

[연구개발계획서 작성시 주의사항]

제안시 제출하는 연구개발계획서의 연구목표, 내용, 성과, 예산 등은 RFP에 표기된 내용을 중심으로 필히 작성바랍니다.  
(본 기획보고서는 참고자료로 활용 바랍니다.)

## 제 출 문

국가교통과학기술진흥원장 귀하

본 보고서를 “기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템 기술 개발 기획” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2014.06.26

연구기관명: 한양대학교 산학협력단

연구책임자: 한양대학교 오규식 교수

참여연구원: 한양대학교 김홍배 교수

한양대학교 이수기 교수

한양대학교 이동우 박사후연구원

한양대학교 이상헌 박사과정

한양대학교 서정은 박사과정

자문위원단: LH 토지주택연구원 정연우 수석연구원

계명대학교 정용호 교수

서울대학교 이동근 교수

서울시립대학교 이승일 교수

한국건설기술연구원 정승현 전임연구원

㈜블트시뮬레이션

㈜신영ESD

㈜한국공간정보통신

㈜한설그린

# 요 약 문

## I. 제목

: 기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템 기술 개발 기획  
(변경안: 기후변화 적응형 도시열환경 설계시스템 기술 개발 기획)

## II. 연구과제 개요

### 1. 연구과제의 개요

- 본 과제는 ‘기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템 개발’ 연구를 기획하는 것으로, ‘기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템’은 ‘기후변화 시나리오에 기반하여 도시공간 및 도시인프라의 열섬발생 및 저감 효과를 모니터링, 시뮬레이션함으로써 도시공간 유형별로 쾌적한 열환경을 설계·관리하기 위한 시스템’으로 정의할 수 있음
- 열섬현상은 도시 내 기후를 변화시켜 홍수, 폭설 등의 자연재해를 야기하여 인명 및 재산피해를 유발함. 이에 국제 사회에서는 기후변화 대응 차원에서 열섬현상에 대한 심각성을 인식하고, 해결방안을 모색하고자 모니터링 및 분석체계 강화, 공간계획 수립을 위한 가이드라인 수립, 시범도시 사업 수행 등 다각적 노력이 이루어지고 있으나, 우리나라의 경우 열섬현상 저감을 위한 중앙정부 차원에서의 노력이 미미한 실정이며 일부 지자체에서 국지적으로 이루어지고 있음
- 열섬문제를 해결하기 위해서는 도시공간 위계 및 유형별 도시공간과 인프라간의 상호관계에 대한 통합적 이해와 이에 기반한 도시전체 규모의 분석기술, 기후변화를 고려한 중·장기적인 미래예측 및 대응, 첨단과학적 분석에 기반한 도시열환경 설계 및 관리시스템 개발이 필요하고, 이를 통해 열섬현상 완화에 따른 부가적인 효과에 의해 사회적 편익 증대 및 녹색도시건설 시장의 활성화를 기대할 수 있음
- 본 과제는 기후변화 추세에 능동적으로 대응하고 도시열섬 저감을 통해 쾌적한 도시공간을 조성하기 위한 도시열환경 설계 및 관리시스템 개발 연구를 기획하기 위한 것으로, 도시공간의 설계 및 관리를 통해 저열섬 도시를 구현하는 것을 목적으로 함
- 본연구(실제연구)의 세부 연구 목표는 다음과 같음
  - 도시열 발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링기술 개발
  - 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발
  - 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 및 지원체계 개발

## 2. 기획연구의 목표 및 추진전략

- 도시의 기후변화 대응은 완화의 차원에서 주로 온실가스 저감과 개별 건축물의 열환경 관리에 초점을 두고 있으며, 도시 전체적 차원에서 기후변화 적응(대응) 노력은 미흡함
- 기후변화 적응대책 수립을 위해서는 중·장기적 미래를 포함하는 열환경 분석 및 예측이 요구됨
- 지속적으로 이루어지는 도시개발에 따른 열환경 변화 모니터링이 필요하며 이를 효과적으로 제어·관리할 수 있는 시스템 개발이 필요함. 아울러 도시열섬문제를 계획 수립단계에서부터 사전에 해결할 수 있는 설계 및 관리지원 시스템의 구축이 요구됨
- 이를 위해서는 도시 내 열섬현상의 원인, 발생 메커니즘, 저감방안, 효과 등의 해석 및 시뮬레이션 기술개발 등과 같은 종합적 접근이 필요함
- 이에 본 연구는 기후변화 추세에 능동적으로 대응하고 도시열섬 문제를 해결하기 위한 열섬저감 도시공간 설계시스템을 개발하고 실증하기 위한 연구 기획을 목표로 함
- 본 기획과제를 다음과 같은 5개 전략에 의해 추진함
  - **전략 1:** 각 분야별 선도 연구자 중심의 조직구성을 통한 유기적 연구수행 체계 구성
  - **전략 2:** 연구수행 효율화를 위해 기획연구진, 자문위원진(산·학·연 전문가), 연구기획중점분야 기획을 담당할 분야별 실무 TFT(실무진)을 구성
  - **전략 3:** 단계별 추진전략에 부합하는 효과적인 연구기획 Process 정립
  - **전략 4:** 분야별, 핵심기술별로 다각화된 전문가 활용
  - **전략 5:** 국가 R&D과제 및 연구수행 경험을 통해 내실성을 갖춘 과제기획 및 자문위원진과의 협업을 통한 혁신적, 실천적 전략과제 창출
- 본 연구기획은 ①동향 분석 및 기술수요조사, ②기술개발 전략 수립 및 연구내용 설정, ③연구개발과제 기획의 3단계에 걸쳐 체계적으로 추진됨
  - **1단계**에서는 국내외 정책, 시장, 기술 동향을 조사·분석하고 기술수요조사를 통해 기술개발의 추진방향을 정립함
  - **2단계**에서는 정립된 기술개발 추진방향에 부합하는 기술개발 전략을 수립하고, 그에 따른 후보과제를 도출한 후 우선순위를 평가함. 아울러, 우선순위에 따라 선정된 후보과제를 대상으로 기술적, 정책적, 경제적 타당성을 분석함
  - **3단계**에서는 본격적으로 연구과제를 기획하는 단계로서, 연구목표 및 범위를 설정하고, 추진방안, 성과물의 활용 및 실용화 방안을 수립함. 또한, 수립된 추진방안에 따른 투입인력과 소요예산을 산정하고, 그에 따른 타당성 검토를 통하여 연구과제를 확정함. 최종적으로 확정된 연구과제에 따라 과제공모를 위한

RFP를 작성하고, 평가를 위한 기준을 설정함

## III. 국내외 동향 및 환경분석

- 효과적인 동향 분석을 위해 「기후변화 적응형 도시 열환경 설계 및 관리시스템」 관련 기술을 유형화하여 기술트리를 작성함
  - 열환경 모니터링: 도시의 열섬발생 및 저감 메커니즘을 통해 열섬발생 및 저감 요인을 규명하고 기여도를 분석하고 이를 종합하여 도시 내 열 취약지역을 도출하는 기술
  - 열환경 예측 시뮬레이션: 도시의 열섬발생 및 저감 메커니즘 해석을 통해 장·단기적 차원에서 미래 도시의 열환경을 예측하는 기술
  - 열환경 설계/관리를 위한 의사결정 지원: 도시계획 수립시 도시 열환경 개선을 위한 의사결정 및 계획(설계) 지원 기술
  - 열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축 기술: 도시의 열섬저감을 위한 Green, Grey, Blue 인프라의 시공/구축 기술

### 1. 국내외 시장 및 산업·기술·정책동향 분석

- 시장 및 산업 동향
  - 도시열섬의 원인 및 기후변화의 원인을 분석하는 기술은 환경시장을 대상으로 하며, 분석 결과를 이용하여 도시의 열환경을 개선할 도시를 계획하고 설계하는 기술은 정보통신시장을 대상으로 하며, 도시를 개발하는 기술은 건설시장을 대상으로 함
  - 따라서 본 과제와 관련 대상기술은 건설시장, 환경시장 및 정보통신시장 중 어느 하나의 시장을 목표 시장으로 설정하기 보다는 건설시장, 환경시장 및 정보통신시장 모두를 목표 시장을 설정하는 것이 바람직함
  - 건설시장 중 녹색 건축/건설시장, 환경시장 중 기후산업 시장 및 환경건설시장, 정보통신시장 중 재난분석평가기술 시장 등에 본 기술의 진입이 가능하며 각 시장은 향후 지속적으로 성장할 것으로 기대됨
  - 그러나 본 연구과제와 관련된 대상기술은 공공재(公共財)로서의 성격이 매우 강함. 이러한 이유로 인해 “기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리 시스템 개발 기술”과 직접적으로 관련된 시장이 현재 형성되어 있지 않으며 향후에도 이를 독점할 수 있는 단일의 시장은 확대되기 어려울 것으로 예상됨
- 기술동향
  - 현재까지 출원 공개된 국내·외 공개/등록특허를 검색한 결과, 최근 도시열섬 현상에 대한 관심과 투자가 증가함에도 불구하고 특허활동이 상대적으로 저조

- 하여 향후 기술개발의 여지가 높은 것으로 판단됨
- 국가별 특허 점유율을 살펴보면, 일본특허가 228건(54%)을 차지하여 가장 높은 점유율을 보이고 있고, 그 뒤를 이어서 한국특허가 144건(34%)으로 두 번째로 높은 점유율을 보이고 있음
- 기술분야별 특허 점유율을 살펴보면, ‘열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축(AD)’ 기술분야가 75%를 차지하여 압도적인 점유율을 보이고 있으나, 2000년대 후반 이후 해당 분야 특허출원이 급격히 하락하고 있음
- ‘열환경 모니터링’, ‘열환경 예측 시뮬레이션’ 및 ‘열환경 설계/관리를 위한 의사결정 지원’ 기술분야는 각각 3%, 19% 및 3%로 점유율 특허활동이 상대적으로 저조하였으나, 특허출원이 점차 증가하고 있어 도시 열환경 관련하여 시스템 기술분야의 발전 추이가 지속될 것으로 예상됨
- 시공 기술분야에 속하는 ‘열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축’ 기술분야는 기술적 성숙도가 높은 관계로 신규기술의 개발이나 후발업체의 진입이 상대적으로 어려울 것으로 판단됨
- 설계 및 관리 시스템 기술분야에 속하는 ‘열환경 모니터링’, ‘열환경 예측 시뮬레이션’ 및 ‘열환경 설계/관리를 위한 의사결정 지원’ 기술분야의 경우 특허활동이 상대적으로 저조한 것으로 미루어 보아 기술개발의 여지가 높고 후발업체의 진입이 상대적으로 수월할 것으로 판단됨
- **열환경 모니터링 기술**은 도시의 열섬 현상의 현황을 분석하는 정도에 그치고 있으며, 분석 결과를 이용하여 기후변화의 원인과 연계시키는 기술, 도시 열섬의 원인을 파악하고 그 결과를 이용하여 도시의 열환경을 설계하고 관리하는 기술과 연계시키는 시도는 부족함. 또한, 열섬취약지역을 분석하는 기술과 열섬취약지역의 유형을 분석하는 기술 등과 같이 도시의 유형별 또는 위계별로 열섬취약지역을 분석하는 기술은 시도된 바가 없는 것으로 파악됨
- **열환경 예측 시뮬레이션 기술**의 경우, 기후변화에 보다 적극적으로 대처하기 위해서는 중·장기적 차원에서 미래 기후변화 시나리오에 기초한 열섬현상 예측 및 시뮬레이션이 수반되어야하나, 전 세계적으로 기후변화와 연계하거나 기후변화 시나리오를 기반으로 하여 미래 도시의 열환경을 예측하고 시뮬레이션 하는 기술 개발이 미흡함
- 열섬 현상을 정확하게 이해하기 위해서는 각 요소들의 효과를 구체적으로 해석하고 이들 간의 상호관계를 종합적으로 분석해야 하고, 도시 열환경 역추적을 통해 열 발생 및 저감원의 규모, 위치를 정확하고 구체적으로 파악해야 함
- 열섬저감은 대기오염의 정화, 돌풍의 예방, 에너지소비량 저감, 도시민의 보건학적 혜택 등과 같은 부가효과가 있음. 따라서 열섬현상 저감 대책에 따른 부가적 효과 분석도 요구됨

- **열환경 설계/관리를 위한 의사결정지원 기술**은 주로 독일, 일본 등에서 개발되고 있으며, 도시 미기후분석을 통해 도시계획의 의사결정을 지원하기 위한 시스템과 프로그램이 개발됨
- 도시차원에서 열섬저감대책 수립을 위해서는 도시공간유형에 대한 고려와 함께 도시, 건축, 토목, 조경 등과 같은 다양한 분야의 특성과 중요도를 통합적으로 고려하여 기후변화 대응 효과를 분석·평가하고, 이에 기반한 설계 및 관리기법이 마련되어야 함
- **도시 인프라 시공/구축 기술**은 국내외에서 시행되고 있는 대부분의 기술들이 Green, Grey, Blue 인프라 시공 내지 조성기술에 국한되어 있음

#### ■ 정책동향

- 도시규모에서의 열섬현상 저감은 도시계획이나 인프라계획과 건설과 같이 중앙정부차원에서 제도의 틀 안에서 행해야 하는 것들이 다수 존재하나, 주관부처간의 상호 협력에 의한 통합적인 정책은 미흡한 실정임
- 또한, 기후변화와 관련한 정책의 일부로서 열섬저감이 다뤄짐에 따라 선진국에 비해 구체성이 결여 됨. 특히, 기후변화와 열섬 현상을 과학적으로 연계하여 도시의 열섬 원인을 분석하고 열환경 계획 및 설계를 위한 정책적 기반 조성은 미흡함
- 기초지자체에서 실질적인 도시열환경 설계 및 관리 정책을 수행하고 있으나 옥상녹화, 벽면녹화, 바람길 조성이 중점사항으로 채택되고 있을 뿐이며, 기후변화와 연계하여 도시열을 관리하고 모니터링하는 종합적 상호 연계 정책은 없는 실정임
- 열섬저감정책의 실효성을 확보하기 위해서는 다양한 도시공간 유형을 고려한 과학적 열환경 평가 도구 및 계획체계의 구축이 필요함. 특히, 바람길과 같은 열섬현상 완화 대책은 건물이나 도시공간 및 인프라의 계획과 설계와 연계되어 있기 때문에 중앙정부차원에서의 종합적인 대책 마련이 필요함
- 주요 선진국에서는 열섬현상에 대한 대책을 강화하기 위해 모니터링 및 분석 체계를 구축하여 실제 공간계획에 적용하고 있음. 열섬현상에 대한 정확한 진단과 구체적 대책 마련을 위해서는 열섬현상과 관련된 복사열, 바람, 대기오염, 증발산 등의 다양한 요소를 종합적으로 고려한 분석 및 계획체계가 구축되어야 함

#### ■ 연구동향

- 분석 대상지에 대한 실측 또는 통계모형을 통한 기온추정방법이 주로 이루어지고 있음. 도시 내 정확한 열섬발생원과 저감원을 파악하기 위해서는 열환경 역추적과 같은 과학적 시뮬레이션에 기반한 모니터링체계 구축에 관한 연구가 필

요함

- 기존 연구에서는 토지피복, 토지이용, 건축물 등이 열환경에 미치는 영향을 개별적·부분적으로 분석하는데 그치고 있음. 도시 내 열환경을 정확하게 파악하기 위해서는 인간활동 및 토지이용, 건축물, 토지피복, 기상조건 등의 다양한 요인을 종합적으로 고려한 메커니즘에 대한 연구 및 분석이 요구됨
- 지금까지의 도시열환경과 관련된 시스템 대부분이 도시 미기후 예측 프로그램의 일부로서 다양한 도시공간 요소들의 상호관계를 구체적으로 반영하지 못하는 한계가 있음
- 분석의 초점 역시 기후예측으로 한정되어 있기 때문에 열쾌적성, 대기오염 등과 연계한 세부적인 분석 및 도시유형별 특성에 따른 열환경 분석에 한계가 있음
- 또한, 분석 규모도 단지 및 도시 일부지역으로 제한되어 도시 및 지역차원에서 분석은 제한되었음. 따라서, 도시열환경 관리를 위한 설계 및 관리에 특화된 시스템 개발에 관한 연구가 필요한 상황임
- 도시열섬완화 대책과 관련하여 실행계획 수립과 구체화를 위한 추가적인 연구가 필요하며 기후변화 대응의 관점에서 다각적으로 접근하는 연구들이 요구됨. 특히, 도시열섬의 원인과 특성이 지역적으로 다르다는 것을 주지하고 이를 적절히 반영할 수 있는 세밀한 도시열섬완화 관련 연구가 요구됨

## 2. 기술수요조사

- 제안된 연구의 틀을 보다 발전시킬 수 있는 신규 기술을 발굴하고, 최종 연구성과물에 대한 수요를 파악하기 위하여 기술수요조사를 실시함
- 연구성과물의 예상 수요처를 공공계, 민간산업계, 학계/연구계로 구분하여 각 부문별로 약 50명씩 총 150여명의 조사 대상자를 선정하여, 지자체 소속 공무원을 대상으로 하는 관련 업무과정에 필요한 기능 및 활용방안, 도입·활용의사 등에 대한 조사와, 업계(공기업, 민간기업) 및 학계/연구계를 대상으로 실무에 필요한 기술을 발굴하기 위한 조사로 구분하여 진행함
- 기술수요조사결과 열환경 모니터링 및 분석 시뮬레이션 기술, 열섬현상을 완화할 수 있는 도시설계 및 관리 기술, 기온저감을 위한 건축·토목·조경기법 및 재료, 열환경 향상을 뒷받침할 수 있는 법률 및 제도 등으로 크게 구분할 수 있음
- 따라서 열환경 모니터링 및 분석기술에서부터 도시 및 개별 도시인프라 차원에서 열섬현상 완화를 위한 기술과 이를 적용할 시 효과분석 기술(시스템), 열섬현상 개선을 장려할 수 있는 법률 또는 제도까지 이르는 전과정에 대한 연구가 고루 필요한 것으로 분석됨
- 또한, 지자체 관련 업무 담당 공무원을 대상으로 실시한 기술수요조사에서는 각

지자체 별로 열섬현상, 열대야, 폭염 등 열환경 관련 문제가 발생하고 있으며, 이를 해결하기 위한 관심이 높은 것으로 나타났으며, 이에 따라 본연구(실제연구)를 통해 도출되는 최종 연구성과물에 대한 활용의사가 높은 것으로 조사됨

- 특히, 본연구(실제연구)를 통해 도출될 최종 연구성과물인 ‘기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템’을 활용할 시 도시계획심의, 건축심의, 환경영향평가 등 제반 업무에서 심의 및 규제를 위한 객관적인 판단 기준을 제시할 수 있을 것이라는 기대가 높았음

## 3. 기술개발 추진방향

- SWOT분석결과에 기초하여 다음과 같이 대응전략 및 기술개발 방향을 설정함

표 1. 기술개발 방향

| 구분 | 대응전략 /기술개발 방향  |
|----|--|
| SO | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 중앙정부 및 기초지자체의 열섬저감 정책을 지원할 수 있는 시스템 개발</li> <li>• 관련 시장의 Need를 반영한 연구과제 도출</li> <li>• 국내 IT 기술과 열 환경 분석 기술을 최대한 활용하여 해당 특허 점유율이 유지되도록 신 기술 개발</li> <li>• 신규 진입이 비교적 용이한 분야에 선택과 집중</li> </ul> |
| ST | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기후변화와 열섬현상을 종합적으로 고려한 연구 수행 및 관련 제도 개선안 제시</li> <li>• 민간기업의 Need를 고려한 연구목표 설정</li> </ul>  |
| WO | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시계획 및 설계에 있어 실질적으로 적용 가능한 의사결정 지원시스템 및 계획지원시스템 개발</li> <li>• 기존 국내 연구와 최대한 연계하여 기술을 개발하되, 선진국 수준과의 격차 해소</li> <li>• 관련 시장이 형성되도록 사업화 모델 개발</li> </ul>  |
| WT | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 열섬 대응 관련 구체적 정책 수립이 가능하도록 과학적 근거 제시</li> <li>• 시민참여를 유도할 수 있는 제도 개선안 개발</li> <li>• 공공기관 뿐만 아니라 민간기업에서도 활용 가능한 컨텐츠 개발</li> </ul>   |

## IV. 기술개발 전략 수립 및 연구내용 설정

### 1. 기술발전 시나리오

- 현시점에서의 열환경 분석기술은 도시민 삶의 질을 향상시키기 위해 개발되어왔으나, 미래 기후변화에 의한 피해가 심화될 것으로 예상되기 때문에 도시의 기후변화 적응성을 향상시켜 지속가능성을 제고해야 함
- 이를 위해 지금까지의 단위 건축공간 또는 국지적인 분석을 탈피하여 도시 전체 또는 지역적인 분석이 가능하도록 공간적 분석범위를 확장해야 하며, 시간적으로는 현시점만이 아니라 근미래를 포함하는 중장기적인 미래 예측이 가능해야 함
- 또한, 건축물 및 개별 도시인프라에 대한 부분적인 분석을 종합하여 도시공간유형에 따라 도시인프라의 상호연계작용을 고려하여 분석할 필요가 있음
- 첨단 분석기법을 도입한 시스템을 통해 일회성 도시열환경 분석 및 평가가 아닌 지속적인 도시열환경 모니터링 및 분석·평가가 이루어진다면, 저열섬 도시설계

- 및 관리를 실현할 수 있음
- 과학적 분석기법 도입을 통해 도시열환경 설계 및 관리를 위한 준거 수립이 가능하며, 공간적 의사결정지원시스템 개발을 통해 도시 설계 및 관리를 위한 실천방안을 도출할 수 있음
- 본연구(실제연구) 이외의 건설교통R&D와의 연계를 살펴보면, 도시연구를 포함하여 SOC연구, 교통물류연구에서 진행 중인 녹색도시 설계 및 관리 방안, 지속 가능한 도시 조성을 위한 인프라 구축 등과의 연계를 통해 지속가능한 친환경 도시 조성을 위한 기틀을 잡을 수 있음. 또한, 열환경 예측 시뮬레이션 기법 및 열환경 설계를 위한 의사결정지원 기술, 기후변화 적응형 도시관리체계는 재난 및 안전관리를 위한 정보 및 분석기법 및 제도적 틀을 제공할 수 있으며, 첨단 미래도시 운영시스템 구축에 기여할 수 있음

## 2. 세부목표 및 중점 추진분야 설정

- 기후변화 추세에 능동적으로 대응하고 도시열섬 저감을 통해 쾌적한 도시공간을 조성하기 위한 도시열환경 설계 및 관리시스템을 개발하기위해 다음과 같은 세부 연구목표를 설정함
  - 도시열 발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링기술 개발
  - 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발
  - 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 및 지원체계 개발
- 핵심기술후보군을 도출하기 위해 ①시장기반 기술수요조사, ②전문가 기술수요조사, ③기술 분석의 3가지 방법론을 이용하여 관련 중점 추진분야를 도출함
- 열환경 모니터링, 열환경 예측 시뮬레이션, 열환경 설계 및 관리를 위한 의사결정지원, 열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축기술과 기술트리에서 제시되지 않았던 열섬 대응 관련 제도 및 정책 개발, 도시열환경 관리를 위한 비즈니스 모델 개발이 선정됨

표 2. 중점 추진분야

| 중점 추진분야                 |                                       |
|-------------------------|---------------------------------------|
| 열환경 모니터링                | 열 발생/저감 모니터링<br>열 취약지역 분석             |
| 열환경 예측 시뮬레이션            | 기후변화 시나리오 분석                          |
|                         | 열환경 분석 및 예측시뮬레이션기술                    |
|                         | 열 저감에 의한 유발효과 분석기술                    |
| 열환경 설계 및 관리를 위한 의사결정 지원 | 도시 열환경 설계/관리 기술                       |
|                         | 열섬저감을 위한 도시인프라 설계/관리 기술               |
| 열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축기술  |                                       |
| 기타 (기술트리 외)             | 기후변화 적응과 열환경 개선을 위한 계획·설계·관리 가이드라이 개발 |
|                         | 열섬 대응 관련 제도 및 정책 개발                   |

- 동향조사, 기술수요조사, 전문가(기획연구진 및 자문위원진) 회의를 통해 도출된 후보기술을 중점 추진분야 5가지 분류(10가지 세분류)에 따라 분류하고 유망기술 후보군을 도출함

## 3. 연구개발 후보과제 도출

- 최종 후보과제를 선정하기 위하여 설정된 후보과제들을 대상으로 기술중요도 및 기술수준을 기획연구진 및 자문위원회를 대상으로 조사함
- 우선순위 평가를 위한 항목과 각 항목별 세부항목을 설정하고, 각 항목별 평가 기준을 설정함

표 3. 항목별 평가기준

| 평가항목 |             | 평가기준   |
|------|-------------|--|
| 중요도  | 시장성         | 기술이 적용된 제품 및 서비스의 잠재적 시장규모, 성장전망   |
|      | 기술성         | 기술자체의 중요성, 기술개발의 시급성, 기술선도/기술우위 가능성, 기술의 독창성, 타 관련분야 활용파급성 등의 가치 보유여부      |
|      | 실현 가능성      | 기술개발 목표 연구기간내 달성가능성, 필요 연구시설 및 전문인력 확보 정도, 규제/인허가, 독점/특허 등의 사업환경 제약이 없는 정도 |
|      | 전략적 타당성     | 정부가 추진하고자 하는 정책과의 부합성, 국민 생활의 질 증진을 위한 공익성, 관련 산업 발전에 대한 기여정도              |
| 기술수준 | 선진국 대비 기술수준 | 국외 선도 기술 대비 국내 기술의 수준  |

- 국내·외 동향분석 결과와 기술 중요도-기술수준 포트폴리오 분석 결과에 기초하여 본연구(실제연구) 추진을 위한 과제를 도출함. 단, 시공기술의 경우 국내·외 기술동향 분석결과에 제시된 바와 같이 현재 기술수준이 매우 진보되어 있고, 본 과제가 저 열섬 도시 조성을 위한 열환경 설계 및 관리시스템 개발이 초점을 두고 있는 바, 후보과제에서 제외함
- 도출된 과제를 재구성하여 본연구(실제연구)를 크게 4부문으로 구성됨
  - **기상 및 도시공간 DB 구축:** 분석 및 평가를 위한 자료 구축 단계로 실측 또는 기 구축된 자료를 활용하여 기온, 풍향, 풍속, 일조, 운량, 습도 등을 포함한 기상자료를 구축함. 또한 공간분석 및 열섬발생 및 저감 메커니즘 해석을 위한 도시공간정보(지형, 토지이용, 건축물, 도시인프라, 에너지, 교통 등)를 구축하고 DB화 함
  - **도시열 발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링기술:** 현황 해석기법을 개발하는 단계로 열환경 해석을 위한 열섬 발생 및 저감 요인별 기여도를 분석하고, 이를 종합하는 도시열 발생·저감모니터링 기술을 개발함. 또한 열환경에 대한 취약성 평가를 위한 지표 및 지수를 개발하고, 대상지에 대한 취약성을 평가함. 또한 열섬 저감에 의한 에너지 사용 저감효과를 분석하여 유발효과를 규명함

- **열섬저감 도시공간 설계시스템:** 열섬발생 및 저감 메커니즘을 활용하여 열환경 예측 시뮬레이션기술을 개발하고, 이를 통해 저열섬 도시공간 설계 및 관리방안 적용에 따른 열환경을 분석·평가할 수 있는 저열섬 도시공간 설계 및 관리 시스템을 구축함
- **기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 및 지원체계:** 열 취약성 평가 결과와 저열섬 도시공간 설계 및 관리 시스템을 통한 분석·평가 결과에 기반하여 저열섬 도시 조성을 위한 도시관리체계 및 비즈니스 모델을 개발함

표 4. 과제구성 결과

| 중점 추진분야                       | 과제도출 결과   | 최종 후보과제   |
|-------------------------------|---|---|
| 기상 및 도시공간 DB 구축               | 기온현황 실측 및 도면 작성/DB구축  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시열환경 분석을 위한 DB 구축</li> <li>• 기후변화 시나리오 기반 미래 도시열환경 예측</li> </ul>  |
|                               | 도시공간의 열환경 평가지표 개발(거시/미시)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시 내 열 취약지역 분석</li> </ul>  |
|                               | 기후변화를 고려한 열 취약지수 개발 및 취약지 유형 분석   |   |
| 도시 열 발생 및 저감기여도 산정 및 모니터링 기술  | 인공열 발생 기여도 분석   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시공간 요소별 열 발생 기여도 산정기술 개발</li> </ul>   |
|                               | 자연열 발생 기여도 분석   |   |
|                               | 거시적/미시적(자연+인공열) 차원에서 도시열 발생 기여도 분석  |   |
|                               | 열섬저감을 위한 도시인프라 유형 도출 및 분류   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시공간 내 열 발생 및 저감요소 유형화 및 DB 구축</li> </ul>  |
|                               | 건물녹화(또는 Cool Roof)에 의한 도시열 저감 기여도 분석  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시공간 요소별 열 저감기여도 산정기술 개발</li> </ul>  |
|                               | 거시적/미시적 차원에서 도시인프라의 도시열 저감 기여도 분석   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시에너지 사용량 DB 구축(수집)</li> <li>• 도시열 저감 요소별 에너지 사용 저감기여도 분석</li> <li>• 도시열 저감에 따른 에너지저감량 산정기술 개발 및 실증</li> </ul> |
|                               | 열 저감에 의한 에너지사용 저감효과   |   |
| -                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• (신규)도시열 발생·저감 모니터링시스템 개발 및 실증</li> </ul> |   |
| 열섬저감 도시공간 설계시스템               | 도시열 발생 시뮬레이션기술<br>도시열 저감효과 시뮬레이션기술  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시기상을 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 개발 및 실증</li> </ul>   |
|                               | 열원 탐색 시뮬레이션기술   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 열원 역추적 분석 모델링 기술 개발 및 실증</li> </ul>  |
|                               | 기후변화 시나리오 기반 미래 도시열환경 예측/시뮬레이션기술  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기후변화를 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 개발 및 실증</li> </ul>   |
|                               | 도시기후구역(LCZ) 유형화 및 DB구축  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 열환경 설계 및 관리를 위한 도시기후구역 유형화(LCZ)</li> </ul>   |
|                               | 도시공간(LCZ) 유형별 열환경 개선효과 분석모형   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 도시공간 의사결정지원기술 개발</li> </ul>   |
|                               | 도시계획 수립시 거시/미시적 차원에서 열환경 개선효과 분석모형  |   |
| 열섬저감 도시 조성 및 관리를 위한 개발밀도 분석모형 |   |   |

|                                  |   |  |
|----------------------------------|---|--|
|                                  | 도시공간 내 열섬저감을 위한 도시인프라 입지 분석모형   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시기후구역 유형별 열섬저감을 위한 도시 설계 및 관리요소 입지/우선순위 분석기술 개발</li> </ul>                   |
|                                  | 2차원 열환경 분석기법의 3차원 전환기술  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발 및 실증</li> </ul>  |
| 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 및 지원체계 | 기후변화 적응형 도시관리체계 구축: Contextual Zoning 및 Form Based Code 기반의 기후변화 적응형 도시관리체계 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기후변화 적응 및 열섬저감도시 조성을 위한 제도 개선안 제시</li> <li>• 도시열 취약지역 개선 및 관리방안 수립</li> </ul> |
|                                  | 열섬저감 도시 조성 및 관리를 위한 계획모형 개발   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시공간 위계별·유형별 기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 계획·설계·관리 가이드 라인 개발</li> </ul>               |
|                                  | 열섬저감을 위한 도시인프라 계획 및 설계기법  |  |
|                                  | 도시열환경 관리를 위한 산업 육성방안 연구   |  |
|                                  | 도시열환경 향상을 위한 도시인프라 도입 장려 제도 개발  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 열섬저감 도시조성 관련 일자리 및 산업 육성방안 수립</li> </ul>                                      |

## V. 연구개발과제 기획

### 1. 연구 목표 및 범위

- 본 기획연구를 통해 도출되는 연구과제의 최종 목표는 도시열환경 설계 및 관리 시스템의 개발을 통해 기후변화 추세에 능동적으로 대응하는 저열섬 도시를 조성하는 것임

표 5. 연구개발 목표

| 기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템 개발 목표                         |  |
|---|--|
| 도시열환경 설계 및 관리시스템의 개발을 통해 기후변화 추세에 능동적으로 대응하는 저열섬 도시를 조성 |  |
| 정성적 목표  | 정량적 목표   |
| 도시열 발생 및 저감기여도 산정 및 모니터링 시스템 개발                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 열섬 발생 및 저감 메커니즘의 정확도 R<sup>2</sup> 0.75 이상 확보</li> <li>• 실제 관측자료와 90% 이상의 정확도 확보</li> </ul>           |
| 열섬 저감도시공간 설계시스템 개발                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시계획 및 설계, 평가, 분석시 요구되는 공간단위(해상도) 수준 확보: 최소 100m 이상</li> <li>• 개별 모듈별 시뮬레이션의 정확도 85% 이상 확보</li> </ul> |
| 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 및 지원체계 개발                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 열섬 중심지역의 예년 평균기온 대비 저감 백분율 (또는) 절대적 변화수치공간규모별 (미시적: 1°C, 거시적: 0.3°C)</li> </ul>                       |

### 2. 세부과제 도출 및 연구내용

- 과제추진체계와 선정된 과제에 기초하여 다음과 같이 과제를 구성함. 과제구성은 과제추진체계를 고려하여 선정된 과제를 세분화 또는 통합하는 과정을 거쳐 도출됨

표 6. 과제구성 결과

| 과제명                                       | 연구내용                                       |   |  |   |
|---|--|---|--|---|
| (1세부과제)<br>도시열 발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링기술 개발 | (1-1)<br>열환경 분석을 위한 DB 구축 및 열 취약지역 분석기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> <li>기온현황 실측 및 도면 작성/DB 구축</li> <li>기후변화 시나리오 기반 미래 도시열환경 예측</li> <li>기후변화를 고려한 열 취약지역 분석기술</li> <li>도시열 발생-저감 모니터링시스템과의 연계기술</li> </ul>  |  |   |
|   | (1-2)<br>도시열 발생-저감 모니터링시스템 개발 및 실증         | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시공간 내 열 발생 및 저감요소 유형화 및 DB구축</li> <li>도시공간 요소별 열 발생 기여도 산정기술</li> <li>도시공간 요소별 열 저감 기여도 산정기술</li> <li>도시열 발생-저감 모니터링시스템 개발</li> <li>도시열 발생-저감 모니터링시스템 실증(Pilot Test)</li> </ul> |  |   |
|   | (1-3)<br>도시열 저감에 의한 에너지사용 저감효과 분석기술 개발     | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시에너지 사용량 DB구축(수집)</li> <li>도시열 저감에 따른 에너지사용 저감기여도 분석기술</li> <li>도시열 저감에 따른 에너지저감량 산정기술</li> <li>도시열 저감에 따른 에너지저감량 산정결과 실증</li> <li>도시열 발생-저감 모니터링시스템과의 연계기술</li> </ul>          |  |   |
|   | (2세부과제)<br>열섬저감 도시공간 설계 및 관리시스템 개발         | (2-1)<br>도시열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 개발   | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시기상을 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술</li> <li>기후변화를 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술</li> <li>열원 역추적 분석 모델링기술</li> <li>도시열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 검증</li> <li>열섬저감 도시공간 설계시스템과의 연계기술 개발</li> </ul>   |   |
|   |  | (2-2)<br>열섬저감 도시공간 설계시스템 개발   | <ul style="list-style-type: none"> <li>열환경 설계 및 관리를 위한 도시기후구역(LCZ) 유형화</li> <li>도시기후구역 유형(LCZ)별 열섬저감을 위한 도시설계 및 관리요소 입지/우선순위 분석기술</li> <li>기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 도시공간 의사결정지원기술</li> <li>열섬저감 도시공간 설계시스템 개발</li> <li>열섬저감 도시공간 설계시스템 실증(Pilot Test)</li> </ul> |   |
|   |  | (3세부과제)<br>기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시 조성기법 및 지원체계 개발   | (3-1)<br>기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 및 지원체계 개발   | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시공간 위계별-유형별 기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 계획-설계-관리 가이드라인/Prototype 개발</li> <li>기후변화 적응 및 열섬저감도시 조성을 위한 제도 개선안 제시(녹색인프라 장려제도 포함)</li> <li>도시열 취약지역 개선 및 관리방안 수립</li> <li>열섬저감 도시조성 관련 일자리 및 산업 육성방안 수립</li> </ul> |

- 연구성과 도출을 위해 필수적으로 도출되어야 할 중간 산출물(Output) 과 최종적으로 도출되는 성과물(Outcome)을 세부과제별로 선정함

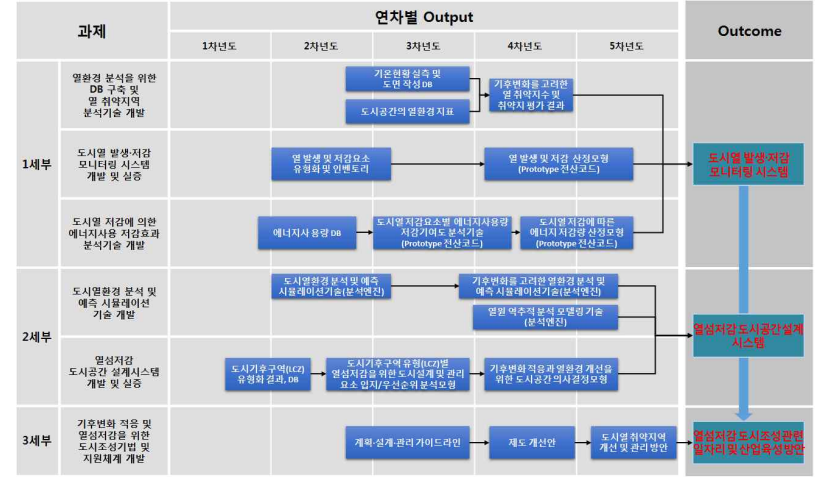


그림 1. 과제별 · 연차별 산출물(Output) 및 성과물(Outcome)

### 3. 핵심성과표

- 핵심성과표는 세부과제 단위로 연구의 진행에 있어 가장 핵심이 되는 성과를 선정함

표 7. 핵심성과표

| 과제명   | 핵심성과                            | 정의   |
|---|---------------------------------|--|
| (1세부과제)<br>도시열 발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링기술 개발       | 열 발생 및 저감 산정모형                  | 열 발생 및 저감 요소별 열 발생(인공열, 자연열) 및 저감(녹색 인프라 등) 기여도 산정 기술 개발   |
|   | 도시열 저감에 따른 에너지 저감량 산정모형         | 도시열 저감 요소별 에너지사용 저감기여도에 기반하여 도시열 저감에 따른 에너지 사용저감량 산정 기술 개발 |
| (2세부과제)<br>열섬저감 도시공간 설계 및 관리시스템 개발              | 도시 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술          | 도시기상을 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술                              |
|   | 기후변화 적응과 열환경 개선을 위한 도시공간 의사결정모형 | 도시기후구역(LCZ) 유형별 열섬저감을 위한 도시 설계 및 관리 의사결정 지원기술              |
| (3세부과제)<br>기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시 조성기법 및 지원체계 개발 | 도시열 취약지역 개선 및 관리 방안             | 도시열 취약지역 개선 및 관리를 위한 제도 개선안 및 정책                           |

### 4. 연구목표 달성을 위한 추진 방안

- 본 기획에서 수립하는 “기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템 기술 개발” 과제는 도시 열환경을 체계적이고 과학적으로 관리하기 위한 핵심 요소 기술을 개발하고 이를 유기적으로 연계한 패키지화된 기술을 개발하는 과정으로 “연구단 수준”의 추진체계 구성이 적합한 것으로 판단됨

- “기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템 기술 개발” 연구단은 기초·원천기술의 개발, 실용화, 관리정책 제안 등을 포함하는 다양한 성격의 연구를 총괄해야 하므로, 산·학·연간의 유연한 연계가 가능한 추진조직이 필요함
- 본연구(실제연구)와 관련된 기술 및 인프라는 자동기상관측망(AWS)과 기상 시뮬레이션 기법(ENVI-met, WRF 등)이 있음
  - 자동기상관측망은 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션을 위해 필요한 기상자료(기온, 풍향, 풍속, 습도, 일조 등) 구축이나 연구성과물의 검증에 활용될 수 있음
  - 기상 시뮬레이션 기법은 도시 전역에 대한 분석이 가능한 중규모 기상모델(WRF)과 단지규모의 분석을 위한 미기상모델(ENVI-met)로 구분하여 분석 목적 및 단위에 적합한 연구성과물 검증에 활용이 가능함

### 5. 성과물 활용방안 및 실용화 추진방안

- 기획연구진 및 자문위원진의 회의를 통해 본연구(실제연구) 최종 연구성과물인 ‘기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템’의 성능을 검증하기 위한 방안을 마련함

표 8. 연구성과 검증방안 비교분석

| 구분                                   | 검증시간 및 비용  | 실현가능성   | 논리적 타당성   | 비고           |
|--------------------------------------|--|---|---|--------------|
| Piolt Test<br>대상지 선정<br>후 전후<br>비교분석 | • 해당 개발사업이 종료된 후의 열환경을 측정해야 하기 때문에 매우 많은 시간과 비용 필요               | • 연구(실제연구) 수행기간 내 사업의 시작 및 완료(입주 완료)가 확실이 이루어지는 대상지가 존재해야 가능  | • 계획안 변경을 야기하는 외부 영향변수(개발사업의 경제성 등)가 통제되었을 경우 논리적 타당성 확보 가능<br>• 거시적 효과에 대한 검증이 어려움                     | -            |
| 도시공간<br>유형화 및<br>실측결과<br>비교분석        | • 별도의 시공이 필요하지 않기 때문에 시간과 비용이 적게 소요                              | • 열환경 개선을 위한 다양한 물리적 조성(예: 수목, 식재, 옥상녹화, 벽면녹화 등)이 충분히 성숙된 상태가 되어야 성능 검증 가능<br>• 기존 기상측정 장비와 본 연구를 통해 추가로 측정하는 지역을 대상으로 대규모 공사 없이도 검증 가능 | • 장기간 측정되어온 기존 기상측정자료와 본 연구를 통해 추가적으로 설치한 기상 측정결과를 시뮬레이션 결과와 비교함으로써 통계적 유의성 확보 가능<br>• 미시적·거시적 효과 검증 가능 | 본 연구의 검증에 적합 |
| 열섬<br>저감방안<br>적용 후<br>전후<br>비교분석     | • 소규모 공간을 대상으로 저감방안을 적용하기 위한 시공작업이 수반되어야 하기 때문에 비교적 많은 시간과 비용 필요 | • 소규모 실험영역이더라도 연구기간 내 대상지에 수행한 결과(예: 수목의 성숙 정도)가 연구 종료 후 검증 가능<br>• 도시공간위계, 도시공간 유형, 건물의 배치 등 열환경에 직접적 영향을 주는 요소들에 대한 종합적 고려가 어려움       | • 소규모 실험 결과의(부분적) 함으로 전체를 이해하려는 논리적 결함 발생<br>• 거시적 효과(바람길, 지역복사 에너지 등)에 대한 검증이 어려움                      | -            |

- 성과물 검증은 다음의 방법을 통해 이루어짐
  - 대상지를 도시공간 유형에 기반하여 LCZ(Local Climate Zone)로 구분함
  - 각 LCZ별 실측 기온과 기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템의 시뮬레이션을 통해 도출된 기온결과를 비교·분석하여 시스템의 신뢰성을 검증·확보함
  - 시스템의 신뢰성 검증 후, 열섬 저감방안의 효과를 시스템을 통해 검증함

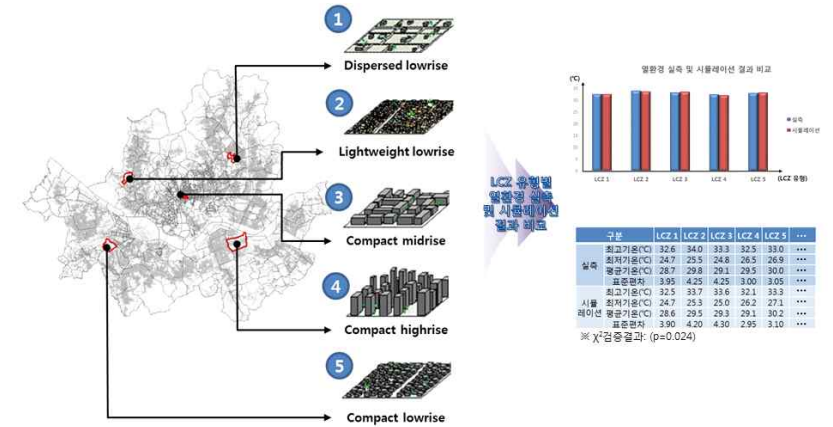


그림 2. 도시공간 유형화 및 실측결과 비교분석 방안

- 최종 성과물인 저열섬 도시 열환경 설계 및 관리시스템은 현시점의 열환경 모니터링과 기후변화에 따른 미래시점의 열환경 시뮬레이션을 통해 도시유형별 저열섬 도시설계 및 관리계획 수립에 활용할 수 있음
- 도시열 발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링 시스템 활용방안
  - 열섬 발생 및 저감 메커니즘에 기반한 도시내 열환경 상시(주간/야간) 모니터링/열섬 원인 규명
  - 열섬 저감에 의한 부가효과(에너지 사용저감) 분석
  - 열섬 취약지역 분석 및 도면화: 도시 내 열환경이 문제시 되는 지역 규명: LCZ(Local Climate Zone) 설정 및 대책 마련
- 도시열환경 예측·시뮬레이션 활용방안
  - 기후변화에 따른 도시열환경 변화 예측
  - 열섬 저감방안 적용 시 열환경 변화 시뮬레이션
  - 도시계획 및 설계 관련 각종 평가 및 심의에 활용
- 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 및 지원체계 활용방안
  - 기성시가지에서의 열환경 향상을 위한 관리방안 수립

- 신규개발지역, 재개발지역의 개발계획수립시 열환경을 고려한 설계방안 제시
- 중앙정부부처에서 개발한 친환경 도시개발 관련 계획평가 가이드라인의 과학화 실용화

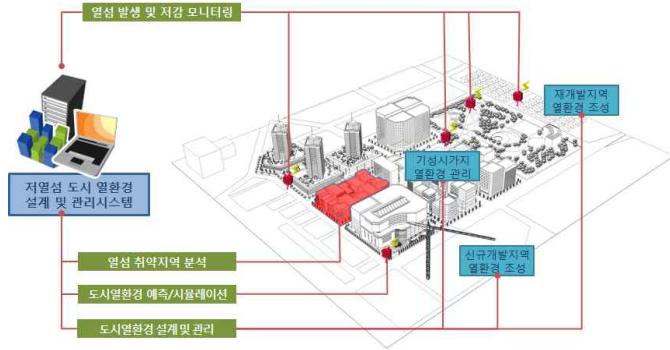


그림 3. 본연구(실제연구) 최종 성과물 적용방안

- 본연구(실제연구) 최종 성과물의 수요처는 중앙정부 및 지자체, 건설관련 공기업 및 민간기업, 연구원 및 대학교의 관련학과 등으로 구분할 수 있음

표 9. 본연구(실제연구) 최종 성과물 수요처별 활용방안

| 수요처             | 활용방안   | 세부수요처  |
|-----------------|--|--|
| 중앙정부 및 지자체      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시열섬현상 원인 규명 및 관리</li> <li>• 열환경 및 도시계획 관련 법률 재정비 및 입법화</li> <li>• 도시개발계획(안)의 열환경 심의-검토를 위한 지원 도구</li> <li>• 열환경 개선을 위한 지자체 특성에 맞는 조례 및 심의기준 제시</li> <li>• 도시 열환경 개선을 위한 인센티브 도입방안 지원</li> <li>• 저열섬 도시 조성을 위한 도시계획 및 설계/건설(시공) 방안 제시 및 의사결정지원, 도시관리</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 국토교통부, 환경부, 기상청, 산림청 등</li> <li>• 주요 지자체의 도시계획, 건축, 공원녹지 등 관련 부서</li> </ul> |
| 건설관련 공기업 및 민간기업 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 저열섬 도시 조성을 위한 도시계획 및 설계 지원</li> <li>• 건축·토목·조경 관련 조성방안 제시 및 의사결정 지원</li> <li>• 도시개발계획(안)의 심의 전 열환경을 사전에 분석할 수 있는 도구 및 근거자료</li> <li>• 도시(단지) 개발사업 수행시 공간적 특성에 따른 사업타당성 검토 지원</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 건설관련 공기업 (NH공사, 지자체 도시공사등)</li> <li>• 민간건설회사, 엔지니어링 회사 등</li> </ul>         |
| 연구원 및 대학교       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 열환경, 열섬 등 도시열환경 관련 연구분석 지원</li> <li>• 열환경 개선을 위한 공간계획 및 설계</li> <li>• 도시열섬 메커니즘, 저열섬 도시 조성에 대한 강의도구로 활용</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시, 토목, 환경, 건축, 조경 등의 관련 학과</li> <li>• 정부출연 연구기관, 지자체 법인연구기관</li> </ul>     |

- 성과물 실용화 방안

- 본연구(실제연구)의 최종 성과물인 기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리 시스템의 실용화를 위해 시스템 개발을 완료한 후, 연구기간 내에 수차례의 타 대상지의 적용과정을 거쳐 시스템의 오류를 최소화 하고, 지역별 커스터마이징 (Customize) 과정을 최소화하여 범용성을 확보함
- 본연구(실제연구) 연구기간동안 지속적으로 업계 및 공공계의 실무 담당자와의 협의를 통해 실무에서의 니즈(Needs)를 반영하고, 연구종료시 실제 업무에 활용이 가능한 수준의 연구성과물을 도출하도록 연구계획을 수립함
- 소프트웨어(SW) 등록 및 특허 출원·등록 등을 통해 연구성과물에 대한 지적재산권을 확보하고, 전문 SI 업체를 통해 실용화 방안을 모색함

## 6. 인력투입 계획 및 소요예산

- 세부과제별 연구내용을 근거로 과제 수행에 필요한 연구인력을 직급별, 기술분야별, 학력별, 전공별 등의 기준에 따라 추정하여 산정하고, 소요인력을 취합·분석함
- 인력은 투입인원별 참여율과 참여기간을 함께 고려할 수 있는 Man-Month를 이용하여 추정함

표 10. 연차별 투입 연구인력

(단위: Man-Month)

| 구분    | 1차년도  | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계    |      |
|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|
| 1세부과제 | 소계    | 3    | 10.7 | 18.3 | 9.9  | 4.1   | 46   |
|       | 책임연구원 | 0.9  | 1.4  | 1.6  | 0.9  | 0.6   | 5.4  |
|       | 연구원   | 0.5  | 2.2  | 2.7  | 2.2  | 0     | 7.6  |
| 2세부과제 | 소계    | 5.2  | 15.1 | 18.7 | 15.5 | 14.3  | 68.8 |
|       | 책임연구원 | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6   | 3    |
|       | 연구원   | 1.5  | 3.7  | 3.7  | 3.7  | 3.7   | 16.3 |
| 3세부과제 | 소계    | 0    | 2.5  | 4.3  | 4.8  | 4.5   | 16.1 |
|       | 책임연구원 | 0    | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3   | 1.2  |
|       | 연구원   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    |
| 연구보조원 | 0     | 2.2  | 4    | 4.5  | 4.2  | 14.9  |      |
| 합계    | 8.2   | 28.3 | 41.3 | 30.2 | 22.9 | 130.9 |      |

- 세부과제별 최소 연구단위인 세세부과제를 수행하는데 소요되는 적정 비용을 산정함. 이를 토대로 세부과제와 총괄과제의 연구비를 산정하여 총 사업예산 규모를 산출함
- 과제별 예산은 정부출연과 민간부담을 구분하지 않고 연구성과 달성을 위해 필요한 소요 예산을 작성함

표 11. 전체 소요예산

(단위: 백만원)

| 구분    | 1차년도 | 2차년도  | 3차년도  | 4차년도  | 5차년도  | 합계    |
|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1세부과제 | 215  | 932   | 1,440 | 603   | 297   | 3,487 |
| 2세부과제 | 266  | 1,365 | 1,720 | 1,080 | 1,102 | 5,533 |
| 3세부과제 | -    | 110   | 210   | 226   | 221   | 767   |
| 합계    | 481  | 2,407 | 3,370 | 1,909 | 1,620 | 9,787 |

※ 총 연구비: 10,164백만원(과제관리비 377백만원 포함)

## VI. 사전타당성검토

### 1. 정책적 타당성 검토

- 국가정책과의 부합성
  - 정부는 국정과제를 통해 환경과 조화를 이루는 개발을 유도하고 있음. 쾌적한 도시열환경의 조성은 도시환경계획의 핵심 사안이 바, 본 연구개발을 통해 국토·도시계획 관련 환경계획의 선진화를 도모할 수 있음
  - 한편, 기후변화에 의한 피해가 가시화됨에 따라 총체적 국가 재난관리체계를 강화하고 있음. 도시의 열환경이 개선방안이 마련될 경우 열 관련 사망자와 환자의 수를 저감함으로써, 각종 재난으로부터 안전한 삶 구현을 위해 재해 예방적 토지이용체계 확립에 기여할 수 있음
  - 기후변화에 따른 열환경을 예측·시뮬레이션 하고, 이에 기초하여 도시공간을 조성함에 있어 열환경 개선을 위한 가이드라인 개발 및 제도개선안을 제시함으로써, 기후변화 감시·예측 능력 확보 및 이상기후 대응 능력 강화에 기여할 수 있음
- 본 과제는 현 정부에서 제시한 제 3차 과학기술기본계획과 다음과 같은 정합성을 확보하고 있음
  - 국토인프라 선진화에 기여
  - 기후변화 대응력 강화: 열환경 관련 기후변화 감시·예측·적응 기술
  - 사회적 재난 대응체계 확보: 환경·인체 위해성 평가기술
  - 선제적 자연재해 대응체계 확보: 자연재해 모니터링·예측·대응기술

### 2. 기술적 타당성 검토

- 도시기온에 영향을 미치는 열에너지의 10% 이상이 인공요인에 의해 발생하고 있는 바, 이러한 요소들은 도시열환경 설계 및 관리를 통해 저감 가능함
- 현재, 우리나라의 관련기술 수준은 기술개발 도입기로 선도국 대비 60%로 연구개발이 이루어지지 못할 경우, 기술격차 및 기술중속의 심화가 우려됨
- 특히 전 세계적으로 열섬저감을 위한 인프라 시공기술은 상당 수 개발된 반면, 열섬저감을 위한 기술개발은 저조한 실정임

- 본과제(실제연구)의 수행을 통해 다음과 같은 기술적 향상을 기대할 수 있음
  - 도시 내 건축물, 인프라, 교통량을 종합적으로 고려한 분석이 가능함
  - 중·장기적 미래의 열환경 변화에 적응하기 위한 공간계획·설계 지원도구를 개발함으로써 열섬저감 도시계획·설계를 위한 과학적 준거를 제공할 수 있음. 이를 통해 도시공간의 기후변화 대응력이 제고될 수 있을 것으로 판단됨
  - 도시계획·설계기술력·녹색 건축·건설기술력, 재난분석기술력, 공간정보활용·분석 기술력이 향상됨으로써 도시공간의 성능의 향상을 도모할 수 있음

### 3. 경제적 타당성 검토

- 경제효과 항목의 계량화 및 가치화
  - 경제효과와 계량화 및 가치화는 도시 평균기온이 1℃ 저감됐을 경우 발생하는 효과를 산정함
  - 경제효과 항목은 크게 환경효과, 건강증진효과, 기타효과로 구분됨

표 12. 경제효과 항목화

| 구분             | 항목             | 계량화 | 가치화 | 효과구분    | 비고  |
|----------------|----------------|-----|-----|---------|---|
| 환경<br>효과       | 에너지사용량 절감      | ○   | ○   | 시장재효과   |   |
|                | 이산화탄소 발생량 저감   | ○   | ○   | 시장재효과   |   |
|                | 대기질 악화 감소      | ○   | △   | 시장재효과   | 대기질의 경우 가치화불능효과이나 CGE, MERGE model에 의해서 계산됨 |
| 건강<br>증진<br>효과 | 열관련 질병 의료비 감소  | ○   | ○   | 시장재효과   |   |
|                | 고온에 따른 사망자수 감소 | ○   | ×   | 가치화불능효과 |   |
| 기타<br>효과       | 도시 쾌적성 향상      | ×   | ×   | 계량화불능효과 |   |
|                | 재해재난 감소        | ×   | ×   | 계량화불능효과 |   |
|                | 관련기술 향상        | ×   | ×   | 계량화불능효과 |   |

\* ○: 가능, ×: 불가능, DC: 이중계산(Doble Counting) TP: 이전소득(Transfer Payment)

- 경제효과를 종합하면 218,349백만원의 효과가 있는 것으로 분석됨. 경제효과 중 전기에너지 저감에 의한 에너지 사용 절감량 효과가 154,920백만원으로 가장 효과가 큰 것으로 분석되었음

표 13. 경제효과 분석 결과

| 효과                  |  | 금액<br>(백만 원)                                     | 긍정효과 | 비고         |
|---------------------|--|--|------|------------|
| I. 시장재<br>효과        | 1. 환경효과<br>- 에너지 사용량 절감<br>- 이산화탄소 발생량 저감<br>- 대기질 악화 감소 | 154,920  | ○    |            |
|                     |  | 5,382  | ○    |            |
|                     |  | 51,392   | ○    |            |
|                     | 2. 건강증진효과<br>- 열관련 질병 의료비 절감                             | 6,656  | ○    | 연간 90 명 감소 |
| II. 비시장<br>재 효과     | 1. 건강증진효과<br>- 고온에 따른 사망자수 감소                            |  | ○    |            |
|                     |  | 2. 기타효과<br>- 도시 쾌적성 향상<br>- 재해재난 감소<br>- 관련기술 향상 |      |            |
| 총 project의 경제효과 (B) |  | 218,349  |      |            |

#### 4. 정부지원의 필요성

- 기후변화 및 도시열환경 악화 문제에 대응하기 위한 대책 마련이 시급함
  - 기후변화로 인한 도시기온 상승에 따라 폭염과 같은 부정적 환경변화 심화되고 있으나, 이를 효과적으로 제어할 수 있는 구체적 방안이 제시되지 못하고 있음
  - 열환경 관련 재해를 효과적으로 제어할 수 있는 구체적 방안 부재
  - 열환경 개선을 위해서는 도시전반에 걸친 열환경 분석, 예측, 설계, 관리가 통합적으로 이루어져야 하며, 이를 과학적으로 뒷받침 할 수 있는 시스템 개발이 필요함
- 국가적 관심사인 도시민 건강보전 및 행복지수 증진을 위한 도시열환경 관리가 필요함
  - 열환경 악화는 도시민의 삶의 질 및 건강보전 저하, 국민 생산성 저하와 같은 부정적 영향을 야기하며, 도시민의 생활안전과 건강보전에 직접적 위협으로 작용하고 있음
  - 도시계획·설계분야에서 도시민 건강보전 증진차원의 열환경 개선노력은 미흡함
  - 도시열환경은 공공재로서 쾌적한 열환경 조성은 국가의 관심과 제도적 뒷받침에 의해 실현 가능하기 때문에 각종 도시개발에 있어 열환경을 개선할 수 있도록 국가차원의 적극적 유도 및 지원이 필요함
- 기후변화 적응을 위한 정부차원의 열환경 관련 제도적 지원이 시급함
  - 도시차원에서 도시기반시설 관리나 토지이용계획, 도시환경계획 등을 통해 지속가능하고 순환적인 기후변화 적응을 위한 저열섬 도시 구축이 필요함
  - 열섬 저감을 위한 물리적 기술개발 외에 도시계획, 환경계획 측면에서의 정책 대안 제시가 필수적임
  - 본 연구의 기술개발이 지체될 경우, 기후변화와 무분별한 개발 사업에 의해 도시열환경 악화(평균기온 상승, 열섬면적 확대)될 수 있음

- 도시개발/건설 시장의 신성장 동력 창출을 위한 지원이 필요함
  - 기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템은 침체된 도시개발/건설시장의 신성장 동력 창출이 가능한 아이템으로서 정부차원에서 적극적 지원이 필요함
  - 기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템은 건설시장(녹색 건축/건설시장), 환경시장(기후산업시장 및 환경컨설팅시장), 정보통신시장(재난분석평가기술시장, GIS시장)의 활성화와 고용유발효과가 뛰어난 잠재력을 가지고 있으며, 국가적 관심사인 고용창출 확대차원에서 정부지원이 절실함
  - 일본과 유럽 등 해외시장에서 경쟁함에 있어, 타 건설 분야에 비해 기술경쟁력이 60% 수준으로 매우 약함. 따라서 해외시장 수출경쟁력 확보를 위한 정부지원이 필요함

# - 목 차 -

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| <b>제1장 연구과제 개요</b> .....        | <b>1</b>  |
| 제1절 연구과제의 개요 .....              | 1         |
| 1. 기술의 정의 .....                 | 1         |
| 2. 기획연구 추진배경 .....              | 3         |
| 3. 기획연구의 비전 및 목적 .....          | 6         |
| 4. 기획연구의 범위 .....               | 8         |
| 제2절 기획연구의 목표 및 추진전략 .....       | 9         |
| 1. 기획연구의 목표 .....               | 9         |
| 2. 추진전략 .....                   | 9         |
| 3. 기획연구 프로세스 .....              | 10        |
| 4. 기획연구 추진체계 .....              | 10        |
| <b>제2장 국내외 동향 및 환경 분석</b> ..... | <b>13</b> |
| 제1절 국내외 시장·기술·정책동향 분석 .....     | 14        |
| 1. 국내외 시장 및 산업동향 .....          | 14        |
| 2. 국내외 기술동향 .....               | 30        |
| 3. 국내외 정책동향 .....               | 68        |
| 4. 국내외 연구동향 .....               | 107       |
| 제2절 기술수요조사 .....                | 126       |
| 1. 기술수요조사 개요 .....              | 126       |
| 2. 기술수요조사 결과 .....              | 128       |
| 제3절 기술개발 추진방향 .....             | 134       |
| 1. 동향분석 및 수요조사 시사점 .....        | 134       |
| 2. 연구역량 분석 및 SWOT 분석 .....      | 143       |

**제3장 기술개발 전략 수립 및 연구내용 설정 ..... 147**

제1절 기술발전 시나리오 ..... 147

- 1. 기술발전 시나리오 ..... 147
- 2. 기술로드맵 ..... 148

제2절 세부목표 및 중점 추진분야 설정 ..... 149

- 1. 연구의 세부목표 ..... 149
- 2. 중점 추진분야 설정 ..... 149
- 3. 중점 추진분야별 후보과제 설정 ..... 151

제3절 연구개발 후보과제 도출 ..... 153

- 1. 후보과제군 도출 및 우선순위 평가 ..... 153
- 2. 과제추진체계 설정 ..... 160
- 3. 후보과제별 과제카드 ..... 163
- 4. 선정된 후보과제 대상 경제적 타당성 분석 ..... 174

**제4장 연구개발과제 기획 ..... 175**

제1절 연구 목표 및 범위 ..... 175

제2절 세부과제 도출 및 연구내용 ..... 177

- 1. 세부과제별 연구내용 ..... 177
- 2. 연차별·단계별 기술개발 로드맵 ..... 179
- 3. 연차별·단계별 성과로드맵 ..... 181

제3절 핵심성과표 ..... 183

- 1. 1세부과제 ..... 183
- 2. 2세부과제 ..... 184
- 3. 3세부과제 ..... 186

제4절 연구목표 달성을 위한 추진 방안 ..... 187

- 1. 연구추진체계 ..... 187
- 2. 기존 기술인프라 등의 활용 및 연계 방안 ..... 189

제5절 성과물 활용방안 및 실용화 추진방안 ..... 192

- 1. 성과물 검증 ..... 192
- 2. 성과물 활용 및 실용화 방안 ..... 195

제6절 인력투입 계획 및 소요예산 ..... 197

- 1. 인력 투입계획 ..... 197
- 2. 소요예산 산정 ..... 199

**제5장 사전타당성 검토 ..... 203**

제1절 정책적 타당성 검토 ..... 203

- 1. 국가정책과의 부합성 ..... 203
- 2. 상위계획과의 부합성 ..... 203

제2절 기술적 타당성 검토 ..... 204

- 1. 관련이슈 ..... 204
- 2. 기존 과제와의 차별성·우수성 ..... 204

제3절 경제적 타당성 검토 ..... 205

- 1. 경제효과 ..... 205
- 2. 경제효과 분석을 위한 전제 ..... 205
- 3. 경제효과의 항목화 ..... 206

제4절 정부지원의 필요성 ..... 213

**제6장 RFP 작성 및 평가기준 설정 ..... 215**

제1절 RFP ..... 215

제2절 평가방법 및 기준 ..... 220

- 1. 연차별 평가를 위한 성과목표·지표·마일스톤 설정 ..... 220
- 2. 선정 평가방법 및 기준 설정 ..... 226

**참고문헌 ..... 227**

## -그림 차례-

|  |    |
|--|----|
| 그림 1-1. 도시열섬현상 요소                        | 1  |
| 그림 1-2. 열환경 분석을 위한 도시공간 위계 예시            | 2  |
| 그림 1-3. 열환경 분석을 위한 도시공간 유형               | 2  |
| 그림 1-4. 이산화탄소 배출 증가량                     | 3  |
| 그림 1-5. 우리나라 연 기온 변화(환경부, 2009)          | 3  |
| 그림 1-6. 미국 상위 100개 녹색건설 업체수와 종사자 수       | 5  |
| 그림 1-7. 기획연구의 비전                         | 6  |
| 그림 1-8. 기대효과                             | 7  |
| 그림 1-9. 연구추진 프로세스                        | 10 |
| 그림 2-1. 세계건축시장/녹색 건축시장 규모                | 15 |
| 그림 2-2. 녹색기술과 녹색건설의 범위                   | 16 |
| 그림 2-3. 세계 환경시장 규모 및 전망                  | 21 |
| 그림 2-4. 국내 환경시장 규모 전망 및 성장률              | 21 |
| 그림 2-5. 국내 기상산업 매출액 추이                   | 24 |
| 그림 2-6. 대상특허 전체 연도별 특허 출원 현황             | 33 |
| 그림 2-7. 국가별 연도별 특허 출원 현황                 | 34 |
| 그림 2-8. 국가별 특허 점유율                       | 35 |
| 그림 2-9. 전체 기술발전 동향                       | 36 |
| 그림 2-10. 한국 기술발전 동향                      | 36 |
| 그림 2-11. 미국 기술발전 동향                      | 36 |
| 그림 2-12. 일본 기술발전 동향                      | 36 |
| 그림 2-13. 유럽 기술발전 동향                      | 36 |
| 그림 2-14. 기술분야별 연도별 특허출원 추이               | 38 |
| 그림 2-15. 기술분야별 연도별 특허출원 추이               | 38 |
| 그림 2-16. 시공기술분야와 시스템기술분야의 연도별 특허출원 추이 대비 | 39 |
| 그림 2-17. 전체 기술분야별 특허동향                   | 40 |
| 그림 2-18. 특허점유율 및 특허증가율                   | 41 |
| 그림 2-19. 법적 관점 지수                        | 42 |
| 그림 2-20. 기술신뢰성 지수                        | 42 |

|  |    |
|--|----|
| 그림 2-21. 열환경 모니터링 기술 분야 연도별 주요 특허                  | 43 |
| 그림 2-22. 열환경 모니터링 기술 분야登高선 맵                       | 44 |
| 그림 2-23. 열환경 예측 시뮬레이션기술 분야 연도별 주요 특허               | 45 |
| 그림 2-24. 열환경 예측 시뮬레이션기술분야登高선 맵                     | 46 |
| 그림 2-25. 열환경 설계/관리를 위한 의사결정 지원 기술분야 연도별 주요 특허      | 47 |
| 그림 2-26. 열환경 설계/관리를 위한 의사결정 지원 기술분야登高선 맵           | 48 |
| 그림 2-27. 열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축 기술 분야 연도별 주요 특허      | 49 |
| 그림 2-28. 열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축 기술분야 한국登高선 맵         | 50 |
| 그림 2-29. 바람순환과 열환경 특성 분석                           | 52 |
| 그림 2-30. 서울시 종로구 청계천 일원(청계천 복원 이후) 순간풍속 수평분포 시뮬레이션 | 53 |
| 그림 2-31. 녹지로 변경된 피복면의 온도변화 시뮬레이션 사례                | 53 |
| 그림 2-32. 미국의 LAPS 작동 예시                            | 54 |
| 그림 2-33. MIST를 이용한 롱비치 도시의 열섬 시뮬레이션 결과             | 54 |
| 그림 2-34. FITNAH에 분석구조 및 적용(좌)과 바람길 분석결과(우)         | 55 |
| 그림 2-35. Data flow diagram of ENVI-met             | 56 |
| 그림 2-36. RayMan 모델 분석 예시                           | 56 |
| 그림 2-37. 베를린시의 도시계획지침기후지도                          | 58 |
| 그림 2-38. TEB의 열환경 예측 구조(좌)와 분석결과(우)                | 58 |
| 그림 2-39. UCSS의 계산원리와 계산결과에 의한 도시기온 및 바람분포          | 59 |
| 그림 2-40. AUSSM의 분석구조(좌) 및 분석결과(우)                  | 60 |
| 그림 2-41. UBKLIM의 분석구조(좌)와 생체기후도 분석결과(우)            | 60 |
| 그림 2-42. ACM의 구성(좌)과 분석결과(우)                       | 61 |
| 그림 2-43. ACM 분석흐름                                  | 61 |
| 그림 2-44. CAS 구성과 분석결과                              | 62 |
| 그림 2-45. 뉴욕시 가로수 개선 설계(BMPs)(박홍철, 2010)            | 63 |
| 그림 2-46. 뉴욕시 주차공간 녹화 마스터 플랜                        | 63 |
| 그림 2-47. 알베도 측정장치를 이용한 차열성 포장도로 코팅 측정              | 64 |
| 그림 2-48. 롯데기 힐스 건물내 설치된 옥상정원                       | 64 |
| 그림 2-49. 동경도의 열섬대책기술 개발프로세스                        | 65 |
| 그림 2-50. 메구로강변의 물-녹지-바람길 네트워크                      | 65 |
| 그림 2-51. 농촌진흥청이 개발한 식물매트                           | 66 |

|  |     |
|--|-----|
| 그림 2-52. 청계천 복원 전/후 비교                             | 67  |
| 그림 2-53. 한국 정부의 기후변화 대응 정책                         | 69  |
| 그림 2-54. 녹색성장 10대 정책방향                             | 70  |
| 그림 2-55. 생생도시(ECORICH)의 개념                         | 74  |
| 그림 2-56. 저탄소 녹색도시 조성 위한 분야별 주요 과학기술 정책 연구 요약       | 76  |
| 그림 2-57. 저탄소 녹색도시 조성 기본 방향                         | 77  |
| 그림 2-58. 건축물 녹화 기본계획의 수립 절차                        | 78  |
| 그림 2-59. 건축물 녹화 기본계획 시범적용 사례                       | 78  |
| 그림 2-60. 건축물 녹화 유지관리의 구분                           | 79  |
| 그림 2-61. 옥상녹화시스템(Green Roof System) 구성             | 79  |
| 그림 2-62. 건축물 녹화 설계기준에 의한 녹화 사례                     | 80  |
| 그림 2-63. 녹색커튼 (좌: 부산시청 나팔꽃 커튼, 우: 사하구청 더덕 커튼)      | 81  |
| 그림 2-64. 바톤루지 항공 사진                                | 83  |
| 그림 2-65. MIST를 이용한 롱비치 도시의 열섬 시뮬레이션 결과             | 83  |
| 그림 2-66. 기후변화가 일으킬 수 있는 열관련 사망자수 예측도               | 84  |
| 그림 2-67. 미국 도시열섬대책 시행 주 및 카운티 현황                   | 85  |
| 그림 2-68. 미국 도시열섬완화대책 시행 시(City, Town) 현황           | 85  |
| 그림 2-69. 도시열섬 완화 수단별 활용 기술                         | 86  |
| 그림 2-70. Chicago City Green Roof                   | 87  |
| 그림 2-71. LA시 식재 우선지역 선정 자료                         | 87  |
| 그림 2-72. 뉴욕시의 Cool Roof 시공 사례                      | 88  |
| 그림 2-73. 미국의 Adaptation Clearinghouse 메인 화면        | 89  |
| 그림 2-74. Cool City 시범사업모델지역                        | 90  |
| 그림 2-75. 일본 국토교통성의 지구온난화 대응 대책                     | 91  |
| 그림 2-76. 일본 도쿄 시의 열환경 지도                           | 94  |
| 그림 2-77. 일본의 환경모델도시 현황                             | 97  |
| 그림 2-78. 영국의 계획체계와 기후변화 관련 리스크 평가체계                | 100 |
| 그림 2-79. 영국 에코타운의 구성요소 예시                          | 100 |
| 그림 2-80. 영국 UKCIP가 제시하는 기후변화 적응을 위한 8단계 의사결정 프레임워크 | 101 |
| 그림 2-81. 림의 오픈스페이스 구성(좌)과 바람길 형성을 위한 단지배치(우)       | 103 |
| 그림 2-82. 슈투트가르트시의 찬바람 생성 및 유동 모형 계산결과              | 104 |

|  |     |
|--|-----|
| 그림 2-83. 토론토시의 업무지구와 적합한 Eco-Roof 인센티브 프로그램 적용지역 | 107 |
| 그림 2-84. 논문 분석과정                                 | 111 |
| 그림 2-85. 도시의 열환경 관련 논문 분포                        | 113 |
| 그림 2-86. 연도별 논문 추이                               | 114 |
| 그림 2-87. SCI 논문의 국가별 논문 분포                       | 114 |
| 그림 2-88. SCI 논문의 국가별, 부문별 논문 분포                  | 114 |
| 그림 2-89. 열환경 모니터링 관련 논문 동향                       | 115 |
| 그림 2-90. 열환경 모니터링 관련 연도별 논문 추이                   | 116 |
| 그림 2-91. 열환경 모니터링 관련 국가별 논문 추이                   | 117 |
| 그림 2-92. 열환경 예측 시뮬레이션 관련 논문 동향                   | 118 |
| 그림 2-93. 열환경 예측 시뮬레이션 관련 연도별 논문 추이               | 118 |
| 그림 2-94. 열환경 예측 시뮬레이션 관련 국가별 논문 추이               | 120 |
| 그림 2-95. 열환경 설계를 위한 의사결정 관련 논문 동향                | 120 |
| 그림 2-96. 열환경 설계를 위한 의사결정 지원 관련 연도별 논문 추이         | 121 |
| 그림 2-97. 열환경 설계를 위한 의사결정 관련 국가별 논문 추이            | 122 |
| 그림 2-98. 열섬저감을 위한 도시인프라 시공·구축 기술 관련 논문 동향        | 123 |
| 그림 2-99. 열섬저감을 위한 도시인프라 시공·구축 기술 관련 연도별 논문 추이    | 124 |
| 그림 2-100. 열섬저감을 위한 도시인프라 시공·구축 기술 관련 국가별 논문 추이   | 125 |
| 그림 2-101. 수도권 시군구별 기온 현황                         | 127 |
| 그림 3-1. 기술발전 시나리오                                | 147 |
| 그림 3-2. 기술로드맵                                    | 148 |
| 그림 3-3. 중점 추진분야 도출방법                             | 149 |
| 그림 3-4. 중점 추진분야별 후보과제 설정 방법                      | 151 |
| 그림 3-5. 기술중요도 및 기술수준 조사를 통한 후보과제 도출방법            | 153 |
| 그림 3-6. 기술중요도-기술수준 포트폴리오 분석 결과                   | 156 |
| 그림 3-7. 과제추진체계                                   | 160 |
| 그림 4-1. 연구의 목표                                   | 175 |
| 그림 4-2. 1세부과제 로드맵                                | 179 |
| 그림 4-3. 2세부과제 로드맵                                | 180 |
| 그림 4-4. 3세부과제 로드맵                                | 180 |
| 그림 4-5. 과제별·연차별 산출물(Output) 및 성과물(Outcome)       | 181 |

|  |     |
|--|-----|
| 그림 4-6. 연구체계                             | 188 |
| 그림 4-7. 서울 ASW 현황                        | 190 |
| 그림 4-8. 기존 기상 시뮬레이션 기법                   | 191 |
| 그림 4-9. 도시공간 유형화 및 실측결과 비교분석 방안          | 194 |
| 그림 4-10. 본연구(실제연구) 최종 성과물 적용방안           | 195 |
| 그림 4-11. 비목별 구성비                         | 202 |
| 그림 5-1. 도시의 평균기온 저감                      | 205 |
| 그림 5-2. 온도상승에 따른 전력부하(New Orleans, 2006) | 207 |
| 그림 5-3. 전국 전력소비량 예측                      | 208 |
| 그림 5-4. 기온별 열 관련 환자의 발생(김현영, 2013)       | 211 |

## 〈표 차례〉

|   |    |
|---|----|
| 표 1-1. 연구진 구성                               | 11 |
| 표 2-1. 국내외 동향 및 환경 분석을 위한 기술트리              | 13 |
| 표 2-2. 대상기술의 시장 유형 분류                       | 14 |
| 표 2-3. 세계시장 및 국내생산 전망                       | 18 |
| 표 2-4. 기후변화 적응에 대한 건축산업의 SWOT 분석            | 19 |
| 표 2-5. 녹색기술산업 분류                            | 22 |
| 표 2-6. 주요국 기상산업 현황                          | 23 |
| 표 2-7. 기상산업 부문별 시장규모                        | 24 |
| 표 2-8. 세계 소프트웨어 시장 규모 현황 및 전망               | 25 |
| 표 2-9. 세계 IT 서비스 시장 규모 현황 및 전망              | 25 |
| 표 2-10. 국내 소프트웨어 시장 규모 현황 및 전망              | 26 |
| 표 2-11. 우리나라 분야별 기술수준(2010년도)               | 27 |
| 표 2-12. 분석대상 검색식                            | 30 |
| 표 2-13. 분석대상 기술분류                           | 31 |
| 표 2-14. 분석대상 기술분야별 키워드                      | 32 |
| 표 2-15. 기술분야별 분석대상 건수                       | 33 |
| 표 2-16. 기술 동향 분석 요약                         | 50 |
| 표 2-17. 국내 주요 정책 요약                         | 68 |
| 표 2-18. 국토해양부의 국토·도시분야 기후변화 대응체계            | 70 |
| 표 2-19. 서울특별시 기후변화 대응 시책                    | 72 |
| 표 2-20. 부산광역시 기후변화 대응 시책                    | 72 |
| 표 2-21. 기후변화 대응 지자체의 정책 및 제도 국내사례           | 73 |
| 표 2-22. 기존도시와 녹색도시의 녹색요소 비교                 | 75 |
| 표 2-23. 서울시 옥상녹화 지원 옥상녹화 조성 현황              | 80 |
| 표 2-24. 해외 정책 요약                            | 82 |
| 표 2-25. 미국 도시열섬 완화대책의 유형과 수단                | 85 |
| 표 2-26. 일본 국토교통성의 지구온난화 대응 추진정책             | 90 |
| 표 2-27. 열섬문제 지역에서의 열섬조절조치 메뉴                | 95 |
| 표 2-28. 도쿄시 환경기본계획 중 열환경 개선을 위한 정책방향 및 달성목표 | 96 |

|  |     |
|--|-----|
| 표 2-29. 도쿄의 기후변화적응대책 주요내용(본 과제와 관련된 내용만 정리)..... | 96  |
| 표 2-30. 일본 도쿄도 치요다구의 저탄소형 도시만들기 사례.....          | 97  |
| 표 2-31. 환경모델도시로 선정된 도시 및 지역.....                 | 98  |
| 표 2-32. 영국의 기후변화 대응 3대법 주요내용.....                | 99  |
| 표 2-33. 토론토의 도시열섬 대응 프로그램 개요 및 내용.....           | 106 |
| 표 2-34. 기술 분류별 국내 선행 연구.....                     | 107 |
| 표 2-35. 기술별 논문 검색식.....                          | 111 |
| 표 2-36. 연구자별 논문 발표 추이.....                       | 116 |
| 표 2-37. 주요 피인용 논문 정보.....                        | 117 |
| 표 2-38. 연구자별 논문 발표 추이.....                       | 119 |
| 표 2-39. 주요 피인용 논문 정보.....                        | 119 |
| 표 2-40. 연구자별 논문 발표 추이.....                       | 121 |
| 표 2-41. 주요 피인용 논문 정보.....                        | 122 |
| 표 2-42. 연구자별 논문 발표 추이.....                       | 124 |
| 표 2-43. 주요 피인용 논문 정보.....                        | 125 |
| 표 2-44. 기술수요조사 대상 선정.....                        | 126 |
| 표 2-45. 기술수요조사 진행 일정.....                        | 128 |
| 표 2-46. 기술수요조사 진행 일정.....                        | 129 |
| 표 2-47. 기술수요조사 제안 기술.....                        | 130 |
| 표 2-48. 최종 연구성과물 적용 분야 및 기대효과.....               | 132 |
| 표 2-49. 지자체별 활용의사 조사 결과.....                     | 133 |
| 표 2-50. 국내 연구개발 과제와의 중복성 검토.....                 | 138 |
| 표 2-51. 제안된 기술별 동향분석 결과.....                     | 141 |
| 표 2-52. 기술수준 조사표.....                            | 143 |
| 표 2-53. 기술개발 방향.....                             | 145 |
| 표 3-1. 중점 추진분야.....                              | 150 |
| 표 3-2. 중점 추진분야별 후보과제 설정.....                     | 151 |
| 표 3-3. 항목별 평가기준.....                             | 154 |
| 표 3-4. 기술중요도 및 기술수준 조사 결과.....                   | 154 |
| 표 3-5. 기술중요도-기술수준 포트폴리오 분석에 따른 후보과제 목록.....      | 157 |
| 표 3-6. 과제도출 결과.....                              | 159 |

|   |     |
|---|-----|
| 표 3-7. 과제구성 결과.....   | 161 |
| 표 3-8. 열환경 분석을 위한 DB 구축.....  | 163 |
| 표 3-9. 기후변화 시나리오 기반 미래 도시열환경 예측.....  | 164 |
| 표 3-10. 열취약 지역 분석기술.....  | 164 |
| 표 3-11. 도시공간 내 열 발생 및 저감요소 유형화 및 DB 구축.....                                   | 165 |
| 표 3-12. 도시공간 요소별 열 발생 기여도 산정기술.....   | 165 |
| 표 3-13. 도시공간 요소별 열 저감 기여도 산정기술.....   | 166 |
| 표 3-14. 도시열 발생·저감 모니터링시스템 개발 및 실증.....  | 166 |
| 표 3-15. 도시에너지 사용량 DB구축(수집).....   | 167 |
| 표 3-16. 도시열 저감 요소별 에너지사용 저감기여도 분석기술.....                                      | 167 |
| 표 3-17. 도시열 저감에 따른 에너지저감량 산정기술 개발 및 실증.....                                   | 168 |
| 표 3-18. 도시기상을 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술.....                                    | 168 |
| 표 3-19. 기후변화를 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술.....                                    | 169 |
| 표 3-20. 열원 역추적 분석 모델링기술.....  | 169 |
| 표 3-21. 열환경 설계 및 관리를 위한 도시기후구역 유형화(LCZ).....                                  | 170 |
| 표 3-22. 도시기후구역 유형별 열섬저감을 위한 도시설계 및 관리요소 입지/<br>우선순위 분석기술.....                 | 170 |
| 표 3-23. 기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 도시공간 의사결정지원기술.....                               | 171 |
| 표 3-24. 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발 및 실증.....  | 171 |
| 표 3-25. 도시공간 위계별·유형별 기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한계획·설계·<br>관리 가이드라인/Prototype 개발..... | 172 |
| 표 3-26. 기후변화 적응 및 열섬저감도시 조성을 위한 제도 개선안 제시.....                                | 172 |
| 표 3-27. 도시열 취약지역 개선 및 관리방안 수립.....  | 173 |
| 표 3-28. 열섬저감 도시조성 관련 일자리 및 산업 육성방안.....                                       | 173 |
| 표 4-1. 연구개발 목표.....   | 176 |
| 표 4-2. 과제구성 결과(기술트리).....   | 177 |
| 표 4-3. 연구목표별 주요 성과물 및 성과물 형태.....   | 182 |
| 표 4-4. 국토교통과학기술진흥원의 과제추진체계 분류.....  | 187 |
| 표 4-5. 연구성과물 분석결과 비교-검증 예시.....   | 191 |
| 표 4-6. 연구성과 검증방안 비교분석.....  | 193 |
| 표 4-7. 본연구(실제연구) 최종 성과물 수요처별 활용방안.....  | 196 |
| 표 4-8. 연차별 투입 연구인력.....   | 198 |

|   |     |
|---|-----|
| 표 4-9. 1세부과제 연차별 투입 연구인력 .....            | 198 |
| 표 4-10. 2세부과제 연차별 투입 연구인력 .....           | 199 |
| 표 4-11. 3세부과제 연차별 투입 연구인력 .....           | 199 |
| 표 4-12. 전체 소요예산 .....                     | 200 |
| 표 4-13. 1세부과제 비목별 소요예산 .....              | 200 |
| 표 4-14. 2세부과제 비목별 소요예산 .....              | 201 |
| 표 4-15. 3세부과제 비목별 소요예산 .....              | 201 |
| 표 4-16. 총괄 비목별 소요예산 .....                 | 202 |
| 표 5-1. 국내 연구개발 과제와의 중복성 검토 .....          | 204 |
| 표 5-2. 경제효과 항목화 .....                     | 206 |
| 표 5-3. 전국 전력소비량 예측 .....                  | 208 |
| 표 5-4. 서울시 하계 전력소비량 예측 .....              | 209 |
| 표 5-5. 2006년 캘리포니아 폭염으로 인한 환자수 및 비용 ..... | 211 |
| 표 5-6. 경제효과 분석 결과 .....                   | 212 |
| 표 6-1. 성과목표 설정 예시 .....                   | 220 |
| 표 6-2. 성과지표의 도출 예시 .....                  | 221 |
| 표 6-3. 연차별 평가를 위한 일정표 예시 .....            | 222 |
| 표 6-4. 1세부과제 성과지표(안) .....                | 223 |
| 표 6-5. 2세부과제 성과지표(안) .....                | 224 |
| 표 6-6. 3세부과제 성과지표(안) .....                | 225 |
| 표 6-7. 선정 평가항목(안) .....                   | 226 |

## 제1장 연구과제 개요

### 제1절 연구과제의 개요

#### 1. 기술의 정의

본 과제는 ‘기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템 개발’ 연구를 기획하는 것으로, ‘기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템’을 다음과 같이 정의할 수 있음

**기후변화 시나리오에 기반하여 도시공간 및 도시인프라의 열섬발생 및 저감 효과를 모니터링, 시뮬레이션함으로써 도시공간 유형별로 쾌적한 열환경을 설계·관리하기 위한 시스템**

- **기후변화**란 ‘인간 활동 및 자연적 요인에 의해 기상현상이 평균상태를 벗어나는 현상’ 으로 정의됨(기상법 제 2조)
- **기후변화 적응**이란 ‘현재 혹은 미래에 예상되는 기후변화의 부정적인 영향을 최소화하고 긍정적인 영향을 기회로 활용하는 것’ 을 의미함(IPCC, 2007). 기후변화 적응의 한가지 방안으로서 열섬현상 저감은 미래 기후변화에 의해 발생할 수 있는 인명·재산피해를 최소화함
- **도시열환경**이란 ‘도시공간에서 기온을 상승·하강시키는 요소들의 상호연관작용에 의해 나타나는 것’ 으로, 본 기획연구에서는 도시열섬현상에 초점을 맞춰 ‘열섬발생 및 저감 메커니즘에 의해 형성되는 종합적 결과’ 를 의미함
  - 도시지역의 온도가 교외지역(비도시지역) 보다 일반적으로 높게 나타나는 현상(Voogt and Oke, 2003)은 낮은 복사열 손실, 낮은 풍속 및 증발산량 등에서 기인함

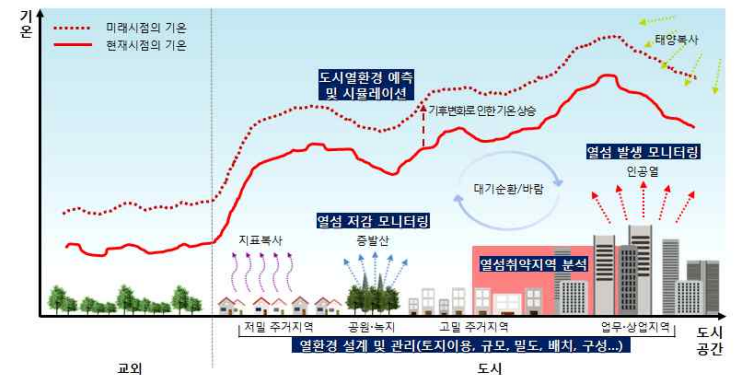


그림 1-1. 도시열섬현상 요소

- **도시열환경 설계**란 도시공간 위계 및 유형별 열섬발생·저감 메커니즘의 이해를 기반으로 '도시열섬현상을 저감하기 위해 도시공간의 특성(토지이용, 건축물의 규모·밀도·배치·구성, 교통량 등)을 설계하는 것'을 의미함
  - 단위공간의 특성(토지이용, 건축물의 규모·밀도·배치·구성, 교통량 등)의 설계를 통해 복사량, 풍속, 증발산량 등을 효과적으로 제어함으로써 열섬현상을 저감할 수 있음

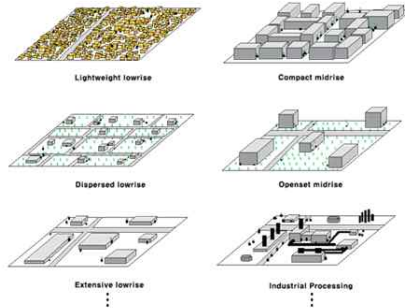
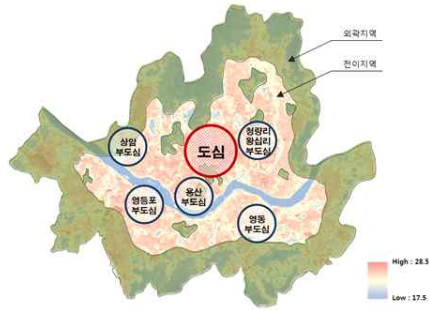


그림 1-2. 열환경 분석을 위한 도시공간 위계 예시

그림 1-3. 열환경 분석을 위한 도시공간 유형 (LCZ, Local Climate Zone) 예시

- **도시열환경 관리**란 열섬발생·저감 메커니즘을 바탕으로 '도시공간 내 열섬현상을 모니터링함으로써 단기적으로는 도시열섬 현상에 의한 피해를 최소화하고, 중·장기적으로는 기후변화에 적응하도록 도시의 열환경을 관리하는 것'을 의미함
  - 열섬현상 모니터링: 도시 내 열섬발생 및 저감메커니즘을 바탕으로 현시점의 도시열섬현상을 모니터링하여 인명·재산피해가 발생 가능한 지역을 도출하고 해당 지역을 집중 관리함
  - 도시열환경 예측 및 시뮬레이션: 기후변화 시나리오에 기반하여 미래 도시의 열섬현상 변화를 예측하고, 도시설계 요소의 적용에 따른 열섬저감 시뮬레이션을 수행함
- **도시열환경 설계 및 관리시스템**은 궁극적으로 열섬저감 도시공간 조성을 위한 설계 및 관리 의사결정을 지원하기 위한 것으로 다음의 기능으로 구성됨
  - 열섬발생 및 저감모니터링
  - 열 취약지역 분석
  - 도시열환경 예측 및 시뮬레이션
  - 도시열환경 설계 및 관리 의사결정 지원

## 2. 기획연구 추진배경

### 가. 환경적 측면

- 기후변화는 폭염, 폭설, 집중호우 등과 같은 이상기후를 수반하여, 심각한 사회·경제적인 손실을 초래하고, 나아가 인류의 생존까지도 위협할 수 있음
- 온실가스 감축 조치에 의한 효과를 가시화하기 위해서는 오랜 시간이 소요되기 때문에 기후변화에 대비하는 추가적인 적응 조치가 필요함
  - IPCC 제 4차 보고서에 의하면 지구 기후시스템의 시간차로 인해 현재부터 꾸준히 온실 가스를 감축하더라도 앞으로 수십 년 내에 기후변화가 일어나는 것을 막을 수 없는 것으로 나타남(IPCC, 2007)
  - 따라서 온실가스 저감과 함께 열섬현상 완화, 집중호우 대비 등과 같이 기후변화에 적응할 수 있는 실질적인 대책이 마련되어야 함

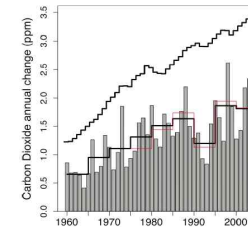


그림 1-4. 이산화탄소 배출 증가량

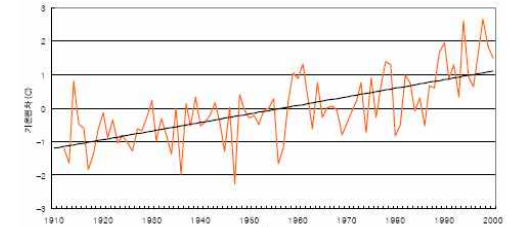


그림 1-5. 우리나라 연 기온 변화(환경부, 2009)

- 열섬현상은 도시 내 기후를 변화시켜 홍수, 폭설 등의 자연재해를 야기하여 인명·재산피해를 유발함
  - 기후변화 적응차원에서 도시열섬현상 완화를 통해 기후변화로 인한 이상기후의 부정적 영향을 최소화할 수 있음

### 나. 정책적 측면

- 국제 사회에서는 기후변화 대응 차원에서 열섬현상에 대한 심각성을 인식하고, 해결 방안을 모색하고자 모니터링 및 분석체계 강화, 공간계획 수립을 위한 가이드라인 수립, 시범도시 사업 수행 등 다각적 노력이 이루어지고 있음
- 우리나라의 경우 열섬현상 저감을 위한 정책이 중앙정부 차원에서 일부 마련되어왔으나 일본, 독일과 같은 선진국에 비해 과학적 기반이 충분히 마련되지 못하고 있으며 구체성도 결여되어 있음. 그리고 열섬저감을 위한 노력은 일부 지자체에서 국지적으로

로 이루어지고 있음

- 이에 현 정부는 국민행복을 위한 핵심과제로 ‘온실가스 감축 등 기후변화 적응’, ‘기상이변 등 기후변화 적응’, ‘환경서비스 품질수준 제고’, ‘환경과 조화되는 국토개발’ 등과 같이 환경에 대한 중요성을 강조함과 동시에 기후변화와 관련된 대응책을 마련하기 위한 노력을 경주하고 있음
- 국토교통부는 국민안전성을 제고하는 연구개발 지원을 2014년 4대 중점 추진방향으로 설정하여 기후변화 대응기술 개발과 관련한 투자를 강화하고 있음. 세부적으로 건설기술연구사업을 통해 기후변화 대응, 자원순환 등을 우선적으로 지원하고 있음
- 환경부에서는 13~22년 중장기 환경기술로드맵에서 기후변화 관련 기술을 14대 이수 중 하나로 선정하였고, 기후변화대응 환경기술개발사업을 집중적으로 추진하고 있음
- 이처럼 현 정부의 국정기조와 중앙정부의 연구개발사업에서 기후변화 문제를 국민행복과 직결되는 문제로서 파악하고 있으며, 이를 해결하기 위한 연구과제를 우선적으로 지원하고자 노력하고 있음
- 중앙정부차원에서의 제도적 지원을 기반으로 열섬현상 완화를 위한 대책 수립을 위한 연구가 추진된다면 현 정부의 국정기조에 부합한 성과도출이 가능하며, 연부의 지원에 힘입어 연구결과의 실효성을 확보할 수 있음

#### 다. 기술적 측면

- 도시공간 위계 및 유형별 도시공간과 인프라간의 상호관계에 대한 통합적 이해와 이에 기반한 도시전체 규모의 분석기술 필요
  - 도시 내 열섬현상의 원인, 발생 메커니즘, 저감방안, 효과 등의 해석 및 시뮬레이션 기술개발 등 종합적 접근이 필요함: 열섬현상과 관련된 다수의 연구들이 수행되었으나, 도시열섬현상을 개별 건축물 내지 국지적 공간의 사례를 통해 부분적으로 파악하고 있으며, 도시 전반에 대해 구체적인 기술개발을 통한 해결방안 제시는 미흡함
  - 현재 국내 도시기후변화 대책은 주로 온실가스의 저감과 개별 건축물의 열 발생에 초점을 두고 있으며, 도시차원의 기후변화 적응(대응)에는 한계가 있음
  - 도시공간 위계 및 유형별 도시공간과 인프라의 열섬저감능력을 통합적으로 산정할 수 있는 기술이 필요함: 기존의 연구개발 사업은 국지적 공간을 대상으로 도시인프라의 열섬저감능력을 개별적, 부분적으로 취급함
- 기후변화를 고려한 중·장기적인 미래예측 및 대응 필요
  - 또한, 도시열섬현상 분석은 대부분 개발 전·후만을 비교하는 근미래적 차원에서 이루어지고 있어, 중·장기적 측면(20~50년 후를 예측)에서 다루어져야 하는 기후변화 대응차원에서의 노력은 미흡함

- 기후변화에 적극적으로 대응하기 위한 노력이 학계와 산업계의 다양한 부문에서 산발적으로 이루어지고는 있으나, 도시, 건축, 토목, 조경 등 전 분야를 종합적으로 포괄하는 통합적 접근은 부족함
- 첨단과학적 분석에 기반한 도시 열환경 설계 및 관리시스템 개발 필요
  - 지속적으로 개발이 이루어지는 도시공간의 열환경 관리를 위해서는 계획 수립단계에서 사전에 열섬 문제를 해결할 수 있는 설계지원 시스템의 구축이 요구됨. 아울러 열환경 관리를 위한 모니터링 체계가 필수적이며 이를 효과적으로 제어·관리할 수 있는 기술 개발이 필요함
  - 현재 열환경 분석에 주로 이용되는 위성영상은 상시적이지 못하고, AWS(Automatic Weather System)의 경우, 소수이고 일부 지점에 국한되어 있어 도시전체공간의 열환경을 정밀하게 분석하기에는 부적합함
  - 열섬 역추적과 같은 첨단 과학적 접근방법을 통해 열 발생 및 저감원의 규모, 위치를 구체적으로 파악함으로써 현실적 제약을 극복하고 보다 정밀한 열환경 분석이 가능할 것임

#### 라. 경제적 측면

- 본연구(실제연구)의 성공적 수행시 녹색 도시건설 시장의 활성화가 가능함
  - 녹색 도시건설 시장에서 신규 산업 및 관련 일자리 창출이 가능하며, 이는 새로운 기술의 개발과 함께 창조경제 실현에 기여할 수 있음
  - 전 세계적으로 성장해가는 녹색건설 시장에서의 선도적 역할을 수행하기 위해 전문적 기술 개발을 통한 국내외 시장 경쟁력 확보가 필요함

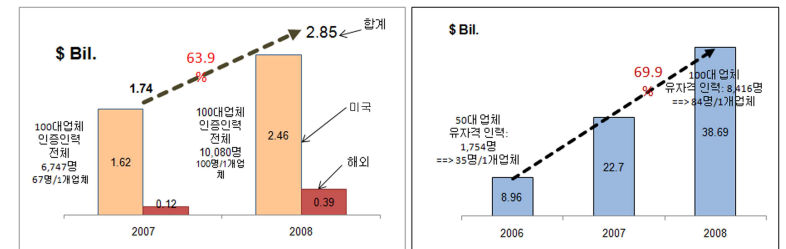


그림 1-6. 미국 상위 100개 녹색건설 업체수와 종사자 수

- 열섬현상 완화에 따른 부가적인 효과에 의해 사회적 편익 증대
  - 고온(폭염)에 의한 사망자수 감소, 의료비 절감 등 보건학적 측면에서 편익이 증대되며, 궁극적으로 도시민의 수명이 연장될 수 있음

- 또한, 열섬현상이 완화됨으로써 여름철 냉·난방에너지 사용량을 절감할 수 있으며, 이는 대기오염 감소, 도시민의 쾌적성 향상과 같은 사회적 편익을 얻을 수 있음

### 3. 기획연구의 비전 및 목적

#### 가. 기획연구의 비전

본 기획연구에서는 “2013~2017 건설교통 R&D 중장기계획에 의거하여 “기후변화 적응”과 “녹색도시 경쟁력 제고”를 비전으로 하며, 이에 따른 기대효과는 다음과 같음

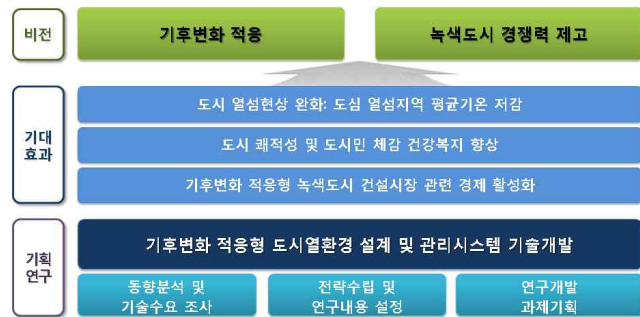


그림 1-7. 기획연구의 비전

- 기후변화에 의한 현시점 및 미래시점(중·장기적)의 도시열섬현상 완화: 도심 열섬지역 평균기온 저감
- 도시 쾌적성 및 도시민 체감 건강복지 향상
- 기후변화 적응형 녹색도시 건설시장 관련 경제 활성화

#### 나. 기획연구의 목적

- 본 기획연구는 기후변화 추세에 능동적으로 대응하고 도시열섬 저감을 통해 쾌적한 도시공간을 조성하기 위한 도시열환경 설계 및 관리시스템 개발 연구를 기획하기 위한 것으로 도시공간의 설계 및 관리를 통해 저열섬 도시를 구현하는 것을 목적으로 함

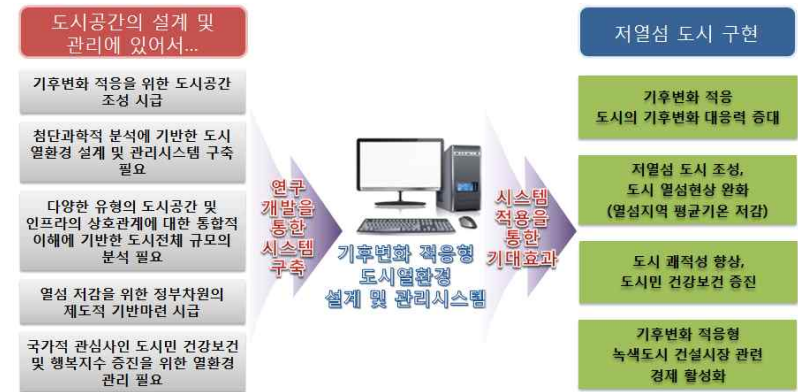


그림 1-8. 기대효과

- 기후변화 적응을 위한 한 방안으로 저열섬 도시공간을 조성하기 위해서는 도시 전체를 대상으로 도시공간 및 인프라의 상호관계에 의한 열환경을 통합적으로 분석할 수 있는 첨단과학적 분석기법이 필요함
- 이는 도시민의 건강·보건 및 행복지수 증진을 위해 열환경 관리를 위한 정부차원의 제도적 기반마련이 필요함
- 저열섬 도시 조성을 통해 도시 열섬현상을 완화함으로써 기후변화 대응력을 증대시킬 수 있고, 이는 궁극적으로 도시의 쾌적성 향상과 함께 도시민 건강보건을 증진시키는 효과를 기대할 수 있음
- 아울러 기후변화 적응형 녹색도시 건설과 관련한 신규 시장 및 일자리 창출에 기여할 수 있음

#### 4. 기획연구의 범위

- 본 기획연구는 「기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템 개발」 과제를 기획하기 위한 것으로 기획 내용과 본연구(실제연구)의 세부 연구목표는 다음과 같음

##### □ 기획 내용

- 동향 분석 및 기술수요조사
  - 국내외 정책·시장·기술 동향 및 환경 분석
  - 기술수요조사
  - 기술개발 추진방향 정립
- 기술개발 전략 수립 및 연구내용 설정
  - 기술개발 전략 수립
  - 연구개발 후보과제 도출
  - 후보과제별 우선순위 평가
  - 선정된 후보과제 대상 타당성 분석
- 연구개발과제 기획
  - 연구목표 및 범위 설정
  - 연구목표 달성을 위한 추진방안 수립
  - 성과물에 대한 활용방안 및 실용화 추진방안 제시
  - 인력투입 계획 및 소요예산 산정
  - 사전타당성 검토
  - 과제 공모를 위한 RFP 작성 및 평가기준 설정

##### □ 본연구(실제연구)의 세부 연구목표

- 도시열 발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링기술 개발
- 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발
- 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 및 지원체계 개발

## 제2절 기획연구의 목표 및 추진전략

### 1. 기획연구의 목표

| 기 획 연 구 목 표  |
|--|
| 기후변화 적응 및 도시열환경 개선을 위한 열섬저감 도시공간 설계시스템을 개발하고 실증하기 위한 연구를 기획함 |

- 도시의 기후변화 대응은 완화의 차원에서 주로 온실가스 저감과 개별 건축물의 열환경 관리에 초점을 두고 있으며, 도시 전체적 차원에서 기후변화 적응(대응) 노력은 미흡함
- 기후변화 적응대책 수립을 위해서는 중·장기적 미래를 포함하는 열환경 분석 및 예측이 요구됨
- 지속적으로 이루어지는 도시개발에 따른 열환경 변화 모니터링이 필요하며 이를 효과적으로 제어·관리할 수 있는 시스템 개발이 필요함. 아울러 도시열섬문제를 계획 수립단계에서부터 사전에 해결할 수 있는 설계 및 관리지원 시스템의 구축이 요구됨
- 이를 위해서는 도시 내 열섬현상의 원인, 발생 메커니즘, 저감방안, 효과 등의 해석 및 시뮬레이션기술개발 등과 같은 종합적 접근이 필요함
- 이에 본 연구는 기후변화 추세에 능동적으로 대응하고 도시열섬 문제를 해결하기 위한 열섬저감 도시공간 설계시스템을 개발하고 실증하기 위한 연구 기획을 목표로 함

### 2. 추진전략

본 기획과제를 다음과 같은 5개 전략에 의해 추진하고자 함

- **전략 1:** 각 분야별 선도 연구자 중심의 조직구성을 통한 유기적 연구수행 체계 구성
- **전략 2:** 연구수행 효율화를 위해 기획연구진, 자문위원진(산·학·연 전문가), 연구기획 중점분야 기획을 담당할 분야별 실무 TFT(실무진)을 구성
- **전략 3:** 단계별 추진전략에 부합하는 효과적인 연구기획 Process 정립
- **전략 4:** 분야별, 핵심기술별로 다각화된 전문가 활용
- **전략 5:** 국가 R&D과제 및 연구수행 경험을 통해 내실성을 갖춘 과제기획 및 자문위원진과의 협업을 통한 혁신적, 실천적 전략과제 창출

### 3. 기획연구 프로세스

본 연구기획은 ①동향 분석 및 기술수요조사, ②기술개발 전략 수립 및 연구내용 설정, ③연구개발과제 기획 등 3단계에 걸쳐 체계적으로 추진될 계획임



그림 1-9. 연구추진 프로세스

- 1단계에서는 국내외 정책, 시장, 기술 동향을 조사·분석하고 기술수요조사를 통해 기술개발의 추진방향을 정립함
- 2단계에서는 정립된 기술개발 추진방향에 부합하는 기술개발 전략을 수립하고, 그에 따른 후보과제를 도출한 후 우선순위를 평가함. 아울러, 우선순위에 따라 선정된 후보과제를 대상으로 기술적, 정책적, 경제적 타당성을 분석함
- 3단계에서는 본격적으로 연구과제를 기획하는 단계로서, 연구목표 및 범위를 설정하고, 추진방안, 성과물의 활용 및 실용화 방안을 수립함. 또한, 수립된 추진방안에 따른 투입인력과 소요예산을 산정하고, 그에 따른 타당성 검토를 통하여 연구과제를 확정함. 최종적으로 확정된 연구과제에 따라 과제공모를 위한 RFP를 작성하고, 평가를 위한 기준을 설정함

### 4. 기획연구 추진체계

- 연구진은 기획연구를 주관하는 기획연구진과 각 연구내용 별 전문가를 엄선하여 자문위원진을 구성함
- 연구진의 구성은 기획내용과 본연구(실제연구)의 세부 연구내용으로 구분하여 각 분

야별 전문가를 선임함

- 기획내용: 기획내용은 기획연구진을 중심으로 연구진이 구성되었으며, 도시환경계획 및 기후변화 전문가, 도시설계 및 토지이용 전문가, 타당성분석 전문가로 구성되어 있음. 또한, 정책, 시장, 기술의 분석은 전문 TLO에 위탁하여 분석을 실시함
- 본연구(실제연구): 본 기획과제를 통해 도출되는 본연구(실제연구)는 예상 연구내용에 따라 기후변화 시나리오 및 취약성, 도시 열섬발생 및 저감 메커니즘, 열환경 시뮬레이션 및 시스템 구축, 도시인프라 조성기법, 도시공간 설계 및 관리방안-체계, 사업화 및 비즈니스 모델 개발의 6부문을 구분하여 기획연구진 및 자문위원의 업무를 배분함
  - 특허 및 시장, 기술동향은 해당 업무에 특화된 TLO(Technology Licensing Office)를 선정하여 분석을 실시함

표 1-1. 연구진 구성

| 구분        | 연구진         | 소속         | 전문분야                                |
|-----------|-------------|------------|-------------------------------------|
| 기획<br>연구진 | 오규식 교수      | 한양대학교      | • 도시환경계획 및 기후변화 전문가                 |
|           | 김홍배 교수      | 한양대학교      | • 타당성분석 전문가                         |
|           | 이수기 교수      | 한양대학교      | • 도시설계 및 토지이용 전문가                   |
| 자문<br>위원진 | 이동근 교수      | 서울대학교      | • 기후변화 및 도시생태환경(녹지, 수공간) 전문가        |
|           | 이승일 교수      | 서울시립대학교    | • 토지이용 및 교통관련 도시환경계획 전문가            |
|           | 정응호 교수      | 계명대학교      | • 도시환경계획 전문가                        |
|           | 정연우 박사      | LH 토지주택연구원 | • 도시개발 및 공간분석 전문가                   |
|           | 정승현 박사      | 한국건설기술연구원  | • 도시환경계획 및 공간분석 전문가                 |
|           | (주)한설그린     | -          | • 친환경 녹화 및 관련 자재 개발 등 조경/생태환경 전문 업체 |
|           | 볼트시뮬레이션     | -          | • 환경분야 메커니즘 분석 및 시뮬레이션 전문 업체        |
|           | (주)한국공간정보통신 | -          | • GIS응용 어플리케이션, 시스템 구축 전문업체         |
|           | (주)신영ESD    | -          | • 국토·도시·환경 분야 정보화 전문업체              |
| 기타        | 세연 특허법률사무소  | -          | • TLO(Technology Licensing Office)  |

## 제2장 국내외 동향 및 환경 분석

- 국내외 동향 및 환경 분석은 국내외 정책, 시장, 기술동향과 기술수요조사를 통해 기술개발 추진방향을 설정하는 것임
- 효과적인 동향 분석을 위해 「기후변화 적응형 도시 열환경 설계 및 관리시스템」 관련 기술을 유형화하여 기술트리를 작성함. 기술트리는 도시의 열환경을 분석하기 위한 모니터링 기술과 예측 시뮬레이션기술, 도시계획 수립시 의사결정을 지원하기 위한 기술, 최근 열섬저감을 위해 중앙정부 및 지자체에서 활발히 수행되고 있는 도시 인프라 시공/구축 기술로 분류함
- 각각의 유형별 기술 정의는 다음과 같음
  - 열환경 모니터링: 도시의 열섬발생 및 저감 메커니즘을 통해 열섬발생 및 저감요인을 규명하고 기여도를 분석하고 이를 종합하여 도시 내 열 취약지역을 도출하는 기술
  - 열환경 예측 시뮬레이션: 도시의 열섬발생 및 저감 메커니즘 해석을 통해 장·단기적 차원에서 미래 도시의 열환경을 예측하는 기술
  - 열환경 설계/관리를 위한 의사결정 지원: 도시계획 수립시 도시 열환경 개선을 위한 의사결정 및 계획(설계) 지원 기술
  - 열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축 기술: 도시의 열섬저감을 위한 Green, Grey, Blue 인프라의 시공/구축 기술

표 2-1. 국내외 동향 및 환경 분석을 위한 기술트리

| 대분류                         | 중분류                      | 소분류                     |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 기후변화 적응형 도시 열환경 설계 및 관리 시스템 | 열환경 모니터링                 | 열섬발생/저감 모니터링            |
|                             |                          | 열섬 취약지역 분석              |
|                             | 열환경 예측 시뮬레이션             | 기후변화 시나리오 분석            |
|                             |                          | 열환경 시뮬레이션기술             |
|                             |                          | 열환경 저감에 의한 유발효과 분석기술    |
|                             | 열환경 설계/관리를 위한 의사결정 지원    | 도시열환경 설계/관리 기술          |
|                             |                          | 열섬저감을 위한 도시인프라 설계/관리 기술 |
|                             | 열섬저감을 위한 도시 인프라 시공/구축 기술 | Green 인프라 시공/구축 기술      |
|                             |                          | Blue 인프라 시공/구축 기술       |
|                             |                          | Grey 인프라 시공/구축 기술       |
| 기타 인프라 시공/구축 기술             |                          |                         |

# 제1절 국내외 시장·기술·정책동향 분석

## 1. 국내외 시장 및 산업동향

### 가. 시장의 정의 및 유형

#### (1) 시장의 정의

- 대상기술인 ‘기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템 기술’은 기후변화 추세에 능동적으로 대응하고 도시열섬(Urban Heat Island) 문제를 해결하기 위한 도시열환경 설계 및 관리 시스템을 개발하고 실증하기 위한 기술로서, 그 적용 대상 시장은 건설시장, 환경시장 및 정보통신시장이라고 정의할 수 있음

#### (2) 시장의 유형

- 대상기술이 적용될 수 있는 시장은 다음과 같이 세부적으로 분류될 수 있음

표 2-2. 대상기술의 시장 유형 분류

| 대분류      | 중분류                | 소분류              |
|----------|--------------------|------------------|
| 건설시장     | 국토정책/계획            | 국토계획             |
|          |                    | 도시계획             |
|          | 국토공간개발기술           | 국토지능화/공간정보       |
|          |                    | 대공간 지상건축물        |
| 건설환경설비기술 | 건축/도시환경 시스템 정보화 기술 |                  |
| 환경시장     | 환경보건               | 환경보건 모니터링기술      |
|          |                    | 기후변화 환경보건 대응기술   |
|          |                    | 미래환경보건 문제예측/대응기술 |
|          | 환경예측/감시/평가         | 환경영향/정보화기술       |
|          | 환경재해 예측/저감기술       |                  |
| 정보통신시장   | 재난정보               | 재난지리정보기술         |
|          |                    | 재난취약요소 진단 정보관리기술 |
|          | 정보이론               | 알고리즘             |
|          |                    | 데이터베이스           |

- 건설시장은 도시의 열섬을 저감하고 완화하기 위한 도시인프라 등과 관련된 시공시장, 도시 열섬저감을 위한 위계별 도시 설계 및 시공 시장을 의미함
- 환경시장은 기후변화에의 적응/대응과 연계하여 도시의 열섬을 예측하고 감시하고 평가하는 기술과 관련된 시장을 의미함
- 정보통신시장은 기후변화와 연계하여 도시의 열환경을 설계하고 관리하는 컴퓨터 프로그램, 소프트웨어, 컴퓨터시스템 등과 관련된 시장을 의미함

## 나. 시장별 특성 및 동향

### (1) 건설시장의 특성 및 동향

#### (가) 건설 시장의 동향

##### ① 세계 시장의 규모

- 세계 건설 시장의 규모는 특히 2015년 녹색 건축 분야에서 1,490억 달러로 전체 건축시장규모의 48%를 차지할 것으로 예상됨. 2005년 녹색 건축 시장규모는 전체 건축 시장규모의 2%에 불과했으나, 2008년 12%, 2010년 35% 등으로 계속 증가하는 추세임
- 세계 건설 시장이 2006년 4조6000억 달러에서 2030년 약 10조 달러로 지속 성장하고, 녹색 건축 시장도 연평균 15%씩 증가해서 2030년에는 약 4조8000억 달러에 이를 것으로 전망됨(출처: 2012.07.02.자 코스카저널(KOSCA Journal))
- 세계 각국은 기후변화 관련 세계 시장을 선점하기 위해 녹색 건축·도시조성을 본격화하고 있으며, 녹색 건축시장의 규모는 연 평균 15%씩 증가하여 세계 건축시장의 5%(‘2008년)에서 최대 60%(‘2030년)까지 성장할 것으로 예상



그림 2-1. 세계건축시장/녹색 건축시장 규모

(출처: Global Green Building Trends, McGraw Hill Construction, 2008)

##### ② 국내 시장 규모

- 국내 건설시장은 2005년 64조6000억원에서 2030년 167조6000억 규모로, 이 가운데 녹색 건축시장 비중은 2008년 5%에서 2030년에는 33.7%(약 56조원)까지 증가할 것으로 예상됨
- 향후 시장의 가장 큰 성장 동력은 녹색 건설로 인식되고 있음. 녹색과 같은 새로운 건설기조, 사업 환경의 국제화로 인한 경쟁 심화와 리스크 증대, 수익성 압박은 자연

스텝게 건설기업의 혁신을 유도하고 있음

(나) 기후변화와 관련된 건설·건축산업 동향

① 산업 전망

- 녹색건설이란 환경복원, 에너지효율성 향상 및 온실가스 저감을 실현하는 건설을 의미함
- 녹색건설은 녹색기술을 활용한 설계·시공 과정에서 환경과피의 방지 및 복원, 건축물의 시설효율 개선, 에너지 소비 저감까지 광범위한 산업

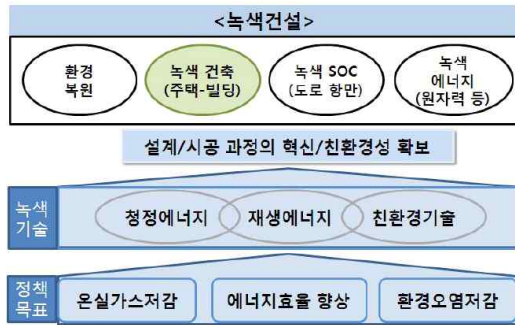


그림 2-2. 녹색기술과 녹색건설의 범위

- 미국의 녹색건설 제도가 세계 각국으로 전파되고 있음
  - 미국 그린빌딩협회(USGBC)의 에너지와 환경을 감안한 설계 및 건설을 위한 LEED(Leadership in Energy and Environmental Design) 인증 제도를 2000년 도입함
  - 미국에서 LEED 등록 프로젝트, 26,385개 중에서 4,327개 프로젝트가 인증되었으며, 중국, 인도, 독일, 스페인 등 해외에서도 LEED에 등록하고 있음
  - 최근 국내에서도 글로벌 기준인 미국 녹색건설기준(LEED)을 인증 받음
- 2007~2008년 기준, 미국의 녹색 설계 및 건설 실적이 급속히 성장함
  - 2008년 미국 100대 녹색 설계회사의 매출합계는 전년대비 63.9% 성장한 28.5억 달러, 녹색건설회사 매출도 전년대비 70.4% 증가한 387억 달러 기록
- 미국의 녹색인프라 시장의 성장이 예상됨
  - 녹색 인프라 시장은 4대강 살리기 사업이나 청계천 복원사업, 스마트 하이웨이 구축 사업과 같이 도로와 항만, 철도, 공항 분야의 친환경 토목공사를 가리킴. 아울러 공항에 자연채광 및 태양에너지 집진시설을 적용하거나 항만에 풍력에너지 발전설비를

설치하는 방안, 도로 건설에 페아스콘을 재활용하거나 LED 및 저탄소 중온 아스팔트를 적용하는 방안 등도 녹색인프라 시장의 영역으로 볼 수 있음

- 미국에서는 오는 2015년 현지 녹색인프라 시장 규모가 최소 90조원, 평균 113조원 규모에 이를 것으로 분석됨(출처: 대한전문건설신문, 2010년 12월 10일 기사)

② 기술·산업 경쟁력

- 2009년 7월 23일자 국토해양부의 보도자료에 의하면, 당시 국토해양부에서는 “제4차 건설기술진흥기본계획”을 수정하였는데, 그 주요 내용으로는 2012년 녹색건설기술의 수준을 선진국의 80% 수준으로 끌어올린다는 것임
- 국토해양부의 제5차 건설기술진흥기본계획에 의하면, 우리나라 건설산업 글로벌 경쟁력은 세계 9위 수준(한국건설기술연구원, 2011), 가격 경쟁력은 3위, 시공경쟁력은 12위, 설계경쟁력은 19위 수준으로 평가되었음
- 이러한 평가자료에 근거할 때 녹색건설기술도 유사한 기술수준을 보유한 것으로 추정되며 글로벌 수준과의 격차를 줄이기 위해 녹색건설 시공 및 설계 기술의 발전이 필요하며 이와 더불어 도시열환경 관리를 위한 도시설계 기술의 발전도 반드시 필요할 것으로 판단됨

(다) 생태공간 조성 및 도시재생 기술 산업

- 훼손된 자연 및 도시환경 재생·복원, 효율적인 물순환, 도시생태환경 건전성 개선 등 환경부하의 감축과 에너지 관리를 포함하여 인간과 자연이 공생하는 새로운 개념의 공간 조성 복합 기술로서, 도시열섬 해소 등 도시 내 탄소 배출량을 감소시키며 쾌적한 도시환경과 환경적 지속성을 확보할 수 있음
  - 생태공간 조성기술 : 첨단 생태도시계획 기술, 생태적 도시녹화 기술 등
  - 물순환제어기술 : 자연계 물순환 관리기술, 도시용수순환 및 관리기술
  - 도시재생 기술 : 라이프라인 조성 및 관리기술, 에너지시스템 구축 및 관리기술

① 산업 전망

- 지속가능한 개발 개념의 확산과 지구 온난화 및 기후변화 이슈화로 선진국의 건설산업은 지속가능 또는 녹색건설산업으로 빠르게 변화하고 있음
- 정부의 녹색뉴딜사업추진계획에 따라 ‘쾌적한 녹색 생활공간 조성’ 및 ‘수변 구역 저탄소 녹색성장 조성’ 사업과 관련하여 기술시장 형성이 예상됨

표 2-3. 세계시장 및 국내생산 전망

| 시장   |      | 단위: 백만달러, % |         |         |          |           |         |
|------|------|-------------|---------|---------|----------|-----------|---------|
|      |      | 연도          | 2007    | 2012    | 2020     | 2030      | 연평균 증가율 |
| 세계시장 |      |             | 126,259 | 199,671 | 415,7119 | 1,039,695 | 9.6     |
| 국내   | 생산총액 |             | 2,004   | 7,579   | 24,759   | 51,883    | 15.2    |
|      | 국내공사 |             | 1,925   | 7,151   | 24,023   | 50,897    | 15.3    |
|      | 해외공사 |             | 155     | 457     | 2,155    | 5,071     | 16.4    |

출처: 녹색성장위원회(2012)

② 기술·산업 경쟁력

- 녹색성장위원회에서 발표한 녹색성장을 위한 27대 중점기술 중 「생태공간조성 및 도시재생기술」 관련 보고서에 의하면, 전통적인 토목·건축공사 기술수준은 선진국 대비 70%이나, ‘친환경도시/주택’ 및 ‘재생도시’ 분야의 기술력은 선진국 대비 40~50% 수준임. 또한, Eco-City 구축에 필요한 각 요소기술들은 선진국 대비 50% 이하인 것으로 나타남
- 특히, 생태적 공간 실현에 필수적인 요소기술 중 융합화 및 통합화 기술과 인프라 개발 보급은 선진국 대비 20%에 불과함
- 녹색성장 정책 추진으로 녹색건설 시장의 내수진작이 기대되나, 녹색건설시장은 세계적인 정책 수요 및 공동 대응 전략에서 유도되는 새로운 시장으로 인식해야 함
- 친환경 녹색도시 건설을 통해 2020년까지 약 7조원의 부가가치 창출이 예상되며, 환경생태정보센싱, 지도화, 계획 분야 등 산업종 고용 창출이 예상됨

(라) 기후변화가 건축시장에 미치는 영향 분석

① 기후변화 적응에 대한 건축 산업의 SWOT 분석

- 건축물의 기후변화 적응은 기존에 개발된 건축물 설계와 자재 부문의 기술을 기후변화 적응에 활용하여 효과를 높일 수 있으며, 기존의 온실가스 감축을 위한 에너지 효율 관련 기술 또한 기후변화 적응형 건축물에 적용이 가능하다는 점에서 강점을 가짐
- 그러나, 아직까지 기후변화가 건축물에 미치는 영향에 대하여 건축업계와 대중의 인식이 미비하여 기후변화 적응 건축물에 대한 수요가 저조하다는 약점이 있음

표 2-4. 기후변화 적응에 대한 건축산업의 SWOT 분석

| 강점(Strength)   | 약점(Weakness)   |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• 건축물의 기후변화 적응에 기 개발된 관련 기술을 활용할 수 있음</li> <li>• 기후변화적응기술 개발의 용이함               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 온실가스저감 등 기후변화저감대책과 연계가 용이</li> <li>- 건축물의 수명연장 및 유지관리와 연계 추진 가능</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기후변화가 건축물에 미치는 영향에 대한 인식 부족</li> <li>- 건축물의 기후변화 적응에 대한 인식부족으로 기후 변화 적응 건축물에 대한 수요 미비</li> <li>• 기후변화 적응 관련 제도화 및 인센티브 정책 미흡</li> </ul> |
| 기회(Opportunity)  | 위협(Threat)   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• 취약계층 주거개선 지원과 연계 가능함</li> <li>• 친환경 건축에 대한 관심과 삶의 질에 대한 소비자 수요 증가</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 건물 설계 및 자재 분야의 해외 기술 도입 확대로 인한 경쟁력 저하</li> <li>• 기후변화 적응과 건축에 대한 인식 미비로 관련 기술개발 지원과 관련 자재의 시장 확보의 어려움</li> </ul>                        |

출처: 녹색성장위원회(2012)

② 건축부문의 기후변화 적응 유망산업

- 건축부문에서 기후변화 적응 유망산업으로는 건축자재 산업, 기후변화 적응형 조경산업, 건물 리모델링 산업, 재활용수 시스템과 우수저류 및 활용 설비산업, 지속가능 배수체계(SUDS) 관련 산업, 그리고 에너지 사용 저감 및 자체에너지 생산이 가능한 건축 설계와 시공 산업을 들 수 있음
- 기후변화 적응형 건축자재 산업
  - 기후변화가 심화됨에 따라 건축자재도 기후변화에 적응할 수 있도록 바뀌어야 함. 사계절이 뚜렷한 우리나라 기후에 맞춰 지어진 기존의 콘크리트, 슬라브 건축물을 비롯해 근래 새롭게 짓고 있는 건물들은 이상기후에도 견고한 건축 내외장재를 탑재하는 등 기존과 다른 형태로 변화하는 추세에 있음
- 기후변화 적응형 조경산업
  - 기후변화 적응형 조경산업의 대표적인 형태는 옥상녹화 및 벽면녹화임. 옥상녹화는 도심의 녹지확보와 경관 향상 및 냉난방 에너지 절약 외에도 생물서식공간을 제공해 줄 뿐만 아니라 도시홍수예방과 같은 재해에 대한 완충 효과를 도모할 수 있음. 벽면녹화는 벽면을 포함한 건물 전체의 녹화를 통해 냉방부하를 경감하고 폐열 증대를 억제하고 벽면 열화를 억제하는 효과가 있음. 다만, 기존의 벽면녹화는 벽면 전체가 녹화될 때까지 시간이 오래 소요되고 시공비용이 비싸고 유지관리가 어려운 단점이 있는 바, 건설비를 줄이고 유지관리가 쉬운 건물의 벽면녹화시스템의 개발 및 상용화가 필요함

■ 건물 리모델링 산업

- 우리나라에서는 온실가스 감축 수요의 증가에 따라 구건축 리모델링 시 건축물 에너지 저감이 중요시되고 있음
- 2010년 기준, 전국에 20년 이상 된 건축물이 387만여 동으로 전체(660만여 동)의 58%, 10~20년 된 건축물 160만여 동(24%), 10년 미만이 120만여 동(18%)에 이룸
- 이러한 오래된 건축물의 증가는 향후 리모델링과 유지관리에 대한 수요가 증가될 것을 시사하는데, 이 과정에서 기후변화 적응형 건축물이 확산될 수 있음
- 한편, 2000년대 성장 추이를 토대로 전망한 향후 건축물 리모델링 시장은 2015년에 9조원, 그리고 2020년에는 10.4조원으로 추정됨. 건축시장에서 차지하는 비중은 2015년 8.5%, 그리고 2020년에는 9~10%대로 추정됨. 주거용 건축물은 2015년 0.7조원, 2020년 0.8조원으로 극히 미미한 성장세를 이어가는 반면, 비주거용 건축물은 2015년 8.3조원, 2020년 9.6조원으로 성장세가 예상됨(출처: 건축물 리모델링 시장의 부문별 성장 추이와 전망, 건설이슈포커스, 2011.9)

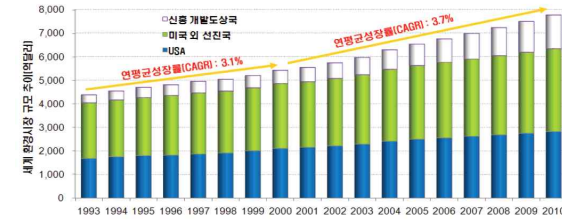


그림 2-3. 세계 환경시장 규모 및 전망

(2) 환경시장의 특성 및 동향

(가) 환경 시장의 동향

① 세계 시장 규모

- 세계 환경시장은 지난 10여 년간 연평균 7% 정도의 매우 빠른 속도로 성장하여 1992년에 3,000억 달러였던 시장 규모가 1996년에는 4,300억 달러, 2000년에는 5,150억 달러로 급속히 확대됨
- 세계 환경시장의 성장세는 앞으로도 여타 경제부문의 평균 성장 속도에 비해 여전히 높을 것이나 과거에 비해서는 크게 둔화되어 2010년까지는 연평균 2.9% 정도 증가하였으며, 세계 환경시장의 규모는 2012년 약 8,990억 달러에서 2017년 약 9,9229억 달러로 소폭 성장이 예상됨(출처: EBI, 2012년 보고서)
- 지역별로는, 개도국 시장은 2010년까지 4.3~8.5%의 높은 연평균 성장세를 나타낸 반면, 선진국 환경시장은 2~3%로 다소 낮은 성장률을 보임. 미국, 일본, 독일, 중국, 캐나다 등 상위 5개국 이 전체 시장의 대부분을 차지하나 선진국 시장 성장률은 정체 상태가 예상됨. 반면 아시아·중남미·중동·아프리카·동유럽 등 신흥 국가의 세계 시장 점유율이 2010년 19%에서 2017년 21%로 점차 확대될 전망이다

② 국내 시장 규모

- 국내 환경시장은 2010년 55조 5,522억원 규모이며 GDP의 4.7%를 차지하며, 세계 환경시장의 6.3%를 점유하고 있고 국가별 규모로는 13위를 차지함
- 2005년 23조 8,972억원 규모와 비교할 때 5년만에 약 2배 규모로 신장함



그림 2-4. 국내 환경시장 규모 전망 및 성장률

(나) 기후변화와 관련된 기후산업/환경산업 동향

- 저탄소 녹색성장의 핵심요소인 기후산업(Climature Industry)은 기존에 기후와 관련된 산업과 향후 기후변화로 생성될 산업 모두를 포함하는데, 일반적으로 국내외에서 녹색산업 혹은 환경산업으로 통용되고 있음
- 기후산업은 크게 감축산업과 적응산업으로 구분되며, 감축이 지구온난화의 원인이 되는 온실가스 배출을 줄이거나 온실가스 흡수원을 확충하여 기후변화가 더 이상 진전되는 것을 막는 것이라면, 적응은 기후변화의 파급효과와 영향을 미리 파악하여 부정적인 영향을 최소화하고 긍정적인 영향을 새로운 기회로 활용하는 것을 의미함. 이러한 점에서 감축산업은 온실가스의 배출을 저감하는 기술 및 상품과 관련된 산업을 포함하며 적응 산업은 기후변화로 야기되는 다양한 위험을 사전에 방지 혹은 최소화하며, 새로운 사업 기회로 삼는 모든 산업을 포함함
- 완화(Mitigation)와 적응(Adaptation)은 각각의 상황에 따라 상호간 보완적, 대체적,

독립적으로 작용함. 예를 들어 상호 보완적일 경우, 적용은 기후변화 영향의 비용을 줄이고 감축의 필요성이 줄어들게 되는 것을 말하고, 대체적일 경우 감축은 지구온난화 속도를 줄이는 것에 반해 적용은 기후변화에 따른 영향을 최소화하는 것을 의미함

① 기후산업의 분류 사례

- 2009년 12월 지식경제부에서 발표한 신성장동력업종 및 품목 분류에 따르면, 녹색 기술 산업에는 신재생에너지, 탄소저감에너지, 고도물처리, LED응용, 그린수송시스템, 첨단그린도시친환경이 포함되어 있음
- “기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리 시스템 기술”은 하기 분류표에서 “첨단그린도시친환경”에 포함될 수 있음

표 2-5. 녹색기술산업 분류

| 구분      | 세부 분야   |   |
|---------|---------|---|
| 녹색기술 산업 | 신재생에너지  | 태양전지, 연료전지, 해양바이오, 해양에너지, 폐자원에너지, 농산바이오 매스 에너지, 산림바이오매스 자원화, 청정석탄에너지                        |
|         | 탄소저감에너지 | 이산화탄소 포집·저장, 원전 플랜트   |
|         | 고도물처리   | 스마트상수도 막여과 시스템, 스마트상수도 수도기자재, 친환경대체용수 확보를 위한 하폐수 처리수 재이용, 먹는샘물, 해양심층수, 지속가능 물환경을 위한 수생태계 복원 |
|         | LED응용   | Eco LED, LED 스마트 모듈, 감성/웰빙조명, 도로/도시조명   |
|         | 그린수송시스템 | 그린카, 선박해양시스템, 첨단철도  |
|         | 첨단그린도시  | U-City S/W, U-City IT H/W, U-City IT 융합 H/W, 지능형교통시스템(ITS), GIS, 그린홈                        |

출처: 지식경제부(2009)

- 우리나라의 기후산업분류에 의하면, “기후적응산업”에 “옥상/벽면녹화산업”이 포함됨. 따라서 대상 기술의 적용 시장 동향을 분석하기 위해서 기후산업에 대한 동향 분석이 필요함

② 기후변화컨설팅 서비스 산업 규모 추정

- 기후변화컨설팅은 기후변화 관련 조사·분석·진단·상담·정보제공·교육 대행 서비스 등을 행하는 지식기반 서비스업임. 기존의 경영컨설팅과 다르게 기후변화 및 자원 분야를 고려하여 기업 및 국가의 지속가능한 성장을 위한 전략을 수립 및 새로운 녹색 기술 분야의 전문적인 지식 서비스를 제공하고 있음
- 친환경경영을 도입하려는 기업들의 수요가 늘면서 전 세계적으로 많은 기후변화컨설팅 업체가 빠른 속도로 성장하고 있음. 우리나라의 경우, 향후 온실가스로 인한 영향

에 선제 대응하고자 하는 정부의 의지와 기업들의 노력으로 인하여 기후변화컨설팅 수요가 지속적으로 증가하고 있음

- 한국환경컨설팅협회에 따르면 환경컨설팅업의 세계 시장 규모는 지난 2000년 기준으로 283억불 수준임. 이 중 약 64%가 북미 지역에 형성되어 있음
- 미국의 경우 2천여 개가 넘는 환경컨설팅업체가 활동하고 있으며 유럽의 경우 더욱 강화된 환경규제 및 법 제정으로 인하여 환경컨설팅업의 발전여건이 이미 조성된 상태로 빠른 성장세를 나타낼 것으로 전망되고 있음
- 영국의 경우 시장규모는 1997년 이후 평균 15%씩 성장, 2000년에는 10억 파운드를 넘어섬. 일본은 2000년도 2,200억 엔이며 2010년까지 매년 6.4% 성장하여 4,100억 엔으로 지속적인 시장규모 확대추이를 보임
- 기후변화 이슈와 더불어 환경경영을 주축으로 하는 환경컨설팅 시장이 꾸준히 성장하고 있으며 앞으로도 빠른 속도로 성장할 것으로 예측하고 있음
- 선진국들의 기후변화 규제 및 기타 환경 규제 강화에 따라 환경산업의 시장이 확대될 것이며 이에 따라 무엇보다 환경산업의 지식 기반이자 출발점이 되는 환경컨설팅이 활성화 될 것으로 전망하고 있음. 환경컨설팅 시장의 경우 2010년 5,270억 원 규모로 매년 10% 이상의 성장추세를 보임

③ 기후변화와 관련된 기상산업 동향

- 국내 기상산업은 전통적으로 국가의 소관이었으나, 2009년 12월 기상산업진흥법이 시행되면서 민간기업들의 본격적 진입이 시작됨
  - 2011년 기상산업의 매출액은 1,069억 원으로 1천억 원을 돌파하였으며, 여기에 기상정보 유통과 금융 등 연관분야까지 포함하면 규모는 2,219억 원에 달함
  - 1997년(시장규모 4.7억 원) 기상사업자제도가 도입되면서 태동된 기상산업은 470배 이상의 급성장세를 기록함
  - 그러나, 국내 기상산업 규모는 미국(9조원), 일본(5조원) 등과 비교하면 매우 작은 수준으로, 기상 관련 수요의 본격화, 다양한 분야와 융합 추세, 관련 금융상품의 도입 등으로 인해 향후 고성장이 기대됨

표 2-6. 주요국 기상산업 현황

| 구분  | 민간서비스 도입 | 기상기업수  | 전문인력        | 매출액     |
|-----|----------|--------|-------------|---------|
| 미 국 | 1946년    | 약 1천개  | 약 35,000명   | 약 9조원   |
| 일 본 | 1950년    | 약 150개 | 8,258명      | 약 5조원   |
| 한 국 | 1997년    | 125개   | 567명(기상종사자) | 2,219억원 |

출처: 기상청, 2010

- 2012년 상반기 기상산업 시장규모는 전년 동기대비 49% 성장한 1,850억 원으로 2011년 연간 규모의 83%에 달함
  - 기상사업 부문 매출액은 836억 원으로 전년 동기 대비 40% 증가함. 장비매출 부문이 가장 큰 비중을 차지하였으며, 성장률은 S/W 개발 부문이 가장 크게 성장함
  - 확장부문 매출액은 기상정보유통업, 금융보험업, 기상관련 R&D 등의 분야에서 1,014억원의 매출을 기록하여 57% 성장함

표 2-7. 기상산업 부문별 시장규모

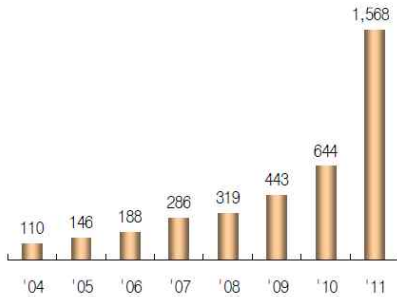


그림 2-5. 국내 기상산업 매출액 추이 (단위: 억원)

| 구분       | 2011  | 2012  | (상반기) |
|----------|-------|-------|-------|
| 기상산업     | 1,069 | 1,200 | 836   |
| 기상 서비스   | 117   | 132   | 245   |
| 기상 장비    | 787   | 883   | 460   |
| 기상분야 용역  | 165   | 185   | 131   |
| 확장 부문    | 1,150 | 1,800 | 1,014 |
| 기상정보유통   | 224   | 370   | 157   |
| 금융보험업    | 463   | 334   | 307   |
| 기상관련 R&D | 262   | 566   | 320   |
| 타산업 융합분야 | 201   | 530   | 230   |
| 총 시장규모   | 2,219 | 3,000 | 1,850 |

출처: 기상청(2010)

- 기상산업의 급성장으로 기상 장비의 해외 수출 증가, 관련 금융업 신규 상품 출시와 시장규모 확대, 기상 관련 신종 직업의 등장과 고용증가, 기상정보 활용으로 연관 산업의 경쟁력 제고 등 다양한 효과 발생 기대됨

(3) 정보통신시장의 특성 및 동향

(가) 정보통신시장의 동향

① 세계 시장 규모

- 최근 세계 소프트웨어 시장은 신규 애플리케이션 도입 보다는 시스템 효율화에 힘쓰면서 기업의 IT 투자는 감소 추세를 보이고 있음. 반면, 클라우드 컴퓨팅, 모바일기반 시스템, 빅데이터 등 신기술을 적용한 신규 소프트웨어의 수요는 증가하는 추세를 보임
- 전세계 소프트웨어 시장은 라틴아메리카 및 일본을 제외한 아시아 신흥개발 도상국의 소프트웨어 시장은 지속적으로 높은 성장률을 기록했으나 유럽을 중심으로 한 재정위기와 일본의 경제 성장 둔화로 신규 애플리케이션 도입 및 기업의 IT 프로젝트가 크게 감소하면서 전세계 소프트웨어 성장 둔화에 가장 큰 영향을 미침

- 이로 인해 2012년 전세계 소프트웨어 시장 규모는 전년대비 1.7%증가한 11,322억 달러로 성장률이 점차 둔화될 것으로 추정됨

표 2-8. 세계 소프트웨어 시장 규모 현황 및 전망

(단위: 억 달러, %)

| 구분     | 2010년  | 2011년  | 2012년  | '11~'12<br>증가율 | 2013년  | '12~'13<br>증가율 |
|--------|--------|--------|--------|----------------|--------|----------------|
| 패키지 SW | 2,453  | 2,692  | 2,780  | 3.3%           | 2,958  | 6.4%           |
| IT 서비스 | 7,840  | 8,445  | 8,541  | 1.1%           | 8,879  | 4.0%           |
| 전체     | 10,293 | 11,138 | 11,322 | 1.7%           | 11,837 | 4.5%           |

주: IT Spending 기준

출처: Gartner(2012)

- 최근 IT 서비스 시장은 기업의 IT 프로세스 효율화를 위한 컨설팅과 비즈니스 프로세스 아웃소싱에 대한 수요가 확대되는 추세를 보였으나 단순 하드웨어 및 소프트웨어 제품 지원과 시스템 구축 및 아웃소싱 수요가 정체 상태에 머물면서 시장이 위축됨
- 그러나, 향후에는 컨설팅과 비즈니스 프로세스 아웃소싱에 대한 수요가 증대되고 IT 투자가 확대되면서 시스템 구축 및 아웃소싱, 소프트웨어 지원서비스에 대한 수요가 증가해 전세계 IT 서비스 시장이 점차 회복하여 안정적인 성장을 기록할 것으로 전망됨

표 2-9. 세계 IT 서비스 시장 규모 현황 및 전망

(단위: 억 달러, %)

| 구분                    | 2010년 | 2011년 | 2012년 | '11~'12<br>증가율 | 2013년 | '12~'13<br>증가율 |
|-----------------------|-------|-------|-------|----------------|-------|----------------|
| 비즈니스 IT 서비스           | 6,479 | 6,984 | 7,081 | 1.4%           | 7,387 | 4.3%           |
| - 컨설팅                 | 748   | 829   | 860   | 3.7%           | 917   | 6.7%           |
| - 구축 (Implementation) | 2,174 | 2,336 | 2,349 | 0.6%           | 2,421 | 3.0%           |
| - IT 아웃소싱             | 2,287 | 2,466 | 2,480 | 0.6%           | 2,578 | 4.0%           |
| - 비즈니스 프로세스 아웃소싱      | 1,270 | 1,353 | 1,393 | 2.9%           | 1,471 | 5.7%           |
| IT 제품 지원              | 1,361 | 1,462 | 1,460 | -0.1%          | 1,491 | 2.2%           |
| - SW 지원               | 502   | 547   | 558   | 1.9%           | 580   | 4.1%           |
| - HW 지원               | 859   | 914   | 902   | -1.3%          | 911   | 1.0%           |
| 전체 IT 서비스             | 7,840 | 8,445 | 8,541 | 1.1%           | 8,879 | 4.0%           |

주: IT Spending 기준

출처: Gartner(2012)

② 국내 시장 규모

- 국내 소프트웨어 생산은 2012년 공공부문 호조 및 소프트웨어업체의 해외 수출 증가로 패키지 소프트웨어의 시장은 높은 성장세를 보였으나, 경기둔화에 따른 기업의 IT 투자감소로 IT서비스 시장이 둔화되면서 전년대비 5.2% 증가한 30조 6,701억 원으로 추정됨
- 2013년에도 기업의 IT투자는 크게 증가하지 않았지만 지연되었던 IT 프로젝트가 다소 확대되면서 32조 3,197억 원으로 전년대비 5.4% 증가 추세를 보임

표 2-10. 국내 소프트웨어 시장 규모 현황 및 전망

| 구분     | 2010년   | 2011년   | 2012년   | '11~'12<br>증가율 | 2013년   | '12~'13<br>증가율 |
|--------|---------|---------|---------|----------------|---------|----------------|
| 패키지 SW | 34,879  | 37,463  | 41,071  | 9.6%           | 45,116  | 9.8%           |
| IT 서비스 | 237,400 | 254,086 | 265,629 | 4.5%           | 278,081 | 4.7%           |
| 전체     | 272,279 | 291,550 | 306,701 | 5.2%           | 323,197 | 5.4%           |

주: 1)패키지 SW는 시스템 SW와 응용 SW로 구성  
2)IT 서비스는 IT컨설팅 및 시스템 개발, IT 시스템관리 및 지원서비스, 기타 IT 서비스로 구성

(나) 재난분석평가기술관련 산업의 동향

- 재난분석평가기술 개발은 GIS, 위성, CCTV, 첨단계측기, 대규모 데이터 처리 및 분석, 컴퓨터를 이용한 재난 시뮬레이션, 정보의 실시간 공유 및 전송 등 첨단 정보산업과의 결합이 필수적임
- 정보통신 기술의 발전에 따라 다양한 영상 정보와 지형 정보를 실무적 차원에서 가용할 수 있게 되었고 이를 재난 감시 업무에 적극 활용할 필요성이 대두되고 있음
- 재난 감시 시스템 개발에는 다양한 소프트웨어와 하드웨어의 조정, 통합, 검정, 검증, 시험, 분석 등의 과정이 포함되므로 이를 수행하기 위한 실험이 요구됨

① 국내 기술 및 산업 동향

- 미국이나 일본 등 최고기술 보유국에 대한 재난·재해 분야의 기술격차는 8.4년으로, 정보/전자/통신 분야의 기술격차(3.0년)에 비해 상대적으로 큼
- 2008년 이후 최고기술보유국을 크게 추격하지 못하여 기술격차가 커진 재난·재해 분야의 경우, 공공성이 강하므로 국가 전략적 차원에서 정부의 투자확대와 민간의 투자유인이 필요함

표 2-11. 우리나라 분야별 기술수준(2010년도)

| 기술명                          | 국가명 | 세계최고 기술수준(100%)<br>대비 기술수준(%) |       | 세계최고 기술보유국 대비<br>기술격차(년) |       |
|------------------------------|-----|-------------------------------|-------|--------------------------|-------|
|                              |     | 2008년                         | 2010년 | 2008년                    | 2010년 |
| 자연재해<br>재난예방 및<br>대응 기술      | 한국  | 74.7                          | 78.4  | 8.7                      | 6.8   |
|                              | 미국  | 100.0                         | 100.0 |                          |       |
|                              | 일본  | 95.6                          | 96.3  |                          |       |
|                              | 중국  | 69.2                          | 73.1  |                          |       |
|                              | EU  | 97.8                          | 99.3  |                          |       |
| 재해요인<br>관측·평가 기술             | 한국  | 66.0                          | 73.8  | 11.3                     | 7.8   |
|                              | 미국  | 100.0                         | 100.0 |                          |       |
|                              | 일본  | 93.7                          | 95.9  |                          |       |
|                              | 중국  | 58.3                          | 69.9  |                          |       |
|                              | EU  | 87.5                          | 94.9  |                          |       |
| 재해 조기경보<br>및 전달 시스템<br>구축 기술 | 한국  | 76.0                          | 74.1  | 6.6                      | 7.7   |
|                              | 미국  | 99.4                          | 98.4  |                          |       |
|                              | 일본  | 100.0                         | 100.0 |                          |       |
|                              | 중국  | 66.6                          | 67.0  |                          |       |
|                              | EU  | 98.2                          | 96.6  |                          |       |
| 광역 및<br>국지정밀 예측<br>기술        | 한국  | 76.7                          | 84.4  | 7.9                      | 4.4   |
|                              | 미국  | 98.7                          | 99.8  |                          |       |
|                              | 일본  | 94.0                          | 95.2  |                          |       |
|                              | 중국  | 77.7                          | 80.8  |                          |       |
|                              | EU  | 100.0                         | 100.0 |                          |       |

출처: 한국과학기술기획평가원(2011)

- 우리나라의 정보산업 분야의 기술수준은 세계 최고 수준에 근접하고 있을 정도로 발달해 있음. 우리나라의 첨단 정보산업 관련 기술을 재난관리에 접목하여 재난 예측 및 관리 기술을 추진한다면 우리의 재난관련 기술 발전에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단됨
- 한국 공간정보산업의 세계 시장 점유율은 약 3%이며, 국내 산업구조는 공공시장이 전체의 58.7%에 이르고 민간과 개인은 각각 32%, 8% 수준임
- 맞춤형 국토정보 플랫폼은 기존 사업자 중심으로만 공간 정보가 생성/변환/제공되던 것을 사용자(개인) 및 사업자 누구나 자신의 요구에 맞도록 콘텐츠 모델과 서비스 모델을 제공할 수 있는 웹 기반의 개방형 공간정보 플랫폼임

② 국외 기술 및 산업 동향

- 재난분석평가기술 개발은 GIS, 위성, CCTV, 첨단계측기, 대규모 데이터 처리 및 분석, 컴퓨터를 이용한 재난 시뮬레이션, 정보의 실시간 공유 및 전송 등 첨단 정보산업과의 결합이 필수적임
- GIS 시스템 구축분야
  - 미국은 지리정보시스템(GIS)과 위성영상정보 분야에서 최고의 기술력을 보유하고 있으며, 세계 GIS 시장의 52%를 점유함
  - 일본은 아시아 최고의 원천기술력을 보유하고 있고, 높은 수준의 GIS, RS(위성 항측), ITS(지능형 교통 시스템) 기술이 발달함. 일본의 기술은 세계 시장의 약7%, 아시아 시장의 90% 점유율을 가지고 있음
  - 영국은 지리정보시스템과 공공서비스를 접목하여 시민의 요구에 부합하는 고객 맞춤형 국가 공간 정보화를 적극 추진함
- 재난전조 감지 및 관리기술
  - 지진계로 파악하기 어려운 대규모 쓰나미, 지진 등을 포착하기 위해 전국 1,200여 곳에 설치된 위성위치추적시스템(GPS)을 활용하고 재난방비 지리정보시스템(GIS)을 각 지자체에 배포하여 재난 방지 모의실험 훈련을 강화하는 등 방재 관련 기술 및 산업육성을 추진하고 있음

(다) 3D GIS 산업

① 3D GIS 산업의 정의

- 3D GIS(Geographic Information System: 3차원 지리정보시스템)은 국토공간상의 자연물과 인공물의 속성정보와 위치정보를 컴퓨터에 입력하고 이를 3차원으로 지도화하는 정보시스템을 의미함
  - 각종 측량자료의 출력과 거리·면적·위치 등의 상황 평가를 통해 시뮬레이션을 거쳐 최적의 위치추적(탐색, 계산)방법을 지원할 수 있는 첨단 공간정보시스템을 의미함
  - 3D GIS 기술은 클라이언트·서버방식에서 웹 3D GIS로, 2차원에서 3차원 방식으로 변해가고 있으며 공간정보 획득 및 분석방법도 다양화되어 가고 있음
  - 3D GIS 산업은 도시환경, 도시행정 전산화, 도시계획, 도로교통, 재해·재난, 공공서비스 및 지하매설물 관리 등 다양한 도시설계분야에서 응용되고 있음

② 3D GIS 시장 특성 및 기술발전 추세

- 3D GIS 기술은 DB관리, 인터넷, 네트워크, 컴퓨터기기 및 범용 소프트웨어 등 IT기술과 밀접하게 접목되어 있어 정보통신 기술과 함께 3D GIS 기술도 발전하고 있음
- 과거에는 관련 전문가와 업무 종사자들만이 3D GIS 기술을 사용하였지만 Google의

'Google Earth', Microsoft의 'Virtual Earth' 등 다양한 인터넷 포털들의 3D GIS 서비스 제공으로 활용이 대중화됨에 따라 관련 시장을 확장시키고 있음

- 세계적인 시장조사 회사인 가트너 그룹에 따르면 2000년 3D 세계 시장은 7.3억 달러로 연평균 40%의 성장세를 지속하고 있는 것으로 나타남
- 국내의 경우는 세계시장에 비해서 그 응용분야 및 시장규모가 미비한 수준임. 그러나, 게임 및 인터넷 관련 사업을 중심으로 3D 영상정보처리가 급속히 확산되고 있으며 이러한 3D 기술은 국내의 초고속 인터넷 보급 확산과 인터넷 사용인구 증가로 향후 세계 3D 성장률 이상의 증가추세를 보일 것으로 전망됨. 따라서 3D GIS 시장 역시 유사한 증가 및 성장이 예상됨
- 한편, 3D GIS 기술은 1980년대 무렵부터 3차원 지형분석 기능 위주로 개발되어 왔음. 오늘날에는 3차원 시설물 및 지형에 대한 실감 모델링 및 가시화를 제공하는 단계에 이룸. 최근 들어서는 3D 입체영상 기술과 접목되면서 더욱 현장감 있는 몰입형 3D GIS 기술로 발전하고 있음

## 2. 국내외 기술동향

### 가. 특허동향

(1) 특허동향 검색식 및 기술분류

(가) 분석대상 검색식

- 본 특허동향 검색에서는 2014년 2월 현재까지 출원 공개된 한국, 미국, 일본, 유럽의 공개/등록특허를 대상으로 검색함. 아래 표에서 기재된 대상 건수는 확정된 검색식에 의한 순수 검색 건수에 대해 중복특허 제거와 노이즈 제거 작업을 통해 얻은 것으로 실질적인 분석대상이 되는 건수를 의미함

표 2-12. 분석대상 검색식

| 검색범위                      | 키워드 및 검색식  | KR  | US | JP  | EP | 합계  |
|---------------------------|--|-----|----|-----|----|-----|
| 초록기준<br>(서지+요약+<br>대표청구항) | (열섬 (열 adj1 섬) 히트아일랜드 히트아일랜드 히트아일랜드 히트아일랜드 (히트 adj1 아일랜드) (히트 adj1 아일랜드) (히트 adj1 아일랜드) (히트 adj1 아일랜드))<br>((city urban town metropolis downtown) adj3 (heat therm* warm*)) (heat island heat-island ((therm* heat warm*) adj island))<br>((기후 대기오염 (대기 adj 오염) 열환경 (열 adj 환경)) adj3 (시나리오 시뮬레이* 시뮬레이* 평가 분석 예측 수치모델 (수치 adj 모델) 모니터* 모니터))<br>((토지 adj 피복) (취약성 adj 지수) (열섬 adj 강도) (도시 adj 기후) (역추적 adj 모델) (열 adj 쾌적성) (운열 adj 환경)) ((도시 adj (설계 관리 계획 환경 형태 구조 공간) and (열 온도 기온 온난*))<br>((climate (air adj pollut*) (atmosph* adj pollut*) (heat adj environ*)) adj3 (scenario simulat* evalua* analy* predic* foresee* forecast* (numerical adj mode*) monito* observ*)) or ((vulnerab* adj index) (city adj climate) (urban adj climate) (traceback adj mode*) (heat adj comfort*)) or (((city urban) adj (design manag* plan plan* environ* form morphology struct* space spatial)) and (heat temp* warm warming)) | 144 | 41 | 228 | 8  | 421 |

(나) 분석대상 기술분류

표 2-13. 분석대상 기술분류

| 대분류  | 분류기호 | 중분류                         | 분류기호 | 소분류                     | 분류기호 |
|--|------|-----------------------------|------|-------------------------|------|
| 기후변화<br>적응형<br>도시 열환경<br>설계 및<br>관리<br>시스템 | A    | 열환경 모니터링                    | AA   | 열섬발생/저감 모니터링            | AAA  |
|  |      |                             |      | 열섬 취약지역 분석              | AAB  |
|  |      | 열환경 예측<br>시뮬레이션             | AB   | 기후변화 시나리오 분석            | ABA  |
|  |      |                             |      | 열환경 시뮬레이션기술             | ABB  |
|  |      |                             |      | 열환경 저감에 의한 유발효과 분석기술    | ABC  |
|  |      | 열환경 설계/관리를<br>위한 의사결정 지원    | AC   | 도시열환경 설계/관리 기술          | ACA  |
|  |      |                             |      | 열섬저감을 위한 도시인프라 설계/관리 기술 | ACB  |
|  |      | 열섬저감을 위한 도시<br>인프라 시공/구축 기술 | AD   | Green 인프라 시공/구축 기술      | ADA  |
|  |      |                             |      | Blue 인프라 시공/구축 기술       | ADB  |
|  |      |                             |      | Grey 인프라 시공/구축 기술       | ADC  |
| 기타 인프라 시공/구축 기술                            | ADD  |                             |      |                         |      |

표 2-14. 분석대상 기술분야별 키워드

| 소분류                     | 분류기호 | 키워드   |
|-------------------------|------|---|
| 열섬발생/저감 모니터링            | AAA  | <ul style="list-style-type: none"> <li>열섬발생(Heat Island Occurrence)</li> <li>열섬저감(Heat Island Mitigation/Reduction)</li> <li>열섬 모니터링(Heat Island Monitoring/Observation)</li> <li>토지피복(Land Cover), 토지이용(Land Use)</li> </ul>   |
| 열섬 취약지역 분석              | AAB  | <ul style="list-style-type: none"> <li>취약성 지수(Vulnerability Index/Vulnerable Index )</li> <li>열섬강도(Heat Islands Intensity/The Intensity of Urban Heat Islands)</li> <li>열스트레스(Thermal Stress)</li> </ul>  |
| 기후변화 시나리오 분석            | ABA  | <ul style="list-style-type: none"> <li>기후변화(Climate Change), 기후변화모델(Climate Change Model)</li> <li>RCP 시나리오(RCP Scenario)</li> <li>도시기후구역(UCZ, Urban Climate Zone)</li> </ul>   |
| 열환경 시뮬레이션기술             | ABB  | <ul style="list-style-type: none"> <li>열환경시뮬레이션(Heat Environment Simulation), 열환경 분석(Heat Environment Analysis), 열환경 평가(Heat Environment Evaluation)</li> <li>도시기후시뮬레이션(Urban Climate Simulation), 미기상(기후)수치모델(Micrometeorological Numerical Model)</li> <li>역추적 모델(Traceback Model, Trajectory Model)</li> </ul>   |
| 열환경 저감에 의한 유발효과 분석기술    | ABC  | <ul style="list-style-type: none"> <li>열섬저감(Heat Island Mitigation/Reduction)</li> <li>유발효과(Inducement Effect)</li> <li>열쾌적성(Thermal Comfort), 온열환경기준(Thermal Environment Standard ), PET(Physiologically Equivalent Temperature)</li> <li>대기오염 시뮬레이션(Air Pollution Simulation)</li> <li>대기오염 모니터링(Air Pollution Monitoring)</li> </ul>                         |
| 도시열환경 설계/관리 기술          | ACA  | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시설계(Urban Design), 도시관리(Urban Management), 도시계획(Urban Planning), 도시환경계획(Urban Environment Planning)</li> <li>의사결정(Decision Support)</li> <li>도시형태(Urban Form/Morphology), 도시구조(Urban Structure), 도시공간요소(Urban Spatial Element), 도시공간구성(Urban Spatial Configuration)</li> <li>도시기후구역(Local Climate Zone, LCZ)</li> </ul> |
| 열섬저감을 위한 도시인프라 설계/관리 기술 | ACB  | <ul style="list-style-type: none"> <li>열섬저감 도시인프라(Urban Infrastructure) 설계, 관리, 유지</li> </ul>   |
| Green 인프라 시공/구축 기술      | ADA  | <ul style="list-style-type: none"> <li>그린인프라(Green Infrastructure), 옥상녹화(Green Roof), 벽면녹화(Green Wall), 도시공원(Urban Park), 녹지(Open/Green Space), 가로수(Street Tree)</li> </ul>   |
| Blue 인프라 시공/구축 기술       | ADB  | <ul style="list-style-type: none"> <li>블루인프라(Blue Infrastructure), 수공간(Water Space)</li> </ul>  |
| Grey 인프라 시공/구축 기술       | ADC  | <ul style="list-style-type: none"> <li>회색인프라(Grey Infrastructure), 도로포장(Road Pavement)</li> </ul>   |
| 기타 인프라 시공/구축 기술         | ADD  | <ul style="list-style-type: none"> <li>공기조화(Air conditioning), 태양광 발전(Solar Energy Generation)</li> </ul>   |

(다) 기술분야별 분석대상 건수

- 검색식을 통해 얻은 특허 데이터에 대해 중복특허 및 노이즈 제거 후 추출된 유효 데이터를 분석하여 기술분류를 수행하였으며, 분석대상 건수는 다음과 같음

표 2-15. 기술분야별 분석대상 건수

| 대분류                             | 중분류                           | 소분류                          | 분석대상 건수 |     |     |
|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------|-----|-----|
| 기후변화 적응형 도시 열환경 설계 및 관리 시스템 (A) | 열환경 모니터링 (AA)                 | 열섬발생/저감 모니터링 (AAA)           | 10      | 12  | 421 |
|                                 |                               | 열섬 취약지역 분석 (AAB)             | 2       |     |     |
|                                 | 열환경 예측 시뮬레이션 (AB)             | 기후변화 시나리오 분석 (ABA)           | 16      | 79  |     |
|                                 |                               | 열환경 시뮬레이션기술 (ABB)            | 15      |     |     |
|                                 |                               | 열환경 저감에 의한 유발효과 분석기술 (ABC)   | 48      |     |     |
|                                 | 열환경 설계/관리를 위한 의사결정 지원 (AC)    | 도시열환경 설계/관리 기술 (ACA)         | 10      | 13  |     |
|                                 |                               | 열섬저감을 위한 도시인프라 설계/관리 기술(ACB) | 3       |     |     |
|                                 | 열섬저감을 위한 도시 인프라 시공/구축 기술 (AD) | Green 인프라 시공/구축 기술 (ADA)     | 71      | 317 |     |
|                                 |                               | Blue 인프라 시공/구축 기술 (ADB)      | 32      |     |     |
|                                 |                               | Grey 인프라 시공/구축 기술 (ADC)      | 183     |     |     |
| 기타 인프라 시공/구축 기술 (ADD)           |                               | 31                           |         |     |     |

(2) 선정된 분석대상에 따른 특허동향 분석

(가) 연도별 전체 출원 동향

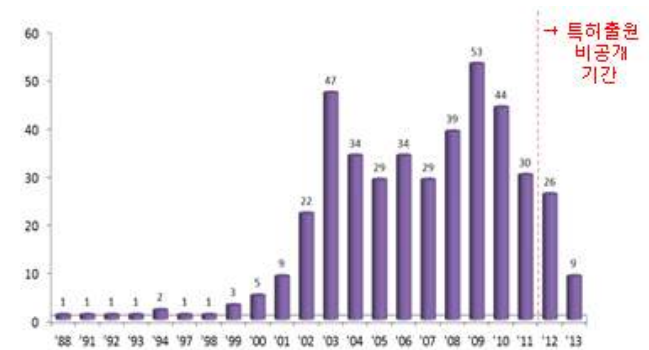


그림 2-6. 대상특허 전체 연도별 특허 출원 현황

- 연도별 전체 출원동향을 살펴보면, 1990년대 후반까지 특허출원이 매우 저조하다가 2000년대에 진입하면서 특허출원 건수가 급격히 증가함을 알 수 있는데, 이는 2000년대에 접어들면서 도시열섬 현상에 대해 커진 관심이 특허출원으로 이어진 것으로 판단됨
- 2009년에 가장 많은 특허가 출원된 이후 특허출원 건수가 약간 감소하는 경향을 보임. 다만, 2011년~2013년에 특허출원 건수가 적은 경향으로 나타나는 것은 출원공개가 안 된 특허가 반영되지 않았기 때문이며(특허는 각국 특허청에 출원된 후 1년 6개월 이후에 공개되는 것이 원칙이므로 최근 년도 특허출원 건수가 상대적으로 적게 나타남), 만약 출원공개가 예상되는 건들을 고려한다면 최근까지 특허출원이 꾸준히 유지되고 있는 추세라고 판단됨

(나) 연도별 국가 출원 동향

→ 특허출원  
비공개  
기간

그림 2-7. 국가별 연도별 특허 출원 현황

- 한국, 미국, 일본, 유럽의 연도별 국가 출원동향을 살펴보면, 1990년대 후반까지 모든 국가에서 특허출원이 매우 저조하다가 2000년대에 진입하면서 일본의 특허출원 건수가 급격히 증가함을 알 수 있음
- 2000년대 초반에는 일본의 특허출원 건수가 압도적으로 많았으나, 일본은 2003년에 가장 많은 특허가 출원된 이후 지속적으로 감소하는 추세임
- 한국은 2007년부터 특허출원이 급격히 증가하여 그 이후에는 일본의 특허출원 건수를 앞서는 것으로 나타는 것으로 보아 2007년 이후에는 도시열섬 현상과 관련된 기술분야에서 한국의 특허출원이 가장 활발한 것으로 판단됨

- 미국과 유럽도 2009년부터 특허출원이 서서히 증가하고 있으나, 일본과 한국에 비해 특허활동이 상대적으로 저조한 것으로 나타남

(다) 국가별 점유율

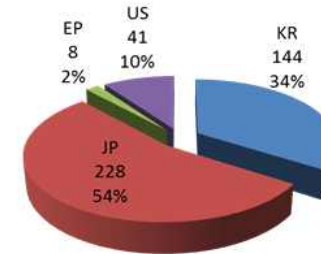


그림 2-8. 국가별 특허 점유율

- 국가별 특허 점유율을 살펴보면, 총 421건 중 일본이 228건(54%)을 차지하여 가장 높은 점유율을 보이고 있고, 그 뒤를 이어서 한국이 144건(34%)으로 두 번째로 높은 점유율을 보이고 있음
- 미국과 유럽은 각각 41건(10%)과 8건(2%)으로 일본과 한국에 비해 점유율이 상대적으로 저조한 것으로 나타남
- 한국과 일본이 다른 국가에 비해 특허 출원건수가 많은 이유는 상대적으로 다른 국가에 비해 도시인구밀도가 높고 이에 따라 열섬피해가 가중되어 발생하는 사회적인 현상에 기인한 결과로 판단됨

(라) 국가별 기술 발전 수준 동향

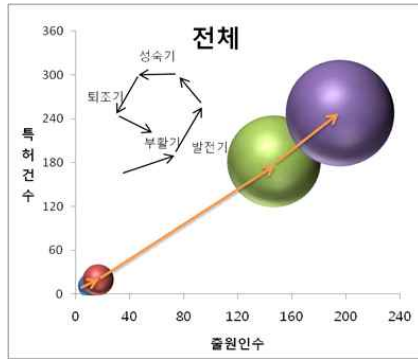


그림 2-9. 전체 기술발전 동향

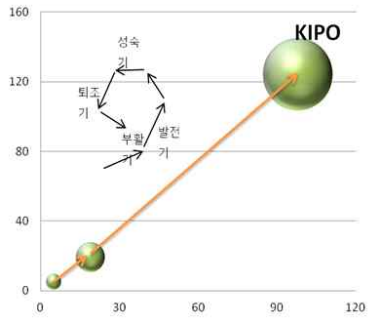


그림 2-10. 한국 기술발전 동향

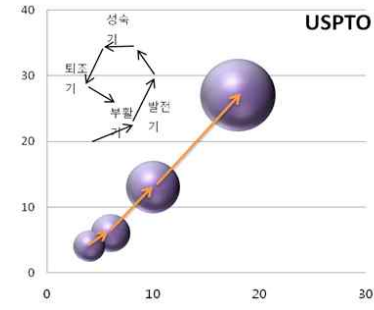


그림 2-11. 미국 기술발전 동향

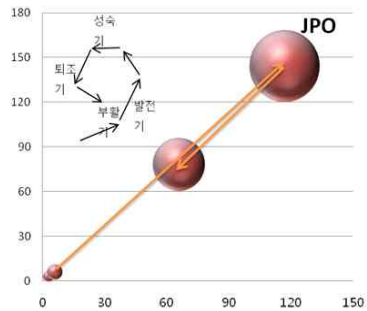


그림 2-12. 일본 기술발전 동향

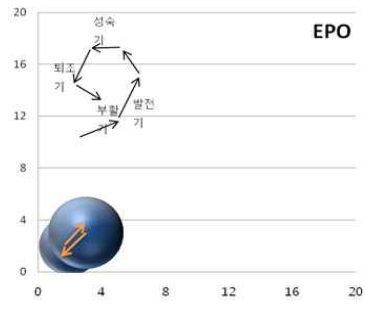


그림 2-13. 유럽 기술발전 동향

- 해당 기술분야의 전체적인 기술발전 동향을 살펴보면, 1번째 분석구간(1989~1994), 2번째 분석구간(1995~2000), 3번째 분석구간(2001~2006), 4번째 분석구간(2007~2012)으로 갈수록 출원건수와 출원인수가 점진적으로 증가되고 있는 것으로 나타났음. 따라서 해당 분야는 출원건수와 출원인수가 계속 증가되는 기술의 발전기 단계에 있다고 판단됨
- 한국의 경우 1번째 분석구간(1989~1994)에서부터 4번째 분석구간(2007~2012)으로 갈수록 출원건수와 출원인수가 점진적으로 증가되고 있는 것으로 나타났음. 따라서 해당 분야는 출원건수와 출원인수가 계속 증가되는 기술의 발전기 단계에 있다고 판단됨
- 미국도 1번째 분석구간(1989~1994)에서부터 4번째 분석구간(2007~2012)으로 갈수록 출원건수와 출원인수가 지속적으로 증가되는 기술의 발전기 단계에 있다고 판단됨
- 일본의 경우, 분석구간(1989~1994)부터 3번째 분석구간(2001~2006)에 이르기까지 급격한 증가 추세에 있었으나 4번째 분석구간(2007~2012)에서는 오히려 출원건수와 출원인수가 급격히 감소되어 전체적으로는 기술 발전기의 모습이나 발전기에서 더 이상 성숙하지 못하고 감소 추세에 있는 것으로 판단됨
- 한편, 유럽은 전체적으로 출원건수와 출원인수가 증가하지 못하고 기술 초창기 수준에서 발전하지 못하는 모습을 보이고 있음. 유럽은 1번째 분석구간(1989~1994)보다 2번째 분석구간(1995~2000)에서 출원건수와 출원인수가 줄어들었으나, 3번째 분석구간(2001~2006)과 4번째 분석구간(2007~2012)에서는 2번째 분석구간보다 출원건수와 출원인수가 증가되고 있는 것으로 나타났음. 따라서 유럽에서도 해당 분야는 출원건수와 출원인수가 계속 증가되는 기술의 발전기 단계에 있다고 판단됨

(마) 기술분야별 특허동향

① 기술분야별 연도별 특허동향

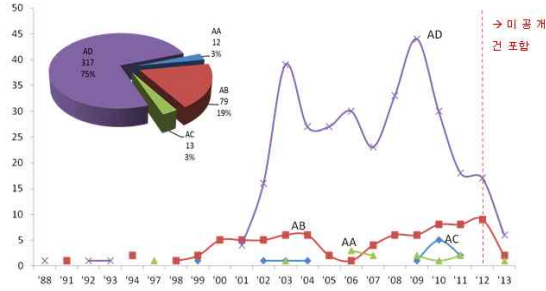


그림 2-14. 기술분야별 연도별 특허출원 추이

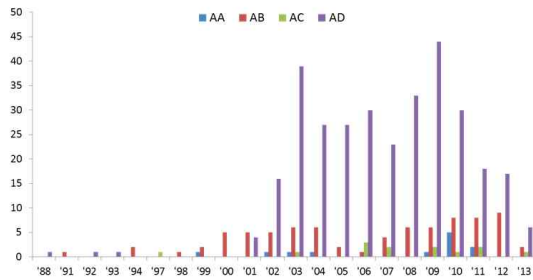


그림 2-15. 기술분야별 연도별 특허출원 추이

- 기술분야별 특허 점유율은 ‘열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축(AD)’의 기술분야가 75%로 조사됨
- 다만, 2000년대 후반 이후 시공 기술분야에 속하는 ‘열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축(AD)’의 기술분야 특허출원이 급격히 하락하고 있으며, 이와 대조적으로 시스템 기술분야에 속하는 ‘열환경 모니터링(AA)’, ‘열환경 예측 시뮬레이션(AB)’ 및 ‘열환경 설계/관리를 위한 의사결정 지원(AC)’ 기술분야 특허출원이 점차 증가하고 있어 도시 열환경 관련하여 시스템 기술분야(AA, AB, AC)의 발전 추이가 지속될 것으로 예상됨
- 특히, ‘열환경 예측 시뮬레이션(AB)’ 기술분야의 발전 추이가 두드러짐. 그림 2-48의 2011~2013년에 대해 점선으로 표시된 그래프 부분은 최근 특허출원 증가율을 고려하여 미공개 건을 반영한 결과임

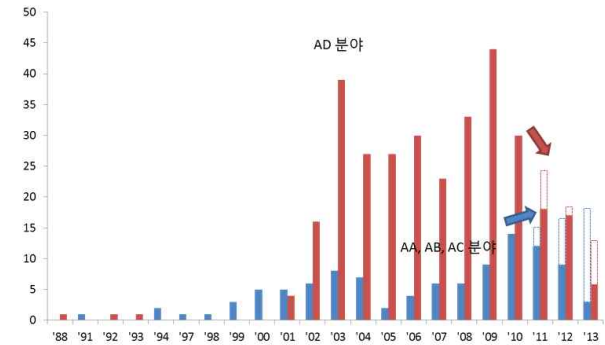


그림 2-16. 시공기술분야와 시스템기술분야의 연도별 특허출원 추이 대비(색상이 없는 부분은 특허출원 비공개 기간으로 최근 특허출원 동향세를 고려하여 추정치를 나타낸 결과임)

② 전체 기술분야별 특허동향

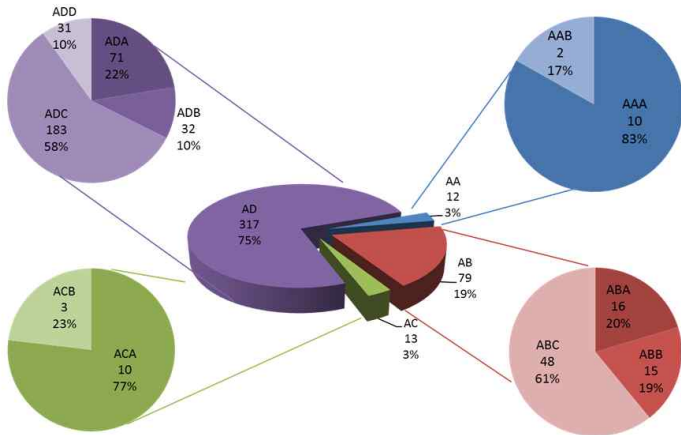


그림 2-17. 전체 기술분야별 특허동향

- ‘열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축(AD)’은 특허출원이 가장 많이 된 분야(75%)로서 세부적으로 도로포장과 관련한 ‘그레이 인프라 시공/구축 기술(ADC)’의 특허출원이 가장 많이 나타남
- ‘열환경 모니터링(AA)’과 ‘열환경 설계/관리를 위한 의사결정 지원(AC)’는 상대적으로 특허출원이 많이 되지 않은 분야(3%)로 조사되었고, ‘열환경 예측 시뮬레이션(AB)’은 전체 특허출원 중 19%의 비중으로 조사됨

(바) 기술분야별 특허수준 평가

① 특허 점유율 및 특허 증가율

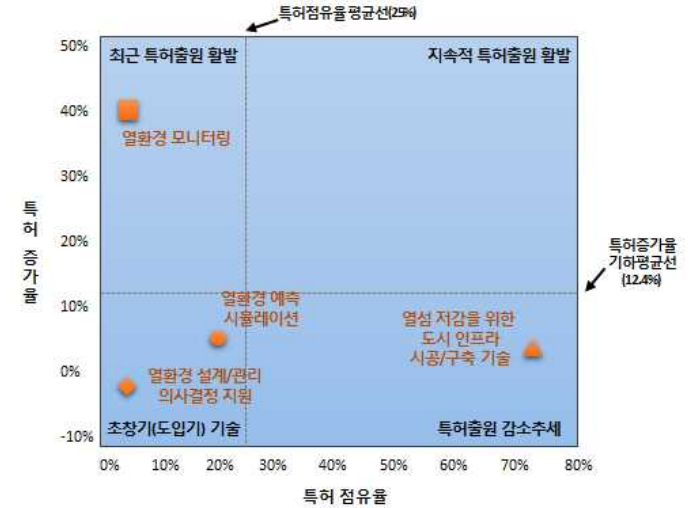


그림 2-18. 특허점유율 및 특허증가율

1. 분석대상: 한국, 일본, 유럽 및 미국등록특허-’90~’13(출원년도)  
 2. X축: 100%/기술분야개수, Y축: 분석구간의 연평균증가율의 기하평균값  
 3. 분석의미: 1사분면-지속적으로 특허출원이 활발, 2사분면-최근 특허출원이 활발, 3사분면-초창기(도입기)기술, 4사분면-최근 특허출원이 감소추세

- 그림 2-50에서 ‘열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축(AD)’ 분야는 특허 점유율이 높은 반면 특허 증가율이 평균보다 낮게 나타나 4사분면에 위치하여 최근 특허출원이 감소 추세에 있음
- ‘열환경 모니터링(AA)’는 특허 점유율은 낮으나 특허 증가율이 높아 특허 출원의 증가를 기대할 수 있으며, ‘열환경 예측 시뮬레이션(AB)’ 및 ‘열환경 설계/관리를 위한 의사결정 지원(AC)’는 초창기 도입기 기술로서 향후 발전 가능성이 매우 높을 것으로 분석됨

② 법적관점지수 및 기술신뢰성지수

- 기술분야별 법적관점지수와 기술신뢰성지수를 통해 살펴본 특허 수준은 다음과 같음

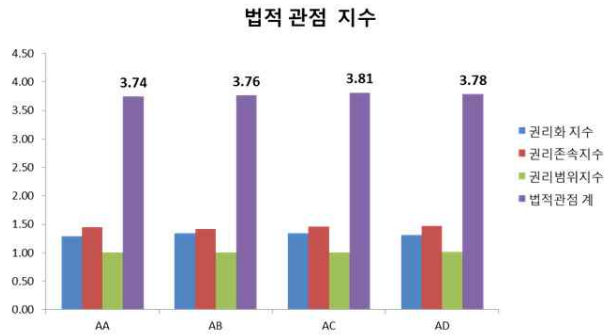


그림 2-19. 법적 관점 지수

※ 권리화 지수 (Grant Index, GI) = 출출건의 등록 또는 출원 여부: [출원 1.0점] [등록 1.5점]  
 ※ 권리존속지수 (Patent Protection Term Index, PPTI) = 출출건의 권리잔존기간  
 잔존기간: [만료 0.5점] [1년 1.0] [2~3년 1.1] [4~5년 1.2] [6~7년 1.3]  
 [8~9년 1.4] [10년이상 1.5점]  
 ※ 권리범위지수 (Patent Claim Index, PCI) = [출출건의 청구항수] / [모든 출출건의 평균 청구항수]  
 권리범위지수: [30이하 1.0점] [4~5 1.3점] [5이상 1.5점]

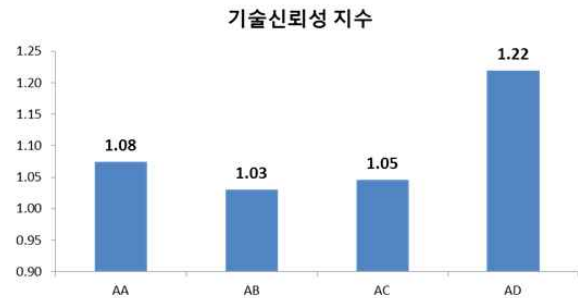


그림 2-20. 기술신뢰성 지수

※ 기술 신뢰성 지수(Reliability Index of Technology, RIT) = 발명자 수  
 발명자 수: [1명 1.0점] [2~3명 1.3점] [4명이상 1.5점]

- 각 기술분야별로 지수의 평균을 분석해 본 결과, ‘열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축(AD)’ 기술분야가 전체 건수는 가장 많으나 권리화 지수 (등록 여부), 권리존속 지수 (잔존 권리기간) 및 권리범위 지수 (청구범위의 크기)를 고려하면 비슷한 수준이며 오히려 ‘열환경 설계/관리를 위한 의사결정 지원(AC)’ 기술분야의 객관적

인 평가 수준이 가장 높은 것으로 나타남

- 다만, 발명자 수를 근거로 한 기술신뢰성지수에 대해서는 그간 다수 출원이 존재한 ‘열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축(AD)’ 기술분야의 기술 신뢰성이 가장 높게 나타났으며 그만큼 기술이 상당히 성숙된 것으로 분석할 수 있음
- 나머지 ‘열환경 모니터링(AA)’, ‘열환경 예측 시뮬레이션(AB)’, ‘열환경 설계/관리를 위한 의사결정 지원(AC)’ 기술분야는 상대적으로 기술 도입 초기단계로서 본격적인 연구개발에 진입한 것은 아닌 것으로 향후 발전 가능성이 상당히 높은 것으로 나타남

(3) 기술분야별 주요 특허 현황

(가) 열환경 모니터링(AA) 기술 분야

- 본 기술 분야는 2000년대 후반 주요 관련 기술에 대한 출원이 발생하였으며, 한국 건설기술연구원이 도로의 열섬 현상 측정 및 모니터링 관련 기술에 대한 주요 특허를 보유하고 있으며 일본의 アセツ(에셋) 建設이 도시의 열섬 특성 평가방법 및 도시 설계 시스템 관련 기술에 대해 특허를 출원함

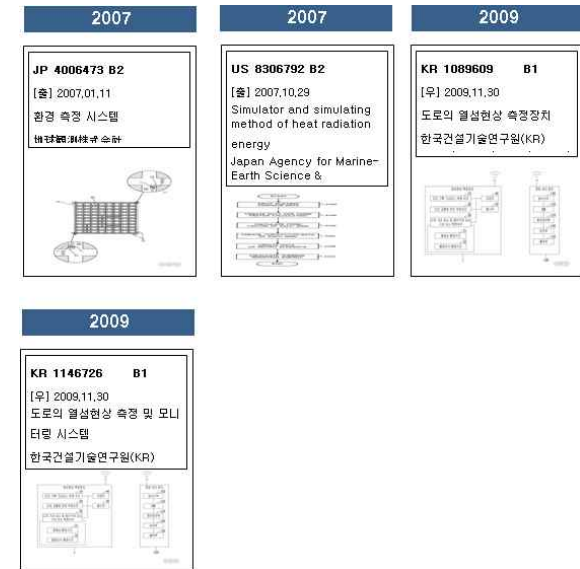


그림 2-21. 열환경 모니터링 기술 분야 연도별 주요 특허

- 한국 대상 특허의 키워드를 통한 등고선 맵 분석을 통해 본 기술 분야에 대한 주요 이슈 키워드를 살펴보면 촬영 수단에 대한 빈도가 높게 나타났으며, 관련 키워드로는 열점 단위, 풍속, 포장, 보도, 도로 등 측정 대상 및 고려 인자에 대한 연관성이 높고 기타 데이터 베이스 처리를 위한 동기화 등과 같은 연관어가 주요 기술 요소로 볼 수 있음

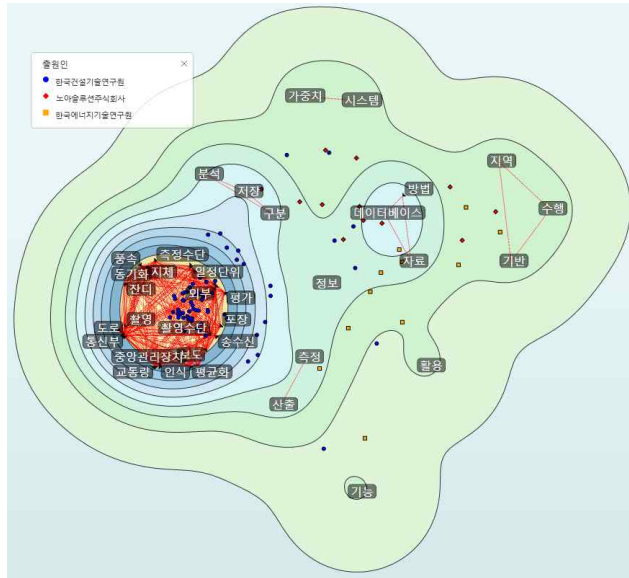


그림 2-22. 열환경 모니터링 기술 분야 등고선 맵

(나) 열환경 예측 시뮬레이션(AB) 기술 분야

- 본 기술 분야는 2000년대 초반 일본을 중심으로 주요 출원이 발생하였고 2000년대 후반 이후 한국에서의 관련 건 빈도가 높아지고 있는 것으로 나타남.

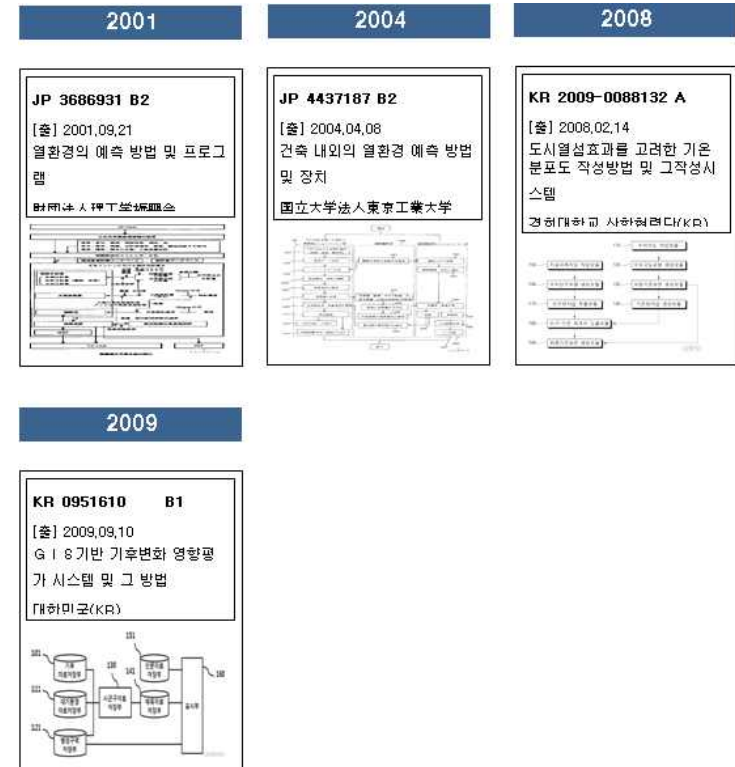


그림 2-23. 열환경 예측 시뮬레이션기술 분야 연도별 주요 특허

- 한국 대상 특허의 키워드를 통한 등고선 맵 분석을 통해 본 기술 분야에 대한 주요 이슈 키워드를 살펴보면 열섬 환경 및 기후 시뮬레이션을 위한 컴퓨터, 데이터 처리 관련 기술이 가장 많은 빈도와 연관성을 가지고 있으며 그외 오염물질 배출량 미세 먼지 등 지표 값에 대한 처리의 연관성이 높은 것으로 나타나고 있음.
- 또한, 시나리오 예측과 관련 기후변화, 강수량, 가중치 등이 신뢰성과 관련한 주요 키워드로 분석되었으며, 디스플레이나 제어부가 주변 기술로 나타나고 있음.

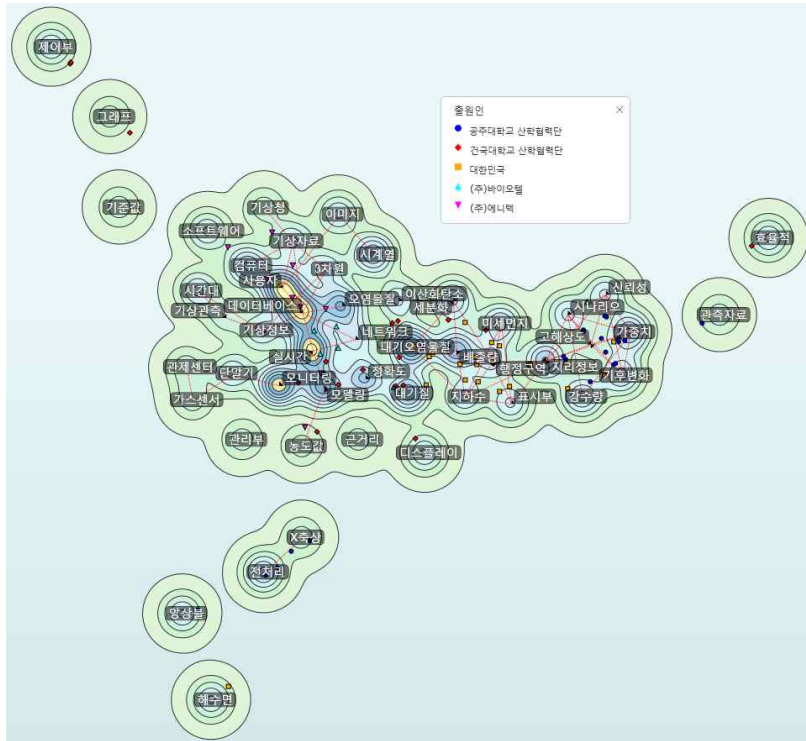


그림 2-24. 열환경 예측 시뮬레이션기술분야 등고선 맵

(다) 열환경 설계/관리를 위한 의사결정 지원(AC) 기술 분야

- 본 기술 분야는 2000년대 중반 이후 미국에서부터 관련 주요 건이 발생하고 있으며 2000년대 후반 이후에는 한국에서의 관련 출원이 늘어나고 있으며, 특히, 도시 공간 상황을 인식하는 방법 및 시스템 관련기술이 이슈화 되고 있음

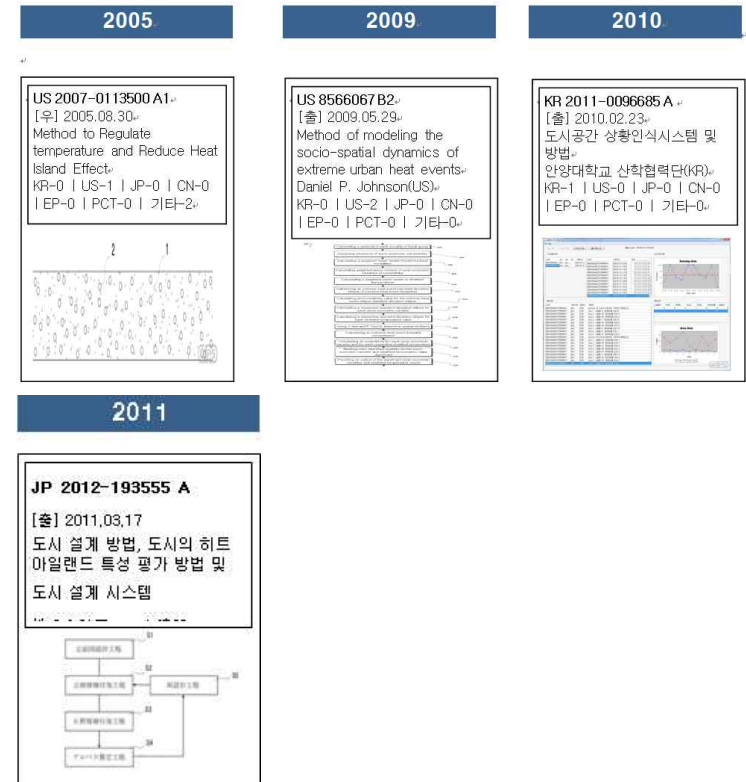


그림 2-25. 열환경 설계/관리를 위한 의사결정 지원 기술분야 연도별 주요 특허

- 한국 대상 특허의 키워드를 통한 등고선 맵 분석을 통해 본 기술 분야에 대한 주요 이슈 키워드를 살펴보면 데이터 매칭, 수신부, 표시부, 메뉴, 지도 데이터 등 정보 표시 관련 기술에 대한 관련도 및 빈도가 매우 높게 나타났으며, 그외 데이터 처리 기술과 관련한 속성 입력 변동 등 키워드가 서로 연관된 모습을 보이고 있음

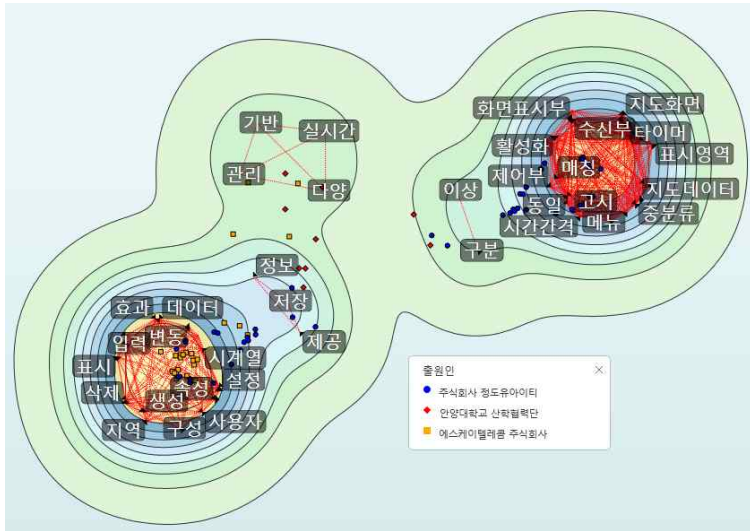


그림 2-26. 열환경 설계/관리를 위한 의사결정 지원 기술분야 등고선 맵

(라) 열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축(AD) 기술 분야

- 본 기술 분야는 2000년대 중반 이후 일본에서부터 관련 주요 건이 발생하고 있으며 2000년대 후반 이후에는 한국에서의 관련 출원이 존재함. 특히, 열섬 효과를 저감하기 위한 포장 기술 및 녹지공간을 활용한 기술이 주요 활용 대상으로 나타남

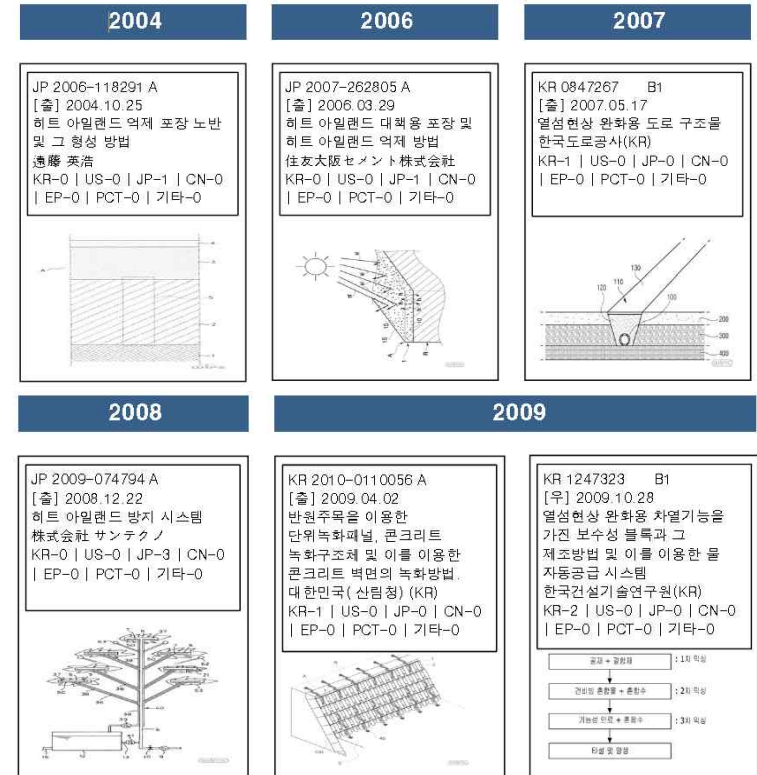


그림 2-27. 열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축 기술 분야 연도별 주요 특허

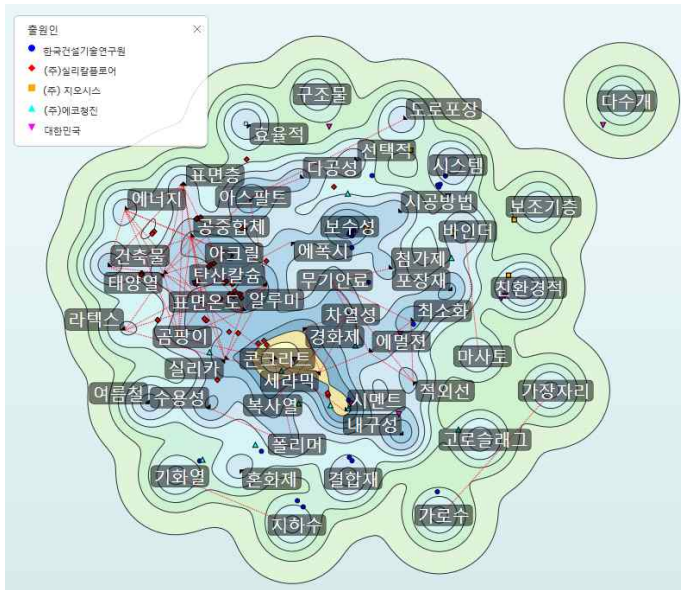


그림 2-28. 열섬저감을 위한 도시인프라 시공/건축 기술분야 한국 등고선 맵

### 나. 기술동향

- 대상기술에 대한 동향 분석은 특히 동향 분석시 사용한 기술분류의 중분류에 속하는 기술의 동향을 분석하였음. 즉, ‘환경 모니터링’, ‘열환경 예측 시뮬레이션’, ‘열환경 설계/관리를 위한 의사결정 지원’, ‘열섬저감을 위한 도시 인프라 시공/건축 기술’에 속하는 기술에 대한 동향을 분석함

표 2-16. 기술 동향 분석 요약

| 분야       | 관련 기술  | 결과  |
|----------|--|---|
| 열환경 모니터링 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 미국: WRF(Weather Research and Forecasting)</li> <li>• 일본: 열환경지도</li> <li>• 독일: 도시기후분석도(KlimaAtlas)</li> <li>• 한국: 유비쿼터스 센서 네트워크(USN; Ubiquitous Sensor Network), ㈜볼트 세물레이션의 열환경 관련 모니터링 및 시뮬레이션</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 열섬저감을 위한 도시 인프라 시공/건축 기술이 많으며, 녹화 등의 기술이 주류를 이루고 있음</li> <li>• 열환경 설계/관리를 위한 의사결정지원 기술은 미 기후 분석 결과를 이용하여 도시계획의 의사결정</li> </ul> |
| 열환경 예측   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 미국: LAPS(Local Analysis and Prediction System), MIST(Mitigation Impact Screening Tool)</li> </ul>   |   |

|                          |  |  |
|--------------------------|--|--|
| 시뮬레이션                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 독일: FITNAH(Flow Over Irregular Terrain with Natural and Anthropogenic Heat Sources), ENVI-met, RayMan Model, DIWIMO(Diagnostic Wind Field Model), REWIMET(Wind Field Simulation, mesoscale, VDI 3783 Blatt 6), MUKLIMO3(Microscale Urban Climate Model), MIMO(Microscale Model), 환경지도(Environmental Atlas)</li> <li>• 프랑스: TEB(Town Energy Budget Model)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 에 이용하는 수준에 머물고 있음</li> <li>• 기후변화 적응형 도시열 환경 설계 및 관리 시스템 기술에 관한 대상기술은 기존의 기술과 차별화되는 기술이며 기존 기술의 융합기술로서 기존의 여러 기술을 대체할 수 있음</li> </ul> |
| 열환경 관리/설계를 위한 의사결정 지원    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 일본: UCSS(Urban Climate Simulation System), AUSSSM(Architecture Urban Soil Simultaneous Simulation Model), 도시환경지도</li> <li>• 독일: UBIKLIM (Urban BioCLimate Model)</li> <li>• 한국: ACM(Air-City Model), CAS(Climate Analysis Seoul)</li> </ul>   |  |
| 열섬 저감을 위한 도시인프라 시공/건축 기술 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 미국: 옥상녹화 정책, Vertical Garden Matching Grant, 차열성 포장(Cool Pavement)</li> <li>• 일본: 옥상녹화 정책, 열섬대책가이드라인, 물-녹지-바람길 네트워크</li> <li>• 독일: 기후톱(Klimatop)</li> <li>• 한국: 식물매트, 도시하천 복원</li> </ul>  |  |

#### (1) 열환경 모니터링 관련 기술 동향

##### (가) 해외 기술 동향

###### ① 미국

- WRF(Weather Research and Forecasting) 모형
  - WRF 모형은 고해상도 예측을 목적으로 만든 기후예측 프로그램으로 미국의 UCAR/NCAR(University Corporation for atmospheric Research/National Center for Atmospheric Research)에서 개발되었으며, 2006년 미국 기상청과 미 공군 기상대에서 최초 현업화 됨
  - 기후변화와 관련하여 기상청에서 WRF 모델을 기반으로 기후 예측 시나리오가 제공되고 있으며, 국외 많은 연구에서도 이를 활용한 연구가 활발하게 진행되고 있음
  - 최근에는 도시내 토지이용, 바람길 등을 분석할 수 있는 시뮬레이션기술과 결합되어 다각적이고 구체적인 수치예측시스템 개발 등에 활용되고 있음

###### ② 일본

- 도쿄의 열환경지도
  - 도쿄는 “열섬현상 대책수립 방침”을 수립하여 운영하고 있으며, 열환경지도를 통해 모니터링을 함
  - 이를 토대로 신주쿠, 오사카, 메구로, 시나가와역 주변에서 집중적인 옥상녹화, 투수성 포장 등 열섬저감 대책을 실시함

③ 독일

- 도시기후분석도(Klimaatlas)
  - 기후학적으로 동일한 특성을 나타내는 지역 그룹을 기후톱(Klimatop)으로 명명하며 호수, 하천, 평지, 산림, 공원 등으로 유형을 구분함
  - 기후톱(Klimatop)에 따라 도시기후분석도(Klimaatlas)를 작성하여 모니터링하며, 지구상세계획(B-Plan)시 이를 반영함

(나) 국내 기술 동향

- USN(Ubiquitous Sensor Network)
  - 미세규모 기후변화 모니터링을 위한 유비쿼터스 기상 센서 네트워크로 신도시 개발시 적용 가능한 도시 내외의 미기후 변화(바람순환, 열환경, 바이오기후, 대기오염 확산 등) 및 바람 순환(신선한 공기의 유동)을 계측

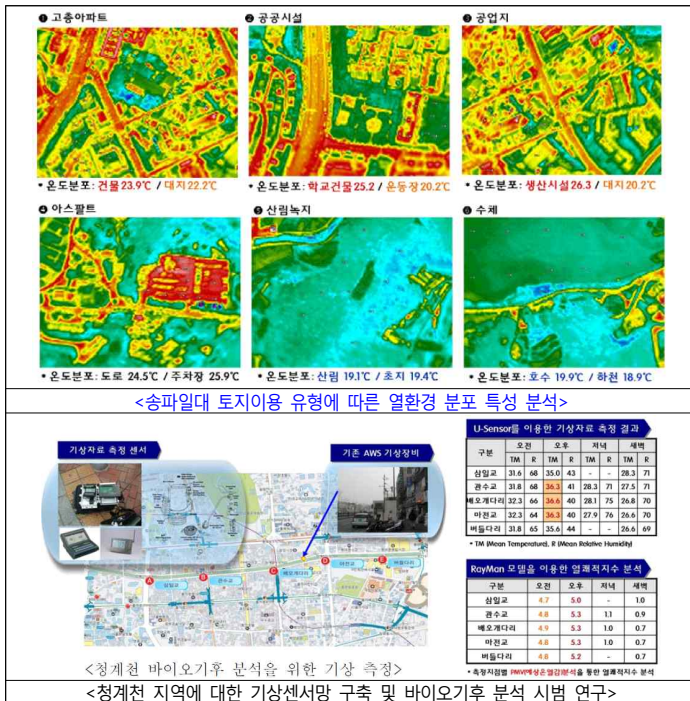


그림 2-29. 바람순환과 열환경 특성 분석

- (주)볼트 시뮬레이션의 열환경 관련 모니터링 및 시뮬레이션 (<http://www.boolt.co.kr/>)
  - CFD(Computation Fluid Dynamic) 모델 및 기상모델을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 활용하여 바람길을 분석함
  - 도시개발시 바람장의 국지적인 변화를 예측하여 바람길을 고려한 도시계획시 이를 반영할 수 있음

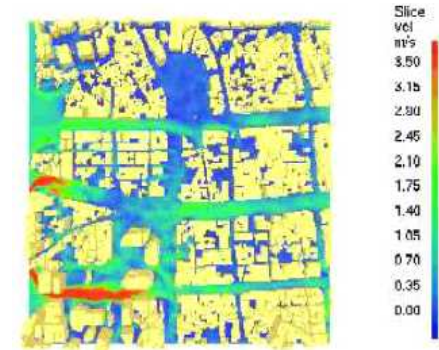
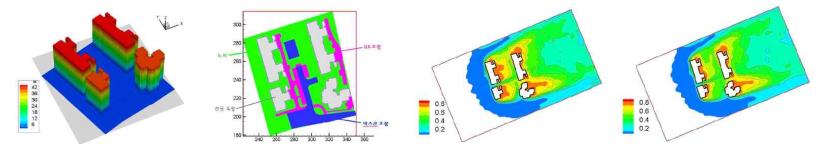


그림 2-30. 서울시 종로구 청계천 일원(청계천 복원 이후) 순간풍속 수평분포 시뮬레이션

- 토지피복 변화에 따른 온도변화를 모니터링하고 시뮬레이션하여 온도변화 정도를 예측함
- 그림 2-63.은 녹지 조성시 지표면의 온도변화를 시뮬레이션한 예시로, 열에너지 흐름에 영향을 미치는 여러 가지 요소를 고려하여 미기후의 변화를 예측



<분석대상지역(좌: 3D, 우: 2D)의 피복면 현황>

<시뮬레이션 결과>

그림 2-31. 녹지로 변경된 피복면의 온도변화 시뮬레이션 사례

(2) 열환경 예측 시뮬레이션기술 동향

(가) 해외 기술 동향

① 미국

- LAPS (Local Analysis and Prediction System)

- NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration, 국립해양대기청) 산하 GSD(Global System Division)에서 개발하였으며, 자료수집 모듈, 지상분석, 그리고 3차원 바람, 온도, 습도, 구름 분석과정과 그로부터 유도되는 각종 분석자료로 구성됨

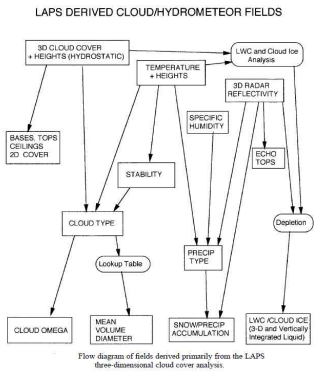
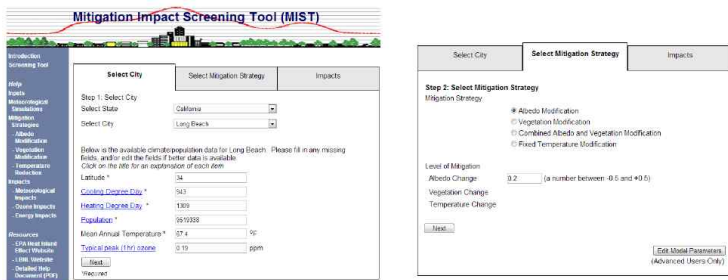


그림 2-32. 미국의 LAPS 작동 예시

■ MIST (Mitigation Impact Screening Tool)

- 미국 환경보호국은 Mitigation Impact Screening Tool(MIST)을 개발하여 도시열섬저감 전략이 도시 대기 온도, 오존 및 에너지 소비에 미치는 영향을 예측함(열환경 개선에 의한 유발효과 분석)



MITIGATION IMPACT SCREENING TOOL (MIST)  
http://www.HeatIslandMitigationTool.com

그림 2-33. MIST를 이용한 롱비치 도시의 열섬 시뮬레이션 결과

② 독일

■ FITNAH(Flow Over Irregular Terrain with Natural and Anthropogenic Heat Sources): 토지이용 변화에 따른 도시 미기후변화 예측 및 분석

- 복잡지형의 3차원 기상장을 계산하기 위해 개발됨. 조사지역 바람장의 수평 및 수직 분포에 대한 기복 형태와 토지이용을 고려할 수 있으며 가속 또는 편향/방향변경 등과 같은 현상이 발생할 경우 바람의 변경뿐만 아니라 3차원적인 온도, 에너지 및 수문학적 밸런스를 예측할 수 있음
- 시간대별 풍속, 풍향, 지표온도, 생체기후도 산출 가능
- 굴곡이 있는 산악지형의 계산이 가능하고 정확한 풍속 프로파일을 표출할 수 있음. 다양한 연구 및 프로젝트에 적용되어 실용성이 검증된 모델로서 바람 및 온도 등과 같은 기후환경 변화 예측에 주로 적용되고 있음

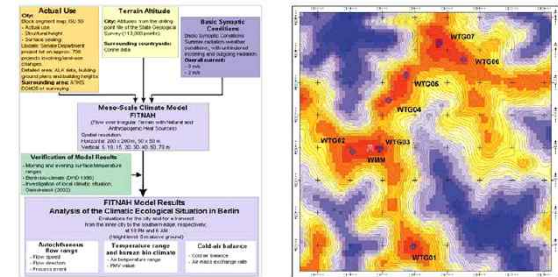


그림 2-34. FITNAH에 분석구조 및 적용(좌)과 바람길 분석결과(우)

■ ENVI-met

- 건물·지형·지물 등 소규모 환경과 미기후 사이의 상호작용을 시뮬레이션하는 모형임
- 지표면과 토양의 유형, 건물배치, 식물에 대한 선택이 가능하고, 지표면과 벽, 지붕, 식물 등에서 발생하는 열역학 과정을 이용하여 바람의 흐름, 난류 등과 같은 유체역학 파라미터를 선정함
- 식물과 건물외관에서 발생하는 그늘, 반사, 열을 포함하는 장·단파 복사, 식물에서 공기 증으로 발생하는 증발, 증산, 현열 이동, 식물생리요인, 지상 및 건축물 외관의 표면온도, 물과 에너지 간 균형 등을 고려함
- 다른 모형에 비해 소규모 환경과 미기후 사이의 상호작용을 잘 묘사하여 특히 개발 전 상황에 대하여 개발 후 변화를 예측하는 연구에 주로 사용됨

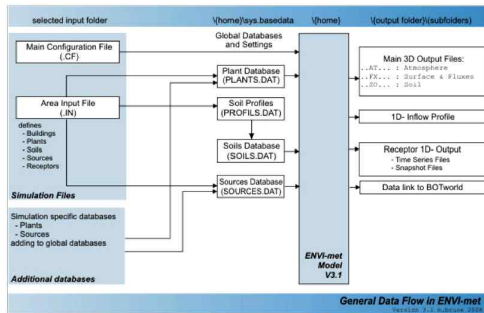


그림 2-35. Data flow diagram of ENVI-met

■ RayMan Model

- 독일 Meteorology Institute of University of Freiburg에서 개발된 모델
- 복사흐름과 단파 복사흐름에서 구름의 영향을 추정하여 미기후변화에 따른 인체가 느끼는 열부담을 평가함
- 기상과 지형, 지물 등을 종합적으로 고려하며 사용이 편하고 구동시간이 빠르다는 장점이 있음

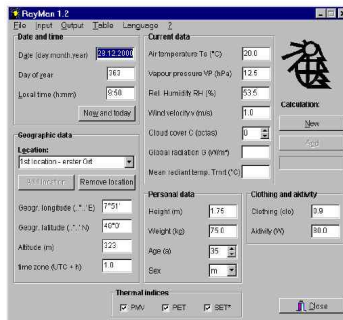


그림 2-36. RayMan 모델 분석 예시

■ DIWIMO(Diagnostic Wind Field Model)

- 오일러 및 라그랑지안 확산모델을 위한 바람장을 계산하는 진단모델로, 도시 및 건축계획의 바람장 영향평가와 측정자료가 없는 지역의 바람관련통계 생성 및 예측이 가능함

■ KALM(Drainage Flow Model)

- 국지규모의 기류변화를 예측하며, 다양한 토지이용을 고려한 대기와 지표면의 거칠기를 고려하는 3차원 냉기류 흐름 시뮬레이션 모델
- 지형의 고도변화나 냉기류층의 두께 변화에 의해 기류의 흐름이 빨라지거나 정체되는 현상을 분석할 수 있고, 대기오염확산모델과 연동하여 운용가능함

■ REWIMET(Wind Field Simulation, mesoscale, VDI 3783 Blatt 6)

- 정역학적 3차원 중기후 모델로서 시간과 관련하여 각 그리드의 종관 바람요소와 잠재적인 온도를 예측할 수 있음
- 수평범위는 20-200km, 수직해상도는 2-10km의 범위까지 예측가능하고, 각 그리드 영역의 연직풍속에 대한 진단이 가능함
- 지역규모단위에서 바람장, 스모그 현상 등의 시계열적 변화에 따른 예측과 대기오염 확산관련 기상요소의 계산 및 특정 기상조건(역전층이나 바람이 약한 기상조건 등) 하에서 대기오염확산 요소에 관한 지역규모의 구조를 예측함

■ MUKLIMO3(Microscale Urban Climate Model)

- 포장/비포장 지표면의 바람장을 예측하는 모델로서 개별 건축물과 건물군에 대해 예측이 가능하기 때문에 넓은 영역의 변화 예측에 활용가능함
- 도시규모 기후예측은 개별건축물 단위 특성보다 건물군의 평균적인 기류관계를 중점적으로 다루며, 건축물간 조성되는 오픈 스페이스를 따라 유동하는 공기흐름을 파악할 수 있음
- 건축물 용적에 따른 대류변화 현상과 건축물표면에 따른 바람의 저항, 감속현상, 난기류 현상 등의 파악에 적합함. 건축물 고도와 두께 등을 이용하여 지표면 복사량이 건축물의 벽면과 지붕면으로 이동하는 현상을 고려할 수 있음

■ MIMO(Microscale Model)

- 미시 규모의 복잡한 건물구조하에서 대기의 유동현상을 시뮬레이션하는 모델로 매스(mass), 운동량 또는 가속도(momentum)와 관련된 잠열, 난류, 습도 등과 규모를 계산할 수 있음

■ 베를린의 환경지도책(Environmental Atlas)

- 베를린시는 도시계획 수립을 위한 기초자료로서 1985년과 1987년에 2권의 환경지도책을 발간
- 지역 기상모델인 FITNAH를 이용하여 베를린의 바람, 온도 등 기후환경 변화를 예

측하고, 분석결과를 토대로 ‘기후상관지도(Climate Functions Map)’와 ‘도시계획지침용기후지도(Planning Advices Urban Climate Map)’를 제작

- 도시계획지침기후지도는 도시구조변화에 따른 기후변동의 민감도를 제시하여 도시계획에 활용함

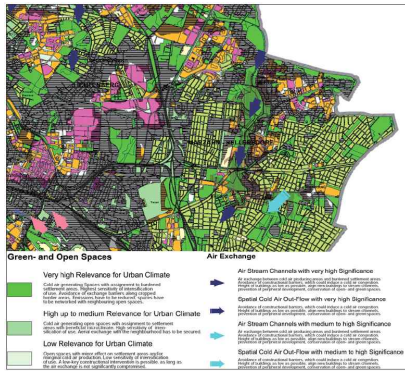


그림 2-37. 베를린시의 도시계획지침기후지도

③ 프랑스

▪ TEB(Town Energy Budget Model): 열환경 예측 및 분석

- 건물, 도로와 같은 인공구조물에 의해 조성되어 있는 중규모 지역에 적용하기 위해 개발된 모델로 지표면의 대기, 난류유동 교환 등을 시뮬레이션할 수 있음
- 도시 협곡 개념을 사용하여 건물들과의 상호 작용, 바람통로 효과, 건물차단에 의한 영향 등을 고려하여, 파리의 열환경 예측에 활용

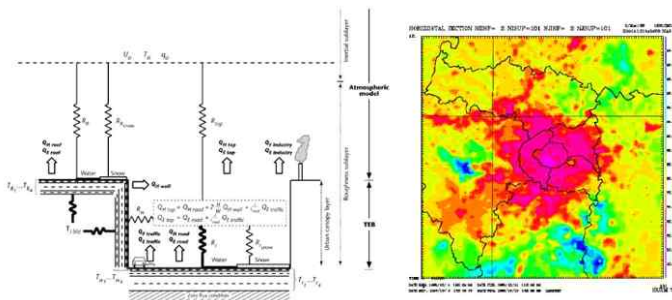


그림 2-38. TEB의 열환경 예측 구조(좌)와 분석결과(우)

(3) 열환경 설계/관리를 위한 의사결정지원 기술 동향

(가) 해외 기술 동향

① 일본

▪ UCSS(Urban Climate Simulation System): 도시계획 및 설계 지원

- 환경성과 국토교통성 등의 중앙정부기관에서 도시열섬저감 대책 수립시 사용하고 있는 모델로서 건축물의 단열상태, 구조 등 건축물 단위요소들을 고려한다는 점에서 차별성을 가지고 있음
- 격자단위로 세부적인 정보를 제공하여 공간적으로 열환경 분포를 구체적으로 파악할 수 있고, 토지피복, 식생, 알베도 등을 고려하여 결과값을 도출하기 때문에 도시계획 지원도구로서 과학적이고 체계적인 결과를 제시할 수 있음
- 격자단위 분석으로 실제 공간자료와 일부 오차가 발생할 수 있으며, 교통, 인간의 신진대사 열발생 등의 인공열 흐름은 예측불가하다는 한계가 있음

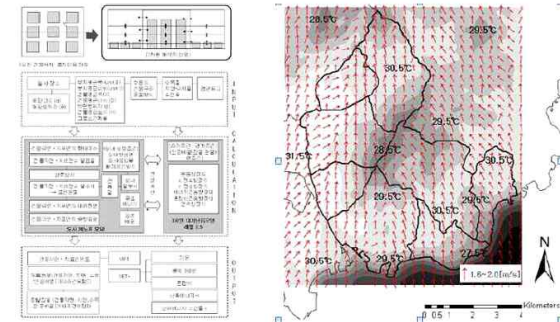


그림 2-39. UCSS의 계산원리와 계산결과에 의한 도시기온 및 바람분포

▪ AUSSSM(Architecture Urban Soil Simultaneous Simulation Model): 열환경 예측 및 분석

- 도시대기, 토양, 건물 3개의 서브 모델로 구성되어 각 서브 모델이 연계되어 도시기후를 분석함. 분석결과와 정확도는 중간정도이나 계산부하가 작은 다른 모델에서 일반적으로 무시되는 지표면의 열전달을 고려할 수 있음
- 도쿄 Tama New Town 공원 조성의 기온저감 효과 분석과 대기질 개선효과 등에 적용됨

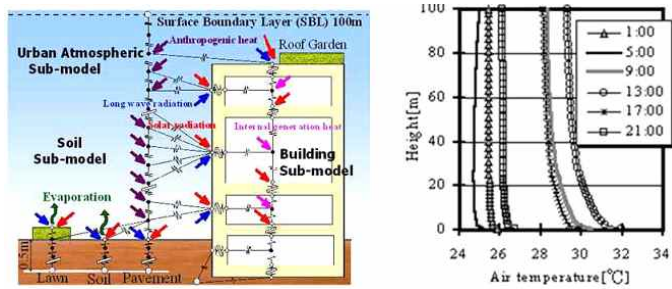


그림 2-40. AUSSM의 분석구조(좌) 및 분석결과(우)

■ 도시환경지도

- 오사카, 고베 등의 대도시를 중심으로 도시계획 의사결정지원 도구로서 도시환경지도는 도시기후환경을 분석한 기후분석지도(Climature Analysis Map)와 이에 따른 계획 지침을 제시한 지침지도(Recommendation Map)로 구성됨
- 고베지역의 기후분석지도는 대기중 열-적외선 이미지를 사용하여 지표면 온도를 추출하고, 바람길에 부정적 영향을 미치는 고밀도 지역 및 여름철 시간별 주요 풍향·풍속을 지도에 제시함

② 독일

■ UBIKLIM (Urban BioCLimate Model) : 도시계획 및 의사결정 지원

- 독일 기상청이 개발한 GIS 기반의 열환경 시뮬레이션 프로그램으로 토지이용에 기초한 도시경계층의 열환경을 시뮬레이션하고 생물기후의 지역분포를 맵핑할 수 있음
- 토지이용의 유형은 수계, 산림, 공원, 초지, 투수/불투수 포장, 건물지역 등이며 건물 지역은 도시구조를 고려하기 위해 투수포장 면적의 비율, 건물 밀도, 건물 높이 및 녹지면적 등을 추가로 입력할 수 있음

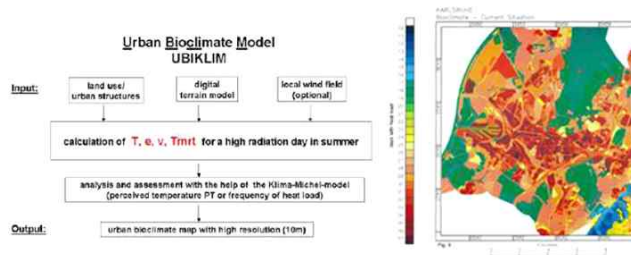


그림 2-41. UBIKLIM의 분석구조(좌)와 생체기후도 분석결과(우)

(나) 국내 기술 동향

- ACM(Air-City Model): 도시계획 지원
  - 한국건설기술연구원에서 개발하였으며 기류모델인 기상장 모델(BMM, Blocksize Meteorological Model)과 열확산 모델(BHDM, Blocksize Heat Dispersion Model)로 구분됨
  - BMM 모델은 기상관측자료를 사용하여 모델링 대상공간에 대한 바람장과 온도장을 생성함. 열확산 모델의 경우, BMM 분석결과를 토대로 피복면 열경계 조건에 따라 현열의 확산과정을 분석하여 분석대상 공간 내에 3차원적 기온 변화를 계산함

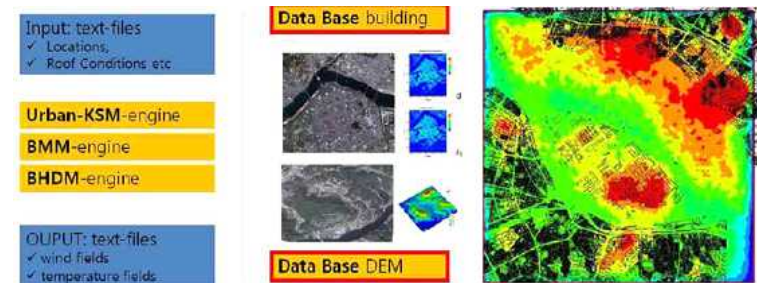


그림 2-42. ACM의 구성(좌)과 분석결과(우)

Model Input

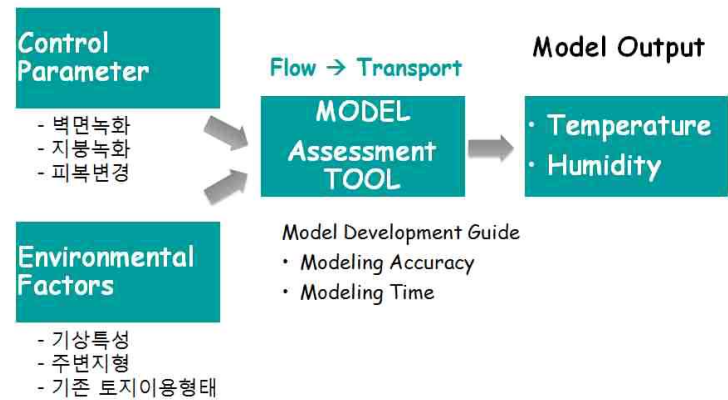


그림 2-43. ACM 분석흐름

- CAS(Climte Analysis Seoul): 도시계획 지원
  - 국립기상연구소와 독일 베를린 공대의 공동연구로 서울의 미기후 환경을 분석하여 도시계획에 반영할 수 있도록 모델을 개발함
  - 지형 및 토지피복자료와 중규모 기상모델인 MetPhoMod 시뮬레이션 결과를 기반으로 5×5(m) 해상도내 바람장과 온도장을 분석함

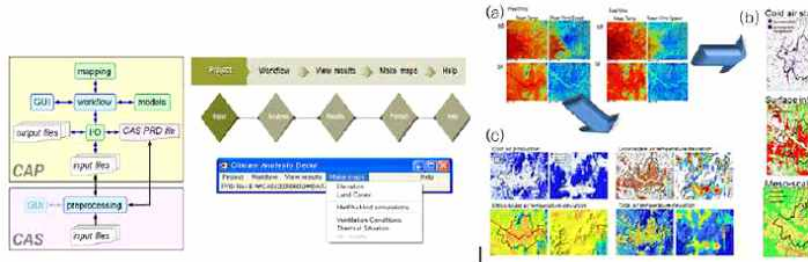


그림 2-44. CAS 구성과 분석결과

(4) 열섬저감을 위한 도시 인프라 시공/구축 기술 동향

(가) 해외 기술 동향

① 미국

- Vertical Garden Matching Grant: 옥상·벽면녹화에 대한 지원
  - 심미성, 보행편의성, 대기질 개선, 열섬저감을 위해 2008년 휴스턴에서 시행된 프로젝트로, 벽면녹화나 옥상녹화시 인센티브를 제공하는 방식으로, 전체 비용의 50%까지 최대 2만 달러를 지원함
- 가로수 식재 및 녹화 계획
  - 뉴욕시는 공원과 가로변에 30여종 122,000개체 이상의 가로수를 식재하여 가로 주변의 식재율을 74%로 향상시켰으며, 2030년까지 백만 그루를 심어 식재율 100% 이상 향상을 목표로 함
  - 가로수의 생존과 우수 관리를 위한 가로수 구덩이 설계 개선(BMPs- Best Management Practices)안을 제시함

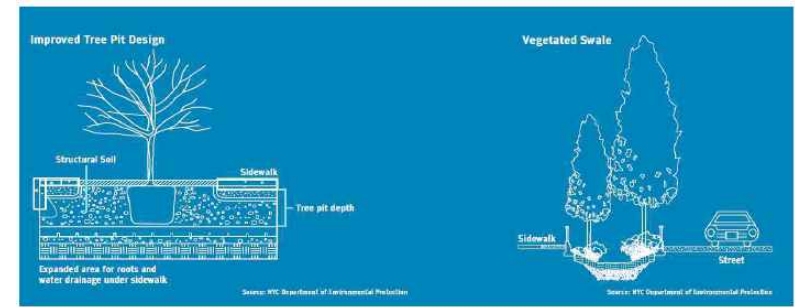


그림 2-45. 뉴욕시 가로수 개선 설계(BMPs)(박흥철, 2010)

- 불투수 포장으로 건조된 주차공간의 녹화를 위해 주차공간 녹화 계획을 수립함

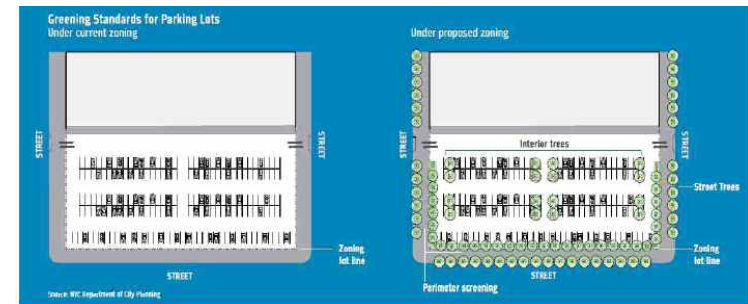


그림 2-46. 뉴욕시 주차공간 녹화 마스터 플랜

- 차열성 포장(Cool Pavement)
  - 차열성 포장은 도로포장시 고반사 포장공법을 통해 도로내 흡수열을 저감시키는 포장방법으로, 최근 도로표면내 수분 및 공기 등을 공급하여 도로 자체적으로 온도저감을 할 수 있는 기법이 연구되고 있음
  - 건축물 지붕과 도로포장재료의 반사율을 측정하여 토지피복과 건축물 색상 변화에 따른 온도 저감 효과를 분석한 결과 최대 10배 이상의 반사율 차이를 보였으며, 도로포장공법 개선시 지표면온도를 30% 저감되는 결과를 도출함



그림 2-47. 알베도 측정장치를 이용한 차열성 포장도로 코팅 측정

② 일본

■ 옥상정원(Roof Garden)

- 도쿄는 열섬현상저감방안으로 옥상정원(녹화), 벽면녹화 등의 녹화 정책을 운영함
- 옥상정원의 설치 건축물에 세금감면 등의 인센티브를 제공하고, 옥상정원 설치 예정 건물주에게는 저리 대출을 통한 옥상정원의 설치를 장려하고 있음
- 옥상녹화(Green Roof)와 벽면녹화(Living Wall)도 의무화하여 토지면적 1,000m<sup>2</sup> (공공건물은 250m<sup>2</sup>) 이상인 신규 및 기존 건축물에 적용함



그림 2-48. 롯본기 힐스 건물내 설치된 옥상정원

■ 열섬대책 가이드라인

- 도쿄는 열환경 지도, 지역별 대책 등을 포함한 열섬대책 가이드라인을 제시함
- 열환경 지도는 500×500(m)의 격자단위로 구성되며 토지피복현황, 인공열, 건축물 형태, 현열 분포를 기반으로 도쿄도 내 23개의 지역구를 10개 유형으로 분류하고,

각 유형별 대책실시계획을 책정하고 있음

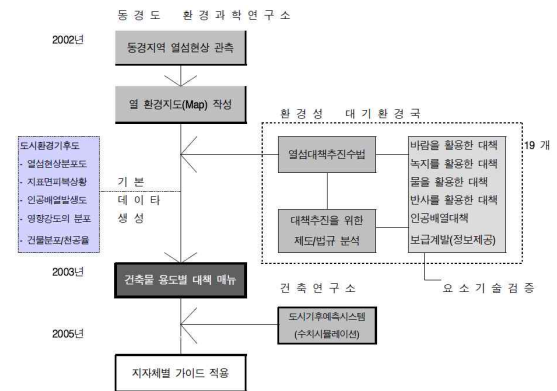


그림 2-49. 동경도의 열섬대책기술 개발프로세스

■ 도쿄내 오사키, 메구로 지역의 도시열섬 저감 조치 사례

- 메구로강을 따라 바람길이 지나는 가로변을 녹화하고, 이 주변 공간에 녹지공간을 확장하여 물-녹지-바람길 네트워크 체계를 구축함
- 열환경 개선을 위해 건물을 강과 45°로 배치하여 바람길을 조성하고, 보수성 포장을 적용하여 지표면 온도를 낮춤

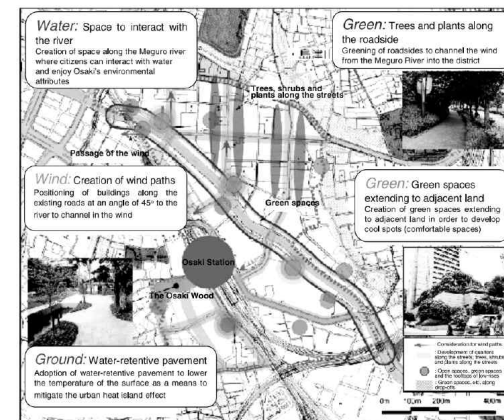


그림 2-50. 메구로강변의 물-녹지-바람길 네트워크

③ 독일

■ 기후톱 (Klimatop) 구축

- 독일을 위시하여 여러 국가에서 도시 기후문제 해결을 위해 기후톱(Klimatop)을 구축하고 있음
- 기후톱은 ‘기후(Klima)’와 ‘공간의 최소단위(top)’의 합성어로 기후변화를 지형과 연계하여 공간적 영역별로 분석하기 위해 개발됨
- 기후톱의 공간적 유형은 호수, 하천, 평지, 산림, 공원, 촌락, 도시외곽, 도시, 도심, 상업지대, 공업지대 등 10가지로 구분되며, 이를 기반으로 도시기후도가 작성됨

(나) 국내 기술 동향

■ 식물매트

- 농촌진흥청은 도시기온을 저감하고 환경개선효과를 증진시킬 수 있는 식물매트를 개발함
- 식물로 녹화된 공간의 온도저감이나 탄소흡수 정도는 녹화공간 내에서도 식물로 덮인 정도에 따라 차이가 크게 나타나는데, 식물매트를 이용하면 시공초기부터 전면피복이 가능해 녹화효과를 극대화 할 수 있음
- 식물매트는 수직, 수평, 곡면, 사면 등 지표면의 형태에 구애받지 않고 쉽게 설치할 수 있으며, 시공 즉시 30℃ 이상의 고온 조건에서 표면온도는 약 15℃ 이상, 대기온도를 약 3℃/m 낮추고, 이산화탄소 농도는 비녹화지에 비해 약 5배 줄이는 결과를 보임
- 식물 종류에 따라 차이는 있으나, 기존 녹지 조성과 비교 했을 때, 100㎡ 기준으로 전체 재료비의 약 50% 이상 절감할 수 있음



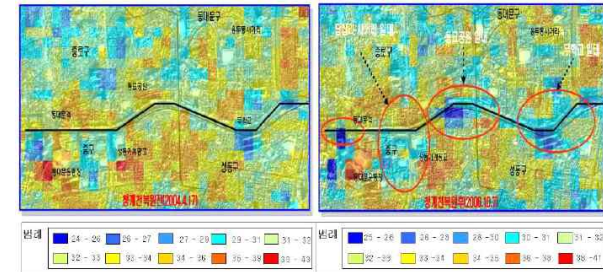
그림 2-51. 농촌진흥청이 개발한 식물매트

■ 도시하천 복원(청계천 복원)

- 청계천 복원 후 청계4가의 일대의 온도가 최대 23%까지 저감되었으며, 열섬강도(특정지역 평균온도/서울평균온도)는 1.39~3.3℃ 감소됨
- 풍속이 평균 0.7m/s에서 최대 6.9%이상 증가되어 바람길이 형성되면서 자동차 배출가스 등으로 인한 도시열섬현상이 저감됨



<청계천 복원 전/후 모습>



<청계천 복원 전/후의 온도 변화>

그림 2-52. 청계천 복원 전/후 비교

### 3. 국내외 정책동향

#### 가. 국내 정책동향 분석

- 「기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리 시스템」과 관련된 국내 중앙정부부처 및 지방자치단체에서 수립한 정책들은 크게 “기후변화적응”관련 정책, “그린도시계획”관련 정책, “건축물녹화”관련 정책 등으로 분류할 수 있음

표 2-17. 국내 주요 정책 요약

| 구분       | 관련 정책   | 결과   |   |
|----------|---------|--|---|
| 기후 변화 적응 | 중앙 정부부처 | <ul style="list-style-type: none"> <li>저탄소 녹색성장 기본법 제정 및 녹색성장위원회 발족</li> <li>기후변화 대응을 위한 국토 및 도시분야 DB 확보(국토해양부)</li> <li>이상기후 대비 위한 '환경생태계획법' 수립(환경부)</li> <li>기후변화 적응대책 추진-국내외 산림조성 및 한반도 녹지화(지식경제부)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>국내에서 시행되고 있는 대부분의 정책은 녹색도시 및 그린도시 계획과 관련되어 있음</li> <li>도시열섬 저감과 관련하여 독립된 정책으로 수립 또는 시행되고 있는 정책은 없으며, 기후변화적응 정책 속에 하위 정책으로 시행되고 있음</li> <li>미래 도시 열환경 관리 차원에서 기후변화 적응을 위해 그린도시 조성과 건축물 녹화장려 정책이 혼재되어 시행되고 있음. 기후변화 적응형 도시열관리 및 설계와 관련된 독립된 정책의 수립이 요구됨</li> </ul> |
|          | 기초 지자체  | <ul style="list-style-type: none"> <li>기상 특성을 고려한 도시계획 제도 도입(서울시)</li> <li>시내 94곳에 기후관측장비 설치하여 도시열섬현상 완화 기초자료로 활용하고 도시계획 등에 참고(서울시)</li> <li>기상 특성을 고려한 도시계획 제도 도입(서울시)</li> <li>서울지역 기후변화 및 대기오염 통합 모니터링 시스템 구축(서울시)</li> <li>글로벌 기후변화 대응사업 추진 및 친환경건축 기준마련(부산시)</li> </ul> |   |
| 그린 도시 계획 | 중앙 정부부처 | <ul style="list-style-type: none"> <li>저탄소 녹색성장 지향형 신 그린드 녹색국토 구축(녹색성장위)</li> <li>녹색성장 도시기반 조성 Compact City 개발(국토해양부)</li> <li>녹색도시개발 계획수립 및 평가기준 마련(국토해양부)</li> <li>국토와 도시, 건축 및 교통까지 개조 U-Green 도시 구현(행정안전부)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>미래 도시 열환경 관리 차원에서 기후변화 적응을 위해 그린도시 조성</li> <li>건축물 녹화장려 정책이 혼재되어 시행되고 있음. 기후변화 적응형 도시열관리 및 설계와 관련된 독립된 정책의 수립이 요구됨</li> </ul>  |
|          | 기초 지자체  | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시녹화를 위한 그린 커뮤니티 활성화(서울시)</li> <li>서울형 저탄소 마스터플랜 '2030 그린디자인 서울' 개발(서울시)</li> </ul>   |   |
| 건축물 녹화   | 중앙 정부부처 | <ul style="list-style-type: none"> <li>건축물 녹화설계기준 및 권장 설계도시 개발(국토해양부)</li> <li>폭염저감, 홍수예방을 위한 '건축물 녹화 기본계획 수립 매뉴얼' 작성(국토해양부)</li> <li>도시개발업무지침(국토해양부)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>미래 도시 열환경 관리 차원에서 기후변화 적응을 위해 그린도시 조성</li> <li>건축물 녹화장려 정책이 혼재되어 시행되고 있음. 기후변화 적응형 도시열관리 및 설계와 관련된 독립된 정책의 수립이 요구됨</li> </ul>  |
|          | 기초 지자체  | <ul style="list-style-type: none"> <li>옥상녹화시스템 설계지침 및 관련도서 작성지침(서울시)</li> <li>옥상, 벽면녹화를 위한 '건축물 녹화 설계기준' 제정(서울시)</li> <li>녹색커튼 조성 사업 시행(부산시)</li> <li>친환경 공동주택 가이드라인 마련(서울 강동구)</li> <li>각 지자체별 녹화추진 및 옥상녹화에 관한 조례</li> </ul>  |   |

#### (1) 기후변화 적응 관련 정책

##### (가) 중앙정부부처

- ① 국가가 추진하는 기후변화 적응대책(2011~2015)
  - 국가 기후변화 적응대책은 2050년 평균기온 2℃ 상승에 대비한 위기관리 대책으로, 예상되는 기후변화 악영향으로부터 국민의 생명과 재산을 보호하기 위한 대책임
    - '저탄소 녹색성장기본법' 시행( '10.4.14)에 따른 최초의 법정 국가 적응 대책으로, 정부 및 지자체 세부시행 계획 수립을 위한 기본계획임
    - 건강, 재난/재해 등 10개 부문대책에 13개 중앙부처와 각계 전문가가 참여함



그림 2-53. 한국 정부의 기후변화 대응 정책

- '기후변화 적응을 통한 안전사회 구축 및 녹색성장 지원'을 비전으로 7개 부문별 기후변화 적응대책과 이를 지원할 수 있는 3개의 적응기반 대책을 수립함
- ② 국내 기후변화 대응 및 저탄소 녹색도시 조성 전략
  - 정부의 핵심 국정과제인 '저탄소 녹색성장'을 법제도적으로 뒷받침하기 위해 2009년 2월 저탄소 녹색성장기본법에 대한 정부안을 확정함
  - 2009년 저탄소 녹색성장을 국가적 어젠다(Agenda)를 추진하기 위해 “녹색성장위원회”를 공식 출범함
    - 녹색성장위원회는 2050년까지 세계 5대 녹색강국 진입을 목표로 녹색성장을 위한 3가지 전략과 10가지 정책방향을 제시함
    - 특히, 녹색국토·교통의 조성 부문에서는 녹색도시 모델개발 및 조성, 생태공간의 확충, 녹색교통체계 구축 등 생활 속에서 체감 가능한 녹색공간의 확대를 목표로 함

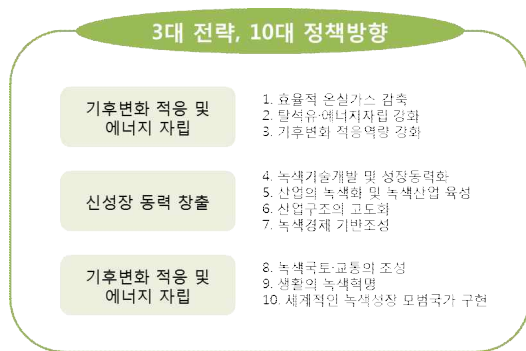


그림 2-54. 녹색성장 10대 정책방향

③ 국토교통부

- 국토교통부는 신도시 개발(3차 종합대책), 온실가스 감축을 위한 공원·녹지 확보, 교통모델과의 통합적인 국토·도시계획, 환경영향평가제도 등 친환경 국토·도시계획기법 도입(종합기본계획) 등을 추진하고 있음
- 녹색 건축인증, 건축물 에너지효율등급 인증, 건물에너지 통합관리시스템 구축, 그린 리모델링 활성화 등을 통한 녹색 건축을 구현함

표 2-18. 국토해양부의 국토·도시분야 기후변화 대응체계

| 구분   | 내용   |
|------|--|
| 대응과제 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 저탄소 도시공간구조로의 전환</li> <li>• CO<sub>2</sub> 흡수원 확보를 위한 녹색국토 구현</li> <li>• 안전 국토 지향의 기후변화 적응시스템 구축</li> <li>• 기후변화 대응을 위한 국토·도시분야 DB 확보</li> <li>• 도시 및 지역계획 수단 도입을 통한 기후변화 대응산업 육성</li> </ul> |
| 추진전략 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기후변화 대응과제의 단계별 추진</li> <li>• 국토해양부 및 관련 연구기관의 전담조직 구성을 통한 효율적 대응체계 구축</li> <li>• 시범사업 추진을 통한 기후변화 대응과제 선도</li> </ul>  |
| 정책과제 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기후변화 관련 산업을 신성장 동력으로 활용</li> <li>• Post-2012를 대비하여 사업 우선순위를 전략적으로 운영</li> <li>• 예방중심의 재정투자로 전환</li> </ul>   |

출처: 국토해양부(2009)

④ 환경부

- 개발사업, 이상기후에 대비하기 위한 「환경생태계획」을 수립함 (2012년 7월)
  - 이상기후로 인한 도시재해 등에 대응하기 위해 환경영향평가 단계에서 이상기후에

미리 대비할 수 있도록 환경생태계획 수립 지침을 마련·시행함

- 환경생태계획의 주요 내용으로는 1)환경 현황 2)환경생태구상 3)항목별 환경생태계획 4)공간 상생 계획 5) 실행 방안 등이 포함되며, 각 부문별로 기후변화 요소를 예측하고 이에 대한 적응 계획을 마련함
- 주요 도시이상기후에 대한 대비책으로 재해위험정보를 활용한 토지이용관리와 주변 완충녹지 조성, 폭우범람을 대비한 물순환계획 수립, 하절기 열섬 방지를 위한 바람길 확보 등의 방안을 제시할 예정임
- 기후변화 영향평가 및 적응 대책 수립, 온실가스 배출관리체계 구축 등 온실가스 감축을 위한 다양한 정책을 추진하고 있음

(나) 기초지자체

① 서울특별시

- 서울시는 기상 특성을 고려한 도시계획 체계를 수립하여 다음과 같이 수행하고 있음
  - 기상인자를 도시계획요소로서 고려하여 주거·상업지역 개발의 경우 도시 내의 대기 유동이 원활히 이루어질 수 있도록 건축물의 배치, 층수, 건물의 간격 등을 조절하도록 지침을 마련함
  - 단위지역에서는 바람길을 확보하기 위해 적절한 건물의 배치, 형태규제, 건물 옥상 녹화, 건축물 Setback, 하천공간의 활용방안 등 세부계획을 수립함
- 서울시는 기후변화에 최적으로 적응하는 고도적응도시 구현을 위해 「2030 그린디자인 서울」을 수립함
  - 서울형 기후변화 영향 예측, 취약성 평가를 위한 시스템 구축 및 기후변화적응 시나리오 개발하는 등 기상재해 등에 최적으로 대응하기 위한 선제적·예방적 기반을 구축함
    - ▷ 서울지역 기후변화 및 대기오염 통합 모니터링 시스템 구축( '10년)
    - ▷ 분야별 종합적 기후변화 영향 평가( '10년)를 토대로 시나리오 개발( '11년)
  - 기후영향을 고려한 도시설계 및 개발 기준을 정립하고, 도심녹지를 확충하는 등 기후변화적응 도시관리기반을 구축함
  - 전염성 질환, 폭염 등 고온화, 기상재해, 물부족, 생태계 교란 등 5대 취약분야를 집중관리 대상으로 선정하고 효과적인 관리체계를 구축함

표 2-19. 서울특별시 기후변화 대응 시책(본 관제와 관련 있는 내용만 정리)

| 구분                  | 내용   |
|---------------------|--|
| 기후변화 대응 기반사업 추진     | <ul style="list-style-type: none"> <li>서울시내 94곳에 기후관측장비를 설치하여 장기적인 기후모니터링과 체계적 복원에 따른 도심기후 변화를 관찰하여, 기후변화에 대응해 나가고 또한 이 자료를 기초로 하여 도시열섬현상을 완화하는 기초자료로 활용하고 도시계획 등에 참고하고 있음</li> <li>서울시 기후 및 대기질에 관한 자료를 종합한 기후지도를 제작하여 기후변화 정도를 판단하고, 온실가스 감축계획 및 기상특성에 맞는 도시관리를 실시할 계획임</li> </ul> |
| 녹지공간 확대를 통한 온실가스 저감 | <ul style="list-style-type: none"> <li>성동구 일대 35만평 규모의 서울숲 조성, 옥상녹화사업, 도시생태림조성, 학교녹화사업 등 이산화탄소를 직접 흡수하는 녹지공간 확대사업 추진</li> </ul>  |
| 교통분야 개선을 통한 온실가스 저감 | <ul style="list-style-type: none"> <li>대기오염을 대량 배출하고 있는 경유사용 자동차에 대하여 저공해엔진(LPG) 개조 및 배출가스 저감장치를 부착하고, 2010년까지 전 시내버스(약 7,770대)를 천연가스버스로 교체하며, 중앙버스전용차로제 확대 개선을 통해 교통량을 감축</li> </ul>  |

출처: 국토해양부(2009)

② 부산광역시

- 녹색기술과 청정에너지로 신성장동력을 창출하기 위하여 ‘저탄소 녹색성장’ 관련 대책을 수립함
  - 녹색경제도시 부산을 비전으로 신·재생에너지 보급확산과 에너지 고효율 도시로의 전환, 녹색성장 신산업 창출도시를 목표로 다양한 추진전략을 수립함
  - 대중교통 환승체계 구축 및 대중교통체계 개편, 자전거 도로 및 이용시설 정비 등 친환경적인 교통정책을 수행함

표 2-20. 부산광역시 기후변화 대응 시책(본 관제와 관련 있는 내용만 정리)

| 구분      | 내용                |  |
|---------|-------------------|--|
| 기반강화 사업 | 저탄소 사회구현을 위한 기반구축 | 기후변화대응 기반구축  |
|         | 글로벌 기후변화 대응 사업 추진 | 기후변화협약 대응방안 연구   |
|         | 범시민 역량강화 사업 추진    | <ul style="list-style-type: none"> <li>교통분야 저탄소 대책 추진</li> <li>도시녹화 사업추진</li> </ul>      |
| 중점추진 사업 | 저탄소 사회구현을 위한 기반구축 | <ul style="list-style-type: none"> <li>기후변화대응관련 용역실시</li> <li>부산기후변화연구소 설치·운영</li> </ul> |
|         | 글로벌 기후변화 대응 사업 추진 | 친환경건축 기준 마련  |
|         | 범시민 역량강화 사업 추진    | 저탄소 친환경 도시 추진  |

출처: 국토해양부(2009)

③ 기타 지자체

- 대부분의 지자체는 ‘저탄소 녹색성장기본법’에 따라 녹색성장 5개년 계획이 수립되고 있으며, 일부 지자체를 중심으로 지자체 차원의 기후변화 적응을 위한 노력이 추진되고 있음

표 2-21. 기후변화 대응 지자체의 정책 및 제도 국내사례(본 관제와 관련 있는 내용만 정리)

| 지자체명  | 구분   | 사업내용  |
|-------|------|---|
| 서울시   | 2008 | 서울시 기후·에너지 지도 제작  |
|       | 2009 | 서울시 기후변화 적응 종합계획 수립                                       |
| 성북구   | 2007 | 2007년 CO <sub>2</sub> 다이어트 기후보호계획수립을 위한 가이드라인 발간          |
|       | 2007 | 2010년까지 2006년 대비 에너지 10% 절약을 통해 29만 CO <sub>2</sub> 감축 추진 |
| 영등포구  | 2007 | “지구온난화방지 2013”이라는 영등포구 기후변화 대응 기본계획 및 행동계획 수립             |
| 인천광역시 | 2009 | 탄소포인트 제도 시범사업 운영  |
| 대구광역시 | 2008 | 기후변화대응 기반 조성  |
|       |      | 친환경 교통체계 구축   |
|       |      | 녹색 생활환경 창출  |
| 울산광역시 | 2008 | 생태산업단지 조성사업 추진  |
| 광주광역시 | 2008 | 기후변화 대응 저탄소 시범도시 조성                                       |
|       |      | 기후변화 홍보포털 운영  |
|       |      | 도심 공공시설 이전부지 공영조성   |
|       |      | 2025년 도시기본계획에 저탄소 개념 적용 수립                                |

출처: 국토해양부(2009)

(2) 그린 도시계획 관련 정책

(가) 중앙정부부처

① 녹색성장위원회

- ‘저탄소 녹색성장’을 새로운 비전의 축으로 제시하고, 녹색기술과 청정에너지를 활용한 녹색 국토·도시의 조성을 목표로 함
  - 핵심 주력산업의 녹색화, 저탄소형 녹색산업 육성, 가치 사슬의 녹색화 추진 등 환경과 경제 양측의 시너지 효과를 극대화시킴
  - 녹색생활 실천 및 녹색산업 소비의 기반을 마련하고 녹색교통의 이용을 활성화 시킴
  - 녹색공간의 확충 및 보호지역의 체계적인 관리를 통해 생태공간의 질적 향상 및 효율화를 증대시킴
- 환경과 경제가 상생하는 한국형 저탄소 녹색성장 도시 모델인 생생도시(ECORICH) 모델을 제시함
  - 저탄소 녹색도시 조성을 위해 국내 여건과 특성에 맞는 도시모델의 발굴과 지원이 필요함

- 도시 간의 건전한 경쟁을 유도하는 동시에 녹색성장 우수 사례의 신속한 확산과 지속성 확보를 위해 전국 기초자치단체를 대상으로 하여 공모방식으로 2009 생생도시를 평가·선정함

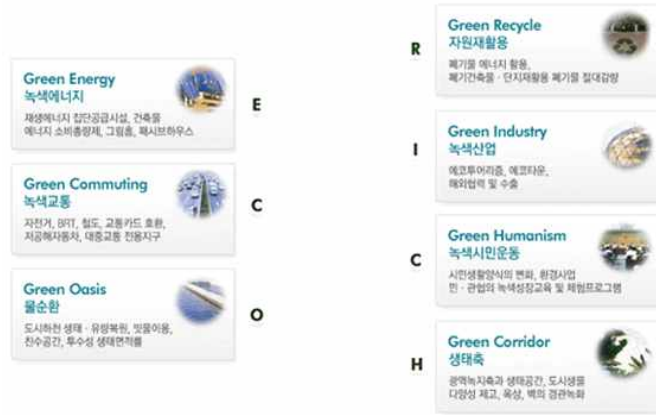


그림 2-55. 생생도시(ECORICH)의 개념

② 국토교통부

- 녹색성장 시대에 부응하는 한국형 압축도시(Compact City)를 조성함
  - 신시가지 확산을 억제하여 도심재생의 경쟁력을 강화하고, 토지의 집약적·복합적 이용의 촉진 등을 통해 대중교통 이용이 편리한 도시환경을 조성함
  - 도시 및 자연생태계 보전·복원, 에너지 절약형 도시 및 택지 개발, 저탄소·에너지 절감형 주택 및 건물 보급 및 신재생에너지 활용 등을 통해 지속가능한 도시환경을 조성함
- 탄소배출을 줄이고 에너지를 절약하는 친환경 교통정책을 추진함
  - 자전거 및 보행자도로 확충 등을 통해 생활 속의 녹색교통 정착을 추진하고 대중교통 지향형 교통정책을 추진함
  - CO<sub>2</sub> 저배출형 교통수단(CNG버스, 경전철 등)의 점진적 확대를 친환경 녹색교통체계를 구축함
- 저탄소 녹색도시를 조성하기 위한 계획요소를 특화시킴
  - 산업, 건축물, 수송분야 등에서 녹색도시 조성에 필요한 계획요소로 크게 7개 부문으로 분류함

표 2-22. 기존도시와 녹색도시의 녹색요소 비교

| 녹색부문     | 녹색요소                   |  |
|----------|------------------------|--|
|          | 기본요소(기존도시)             | 특화요소(녹색도시)                                   |
| 친환경 도시계획 | 바람길 고려, 직주근접, 건축물 남향배치 | 대중교통중심의 복합적인 토지이용계획 수립                       |
| 녹색교통     | 자전거도로, 버스, 지하철         | 자전거급행도로, 노면전차, BRT(간선급행버스), CNG버스, Green Car |
| 녹지생태공간   | 공원녹지 확대, 생태공간 조성       | 옥상녹화, 벽면녹화                                   |
| 자원 재활용   | 집단에너지                  | 하수열 이용, MBT+RDF 시설, 중수도 재활용                  |
| 에너지 효율   | -                      | 패시브하우스, 고효율설비, LED조명                         |
| 신재생에너지   | 일부 태양열 주택              | 태양광, 태양열, 지열, 풍력, 연료전지, 바이오매스 등              |
| 그린 IT    | 일부 U-City 기법 도시관리      | U-Eco City 생태적 도시관리                          |

출처: 국토해양부(2010)

- 녹색도시 개발을 촉진하기 위해 「녹색도시개발 계획수립 및 평가기준」을 마련함
  - 10만㎡ 이상 도시개발사업을 할 때, 일정 기준 이상 생태면적을 반영해야 하는 등 녹색 도시개발 기준이 의무적으로 적용됨
  - 공원·녹지 부문, 도시공간·교통 부문, 자원·에너지 이용 부문 등 각 부문별 세부 지표와 이행 기준을 제시함

③ 환경부

- 저탄소 녹색도시를 위해 기후변화 대응 시범도시 사업을 추진함
  - 지자체 특성에 맞는 다양한 정책수단의 적용을 통해 실제적인 온실가스 감축효과와 더불어 국가 온실가스 감축정책 발전에 기여할 목적임
  - 온실가스 감축을 위해서는 중앙정부의 정책을 현장에서 집행하는 지자체의 역할이 중요하나 지자체의 기후변화 대응역량 및 추진기반 미흡함
  - 기후변화 대응에 대한 관심 제고 및 적극적인 참여 유도와 지역특성에 맞는 온실가스 감축 프로그램 개발 및 중앙-지자체간 유기적 협력체제 구축하기 위해 '07년 하반기부터 기후변화 대응 시범도시를 지정·운영함

④ 기타 부처

- 행정안전부는 U-Green 도시 구현, 실시간 환경 모니터링 시스템 구축, 국가정보자원 개방·공유 체계 구축 등을 통해 녹색사회로의 전환을 촉진함

- U-IT를 주민생활에 접목하여 편리하고 안전한 생활환경에서 살 수 있는 U-IT 기반의 저탄소 녹색도시 건설함

|         | 수요감축 기술           | 수요전환 기술                 | 생산혁신 기술                          | 생산효율 기술          | 녹색도시계획 및 평가기술                            | 녹색도시 유지기술              |
|---------|-------------------|-------------------------|----------------------------------|------------------|--|------------------------|
| 녹색 도시계획 |                   |                         | • IT기술과 융합된 스마트 기술의 적극적인 활용      |                  | • 시험과 시도를 통해 도시에 대한 기술과 정책의 검증 방법과 기반 제시 | • 단계적 변화를 추구하는 도시모델 제시 |
| 주택      |                   |                         | • 융합기술의 녹색건축<br>• 녹색도시에 적합한 녹색건축 |                  | • 녹색건축의 performance-based 평가기술           | • 한국시장에 맞는 녹색건축의 개발    |
| 교통      | • 교통수요저감 관련 기술 개발 | • 교통수요 대체의 적극적 기술/제도 개발 | • 에너지 절감을 위한 다양한 수송수단 개발         | • 스마트 기술의 적극적 활용 | • 혁신 교통 시스템의 평가 및 피드백 시스템                |                        |
| 자원순환/위생 |                   |                         | • 도시에서 필요 자원의 상당량을 내부에서 공급       |                  | • 계획 및 평가 시 자원순환 부문이 반영될 수 있도록 추구        |                        |

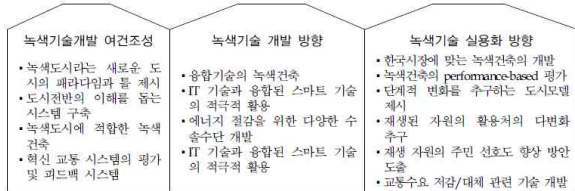


그림 2-56. 저탄소 녹색도시 조성 위한 분야별 주요 과학기술 정책 연구 요약

(나) 기초지자체

① 서울특별시

- 열환경 개선을 위한 그린 커뮤니티(Green Community)를 활성화함
  - 학교 공원화, 아파트 담장 허물기, 도시구조물 벽면녹화 등 조성, 공공·민간건물 옥상 공원화 사업으로 도심열섬 완화 및 도시미관 개선함

② 부산광역시

- 저탄소 녹색도시 조성을 위한 도시계획적 대응방향을 제시함
  - ‘저탄소 녹색도시 조성을 위한 도시계획수립지침’에 따라 녹색도시 조성을 위한 도시계획의 부문별 방향을 제시함
  - 온실가스 배출량과 열대야 일수가 많아 온난화로 인한 피해가 우려되는 지역에 녹색 도시화 방안을 우선적으로 적용함
  - 지역 내외부의 녹지현황, 개발밀도, 주요기능의 유무 등 개발지역의 유형에 따라 다

양한 녹색도시화 방안을 적용함

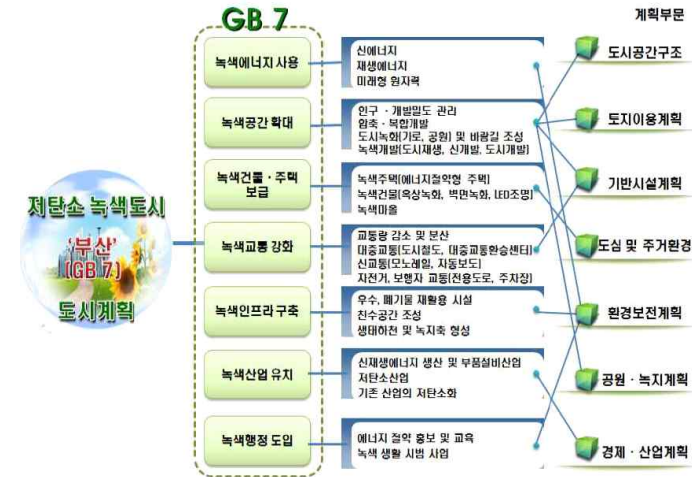


그림 2-57. 저탄소 녹색도시 조성 기본 방향

(3) 건축물 녹화 관련 정책

(가) 중앙정부부처

① 국토해양부

- 도시의 고밀화로 인한 도시생태계 파괴, 열섬현상 등과 같은 문제점을 해결하기 위한 ‘건축물 녹화 기본계획 수립 매뉴얼’을 발표함(2011년 12월)
  - 건축물 녹화 기본계획은 단순히 도시 내의 녹지를 확보한다는 의미에서 확대하여 도시의 기후변화문제, 생태문제, 경관문제 등을 포괄적으로 해결해나가기 위한 구체적인 실천방안임
  - 도시 기후변화와 생태 문제 등 다양한 도시문제를 해결해 나가고자 지자체별로 추진되고 있는 건축물 녹화 사업의 효율성을 높이는데 의의가 있음
  - 지자체의 특성에 따라 건축물 녹화의 목표를 설정하고, 지자체별 자연·인문환경분석, 상위계획 및 관련법규를 종합적으로 고려하여 구체적인 실천방향을 제시함
  - 열섬가중지역, 물순환기능 저하지역, 녹지부족지역, 탄소과다배출 지역 등 도시문제가중지역을 파악하고 객관적인 분석기법을 활용하여 녹화순위를 고려함



그림 2-58. 건축물 녹화 기본계획의 수립 절차

- 건축물 녹화는 냉방에너지 수요에 민감한 영향을 미치는 열대야 발생을 억제하는 도시계획의 효과적인 수단일 수 있음
- 서울시 건축물 옥상 면적의 50%를 녹화할 경우 일평균기온 0.3℃, 전체를 녹화하는 경우 일평균기온이 최대 0.5~0.9℃까지 낮아짐

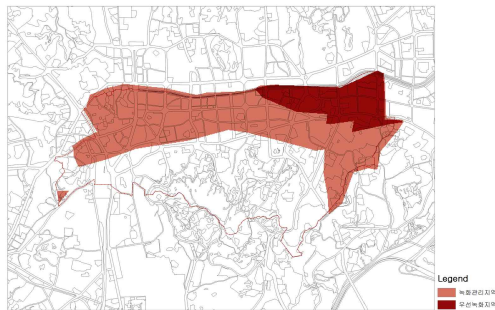


그림 2-59. 건축물 녹화 기본계획 시범적용 사례

- 도심 열섬현상 저감, 소음경감, 건축물 내구성 향상을 위해 ‘건축물 녹화설계기준’을 제정함(2012년 4월)
- 옥상녹화의 유지관리에는 녹화부분의 녹화시설관리와 식재관리를 포함하는 내용으로

식생의 생리적, 기능적, 심미적 측면을 고려한 유지관리와 녹화대상인 건축물의 내구성, 안정성, 안전성 등의 확보가 전제되도록 하였음



그림 2-60. 건축물 녹화 유지관리의 구분

- 건축물 녹화를 옥상녹화, 벽면녹화, 실내녹화로 구분해서 제시하였으며, 이미 조성된 건축물 녹화 부분에 대한 유지관리방안도 녹화시설관리와 식재관리로 구분하여 설명함

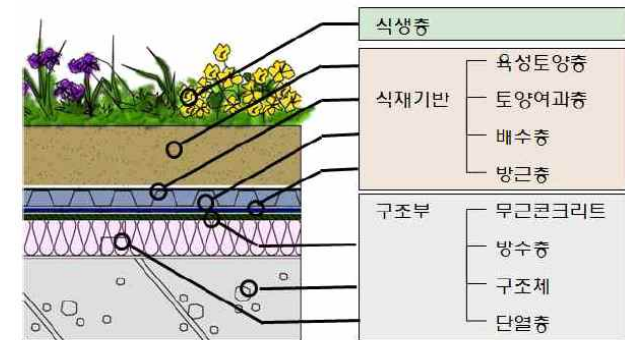


그림 2-61. 옥상녹화시스템(Green Roof System) 구성

(나) 기초지자체

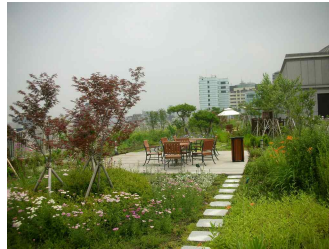
- ① 서울특별시
  - ‘건축물 녹화 설계기준’을 근거로 서울시에 적합하게 재구성한 ‘옥상녹화시스템 설계지침 및 관련도서 작성지침’을 수립함(2011년 5월)
  - 옥상, 옥상발코니, 차고지붕 및 기타 건축물 지붕에 토심 1m 미만으로 조성되는 녹

화면 조성에 있어 기존 조경설계와는 차별화되는 건축물 녹화 구성요소에 대한 표준적이고 기본적인 최소한의 기준을 제시함

- 건축물 녹화설계의 일관성을 유지하고 설계의 합리성 및 효율성을 도모함과 동시에 설계, 시공 및 유지관리를 위하여 일반적으로 적용되어야 하는 기본원칙과 요구사항을 기술하는데 그 목적이 있음



서울시청 남산별관



현법재판소

그림 2-62. 건축물 녹화 설계기준에 의한 녹화 사례

- 열섬현상 저감, 도시민의 휴식공간 제공을 위해 옥상녹화 지원사업을 추진함
  - 2002년부터 2009년까지 총 338개소, 151,374m<sup>2</sup>의 옥상녹화를 조성함

표 2-23. 서울시 옥상녹화 지원 옥상녹화 조성 현황

| 연도별  | 개소수                                  | 조성면적(m <sup>2</sup> ) | 사업비(백만원)                     |
|------|--------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 합 계  | 338개소                                | 151,374               | 30,406                       |
| 2002 | 환경운동연합 등 11개소                        | 5,455                 | 640                          |
| 2003 | 희망찬유치원 등 10개소                        | 3,322                 | 640                          |
| 2004 | 코원빌딩 등 9개소                           | 2,670                 | 320                          |
| 2005 | 홍익대학교 제2신관 등 6개소                     | 3,970                 | 430                          |
| 2006 | 세광빌딩 등 14개소<br>(서울지방경찰청 등 공공건물 4개소)  | 5,611                 | 803                          |
| 2007 | 계성여고 등 62개소<br>(종로구민회관 등 공공건물 37개소)  | 24,154                | 5,588<br>(녹색자금<br>675백만원 별도) |
| 2008 | 하나빌딩 등 106개소<br>(현법재판소 등 공공건물 42개소)  | 59,221                | 12,323                       |
| 2009 | 종로성당 등 120개소<br>(시립동부병원 등 공공건물 47개소) | 46,971                | 9,662                        |

- 서울시 강동구는 기후변화에 대응하기 위한 ‘친환경 공동주택 가이드라인’ 을 마련함(2010년 3월)

- 공동주택 재건축 시 냉·난방 에너지 총 소비량의 40% 이상을 절감하고, 공용시설의 제로에너지화, 생태면적률 40%이상 확보, 단지 내 인공생물서식 공간 조성의 의무화 등을 주요내용으로 함
- 인공생물서식 공간 조성과 관련하여 육생비오톱(생태공원) 및 수생비오톱(실개천)을 조성하여 단지 내 열섬현상 완화 및 CO<sub>2</sub> 발생을 저감함
- 바람길을 고려하여 단지 내 유입되는 자연풍의 흐름을 막지 않도록 주풍향에 맞추어 배치함으로써 단지 내 열섬완화 및 대기순환을 유도함

② 부산광역시

- 여름철 온도 절감효과, 에너지 절약을 위한 ‘녹색커튼’ 사업을 시행함
  - 녹색커튼은 식물을 건물 외벽이나 발코니, 창문 등에 재배하여 태양광을 차단하는 방법으로 담쟁이덩굴, 오이, 참외 등의 식물이 대표적인 식물임
  - 태양광 차단과 증산작용으로 실내환경의 쾌적성을 증진시키는 상승효과가 있으며, 시행전후 실내온도 차이는 3~4℃ 정도로 나타남



그림 2-63. 녹색커튼 (좌: 부산시청 나팔꽃 커튼, 우: 사하구청 덩덕 커튼)

나. 해외 정책동향 분석

표 2-24. 해외 정책 요약

| 분야    | 관련 정책   | 주요결과   |
|-------|---|--|
| 미국    | 중앙정부부처 <ul style="list-style-type: none"> <li>도시열섬 시범사업 추진 : 도시열섬화 저감 의안에 따라 1998년부터 시행(EPA)</li> <li>도시열섬 저감 프로그램 진행 (EPA)</li> <li>CCAP's The Value of Green Infrastructure for Urban Climate Adaptation(대기청정 정책센터)</li> </ul>  | • 국내외 정책과 달리 해외 국가에서는 열섬과 직접 관련된 다수의 정책이 시행되고 있음<br>• 특히, 일본 및 미국은 열섬 완화 및 적응을 위한 다양한 정책이 시행되고 있으며 다른 국가 보다 열섬 정책에 대해 발빠른 행보를 보이고 있음<br>• 유럽에서는 영국 및 독일에서 기후변화적응, 도시열섬대응 관련 정책을 시행하고 있음<br>• 열섬 관련 정책을 시행하고 있는 미국, 일본, 독일, 영국 등에서도 기후변화적응형 도시열환경 설계 및 관리를 위한 정책은 아직 시행되지 않은 상태임. 따라서, 한국에서 이러한 정책을 수립하여 국제기준을 제시할 필요가 있음 |
|       | 주정부 <ul style="list-style-type: none"> <li>열섬 적응 위한 도전을 극복하기 위한 의사결정 체계 제시 (조지아타운 기후센터)</li> <li>열섬취약지역과 관련된 지표피복특성 등을 파악하고 열섬완화를 위한 대책 수립 실행 (시카고)</li> <li>도시열섬효과 완화와 건물 냉방 비용 저감을 위해 '쿨루프(Cool Roof)' 설치 장려(뉴욕)</li> </ul>   |  |
| 일본    | 중앙정부부처 <ul style="list-style-type: none"> <li>'열섬대책대강' 책정(국토교통성)</li> <li>저탄소형 도시구조를 목표로 도시, 지역의 종합적 조성 추진(국토교통성)</li> <li>지구온난화 대응 추진 정책(국토교통성)</li> <li>'환경행동계획' 책정(국토교통성)</li> <li>저탄소 사회의 시나리오 검토(국립환경연구원)</li> </ul>   | • 열섬완화대책의 일환으로 시청광장에 녹지공간 조성 (규슈)  |
|       | 주정부 <ul style="list-style-type: none"> <li>도시열섬 모니터링 체계 강화 및 열섬대책 관련 정비치침 마련 (도쿄)</li> <li>열 스트레스를 완화하기 위해 쾌적한 환경 조성 제시 (도쿄)</li> <li>Cool Cube Project - 도시 열섬 대책을 위한 프로젝트 (오바야구미건설)</li> <li>지구온난화 대책과 히트아일랜드 대책 취지에 입각하여 건축물 환경배려제도(TMG) 조례 지정 (도쿄)</li> </ul>   |  |
| 유럽    | 중앙정부부처 <ul style="list-style-type: none"> <li>도시열섬 분석 시스템을 개발하고 근거 규정 마련 (EU)</li> <li>기후변화 대응 주요 3대법 제정 (영국)</li> <li>TCPA(Town and country planning association, 영국) : 온도관리, 홍수위험관리, 수자원 및 수질관리, 지면관리의 항목을 광역도시권, 도시단지 단위, 개별건물 단위로 나누어 그에 따른 정책 및 전략을 제시하고 사례를 들어 가이드라인을 제시</li> <li>영국기후변화프로그램 : UKCIP는 기후변화시나리오와 그에 따른 위험요인을 평가하여 기후변화에 대한 정책과 대책의 기초 제시</li> <li>CO2-건축물 개보수 프로그램 (독일)</li> <li>독일의 국가 기후변화보호 프로그램</li> <li>프랑스의 기후계획, 그린벨 환경법</li> </ul> | • 열섬완화대책의 일환으로 시청광장에 녹지공간 조성 (규슈)  |
|       | 주정부 <ul style="list-style-type: none"> <li>The London Climate Change Adaptation Strategy : 기후변화 적응 대책 중 열섬완화와 관련된 대책을 첫 번째로 도입 (영국 런던)</li> <li>친환경적이고 지속가능한 도시개발모델 실현 (독일 림)</li> <li>도시계획 위계별 바람길 조성을 위한 기본지침 마련 (독일 슈투트가르트)</li> </ul>   |  |
| 기타 국가 | 주정부 <ul style="list-style-type: none"> <li>도시열섬현상 대응정책 : 도시열섬 대책지역 지정 (캐나다 토론토)</li> </ul>  |  |

(1) 미국

(가) 중앙정부

- ① 환경보호국(Environmental Protection Agency, EPA)
  - 열섬저감계획(Heat Island Reduction Initiative; HIRI)에 따라 바톤루지, 시카고, 휴스턴 등 5개 도시에 대해 도시열섬 시범사업(Urban Heat Island Pilot Project; UHIPP)을 실시함
  - 바톤루지는 열섬현상이 심각한 도시로 도시열섬저감을 위해 주거지 수목식재, Cool Roof 시범사업 등을 실시함

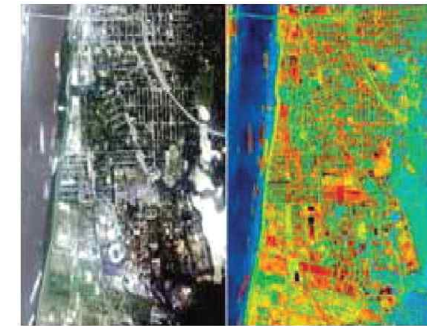


그림 2-64. 바톤루지 항공 사진

- Mitigation Impact Screening Tool (MIST)를 활용하여 열섬을 모니터링하고, 열섬 대책이 도시의 대기온도, 오존 및 에너지 소비에 미치는 영향을 예측함

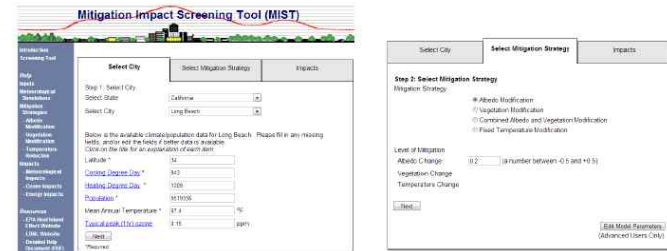


그림 2-65. MIST를 이용한 롱비치 도시의 열섬 시뮬레이션 결과



- 지자체가 주도적으로 이끌어가는 정책적, 규제적 수단 보다는 도시 구성원의 자발적 참여가 가능한 수단들의 비중이 높은 것으로 나타남
- 시민참여수단은 시범사업, 도시숲 조성사업, 장기교육 프로그램, 인센티브, 기후적응 대책 등이 있으나 시범사업이 가장 활발하게 활용되고 있음
- 실질적으로 많이 사용되는 수단으로는 시범사업, 도시숲 조성사업, 조경 및 경관 조례, 교육프로그램, 인센티브, 그린빌딩 프로그램 및 기준, 종합계획 및 디자인 가이드라인임

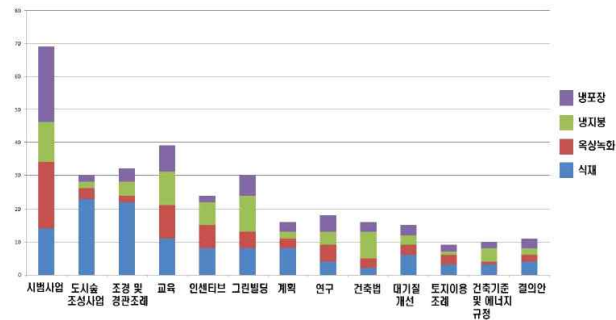


그림 2-69. 도시열섬 완화 수단별 활용 기술

② 시카고(Chicago)

- 투수성 포장 시범사업의 결과를 토대로 Chicago Green Alleys 사업을 시행함
  - 2010년까지 100개 이상의 도로에 적용, 총 도로 길이는 2,000 마일에 다다름
  - 높은 알베도를 지닌 투수성 도로 포장을 통해 축열을 감소시켜 도시열섬을 완화시키는 것을 목적으로 함
- UHIPP(Urban Heat Island Pilot Project)를 통해 열섬취약지역의 지표피복특성 등을 파악하고 열섬저감을 위한 대책을 마련함
  - 주차도로, 주차장 등 차량이용지역 주변과 내부 식재 등을 규정함
  - 신규건축물의 지붕반사율 최소 0.25 이상 의무화 및 ENERGY STAR 프로그램에 따른 적정 에너지 효율 수준을 규정함
  - 옥상녹화를 활성화시키기 위하여 옥상녹화 교육 웹사이트를 만들고, 옥상녹화 지도를 제공함
  - 오픈스페이스 훼손부담금 제도를 도입하여 개발사업으로 훼손되는 오픈스페이스에 대해 부담금을 부과하고 이를 그 지역 내 오픈스페이스 확보를 위해 재투자함

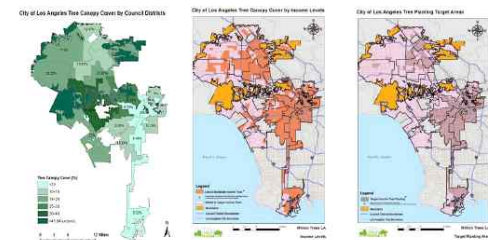
- 콘크리트와 아스팔트 포장 제거 및 해당지역에 녹화사업을 시행함



그림 2-70. Chicago City Green Roof

③ 로스앤젤레스(Los Angeles)

- Million Trees 사업을 통해 도시숲을 조성함
  - 도시열섬완화 대책을 위해 LA시 뿐만 아니라 하위 지자체, 민간기업, 연구소, NGO, 개인 및 단체들이 LA의 식재 지역을 확충하기 위해 협력체를 구성하여 시행함
  - 식재의 우선지역 선정과 배분을 위해 지역별 식재 현황과 경제적 격차를 분석하여 기초 데이터로 활용하고 있음



a) 식재분포 b) 소득 분포 c) 식재 우선지역

그림 2-71. LA시 식재 우선지역 선정 자료

④ 뉴욕(New York)

- 도시 열섬 효과 완화와 건물 냉방비 저감을 위해 '쿨루프(Cool Roof)' 설치를 장려함
  - 지붕이나 옥상에 열 반사율이 높은 성분을 설치하거나 뿌려 지붕으로 들어오는 자외선과 적외선 흡수를 70~90%까지 절감하는 것을 목표로 함
  - 쿨루프의 시공은 건물 손상 및 노후 방지, 도시 열섬 현상 완화, 냉방시스템 사용

감소, 전력에너지 사용 감소, 온실가스 배출 감소 등의 효과가 있음

- 2009년부터 쿼츠지역을 대상으로 Cool Roof 시범 사업을 실시, 약 9만m<sup>2</sup> 이상의 쿨루프를 설치함



그림 2-72. 뉴욕시의 Cool Roof 시공 사례

⑤ 휴스턴(Houston)

- 도시열섬완화 종합대책인 ‘Cool Houston’ 을 운영함
  - 휴스턴시 미래연구센터(Houston Advanced Research Center, HARC)에 의해 진행되고 있으며, 교체 가능한 지붕과 도로 포장면을 차열성포장과 옥상녹화로 교체하는 것을 원칙으로 함
  - 차열성포장계획(Cool Paving Plan), 차열성지붕계획(Cool Roofing Plan), 차열성식재계획(Cool Tree Plan) 등의 기술 개요 및 효과 등을 제시하고 있음

⑥ 워싱턴

- 워싱턴의 조지타운 기후 센터(Georgetown Climate Center, GCC)는 Adaptation Clearinghouse 온라인 DB 및 네트워킹 도구를 개발하여 지방정부차원에서 의사결정을 지원하기 위한 시스템을 구축함



그림 2-73. 미국의 Adaptation Clearinghouse 메인 화면

(2) 일본

(가) 중앙정부부처

- ① 열섬대책 추진회의 사무국(국토교통성, 환경성)
  - 일본에서는 열섬대책에 관한 기본방침과 필수적으로 시행해야 할 구체적인 방안을 제시한 ‘열섬대책대강’ 을 시행
    - 열섬대책대강은 인공배열의 감축, 지표면 피복의 개선, 도시형태의 개선, 라이프 스타일(생활양식)의 개선 등 4가지 대책을 중심으로 추진됨
    - 도시 지표면의 인공화(녹지와 수면의 감소, 인공구조물과 포장면의 증가)에 기인하는 온도 상승을 억제하기 위하여 보수성 포장·건설자재, 옥상녹화·벽면녹화, 높은 반사율 도로 등과 같은 기술개발을 추진하고 있음
    - 수치 시뮬레이션 등을 이용해서 사전에 바람길에 의한 영향을 검토하여 열섬 현상에 의한 부정적 영향을 억제함
  - 열섬대책에 관한 실증적인 사업인 ‘Cool City 추진사업’ 을 2006년부터 5년간의 계획으로 시행함
    - 녹지·수면의 감소, 건축물이나 포장 등에 의해 지표면에서의 증발 작용의 감소나 지표면의 고온화를 막기 위해 지표면 피복의 개선을 도모함
    - 도시에서 녹지를 보전하면서 녹지나 수면으로부터의 통풍을 확보하는 등의 관점에서 물과 녹지의 네트워크 형성을 추진하며, 장기적으로는 콤팩트하고 환경 부하가 적은 도시의 구축을 추진함
    - 2007년도에는 모델사업으로서 도쿄도 치요다구의 오테마치·마루노우치·유라쿠초 주변지역 등 11개 지역이 선정됨

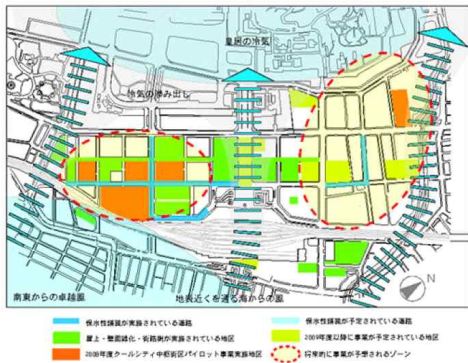


그림 2-74. Cool City 시범사업모델지역

② 국토교통성

- 저탄소형 도시 조성을 목표로 지구온난화 대응 추진정책을 시행함
  - 온실가스 배출 저감효과를 높이기 위해 도시정비사업의 추진, 민간활동의 규제·유도 등의 수법을 상호 보완함
  - 집약형 도시구조 실현, 도시녹화 추진 및 녹지보전, 하수도 지원·에너지 효율이용, 에너지 면적 이용 촉진 등 총 4가지 부문으로 구분하여 실시함

표 2-26. 일본 국토교통성의 지구온난화 대응 추진정책

| 구분           | 내용                                    | 방법  |
|--------------|---------------------------------------|---|
| 집약형 도시구조 실현  | • 대규모 집객 시설 등의 도시 기능 적 정배치(도시계획 수법활용) | • 대규모 집객시설 등의 교외입지를 억제하고 입지시에는 도시계획 절차를 통해 지역의 판단을 반영하여 적절한 입지 확보 |
|              | • 중심시가지에 도시기능의 집적                     | • 중심시가지에 의료복지시설 등 공익시설 정비, 빈 빌딩 재생, 변화한 공간 등으로 정비 추진              |
|              | • 도시·지역 종합교통 전략의 추진                   | • LRT정비, 교통 결절점 개선, 도보, 자전거에 의한 이동환경 정비 등의 대응책을 하나로 추진            |
| 도시 녹화추진 녹지보전 | • 도시공원 등 새로운 녹색의 거점 창조                | • 공공에 의한 공원·녹지 정비   |
|              | • 사유지의 효과적인 녹색창출                      | • 민간자체에 의한 녹화 유도  |
|              | • 도시의 귀중한 자연환경 보전                     | • 토지이용규제수법의 활용  |

출처: 국토해양부(2009)

- 열섬완화를 위해 건축물의 정비 시, ‘열섬현상완화를 위한 건축설계가이드라인’을 공표함

- 건축물이 도시의 구성요소라는 의미에서 건축물의 열섬완화 효과는 도시전체의 열섬완화효과에 유효함
- 건축물의 정비 시에 열섬완화를 위해 통풍, 그늘, 대지표면 피복, 건축외장 재료, 건축설비의 배열에 대한 가이드라인을 구분하여 제시함
- ‘국토교통성 환경행동계획’을 책정하고, 2005년 2월의 교토의정서 발효에 따라 같은 해 3월에 ‘국토교통성의 지구온난화 대책’을 발표함

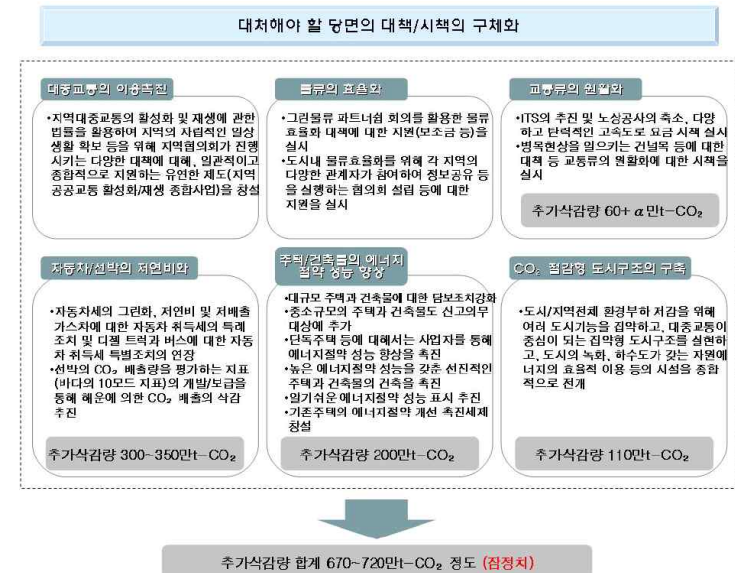


그림 2-75. 일본 국토교통성의 지구온난화 대응 대책

③ 환경성

- ‘교토의정서 목표 달성계획(2005년)’을 주요시책으로 온실가스 배출량을 1990년 대비 6%를 삭감하기 위한 지구온난화대책추진에 관한 기본방향을 설정함
  - 산림흡수원과 교토메커니즘의 활용을 통한 탄소배출권 확보 등을 포함함
  - 온실가스 배출량 산정, 보고, 공표제도를 마련하여 사업자가 스스로 온실가스배출량을 산정하여 PDCA(Plan Do Check Action) 사이클에 기초한 자율적인 대책수립을 촉진함

- 열섬현상의 대책 및 효과를 정리한 ‘열섬현상 대책 가이드라인’ 을 발표함(2009년)
  - 열섬현상의 기본적인 설명과 열섬대책의 효과를 정리하고 있으며, 열섬대책 추진수법, 대책기술 Data Sheet, 기술자료 등으로 구성되어 있음
  - 여름철의 열 대책 등 시민이 효과를 실감할 수 있는 대책과 지방공공단체가 열섬대책을 추진할 때 참고가 되는 정보를 제공함

- 실제적인 열섬현상 완화 대책을 추진하기 위한 ‘열섬대책 메뉴얼’ 을 작성함(2012년)
  - 지방공공단체의 시책 담당자 또는 개발업자에게 열섬완화 대책의 필요성을 사회과학적인 측면에서 제시하고, 요구사항 및 경제적인 인센티브 등을 제공함
  - 지방정부의 열섬현상 대책을 적극적으로 추진할 수 있도록 전국적인 상황 및 지역간의 비교 등을 알기 쉽게 정리함

④ 기타 부처

- 경찰청
  - 신호등의 LED화 추진, 노상 주정차 대책, 공고차량 우선 시스템의 정비 등을 통해 인공배열의 저감을 도모함
- 경제 산업성
  - 고효율 에너지 이용형 주택 시스템 기술 개발, 에너지 절약 설비 시스템의 도입 촉진 등 에너지 절약에 관한 비전을 수립함

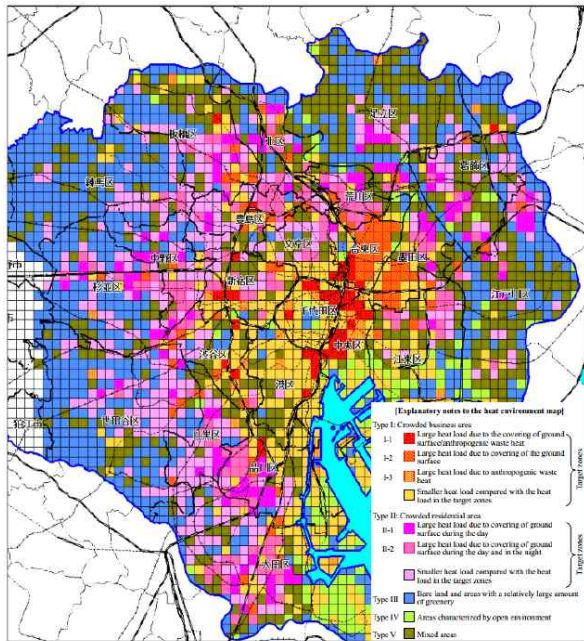
(나) 지방정부

① 도쿄(Tokyo)

- 도시열섬 모니터링 체계 강화 및 열섬대책 관련 정비지침을 마련함
  - 도시계획국은 ‘녹(綠)의 기본계획’ 에서 도시열섬저감 방안으로 도시계획제도를 활용한 옥상녹화 등 도시녹화제도를 수립함
  - 도시공간 전체의 기후변화를 감지하고 대처할 수 있는 관측지점을 추가하고, 모니터링 체계를 강화함
  - 재개발사업으로 정비되는 건물 중 연면적이 1만㎡ 이상인 경우와 토지구획정리사업과 관련되어 매각되는 보류지에 건물을 지을 경우에 적용됨
  - 옥상과 대지녹화의 경우, 옥상은 면적의 60% 이상, 부지는 45% 이상에 식재하거나 연못을 조성해야 함

- 건축물 환경배려제도(TMG: Tokyo Metropolitan Government Green Building Program)가 도쿄도 조례로 지정되어 2002년 6월 1일부터 시행됨
  - 건축물의 환경배려에 대한 전체상을 명확히 확립하는 것을 목표로 하며, 범위는 지구온난화 대책과 열섬 대책에 입각하여 에너지 사용의 합리화, 자원의 적정이용, 자연환경의 보전으로 규정함
  - 규제적 수법이 아니라 건축주가 환경배려시스템을 지침에 의거하여 평가하고 도쿄도가 건축물 환경계획서 등을 사회에 폭넓게 공표함으로써 건축주의 자주적인 시도를 촉진시키고자 하는 점이 가장 큰 특징임

- 열환경지도(열환경 Map)를 작성하고 열섬완화대책 메뉴얼을 제시함
  - ‘열섬현상 대책수립 방침’ 을 발표(2003년 3월)하고 모든 관청이 연계하는 것을 기초로 옥상녹화, 보수성포장 등 열섬완화 대책을 실시함
  - 신주쿠지역, 오사키지역, 메구로 지역, 시나가와역 주변지역을 ‘열섬현상 대책추진 지역’ 으로 설정하고 정부와 연계하여 집중적인 대책을 수립함
  - 열환경에 따라 구분된 10개의 지역 중 도시열섬이 특히 문제되는 5개 지역(3개의 업무밀집지역 및 2개의 주거밀집지역)에 대한 계획적 조치를 제시함
  - 건물을 포함한 대지녹화, 옥상녹화, 벽면녹화 등과 같은 인프라를 활용한 조치뿐만 아니라, 지붕의 고반사화(increased reflectance), 보수성(water-retentive) 포장, 건물 등으로부터의 폐열 저감 등이 포함됨



자료: Tokyo Metropolitan Government(2005).

그림 2-76. 일본 도쿄 시의 열환경 지도

표 2-27. 열성문제 지역에서의 열성조절조치 메뉴

| 유형                   | 주요지역        | 지역특성  | 유효대책  | 대책메뉴  |       |       |          |        |             |   |
|----------------------|-------------|---|---|---|-------|-------|----------|--------|-------------|---|
|                      |             |   |   | 부지 녹화   | 옥상 녹화 | 벽면 녹화 | 지붕 고반사율화 | 보수성 포장 | 건물 등의 배열 식감 |   |
| 유형 I<br>업무 밀집<br>지역  | 유형 I-1<br>  | 간다역 주변, 우에노역 남쪽~오카지마치역 주변, 신바시역 주변, 긴자역 주변, 쓰이지역주변, 산다역 주변, 고탄다역 주변, 시부야역 주변, 신주쿠 가부키초, 다카다노바바역 주변, 오차노미즈역 주변                       | 밤, 낮을 불문하고 지표면 피복에서의 열부하가 크고 또 낮, 건축물 등에서 배출되는 인공배열(현열)이 큰 지역<br>-포장면적비율이 55%로 가장 높고 건물을 포함한 인공피복면적비율이 90%를 넘어 가장 높다.<br>-낮 160 W/m <sup>2</sup> 안팎의 인공배열(현열)을 배출하여 유형 I 중에서 2번째로 크다.<br>-내화벽면적비율이 가장 크다. | 주로 피복대책과 인공배열대책이 요구되며, 건물과 포장면에 열을 모아두지 않는 대책과 건물에서의 배출열을 억제하는 대책이 유요       | ○     | ◎     | ◎        | ◎      | ◎           | ◎ |
|                      | 유형 I-2<br>  | 다이토구 히가시우에노~니시아사쿠사, 료코쿠역~오시카게역 주변, 이리야역 주변, 미노와역 주변, 기타센주역 주변, 가메이도의 주변, 오쿠보역~신오쿠보역 주변, 도고시역 주변, 오이마치역 남쪽주변, 시모키타자와역 주변, 산겐자야역 주변   | 밤, 낮을 불문하고 지표면 피복에서의 열부하가 큰 지역<br>-건물면적비율이 크고 인공피복면적비율도 90%를 약간 밑돌아 유형 I 과 제지역 중에서는 2번째로 크다.<br>-유형 I 중에서는 평균 건물 높이가 가장 낮고 건물 폭도 가장 좁기 때문에 지면에 대해 그늘이 생기기 어렵다.  | 주로 피복대책이 요구되며 건물과 포장면에 열을 모아두지 않는 대책이 유요                                    | ◎     | ◎     | ○        | ◎      | ◎           | △ |
|                      | 유형 I-3<br>  | 류분키역 주변, 이다바시역 주변, 핫초보리역 주변, 오모데산도역 남쪽주변, 다카이도역 주변, 세타가야구 하치만야마, 고토구 유메노시마, 오테구 케이린지마   | 밤, 낮을 불문하고 건물 등에서 인공배열(현열)이 큰 지역<br>-유형 I 중에서는 건물면적비율이 적다.<br>-낮에 280 W/m <sup>2</sup> 안팎의 인공배열(현열)을 배출하고 밤에도 280 W/m <sup>2</sup> 안팎을 배출하여 유형 I 중에서 가장 크다.   | 주로 공배열대책이 요구되며, 건물에서의 배출열을 억제하는 대책이 유요                                      | ◎     | ◎     | ○        | ◎      | ○           | ◎ |
| 유형 II<br>주택 밀집<br>지역 | 유형 II-1<br> | 니시오이역 주변, 나카타이역 주변, 니시오야마역 서쪽주변, 시나가와구니시시나가와, 아사카가야역 주변, 고이와역 남쪽주변, 마치야역 주변, 주조역 북쪽주변, 가스야역 주변                                      | 낮 동안 지표면 피복에서 열부하가 큰 지역<br>-전체 유형 중에서는 건물면적비율이 가장 크지만 옥상내화비율이 가장 낮다(비내화 건축물비율이 크다).<br>-인공배열(현열)의 배출비율이 적다.<br>-평균적으로 건물규모가 비교적 작다.   | 주로 피복대책이 요구되며, 건물과 지표면에 열을 모아두지 않는 대책이 유요                                   | ◎     | ○     | △        | ◎      | ○           | △ |
|                      | 유형 II-2<br> | 무사시오야마역~후도마에역 주변, 히타노다이역 주변, 오쿠보역 서쪽주변, 신주쿠구 토미히사초~이치가야다이마치, 쿠유엔지역 남쪽주변, 신나가노역~나가노산바시역주변, 니시스가모역 주변, 미카시마역 주변, 게이세이후키후네역 주변, 오시마역주변 | 밤, 낮을 불문하고 지표면 피복에서의 열부하가 큰 지역<br>-건물면적비율이 높고 또 유형 II 중에서는 옥상내화비율이 가장 높다.<br>-인공배열(현열)의 배출비율이 적다.<br>-평균적으로 건물규모가 비교적 작다.   | 주로 피복대책이 요구되며, 건물과 지표면에 열을 모아두지 않는 대책이 유요. 특히 발까지 열을 축적하는 내화 건축물에서의 대책이 유요. | ◎     | ◎     | ○        | ◎      | ○           | △ |

주 : ◎ : 대책효과가 크게 예상되는 메뉴, ○ : 대책효과가 예상되는 메뉴, △ : 일정한 대책효과가 예상되는 메뉴  
출처: Tokyo Metropolitan Government(2005), 경기개발연구원(2010)

- 열 스트레스(Heat stress)를 완화하기 위한 쾌적한 환경 조성을 목표로 「환경기본계획」을 제시함 (2010년)
- 시책 방향을 건강하고 안전한 환경 확보, 도시와 지구의 지속가능성 확보, 자연환경의 보존과 재생으로 설정하고, 2010년까지 온실가스 배출량을 1990년도 대비 6% 삭감키로 하는 등 달성 목표를 구체적인 수치로 정하고 있음

- 목표를 달성하기 위해서는 행정, 사업자, 도민, 민간단체 등의 참여가 중요하다고 보고, 환경기본계획, 기본지침, 도시계획 및 사업 시행시의 상세지침 등을 정해 민간사업자나 도민들의 참여를 유도하고 있음

표 2-28. 도쿄시 환경기본계획 중 열환경 개선을 위한 정책방향 및 달성목표

| 정책방향                          | 달성목표  |
|-------------------------------|---|
| 1. 기후변화를 고려한 조치 및 녹지정책에 따른 조치 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2016년까지 새로운 녹지공간 1,000ha 추가</li> <li>• 2016년까지 백만 그루까지 가로수 증대</li> <li>• 다양한 방법을 통해 녹지공간 보전</li> </ul> |
| 2. 도시계획에 따른 조치                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 표면피복 개선, 폐열 저장, 바람길 조성 등을 통해 2016년까지 모든 조치지역에서 도시열섬 현상 완화</li> </ul>                                   |

출처: Tokyo Metropolitan Government(2010)

- 기후변화가 가져오는 영향에 대한 조사·분석, 국지적 호우에 대한 적응력 향상, 기온상승에 강한 마을 조성 등 기후변화에 따라 발생하는 구체적인 데이터 구축을 통하여 홍수, 이상기온 등의 문제에 대응하고 도시계획적 측면에서 기상재해에 안전한 도시 조성 등의 다양한 사업을 추진함

표 2-29. 도쿄의 기후변화적응대책 주요내용(본 과제와 관련된 내용만 정리)

| 구분            | 주요내용   |
|---------------|--|
| 기후변화 영향조사분석   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기온상승, 홍수, 물부족 등 기상현상이 도쿄에 미치는 영향 일제 조사</li> <li>• 조사결과를 바탕으로 지역특성을 고려한 대응책 조기 구축</li> </ul>   |
| 기온상승에 강한 마을조성 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 신축, 증개축 건물에 관하여 녹화면적 기준을 높임과 동시에 옥상, 벽면녹화를 실시하여 건물 주위의 온도상승 억제</li> <li>• 차열성, 보수성 포장 등 노면온도 상승을 억제하는 환경대책형 포장</li> <li>• 공립초·중학교 등에 교정잔디화 추진하여 온도상승 억제</li> <li>• 개인주택과 공공시설 빗물침투장치 설치 및 투수성 포장을 추진하여 유역보수기능을 향상시키고 하수도 및 하천에 빗물유출 억제</li> </ul> |
| 모기 매개 신중감염 대비 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기온상승에 따라 발생가능한 감염증에 대한 감시체계 정비</li> <li>• 청사, 지하철 등 도 보수시설을 대상으로 모기방역 강화</li> </ul>   |

출처: 국토연구원(2009)

- 도쿄도의 주요상업·업무지역인 치요다구(千代田區)의 지구온난화대책 조례를 발표함
  - 행정적 측면(행정제도, 행정수법 등) 및 마을만들기 측면(도시계획, 에너지 대책 등)을 전문적으로 조사함
  - 면적(공간측면)대책에 의해 많은 에너지 절약효과가 기대되는 지역을 관·민협의를 통하여 대책추진지역으로 지정하여 온난화대책의 계획을 추진함

표 2-30. 일본 도쿄도 치요다구의 저탄소형 도시만들기 사례

| 구분                | 주요내용   |
|-------------------|--|
| 구립시설을 지역 플랜트로서 활용 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 현재 재건축이나 증개축이 예상되는 구립시설에는 솔선하여 재생가능 에너지의 도입 등으로 탄소제로화를 목표</li> <li>• 소형 플랜트를 설치하면 인접지역으로 열공급을 하여 면적대책도 가능</li> </ul>            |
| 건물 간 열유통          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 새로 건축되는 건물을 인접하는 기존 건축물과 열원설비를 공유화하여 열유통을 시켜 기존 건축물의 냉난방에서 나오는 CO<sub>2</sub>를 삭감</li> </ul>                                    |
| 하수를 활용한 도시배열처리    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 냉각탑에서 대기방사에 하수와의 열교환이 유효한 하계·동계 낮시간대에 하수열을 하계의 냉열제조·동계의 온열제조의 열원으로서 사용</li> <li>• CO<sub>2</sub> 삭감과 함께 열섬효과와 완화도 기대</li> </ul> |
| 미사용 에너지의 활용       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 미사용 에너지(태양열 발전, 바이오매스)를 지역 내에 유통, 면적활용 네트워크를 형성하여 수만 톤의 CO<sub>2</sub> 삭감</li> </ul>  |

출처: 국토연구원(2009)

② 카시와시(Kashiwa-shi)

- 교토의정서의 발효 후, 조례제정의 검토를 통해 ‘지구온난화대책조례’를 제정함
  - 2008년부터 2012년까지 온실가스배출량 평균치를 1990년 대비 6%이상 감축을 목표로 함
  - 도시재생사업을 통해 도시열섬효과 대책을 마련함

③ 기타 지자체

- 환경모델도시를 선정하여 국가, 기업차원이 아닌 지자체가 중심이 되어 지구온난화에 대한 대응을 위한 저탄소형 도시나 지역 만들기를 진행함
- 도시열섬 효과를 억제하기 위해 바람길을 배려한 건물 배치, 물과 녹지의 네트워크 형성, CO<sub>2</sub> 발생량 저감 등 환경을 배려한 다양한 조치를 취함

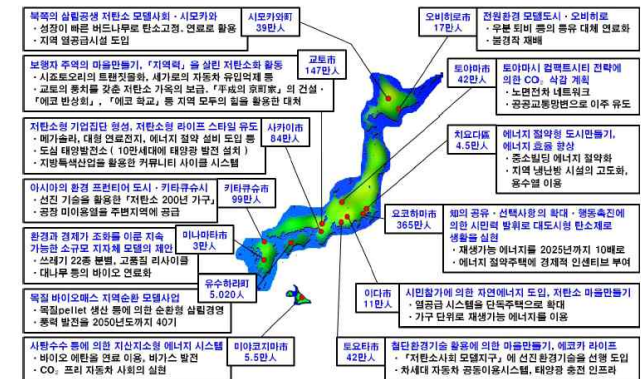


그림 2-77. 일본의 환경모델도시 현황

표 2-31. 환경모델도시로 선정된 도시 및 지역

| 구분      | 도시 및 지역 | 제안내용  |
|---------|---------|---|
| 대도시     | 요코하마 시  | • 지역의 공유, 선택적 확대, 행동촉진에 의한 시민력 발휘에 의한 대도시형 탄소 제로(zero carbon) 생활 실현               |
|         | 키타큐슈 시  | • 아시아 환경프론티어 도시(Carbon Free City in Asia)   |
|         | 쿄토 시    | • 'Do you kyoto?' 'carbon zero'를 목표로 하는 '지구공생형 도시 교토'                             |
|         | 사카이 시   | • 저탄소형 마츠즈쿠리전략 'cool city' 추진 프로그램  |
| 지방 중소도시 | 오비히로 시  | • 친환경모델도시 오비히로  |
|         | 후쿠야마 시  | • 후쿠야마 콤팩트 시티 전략에 의한 CO2 삭감계획   |
|         | 이이다 시   | • '해님'과 '산림' 에너지를 키우는 저탄소 환경문화도시의 창조  |
|         | 도요타 시   | • 모노즈구리, 환경선진도시 도요타<br>• challenge RC70(RC=Reduce Carbon dioxide emission by 70%) |
| 소규모 시정촌 | 시모가와 정  | • 차세대형 '복의 산림공생 저탄소 모델사회' 창조  |
|         | 미나타마 시  | • 환경과 경제를 조화시킨 지속가능한 소규모 지자체 모델의 제안   |
|         | 유수하라 정  | • 유수하라 發, 산림자원이 순환하는 공민협동의 '살기좋은 저탄소마을만들기 선언'                                     |
|         | 미야코지마 시 | • 'CO2 100% free island,'우리는 아름다운 섬 미야쿠', 'eco island 宮島 선언'                      |
| 도쿄특별구   | 치요타구    | • 세계최첨단 저탄소환경도시의 구축 - 기술, 인재, 방법의 통합적 활용에 의한 전략적 실현                               |

출처: 녹색성장위원회(2011)

(3) EU

- 도시열섬 분석 시스템을 개발하고 이에 근거한 규제근거를 마련함
- 기온상승현상에 대한 바른 규명과 대처가 필요하다는 자각과 함께 'Future Cities' 프로젝트를 지원함
  - 도시에서 지역에 따라 기온 차를 초래하는 요인들에 관심을 갖고 이들의 데이터를 기반으로 틀이 개발되고 규제가 마련되어, 도시개발자들은 지구온난화에 의한 열적 부담(Heat Stress)의 영향을 관리할 수 있을 것으로 기대됨
  - 유럽 북서부 도시들은 도시열섬 현상과 돌발홍수 등 지구온난화의 예측되는 영향에 대비하고 준비하면서, 필요한 도시구조의 변화를 모색함
- 유럽연합프로젝트 'Sustainable Renovation of Buildings for Sustainable Neighborhoods'의 일환으로, 지속 가능한 발전을 토대로 한 도시 재정비 및 재생사업을 위한 HQE2R을 수립함
  - 지속 가능한 도시 개발과 관련된 사업에 대한 평가와 계획의 지표로 사용되고 있으며, 구체적으로 5개의 카테고리에 따라 세분화된 21개 항목에 대하여 심사를 진행함

(4) 영국

(가) 중앙정부

- 기후변화에 대응하기 위하여 교토의정서에 따라 온실가스 12.5% 감소, 탄소거래가격 규정, CO<sub>2</sub> 저감을 위한 공공의식 운동을 추진함
- 재생 에너지의 생산 확대, 온실가스 감축, 에너지 효율을 높이기 위한 건물 계획 등에 대한 여러 가지 규정을 제시함
- 고온에 대한 경보와 경고를 통해 위험수준에 도달한 도시의 열환경을 시민에게 전파하는 계획(Heatwave plan for England, 2013)으로 과도한 열에 노출 되었을 지역에 대한 위험성을 경고함
- 저탄소 녹색 정책으로 기후변화에 대응한 국가정책 수립을 위해 주요 3대법을 제정함
  - '기후변화법(Climate Change Act)', '에너지법(Energy Act)', '계획법(Planning Act)' 이 제정됨
  - 저탄소경제로 전환하고 장기적·안정적 에너지 공급을 확보하며 온실가스 배출량 80% 감축 목표 달성지원을 목적으로 함
  - 국가기반시설, 환경, 사회, 경제정책을 통합하는 국가 정책방침으로서 정부차원의 종합적이며, 통합적인 기후변화 대응 정책방침 수립의 필요성을 강조함

표 2-32. 영국의 기후변화 대응 3대법 주요내용

| 기후변화 대응 3대 법 | 주요내용   |
|--------------|--|
| 기후변화법        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5년간의 '탄소 예산'을 도입하여 배출 목표 달성방안을 제시</li> <li>• 기업들이 기업 보고서에 계획으로 반영</li> <li>• 1회용 봉투 사용을 금지하는 등의 조치</li> </ul> |
| 에너지법         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 원자력 발전시설 개발을 보완</li> <li>• 신재생 에너지를 확대</li> <li>• 탄소 포집 및 스마트 미터와 같은 신기술 적용 지원</li> </ul>                     |
| 계획법          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 주택의 에너지 효율문제</li> <li>• 대규모 에너지 기반시설사업 승인절차 간소화로 보급을 가속화</li> </ul>   |

출처: 녹색성장위원회(2011)

- 개별 지방정부의 계획이 국가정책 및 지역정책의 방향에 적용될 수 있도록 제도적 보완차치로서 「계획정책지침(Planning Policy Statement, PPS)」을 마련하여 공간계획에 대한 국가정책지침을 제공함
  - 서로 연관되어 있는 정책지침을 통해 지역공간전략 및 지방개발프레임워크의 수립을 통해 공간계획 측면에서 지역이 기후변화에 대응하도록 유도함
  - 기후변화 대응체계 수립지침을 제공하고 지속가능한 개발을 실현시키기 위한 전체적

인 계획정책을 제시함

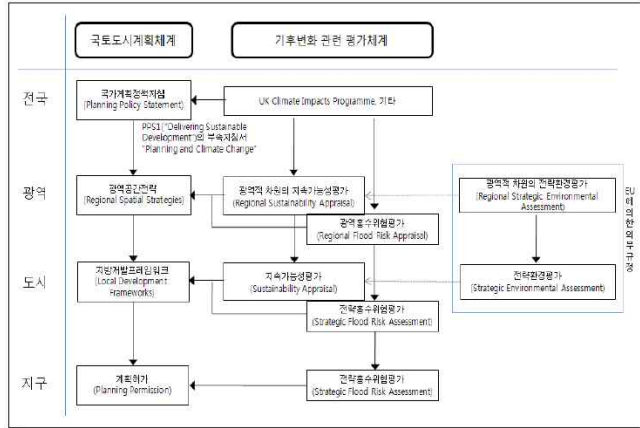


그림 2-78. 영국의 계획체계와 기후변화 관련 리스크 평가체계

- 에코타운(Eco Town) 조성을 위한 지속가능한 개발, 탄소 발자국, 사회적 정의, 포괄 공동체 등과 관련하여 새로운 개발형태로서의 사례를 제시함
  - 워크시트는 교통, 폐기물 등 11개 부문으로 구성되며, 에코타운 건설에 의해 나타나 는 여러 가지 기회요소를 발굴하여 개발하는 것이 목적임



그림 2-79. 영국 에코타운의 구성요소 예시

- ‘BREEAM(BRE Environmental Assessment Method)’ 프로그램을 사용하여 건물과 환경간 작용하는 상호영향에 대한 메커니즘과 건물의 환경개선효과를 평가함
  - 친환경 건축 및 커뮤니티 조성을 지원하는 설계도구로도 활용됨
  - 생물 종다양성의 보호, 수자원 순환체계의 구축, 열섬저감을 위한 옥상녹화 등의 방법과 알베도를 향상시키는 흰색지붕을 중요 설계요소를 미래도시의 중요한 요소로 평가함
- 기후변화에 대응하는 전략을 수립함과 동시에 저탄소 녹색도시를 추구하기 위한 기술적 가이드라인 ‘TCPA(Town and country planning association)’ 를 제시함
  - 온도관리, 홍수위험관리, 수자원 및 수질관리, 지면관리의 항목을 광역도시권, 도시 단지 단위, 개별건물 단위로 나누어 그에 따른 정책 및 전략을 제시하고 사례와 함께 가이드라인을 개발함
- 기후변화 프로그램 ‘UKCIP(UK Climate Impacts Programme)’ 를 개발함
  - 기후변화 시나리오에 의한 전지구, 도시, 지역 차원의 변화를 분석하고 이에 따른 위험요인을 평가함으로써 기후변화 대응의 기초자료를 제공함

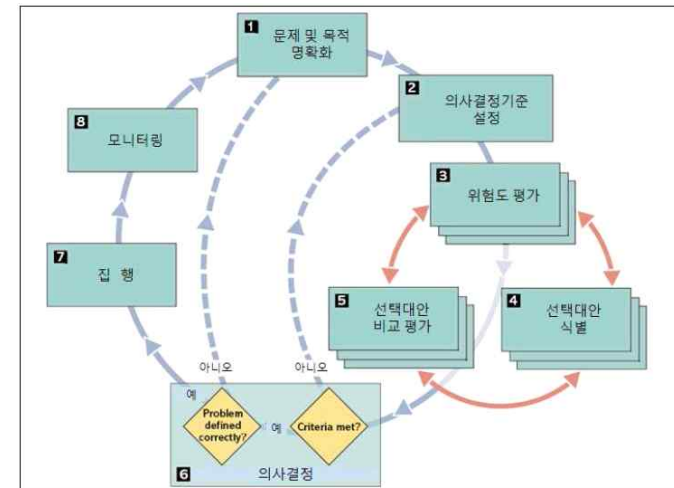


그림 2-80. 영국 UKCIP가 제시하는 기후변화 적응을 위한 8단계 의사결정프레임워크

(나) 기초지자체

① 런던(London)

- 런던 기후변화 적응 전략으로 저탄소형 도시 만들기를 적극적으로 추진함
  - 재생가능 에너지 공급 실현 방침을 마련하여 지구온난화로부터 벗어나기 위해 적극적인 대안을 마련함
  - 열섬저감과 관련한 기후변화 적응 대책 중의 하나로서 1,000ha에 해당하는 면적에 충분한 식재를 배치함
  - 기후자료와 사회경제적 지표를 바탕으로 열에 취약한 지역을 파악하고 대응 정책이 어딘지 파악하여 열섬저감 기법을 도입함
- 에너지 관리 전략을 수용하여 지구온난화 방지대책으로서 EAA(Energy Action Area)를 지정함(2004년)
  - 개별 건축물의 에너지 절약대책의 한계로부터 지역에서의 에너지 유효이용의 필요성이 높아졌기 때문에 특정 지역을 대상으로 여러 가지 에너지 유효이용기술을 활용함

(5) 독일

(가) 중앙정부부처

- 온실가스 감축을 목표로 재생에너지법, 재생에너지 난방법 등 재생가능한 에너지 이용을 촉진하기 위한 법과 규정을 운용함
- 에너지 공급 및 기후변화에 대한 정부 차원의 종합적 대응책을 마련하기 위해 ‘통합 에너지 기후변화 패키지’를 수립함(2007년 6월)
  - 재생에너지법을 개정하여 전력생산에 있어 재생에너지 비율을 30%로 확대하는 목표를 설정하고, 재생 에너지의 종류별 지원액을 합리적으로 조정함
  - 재생에너지 난방법을 제정하여 재생에너지를 이용한 난방비율 목표를 14%로 제시하는 등 재생에너지를 통한 난방 촉진을 위해 보조금 등의 혜택을 부여함
  - 열·전기 병합 발전법을 개정하여 열·전기 병합 발전을 통한 전력생산 비율을 25%로 확대하는 목표를 설정함

① 건설교통부

- ‘CO<sub>2</sub> 저감 건물개조 프로그램’을 통해 건축물의 열에너지 효율을 개선하고, 이를 통해 CO<sub>2</sub> 배출을 저감을 위한 방안을 제안함
- 건물을 기존보다 열 효율적인 방식(단열재 보강, 이중창 설치, 난방시설의 현대화 등)으로 개축하도록 유도하기 위해 저금리 융자나 보조금 등의 인센티브를 제공함

(나) 지방정부

① 프라이부르크(Freiburg)

- ‘프라이부르크 기후법령’을 제정하여 촉진지역을 선정하고, 건축물 에너지대책 가이드라인을 수립과 동시에 일정규모 이상의 건축물은 에너지대책에 대한 계획안을 제출하도록 함
- 에너지, 교통, 녹지, 자원 등 분야에 대해서 규제하거나 유인하는 법정계획을 수립하고 이를 뒷받침할 수 있는 제도를 통해 기반시설을 정비함

② 림 (Messstadt Riem)

- 생태도시 건설이념에 입각한 주거환경을 형성하고 친환경적이고 지속가능한 도시개발 모델을 실현함
  - 지구 주변으로 보전녹지 및 공원을 조성하되, 주거지역 및 업무시설은 고밀도로 건설하여 한정된 토지를 효율적으로 이용함
  - 전체 개발면적의 49%에 달하는 녹지계획을 세우고 생태도시의 개념이 상위 토지이용계획에서부터 적용됨
  - 바람길 확보, 친환경 건축자재사용, 우수저장관리, 태양에너지 이용, 기존 뮌헨공항의 포장면을 적극적으로 활용하여 도시를 개발함



그림 2-81. 림의 오픈스페이스 구성(좌)과 바람길 형성을 위한 단지배치(우)

③ 슈투트가르트(Stuttgart)

- 도시계획 위계별로 ‘바람길 조성을 위한 기본 지침’을 제시함
  - 바람길을 파악하여 시가지로 찬 공기를 유입시키기 위한 노력을 제도화 함
  - 상위개념의 토지이용계획인 F-Plan에서 도시 전체를 대상으로 바람길 활용에 대한 기본 지침을 제시하고 지구상세계획인 B-Plan에서는 구체적인 규제방안을 제시함
  - 기상조건과 기후, 풍도에 대한 기초조사와 함께 토지조건도, 수계도, 기후도 등 생태

도시계획의 기초가 되는 도면을 작성함

- 기후도를 만들기 위해 여름과 겨울, 낮과 밤의 지표면 온도분포도를 작성하여 이를 토대로 공기의 흐름, 하천과 호수, 녹지, 건물의 영향 등을 조사함

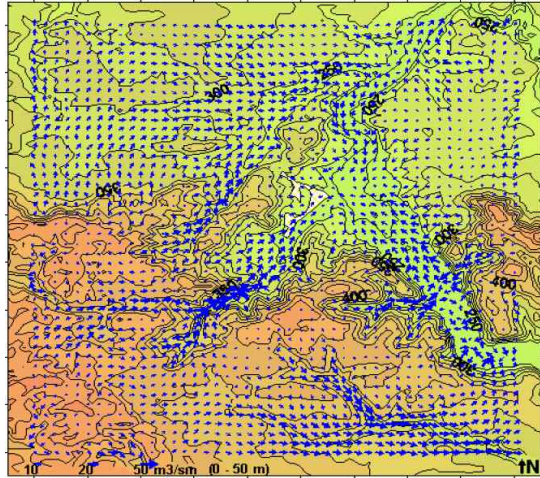


그림 2-82. 슈투트가르트시의 찬바람 생성 및 유동 모형 계산결과

- 기후변화 종합 대응 방안 보고서를 토대로 친환경법안을 공포함(2009년 8월)
  - 2050년까지 온실가스 배출량을 1990년 대비 75%까지 감축하기 위해 2020년까지 전체 에너지 소비의 20% 이상을 신·재생에너지로 충당할 계획임
  - 신축 건물의 에너지 소비량을 일정기준 이하로 감축하는 방안을 2010년부터 단계적으로 시행하며, 기존 건물의 에너지 소비량을 2020년까지 현 수준의 38%대로 감축할 목표를 세움
  - 교통 분야 온실가스 배출량을 2020년까지 현 수준의 20%대로 감축하여 1990년 수준으로 복귀하기 위해 대중교통·철도·수상 운송 비중을 높이고 도로·항공 비중은 축소함

(6) 프랑스

(가) 중앙정부부처

- 기후변화 문제를 해결하기 위한 방안으로 기후계획(Plan Climate)을 수립함(2004년)
  - 교토의정서의 온실가스감축에 직접적으로 연관되어 수립된 프로그램으로 2004년부터 2012년까지 실행되었음
  - 교통, 임대주택 부분과 관련된 기후계획은 도시계획의 세부방향 설정 및 사업 전반적으로 직·간접적으로 관련되어 도시 건설의 산업에도 변화를 초래함
- 기후변화 등 환경문제에 보다 적극적인 정책을 마련하고 시행하기 위해 기존에 여러 부처에 산재되어있던 환경관련 제반 업무 분야를 통합함
  - 환경·에너지·지속가능발전 해양부를 설치하고, 각계각층이 참여하는 특별작업반(Grenelle de l'Environnement)을 설치함

(7) 기타

(가) 캐나다의 토론토(Toronto)

- 녹색개발표준(Toronto Green Development Standard) (2007년 1월)
  - 대기질, 수질, 온실가스 감소, 친환경정책 등을 개선하는 것을 목표로, 정책 수행을 위한 구체적인 가이드라인과 목표실행을 위한 전략이 제시됨

표 2-33. 토론토의 도시열섬 대응 프로그램 개요 및 내용

| 프로그램                           | 개요   | 추진내용   |
|--------------------------------|--|--|
| Tree Advocacy Planting Program | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 토론토시 의회 차원에서 실행되는 나무심기 프로그램</li> <li>• 1백만 달러가 넘는 지원을 받음</li> <li>• 25만 개의 수목과 관목 식재</li> </ul>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기업 스폰서십 프로그램 : 스폰서 기업은 도시환경 유지를 위하여 프로그램 수행 사실을 홍보. 기업의 참여와 인지도 향상</li> <li>• 개인 및 커뮤니티 단체의 적극적 참여</li> <li>• 경제적 가치 : 50년 동안 나무 한그루는 3만 달러 가치의 산소 생산, 3.5만 달러 가치의 물을 순환, 6만 달러 가치의 대기오염물질 저감비용 감소</li> </ul> |
| Tree Across Toronto            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2050년까지 녹지 피복을 17%에서 34%로 2배 증가 계획</li> <li>• 나무심기와 유지 및 관리를 위한 리소스 확장</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 단기적 나무심기 강화</li> <li>• 2050년까지 녹지피복을 2배로 올리기 위한 전략적 계획 수립</li> <li>• 자료 수집과 관리, 모델링</li> <li>• 프로젝트를 실행하고 자본 예산 확보</li> <li>• Urban Forest Tree Canopy Steering Committee를 통한 이해관계자들 사이의 약속</li> </ul>        |
| Backyard Tree Planting Program | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시숲을 개선하고 보호하는 NGO단체에서 추진</li> <li>• 토지 소유권자에게 토종 식물과 관목 제공하여 식재 장려</li> <li>• 식물과 식재 관련 교육 실시</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 주택소유자, 고층건물 주거지 및 상업지, 학교별로 각 유형에 맞는 식재교육 및 토종식물과 관목 제공</li> <li>• 1단계 준비사항(식재지 평가, 식재 공간요건 확보), 2단계 전문가 컨설팅, 3단계 식재 및 나무 보급의 3단계로 이루어짐</li> </ul>  |
| Eco-Roof Incentive Program     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Green-root와 Cool-root의 설치 장려, 재정적 인센티브 제공</li> <li>• 거대 업무지구 내의 새 건물들 중심으로 설치 도모</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 재정상의 인센티브 : Green-root는 m<sup>2</sup>당 50달러의 재정적 인센티브 제공, 최대 10만 달러 가까이 지급</li> <li>• Eco-root 인센티브 프로그램은 Toronto Environmental Office에 의한 관리</li> </ul>  |
| Toronto Green Standard         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 공기질, 수질, 온실가스 감소, 친환경정책 등 개선</li> <li>• 2007년 초안 작성 후 2009년 녹색개발표준 완성</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 정책 수행을 위한 구체적인 가이드라인과 목표 실행을 위한 전략 제시</li> <li>• 대기질 개선 중 도시열섬 완화에 있어 지붕과 지표면에 따라 전략이 상이하며, 적용 지역은 1)중층 및 고층건물의 주택가, 상업가, 산업가 그리고 공공기관 개발, 2)저층 주택가 개발, 3)저층 비주택가 개발로 구분</li> </ul>                           |

출처 : 한국환경정책평가연구원(2012)

- 도시열섬 현상을 최소화하기 위하여 그린인프라 전략과 도시열섬 대책지역을 지정하여 지속가능한 도시 개발을 유도함
  - 도시열섬 대응과 관련한 그린인프라 사업으로 옥상녹화를 통해 열과 추위로부터 단절시키며 빗물이 수도관으로 침투하는 것을 감소시킴



그림 2-83. 토론토시의 업무지구와 적합한 Eco-Roof 인센티브 프로그램 적용지역

4. 국내의 연구동향

가. 연구과제

(1) 국가 및 지자체 연구개발 과제(국내)

- “도시열”, “도시열환경”, “도시열섬” 관련하여 최근 10년간 수행된 과제는 다음과 같음

표 2-34. 기술 분류별 국내 선행 연구

| 부문           | 주관부처           | 연구과제명   |
|--------------|----------------|---|
| 열환경 모니터링     | 환경부(2006)      | 도시열섬 저감 관련 전주시 시행 각 사업별 효과분석 등 모니터링                 |
|              | 교육과학기술부 (2008) | 도시의 요철효과가 도시열섬에 미치는 기여도 평가 및 개선노력에 따른 도시열섬 완화효과의 평가 |
|              | 교육과학기술부 (2011) | 도시에너지 절감을 위한 지역특성에 따른 열섬현상 완화 방안에 관한 연구             |
|              | 교육과학기술부 (2011) | 복합환경 관측을 통한 도시미기후 평가지표 개발과 도시별 열환경 특성 분석            |
|              | 환경부(2007)      | 전주시 미래지향적 도심열섬 저감방안 모니터링                            |
| 열환경 예측 시뮬레이션 | 교육과학기술부 (2010) | VGIS 및 UCSS를 활용한 도시열섬현상 예측/제어기법 개발                  |
|              | 교육인적자원부 (2007) | 지속가능한 도시의 도시열섬현상 저감방안에 관한 미시기후 열기류 컴퓨터시뮬레이션 연구      |
|              | 교육부 (2013)     | 도시 연안 고층 건물군이 지역 기상환경변화에 미치는 열역학적 요인 분석             |
|              | 교육부 (2013)     | 도시기상변화 대응 저탄소 건축녹화 복원모델 및 모니터링 기법개발 연구              |

|                                |                   |   |
|--------------------------------|-------------------|---|
| 열환경 설계/<br>관리를 위한<br>의사결정 지원   | 국토교통부<br>(2013)   | 기후변화 대응형 도시 빛물관리시스템 연구                                    |
|                                | 교육부<br>(2013)     | 도시 기후환경 예측 시스템 및 미래 기후변화 예측                               |
|                                | 농림부<br>(2005)     | GIS를 이용한 도시주변산림의 도시열섬현상 영향효과 파악                           |
|                                | 교육부<br>(2013)     | 도시 및 환경계획적 활용을 위한 현장측정 및 열적외 원격탐사 기반의 도시열섬 연구 방법론 개발      |
|                                | 교육과학기술부<br>(2012) | 도시 쾌적성 향상을 위한 도시계획 평가기준 및 기술개발                            |
|                                | 교육부<br>(2012)     | 저탄소 도시건설을 위한 녹색환경정보시스템 구축                                 |
| 열섬저감을 위한<br>도시 인프라<br>시공/구축 기술 | 환경부<br>(2010)     | 초고해상도 열적외 영상과 유비쿼터스 기상센서 기술을 이용한 폭염영향평가와 도시열건강환경 진단 기술 개발 |
|                                | 농림축산식품부<br>(2013) | 저비용 지속가능한 벽면녹화 유지관리 자동화 시스템 개발                            |
|                                | 국토교통부<br>(2013)   | 도시표면온도 저감이 가능한 태양열 차단 보도블럭 개발                             |
|                                | 과학기술부<br>(2004)   | 쾌적 환경도시계획을 위한 도시의 대기환경 계측제어 시스템구축 연구                      |
|                                | 환경부<br>(2003)     | 호소 주변지역 도시의 열섬현상완화효과에 대한 녹지정책의 개발연구                       |
|                                | 환경부<br>(2003)     | 광주광역시 친환경적 도시 녹지 정책을 위한 도시의 열섬현상 저감 효과에 관한 연구             |
|                                | 농림축산식품부<br>(2013) | 건축물 유형별 적용 가능한 벽면녹화시스템 Prototype 개발                       |
|                                | 중소기업청<br>(2013)   | 순환자원을 이용한 도시 열환경 개선용 콘크리트 블록 개발                           |
|                                | 환경부<br>(2008)     | 도심 열섬현상 저감용 보수 세라믹 블록 및 실용시스템 개발                          |
|                                | 중소기업청<br>(2013)   | 열교환 소재를 활용한 열섬현상 저감용 콘크리트 보차도 블록의 제품화 기술개발                |
|                                | 중소기업청<br>(2012)   | 순환골재 및 다공성 기포를 이용한 친환경 투수 흙콘크리트 개발                        |

- 기술분류별로 과제 현황을 살펴보면, “열섬저감을 위한 도시 인프라 시공/구축 기술” 분야의 과제가 다른 분야의 과제 보다 많음을 알 수 있음. 특히, 이 분야의 연구수행기관으로 다수의 기업이 참여하고 있으며 이는 해당 연구분야가 실용화 기술과 밀접한 관련이 있기 때문임

(2) 국내 연구과제 동향 분석 결과

(가) 열환경 모니터링 분야

- 열섬저감을 위한 효과 모니터링, 열섬현상 완화 방안 연구, 녹색환경정보시스템 구축 등 비교적 다양한 연구과제가 수행되었던 것으로 분석됨. 그러나 열환경을 모니터링함에 있어 교통량에 대한 고려는 부족함
- 또한, 열 취약지역 분석과 관련된 연구과제는 비교적 적게 수행됨

(나) 열환경 예측 시뮬레이션 분야

- 컴퓨터 시스템 또는 시뮬레이션의 형태로 도시열섬현상을 예측하고 모니터링 하는 기술에 관해서는 연구가 다수 수행된 바 있음. 그러나, 이러한 연구 결과를 이용하여 도시열환경을 구체적으로 설계하고 관리하는 방법에 관한 연구과제는 아직 뚜렷하게 수행된 바 없음

(다) 열환경 설계/관리를 위한 의사결정 지원 분야

- 기후변화와 연계하여 도시의 열환경을 설계하고 관리하는 시스템 관련한 연구과제는 수행된 바가 없음. 그러나, 도시열섬현상의 영향을 파악하거나 도시 환경계획에 도시 열섬 연구결과를 이용하려는 연구, 도시 쾌적성 향상을 위한 도시계획 기술에 관한 연구과제는 일부 수행된 것으로 파악됨. 그러나 인간활동과 밀접한 관련이 있는 교통량에 대한 고려는 미흡한 것으로 나타남
- 또한, 기상센서를 사용하여 도시의 열을 측정하고 이를 이용하여 도시민의 열쾌적성을 진단하는 기술에 관한 연구도 수행된 바 있는데, 이러한 연구의 결과는 도시의 열환경을 설계 및 관리하는 연구에 연계하여 활용할 수 있을 것으로 판단됨

(라) 열섬저감을 위한 도시 인프라 시공/구축 기술 분야

- 열섬저감을 위한 도시 인프라 중 벽면녹화, 열섬완화 보도블럭, 녹지조성 등에 관한 연구과제가 주류를 이루고 있음. 반면, 바람길 조성 기술 등은 상대적으로 연구과제가 많지 않은 것으로 판단됨

(마) 열섬발생 및 저감 메커니즘에 대한 종합적 연구 필요

- 기존 연구에서는 토지피복, 토지이용, 건축물 등이 열환경에 미치는 영향을 개별적·부분적으로 분석함
- 도시 내 열환경을 정확하게 파악하기 위해서는 인간활동 및 토지이용, 토지피복, 건축물, 교통량, 기상조건 등의 다양한 요인을 종합적으로 고려한 메커니즘 분석이 요구됨

(바) 열환경 관리를 위한 모니터링 체계 구축 필요

- 분석 대상지에 대한 실측 또는 통계모형을 통한 기온추정방법이 주로 이루어짐
- 도시 내 정확한 열섬발생원과 저감원을 파악하기 위해서는 열환경 역추적과 같은 과학적 시뮬레이션에 기반한 모니터링체계 구축이 필요함

(사) 도시열환경 분석에 특화된 설계 및 관리시스템 필요

- 도시열환경과 관련된 시스템 대부분이 도시 미기후예측 프로그램의 일부로서 다양한 도시공간 요소들의 상호관계를 구체적으로 반영하지 못함
- 분석의 초점 역시 기후예측으로 한정되어 열쾌적성, 대기오염 등과 연계한 세부적인 분석 및 도시 유형별 특성에 따른 열환경 분석에 한계가 있음
- 분석 규모 또한 단지 및 도시 일부지역으로 제한되어 도시 및 지역차원에서의 분석의 제한됨
- 도시열환경 관리를 위한 설계 및 관리에 특화된 시스템 개발이 필요함

## 나. 논문

- 논문동향조사는 논문문헌정보를 기술 분야별로 조사, 분류, 분석함으로써 과거부터 현재까지의 연구동향 등을 파악하여 본 기획과제의 중점추진분야 설정을 위한 객관적인 근거를 제시함
- 조사항목, 대상, 기간, 검색범위를 설정하고 분석 대상 관련 Keyword 도출 및 검색식 설정, 논문 DB 검색 및 노이즈 제거를 거쳐 분석대상을 확정하여 분석하는 절차를 따름
- SCI(SSCI) 논문과 KCI 논문을 분류해서 분석했으며, SCI 논문은 Web of Science 사이트를 KCI 논문은 NDSL 사이트를 이용해서 검색함
- SCI 논문의 경우 Web of Science 사이트에서 인용정보를 제공하지만, KCI 논문은 정확한 인용정보가 제공되지 않기 때문에 주요 피인용 논문에 대한 정보는 SCI 논문만 분석함

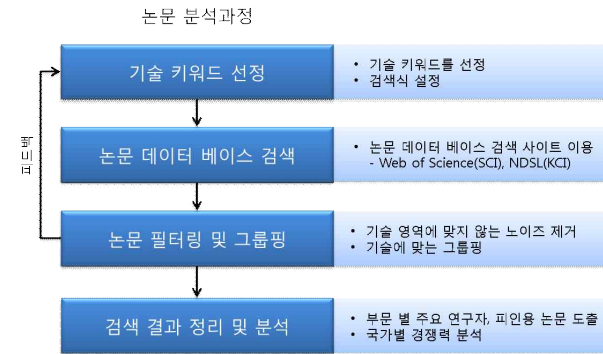


그림 2-84. 논문 분석과정

표 2-35. 기술별 논문 검색식

| 분류       | 분류기호 | 검색식 |   |
|----------|------|-----|---|
| 열환경 모니터링 | AA   | 영문  | ((city urban town metropolis downtown) adj3 (heat therm* warm*)) (heatisland heat-island ((therm* heat warm*) adj island)) and (monitor* observ* surveil* watch* vigilance look* sens* measur* check* gaug* survey*) and (((land surface) adj temperature) (green adj grow*) (water adj2 front) forest wood* park stream river brook creek canopy coolisland cool-island (cool adj2 island) (land adj2 (pattern type))) |
|          |      | 국문  | ((도시 도심* 도화* 씨티 시티 타운) adj3 (열 열기 히트)) (열섬 (열 adj1 섬) 열 섬 (열 adj1 섬) 히트아일랜드 히트아일랜드 히트아일랜드 히트아일랜드 (히트 adj1 아일랜드) (히트 adj1 아일랜드) (히트 adj1 아일랜드) (히트 adj1 아일랜드) 열도) and (모니터 모니터링 감시 주시 실측 측정 계측 관측 센싱 센서 센  |

|                         |    |    |  |
|-------------------------|----|----|--|
|                         |    |    | 스) and (((토지 표면) adj 온도) 수공간 워터스페이스 (스페이스 adj 스페이스) 수변 알베도 알비도 녹지 숲 공원 파크 하천 강 수관 냉섬 (토지 adj 2 (유형 타입 패턴)))  |
| 열환경 예측 시뮬레이션            | AB | 영문 | ((city urban town metropolis downtown) adj3 (heat therm* warm*)) (heatisland heat-island ((therm* heat warm*) adj island)) and ((climate adj change) (mode* adj climate) (climate adj mode*) (climate adj simulat*) (climate adj zone) RCP (therm* adj environment) (therm* adj condit*) (wind adj environment) (wind adj condit*) (wind adj field) canopy microclimate micro-climate (micro adj climate) (numerical adj model) temperature (outdoor adj temperature) (air adj temperature) humidity (heat adj wave) and ((air adj pollu*) (street adj poll*)) |
|                         |    | 국문 | (도시 도심* 도화* 씨티 시티 타운) adj3 (열 열기 히트) (열섬 (열 adj1 섬) 열 섬 (열 adj1 섬) 히트아일랜드 히트아이랜드 히트아일랜드 히트아이랜드 (히트 adj1 아일랜드) (히트 adj1 아이랜드) (히트 adj1 아일랜드) (히트 adj1 아이랜드) 열도) and (미기상 미기후 마이크로기후 (마이크로 adj (기상 기후)) (에너지 adj2 (균형 밸런스 발란스 바란스 배런스) 캐노피 케노피 ((기후 기상) adj2 (시뮬레이션 시뮬레이트 시뮬레이션 시뮬레이트) and (대기오염 (대기 adj 오염) 대기확산 (대기 adj 확산) 가우스 가우스* 오염배출 오염배출* (오염 adj 배출) (오염 adj 배출*))  |
| 열환경 설계를 위한 의사결정 지원      | AC | 영문 | ((city urban town metropolis downtown) adj3 (heat therm* warm*)) (heatisland heat-island ((therm* heat warm*) adj island)) and ((urban adj form) (urban adj structure) (urban adj street) (street adj form) (urban adj spa*) (climate adj zone) (land adj cover) (building adj Coverage) (floor adj space) (develo* adj density) biotop* (ecologi* adj area) (sky adj factor) (sky adj view))  |
|                         |    | 국문 | (도시 도심* 도화* 씨티 시티 타운) adj3 (열 열기 히트) (열섬 (열 adj1 섬) 열 섬 (열 adj1 섬) 히트아일랜드 히트아이랜드 히트아일랜드 히트아이랜드 (히트 adj1 아일랜드) (히트 adj1 아이랜드) (히트 adj1 아일랜드) (히트 adj1 아이랜드) 열도) and (도시형태 (도시 adj 형태) 도시구조 (도시 adj 구조) 도시가로 도시거리 (도시 adj (가로 거리)) 가로형태 거리형태 ((가로 거리) adj 형태) 도시공간 (도시 adj 공간) 기후존 기후구역 기후영역 (기후 adj (존 구역 영역))  |
| 열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축 기술 | AD | 영문 | ((city urban town metropolis downtown) adj3 (heatisland heat-island ((therm* heat warm*) adj island) heat* therm* warm*)) and greenroof green-roof (green adj2 roof) greenwall green-wall (green adj2 wall) ((premea* impremea*) adj2 (pave* road way)) and (infra* infra green blue grey streettree (street adj2 (tree plant)) (green adj2 roof) (white adj2 roof)  |
|                         |    | 국문 | (도시 도심* 도화* 씨티 시티 타운) adj3 (열 열기 히트) (열섬 (열 adj1 섬) 열 섬 (열 adj1 섬) 히트아일랜드 히트아이랜드 히트아일랜드 히트아이랜드 (히트 adj1 아일랜드) (히트 adj1 아이랜드) (히트 adj1 아일랜드) (히트 adj1 아이랜드) 열도) and (인프라 인프라* 그린 블루 그레이 녹색 청색 푸른색 회색 투수 포장 불투수포장 ((투수 불투수) adj2 (포장 도로)) 가로수 초지 관목 교목 옥상 녹화 (옥상 adj2 녹화) 벽면녹화 (벽면 adj2 녹화) 가용면적 (가용 adj2 면적) 화이트루프 (화이트 adj2 루프) 백색지붕 흰색지붕 ((백색 흰색)   |

(1) 전체논문 발표 동향

- 1990년 이후 발표된 도시의 열환경 관련 SCI 논문은 총 247건 임
  - SCI 논문은 분야별로 열환경 모니터링 64건, 열환경 예측 시뮬레이션 58건, 열환경 설계를 위한 의사결정 지원 64건, 열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축 기술 70건으로 나타남
- 1990년 이후 발표된 도시의 열환경 관련 KCI 논문은 총 70 건임
  - KCI 논문은 분야별로 열환경 모니터링 27건, 열환경 예측 시뮬레이션 13건, 열환경 설계를 위한 의사결정 지원 12건, 열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축 기술 18건으로 나타남

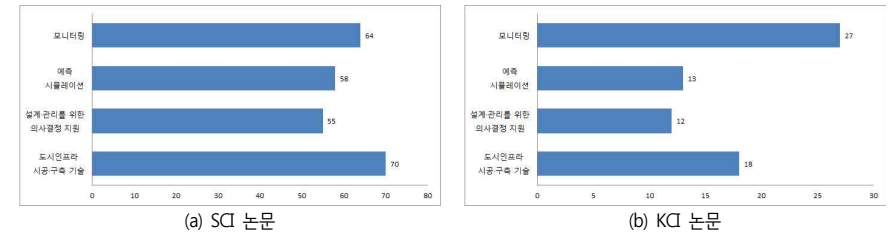


그림 2-85. 도시의 열환경 관련 논문 분포

- SCI 논문의 연도별 발표추세를 보면, 1990년 1건에서 2012년 35건으로 지속적으로 증가하여 30건 이상 증가하는 높은 성장세를 나타냄
  - 1990년대, 2000년대 초반에는 연구가 미비했지만 중반 이후부터는 연구가 활발해짐. 특히, 2000년대 중반 이후부터는 높은 성장률을 나타내고 있음
- KCI 논문의 연도별 발표추세를 보면, 1991년 1건에서 2013년 13건으로 10건 이상 증가하는 성장세를 나타냄
  - 1990년대에는 연구가 미비하거나 없었지만 2000년대에 들어서는 지속적으로 연구되기 시작했으며, 2000년대 후반 이후부터는 높은 성장률을 나타내고 있음

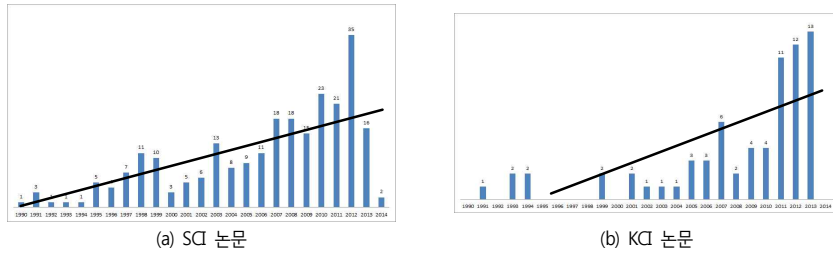


그림 2-86. 연도별 논문 추이

- SCI 논문의 국가별 논문발표 현황을 분석한 결과, 도시 열환경 관련 논문을 가장 많이 발표한 국가는 미국이고, 그 다음으로 유럽, 일본, 중국 순으로 나타남
  - 미국은 특히 열환경 모니터링 관련 논문이 많았으며, 유럽은 열섬저감을 위한 도시 인프라 시공·건축 기술 관련 논문이 많은 것으로 나타남



그림 2-87. SCI 논문의 국가별 논문 분포

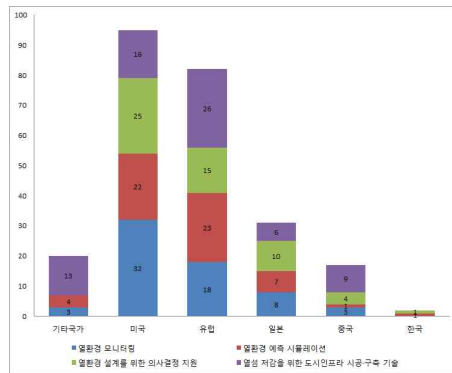


그림 2-88. SCI 논문의 국가별, 부문별 논문 분포

(2) 부문별 논문발표 현황

(가) 열환경 모니터링

- 1990년 이후 발표된 열환경 모니터링 관련 SCI 논문은 총 64건임
  - 분야별로는 열섬발생·저감 모니터링 49건, 열섬 취약지역분석 15건으로 나타남
  - 열섬발생·저감 모니터링 관련 연구가 집중되고 있으며, 열섬 취약지역분석 관련 연구에 대한 지속적인 연구가 요구됨
- 1990년 이후 발표된 열환경 모니터링 관련 KCI 논문은 총 27건임
  - 분야별로는 열섬발생·저감 모니터링 23건, 열섬 취약지역분석 4건으로 나타남
  - 대부분의 연구가 열섬발생·저감 모니터링 관련 연구에 집중되어 있으며, 열섬 취약 지역분석 관련 연구는 매우 미흡하여 향후, 지속적인 연구가 요구됨

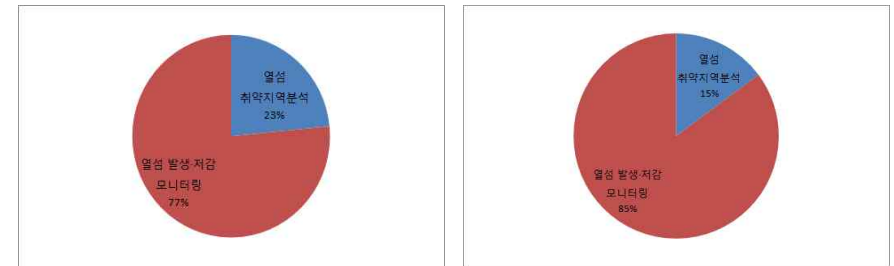


그림 2-89. 열환경 모니터링 관련 논문 동향

- SCI 논문의 연도별 논문발표추세를 보면, 1990년 0건에서 2012년 10건으로 지속적으로 증가하여 9건 이 증가하는 성장세를 나타냄
  - 1990년대에는 연구가 미비했지만 2000년 이후 열환경 모니터링에 대한 관심이 높아지면서 논문 발표 편수가 증가함
- KCI 논문의 연도별 논문발표추세를 보면, 1990년 0건에서 2007년 4건으로 증가하는 성장세를 나타냄
  - 1990년대에는 연구가 미비했지만 2000년 이후에는 매년 1~2건의 연구가 발표되고 있으며, 2007년 4건으로 가장 많이 발표됨

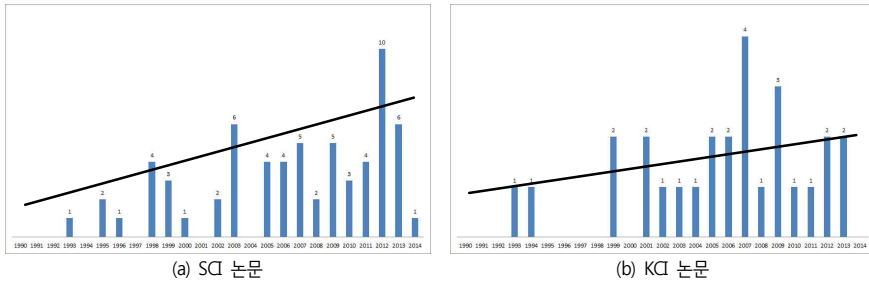


그림 2-90. 열환경 모니터링 관련 연도별 논문 추이

- 열환경 모니터링 관련 주요 연구자로는 Gallo, Aikawa, Lo 등이 있음

표 2-36. 연구자별 논문 발표 추이

| 구분 | 연구자명    | 국가  | 소속  | 건수 |
|----|---------|-----|---|----|
| 1  | Gallo   | 미국  | NOAA/NESDIS                                 | 5  |
| 2  | Aikawa  | 일본  | Public Health and Environmental Sciences    | 2  |
| 3  | Lo      | 미국  | University of Georgia                       | 2  |
| 4  | Krüger  | 브라질 | Federal Technological University of Paraná  | 2  |
| 5  | Schwarz | 독일  | Helmholtz Centre for Environmental Research | 2  |

- 가장 높은 피인용도를 나타낸 SCI 논문의 피인용도 횡수는 317회에 달하는 것으로 나타남
  - Lo(1996)는 ATLAS 위성영상과 GIS 프로그램을 활용하여 피복유형에 따른 열의 공간적인 특성을 밝힘
  - Bornstein(2000)은 애틀란타 지역의 27개 기상관측 시스템과 8개의 국가 기상 관측망 data를 이용하여 강수가 도시의 열섬현상을 완화시킨다는 것을 밝힘
  - Ichinose(1999)는 인공적으로 발생하는 열 데이터와 토지이용도를 활용하여 도쿄의 열지도를 작성하고 에너지 소비가 열섬현상에 어떠한 영향을 미치는지 조사함

표 2-37. 주요 피인용 논문 정보

| 구분 | 연구자명      | 국가 | 소속                                       | 연도   | 제목  | 학회지명                                    | 인용수 |
|----|-----------|----|--|------|---|---|-----|
| 1  | Lo        | 미국 | University of Georgia                    | 1996 | Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect | International Journal of Remote Sensing | 317 |
| 2  | Bornstein | 미국 | San Jose State University                | 2000 | Urban heat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: three case studies                     | Atmospheric Environment                 | 264 |
| 3  | Ichinose  | 일본 | Center for Global Environmental Research | 1999 | Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo  | Atmospheric Environment                 | 257 |
| 4  | Streutker | 미국 | Rice University                          | 2003 | Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas  | Remote Sensing of Environment           | 255 |
| 5  | Harlan    | 미국 | Arizona State University                 | 2006 | Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress   | Social Science & Medicine               | 250 |

- 가장 많은 SCI 논문을 발표한 국가는 미국으로 나타났으며, 다음으로는 유럽, 일본, 중국 순으로 나타남
  - 우리나라의 경우, 열환경 모니터링 관련 KCI 논문은 지속적으로 발표되고 있으나 SCI(SSCI)에는 게재하지 못하고 있어 국제적 수준에 도달하지 못한 것으로 나타남. 따라서 해당 분야의 적극적인 연구개발이 필요할 것으로 판단됨

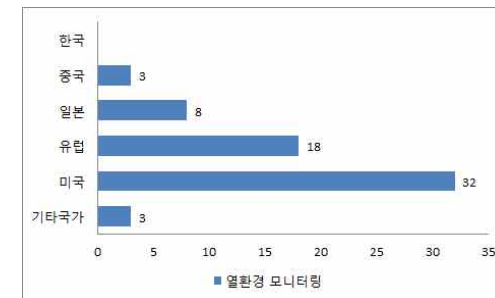


그림 2-91. 열환경 모니터링 관련 국가별 논문 추이

(나) 열환경 예측 시뮬레이션

- 1990년 이후 발표된 열환경 예측 시뮬레이션 관련 SCI 논문은 총 58건임

- 분야별로는 기후변화 시나리오 분석 10건, 열환경 시뮬레이션기술 28건, 열환경 저감에 의한 유발효과 분석기술 20건으로 나타남
- 열환경 시뮬레이션기술에 관한 연구가 제일 많이 발표되었고, 열환경 저감에 의한 유발효과가 그 다음으로 많이 발표되었음
- 1990년 이후 발표된 열환경 예측 시뮬레이션 관련 KCI 논문은 총 13건임
  - 분야별로는 기후변화 시나리오 분석 1건, 열환경 시뮬레이션기술 6건, 열환경 저감에 의한 유발효과 분석기술 6건으로 나타남
  - 기후변화 시나리오 분석 관련 연구가 가장 미비하며, 열환경 시뮬레이션기술 관련 연구와 열환경 저감에 의한 유발효과 관련 연구가 많이 발표되고 있음

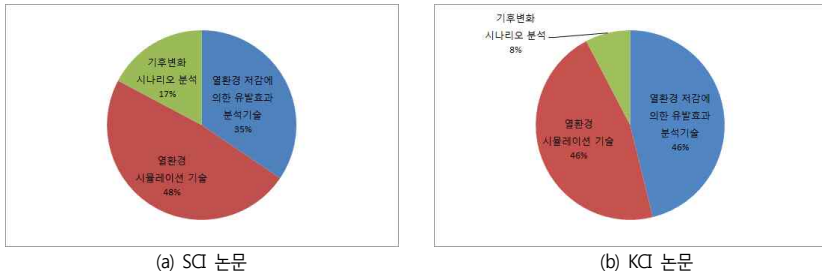


그림 2-92. 열환경 예측 시뮬레이션 관련 논문 동향

- 연도별 SCI 논문발표추세를 보면, 1990년 1건에서 2011년 7건으로 지속적으로 증가하여 6건이 증가함
  - 1996년 이후 열환경 예측 시뮬레이션에 관련된 연구가 지속적으로 발표됨
- 연도별 KCI 논문발표추세를 보면, 1990년 1건에서 2012년 3건으로 지속적으로 연구되고 있음
  - 2000년대 후반에 들어서 열환경 예측 시뮬레이션에 관련된 연구가 발표됨

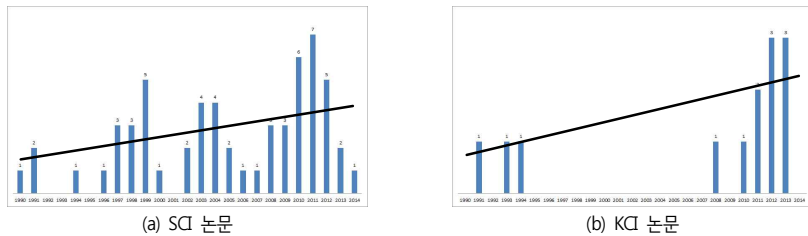


그림 2-93. 열환경 예측 시뮬레이션 관련 연도별 논문 추이

- 열환경 모니터링 관련 주요 연구자로는 Kusaka, Sailor, Taha 등이 있음

표 2-38. 연구자별 논문 발표 추이

| 구분 | 연구자명   | 국가 | 소속                                    | 건수 |
|----|--------|----|---------------------------------------|----|
| 1  | Kusaka | 일본 | University of Tsukuba                 | 3  |
| 2  | Sailor | 미국 | Portland State University             | 3  |
| 3  | Taha   | 미국 | Lawrence Berkeley National Laboratory | 3  |
| 4  | Akbari | 미국 | Lawrence Berkeley National Laboratory | 2  |
| 5  | Wilby  | 영국 | Lancaster University                  | 2  |

- 가장 높은 피인용도를 나타낸 SCI 논문의 피인용도 횟수는 371회에 달하는 것으로 나타남
  - Taha(1997)는 지표면 알베도, 증발산량, 인공적인 열 발생량 등에 대한 도시기후의 특징을 살펴보고 시뮬레이션을 통해 식생피복과 알베도의 증가가 대기기온을 효율적으로 완화시킬 수 있다는 것을 밝힘
  - Matzarakis(1999)는 신체 에너지 균형에서 발생하는 열 지수인 PET를 토대로 생물 기후학적 지도를 작성하여 미기후에서의 열적 요소들을 평가함
  - Rosenfeld(1997)는 지붕이나 포장을 밝은 색으로 변화시키거나 식재를 이용하여 그늘을 만들어 줌으로써 에너지의 사용과 스모그를 감소시킬 수 있다는 것을 밝힘

표 2-39. 주요 피인용 논문 정보

| 구분 | 연구자명       | 국가 | 소속                                    | 연도   | 제목  | 학회지명                                    | 인용수 |
|----|------------|----|---------------------------------------|------|---|---|-----|
| 1  | Taha       | 미국 | Lawrence Berkeley National Laboratory | 1997 | Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat | Energy and Buildings                    | 371 |
| 2  | Matzarakis | 독일 | University of Freiburg                | 1999 | Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature     | International Journal of Biometeorology | 340 |
| 3  | Rosenfeld  | 미국 | Lawrence Berkeley Laboratory          | 1997 | Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction          | Energy and Buildings                    | 229 |
| 4  | Sailor     | 미국 | Portland State University             | 2008 | green roof model for building energy simulation programs                            | Energy and Buildings                    | 179 |
| 5  | Castleton  | 영국 | Department of Engineering Materials   | 2010 | Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit                 | Energy and Buildings                    | 141 |

- 가장 많은 논문을 발표한 국가는 유럽으로 나타났으며, 다음으로는 미국, 일본 순으로 나타남
- 우리나라의 경우 열환경 예측 시뮬레이션 관련 KCI 논문은 13건 발표되었지만, SCI(SSCI) 논문은 1편만 발표한 것으로 조사되어 국제적 수준에 도달하지 못한 것으로 나타남. 따라서 해당 분야의 적극적인 연구개발이 필요할 것으로 판단됨

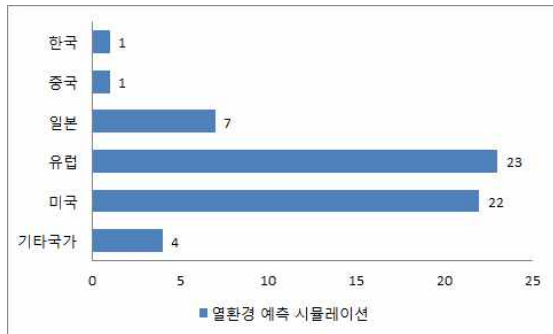
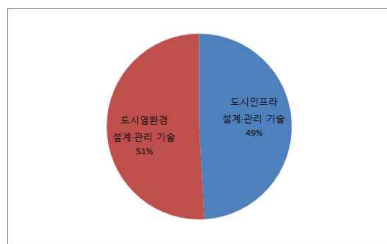


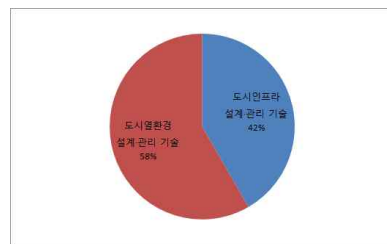
그림 2-94. 열환경 예측 시뮬레이션 관련 국가별 논문 추이

(다) 열환경 설계를 위한 의사결정 지원

- 1990년 이후 발표된 열환경 예측 시뮬레이션 관련 SCI 논문은 총 55건임
  - 분야별로는 도시열환경 설계·관리 기술 28건, 열섬저감을 위한 도시인프라 설계·관리 기술 27건으로 나타남
- 1990년 이후 발표된 열환경 예측 시뮬레이션 관련 KCI 논문은 총 12건임
  - 분야별로는 도시열환경 설계·관리 기술 7건, 열섬저감을 위한 도시인프라 설계·관리 기술 5건으로 나타남



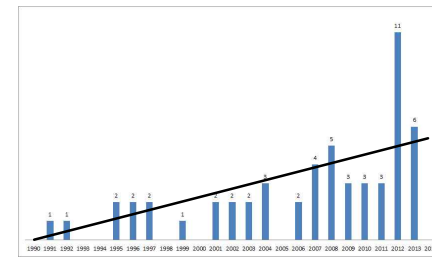
(a) SCI 논문



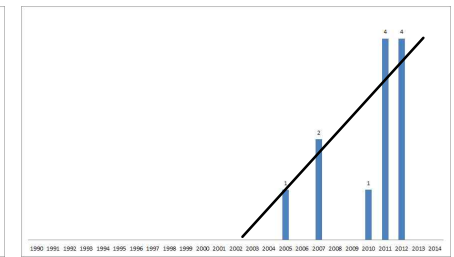
(b) KCI 논문

그림 2-95. 열환경 설계를 위한 의사결정 관련 논문 동향

- SCI 논문의 연도별 발표추세를 보면, 1990년 1건에서 2012년 11건으로 지속적으로 증가하여 10년 이 증가함
  - 매년 지속적으로 발표되었으며 2012년 11건으로 급격하게 증가함
- KCI 논문의 연도별 발표추세를 보면, 1990년 0건에서 2011년 4건으로 증가하는 추세를 나타냄
  - 1990년대에는 발표된 연구가 없고, 2005년에 1건의 발표 후 급격히 증가하고 있음



(a) SCI 논문



(b) KCI 논문

그림 2-96. 열환경 설계를 위한 의사결정 지원 관련 연도별 논문 추이

- 열환경 설계를 위한 의사결정 지원 관련 주요 연구자로는 Kolokotroni, Stone, Sum 등이 있음

표 2-40. 연구자별 논문 발표 추이

| 구분 | 연구자명        | 국가 | 소속                                 | 건수 |
|----|-------------|----|------------------------------------|----|
| 1  | Kolokotroni | 영국 | Brunel University                  | 6  |
| 2  | Stone       | 미국 | Georgia Institute of Technology    | 3  |
| 3  | Sun         | 중국 | Chinese Academy of Sciences        | 3  |
| 4  | Jenerette   | 미국 | University of California Riverside | 2  |

- 가장 높은 피인용도를 나타낸 SCI 논문의 피인용도 횟수는 616회에 달하는 것으로 나타남
  - Weng(2004)는 Landsat ETM+ 영상으로부터 추출한 지표면 온도와 식생의 관계 분석을 통해 열환경 관리를 위한 식생 배치의 필요성을 밝힘
  - Bowler(2010)은 식생, 공원, 옥상녹화 등의 온도저감 효과를 평가하고 이를 토대로 도시의 녹지공간에 대한 계획이나 설계의 효율적인 방안을 제시함
  - Jenerette(2007)는 피닉스 지역을 대상으로 식생이 주거지역의 국지기후에 미치는 영향을 분석하고 주거지역에서의 녹지 계획의 중요성을 제시함

표 2-41. 주요 피인용 논문 정보

| 구분 | 연구자명      | 국가 | 소속                                 | 연도   | 제목   | 학회지명                                       | 인용수 |
|----|-----------|----|------------------------------------|------|--|--|-----|
| 1  | Weng      | 미국 | Indiana State University           | 2004 | Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies                 | Remote Sensing of Environment              | 616 |
| 2  | Bowler    | 영국 | Bangor University                  | 2010 | Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence                                 | Landscape and Urban Planning               | 153 |
| 3  | Jenerette | 미국 | University of California Riverside | 2007 | Regional relationships between surface temperature, vegetation, and human settlement in a rapidly urbanizing ecosystem | Landscape Ecology                          | 132 |
| 4  | Avissar   | 미국 | Rutgers University                 | 1995 | Potential effects of vegetation on the urban thermal environment   | Atmospheric Environment                    | 130 |
| 5  | Alberti   | 미국 | University of Waishington          | 1999 | Urban Patterns and Environmental Performance: What Do We Know?   | Journal of Planning Education and Research | 128 |

- 가장 많은 논문을 발표한 국가는 미국으로 나타났으며, 다음으로는 유럽, 일본, 중국 순으로 나타남
- 우리나라의 경우, 열환경 설계를 위한 의사결정 지원 관련 KCI 논문은 12건 발표되었지만 SCI(SSCI) 논문은 1편만 발표되고 있어 국제적 수준에 도달하지 못한 것으로 나타남. 따라서 해당 분야의 적극적인 연구개발이 필요할 것으로 판단됨

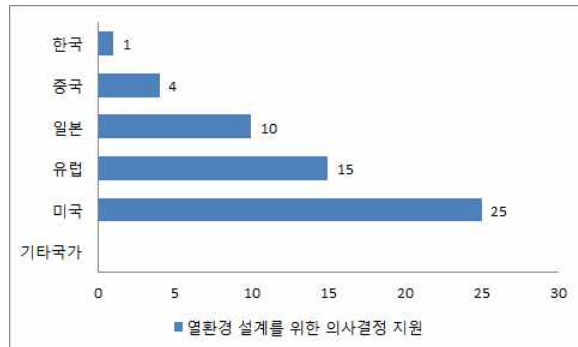


그림 2-97. 열환경 설계를 위한 의사결정 지원 관련 국가별 논문 추이

(라) 열섬저감을 위한 도시인프라 시공·구축 기술

- 1990년 이후 발표된 열환경 예측 시뮬레이션 관련 SCI 논문은 총 70건임
  - 분야별로는 Green 인프라 시공·구축 기술 45건, Blue 인프라 시공·구축 기술 4건, Grey 인프라 시공·구축 기술 21건으로 나타남
  - Green 인프라 시공·구축기술 관련 연구가 가장 많이 발표되었으며, 다음으로 Grey 인프라 시공·구축 기술 관련 연구가 많이 발표됨
  - Blue 인프라 시공·구축 기술분야에 관한 연구는 매우 미비함
- 1990년 이후 발표된 열환경 예측 시뮬레이션 관련 KCI 논문은 총 18건임
  - 분야별로는 Green 인프라 시공·구축 기술 7건, Blue 인프라 시공·구축 기술 1건, Grey 인프라 시공·구축 기술 10건으로 나타남
  - Grey 인프라 시공·구축기술 관련 연구가 가장 많이 발표되었으며, 다음 순으로 그린 인프라 시공·구축 기술 관련 연구가 많이 발표됨
  - Blue 인프라 시공·구축 기술분야에 관한 연구는 매우 미비함

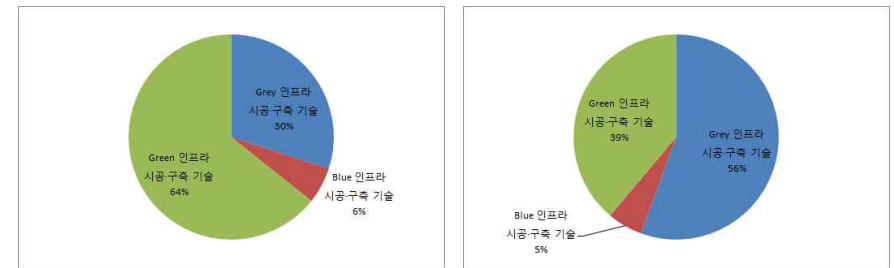


그림 2-98. 열섬저감을 위한 도시인프라 시공·구축 기술 관련 논문 동향

- SCI 논문의 연도별 발표추세를 보면, 1990년 1건에서 2012년 11건으로 지속적으로 증가하여 10건 이 증가하였음
  - 매년 지속적으로 발표되었으며 2012년 11건으로 급격하게 증가함
- KCI 논문의 연도별 발표추세를 보면, 1990년 0건에서 2013년 8건으로 증가함
  - 2006년에 들어서 연구가 발표되기 시작했으며, 2011년 4건, 2013년 8건으로 급격하게 증가함

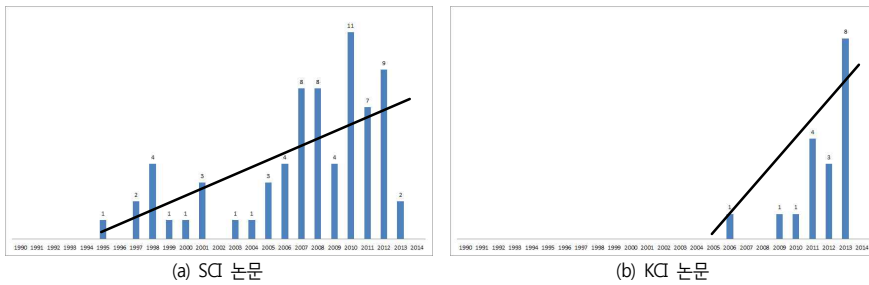


그림 2-99. 열섬저감을 위한 도시인프라 시공·구축 기술 관련 연도별 논문 추이

- 열섬저감을 위한 도시인프라 시공·구축 기술 관련 주요 연구자로는 Jim, Santamouris, Synnefa 등이 있음

표 2-42. 연구자별 논문 발표 추이

| 구분 | 연구자명        | 국가   | 소속                                    | 건수 |
|----|-------------|------|---------------------------------------|----|
| 1  | Jim         | 중국   | The University of Hong Kong           | 3  |
| 2  | Santamouris | 그리스  | University of Athens                  | 3  |
| 3  | Synnefa     | 그리스  | University of Athens                  | 3  |
| 4  | Wong        | 싱가포르 | National University of singapore      | 3  |
| 5  | Bretz       | 미국   | Lawrence Berkeley National Laboratory | 2  |

- 가장 높은 피인용도를 나타낸 논문의 피인용도 횟수는 244회에 달하는 것으로 나타남
  - Barrio(1998)는 엽면적지수, 잎의 기하학적 특성, 토지 두께, 토시 수분량 등의 변수를 기반으로 옥상녹화의 수학적 모형 구축하고, 열 유속을 저감시키기 위한 적절한 지붕녹화설계를 제시함
  - Wong(2003)은 콘크리트 숲의 생태학적인 해결책으로 열섬저감을 위한 도시녹지의 필요성을 밝히고 옥상녹화 및 벽면녹화의 효과적인 설계방안을 제시함
  - Getter(2006)은 옥상녹화의 식생 재료에 따라 생태학적·경제학적인 측면을 분석하고, 열섬현상 완화의 효과적인 식생 설치법을 제시함

표 2-43. 주요 피인용 논문 정보

| 구분 | 연구자명      | 국가   | 소속                                  | 연도   | 제목  | 학회지명                     | 인용수 |
|----|-----------|------|-------------------------------------|------|---|--------------------------|-----|
| 1  | Barrio    | 프랑스  | Ecole Nation& des Pans et Chausstes | 1998 | Analysis of the green roofs cooling potential in buildings                                      | Energy and Buildings     | 244 |
| 2  | Wong      | 싱가포르 | National University of singapore    | 2003 | Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment                 | Building and Environment | 229 |
| 3  | Getter    | 미국   | Michigan State University           | 2006 | The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development                                    | Hort Science             | 223 |
| 4  | Rosenfeld | 미국   | Lawrence Berkeley Laboratory        | 1995 | Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates                          | Energy and Buildings     | 210 |
| 5  | Alexandri | 영국   | Cardiff University                  | 2008 | Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates | Building and Environment | 209 |

- 가장 많은 논문을 발표한 국가는 유럽으로 나타났으며, 다음으로는 미국, 중국, 일본 순으로 나타남
  - 우리나라의 경우, 열섬저감을 위한 도시인프라 시공·구축 기술 관련 KCI 논문은 지속적으로 발표되고 있으나 SCI(SSCI)에는 게재하지 못하고 있어 국제적 수준에 도달하지 못한 것으로 나타남. 따라서 해당 분야의 적극적인 연구개발이 필요할 것으로 판단됨

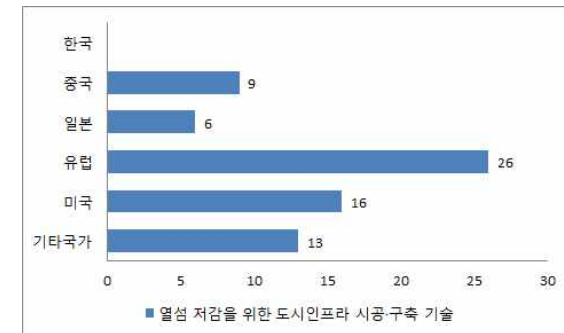


그림 2-100. 열섬저감을 위한 도시인프라 시공·구축 기술 관련 국가별 논문 추이

## 제2절 기술수요조사

### 1. 기술수요조사 개요

- 제안된 연구의 틀을 보다 발전시킬 수 있는 신규 기술을 발굴하고, 최종 연구성과물에 대한 수요를 파악하기 위하여 기술수요조사를 실시함

#### 가. 기술수요조사 대상 선정

##### (1) 기술수요조사 대상 선정 방법

- 기술수요조사대상은 전수조사가 불가능하므로 사회과학조사방법론에 의거하여 다음의 표본추출 방법을 사용하여 기술수요조사대상을 선정함
- 할당표본추출법(Quota Sampling): 일정한 분류기준에 의해 전체 표본을 여러 집단으로 구분하고 각 집단별로 필요한 대상을 사전에 정해진 비율(Prespecified Quota)로 추출하는 방법
- 판단표본추출법(Judgement Sampling): 조사자가 목적에 적합하다고 판단하는 대상을 선택하거나, 표본의 선택기준을 정해놓고 선택된 표본에 대한 자료를 검토하여 가장 적합한 대상을 선별하는 방법

##### (2) 기술수요조사 대상 선정

- 기술수요조사는 예상되는 연구성과물이 활용될 수 있는 최종 수요처를 공공계, 민간산업계, 학계/연구계로 구분하여 각 부문별로 약 50명씩 총 150여명의 조사 대상자를 선정함

표 2-44. 기술수요조사 대상 선정

| 구분     |                     | 기술수요조사 대상                                     |
|--------|---------------------|---|
| 공공계    | 지자체                 | 전국 주요 대도시, 평균기온이 높게 나타나는 도시 관련 업무 담당 공무원      |
|        | 공기업                 | 한국토지주택공사, 주요 도시 산하 도시공사 소속 관련 업무 담당자          |
| 산업계    | 도시계획 및 설계, 개발, 시공업체 | 건설회사, 엔지니어링업체, 건축사사무소 등 관련 업체 실무자             |
|        | SI업체                | 도시계획 및 관리, 환경분석 등 관련 분야 전문 SI업체 실무자           |
| 학계/연구계 | 대학교                 | 도시계획, 도시설계, 환경계획 등 관련 학과 교수                   |
|        | 연구원                 | 관련 국책연구원, 공기업 산하 연구원, 주요 지자체 소속 연구원의 연구위원급 이상 |

- 공공계 중 지방자치단체는 특별시 및 광역시를 포함하는 대도시와 인공위성 영상을 활용하여 기온이 높게 나타나는 수도권 내 주요 도시를 대상으로 선정하여 도시계획과, 환경정책과, 기후변화대응과 등 관련부서 담당자를 선정함

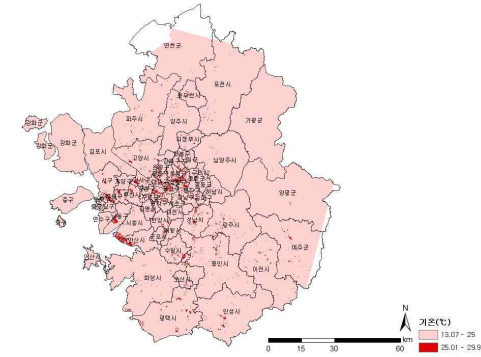


그림 2-101. 수도권 시군구별 기온 현황

- 공기업은 특성상 공공계로 분류하여 도시계획 및 개발 업무를 담당하고 있는 한국토지주택공사와 주요 대도시의 도시공사(SH공사, 인천도시공사, 부산도시공사, 경기도시공사, 대전도시공사 등)를 대상으로 기술수요조사 대상을 선정함
- 민간산업계는 도시계획 및 설계, 개발, 시공 등의 업무를 담당하는 주요 기업들과 도시의 계획 및 관리, 도시환경분석 등에 대한 시스템 제작업체를 조사 대상으로 선정함
- 학계/연구계 중 학계의 경우, 국내 주요 대학의 도시공학 또는 도시계획과 등 관련 학과에서 도시계획 및 설계, 환경계획 등을 전문분야로 하는 교수들을 대상으로 선정함. 또한 연구계는 국토연구원, 환경정책연구원 등을 포함하는 국책 연구기관과 한국토지주택공사 토지주택연구원 등의 공기업 산하의 연구원, 서울연구원, 경기개발연구원, 인천발전연구원 등 주요 지자체의 연구원에서 관련 업무를 담당하고 있는 연구위원급 이상을 대상으로 선정함

#### 나. 기술수요조사 대상별 조사방법

- 기술수요조사는 지자체 소속 공무원을 대상으로 하는 관련 업무과정에 필요한 기능 및 활용방안, 도입·활용의사 등에 대한 조사와, 업계(공기업, 민간기업) 및 학계/연구계를 대상으로 실무에 필요한 기술을 발굴하기 위한 조사로 구분하여 진행함

##### (1) 공무원 대상 기술수요조사

- 설문지 구성
  - 열환경 문제 발생 여부
  - 열환경 문제 종류 및 현재 수립·시행하고 있는 대책

- 열환경 문제 해결을 위해 필요한 기술
- 연구성과물 적용 가능 업무분야
- 연구성과물 적용시 기대효과
- 연구성과물 도입·활용 의사

(2) 기업(공기업/민간기업), 학계, 연구계 대상 기술수요조사

- 설문지 구성
  - 제안 기술명
  - 제안 기술의 연구목표, 기술정의, 동향, 기술수준
  - 제안 기술의 중요성 및 정부지원 필요성
  - 제안 기술의 주요 연구내용 및 최종 성과물
  - 예상 연구비 및 연구기간
  - 기대효과 및 파급효과

## 2. 기술수요조사 결과

### 가. 기술수요조사 일정 및 회신 결과

(1) 기술수요조사 진행 일정

- 기술수요조사서를 e-mail로 발송하여 회신하는 방식으로 기술수요조사를 실시하되, 1차 회신 이후 회신이 미흡한 조사대상 부문은 신규 기술수요조사 대상을 선정한 후 2차 e-mail 발송 및 회신을 진행함

표 2-45. 기술수요조사 진행 일정

| 일시                 | 기술수요조사 진행사항           |
|--------------------|-----------------------|
| 2014.01.27 ~ 02.07 | 기술수요조사 대상 선정          |
| 2014.02.10 ~ 02.21 | 기술수요조사서 작성            |
| 2014.02.28         | 기술수요조사서 1차 배포         |
| 2014.03.12         | 기술수요조사서 회신            |
| 2014.03.13 ~ 03.15 | 기술수요조사서 정리·분석         |
| 2014.03.16 ~ 03.17 | 신규 기술수요조사 대상 선정       |
| 2014.03.17         | 기술수요조사서 2차 배포         |
| 2014.03.21         | 기술수요조사서 회신            |
| 2014.03.22 ~ 03.24 | 기술수요조사서 정리·분석         |
| 2014.03.24 ~ 03.28 | 기술수요조사 결과 정리 및 시사점 도출 |

(2) 기술수요조사서 회신 결과

- 2회에 걸쳐 총 152부의 기술수요조사서를 배포한 후, 약 13%에 달하는 총 20부의 기술수요조사서를 회신함
- 회신된 기술수요조사서의 구성비율을 살펴보면, 지자체에서 회신된 기술수요조사서의 비율이 35%로 가장 높게 나타났으며, 민간기업과 연구원에서 회신된 기술수요조사서가 각각 25%를 차지하고 있음

표 2-46. 기술수요조사 진행 일정

| 구분     |     | 발송부수(구성비율) | 회신부수(구성비율) | 회신율 |
|--------|-----|------------|------------|-----|
| 공공계    | 지자체 | 22 (14%)   | 7 (35%)    | 32% |
|        | 공기업 | 33 (22%)   | 2 (10%)    | 6%  |
| 민간산업계  |     | 44(29%)    | 5(25%)     | 11% |
| 학계/연구계 | 대학교 | 37 (24%)   | 1 (5%)     | 3%  |
|        | 연구원 | 16 (11%)   | 5 (25%)    | 31% |
| 계      |     | 152 (100%) | 20 (100%)  | 13% |

## 나. 기술수요조사 결과

(1) 기술수요조사를 통해 도출된 기술

- 기술수요조사를 통해 총 34개의 기술이 제안되었음

표 2-47. 기술수요조사 제안 기술

| 연번 | 기술명   |
|----|---|
| 1  | 도로포장에서 발생하는 열섬 기여효과 모델링   |
| 2  | 미기후 발생원인의 분석(도시열섬, 바람길, 기후변화의 요인 분석) 기술                                     |
| 3  | 건물의 실내온도 변화에 따라 해당 지역의 실외 온도 변화에 대한 조사 및 분석기술                               |
| 4  | 녹화에 의한 미기후 발생 저감 효과 측정 기술   |
| 5  | 열환경평가지표 개발  |
| 6  | 열쾌적성에 기인한 취약지수 산정 및 열취약 등급도 작성기법 개발   |
| 7  | 열환경 악화가 도시 요소에 미치는 영향의 계량화 기술   |
| 8  | 도시 녹색기반시설의 회복탄력성 평가를 위한 정량화 기법  |
| 9  | 도시내 녹화 우선순위 결정 모형   |
| 10 | 도심 녹지공간 확대, 가로수 및 유희공간 수목식재 확대, 옥상녹화, 벽면녹화, 수공간 계획(설계) 기술                   |
| 11 | 도심 내 열환경 개선효과 시뮬레이션기술   |
| 12 | 도로의 열 수준 예측기술   |
| 13 | 도시열환경 예측모델 구축을 위한 DB 및 시스템 설계 기술  |
| 14 | 2차원 열환경 분석기법의 3차원 전환기술  |
| 15 | 건축물 반사광에 의한 열환경 변화 추적기술   |
| 16 | 대기오염 모니터링 및 분석기술  |
| 17 | 열환경 관련요인 도출 및 요인간 관계 파악   |
| 18 | 시민체감형 도시열섬현상 개선(완화)기술 개발  |
| 19 | 단기적, 지역적 열완화 및 분산기술   |
| 20 | 용도지역, 건물 배치, 바람 통로, 식재 방법 등의 개선에 의한 열환경 향상효과 분석기술                           |
| 21 | 도심 재개발사업에 적용가능한 열섬저감 기법   |
| 22 | 건축물 배치 등 (계획)환경적응형 설계기법   |
| 23 | 기후변화 적응형 도시관리체계 구축: Contextual Zoning 및 Form Based Code 기반의 기후변화 적응형 도시관리체계 |
| 24 | 도로표면 쿨링 시스템 개발  |
| 25 | 도로포장재의 열전도율 저감기법  |
| 26 | 건축물 재료 설계기법   |
| 27 | 장기적, 거시적 관점의 기후변화 대응·적응책 수립   |
| 28 | 도시계획 및 설계에서 도시열환경 설계 및 관리 지침 개발   |
| 29 | 생태도시기본계획 수립을 위한 관련부문 체계 및 역할 정립   |
| 30 | 기후변화 대비, 탄소 제로 도시, 에너지절약형 도시 조성을 위한 도시계획적, 건축적 계획항목 의무화                     |
| 31 | 옥상녹화 장려를 위한 법/제도 개발   |
| 32 | 도시체계에서 개발 시스템의 활용방법   |
| 33 | 기존 평가제도와와의 통합평가   |
| 34 | 도시계획시설 설치(녹화 조성)에 따른 편익의 분석   |

- 공공계에서는 열환경 개선을 위한 계획 및 설계기법과 그에 따른 효과를 분석하기 위한 기술, 그리고 이를 법제화 또는 제도화하기 위한 방안에 대한 수요가 높게 나타났음. 그 외에 열섬현상 및 대기질 등의 모니터링 및 분석에 대한 필요성이 제기됨
- 민간기업의 경우 도시인프라 시공기술에 대한 수요가 높은 것으로 나타났으며, 그 이외에 시민이 체감할 수 있는 열환경 개선 모형, 열환경분석을 위한 시스템의 개발 및 고도화, 도시개발 사업별 적용 가능한 열섬저감기법, 열섬저감을 위한 도시인프라 시공의 우선순위 결정 방법, 열에너지 등의 이용에 관한 기술에 대한 수요가 있는 것으로 나타남
- 학계 및 연구계의 경우 열환경 분석을 위한 DB 구축 및 미래 열환경 예측 시스템, 기후변화 적응을 위한 도시관리체계 및 제도, 열환경 개선효과를 시뮬레이션 할 수 있는 시스템에 대한 수요와 함께, 열환경 및 취약성을 평가할 수 있는 지표에 대한 필요성이 제기됨

(2) 지자체 적용가능 업무분야, 기대효과, 활용의사

- 예상되는 연구성과물 또는 지자체 업무에 필요한 기술이 개발되었을 경우 적용가능한 업무내용 및 기대효과를 지자체 공무원을 대상으로 조사함
- 도시계획심의, 건축심의, 환경영향평가와 기타 분야로 구분하여 총 19개 업무분야에 적용이 가능한 것으로 나타남
  - 도시계획심의: ‘입지의 적정성 판단’, ‘종합적인 환경영향 검토’, ‘바람길 조성’ 등의 업무에 적용가능하다는 의견이 제시되었으며, 기대효과로 ‘심의근거 확립’, ‘심의기간 단축’ 등 도시계획 심의과정상에 객관성을 확보하고 업무효율을 향상시킬 수 있을 것으로 기대효과가 나타남
  - 건축심의: ‘건축물 배치’, ‘조경계획’에서 주로 활용이 가능할 것으로 조사됨. 그 외 ‘인센티브 항목의 확대 및 축소 검토’, ‘공개공지 조성 기준 확립’ 등도 연구성과물 활용이 가능한 분야로 제시됨. 예상되는 연구성과물 활용시 기대효과는 각종 규제 및 제도 적용시 객관적인 근거를 제시할 수 있으며, 각종 세부 기술들을 건축 또는 조경에 직접 활용할 수 있을 것으로 기대되고 있음
  - 환경영향평가: ‘지형’, ‘수환경’ 등의 평가와 관련된 업무가 적용가능한 업무로 파악되었으며, 자연지형, 하천 등을 보존하기 위한 객관적인 기준을 확립하거나 근거를 제시하는 용도로서 기대효과가 제시됨
  - 기타 분야: 각종 도시 및 건축관리계획에서 ‘지구단위계획 수립’과 관련한 인센티브 항목의 확대 및 축소 등에 대한 검토에서 활용가능하다는 의견이 도출되었으며, ‘개발행위 허가’ 관련 업무에서는 입지규제 및 적정성을 판단가능하다는 의견이 제시됨

- 앞서 제시된 적용가능 업무내용과 기대효과에 대한 업무향상정도는 상·중·하로 구분하여 조사한 결과 ‘중간정도 향상’ 될 것으로 기대된다는 의견이 두드러지게 나타났으며, 업무향상정도가 큰 업무로는 ‘건축물 배치’, ‘원형지 보존’ 등의 업무에서 큰 효과가 있을 것으로 조사됨. 업무향상정도가 낮은 업무로는 ‘심의기간 단축’, ‘건물 인동간격 검토’, ‘건축물 향 검토’ 등으로 조사됨
- 본 시스템 개발시 도시계획심의, 건축심의 등 다양한 심의과정단계에서 적용가능하며, 객관성 향상, 심의기간 단축 등 다양한 효과가 유발될 것으로 기대됨. 적용 업무 분야에 따라 업무향상정도는 차이가 발생하지만 궁극적으로 이러한 시스템 개발을 통해 공무원들의 업무향상도는 증진될 것으로 기대됨

표 2-48. 최종 연구성과물 적용 분야 및 기대효과

| 단계                    | 적용가능 업무내용              | 기대효과                     | 업무향상도     |   |   |
|-----------------------|------------------------|--------------------------|-----------|---|---|
|                       |                        |                          | 상         | 중 | 하 |
| 도시계획심의                | 입지의 적정성 판단             | 심의 객관성 향상                |           | ○ |   |
|                       |                        | 심의기간 단축                  |           |   | ○ |
|                       | 개발밀도에 따른 경관성 검토        | 심의 객관성 향상                |           | ○ |   |
|                       |                        | 심의 객관성 향상                |           | ○ |   |
|                       | 환경영향 종합검토              | 다양한 대안 설정                |           |   | ○ |
|                       |                        | 바람길 조성                   | 심의 객관성 향상 |   | ○ |
|                       | 용적률, 건폐율의 검토           | 심의 정확도 향상                |           | ○ |   |
|                       |                        | 심의기간 단축                  |           | ○ |   |
|                       | 오픈스페이스 관련 업무           | 오픈스페이스 조성의 근거 확립         |           | ○ |   |
|                       | 주변지역 환경 오염 조사          | 심의 정확도 향상                |           | ○ |   |
| 제도개선 및 신설에 대한 근거자료 마련 |                        |                          | ○         |   |   |
| 고도 제한 관련 업무           | 일조권 제공의 근거 확립          |                          |           | ○ |   |
|                       | 통경축 설정의 근거 확립          | ○                        |           |   |   |
| 건축심의                  | 건축물 배치 관련 업무           | 건축물 배치계획 검토              | ○         |   |   |
|                       |                        | 인동간격 검토                  |           |   | ○ |
|                       |                        | 건축선 후퇴의 근거 확립            |           | ○ |   |
|                       |                        | 건축물 향 검토                 |           |   | ○ |
|                       | 조경계획 관련 업무             | 조경면적 설정 기준 확립            |           | ○ |   |
|                       |                        | 다양한 식재 방안 검토             |           |   | ○ |
|                       | 다양한 투수포장 방법, 벽면녹화방법 검토 |                          |           | ○ |   |
|                       | 다양한 열차단기술 적용방법 검토      |                          |           | ○ |   |
| 인센티브 확대               | 인센티브 항목 확대 및 축소 검토     |                          | ○         |   |   |
| 공개공지 조성               | 공개공지 조성 기준 확립          |                          | ○         |   |   |
| 환경영향평가                | 생태면적률 관련 업무            | 생태면적률 기준 확립              |           | ○ |   |
|                       | 바람길 설정                 | 바람길 조성을 위한 근거 확립         |           | ○ |   |
|                       |                        | 원형지 보전을 위한 기준 확립         | ○         |   |   |
|                       | 지형                     | 지형을 고려한 설계 기준 확립         |           |   | ○ |
|                       |                        | 저류지, 유수지 입지 및 용량 등 관련 평가 |           |   | ○ |
|                       | 수환경                    | 실개천, 소하천 보존 관련 업무        |           |   | ○ |
| 스카이라인                 | 스카이라인 보존 관련 업무         |                          |           | ○ |   |
| 기타                    | 지구단위계획 수립              | 인센티브 항목 확대 및 축소 검토       |           | ○ |   |
|                       | 개발행위허가                 | 입지규제 및 적정성 판단            |           | ○ |   |

- 최종 연구성과물이 도출되었을 경우 활용의사를 사전에 타진해본 결과, 회수된 총 5개의 지자체 모두 최종 연구성과물인 ‘기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템’을 실무에 활용할 의사가 있는 것으로 나타남. 따라서 연구 기획단계에서부터 활용의사가 있는 지자체의 관련업무 담당 공무원과 지속적인 협의를 통해 최종 연구성과물을 지자체에서 활용할 수 있는 방안을 강구하려는 노력이 필요한 것으로 나타남

표 2-49. 지자체별 활용의사 조사 결과

|                     |                                 |
|---------------------|---------------------------------|
| 기술수요조사 대상 지자체 수     | 11                              |
| 기술수요조사서 회신 지자체 수    | 5                               |
| 연구성과물 활용의사 밝힌 지자체 수 | 5<br>(조사대상 지자체 중 45%)           |
| 비고                  | 서울특별시, 인천광역시, 대구광역시, 광주광역시, 경기도 |

### 제3절 기술개발 추진방향

#### 1. 동향분석 및 수요조사 시사점

##### 가. 시장 및 산업동향 시사점

- “기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템 기술”은 도시열섬의 원인과 기후변화의 원인을 분석하는 기술, 분석된 결과를 이용하여 도시의 열환경을 개선할 수 있는 도시를 계획하고 설계하는 기술, 도출된 최적의 도시설계방안에 따라 도시를 건축하는 기술을 포함할 수 있음
  - 도시열섬의 원인 및 기후변화의 원인을 분석하는 기술은 환경시장을 대상으로 하며, 분석 결과를 이용하여 도시의 열환경을 개선할 도시를 계획하고 설계하는 기술은 정보통신시장을 대상으로 하며, 도시를 건축하는 기술은 건설시장을 대상으로 함
  - 따라서, 본 과제와 관련 대상기술은 건설시장, 환경시장 및 정보통신시장 중 어느 하나의 시장을 목표 시장으로 설정하기 보다는 건설시장, 환경시장 및 정보통신시장 모두를 목표 시장을 설정하는 것이 바람직함
- 건설시장 중 녹색 건축/건설시장, 환경시장 중 기후산업 시장 및 환경컨설팅 시장, 정보통신시장 중 재난분석평가기술 시장 등에 본 기술의 진입이 가능하며 각 시장은 향후 지속적으로 성장할 것으로 기대됨
- 그러나, 본 연구과제와 관련된 대상기술은 공공재(公共財)로서의 성격이 매우 강함. 이러한 이유로 인해 “기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리 시스템 개발 기술”과 직접적으로 관련된 시장이 현재 형성되어 있지 않으며 향후에도 이를 독점할 수 있는 단일의 시장은 확대되기 어려울 것으로 예상됨

##### 나. 국내의 기술동향 시사점

###### (1) 특허동향 분석 결과 시사점

- 현재까지 출원 공개된 국내·외 공개/등록특허를 검색한 결과, 실질적으로 분석대상이 되는 특허가 총 421건으로 나타났는데, 이는 다른 기술 분야에 비해 적은 건수로 최근 도시열섬 현상에 대한 관심과 투자가 증가함에도 불구하고 특허활동이 상대적으로 저조한 것을 의미하므로 향후 기술개발의 여지가 높은 것으로 판단됨
- 국가별 특허 점유율을 살펴보면, 총 421건 중 일본특허가 228건(54%)을 차지하여 가장 높은 점유율을 보이고 있고, 그 뒤를 이어서 한국특허가 144건(34%)으로 두 번째로 높은 점유율을 보이고 있음
- 기술분야별 특허 점유율을 살펴보면, ‘열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축(AD)’ 기술분야가 75%를 차지하여 압도적인 점유율을 보이고 있음. 반면, 거시적

인 측면을 다루는 ‘열환경 모니터링’, ‘열환경 예측 시뮬레이션’ 및 ‘열환경 설계/관리를 위한 의사결정 지원’ 기술분야는 각각 3%, 19% 및 3%로 점유율 특허활동이 상대적으로 저조한 것으로 나타남

- 그러나, 2000년대 후반 이후 시공 기술분야에 속하는 ‘열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축’ 기술분야 특허출원이 급격히 하락하고 있음. 이와 대조적으로 시스템 기술분야에 속하는 ‘열환경 모니터링’, ‘열환경 예측 시뮬레이션’ 및 ‘열환경 설계/관리를 위한 의사결정 지원’ 기술분야 특허출원이 점차 증가하고 있어 도시 열환경 관련하여 시스템 기술분야의 발전 추이가 지속될 것으로 예상됨
- 시공 기술분야에 속하는 ‘열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축’ 기술분야는 기술적 성숙도가 높은 관계로 신규기술의 개발이나 후발업체의 진입이 상대적으로 어려울 것으로 판단됨
- 설계 및 관리 시스템 기술분야에 속하는 ‘열환경 모니터링’, ‘열환경 예측 시뮬레이션’ 및 ‘열환경 설계/관리를 위한 의사결정 지원’ 기술분야의 경우 특허활동이 상대적으로 저조한 것으로 미루어 보아 기술개발의 여지가 높고 후발업체의 진입이 상대적으로 수월할 것으로 판단됨

###### (2) 국내·외 기술 동향 분석 결과 및 시사점

- 열환경 모니터링 기술
  - 대부분 도시의 열섬 현상의 현황을 분석하는 정도에 그치고 있으며, 분석 결과를 이용하여 기후변화의 원인과 연계시키는 기술, 도시 열섬의 원인을 파악하고 그 결과를 이용하여 도시의 열환경을 설계하고 관리하는 기술과 연계시키는 시도는 부족함
  - 또한, 열섬취약지역을 분석하는 기술과 열섬취약지의 유형을 분석하는 기술 등과 같이 도시의 유형별 또는 위계별로 열섬취약지역을 분석하는 기술은 시도된 바가 없는 것으로 파악됨
- 열환경 예측 시뮬레이션기술
  - 우리나라에서도 최근 개발이 이루어지고 있으나 선진국 대비 기술격차가 큰 것으로 파악됨
  - 기후변화에 보다 적극적으로 대처하기 위해서는 중·장기적 차원에서 미래 기후변화 시나리오에 기초한 열섬현상 예측 및 시뮬레이션이 수반되어야하나, 전 세계적으로 기후변화와 연계하거나 기후변화 시나리오를 기반으로 하여 미래 도시의 열환경을 예측하고 시뮬레이션 하는 기술 개발이 미흡함
  - 다양한 위계 및 유형의 도시공간과 인프라의 열섬발생 및 저감 메커니즘이 다르고, 상호 복잡한 연계를 갖고 있음. 열섬 현상을 정확하게 이해하기 위해서는 각 요소들

- 의 효과를 구체적으로 해석하고 이들 간의 상호관계를 종합적으로 분석해야 함
- 열섬현상의 정확한 진단을 위해서는 도시 열환경 역추적을 통해 열 발생 및 저감원의 규모, 위치를 정확하고 구체적으로 파악해야 함
- 열섬저감은 대기오염의 정화, 돌풍의 예방, 에너지소비량 저감, 도시민의 보건학적 혜택 등과 같은 부가효과가 있음. 따라서 열섬현상 저감 대책에 따른 부가적 효과 분석도 요구됨
- 열환경 설계/관리를 위한 의사결정지원 기술
  - 주로 독일, 일본 등에서 개발되고 있으며, 도시 미기후분석을 통해 도시계획의 의사결정을 지원하기 위한 시스템과 프로그램이 개발됨
  - 다른 기술분야와 달리 한국에서도 해당 기술분야에서 적지 않은 성과를 거두고 있으나, 도시 공간 유형과 다양한 도시인프라에 대한 고려는 미흡함
  - 도시차원에서 열섬저감대책 수립을 위해서는 다양한 도시공간유형을 고려한 분석체계가 구축되어야 함
  - 도시, 건축, 토목, 조경 등과 같은 다양한 분야의 특성과 중요도를 통합적으로 고려하여 기후변화 대응 효과를 분석·평가하고, 이에 기반한 설계 및 관리기법이 마련되어야 함
- 도시 인프라 시공/구축 기술: 국내외에서 시행되고 있는 대부분의 기술들이 Green, Grey, Blue 인프라 시공 내지 조성기술에 국한되어 있음
- 이상의 기술트리별 기술동향 분석을 통해 본 과제에서는 다음과 같은 기술개발이 필요할 것으로 판단됨
  - 도시 열환경 설계 및 관리를 위한 과학적 의사결정지원 도구 개발
  - 도시공간 위계 및 유형별 도시공간과 인프라의 특성에 따른 열섬발생 및 저감 메커니즘의 차이를 고려한 기술 개발
  - 도시 내 인프라간의 상호관계를 고려한 종합적인 접근
  - 기후변화와 연계 가능한 기상(미기후) 모델의 개발

#### 다. 국내외 정책동향 시사점

- 기후변화에 따른 도시열섬문제 해결을 위한 정책입안이 필요하다는 관점에 대해 국가적 공감대 형성
  - 도시규모에서의 열섬현상 저감은 도시계획이나 인프라계획과 건설과 같이 중앙정부 차원에서 제도의 틀 안에서 행해야 하는 것들이 다수 존재함
  - 그러나 주관부처 간의 상호 협력에 의한 통합적인 정책은 미흡한 실정임
  - 또한, 기후변화와 관련한 정책의 일부로서 열섬저감이 다뤄짐에 따라 선진국에 비해 구체성이 결여 됨. 특히, 기후변화와 열섬 현상을 과학적으로 연계하여 도시의 열섬

- 원인을 분석하고 열환경 계획 및 설계를 위한 정책적 기반 조성은 미흡함
- 기초지자체에서 실질적인 도시열환경 설계 및 관리 정책을 수행하고 있으나 옥상녹화, 벽면녹화, 바람길 조성이 증점사항으로 채택되고 있을 뿐이며, 기후변화와 연계하여 도시열을 관리하고 모니터링하는 종합적 상호 연계 정책은 없는 실정임
- 열섬저감정책의 실효성을 확보하기 위해서는 다양한 도시공간 유형을 고려한 과학적 열환경 평가 도구 및 계획체계의 구축이 필요함. 특히, 바람길과 같은 열섬현상 완화 대책은 건물이나 도시공간 및 인프라의 계획과 설계와 연계되어 있기 때문에 중앙정부 차원에서의 종합적인 대책 마련이 필요함
- 열섬현상에 대한 정확한 진단과 대책 마련을 위해서는 도시공간 유형별 열섬현상과 관련된 다양한 요소를 종합적으로 고려한 과학적 분석 및 계획체계가 구축되어야 함
- 주요 선진국에서는 열섬현상에 대한 대책을 강화하기 위해 모니터링 및 분석 체계를 구축하여 실제 공간계획에 적용하고 있음. 열섬현상에 대한 정확한 진단과 구체적 대책 마련을 위해서는 열섬현상과 관련된 복사열, 바람, 대기오염, 증발산 등의 다양한 요소를 종합적으로 고려한 분석 및 계획체계가 구축되어야 함

#### 라. 국내외 연구동향 시사점

- (1) 연구과제 동향 분석 결과 및 시사점
  - 기후변화에 대비하여 도시의 열섬현상을 분석하고 모니터링하여 도시 열환경을 설계하고 관리하는 기술에 관한 연구는 이루어진 바가 없음
    - 분석 대상지에 대한 실측 또는 통계모형을 통한 기온추정방법이 주로 이루어지고 있음. 도시 내 정확한 열섬발생원과 저감원을 파악하기 위해서는 열환경 역추적과 같은 과학적 시뮬레이션에 기반한 모니터링체계 구축에 관한 연구가 필요함
  - 기존 연구에서는 토지피복, 토지이용, 건축물 등이 열환경에 미치는 영향을 개별적·부분적으로 분석하는데 그치고 있음. 도시 내 열환경을 정확하게 파악하기 위해서는 인간활동 및 토지이용, 건축물, 토지피복, 기상조건 등의 다양한 요인을 종합적으로 고려한 메커니즘에 대한 연구 및 분석이 요구됨
  - 도시열환경 분석에 특화된 설계 및 관리 시스템에 관한 연구가 필요함
    - 지금까지의 도시열환경과 관련된 시스템 대부분이 도시 미기후 예측 프로그램의 일부로서 다양한 도시공간 요소들의 상호관계를 구체적으로 반영하지 못하는 한계가 있음
    - 분석의 초점 역시 기후예측으로 한정되어 있기 때문에 열쾌적성, 대기오염 등과 연계한 세부적인 분석 및 도시유형별 특성에 따른 열환경 분석에 한계가 있음
    - 또한, 분석 규모도 단지 및 도시 일부지역으로 제한되어 도시 및 지역차원에서의 분

석은 제한되었음. 따라서, 도시열환경 관리를 위한 설계 및 관리에 특화된 시스템 개발에 관한 연구가 필요한 상황임

- 도시열섬완화 대책과 관련하여 실행계획 수립과 구체화를 위한 추가적인 연구가 필요하며 기후변화 대응의 관점에서 다각적으로 접근하는 연구들이 요구됨. 특히, 도시열섬의 원인과 특성이 지역적으로 다르다는 것을 주지하고 이를 적절히 반영할 수 있는 세밀한 도시열섬완화 관련 연구가 요구됨
- 다음은 국내에서 기 수행된 R&D과제와의 중복성을 검토한 결과임

표 2-50. 국내 연구개발 과제와의 중복성 검토

| 과제명<br>(기관명, 연구년도)                                     | 연구내용  | 본 과제의 차별화/연계방안   |
|--|---|--|
| 도시표면온도 저감이 가능한 태양열 차단 보도블럭 개발<br>(국토해양부, 2012)         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 태양열 고반사 재료 및 Patterning 기술을 적용한 도시열섬 저감형 Hybrid 블록 개발</li> <li>• 지역별 도시열섬 특성을 고려한 Hybrid 블록의 최적 설계/시뮬레이션 프로그램 개발</li> </ul>  | <p>단일 유형의 도시인프라 대상<br/>↓<br/>열환경 개선을 위한 계획수립시<br/><b>Grey, Green, Blue 인프라의 통합적 고려</b></p> |
| 순환자원을 이용한 도시 열환경 개선용 콘크리트 블록 개발<br>(중소기업청, 2013)       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 태양열 고반사 블록의 개발 및 제품성능평가</li> <li>• 태양열 고반사 블록의 에너지 점감효율 수치해석</li> </ul>  |  |
| 도시 열섬현상 저감용 보수 세라믹 블록 및 실용시스템 개발<br>(환경부, 2008)        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 원료에 따른 기공제어기술 확보</li> <li>• 보수 성능 향상을 위한 최적 표면 구조 설계 및 세라믹 보수 블록 샘플 성능평가</li> </ul>  |  |
| 순환골재 및 다공성 기포를 이용한 친환경 투수 흙콘크리트 개발<br>(중소기업청, 2012)    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기존 투수 콘크리트보다 투수성이 50%이상 높고, 포장 표면온도를 10도 이상 낮추면서, 일정 압축강도를 갖는 친환경 투수 흙콘크리트 제품 개발</li> </ul>  |  |
| 도시기상변화 대응 저탄소 건축녹화 복원모델 및 모니터링 기법개발 연구<br>(교육부, 2013)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내외 그린외피기술 수준과 기후환경 분석, 도입가능한 신재기반 및 식물선정</li> <li>• 모니터링을 통한 실증가능 모델 정립 및 탄소흡수능 정량화, 연간 냉난방 부하 산정, 경제성 분석</li> <li>• 건축물 유형별 적용가능한 벽면녹화시스템 Prototype 개발 및 효과 정량화</li> </ul> |  |
| 저비용 지속가능한 벽면녹화 유지관리 자동화 시스템 개발<br>(농림축산식품부, 2013)      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 벽면녹화시스템의 도시열섬 완화효과 모니터링</li> <li>• 저비용 고효율 벽면녹화 자동화 매뉴얼 개발 및 유지관리 기술 개발</li> </ul>   |  |
| 건축물 유형별 적용 가능한 벽면녹화시스템 Prototype 개발<br>(농림축산식품부, 2013) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 건축물 유형별 적용가능한 벽면녹화시스템 Prototype 개발 및 효과 정량화</li> <li>• 3D 모델링을 통한 시스템 설계</li> </ul>  |  |
| GIS를 이용한 도시주변산림의 도시열섬현상 영향효과 파악<br>(농림부, 2005)         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 위성영상을 이용한 열섬현상 파악 및 도시열섬 분포도 작성</li> <li>• 한국도시 지형, 식생 등을 고려한 모델 개발</li> </ul>   |  |

|  |   |   |
|--|---|---|
| 호소 주변지역 도시의 열섬현상완화효과에 대한 녹지정책의 개발연구<br>(환경부, 2003)                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시녹지의 열섬현상 저감효과 정량화 및 기존 및 습도분포도 제작</li> <li>• 환경친화적인 토지이용 및 도시녹지정책의 방향 제시</li> </ul>  | <p>도시 일부지역 대상 분석에 한정<br/>↓<br/><b>도시 전체규모 분석 가능</b></p>                               |
| 기후변화 대응형 도시 빗물관리시스템 연구<br>(국토교통부, 2013)                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시기후 개선형 빗물-기후 통합관리시스템 개발</li> <li>• 수해방지 및 수질개선형 분산식 도시 빗물관리 시스템 개발</li> <li>• 기후변화 대응형 도시 빗물관리시스템 3E(Efficiency, Ecology, Economy) 평가</li> </ul>       |   |
| 도시기후 변화 대응 생태단지 조성 기술 개발<br>(지식경제부, 2012)                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시차원 미기상분석 모델(Air City Model) 구축</li> <li>• 자족형 생태단지 공급처리시스템 모델 개발</li> <li>• 온도저감형 생태도시 계획모델 개발</li> </ul>  |   |
| VGIS 및 UCSS를 활용한 도시열섬현상 예측/제어기법 개발<br>(교육과학기술부, 2010)                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 해안 및 강변도시구조를 반영한 열섬현상 분석 및 DB 구축</li> <li>• 생태기후분석 맵 Prototype 개발 및 열섬 예측 제어기법 알고리즘 개발</li> </ul>  |   |
| 도시 연안 고층 건물군이 지역 기상환경변화에 미치는 열역학적 요인 분석<br>(교육부, 2013)                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 지상관측자료에 의한 장기 기상장 변동성 분석</li> <li>• 위성자료를 활용한 토지이용도 변동에 따른 반사도 특성 분석</li> <li>• 결합수치모형을 이용한 도심 열섬강도의 특성 변화 및 거칠기에 따른 지표면 열수지 특성 분석</li> </ul>            |   |
| 패적 환경도시계획을 위한 도시의 대기환경 계획제어 시스템구축 연구<br>(과학기술부, 2004)                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시건조화에 따른 도시기후환경 변화 특성 조사(대기오염 수송효과, 고층건물 후면부 대기질 평가)</li> <li>• 국지순환풍에 따른 도시열섬 저감량 평가 및 미래 토지이용 변화 예측도 작성</li> <li>• 토지이용도 변화에 따른 도시열섬포텐셜 평가</li> </ul> | <p>단일건축물에 대한 대안<br/>↓<br/><b>도시차원에서 열환경 개선안 제시, 도시열환경 개선을 위한 녹화기술 유형으로 성과를 연계</b></p> |
| Eco Vario 건축외장 시스템 기술 개발<br>(지식경제부, 2012)                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eco Vario 녹색 건축외장 시스템 기술 개발</li> </ul>   |   |
| 도시의 요철효과가 도시열섬에 미치는 기여도 평가 및 개선노력에 따른 도시열섬 완화효과의 평가<br>(교육과학기술부, 2008) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 실측 및 위성영상 분석 자료를 이용한 열환경 DB 구축</li> <li>• 건물방향, 포장 소재 개선 등에 따른 도시기온 평가</li> </ul>  |   |
| 도시열섬 저감 관련 전주시 시행 각 사업별 효과분석 등 모니터링<br>(환경부, 2006)                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 토지이용별 기온분포 조사</li> <li>• 풍향 및 풍속 변화 기초한 바람길 확보방안</li> </ul>  |   |
| 도시에너지 절감을 위한 지역특성에 따른 열섬현상 완화 방안에 관한 연구<br>(교육과학기술부, 2011)             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시규모, 특성, 유형에 따른 도시에너지 절감 효과 분석 및 열섬현상 완화 방안 분석</li> </ul>   |   |
| 복사환경 관측을 통한  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시열섬과 도시미기후 평가지표 개발 및 유효</li> </ul>  | <p>토지이용별 기온분포 조사<br/>↓<br/><b>토지이용을 포함한 다양한 도시공간유형별 기온분포 조사</b></p>                   |
|  |   | <p><b>에너지 사용량 저감에 따른 열섬현상 완화정도 파악</b></p>   |
|  |   | <p>자연열 중심의 열환경 및</p>  |

|   |   |   |
|---|---|---|
| 도시미기후 평가지표 개발과 도시별 열환경 특성 분석 (교육과학기술부, 2011)                          | 성 검증<br>• 도시유형별 복사환경 관측을 통한 도시열섬 및 도시미기후특성 평가   | 미기후 분석<br>↓<br><b>도시공간유형별 자연열 및 인공열의 열섬발생 메커니즘 분석</b>   |
| 전주시 미래지향적 도심열섬 저감방안 모니터링 (환경부, 2007)                                  | • 개발사업지구 특성에 따른 도시기후 변화요인 분석<br>• 건축물의 배치변화에 따른 풍속변화 분석 및 열섬저감효과 검증   | 단일건축물에 대한 대안<br>↓<br><b>다양한 도시공간유형별 도시설계 및 관리 대안 마련</b>   |
| 저탄소 도시건설을 위한 녹색환경정보시스템 구축 (교육부, 2012)                                 | • 공간자료를 이용한 교통오염지도, 열섬지도, 비오톱지도, 바람길지도 제작<br>• 통합적인 환경공간정보 제공을 위한 녹색환경정보시스템 구축                                      | <b>기초 DB 구축시 활용</b>   |
| 도시 기후환경 예측 시스템 및 미래 기후변화 예측 (교육부, 2013)                               | • 대도시지역의 기후환경 고해상도 통합예측 시스템 개발<br>• 온실가스 증가, 오염 배출에 따른 미래 도시지역의 기후환경 변화 예측  | 단순 미래기후 예측<br>↓<br><b>도시계획 및 관리 대안 적용시 열환경 향상효과 시뮬레이션</b><br>도시의 물리적 공간특성 고려, 위성영상을 활용한 기온예측모형<br>↓<br><b>다양한 도시공간유형 고려, 기후시뮬레이션기술을 통한 기온예측 고도화</b> |
| 도시 및 환경계획적 활용을 위한 현장측정 및 열적외 원격탐사 기반의 도시열섬 연구 방법론 개발 (교육부, 2013)      | • 도시의 물리적 공간특성에 따른 에너지 수지 및 미기후적 현상을 분석하고 위성영상 기반 표면온도를 활용한 기온예측모형 개발<br>• 도시열섬효과를 고려한 다양한 도시 및 환경계획적 시나리오 분석기법 개발  | ↓<br><b>쾌적성과 취약성을 동시에 고려한 평가기준 및 분석기술 개발</b>  |
| 도시 쾌적성 향상을 위한 도시계획 평가기준 및 기술개발 (교육과학기술부, 2013)                        | • 도시쾌적성 향상을 위한 평가기준 제시 및 기술개발   | ↓<br><b>열환경 모니터링 기법 개발에 연계 및 활용</b>   |
| 초고해상도 열적외 영상과 유비쿼터스 기상센서 기술을 이용한 폭염영향평가와 도시열건강환경 진단 기술 개발 (환경부, 2010) | • 테스트베드의 폭염관측망 가동 및 실시간 모니터링 운영<br>• 열환경 진단시스템 및 열건강 경보시스템 시범 적용<br>• 열취약성지역에 대한 고온-폭염 적응방안 및 열환경취약지역, 폭염가능지역의 개선방안 |   |
| 광주광역시 친환경적 도시 녹지 정책을 위한 도시의 열섬현상 저감 효과에 관한 연구 (환경부, 2003)             | • 도시온열 관련 자료 및 용도지역, 지표면환경별 열환경 특성 분석 및 도시 열섬저감효과 분석  |   |

(2) 논문동향 분석 결과 및 시사점

- 열섬 문제가 심각해짐에 따라 국내·외에서 관련 논문 건수가 지속적으로 증가하고 있음
  - 각 기술 트리별 국내·외 논문이 지속적으로 증가하고 있음
  - 특히 동향과 유사하게 논문도 시스템 기술 보다는 시공기술에서 논문이 많이 게재됨. 반면, 도시 열환경 설계 및 관리를 위한 의사결정 지원과 관련된 논문의 경우, 특히 및 기술 동향과 달리 활발하게 발표되고 있는 추세임
- 국내 KCI 논문이 꾸준히 증가하는 반면, 국제저명학술지(SCI, SSCI)의 게재 실적은 선진국 대비 매우 부족하여 국외 선진국 대비 학술적 수준은 낮은 것으로 판단됨
- 기 수행된 연구과제의 경우 단일 유형의 도시인프라를 다루고 있거나, 단순 건축 및 토목 재료에 대해 지엽적으로 연구가 수행됨. 이에 열환경 개선대책 수립에 있어 Green, Grey, Blue 인프라를 통합한 종합적 접근이 요구됨
- 분석단위는 일반적으로 단일 건축물 또는 도시의 일부지역으로 한정되었으나, 열섬현상은 도시 전체의 다양한 요소와 활동에 의해 종합적으로 나타나는 현상이기 때문에 도시 전체규모의 분석이 필요함
- 이외에 기존 연구에서 다루던 모니터링 기법, 시뮬레이션 기법 또한 분석 대상의 확장 및 기존 분석기법의 고도화가 본연구(실제연구)를 통해 가능함

마. 기술수요조사 시사점

- 기술트리에 따라 기술수요조사 결과를 분류한 후, 제안된 기술별 동향분석결과를 살펴보면 다음과 같음

표 2-51. 제안된 기술별 동향분석 결과

정책, 연구과제, 논문, 기술, 특허: 상:●, 중:○, 하:△, 없음:x  
시장: 목표시장 있음:○, 목표시장 없음:x

| 기술트리                        | 기술명   | 관련 동향 |    |          |    |    |
|-----------------------------|---|-------|----|----------|----|----|
|                             |   | 정책    | 시장 | 연구과제, 논문 | 기술 | 특허 |
| 열환경 모니터링                    | 도로포장에서 발생하는 열섬 기여효과 모델링                       | △     | x  | ○        | ○  | △  |
|                             | 미기후 발생원인의 분석(도시열섬, 바람길, 기후변화의 요인 분석) 기술       | △     | x  | ○        | ●  | △  |
|                             | 건물의 실내온도 변화에 따라 해당 지역의 실외 온도 변화에 대한 조사 및 분석기술 | x     | x  | x        | x  | x  |
|                             | 녹화에 의한 미기후 발생 저감 효과 측정 기술                     | △     | x  | ○        | ●  | △  |
|                             | 열환경평가지표 개발                                    | △     | ○  | ○        | x  | x  |
| 열쾌적성에 기인한 취약지수 산정 및 열취약 등급도 | △   | ○     | ●  | △        | x  |    |

|                               |   | 작성기법 개발 |   |   |   |   |
|-------------------------------|---|---------|---|---|---|---|
|                               | 열환경 악화가 도시 요소에 미치는 영향의 계량화 기술   | x       | x | x | x | x |
|                               | 도시 녹색기반시설의 회복탄력성 평가를 위한 정량화 기법  | △       | x | x | x | x |
| 열환경 예측<br>시뮬레이션               | 도심 내 열환경 개선효과 시뮬레이션기술   | △       | ○ | △ | ● | △ |
|                               | 도로의 열 수준 예측기술   | △       | x | ○ | ○ | x |
|                               | 도시열환경 예측모델 구축을 위한 DB 및 시스템 설계 기술  | ○       | ○ | ● | ○ | ○ |
|                               | 2차원 열환경 분석기법의 3차원 전환기술  | x       | ○ | △ | △ | x |
|                               | 건축물 반사광에 의한 열환경 변화 추적기술   | x       | x | △ | x | x |
|                               | 대기오염 모니터링 및 분석기술  | △       | ○ | ○ | ● | ○ |
|                               | 열환경 관련요인 도출 및 요인간 관계 파악   | △       | x | ○ | x | △ |
| 열환경 설계 및<br>관리를 위한<br>의사결정 지원 | 도시내 녹화 우선순위 결정 모형   | x       | ○ | △ | x | x |
|                               | 도심 녹지공간 확대, 가로수 및 유희공간 수목식재 확대, 옥상녹화, 벽면녹화, 수공간 계획(설계) 기술                   | △       | ○ | ● | ○ | x |
|                               | 시민체감형 도시열섬현상 개선(완화)기술 개발  | △       | ○ | △ | x | △ |
|                               | 단기적, 지역적 열완화 및 분산기술   | x       | x | △ | ○ | △ |
|                               | 용도지역, 건물 배치, 바람 통로, 식재 방법 등의 개선에 의한 열환경 향상효과 분석기술                           | △       | ○ | ● | ● | △ |
|                               | 도심 재개발사업에 적용가능한 열섬저감 기법   | △       | ○ | x | ○ | x |
|                               | 건축물 배치 등 (계획)환경적응형 설계기법   | △       | ○ | ○ | ○ | △ |
| 열섬저감을 위한<br>도시인프라<br>시공/구축기술  | 기후변화 적응형 도시관리체계 구축: Contextual Zoning 및 Form Based Code 기반의 기후변화 적응형 도시관리체계 | △       | ○ | ○ | x | x |
|                               | 도로표면 쿨링 시스템 개발  | △       | ○ | △ | △ | ○ |
|                               | 도로포장재의 열전도율 저감기법  | △       | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 기타<br>(기술트리 외)                | 건축물 재료 설계기법   | △       | ○ | ○ | ○ | ● |
|                               | 장기적, 거시적 관점의 기후변화 대응·적용책 수립   | ●       | ○ | △ | ○ | x |
|                               | 도시계획 및 설계에서 도시열환경 설계 및 관리 지침 개발   | ●       | ○ | △ | △ | x |
|                               | 생태도시기본계획 수립을 위한 관련부문 체계 및 역할 정립   | △       | ○ | △ | △ | x |
|                               | 기후변화 대비, 탄소 제로 도시, 에너지절약형 도시 조성을 위한 도시계획적, 건축적 계획항목 의무화                     | ○       | ○ | x | x | x |
|                               | 옥상녹화 장려를 위한 법/제도 개발   | ○       | ○ | △ | ○ | x |
|                               | 도시체계에서 개발 시스템의 활용방법   | ○       | ○ | △ | x | x |
| 기존 평가제도와의 통합평가                | x   | x       | x | x | x |   |
| 도시계획시설 설치(녹화 조성)에 따른 편익의 분석   | △   | ○       | △ | x | x |   |

- 동향분석 결과에 따르면 열섬발생 및 저감 메커니즘 분석에 대한 기술들은 이미 기술과 특허가 많이 있으므로 정체가 또는 쇠퇴기에 속함. 그러나 기존 연구과제들은 분석 대상이 단편적이거나 분석범위가 한정되어 있어 확장이 필요함
- 취약성 및 쾌적성 분석에 대한 기술은 시민이 체감할 수 있는 연구성과 도출이 가능하며, 기술개발의 여지가 많은 것으로 나타남
- 열환경 시뮬레이션기술은 개발의 필요성 정도가 보통으로 나타나지만, 기후변화 시나리오의 반영, 열환경 향상에 따른 유발효과, 열환경 설계 및 관리를 위한 의사결정지원 시스템에 대한 필요성이 높게 나타나므로, 이와 연계하여 통합적인 시스템의 개발이 요구됨

- 열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축기술은 이미 다양한 분야에서 연구 및 기술개발이 이루어졌기에 추가적인 연구의 필요성은 낮게 나타남

## 2. 연구역량 분석 및 SWOT 분석

### 가. 기술트리별 기술수준

- 기술수준 평가는 전문가 자문위원과 수요조사 설문을 통해 실시함. 열섬 관련 세계 선도 기술을 이끌어 가는 미국, 일본, 독일 등과 같은 선진국 대비 국내 기술 수준을 백분율로 조사함
- 4개의 기술군을 종합한 기후변화 적응형 도시 열환경 설계 및 관리 시스템의 종합적인 국내 기술수준은 선진국 대비 63.4%로 평가됨
- 우리의 기술수준은 열섬저감을 위한 도시 인프라 시공/구축 기술이 70.4%로 선도 기술에 가장 근접한 수준으로 나타났으며, 열섬저감을 위한 도시인프라 설계/관리 기술(69.2%), 도시열환경 설계/관리 기술(67.5%) 순으로 선진 기술에 근접한 것으로 나타남
- 반면, 기후변화 시나리오 분석은 49.3%로 선진국과 기술격차가 가장 크게 나타났으며, 이외에도 열섬 취약지역 분석(58.9%)과 열섬저감에 의한 유발효과 분석기술(61.7%)의 기술수준이 낮은 것으로 분석됨

표 2-52. 기술수준 조사표

| 대분류  | 중분류                         | 소분류                      | 선진국 대비 기술수준    |
|--|-----------------------------|--------------------------|----------------|
| 기후변화<br>적응형<br>도시 열환경<br>설계 및<br>관리<br>시스템 | 열환경 모니터링                    | 열섬발생/저감 모니터링             | 66.1%          |
|  |                             | 열섬 취약지역 분석               | 58.9%          |
|  | 열환경 예측 시뮬레이션                | 기후변화 시나리오 분석             | 49.3%          |
|  |                             | 열환경 시뮬레이션기술              | 64.3%          |
|  |                             | 열섬저감에 의한 유발효과 분석기술       | 61.7%          |
|  |                             | 열환경 설계/관리를 위한<br>의사결정 지원 | 도시열환경 설계/관리 기술 |
|  | 열섬저감을 위한 도시인프라 설계/관리 기술     |                          | 69.2%          |
|  | 열섬저감을 위한 도시 인프라<br>시공/구축 기술 | 도시 인프라 시공/구축 기술          | 70.4%          |
|  |                             | 기타 인프라 시공/구축 기술          |                |

**나. SWOT 분석 및 기술개발 방향 설정**

- 국내외 시장 및 산업, 기술, 정책, 연구 동향 분석결과와 수요조사 결과를 바탕으로 SWOT분석을 실시함. 외부환경 분석에서 파악된 기회·위협 요인과 내부역량 분석에서 파악된 강점·약점 요인을 연관시켜 본 과제의 기술개발 방향을 설정함

| 강점(Strength)   | 약점(Weakness)  |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 정책                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내 다수의 기초지자체에서 열섬저감을 위한 정책 수립</li> <li>- 건축물 녹화사업에 대한 인센티브 제공 활성화</li> </ul> </li> <li>▪ 시장                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 다양한 목표시장 존재(녹색 건축/건설시장, 기후산업 시장 및 환경컨설팅 시장, 재난분석평가기술 시장 및 GIS 시장)</li> </ul> </li> <li>▪ 기술                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 세계적으로 해당 분야의 관련특허를 주도(세계 2위)</li> <li>- IT 융합 첨단 기술 확보</li> </ul> </li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 정책                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 과학적 근거에 기초한 정책 수립 미흡</li> <li>- 열섬저감을 위한 구체적 가이드라인 제시 미흡</li> </ul> </li> <li>▪ 시장                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 직접적으로 관련된 시장 형성 미흡</li> </ul> </li> <li>▪ 기술                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 다른 기술분야에 비해 특허활동이 상대적으로 저조</li> <li>- 시스템 기술분야 보다 시공분야의 특허 점유율이 매우 높음</li> <li>- 기후변화와 연계한 열환경 분석기술 수준 미흡</li> <li>- 열환경 해석에 있어 도시 유형 및 위계에 대한 구체적 고려 미흡</li> <li>- 주요 선진국과의 기술 격차 존재</li> <li>- 열환경 분석 시스템과 도시계획과의 적용 미흡</li> </ul> </li> <li>▪ 연구                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수준 높은 연구 부족: 국제저명학술지 게재 건수 낮음</li> <li>- 기후변화 분석 수준 미흡</li> </ul> </li> </ul> |
| 기회(Opportunity)  | 위협(Threat)  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 정책                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국가차원에서 기후변화에 따른 도시열섬문제 해결을 위한 공감대 형성</li> </ul> </li> <li>▪ 시장                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 관련 시장의 빠른 성장 가능성</li> </ul> </li> <li>▪ 기술                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 열환경 설계 및 관리를 위한 시스템 기술분야의 신규개발 잠재성 풍부</li> <li>- 과학적 분석에 근거한 의사결정지원시스템의 개발 필요성 증대</li> </ul> </li> <li>▪ 연구                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기후변화 관련 연구 관심 증가</li> <li>- 열환경 관련 연구 및 논문의 건수 증가</li> </ul> </li> <li>▪ 기술수요조사                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 공무원, 민간기업의 관심 증대: 대부분 시스템이 다양한 심의에 활용 가능하다고 응답했으며, 업무 효율성이 향상될 것이라고 응답</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 정책                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 부처별 상호 협력에 의한 통합적 정책 미흡</li> <li>- 열섬저감보다는 기후변화 대응을 위한 정책의 일환으로 인식</li> <li>- 규제 위주로 시행될 경우 시민의 반발 예상</li> </ul> </li> <li>▪ 시장                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 공공재적 성격이 강하기 때문에 타 기술에 비해 사업화가 어려울 수 있음</li> </ul> </li> <li>▪ 기술                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시스템과 기술분야에 속하는 기술의 특허출원 증가</li> <li>- 기후변화의 불확실성</li> <li>- 도시의 열환경을 분석하기 위한 다양한 프로그램 개발</li> </ul> </li> <li>▪ 기술수요조사                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 도시계획 수립에 있어 과도한 행정절차 야기 가능</li> </ul> </li> </ul>  |

- SWOT분석결과에 기초하여 다음과 같이 대응전략 및 기술개발 방향을 설정함

표 2-53. 기술개발 방향

| 구분 | 대응전략 /기술개발 방향   |
|----|---|
| SO | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 중앙정부 및 기초지자체의 열섬저감 정책을 지원할 수 있는 시스템 개발</li> <li>• 관련 시장의 Need를 반영한 연구과제 도출</li> <li>• 국내 IT 기술과 열 환경 분석기술을 최대한 활용하여 해당 특허 점유율이 유지되도록 신 기술 개발</li> <li>• 신규 진입이 비교적 용이한 분야에 선택과 집중</li> </ul> |
| ST | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기후변화와 열섬현상을 종합적으로 고려한 연구 수행 및 관련 제도 개선안 제시</li> <li>• 민간기업의 Need를 고려한 연구목표 설정</li> </ul>   |
| WO | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시계획 및 설계에 있어 실질적으로 적용 가능한 의사결정 지원시스템 및 계획지원시스템 개발</li> <li>• 기존 국내 연구와 최대한 연계하여 기술을 개발하되, 선진국 수준과의 격차 해소(국제저명 학술지 게재 확대)</li> <li>• 관련 시장이 형성되도록 사업화 모델 개발</li> </ul>                       |
| WT | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 열섬 대응 관련 구체적 정책 수립이 가능하도록 과학적 근거 제시</li> <li>• 시민참여를 유도할 수 있는 제도 개선안 개발</li> <li>• 공공기관 뿐만 아니라 민간기업에서도 활용 가능한 콘텐츠 개발</li> </ul>  |

### 제3장 기술개발 전략 수립 및 연구내용 설정

#### 제1절 기술발전 시나리오

##### 1. 기술발전 시나리오

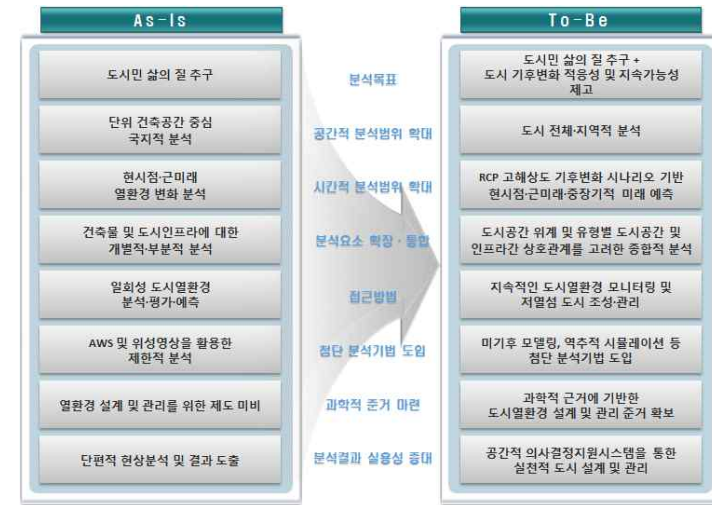


그림 3-1. 기술발전 시나리오

- 현시점에서의 열환경 분석기술은 도시민 삶의 질을 향상시키기 위해 개발되어왔으나, 미래 기후변화에 의한 피해가 심화될 것으로 예상되기 때문에 도시의 기후변화 적응성을 향상시켜 지속가능성을 제고해야 함
- 이를 위해 지금까지의 단위 건축공간 또는 국지적인 분석을 탈피하여 도시 전체 또는 지역적인 분석이 가능하도록 공간적 분석범위를 확장해야 하며, 시간적으로는 현시점만이 아니라 근미래를 포함하는 중장기적인 미래 예측이 가능해야 함
- 또한, 건축물 및 개별 도시인프라에 대한 부분적인 분석을 종합하여 도시공간유형에 따라 도시인프라의 상호연계작용을 고려하여 분석할 필요가 있음
- 첨단 분석기법을 도입한 시스템을 통해 일회성 도시열환경 분석 및 평가가 아닌 지속적인 도시열환경 모니터링 및 분석·평가가 이루어진다면, 저열섬 도시설계 및 관리를 실현할 수 있음
- 과학적 분석기법 도입을 통해 도시열환경 설계 및 관리를 위한 준거 수립이 가능하며, 공간적 의사결정지원시스템 개발을 통해 도시 설계 및 관리를 위한 실천방안을 도출할 수 있음

## 2. 기술로드맵

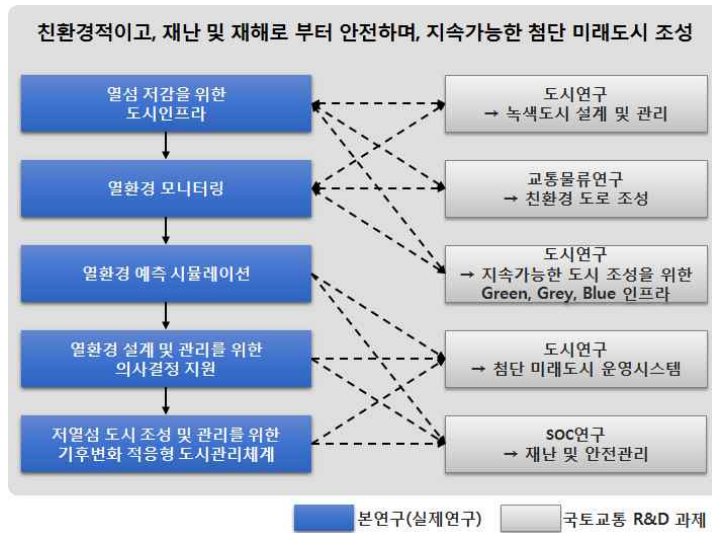


그림 3-2. 기술로드맵

- 본연구(실제연구) 이외의 건설교통R&D와의 연계를 살펴보면, 도시연구를 포함하여 SOC연구, 교통물류연구에서 진행 중인 녹색도시 설계 및 관리 방안, 지속가능한 도시 조성을 위한 인프라 구축 등과의 연계를 통해 지속가능한 친환경 도시 조성을 위한 기틀을 잡을 수 있음. 또한, 열환경 예측 시뮬레이션 기법 및 열환경 설계를 위한 의사결정지원 기술, 기후변화 적응형 도시관리체계는 재난 및 안전관리를 위한 정보 및 분석기법 및 제도적 틀을 제공할 수 있으며, 첨단 미래도시 운영시스템 구축에 기여할 수 있음
- 이를 통해, 친환경도시 조성, 자연재해로부터 안전한 도시 조성, 지속가능한 도시 조성, 첨단 미래도시 조성 등 국가 건설교통 R&D의 주요 목표를 달성할 수 있음

## 제2절 세부목표 및 중점 추진분야 설정

### 1. 연구의 세부목표

- 기후변화 추세에 능동적으로 대응하고 도시열섬 저감을 통해 쾌적한 도시공간을 조성하기 위한 도시열환경 설계 및 관리시스템을 개발하기 위해 다음과 같은 세부 연구목표를 설정함
  - 도시열 발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링기술 개발
  - 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발
  - 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 및 지원체계 개발

### 2. 중점 추진분야 설정

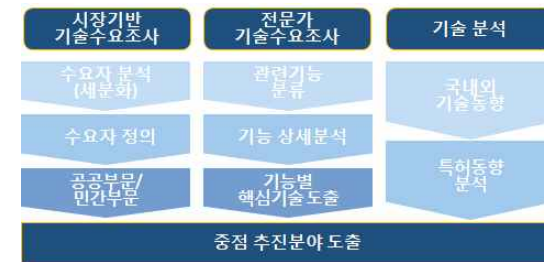


그림 3-3. 중점 추진분야 도출방법

- 핵심기술후보군을 도출하기 위해 ①시장기반 기술수요조사, ②전문가 기술수요조사, ③기술 분석의 3가지 방법론을 이용하여 관련 중점 추진분야를 도출함
- 시장기반 기술수요조사
  - 실제 기술이 적용되는 시장의 수요자 Needs를 분석하여 미래 유망기술 후보군을 도출함
  - 연구성과물의 예상 수요자를 공공계(지자체 공무원, 공기업), 민간 산업계(민간기업), 학계 및 연구계(대학교, 연구원)로 세분화 한 후, 이들을 대상으로 실시한 기술수요조사 결과를 정리·분석하여 시장에서 필요로 하는 중점 추진분야를 도출함
- 전문가 기술수요조사
  - 시장기반 기술수요조사는 최종적으로 도출되는 연구성과물의 사용에 초점이 맞춰져 있기 때문에 연구성과물을 도출하기 위해 필요한 연구내용 및 과정이 누락될 가능성이 있음
  - 또한, 시장에서 나타나는 현 시점의 Needs를 중심으로 기술수요가 조사되기 때문에

전세계적으로 예상되는 기술의 발전 경향 및 현 정부가 추진하고 있는 미래상을 반영함에 있어 한계가 있음

- 이에 내부 기획연구진 및 자문위원진으로 구성된 전문가를 대상으로 최종연구성과물을 도출하기 위한 관련기능을 분류한 후, 각 기능 분류에 대한 상세 분석을 실시하여 기능별 중점 추진분야를 도출함
- 기술 분석
  - 기술분석은 국내외 기술동향을 기반으로 미래유망기술을 조사하기 위한 과정임
  - 이를 위해 앞서 실시한 관련 동향(정책, 시장, 기술, 특허, 연구과제, 논문 등)에 대한 조사결과를 정리·분석하여 동향의 변화 추세 속에서 추후 유망한 기술로 기대되는 항목들을 바탕으로 중점추진분야를 도출함
- 상기 과정을 거쳐 열환경 모니터링, 열환경 예측 시뮬레이션, 열환경 설계 및 관리를 위한 의사결정지원, 열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축기술과 기술트리에서 제시되지 않았던 열섬 대응 관련 제도 및 정책 개발, 도시열환경 관리를 위한 비즈니스 모델 개발이 선정됨

표 3-1. 중점 추진분야

| 중점 추진분야                 |                                       |
|-------------------------|---------------------------------------|
| 열환경 모니터링                | 열 발생/저감 모니터링                          |
|                         | 열 취약지역 분석                             |
| 열환경 예측 시뮬레이션            | 기후변화 시나리오 분석                          |
|                         | 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술                   |
|                         | 열 저감에 의한 유발효과 분석기술                    |
| 열환경 설계 및 관리를 위한 의사결정 지원 | 도시 열환경 설계/관리 기술                       |
|                         | 열섬저감을 위한 도시인프라 설계/관리 기술               |
| 열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축기술  |                                       |
| 기타<br>(기술트리 외)          | 기후변화 적응과 열환경 개선을 위한 계획·설계·관리 가이드라이 개발 |
|                         | 열섬 대응 관련 제도 및 정책 개발                   |

### 3. 중점 추진분야별 후보과제 설정

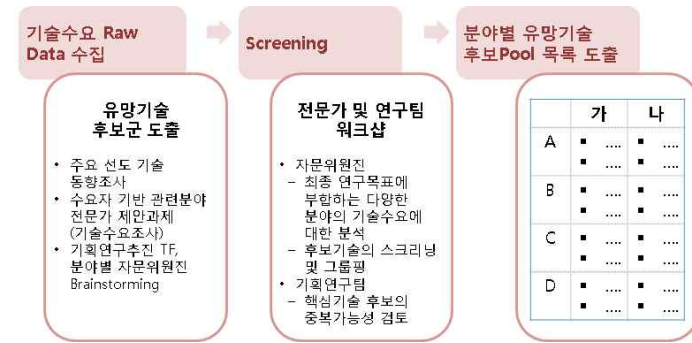


그림 3-4. 중점 추진분야별 후보과제 설정 방법

- 동향조사, 기술수요조사, 전문가(기획연구진 및 자문위원진) 회의를 통해 도출된 후보기술을 중점 추진분야 5가지 분류(10가지 세분류)에 따라 분류하고 유망기술 후보군을 도출함
- 동향조사 및 기술수요조사를 통해 도출된 기술들을 유사한 항목으로 그룹화하여 통합함
- 세부연구목표에 따라 기획연구진 및 자문위원진의 회의를 통해 추가적인 후보과제를 도출한 후, 중점 추진분야별로 재분류 함
- 재분류된 후보기술들을 중점 추진분야의 세분류에 따라 분류한 후, 최종적으로 유사한 기술들을 통합하여 우선순위 도출을 위한 최종 목록을 작성함

표 3-2. 중점 추진분야별 후보과제 설정

| 중점 추진분야     |                 | 후보과제                                |
|-------------|-----------------|-------------------------------------|
| 열환경<br>모니터링 | 열섬발생/저감<br>모니터링 | 기온현황 실측 및 도면 작성/DB구축                |
|             |                 | 자연열 발생 기여도 분석                       |
|             |                 | 인공열 발생 기여도 분석                       |
|             |                 | 건축물 반사광에 의한 열 변화 추적기술               |
|             |                 | 거시적/미시적(자연+인공열) 차원에서 도시열 발생 기여도 분석  |
|             |                 | 열섬저감을 위한 도시인프라 유형 도출 및 분류           |
|             |                 | 거시적/미시적 차원에서 도시인프라의 도시열 저감 기여도 분석   |
|             |                 | 건물녹화(또는 Cool Roof)에 의한 열 저감 메커니즘 분석 |
|             |                 | 기후변화를 고려한 도시인프라의 열 저감효과 분석          |

|                                    |   |                                    |
|------------------------------------|---|------------------------------------|
| 열 취약지역 분석                          | 열 취약지역 분석   | 도시공간의 열환경 평가지표 개발(거시/미시)           |
|                                    |   | 시민체감형 열환경 평가지표 개발 및 등급화            |
|                                    |   | 기후변화를 고려한 열 취약지수 개발 및 취약지 유형 분석    |
| 열환경 예측 시뮬레이션                       | 기후변화 시나리오 분석  | 고해상도 RCP 기후변화 시나리오에 기반한 미래 열환경 예측  |
|                                    |   | 기후변화 관점에서 도시기온 상승 원인 분석            |
|                                    | 열환경 시뮬레이션 기술  | 도시열 발생 시뮬레이션기술                     |
|                                    |   | 도시열 저감효과 시뮬레이션기술                   |
|                                    |   | 열섬 원인 탐색 시뮬레이션기술                   |
|                                    |   | 기후변화 시나리오 기반 미래 도시열환경 분석·예측시뮬레이션기술 |
|                                    |   | 2차원 열환경 분석기법의 3차원 전환기술             |
|                                    | 열환경 저감에 의한 유발효과 분석기술  | 열 저감에 의한 도시민의 건강 개선효과 분석           |
|                                    |   | 열 저감에 의한 에너지사용 저감효과                |
|                                    | 열환경 설계 및 관리를 위한 의사결정 지원   | 도시 열환경 설계/관리 기술                    |
| 도시기후구역(LCZ) 유형별 열환경 개선효과 분석모형      |   |                                    |
| 도시계획 수립시 거시/미시적 차원에서 열환경 개선효과 분석모형 |   |                                    |
| 열섬저감 도시 조성 및 관리를 위한 열섬저감 계획모형 개발   |   |                                    |
| 열섬저감 도시 조성 및 관리를 위한 개발밀도 분석모형      |   |                                    |
| 도시공간 내 열섬저감을 위한 도시인프라 입지 분석모형      |   |                                    |
| 열섬저감을 위한 도시인프라 설계/관리 기술            |   | 열섬저감을 위한 도시인프라 선정 기법               |
|                                    |   | 열섬저감을 위한 도시인프라 계획 및 설계기법           |
|                                    |   | 도로표면 쿨링 시스템 개발                     |
|                                    |   | 도로포장재의 열전도율 저감기법                   |
|                                    | 건축물 재료 설계기법   |                                    |
| 열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축기술             | 건축물 녹화(또는 Cool loof)에 의한 열섬저감 기여도 분석  |                                    |
|                                    | 열섬현상을 이용한 열에너지 재활용  |                                    |
|                                    | 기후변화 시나리오에 기반한 열섬대응 관련제도 및 정책 개발  |                                    |
|                                    | 기후변화 적응형 도시관리체계 구축: Contextual Zoning 및 Form Based Code 기반의 기후변화 적응형 도시관리체계 |                                    |
|                                    | 도시열환경 향상을 위한 도시계획 및 설계 지침 (가이드라인) 개발  |                                    |
| 기타 (기술트리 외)                        | 열섬 대응 관련 제도 및 정책 개발   | 도시열환경 향상을 위한 도시인프라 도입 장려 제도 개발     |
|                                    |   | 도시열환경 향상을 위한 도시인프라 도입 장려 제도 개발     |
|                                    |   | 기존 평가제도와의 통합평가                     |
|                                    | 도시열환경 관리를 위한 비즈니스 모델 개발   | 도시열환경 개선을 위한 일자리 창출방안 연구           |
|                                    |   | 도시열환경 관리를 위한 산업 육성방안 연구            |
|                                    |   | 연구개발 성과물을 활용한 시장개척방안 연구            |
|                                    |   | 연구개발 성과물의 해외 수출방안 연구               |

### 제3절 연구개발 후보과제 도출

#### 1. 후보과제군 도출 및 우선순위 평가

##### 가. 기술중요도 및 기술수준 조사

최종 후보과제를 선정하기 위하여 설정된 후보과제들을 대상으로 기술중요도 및 기술수준을 기획연구진 및 자문위원회를 대상으로 조사함



그림 3-5. 기술중요도 및 기술수준 조사를 통한 후보과제 도출방법

- 우선순위 평가를 위한 항목(Criterion)과 각 항목별 세부항목을 설정하고, 각 항목별 평가기준을 설정함
- 전문가를 대상으로 앞서 도출된 후보과제들을 각 항목별로 평가한 후, 평가결과를 종합하여 후보과제들 간의 우선순위를 도출함
- 최종적으로 도출된 후보과제들은 과제추진체계 및 세부 연구내용을 구성하는 기초자료로 활용됨

(1) 평가기준 설정

- 기술중요도는 각 기술이 갖는 중요도를 판단하기 위하여 시장성, 기술성, 실현가능성, 전략적 타당성의 4가지 항목을 설정하여 5점 척도로 조사함
- 기술수준은 국외 선도 기술 대비 국내 기술의 수준을 파악하기 위한 것으로 선진 기술을 100%로 가정할 시 국내 기술수준을 백분율로 비교·평가함

표 3-3. 항목별 평가기준

| 평가항목 |             | 평가기준   |
|------|-------------|--|
| 중요도  | 시장성         | 기술이 적용된 제품 및 서비스의 잠재적 시장규모, 성장전망   |
|      | 기술성         | 기술자체의 중요성, 기술개발의 시급성, 기술선도/기술우위 가능성, 기술의 독창성, 타 관련분야 활용파급성 등의 가치 보유여부      |
|      | 실현 가능성      | 기술개발 목표 연구기간내 달성가능성, 필요 연구시설 및 전문인력 확보 정도, 규제/인허가, 독점/특허 등의 사업환경 제약이 없는 정도 |
|      | 전략적 타당성     | 정부가 추진하고자 하는 정책과의 부합성, 국민 생활의 질 증진을 위한 공익성, 관련 산업 발전에 대한 기여정도              |
| 기술수준 | 선진국 대비 기술수준 | 국외 선도 기술 대비 국내 기술의 수준  |

(2) 기술중요도 및 기술수준 조사 결과

표 3-4. 기술중요도 및 기술수준 조사 결과

| 후보과제                                 | 중요도(1: 낮음~5: 높음) |      |        |         |      | 기술수준 (%) |
|--------------------------------------|------------------|------|--------|---------|------|----------|
|                                      | 시장성              | 기술성  | 실현 가능성 | 전략적 타당성 | 평균   |          |
| 기온현황 실측 및 도면 작성/DB구축                 | 3.13             | 3.00 | 4.63   | 4.00    | 3.69 | 73.33    |
| 자연열 발생 기여도 분석                        | 2.75             | 4.00 | 4.25   | 3.63    | 3.66 | 70.00    |
| 인공열 발생 기여도 분석                        | 3.38             | 4.25 | 3.50   | 4.38    | 3.88 | 61.43    |
| 건축물 반사광에 의한 열환경 변화 추적기술              | 1.88             | 2.50 | 2.38   | 2.25    | 2.25 | 58.00    |
| 거시적/미시적(자연+인공열) 차원에서 도시열 발생 기여도 분석   | 3.50             | 4.00 | 4.38   | 4.50    | 4.09 | 67.14    |
| 열섬저감을 위한 도시인프라 유형 도출 및 분류            | 2.88             | 3.25 | 4.38   | 4.50    | 3.75 | 71.67    |
| 거시적/미시적 차원에서 도시인프라의 도시열 저감 기여도 분석    | 3.25             | 3.88 | 3.75   | 4.75    | 3.91 | 61.67    |
| 건물녹화(또는 Cool Roof)에 의한 도시열 저감 기여도 분석 | 4.75             | 4.00 | 4.63   | 4.13    | 4.38 | 77.86    |
| 기후변화를 고려한 도시인프라의 열섬저감효과 분석           | 2.88             | 3.25 | 3.00   | 4.00    | 3.28 | 54.00    |
| 도시공간의 열환경 평가지표 개발(거시/미시)             | 3.00             | 3.63 | 4.38   | 4.25    | 3.81 | 65.83    |
| 시민체감형 열환경 평가지표 개발 및 등급화              | 3.88             | 3.50 | 3.25   | 3.88    | 3.63 | 57.50    |

|   |      |      |      |      |      |       |
|---|------|------|------|------|------|-------|
| 기후변화를 고려한 열섬 취약지구 개발 및 취약지 유형 분석  | 3.38 | 4.00 | 4.00 | 3.75 | 3.78 | 53.33 |
| 고해상도 RCP 기후변화 시나리오에 기반한 미래 열환경 예측   | 3.14 | 3.57 | 3.57 | 4.43 | 3.68 | 52.00 |
| 기후변화 관점에서 도시기온 상승 원인 분석   | 2.75 | 3.00 | 3.50 | 4.00 | 3.31 | 46.67 |
| 도시열 발생 시뮬레이션기술  | 4.50 | 4.13 | 4.50 | 4.63 | 4.44 | 65.71 |
| 도시열 저감효과 시뮬레이션기술  | 4.63 | 4.13 | 4.50 | 4.63 | 4.47 | 65.71 |
| 열원 탐색 시뮬레이션기술   | 4.00 | 4.00 | 3.75 | 3.88 | 3.91 | 61.43 |
| 기후변화시나리오 기반 미래 도시열환경예측/시뮬레이션기술  | 4.00 | 4.14 | 4.14 | 3.86 | 4.04 | 50.00 |
| 2차원 열환경 분석기법의 3차원 전환기술  | 3.88 | 3.88 | 4.25 | 3.50 | 3.88 | 78.57 |
| 열 저감에 의한 도시민의 건강 개선효과 분석  | 3.25 | 3.25 | 2.75 | 4.38 | 3.41 | 55.00 |
| 열 저감에 의한 에너지사용 저감효과   | 4.75 | 4.38 | 4.25 | 4.88 | 4.56 | 68.33 |
| 도시기후구역(LCZ) 유형화 및 DB구축  | 2.75 | 3.38 | 4.75 | 4.50 | 3.84 | 78.57 |
| 도시기후구역(LCZ) 유형별 열환경 개선효과 분석모형   | 3.25 | 4.00 | 3.75 | 4.13 | 3.78 | 65.71 |
| 도시계획 수립시 거시/미시적 차원에서 열환경 개선효과 분석모형  | 3.63 | 3.63 | 4.50 | 4.75 | 4.13 | 67.14 |
| 열섬저감 도시 조성 및 관리를 위한 열섬저감 계획모형 개발  | 3.50 | 4.00 | 3.75 | 4.38 | 3.91 | 68.57 |
| 열섬저감 도시 조성 및 관리를 위한 개발밀도 분석모형   | 3.50 | 3.75 | 4.13 | 4.25 | 3.91 | 60.00 |
| 도시공간 내 열섬저감을 위한 도시인프라 입지 분석모형   | 3.75 | 4.13 | 3.88 | 4.13 | 3.97 | 65.00 |
| 열섬저감을 위한 도시인프라 선정기법   | 3.13 | 2.88 | 4.13 | 4.00 | 3.53 | 68.33 |
| 열섬저감을 위한 도시인프라 계획 및 설계기법  | 4.00 | 3.88 | 4.13 | 4.25 | 4.06 | 70.00 |
| 도로표면 쿨링 시스템 개발  | 3.86 | 3.86 | 3.43 | 3.86 | 3.75 | 75.00 |
| 도로포장재의 열전도율 저감기법  | 3.86 | 4.14 | 3.43 | 3.43 | 3.71 | 72.50 |
| 건축물 재료 설계기법   | 4.25 | 4.25 | 4.13 | 3.75 | 4.09 | 72.00 |
| 건물녹화(또는 Cool Roof)의 시공기술  | 4.25 | 3.38 | 4.50 | 4.38 | 4.13 | 76.00 |
| 열섬현상을 이용한 열에너지 재활용  | 2.71 | 2.57 | 2.71 | 2.86 | 2.71 | 56.67 |
| 기후변화 시나리오에 기반한 열섬대응 관련제도 및 정책 개발  | 2.63 | 3.38 | 3.63 | 4.75 | 3.59 | 63.33 |
| 기후변화 적응형 도시관리체계 구축; Contextual Zoning 및 Form Based Code 기반의 기후변화 적응형 도시관리체계 | 3.67 | 3.56 | 3.78 | 4.56 | 3.89 | 60.83 |
| 도시열환경 향상을 위한 도시계획 및 설계 지침 (가이드라인) 개발  | 3.88 | 4.00 | 4.50 | 4.75 | 4.28 | 63.33 |
| 도시열환경 향상을 위한 도시인프라 도입 장려 제도 개발  | 3.13 | 3.38 | 3.13 | 4.63 | 3.56 | 61.67 |
| 기존 평가제도와의 통합평가  | 3.13 | 3.00 | 3.75 | 3.88 | 3.44 | 63.33 |
| 도시열환경 개선을 위한 일자리 창출방안 연구  | 3.50 | 3.13 | 3.13 | 4.63 | 3.59 | 55.00 |
| 도시열환경 관리를 위한 산업 육성방안 연구   | 3.75 | 4.00 | 3.50 | 4.25 | 3.88 | 58.33 |
| 연구개발 성과물을 활용한 시장개척방안 연구   | 3.88 | 3.25 | 3.25 | 4.25 | 3.66 | 51.67 |
| 연구개발 성과물의 해외 수출방안 연구  | 3.63 | 3.00 | 3.13 | 4.38 | 3.53 | 51.67 |

나. 기술 중요도-기술수준 포트폴리오 분석

- 기술의 중요도-기술수준 포트폴리오 분석은 R&D프로젝트의 전략적 방향설정 및 성과제고를 위한 도구로서, 전체프로젝트의 가치가 극대화 될 수 있도록 유망프로젝트에 자원을 배분하기 위한 도구임
- 기술의 중요도-기술수준 포트폴리오 분석은 Booz-Allen & Hamilton의 R&D 포트폴리오를 활용하여 분석을 실시함
- 4분면별 전략은 다음과 같음
  - Bet: 중요도와 기술수준이 모두 높은 기술→투자 및 육성을 통해 포지션을 유지하는 것이 요구되는 기술
  - Cash In: 중요도는 낮으나 기술수준이 높은 기술→기술이전 및 판매 등을 통해 현금화가 요구되는 기술
  - Draw: 중요도는 높으나 기술수준이 낮은 기술→적극적인 투자를 통해 Bet영역으로 이동을 검토해야 하는 기술
  - Fold: 중요도와 기술수준이 모두 낮은 기술→기술개발 포기를 고려해야 하는 기술

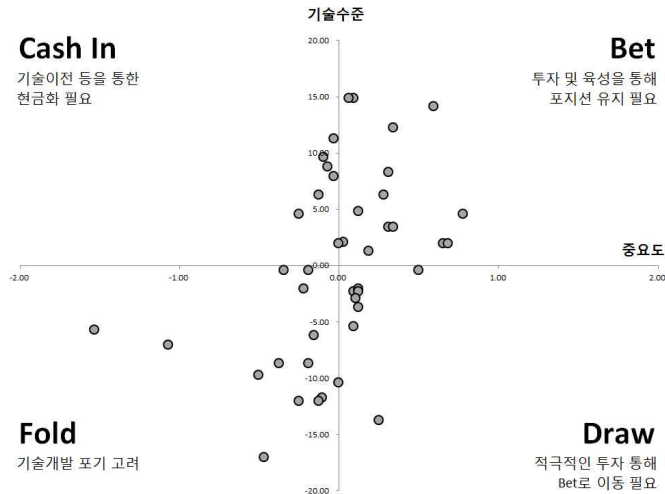


그림 3-6. 기술중요도-기술수준 포트폴리오 분석 결과

표 3-5. 기술중요도-기술수준 포트폴리오 분석에 따른 후보과제 목록

| 기술 중요도<br>기술수준<br>평가결과   | 중점 추진분야                                 | 후보과제  | 필수<br>고려<br>여부 |
|--------------------------|---|---|----------------|
| Bet                      | 열환경 모니터링                                | 거시적/미시적(자연+인공열) 차원에서 도시열 발생 기여도 분석                | √              |
|                          |   | 건물녹화(또는 Cool Roof)에 의한 열 저감 기여도 분석                | √              |
|                          |   | 도시공간의 열환경 평가지표 개발(거시/미시)                          | √              |
|                          | 열환경 예측 시뮬레이션                            | 도시열 발생 시뮬레이션기술                                    | √              |
|                          |   | 도시열 저감효과 시뮬레이션기술                                  | √              |
|                          |   | 2차원 열환경 분석기법의 3차원 전환기술                            |                |
|                          | 열환경 설계 및 관리를 위한 의사결정 지원                 | 열 저감에 의한 에너지사용 저감효과                               | √              |
|                          |   | 도시기후구역 유형화(LCZ) 및 DB구축                            | √              |
|                          |   | 도시공간 유형(LCZ)별 열환경 개선효과 분석모형                       | √              |
|                          |   | 도시계획 수립시 거시/미시적 차원에서 열환경 개선효과 분석모형                | √              |
|                          |   | 열섬저감 도시 조성 및 관리를 위한 열섬저감 계획모형 개발                  | √              |
|                          |   | 도시공간 내 열섬저감을 위한 도시인프라 입지 분석모형                     |                |
| 열섬저감을 위한 도시인프라 계획 및 설계기법 | √                                       |   |                |
| 열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축 기술  | 건축물 재료 설계기법<br>건물녹화(또는 Cool Roof)의 시공기술 |   |                |
| 기타 (기술트리 외)              | -                                       |   |                |
| Cash In                  | 열환경 모니터링                                | 기온현황 실측 및 도면 작성/DB구축                              | √              |
|                          |   | 자연열 발생 기여도 분석                                     | √              |
|                          |   | 열섬저감을 위한 도시인프라 유형 도출 및 분류                         | √              |
|                          | 열환경 예측 시뮬레이션                            | -   |                |
|                          | 열환경 설계 및 관리를 위한 의사결정 지원                 | 열섬저감을 위한 도시인프라 선정 기법                              |                |
|                          | 열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축 기술                 | 도로표면 쿨링 시스템 개발<br>도로포장재의 열전도율 저감기법                |                |
| 기타 (기술트리 외)              | -                                       |   |                |
| Draw                     | 열환경 모니터링                                | 인공열 발생 기여도 분석                                     | √              |
|                          |   | 거시적/미시적 차원에서 도시인프라의 열 저감 기여도 분석                   | √              |
|                          |   | 기후변화를 고려한 열섬 취약지수 개발 및 취약지 유형 분석                  | √              |
|                          | 열환경 예측 시뮬레이션                            | 열원 탐색 시뮬레이션기술<br>기후변화 시나리오 기반 미래 도시열환경 예측/시뮬레이션기술 |                |
| 열환경 설계 및 관리를             | 열섬저감 도시 조성 및 관리를 위한 개발밀도 분석모형           | √   |                |

|      |                         |  |   |
|------|-------------------------|--|---|
|      | 위한 의사결정 지원              |  |   |
|      | 열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축 기술 | -  |   |
|      | 기타 (기술트리 외)             | 기후변화 적응형 도시관리체계 구축: Contextual Zoning 및 Form Based Code 기반의 기후변화 적응형 도시관리 체계 |   |
| Fold |                         | 도시열환경 관리를 위한 산업 육성방안 연구  | √ |
|      | 열환경 모니터링                | 건축물 반사광에 의한 열환경 변화 추적기술  |   |
|      |                         | 기후변화를 고려한 도시인프라의 열섬저감효과 분석   |   |
|      |                         | 시민체감형 열환경 평가지표 개발 및 등급화  |   |
|      | 열환경 예측 시뮬레이션            | 고해상도 RCP 기후변화 시나리오에 기반한 미래 열환경 예측  |   |
|      |                         | 기후변화 관점에서 도시기온 상승 원인 분석  |   |
|      |                         | 열섬저감에 의한 도시민의 건강 개선효과 분석   |   |
|      | 열환경 설계 및 관리를 위한 의사결정 지원 | -  |   |
|      | 열섬저감을 위한 도시인프라 시공/구축 기술 | 열섬 현상을 이용한 열에너지 재활용  |   |
|      | 기타 (기술트리 외)             | 기후변화 시나리오에 기반한 열섬대응 관련제도 및 정책 개발   |   |
|      |                         | 도시열환경 향상을 위한 도시인프라 도입 장려 제도 개발   | √ |
|      |                         | 기존 평가제도와의 통합평가   |   |
|      |                         | 도시열환경 개선을 위한 일자리 창출방안 연구   |   |
|      |                         | 연구개발 성과를 활용한 시장개척방안 연구   |   |
|      |                         | 연구개발 성과물의 해외 수출방안 연구   |   |

우선적인 연구개발이 필요한 분야,

필수여부: 전문가 자문회의를 통해 기술중요도와 상관없이 본 연구에 필요한 후보과제

#### 다. 과제 도출

- 국내·외 동향분석 결과와 기술 중요도 평가결과에 기초하여 본연구(실제연구) 추진을 위한 과제를 도출함. 단, 시공기술의 경우 국내·외 기술동향 분석결과에 나타난 바와 같이 현재 기술수준이 매우 성숙되어 있고, 본 과제가 저 열섬 도시 조성을 위한 열환경 설계 및 관리시스템 개발이 초점을 두고 있는 바, 후보과제에서 제외함
- 최종적으로 총 43개의 과제 중 26개의 과제가 도출됨

표 3-6. 과제도출 결과

| 중점 추진분야                 | 과제 번호 | 과제선정  | 중요도 평가  | 필수 고려 여부 |
|-------------------------|-------|---|---------|----------|
| 열환경 모니터링                | M-1   | 기온현황 실측 및 도면 작성/DB구축  | Cash In | √        |
|                         | M-2   | 도시공간의 열환경 평가지표 개발(거시/미시)  | Bet     | √        |
|                         | M-3   | 기후변화를 고려한 열 취약지수 개발 및 취약지 유형 분석   | Draw    | √        |
|                         | M-4   | 인공열 발생 기여도 분석   | Draw    | √        |
|                         | M-5   | 자연열 발생 기여도 분석   | Cash In | √        |
|                         | M-6   | 열섬저감을 위한 도시인프라 유형 도출 및 분류   | Cash In | √        |
|                         | M-7   | 건물녹화(또는 Cool Roof)에 의한 도시열 저감 기여도 분석  | Bet     | √        |
|                         | M-8   | 거시적/미시적(자연+인공열) 차원에서 도시열 발생 기여도 분석  | Bet     | √        |
|                         | M-9   | 거시적/미시적 차원에서 도시인프라의 도시열 저감 기여도 분석   | Draw    | √        |
| 열환경 예측 시뮬레이션            | S-1   | 도시열 발생 시뮬레이션기술  | Bet     | √        |
|                         | S-2   | 도시열 저감효과 시뮬레이션기술  | Bet     | √        |
|                         | S-3   | 열 저감에 의한 에너지사용 저감효과   | Bet     | √        |
|                         | S-4   | 열원 탐색 시뮬레이션기술   | Draw    |          |
|                         | S-5   | 기후변화 시나리오 기반 미래 도시열환경 예측/시뮬레이션기술  | Draw    |          |
|                         | S-6   | 2차원 열환경 분석기법의 3차원 전환기술  | Bet     |          |
| 열환경 설계 및 관리를 위한 의사결정 지원 | D-1   | 도시기후구역(LCZ) 유형화 및 DB구축  | Bet     | √        |
|                         | D-2   | 도시공간(LCZ) 유형별 열환경 개선효과 분석모형   | Bet     | √        |
|                         | D-3   | 도시계획 수립시 거시/미시적 차원에서 열환경 개선효과 분석모형  | Bet     | √        |
|                         | D-4   | 도시공간 내 열섬저감을 위한 도시인프라 입지 분석모형   | Bet     |          |
|                         | D-5   | 열섬저감 도시 조성 및 관리를 위한 개발밀도 분석모형   | Draw    | √        |
| 기타 (기술트리 외)             | P-1   | 기후변화 적응형 도시관리체계 구축: Contextual Zoning 및 Form Based Code 기반의 기후변화 적응형 도시관리체계 | Draw    |          |
|                         | P-2   | 열섬저감 도시 조성 및 관리를 위한 계획모형 개발   | Bet     | √        |
|                         | P-3   | 열섬저감을 위한 도시인프라 계획 및 설계기법  | Bet     | √        |
|                         | P-4   | 도시열환경 관리를 위한 산업 육성방안 연구   | Draw    | √        |
|                         | P-5   | 도시열환경 향상을 위한 도시인프라 도입 장려 제도 개발  | Fold    | √        |

## 2. 과제추진체계 설정

### 가. 과제추진체계 설정

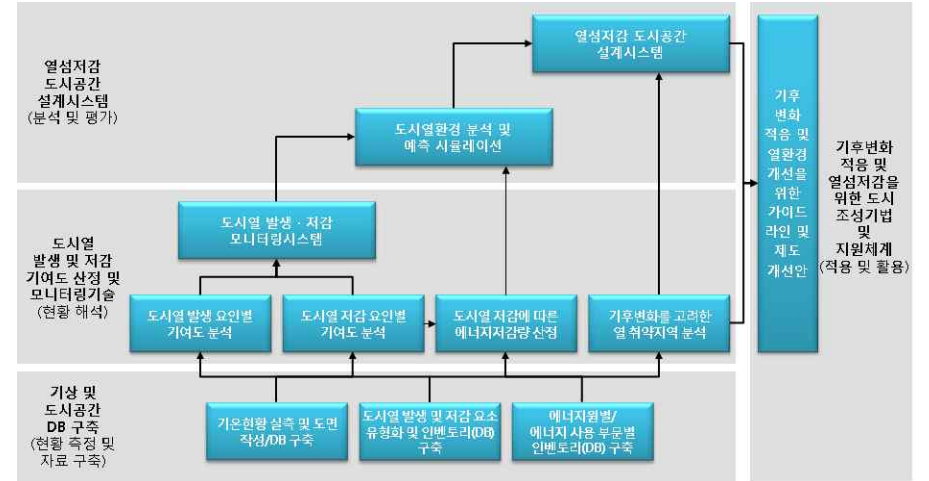


그림 3-7. 과제추진체계

- 본 기획연구를 통해 도출되는 본연구(실제연구)의 내용은 4부분으로 구성됨
  - **기상 및 도시공간 DB 구축:** 분석 및 평가를 위한 자료 구축 단계로 실측 또는 기 구축된 자료를 활용하여 기온, 풍향, 풍속, 일조, 운량, 습도 등을 포함한 기상자료를 구축함. 또한 공간분석 및 열섬발생 및 저감 메커니즘 해석을 위한 도시공간정보(지형, 토지이용, 건축물, 도시인프라, 에너지, 교통 등)를 구축하고 DB화 함
  - **도시열 발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링기술:** 열환경 현황 해석기법을 개발하는 단계로 열섬 발생 및 저감 메커니즘에 기반하여 요인별 기여도를 분석하고, 이를 종합하는 도시열 발생·저감모니터링 기술을 개발함. 또한 열환경에 대한 취약성 평가를 위한 지표 및 지수를 개발하고, 대상지에 대한 취약성을 평가함. 또한 열섬 저감에 의한 에너지 사용 저감효과를 분석하여 유발효과를 규명함
  - **열섬저감 도시공간 설계시스템:** 열섬발생 및 저감 기여도 분석기술과 연계하여 열환경 예측 시뮬레이션기술을 개발함. 또한 시뮬레이션기술을 도시계획·설계 기법과 접목하여 각종 계획 수립시 열섬저감을 위한 열섬저감 도시공간 시스템을 구축함
  - **기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 및 지원체계:** 열 취약성 평가 결과와 저열섬 도시공간 설계 및 관리 시스템을 통한 분석·평가 결과에 기반하여 저열섬 도시 조성을 위한 도시관리체계 및 비즈니스 모델을 개발함

**나. 과제추진체계에 따른 최종 후보과제 선정**

- 제시된 과제추진체계를 고려하여 각 기술군별 최종 후보과제를 선정함. 최종 후보과제는 선정된 후보과제들 간의 중요도와 유사성 및 중복성을 고려하여 과제를 통합하거나 세분화 하여 도출됨
- 기술군을 분류함에 있어 과제추진체계 상에 제시된 기상 및 도시공간 DB 구축은 연구수행을 위한 기초 작업이기 때문에 DB의 특성과 사용처를 고려하여 각 기술군에 포함하여 작성함

표 3-7. 과제구성 결과

| 중점 추진분야                      | 과제도출 결과   | 최종 후보과제   |
|------------------------------|---|---|
| 기상 및 도시공간 DB 구축              | 기온현황 실측 및 도면 작성/DB구축  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시열환경 분석을 위한 DB 구축</li> <li>• 기후변화 시나리오 기반 미래 도시열환경 예측</li> </ul>  |
|                              | 도시공간의 열환경 평가지표 개발(거시/미시)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시 내 열 취약지역 분석</li> </ul>  |
|                              | 기후변화를 고려한 열 취약지수 개발 및 취약지 유형 분석   |   |
| 도시 열 발생 및 저감기여도 산정 및 모니터링 기술 | 인공열 발생 기여도 분석   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시공간 요소별 열 발생 기여도 산정기술 개발</li> </ul>   |
|                              | 자연열 발생 기여도 분석   |   |
|                              | 거시적/미시적(자연+인공열) 차원에서 도시열 발생 기여도 분석  |   |
|                              | 열섬저감을 위한 도시인프라 유형 도출 및 분류   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시공간 내 열 발생 및 저감요소 유형화 및 DB 구축</li> </ul>  |
|                              | 건물녹화(또는 Cool Roof)에 의한 도시열 저감 기여도 분석  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시공간 요소별 열 저감기여도 산정기술 개발</li> </ul>  |
|                              | 거시적/미시적 차원에서 도시인프라의 도시열 저감 기여도 분석   |   |
|                              | 열 저감에 의한 에너지사용 저감효과   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시에너지 사용량 DB 구축(수집)</li> <li>• 도시열 저감 요소별 에너지 사용 저감기여도 분석</li> <li>• 도시열 저감에 따른 에너지저감량 산정기술 개발 및 실증</li> </ul> |
| -                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• (신규)도시열 발생-저감 모니터링시스템 개발 및 실증</li> </ul> |   |
| 열섬저감 도시공간 설계시스템              | 도시열 발생 시뮬레이션기술  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시기상을 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 개발 및 실증</li> </ul>   |
|                              | 도시열 저감효과 시뮬레이션기술  |   |
|                              | 열원 탐색 시뮬레이션기술   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 열원 역추적 분석 모델링 기술 개발 및 실증</li> </ul>  |
|                              | 기후변화 시나리오 기반 미래 도시열환경 예측/시뮬레이션기술  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기후변화를 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 개발 및 실증</li> </ul>   |
|                              | 도시기후구역(LCZ) 유형화 및 DB구축  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 열환경 설계 및 관리를 위한 도시기후구역 유형화(LCZ)</li> </ul>   |

|                                  |   |  |
|----------------------------------|---|--|
|                                  | 도시공간(LCZ) 유형별 열환경 개선효과 분석모형   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 도시공간 의사결정지원기술 개발</li> </ul>                              |
|                                  | 도시계획 수립시 거시/미시적 차원에서 열환경 개선효과 분석모형  |  |
|                                  | 열섬저감 도시 조성 및 관리를 위한 개발밀도 분석모형   |  |
|                                  | 도시공간 내 열섬저감을 위한 도시인프라 입지 분석모형   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시기후구역 유형별 열섬저감을 위한 도시설계 및 관리요소 입지/우선순위 분석기술 개발</li> </ul>                    |
|                                  | 2차원 열환경 분석기법의 3차원 전환기술  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발 및 실증</li> </ul>  |
| 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 및 지원체계 | 기후변화 적응형 도시관리체계 구축: Contextual Zoning 및 Form Based Code 기반의 기후변화 적응형 도시관리체계 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기후변화 적응 및 열섬저감도시 조성을 위한 제도 개선안 제시</li> <li>• 도시열 취약지역 개선 및 관리방안 수립</li> </ul> |
|                                  | 열섬저감 도시 조성 및 관리를 위한 계획모형 개발   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시공간 위계별·유형별 기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 계획·설계·관리 가이드라인/Prototype 개발</li> </ul>      |
|                                  | 열섬저감을 위한 도시인프라 계획 및 설계기법  |  |
|                                  | 도시열환경 관리를 위한 산업 육성방안 연구   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 열섬저감 도시조성 관련 일자리 및 산업 육성방안 수립</li> </ul>                                      |
|                                  | 도시열환경 향상을 위한 도시인프라 도입 장려 제도 개발  |  |

### 3. 후보과제별 과제카드

#### 가. 도시열 발생 및 저감기여도 산정 및 모니터링(현황해석)

(1) 열환경 분석을 위한 DB 구축 및 열 취약지역 분석기술

표 3-8. 열환경 분석을 위한 DB 구축

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>연구개발목표</b>         | • 도시열환경 분석을 위한 DB 구축  |
| <b>기술유형/성과유형</b>      | • 기초/DB   |
| <b>기술개발 및 산업/시장동향</b> | • 전국 총 539개의 자동기상관측소 운용<br>• 각 지자체별 자체적으로 운영하는 기상관측소의 수가 지속적으로 증가하고 있는 추세<br>• 기후변화 관련 환경 컨설팅 시장의 지속적 성장 예상   |
| <b>기존기술 활용방안</b>      | • 기존 지자체에서 운영하고 있는 AWS와 연계하여 DB 구축  |
| <b>기술개발 필요성</b>       | • 미 관측 지역이 다수 존재하여 도시계획설계를 위한 충분한 자료구득이 어려움<br>• 본 연구과제를 추진하기 위한 기초 데이터로 향후 연구성과의 검증에 활용  |
| <b>주요 연구내용</b>        | • 기상측정 항목 선정(기온, 풍향, 풍속, 습도, 일조 등)<br>• 추가 기상관측이 필요한 측정 위치 분석<br>• 관측의 정확성 확보를 위한 기상측정장비 설치방법 선정<br>• 열환경 분석을 위한 관측 시기, 자료의 해상도 선정<br>• 관측자료 DB구축 및 Mapping |
| <b>정부지원 타당성</b>       | • 도시열환경 DB는 공공재이며, 정부지원을 통해 관측장비의 설치와 효과적 운영 가능   |
| <b>기술확보전략</b>         | • 기상청에서 인증하고 있는 측정장비를 활용하여 자료의 정확성 확보   |
| <b>최종성과물 활용방안</b>     | • 도시의 열 취약지역 분석을 위한 기초자료로 활용<br>• 도시열 발생-저감 모니터링시스템, 열섬저감 도시공간 설계시스템 실증을 위한 기초자료 제공<br>• 도시 내 열환경이 문제시 되는 지역 규명<br>• 향후, 열환경 관련 도시계획 수립을 위한 기초자료            |

표 3-9. 기후변화 시나리오 기반 미래 도시열환경 예측

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>연구개발목표</b>         | • 기후변화 시나리오 기반 미래 도시열환경 예측  |
| <b>기술유형/성과유형</b>      | • 응용/DB   |
| <b>기술개발 및 산업/시장동향</b> | • 기후변화 관련 환경 컨설팅 시장의 지속적 성장 예상<br>• 직접적으로 관련된 시장 미 존재                 |
| <b>기존기술 활용방안</b>      | • 현재 기상청에서 제공하고 있는 고해상도(1km*1km) 시나리오의 활용                             |
| <b>기술개발 필요성</b>       | • 기후변화에 선제적으로 대응하기 위한 기후변화 감시-예측 능력 확보 필요                             |
| <b>주요 연구내용</b>        | • 본 연구에 적용 가능한 기후변화 시나리오 선정 및 DB화 방법 선정<br>• 기후변화 시나리오 DB구축 및 Mapping |
| <b>정부지원 타당성</b>       | • 국가에서 추진하는 기후변화 대응력 강화와 직접적으로 연관된 과제                                 |
| <b>기술확보전략</b>         | • 국가 R&D로 수행하고 있는 기후변화 시나리오 과제와 연계                                    |
| <b>최종성과물 활용방안</b>     | • 본 과제를 통해 국가에서 추진하는 기후변화 대응력 강화를 위한 기초자료 제공                          |

표 3-10. 열취약 지역 분석기술

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>연구개발목표</b>         | • 도시 내 열 취약 지역 분석   |
| <b>기술유형/성과유형</b>      | • 응용/평가기준, 이용기술   |
| <b>기술개발 및 산업/시장동향</b> | • 직접적으로 관련된 시장 미 존재   |
| <b>기존기술 활용방안</b>      | • 열 쾌적대, 생리적 등가온도 등과 같은 기존 열환경 평가지표를 기반으로 개발  |
| <b>기술개발 필요성</b>       | • 도시 열환경을 효과적으로 제어하기 위해서는 문제시 되는 지역의 정확한 규명 필요  |
| <b>주요 연구내용</b>        | • 열환경 평가지표 개발<br>• 기후변화를 고려한 도시 내 열 취약지역 분석<br>• 연구대상 도시의 열 취약지역 분석 및 Mapping           |
| <b>정부지원 타당성</b>       | • 열 취약 지역은 분석결과는 국민의 건강을 직접적으로 파악할 수 있는 자료<br>• 공공분야에서 국민건강을 증진하기 위한 정책 수립에 기초자료로 활용 가능 |
| <b>기술확보전략</b>         | • 기존 열 취약지역 분석기술과의 차별화 확보<br>- 취약계층에 대한 고려<br>- 열쾌적성에 대한 심층적 고려                         |
| <b>최종성과물 활용방안</b>     | • 열환경 관련 도시계획 수립을 위한 기초자료로 활용   |

(2) 도시열 발생·저감 모니터링시스템 개발 및 실증

표 3-11. 도시공간 내 열 발생 및 저감요소 유형화 및 DB 구축

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>연구개발목표</b>         | • 도시공간 내 열 발생 및 저감요소 유형화 및 DB 구축   |
| <b>기술유형/성과유형</b>      | • 기초/DB  |
| <b>기술개발 및 산업/시장동향</b> | • 녹색 건축 시장의 지속적 성장 예상  |
| <b>기존기술 활용방안</b>      | • 기존 국가정보인프라에 구축된 DB 중 열 발생·저감과 연계된 DB확보   |
| <b>기술개발 필요성</b>       | • 도시 열환경을 효과적으로 제어하기 위해 도시 열 발생 및 저감요소의 DB 구축 필요                                     |
| <b>주요 연구내용</b>        | • 열 발생·저감 요소 선정<br>• 연구대상 도시의 열 발생·저감 요소 DB 구축 및 Mapping                             |
| <b>정부지원 타당성</b>       | • 해당 DB는 공공재적 성격을 갖고 있어 정부의 적극적 협조와 지원을 통해 구축 가능                                     |
| <b>기술확보전략</b>         | • 기존 국가정보인프라의 자료 최대 활용<br>• 열환경 개선을 위한 관련 연구를 참고하여 추가 요소 선정 및 DB화 방법 마련              |
| <b>최종성과물 활용방안</b>     | • 도시열 발생·저감 모니터링시스템, 열섬저감 도시공간 설계시스템 실증을 위한 기초자료 제공<br>• 열환경 관련 도시계획 수립을 위한 기초자료로 활용 |

표 3-12. 도시공간 요소별 열 발생 기여도 산정기술

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>연구개발목표</b>         | • 도시공간 요소별 열 발생 기여도 산정기술 개발  |
| <b>기술유형/성과유형</b>      | • 기초/Prototype 전산코드  |
| <b>기술개발 및 산업/시장동향</b> | • 직접적으로 관련된 시장 미 존재  |
| <b>기존기술 활용방안</b>      | • 열환경 관련 연구에서 제시된 원단위와의 비교·개선  |
| <b>기술개발 필요성</b>       | • 도시 내 열환경이 문제시 되는 지역을 파악하기 위해서는 도시공간 요소별 열 발생메커니즘에 기초한 기여도 산정 필수            |
| <b>주요 연구내용</b>        | • 도시공간 요소별 열 발생 기여도 산정기술 개발<br>• 시스템 구축을 위해 도시공간 요소별 열 발생 기여도 프로토타입 개발       |
| <b>정부지원 타당성</b>       | • 해당 기여도 산정기술은 공공재적 성격이 강하기 때문에 정부의 지원이 수반되어야 가능                             |
| <b>기술확보전략</b>         | • 열 발생량 산정을 위한 DB의 충실한 확보<br>• 해당 알고리즘을 전산화 할 수 있는 전문인력 확보                   |
| <b>최종성과물 활용방안</b>     | • 도시열 발생·저감 모니터링시스템 구축을 위한 기초 알고리즘 제공<br>• 열섬저감 도시공간 설계시스템 구축을 위한 기초 알고리즘 제공 |

표 3-13. 도시공간 요소별 열 저감 기여도 산정기술

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>연구개발목표</b>         | • 도시공간 요소별 열 저감 기여도 산정기술 개발  |
| <b>기술유형/성과유형</b>      | • 기초/Prototype 전산코드  |
| <b>기술개발 및 산업/시장동향</b> | • 직접적으로 관련된 시장 미 존재  |
| <b>기존기술 활용방안</b>      | • 열환경 관련 연구에서 제시된 원단위와의 비교·개선  |
| <b>기술개발 필요성</b>       | • 도시 내 열환경을 개선하기 위해서는 도시공간 요소별 열 저감메커니즘에 기초한 기여도 산정 필수                 |
| <b>주요 연구내용</b>        | • 도시공간 요소별 열 저감 기여도 산정<br>• 시스템 구축을 위해 도시공간 요소별 열 저감 기여도 프로토타입 개발      |
| <b>정부지원 타당성</b>       | • 해당 기여도 산정기술은 공공재적 성격이 강하기 때문에 정부의 지원이 수반되어야 가능                       |
| <b>기술확보전략</b>         | • 열 저감량 산정을 위한 DB의 충실한 확보<br>• 해당 알고리즘을 전산화 할 수 있는 전문인력 확보             |
| <b>최종성과물 활용방안</b>     | • 도시열 발생·저감 모니터링시스템 구축을 위한 알고리즘 제공<br>• 열섬저감 도시공간 설계시스템 구축을 위한 알고리즘 제공 |

표 3-14. 도시열 발생·저감 모니터링시스템 개발 및 실증

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>연구개발목표</b>         | • 도시열 발생·저감 모니터링시스템 개발 및 실증   |
| <b>기술유형/성과유형</b>      | • 응용/시스템(S/W)   |
| <b>기술개발 및 산업/시장동향</b> | • 직접적으로 관련된 시장 미 존재   |
| <b>기존기술 활용방안</b>      | • 기존 IT 기술 최대 활용  |
| <b>기술개발 필요성</b>       | • 도시계획·설계 실무에 개발된 기술을 효과적으로 활용하기 위한 시스템 구축 필요                           |
| <b>주요 연구내용</b>        | • 도시열 발생·저감 모니터링 시스템 개발<br>• 도시열 발생·저감 모니터링 시스템 실증                      |
| <b>정부지원 타당성</b>       | • 도시열환경을 상시적으로 모니터링 하고 모니터링 결과의 원인을 파악하는 시스템으로 공공부문에서 활용도가 매우 높을 것으로 예상 |
| <b>기술확보전략</b>         | • 해당 시스템의 주요 기능을 효과적으로 구현할 수 있는 전문 GIS업체 확보                             |
| <b>최종성과물 활용방안</b>     | • 도시 내 열환경이 문제시되는 지역의 원인 규명<br>• 열환경 관련 도시계획 수립을 위한 기초자료로 활용            |

(3) 도시열 저감에 의한 에너지사용 저감효과 분석기술 개발

표 3-15. 도시에너지 사용량 DB구축(수집)

|                |  |
|----------------|--|
| 연구개발목표         | • 도시에너지 사용량 DB 구축  |
| 기술유형/성과유형      | • 기초/DB  |
| 기술개발 및 산업/시장동향 | • 직접적으로 관련된 시장 미존재   |
| 기존기술 활용방안      | • 기존 탄소저감 도시조성 관련 국가 R&D과제서 구축한 DB 최대 활용   |
| 기술개발 필요성       | • 도시 기온에 영향을 미치는 열 에너지의 10% 이상이 인공요인에 의해 발생<br>• 인공요인의 주를 이루는 도시에너지 사용량을 통해 열환경 개선을 위한 기초 알고리즘 파악 가능                   |
| 주요 연구내용        | • 도시에너지 사용량 DB 구축<br>- 에너지원별, 용도별 에너지 사용량  |
| 정부지원 타당성       | • 해당 DB는 공공재적 성격이 강하기 때문에 정부의 지원이 수반되어야 가능   |
| 기술확보전략         | • 존 탄소저감 도시조성 관련 국가 R&D과제서 구축한 DB 최대 활용하되 본 연구에 필요한 자료는 추가로 수집하여 확보<br>• 관련 DB를 보유하고 있는 국가 기관과 긴밀한 협조체계마련              |
| 최종성과물 활용방안     | • 도시열 저감에 따른 에너지저감량 산정기술을 위한 기초데이터로 활용<br>• 도시열 발생-저감 모니터링시스템 구축을 위한 기초 알고리즘 제공<br>• 열섬저감 도시공간 설계시스템 구축을 위한 기초 알고리즘 제공 |

표 3-16. 도시열 저감 요소별 에너지사용 저감기여도 분석기술

|                |  |
|----------------|--|
| 연구개발목표         | • 도시열 저감 요소별 에너지사용 저감기여도 분석  |
| 기술유형/성과유형      | • 기초/Prototype 전산코드  |
| 기술개발 및 산업/시장동향 | • 직접적으로 관련된 시장 미 존재  |
| 기존기술 활용방안      | -  |
| 기술개발 필요성       | • 도시 내 열 저감요소들이 에너지 사용과 연계되어 있으나 개별 효과를 정량적으로 산정한 연구 부재                      |
| 주요 연구내용        | • 도시열 저감 요소별 에너지사용 저감기여도 분석  |
| 정부지원 타당성       | • 해당 기술은 향후 국가 에너지 정책 및 열환경 개선과 관련된 것으로 공공부문에서 활용도가 높을 것으로 예상                |
| 기술확보전략         | • 다양한 통계기술을 적용하여 도시열 저감 요소별 에너지사용 저감과의 관계 규명                                 |
| 최종성과물 활용방안     | • 도시열 발생-저감 모니터링시스템 구축을 위한 기초 알고리즘 제공<br>• 열환경 및 저탄소 관련 도시계획 수립을 위한 기초자료로 활용 |

표 3-17. 도시열 저감에 따른 에너지저감량 산정기술 개발 및 실증

|                |  |
|----------------|--|
| 연구개발목표         | • 도시열 저감에 따른 에너지저감량 산정기술 개발 및 실증   |
| 기술유형/성과유형      | • 기초/Prototype 전산코드  |
| 기술개발 및 산업/시장동향 | • 직접적으로 관련된 시장 미 존재  |
| 기존기술 활용방안      | -  |
| 기술개발 필요성       | • 도시 내 열 저감요소들이 에너지 사용과 연계되어 있으나 개별 효과를 정량적으로 산정한 연구 부재  |
| 주요 연구내용        | • 열섬저감에 따른 에너지저감량 산정기술 개발<br>• 지역적 차원에서 다양한 열섬 저감요소들의 규모, 배치에 따른 에너지 사용 저감효과 분석<br>• 열섬저감에 따른 에너지저감량 산정기술 실증 |
| 정부지원 타당성       | • 향후 국가 에너지 정책 및 열환경 개선과 관련된 것으로 공공부문에서 활용도가 높을 것으로 예상   |
| 기술확보전략         | • 다양한 고급 통계기술을 적용하여 도시열 저감 요소별 에너지사용 저감과의 관계 규명  |
| 최종성과물 활용방안     | • 도시열 발생-저감 모니터링시스템 구축을 위한 기초 알고리즘 제공<br>• 열환경 및 저탄소 관련 도시계획 수립을 위한 기초자료로 활용                                 |

나. 열섬저감 도시공간 설계시스템(분석 및 평가)

(1) 도시열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술

표 3-18. 도시기상을 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술

|                |  |
|----------------|--|
| 연구개발목표         | • 도시기상을 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 개발 및 실증  |
| 기술유형/성과유형      | • 기초/분석엔진  |
| 기술개발 및 산업/시장동향 | • 직접적으로 관련된 시장 미 존재  |
| 기존기술 활용방안      | • 기존 시뮬레이션기술(중기상 모델, 미기후 모델)과의 비교검증을 통한 정확성 확보   |
| 기술개발 필요성       | • 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술은 도시 열환경 개선을 위해 선제적으로 개발되어야 하나, 선도국 대비 기술격차가 매우 심함(60% 수준)        |
| 주요 연구내용        | • 도시기상을 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 개발(거시-미시적 모델)<br>• 도시기상을 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 실증    |
| 정부지원 타당성       | • 도시 기후 예측은 공공재적 성격이 강한 기술로 공공부문에서의 활용도가 높을 것으로 예상                                     |
| 기술확보전략         | • 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술의 정확성을 확보할 수 있는 전문 인력 확보<br>• 주요 선도국과의 학술적 교류를 통한 시뮬레이션기술의 정확성 확보 |
| 최종성과물 활용방안     | • 열섬저감 도시공간 설계시스템 구축을 위한 기초 알고리즘 제공  |

표 3-19. 기후변화를 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>연구개발목표</b>         | • 기후변화를 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 개발 및 실증   |
| <b>기술유형/성과유형</b>      | • 기초/Prototype 전산코드   |
| <b>기술개발 및 산업/시장동향</b> | • 기후변화 관련 환경 컨설팅 시장의 지속적 성장 예상  |
| <b>기존기술 활용방안</b>      | • 현재 기상청에서 제공하고 있는 고해상도(1km*1km) 시나리오의 활용   |
| <b>기술개발 필요성</b>       | • 기후변화에 선제적으로 대응하기 위한 기후변화 감사-예측 능력 확보 필요   |
| <b>주요 연구내용</b>        | • 본 연구에 적용 가능한 기후변화 시나리오 선정<br>• 도시기상을 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술과 연계하여 기후변화 시나리오 적용 |
| <b>정부지원 타당성</b>       | • 국가에서 추진하는 기후변화 대응력 강화와 직접적으로 연관된 과제   |
| <b>기술확보전략</b>         | • 주요 선도국과의 학술적 교류를 통해 시뮬레이션기술의 정확성 확보<br>• 국가 R&D로 수행하고 있는 기후변화 시나리오개발 연구 과제와 연계  |
| <b>최종성과물 활용방안</b>     | • 열섬저감 도시공간 설계시스템 구축을 위한 기초 알고리즘 제공   |

표 3-20. 열원 역추적 분석 모델링 기술

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>연구개발목표</b>         | • 열원 역추적 분석 모델링 기술 개발 및 실증   |
| <b>기술유형/성과유형</b>      | • 기초/분석엔진  |
| <b>기술개발 및 산업/시장동향</b> | • 직접적으로 관련된 시장 미 존재  |
| <b>기존기술 활용방안</b>      | • 해당 기술은 전 세계적으로 개발되어 있지 않은 신기술임   |
| <b>기술개발 필요성</b>       | • 미 관측 지역이 다수 존재하여 도시계획설계를 위한 충분한 자료구득 제한<br>• 도시 내 열환경이 문제시 되는 지역을 파악하기 위해서는 열 발생메커니즘과 기상현상을 고려한 시뮬레이션 필요 |
| <b>주요 연구내용</b>        | • 열원 역추적 분석 모델링 기술 개발<br>• 열원 역추적 분석 모델링 기술 실증   |
| <b>정부지원 타당성</b>       | • 도시의 열환경을 악화시키는 주요 원인을 규명하는 것으로 공공재적 성격이 매우 강한 기술   |
| <b>기술확보전략</b>         | • 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션을 정확하게 개발할 수 있는 전문 인력 확보<br>• 주요 선도국과의 학술적 교류를 통해 시뮬레이션기술의 정확성 확보                       |
| <b>최종성과물 활용방안</b>     | • 열섬저감 도시공간 설계시스템 구축을 위한 기초 알고리즘 제공<br>• 열환경 관련 도시계획 수립을 위한 기초자료 제공  |

(2) 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발

표 3-21. 열환경 설계 및 관리를 위한 도시기후구역 유형화(LCZ)

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>연구개발목표</b>         | • 열환경 설계 및 관리를 위한 도시기후구역 유형화   |
| <b>기술유형/성과유형</b>      | • 기초/DB  |
| <b>기술개발 및 산업/시장동향</b> | • 녹색 건축 시장의 지속적 성장 예상<br>• 직접적으로 관련된 시장 미 존재   |
| <b>기존기술 활용방안</b>      | • 기존 도시 유형화 방법과 연계하여 도시기후구역 유형화  |
| <b>기술개발 필요성</b>       | • 도시의 열환경 개선을 위해서는 다양화가 나타나는 도시 유형별 맞춤형 대안제시 필요  |
| <b>주요 연구내용</b>        | • 기존 도시유형화 방법 고찰<br>• 실제 도시기후에 영향을 미치는 도시공간 요소 도출<br>• 도출된 요소를 종합하여 도시기후구역 유형화 및 유형별 DB 구축 |
| <b>정부지원 타당성</b>       | • 도시 열환경 설계 및 관리는 공공의 영역으로 공공부문에서의 활용도가 높은 기술<br>• 국토·도시계획과 환경계획과의 효과적 연계를 위한 도시공간 유형화 필요  |
| <b>기술확보전략</b>         | • 기존 기후구역 유형화 연구 참고  |
| <b>최종성과물 활용방안</b>     | • 열섬저감 도시공간 설계시스템 내 라이브러리로 활용<br>• 열환경 개선을 위한 계획·설계·관리 가이드라인 수립에 활용(유형별 맞춤형 전략 제시)         |

표 3-22. 도시기후구역 유형별 열섬저감을 위한 도시설계 및 관리요소 입지/우선순위 분석기술

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>연구개발목표</b>         | • 도시기후구역 유형별 열섬저감을 위한 도시설계 및 관리요소 입지/우선순위 분석기술 개발  |
| <b>기술유형/성과유형</b>      | • 응용/이용기술  |
| <b>기술개발 및 산업/시장동향</b> | • 녹색 건축 시장의 지속적 성장 예상<br>• 직접적으로 관련된 시장 미 존재   |
| <b>기존기술 활용방안</b>      | • 국외 주요 열섬저감 도시계획 사례 참고  |
| <b>기술개발 필요성</b>       | • 도시의 열환경을 개선하기 위해서는 열섬저감 요소들간의 상호 메커니즘에 의한 종합적 결과 도출 필요<br>- 열섬저감 요소의 개별적 효과에 대한 연구사례는 많은 반면, 다양한 요소들이 종합적으로 고려한 연구는 미흡 |
| <b>주요 연구내용</b>        | • 도시공간 유형별 적용 가능한 도시설계 및 관리요소 도출<br>• 열섬저감 요소별 입지우선순위 분석기술 개발<br>• 열섬저감 요소 입지에 따른 열환경 개선효과 분석기술 개발                       |
| <b>정부지원 타당성</b>       | • 도시 열환경 설계 및 관리는 공공의 영역으로 공공부문에서의 활용도가 높은 기술  |
| <b>기술확보전략</b>         | • 기존 KOPPS에서 개발한 도시계획시설 입지분석 모듈과 연계  |
| <b>최종성과물 활용방안</b>     | • 열섬저감 도시공간 설계시스템 내 기본 모듈로 활용<br>• 도시계획 심의시  |

표 3-23. 기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 도시공간 의사결정지원기술

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>연구개발목표</b>         | • 기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 도시공간 의사결정지원기술 개발  |
| <b>기술유형/성과유형</b>      | • 응용/이용기술  |
| <b>기술개발 및 산업/시장동향</b> | • 녹색 건축 시장의 지속적 성장 예상  |
| <b>기존기술 활용방안</b>      | • 해당 기술은 전 세계적으로 개발되어 있지 않은 신기술임   |
| <b>기술개발 필요성</b>       | • 도시열환경 개선을 위한 과학적 근거 마련 필요<br>• 해당 기술은 도시 열환경 개선을 위해 선제적으로 개발되어야 하나, 선도국 대비 기술격차가 매우 심함(60% 수준)<br>• 도시 기온에 영향을 미치는 열 에너지의 10% 이상이 인공요인에 의해 발생하는 바, 열환경 설계 및 관리를 통해 저감 가능 |
| <b>주요 연구내용</b>        | • 도시열환경 개선을 위한 적정 개발밀도 산정기술 개발<br>• 도시열환경 개선을 위한 적정 건물배치기술 개발  |
| <b>정부지원 타당성</b>       | • 도시 열환경 설계 및 관리는 공공의 영역으로 공공부문에서의 활용도가 높은 기술  |
| <b>기술확보전략</b>         | • 도시열환경 관련 도시계획 전문가 확보<br>• 시뮬레이션기술과 연계 확보   |
| <b>최종성과물 활용방안</b>     | • 열환경 관련 도시계획 수립을 위한 과학적 근거 제시   |

표 3-24. 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발 및 실증

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>연구개발목표</b>         | • 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발 및 실증   |
| <b>기술유형/성과유형</b>      | • 응용/시스템(S/W)   |
| <b>기술개발 및 산업/시장동향</b> | • 녹색 건축 시장의 지속적 성장 예상<br>• 직접적으로 관련된 시장 미 존재  |
| <b>기존기술 활용방안</b>      | • 기존 시뮬레이션기술(중기상 모델, 미기후 모델)과의 비교검증을 통한 정확성 확보  |
| <b>기술개발 필요성</b>       | • 도시열환경 개선을 위한 과학적 근거 마련 필요<br>• 도시계획·설계안의 효과적 계획수립과 평가를 위한 의사결정 지원시스템 구축 필요          |
| <b>주요 연구내용</b>        | • 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발<br>• 2차원 열환경 분석기법의 3차원 전환기술<br>• 열섬저감 도시공간 설계시스템 실증              |
| <b>정부지원 타당성</b>       | • 도시 열환경 설계 및 관리는 공공의 영역으로 공공부문에서의 활용도가 높은 기술   |
| <b>기술확보전략</b>         | • 도시열환경 관련 도시계획 전문가 확보<br>• 해당 시스템의 주요 기능을 효과적으로 구현할 수 있는 전문 GIS업체 확보                 |
| <b>최종성과물 활용방안</b>     | • 도시열환경 분석평가·설계·관리를 위한 요소기술로 활용<br>• 도시계획·설계 관련 각종 평가 및 심의에 활용(도시계획 및 건축심의, 환경영향평가 등) |

### 다. 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 및 지원체계 개발

(1) 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 및 지원체계

표 3-25. 도시공간 위계별·유형별 기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 계획·설계·관리 가이드라인 /Prototype 개발

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>연구개발목표</b>         | • 도시공간 위계별·유형별 기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 계획·설계·관리 가이드라인 개발   |
| <b>기술유형/성과유형</b>      | • 응용/기준, 지침   |
| <b>기술개발 및 산업/시장동향</b> | • 녹색 건축 시장의 지속적 성장 예상<br>• 직접적으로 관련된 시장 미 존재  |
| <b>기존기술 활용방안</b>      | • 기존 국가에서 개발한 가이드라인과 연계   |
| <b>기술개발 필요성</b>       | • 도시공간 위계별·유형별 열환경 개선을 위한 구체적 가이드라인 개발 미흡   |
| <b>주요 연구내용</b>        | • 도시공간 위계별·유형별 기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 계획·설계·관리 가이드라인 개발   |
| <b>정부지원 타당성</b>       | • 도시 열환경 설계 및 관리는 공공의 영역으로 공공부문에서의 활용도가 높은 기술<br>• 해당 가이드라인은 공공에서 배포해야 실효성 확보 가능                                      |
| <b>기술확보전략</b>         | • 도시계획 전문가 확보<br>• 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발, 시열 발생·저감 모니터링시스템 개발 연구의 성과와 연계확보   |
| <b>최종성과물 활용방안</b>     | • 해외 선도국의 선진사례 벤치마킹<br>• '녹색도시개발 계획수립 및 평가기준', '건축물 녹화 기본계획 수립 매뉴얼' 등 중앙정부 부처에서 개발한 친환경 도시개발 관련 계획·평가 가이드라인의 과학화, 실용화 |

표 3-26. 기후변화 적응 및 열섬저감도시 조성을 위한 제도 개선안 제시

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>연구개발목표</b>         | • 기후변화 적응 및 열섬저감도시 조성을 위한 제도 개선안 제시  |
| <b>기술유형/성과유형</b>      | • 응용/정책제안  |
| <b>기술개발 및 산업/시장동향</b> | • 녹색 건축 시장의 지속적 성장 예상<br>• 직접적으로 관련된 시장 미 존재   |
| <b>기존기술 활용방안</b>      | • 기존 국가에서 운용 중인 관련 제도와 연계  |
| <b>기술개발 필요성</b>       | • 기후변화 적응 측면에서 열환경 개선을 위한 제도정비 필요  |
| <b>주요 연구내용</b>        | • 기후변화 적응 및 열섬저감도시 조성을 위한 제도 개선안 제시  |
| <b>정부지원 타당성</b>       | • 제도 개선안은 공공에서 배포해야 실효성 확보 가능  |
| <b>기술확보전략</b>         | • 기존 국가에서 운용 중인 관련 제도와 연계<br>• 해외 선도국의 선진사례 벤치마킹<br>• 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발, 시열 발생·저감 모니터링시스템 개발 연구의 성과와 연계확보 |
| <b>최종성과물 활용방안</b>     | • 중앙정부부처 및 기초지자체에서 운용 중인 관련제도의 선진화   |

표 3-27. 도시열 취약지역 개선 및 관리방안 수립

|                |   |
|----------------|---|
| 연구개발목표         | • 도시열 취약지역 개선 및 관리방안 수립   |
| 기술유형/성과유형      | • 응용/정책제안   |
| 기술개발 및 산업/시장동향 | • 녹색 건축 시장의 지속적 성장 예상<br>• 직접적으로 관련된 시장 미 존재  |
| 기존기술 활용방안      | -   |
| 기술개발 필요성       | • 환경복지 실현을 위해 기후변화(열) 취약계층에 대한 지원 필요  |
| 주요 연구내용        | • 도시열 취약지역 개선 및 관리방안 제시   |
| 정부지원 타당성       | • 도시열 취약지역의 개선 및 관리는 공공의 적극적 관심을 통해 가능  |
| 기술확보전략         | • 기존 국가에서 운용 중인 관련 제도와의 연계<br>• 해외 선도국의 선진사례 벤치마킹<br>• 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발, 시열 발생-저감 모니터링시스템 개발 연구의 성과와 연계 |
| 최종성과를 활용방안     | • 열환경 관련 도시계획 수립을 위한 가이드라인으로 활용   |

표 3-28. 열섬저감 도시조성 관련 일자리 및 산업 육성방안

|                |  |
|----------------|--|
| 연구개발목표         | • 열섬저감 도시조성 관련 일자리 및 산업 육성방안 수립  |
| 기술유형/성과유형      | • 응용/비즈니스모델  |
| 기술개발 및 산업/시장동향 | • 녹색 건축 시장의 지속적 성장 예상<br>• 직접적으로 관련된 시장 미 존재   |
| 기존기술 활용방안      | -  |
| 기술개발 필요성       | • 관련시장 활성화를 위한 아이템 발굴 필요   |
| 주요 연구내용        | • 열섬저감 도시조성 관련 일자리 창출방안 제시<br>• 열섬저감 도시조성 관련 산업 육성방안 제시  |
| 정부지원 타당성       | • 열섬저감 도시조성과 관련된 산업은 국가적 지원을 통해 육성 및 성장 가능   |
| 기술확보전략         | • 해외 선도국의 선진사례 벤치마킹  |
| 최종성과를 활용방안     | • 건설시장(녹색 건축-건설시장), 환경시장(기후산업 시장, 환경건설링 시장), 정보통신시장(재난분석평가기술시장, GIS시장) 활성화<br>• 열섬문제가 심각한 해외 주요 국가도시의 건설시장에 국내 기술 수출 |

#### 4. 선정된 후보과제 대상 경제적 타당성 분석

##### 가. 도시열 발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링기술

| 과제명                               | 경제적 효과  | 경제·사회적 파급효과  |
|-----------------------------------|---|--|
| 열환경 분석을 위한 DB 구축 및 열 취약지역 분석기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> <li>열 취약지역 분석을 통해 도시의 효과적인 열환경 개선대책 수립 가능</li> <li>폭염으로 인한 사망률 저감, 건강의료 비용 절감, 도시민 수명 연장</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시민 삶의 질과 체감 건강복지 향상</li> <li>기후변화에 의한 재해 피해(인명, 재산)규모 및 비용 절감</li> <li>기후변화 예측대응능력 제고</li> </ul> |
| 도시열 발생저감 모니터링시스템 개발 및 실증          | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시열 발생저감을 상시 모니터링함으로써 열환경 개선을 위한 계획 수립시 비용 절감</li> <li>열 발생저감요소의 성능을 정량적으로 파악함으로써 도시계획 수립시 관련 인프라의 효과적 계획 및 설계 가능 (도시공간의 열환경 성능 제고)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>공간정보활용분석기술력 향상</li> </ul>   |
| 도시열 저감에 의한 에너지사용 저감효과 분석기술 개발     | <ul style="list-style-type: none"> <li>열환경 개선에 의한 부가효과 (에너지 사용 저감효과)정량화</li> <li>도시환경계획 수립을 위한 기초자료 제공</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>공간정보활용분석기술력 향상</li> </ul>   |

##### 나. 열섬저감 도시공간 설계 및 관리시스템

| 과제명                     | 경제적 효과  | 경제·사회적 파급효과   |
|-------------------------|---|---|
| 도시열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술   | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 능력 제고: 해외시장 진출을 위한 핵심 기술 개발</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>재난분석기술력, 공간정보활용분석기술력 향상</li> <li>기후변화 예측대응능력 제고</li> </ul>   |
| 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발 및 실증 | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시열섬 면적 및 평균기온 저감</li> <li>도시공간의 기후변화 대응력 제고</li> <li>각종 도시계획-설계관련 평가 및 심의를 위한 과학적 근거 제공 (관련 업무 효율 향상)</li> <li>건설시장(녹색 건축-건설시장), 환경시장(기후산업시장, 환경건설링시장), 정보통신시장(재난분석평가기술시장, GIS시장) 활성화, 신규 일자리 창출</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시민 삶의 질과 체감 건강복지 향상</li> <li>기후변화에 의한 재해 피해(인명, 재산)규모 및 비용 절감</li> <li>도시계획-설계기술력, 녹색 건축, 건설기술력, 재난분석기술력, 공간정보활용분석기술력 향상</li> </ul> |

##### 다. 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시 조성기법 및 지원체계 개발

| 과제명                   | 경제적 효과  | 사회적 파급효과   |
|-----------------------|---|--|
| 도시열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 | <ul style="list-style-type: none"> <li>건설시장(녹색 건축-건설시장), 환경시장(기후산업시장, 환경건설링시장), 활성화, 신규 일자리 창출</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시공간 성능 향상</li> <li>기후변화에 의한 재해 피해(인명, 재산)규모 및 비용 절감</li> </ul> |

## 제4장 연구개발과제 기획

### 제1절 연구 목표 및 범위

#### 도시열환경 설계 및 관리시스템의 개발을 통해 기후변화 추세에 능동적으로 대응하는 저열섬 도시를 조성하는 것

- 본 기획연구를 통해 도출되는 연구과제의 최종 목표는 도시열환경 설계 및 관리시스템의 개발을 통해 기후변화 추세에 능동적으로 대응하는 저열섬 도시를 조성하는 것임
- 저열섬 도시 조성을 위해 도시계획 및 설계부문에 실용성을 확보할 수 있는 세계적 수준의 도시열환경 설계 및 관리시스템의 개발함. 이를 위해 열 발생·저감 기여도 분석에 기반한 열 발생·저감기여도 모니터링기술과 도시계획 및 설계시 열섬저감을 위한 도시공간 설계시스템을 개발함. 개발된 기술에 기반하여 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 및 지원체계를 개발함

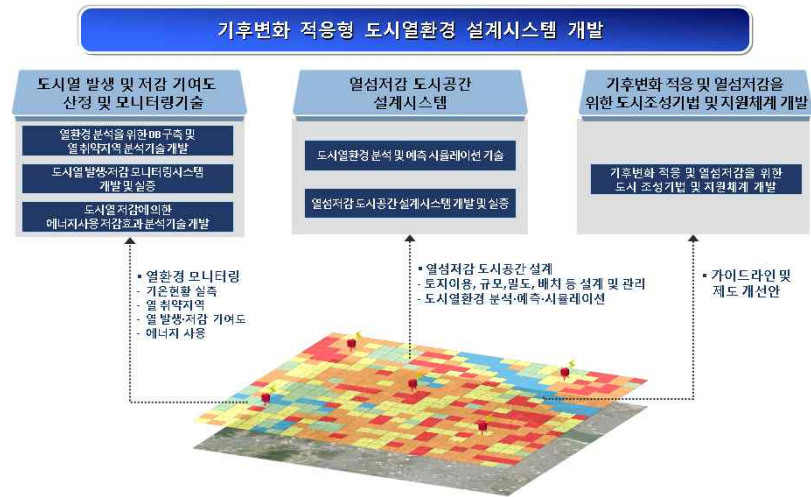


그림 4-1. 연구의 목표

- 각 기술별 연구개발 수준에 기초하여 연구개발 목표를 설정함
- 본 연구의 최종 성과물이 저열섬 도시 조성을 위한 의사결정 지원시스템을 개발하는 것이기 때문에 정량적 목표는 1차적으로 시스템의 정확도, 분석해상도, 분석 소요시간으로 제시함
- 한편, 본 시스템을 적용하여 궁극적으로 도시의 열섬을 저감하기 위한 도시 열환경 설계/관리기술이 제시되어야 함. 따라서 개발된 시스템의 파일럿 테스트를 통해 도시의 열환경이 개선될 수 있는 계획·설계 Prototype을 제시함
  - Liu and Bass(2005)는 캐나다 토론토를 대상으로 도심지에 건물옥상의 50%를 녹화할 경우 도시 전체 기온은 0.8~1.0℃ 감소하는 것으로 예측함
  - Rosenweig and Solecki(2006)은 뉴욕시에 전체 가용한 옥상면적을 모두 녹화한다고 가정하고 옥상으로부터 2m 상공의 대기 온도를 시뮬레이션 한 결과, 도시 전체의 하루 평균온도가 0.2℃ 감소하고, 오후 3시 온도는 0.4℃ 감소하였으며, 일부 높은 감소를 보이는 구역들은 최대 1.0℃까지 감소하는 것으로 보고한 바 있음
- 본 연구는 옥상녹화 뿐만 아니라 도시개발 밀도, 배치 유형 등을 종합적으로 고려하여 대안을 제시해야 함. 선행 연구에서 제시된 바와 같이 개발된 시스템을 통해 현 도시계획 및 건축법에 제시된 개발 기준을 충족시키면서 도시열환경을 개선할 수 있는 대안을 제시함
- 각 기술별 연구개발 수준과 연구추진체계를 고려하여 다음과 같이 연구개발 목표를 설정함

표 4-1. 연구개발 목표

| 기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템 개발 목표                         |  |
|---|--|
| 도시열환경 설계 및 관리시스템의 개발을 통해 기후변화 추세에 능동적으로 대응하는 저열섬 도시를 조성 |  |
| 정성적 목표  | 정량적 목표   |
| 도시열 발생 및 저감기여도 산정 및 모니터링 시스템 개발                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>열섬 발생 및 저감 메커니즘의 정확도 R<sup>2</sup> 0.75 이상 확보</li> <li>실제 관측자료와 90% 이상의 정확도 확보</li> </ul>           |
| 열섬 저감도시공간 설계시스템 개발                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시계획 및 설계, 평가, 분석시 요구되는 공간단위(해상도) 수준 확보: 최소 100m 이상</li> <li>개별 모듈별 시뮬레이션의 정확도 85% 이상 확보</li> </ul> |
| 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 및 지원체계 개발                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>열섬 중심지역의 예년 평균기온 대비 온도저감을 위한 대안 제시(미시적: 1℃, 거시적: 0.3℃)</li> </ul>                                   |

## 제2절 세부과제 도출 및 연구내용

### 1. 세부과제별 연구내용

- 3장에서 도출된 과제추진체제와 선정된 과제에 기초하여 다음과 같이 과제를 구성함.  
과제구성은 과제추진체제를 고려하여 선정된 과제를 세분화 또는 통합하는 과정을 거쳐 도출됨

|  |  |   |
|--|--|---|
| (3세부과제)<br>기후변화 적응 및<br>열섬저감을 위한<br>도시 조성기법 및<br>지원체계 개발<br>(응용연구) | (3-1)<br>기후변화 적응 및 열섬저감을<br>위한 도시조성기법 및<br>지원체계 개발 | • 도시공간 위계별-유형별 기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 계획-설계-관리 가이드라인/Prototype 개발 |
|  |  | • 기후변화 적응 및 열섬저감도시 조성을 위한 제도 개선안 제시(녹색인프라 장려제도 포함)              |
|  |  | • 도시열 취약지역 개선 및 관리방안 수립   |
|  |  | • 열섬저감 도시조성 관련 일자리 및 산업 육성방안 수립                                 |

표 4-2. 과제구성 결과(기술트리)

| 과제명   | 연구내용   |   |  |
|---|--|---|--|
| (1세부과제)<br>도시열 발생 및 저감<br>기여도 산정 및<br>모니터링기술 개발<br>(응용연구) | (1-1)<br>열환경 분석을 위한<br>DB 구축 및 열 취약지역<br>분석기술 개발   | <ul style="list-style-type: none"> <li>기온현황 실측 및 도면 작성/DB 구축</li> <li>기후변화 시나리오 기반 미래 도시열환경 예측</li> <li>기후변화를 고려한 열 취약지역 분석기술</li> <li>도시열 발생-저감 모니터링시스템과의 연계기술</li> </ul>  |  |
|   | (1-2)<br>도시열 발생-저감<br>모니터링시스템 개발 및 실증              | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시공간 내 열 발생 및 저감요소 유형화 및 DB구축</li> <li>도시공간 요소별 열 발생 기여도 산정기술</li> <li>도시공간 요소별 열 저감 기여도 산정기술</li> <li>도시열 발생-저감 모니터링시스템 개발</li> <li>도시열 발생-저감 모니터링시스템 실증(Pilot Test)</li> </ul> |  |
|   | (1-3)<br>도시열 저감에 의한<br>에너지사용 저감효과<br>분석기술 개발       | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시에너지 사용량 DB구축(수집)</li> <li>도시열 저감에 따른 에너지사용 저감기여도 분석기술</li> <li>도시열 저감에 따른 에너지저감량 산정기술</li> <li>도시열 저감에 따른 에너지저감량 산정결과 실증</li> <li>도시열 발생-저감 모니터링시스템과의 연계기술</li> </ul>          |  |
|   | (2세부과제)<br>열섬저감 도시공간<br>설계 및 관리시스템<br>개발<br>(응용연구) | (2-1)<br>도시열환경 분석 및 예측<br>시뮬레이션기술 개발  | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시기상을 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술</li> <li>기후변화를 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술</li> <li>열원 역추적 분석 모델링기술</li> <li>도시열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 검증</li> <li>열섬저감 도시공간 설계시스템과의 연계기술 개발</li> </ul>   |
|   |  | (2-2)<br>열섬저감 도시공간<br>설계시스템 개발  | <ul style="list-style-type: none"> <li>열환경 설계 및 관리를 위한 도시기후구역(LCZ) 유형화</li> <li>도시기후구역 유형(LCZ)별 열섬저감을 위한 도시설계 및 관리요소 입지/우선순위 분석기술</li> <li>기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 도시공간 의사결정지원기술</li> <li>열섬저감 도시공간 설계시스템 개발</li> <li>열섬저감 도시공간 설계시스템 실증(Pilot Test)</li> </ul> |

## 2. 연차별·단계별 기술개발 로드맵

### 가. 도시열 발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링기술 개발

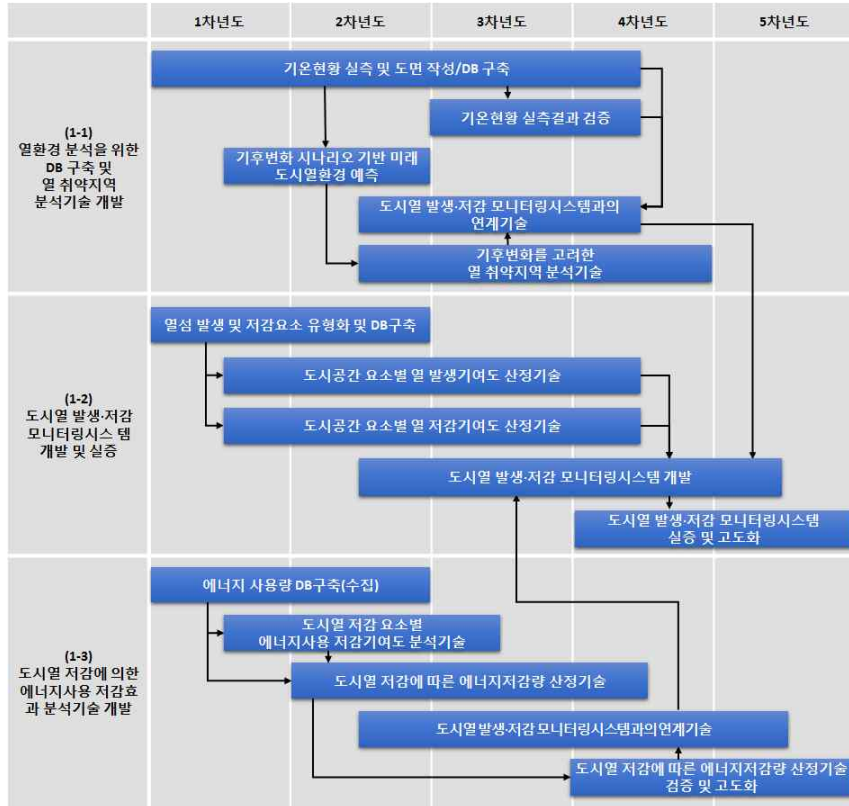


그림 4-2. 1세부과제 로드맵

### 나. 열섬저감 도시공간 설계 및 관리시스템 개발

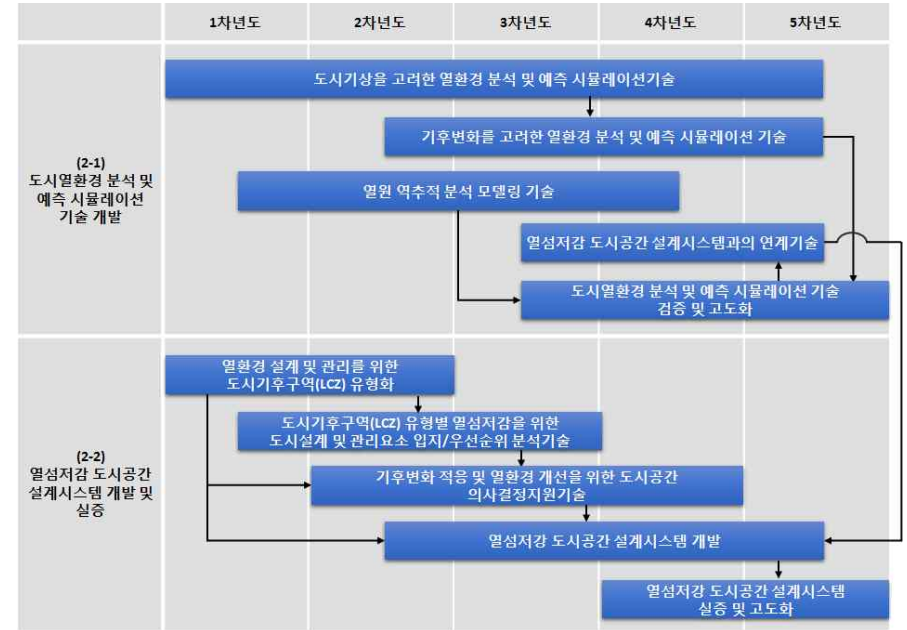


그림 4-3. 2세부과제 로드맵

### 다. 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시 조성기법 및 지원체계 개발



그림 4-4. 3세부과제 로드맵

### 3. 연차별·단계별 성과로드맵

#### 가. 연구목표별 주요 성과물 선정

- 연구성과 도출을 위해 필수적으로 도출되어야 할 중간 산출물(Output)과 최종적으로 도출되는 성과물(Outcome)을 세부과제별로 선정함
- 성과물은 세부과제별로 제시되며, 각 세부과제별 성과물이 각각 연계되어 최종적인 연구성과를 달성할 수 있음
- 세부 연구목표별 산출물과 세부과제별 성과물은 다음과 같음

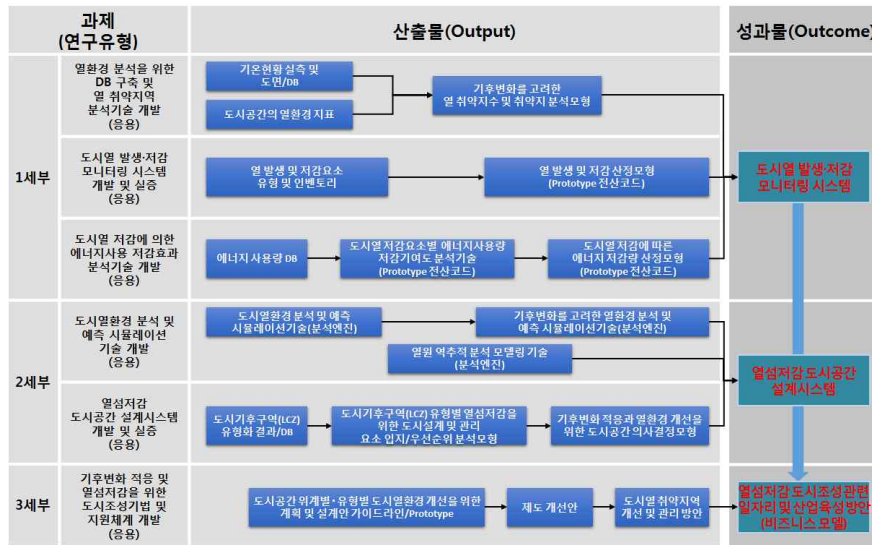


그림 4-5. 과제별·연차별 산출물(Output) 및 성과물(Outcome)

- 성과물 형태별로 살펴보면 조사 및 분석 결과를 정리한 데이터베이스(DB)와 타 연구 과정에서 활용할 수 있는 이용기술, 다른 연구성과와의 원활한 연계를 위한 형태인 Prototype 전산코드 및 분석엔진, 연구성과를 집약한 시스템 등이 있으며, 최종적으로 실제 도시에 활용을 위한 매뉴얼 및 제도·정책 개선안이 있음

표 4-3. 연구목표별 주요 성과물 및 성과물 형태

| 연구목표                                     | 주요 성과물   | 성과물 형태                      |                |
|--|--|-----------------------------|----------------|
| 1세부                                      | 열환경 분석을 위한 DB 구축 및 열 취약지역 분석기술 개발 (응용)             | 기온현황 실측 및 도면/DB             | DB             |
|  |  | 도시공간의 열환경 지표                | 이용기술           |
|  |  | 기후변화를 고려한 열 취약지수 및 취약지 분석모형 | 이용기술           |
|  | 도시열 발생-저감 모니터링 시스템 개발 및 실증 (응용)                    | 열 발생 및 저감요소 유형 및 인벤토리       | DB             |
|  |  | 열 발생 및 저감 산정모형              | Prototype 전산코드 |
|  |  | 도시열 발생-저감 모니터링 시스템          | 시스템            |
| 도시열 저감에 의한 에너지사용 저감효과 분석기술 개발            | 에너지 사용량 DB   | DB                          |                |
|  | 도시열 저감요소별 에너지사용량 저감기여도 분석기술 (Prototype 전산코드)       | Prototype 전산코드              |                |
|  | 도시열 저감에 따른 에너지 저감량 산정모형 (Prototype 전산코드)           | Prototype 전산코드              |                |
| 도시열환경 분석 및 예측 시뮬레이션 기술 개발                | 도시열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술(분석엔진)                        | 분석엔진                        |                |
|  | 기후변화를 고려한 열환경 분석 및 시뮬레이션기술(분석엔진)                   | 분석엔진                        |                |
|  | 열원 역추적 분석 모델링 기술(분석엔진)                             | 분석엔진                        |                |
| 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발 및 실증                  | 도시기후구역(LCZ) 유형화 결과/DB                              | DB                          |                |
|  | 도시기후구역(LCZ) 유형별 열섬저감을 위한 도시설계 및 관리 요소입지/우선순위 분석모형  | 이용기술                        |                |
|  | 기후변화 적응과 열환경 개선을 위한 도시공간 의사결정모형                    | 이용기술                        |                |
|  | 열섬저감 도시공간 설계시스템                                    | 시스템                         |                |
| 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 및 지원체계 개발 (응용) | 도시공간 위계별-유형별 도시열환경 개선을 위한 계획 및 설계안 가이드라인/prototype | 계획 및 설계 가이드라인/Prototype     |                |
|  | 제도 개선안   | 제도 및 정책 개선안                 |                |
|  | 도시열 취약지역 개선 및 관리 방안                                | 관리방안                        |                |
|  | 열섬저감 도시조성 관련 일자리 및 산업육성 방안                         | 비즈니스모델                      |                |

### 제3절 핵심성과표

#### 1. 1세부과제명: 도시열 발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링기술 개발

##### 가. 핵심성과명: 열 발생 및 저감 산정모형

|        |  |
|--------|--|
| 정의(설명) | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시공간요소별 열 발생 및 저감 기여도 산정 기술 개발</li> </ul>   |
| 설정사유   | <ul style="list-style-type: none"> <li>효과적인 열환경 관리를 위한 기초단계로, 도시열환경 모니터링을 위해 열 발생 및 저감 기능을 하는 도시공간 요소 선정 및 유형화 필요</li> <li>열 발생 및 저감 요소의 종합적인 기여도 분석 필요</li> </ul>   |
| 목적     | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시공간 요소별 열 발생 및 저감 기여도 산정을 통해 도시공간의 열 발생 및 저감 모니터링을 가능하게 하고, 이를 통해 효과적인 도시열환경 관리를 도모</li> </ul>   |
| 성능목표   | <p>(기존기술 수준)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>대부분 도시의 열섬 현상의 현황을 분석하는 정도에 그치고 있음</li> <li>분석 결과를 이용하여 도시 열섬의 원인 파악, 도시의 열환경 설계 및 관리기술과 연계시키려는 시도는 부족</li> <li>도시공간 내 열 발생 및 저감 요소에 대한 체계적인 분류 미흡</li> <li>개별 도시공간 요소의 열 발생 또는 저감 기여도 분석</li> </ul> <p>(개발기술 수준)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>열 발생 및 저감에 기여하는 도시공간요소의 체계적인 분류 및 유형화</li> <li>도시열 발생 및 저감 모니터링을 위한 도시공간요소별 열 발생 및 저감 기여도 산정</li> </ul> |
| 수요처    | <ul style="list-style-type: none"> <li>중앙정부 및 지자체, 연구원 및 대학, 엔지니어링 업체, 영향평가 및 환경시뮬레이션 업체</li> </ul>  |
| 소요기간   | <ul style="list-style-type: none"> <li>1 - 5차년도(5년)</li> </ul>   |

##### 나. 핵심성과명: 도시열 저감에 따른 에너지 저감량 산정모형

|        |  |
|--------|--|
| 정의(설명) | <ul style="list-style-type: none"> <li>열환경 개선안에 의한 에너지 사용저감량 산정 기술 개발</li> </ul>   |
| 설정사유   | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시 열환경이 개선됨에 따라 냉난방 등에 소비되는 에너지 사용량 변화는 열환경 변화에 다시 영향을 미쳐 이에 대한 정확한 효과분석 필요</li> </ul>  |
| 목적     | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시에너지 사용량 DB 구축 및 도시열 저감에 따른 에너지 저감량 산정기술 개발 및 실증</li> </ul>  |
| 성능목표   | <p>(기존기술 수준)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>도시에너지 사용 현황 분석 및 DB구축</li> <li>개별 사례(건축물 또는 인프라)를 대상으로 열환경 개선에 따른 에너지 사용량 저감효과를 분석하여 도시 전체를 대상으로 다양한 요소를 고려한 종합적인 분석 미흡</li> </ul> <p>(개발기술 수준)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>도시열 저감 요소에 대한 종합적인 에너지사용 저감기여도 분석</li> <li>도시열 저감에 따라 저감되는 에너지 사용량 산정 및 실증</li> </ul> |
| 수요처    | <ul style="list-style-type: none"> <li>중앙정부 및 지자체, 연구원 및 대학</li> </ul>   |
| 소요기간   | <ul style="list-style-type: none"> <li>1 - 5차년도(5년)</li> </ul>   |

#### 2. 2세부과제명: 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발

##### 가. 핵심성과명: 도시 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술

|        |   |
|--------|---|
| 정의(설명) | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시기상을 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술</li> </ul>   |
| 설정사유   | <ul style="list-style-type: none"> <li>건축물의 배치, 높이 및 용적, 토지피복, 지형, 기상(기온, 풍향, 풍속, 습도, 일조 등) 등을 종합적으로 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 개발 필요</li> </ul>   |
| 목적     | <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>   |
| 성능목표   | <p>(기존기술 수준)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>미기상모델의 경우 분석 범위가 단지규모로 한정되어 건축물의 배치나 밀도 변화와 같은 미시적인 개선안에 따른 도시 전체의 영향을 파악 불가능</li> <li>도시전체 규모 분석을 위한 중규모 기상모델은 미시적인 개선안의 반영이 어렵고, 분석 정확도가 떨어짐</li> <li>국가/도시 전체의 기후변화와 연계하여 도시열섬현상을 분석 및 평가하는데 한계가 있음</li> <li>열 발생의 원인자를 탐색하는 기술의 부재</li> </ul> <p>(개발기술 수준)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>도시 전체 규모 및 단지수준의 미시적 규모까지 동시에 분석이 가능한 시뮬레이션기술 개발</li> <li>기후변화에 대한 고려가 가능한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 개발</li> <li>현재의 기상(기온, 풍향, 풍속, 습도, 일조 등)에 기초하여 열원을 역추적 할 수 있는 열원 역추적 분석 모델링 기술 개발</li> </ul> |
| 수요처    | <ul style="list-style-type: none"> <li>중앙정부 및 지자체, 연구원 및 대학, 엔지니어링 업체, 환경영향평가 및 시뮬레이션 업체</li> </ul>   |
| 소요기간   | <ul style="list-style-type: none"> <li>1 - 5차년도(5년)</li> </ul>  |

나. 핵심성과명: 기후변화 적응과 열환경 개선을 위한 도시공간 의사결정모형

|        |  |
|--------|--|
| 정의(설명) | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시기후구역(LCZ) 유형별 열섬저감을 위한 도시계획 및 설계 의사결정 지원기술</li> </ul>   |
| 설정사유   | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시기후구역(LCZ) 유형별 열섬저감을 위한 도시계획 대안의 적용에 따른 열환경 분석 필요</li> <li>기후변화와 연계하여 기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리가 가능한 미기후모델 개발 필요</li> </ul>   |
| 목적     | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시공간의 열환경 관리를 위한 대책의 실효성 확보를 위해 과학적 근거에 기반한 분석 및 평가기술 개발</li> </ul>   |
| 성능목표   | <p>(기존기술 수준)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>도시공간 유형별 열환경 관리체계 개발에 관한 기술이나 열섬 대응을 위한 도시인프라 조성기법 등에 관한 기술은 개발이 미흡</li> <li>주요 선진국의 경우 도시미기후 모델을 개발하여 도시열환경 관리를 위한 의사결정지원 도구로 활용하고 있으나, 도시공간의 계획 및 설계를 통해 적극적으로 도시열환경 성능을 개선하기 위한 시스템 개발은 미흡</li> </ul> <p>(개발기술 수준)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>도시공간 위계 및 유형별 도시공간과 인프라의 설계 및 관리기준 등을 반영한 기술개발</li> <li>기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리를 위해 기후변화 시나리오 반영이 가능한 미기후 모델 개발</li> </ul> |
| 수요처    | <ul style="list-style-type: none"> <li>중앙정부 및 지자체, 연구원 및 대학, 엔지니어링 업체, 영향평가 및 환경시뮬레이션 업체</li> </ul>  |
| 소요기간   | <ul style="list-style-type: none"> <li>1 - 5차년도(5년)</li> </ul>   |

3. 3세부과제명: 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 및 지원체계 개발

가. 핵심성과명: 도시열 취약지역 개선 및 관리 방안

|        |   |
|--------|---|
| 정의(설명) | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시열 취약지역 개선 및 관리를 위한 제도 개선안 및 정책</li> </ul>  |
| 설정사유   | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시열 취약지역 개선 및 관리를 위해 기후변화 적응과 열환경 개선을 위한 의사결정모형을 도시계획·관리 제도에 적용할 수 있는 제도 개선안 및 정책 제안 필요</li> <li>연구성과의 실제 적용 가능성 증진 및 활용방안 마련</li> </ul>   |
| 목적     | <ul style="list-style-type: none"> <li>도시열 취약지역에 대한 개선 및 관리방안을 기존 도시계획 및 관리를 위한 제도의 틀 안에서 제시하고, 이를 활성화 할 수 있는 방안을 마련</li> </ul>   |
| 성능목표   | <p>(기존기술 수준)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>현재 시행되고 있는 도시열섬현상 저감 관련 기술은 건축물 녹화 정책과 관련된 기술이 주류를 이루고 있음</li> <li>기후변화적응 정책과 관련된 기술, 그린도시 조성과 관련된 기술은 상대적으로 부족한 실정임</li> </ul> <p>(개발기술 수준)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>기후변화 적응과 지역적 특성을 반영하여 도시의 열환경을 설계하고 관리하는 종합적이고 통합적인 가이드라인 및 제도·정책 제안</li> </ul> |
| 수요처    | <ul style="list-style-type: none"> <li>중앙정부 및 지자체</li> </ul>  |
| 소요기간   | <ul style="list-style-type: none"> <li>2- 5차년도(4년)</li> </ul>   |

## 제4절 연구목표 달성을 위한 추진 방안

### 1. 연구추진체계

#### 가. 연구추진체계 정립

- 사업단의 경우 연구개발결과의 시범적용(Test Bed)을 포함하는 대형 목적형 사업추진을 위한 연구개발과제를 대상으로 하고, 일반과제의 경우 단위.요소기술을 개발하는 수준의 과제임. 본 기획에서 수립하는 “기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템 기술 개발” 과제는 도시 열환경을 체계적이고 과학적으로 관리하기 위한 핵심 요소기술을 개발하고 이를 유기적으로 연계한 패키지화된 기술을 개발하는 과제로 “연구단 수준”의 추진체계 구성이 적합한 것으로 판단됨

표 4-4. 국토교통과학기술진흥원의 과제추진체계 분류

| 구분   | 기준  |
|------|---|
| 사업단  | 기술별 총괄시스템의 개발과 연구개발결과의 시범적용(Test Bed)을 포함하는 과제로서 정부출연금 300억원 이상, 5년 이상의 연구기간 소요 |
| 연구단  | 단위.요소기술의 유기적 연계를 통하여 패키지화 된 기술을 개발하는 과제로서 정부출연금 50억원 이상, 3~5년의 연구기간 소요          |
| 일반과제 | 단위.요소기술을 개발하는 과제 또는 정책과제로서 정부출연금 50억원 이내, 3년 이내의 연구기간 소요                        |

#### 나. 추진조직

- “기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템 기술 개발” 연구단은 기초·원천기술의 개발, 실용화, 관리정책 제안 등을 포함하는 다양한 성격의 연구를 총괄해야 하므로, 산·학·연간의 유연한 연계가 가능한 추진조직이 필요함
  - 연구과제의 최종 연구성과물인 “기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템”을 개발하고 완성도를 제고하기 위해서는 환경관련 전문 시뮬레이션 업체 및 시스템 개발 및 관리가 가능한 산업계의 참여가 필요함. 또한 이를 통해 시스템의 지속적인 유지보수가 가능함
  - 분석 메커니즘을 개발하고 검증하는 등의 기초·원천기술은 이론고찰 및 정립, 사례연구를 통한 이론 검증 등의 연구가 요구되므로 학교 또는 연구기관에서 담당함
  - 연구진행을 위해 필요한 AWS 운용 및 관련 지자체와의 협의를 위해서 이미 보유하고 있는 기존 인프라를 활용하거나, 운용에 있어서의 전문성 및 안정성을 제고하기 위해, 해당 분야에 대한 연구경력이 있는 연구기관의 참여가 필요함. 또한, 이를 통해 AWS 설치 및 유지·관리, 연구성과물의 적용 및 관리정책의 제안 등을 위한 지사

체와의 협의회 주도적인 역할을 기대할 수 있음

- 연구결과의 실용화를 위해서는 연구성과물에 대한 신뢰성이 담보되어야 하므로, Pilot Test 등을 통한 연구성과물 검증 경험을 보유한 연구기관의 참여가 필요함
- 성공적인 연구수행을 위해서는 개별적인 기초·원천기술의 개발 및 성과물 도출과 더불어, 각 연구성과를 체계적으로 연계·종합하여 최종 성과물을 도출해야함. 따라서 산·학·연 간의 유기적 관계를 유지하고, 객관적인 관리가 가능하고, 관련 연구 경험이 풍부한 주관 연구기관 및 총괄 연구책임자가 필요함

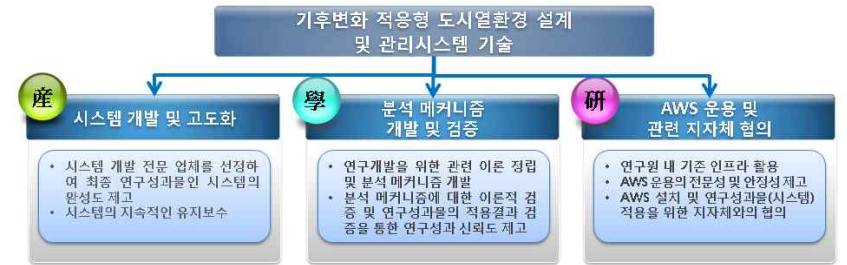


그림 4-6. 연구체계

#### 다. 추진체계

##### □ 목표달성을 위한 연구추진체계

- 연구추진시 주관 및 협동, 위탁기관은 각자 담당하는 연구내용에 부합하는 연구성과물을 도출하고, 이의 활용이 이루어질 수 있도록 연구추진체계를 구성함
- 연구의 계획단계에서부터 연구를 성공적으로 달성 할 수 있는 수준의 성과목표 및 성과지표를 제안·유도하고, 연구수행 중 지속적인 성과목표의 달성 및 관리가 가능하도록 연구를 추진함
- Pilot Test 또는 전문기관에 의한 검증을 통해 연구성과를 검증하고 실용화를 모색할 수 있도록 연구를 추진함

##### □ 종합적인 과제 관리체계

- 연구기간중 환경 및 여건의 변화를 지속적으로 모니터링하면서 유연하게 대처할 수 있도록 조직을 구성하여 연구를 추진함
- 추후 전체 예산규모에 따라 과제별 성과를 고려한 예산배정 및 연구수행기간 조정을 통해 우수한 과제지원이 가능하도록 함

- 연구참여기관간의 정보를 공유하고, 각 연구성과물의 연계·활용 및 기술적 지원이 가능하도록 유기적인 연구체계를 수립하고 지속적으로 관리함

## 2. 기존 기술·인프라 등의 활용 및 연계 방안

### 가. 개요

- ‘기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템 기술 개발연구’와 관련된 기존 기술 및 인프라의 국내외 현황을 조사함
- 국내 기술 및 인프라 현황을 파악하여 연계·활용하거나, 본연구(실제연구)를 통해 기존 기술 및 인프라를 확장·발전시킬 수 있는 방안을 도출함
- 국외 선진 기술 및 연구인프라 사례를 조사하여 국제적인 경향을 파악하여 국내 기술 및 인프라의 연계·활용방안 및 발전방안을 모색함

### 나. 국내 기술·인프라 현황

#### (1) 자동기상관측망(AWS; Automatic Weather Station)

- 기상청에서 1988년 서울올림픽 기상지원용으로 15대의 AWS(Automatic Weather System) 도입을 시작으로, 현재 악기상 연속감시를 위해 전국 539소가 설치되었으며, 서울에는 총 26개소의 AWS가 설치·운영되고 있음
- 소규모의 악기상이 빈번히 발생함에 따라, 소규모 국지기상감시의 선도관측을 위한 도서지역과 관측공백지대인 산간등지에도 설치운영 중임
- 측정항목: 풍향, 풍속, 온도, 습도, 기압, 강수량, 일사, 일조, 지면온도, 초상온도

#### (2) 기상 시뮬레이션 기법

- ENVI-met(독일)
  - 미세규모의 환경적 변화에 따른 미기후 변화예측
  - 건물-지형-지물 등 소규모 환경과 미기후 사이의 상호작용을 시뮬레이션 하는 모형
  - 지표면과 벽, 지붕, 식물 등에서 발생하는 열역학적 반응과 바람의 흐름, 난류 등에 의한 유체역학적 반응을 종합적으로 고려하여 시뮬레이션 수행
  - 바람장, 온도, 습도, 기류 예측 가능
- WRF(Weather Research and Forecasting, 미국)
  - 제한된 지역에서 사용할 수 있는 지역모델로서 완전 압축성 비정수계(Fully Compressible Nonhydrostatic) 모형
  - 도시의 특성을 고려할 수 있는 UCM(Urban Canopy Model)을 활용하여 풍향, 풍속, 지형, 표고, 건물의 용적, 밀도 등을 고려한 시뮬레이션 가능

## 다. 기존 기술·인프라 활용 및 연계방안

### (1) 기존 인프라(AWS) 활용

그림 4-7. 서울 ASW 현황

- 시스템 구동을 위한 입력자료 구축
  - 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션을 위해 필요한 기상자료(기온, 풍향, 풍속, 습도, 일조 등) 구축
  - 기존의 AWS를 최대한 활용하되, 시뮬레이션의 정확도 향상을 위한 입력자료의 구축을 위해 적소에 간이 AWS를 설치·운영하여 추가적인 정보의 구축
- 연구성과물의 검증
  - 열섬저감을 위한 도시설계 및 관리요소 입지/우선순위 분석 및 기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 도시공간 의사결정지원기술의 검증시, 기존 AWS와 추가로 설치한 AWS의 관측자료를 이용하여 도시기후구역(LCZ) 유형별 검증을 실시

(2) 기존 기술(기상 시뮬레이션 기법) 활용

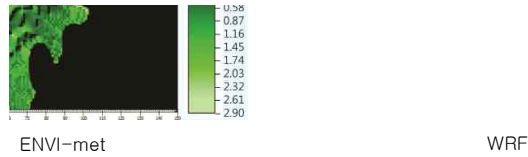


그림 4-8. 기존 기상 시뮬레이션 기법

- 도시열 발생·저감 모니터링시스템 및 열섬저감 도시공간 설계시스템의 검증에 위하여 AWS를 통한 실측자료와 기존 기상시뮬레이션 기법, 연구성과물의 분석결과를 비교·분석함
- 보다 정확한 분석결과와 검증을 위해 도시 전역에 대한 분석이 가능한 중규모 기상모델(WRF)과 단지규모의 분석을 위한 미기상모델(ENVI-met)로 구분하여 분석 목적 및 단위에 적합한 연구성과물 검증을 실시함

표 4-5. 연구성과물 분석결과 비교·검증 예시

| 구분       |                 | AWS 1 | AWS 2 | AWS 3 | AWS 4 | ... |
|----------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-----|
| 실측자료     | 기존+신규 AWS       | 23.5  | 24.1  | 22.8  | 23.7  | ... |
| 미기상모델    | ENVI-met        | 23.7  | 23.9  | 22.9  | 23.7  | ... |
| 중규모 기상모델 | WRF             | 24.1  | 24.3  | 22.4  | 24.1  | ... |
| 연구성과물    | 열섬저감 도시공간 설계시스템 | 23.6  | 23.9  | 22.7  | 23.6  | ... |

제5절 성과물 활용방안 및 실용화 추진방안

1. 성과물 검증

가. 성과물 검증방안 선정

- 기획연구진 및 자문위원진의 회의를 통해 본연구(실제연구) 최종 연구성과물인 ‘기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템’의 성능을 검증하기 위한 방안을 마련함
- 성과물 검증방안은 Pilot Test 대상지 선정 전후 비교분석, 도시공간 유형화 및 실측결과 비교분석, 열섬 저감방안 적용 후 전후 비교분석의 총 3가지 방안이 제시되었음
  - **Pilot Test 대상지 선정 전후 비교분석:** 도시열섬 저감을 목표로 하는 개발사업이 있을 경우, 해당 사업대상지를 Pilot Test 대상지로 선정 후 개발 전·후의 기온변화를 비교·분석함
  - **도시공간 유형화 및 실측결과 비교분석:** 대상지 선정 후, 해당 대상지의 도시공간 유형에 따라 설정된 LCZ(Local Climate Zone)별 기온 실측결과를 열섬 발생 및 저감 메커니즘에 의해 도출된 기온과 비교분석 하여 시스템에 의한 분석결과와 신뢰도를 확보한 후, 시스템을 통해 열섬 저감방안을 검증함
  - **열섬 저감방안 적용 후 전후 비교분석:** 열섬 저감방안을 일부 제한된 실험영역(건축물 또는 소규모의 공간)에 적용한 후, 실험 전·후의 기온을 비교·분석함
- 성과물 검증방안 선정
  - 성과물 검증방안은 검증시간 및 비용, 실현가능성, 논리적 타당성 측면에서 검토하였으며 도시공간 유형화 및 실측결과를 비교·분석하는 방안이 최종적으로 선정됨
  - Pilot Test 대상지 선정 전후 비교분석하는 검증방안의 경우 본연구(실제연구) 수행 기간 내 사업의 시작 및 완료(입주 완료)가 이루어지는 대상지가 존재해야 가능함. 본연구(실제연구)의 연구성과를 반영할 수 있는 대상지가 있어도 계획안은 수립 과정 속에 다양한 영향요인으로 계획안이 수시로 변경되기 때문에 연구성과를 제한적으로 검증할 수밖에 없음. 또한 일반적으로 도시개발사업은 사업 이전의 기온을 상승시키기 때문에 본 연구의 성과를 효과적으로 검증할 수 없는 단점이 있음
  - 열섬 저감방안 적용 후 전후 비교분석은 부분적·소규모 공간의 실험결과를 도시 전체에 확산, 투영함으로써 도시열섬 예측 및 시뮬레이션 결과를 검증하는 것은 부분적 결과로 전체를 이해하려는 논리적 결함이 있을 수 있음

표 4-6. 연구성과 검증방안 비교분석

| 구분                          | 검증시간 및 비용  | 실행가능성   | 논리적 타당성   | 비고           |
|-----------------------------|--|---|---|--------------|
| Piolt Test 대상지 선정 후 전후 비교분석 | <ul style="list-style-type: none"> <li>해당 개발사업이 종료된 후의 열환경을 측정해야 하기 때문에 매우 많은 시간과 비용 필요</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>연구(실제연구) 수행기간 내 사업의 시작 및 완료(입주 완료)가 확실히 이루어지는 대상지가 존재해야 가능</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>계획안 변경을 야기하는 외부 영향변수(개발사업의 경제성 등)가 통제되었을 경우 논리적 타당성 확보 가능</li> <li>거시적 효과에 대한 검증이 어려움</li> </ul>                     | -            |
| 도시공간 유형화 및 실측결과 비교분석        | <ul style="list-style-type: none"> <li>별도의 시공이 필요하지 않기 때문에 시간과 비용이 적게 소요</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>열환경 개선을 위한 다양한 물리적 조성(예: 수목, 식재, 옥상녹화, 벽면녹화 등)이 충분히 성숙된 상태가 되어야 성능 검증 가능</li> <li>기존 기상측정 장비와 본 연구를 통해 추가로 측정하는 지역을 대상으로 대규모 공사 없이도 검증 가능</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>장기간 측정되어온 기존 기상 측정자료와 본 연구를 통해 추가적으로 설치한 기상측정결과를 시뮬레이션 결과와 비교함으로써 통계적 유의성 확보 가능</li> <li>미시적·거시적 효과 검증 가능</li> </ul> | 본 연구의 검증에 적합 |
| 열섬 저감방안 적용 후 전후 비교분석        | <ul style="list-style-type: none"> <li>소규모 공간을 대상으로 저감방안을 적용하기 위한 시공작업이 수반되어야 하기 때문에 비교적 많은 시간과 비용 필요</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>소규모 실험영역이라도 연구기간 내 대상지에 수행한 결과(예: 수목의 성숙 정도)가 연구 종료 후 검증 가능</li> <li>도시공간위계, 도시공간 유형, 건물의 배치 등 열환경에 직접적 영향을 주는 요소들에 대한 종합적 고려가 어려움</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>소규모 실험 결과의(부분적) 합으로 전체를 이해하려는 논리적 결함 발생</li> <li>거시적 효과(바람길, 지역복사 에너지 등)에 대한 검증이 어려움</li> </ul>                      | -            |

- 시스템의 신뢰성 검증 후, 열섬 저감방안을 적용의 효과를 시스템을 통해 검증함

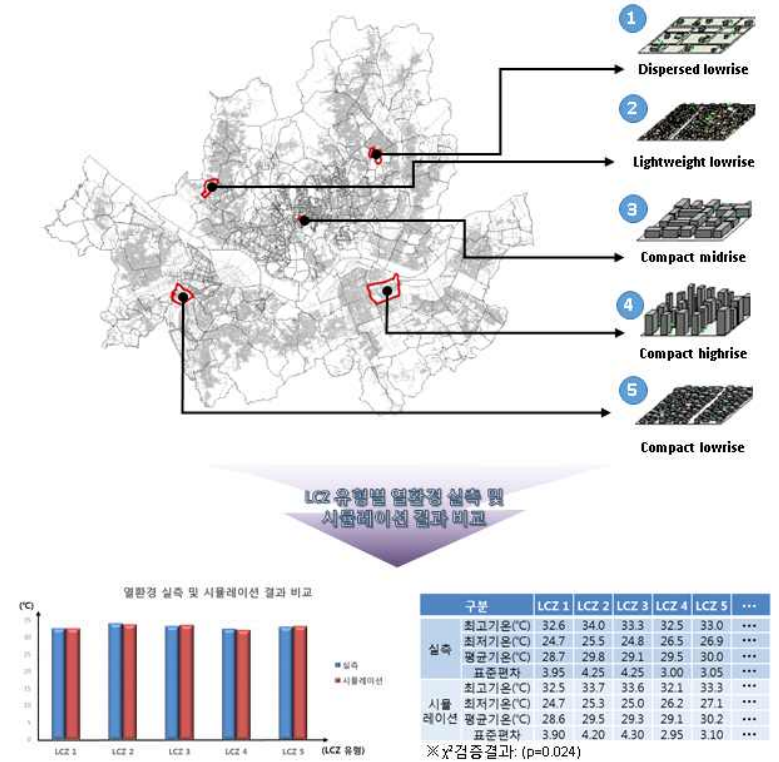


그림 4-9. 도시공간 유형화 및 실측결과 비교분석 방안

#### 나. 성과를 검증방안: 도시공간 유형화 및 실측결과 비교분석

- 대상지를 도시공간 유형에 기반하여 LCZ(Local Climate Zone)로 구분함
  - \* LCZ(Local Climate Zone): 도시의 형태와 표면 특성에 따라 국지적 기후(Local climate)가 나타나는 지역으로, 인간의 활동범위 및 도시의 구조에 따라 100m ~ 10,000m에 해당하는 공간적 범위를 가짐(Ian Stewart & Oke, 2011)
- 각 LCZ별 실측 기온과 기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템의 시뮬레이션을 통해 도출된 기온결과를 비교·분석하여 시스템의 신뢰성을 검증·확보함

## 2. 성과물 활용 및 실용화 방안

### 가. 성과물 활용방안

- 본연구(실제연구)의 최종 성과물인 저열섬 도시 열환경 설계 및 관리시스템은 현시점의 열환경 모니터링과 기후변화에 따른 미래시점의 열환경 시뮬레이션을 통해 도시유형별 저열섬 도시설계 및 관리계획 수립에 활용할 수 있음
- 도시열 발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링 시스템
  - 열섬 발생 및 저감 메커니즘에 기반한 도시내 열환경 상시(주간/야간) 모니터링/열섬 원인 규명
  - 열섬 저감에 의한 부가효과(에너지 사용저감) 분석
  - 열섬 취약지역 분석 및 도면화
  - 도시 내 열환경이 문제시 되는 지역 규명: LCZ(Local Climate Zone) 설정 및 대책 마련
- 도시열환경 예측·시뮬레이션
  - 기후변화에 따른 도시열환경 변화 예측
  - 열섬 저감방안 적용 시 열환경 변화 시뮬레이션
  - 도시계획 및 설계 관련 각종 평가 및 심의에 활용
- 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 및 지원체제
  - 기성시가지에서의 열환경 향상을 위한 관리방안 수립
  - 신규개발지역, 재개발지역의 개발계획수립시 열환경을 고려한 설계방안 제시
  - 중앙정부부처에서 개발한 친환경 도시개발 관련 계획평가 가이드라인의 과학화·실용화

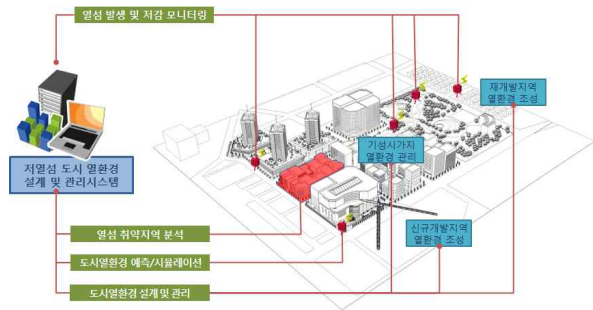


그림 4-10. 본연구(실제연구) 최종 성과물 적용방안

- 본연구(실제연구) 최종 성과물의 수요처는 중앙정부 및 지자체, 건설관련 공기업 및 민간기업, 연구원 및 대학교의 관련학과 등으로 구분할 수 있음

표 4-7. 본연구(실제연구) 최종 성과물 수요처별 활용방안

| 수요처             | 활용방안   | 세부수요처  |
|-----------------|--|--|
| 중앙정부 및 지자체      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시열섬현상 원인 규명 및 관리</li> <li>• 열환경 및 도시계획 관련 법률 제정비 및 입법화</li> <li>• 도시개발계획(안)의 열환경 심의·검토를 위한 지원 도구</li> <li>• 열환경 개선을 위한 지자체 특성에 맞는 조례 및 심의기준 제시</li> <li>• 도시 열환경 개선을 위한 인센티브 도입방안 지원</li> <li>• 저열섬 도시 조성을 위한 도시계획 및 설계/건설(시공) 방안 제시 및 의사결정지원, 도시관리</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 국토교통부, 환경부, 기상청, 산림청 등</li> <li>• 주요 지자체의 도시계획, 건축, 공원녹지 등 관련 부서</li> </ul> |
| 건설관련 공기업 및 민간기업 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 저열섬 도시 조성을 위한 도시계획 및 설계 지원</li> <li>• 건축·토목·조경 관련 조성방안 제시 및 의사결정 지원</li> <li>• 도시개발계획(안)의 심의 전 열환경을 사전에 분석할 수 있는 도구 및 근거자료</li> <li>• 도시(단지) 개발사업 수행시 공간적 특성에 따른 사업타당성 검토 지원</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 건설관련 공기업 (LH공사, 지자체 도시공사등)</li> <li>• 민간건설회사, 엔지니어링 회사 등</li> </ul>         |
| 연구원 및 대학교       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 열환경, 열섬 등 도시열환경 관련 연구분석 지원</li> <li>• 열환경 개선을 위한 공간계획 및 설계</li> <li>• 도시열섬 메커니즘, 저열섬 도시 조성에 대한 강의·도구로 활용</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시, 토목, 환경, 건축, 조경 등의 관련 학과</li> <li>• 정부출연 연구기관, 지자체 법인연구기관</li> </ul>     |

### 나. 성과물 실용화 방안

- 본연구(실제연구)의 최종 성과물인 기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템의 실용화를 위해 시스템 개발을 완료한 후, 연구기간 내에 수차례의 타 대상지의 적용과정을 거쳐 시스템의 오류를 최소화 하고, 지역별 커스터마이징(Customize) 과정을 통해 범용성을 확보함
- 본연구(실제연구) 연구기간동안 지속적으로 업계 및 공공계의 실무 담당자와의 협의를 통해 실무에서의 니즈(Needs)를 반영하고, 연구종료시 실제 업무에 활용이 가능한 수준의 연구성과물을 도출하도록 연구계획을 수립함
- 소프트웨어(SW) 등록 및 특허 출원·등록 등을 통해 연구성과물에 대한 지적재산권을 확보하고, 전문 SI 업체를 통해 실용화 방안을 모색함

## 제6절 인력투입 계획 및 소요예산

### 1. 인력 투입계획

#### 가. 전체 과제 인력투입 계획

- 소요인력 규모 추정
  - 세부과제별 연구내용을 근거로 과제 수행에 필요한 연구인력을 직급별, 기술분야별, 학력별, 전공별 등의 기준에 따라 추정하여 산정하고, 소요인력을 취합·분석함
  - 각 세부과제 기술개발 완료 목표시점 동안의 총 소요인력 규모를 산정하고, 각 세부과제별로 사업초기-중기-후반기의 단계별, 1년 단위의 연차별로 소요인력을 산정하여 안정적인 연구인력의 수급이 가능하도록 함
  - 국내 산업체 및 연구소의 기존 연구원, 대학의 전문인력 현황 등을 유기적으로 활용하여 산·학·연간 유기적인 협동연구가 가능하도록 연차별로 인원을 적절히 추정함
  - 인력은 투입인원별 참여율과 참여기간을 함께 고려할 수 있는 Man-Month를 이용하여 추정함
  - 참여율은 최소 참여기준을 30%로 설정하였으며, 참여기간은 연단위로 12개월을 기준으로 총 5년간의 인력을 추정함
- 세부과제별 인력투입(안)
  - 상기 기준에 의거하여 투입인력을 추정한 결과 5년의 연구기간 동안 총 130.9인의 인력이 투입되는 것으로 추정되었음
  - 예상되는 소요예산안을 기반으로 1차년도는 총 8.2인으로 투입인력을 가장 적게 추정하였으며, 연구개발활동이 집중되는 2~4차년도에 투입되는 인력이 증가하고, 연구를 마무리하는 5차년도에는 소폭 감소도록 추정함
  - 연구내용에 기반하여 1세부과제중 일부 연구내용은 4차년도에 종료되는 것으로 추정하였으며, 3세부과제는 2차년도부터 연구를 시작하는 것으로 계획함

표 4-8. 연차별 투입 연구인력

(단위: Man-Month)

| 구분    |       | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계    |
|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| 1세부과제 | 소계    | 3    | 10.7 | 18.3 | 9.9  | 4.1  | 46    |
|       | 책임연구원 | 0.9  | 1.4  | 1.6  | 0.9  | 0.6  | 5.4   |
|       | 연구원   | 0.5  | 2.2  | 2.7  | 2.2  | 0    | 7.6   |
|       | 연구보조원 | 1.6  | 7.1  | 14   | 6.8  | 3.5  | 33    |
| 2세부과제 | 소계    | 5.2  | 15.1 | 18.7 | 15.5 | 14.3 | 68.8  |
|       | 책임연구원 | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 3     |
|       | 연구원   | 1.5  | 3.7  | 3.7  | 3.7  | 3.7  | 16.3  |
|       | 연구보조원 | 3.1  | 10.8 | 14.4 | 11.2 | 10   | 49.5  |
| 3세부과제 | 소계    | 0    | 2.5  | 4.3  | 4.8  | 4.5  | 16.1  |
|       | 책임연구원 | 0    | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 1.2   |
|       | 연구원   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     |
|       | 연구보조원 | 0    | 2.2  | 4    | 4.5  | 4.2  | 14.9  |
| 합계    |       | 8.2  | 28.3 | 41.3 | 30.2 | 22.9 | 130.9 |

#### 나. 세부과제별 상세 인력투입 계획

##### (1) 1세부과제

표 4-9. 1세부과제 연차별 투입 연구인력

(단위: Man-Month)

| 구분                                |       | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계   |
|-----------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 열환경 분석을 위한 DB 구축 및 열 취약지역 분석기술 개발 | 소계    | 0.8  | 2.5  | 5.5  | 1.3  | -    | 10.1 |
|                                   | 책임연구원 | 0.3  | 0.8  | 1    | 0.3  | -    | 2.4  |
|                                   | 연구원   | 0.5  | 1    | 1.5  | 1    | -    | 4    |
|                                   | 연구보조원 | 0    | 0.7  | 3    | 0    | -    | 3.7  |
| 도시열 발생저감 모니터링시스템 개발 및 실증          | 소계    | 1.1  | 4.5  | 6.5  | 5.5  | 2.3  | 19.9 |
|                                   | 책임연구원 | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 1.5  |
|                                   | 연구원   | 0    | 1.2  | 1.2  | 1.2  | 0    | 3.6  |
|                                   | 연구보조원 | 0.8  | 3    | 5    | 4    | 2    | 14.8 |
| 도시열 저감에 의한 에너지사용 저감효과 분석기술 개발     | 소계    | 1.1  | 3.7  | 6.3  | 3.1  | 1.8  | 16   |
|                                   | 책임연구원 | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 1.5  |
|                                   | 연구원   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
|                                   | 연구보조원 | 0.8  | 3.4  | 6    | 2.8  | 1.5  | 14.5 |
| 합계                                |       | 3    | 10.7 | 18.3 | 9.9  | 4.1  | 46   |

(2) 2세부과제

표 4-10. 2세부과제 연차별 투입 연구인력

(단위: Man-Month)

| 구분                       |       | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계   |
|--------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 도시열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 개발 | 소계    | 0.8  | 2.5  | 4.1  | 2.9  | 1.7  | 12   |
|                          | 책임연구원 | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 1.5  |
|                          | 연구원   | 0.5  | 1.4  | 1.4  | 1.4  | 1.4  | 6.1  |
|                          | 연구보조원 | 0    | 0.8  | 2.4  | 1.2  | 0    | 4.4  |
| 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발 및 실증  | 소계    | 4.4  | 12.6 | 14.6 | 12.6 | 12.6 | 56.8 |
|                          | 책임연구원 | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 1.5  |
|                          | 연구원   | 1    | 2.3  | 2.3  | 2.3  | 2.3  | 10.2 |
|                          | 연구보조원 | 3.1  | 10   | 12   | 10   | 10   | 45.1 |
| 합계                       |       | 5.2  | 15.1 | 18.7 | 15.5 | 14.3 | 68.8 |

(3) 3세부과제

표 4-11. 3세부과제 연차별 투입 연구인력

(단위: Man-Month)

| 구분                                   |       | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계   |
|--------------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시 조성기법 및 지원체계 개발 | 소계    | -    | 2.5  | 4.3  | 4.8  | 4.5  | 16.1 |
|                                      | 책임연구원 | -    | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 1.2  |
|                                      | 연구원   | -    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
|                                      | 연구보조원 | -    | 2.2  | 4    | 4.5  | 4.2  | 14.9 |
| 합계                                   |       | -    | 2.5  | 4.3  | 4.8  | 4.5  | 16.1 |

2. 소요예산 산정

가. 예산 산정방법

- 세부과제별 최소 연구단위인 세세부과제를 수행하는데 소요되는 적정 비용을 산정함. 이를 토대로 세부과제와 총괄과제의 연구비를 산정하여 총 사업예산 규모를 산출함
- 과제별 예산은 정부출연과 민간부담을 구분하지 않고 연구성과 달성을 위해 필요한 소요 예산을 작성함
- 인건비와 직접비는 각 세세부과제 단위별 연구내용, 연구 성과물을 기초로 예산을 산출하고, 과제별 Pilot Test를 고려하여 예산을 배분함

나. 전체사업 소요예산

(1) 전체 소요예산

표 4-12. 전체 소요예산

(단위: 백만원)

| 구분    | 1차년도 | 2차년도  | 3차년도  | 4차년도  | 5차년도  | 합계    |
|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1세부과제 | 215  | 932   | 1,440 | 603   | 297   | 3,487 |
| 2세부과제 | 266  | 1,365 | 1,720 | 1,080 | 1,102 | 5,533 |
| 3세부과제 | -    | 110   | 210   | 226   | 221   | 767   |
| 합계    | 481  | 2,407 | 3,370 | 1,909 | 1,620 | 9,787 |

※ 총 연구비: 10,164백만원(과제관리비 377백만원 포함)

다. 세부과제별 소요예산

(가) 1세부과제

표 4-13. 1세부과제 비목별 소요예산

(단위: 백만원)

| 비목       | 1차년도  | 2차년도   | 3차년도   | 4차년도   | 5차년도   | 소계      | 산출근거   |
|----------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|--|
| 인건비      | 35    | 105    | 205    | 90     | -      | 435     | 박사후연구원: 350만원/월<br>박사과정: 250만원/월<br>석사과정: 180만원/월<br>국가 연구개발사업 연구비관리 표준매뉴얼 (2013.10) |
| 학생 인건비   | 48    | 155.04 | 271.2  | 163.68 | 89.88  | 727.8   |  |
| 연구장비/재료비 | 15    | 240    | 40     | 15     | 15     | 325     |  |
| 연구활동비    | 42.85 | 183.6  | 516.41 | 160.66 | 104.68 | 1,008.2 |  |
| 연구과제추진비  | 21.1  | 33     | 36     | 33     | 21.2   | 144.3   |  |
| 연구수당     | 25    | 59     | 105.3  | 62     | 27.5   | 278.8   |  |
| 위탁연구개발비  | -     | 40     | 90     | -      | -      | 130     |  |
| 간접비      | 28.05 | 116.36 | 176.09 | 78.66  | 38.74  | 437.9   | 위탁연구개발비 제외한 직접비의 15%   |
| 합계       | 215   | 932    | 1440   | 603    | 297    | 3,487   |  |

(나) 2세부과제

표 4-14. 2세부과제 비목별 소요예산

(단위: 백만원)

| 비목       | 1차년도  | 2차년도   | 3차년도   | 4차년도   | 5차년도   | 소계       | 산출근거  |
|----------|-------|--------|--------|--------|--------|----------|---|
| 인건비      | 64.4  | 200    | 240    | 210    | 180    | 894.4    | 박사후연구원: 350만원/월<br>박사과정: 250만원/월<br>석사과정: 180만원/월   |
| 학생 인건비   | 79.56 | 219.6  | 262.8  | 219.6  | 219.6  | 1,001.16 | 국가연구개발사업<br>연구비관리 표준매뉴얼<br>(2013.10)                |
| 연구장비/재료비 | 5     | 50     | 180    | 30     | 30     | 295      |   |
| 연구활동비    | 29.84 | 577.77 | 647.15 | 340.14 | 386.12 | 1,981.02 |   |
| 연구과제추진비  | 18    | 46.7   | 55.8   | 45.6   | 45.6   | 211.7    |   |
| 연구수당     | 34.5  | 92.88  | 109.9  | 84.4   | 87.88  | 409.56   | 인건비의 20%이내<br>국가 연구개발사업<br>연구비관리 표준매뉴얼<br>(2013.10) |
| 위탁연구개발비  | -     | -      | -      | -      | -      | -        |   |
| 간접비      | 34.7  | 178.05 | 224.35 | 150.26 | 152.8  | 740.16   | 위탁연구개발비 제외한<br>직접비의 15%                             |
| 합계       | 266   | 1365   | 1720   | 1080   | 1102   | 5,533    |   |

(다) 3세부과제

표 4-15. 3세부과제 비목별 소요예산

(단위: 백만원)

| 비목       | 1차년도 | 2차년도  | 3차년도  | 4차년도  | 5차년도  | 소계     | 산출근거  |
|----------|------|-------|-------|-------|-------|--------|---|
| 인건비      | -    | -     | -     | -     | -     | -      | 박사후연구원: 350만원/월<br>박사과정: 250만원/월<br>석사과정: 180만원/월   |
| 학생 인건비   | -    | 54.24 | 94.8  | 109.8 | 100.8 | 359.64 | 국가 연구개발사업<br>연구비관리 표준매뉴얼<br>(2013.10)               |
| 연구장비/재료비 | -    | 4.5   | 10    | 7.5   | 7.5   | 29.5   |   |
| 연구활동비    | -    | 12.01 | 47.21 | 44.22 | 47.87 | 151.31 |   |
| 연구과제추진비  | -    | 9.9   | 11    | 11    | 11    | 42.9   |   |
| 연구수당     | -    | 15    | 19.6  | 24    | 25    | 83.6   | 인건비의 20%이내<br>국가 연구개발사업<br>연구비관리 표준매뉴얼<br>(2013.10) |
| 위탁연구개발비  | -    | -     | -     | -     | -     | -      |   |
| 간접비      | -    | 14.35 | 27.39 | 29.48 | 28.83 | 100.05 | 위탁연구개발비 제외한<br>직접비의 15%                             |
| 합계       | -    | 110   | 210   | 226   | 221   | 767    |   |

라. 예산 적정성 검토

(1) 소요예산 검토

표 4-16. 총괄 비목별 소요예산

(단위: 백만원)

| 비목       | 1차년도   | 2차년도   | 3차년도    | 4차년도   | 5차년도   | 소계       |
|----------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|
| 인건비      | 99.4   | 305    | 445     | 300    | 180    | 1,329.4  |
| 학생 인건비   | 127.56 | 428.88 | 628.8   | 493.08 | 410.28 | 2,088.6  |
| 연구장비/재료비 | 20     | 294.5  | 230     | 52.5   | 52.5   | 649.5    |
| 연구활동비    | 72.69  | 773.38 | 1210.77 | 545.02 | 538.67 | 3,140.53 |
| 연구과제추진비  | 39.1   | 89.6   | 102.8   | 89.6   | 77.8   | 398.9    |
| 연구수당     | 59.5   | 166.88 | 234.8   | 170.4  | 140.38 | 771.96   |
| 위탁연구개발비  | -      | 40     | 90      | -      | -      | 130      |
| 간접비      | 62.75  | 308.76 | 427.83  | 258.4  | 220.37 | 1,278.11 |
| 합계       | 481    | 2407   | 3370    | 1909   | 1620   | 9,787    |

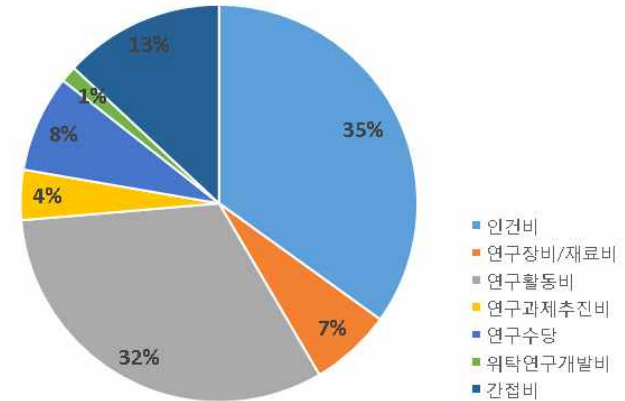


그림 4-11. 비목별 구성비

## 제5장 사전타당성 검토

### 제1절 정책적 타당성 검토

#### 1. 국가정책과의 부합성

- 정부는 국정과제를 통해 환경과 조화를 이루는 개발을 유도하고 있으며 이러한 맥락 속에 국토·도시계획과 환경계획과의 연계를 강화하고 있음. 쾌적한 도시열환경의 조성은 도시환경계획의 핵심 사안이 바, 본 연구개발을 통해 국토·도시계획 관련 환경계획의 선진화를 도모할 수 있음
- 한편, 기후변화에 의한 피해가 가시화됨에 따라 총체적 국가 재난관리체계를 강화하고 있음. 이에 따라 각종 재난으로부터 안전한 삶 구현을 위해 재해 예방적 토지이용체계를 확립하고자 하고 있음. 열환경 악화는 일사병·열사병 환자를 증가시켜 도시민의 안전한 삶을 근본적으로 위협할 수 있음. 따라서 본 과제를 통해 도시의 열환경이 개선방안이 마련될 경우 열 관련 사망자와 환자의 수를 감소시켜 안전한 도시민의 삶 영유에 기여할 수 있음
- 기후변화에 의한 부정적 영향을 근본적으로 저감하기 위해 국가에서는 기후변화 감시·예측 능력 확보 및 이상기후 대응 능력을 강화하고자 하고 있음. 본 과제는 기후변화에 따른 열환경을 예측·시뮬레이션하고, 이에 기초하여 도시공간을 조성함에 있어 열환경 개선을 위한 가이드라인 개발 및 제도개선안을 제시함. 이러한 일련의 연구개발을 통해 기후변화에 의해 지속적으로 증가할 것으로 예상되는 열 취약계층의 효과적인 관리가 가능함

#### 2. 상위계획과의 부합성

- 본 과제는 현 정부에서 제시한 제 3차 과학기술기본계획과 다음과 같은 정합성을 확보하고 있음
  - 국토인프라 선진화에 기여
  - 기후변화 대응력 강화: 열환경 관련 기후변화 감시·예측·적용 기술
  - 사회적 재난 대응체계 확보: 환경·인체 위해성 평가기술
  - 선제적 자연재해 대응체계 확보: 자연재해 모니터링·예측·대응기술

## 제2절 기술적 타당성 검토

### 1. 관련이슈

- 도시기온에 영향을 미치는 열에너지의 10% 이상이 인공요인(건물 및 교통량)에 의해 발생하고 있는 바, 이러한 요소들은 도시열환경 설계 및 관리를 통해 저감 가능함
- 현재, 우리나라의 관련기술 수준은 기술개발 도입기로 선도국 대비 60%로 연구개발이 이루어지지 못할 경우, 기술격차 및 기술중속의 심화가 우려됨
- 특히 전 세계적으로 열섬저감을 위한 인프라 시공기술은 상당 수 개발된 반면, 열섬저감을 위한 기술개발은 저조한 실정임

### 2. 기존 과제와의 차별성·우수성

- 앞서 제시된 현 상황과 관련하여 본 과제가 갖고 있는 차별성과 우수성은 다음과 같음
  - 본 과제는 도시 내 건축물, 인프라, 교통량을 종합적으로 고려한 분석이 가능함. 또한 중·장기적 미래의 열환경 변화에 적응하기 위한 공간계획·설계 지원도구를 개발함으로써 열섬저감 도시계획·설계를 위한 과학적 준거를 제공할 수 있음
  - 이러한 연구개발을 통해 도시열섬 면적 및 평균기온을 저감시킬 수 있는 과학적 준거를 마련하게 되며 이는 최종적으로 도시 열섬현상을 완화시킬 수 있음. 이를 통해 도시공간의 기후변화 대응력이 제고될 수 있을 것으로 판단됨
  - 한편, 도시계획·설계기술력·녹색 건축·건설기술력, 재난분석기술력, 공간정보활용·분석기술력 등이 향상됨으로써 도시공간의 성능 향상을 도모할 수 있음

표 5-1. 국내 연구개발 과제와의 중복성 검토

| 기존기술                              | 본 과제의 차별성 우수성                                    |
|-----------------------------------|--|
| 단일 유형의 도시인프라 대상                   | Grey, Green, Blue 인프라의 통합적 고려                    |
| 도시 일부지역 대상 분석에 한정                 | 도시 전체규모 분석 가능                                    |
| 단일건축물에 대한 대안                      | 도시차원에서 열환경 개선안 제시, 도시열환경 개선을 위한 녹화기술 유형으로 성과물 연계 |
| 토지이용별 기온분포 조사                     | 토지이용을 포함한 다양한 도시공간유형별 기온분포 조사                    |
| 도시 에너지와 열환경과의 관계 규명 미흡            | 에너지 사용량 저감에 따른 열섬현상 완화정도 파악                      |
| 자연열 중심의 열환경 및 미기후 분석              | 도시공간유형별 자연열 및 인공열의 열섬발생 메커니즘 분석                  |
| 단순 미래기후 예측                        | 도시계획 및 관리 대안 적용시 열환경 향상효과 시뮬레이션                  |
| 도시의 물리적 공간특성 고려, 위성영상을 활용한 기온예측모형 | 다양한 도시공간유형 고려, 기후시뮬레이션기술을 통한 기온예측 고도화            |
| 쾌적성 평가기준 및 분석기술                   | 쾌적성과 취약성을 동시에 고려한 평가기준 및 분석기술 개발                 |

### 제3절 경제적 타당성 검토

#### 1. 경제효과

- 「기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템 기술 개발」 Project의 경제효과 분석이란 도시 평균기온이 저감되면서 경감되는 사회비용(avoided social cost)이라고 할 수 있으며, 이를 수식으로 표현하면 식(1)과 같음

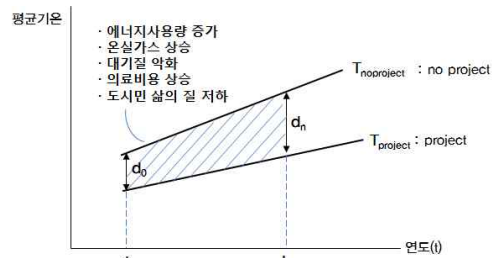


그림 5-1. 도시의 평균기온 저감

$$B = \frac{\sum_t \sum_i B_{i,t} (\Delta T)}{(1+r)^t}, \quad \dots\dots\text{식(1)}$$

$B$ : 총 project의 경제효과가치,  
 $B_{i,t}$ : 도시 평균기온 저감으로 인해 발생한  $t$ 년도의 항목  $i$ 의 경제효과,  
 $\Delta T$ : project 시행으로 인한 도시 평균기온의 변화,  
 project: 기후변화 적응형 도시열환경 설계시스템 기술 개발,  
 $r$ : 사회적 할인율

#### 2. 경제효과 분석을 위한 전제

- Project의 공간범위:** 우리사회는 다양한 관계로 맺어지는 네트워크 사회이기 때문에 Project의 효과는 사업이 실시되는 지역뿐만 아니라 인근 지역에 까지 그 효과가 미치게 됨. 따라서 효과의 공간적 범위를 어떻게 한정할 것인가 하는 어려움이 발생되며, 공간적 범위는 분석자가 공간적 범위를 사업의 성격에 맞게 설정함. 본 연구에서의 공간적 범위는 본 시스템이 적용될 경우 경제효과가 가장 크게 발생할 것으로 예상되는 서울시로 한정함
- 할인율의 설정:** 공공 project의 경제효과는 시간을 두고 장기적으로 발생하는 특징이

있기 때문에, project의 효과분석은 동태적 차원에서 시간에 대한 고려가 반드시 이루어져야 함. 시간의 투자가치를 고려한다는 것은 경제효과 분석 과정에서 사회적 할인율(social discount rate)을 적용해야 함을 의미함. 왜냐하면 시간의 투자가치는 사회를 구성하는 사람마다 다르기 때문임. 본 연구에서 사회적 할인율은 한국개발연구원(2008)에서 제시한 5.5%를 적용함

#### 3. 경제효과의 항목화

##### 가. 경제효과 항목의 계량화 및 가치화

- 「기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템 기술 개발」 Project의 성과는 도시 평균기온이 1℃ 저감되는 것을 목표로 함. 따라서 Project의 경제효과는 대상지의 평균기온 1℃ 저감됐을 경우 발생하는 효과를 의미함
- 「기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템 기술 개발」 Project의 경제효과를 항목화 하고 각 항목의 계량화 가능성과 가치화 가능성을 고려하여 구분하면 (표 5-2)와 같음. 제시된 바와 같이 경제효과 항목은 크게 환경효과, 건강증진효과, 기타 효과로 구분됨

표 5-2. 경제효과 항목화

| 구분       | 항목             | 계량화 | 가치화 | 효과구분    | 비고   |
|----------|----------------|-----|-----|---------|--|
| 환경 효과    | 에너지사용량 절감      | ○   | ○   | 시장재효과   |  |
|          | 이산화탄소 발생량 저감   | ○   | ○   | 시장재효과   |  |
|          | 대기질 악화 감소      | ○   | △   | 시장재효과   | 대기질의 경우 가치화불능효과<br>이나 CGE,<br>MERGE<br>model에<br>의해서 계산됨 |
| 건강 증진 효과 | 열관련 질병 의료비 감소  | ○   | ○   | 시장재효과   |  |
|          | 고온에 따른 사망자수 감소 | ○   | ×   | 가치화불능효과 |  |
| 기타 효과    | 도시 쾌적성 향상      | ×   | ×   | 계량화불능효과 |  |
|          | 재해재난 감소        | ×   | ×   | 계량화불능효과 |  |
|          | 관련기술 향상        | ×   | ×   | 계량화불능효과 |  |

\* ○: 가능, ×: 불가능, DC: 이중계산(Doble Counting) TP: 이전소득(Transfer Payment)

나. 환경효과

- 환경효과는 에너지 절감효과 이산화탄소 저감 및 대기질 악화 감소 효과로 구분되며, 이산화탄소량 및 대기질 악화 감소는 에너지 절감량을 토대로 산정할 수 있음

(1) 에너지 절감효과

- 에너지 절감효과는 도시의 평균기온이 1℃ 낮아짐으로 인해 감소되는 전력소비 저감량으로 나타나며, 전력소비 저감량 산정은 다음과 같이 식(2)로 표현할 수 있음

$$E_{cost} = \kappa_1 \times E_c \times P_e, \quad \dots\text{식}(2)$$

$E_{cost}$  : 하절기 도심 평균기온 1℃도 상승시 추가 발생되는 전력소비 비용,  
 $P_e$  : 전력가격,  
 $E_c$  : 하절기 전력소비량,  
 $\kappa_1$  : 도심 평균기온 1℃ 상승할 때 추가 발생되는 전력소비량 비율(2%)

- Akbari(2005)는 최대 온도가 15-20℃ 이상일 때 절대온도 1K가 증가하면 철두 전력 수요는 2~4% 증가하는 것으로 분석하였음. Akbari의 분석결과는 기존 연구결과와 유사하게 나타남
- 홍콩의 경우는 기존 1℃ 상승시 전력 소비량이 2~4%, 스모그는 4~10% 가량 증가하는 것으로 연구되었음(The University of Hong Kong, 2011)
- 로스엔젤레스에서는 하루 최고기온이 0.5℃ 올라갈 때 마다 전력수요는 약 2%씩 증가하는 것으로 나타났으며, 도시열섬의 영향을 완화하기 위해서는 약 1~1.5GW의 전력이 추가로 사용 되는 것으로 연구됨(국토해양부, 2009)
- 그리고 전력부하는 기온이 20~25℃ (68~77°F) 상승시 급증하는 것으로 조사됨(EPA, 2011)

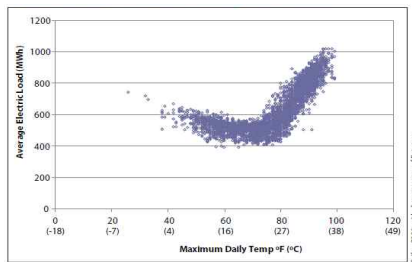


그림 5-2. 온도상승에 따른 전력부하(New Orleans, 2006)

■ 전력소비량 예측

- 전력소비 저감량 산정을 위한 전력소비량 예측은 지식경제부(2013) 「제6차 전력수급기본계획」에서 제시된 2020년~ 2027년 자료를 활용함. 그리고 2027년 이후의 예측 값은 추세연장하여 산출하며 그 결과는 (표 5-3)과 같음

표 5-3. 전국 전력소비량 예측

| 년도         | 2025년     | 2026년     | 2027년     | 2028년     | 2029년     |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 전력소비량(GWh) | 733,060   | 752,364   | 771,007   | 792,521   | 812,577   |
| 년도         | 2030년     | 2031년     | 2032년     | 2033년     | 2034년     |
| 전력소비량(GWh) | 832,633   | 852,689   | 872,745   | 892,801   | 912,857   |
| 년도         | 2035년     | 2036년     | 2037년     | 2038년     | 2039년     |
| 전력소비량(GWh) | 932,913   | 952,969   | 973,025   | 993,081   | 1,013,137 |
| 년도         | 2040년     | 2041년     | 2042년     | 2043년     | 2044년     |
| 전력소비량(GWh) | 1,033,209 | 1,053,274 | 1,073,339 | 1,093,404 | 1,113,469 |

\* 제6차 전력수급기본계획 자료를 토대로 2028~2044년 전력수요량은 추세연장함  
출처: 지식경제부(2013)

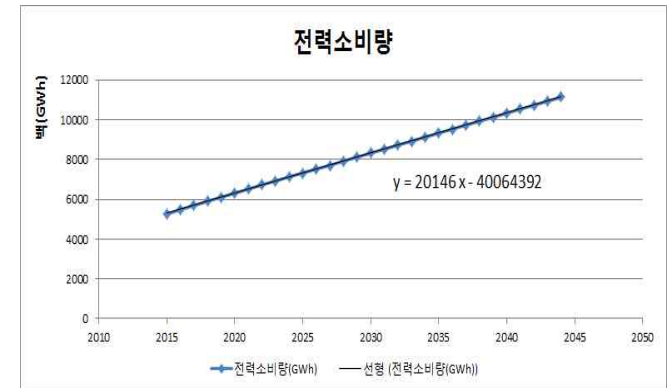


그림 5-3. 전국 전력소비량 예측

- 최근 5년간의 6월 중순부터 9월 중순까지의 평균 전력량을 토대로 서울시 하계 전력소비 비율을 살펴보면 연중 전력소비의 2.77%를 나타냄. 예측된 전국 전력소비량을 토대로 서울시 하계 전력소비량을 산정하면 (표 5-4)와 같음

표 5-4. 서울시 하계 전력소비량 예측

| 년도         | 2025년  | 2026년  | 2027년  | 2028년  | 2029년  |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 전력소비량(GWh) | 20,206 | 20,738 | 21,252 | 21,845 | 22,397 |
| 년도         | 2030년  | 2031년  | 2032년  | 2033년  | 2034년  |
| 전력소비량(GWh) | 22,950 | 23,503 | 24,056 | 24,609 | 25,161 |
| 년도         | 2035년  | 2036년  | 2037년  | 2038년  | 2039년  |
| 전력소비량(GWh) | 25,714 | 26,267 | 26,820 | 27,373 | 27,926 |
| 년도         | 2040년  | 2041년  | 2042년  | 2043년  | 2044년  |
| 전력소비량(GWh) | 28,479 | 29,032 | 29,585 | 30,138 | 30,691 |

(2) 이산화탄소 저감효과

- 이산화탄소 저감효과는 전력사용이 감소됨에 따라 저감되는 이산화탄소량으로 나타낼 수 있으며 이를 수식으로 표현하면, 다음 식(3)과 같음

$$CO_{2ele} = E_r \times cef_e \times (br_e - cfr_e) \times \frac{44}{12}, \quad \dots\text{식(3)}$$

$CO_{2ele}$  : 이산화탄소 저감량,  
 $E_r$  : 하절기 전력감소량( $\kappa_1 \times E_c$ ),  
 $cef_e$  : 전력의 탄소배출계수,  
 $br_e$  : 전력의 연소율,  
 $cfr_e$  : 전력의 탄소물입률

- 식(3)에서 이산화탄소 저감량은 탄소 가격을 적용하여 금액으로 나타낼 수 있음. 이산화탄소 가격은 유럽지역 탄소배출권 가격정보를 토대로 산출함. 탄소가격은 2014년 5월 18일 기준 4.75 €/tCO2 이며, 환율을 적용하면 6,681원/tCO2 임

(3) 대기질 악화 감소효과

- 화석연료 사용에 의해서 평균기온이 상승하게 되면 대기 중에 질소산화물(NOx)과 황산화물(SOx)의 농도가 증가하고 PMx와 O3를 발생시킴. 따라서 평균기온이 저감되면 PMx 와 O3의 대기질 개선 효과가 발생되며 이는 다음과 같이 식(4)에 의해서 계산될 수 있음

$$AirQ = \kappa_3 \cdot (\Delta PM10 + \Delta NOx + \Delta SOx), \quad \dots\text{식(4)}$$

$AirQ$ : 대기질 개선 효과,  
 $\kappa_3$ : 대기오염물질을 정화하는데 발생하는 평균 비용

- Bollen et al.,(2009)은 대기질 개선 효과는 온실가스 감축을 통해 발생되며, CO2 1톤 저감시 대기질을 개선하는 비용은 개발도상국의 경우 27~196 USD(평균 81 USD), 선진국은 2~128USD (평균 44 USD)가 소요됨을 밝힘
- Alcomo et al., (2002) 연구에서는 잘 기획된 기후-대기 통합관리 정책의 비용은 대기 오염물질만을 감축하는 비용과 비슷하며, SOX 감축 비용의 50~70%, NOX 감축비용의 50%를 절감하는 효과가 있는 것으로 분석됨
- Chae and Park (2011)은 수도권 대기질 개선을 위한 통합관리정책을 시행할 경우 수도권 CO2 를 2014년 까지 10% 저감하고, PM10 농도 40,000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , NO2 농도 22ppb 이하로 저감할 경우 NOX 172kt, PM10 10kt가 저감되어 3조 5,380억원의 비용 절감효과 발생된다고 연구함

다. 건강증진 효과

- 건강증진 효과는 열관련 질병에 관한 의료비 감소로 나타낼 수 있음
- 폭염이 지속되면 우리 몸은 항상성 유지를 위한 체열조절 능력이 감소하여 열경련, 열부종, 열실신, 열탈진, 열사병, 일사병 등과 같은 고온 관련 질병이 발생함. 평균기온 저감은 고온 관련 질병 환자를 감소시킬 수 있으며, 환자 감소는 의료비용 절감효과로 나타날 수 있음. 의료비용 절감 효과는 다음과 같이 식(5)로 나타낼 수 있음

$$\Delta H_{cost} = \kappa_3 \times H_p \times H_{avercost}, \quad \dots\text{식(5)}$$

$\Delta H_{cost}$  : 하절기 열 관련 환자의 감소에 따른 절감된 의료비용,  
 $H_p$  : 하절기 열관련환자의수,  
 $H_{avercost}$  : 열 관련환자의 평균 의료비용,  
 $\kappa_3$  : 도심 평균기온1℃ 상승시 열 관련 환자의 상대위험도(60%)

- Knowlton(2011)는 2006년 7월 15일~ 8월1일 18일 동안 발생한 캘리포니아 폭염이 입원 기간과 응급실 이용에 미치는 영향을 조사함. 이 연구에 따르면 폭염으로 인해 증가된 입원 환자는 1,620명, 응급실 방문 환자 16,166명, 외래 환자 152,095명으로 1000명당 4,973\$의 비용이 발생하는 것으로 분석함(표 5-5)

표 5-5. 2006년 캘리포니아 폭염으로 인한 환자수 및 비용

| 구분         | 사망        | 입원     | 응급실 방문 | 외래 환자   | 비고                        |
|------------|-----------|--------|--------|---------|---------------------------|
| 인원(명)      | 655       | 1,620  | 16,166 | 152,095 | 전체인원<br>35,979,208        |
| 비용(1000\$) | 5,174,500 | 28,435 | 14,110 | 136,380 | 1,000명 당 평균 비용<br>148,792 |

출처: Knowlton (2011), Six climate change-related events in the United States accounted for about \$14 billion in lost lives and health costs

- Sarah Rhea(2011)연구에서는 2008~2010년 동안에 노스캐롤라인에서 열 관련 질병에 의한 응급실의 평균 방문자 수는 32.2~36.7℃ (90~98°F)과 36.7~37.8℃ (98~100°F) 사이에 1°F씩 증가하면 1.4명과 15.8명까지 증가했다고 보고되었음
- 기온별 열 관련 환자의 발생과 각 온도지표와의 관계를 살펴보면 최고 기온 31.2℃ 이상일 때 기온 1℃ 상승시마다 상대위험도가 60% 이상 증가하는 것으로 분석됨 (김현영, 2013)

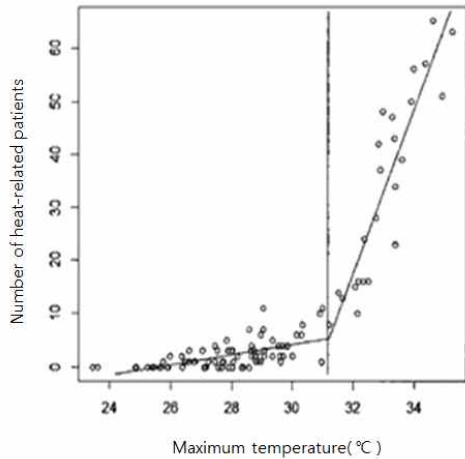


그림 5-4. 기온별 열 관련 환자의 발생(김현영, 2013)

#### 라. 경제효과 종합

- 「기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템 기술 개발」 Project의 경제효과를 종합하면 (표 5-6)과 같이 2025년부터 20년간 218,349백만원의 효과가 있는 것으로 분석됨. 경제효과 중 전기에너지 저감에 의한 에너지 사용 절감량 효과가

154,920백만원으로 가장 효과가 큰 것으로 분석되었음<sup>1)</sup>

표 5-6. 경제효과 분석 결과

| 효과                         |           | 금액 (백만 원)                                     | 긍정효과                       | 비고          |           |
|----------------------------|-----------|---|----------------------------|-------------|-----------|
| I. 시장재 효과                  | 1. 환경효과   | - 에너지 사용량 절감<br>- 이산화탄소 발생량 저감<br>- 대기질 악화 감소 | 154,920<br>5,382<br>51,392 | ○<br>○<br>○ |           |
|                            | 2. 건강증진효과 | - 열관련 질병 의료비 절감                               | 6,656                      | ○           |           |
| II. 비시장재 효과                | 1. 건강증진효과 | - 고온에 따른 사망자수 감소                              |                            | ○           | 연간 90명 감소 |
|                            | 2. 기타효과   | - 도시 쾌적성 향상<br>- 재해재난 감소<br>- 관련기술 향상         |                            | ○<br>○<br>○ |           |
| <b>총 project의 경제효과 (B)</b> |           |   | 218,349                    |             |           |

#### 참고

본 연구에서는 고온에 따른 사망자 수 감소에 대한 부분은 가치화 불능효과로 살펴보았음. 이는 인간의 생명에 대한 시장이 존재하지 않으므로 인간 생명과 직접 관계되는 정책효과를 금전적 가치로 나타내는 데 문제가 따르기 때문임. 다만, 과거 국내·외 연구에서 제시된 통계적 인간생명가치(VSL)를 살펴보면 이용진 외(2006)은 인간생명가치를 4억4천만원으로 제시한 바 있으며, 신영철 과 조승현(2008)은 4억 6,600만원으로 산정함. 한편, 미국 EPA(2004)는 경제학계 논문에서 발표된 인간생명가치의 결과값 분포를 참조하여 \$5.5 million(한화: 55.7억원)으로 제시한 바 있음. 제시된 사례를 통해 1인당 고온에 따른 사망자 수 감소에 대한 금전적 가치를 4억 4천만원~55.7억원으로 고려할 경우 2,485억~3조3,158억원의 추가적 편익이 발생할 것으로 예상됨

1) 각 연도별 편익추정치는 부록1을 참고하기 바람

## 제4절 정부지원의 필요성

### 가. 기후변화 및 도시열환경 악화 문제에 대응하기 위한 대책 마련 시급

- 기후변화로 인한 도시기온 상승에 따라 폭염과 같은 부정적 환경변화 심화되고 있으나, 이를 효과적으로 제어할 수 있는 구체적 방안이 제시되지 못하고 있음
  - 국립기상연구소(2013)에 의하면 현 추세대로 기온이 상승할 경우, 21세기말 한반도 기온은 현재보다 5.9도까지 오를 것으로 예상함
  - 한편, 폭염으로 인한 우리나라의 일사병·열사병 사망자 수가 2000년 이후 급격히 증가하고 있는 추세임(국립재난안전연구원, 2013)
- 열환경 관련 재해를 효과적으로 제어할 수 있는 구체적 방안 부재
  - 우리나라에서 규모가 가장 큰 서울시의 경우, 도시기온에 영향을 미치는 열에너지의 10% 이상이 인공요인(건물 및 교통량)에 의해 발생하고 있음. 그러나 이를 효과적으로 제어할 수 있는 대응방안은 국가적 차원에서 제시되지 못하고 있음
- 이같은 문제는 도시열환경 설계 및 관리를 통해 효과적으로 저감 가능함
  - 열환경 개선을 위해서는 도시전반에 걸친 열환경 분석, 예측, 설계, 관리가 통합적으로 이루어져야 하며, 이를 과학적으로 뒷받침 할 수 있는 시스템 개발이 필요함

### 나. 국가적 관심사인 도시민 건강보건 및 행복지수 증진을 위한 도시열환경 관리 필요

- 열환경 악화는 도시민의 삶의 질 및 건강보건 저하, 국민 생산성 저하와 같은 부정적 영향을 야기하며, 도시민의 생활안전과 건강보건에 직접적 위협으로 작용하고 있음
  - 환경형평성 측면에서 폭염과 같은 열환경에 취약한 계층에 대해 효과적으로 대처할 수 있는 방안 개발이 필요함
  - 기후변화에 의해 지속적으로 규모가 증대되고 있는 열 취약지역에 대한 개선조치가 이루어져야 함
- 도시계획·설계분야에서 도시민 건강보건 증진차원의 열환경 개선노력은 미흡함
- 도시열환경은 공공재로서 쾌적한 열환경 조성은 국가의 관심과 제도적 뒷받침에 의해 실현 가능하기 때문에 각종 도시개발에 있어 열환경을 개선할 수 있도록 국가차원의 적극적 유도 및 지원이 필요함
  - 동향분석에 제시된 바와 같이 본 연구과제와 관련된 시장은 다수 존재하나, 공공재적 성격이 매우 강하기 때문에 민간기업에서의 개발 여지가 매우 적음
  - 이러한 측면에서 본 과제는 현 정부의 창조경제 실현과제에서 제시한 사회문제 해결형 R&D과제에 속함

### 다. 기후변화 적응을 위한 정부차원의 열환경 관련 제도적 지원 시급

- 도시차원에서 도시기반시설 관리나 토지이용계획, 도시환경계획 등을 통해 지속가능하고 순환적인 기후변화 적응을 위한 저열섬 도시 구축이 필요함
  - 열섬현상은 광범위한 사회경제활동과 밀접한 관계가 있기 때문에 중앙정부, 지자체, 주민 등과의 연계 및 지구온난화 대책, 도시정책, 교통정책, 에너지정책과 같은 관련 정책과의 연계가 필요함
- 열섬 저감을 위한 물리적 기술개발 외에 도시계획, 환경계획 측면에서의 정책 대안 제시가 필수적임
  - 기술개발과 정책수단 개발의 병행을 통해 실효성 있는 도시열환경 개선을 도모해야 함
  - 인센티브, 세제감면 등의 제도 도입을 통해 시민의 참여를 적극적으로 유도해야 기술개발의 성공적 결과를 도출할 수 있음
- 본 연구의 기술개발이 지체될 경우, 기후변화와 무분별한 개발 사업에 의해 도시열환경 악화(평균기온 상승, 열섬면적 확대)될 수 있음
  - 도시민 삶의 질, 체감 건강복지수준 악화, 도시열 관련 질병 및 사망자 수 증가, 재해 피해규모 및 비용 증가 등

### 라. 도시개발/건설 시장의 신성장 동력 창출을 위한 지원 필요

- 기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템은 도시개발/건설시장의 신성장 동력 창출이 가능한 아이템으로서 정부차원에서 적극적 지원이 필요함
- 기후변화 적응형 도시열환경 설계 및 관리시스템은 고용유발효과가 뛰어난 잠재력을 가지고 있으며, 국가적 관심사인 고용창출 확대차원에서 정부지원이 절실함
- 침체된 도시개발/건설 분야의 새로운 성장 동력으로서 정부의 적극적 지원이 요구됨
- 일본과 유럽 등 해외시장에서 경쟁함에 있어, 타 건설 분야에 비해 기술경쟁력이 60% 수준으로 매우 취약함. 따라서 해외시장 수출경쟁력 확보를 위한 정부지원이 필요함
  - ※ 일본의 경우 도시공간 개발/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
- 또한 본 연구가 성공적으로 이루어 질 경우, 건설시장(녹색 건축/건설시장), 환경시장(기후산업시장 및 환경건설시장), 정보통신시장(재난분석평가기술시장, GIS시장) 활성화 및 신규 일자리 창출이 가능함

## 제6장 RFP 작성 및 평가기준 설정

### 제1절 RFP

| 과제명                       | 기후변화 적응형 도시 열환경 설계 및 관리시스템 개발  |
|---------------------------|--|
| <b>1. 연구개발 목표</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>기후변화 적응 및 도시열환경 저감을 위한 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발 및 실증               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 도시열 발생·저감 모니터링시스템 개발</li> <li>- 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발</li> <li>- 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시 조성기법 및 지원체계 개발</li> </ul> </li> </ul>   |
| <b>2. 연구개발 필요성 및 기술동향</b> | <p><input type="checkbox"/> 연구개발의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>기후변화로 인한 도시기온 상승에 따라 폭염과 같은 부정적 환경변화가 심화되고 있음. 폭염으로 인한 우리나라의 일사병·열사병 사망자 수는 2000년 이후 급격히 증가하고 있는 추세임</li> <li>도시공간의 기후변화 대응력 제고, 도시민의 삶의 질 향상과 건강보전 증진을 위해서는 열환경 문제에 대한 근본적 원인을 규명하고 이를 해결할 수 있는 기술 개발이 필요함</li> <li>도시기온에 영향을 미치는 열에너지의 약 10% 이상이 인공요인(건물 및 교통량)에 의한 것으로 이는 도시열환경 설계 및 관리를 통해 저감 가능함</li> <li>도시계획·설계 관련 평가 및 심의의 과학화·선진화를 위한 근거 마련이 필요함</li> <li>도시열환경은 중요한 공공재로서 쾌적한 열환경 조성은 국가의 관심과 제도적 뒷받침에 의해 실현 가능함</li> </ul> <p><input type="checkbox"/> 기술동향</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>전 세계적으로 열섬저감을 위한 인프라 시공기술의 특허출원은 활발함. 도시 열환경 모니터링, 예측 시뮬레이션, 설계 및 관리를 위한 의사결정지원 등 기술의 특허출원은 상대적으로 저조함</li> <li>도시 열환경 모니터링, 예측 시뮬레이션, 설계 및 관리를 위한 의사결정지원 기술은 현재 기술개발 도입기로 국내에서 소수 개발된 바는 있으나, 선도국 대비 기술격차가 상당함(선도국 대비 60% 수준)</li> <li>지금까지 도시 열환경 문제는 주로 개별 건축물 중심의 국지적 열환경 개선에 치중함. 도시 차원의 열섬 완화를 위해서는 도시 전반의 건축물, 인프라, 교통량 등을 종합적으로 고려한 분석, 예측, 설계, 관리기술의 개발이 필요함</li> <li>기후변화에 의한 중·장기적 미래의 열환경 변화에 적응하기 위한 도시공간 설계 및 관리 의사결정지원기술 개발이 미흡함</li> <li>열섬발생원인의 저감/제거를 위한 원인자의(위치 및 규모) 구체적 규명은 미흡함</li> <li>열환경 개선에 의한 유발효과(예: 에너지사용량 저감)는 아직 심층적으로 분석되지 않음</li> </ul> |

|                   |  |
|-------------------|--|
|                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>환경복지 차원에서 열 취약계층의 삶의 질 및 건강보전 증진을 고려한 도시열환경 설계 및 관리기술 개발이 시급히 필요함</li> </ul>  |
| <b>3. 연구개발 내용</b> | <p><input type="checkbox"/> 세부연구내용 1: 도시열 발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>도시열환경 분석을 위한 DB 구축 및 열 취약지역 분석기술 개발           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기온현황 실측 및 도면 작성/DB 구축</li> <li>- 기온현황 실측 결과 검증(주변 AWS와의 비교·분석 또는 국립환경과학원에 검증 의뢰)</li> <li>- 기후변화 시나리오 기반 미래 도시열환경 예측</li> <li>- 기후변화를 고려한 열 취약지역 분석기술</li> <li>- 도시열 발생·저감 모니터링시스템과의 연계기술(시스템 내 세부모듈) 개발</li> </ul> </li> <li>도시열 발생·저감 모니터링시스템 개발 및 실증           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 도시공간 내 열 발생 및 저감요소 유형화 및 DB구축</li> <li>- 도시공간 요소별 열 발생기여도 산정기술</li> <li>- 도시공간 요소별 열 저감기여도 산정기술</li> <li>- 도시열 발생·저감 모니터링시스템 개발</li> <li>- 도시열 발생·저감 모니터링시스템 실증(기존 연구결과 또는 구축된 모형과의 비교·분석)</li> </ul> </li> <li>도시열 저감에 의한 에너지사용 저감효과 분석기술 개발           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 도시에너지 사용량 DB 구축(수집)</li> <li>- 도시열 저감 요소별 에너지사용 저감기여도 분석기술</li> <li>- 도시열 저감에 따른 에너지저감량 산정기술</li> <li>- 도시열 저감에 따른 에너지저감량 산정결과 실증(기존 연구결과 또는 구축된 모형과의 비교·분석)</li> <li>- 도시열 발생·저감 모니터링시스템과의 연계기술(시스템 내 세부모듈) 개발</li> </ul> </li> </ul> <p><input type="checkbox"/> 세부연구내용 2: 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>도시열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 개발           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 도시기상을 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술(열 발생량 및 저감량 + 도시기후특성)</li> <li>- 기후변화를 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술</li> <li>- 열원 역추적 분석 모델링기술</li> <li>- 도시열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 검증</li> <li>- 열섬저감 도시공간 설계시스템과의 연계기술 개발</li> </ul> </li> <li>열섬저감 도시공간 설계시스템 개발 및 실증           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 열환경 설계 및 관리를 위한 도시기후구역(LCZ) 유형화</li> <li>- 도시기후구역 유형(LCZ)별 열섬저감을 위한 도시설계 및 관리요소 입지</li> </ul> </li> </ul> |

- /우선순위 분석기술
  - 기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 도시공간 의사결정지원기술
  - 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발
  - 열섬저감 도시공간 설계시스템 실증(Pilot Test)
- 세부연구내용 3: 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 및 지원체계 개발**
- 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시 조성기법 및 지원체계 개발
  - 도시공간 위계별·유형별 기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 계획·설계·관리 가이드라인/Prototype 개발
  - 기후변화 적응 및 열섬저감도시 조성을 위한 제도 개선안 제시(녹색인프라 장려제도 포함)
  - 도시열 취약지역 개선 및 관리방안 수립
  - 열섬저감 도시조성 관련 일자리 및 산업육성 방안

**4. 연구개발 추진방법**

- 추진전략
- **세부연구내용 1: 도시열 발생 및 저감기여도 산정 및 모니터링기술 개발**
    - 연구결과와 검증에 위한 기온현황 실측 및 도면 작성, DB 구축
    - 도시열 발생·저감 모니터링시스템 구축을 위한 요소기술 개발
    - 요소기술의 검증 및 연계 파악
    - 도시열 발생·저감 모니터링시스템 Prototype 개발
    - 시스템의 검증(Pilot Test) 및 고도화
  - **세부연구내용 2: 열섬저감을 위한 도시공간 설계 시스템 개발**
    - 열섬저감 도시공간 설계시스템 구축을 위한 요소기술 개발
    - 도시열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술의 정확성, 계획·설계·관리 기법의 구체성 확보
    - 도시열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술과 도시공간 설계기법을 융합한 의사결정지원 기법 개발
    - 요소기술의 검증 및 연계 파악
    - 열섬저감 도시공간 설계시스템 Prototype 개발
    - 시스템의 검증(Pilot Test) 및 고도화
  - **세부연구내용 3: 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시 조성기법 및 지원체계 개발**
    - 부문별 연구성과와 연계하여 도시 조성기법 및 지원체계 개발
    - 기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 가이드라인 개발 및 제도 개선안 제시
    - 도시계획 및 설계 관련 제도와 연계를 통한 실천성 제고

- 열 취약지역 개선을 위한 구체적 대안 제시
  - 관련 일자리 창출 및 산업 활성화를 위한 아이템 발굴 및 적용방안 수립 (아이템 발굴 및 적용방안의 경제적 파급효과 분석)
- 추진체계
- 관련 기술 전문가집단의 심층 자문 및 예상 수요처의 의견수렴을 통한 활용성 높은 기술개발
  - 요소기술별 연구성과 공유 및 연계를 통한 최종 성과물 도출
  - Pilot Test를 통한 연구성과물 검증 및 실용화 방안 마련

**5. 최종 성과물**

- 주요 최종 성과물
- **세부연구내용 1: 도시열 발생 및 저감 기여도 산정 및 모니터링기술 개발**
    - 열환경 분석을 위한 DB 구축 및 열 취약지역 분석기술 개발
    - 기온현황 실측 및 도면 작성(DB)
    - 도시공간의 열환경 평가지표
    - 기후변화를 고려한 열 취약지수 및 취약지 평가결과(DB)
    - 도시열발생·저감 모니터링 시스템과의 연계기술(시스템 내 세부모듈)
  - 도시열 발생·저감 모니터링시스템 개발 및 실증
    - 열 발생 및 저감요소 유형화 및 인벤토리(DB)
    - 열 발생(인공열, 자연열) 산정모형(Prototype 전산코드)
    - 열 저감 산정모형(Prototype 전산코드)
    - 도시열 발생·저감 모니터링시스템
  - 도시열 저감에 의한 에너지사용 저감효과 분석기술 개발
    - 에너지 사용량 DB
    - 도시열 저감요소별 에너지 사용량 저감기여도 분석기술(Prototype 전산코드)
    - 도시열 저감에 따른 에너지 저감량 산정모형(Prototype 전산코드)
    - 도시열 발생·저감 모니터링 시스템과의 연계기술(시스템 내 세부모듈)
  - **세부연구내용 2: 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발**
    - 도시열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술 개발
    - 도시열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술(분석엔진)
    - 기후변화를 고려한 열환경 분석 및 예측 시뮬레이션기술(분석엔진)
    - 열원 역추적 분석 모델링기술(분석엔진)
    - 열섬저감 도시공간 설계시스템과의 연계기술
  - 열섬저감 도시공간 설계시스템 개발 및 실증
    - 도시기후구역(LCZ) 유형화 결과, DB
    - 도시기후구역 유형(LCZ)별 열섬저감을 위한 도시설계 및 관리요소 입지/우선순위 분석모형
    - 기후변화 적응과 열환경 개선을 위한 도시공간 의사결정모형

- 열섬저감 도시공간 설계시스템

**□ 세부연구내용 3: 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시조성기법 및 지원체계 개발**

- 기후변화 적응 및 열섬저감을 위한 도시 조성기법 및 지원체계 개발
- 도시공간 위계별·유형별 기후변화 적응 및 열환경 개선을 위한 계획·설계·관리 가이드라인/Prototype
- 기후변화 적응 및 열섬저감도시 조성을 위한 제도 개선안(녹색인프라 장려제도 포함)
- 도시열 취약지역 개선 및 관리방안
- 열섬저감 도시조성 관련 비즈니스모델

**6. 연구기간 및 지원 예산**

- 전 체
- 총 연구기간: 2015년 ~ 2019년(5년)
  - 연구비 예산: 97.69억원(정부 의원)

## 제2절 평가방법 및 기준

### 1. 연차별 평가를 위한 성과목표·지표·마일스톤 설정

- 성과목표
  - 성과목표는 선도국과의 기술수준 격차, 최종 연구성과물의 검증 및 활용방안 등을 기반으로 최종목표와 세부목표를 설정하도록 함
  - 연차별 성과목표 설정을 통해 계획 대비 목표 달성 정도를 파악하는 자료로 활용하고 미흡한 부분들을 보완하거나 개선하는데 활용하도록 함

표 6-1. 성과목표 설정 예시

| 목표구분 | 최종목표   |
|------|--|
| 기술개발 | - 선진국 대비 %의 기술수준 확보를 위한 기반구축<br>- 연구성과물 검증을 통한 신뢰도 확보                                    |
| 기반구축 | - 산·학·연 합동 연구체계 구축을 통한 실용화 기반 마련<br>- 연구성과물의 Pilot Test를 통한 실용화 토대구축                     |
| 기업지원 | - 참여기관 대상 기술 이전 실시<br>- 참여기관에 대한 개발기술의 우선권 적용  |
| 정책지원 | - 각종 관련 정책 및 제도개선 자료 활용<br>- 각종 열환경 분석 및 예측을 위한 지표자료 제공<br>- 도시공간 유형별 특성에 맞는 열환경 개선방안 제시 |
| 연계활동 | - 각종 세미나, 워크샵, 홍보행사 등의 개최를 통한 연구성과 홍보<br>- 관련 정책 지원 활동(정책 제안 등)                          |
| 파급효과 | - 연구성과물 적용에 따른 기대효과 추정(열환경 향상 정도 등)<br>- 연구개발의 사회·경제적 파급효과 산정                            |

- 성과지표 설정
  - 연차별 평가를 위한 성과 측정지표들은 연구진 및 자문위원들간의 브레인스토밍을 통해 사전 도출하도록 함
  - 연구성과를 객관적으로 평가할 수 있는 적절한 성과지표의 선정을 위해 연구목표와의 부합성, 성과지표의 구체성, 측정 가능성, 달성 가능성 등의 기준에 의거하여 성과지표를 선정하고, 각 지표별 가중치를 산정함
  - 해당지표의 평균값이 기준 이상이면 채택하고, 미만이면 각각시켜 최종 성과지표를 선정함
  - 선정된 성과지표의 달성 목표치는 전문가 자문회의를 통해 연차별 및 최종 성과 목표치의 평균값 이상을 성과지표로 선정하고 성과관리를 위한 지표로 활용토록 함

표 6-2. 성과지표의 도출 예시

| 목표 | 측정지표   | 연구목표와의 부합성 | 구체성  | 측정 가능성 | 달성 가능성 | 평균   |
|----|--------|------------|------|--------|--------|------|
| A  | 측정지표 a | 3.59       | 3.14 | 4.14   | 4.27   | 3.79 |
|    | 측정지표 b | 3.77       | 4.23 | 4.18   | 4.27   | 4.11 |
|    | 측정지표 c | 4.68       | 4.45 | 4.73   | 4.86   | 4.68 |
|    | 측정지표 d | 4.27       | 4.95 | 4.36   | 4.23   | 4.45 |
| B  | 측정지표 e | 4.91       | 4.82 | 4.95   | 4.91   | 4.90 |
|    | 측정지표 f | 4.73       | 4.27 | 4.86   | 4.82   | 4.67 |
|    | 측정지표 g | 4.86       | 4.68 | 5.00   | 4.86   | 4.85 |
|    | 측정지표 h | 4.76       | 4.62 | 4.67   | 4.86   | 4.73 |
|    | 측정지표 i | 4.27       | 4.14 | 4.36   | 4.45   | 4.31 |
|    | 측정지표 j | 4.36       | 4.23 | 4.27   | 4.55   | 4.35 |
| C  | 측정지표 k | 4.55       | 4.86 | 4.68   | 4.64   | 4.68 |
|    | 측정지표 l | 4.27       | 4.27 | 5.00   | 4.91   | 4.61 |
|    | 측정지표 m | 4.36       | 4.36 | 4.41   | 4.45   | 4.40 |
|    | 측정지표 n | 4.95       | 4.68 | 4.91   | 4.68   | 4.81 |

■ 마일스톤 설정

- 기술개발에 대한 연차별 목표, 계획 및 주요 일정을 잘 반영할 수 있도록 구성하며, 기술개발 관련 주요일정을 표기하여 계획적 일정관리가 될 수 있도록 작성함
- 연차별 기술개발 평가항목을 설정하고 평가일정 및 평가기준에 따른 평가결과 등을 기록할 수 있도록 구성함
- 연차별 평가가 단선적으로 그치지 않고 일정표에 따른 피드백 작업을 통해 이전 작업에 대한 점검을 수행하고 이를 통해 향후 일정에 부정적 효과가 미치지 않도록 일정표를 수립하여 활용하도록 함
- 다음의 항목들을 포함시켜 연차별 평가 일정표를 작성함  
 : 기술개발 주요 내용별, 단계별 진행사항, 기술개발 추진 주요일정, 추진 비중, 분야별 주요 공정 및 공기(자문회의, 기획전문위원회, 전체회의, 중간보고를 위한 일정 등), 연차별 평가결과 등

표 6-3. 연차별 평가를 위한 일정표 예시

| 일련<br>번호 | 목표       | 추진내용                          | 추진일정(연도별) |     |     |     |      |     |     |     | 비중<br>(%) |      |
|----------|----------|-------------------------------|-----------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----------|------|
|          |          |                               | 1차년도      |     |     |     | 2차년도 |     |     |     |           | ---- |
|          |          |                               | 1/4       | 2/4 | 3/4 | 4/4 | 1/4  | 2/4 | 3/4 | 4/4 |           |      |
| 1        | 기술<br>개발 | - 기온현황 실측을 위한<br>지점 선택        |           |     |     |     |      |     |     |     |           |      |
|          |          | - 기온현황 실측결과 검증                |           |     |     |     |      |     |     |     |           |      |
|          |          | - 기후변화 시나리오 기반<br>미래 도시열환경 예측 |           |     |     |     |      |     |     |     |           |      |
|          |          | - 기후변화를 고려한 열<br>취약지역 분석      |           |     |     |     |      |     |     |     |           |      |
| ∴        |          | ∴                             |           |     |     |     |      |     |     |     |           |      |
|          |          | 평가결과                          |           |     |     |     |      |     |     |     |           |      |

가. 1세부과제

표 6-4. 1세부과제 성과지표(안)

| 구분         | 성과지표                            | 단위 | 목표치 | 결과치 | 평가기준 |   |   |
|------------|---------------------------------|----|-----|-----|------|---|---|
|            |                                 |    |     |     | 상    | 중 | 하 |
| 논문         | 학술지 게재 논문건수(국내/국외)              | 건  |     |     |      |   |   |
|            | SCI급 학술지 게재 논문건수                | 건  |     |     |      |   |   |
|            | 학술회의 발표 논문건수                    | 건  |     |     |      |   |   |
|            | 전문서적 저술건수                       | 건  |     |     |      |   |   |
| 지식재산권      | 특허출원건수(국내/국외)                   | 건  |     |     |      |   |   |
|            | 소프트웨어(S/W) 등록건수                 | 건  |     |     |      |   |   |
| 기술성능 목표 달성 | 요소기술의 성능 목표 달성도                 | %  |     |     |      |   |   |
|            | 제품성능 목표 달성도                     | %  |     |     |      |   |   |
| 현장적용 효과    | 현장적용 건수(시범적용 등)                 | 건  |     |     |      |   |   |
| 에너지 및 환경   | 환경개선 효과(CO <sub>2</sub> 절감효과 등) |    |     |     |      |   |   |
| 정책         | 정책제안 건수                         | 건  |     |     |      |   |   |
| 지침/매뉴얼     | 지침/매뉴얼의 개발 및 보급                 | 건  |     |     |      |   |   |
| 산학연 협력     | 산학연간 기술지원                       | 건  |     |     |      |   |   |
| 사업화        | 시제품 출시 건수                       | 건  |     |     |      |   |   |
| 연구성과 확산 노력 | 기술 및 제품 전시회 운영/참석               | 건  |     |     |      |   |   |
|            | 연구개발 관련 홍보                      | 건  |     |     |      |   |   |
| 인력양성       | 분야별 인력양성 배출 실적                  | 인  |     |     |      |   |   |

※ 등급설정 기준 및 조치사항

| 등급 설정 기준       | 등급별 조치사항   |
|----------------|--|
| 상 : 80% 이상달성   | - 최우수  |
| 중 : 60%~80% 달성 | - 우수   |
| 하 : 60% 미만 달성  | - 미흡<br>※ 연차별 해당 달성률의 '하'등급을 받을 경우 차년도 달성목표에 누적 적용 |

나. 2세부과제

표 6-5. 2세부과제 성과지표(안)

| 구분         | 성과지표                            | 단위 | 목표치 | 결과치 | 평가기준 |   |   |
|------------|---------------------------------|----|-----|-----|------|---|---|
|            |                                 |    |     |     | 상    | 중 | 하 |
| 논문         | 학술지 게재 논문건수(국내/국외)              | 건  |     |     |      |   |   |
|            | SCI급 학술지 게재 논문건수                | 건  |     |     |      |   |   |
|            | 학술회의 발표 논문건수                    | 건  |     |     |      |   |   |
| 지식재산권      | 특허출원건수(국내/국외)                   | 건  |     |     |      |   |   |
|            | 소프트웨어(S/W) 등록건수                 | 건  |     |     |      |   |   |
| 기술성능 목표 달성 | 요소기술의 성능 목표 달성도                 | %  |     |     |      |   |   |
|            | 제품성능 목표 달성도                     | %  |     |     |      |   |   |
| 현장적용 효과    | 현장적용 건수(시범적용 등)                 | 건  |     |     |      |   |   |
| 에너지 및 환경   | 환경개선 효과(CO <sub>2</sub> 절감효과 등) |    |     |     |      |   |   |
| 정책         | 정책제안 건수                         | 건  |     |     |      |   |   |
| 지침/매뉴얼     | 지침/매뉴얼의 개발 및 보급                 | 건  |     |     |      |   |   |
| 산학연 협력     | 산학연간 기술지원                       | 건  |     |     |      |   |   |
| 사업화        | 시제품 출시 건수                       | 건  |     |     |      |   |   |
| 연구성과 확산 노력 | 기술 및 제품 전시회 운영/참석               | 건  |     |     |      |   |   |
|            | 연구개발 관련 홍보                      | 건  |     |     |      |   |   |
| 인력양성       | 분야별 인력양성 배출 실적                  | 인  |     |     |      |   |   |

※ 등급설정 기준 및 조치사항

| 등급 설정 기준       | 등급별 조치사항   |
|----------------|--|
| 상 : 80% 이상달성   | - 최우수  |
| 중 : 60%~80% 달성 | - 우수   |
| 하 : 60% 미만 달성  | - 미흡<br>※ 연차별 해당 달성률의 '하'등급을 받을 경우 차년도 달성목표에 누적 적용 |

### 다. 3세부과제

표 6-6. 3세부과제 성과지표(안)

| 구분         | 성과지표                            | 단위 | 목표치 | 결과치 | 평가기준 |   |   |
|------------|---------------------------------|----|-----|-----|------|---|---|
|            |                                 |    |     |     | 상    | 중 | 하 |
| 논문         | 학술지 게재 논문건수(국내/국외)              | 건  | 6   |     |      |   |   |
|            | SCI급 학술지 게재 논문건수                | 건  | 2   |     |      |   |   |
|            | 학술회의 발표 논문건수                    | 건  | 6   |     |      |   |   |
|            | 전문서적 저술건수                       | 건  | 1   |     |      |   |   |
| 지식재산권      | 특허출원건수(국내/국외)                   | 건  |     |     |      |   |   |
|            | 소프트웨어(S/W) 등록건수                 | 건  |     |     |      |   |   |
| 기술성능 목표 달성 | 요소기술의 성능 목표 달성도                 | %  |     |     |      |   |   |
|            | 제품성능 목표 달성도                     | %  |     |     |      |   |   |
| 현장적용 효과    | 현장적용 건수(시범적용 등)                 | 건  |     |     |      |   |   |
| 에너지 및 환경   | 환경개선 효과(CO <sub>2</sub> 절감효과 등) |    |     |     |      |   |   |
| 정책         | 정책제안 건수                         | 건  | 3   |     |      |   |   |
| 지침/매뉴얼     | 지침/매뉴얼의 개발 및 보급                 | 건  | 3   |     |      |   |   |
| 산학연 협력     | 산학연간 기술지원                       | 건  |     |     |      |   |   |
| 사업화        | 시제품 출시 건수                       | 건  |     |     |      |   |   |
| 연구성과 확산 노력 | 기술 및 제품 전시회 운영/참석               | 건  |     |     |      |   |   |
|            | 연구개발 관련 홍보                      | 건  | 3   |     |      |   |   |
| 인력양성       | 분야별 인력양성 배출 실적                  | 인  |     |     |      |   |   |

※ 등급설정 기준 및 조치사항

| 등급 설정 기준       | 등급별 조치사항  |
|----------------|---|
| 상 : 80% 이상달성   | - 최우수   |
| 중 : 60%~80% 달성 | - 우수  |
| 하 : 60% 미만 달성  | - 미흡<br>※ 연차별 해당 달성률의 '하' 등급을 받을 경우 차년도 달성목표에 누적 적용 |

### 2. 선정 평가방법 및 기준 설정

표 6-7. 선정 평가항목(안)

| 구분               | 평가항목                 | 평가시 착안사항   | 배점         |
|------------------|----------------------|--|------------|
| 연구개발             | 연구개발 목표 (10점)        | ○ 최종 목표 및 연차별 성과목표의 명확성 및 구체성  | 5          |
|                  |                      | ○ 연차별 성과목표(지표)<br>- 최종목표 달성을 위한 연차별 성과목표의 적절성<br>- 연차별 예상성과의 구체성 및 타당성   | 5          |
| 연구개발 계획 적정성 (30) | 연구개발 내용 (20점)        | ○ 목표달성을 위한 연구내용 및 예상성과의 적절성<br>- 기술 동향 분석 및 사전계획의 충실성<br>- 기술개발 성능수준 적절성<br>- 세부과제별 연구내용의 구체성<br>- 연차별 연구내용의 구체성<br>- 연구과제 구성의 타당성 | 15         |
|                  |                      | ○ 연구기간 및 연구개발비 편성의 적절성<br>- 예산 배분 및 집행계획의 적절성  | 5          |
| 추진 전략 (30)       | 수행체계 구성의 전문성 (10)    | ○ 수행체계 구성<br>- 연구수행체계 구성의 타당성 및 연구진의 전문성<br>- 자문위원회 또는 운영위원회 등 전문가 활용 및 연구인력 운영계획의 적절성<br>○ 연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성                   | 10         |
|                  | 활용계획의 적절성 (20점)      | ○ 연구성과 활용계획<br>- 연구성과 활용방안의 적절성 및 구체성<br>- 연구성과 활용방안의 구체적 실현 계획<br>- 연구성과의 사회경제적 파급효과<br>○ 국내외 홍보 계획 및 연차별 홍보 계획의 구체성 및 우수성        | 15         |
| 실증 연구 (30)       | 연구성과 실증방안 (30점)      | ○ 연구내용 및 연구성과 검증계획의 타당성 및 실현 가능성   | 20         |
|                  |                      | ○ 연구성과의 적용 및 활용계획  | 10         |
| 연구단장 평가 (10)     | 연구단장의 기획·관리 능력 (10점) | ○ 최근 5년간 해당분야 연구 및 프로젝트 수행 실적  | 5          |
|                  |                      | ○ 최근 5년간 연구과제 기획·관리 경험 및 능력  | 5          |
| <b>소계</b>        |                      |  | <b>100</b> |

|                |   |
|----------------|---|
| 부합성 평가         | 평가위원 과반수가 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 부합되지 않는다고 판정시 탈락 조치                              |
| 중복성 평가         | 평가위원 과반수가 기 수행되었거나, 수행중인 과제와 중복되는 것으로 판정시 탈락 조치                                   |
| 보안등급 분류 적정성 평가 | 보안등급 분류의 적정성을 검토하고 그 결과를 반영하여 보안등급 결정<br>* 관련: 공동규정 제24조의5 제2항, 운영규정 제23조 제2항 제4호 |

※ 기준항목(세부평가항목 포함) 및 배점 기준이 달라질 수 있음

## 참고문헌

- Albers, S. and J. McGinley, 1996, The Local Analysis and Prediction System(LAPS): Analysis of Clouds, Precipitation and Temperature, Weather and Forecasting, 11(3): 273-287
- Alcamo et al., 2002, An integrated assessment of regional air pollution and climate change in Europ: findings of AIR-CLIM project, Environmental Science & Policy 5, 257-272
- Akbari.H, 2005, Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation
- Bruse, 2004, ENVI-met 3.0: Updated Model Overview, <http://envi-met.net/documents/papers/overview30.pdf>
- Bollen et al., 2009, Co-benefits of climate change mitigation policies: literature review and new results, ECO/WKP(2009)
- EPA, 2011, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies
- Ferguson, B., K. Fisher, J. Golden, L. Hair, L. Haselbach, K. Kaloush, M. Pomerantz, N. Tran and D. Wayne, 2008, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Cool Pavements, <http://www.epa.gov/hiri/resources/pdf/CoolPavesCompendium.pdf>
- Gartner, 2012, Forecast: Mobile Data Traffic and Revenue Worldwide 2010~2015
- IPCC. 2007. 「Climate Change 2007: Climate change impacts, adaptation and vulnerability」 Fourth Assessment Report, Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Knowlton K., 2009, The 2006 California Heat Wave: Impacts on Hospitalizations and Emergency Department Visits, Environment Health Perspectives
- Knowlton K., 2011, Six climate change-related events in the United States accounted for about \$14 billion in lost lives and health costs, Health affairs
- Koppe, C., S. Kovats, G. Jendritzky and B. Menne, 2007, Heat-waves: risks and responses, World Health Organization Regional Office for Europe
- Masson, V., C. Grimmond and T. Oke, 2002, Evaluation of the Town Energy Balance (TEB) Scheme with Direct Measurements from Dry Districts in Two Cities, 41(10): 1011-1026
- McGinley, J., S. Albers and P. Stamus, 1991, Validation of a Composite Convective Index as Defined by a Real-Time Local Analysis System, American Meteorological Society 6(3): 337-356
- McGraw Hill Construction, 2008, Key Trends in the European and U.S. Construction Marketplace, SmartMarket Report
- Shrestha, K., A. Kondo, A. Kaga and Y. Inoue, 2009, Investigating the contribution of urban canopy model and anthropogenic heat emission to urban heat island effect using WRF model, Trans JSRAE, 26(1): 45-55
- Stewart I. and T. Oke, 2012, Local climate zones for urban temperature studies, Bulletin of the American Meteorological Society, 93(12): 1879-1900
- Tokyo Metropolitan Government, 2005, Guidelines for heat island control measures. Summary

## Edition

- Tokyo Metropolitan Government, 2010, Tokyo Metropolitan Environmental Master Plan. The second edition. Tokyo: Nikkei Printing Inc.
- Voogt, J. and T. Oke, 2003, Thermal remote sensing of urban climates, Remote Sensing of Environment, 86(3): 370-384
- Yamamoto, Y., 2006, Measures to mitigate urban heat islands. Science and Technology Trends, Quarterly Review 18: 65-83
- Yeora Chae, 2010, Co-benefit analysis of an air quality management plan and greenhouse gas reduction strategies in the Seoul metropolitan area. Environmental Science and Policy 국가과학기술위원회, 2012, 제3차 환경기술 및 환경산업 육성 계획안('13~'17)
- 국립방재연구원, 2012, 재난분석 평가 기술 개발을 위한 사전기획 연구
- 국토연구원, 2007, 공간정보 패러다임 변화에 대응한 국가 GIS 전략 연구
- 국토연구원, 2009, 기후변화에 안전한 재해통합대응 도시 구축방안 연구(I) 총괄보고서
- 국토해양부, 2009, 기후변화에 대비한 도시계획적 대응방안 연구
- 국토해양부, 2010, 저탄소 녹색도시계획 표준모델(안) 정립방안 정책연구
- 국토해양부, 2010, 저탄소 녹색성장과 기후변화대응을 위한 국토해양부 녹색성장 추진계획
- 국토해양부, 2011, 건축물 녹화 기본계획 수립 매뉴얼
- 국토해양부, 2011, 저탄소 녹색신도시 평가모형 개발 연구
- 국토해양부, 2012, 제5차 건설기술진흥기본계획(2013~2017)
- 기상청, 2010, 기상정책기술
- 김수봉, 2010, 외국도시의 열섬현상 완화 대책, 도시문제 7월호: 22-26
- 김수암, 장대희, 2012, 일본 도시열섬 대책 가이드라인에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 23: 157-162
- 김현영, 2013, 폭염으로 인한 사망과 온열질환 발생률 예측모형 비교연구, 아주대학교 석사 논문
- 녹색성장위원회, 2011, 녹색도시 건축 활성화 방안 연구
- 녹색성장위원회, 2012, 기후변화 적응 관련 유망 산업 발굴 및 활성화 방안 연구
- 대구경북연구원, 2005, 친환경적 도시건설을 위한 바람길 도입 기초 연구
- 대전발전연구원, 2013, 대전시 온도변화에 대한 기초연구
- 박세환, 2011, 3차원 GIS 및 지도데이터 기술동향, 측량, 116: 70-75
- 박은진, 강규이, 남미아, 2005, 도시열섬 완화를 위한 옥상녹화 활성화 방안, 경기개발연구원
- 박종화, 2011, 지구온난화와 열섬현상, 한국관계배수회지, 48: 20-28
- 박홍철, 2010, 뉴욕시 기후변화 대응 정책과 오픈스페이스 전략(번역: PlaNYC 2030-A GREENER, GREATER The City of New York)
- 방재성, 2013, 미국 지방자치단체 도시열섬완화 대책의 계획적 특성, 29(4): 79-90
- 배용규, 송두삼, 2011, 열섬현상 완화를 위한 주거지 공간위계별 설계요소 도출 연구, 대한건축학회논문집, 27(6): 195-204

부산발전연구원, 2011, 온실가스 감축을 위한 녹색생활 실천 활성화 방안  
 부산발전연구원, 2013, 부산시 도시열섬 실태과약과 완화대책  
 산림청, 2013, 숲 속의 도시, 도시 속의 숲 실현을 위한 도시림 기본계획(변경)  
 서울시정개발연구원, 2010, 서울시 기후변화 고도적응 방안 연구  
 송영배, 2007, 바람통로 계획과 설계방법, 서울: 그린토마토  
 양인철, 황환철, 이유화, 임지현, 2013, 3차원 미기상모형 ENVI-met을 이용한 가로수목 식재박스의 도심 온도저감효과 분석에 관한 연구, 한국방재학회논문집, 13(1): 221-228  
 양인철, 황환철, 이유화, 임지현, 2013, 3차원 미기상모형 ENVI-met을 활용한 가로수목 식재박스의 도심 온도저감효과 분석에 관한 연구  
 오규식, 홍재주, 2005, 도시공간 구성요소와 도시열섬현상의 관련성 연구, 도시설계 6(1): 47-63  
 오규식, 서안선, 정승현, 2009, 열환경 향상을 위한 아파트 주동배치계획, 한국환경복원기술학회지 12(2) 83-94  
 오규식, 이민복, 이동우, 2013, 수도권 신도시의 열쾌적성 평가, 한국공간정보학회지 21(2): 55-71  
 윤성환, 여인애, 2010, 해안도시의 여름철 열환경형성 특성 분석: 부산광역시 해운대구 일대를 중심으로, 대한건축학회 논문집 26(9): 249-257  
 이지현, No date, 프랑스의 기후변화 대응 정책 및 계획,  
[http://attfile.konetic.or.kr/konetic/uploaded\\_data/MARKET\\_FOREIGN/TBL\\_FOREIGN\\_HO\\_20130507AM91557.pdf](http://attfile.konetic.or.kr/konetic/uploaded_data/MARKET_FOREIGN/TBL_FOREIGN_HO_20130507AM91557.pdf)  
 이채연, 안승만, 김규량, 최영진, D. Scherer, 2012, 상세공간정보를 활용한 국지기온 분석개선: 서울 은평구 뉴타운을 사례로, 한국지리정보학회지, 15(1): 144-158  
 정보통신정책연구원, 2012, 2012 정보통신산업동향  
 정우식, 박종길, 이화운, 2006, 개발에 따른 지형변화가 국지 바람장에 미치는 영향 분석: Envi-met 모형을 이용한 수치모의, 한국대기환경학회지 22(6): 888-903  
 지식경제부, 2009, 신성장동력 기능별 대책  
 지식경제부, 2010, 기후변화 관련 산업 활성화 방안 연구  
 지식경제부, 2013, 제6차 전력수급기본계획  
 질병관리본부, 2013, 2012 폭염건강피해백서  
 채여라, 염유나, 2010, 효율적 기후변화 적응대책 수립을 위한 기후변화의 경제학적 분석, 대한환경공학회지 32(9)  
 최석인, 이복남, 장현승, 2009, 세계 녹색건설시장 동향과 시사점-에너지 및 빌딩 시장을 중심으로, 26(4): 42-48  
 한국건설기술연구원, 2009, 건설기술의 녹색성장정책 실행계획 수립연구  
 한국건설기술연구원, 2012, 도시기후 변화 대응 생태단지 조성 기술 개발(V)  
 한국건설산업연구원, 2009, 세계 녹색건설시장 동향과 시사점: 에너지 및 빌딩 시장을 중심으로, 건설이슈포커스 2009-05  
 한국과학기술기획평가원, 2011, IT 산업 경쟁력 지수 2011 분석

한국과학기술한림원, 2010, 저탄소 녹색도시 조성을 위한 과학기술정책 수립 가이드라인 개발  
 한국전산원, 2003, 3차원 GIS 동향분석  
 한국전자정보통신산업진흥회, 2013, 2012 정보통신산업통계연보  
 한국환경산업기술원, 2009, 세계환경산업시장의 현황 및 해외진출전략  
 한국환경정책평가연구원, 2009, 도시지역의 기후변화 적응을 위한 열섬현상 완화방안 연구  
 한국환경정책평가연구원, 2011, 기후변화 적응형 도시 리뉴얼 전략수립: 그린인프라의 방제효과 및 적용방안  
 한국환경정책평가연구원, 2012, 기후변화 적응형 도시구현을 위한 그린인프라 전략 수립  
 현대경제연구원, 2011, 녹색건설의 국내외 동향 및 시사점  
 환경부, 2009, 기후변화 적응을 위한 한국형 그린인프라 구축방안 연구  
 환경부, 2009, 녹색지붕 조성 가이드라인 작성 연구 최종 보고서  
 환경부, 2009, 신도시 개발지역의 바람순환 및 바이오기후(생기후) 관리기술 개발 및 시범적용 연구  
 경기농림진흥재단 홈페이지, [www.ggaf.or.kr](http://www.ggaf.or.kr)  
 도쿄도 홈페이지, [www.metro.tokyo.jp](http://www.metro.tokyo.jp)  
 미국 EPA 홈페이지, [www.epa.gov](http://www.epa.gov)  
 영국 UKCIP 홈페이지, [www.ukcip.org.uk](http://www.ukcip.org.uk)  
 일본 국토교통성 홈페이지, [www.mlit.go.jp](http://www.mlit.go.jp)  
 일본 환경성 홈페이지, [www.env.go.jp](http://www.env.go.jp)  
 볼트 시뮬레이션, [www.boolt.co.kr](http://www.boolt.co.kr)  
 한국전력거래소: <http://www.kpx.or.kr>

부록 1: 도시기온 1℃ 낮아짐에 따른 연도별 편익 추정치

(현재가치기준, 원)

| 구분   | 전기 절감          | 이산화탄소 절감    | 대기질 악화 감소     | 의료비 절감      | 총편익            |
|------|----------------|-------------|---------------|-------------|----------------|
| 2025 | 10,146,033,116 | 352,449,409 | 3,239,622,544 | 527,968,797 | 14,266,073,866 |
| 2026 | 9,870,344,254  | 342,872,624 | 3,282,911,717 | 500,444,357 | 13,996,572,952 |
| 2027 | 9,587,605,475  | 333,050,942 | 3,188,871,790 | 474,354,841 | 13,583,883,048 |
| 2028 | 9,341,360,937  | 324,496,984 | 3,106,969,978 | 449,625,442 | 13,222,453,341 |
| 2029 | 9,078,444,437  | 315,363,881 | 3,019,523,012 | 426,185,253 | 12,839,516,583 |
| 2030 | 8,817,552,908  | 306,301,121 | 2,932,749,559 | 403,967,064 | 12,460,570,651 |
| 2031 | 8,559,189,774  | 297,326,191 | 2,846,817,059 | 382,907,170 | 12,086,240,193 |
| 2032 | 8,303,800,467  | 288,454,565 | 2,761,873,664 | 362,945,185 | 11,717,073,881 |
| 2033 | 8,051,777,105  | 279,699,864 | 2,678,049,795 | 344,023,872 | 11,353,550,635 |
| 2034 | 7,803,462,837  | 271,074,008 | 2,595,459,583 | 326,088,978 | 10,996,085,407 |
| 2035 | 7,559,155,887  | 262,587,358 | 2,514,202,220 | 309,089,079 | 10,645,034,543 |
| 2036 | 7,319,113,304  | 254,248,841 | 2,434,363,200 | 292,975,430 | 10,300,700,774 |
| 2037 | 7,083,554,443  | 246,066,078 | 2,356,015,482 | 277,701,829 | 9,963,337,832  |
| 2038 | 6,852,664,199  | 238,045,492 | 2,279,220,563 | 263,224,483 | 9,633,154,738  |
| 2039 | 6,626,596,004  | 230,192,413 | 2,204,029,475 | 249,501,879 | 9,310,319,772  |
| 2040 | 6,405,573,798  | 222,514,620 | 2,130,516,701 | 236,494,672 | 8,995,099,791  |
| 2041 | 6,189,545,540  | 215,010,304 | 2,058,664,931 | 224,165,566 | 8,687,386,342  |
| 2042 | 5,978,632,368  | 207,683,675 | 1,988,514,458 | 212,479,210 | 8,387,309,710  |
| 2043 | 5,772,888,081  | 200,536,601 | 1,920,083,174 | 201,402,095 | 8,094,909,950  |
| 2044 | 5,572,346,967  | 193,570,273 | 1,853,382,484 | 190,902,459 | 7,810,202,183  |