	도시의 3차원 물리적 환경변수와 지표온도의 관계 분석	대한국토계획학회지	Li, Yige	54(2)	한국	대한국토계획학회	비SCI	2019.04	1226-7147
22	도시 열환경 시뮬레이션 분석 환경 구축을 위한 필지내 3D 자동 건축물 생성 모델 개발	한국도시환경학회지	정래혁	19(3)	한국	한국도시환경학회	비SCI	2019.09	1598-253X
23	Diurnal and Seosonal Variations in the Effect of Urban Environmental Factors on Air Temperature : A Consecutive Regression Analysis Approach	Sustainability	이수기	17(2)	스위스	MDPI	SCI	2020.01	2071-1050
24	도시 주거공간 내 가로협곡의 기하학적 특성이 열쾌적성에 미치는 영향	대한건축학회	차수연	36(12)	대한민국	(사)대한건축학회	비SCI	2020.12	2733-6239

나. 국내 및 국제학술회의 발표

No	회의명칭 (발표논문명)	발표자	발표일시	장소	국명
1	(사)대한국토·도시계획학회 2015 추계학술대회 (옥상녹화와 쿨루프에 의한 도시 열환경 개선효과 분석)	제민희, 오규식	2015.10.30	울산과학기술대학교	대한민국
2	한국도시설계학회 2015 추계학술대회 (보행만족도에 영향을 미치는 근린환경 특성분석: 서울서베이 2013년 자료를 중심으로)	이수기	2015.11.07	대구가톨릭대학교	대한민국
3	한국도시행정학회 2015년 하반기 정기학술대회 (도시의 물리적 환경이 시간대별 대기온도에 미치는 영향 분석: 천공개폐율을 중심으로)	하재현	2015.12.04	서울시립대학교	대한민국
4	한국도시행정학회 2015년 하반기 정기학술대회 (도시열섬현상과 사회적 취약계층의 공간적 분포 특성분석)	조혜민	2015.12.04	서울시립대학교	대한민국
5	7th International Conference on Environmental Science and Development (An Analysis of Urban Cooling Island (UCI) Effects by Water Spaces applying UCI Indices)	이동우, 오규식, 서정은	2016.02.02	로마	이탈리아

No	회의명칭 (발표논문명)	발표자	발표일시	장소	국명
6	7th International Conference on Environmental Science and Development (Classifying Urban Climate Zones based upon Statistical Analysis of Urban Spatial Characteristics)	이동우, 오규식	2016.02.02	로마	이탈리아
7	7th International Conference on Environmental Science and Development (An Assessment of Vulnerable Areas in Urban Thermal Environments based on Social and Economic Factors)	박봉철, 오규식, 김희주	2016.02.02	로마	이탈리아
8	4th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island (A Study on the Efficiency of Green and Cool Roofs to Mitigate the Thermal Environment of Urban Residential Areas)	박봉철	2016.05.30.	국외	싱가프로
9	4th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island (Classifying Urban Climate Zones (UCZs) based on Statistical Analyses)	이동우	2016.05.30.	국외	싱가프로
10	4th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island (Urban Design Measures and Urban Heat Island Effect in Seoul City, Korea)	이수기	2016.05.30.	국외	싱가프로
11	4th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island (The Temporal Effects of Environmental Characteristics on Urban Air Temperature: The Influence of Sky View Factor)	하재현	2016.05.30.	국외	싱가포르
12	2016 International Conference of Asia-Pacific Planning Societies (The Impacts of Anthropogenic Heat Sources on Urban Air Temperature in Seoul, Korea)	이수기	2016.08.25.	국외	대만
13	2016 한국지역학회 후기학술대회 (입체적 근린환경 특성이 도시 대기온도에 미치는 영향 분석: 계절과 시간의 차이를 중심으로)	박철영	2016.11.25.	국내	대한민국
14	2016 대한국토도시계획학회 추계학술대회 (다세대・다가수 밀집지역과 아파트 단지의 건폐율이 열섬효과에 미치는 영향 분석)	박재빈	2016.10.29.	국내	대한민국
15	2016 대한국토도시계획학회 춘계산학학술대회 (용도지역별 대지특성에 따른 용적률 실현특성에 관한 연구)	김수현	2017.04.29	국내	대한민국
16	2017 대한국토도시계획학회 춘계산학학술대회 (기상조건과 물리적환경이 대기오염에 미치는 영향 분석.)	이민아	2017.04.29.	국내	대한민국
17	한국도시설계학회 2017 춘계학술대회 (도시공간의 3차원 물리적환경 특성이 대기온도에 미치는 영향분석)	박철영	2017.04.22.	국내	대한민국
18	한국도시설계학회 2017 춘계학술대회 (3D 모델링과 일조시뮬레이션 기법을 활용한 도시 가로 건물의 음영분석과 가로수 식재의 적정성 연구)	이수기	2017.11.04	국내	대한민국

No	회의명칭 (발표논문명)	발표자	발표일시	장소	국명
19	The 2017 International Conference of Asian-Pacific Planning Societies(ICAPPS) (The Seasonal Effects of Physical Environments on Urban Air Temperature)	하재현	2017.08.25	국외	일본
20	The 2017 International Conference of Asian-Pacific Planning Societies(ICAPPS) (Analyzing Thermal Characteristics of Urban Streets Using a Thermal Imaging Camera: A Case Study on Commercial Streets in Seoul)	이수기	2017.08.25	국외	일본
21	2017 한국환경영향평가학회 추계학술대회 (도시개발 형태와 밀도를 고려한 도시공간의 열환경 변화 분석)	박봉철	2017.10.20	국내	대한민국
22	2017 7th International Conference on Environment Science and Biotechnology (ICESB 2017) (Analysis of the changes in an urban thermal environment considering urban development form and density)	박봉철	2017.12.27	국외	일본
23	2017 7th International Conference on Environment Science and Biotechnology (ICESB 2017) (Improving the Thermal Environment in Socially Vulnerable Areas in Seoul through Green and Grey Infrastructure)	김희주	2017.12.27	국외	일본
24	2017 7th International Conference on Environment Science and Biotechnology (ICESB 2017) (IClassification of Urban Climate Zones (UCZs) to Understand Urban Heat Island Phenomena)	이동우	2017.12.27	국외	일본
25	2018 International Conference of Asia-Pacific Planning Societies (Physical Environments Affecting Residential Building Energy Consumption – Focused on the Apartment Complexes in Seoul, Korea)	한재원	2018.08.24	국외	베트남
26	Establishing a Spatial Decision Support Framework to Improve the Urban Thermal Environment	이동우	2018.11.03	국외	싱가프로
27	Developing Spatial Measures to Improve Thermal Comfort Considering Urban Activity periods	박봉철	2018.11.03	국외	싱가프로
28	An Analysis of the Relationship between Sky View Factor (SVF) and Surface Temperature of Different Urban Street Canyons	김현수	2018.11.03	국외	싱가프로
29	대한국토·도시계획학회 2018 춘계산학학술대회 (도시의 건물 에너지 소비에 영향을 미치는 물리적 요인 분석 – 서울시 공동주택을 중심으로)	한재원	2018.04.18	중앙대학교	대한민국
30	대한국토·도시계획학회 2018 춘계산학학술대회 (도시의 3차원 물리적 환경변수와 지표온도의 관계 분석)	이수기	2018.04.18	중앙대학교	대한민국
31	한국도시설계학회 2018 춘계산학학술대회 (공동주택 단지의 구성요소와 입체적 형태가 지표온도에 미치는 영향분석 – 서울시 250개 공동주택 단지를 중심으로)	문현빈	2018.04.21	서울시립대학교	대한민국

No	회의명칭 (발표논문명)	발표자	발표일시	장소	국명
32	한국도시설계학회 2018 춘계산학학술대회 (근린의 물리적 환경이 무더위 지속시간에 미치는 영향 분석)	최예리	2018.04.21	서울시립대학교	대한민국
33	대한국토·도시계획학회 2018 추계학술대회 (도시의 물리적환경이 여름철 기온 저감속도에 미치는 영향분석 – KRLS 모형을 활용한 비선형 상호작용 효과를 중심으로)	최예리	2018.10.27	한국교통대학교	대한민국
34	ICNEE 2019 Internationa Conference on New Energy and Environment Engineering (An Analysis of the Relationship between Urban Spatial Characteristics and Ozone(O3) Concentration)	박진수	2019.05.04	국외	싱가포르
35	ICNEE 2019 Internationa Conference on New Energy and Environment Engineering (Developing the urban thermal environment simulation model and its verification)	이동우	2019.05.04	국외	싱가포르
36	(A spatial decision-making framework to improve the urban thermal environment and its applications)	이동우	2019.11.20	국외	폴란드
37	(Developing the urbn thermal environment simlation model(UTESM) for urban theral environment planning and design)	이동우	2019.11.20	국외	폴란드
38	(An automated process for analyzing applicable locations and areas of urban heat mitigation measures)	김희주	2019.11.20	국외	폴란드
39	대한국토·도시계획학회 2020 추계학술대회 (도시 가로협곡의 향이 열쾌적성에 미치는 영향)	차수연	2020.10.31	국내	대한민국

다. 지식재산권(특허)

No	지식재산권 등 명칭	국 명	출원			등록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	1-2017-046499-8	열섬현상을 분석하는 방법 및 전자 장치	㈜볼트시뮬레이션	2017-08-31	10-2017-0111359	㈜볼트시뮬레이션	2020-12-03	10-2188892	100%
2	P20170512OP	열섬 효과 예측 방법 및 그 장치	한양대학교 산학협력단	2017-09-13	10-2017-0117038	-	-	-	100%
3	10-2017-0174023	도시 계획 지원을 위한 도시모델 생성장치 및 그 생성방법	㈜정도유아이티	2017-12-18	10-2017-0174023	-	-	-	100%
4	1-2017-046499-8	열원 역추적 시스템 및 방법	㈜볼트시뮬레이션	2018-10-26	10-2018-0128903	㈜볼트시뮬레이션	2020-02-03	10-2074871	100%
5	2-2004-011427-6	단지 개발 모델 생성 장치 및 생성 방법	한양대학교 산학협력단	2018-09-11	10-2018-0108222	-	-	-	100%
6	10-2019-0028403	열쾌적성이 반영된 도보용 네비게이션 장치 및 그 경로 안내 방법	한양대학교 산학협력단	2019-03-12	10-2019-0028403	-	-	-	100%
7	10-1971249	열섬 효과 예측 방법 및 그 장치	한양대학교 산학협력단	2017-09-13	10-2017-0117038	한양대학교 산학협력단	2019-04-16	10-1971249	100%

No	지식재산권 등 명칭	국 명	출원			등록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
8	10-1967439	열쾌적성이 반영된 도시 계획 지원을 위한 도시모델 생성 장치 및 그 생성 방법	한양대학교 산학협력단	2018-06-19	10-2018-0070136	한양대학교 산학협력단	2019-04-03	10-1967439	100%
9	10-1981307	열쾌적성이 반영된 도시 계획 지원을 위한 도시모델 생성 장치 및 그 방법	한양대학교 산학협력단	2019-04-01	10-2019-0038062	한양대학교 산학협력단	2019-05-16	10-1981307	100%
10	10-1981297	열쾌적성이 반영된 도시 계획 지원을 위한 도시모델 생성 장치 및 그 방법	한양대학교 산학협력단	2019-04-01	10-2019-0038067	한양대학교 산학협력단	2019-05-16	10-1981297	100%

라. 저작권(소프트웨어, 서적 등)

No	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
1	BOOLT_HotCityModel(볼트_핫시티모델)	2016-12-20	㈜볼트시뮬레이션	2016-12-22	110111-5176155	㈜볼트시뮬레이션	100%
2	열섬저감도시공간 설계시스템_ 의사결정지원모듈	2017-11-10	㈜정도유아이티	2017-11-10	C-2017-028738	㈜정도유아이티	100%
3	열섬저감도시공간설계 시스템_연동모듈	2017-11-10	㈜정도유아이티	2017-11-10	C-2017-028739	㈜정도유아이티	100%
4	열섬저감도시공간설계 시스템	2018-11-16	㈜정도유아이티	2018-11-21	C-2018-034133	㈜정도유아이티	100%
5	열환경 시뮬레이션 대 시민 정보제공 서비스	2018-11-26	한양대학교 산학협력단	2018-11-30	C-2018-035684	한양대학교 산학협력단	100%
6	볼트-슈트코렉터	2019-09-23	㈜볼트시뮬레이션	2019-09-25	C-2019-026427	㈜볼트시뮬레이션	100%
7	볼트-씨씨에이	2019-10-24	㈜볼트시뮬레이션	2019-10-29	C-2019-030546	㈜볼트시뮬레이션	100%
8	열섬저감도시공간 설계시스템_ 인프라도입모듈	2019-11-15	㈜정도유아이티	2019-11-18	C-2019-033958	㈜정도유아이티	100%
9	열섬저감도시공간 설계시스템_ 최대개발밀도모듈	2019-11-15	㈜정도유아이티	2019-11-18	C-2019-033957	㈜정도유아이티	100%
10	열쾌적성 분석 기반 폭염대피소 위치정보 제공 서비스 시스템	2019-11-19	한양대학교 산학협력단	2019-11-27	C-2019-036116	한양대학교 산학협력단	100%
11	통계기반 열환경 분석시스템	2019-11-18	한양대학교 산학협력단	2019-11-27	C-2019-036117	한양대학교 산학협력단	100%
12	BOOLT-UHSM (볼트-유에이치에스엠)	2020-06-03	㈜볼트시뮬레이션	2020-06-16	C-2020-019704	㈜볼트시뮬레이션	100%
13	BOOLT-HeatProjector (볼트-히트프로젝터)	2020-06-03	㈜볼트시뮬레이션	2020-06-16	C-2020-019705	㈜볼트시뮬레이션	100%
14	열섬저감도시공간설계 시스템_통합모듈	2020-11-09	㈜정도유아이티	2020-11-19	C-2020-043337	㈜정도유아이티	100%
15	열섬저감도시공간설계 시스템_열쾌적성모듈	2020-11-09	㈜정도유아이티	2020-11-19	C-2020-043338	㈜정도유아이티	100%
16	도시열환경기반 사용자 이동환경을 고려한 무더위쉼터 검색앱	2020-11-03	한양대학교 산학협력단	2020-12-01	C-2020-046993	한양대학교 산학협력단	100%
17	열섬저감도시공간설계 시스템_공간데이터전처리모듈	2020-11-09	㈜정도유아이티	2020-12-23	C-2020-044009	㈜정도유아이티	100%
18	BOOLT-HotCityModel Server (볼트-핫시티모델서버)	2020-12-23	㈜볼트시뮬레이션	2020-12-30	C-2020-053362	㈜볼트시뮬레이션	100%

마. 인력양성 성과

No	분류	기준 년도	현 황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	제민희	2015		○				○	○				
2	최민석	2015		○			○		○				
3	박재빈	2017		○			○		○				
4	박철영	2017		○			○		○				
5	조혜민	2017		○				○	○				
6	김현수	2018		○			○		○				
7	박진수	2018		○			○		○				
8	박근덕	2018		○			○		○				
9	박봉철	2019	○				○		○				
10	유일선	2019		○			○		○				
11	어성희	2019		○				○	○				
12	김희주	2019	○					○	○				
13	차수연	2019			○			○	○				
14	최예리	2019		○				○	○				
15	이민기	2019	○				○		○				
16	조영일	2020		○			○		○				
총계			3	12	1		10	6	16				

바. 기타(보고서 및 시제품)

연도	보고서 및 매뉴얼	발간일(개발일)
2016	도시기상을 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 최종보고서	2016.2
2016	열원 역추적 모델링 기술 최종보고서	2016.2
2016	열섬저감도시공간설계기술 성과보고서	2016.2
2017	열섬저감도시공간설계시스템: OGC 표준 현황 및 시스템 상호운용성 확보방안 보고서	2017.1
2017	열섬저감도시공간설계시스템:의사결정지원 모듈 요구사항 분석 및 설계	2017.1
2017	열섬저감도시공간설계시스템:기능명세서	2017.11
2017	열섬저감e시공간설계시스템:U-GIS 기반 의사결정지원모듈 개발	2017.11
2018	열섬저감도시공간설계시스템 – 시스템 기능명세서 및 시스템 사용 DB 구축 가이드라인	2018.12
2019	도시열환경 분석 시스템 사용자 매뉴얼 V1.0	2019.11
2019	열섬저감도시공간설계시스템 – 열섬저감 도시공간 설계시스템_인프라도입 사용 메뉴얼	2019.12
2020	열섬저감도시공간 설계시스템_상호 모듈 연계활용을 위한 가이드라인	2020.12
2020	열섬저감도시공간설계시스템_DB전처리를 위한 사전 작업 가이드라인	2020.12

제3장 연구목표 달성 및 관련 분야 기여도



제3장 연구목표 달성 및 관련분야 기여도

제1절. 연구목표 달성도

1. 핵심성과별 목표의 달성도

가. (1세부) 도시열발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링 기술개발

핵심성과	단위성과	목표치		달성도 (%)	달성 내용 및 관련 분야의 기여도
(CTE 1-1) 도시공간의 열환경 평가지표	1) 기온현황 실측 및 도면	①	장비운용 가이드라인 제시	100	• 자동기상관측장비를 시작품으로 제작하고 서울 시내 6곳에 설치하고, 본 과정을 정리하여 장비설치와 운용에 대한 가이드라인 제시
		②	실측자료와의 검증	100	• AWS장비를 설치하고 실측자료와 비교하여 유사도 90%이상 확보
	2) 도시공간의 열환경 평가지표	①	기온현황 실측을 위한 자동기상관측장비 추가 제작 및 설치	100	• 미시적인 공간연구를 위해 마포구 서교동 일대 10개지점 선정 및 AWS장비 추가측정, 실측자료와 비교하여 유사도 90%이상 확보
		②	열환경 지도제작 기술	100	• 측정 기상DB를 활용한 온도지도 장성방법 제시 • 격자단위 서울시의 열환경 지도제작 방법론 제시
		③	열환경 지도화 모듈	100	• 설치된 모든 AWS장비에 네트워크 모뎀 설치로 도시공간 열환경 DB모니터링시스템과 연동화, 장치와 관련 자료 유지보수 관리 용이
		④	도시열환경 평가지표 가이드라인	100	• 자동기상관측장비 설치 및 운용방법, 측정자료 활용방안, 노하우 축적 및 기상정보 측정 부문 가이드라인 반영 가능
(CTE 1-2) 기후변화 시나리오 기반 열 취약지역 평가기술	1) 기후변화를 고려한 열 취약지수 및 취약지 평가기술(DB)	①	열환경 예측 적용 기후변화 시나리오 설정	100	• 기상청 제공 기후변화 시나리오 자료 구득, 전문가세미나 개최를 통한 열환경 예측적용을 위한 기후변화 시나리오 설정
		②	열 취약지 평가결과DB구축	100	• 취약지역 평가결과를 DB로 구축하여 중,장기적인 도시 열환경 분석 및 관리 기법 개발에 활용

핵심성과	단위성과	목표치		달성도 (%)	달성 내용 및 관련 분야의 기여도
		③	열 취약지 평가방법론 개발	100	• 온도DB, 인문사회지표, 토지이용 등 도시열환경 특성을 반영한 평가 지표를 선정하고 평가방법론을 개발 • 현재 열취약지역 지도화 및 기후변화 시나리오 기반 미래 도시 열환경 예측 분석
		④	열 취약지 평가결과 체계 개발	100	• 열 취약지수 DB구축 및 인문사회분야 지표 반영 열취약지 평가체계 개발 • 현재의 도시 열환경 평가뿐만 아니라 미래 열환경을 예측함으로써 사전에 대응방안 마련
	2) 도시열발생 저감 모니터링시스템과의 연계기술(시스템 내 세부모듈)	①	도시 열 실측 및 지도화 모듈 개발	100	• 고도, 수변지역 변수를 회귀모형에 반영하여 온도변화 표출하여 도시 열실측 지도 고도화 및 모니터시스템 탑재를 위한 알고리즘 개발
		②	열 취약성 모니터링 시스템 모듈 연계	100	• 열환경 DB와 연동하여 열환경 모니터링시스템 모듈 연계, 탑재하여 폭염취약지역 선정 및 유형화, 유형별 관리방안을 제시하는 관리기법 개발에 활용 가능
(CTE 1-3) 도시공간 요소별 열수지 산정기술	1) 지역규모 도시공간 열수지 산정기술 및 실증	①	DB 구축 및 지역규모 열수지 산정식 개발	100	• 지자체에서의 열 환경관련 조례안 도입 마련, 폭염관련 적응대책 수립 시 열 저감 기법과 정량적 효과 도입이 가능
		②	지역규모 열수지 산정식 보완	100	• 도시 지역 규모 수준에서 열, 특히 현열을 발생시키는 공간적 특성을 파악하고 그에 따른 열환경 개선방안을 마련하여 공간계획분야에서 활용 가능함
		③	지역규모 열수지 산정식 고도화	100%	• 지역규모 도시 공간 열수지 산정기술은 서울과 같은 도시공간 규모의 열 수지를 빠른 시간 내에 산정해 낼 수 있게 하는 기술로 시공간적 분포 파악을 하기에 매우 용이한 기술임. 산정기술을 통한 열수지 결과와 측정결과와 비교 검증한 결과 오차가 매우 작으며 다른 지역에도 문제없이 적용할 수 있을 것으로 평가됨

핵심성과	단위성과	목표치		달성도 (%)	달성 내용 및 관련 분야의 기여도
	2) 미시규모 도시공간 열수지 산정기술 및 실증	①	미시규모 열수지 산정식 개발	100	• 미시규모에서 진행되는 복사열 교환 과정과 수공간, 수목의 증발산 과정을 상세하게 산정
		②	미시규모 열수지 산정식 보완	100	• 미시규모 도시 공간 열수지 산정기술은 도시 내 식생이나 수공간과 같이 열섬 저감 효과를 갖는 요소들에 대한 효과를 산정할 수 있는데 매우 용이한 산정기술로, 조경설계 및 계획 측면에서 열섬저감 가이드라인에 활용될 수 있을 것으로 평가함
	3) 열 환경 모니터링 시스템에 반영	①	열발생 모니터링시스템 적용방안	100	• 서울시에 적용된 열 현황 모니터링은 측정값과 검증 등을 통해 우리나라 도시에 맞는 새로운 계수를 구축하여 적용했다는 점에서 최초의 시도로 판단됨
		②	열 환경 모니터링 시스템 개발	100	• 도시의 공간적 범위에 따른 열 환경 모니터링을 통한 현행 국토계획법상의 도시 계획 수립지침 중 열환경 관련 내용의 체계적 정리 위한 제도적 방안 제시
		③	도시열환경평가 지표 가이드라인 탑재, 미시규모 연구대상지 열수지 산정 및 보완된 DB 구축 (설명력 70%)	100	• 잠재 실수요자 평가를 통해 실용성 높은 열환경 모니터링 시스템 구축
		④	모니터링시스템 시범운영 2회 이상	100	• 열 현황 모니터링 시스템은 일반인이 원하는 지역의 온도, 열, 에너지 분포를 확인하거나, 도시계획 전문가나 열섬 전문가가 도시공간 변화에 따른 온도, 열, 에너지 변화를 파악하는데 활용이 가능함
		⑤	열 환경 모니터링 시스템 개선 및 고도화	80	• 열 발생 및 저감 모니터링 시스템 개발은 기존연구사례에 대한 충분한 검토와 연구진 내부 워크숍, 해외 관련 연구 전문가, 대기환경 및 도시계획 전문가에 의한 자문의견 수렴 등으로 만들어진 결과이므로 그 질적 우수성이 높은 것으로 판단됨
(CTE 1-4) 열 취약지역 원인 및 개선효과 산정기술	1) 도시공간 열 취약지역 원인 평가기술 개발	①	유형화 방법론 도출	100	• 열수지 고려한 열 유형화는 1) 시민들이 도시 공간에서 직접 느끼게 되는 현열, 2) 야간에 현열의 상태로 공간으로 방출되는 저장열, 3) 대기중 수증기압과 관련있는 잠열, 3가지 열요소 수치의 상대적 고저를 통해 공간에 대한 열환경 현황 파악을 위해 분류하는 방법
		②	공간유소특성 2개 제시 유형별 공간요소 도출	100	• 유형별 도시피복 상황 및 건축물과 같은 공간 구성요소 특성을 반영한 도시 열환경 개선을 위한 계획 및 설계에 반영할 수 있는 준거를 마련하는 데에 활용될 수 있음

핵심성과	단위성과	목표치		달성도 (%)	달성 내용 및 관련 분야의 기여도
(CTE 1-5) 도시 열저감 요소별 에너지 사용량 저감 기여도 분석기술	1) 도시에너지 사용량 DB관리시스템 개발	①	건물에너지 데이터 확보	100	• 도시에너지 사용요소 조사, 자료수집
		②	도시에너지 사용량 DB관리시스템 구상안 2개 도출	100	• 도시·교통관련 DB관리시스템 검토 • 도시에너지산출프레임원크(DB관리스템) 구상안 도출
		③	도시에너지 사용량 DB관리시스템 구축	100	• 도시 에너지 소비량 추정에 사용되는 데이터베이스 구축 • 연구대상지에 국한하여 표출기능 구현 완료함
		④	도시에너지 사용량 DB관리시스템 데이터 표출체계 개발	100	• 시스템 사용자 인터페이스(UI) 변경으로 1세부 열현황 모니터링 시스템과의 시각적 연계성 강화 • 데이터 분석기능 고도화 • 연구대상지에서 서울시로 데이터 확장 • DB관리시스템 데이터표출과 GIS화면상 표출 간의 일치성 검증결과 100% 일치 도출
	2) 도시 열저감 요소와 건물에너지 소비와의 관계분석	①	도시 열저감 요소 5개 도출	100	• 선행연구 고찰을 통한 도시 열발생·저감 주요지표 도출
		②	도시 열저감 요소와 건물에너지 사용과의 상계수 0.4이상 요소 5개 도출	100	• 도시 열 환경(열 발생·저감) 주요 요인 검토 완료함 • 도시 열저감요소와 건물에너지 소비의 상과계수 0.4이상 요소 5개를 도출 하였음
	3) 도시 열저감 요소별 에너지 사용량 저감 기여도 분석 기술	①	산정방법론 구상안 1개 도출	100	• 도시 열 저감 요소를 건물 유형별 활용변수로 구분 및 검토함 • 건물 유형별 산정방법론 구상안을 도출함

핵심성과	단위성과	목표치		달성도 (%)	달성 내용 및 관련 분야의 기여도
		②	건물에너지 사용량 산정식 설명력 30%	100	• 건물에너지 사용량 산정식 개발 프레임워크 구축 • 건물에너지 사용량 저감 기여도 산정식 설명력 확보
		③	건물 에너지 사용량 산정식 Cross validation 예측력 50%	100	• 주거, 상업, 겁무용 건물의 에너지사용량 산정식 개발과 개선(설명력 30%→50%) • 도시 열저감 요소별 건물에너지 저감기여도 도출 • 건물에너지소비 추정식의 머신러닝 기법의 적합성 도출
(CTE 1-6) 도시 열 개선에 따른 에너지 사용 저감량 산정기술	1) 도시 열저감에 따른 도시에너지 저감량 산정모듈	①	순에너지 저감량 산정방법 구상안 1개 도출	100	• 연구성과 산정방법 구상 • 건물에너지 저감량, 교통에너지 변화량, 순에너지 저감량 구상 도출
		②	행정동단위 교통에너지 산출	100	• 도로등급별 거시적 측면인 간선도로급(KTDB LLV2 도로망)의 교통량 산정과 교통에너지 산출 • 서울시 행정동단위 교통에너지 산출 완료
	2) 도시 열저감에 따른 에너지 저감량 산정 기술	①	산정방법론 3개 도출	100	• 에너지 소비량 산출식 관련 선행연구 검토 • 건물 유형별 에너지 소비량 산출식 도출 • 회귀모형, 구조방정식, 공간회귀모형 등 3가지 방법론 제시
		②	도시 부문별 에너지 저감량 산출식 적합도 및 타당성 확보	100	• 연구대상지의 온도1℃ 저감에 따른 에너지 소비량 저감량 분석 • 산정식에 대한 타당성 검토 자문으로 타당성 확보
		③	서울시 거시적 측면 순에너지 추정 기법 검증	100	• 건물(전기)에너지와 교통에너지 원단위의 일원화(에너지법 시행규칙, 국제에너지기구(IEA) 권고), kWh, ℓ → toe • 도시 순에너지는 잠열를 포한하는 총발열량으로 산정함 • 서울시 거시적측면(행정동 단위)의 도시 순에너지 산정
		④	도시에너지 저감량 산정(실측치와의 비교량 제시)	100	• 서울시 온도 1℃ 저감 시 건물(전기)에너지 저감량을 18,779MWh 도출함 • 서울시 온도 1℃ 저감시 서울시 전체 사용량의 0.42%를 절약할 수 있음 • 가구당 2015년 8월 평균 전량사용량 비교 시 도출된 저감량은 67,511가구의 전력 사용량이며, 평균 전기요금 적용 시 약 28억원의 절감 효과가 있음

핵심성과	단위성과	목표치		달성도 (%)	달성 내용 및 관련 분야의 기여도
	3) 도시 열발생·저감 모니터링 시스템의 세부모듈 개발	①	모니터링 시스템 연계방안 1개 도출	100	• 도시 열발생·저감 모니터링시스템 연계방안 구상을 도출함
		②	시스템 메뉴체계 안 1개 도출	100	• 1세무 모니터링 시스템의 연계를 위한 메뉴체계 검토 • 카테고리화를 통한 시스템 연계 자료 정리 및 검토 • 선택 또는 입력, 혼합방식 등 메뉴체계 안 도출
		③	대상지 미시교통량 및 대기오염 확산 도면	100	• 공간구문론(Space Syntax)를 활용한 분석 지료를 적용하여 연구대상지 교통량 산정 • 연구대상지의 교통량에 따른 대기오염 확산도면 도출
		④	서울시 미시교통량 산출	100	• 서울시 미시단위 도로망의 통합 접근성 지표 도출(Global Integration) • 서울시 미시교통량 산출 완료 • 미시교통량 고도화 배분방법 설정
		⑤	세부모듈 호환성 단위 검증	100	• 도시에너지사용량DB관리시스템(세부모듈)의 도시정보 데이터의 갱신 주기가 1년 단위로 API보다는 효율적인 SHP파일 형태로 모니터링 시스템에 직접 탑재 • 건물(전기)에너지 사용 현황을 자치구→법정동→100×100m→필지 단위 순으로 구축하여 거시-미시적 공간단위 표출 • 세부모듈에서 제공하고 있는 도시정보 데이터는 사용자가 직접적으로 접근할 수 있도록 조치함
		⑥	시스템 세부모듈 정확도 개선	100	• 시스템 상의 오류값, 미입력 값 등의 '0'값의 제거 또는 수정 • 도시정보의 시각적 제공의 효율성을 위한 고도화 완료 • 세부시스템 상에 탑재되어 있는 분석툴의 정확도 개선 • 모니터링 시스템과의 시각적 연계성을 위한 UI변경
(CTE 1-7) 저열섬도시 조성을 위한 제도 개선안	1) 도시열환경 계획·설계·관리 가이드라인	①	제도적 열환경 개선 분류요소 및 가이드라인 분류 결과	100	• 국계법(법령/시행령/시행규칙)상 열환경 관련 법·제도 및 국외(미국·독일·일본)의 열환경 관련 법·제도 검토를 통한 현행 공간계획관련 법·제도의 미흡함과 향후 법·제도 적용 가능성에 대한 가이드라인 기본방향 설정 • 향후 열환경 제도개선의 안착기반 조성을 위해 지자체 차원 도시계획 실무에서의 열환경 관련 업무사항 파악
		②	열환경 개선 계획·설계 가이드라인 설정을 통한 타세부와의 연계성 확보	100	• 연구성과 실용화 가능성 확보를 위해 지자체 도시계획 담당부서 인터뷰(2016년, 2017년), 도시계획 관련 민간기업 인터뷰(2017년)를 통해 도시 열환경 개선 가이드라인 기본방향 설정 • 도시 열환경 문제를 도시계획 관점에서 도시 공간의 위계·유형별 평가, 관리할 수 있는 현장 맞춤식 가이드라인을 개발함

핵심성과	단위성과	목표치		달성도 (%)	달성 내용 및 관련 분야의 기여도
		③	도시공간 위계별 유형별 가이드라인 개발 및 목표수준 설정	100	• 도시공간 위계별·유형별 개선 가이드라인 개발을 위해 국내외 관련 선행연구 조사를 통한 특장점을 파악하였으며, 이를 기반으로 공간위계별 가이드라인을 설정함 • 열환경 개선 가이드라인 현장 활용성 증대으를 위해 평가인증체계 지표선정과 연계하여 위계별로 가이드라인 Data Sheet를 작성함
		④	거시적/미시적 프로토타입 개발	100	• 지자체 도시계획담당 공무원 및 민간기업과의 업무협의를 통해 현장 맞춤식 가이드라인 프로토타입 개발 • 도시 열환경 저감 문제에 있어 도시계획에서 적용 가능한 열환경 저감 Data Sheet 추가를 통한 활용 범위 확대
	2) 열환경 제도 개선안	①	열환경 개선방안·녹색 인프라 장려제도의 현황 등 현황정보의 다양성 및 정확성 확보	100	• 국내·외 열환경 개선방안 사례조사를 통해 국내·외 열환경 개선방안 적용 실태 분석 및 열환경 개선 가이드라인과의 연계성 검토 • 향후 연구에서 사례조사 결과를 통해 도출된 개선방안 사례들을 공간 위계별 효과적으로 적용시킬 수 있도록 분류·적용할 계획임
		②	열환경 관련 공간계획의 제도적 사항 수정·도입 대안 검토	100	• 국내·외 열환경 관련 주요 법·제도 현황 비교·분석을 통해 도출된 시사점과 열환경 개선 관련 주요 키워드를 토대로 국내 현행 법·제도를 검색하여 분석하였으며, 분야별의 주요 법제도를 추가 분석 및 열환경 분석 제도적 기반환경을 검토함 • 저열섬도시 조성을 위한 법·제도의 수정·도입 대안 결과는 국토교통부 도시정책과의 도시계획 수립지침 및 각 지자체 조례 개선을 위한 자료로 활용함
		③	도시계획 수법에 활용할 수 있는 제도적 지원체계 개발	100	• 현행 공간계획 관련 법률(법률 30개, 행정규칙 31개, 조례 18개)상 열환경 개선요소를 포함한 법률을 검토하여, 열환경 관련 제도적 개선사항 5개를 도출함 • 이를 기반으로 현행 도시계획 수립지침(기본, 관리, 지구단위)를 중심으로 열환경 관련 내용 도입을 위한 개정안을 마련함
		④	현장 실무자 맞춤형 열환경 제도 종합개선안	100	• 공간계획관련법령 및 타 법령상 열섬저감 도시 조성관련 부문별 적용내용 제시 • 관련 현장실무자 맞춤형 계획, 제도 종합개선안 제시 • 도시 열환경 설계시스템을 적용하여 도시계획 위계별 계획 수립 시 관련 현장 실무자가 활용할 수 있는 근거로 법·제도의 개선안을 도출
		⑤	제도개선 컨설팅	100	• 기 개발된 도시 열환경 저감 제도종합개선

핵심성과	단위성과	목표치		달성도 (%)	달성 내용 및 관련 분야의 기여도
			제시		안을 기반으로 지자체 도시계획담당공무원의 의견을 수렴하여 제도 종합개선안을 수정·보완
(CTE 1-8) 기후변화 적응을 위한 도시 열 취약지역 개선안	1) 열환경 개선 평가인증체계 및 도시 열 취약지역 개선안	①	도시 열 취약지역 관리방안 기본방향의 논리적 적합성 확보	100	• 관련 유사연구를 검토한 결과 개별 건축물 및 근린주거 단위의 열환경 평가가 가능한 인증체계는 확인할 수 있었으나 도시공간의 전반적인 열 환경을 평가하기 위한 인증체계는 전무했으며 (1-1공동),(1-2협동),(2-2주관)의 연구결과를 토대로 도시 공간 위계에 따라 적용할 수 있는 인증지표를 대분류, 중분류, 소분류로 구분 • 향후 연구에서 공간 위계별 적용 할 수 있는 인증지표 보완·수정해나갈 예정
		②	열환경 개선 인증자표(항목) 개발의 실효성 확보	100	• 본 연구의 성과는 기존 시행되고 있는 평가인증체계와 달리 현행 도시계획 법·제도를 기반으로 하여 도시공간 위계별(도시기본계획, 도시관리계획, 지구단위계획)로 구분하여 도시 열 환경 평가 가능 • 열환경 평가에 적절한 지표(항목)을 설정하기 위해 선행연구 및 1-2협동, 2-2주관 연구결과 등 열환경 검토지표를 분류하고, 도시계획에 적용 가능한 지표와 도시계획 수립지침과 관련 있는 지표를 추출하여 현장에서 평가결과에 따라 대책방안을 마련할 수 있는 지표 선정
		③	평가인증지표 분류 및 유형화를 통한 평가인증체계 개발	100	• 평가인증체계 지표 개발과 선정을 위해 열발생·저감 관련 선행연구 결과를 기반으로 6단계 지표선정 과정을 실행함 • 최종 평가인증지표는 열발생·저감 산정 근거자료와 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션을 통한 분석가능한 지표를 중심으로 최종 19개 평가지표를 조정 및 선정하였음 • 선정된 지표를 활용하여 도시계획 위계별 평가인증체계를 개발함 • 개발단위사업 및 친환경 건축물 인증분야에 열섬저감 인증지표 활용 방안을 제시할 예정임

핵심성과	단위성과	목표치		달성도 (%)	달성 내용 및 관련 분야의 기여도
		④	열환경 개선 인증체계 구축	100	• 열섬현상 완화 기법 적용, 공원녹지, 바람길 조성 등 항목을 근린단위 G-SEED 인증기준으로 제안하여 녹색건축인증을 근린단위로 확대 시행할 수 있고, 열환경 개선 평가지표가 반영되도록 제도적 기반 마련
	2) 비즈니스 모델	①	비즈니스모델 유형별 분석의 타당성 확보	100	• 관련 유사연구의 충실한 검토와 비즈니스 모델 전문가 자문을 통해 국내외의 유사연구의 비즈니스 모델의 유형별 적용 가능한 방법론 및 향후 비즈니스모델 개발의 기본 방향 설정 • 향후 연구에서 비즈니스 모델의 형태를 결정할 계획
		②	국내외 시장 분석 및 연구성과 적용 가능 국가 분류·선별	100	• 법·제도적 근거를 제시함으로써 시스템의 도입 이유를 명확하게 명시, 열환경 설계시스템 기술 개발의 연구 결과와 연계하여 제도적 기반환경 조성방안 검토를 통해 도시 열환경 대응산업의 수요처에 대한 지원기반 마련 • 적용가능 목표시장 선정을 위해 국내·외 도시 열 저감을 위한 대응산업 조사 • 대응산업 별 사회적 요구를 파악하기 위해 국내 한국언론재단의 빅데이터를 대응산업별 키워드 검색을 활용하여 분석 실시
		③	비즈니스 로드맵 수립 및 프레임워크 개발	100	• 시장 포트폴리오 전략 기반 핵심 목표시장 3개 유형으로 분류, 단계적 사업확장전략인 3-STEP 비즈니스모델 개발을 위한 프레임워크 개발 및 비즈니스모델 로드맵 수립
		④	비즈니스모델의 실용성 확보	100	• 세분화 시장별 전략적 우선순위를 평가하기 위한 평가요인으로 상용화 용이성, 플랫폼 확장성의 2요인으로 구성하였음 • 열환경 설계시스템 산업환경 분석을 통해 시장 세분화를 실시한 결과 총 13개의 잠재시장이 도출됨

나. (2세부) 열섬저감 도시공간 설계기술 개발

핵심성과	단위성과	목표치		달성도 (%)	달성 내용 및 관련 분야의 기여도
(CTE 2-1) 도시기상을 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술	1) 도시 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 (분석엔진)	①	선행연구 검토 및 요소모델 알고리즘 기획	100	• 국내외 선행연구사례를 광범위하게 조사・분석하여 검증된 요소기술들을 도출하고 이들이 요소모델 알고리즘으로 구현될 수 있도록 기획함 • 기획된 요소모델 알고리즘은 서울규모의 거시적・미시적 고해상도 해석에 적용가능하며 이는 기 개발된 사례와는 차별화된 특성임
		②	바람장 및 온도장 모델엔진 알고리즘 개발, 모델링 DB 구축	100	• 선행연구 검토결과와 기획된 요소기술들을 토대로 바람장 및 온도장 모델엔진 구현 • 도시 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션에 필요한 DB 구축
		③	요소모델을 통합하기 위한 통합모델엔진 개발 열원모델엔진 I/F 및 중규모 기상모델엔진 I/F 개발	100	• 도시 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션의 3가지 요소모델 결과들이 서로 유기적으로 연계되어 정확한 열환경 분석 및 예측이 가능하도록 통합모델엔진 개발 • 열원모델엔진과 통합모델엔진의 연동을 위한 열원모델엔진 I/F 개발 • 세 가지 요소모델로 구성되는 기상 모델엔진을 통합하고, 통합된 중규모기상모델엔진의 결과를 통합모델엔진에 유기적으로 적용시키기 위한 중규모기상모델엔진 I/F
		④	시뮬레이션 요소기술 검증 I: AWS 기온실측치 대비 시뮬레이션 오차 FAC2 80%	100	• 도시 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 모델엔진 성능의 1단계 검증 • 그림자 산정과정에서의 연산속도 개선을 위해 새로운 알고리즘을 개발하고 검증함 • 그림자 산정 알고리즘기반 천공률 산정 알고리즘 개발 및 검증 • 건물분포가 그림자/천공률 산정 알고리즘에 가하는 영향에 대한 상세한 정량 검토
		⑤	시뮬레이션 요소기술 검증 II 및 고도화: 미시-거시 연동 열환경 시뮬레이션 결과 도출	100	• 그림자 산정 알고리즘 정확도 개선 및 검증 • 열확산 시뮬레이션 바람장 산정기능 개선 • 건물정보 파일 입력기능 고도화를 통하여 시뮬레이션 연산시간 단축 • 건물 방향/도로 정보를 입력할 수 있도록 사용자 정의 건물, 토지피복 파일 입력기능 개선
	2) 기후변화 모델 통합기술 (분석엔진)	①	선행연구 검토 및 요소모델 알고리즘 기획	100	• 기후변화의 심각성이 대두되는 현 상황을 반영하여 도시 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술에 기후변화를 고려할 수 있도록 기후변화 모델을 통합할 수 있는 구현방안을 기획함
		②	기후변화 시나리오 모형 개발	100	• 기후변화시나리오 데이터를 토대로 모델링 시점에 대해 모델링 대상공간으로 유입되는 외기조건과 배경조건을 설정함으로써 기후변화가 반영된 도시열환경 기온분포를 생성하도록 기후변화 시나리오 모형 구현
		③	기후변화 시나리오	100	• 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션 모델과의

핵심성과	단위성과	목표치		달성도 (%)	달성 내용 및 관련 분야의 기여도
			모형 I/F 개발		연계를 위해 기후변화시나리오 모형 I/F 개발 • 기후변화시나리오 데이터가 반영된 도시열환경 온도장 생성
		④	시뮬레이션 요소기술 검증 I	100	• 기후변화 시나리오 적용 모델의 연산속도 개선 • 기후변화 모델 시뮬레이션 결과 분석 및 기후변화 시나리오 DB 검토 • 기후변화 모델 시뮬레이션 결과 분석 및 기후변화 시나리오 DB 검토
		⑤	시뮬레이션 요소기술 검증 II	100	• 개선된 엔진의 기후변화 시나리오 적용기능 검증 • 기후변화 시나리오 DB를 읽을 때 발생 가능한 잠재적 에러소스 수정
		⑥	시뮬레이션 요소기술 고도화	70	• 그림자 효과 on/off 기능구현 • 사용자 설정 고도 기능과 기후변화 시나리오 모델 연동 완료
	3) 웹환경 GIS 기반 사용자 GUI	①	웹 기반 이종 OS 서버·클라이언트 구조 기획	100	• 도시 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션 기술은 고도의 전문화된 이론에 기초하여 해당 전문가만이 사용가능함. 이를 도시계획 및 설계자, 정책입안자 등 비전문가가 쉽고, 편리하게 사용할 수 있도록 사용자 GUI환경 구현방안 수립 • 개인용 PC뿐만 아니라 웹환경에서도 사용할 수 있도록 웹 기반 이종 OS 서버・클라이언트 구조를 기획함
		②	웹 기반 이종 OS 서버·클라이언트 구조 설계: 웹서비스 GIS엔진	100	• 웹환경 기반 GUI 기본 프레임 구현 • GIS엔진 구현(기본 지형 DB 구축, 지도 서비스 환경 구축) • 이종 모델을 위한 서버/클라이언트 구조 설계 완료
		③	열환경모델 내 웹서비스 GIS DB 구성요소 개발	100	• 도시 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술과 기후변화 모델 통합기술의 연구결과를 표출하기 위한 웹서비스 GIS DB 구성요소 개발
(CTE 2-2) 열원 역추적 모델링 기술	1) 열원 역추적 분석 모델링기술 (분석엔진)	①	선행연구 검토 및 요소모델 알고리즘 기획	100	• 국내외 선행연구사례를 심도있게 조사・분석하여 실용가능한 요소기술들을 도출하고, 이들이 정추적모델링 기술과 통합된 모델 알고리즘으로 구현될 수 있도록 기획함 • 기획된 요소모델 알고리즘은 서울규모의 거시적・미시적 고해상도 해석에 적용가능
		②	도시규모 열원 역추적 모델엔진 개발	100	• 도시 규모에서 기상장 정보를 이용한 역시간 이류확산 계산을 통해 탐지된 열의 발생 정보를 추적할 수 있는 열원 역추적 모델 개발
		③	관리규모 열원 역추적 모델엔진 개발	100	• 관리규모에서 기상장 정보를 이용한 역시간 이류확산 계산을 통해 탐지된 열의 발생 정보를 추적할 수 있는 열원 역추적 모델

핵심성과	단위성과	목표치		달성도 (%)	달성 내용 및 관련 분야의 기여도
					개발 • 열원 결정인자 제어를 위한 역추적 알고리즘 수립 및 구현
		④	모델엔진 알고리즘 검증 및 시뮬레이션 요소기술 고도화: 열원 역추적 모델링 결과 도출	100	• 도시규모와 관리규모 열원 역추적 모델을 운량 보정기반 모델로 고도화 • 운량 보정모듈이 탑재된 열원 역추적 모델 시뮬레이션 및 검증
	2) 열섬저감 도시공간 설계시스템과의 연계기술	①	이종모델 설계 기획	100	• 도시 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션 기술이 열섬저감 도시공간 설계시스템과 연동되어 원활하게 운영될 수 있도록 가교역활을 하는 이종모델을 기획하고 설계방안을 수립함
		②	이종모델 설계: 세부모듈 사용자 화면, 세부모듈 구동메뉴 체계	100	• 분석 시뮬레이션 기술의 각 요소모델의 통합을 위한 시스템 환경 구축 및 구동메뉴체계 설계
		③	이종모델 개발: 세부모듈 베타버전	100	• 열원 역추적 및 열환경 모델 제어를 위한 사용자 인터페이스 구현 • 열섬저감 도시공간 설계 시스템과의 통합 시스템 환경구축을 위한 연계 시스템 개발 (원격서버 구축, 입/출력 규약 및 통신 프로토콜 확립)
		④	이종모델 개발: 세부모듈 버전 1.0	100	• 이종모델 세부모듈 베타버전 업그레이드 (세부모듈 버전 1.0) • 연계기술 향상 : 기후변화 시나리오 옵션, 사용자정의 토지피복, 바람장 등 연계기능 추가
		⑤	이종모델 개발: 세부모듈 버전 2.0	100	• 이종모델 세부모듈 버전 1.0 업그레이드(세부모듈 버전 2.0) • 현열 모델 SSM의 일반화에 따른 연동 인터페이스 고도화 • 연동 인터페이스 보완에 따라 사용자가 임의의 토지피복 특성을 직접 정의하여 도시열환경을 분석할 수 있는 환경 제공 • 기후변화 시나리오, 현열 분포 등 그 밖의 입·출력 기능 추가/보완
		⑥	검증 및 고도화	70	• 그림자 효과 제어 기능 추가 • 출력 해상도 및 출력 고도 설정 기능 추가
	3) 역추적기반 열환경시뮬레이션 정확도 향상 기술(I/F엔진)	①	역추적기반 열환경시뮬레이션 I/F엔진 알고리즘 설계: 베타버젼 I/F엔진	100	• 시뮬레이션 정확도를 향상시키는 역추적 알고리즘 확립 및 베타버전 엔진개발
		②	시뮬레이션 요소기술 검증 I: AWS 기온실측치 대비 모델링 오차 NRMSE 20%이내	100	• 역추적에 의한 열원보정량이 열원모델의 예측범위를 과도하게 이탈하지 않는 알고리즘 구성 • 열원모델의 불확실한 입력인자를 합리적으로 추정함으로써 목표수준까지의 모델링 정확도 제고

핵심성과	단위성과	목표치		달성도 (%)	달성 내용 및 관련 분야의 기여도
		③	시뮬레이션 요소기술 검증 II: AWS 기온실측치 대비 모델링 오차 NRMSE 15%이내	100	• 기존 알고리즘을 운량 보정기반 열원 역추적 모델 기반 정확도 향상 알고리즘으로 수정 • 수정된 알고리즘 적합성 검토 • 운량보정 강도에 따라 결과의 정확도가 달라짐에 따라 운량에 의한 영향 검토
		④	시뮬레이션 요소기술 고도화	80	• 역활용 목적에 부합되는 기능의 적합성 확보를 위한 역추적 기반 정확도 모듈 테스트 및 코드리뷰
(CTE 2-3) 도시기후구역 (LCZ) 유형별 열섬저감을 위한 도시계획·설계 의사결정지원기술	1) 도시기후구역 (LCZ)유형화	①	유형화 지표 선정의 합당성 확보	100	• 관련 유사연구의 충실한 검토를 통해 도시기후구역 유형화에 적용가능한 예비지표를 도출함
		②	유형화 기법의 논리적 타당성 확보	100	• 통계적 분석방법에 의한 기후구역 유형화 기법을 제시함 • 수립된 유형화 기법의 적용 가능성을 서울시를 대상으로 Pre-Test(2차년도 연구내용)하여 연구대상지의 기후구역을 유형화하기 위한 핵심 변수를 도출함
		③	연구대상지 도시기후구역 (LCZ) 유형화결과: 도시기후구역 유형별 기온차와 공간적 특성도출	100	• 연구대상지 기후구역을 통계적 방법에 의해 8개로 구분하고 유형별 기온차와 공간적 특성 도출함 • 도시기후구역 유형화를 통해 열환경 개선안 수립이 필요한 지역을 공간적으로 규명하고 그 원인을 확인함
	2) 열섬저감을 위한 도시계획·설계 및 관리요소의 입지가능지 및 우선순위 분석기술	①	열섬저감 요소와 도시계획·설계요소의 관계성 확보	100	• 선행연구를 통해 열 저감 측면에서 그레이, 그린, 블루 인프라를 재정의하고 각 요소별 도시기온과의 관계를 검토함 • 국토의 계획 및 이용에 관한 법률에 제시된 도시계획시설을 토대로 그레이, 그린, 블루 인프라 유형으로 발전시킴
		②	열섬저감을 위한 도시계획·설계 및 관리요소의 입지분석 알고리즘 (관리요소의 최소규모 3m,, 도시계획·설계 및 관리요소의 열발생 기여도와 저감기여도 고려)	100	• 관련 법·제도 기반 도시계계획·설계 및 관리요소 입지분석 알고리즘 작성하고 요소별 입지가능지 결과를 도출함 • 열 취약지역(1-1공동 연계)에 적합한 도시계계획·설계 및 관리 요소 선정과 적절한 입지가능지 공간의사결정을 지원함 • 열섬저감을 위한 도시계획·설계 및 관리요소의 우선순위분석 알고리즘을 수립함
		③	도시계획·설계 및 관리요소의 기온저감효과 산정 (미시, 거시)	100	• 도시계획·설계 및 관리요소별 기온저감 효과를 분석함

핵심성과	단위성과	목표치		달성도 (%)	달성 내용 및 관련 분야의 기여도
		④	도시계획·설계 및 관리요소의 경제적 효과 도출	100	• 미시 및 거시 대상지별 비용 및 비용대비 기온저감 효과를 산출함 • 평가항목별(기온저감, 비용효과, 비용대비 기온저감 효과) 대상지 우선순위 적용 계획요소를 도출함
		⑤	도시기후구역 (LCZ)별 열섬저감을 위한 도시계획·설계 및 관리요소의 우선순위 도출	100	• 대상지별 열섬저감 도시계획·설계 요소 적용에 따른 시장재편익 및 비시장재편익을 산정함 • 대상지별 열섬저감 도시계획·설계 요소별 민감도분석을 통해 경제성 향상을 위한 핵심 파라미터를 도출함 • 대상지별 열섬저감 도시계획·설계 요소의 경제성 평가를 통해 도시계획·설계 및 관리요소의 우선순위를 도출함
	3) 도시개발밀도 변화에 따른 열쾌적성 산정기술	①	열 성능 기반 허용가능 개발밀도 산정 알고리즘의 논리적 타당성 확보	100	• 열 성능측면에서 허용가능개발밀도 개념을 정립하고 개발밀도 산정을 위한 알고리즘을 수립함 • 도시개발밀도변화(건폐율,용적률)에 따른 열쾌적성(PMV,PET)산정 및 비교 분석함
		②	건폐율, 용적률 변화에 따른 열쾌적성 산정(미시)	100	• 미시적 도시공간에 대해 현황과 도시개발밀도변화(개발계획안·허용가능 개발용량 적용) 시의 열쾌적성 산정 후 비교·분석을 통한 개선방향을 도출함 • 차후 도시기후구역별 열쾌적성 개선방안 도출을 위한 방향 및 기반을 마련함
		③	도시계획·설계 및 관리요소의 열쾌적성 개선효과 도출	100	• 도시 계획·설계 관리요소별 열쾌적성 개선효과 및 적용 우선순위를 도출함
		④	도시기후구역 (LCZ)별 도시개발밀도에 따른 열쾌적도 산정 (도시계획·설계 및 관리요소 고려)	100	• 도시기후구역(LCZ) 3개 대상지별 현황 및 도시개발밀도 변화(현 계획안 포함) 및 도시계획·설계 및 관리요소 적용에 따른 열쾌적성 시뮬레이션 결과를 도출함
		⑤	도시기후구역 (LCZ) 유형별 열쾌적성 개선안도출 (3개 대상지에 대한 B/C 분석결과 제시)	100	• 열쾌적성 산정결과를 반영한 비시장재편익(주민쾌적성 향상효과) 산정 • 경제성분석 결과를 바탕으로 도시기후구역 유형별 열쾌적성 개선안 우선순위 도출
	4) 열섬저감 도시공간 설계시스템통합·연계기술 I	①	연계 프레임워크 I 수립	100	• 도시 열환경 개선을 위한 의사결정프레임워크를 개발함 • 의사결정프레임워크 구현을 위한 통합연계체계 수립 및 명세서를 작성함
		②	현재상태	100	• 연계프레임워크에 기초하여 기능구성도를

핵심성과	단위성과	목표치		달성도 (%)	달성 내용 및 관련 분야의 기여도
			(개선안적용 전) 열환경 분석 결과 (기온도)		작성, 현 시점에 대한 열환경 분석을 실시함
		③	현재상태 열쾌적성 산정 도출	100	• 도시 열환경 분석 시뮬레이션의 기상 시뮬레이션 결과(온도,풍속)와 공간DB를 복합 고려하여, 열섬저감 도시공간 설계시스템 내 열쾌적성 산정기술을 구현함
		④	도시기후구역 (LCZ)별 열쾌적성 산정	100	• 열섬저감 도시공간설계시스템을 활용하여 도시기후구역(LCZ) 3개 대상지별 현황 및 도시개발밀도 변화(현 계획안 포함) 및 도시계획·설계 및 관리요소 적용에 따른 열쾌적성을 산정함
		⑤	열섬저감 도시공간 설계시스템 고도화(공무원 의견 반영)	100	• 사용자 의견반영 열섬저감 도시공간 설계 시스템 고도화
		⑥	열섬저감 도시공간 설계시스템 홍보 및 기술보급 자료	100	• 사용자 의견반영 열섬저감 도시공간 설계 시스템 활용성 확보
(CTE 2-4) 기후변화 시나리오 기반 도시계획·설계 의사결정지원 기술	1) 기후변화 시나리오와 열환경 개선을 위한 도시계획·설계 연동체계	①	도시설계와 열섬저감 측면의 의사결정 정의 및 범위 설정/열환경 개선 의사결정의 궁극적 목적 설정	100	• 관련 유사연구의 충실한 검토를 통해 도시기후구역 유형화에 적용가능한 예비지표를 도출함 • 선행연구 및 국가정책의 검토를 통해 도시계획·설계와 열섬저감 측면에서 공간의사결정의 궁극적 목적을 국민이 행복한 저열섬 도시공간 조성으로 설정함
		②	도시·건축법규 및 제도에 따른 도시공간 유형화(최소공간단위: 필지)	100	• 도시·건축법규 및 제도에 따른 필지기준 용도지역별(주거, 상업, 공업) 허용가능 개발용량 산정 의사결정트리 작성 및 시뮬레이션 결과를 도출함 • 도시공간 내 법정 건축물 용도를 고려한 개별필지 개발 패턴과 아파트 및 복합개발 단지의 단지패턴 유형화 결과를 도출함
		③	기후변화 시나리오 기반 도시계획·설계 및 관리요소 도출	100	• 선행연구 고찰을 통한 열섬저감 기법에 대한 정량적 효과를 도출함 • 기후변화 시나리오 기반 도시계획·설계 및 관리요소를 유형화함
		④	기후변화 시나리오 기반 열섬저감 및 열환경 개선을 위한 계획·설계기법 유형화(미시적 개선안 도출)	100	• 기후변화 시나리오 기반 서울시 행정동 단위 열환경 취약지를 선정함 • 열섬저감 기법을 통한 개선안 작성 및 개선안의 효과를 도출함
	2) 공간의사결정을 위한 도시·건축 법규 및 제도	①	용도지역별 허용가능 개발용량 산정 공간의사결정트리	100	• 도시·건축법규 및 제도에 따른 도시공간(필지기준) 허용가능개발용량 산정 의사결정트리 작성 및 사례연구를 실시함

핵심성과	단위성과	목표치		달성도 (%)	달성 내용 및 관련 분야의 기여도
	해석 알고리즘		시뮬레이션(주거, 상업, 공업지역 등)		• 사례대상지 대상 도시·건축법규 적용 메커니즘을 적용하여 허용가능 개발용량을 산정함 • 주거, 상업, 공업지역으로 용도지역을 구분하여 의사결정트리 마련 후 시뮬레이션 결과 값을 도출함
		②	법정 용도를 고려한 건축물 및 단지 패턴 유형화	100	• 개별건축의 법정용도를 고려하여 대지규모, 건축물 형태에 따라 유형화값(건폐율, 용적률, 층수 등)을 도출함 • 단지형개발에 대해 대지규모별, 주동형태별 유형화 및 대표적 단지패턴을 도출함
		③	정비사업, 개발사업, 지구단위계획이 반영된 허용가능 개발용량 시뮬레이션 결과 도출	100	• 용도지역별 기준용적률에 대한 기준을 적용한 유형화 결과를 도출함 • 실용화 단계에서 단지형 개발 알고리즘의 활용성을 고려함
	3) 기후변화 시나리오 기반 열섬저감 및 열환경 개선을 위한 계획·설계기법 유형화	①	미시적 열환경 개선안별 효과 도출(기온저감 효과)	100	• 기후변화 적응 차원에서 서교 일부지역을 대상으로 개선안 수립, 개선안별 기온저감 효과를 확인함
		②	거시적 열환경 개선안별 효과 도출(기온저감 효과)	100	• 기후변화 시나리오 기반 거시적 차원의 미래 열 취약지역 도출 및 열환경 개선을 위한 도시계획·설계안을 선정함 • 열환경 개선을 위한 도시계획·설계기법의 효과를 검출함
		③	현시점 개선안의 비용대비 기온저감 효과 도출 (거시: 0.1℃, 미시: 0.5℃ 저감)	100	• 현시점 및 도시공간변화(건축물, 피복)를 적용하여 현황 및 도시계획·설계기법 적용 미효과를 산정함
		④	기후변화 시나리오 고려 중·장기적 차원 개선안의 비용대비 기온저감 효과 도출 (거시: 0.1℃, 미시: 0.5℃ 저감)	100	• 기후변화 시나리오 및 도시공간변화를 고려하여 열환경 개선을 위한 도시계획·설계기법 적용 및 효과를 산정함
		⑤	경제성 분석(B/C) 기반 현시점 개선안의 실현가능성 검증(거시: 0.3℃, 미시: 1℃ 저감)	100	• 기후변화 시나리오 및 도시공간변화를 고려하여 열환경 개선을 위한 도시계획·설계기법 적용 및 효과를 산정함
		⑥	경제성 분석(B/C)	100	• 기후변화 시나리오 및 도시공간변화를 고

핵심성과	단위성과	목표치		달성도 (%)	달성 내용 및 관련 분야의 기여도
			기반 기후변화 시나리오 고려 중·장기적 차원 개선안의 실현가능성 검증(거시: 0.3℃, 미시: 1℃ 저감)		려하여 열환경 개선을 위한 도시계획·설계 기법 적용 및 효과 산정 후 경제성 분석 결과 기반 현시점 개선안의 실현가능성 검증
	4) 열섬저감 도시공간 설계시스템통합·연계기술Ⅱ	①	연계 프레임워크Ⅱ 수립	100	• 의사결정프레임워크에 기초하여 연계 프레임워크 Ⅱ를 수립하고 기능 구현을 위한 기능 명세서를 작성함
		②	허용가능 개발용량 고려 열환경 분석(기온도)	100	• 허용가능 개발용량 분석 시뮬레이션 결과 고려하여 도시 열환경 시뮬레이션의 기온차를 확인함으로써, 도시공간 변화에 따른 열환경 변화를 확인함
		③	시·군·구 대상 열섬저감 도시공간 설계시스템을 활용한 열환경 평가(서울시, 대구시 등)	100	• 열섬저감 도시공간 설계시스템을 활용하여 실제 도시(서울시)의 공간(건축물 위치와 형태, 피복의 종류 등) 변화에 따른 기온 변화 확인 및 검증함
		④	열섬저감 도시공간 설계시스템 고도화(공무원 의견 반영)	-	• 사용자 의견반영 열섬저감 도시공간 설계시스템 고도화
		⑤	열섬저감 도시공간 설계시스템의 홍보 및 기술보급 자료	-	• 사용자 의견반영 열섬저감 도시공간 설계시스템 활용성 확보
(CTE 2-5) 열섬저감 도시공간 설계시스템 소프트웨어 (S/W)	표준 GIS 명세 상호운용성	①	OGC WFS 명세 호환성	100	• 열섬저감도시공간설계시스템의 핵심 엔진인 U-GIS 엔진에 대한 OGC 표준 인증 선행 달성(3차년도 완료) • OGC 표준 체크리스트 기반 자체점검을 실시(하여 시스템의 OGC 표준 호환성을 지속 준수함
		②	OGC WMS 명세 호환성	100	• 열섬저감도시공간설계시스템의 핵심 엔진인 U-GIS 엔진에 대한 OGC 표준 인증 선행 달성(3차년도 완료) • OGC 표준 체크리스트 기반 자체점검을 실시(하여 시스템의 OGC 표준 호환성을 지속 준수함
	S/W 사용성	①	S/W 사용성	100	• 주관기관 미 공동연구기관의 연구내용에 따른 요구사항을 반영하여 S/W 사용성 확보함

핵심성과	단위성과	목표치		달성도 (%)	달성 내용 및 관련 분야의 기여도
(CTE 2-6) 도시열환경 시뮬레이션 및 도시계획/설계 의사결정지원 연동모듈	공간/속성 정보 입출력 호환성	①	공간/속성 정보 입출력 호환성	100	• 국토공간정보포털 내 제공 DB(건축물 정보, 지적정보, 토지피복정보. DEM 등)와의 호환성을 확보 완료함
	연동모듈 성능	①	초당처리속도	100	• 목표치인 초당 처리속도 200TPS를 월등히 상회하는 585TPS의 초당 처리속도 확보함
		②	자원사용률	100	• 목표치인 자원사용률 60~65% 이하 사용에 대하여 CPU는 56%, MEM은 63% 사용하여 성능 확보 및 검증 완료함

제2절. 양적목표 달성도(연구단 총합)

1세부정량성과 증빙목록

구분	1세부		
	계획	달성	비고
계	**102 (매출액 제외)**	**193 (매출액 제외)**	-
SCI논문 (국외)	12	14	2건 추가달성
비SCI논문 (국내·외)	11	24	13건 추가달성
학술발표	24	85	61건 추가달성
특허출원	5	9	4건 추가달성
특허등록	6	5	-1건
인력양성 (석사)	9	14	5건 추가달성
인력양성 (박사)	2	3	1건 추가달성
S/W	10	14	4건 추가달성
시제품	1	7	6건 추가달성
보고서	1	1	100%
DB구축	3	3	100%
성과홍보	4	8	4건 추가달성
정책반영	10	11	1건 추가달성
설계기준 지침반영	2	1	-1건
현장적용	2	3	1건 추가달성
기술실시	0	0	-
매뉴얼	0	0	-
기술이전	1	1	100%
매출액 (억원)	20	21.5	100%

2세부 정량성과 증빙목록

구분	2세부		
	계획	달성	비고
계	**84 (매출액 제외)**	**123 (매출액 제외)**	
SCI논문 (국외)	6	8	2건 초과달성
비SCI논문 (국내·외)	11	17	6건 초과달성
학술발표	8	39	31건 초과달성
특허출원	6	6	100%
특허등록	4	6	2건 초과달성
인력양성 (석사)	9	12	3건 초과달성
인력양성 (박사)	3	3	100%
인력양성 (학사)	0	1	1건 추가달성
S/W	15	18	3건 초과달성
시제품	1	2	1건 초과달성
보고서	11	11	100%
DB구축	2	2	100%
성과홍보	1	10	9건 초과달성
정책반영	1	0	-1건
설계기준 지침반영	1	1	100%
현장적용	1	2	1건 초과달성
기술실시	3	3	-
매뉴얼	1	1	100%
매출액 (억원)	27.7	약 1.90	약 -25.80

제4장 연구개발성과의 활용계획



제4장 연구개발성과의 활용계획

제1절. (1세부) 도시열발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링 기술개발



▌그림 4–210 ▌ 연구성과 활용계획

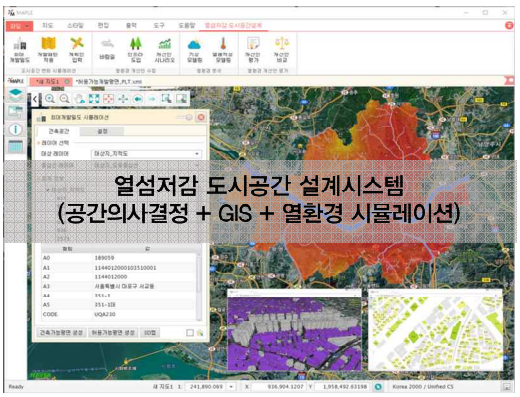
▌표 4–116 ▌ 핵심성과별 활용계획

핵심성과	수요처	활용계획
(CTE 1-1) 도시공간의 열환경 평가지표	• 중앙정부 및 지자체 (열환경 측정) • 민간건설기업, 엔지니어링기업(열환경 전문가용 기후 측정 관련 분석)	• 자동기상관측장비 설치를 통한 기온 현황 실측, 도시 기후 환경 분석 • 지도화 기술에 근거한 도시열환경 평가기준 활용
(CTE 1-2) 기후변화 시나리오 기반 열 취약지역 평가기술	• 중앙정부 및 지자체(도시계획, 환경 관리 지원 정책 관련)	• 열환경 개선을 위한 재원투입 우선순위 결정 활용 • 도시공간 열환경 개선을 위한 관리방안 수립
(CTE1-8) 기후변화 적응을 위한 도시 열 취약지역 개선안	• 민간건설기업, 엔지니어링기업(열환경 개선 관련 기술업체)	• 녹색건축인증의 확대시행(열섬현상 완화 기법 적용 항목 제안)제안으로 열환경 개선 관련 기술사업 활성화

핵심성과	수요처	활용계획
(CTE 1-3) 도시공간 요소별 열수지 산정기술	• 국토교통부, 환경부	• 도시 열환경 악화로 인한 온열질환 대책/예방을 위해 재난관리 기초자료로 활용
	• 대도시 지자체의 도시계획, 건축, 공원녹지 등 관련 부서	• 도시 개발사업 수행시 공간적 특성에 따른 사업으로 인한 영향 평가에 활용 • 모니터링 개발 기술의 국제적 시장 진출/확장 가능
	• 도시, 환경, 건축, 조경 등 관련 학과 (열환경 관련 교육 및 연구)	• 도시 열섬 메커니즘에 대한 교육 및 연구도구로 활용 • 지역규모 공간단위의 열수지 모델에 3차원 도시공간 구성요소를 더해 진보된 기술 개발의 기초 모델로 활용
(CTE 1-4) 열 취약지역 원인 및 개선효과 산정기술	• 국토교통부, 환경부, 보건복지부	• 열환경 개선을 위한 재원투입 우선순위 결정에 활용 • 도시공간 열환경 개선을 위한 관리방안 수립 활용
	• 건설 관련 공기업, 민간건설회사	• 열환경 취약지 분석 방법론 보급
(CTE 1-5) 도시 열저감 요소별 에너지 사용량 저감 기여도 분석	• 도시관련 전문 연구업체 및 민간기업, 국토교통부 녹색건축과, 도시건축/교통계획 관련 업체(부서)	• DB관리시스템은 다양한 도시정보를 조회할 수 있어 향후 에너지소비량 데이터 조회와 추정, 분석지원 분석 • • 도시 열저감과 에너지 사용량 저감 정책 대안을 비교 및 평가 시 활용 가능
(CTE 1-6) 도시 열 개선에 따른 에너지 저감량 산정기술	• 도시건축/교통계획 관련 업체(부서), 국토교통부 도시정책과	• 에너지 저소비 도시공간구조를 조성함에 있어 준거자료로 활용 가능 • 미시적 단위교통량의 추정 및 배분으로 도시교통과 도로계획에서 주거환경 개선을 위한 준거자료로 활용 가능 • 미세먼지 저감 정책, 거시·미시 교통량 예측과 교통에너지 소비량 추정으로 교통에너지 관리에 있어 방향성 제시 가능
(CTE 1-7) 저열섬 도시 조성을 위한 제도 개선안	• 국토교통부, 환경부, 기상청, 산림청(저열섬도시 및 도시계획 제도 보완)	• 국가차원에서 활용할 수 있는 친환경 도시 개발 관련 계획기준 및 가이드라인의 과학화·실용화
	• 지자체(도시기본계획 및 도시관리계획 수립)	• 열환경을 고려한 계획·설계·관리 방안 제시 • 가로수 식재계획, 생태하천조성계획 등 지자체 특성에 맞는 열섬저감 계획안 제시 • 주민 설명자료의 과학적 근거로 활용
	• 민간건설기업, 엔지니어링 기업(도시기본계획 및 도시관리계획 수립)	• 민간기업의 도시계획·설계안 작성시 심의를 대비한 사전분석 근거자료로 활용

핵심성과	수요처	활용계획
(CTE 1-8) 기후변화 적응을 위한 도시 열 취약지역 개선안	• 국토교통부 (도시 및 환경계획 제도 보완·정립)	• 기성 도시공간의 열환경 개선을 위한 관리방안 수립 • 공간계획 관련 법·제도의 명문화 도입 활용
	• 지자체 (도시기본계획, 도시관리계획, 지구단위계획 등 계획의 관리 및 심의·허가에 따른 사전 검증)	• 도시계획·설계 관련 각종 평가 및 심의활용 • 공간계획 관련 지자체 조례개정을 통한도입
	• 건설 관련 공기업 (개발사업의 우선순위 의사결정지원)	• 열섬저감 도시조성사업의 공익적 가치 기여도 평가와 연계한 사업재원 조달방안 수립에 활용
	• 도시, 환경, 건축, 조경 등 관련 학과 (열환경 관련 교육 및 연구)	• 평가인증항목 및 체계를 활용한 도시 열환경 관리 교육 및 연구도구로 활용

제2절. (2세부) 열섬저감 도시공간 설계기술 개발



수요처	• 중앙정부 및 지자체 – 국토교통부, 환경부, 기상청, 산림청 – 지자체 도시계획, 건축, 공원녹지 부서	• 건설관련 공기업 및 민간기업 – 건설 관련 공기업 – 민간건설회사, 엔지니어링 등	• 연구원 및 대학교 – 정부출연·지자체 법인 연구기관 – 도시, 환경, 건축, 조경 등 관련학과
활용방안	• 도시 열환경 변화 예측, 열환경 악화 원인 규명 및 관리 • 기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 중·장기적 도시계획·설계·관리 • 관련 정책 수립 및 법·제도 정비 • 친환경 도시조성 기준 가이드라인 과학화 • 도시계획·설계(안)의 열환경 심의 지원 도구	• 저열섬도시 조성을 위한 도시계획·설계, 건축, 토목, 조경 등 의사결정 지원 • 도시계획·설계 (안)의 심의 전 열환경 적정성 사전 평가도구 • 도시(단지)개발사업 수행 시 공간 열환경 특성에 따른 사업타당성 검토	• 도시공간의 기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 과학적 분석, 도시계획·설계 연구 지원 • 도시 열발생·저감 메커니즘, 저열섬 도시 조성 방안 등 강의·연구 도구

▎그림 4-211 ▎ 연구성과 활용계획

▌표 4-117 ▌ 핵심성과별 활용계획

핵심성과	수요처	활용계획
(CTE 2-1) 도시기상을 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술	• 지자체 • 민간건설기업, 엔지니어링기업	• 자체 활용계획 : 해당 S/W 기반 용역(도시계획 용역)시 S/W를 활용한 컨설팅이 가능하도록 기관간 협약 완료 • 타 기관 대상 활용계획 : 회사에서 추진 중인 스마트도시 계획 및 스마트도시건설사업 컨설팅시 해당 시스템의 홍보 및 권고를 통해 환경분야 스마트도시서비스로 구축 유도
(CTE 2-2) 열원 역추적 모델링기술	• 지자체 • 민간건설기업, 엔지니어링기업	• 자체 활용계획 : 해당 S/W 기반 용역(도시계획 용역)시 S/W를 활용한 컨설팅이 가능하도록 기관간 협약 완료 • 타 기관 대상 활용계획 : 회사에서 추진 중인 스마트도시 계획 및 스마트도시건설사업 컨설팅시 해당 시스템의 홍보 및 권고를 통해 환경분야 스마트도시서비스로 구축 유도
(CTE 2-3) 도시기후구역 (LCZ) 유형별 열섬저감을 위한 도시계획·설계 의사결정지원기술	• 국토교통부, 산림청 (도시기본계획, 도시관리계획, 지구단위계획 등 계획의 관리 및 심의·허가에 따른 사전 검증)	• 인구, 시가화용지, 시가화예정용지, 토지 • 이용계획, 용도지역·지구 등의 주요 계획 지표 산정시 도시 열환경 고려에 따른 기초자료 로 활용
	• 민간건설기업, 엔지니어링기업 (지구단위계획 및 개별 개발사업 계획시 도시 열섬저감을 위한 실천적 방안 수립)	• 건축·토목·조경 관련 조성방안 제시 • 도시(단지) 개발사업 수행시 공간적 특성에 따른 사업타당성 검토 지원
	• 도시, 환경, 건축, 조경 등 관련 학과 (열환경 관련 교육 및 연구)	• 도시 열섬 메커니즘, 저열섬도시 조성에 대한 교육 및 연구도구로 활용
(CTE 2-4) 기후변화 시나리오 기반 도시계획·설계 의사결정지원기술	• 건설 관련 공기업, 지자체 도시공사 (도시기본계획, 도시관리계획, 지구단위계획 등 계획의 관리 및 심의·허가에 따른 사전 검증)	• 저열섬도시 조성을 위한 도시계획·설계, 건설(시공) 방안 제시 및 의사결정지원
	• 민간건설기업, 엔지니어링기업 (도시기본계획 및 도시관리계획 수립시 적용가능 논리에 따른 객관성 제고)	• 도시 열환경(열성능) 개선을 위한 대안 마련(기존지역 개선방안 도출) 및 대안별 효과 비교·분석

제3절. 연구성과 활용을 위한 후속연구의 필요성

- 본 연구의 참여기관은 다음과 같은 활용계획을 통해 연구성과의 실용화를 지속적으로 도모하고자 함

▌표 4-118 ▌ 연구 기관별 연구성과 활용계획

기관		활용계획
1세부	한국건설기술연구원	• 연구장비(AWS) 활용 및 현장적용 협의 • 가이드라인 (도시열환경 측정 및 활용) 지자체 활용 제안 및 홍보 • 특허, SW 기술 기반 기술 실시 제안 • 열환경 저감 방안 G-SEED 근린단위 인증기준(안) 지속 제시/반영
	서울대	• 도시 열수지 산정 기술을 도입하여 주택 단지, 도보 공간 계획에 활용 • 지역 규모 열 취약지역 평가 기술을 통해 지자체의 열환경 개선 필요지역 도출 • 도출된 열수지를 기반으로 한 열이 높은 지역의 공간적 원인 규명 및 열환경 개선 위한 열수지 차원에서의 개선방향 제시에 활용 • 도시 수목으로 인한 냉각 효과 산정 기술을 발전시켜 도시 열저감을 위한 생태 소재 공법 개발 및 평가에의 활용 • 개발된 이동식 온도 측정 기기와 기존의 순복사계를 연계하여 정밀한 열환경 평가 및 모델 개선에 활용
	서울시립대	• 다양한 도시를 대상으로 에너지소비량 데이터 조회와 추정, 분석지원 분석 • 도시 열저감과 에너지 사용량 저감 정책 대안을 비교 및 평가 시 활용 • 에너지 저소비 도시공간구조를 조성함에 있어 준거자료로 활용 가능 • 미시적 단위교통량의 추정 및 배분으로 도시교통과 도로계획에서 주거환경 개선을 위한 준거자료로 활용 • 미세먼지 저감 정책, 거시·미시 교통량 예측과 교통에너지 소비량 추정으로 교통에너지 관리에 있어 방향성 제시
	계명대	• 도시계획분야에서 열환경을 고려한 토지이용(도시기본계획, 도시관리계획, 지구단위계획)에 활용 • 도시재생 계획분야에서 주거환경개선 계획, 지구단위계획 차원의 열환경 개선 가이드라인과의 연계 • 폭염관리분야에서 Data Sheet의 폭염 저감기법과 연계하여 활용 • 환경영향평가(전략, 환경, 소규모) 도시위계별 열환경 개선 가이드라인 요소와 연계활용 • 지자체 도시계획 및 폭염관련 조례 개정 및 제정 등에 활용
2세부	㈜볼트시뮬레이션	• 친환경 도시계획·설계 학술연구 추진 • 기후변화, 열섬 관련 학술연구용역 추진 • 기초지자체 열섬저감을 위한 정책 제안, 계획설계 지침 제시·반영 • 연구성과 확산을 위한 홍보 설명회 지속 개최(국토교통기술대전, 국토학회, 도시계획가협회 등) • 타 R&D과제 적용·활용 • 3기 신도시 공간계획 수립시 활용 추진 • 학부·대학원 강의교재로 활용: 환경계획론, GIS, 컴퓨터 응용 도시설계 등
	한양대	• 유해물질 확산모델링 S/W 혹은 사고대응 S/W 개발 프로젝트 추진 시 역추적기반 정확도 향상 기술(BOOLT-ShootCorrector) 활용 • 대기확산모델링 S/W 혹은 악취확산 모델링 S/W 개발 프로젝트 • 국방분야 프로젝트(민·군기술 적용 연구사업 등)
	㈜ 정도UIT	• 도시계획 수립 관련 용역 시 열섬저감 도시계획·설계 추진 • 스마트 도시계획 및 마스터플랜 수립 시 환경분야 서비스로 지자체 활용 유도, 후속사업 모색 • 스마트 도시재생 사업, 스마트 도시계획 수립 용역 수립시 시민 대상 리빙랩의 한 분야로 선정, 열섬저감 도시계획 필요성 및 시스템 효과 홍보, 환경분야 스마트 도시 서비스로 후속사업 모색

- 이 같은 연구성과 활용계획이 효과적으로 실현되기 위해서는 개발된 플랫폼, 분석 DB 등이 주기적으로 업데이트되고 유지·관리될 수 있도록 후속 연구가 뒷받침 되어야 할 것임
- 또한, 본 연구가 도시계획·설계·관리에 있어 실용성 확보에 주안점을 두고 수행된 바 활용분야가 환경영향평가, 교육환경영향평가, 스마트도시계획 등으로 확대될 수 있도록 후속연구가 수행된다면 본 연구성과의 실용성을 더욱 제고할 수 있을 것으로 판단됨

참고문헌

- Akbari, H. 2005. Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat IslandMitigation. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Akira Hoyano, Kazuaki Nakaohkubo, Takashi Asawa, Development of Thermal Simulation Tool for Urban Block Design.
- Akbari, H., Kurn, D. M., Bretz, S. E., & Hanford, J. W. 1997. Peak power and cooling energy savings of shade trees. Energy and Buildings, 25(2), 139-148.
- Akbari, H., Kurn, D. M., Bretz, S. E., & Hanford, J. W. 1997. Peak power and cooling energy savings of shade trees. Energy and Buildings, 25(2), 139-148.
- Albers, S. C., McGinley, J. A., Birkenheuer, D. L., & Smart, J. R. 1996. The Local Analysis and Prediction System (LAPS): Analyses of clouds, precipitation, and temperature. Weather and Forecasting, 11(3), 273-287
- Allen, R. G., Tasumi, M., & Trezza, R., 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)-Model. Journal of irrigation and drainage engineering, 133(4): 380-394.
- Anfossi, D., Ferrero, E., Brusasca, G., Marzorati, A., & Tinarelli, G., 1993. A simple way of computing buoyant plume rise in Lagrangian stochastic dispersion models. Atmospheric Environment. Part A. General Topics, 27(9): 1443-1451.
- Banister, D. 1992. “Energy use, transportatin, and settlement pattern, in Breheny” Sustainable Development and Urban form. London.
- Baumüller J., Flassak Th., Schädler G., Keim M., Lohmeyer A. "Urban climate 21" - Climatological basics and design features for "Stuttgart 21" on CD-ROM
- Beckers, B., Masset, L., & Beckers, P., 2011. The universal projection for computing data carried on the hemisphere. Computer-Aided Design, 43(2): 219-226.
- Behar, O., Khellaf, A., & Mohammedi, K., 2015. Comparison of solar radiation models and their validation under Algerian climate - The case of direct irradiance. Energy Conversion and Management, 98: 236-251.
- Beljaars, A. C. M., 1987. The Measurement of Gustiness at Routine Wind

Station - A Review. Koninklijk Nederlands Meteorologish Instituut Scientific Report WR87-11.

- Benedict, M., & McMahon, E. 2002. "Green infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century" Renewable Resources Journal, 20(3) 12-17.
- Bentham, T. and Britter R. E., 2003. Spatially averaged flow within obstacle arrays. Atmos. Environ., 37: 2037-2043.
- Bornstein, R., & Lin, Q. 2000, "Urban heat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: three case studies" Atmospheric Environment, 34(3): 507-516.
- Bowler, D.E., Buyung-Ali, L., Knight, T.M., & Pullin, A. 2010, "Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence" Landscape and Urban Planning, 97, 147-155.
- Breheny, M. (ed). 1997. "Urban Compaction: feasible and acceptable? Cities, 14(4): 209-217.
- Briggs, Gary A. 1965. A plume rise model compared with observations. Journal of the Air Pollution Control Association, 15(9): 433-438.
- Britter, R. E. and Hanna, S. R., 2003. Flow and dispersion in urban areas. Annu. Rev.Fluid Mech., 35: 469-496.
- Ca, V. T., Asaeda, T., and Abu, E. M. 1998. Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park, Energy and Buildings, 29: 83-92.
- Carroll, J. (Ed.). 2007. Planning a greener city: Protecting the green infrastructure. Strategy for a green city. Philadelphia: Pennsylvania Horticultural Society. Schilling J. and Logan J. 2008. Greening the Rust Belt: A Green Infrastructure Model for Right Sizing America's Shrinking Cities, Journal of the American Planning Association. 74(4) : 451-466 에서 재인용
- Cevero, R., 1996. "Mixed Land-Uses and Commuting: Evidence from the American Housing Survey", 「Transportation Research Part A: Policy and Practice」, 30(5): 361-377
- Cevero, R., Murakami, J., 2010. "Effects of Built Environments on Vehicle Miles Traveled: Evidence from 370 US Urbanized Areas", 「Environment and Planning A」, 42(2): 400-418
- Cionco, R. M., 1965. Mathematical model for air flow in a vegetative canopy. J. Appl. Meteorol., 4: 517-522.

- Cionco, R. M., 1972. A wind-profile index for canopy flow. Boundary-Layer Meteorology, 3(2), 255-263.
- Counihan, J., 1971. Wind tunnel determination of the roughness length as a function of the fetch and roughness density of three-dimensional roughness elements. Atmos. Environ., 5: 637-642.
- Deardorff, J. W., 1972. Numerical investigation of neutral and unstable planetary boundary layers. Journal of Atmospheric Sciences, 29.
- Demuzere, M., Orru, K., Heidrich, O., Olazabal, E., Geneletti, D., Orru, H., A.G. Bhave, N.Mittal, E.Feliu, M.Faehnle., Mitigating to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. Journal of environmental management, 146, 107-115 : EEA. 2012. Urban adaptation to climate change in Europe. Retrieved from European Environment Agency. p483
- Densham, P. J., and Goodchild, M. F. 1989. Spatial decision support systems: A research agenda. In GIS/LIS'89. Proc. annual conference, Orlando, 1989. Vol. 2
- Dieleman, F. M., Dijst, M., Burghouwt, G., 2002. "Urban Form and Travel Behaviour: Micro-Level Household Attributes and Residential Context", 「Urban Studies」, 39(3): 507-527
- Druckman, A., Jackson, T., 2008. "Household Energy Consumption in the UK: A Highly Geographically and Socio-economically Disaggregated model", 「Energy Policy」, 36(8): 3177-3192
- EBI, 2012, Report 2020 - The U.S. Environmental Industry & Global Market
- Eliasson I., 1996. Intra-urbna nocturnal temperature differences: a multivariate approach. Climate Research 7:21-30
- Elkin, T., McLaren, D. & Hillman, M. 1991. "Reviving the City: Towards Sustainable Urban Development" London: Friends of the Earth.
- EPA.2008. Reducing Urban Heat Islands: Compedium of Strategies Green Roofs.
- Ewing, R., Rong, F., 2008. "The Impact of Urban Form on US Residential Energy Use", 「Housing Policy Debate」, 19(1): 1-30
- Gaffin, Stuart R., Reza Khanbilvardi, and Cynthia Rosenzweig. 2009. "Development of a Green Roof Environmental Monitoring and Meteorological

Network in New York City." Sensors 9 : 2647-2660.

- Gago, E. J., Roldán, J., Pacheco-Torres, R., & Ordoñez, J. (2013). The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25, 749-758.
- Gartner, 2012, Forecast: Mobile Data Traffic and Revenue Worldwide 2010~2015
- Geoffrion, L. D., and Geoffrion, O. P. 1983. Computers and reading instruction (Vol. 10566). Addison-Wesley Longman.
- Germano, M., U., Piomelli, P. Moin, W. H. Cabot. 1991. A dynamic subgrid scale eddy viscosity model. Physics of Fluids A3(7): 1760-1765,
- Gober, P., Brazel, A., Quay, R., Myint, S., Clarke, S. G., Miller, A., and Rossi, S., 2010. " Using Watered Landsapes to Manipulate Urban Heat Island Effects", Journal of the American Planning Association, 76(1): 109-121.
- Goldstein, D., R. Hander, L. Sirovich. 1993. Modelling a no-slip flow boundary with an external force field. Journal of Computational Physics, 105: 354-372.
- Gorry, G. A., and Scott Morton, M. S. 1970. Management decision systems: a framwork for management information systems.
- Grazi, F., Van de Bergh, J., Van Ommeren, J., 2008. "An Empirical Analysis of Urban Form, Transport, and Global Warming", 「The Energy Journal」, 97-122
- Grimmond, C. S. B., & Oke, T. R., 2002. Turbulent heat fluxes in urban areas: Observations and a local-scale urban meteorological parameterization scheme (LUMPS). Journal of Applied Meteorology, 41(7), 792-810
- Grimmond, C. S. B. and Oke, T. R., 1999. Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form. J. Appl. Meteorol., 38: 1261-1292
- Hagishima, A., Tanimoto, J., & Katayama, T. 2002. An Intrigued Analysis to Quantify the Causes for Urban Heat Island by the Revised ARCHITECTUREURBAN-SOIL-SIMULTANEOUS SIMULATION MODEL, AUSSSM Part. 1 Theoretical Background and Model Frame Showing with a Result of Standard Solution. In AMS Forth symposium on the urban environment (pp. 157-158)
- Hanna, S. R. and Britter, R. E., 2002. Wind flow and vapor cloud dispersion at industrial and urban sites. CCPS, New York, U.S.A.

- Hathway, E. A. and Sharples, S., 2012, "The interaction of rivers and urban form in mitigating the Urban Heat Island effect: A UK case study", Building and Environment, 58: 14-22
- Heywood, V. H. 1995. 1 Global Biodiversity Assessment.
- Holtslag, A. A. and A. P. Van Ulden. 1983. A Simple for Daytime Estimates of the Surface Fluxes from Routine Weather Data. Journal of Climate and Applied Meteorology, 22: 517-529
- Ichinose, T., Shimodozono, K., & Hanaki, K. 1999, "Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo" Atmospheric Environment 33, 3897-3909.
- Isaac, M & van Vuuren, D. P., 2009, "Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change", Energy Policy, 27(2):507-521.
- Jendritzky, G. & Grätz, A. 1998. Human bioclimatological questions and solutions in applied urban climatology. In Proceedings of the 2nd Japanese-German Meeting "Klimaanalyse für die Stadtplanung". Research Centre for Urban Safety and Security, Kobe University. Special report (Vol. 1, pp. 135-148)
- Jenerette, G.D., Harlan, S.L., Brazel, A., Jones, N., Larsen, L., & Stefanov, W.L. 2007, "Regional relationships between surface temperature, vegetation, and human settlement in a rapidly urbanizing ecosystem" Landscape Ecology, 22(3), 353-365.
- Kambites C., Owen S. 2006. Renewed Prospects for Green Infrastructure Planning in the UK. Planning, Practice & Research 21(4): 483-496.
- Kasten, F., and G. Czeplak. 1980. Solar and terrestrial radiation dependent on the amount and type of cloud. Solar Energy, 24: 177-189
- Kim, B., C. Lee, S. Joo, K. Ryu, S. Kim, D. You, W. Shim. 2010. Estimation of roughness parameters within urban-like obstacle arrays. Boundary-Layer Meteo. in revision
- Landeshauptstadt München. 2005. Der Riemer Park ein Park ohne Grenzen. Landeshauptstadt
- Lee, S.-H., & Park, S.-U., 2007. A Vegetated Urban Canopy Model for Meteorological and Environmental Modelling. Boundary-Layer Meteorology, 126(1), 73 - 102.

- Lemonsu, A., Grimmond, C.S.B., Masson, V., 2004. Modeling the Surface Energy Balance of the Core of an Old Mediterranean City : Marseille, 312 - 327.
- Lettau, H. H., 1957. Computation of Richardson Numbers, Classification of Wind Profiles, and Determination of Roughness Parameters. pp. 328-336, in Exploring the Atmosphere's First Mile (H. Lettau and B. Davidson, eds.) Vol. 1, Pergamon Press, New York and London.
- Lettau, H., 1969. Note on aerodynamic roughness parameter estimation on the basis of roughness element description. J. Appl. Meteorol., 8: 828-832.
- Lin, B. S., & Lin, Y. J. 2010. Cooling effect of shade trees with different characteristics in a subtropical urban park. HortScience, 45(1), 83-86.
- Lin, J., J., Yang, A., T., 2009. "Structural Analysis of How Urban From Impacts Travel Demand: Evidence from Taipei", 「Urban Studies」, 46(9): 1951-1967
- Lo, C.P., Quattrochi, D. A., & Luvall, J.C. 1997, "Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect" International Journal of Remote Sensing, 18(2), 287-304.
- North, G.R., Kim, K.Y. (1991) Surface temperature fluctuations in a stochastic climate model, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 96(D10), 18573-18580.
- MacDonald, R. W., 2000. Modelling the mean velocity profile in the urban canopy layer. Boundary-Layer Meteorol., 97: 25-45.
- MacDonald, R. W., Griffiths, R. F. and Hall, D. J., 1998. An improved method for the estimation of surface roughness of obstacle arrays. Atmos. Environ., 32: 1857-1864.
- Mach, K. and M. Mastrandrea. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Vol. 1. Cambridge, New York, NY: Cambridge University Press, 2014.
- Malczewski, J. 1997, "Spatial decision support systems", NCGIA core curriculum in GIScience,
- Malczewski, J., 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis. John
- Marshall, J. D., 2008. "Energy-Efficient Urban Form", 「Environmental Science & Technology」, 42(9): 3133-3137

- Masson, V., Grimmond, C. S. B., & Oke, T. R. 2002. Evaluation of the Town Energy Balance (TEB) scheme with direct measurements from dry districts in two cities. Journal of applied meteorology, 41(10), 1011-1026.
- Matzarakis, A., Mayer, H., & Iziomon, M.G. 1999, "Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature" International Journal of Biometeorology, 43: 76-84.
- McDonald, L., Allen, W., Benedict, M., & O'connor, K. (2005). Green infrastructure plan evaluation frameworks. Journal of Conservation Planning, 1(1), 12-43.
- McGraw Hill Construction, 2008, World Green Building Trends
- Menon, S., Akbari, H., Mahanama, S., Sednev, I., & Levinson, R. 2010. Radiative forcing and temperature response to changes in urban albedos and associated CO2 offsets. Environmental Research Letters, 5(1), 014005.
- Memon, R. A., & Leung, D. Y., 2010, "Impacts of environmental factors on urban heating", Journal of Environmental Sciences, 22(12): 1903-1909.
- Mindali, O., Raveh, A., Salomon, I., 2004. "Urban Density and Energy Consumption: A New Look at Old Statistics", 「Transportation Research Part A: Policy and Practice」, 38(2): 143-162
- Mitsubishi Estate. 2008. CSR REPORT 2008
- Naturaleconomynorthwest, 2009. "Putting the green in the grey" Creating sustainable grey infrastructure_A guide for developers, planners and project managers.
- Newman, P., W., G., Kenworthy, J., R., 1989. "Gasoline Consumption and Cities: A Comparison of US Cities with a Global Survey", 「Journal of the American Planning Association」, 55(1): 24-37
- Newman, P., W., G., Kenworthy, J., R., 2006. "Urban Design to Reduce Automobile Dependence", 「Opolis」, 2(1)
- Norbert lechner, 2008, Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects. John Wiley & Sons, Inc. p43-44
- NYC Environmental Protection, 2010, NYC Green Infrastructure Plan: A Sustainable Strategy for Clean Waterway, p.58
- Oke, T. R., 1978 Boundary Layer Climate, Routledge

- Oke, T. R., 1981. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. Journal of climatology, 1(3): 237-254.
- Oleson, K. W., G. B. Bonan, J. Feddema, M. Vertenstein, C. S. B. Grimmond. 2008. An Urban Parameterization for a Global Climate Model. Part I: Formulation and Evaluation for Two Cities, 47: 1038-1060.
- Owens, S. 1986. "Energy planning and Urban Form" London: Pion.
- Owens, S., 1992. "Energy, Environmental Sustainability and Land-use Planning", 「Sustainable Development and Urban Form」, 79-105
- Petersen, R. L., 1997. A wind tunnel evaluation of methods for estimating surface roughness length at industrial facilities. Atmos. Environ., 31: 45-57.
- Protocol, K. 1997. United Nations framework convention on climate change. Kyoto Protocol, Kyoto, 19.
- Qin, B., Han, S., S., 2013. "Planning Parameters and Household Carbon Emission: Evidence from High-and Low-carbon Neighborhoods in Beijing", 「Habitat International」, 37: 52-60
- Rickaby, P.A. 1987. "Six Settlement Patterns Compared" Environment and Planning B: Planning and Design, 14: 193-223.
- Robitu, M., Musy, M., Inard, C., & Groleau, D. 2006. Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate. Solar Energy, 80(4):435-447.
- Rose, L.S., H. Akbari, and H. Taha. 2003. Characterizing the Fabric of the Urban Environment: A Case Study of Greater Houston, Texas. LBNL-51448, January 2003
- Rosenfeld, A. H., Akbari, H., Bretz, S., Fishman, B. L., Kurn, D. M., Sailor, D., & Taha, H. 1995. Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. Energy and buildings, 22(3), 255-265.
- Rowntree, R. A, Sanders, R. A., & Stevens, J. (1982). Evaluating urban forest structure for modifying microclimate: the Dayton Climate Project [Ohio, city and community vegetation,pollution] : Jamei. e., Schdeva. H., Rajagopalan. P.. 2014. CBD greening and Air Temperature Variation in Melbourne. 30th INTERNATIONAL PLEA CONFERENCE.
- Raupach, M.R. and B.J. Legg. 1983. Turbulent dispersion from an elevated

line source: measurements of wind-concentration moments and budgets. J. Fluid Mech, 136: 111-137.

- Simon, H. A. 1960. The new science of management decision.
- Somers, K. A., Bernhardt, E. S., Grace, J.B., Hassett, B. A., Sudduth, E. B., Wang, S., and Urban, D. L., 2013. "Streams in the urban heat island: spatial and temporal variability in temperature", Freshwater Science, 32(1): 309-326.
- Stewart, I., & Oke, T.R. 2012. "Local Climate Zones for Urban Temperature Studies" American Meterological Studies, 93(12), 1879-1900.
- Sun, R., Chen, A., Chen, L., Lu, Y., 2012a. "Cooling effect of wetlands in and urban region: The case of Beijing", Ecological Indicators, 20:57-64.
- Sun, R., Chen, L., 2012b. "How can urban water bodies be designed for climate adaptation?", Landscape and Urban Planning, 105:27-33.
- Sustainable Cities Institute. 2010. Green Infrastructure: Overview.
- Sykes, R. I.(1997) PC-SCIPUFF Version 1.0 Technical Documentation, 127-128
- Synnefa, A., Dandou, A., Santamouris, M., Tombrou, M., & Soulakellis, N. 2008. On the use of cool materials as a heat island mitigation strategy. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 47(11), 2846-2856.
- Kusaka, H., & Kimura, F., 2004. Coupling a single-layer urban canopy model with a simple atmospheric model: Impact on urban heat island simulation for an idealized case. 82(1), 67-80.
- Taha, H, Akbari, H., and Rosenfeld, A., 1991. Heat Island and Oasis Effects of Vegetative Canopies: Micro-Meteorological Field Measurem - ents, Theoretical and Applied Climatology, 44: 123-138.
- Taha, H. 1997, "Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat" Energy and Buildings, 25(2), 99-103.
- TEDDY HOLT AND JULIE PULLEN. 2007. Urban Canopy Modeling of the New York City Metropolitan Area: A Comparison and Validation of Single- and Multilayer Parameterizations. MONTHLY WEATHER REVIEW VOLUME 135
- Tereci, A., Ozkana, S. T. E., Eicker, E., 2013, "Energy benchmarking for residential buildings", Energy and Buildings, 60: 92-99.

- The City of New York. PlaNYC 2030-A GREENER, GREATER New York. The City of New York
- Theurer, W., 1993. Dispersion of ground-level emissions in complex built-up areas. Doctoral Thesis, University of Karlsruhe(in German),
- Tokyo Metropolitan Government. 2005. Guidelines for Heat Island
- Toronto City Planning. 2012. Profile Toronto. Invest Toronto, Toronto City Planning
- Tratalos, J., Fuller, R.A., Warren, P.H., Davies, R.G., & Gaston, K. 2007. "Urban form, biodiversity potential and ecosystem services" Landscape and Urban Planning, 83(4): 308-317.
- Tsai, Y. 2005. "Quantifying Urban Form: Compactness versus 'Sprawl'Urban Studies, 42(1), 141-161.
- UKCIP. 2003. Climate adaptation: Risk uncertainty and decision making. UKCIP Technical Report. UKCIP, Oxford
- Unger, J., 2004, "Intra-urban relationship between surface geometry and urban heat island: review and new approach." Climate Research, 27 :253-264
- VCCCAR. 2013. Planning for a cooler Future : green infrastructure to reduce urban heat.
- Wende, W., Huelsmann, W., Marty, M., Penn-Bressel, G., Bobylev, N., 2010. "Climate Protection and Compact Urban Structures in Spatial Planning and Local Construction Plans in Germany", 「Land Use Policy」, 27(3): 864-868
- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. 2004, "Estimation of land surface temperature - vegetation abundance relationship for urban heat island studies" Remote Sensing of Environment, 89(4), 467-483.
- Wiley and Sons, New York
- Williams, J., 2007. "Innovative Solutions for Averting a Potential Resource Crisis-the Case of one-person Households in England and Wales", 「Environment, Development and Sustainability」, 9(3): 325-354
- Yamagata, Y., Seya, H., 2013, "Simulating a future smart city: an integrated land use-energy model", Appl Energy, 112 : 1466 - 1474.
- Yamamoto, Y. 2006. Measures to mitigate urban heat islands. Science and Technology Trends Quarterly Review, 18(1), 65-83

- YC Environmental Protection, 2014, NYC Green Infrastructure: 2014 Annual Report, p.33
- Yi, C. 2014. Climate Analysis Seoul: An application for planning and management to mitigate extreme-climate, WWOSC.
- Yu, C.,Hien W. N., 2006. Thermal benefits of city parks. Energyand Buildings38: 105-120
- Zegras, P.C. 2005. “Sustainable Urban Form: Exploring the role of the built environment” Ph D. Dissertation. Massachusetts Institute of Technology.
- 品川區, 2004, 大崎驛周辺地域 都市再生緊急整備地域 まちづくり連絡會

- NS통신. 2012. “부산 사하구, 그린커튼으로 에너지 절약 실천”
- 강성안. 2013 불확실성하 의사결정. 두남
- 강종화, 김완수, 윤정임, 이주성, 김석철. 2018. 기후변화가 반영된 도시 열환경 시뮬레이션 모델의 연구. 한국대기환경학회지, 34(5): 697-707.
- 강창덕, 2011, “공간계량모형에 의한 서울시 에너지 소비 분석과 정책과제: 전력과 도시가스 소비를 중심으로”,「서울도시연구」, 12(4):1-22.
- 강창덕, 2011. “공간계량모형에 의한 서울시 에너지 소비 분석과 정책과제”, 「서울연구」, 12(4): 1-22.
- 고강양, 강인구, 서민환, 김정현, 김기대, 길지현. 1997. 도시유형별 녹지의 환경개선 기능 평가. 국립환경연구원
- 구해정・유영희, 2012, "인공열이 도시경계층에 미치는 영향",「환경영향평가」, 21(5):665-681.
- 국립산림과학원. 2010. 수목생리연구
- 국립환경과학원. 2012. 수질오염총량관리를 위한 비점오염원 최적관리지침.
- 국토해양부. 2011. 녹색도시 조성을 위한 도시공원의 탄소저감 효과 연구.
- 기후변화에 의한 한반도 기후 전망. 기상청(2012)
- 김규랑, 김태헌, 김연희, 구해정, 최병철. 2007. 청계천 복원에 다른 온습도의 시공간적 변화 관측. 한국기상학회 봄 학술대회 논문집
- 김금지, 여인애, 윤성환. 2011. 녹화 유형에 따른 도시열환경 형성 특성에 관한 연구. 대한건축학회27(6):229-236.
- 김리영, 서원석, 2011. “압축도시 특성이 지역별 교통에너지 소비에 미치는 영향 분석”, 「한국지역개발학회지」, 23(1): 33-53.

- 김민열, 이태정, 김동술, 황인조, 2009. PSCF와 PMF 모델을 이용한 용인·수원 경계지역 PM10 잠재오염원 확인. 한국대기환경학회 학술대회논문집, 111-112.
- 김병구, 이창훈, 김석철, 주석준, 장동두, 심우섭. 2007. Evaluation of Morphological Models for Wind Flow at Urban Street. 한국대기환경학회 춘계 학술대회.
- 김보현, 장성만, 이승일, 2013. “도시 유형별 교통에너지 소비에 영향을 미치는 요인 연구: 통행패턴과 개발밀도에 따른 도시유형 구분을 기초로”, 「국토계획」, 48(3): 129-148.
- 김병구, 주석준, 류기철, 김석철, 심우섭. 2009. 도시캐노피의 풍속분포 모델. 한국대기환경학회 춘계학술대회.
- 김석철. 2003. 이상적인 중립 대기경계층에서 라그랑지안 단일입자 모델의 평가. 한국대기환경학회지, 19(4): 397-414.
- 김석철, 이주성, 윤정임, 강종화, 김완수. 2017. 도시 열환경 시뮬레이션을 위한 라그랑지안 열원 역추적 기법의 연구. 한국대기환경학회지, 33(6): 583-592.
- 김석철, 윤정임. 2017. 라그랑지안 입자모델을 활용한 도시기온 예측기법의 연구. 한국대기환경학회지, 33(1): 45-53.
- 김석철, 윤정임, 조경학, 2008. 생태단지 실험계획 수립을 위한 미기상변화 효과 계량. 건설기술연구원 위탁연구 보고서.
- 김석철, 윤정임, 문기영, 박경희, 조경학. 2009. 도시 미기상 계량 모델(AIR-CITY MODEL) 개발 1단계 연구 최종보고서. 한국건설기술연구원.
- 김석철, 윤정임, 문기영, 박경희, 조경학. 2010. 도시 미기상 계량 모델(AIR-CITY MODEL) 개발 2단계 연구 최종보고서, 한국건설기술연구원.
- 김양렬. 2012 의사결정론. 명경사.
- 김운수, 김학열. 2001. 서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법 연구(Ⅱ) 최종보고서. 서울시정개발연구원.
- 김용진·강동화·안건혁, 2011, “기후변화에 따른 도시열섬현상 특성 변화와 도시설계적 대안 모색에 관한 기초연구”, 「한국도시설계학회지」, 12 (3) : 5-14.
- 김유란, 홍원화, 서윤규, 전규엽, 2011. “공동주택 가족구성원별 전력소비성향에 관한 연구”, 「주거환경」, 22(6): 43-50
- 김유진·최영은, 2012, “기상 조건에 따른 서울의 열섬 강도 특성에 관한 연구”, 「국토지리학회지」, 46(1): 1-9.
- 김윤석, 황규석, 박명규, 심우섭, 김석철, 이창훈. 2005. 「도시지형에 대한 확산모

델 검증용 풍동실험 및 CFD해석 풍동실험결과보고서」. ㈜티이솔루션

- 김재욱·이동근·오규식·성현찬, 2003. 하천 및 녹지와 온도의 관계에 대한 기초적 연구-청계천 복원을 중심으로. 한국환경복원녹화기술학회 6(3): 79-85.
- 김진관, 천진수, 이병호, 2009. “판상형 아파트와 탑상형 아파트의 도시가스 소비 특성에 관한 비교 연구”, 「주거환경」, 7(2): 55-65
- 김현옥 · 염종민, 2012, “도시지역의 토지피복유형이 지표면온도에 미치는 영향”, 「원격탐사저널」, 제28권
- 노승철, 이희연, 2013. “가구 부문의 에너지 소비량에 영향을 미치는 요인 분석”, 「국토계획」, 48(2): 295-312
- 노승철, 이희연, 2013. “가구 부문의 주거, 교통 에너지 소비구조 분석에 관한 연구”, 「지역연구」, 29(2): 47-67
- 대한국토·도시계획학회. 2005. 도시계획론. 보성각
- 명수정, 2009. 도시지역의 기후변화 적응을 위한 열섬현상 완화방안 연구, 서울: 환국환경정책·평가연구원.
- 모리야마 마사카즈 , 나베시마 미나코, 다니구치 이치로, 아시에 야스노부, 윤성환. 2011. 도시열섬-대책과 기술. 푸른길.
- 민범식, 이영아. 2001. 도시환경개선을 위한 기성시가지 정비방안 연구 - 정비과제 설정 및 유형화를 중심으로 -, 국토연구원.
- 박기범, 최찬환. 2005. 강남 단독주택지역 변화의 법제적 해석. 대한건축학회 논문집-계획계, 21(7), 73-82.
- 박은진, 강규이, 남미아. 2010. 도시열섬 완화를 위한 옥상녹화 활성화 방안. 경기연구원
- 박재철, 양홍모, 장병관 외 . 2014. 녹색인프라의이해와 구축 방안. 조경
- 방금순, 조준범, 최찬환. 2005. 상왕십리 130 번지 공장건물의 변화와 주거지 적응형태 연구. 대한건축학회 논문집-계획계, 21(6), 21-29.
- 방영현, 강아람, 박효순, 서증직, 2012. “건물에너지 효율등급 제도를 이용한 시나리오별 온실가스 저감방안에 관한 연구”, 「한국생태환경건축하괴 논문집」, 12(3): 89-94
- 방재성. 2011. 단독주택지 주택유형 변화에 미친 개발관련 법제의 영향. 대한건축학회 논문집-계획계, 27(12), 285-295.
- 서울특별시 푸른도시국. 2011. 공원녹지분야 업무협의 매뉴얼.
- 서현철 · 홍원화 · 남경목, 2012, “거주자 구성유형 및 소득수준에 따른 주거용 건

물 내 전력소비 성향",「한국주거학회 논문집」, 23(5) : 31-38.

- 성은영. 2002. 단독주택지내 다가구 . 다세대 주택의 합리적 배치에 관한 연구. 한양대학교 석사학위논문.
- 성현찬·민수현. 2003. 도시녹지의 기능 및 효과에 대한 실증적 연구 - 도시 가로수를 중심으로 -. 한국조경학회지 31(2): 48-57
- 송국섭. 2013. 도심보행로의 녹화가 여름철 미세기후 변화에 미치는 영향. 대한건축학회 학술발표대회 논문집 33(2): 301-302
- 송기욱, 남진, 2009. "압축형 도시특성요소가 교통에너지 소비에 미치는 영향에 관한 실증분석", 「국토계획」, 44(5): 193-206
- 신호성, 이수형, 2014. 기후변화 건강 취약성 평가지표 개발. 환경정책연구, 13(1): 69-93.
- 안건혁, 1998. "에너지 절감을 위한 적정 도시개발밀도에 관한 연구", 「국토연구」, 19-30
- 안영수・김기중・이승일, "서울시 주택의 규모와 종류, 건축연도별 특성이 에너지 소비량의 차이에 미치는 영향 실증 연구",「국토계획」, 49(3):175-194.
- 안재호, 2010, "기상모델을 이용한 지표면 반사능에 따른 냉방에너지소비 저감 연구",「한국태양에너지학회 논문집」, 30(3) : 16-24.
- 안혜연, 강윤희, 송상근, 방진희, 김유근. 2015. WRF/HYSPLIT 모델을 이용한 고리원전 인근 국지바람 패턴에 따른 방사성물질 대기확산 특성. Journal of Environmental Science International, 24(1): 81-96
- 엄향희. 2004. 청계천 복원에 따른 열환경 개선효과의 실증. 한국수자원학회지 37(1):68-73
- 오규식. 1998. 컴퓨터응용분석. 대한국토· 도시계획학회 편저,"도시계획론". 보성각.
- 오규식· 홍재주, 2005. "도시공간 구성요소와 도시열섬현상의 관련성 연구", 「한국도시설계학회지」, 6(1): 47-63.
- 오대식, 백민호, 지승열, 전한종. 2014. 주택 의사결정지원시스템 구축을 위한 예측모형에 관한 연구. 대한건축학회 2014 년도 추계학술발표대회논문집 제 34 권 제 2 호 (통권 제 62 집), 34(2), 73-74.
- 오상목, 오세규, 원형성, 2010. "주거 외부 수공간 도입에 따른 실내 온열 환경 변화 분석", 「한국주거학회논문집」, 21(2): 41-48.
- 유대종. 2008. 경량형 옥상녹화시스템의 냉방부하절감 효과에 관한 연구. 중앙대

학교대학원 석사학위논문

- 유숙현, 박상진, 구윤서, 권희용. 2010. Pseudo Inverse를 이용한 악취 역추적 기법. 한국냄새환경학회 학술발표회
- 유철상, 박창열, 김경준, 전경수, 2008. 분단위 자료를 이용한 강우의 공간상관구조 분석, 한국방재학회 8(6): 113-120.
- 윤용한·김원태. 2002. 도시녹지의 계층구조가 기온에 미치는 영향. 한국잔디학회지 16(2):107-114
- 윤희천, 김민규, 정갑용. 2013. 도시열섬 완화를 위한 녹지증가에 다른 온도변화 분석. 한국측량학회 31(2): 143-150.
- 이강국, 홍원화, 2007. 도시고온화 현상에 따른 열섬·냉섬 특성에 관한 연구(대구광역시). 대한건축학회 논문집, 219-22
- 이강국·김태우·서원덕·홍원화, 2011. 한국생태건축학회 11(3): 3-9
- 이상득, 김종오. 1998. 도시 Canopy 층을 고려한 지역 대기환경 예측 Model. 대한환경공학회지, 20(3): 317-326.
- 이소은. 2012. 필로티형 다세대주택 밀집지역의 가로환경이 보행자의 체감위험에 미치는 영향 : 송파구 잠실본동을 중심으로 한 비교사례연구. 서울대학교 석사학위논문.
- 이숙미, 오충현, 이강오. 2010. 서울시 가로수의 도시열섬현상 저감 효과. 한국조경학회 2010년도 춘계학술대회 논문집.
- 이승훈, 정장표, 장영환, 조효정, 이승묵. 2004. 대기 오염원 위치 확인을 위한 PSCF 모형의 적용., 대한환경공학회 춘계학술연구발표회
- 이윤재, 이현수, 박소윤, 2011. “공동주택 거주자의 에너지 사용행태 및 에너지 절약의식 분석”, 「한국주거학회논문집」, 22(6): 31-42
- 이정은. 2007. 서울 단독주택지역의 주거환경 변화에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문.
- 이종설, 정재학, 김대곤, 김혜원, 원정연, 김도우, 원진영, 박재은, 박지환. 2014. Future Safety Issue 한달간의 폭염지옥, 국립재난안전연구원
- 이희연. 2004. 우리나리-인터넷 산업의 공간분포와 지역간 격차유발요인 분석.
- 임기추, 허경옥, 2008. “에너지절약 정보유형의 가정부문 에너지소비 영향 분석”, 「에너지경제연구원 연구보고서」, 1-122
- 임창복. 1989. 한국도시 단독주택의 유형적 지속성과 변용성에 관한 연구. 서울대 박사학위논문.

- 장성만・안영수・이승일, 2011, “행정동별 접근도가 교통수단별 분담률에 미치는 영향분석”, 「국토계획」, 46(4):43-55.
- 정임수, 최동호, 이부용. 2009. 미기상 관측을 통한 하절기 도심과 외곽의 열환경 비교. 한국태양에너지학회 논문집 29(6): 94-101
- 조명희, 김형섭, 유성옥, 김성재, 김연희. 2006. ASTER 열적외 영상을 이용한 청계천 복원 전의 도시 지표 열 환경 특성 분석. 대한원격탐사 춘계학술대회 논문집. 204-245
- 조명희·조윤원·김성재 2009. “도시복원사업의 열 환경 변화 분석을 위한 ASTER 열적외 위성영상자료의 활용 - 청계천 복원사업을 사례로”, 「한국지리정보학회지」, 12(1): 73-80.
- 조윤애, 김경환, 2008. “도시개발밀도가 에너지 효율성에 미치는 영향”, 「한국정책학회보」, 17(4): 113-134
- 조희선・정유진・최막중, 2014, “도시공간특성이 열섬현상에 미치는 영향”, 「환경정책」, 22(2), 27-43.
- 주현수, 김석철, 반지영, 최순심. 2006. 도시지역에서의 바람길과 대기질 영향에 관한 연구 최종보고서, 한국환경정책・평가연구원
- 크리스티나 코페외 3인. 2007. 위기의 지구 : 폭염. 푸른길
- 한필원. 2004. 대전 구도심 주거지의 필지체계 및 주택유형에 관한조사연구. 대한건축학회논문집, 2004.
- 환경부. 2009. 기후변화 적응을 위한 한국형 그린인프라 구축방안 연구; 도시 물순환체계 중심으로.
- http://naturaleconomynorthwest.co.uk/
- http://www.arl.noaa.gov/Inverse_mdl.php

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 도시건축연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개를 삼가해 주시기 바랍니다.