

# 도시특성을 고려한 도심지 토사재해 예측·평가 및 통합관리기술 개발 연구단 소개



**김 하 룡**  
공주대학교  
건설환경공학부  
(civilkhy@kongju.ac.kr)



**박 무 중**  
한서대학교  
토목공학과 교수  
(mjpark@hanseo.ac.kr)



**김 상 단**  
부경대학교  
환경공학과 교수  
(skim@pknu.ac.kr)



**이 정 민**  
LH 토지구주택연구원  
수석연구원  
(andrew4502@lh.or.kr)



**김 명 수**  
국토연구원  
도시연구본부 본부장  
(mskim@krihs.re.kr)



**김 윤 태**  
부경대학교  
해양공학과 교수  
(yuntkim@pknu.ac.kr)

## 1. 서론

최근 지구 온난화에 의한 기후변화와 함께 집중호우, 극한강우 및 태풍에 의해 토사재해의 강도가 심화되고 있다. 2011년에는 서울시에 300mm가 넘는 폭우로 인해 우면산 산사태가 발생하여 16명이 사망하고 3명이 실종되는 등 도심지를 중심으로 토사재해에 의한 재산 및 인명피해의 규모가 점차 대형화되어 도시지역에서의 토사재해 방재환경 구현이 절실한 상황이다. 또한 최근 도시화와 산업화로 인한 난개발로 주거지 및 산업단지가 산지 및 급경사지 인근에 위치하는 경우가 증가하고 있어 토사재해에 대한 취약성이 높아지고 있



다. 따라서 제도적으로 위험지구에 대한 개발을 제한하기 위한 기초자료로서 토석류 이동경로에 따른 물질이동감지기법, 토사재해에 의한 도심지 피해 저감을 위한 배수시스템 및 방어시스템, 토사재해 피해 저감을 위한 경고기준 및 경고시스템의 운용 등에 관한 연구가 필요한 시점이다. 이에 따라 지난 2013년 도심지 토사재해 통합관리기술을 개발하기 위해 '도시특성을 고려한 도심지 토사재해 예측·평가 및 통합관리기술 개발 연구단(이하 연구단)'이 설립되어 도심지 토사재해 취약성 평가 및 통합관리기술 등을 개발하고 해외적용 및 기술이전 등 개발 기술들의 실용화 성과를 달성하였다. 본 고에서는 연구단 구성과 연구내용 그리고 연구성과를 간략히 소개하고자 한다.

## 2. 연구단 구성

연구단은 예방에서 복구까지 토사재해를 통합 관리하는 기술을 통해 국민안전을 실현하는 것을 목표로 한다. 공주대학교 정상만 교수를 연구단장으로 15개 대학, 3개 연구원, 12개 기업과 3개 관련 학회, 협회, 공단으로 구성되어 총 33개 기관이 연구에 참여하고 있다. 연구단은 토사재해에 강한 안전도시 구현이라는 연구목표 달성을 위해 4개의 세부 과제로 구성되어 있으며 지반공학, 방재공학, 도시공학 등 다양한 분야의 전문가들이 모여 융합연구를 진행하고 있다(그림 1참고).

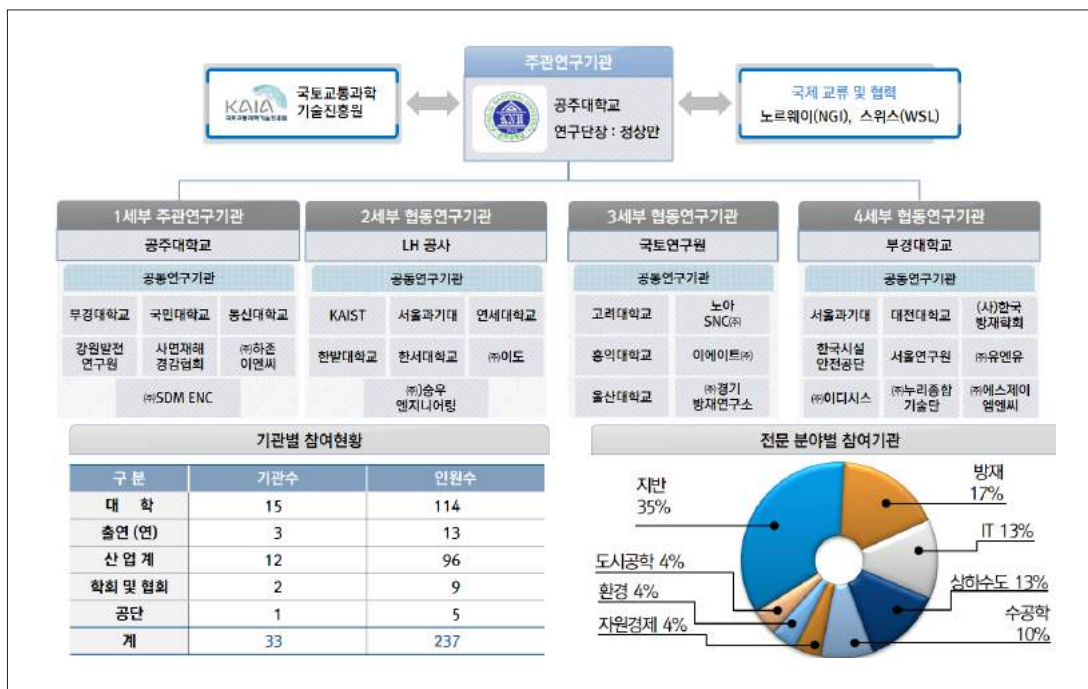


그림 1. 연구단 구성

### 3. 연구단 중요 연구 내용

도심지를 중심으로 토사재해에 의한 재산 및 인명피해가 대형화되면서 인명피해 최소화화 도시기능을 신속 복구를 위해 도심지 토사재해 통합관리시스템 개발과 이를 제도적으로 뒷받침 할 수 있는 정책 및 행정 지원체계 마련이 필요하다. 이를 위하여 본 연구단은 “도심지 토사재해 취약성 평가 및 적용기술 개발”, “도시구조 맞춤형 토사재해 대책 및 방어기술 개발”, “도심지 토사재해 예측 3D 시뮬레이션 기술 및 통합관리시스템 구축” 그리고 “도심지 토사재해 예방 및 복구를 위한 통합관리 기술 개발” 과제로 구성하여 연구를 진행하고 있다. 그림 2는 본 연구단의 핵심기술별 연구내용이며, 세부별 연구 내용 및 성과는 아래와 같다.



그림 2. 핵심기술별 연구내용



### 3.1 도심지 토사재해 취약성 평가 및 적용기술 개발

본 연구에서는 토양침식, 토석류, 노후 인공사면에서 발생할 수 있는 잠재적인 토사재해의 위험성을 사전에 평가할 수 있는 모델을 개발한다. 토사재해 위험지역을 사전에 평가함으로써 위험지구에 대한 개발을 제한하는 제도적 기반 및 토사재해 저감형 용지개발 계획 수립의 기초 마련을 목표로 하는 기술이며 연구내용은 다음과 같다.

- 도심지 토사재해 위험구역 선정기법 및 도시방재행정 적용방안 개발
- 토사재해 발생 예상지역내 구조물 및 인명 토사재해 취약성 평가모델 개발
- 3D 시뮬레이션 기법을 활용한 도심지 토사재해 고위험구역 평가기법 개발

도심지는 다양한 구조물(건물 및 인공사면)과 높은 인구밀도 및 사회기반시설 등 복잡한 환경요소로 구성되어 있어 도심지에 토사재해가 발생할 경우 도심지를 구성하는 복잡한 환경요소에 피해가 발생한다. 이 복잡한 환경요소의 피해를 정량화하기 위해서는 다양한 관점에서 취약성 평가가 필요함에 따라 도심지 토사재해 취약성 평가는 토사재해로 인한 구조물(건물)의 물리적 파괴에 대한 취약성 평가와 인명 및 간접적 피해, 재해 대처 능력을 평가하기 위한 사회경제적(인명) 관점의 취약성 평가 그리고 도심지 내 노후된 인공사면에 대한 취약성 평가를 통합하여 이루어진다. 연구 결과물은 국가도시방재연구센터의 토사재해 분야에 연계하여 안전도시 설계 및 도심지 건설 계획 수립의 기초자료로 활용될 것이며 그림 3은 토사재해에 따른 취약성 분석 과정이며 그림 4는 우리나라 7개 광역시도와 22개 중소도시의 구조물 및 인명 토사재해 취약성 평가 결과이다.



그림 3. 도심지 토사재해 취약성 분석 과정



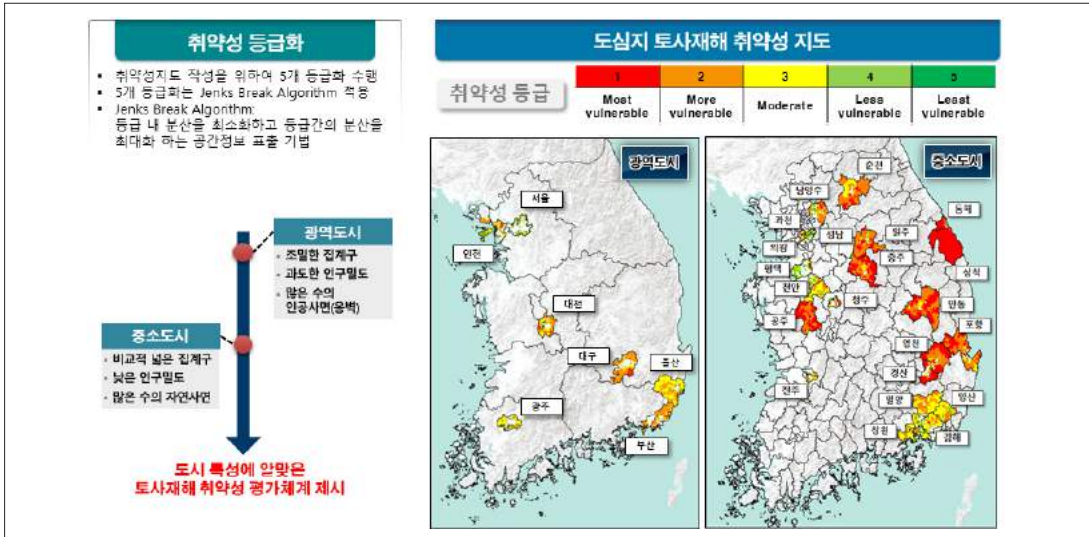


그림 4. 구조물 및 인명 토사재해 취약성 분석 결과

### 3.2 도시구조 맞춤형 토사재해 대책 및 방어기술 개발

광범위한 범위에 발생하는 토사재해의 특성상 배수시설 등의 관리 시설과 방어기술을 발전시켜 지속적인



그림 5. 세종시 및 부천시 실증단지 요소기술 적용 현황



로 재난에 대응하는 방재 환경 구축이 필요하다. 따라서 토사재해 대책 및 방어기술에 관한 연구는 도심지의 특성과 도시 경관을 고려한 새로운 형태의 토사재해 대응 방어 기술을 개발하는 것으로 연구내용은 다음과 같다.

- 지반, 지형 특성 등을 고려한 토사재해 제어시설 개발 및 평가
- 토사재해 대응 최적 배수시설 개발 및 적용성 평가
- 토사재해 대응 시설물 최적방어기술 개발 및 적용성 평가

본 연구에서 개발되는 토사재해 방어를 위한 요소기술들은 실내 및 실외의 유사 환경에서 모형실험과 실증단지 적용을 통해 성능과 효율성을 평가하여 건축물 및 배수시설 등의 방재시설의 설계기준을 제시하고 토사재해 방어기술로서 실용화 단계까지 도달하는 것이 목표이며 이를 위해 세종시와 부산시에 실증단지를 구축하여 개발 기술들의 성능을 검증하고 있으며 그림 5는 세종시 및 부산시 실증단지 요소기술 적용 현황이다.

### 3.3 도심지 토사재해 예측 3D 시뮬레이션기술 개발 및 통합관리시스템 구축

이 세부과제의 연구내용은 3D 시뮬레이션 기법을 활용하여 도심지 재해위험지도를 작성하고 도심방재시설 생애주기 관리 업무 프로세스 기반 3D 시뮬레이션 기법을 이용한 도심지 토사재해 통합관리시스템을 구축하는 것이다. 토사재해 예측 3D 시뮬레이션 기술은 고정밀 3D 기반 공간데이터를 토사재해 예측 모델에 활용할 수 있도록 시뮬레이터를 설계하여 효율적이고 직관적이며 정밀한 결과 표시가 가능하다. 도심지 토



그림 6. 도심지 토사재해 통합관리시스템



그림 7. 토사재해 예측 3D 시뮬레이터

사재해 통합관리시스템은 토사재해 발생위치, 토사재해 이동 및 확산영역을 추정하여 토사재해로 인한 직·간접적 영향권 분석이 가능하며 국가도시방재연구센터의 토사재해 분야와 연계되어 안전도시 설계 및 도심지 건설 계획 수립의 기초자료로 활용될 계획이다. 그림 6은 본 연구단에서 구축한 도심지 토사재해 통합관리시스템이며 그림 7은 토사재해 예측 One-Stop 솔루션 3D 시뮬레이터이다. 본 연구단에서는 산지부 해석을 위한 토사 초기 발생량 예측 프로그램(LSMAP, Landslide MAPping) 및 유동해석 프로그램(GeoCOUS, Geotechnical COUpled Solution)과 도심부 토사물질의 이송·확산을 해석하는 UDS(Urban Debris flow Simulator) 프로그램을 개발하였으며 One-Stop 솔루션 3D 시뮬레이터를 이용하여 산지부 해석과 도시부 해석을 연계하여 실행함으로써 3D 가시화를 통해 토석류의 사실적인 흐름을 표현 가능하도록 하였다.

### 3.4 도심지 토사재해 예방 및 복구를 위한 통합관리기술 개발

도심지 토사재해는 산지 및 시가지에 걸쳐 광범위한 영역에 걸쳐 영향을 미치는 반면, 토사재해 위험지역에 대한 관리는 다양한 법령과 부처에 걸쳐 있다. 이에 따라서 업무의 비효율성과 상충, 관리주체가 모호한 공간영역이 발생하는 문제점을 가지고 있으며 국내 각 기관별로 토사재해에 대한 피해조사 기법이 서로 상이하여 도심지 토사재해 발생 시 통일된 토사재해 조사기법 적용이 불가능한 상황이다. 또한 현장 운영조건을 고



려하지 않고 계측기의 성능과 비용만을 고려하여 모니터링시스템 설치와 계측기의 짧은 수명 및 설치 위치 기준의 부재로 이상치 및 자료 누락으로 수집 자료의 신뢰성이 낮으며 지속적인 운영의 어려움이 발생하고 있다. 따라서 본 연구에서는 토사재해에 의한 피해를 방지하고 대책을 세우기 위해서 도심지 특성에 맞는 토사재해 법·제도 개선과 유지관리 기술 및 위기대응 방안마련 그리고 도심지 토사재해 모니터링 설치 및 운영 기술을 개발하는 것을 목표로 하고 있으며 연구내용은 다음과 같다.

- 법·제도·기준 및 위기대응 표준업무 개선 방안 구축
- 자가 진단형 토사재해 모니터링 시스템 구축
- 토사재해 저감시설 작동을 위한 강우기준 개발

본 연구의 성과는 도심지 토사재해에 대한 통합적 관리제도 정착을 위한 법령 및 지침 제·개정, 조직운영체제 마련 등의 제도개선에 활용되어 관련 부처 및 지자체의 업무효율성 제고 및 비용절감의 효과를 보일 것으로 기대하고 있으며 토석류 모니터링시스템에 적합한 계측항목 및 계측기기 선정의 연구 수행을 통해 관련 시스템 구성 및 운영가이드 라인을 제시하여 관련사업의 기초자료로 활용할 수 있을 것이며 그림 8은 도심지 토사재해 예방 및 복구를 위한 통합관리기술 개발 연구에서 도출된 최종성과물이다.



그림 8. 도심지 토사재해 예방 및 복구를 위한 통합관리기술 최종성과물



### 3.5 실증단지 운영 및 핵심기술 연계

본 연구단에 의해 개발된 기술은 세종시와 부산광역시와의 협의를 통해 실증단지에 적용되었다. 실증단지를 통하여 개발된 기술의 적정성, 모형의 검증 등에 활용되었으며, 모니터링을 통하여 개발된 기술의 설치 및 유지관리 기준에 반영된다. 특히 연구기간중에 구축된 실증단지는 연구 종료후에도 유지하여 지속적인 모니터링을 통한 Data 획득 및 개발기술을 개선시킬 수 있는 토대를 마련하였다.

또한, 토사재해 예측 3D 시뮬레이션 기술은 토사재해 취약성 평가 기법에 활용되며 토사재해 취약성 평가 기술은 토사재해 통합관리시스템에 탑재된다. 따라서, 핵심기술별 연계 및 융합방안으로 각각의 핵심기술은 서로 유기적으로 연계되며 실증단지에 적용을 통하여 실용화 및 설계기술 확산을 도모한다(그림 9 참고).

본 연구를 통하여 개발되는 토사재해 취약성 평가 및 대책·방어기술은 토사재해 통합관리시스템으로 통합됨으로써 예방에서 복구까지 토사재해를 통합 관리할 수 있을 것이다(그림 10 참고).

## 4. 마치며

본고에서는 도시지역에서의 토사재해 방재환경 구현을 위한 “도시특성을 고려한 도심지 토사재해 예측·평가 및 통합관리기술 개발” 연구내용 및 성과를 간략히 소개하였다. 연구결과는 최근 사회 및 국가적 측면에

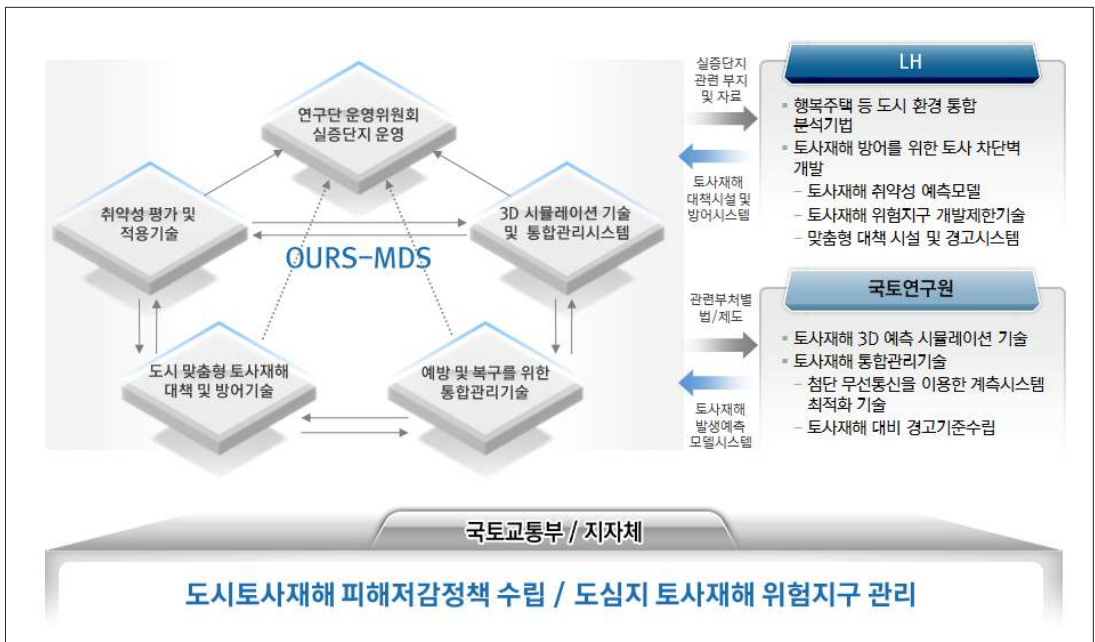


그림 9. 핵심기술별 연계 및 융합방안



그림 10. 도시구조 맞춤형 토사재해 대책 및 복구 기술 활용방안

서 많이 논의되고 있는 사회적 지속가능성(Social Sustainability)과 재난 복원력(Resilience), 사회적 자본 형성을 통한 정책적 시사점 도출과 사회적 통합 방안 마련에 기여할 것으로 판단된다. 또한, 도시방재 패러다임을 복구에서 예방으로 전화하여 국가 예산의 효율적 사용 및 토사재해에 대한 종합적 관리를 통한 통합방재정책 수립에 활용되어 과학적 재난관리의 튼튼한 기초를 마련하고 방재정책의 효율적 추진과 재난에 강한 안전한 나라 실현에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.