

# 도시 기후변화 폭우재해 적응 안전도시 기술 개발



**송 주 일** |  
국토연구원 책임연구원  
jjsong2@krihs.re.kr



**이 병 재** |  
국토연구원 책임연구원  
leebj@krihs.re.kr



**심 우 배** |  
국토연구원 국가도시방재연구센터장  
obsim@krihs.re.kr

## 1. 머리말

지난 100년간(1912~2008) 우리나라 6대 도시 평균기온은 1.7 °C 상승, 강수량은 19 % 증가하였다. 또한 제주의 해수면은 43년간 22 cm, 매년 5.1 mm 상승하였다. 이와 비교하여 지난 100년간의 세계 평균기온은 0.7 °C, 해수면은 매년 1.8 mm 상승(IPCC, 2007)하였다. 이처럼 최근 우리나라의 기후변화는 상대적으로 빠르게 진행되고 있으며, 이러한 영향으로 이상기후가 일상화되고 있다. 새로운 RCP(Representative Concentration Pathways) 기후변화 시나리오에 의하면 기존 SRES(Special Report on Emission Scenario)에 비해 기후변화 영향이 더욱 증대될 것으로 전망된다. 한반도의 경우



사진 출처 : 재해연보(소방방재청, 2011)

그림 1. 우면산 산사태 현장

## 학술/기술기사

2050년을 기준으로 기온 상승량은 기존 2.0 °C에서 3.2 °C, 강수량 증가율은 기존 11.5 %에서 15.6 %로 상향되었다.

기후변화 영향에 의한 폭우는 침수 및 산사태의 원인이 되고 있고, 매년 도시에서 발생하는 설계강우량을 넘어서는 극치강우로 인해 도시침수 및 산사태 피해가 급증하고 있다. 2011년 7월, 서울 강남 침수와 우면산 산사태 피해가 대표적인 사례라고 할 수 있다. 우면산 산사태는 방배동 남태령 전원마을, 우면동 형촌마을, 남부순환도로 아래 OO아파트 등에서 16명이 사망자와 580여 주택 피해를 남겼다. 이러한 피해의 1차적 원인은 기후변화 영향에 따른 폭우이지만, 방재를 고려하지 않은 도시계획, 도시개발이 피해를 가중시켰다.

이제는 기존의 재해 규모와 비교하여 기후변화로 인해 증가하는 재해 규모에 대한 대응방안이 필요한 시점이다(그림 2). 하천, 하수도, 빗물펌프장 등 전통적인 방재대책들은 현재도 그 역할의 중요성이 매우 크지만, 전통적인 방재시설물의 대응능력을 초과하는 폭우에 대응하기에는 한계점이 존재한다. 따라서 기후변화로 대형화되는 폭우재해에 대응하기 위해서는 새로운 도시

방재 패러다임 즉, 도시차원의 종합적 대응 필요하다. 폭우취약지역을 과학적으로 예측하고, 토지이용, 기반시설 등 도시계획·설계기법을 활용하여 폭우에 대한 도시의 대응능력을 제고시킬 수 있는 도시설계기술 개발이 필요하다.

『도시 기후변화 폭우재해 적응 안전도시 기술개발(Urban Design Technique Development Adapting to Climate Change Driven Heavy Rainfall Disaster)』은 도시차원에서 폭우재해를 저감시킬 수 있는 기술을 개발하는 연구로서 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원에서 지원하는 2011년 건설교통기술연구개발사업의 일환으로 시작된 국내 최초의 도시방재 관련 연구개발사업이다. 본 연구에는 주관기관으로 국토연구원(연구책임 : 심우배 국가도시방재연구센터장), 공동연구기관으로 서울연구원(연구책임 : 신상영 연구위원), 노아솔루션(주)(연구책임 : 여규동 박사), 서경대학교(연구책임 : 김학열 교수), 위탁연구기관으로 강원대학교(연구책임 : 김병식 교수), 동아대학교(연구책임 : 권태정 교수), (주)제일엔지니어링종합건축사사무소(연구책임 : 윤중경 사장) 총 7개 기관, 50여명의 연구인력이 참여하고 있다. 연구기간은 2011년 12월부터 2015

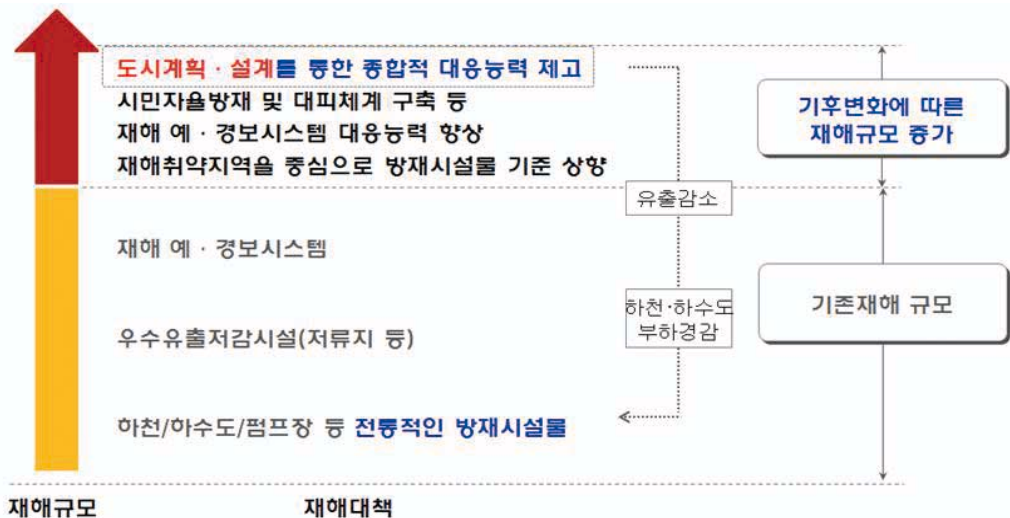


그림 2. 폭우재해 규모에 따른 재해대책

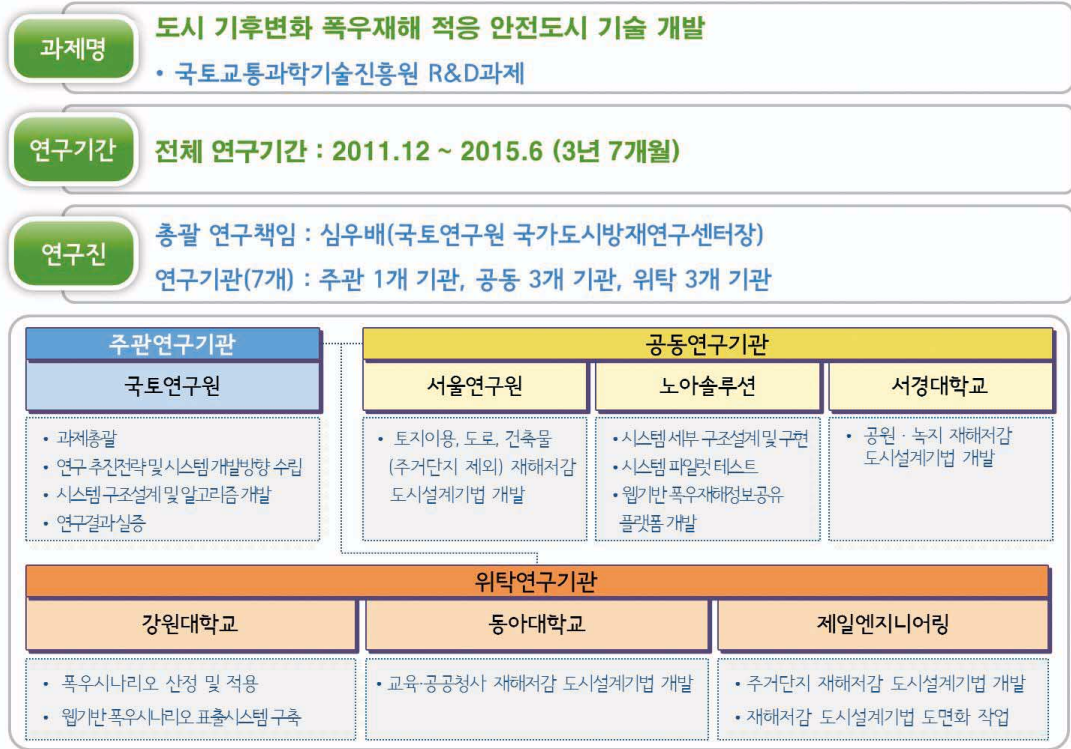


그림 3. 도시 기후변화 폭우재해 적응 안전도시 기술 개발 연구 개요

년 6월까지 3년 7개월이며, 총 연구비는 39.5억 원이다(그림 3).

## 2. 연구의 목표 및 전략

본 연구의 최종목표는 ‘Urban PSR System (기후변화 폭우재해 적응 안전도시 시스템)’을 구축하고, 폭우재해저감 한국형 도시설계기법 및 최적화 기술을 개발하는 것이다. 이를 통해 초대형 폭우재해에 대한 도시의 위험 분산 및 근본적인 재해위험을 해소하고자 한다. 이를 위한 세부 목표로는 첫째 Urban PSR System 및 평가기술을 개발하고, 둘째 재해저감 도시설계 요소기술을 개발하여 시스템과 도시설계 요소기술을 통합적으로 시험대상지역에 적용하고 검증하는 것이다.

Urban PSR System 및 평가기술에서는 도시 내 침수와 산사태를 함께 고려하여 재해발생 지점(Point) - 재해취약지역(Site) - 도시대응 지역(Region)을 도출할 수 있는 ‘PSR분석 모듈’과 도시설계 요소기술이 모형화 되고 효과를 검증하게 되는 ‘PSR계획 모듈’을 개발하게 된다. 또한 강우특성 및 도시 중요도를 고려한 폭우시나리오 산정, 적용 및 평가가 주요 연구내용이다. 재해저감 도시설계 요소기술에서는 토지이용, 공원/녹지, 도로, 학교 등 공공시설, 주거단지 및 건축물을 활용하는 도시설계기법과 최적조합 및 배치방안을 제시하고, 유역특성, 도시특성, PSR 등을 고려한 적용방안을 마련하게 된다. 마지막으로 통합적용 기술에서는 개발된 ‘Urban PSR System’과 재해저감 도시설계기법을 대상도시에 적용하여 실증하고자 한다.

궁극적으로 『도시 기후변화 폭우재해 적응 안

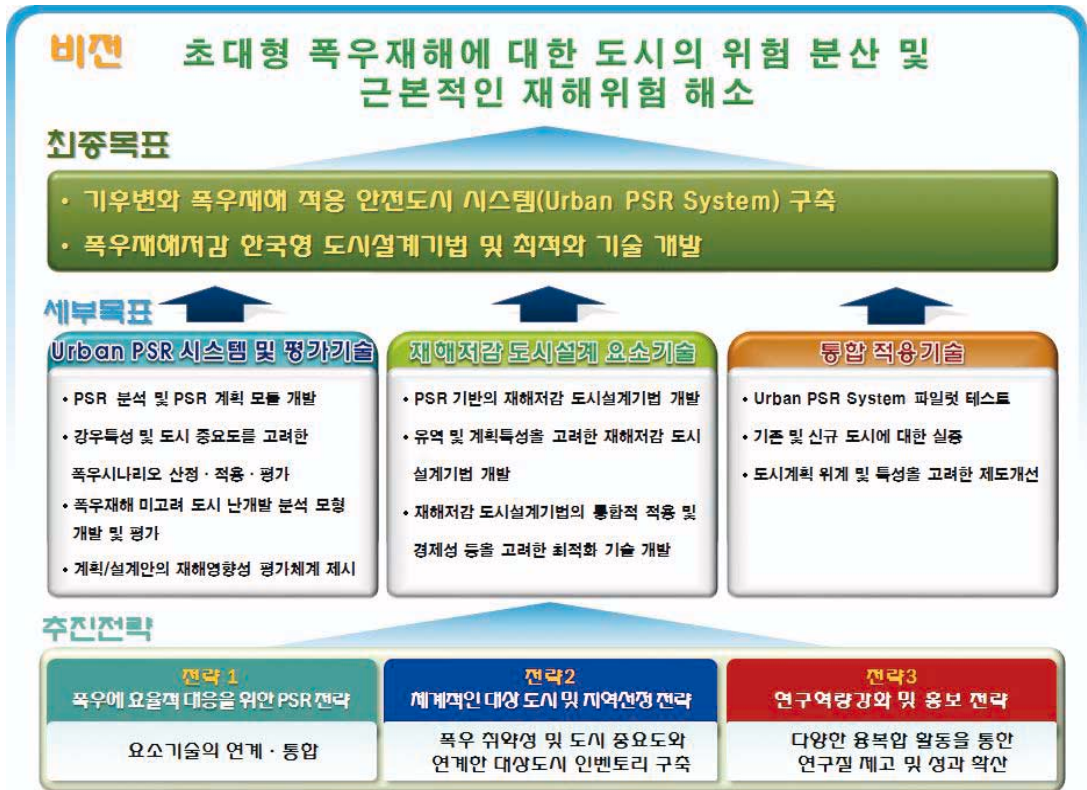


그림 4. 폭우재해 규모에 따른 재해대책

전도시 기술』은 대상지역에 대하여 재해발생지점(P)-재해취약지역(S)-도시대응지역(R)으로 구별되는 재해취약지역을 예측하고, 재해저감을 위한 최적의 도시설계기법을 도입하는 기술이다. 기존의 침수, 산사태 재해분석을 위한 개별 기술은 재해취약지점을 파악하고 점적인 대책, 초기 대응방안을 마련하는데 중점을 두었으나, 본 연구 개발은 재해취약지점 뿐 아니라 그 영향범위를 파악하고 기후변화 폭우재해 적응 도시설계기술 적용을 위한 공간관리지역, 즉 폭우재해 대응지역을 설정하여 사전 예방적이면서 점적, 면적 대책의 조화로운 최적기법을 마련하는 것이라고 할 수 있다.

본 연구의 목표달성을 위한 추진전략으로는 폭우에 효율적 대응을 위한 PSR전략, 체계적인 대상 도시 및 지역선정, 연구 역량강화 및 홍보

이다. PSR전략은 <그림 5>와 같이 계곡-작은 연못-마을(자연 및 인공수로)-큰 연못-하천으로 이어지는 우리나라 선조들의 공간배수체계를 현대화 한 것으로 자연배수체계와 적절한 인위적 배수체계를 연계하여 “겹겹이” 우수유출을 지연, 저류(유속, 유량 제어) 시키는 중층(Multi-layer)의 도시방재 전략이다. 재해발생지점(P)은 기존의 전통적 방재대책, 구조적 대책을 통해 재해위험을 저감토록 하며, 본 연구 개발은 재해직접영향권인 재해취약지역(S)과 재해간접영향권인 도시대응지역(R)의 재해저감 도시설계기법 개발에 초점을 두고 있다. 특히, 폭우에 대한 침수예상지역인 재해취약지역(S)에는 이전, 이격(set-back), 개발제한 등 토지이용대책을 적극적으로 적용하며, 도시대응지역(R)에는 집수구역의 경사, 면적 등의 특성을 고려한 다양한 도



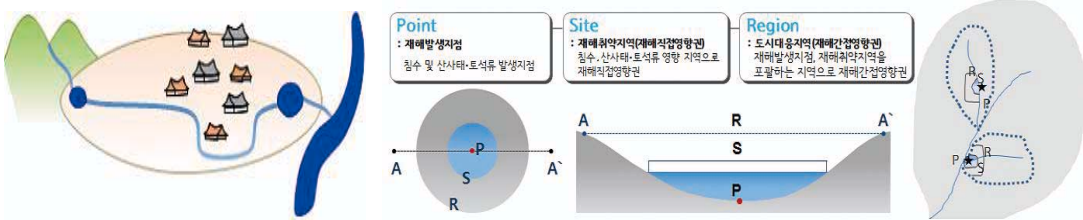


그림 5. 선조들의 공간배수체계 및 PSR 전략

시설계기법이 적용된다. 각 연구기관은 PSR 전략을 공유함으로써 재해저감 도시설계기법 및 관련 시스템 개발의 연계와 통합 적용성을 제고하는데 노력하고 있다.

체계적인 대상 도시 및 지역선정을 위해 폭우 취약성 및 도시 중요도를 고려한 폭우취약 대상 도시 인벤토리를 구축하고, 통합 적용의 우선순위를 선정할 계획이다. 또한 도시계획수립지침(국토교통부, 2011)의 폭우 취약성 분석 절차를 활용하여 대상도시 내 폭우재해 취약지역을 도출하여 최종 대상지역으로 선정할 계획이다. 폭우 취약성과 도시 중요도와 함께 토지이용의 밀도 등 다양한 특성을 갖는 대상지역을 사전에 체계적으로 선정함으로써 3, 4차년도 시스템 파일럿 테스트, 실증분석 등에 효과적으로 활용될 수 있도록 할 계획이다.

연구 역량강화 및 홍보 전략은 본 연구 개발에 참여하고 있지 않은 다양한 분야의 전문가를 자문위원으로 위촉하여 참여토록 함으로써 도시설계기법의 실무 적용성을 높이도록 노력하고 있다. 또한, 도시홍수재해관리기술연구단, 차세대홍수방어기술연구단, GI & LID 연구단 등 도시방재 관련 연구단 및 기관과의 MOU체결 등 협력체계 구축을 통해 활용가능한 선행연구기술은 연계하여 활용하고, 연구결과를 공유함으로써 연구의 중복성을 줄이고 시너지 효과를 높이는데 노력하고 있다. 한국수자원학회, 한국방재학회, 한국기후변화학회, 도시설계학회, 대한국토도시계획학회 등 관련 학회에 적극적으로 논문을 기고하고, 학술발표회 특별세션 개최 등을 통해 연

구결과를 적극 홍보하고 있다.

### 3. 연차별 연구 계획 및 성과

『도시 기후변화 폭우재해 적응 안전도시 기술 개발』은 4차년에 걸쳐 수행된다. 우선 1차년도에는 ‘Urban PSR System’과 한국형 재해저감 도시설계기법의 개발 방향을 수립하고, 이어서 2~3차년도에는 토지이용, 도로, 공원/녹지, 주거단지, 교육·공공청사, 건축물 등에 대한 재해저감 도시설계기법 개발과 ‘Urban PSR System’의 구축을 완료할 계획이다. 4차년도에는 도시여건, 경제성을 고려한 재해저감 도시설계기법의 최적화 방안을 마련하고, 대상지역에 대하여 ‘Urban PSR System’을 검증하고자 한다. 또한 ‘Urban PSR System’의 분석결과와 도시계획정보, 각종 규제 정보, 도시재해 취약성 정보 등을 공유할 수 있는 정보공유 플랫폼을 개발할 계획이다.

연구성과로써 1차년도에는 재해저감 도시설계의 기본 방향 제시를 위해 폭우재해를 고려하지 않은 도시 난개발을 정의하고, 이를 정량적으로 분석하는 모형을 개발하였다. 또한 폭우재해 관련 국내 사업단, 연구단의 연구내용에 대한 문헌 조사를 수행하고, 모형 및 시스템, 수요자 요구사항, 전문가 등의 의견 등을 종합하여 ‘Urban PSR System’의 개발방향을 수립하였다. 폭우 관련 자연재해를 고려하여 기존 지속가능성 개념을 재정립하여 도시계획·설계 목표를 도출하였



그림 6. 연차별 연구 계획

고, 도출된 계획목표를 방재관련 기능과 공간위 계별로 체계화하였다. 사회·경제적 측면을 고려하여 재해저감을 위한 도시계획·설계방향을 제시하였으며, 도시설계계획요소 인벤토리를 구축하였다.

2차년도부터는 'Urban PSR System'의 세부 모듈을 개발하기 시작하였다. 우선적으로 폭우에 대한 개념을 정립하고, 재해저감 도시계획 및 설계를 위한 지역별 평균 폭우빈도 분석 및

대응 빈도를 제시하였다. 이를 바탕으로 관측수별 웹기반 폭우시나리오 표출 시스템(HEC-HRIS, <http://hris.hecsystem.com>)을 구축 완료하였다.

또한 도시설계 대상지역의 폭우관련 사전정보

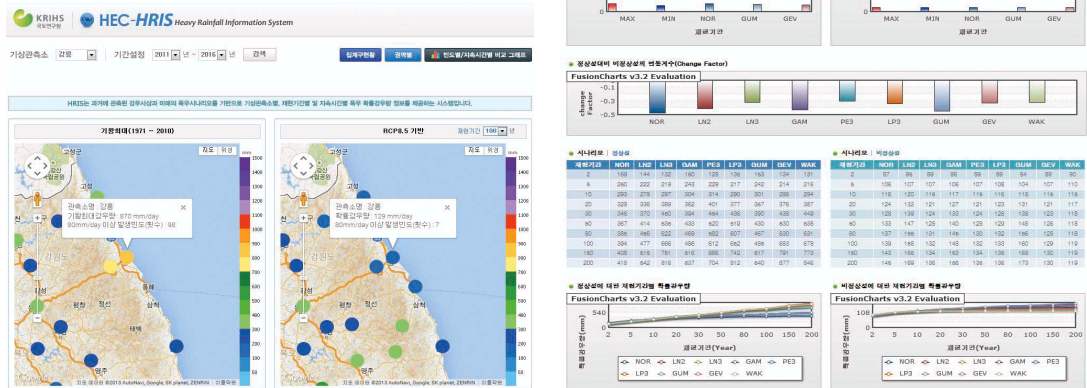


그림 7. 웹기반 폭우시나리오 표출시스템(HEC-HRIS)

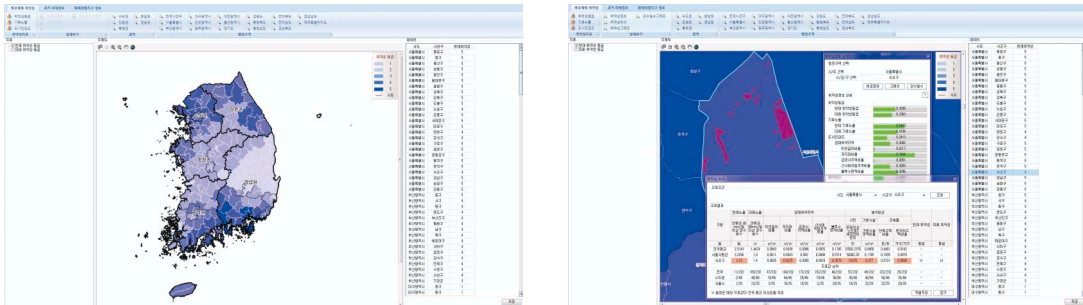


그림 8. 도시 폭우재해 취약성 정보 모듈



그림 9. PSR분석 모듈 프로토타입

로써 재해취약성 지표 및 과거 피해정보, 자연재해위험개선지구, 풍수해위험지구 등을 확인 할 수 있는 ‘도시 폭우재해 취약성 정보 모듈’을 개발하였다(그림 8). 실제 폭우에 대한 침수구역 해석과 PSR을 자동 도출하게 되는 ‘PSR분석 모듈’ 개발을 위해 국내·외 도시유출모형의 적용성을 검토하고, 도시설계기법의 효과분석 기능 구현을 위한 모형의 적합조건을 도출하고 시스템에 탑재할 모형을 선정하였다. 선정된 모형과 PSR도출 방안을 고려하여 최종적으로 PSR분석 모듈 프로토타입을 개발하였다(그림 9).

재해저감을 위한 한국형 도시설계기법 제시를

위한 PSR기반의 도시설계기법 개발 방향을 제시하였다(그림 10). 또한 전문가 설문 조사 등을 통해 용도/시설별 폭우재해 취약도 분석 및 폭우대비 집중관리시설, 재해저감 다목적 활용 대상 공공시설 유형을 제시하였으며, 재해저감 효과를 고려한 도시공원 위치 결정 및 공원계획을 위한 가이드라인, 폭우재해저감 도시설계 가이드라인(안) 및 도면집을 발간하였다.

현재 『도시 기후변화 폭우재해 적응 안전도시 기술 개발』은 3차년도 연구가 진행중에 있으며, 3차년도 연구에서는 프로토타입을 수정·보완한 ‘PSR분석 모듈’ 구축하고자 한다. 또한 도시설



그림 10. PSR기반의 재해저감 도시설계기법 개발방향 예시



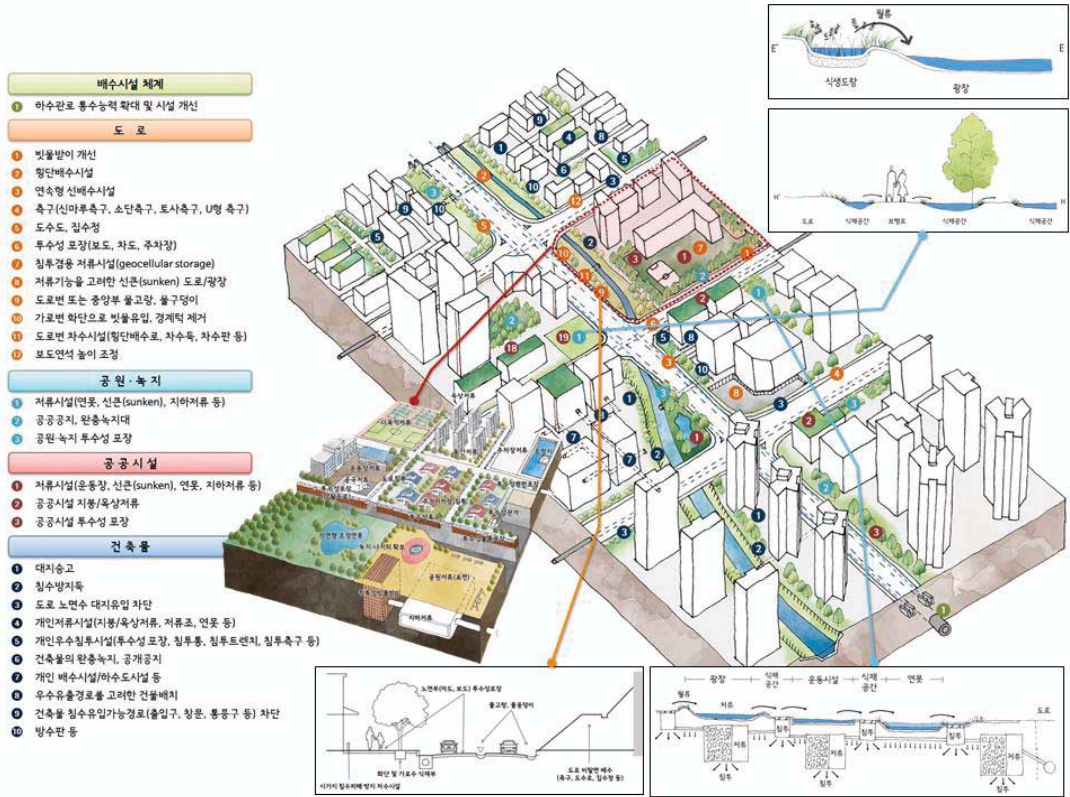


그림 11. 침수피해 저감을 위한 도시설계기법 종합 예시

계기법들의 효과 분석이 가능하도록 도시설계기법의 개별 요소들을 모형화 할 수 있는 ‘PSR계획 모듈’ 프로토타입을 구축하고, 도시설계기법들의 최적 조합 및 배치 기법을 개발할 계획이다.

#### 4. 연구의 기대성과 및 활용방안

『도시 기후변화 폭우재해 적응 안전도시 기술개발』 연구에 대한 기대성과는 첫 번째 재해취약지역에서부터 도시설계기법을 활용한 재해저감 효과 분석과 재해관련 각종 정보 확인이 가능한 ‘Urban PSR System’ 구축이다. 두 번째는 광역도시계획, 도시기본계획, 지구단위계획 등 도시의 계획 특성과 해당 도시의 유역특성을 종합

적으로 고려한 PSR기반의 한국형 재해저감 도시설계기법과 경제성이 고려된 통합 적용 및 최적화 기술 개발이다. 이러한 기대성과에 대한 파급효과를 정책적, 기술적, 학술적, 사회·경제적 측면에서 살펴보면 <표 1>과 같다.

‘Urban PSR System’은 ‘웹기반 폭우시나리오 표출 시스템(HEC-HRIS)’과 연계되고, ‘PSR분석 모듈’, ‘PSR계획 모듈’, ‘폭우재해 취약성 정보 모듈’ 등을 포함하게 된다. HEC-HRIS의 지역별, 폭우시나리오별 미래(단기/중기/장기)의 확률강우량은 국가 및 지자체 차원의 폭우대비 도시방재 목표 설정 체계를 마련할 수 있다는데 그 의미가 있다. 또한 ‘Urban PSR System’은 국토교통부 및 지자체의 방재형 도시계획 및 도시개발 사업 추진을 위한 필수적인 사전 분석 툴로 활용이 가능하다. 2011년 12월



표 1. 연구개발 결과의 파급효과

구 분	파 급 효 과
정책적 측면	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기후변화에 따른 폭우 대형화 추세에 대비하여 기존의 전통적인 구조물적 대책(하수도, 펌프장 등)과 병행하는 PSR기반의 도시계획적 대책을 통해 재해 위험분담 등 방재정책 전환 및 도시방재 역량 확대</li> <li>• 우리나라 강우 및 도시특성을 고려한 폭우대비 도시의 기후변화 적응정책 수립에 기여</li> <li>• 도시공원 내 저류시설 설치 사업, 방재지구의 효과적 지정, 지자체의 재해 취약성 분석 등 국토부의 도시정책에 기여</li> </ul>
기술적 측면	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PSR기반의 한국형 재해저감 도시설계기법은 방재형 도시계획 및 도시개발 기술연구 촉진</li> <li>• Urban PSR System 구조설계 및 PSR분석모듈은 LID(저영향개발), GI(그린인프라) 등 분산형 우수저감 적용기술 도입 및 효과분석 시스템 설계에 기여하고, 국토부의 도시계획정보시스템(UPIS) 등과 연계토록 하여 기술적 활용성 제고</li> </ul>
학술적 측면	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 재해저감 도시설계기법 기능 구현을 위한 도시유출모형의 적용성 분석 및 적합조건 제시를 통해 도시설계기법 정량화 시스템 개발 연구 촉진에 기여</li> <li>• 도시계획시설을 활용한 저류효과 및 공원/녹지의 배치형태에 따른 유출저감효과 분석과 방법론 제시</li> </ul>
사회·경제적 측면	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공원, 도로, 공공청사 등 도시계획시설을 활용한 재해저감 도시설계기법은 소규모 분산설치를 통해 재해위험을 분담함으로써 재해 대응비용 절감 및 도시기능 보호</li> </ul>

도입되어 시행중인 지자체의 재해 취약성 분석 시 폭우취약지역의 과학적 도출은 물론 방재지구 지정, 개발행위제한을 위한 지역선정과 재해취약 지역의 위험을 개선하는데 여러 가지 도시설계기법을 적용하고 비용, 효과 등을 분석하는데 유용하게 활용 가능하다.

PSR기반의 한국형 재해저감 도시설계기법은 국토교통부의 정책 및 지자체의 폭우재해 저감을 위한 도시계획 수립에 활용이 가능하다. 특히, 국토교통부의 도시공원 내 저류시설 설치 사업 등이 효율적으로 추진될 수 있도록 할 수 있으며, 방재지구 등 재해취약지역 해소를 위한 도시계획 수립에 직접 활용 될 수 있다. 또한, 향후 발간될 재해저감 도시설계기법 가이드라인 및 도면집은 도시계획 및 개발사업 관련 지자체 공무원, 설계자들이 재해저감 도시설계기법을 쉽게 이해하고, 활용할 수 있도록 도움을 줄 것이다. 한국형 재해저감 도시설계기술은 상습피해지역 또는 취약지역에 해당하는 도심 낙후지역에 대한 도시 재정비사업이나 신규 개발계획 수립 시 폭우재해 위험을 저감하는 설계기법으로 활용성이 매우 높으

며, 국토교통부의 도시계획 관련 법률, 지침, 가이드라인 개정 및 제정에 활용 가능하다.

### 5. 맺음말

우리나라는 매년 6월에서 9월사이에 연강수량의 2/3가 집중되고, 태풍이 평균 2~3개 내습하여 반복적인 폭우피해가 발생하고 있다. 최근 기후변화 영향으로 폭우의 규모가 대형화 되고 있어 하천, 하수도, 펌프장 등 전통적인 방재대책만으로는 대응하는데 한계가 있다. 구조적 방재시설의 설계용량을 일정정도 상향할 필요는 있으나, 폭우재해에 대한 도시의 모든 구성요소의 적응력과 복원력을 높여 위험을 분담할 필요가 있다.

『도시 기후변화 폭우재해 적응 안전도시 기술 개발』연구는 그동안 급격한 경제성장과 도시확장에서 간과해온 토지이용, 기반시설(도로, 공원·녹지, 공공시설 등), 건축물 등에 대한 폭우재해 저감 도시설계기법 개발을 통해 도시의 적

응력과 복원력을 높여 안전한 도시를 조성하는 것이다. 특히, PSR전략을 통해 재해발생지점, 재해직접영향권, 재해간접영향권 등 지역의 재해 영향 및 특성을 고려한 도시설계기법 적용을 통해 효과적으로 폭우재해를 저감시키고자 한다.

본 연구 개발을 통해 전통적인 방재대책과 병

행하여 기후변화에 대응함으로써 보다 경제적이고 효과적으로 폭우재해를 저감시킬 수 있을 것으로 기대한다. 도시방재 관련 다양한 전문가 및 R&D 연구단과 협력을 통해 연구결과를 공유·연계하고, 창의적인 융복합 연구를 위해 지속적으로 노력할 계획이다. 