

KSSA | 창간호

2021년 08월

# 01

## 급경사지 急傾斜紙



KOREA SLOPE SAFETY ASSOCIATION

**발간사**  
한국급경사지안전협회 회장

**축사**  
행정안전부 재난안전관리본부장  
국회의원 오영환

**시론**  
국립재난안전연구원장/서울기술연구원장  
한국방재협회장/기업재해경감협회장

한국급경사지안전협회 소개

기술기사

협회 전문분과위원회 및 회원사 소개

# 급경사지 急傾斜紙

## 01

### 급경사지 창간호

Vol.1 No.1

2021년 8월 | 제1호

발행인 류지협

발행처 (특)한국급경사지안전협회

세종특별자치시 한누리대로 253 에스빌딩 5층 504호

Tel : 044-868-5680

Fax : 044-868-5681

발행일 2021년 8월 30일

인쇄처 디자인화랑

#### | 학술편집위원회 |

위원장 윤찬영 강릉원주대학교 교수

부위원장 김만일 산림조합중앙회 책임연구원

위원 김정환 서울기술연구원 연구실장

정길수 테라텍 대표이사

최승일 지오브로그코리아 상무

김정완 제력스 대표이사

## CONTENTS

04 발간사

04 류지협 한국급경사지안전협회 회장

06 축사

06 김희겸 (전)행정안전부 재난안전관리본부 본부장

07 오영환 국회의원

08 시론

08 이상권 행정안전부 국립재난안전연구원 원장

09 고인석 서울기술연구원 원장

10 윤용선 한국방재협회 회장

11 이창수 기업재해경감협회 회장

12 한국급경사지안전협회 소개

12 협회 소개

16 협회 동정

20 기술기사

22 국립재난안전연구원 급경사지재해저감 연구 / 정민수

32 ICT기반 자연사면 산사태 모니터링 시스템개발 및 구축 / 송영석

40 광역적 산사태-토석류 통합해석기법과 도심지 재해영향평가 / 정상섭, 홍문현

46 재해영향평가 사면안정성검토에서 산사태-토석류 연계해석 활용방안 / 엄관용, 탁원준

54 협회 전문분과위원회 및 회원사 소개

56 전문분과위원회 소개

72 협회 회원사 소개

## 발/간/사



류지협  
한국급경사지안전협회 회장

한국급경사지안전협회가 2020년 6월 창립을 하고 1주년이 되는 기념으로 협회지를 창간하게 되었습니다. <협회지 급경사지>는 급경사지 안전관리 강화를 위한 우리 회원들의 전문가적 소명과 정성을 모으는 창구가 될 것입니다. 국가의 급경사지 정책을 지원하고 국민의 사회적 요구에 적극 부응하여 급경사지 재해예방 및 피해저감을 위해 사회에 공헌하는 협회지로 자리매김해야 합니다. 이는 우리 협회 구성원 모두의 노력으로 만들어진다고 생각합니다. 회원들은 지난 10여 년 이상 급경사지 재해예방을 위해 민간전문가로서 역할을 수행하여 왔습니다. 아직은 미약하지만 급경사지 재해예방을 위해 앞날을 밝히는 찬란한 빛이 되도록 하겠습니다.

지금 세계는 코로나-19 사태 이전과 이후로 구분되어 거대한 변화의 소용돌이 속에 놓여있습니다. 세계 각국은 코로나-19 재난관리의 성패 여부에 따라 그동안 쌓아온 명성과 평판을 전면 재평가 받고 있으며, 재난안전 문제를 성공적으로 예방·관리하거나 선진 대응체계를 구축하는 것이 얼마나 중요하고 시급한지를 우리는 새롭게 경험하고 있습니다. 최근에는 기후변화에 의한 급경사지 재해 등으로 매년 큰 피해를 입고 있습니다. 정부의 급경사지 재해예방 정책은 2007년 「급경사지재해예방에관한법률」이 제정되면서부터 시작되었습니다. ‘2011년 우면산 산사태’ 사건을 기점으로 급경사지 정비예산이 확보되어 지속적으로 급경사지 정비사업을 추진해왔으나, 기후변화로 인한 극한강우 등으로 매년 피해는 반복되고 있습니다. 이에 따라 정부의 급경사지 안전관리 정책의 강화와 더불어 민간전문가의 과학 기술적 지원이 매우 필요합니다.

우리 협회지는 급경사지 재해예방, 응급대책 및 재해복구 등에 대한 법제도, 자료조사 내용, 계측전문교육 및 기술개발 등을 다루게 될 것입니다. 급경사지의 효율적 관리를 위해 4차 산업혁명으로 명명된 인공지능, 사물인터넷, 드론 등 디지털 변환 기술도 급경사지 재해예방 및 전문인력 양성을 위해 적극 소개할 것입니다. 또한, 협회지를 통해 급경사지 관련 타 기관의 다양한 학술연구 및 정보교류를 활성화하여 적극 협력할 때 급경사지 안전관리의 역량을 극대화 할 수 있다고 생각합니다.

우리 협회의 창립과 지난 1년간 협회의 발전을 위해 온갖 노력을 다한 협회 회장단, 임직원 및 회원 모두에 감사드립니다. 급경사지 안전에 있어서만은 양보할 수 없는 신념을 항상 보여준 선배님들께 감사드리며, <협회지 급경사지>는 국민의 기대를 저버리지 않는, 재난안전분야를 선도하는 훌륭한 전문지가 될 수 있도록 최선의 노력을 다할 것임을 약속드립니다.

그리고 <협회지 급경사지> 창간을 축하해 주신 행정안전부 김희겸 (전) 행정안전부 재난안전관리본부장님, 오영환 국회의원님, 이상권 국립재난안전연구원장님, 고인석 서울기술연구원장님, 윤용선 방재협회장님, 이창수 기업재해경감협회장님 및 창간호에 옥고를 보내주신 연세대 정상섭교수님 등 전문가님께서도 깊이 감사드립니다.

2021년 8월



김희겸  
(전) 행정안전부 재난안전관리본부장

안녕하십니까? (전) 행정안전부 재난안전관리본부장 김희겸입니다.

먼저 급경사지 안전관리 역량 강화를 위한 한국급경사지안전협회 창립 1주년 기념 『급경사지 협회지』의 창간을 매우 뜻깊게 생각하며, 류지협 회장님을 비롯한 협회 회원 여러분께 진심으로 축하의 말씀을 드립니다. 또한, 내실있는 협회지 창간을 위해 준비에 정성을 다하신 편집 운영진의 노고에 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

한국급경사지안전협회는 국가정책상 공공이익을 위해 특별법에 기초하여 급경사지에 대한 전문인력 양성과 확보, 기술개발, 자료의 수집·조사 등을 위해 체계적으로 활동하는 민간 전문단체의 육성을 목적으로 설립되었습니다.

앞으로 급경사지 안전관리 업무에 민간전문가들의 적극적인 참여를 통해 행복한 국민, 안전한 세상을 만들어 가는 민간단체로서 큰 역할을 수행하기를 기대합니다.

최근 기후변화 영향으로 매년 해빙기 및 우기철에 급경사지 붕괴로 인해 많은 인명 및 재산피해가 발생하고 있습니다. 정부는 피해 저감을 위해 전국 급경사지 15,732여 개소를 지정 관리하고 있으며, 급경사지 붕괴위험지역에 대해 투자우선순위에 따라 지속적으로 정비사업비를 투입하여 급경사지 안전성을 개선하기 위하여 노력하고 있습니다.

또한, 2020년부터는 디지털 뉴딜사업의 일환으로 급경사지 조기경보시스템 구축사업을 시행하고 있으며, 관리 사각지대에 놓인 급경사지를 발굴하기 위한 급경사지 실태조사, 기후변화 특성을 반영한 주민대피기준 개선등을 위한 정책용역을 수행하고 있습니다.

“급경사지” 협회지 창간을 계기로 급경사지 관련 전문가들이 다 함께 지식과 경험을 나누는 소통의 장이 되길 바랍니다. 아울러 급경사지 전문가들께서 한국급경사지안전협회를 통하여 급경사지 방재역량을 강화하는 더 좋은 솔루션을 제시하고 실천할 수 있도록 앞장서 주실 것을 부탁드립니다.

앞으로 전문가의 다양한 활동을 통해 급경사지 붕괴 현장의 재난안전 문제를 재조명하고, 문제에 대한 맞춤형 솔루션을 제안하는 실제적인 결과를 도출해 나가길 바랍니다. 이를 바탕으로 한국급경사지안전협회가 급경사지 안전관리 강화를 지원하는 전문기관으로 확고한 기반을 다져 나가길 기대합니다.

끝으로 COVID-19의 어려움을 하루빨리 이겨내고 일상을 회복하여 우리나라 국민과 회원 여러분이 더욱 안전하고 행복한 삶을 영위해 나가시기를 기원합니다. 감사합니다.

2021년 8월

### ‘한국급경사지안전협회’ 창립 1주년을 진심으로 축하드립니다.



오영환  
국회의원

안녕하십니까?

더불어민주당 의정부시 갑 국회의원 오영환입니다.

전국의 방재분야 종사자와 함께 한국급경사지안전협회 창립 1주년을 진심으로 축하드립니다.

전국적으로 재해위험지역은 시·군·구에서 관리하는 급경사지 15,732여 개소와 산림청이 관리하는 산사태 위험지역 26,238개소를 포함하여 총 41,970개소가 있습니다.

그런데 이들 위험지역에는 붕괴 또는 산사태를 알리는 위험경보시설이 설치되지 않은 상태로 관리되고 있어 지난해 집중호우와 태풍으로 2,105건의 산사태가 발생했으며 그로 인해 전남 곡성 등에서 9명이 사망했습니다.

또한, 최근 3년간 전국에서 12건의 낙석·붕괴사고가 발생하는 등 지속적으로 급경사지 관련 사고가 발생하는 등 급경사지에 관한 체계적인 연구 및 방재역량 제고가 절실한 상황에서 지난해 6월 한국급경사지안전협회가 설립되어 체계적인 연구 기반이 구축되었습니다.

그동안 정부 주도로 급경사지 재해 예방을 위해 노력해왔지만 급경사지 재해는 매년 반복되고 있어 전문가들의 급경사지에 대한 재해예방 연구가 절실한 실정입니다.

저는 한국급경사지안전협회 설립을 계기로 협회가 중장기 발전계획 수립을 위한 급경사지 현황, 관리실태 등의 현황과 개선점을 파악하고 정부의 급경사지 재난관리를 지원하는 전문기관으로 역할과 안전관리 체계 확립을 위한 세부전략을 수립하기를 희망합니다.

아울러, 협회가 급경사지 기술 고도화 및 혁신, 급경사지 인재 양성 등을 통해 정부의 급경사지 안전관리를 지원하는 명실상부한 전문기관으로 거듭나기를 기원합니다.

저 또한 급경사지 안전관리를 위한 각종 제도개선 등에 대해 국회에서 최선을 다하겠습니다. 감사합니다.

2021년 8월

### ‘한국급경사지안전협회’의 무궁한 발전을 기대합니다.



이상권  
행정안전부 국립재난안전연구원장

우리나라는 국토의 약 3분의 2가 산지이고, 여름철 집중호우 등으로 인해 매년 급경사지 피해가 발생하고 있습니다. 또한 최근 10년간 자연재해 인명피해의 상당수가 급경사지 재해 등 지반재해에서 비롯되고 있습니다. 행정안전부는 2007년 「급경사지 재해예방에 관한 법률」을 제정하여 시행하는 등 급경사지 재해예방을 위해 많은 노력을 기울여 왔습니다. 특히 저희 국립재난안전연구원에서는 2015년 12월 울산이전과 함께 실규모 급경사지 붕괴재현 실증실험시설을 구축하여 관련 기술개발 및 정책지원에 최선을 다하고 있습니다.

그러나 급경사지 재해예방의 실효성 확보를 위해서는 앞서 언급한 공공부문의 역할 뿐만 아니라, 민간부문에서의 역할 또한 그에 못지않게 중요하다고 생각합니다. 한국급경사지안전협회의 설립은 그동안 급경사지 분야에서 절실히 요구되는 민간부문과의 상호 발전적 협력체계구축의 토대가 비로소 마련되었다고 생각합니다.

한국급경사지안전협회의 창립과 더불어 저희 연구원도 협회와 함께 우리나라 급경사지 재해경감을 위해 노력하겠습니다.

정부에서 시행하는 급경사지 관련 정책이 현장에서 적용될 수 있도록 적극적인 가교역할을 협회와 같이 하겠습니다. 또한 현장의 목소리가 정책 및 기술개발과 연계될 수 있도록 현장 전문가와 국민의 요구를 가감 없이 함께 들어야 하겠습니다. 이를 통해 급경사지 관련 정책과 연구성과 및 실무노하우 등이 널리 민간에 확산되고 보급될 수 있도록 급경사지 정보공유를 위해 함께 노력해야 하겠습니다.

최근 우리나라는 코로나19 팬데믹 상황에서 모범대응 국가로 평가 받고 있지만, 기후변화에 의한 급경사지 재해증가로 실무자에서 전문가 할 것 없이 새로운 도전에 직면해 있습니다. 저희 국립재난안전연구원도 한국급경사지안전협회와 이 위기를 극복할 수 있도록 최선을 다해 협력하겠습니다.

첫발을 내딛는 한국급경사지안전협회의 무궁한 발전과 적극적 도전을 응원하며, 다시 한번 한국급경사지안전협회의 설립과 협회지 창간을 축하드립니다.

2021년 8월

### ‘한국급경사지안전협회’ 출범을 축하드립니다.



고인석  
서울기술연구원 원장

2011년 여름, 서울시 물관리기획관이었던 저는 우면산 산사태 복원의 현장에 있었습니다. 당시 짧은 시간 집중적으로 쏟아진 폭우로 서초구 우면산 일부가 무너져 내렸고, 18명의 사망자가 발생하는 아픔을 겪어야만 했습니다. 그 이후 급경사지의 철저한 관리를 위한 기준과 정책을 마련하는 등 변화가 있었지만, 최근 세계 기후변화로 국지적 호우의 빈도가 점차 높아짐에 따라 선제적 예방과 연구가 더욱 필요한 실정입니다.

우리나라는 국토의 70%가 산지인 관계로 도로, 철도 등 기반시설이 산비탈을 따라 건설되는 구간이 있어 급경사지가 많이 형성되어 있습니다. 따라서 평소 우리 가까이 있는 아름다운 풍경이 폭우 시 순식간에 재난으로 돌변하는 요인이 될 수 있습니다.

이번 ‘한국급경사지안전협회’의 출범을 맞아, 이 지면을 빌려 축하와 응원의 박수를 보내드립니다. 그간 수많은 전문가들이 급경사지 관리의 문제점과 중요점을 제기해 왔으며, 특히 최근에 마련된 「급경사지 재해예방에 관한 법률」과 「동법 시행령」에는 우리나라 곳곳에 붕괴 위험성이 높은 급경사지를 사전 점검하고 관리해야 한다는 내용을 담고 있습니다.

앞으로 ‘한국급경사지안전협회’에서 수행할 급경사지 안전점검, 계측 전문인력 양성, 관련 정책연구 및 교류 협력 등은 대한민국의 급경사지 재해예방 기반조성에 큰 기틀을 마련할 것으로 기대합니다.

현재 서울기술연구원에서도 도시 재난을 대비한 종합 방재대책을 기획하고, 풍수해 피해, 통합적인 재난재해 예측 및 대응연구 등을 수행하고 있습니다. 최근에는 사물인터넷이나 딥러닝 기술 등을 활용한 연구를 접목시켜 4차 산업혁명 시대에 맞는 데이터분석 및 센싱관리기술을 활용한 선제적 예방을 위한 연구에도 초점을 맞추고 있습니다.

서울기술연구원은 한국급경사지안전협회와 다양한 방면의 연구 협력과 협조를 통해 다양한 학술연구와 정보교류가 이뤄질 수 있도록 노력하겠습니다.

다시 한번 ‘한국급경사지안전협회’의 첫 출발을 축하드리오며 ‘한국급경사지안전협회’가 대한민국 급경사지 관리기술을 선도하는 국민의 안전파트너로 우뚝 서기를 기대합니다.

2021년 8월

### 한국급경사지안전협회지 “급경사지”창간을 진심으로 축하합니다!



윤용선  
한국방재협회 회장

한국급경사지안전협회의 협회지 ‘급경사지’ 창간을 진심으로 축하합니다.  
또한, 협회 설립 1년여 만에 기관지를 창간할 수 있도록 협회의 기반을 튼튼히 다져오신 류지협 회장님을 비롯한 임직원과 회원 여러분께도 그간의 노고에 경의와 감사의 말씀을 드립니다.  
최근 자연재해로 인한 인명피해의 원인을 살펴보면 급경사지에서의 피해가 가장 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났습니다. 행정안전부 분석결과에 따르면 2009년부터 2018년까지 10년간 자연재해로 인하여 발생한 146명의 인명피해 중 48.6%에 해당하는 71명이 산사태·절개지 붕괴 등 급경사지 붕괴로 인하여 발생하였으며, 2020년에 집중호우로 인하여 1조원이 넘는 재산피해와 함께 31명의 인명피해가 발생하였는데 이중 절반이 넘는 16명이 급경사지 붕괴 등의 원인으로 발생한 것으로 나타나 자연재해로 인한 인명피해를 줄이기 위해서는 급경사지에 대한 관리를 강화하는 것이 무엇보다 중요하다고 하겠습니다.  
정부에서는 2007년에 「급경사지 재해예방에 관한 법률」을 제정하여 전국의 급경사지를 체계적으로 관리할 수 있는 제도적 기틀을 마련하고, 매년 붕괴위험이 있는 급경사지 정비를 위해 국비를 지원해오고 있으나 미흡한 수준이며, 현재 지방자치단체 등에서 관리하는 급경사지도 1만5천여 개소에 불과하여 인명피해의 대부분이 관리대상에서 제외된 급경사지에서 발생하는 등 급경사지 관리에 있어서 많은 문제점을 내포하고 있는 실정입니다. 이러한 급경사지에 대한 체계적인 관리로 피해를 줄이기 위해서는 정부의 노력만으로는 한계가 있으며, 이를 극복하기 위해서는 민관산학의 협력이 매우 중요하다고 하겠습니다.  
다행히 2020년에 「급경사지 재해예방에 관한 법률」에 따라 특수법인 한국급경사지안전협회가 설립되어 전국의 급경사지에 대한 실태조사 및 정비계획 수립 지원, 급경사지 관리기술 개발 및 학술연구, 각종 정책 발굴과 관련정보 교류 등 정부의 급경사지 정책을 실질적으로 뒷받침함은 물론, 정부에서 할 수 없는 다양한 급경사지 안전에 관한 기능을 수행함으로써 각종 급경사지 재해로부터 보다 국민의 안전을 확보할 수 있게 되었습니다.  
아울러 협회지 ‘급경사지’를 통해서 정부의 급경사지 정책은 물론 협회의 역할과 실적을 널리 홍보하여 협회의 기능을 더욱 확대 발전시켜나가는 한편, 중앙정부와 지방자치단체 및 종사자들에게 선진기술과 정보를 적극적으로 제공하고 산학연관과의 정보교류와 협력을 위한 공론의 장이 되어 주시기를 기대하는 바입니다.  
재해를 막을 수는 없어도 피해를 최소화할 수는 있습니다. 이를 위해 우리 한국방재협회에서도 한국급경사지안전협회와 긴밀히 협력하여 각종 재해로부터 안전한 대한민국을 만들어가는 데 최선의 노력을 다해나갈 것입니다.  
다시 한 번 한국급경사지안전협회지 ‘급경사지’의 창간을 진심으로 축하드리며 어려운 여건에서도 국민의 안전을 위해 헌신하고 계시는 류지협 회장님과 임직원 및 회원여러분의 무궁한 발전을 기원합니다.  
감사합니다.

2021년 8월

### “급경사지 재해예방과 안전 확보”를 향한 도약 기대 한국급경사지안전협회지 발간을 진심으로 축하드립니다.



이창수  
기업재해경감협회 회장

한국급경사지안전협회가 창립한 지 1년만에 협회지를 발간한 것은 그만큼 조직과 업무 역량이 빠르게 안정되었기 때문일 것입니다.  
류지협 협회장과 협회 관계자 여러분의 노력에 축하와 감사의 인사드립니다.  
그동안 재해예방과 안전 분야에는 다양한 협회들이 활동하면서 발전을 위한 역량을 결집하며 왕성한 활동을 하여 왔습니다.  
특히, 연이은 기상이변으로 축적된 자연의 에너지가 우리의 삶을 어떻게 위협할 수 있는지는 지난여름 역대 최장기간 집중호우와 태풍으로 안전 사각지대 급경사지에 발생한 도심 산사태와 국가 인프라 피해 등으로 나타났습니다. 이로 인한 국민의 불안을 해소하기 위해 협회는 다양한 분야에 열과 성을 다하여 협회 설립에 맞는 소중한 성과들을 거두고 있다고 봅니다. 그래서 이번 협회지의 발간은 그 의미가 더욱 깊다고 생각합니다.  
이와 같은 변화의 시기이기에 협회지 발간과 앞으로의 역할에 많은 기대가 모아지고 있습니다. 급경사지안전 분야의 정보와 기술을 공유하고 회원사의 소속감을 높이는 것은 물론 일반 국민에게도 급경사지안전의 중요성을 알림으로써 우리나라 급경사지안전분야에 새로운 도약의 시대를 열어가는 데 큰 힘이 되어주기 바랍니다.  
협회지 발간에 참여하고 있는 관계자들의 노고에 감사와 격려의 말씀을 드리며, 협회의 무궁한 발전을 기원합니다.

2021년 8월

# 한국급경사지안전협회

KOREA SLOPE SAFETY ASSOCIATION



## 협회 소개

### 1. 창립배경

우리 협회는 「급경사지 재해예방에 관한 법률」 제32조의2 제1항에 따라 급경사지에 관한 연구 및 정보교류의 활성화와 급경사지에 대한 안전관리 강화 지원을 통하여 급경사지 방재역량의 향상에 기여함을 목적으로 지난 2020년 6월에 창립되었다.

정부는 2007년 「급경사지 재해예방에 관한 법률」을 제정한 이래 급경사지 재해예방을 위한 지속적인 노력을 기울여 오고 있다. 주관부처인 행정안전부는 재해예방사업 7개 유형의 전체투자 규모는 27,409개소, 83조 4,351억원으로 1995년으로 2019년까지 17조 9,149억원을 투자하였으며, 이중 급경사지 정비사업의 경우 2012년부터 2019년까지 1,707건 25,526억원의 사업비가 투자되었다. 2020년의 경우 184건 1,827억원의 국비가 투자되었으며, 국비와 지방비의 50:50의 매칭사업으로 진행됨을 고려할 때 연 3,600억원 규모의 재정투자가 이루어지고 있다.

또한 정부의 급경사지 재해예방에 관한 정책지원과 급경사지 안전확보를 목적으로 민간단체(사단법인 사면재해경감협회)를 창립하여, 급경사지 관리기준, 급경사지 관리 실무매뉴얼, 상시계측관리 전문교육과정 등을 운영 등 정책지원 및 교육활동 등을 활발하게 추진해왔음에도 불구하고 민간전문가의 활동만으로는 매년 증가하는 급경사지 피해를 최소화하는데 한계가 있음을 인식하여 행정안전부와 함께 특수법인 지원을 위한 법 개정 추진에 이르게 되었다.

### 2. 창립과정

효율적인 급경사지 관리를 위해 특수법인 형태의 전문기관 설립 필요성에 공감대가 형성됨에 따라 1차적으로 관련 법률에 법인 설립을 위한 법적근거를 마련하기 위하여 「급경사지 재해예방에 관한 법률」 법률 개정 절차에 착수하였으며, 2019년 11월 13일 국회 행정안전위원회 심의를 거쳐 11월 19일 국회 본회의를 통과하였다.

이후 행정안전부 재난경감과 주도로 특수법인 설립을 위한 추진단이 계획되어 2020년 1월 특수법인 설립추진단이 발족되어 본격적인 설립 준비절차를 진행하게 되었다. 협회 설립 추진단은 2020년 1월부터 6월초까지 약 5개월의 기간동안 협회설립에 필요한 정관 및 제규정 작성, 임원 및 조직체계 구성, 운영예산 확보와 창립총회를 준비하였으며 6월 11일 창립발기인대회와 창립총회를 개최하여 초대회장으로 류지협 한려대 총장을 추대하였다.

창립총회이후 류지협 회장 주도하에 법인설립 절차를 진행하여 2020년 7월 8일 행정안전부로부터 비영리 특수법인으로 설립허가를 취득하고, 7월 21일 법인설립 등기가 완료됨에 따라, 세종시 현 위치에서 협회가 탄생하게 되었다.

### 3. 협회 조직 및 운영

우리 협회는 기본적으로 이사회에 의해 운영에 관한 기본적인 정책과 주요업무를 심의 결정하며, 이사회에서 결정된 안건에 대하여 총회의 의결을 통해 운영되는 시스템으로 운영되는 구조이다.

협회 이사진의 구성은 회장 1명, 부회장 3명(학계, 업계, 행정안전부 당연직), 감사2명, 이사 00명으로 구성되어 있으며, 학계, 업계, 정부관료 등 다양한 분야에 종사하고 있는 전문직을 이사로 선출함으로써 정부정책지원과 기술적 전문성을 확보하고자 하였다. 또한 2021년 6월말 현재 협회에 가입된 회원은 개인회원 000명, 기업회원 00사로서 급경사지관련 활동에 관심이 높아져 회원들이 지속적으로 증가하는 추세이며, 회원들의 협회의 주요 사업추진과 효율적인 사무처리를 위해 사무국을 두고 있으며, 날로 급증하는 급경사지 재해예방에 관한 정책 및 기술개발을 위해 장기발전 계획을 추진하고 있다.

## 협회 소개

### 4. 협회의 역할과 주요업무

관련 법률에 규정된 협회의 주요업무

1. 급경사지 재해 예방과 방재의식 고취를 위한 교육 및 홍보
2. 급경사지 재해 예방, 재해 응급대책 및 재해 복구 등에 관한 자료의 조사·수집 및 보급
3. 급경사지 재해 예방, 재해 응급대책 및 재해 복구 등에 관한 각종 간행물의 발간
4. 급경사지 분야의 기술발전을 위한 관련 산업의 육성·지원과 기술의 개발
5. 민간 주도의 급경사지 재해 관련 국내외 행사의 유치
6. 급경사지 분야 전문인력의 양성 지원 및 인력 데이터베이스 구축·관리
7. 급경사지 분야에 관한 정부 위탁사업의 수행
8. 그 밖에 급경사지 안전관리에 관하여 대통령령으로 정하는 사항

### 5. 협회의 발전계획

협회 중장기 발전계획을 수립하기 위하여 급경사지 현황, 관리실태 등의 현황과 개선점을 파악하고 정부의 급경사지 재난관리를 지원하는 전문기관으로서 협회의 역할과 체계를 확립에 필요한 세부전략을 수립하였다.

우리 협회의 활동영역에 따라 국민안전·정책분야, 기술혁신·융합분야, 인재양성·협력분야 등 3대 분야로 나누어 분야별 발전계획을 수립하였으며, 3대 분야 6대 추진전략을 실천하기 위한 14대 세부 추진과제를 설정하고 각 과제별로 중점 추진방안을 제시하였다.

### 6. 맺음말

전술한 바와 같이 그 동안 정부주도로 급경사지 재해예방을 위해 끊임없는 노력을 기울여 왔음에도 불구하고 급경사지 재해는 매년 반복됨에 따라, 우리 전문가들은 급경사지 관리의 문제점과 중요성을 절감하고 있다.

앞으로 우리 협회는 정부의 급경사지 정책지원, 민간전문가 지원 및 계측관리를 통한 재해예방활동 강화, 급경사지 기술 고도화 및 혁신, 급경사지 전문교육 및 인재양성 등을 통하여, 협회의 회원들과 더불어 정부의 급경사지 재난관리를 지원하는 전문기관으로서 발돋움하고자 한다.

## K O R E A S L O P E S A F E T Y A S S O C I A T I O N

### ▶ 비전

급경사지 안전관리 강화로 국민의 안전 및 공공복리 증진

### ▶ 추진전략·중점과제



### ▶ 핵심가치



# 협회 동정

## 2020주요행사

### 한국급경사지안전협회 창립발기인대회 및 창립총회



- ◆ 일시 : 20.06.16.(화) 10:00 ~ 14:30
- ◆ 장소 : 정부세종컨벤션센터 중연회실
- ◆ 행사내용 :
  - 창립취지문 채택 및 발기인 서명
  - 안건 1. 회장·감사 선출, 부회장·이사 인준
  - 안건 2. 정관, 사업계획서, 수지예산서 인준
  - 창립총회 기념식

### 제 1회 이사회(온라인)



- ◆ 일시 : 20.09.10.(화) 10:30 ~ 12:00
- ◆ 장소 : 한국급경사지안전협회 사무국
- ◆ 행사내용 :
  - 보고 1. 특수법인 설립 현황 보고
  - 안건 1. 제규정 제정
  - 안건 2. 당연직 이사
  - 안건 3. 위원회 구성
  - 안건 4. 사무국장 임명
  - 기타 1. 협회 설립 보고 및 협회 발전방안 토의

### 한국급경사지안전협회 현판식



- ◆ 일시 : 20.09.10.(화) 13:00 ~ 14:00
- ◆ 장소 : 한국급경사지안전협회 사무국
- ◆ 행사내용 :
  - 한국급경사지안전협회 현판식 진행

# KOREA SLOPE SAFETY ASSOCIATION

### 급경사지 상시계측관리 전문가 세미나



- ◆ 주최 : 행정안전부
- ◆ 주관 : 한국급경사지안전협회
- ◆ 일시 : 20.10.20.(화) 14:00 ~ 16:20
- ◆ 장소 : 세종시 나성북로 22, 디펠리체 5층(르호봇 대회의실)
- ◆ 행사내용 :
  - 행정안전부 「급경사지 상시계측관리」 사업 소개 및 추진 방법
  - 급경사지 상시계측관리 전문가 그룹의 역할 등 논의

### 상설위원회 위원장 간담회



- ◆ 일시 : 20.11.12.(목) 18:00 ~ 20:00
- ◆ 장소 : 서울 용산구 후암로 107 케이트웨이하위
- ◆ 내용 :
  - 각 위원회 구성(회무위원회 5인, 기술위원회 10인 이상)
  - 2021년 위원회 운영계획 수립 방안 논의

### 제2회 이사회(온라인)



- ◆ 일시 : 20.12.10.(목) 14:00 ~ 15:30
- ◆ 장소 : 온라인 화상 회의(ZOOM 시스템 이용)
- ◆ 행사내용 :
  - 안건 1. 회원가입 승인
  - 안건 2. 2020년 예산 추경(안) 승인 : 운영비 예산목간변경
  - 안건 3. 위원회 신설 승인 : 복합재해위원회
  - 보고 및 기타사항
  - 보고 1. 자문단 구성 보고
  - 보고 2. 협회 비전(안) 보고

# 협회 동정

## 2021주요행사

### 2021년 정기이사회 및 총회



- ◆ 일시 : 21.02.04(목) 14:00 ~ 17:00
- ◆ 장소 : 세종시 오송호텔 대회의실(충북 청주시 흥덕구 오송읍 오송생명로 178)
- ◆ 행사내용 :
  - 안건 1. 2020년도 사업실적 및 수지결산서 심의 및 승인
  - 안건 2. 2021년도 사업계획 및 수지예산서 심의 및 승인
  - 안건 3. 규정 개정
  - 안건 4. 회원가입 승인
  - 안건 5. 이사 선출 및 인준
  - 기타. 협회 발전방안 논의
  - 창립총회 기념식

### 2021년 제4회 정기이사회



- ◆ 일시 : 21.06.22(화) 14:00 ~ 17:00
- ◆ 장소 : 베스트웨스턴 플러스 호텔 세종, 4층 사파이어홀(세종시 도움1로 7)
- ◆ 행사내용 :
  - 안건 1. 규정 개정 및 규칙 제정
  - 안건 2. 당연직 부회장 선출
  - 안건 3. 신규 회원가입 승인
  - 안건 4. 급경사지 긴급표 현장지원단 단장 임명
  - 보고 및 기타사항
  - 보고 1. 협회지 발간 추진 현황 보고
  - 기타 1. 협회 발전방안 논의

## 회원등록현황

(2021. 06. 18. 기준)

구분	합계	개인				단체			
		소계	종신	일반	명예	소계	가급	나급	일반
합계	218	185	33	83	69	33	5	19	9

### ◆ 회원 구분

- 회원은 개인회원과 단체회원 및 특별회원으로 구성
- 개인회원은 「급경사지 재해예방에 관한 법률」 제32조 제4항에 규정된 자로서 급경사지에 관한 학식과 경험이 풍부한 사람
- 단체회원은 법 제32조 제4항에 규정된 자로서 급경사지 안전관리와 관련된 연구단체, 용역단체, 물자의 생산 및 공사 등을 하는 단체
- 특별회원은 개인회원과 단체회원 이외의 자로서 정부, 급경사지관리기관, 공공기관 및 정부투자기관 등을 포함



KOREA SLOPE SAFETY ASSOCIATION



## 기술 기사

### 국립재난안전연구원 급경사지재해 저감 연구

정 민 수 행정안전부 국립재난안전연구원 지반재난연구팀장

### ICT기반 자연사면 산사태 모니터링 시스템 개발 및 구축

송 영 석 한국지질자원연구원 지질환경연구본부 지질환경재해연구센터장

### 광역적 산사태-토석류 통합해석기법과 도심지 재해영향평가

정 상 섬 연세대학교 건설환경공학과 교수

홍 문 현 연세대학교 기후변화 적응형 사회기반시설연구센터 연구교수

### 재해영향평가 사면안정성검토에서 산사태-토석류 연계해석 활용방안

엄 관 용 (주)경보기술단 대표이사

탁 원 준 (주)경보기술단 대리

# 국립재난안전연구원 급경사지재해 저감 연구



정 민 수

행정안전부 국립재난안전연구원 지반재난연구팀장

## 1. 시작하며

우리나라는 국토의 약 2/3가 산지로 구성되어 있고, 도심지 인구집중으로 인해 생활 주변에 자연 산지뿐만 아니라 택지·용지 개발을 위해 이들 산지를 개발하며 생기는 옹벽·축대 등 수많은 자연 또는 인공 급경사지가 산재하여있다. 여기에 급경사지 재해 원인이 되는 강우의 최근 패턴도 계절라성 집중호우와 지속적인 장마로 대변되는 기후변화 현상으로 인해 강우량, 강우강도가 증가되고 있어, 점점 급경사지 재해 발생의 위험이 가중되고 있다. 실제로 급경사지 재해로 인한 인명피해는 과거 10년간 전체자연재해 사망자 146명 중 약 46%인 68명이나 발생할 정도로 그 피해의 치명성은 어느 자연재난보다 높다고 할 수 있다. <그림 1.>



그림 1. 최근 10년간 자연재해 및 토사재해 사망자 수(재해연보 일부내용 발췌)

이에 정부는 급경사지재해의 위험으로부터 국민의 생명과 재산을 보호하기 위해 2007년 급경사지 재해예방에 관한 법률(시행: 2008년 7월)을 제정하여 급경사지 붕괴위험지역에 대한 관리를 본격적으로 시행하고 있다. 또한 급경사지 업무의 주무부처인 행정안전부(舊.소방방재청)에서는 급경사지 저감기술 등의 관련 기술개발 및 산업육성을 위해 2003년 ‘자연재해방재기술개발사업’을 시작으로 국가R&D사업을 통해 지속적인 투자를 하고 있다.

특히 행정안전부 소속 유일의 재난안전 전문연구기관인 국립재난안전연구원에서는 1997년 개원 이래 급경사지재해 저감기술과 관련 정책 개발을 위해 수많은 연구를 수행해왔다. 그리고, 2015년 울산 이전과 함께 대규모 실증실험시설 구축하여 관련 연구개발에 집중적 투자와 노력을 기하고 있다. 본 기사에서는 국립재난안전연구원이 급경사지 분야의 효율적 재난관리와 정책수립 그리고 실증적 지원을 위해 수행했던 연구 가운데 최근 연구를 중심으로 그 과정과 주요 성과에 대해 간단히 소개하고자 한다.

## 2. 실규모 급경사지 붕괴재현 실증실험 장비 구축(14년~16년)

앞서 잠시 언급한 것처럼 국립재난안전연구원은 1997년 당시 내무부 소속 국립방재연구소로 첫걸음을 내디뎠다. 이후 행정자치부, 소방방재청, 안전행정부, 국민안전처 등의 소속 변경을 거쳐 현재의 행정안전부 국립재난안전연구원(1과 4실 1센터)에 이르고 있다. 특히 ‘공공기관 지방이전계획’에 따라 2015년 12월 서울특별시 마포구(공덕동)에서 울산광역시 중구 혁신도시로 이전하면서 신규청사와 함께 대규모 실증실험동을 구축하고 실규모 급경사지 붕괴재현 실증실험장비를 도입하는 등 급경사지 분야 실증적 연구지원 체계를 마련하였다. <그림 2.>

국립재난안전연구원 실규모 급경사지 붕괴재현 실증실험 장비(이하, 실규모 붕괴장비)는 실제 급경사지 붕괴현상을 구현하기 위한 목적으로 2014년~2016년까지 약 3년에 걸쳐 지반재난실험동에 실내 가변형 형식으로는 세계 최대규모로 구축되었다. 특히 본 장비는 산사태 등 급경사지 재해원인 규명과 메커니즘 재현·분석을 통한 유사피해 저감 연구에 필수적 장비이다.



(a) 청사 및 재난전조동



(b) 실증실험동(지반재난 및 도시홍수)

그림 2. 국립재난안전연구원 및 부속시설

국내에서는 한국건설기술연구원, 한국지질자원연구원, 상지대학교, 강원 도립대학교 등 다수의 기관에서 급경사지를 위한 실험장비를 보유하고 있지만, 기존 장비의 대부분은 소규모 실험 장치로 특정 유형의 산사태 붕괴 양상 및 사태물질의 확산 특성을 규명하는데 중점을 두고 있다.

<그림 3.>에 나타낸 바와 같이 본 장비는 크게 ①실규모 급경사지 붕괴 모의 시뮬레이터(토조부), ②다기능 이송장비(워크플랫폼), ③유압실린더, ④토사운반장치, ⑤인공강우 및 지하수위 재현 장치, ⑥실험계측 및 붕괴현상 관측장치(관계실), ⑦시료(토사) 보관장치를 비롯한 부대시설 등 총 7개 부분으로 구성되어 있다.

표 1. 실규모 급경사지 붕괴 모의 시뮬레이터(토조부) 제원

항목	장비 제원
규모	폭 4m, 길이 21m, 높이 2.5m (1번 토조: 5m, 2번 토조: 5m, 3번 토조: 10m, 4번 토조: 1m)
경사범위	1번 토조: 0~5°, 2번 토조: 0~15°, 3번 토조: 15~40°

<표. 1>에 나타낸 것과 같이 대상 현상의 급경사지 지반 형상을 재현하는 시뮬레이터는 4개의 독립된 사각 토조가 자유롭게 움직일 수 있도록 연결된 형태이며, 폭 4m, 높이(토심) 2.5m, 길이 21m의 모형지반을 최대 경사 40°까지 유압실린더를 이용하여 조정이 가능한 가변형 구조형식이다. 토조의 바닥은 기반암이나 불투수층 등 경계면 역할을 하며, 독립 조절 가능한 지하수위 장치가 설치되어, 4번 토조 배면에는 실제 현장에서 강우침투에 의해 발생하는 침투를 재현할 수 있도록 배면수 공급장치를 설치하였다. <그림 4.>의 다기능 이송장치(워크플랫폼)를 이용하여 실험 수행시 붕괴관찰, 계측, 그리고 토사 공급하고 있다. <그림 5.>에는 토조부의 경사(각도)를 조절하는

유압실린더를 나타내고 있다. <그림 6.>은 토조내 흙을 공급하기 위한 토사운반장치를 나타내고 있다. <그림 7.>은 붕괴의 가장 큰 원인이 되는 강우를 재현하는 장치로서, 10 ~ 250mm/hr로



그림 3. 국립재난안전연구원 실규모 급경사지 붕괴재현 실증실험 장비

10mm단위로 자동조절이 가능하다(저수조 500m<sup>3</sup>, 고수조 60m<sup>3</sup>). 특히, 인공강우 발생부는 토조의 위치변화에 대응하여 노즐을 교체와 조정이 되도록 설계·제작하였다. <그림 8.>처럼 각종 계측정보를 포함한 전체적인 실험상황을 파악하고, 기계장치에 대한 자동제어가 가능하도록 관제실을 구축하였다. 그 밖에 부대시설로는 <그림 9.>처럼 실규모 급경사지 붕괴재현 실증실험 장치를 1/10 크기로 축소한 소형실험장치를 제작하여, 대형실험 수행 전 강우, 지반형상, 계측 등 실험조건에 대해 검증하는 목적으로 활용하고 있다. 그리고 실험에 필요한 각종 시료를 보관하기 위한 항온항습실, 각종 물리 및 역학실험을 수행할 수 있는 실내실험실, 붕괴실험에서 발생한 토사물질을 배출할 수 있는 배수로와 침사지 등 배수시설을 함께 구축하였다.



그림 4. 다기능 이송장치(워크플랫폼) 그림 5. 유압실린더



그림 6. 토사운반장치 그림 7. 인공강우 재현장치



그림 8. 관제실 그림 9. 소형 붕괴재현장치(L=2m)

### 3. 실증실험 기반 급경사지 계측관리기준(안) 개발('17년~'20년)

매년 반복적으로 발생하는 급경사지 피해를 줄이는 방법으로는 일반적으로 붕괴위험지역의 위험요소를 직접 제거하거나 방어구조물을 설치하는 하드웨어적 접근 방법과 위험지역 ①지정-②계측관리 및 예·경보체계 운영-③대피 명령으로 이어지는 소프트웨어적 접근방식이 있다. 하드웨어적 접근방식은 가장 확실하고 안전한 방식이나, 상대적으로 비용이 고가이므로 특정 현장 정도의 소규모지역에 적용되는 특징이 있다. 이와 비교해 소프트웨어적 접근방식은 상대적으로 그 비용이 저렴하다. 예를 들어 강우기반의 예·경보시스템의 경우 전국단위의 넓은 지역에 적용이 가능하다. 하지만 예·경보시스템의 핵심인 대피관리기준 즉, 계측 또는 예·경보 기준 설정에 큰 노력과 시간이 필요한 특징이 있다. 한편, 국가 차원의 급경사지 관리 측면에서 살펴보면, 이 두 가지 접근방식을 적절히 병행하는 것이 가장 합리적이라고 할 수 있다. 그 이유는 하드웨어적 방법은 공법과 설계기준의 레벨로

접근 가능하며, 명확한 보강 효과를 보여주는 장점이 있지만, 한정된 예산으로는 국가 또는 광역단위로 적용 불가능하므로, 소프트웨어적 접근법과 병행하는 방법이 가장 합리적이기 때문이다.

국내의 많은 국가와 관련 기관에서 산사태 또는 토석류에 대한 예·경보체계를 운영하고 있다. 국내에서는 대표적으로 행정안전부와 산림청에서 급경사지 또는 산사태 관리기준을 지정·운영하고 있으며, 행정안전부에서는 6종의 계측기(변위계, 경사계, 간극수압계, 함수비계, 하중계, 지하수위계)에 대한 관리기준과 시·군·구 단위 약 217개소에 대한 강우기반의 대피관리기준을 운영하고 있고, 산림청에서는 Tank 모델을 활용한 토양우량지수로 산사태 예·경보를 운영 중에 있다. <그림 10. 및 그림 11>

행정구역	관리단계	기준 및 강우량(mm)			
		15분 최대강우량	1시간 최대강우량	1일 누적강우량	2일 누적강우량
가평군	관심	10	20	71	102
	주의	15	29	101	146
	경계	21	54	186	240
고양시	관심	25	69	249	279
	주의	11	22	76	108
	경계	15	31	108	155
과천시	관심	21	56	193	260
	주의	25	69	254	280
	경계	9	18	63	93
과천시	관심	13	26	90	132
	주의	20	52	176	223
	경계	25	67	241	277

그림 10. 행안부 강우량 권고기준(경기 일부)

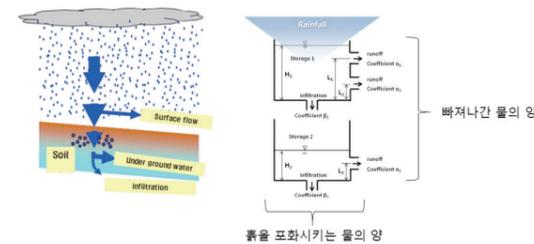


그림 11. 산림청 Tank 모델

국내의 급경사지 관련 계측관리기준의 경우 외국 사례와 소규모실험을 통해 도출된 결과를 바탕으로 하고 있어, 우리나라의 지반 특성과 현장의 실제 거동을

고려한 계측관리 기준의 도출이 시급히 요구되는 실정이다. 이에, 본 연구에서는 한국형 실증실험기반의 급경사지(토사비탈면) 계측관리기준(안)을 개발을 위해, 4차년(2017~2020년)에 걸쳐 연구를 수행하였다. 우선 앞장에서 소개한 것처럼 2016년에 실규모 붕괴장비를 구축하여, 1차년도(2017년)에는 실규모 붕괴장비의 운영 노하우와 대형 붕괴모의 실증실험 기술을 확보하였다. 예를 들면 <그림 12>와 <그림 13>에 나타난 것처럼 실제 대상 현장의 지반재현(밀도, 함수비, 경사 등) 시공기술, 지하수위 재현, 강우 재현, 붕괴거동 계측기술 및 데이터 분석기술 등이 있다. 이러한 기초기술 확보를 통해 실증실험 기반의 급경사지 계측관리기준 개발의 초석을 마련하였다.

2차년도(2018년)에는 토사비탈면 표층붕괴를 재현하고 지표 및 지중의 거동양상을 파악하기 위한 대형 실증실험 3회 및 소규모 붕괴모의 실험 20여회를 실시하였다. 그 결과 표층붕괴에 가장 적합할 것으로 판단되는 센서로 체적함수비, 지표변위, 지표경사를 선정하였으며, 붕괴과정 동안의 변화 특성을 파악하였다.

3차년도(2019년)에는 2회에 걸친 대형 실증실험과 15회에 걸친 소규모 붕괴모의 실험 및 테스트베드 운영을 통해 확보한 계측자료와 현장 계측사례 등을 추가적으로 분석하여 체적함수비 증가기울기를 이용한 체적함수비 기준의 계측관리기준(안)을 제시하였다. 또한 토사비탈면 안정해석에서 가장 많이 활용되고 있는 불포화토 이론을 바탕으로 흡입응력이 반영된 안전율 산정방법에 대한 붕괴예측 가능성 및 현장적용 시 한계점에 대해 고찰하였다.

4차년도(2020년)에는 토사비탈면 붕괴현장에서 공통적으로 관찰되는 불투수층을 재현한 대형 실증실험을 2회 실시하고 소규모 붕괴모의 실험을 10여회 실시하였다. 또한 최근 8년간 지자체에서 수집된 급경사지 붕괴사례를 분석하여 피해형태,

시기, 관리적절성 등에 검토하여 시사점을 도출하고 개선방향을 제시하였다. 참고로 본 연구에서 도출한 체적함수비, 모관흡수력, 지표변위, 지중경사 등 4종의 계측관리기준(안)의 설정에 관해서 <그림 14.> ~ <그림 17.>에 나타내었다.

또한 연구기간 동안 전국의 급경사지 붕괴위험지역에 대한 현장조사를 통해 시료를 확보하고 실·내외 실험을 실시하여 93개 지역에 대한 물성정보 DB를 구축하였다. 이 자료는 다음 장에서 설명하는 급경사지 재해위험도 평가 시스템에 탑재하여 관리하고 있으며, 향후 추가적 현장조사의 결과들도 지속적으로 업데이트하여, 향후 지역별 급경사지 특성 분석 및 안정해석 등에 활용될 예정이다.

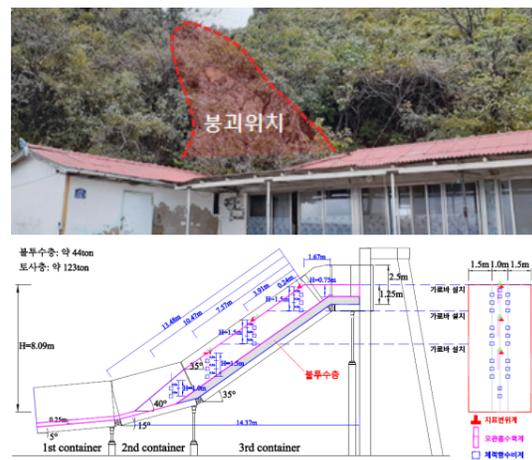


그림 12. 실험계획의 수립

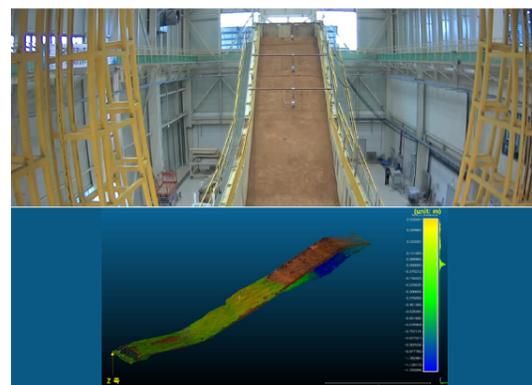


그림 13. 대형 실증실험 영상 변위분석

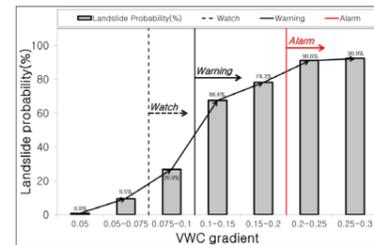


그림 14. 체적함수비 관리기준 설정

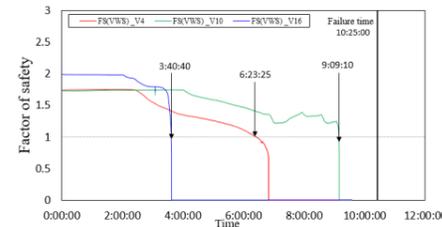


그림 15. 모관흡수력 관리기준 설정

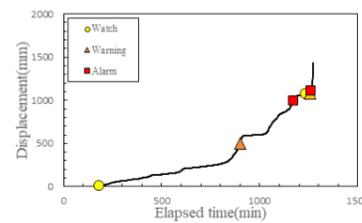


그림 16. 지표변위 관리기준 설정 및 검증

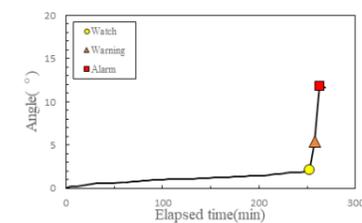


그림 17. 지중경사계 관리기준 설정 및 검증

#### 4. 급경사지 재해위험도 평가 시스템 개발('17년~'20년)

전국단위의 광범위한 지역에서의 급경사지 재해 발생 예측과 대피 그리고, 고위험지역 식별을 통한 효율적인 급경사지 관리하기 위해서는 신뢰성 높은 급경사지 재해 위험평가 시스템이

필요하다. 이를 위해서 국립재난안전연구원에서는 '전국단위 급경사지 재해 위험평가 체계 구축'을 목표로 급경사지 재해 예측을 위한 강우기준 개발, 통계·물리기반 급경사지 재해 위험지도 개발 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 선행연구로 개발된 'GIS기반 급경사지 붕괴위험도 판단시스템('11~'13)'의 문제점을 개선하고, 전국을 4개 권역(수도권/강원권, 경상권, 전라권, 충청권)으로 나누어 각 지역의 지역 특성과 붕괴 이력을 고려한 급경사지 재해 위험지도를 구축하였다.

우선 급경사지 재해 예측을 위한 전국단위 강우기준 개발을 위하여, <그림18.>과 <그림19.>에 나타낸 것처럼 1999년부터 2019년까지 총 258건의 붕괴자료를 수집하였다. 우선 급경사지 재해 붕괴 유발강우량을 분석하였고, 통계기법을 활용하여 전국단위에 대한 예·경보수준별 강우기준을 제안하였다. 그리고 최근 급경사지 재해 30건(2020년)을 활용하여 제안된 예·경보수준별 강우기준 신뢰성을 ROC기법(Receiver Operating Characteristic Method)을 통해 검증하였다. 검증 결과 정확도는 70.3%, 적중률은 84.0%로 예보기준으로써 우수한 결과를 나타내었다.

급경사지 재해 고위험지역 식별을 위한 위험지도 개발을 위해 앞서 언급한 바와 같이 통계적 방법과 물리적 방법을 각각 이용하였다. 통계기반 급경사지 재해 위험지도 개발을 위해 <그림 20.>처럼 대상 권역의 급경사지재해 이력 지점 DB 자료 및 총 14개의 영향인자 DB를 구축하였다. 그리고 다중공선성(Multi-collinearity) 분석을 통해 12개의 인자를 선정하였고, 통계 모델을 활용한 급경사지 위험지도를 개발하였다<그림 21.>. 또한 2020년 발생된 30개의 급경사지 재해 자료를 이용하여 구축된 급경사지 재해 위험지도와 산림청 산사태

위험지도를 비교하였다. 이를 통해 본 연구에서 개발된 통계기반의 급경사지 재해 위험지도의 높은 신뢰성을 확인하였다.

물리기반의 급경사지 재해 위험지도를 구축하기 위해 개선된 침투모델, 토심모델 등을 활용하였다. 이를 통해 전국을 강우량에 따른 1차원 급경사지 재해위험도 및 붕괴위험지역에 대한 3차원 재해 위험도를 구축하였다. 또한 급경사지 재해 발생자료 및 위험지구의 자료를 이용하여 개발된 급경사지 재해 위험지도(1, 3차원)의 신뢰성을 평가하였다<그림 22. 및 그림 23.>.

그리고, 시스템의 편의성 및 효율성을 위해 각종 급경사지 관련 모듈을 개발하였다. 구체적으로는 급경사지 재해 상황발생 시 정보 전달체계를 구축하였고, 급경사지 관리 정보 현행화, 산사태 위험지구 탑재, 전국단위 급경사지 재해 위험지도 가시화를 수행하였다. 또한 붕괴위험 급경사지 지반특성 DB 정보 및 재해이력자료를 탑재하였다. 끝으로 관리자 기반 급경사지 관련 정보 탑재 모듈을 개선하였다. <그림 24.>에 개발된 급경사지 재해위험도 평가 시스템을 나타내었다.

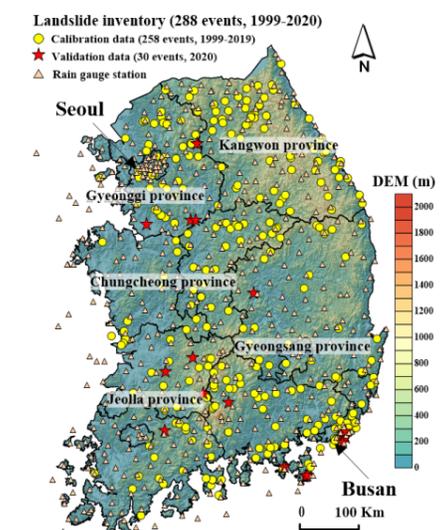
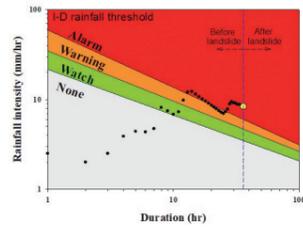
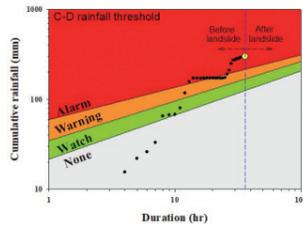


그림 18. 유발강우 데이터 수집 및 분석



(a) 강우강도(I)-지속시간(D)



(b) 누적강우(C)-지속시간(D)

그림 19. 전국단위 강우기준

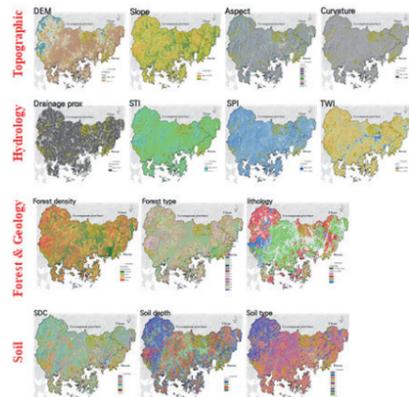


그림 20. 급경사지 재해 영향인자 DB

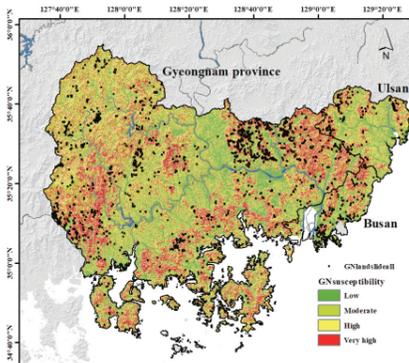


그림 21. 통계기반 위험지도

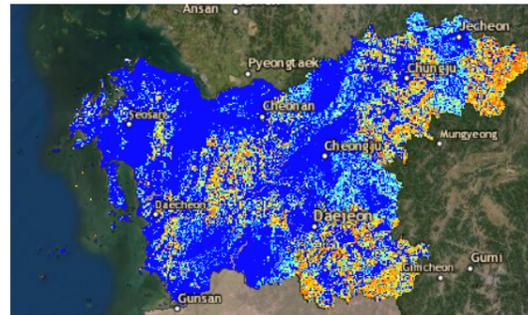


그림 22. 물리기반 위험지도(1차원)

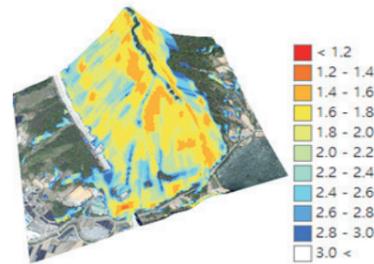


그림 23. 물리기반 위험지도(3차원)

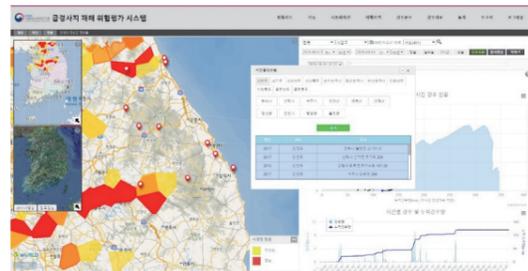


그림 24. 급경사지 재해위험도 평가 시스템

### 5. 향후 연구

지금까지 대부분의 급경사지 관련 연구는 집중호우 등 강우로 인한 급경사지 자체의 붕괴메커니즘 규명과 각종 계측기기를 활용한 붕괴정후 포착을 위한 계측기준개발, 그리고 주민 대피를 위한 예·경보체계 구축이 주요 연구테마였다. 앞서 설명한 것처럼 연구원에서도 그간의 연구를 통해 급경사지 계측관리기준(안) 도출과 급경사지 재해위험도 평가 시스템 구축 등 급경사지 붕괴예측 및 거동 분석을 위한 기반을 구축하였다. 그러나, 인명피해와 같은

실질적 피해 예방을 위해서는 더 나아가 급경사지 붕괴위험지역 주변에 산재한 취약주택에 대한 위험도 평가가 필수적으로 이루어져야 한다. 2017년 충청지역 집중호우, 2019년 태풍 제18호 미탁, 2020년 최장기간 기록한 장마에 이르기까지 과거의 다양한 사례를 통해 토사재해 피해양상을 분석한 결과, 인명피해는 붕괴로 인해 흙과 바위가 수평외력에 취약한 주택(예를 들면, 목조, 조적조 및 조립식 주택 등)을 덮쳐서 주택 붕괴 및 매몰되는 형태로 피해 대부분이 발생하고 있다. 또한 <그림 25.>에 나타난 서울시 사례처럼 산지 경계 근접 지역들이 주택지로 최근 많이 이용하고 있어 그만큼 급경사지재해 위험에 노출된 주택들이 늘어나는 추세다.

이러한 상황에서, 토사재해로 인한 주거지 취약성을 평가하고 대응하기 위해서는 첫째, 토사재해로 인한 주택 취약성을 평가할 수 있는 평가표 개발이 필요하다. 둘째, 주택의 취약성 평가결과를 효율적이고 통합적으로 관리하기 위하여 시스템상 표출 및 관리할 수 있는 기술개발이 필요하다. 마지막으로 취약성 평가를 통해 아주 취약하여 대책이 필요할 경우 적용할 수 있는 보강·방어대책 발굴과 이를 뒷받침할 수 있는 제도적 기반 마련이 필요하다.

이를 위해서<그림 26.>처럼 2021년~2024년까지 총 4년간 '실증실험 기반 토사재해 취약성 평가기술 개발'이라는 주요연구과제를 수행할 예정이며, 예상되는 주요 연구성과와 기대효과로서는 ①토사재해 피해저감 시설물 설치기준 마련을 위한 근거자료로 활용, ②위험지역에 대한 개발제한 등 정책수립 기초자료로 활용, ③ 급경사지 재해위험평가와 취약주택 평가·DB화·관리를 병행하여 실질적인 인명·재산피해 경감에 이바지할 것으로 기대된다.

마지막으로, 국립재난안전연구원에서는 앞서 개발한 연구성과의 현업화와 더불어 급경사지재해 경감과 관련 정책지원을 위해 지속적으로 노력해 나아갈 예정이며, 또한 다양한 연구기관들과의 협업을

통해 급경사지재해 관련 연구성과 공유와 기술 보급의 기회를 항상 기대하고 있다.



그림 25. 서울특별시 산지 경계부 50m 내 토지이용현황

연구기간	21년	22년	23년	24년
주요 성과	토사재해 취약성 평가 기술 개발			
기타	토사재해 취약성 평가 기술 개발			

그림 26. 실증실험 기반 토사재해 취약성 평가기술 개발 과제추진 로드맵('21~'24)

### 참고문헌

- 국립재난안전연구원, "실증실험 기반 시설물 안전기준 개발(I)", 2016
- 국립재난안전연구원, "급경사지 재해 예·경보 시스템 현업화-울산을 중심으로-", 2017
- 국립재난안전연구원, "실규모 급경사지 붕괴재현을 위한 실증실험기술 개발", 2017
- 국립재난안전연구원, "급경사지 재해 예·경보 시스템 현업화-강원권을 중심으로-", 2018
- 국립재난안전연구원, "실증실험 기반 급경사지 재해저감 기술 개발(I)", 2018
- 국립재난안전연구원, "급경사지 재해 예·경보 시스템 현업화-경기·경상권 중심으로-", 2019
- 국립재난안전연구원, "실증실험 기반 급경사지 재해저감 기술 개발(II)", 2019
- 국립재난안전연구원, "실증실험 기반 급경사지 계측관리기준 개발", 2020
- 국립재난안전연구원, "전국단위 급경사지 재해 위험평가체계 구축", 2020
- 국민안전처(現 행정안전부), 급경사지 관리 실무편람「종합해설서」, 2016.
- 국민안전처(現 행정안전부), 급경사지 주민대피 계측관리시스템 구축 및 계측시방서 개발 연구, 2015.

## ICT기반 자연사면 산사태 모니터링 시스템 개발 및 구축



송영석

한국지질자원연구원 지질환경연구본부 지질환경재해연구센터장

### 요약문

최근 기후변화에 따른 극한강우의 증가로 인하여 국내 자연사면에서는 얇은 파괴 형태의 산사태가 급증하고 있으며, 이로 인한 피해가 늘어나고 있다. 이와 같이 자연사면에서의 산사태로 인한 피해를 저감하기 위하여 산사태를 유발하는 강우의 영향과 강우침투로 인한 사면지반의 거동을 측정할 수 있는 산사태 모니터링 시스템(K-LAMOS, KIGAM-Landslide Monitoring System)을 개발하였다. 산사태 모니터링 시스템은 전국 8개 국립공원에 12개소의 모니터링 스테이션을 구축하여 운영하고 있다. 각 모니터링 스테이션에서는 강우, 모관흡수력, 체적함수비, 지반변위 등을 측정하는 센서와 이들 센서로부터 측정된 자료를 수집 및 전송할 수 있는 시스템이 설치되어 있다. 그리고 각 모니터링 스테이션으로부터 수집 및 전송되는 대량의 실시간 자료를 효율적으로 관리하고 표출하기 위해 클라우드 서버 기반의 유지관리 시스템을 구축하였다. 또한 산사태 발생가능성을 평가할 수 있도록 모관흡수력과 강우에 대한 관리기준을 선정하여 산사태 예경보가 가능하도록 구성하였다.

### 1. 서론

최근 전 지구적인 기후변화에 의해 과거와는 다른 엄청난 강우강도 또는 누적강우량을 나타내는 극한강우에 의해 여러 지역에서 동시 다발적으로 산사태가 발생하고 있으며, 이로 인해 과거에 비해 훨씬 큰 규모의 인명 및 재산피해가 발생하고 있다(Lee et al., 2016; Park et al., 2019; Pradhan et al., 2019). 따라서 극한강우로 인한 산사태의 피해를 최소화하기 위한 사회적 요구가 점차 증가하고 있다. 또한, 최근의 정보통신 및 컴퓨터 기술의 발달로 인해 강우의 변화에 따라 산사태의 위험을 실시간으로

해석하여 경보를 내림으로써 그 피해를 원천적으로 줄이고자 하는 연구가 증가하고 있다(Graziella et al., 2015; Nuhn et al., 2012; Manconi and Giordan, 2015; Walter, 2010).

산사태 발생위치는 지형, 지질 및 지반공학적 특성 등 자연사면의 내재적 요인의 평가와 함께 다양한 강우조건 등을 고려하여 예측할 수 있다. 그러나 산사태 발생시점의 예측은 지형, 지질, 지반, 강우특성 등이 시간별로 어떻게 변화하는지를 이해하여야 가능하다. 즉, 강우가 사면토층 내부로 침투하면서 토층 내부의 공학적 특성이 변화하는 양상을 시간대별로 파악하여야 하며, 이에 대한

관찰을 통해 실제 산사태가 발생한 시점에서의 강우는 물론 사면토층 내부의 수리적·물리적·역학적 조건을 명확히 이해하여야 한다. 이를 위해서는 산사태를 유발하는 고정적·내재적 요인에 대한 해석에서 벗어나 강우조건의 변화에 따른 사면토층 내 특성변화를 실시간으로 관측하여야 하며, 이러한 목적으로 자연사면에 대한 실시간 모니터링이 필요하다.

산사태 발생을 사전에 인지하기 위하여 강우와 그에 따른 사면토층 내 반응특성을 실제 관찰하고, 이를 기반으로 산사태 발생시 강우 및 지반조건별 변화양상과 발생기준(threshold)에 대한 정확한 이해가 필요하다. 그러나 국내에서는 인공사면을 대상으로 시공 중 사면의 안정성을 확인하기 위한 다양한 계측관련 연구가 진행되어 왔으나(Song et al., 2012; Cheon et al., 2013; Zhang et al., 2020; Rahardjo et al., 2008; Harris et al., 2012), 자연사면에서 강우에 의한 사면토층의 특성 변화를 모니터링 하는 연구는 매우 부족하다.

자연사면에서의 산사태를 조기에 탐지할 수 있는 기술을 개발하기 위해서는 무엇보다도 산사태가 발생될 가능성이 있는 지역을 대상으로 산사태와 관련된 여러 지질 및 지반공학적 요소를 복합적으로 파악할 수 있는 현장 모니터링이 반드시 필요하다. 이를 토대로 산사태 발생가능성을 사전에 인지하고 궁극적으로 지역주민에게 경보를 발령할 수 있는 기반이 마련되어야 한다.

현재 한국지질자원연구원에서는 국내 국립공원내 자연사면을 대상으로 산사태 모니터링 시스템(K-LAMOS, KIGAM-Landslide Monitoring System)을 구축하고 운영 중에 있다(Song et al., 2021). 따라서 본 연구에서는 운영 중인 산사태 모니터링 시스템의 특성을 소개하고자 한다.

## 2. 자연사면에서의 산사태 모니터링 시스템 개발

### 2.1 자연사면에서의 산사태 모니터링 개념

일반적으로 강우에 의한 산사태는 지하수위 상승으로 인하여 사면지반내의 간극수압이 증가하여 파괴가 발생하는 것으로 알려져 있다. 그러나 Fredlund and Rahardjo(1993)은 집중강우가 발생되더라도 깊은 곳에 위치하고 있는 지하수위의 상승은 얇은 사면파괴에 큰 영향을 미치지 못한다고 보고한 바 있다.

자연사면의 경우 지하수위의 상승에 의한 영향보다는 강우의 침투로 발생하는 침윤전선의 하강에 의한 영향으로 얇은 파괴가 주로 발생되고 있다(Lu and Godt, 2008; Song et al., 2016a). 강우의 침투로 인하여 지하수위 상부에 위치하는 불포화 지반의 포화도가 증가하게 되며, 음의 간극수압은 감소하게 된다. 이로 인하여 불포화 지반내 흡입응력(suction stress)의 변화로 인한 유효응력의 감소가 발생되며, 이는 불포화 사면의 안정성에 영향을 미치게 된다(Ng and Shi, 1998; Lu and Godt, 2008). 이러한 이유로 자연사면의 안정성을 평가하기 위하여 불포화 특성을 모니터링하는 사례가 지속적으로 진행되고 있다(Godt et al., 2009; Damiano et al., 2012; Smith et al., 2014; Song et al., 2016b)

우리나라에서 발생하는 산사태의 발생유형을 살펴보면 대부분 발생 깊이가 2m 이내로서 얇은 평면파괴 형태이다(Kim and Song, 2015). 따라서 강우시 자연사면의 토층내에서 함수비 변화로 인하여 사면파괴가 발생되므로 토층의 깊이별 유효응력을 반드시 고려하여야 한다(Wolle and Hachich, 1989; de Campos et al., 1991; Godt et al., 2006; Lu et al., 2013).



따라서, 본 연구에서는 자연사면에서 발생하는 평면과괴 형태의 얇은 산사태(shallow landslide)를 대상으로 강우시 사면토층내 지반공학적 특성변화를 모니터링하기 위한 시스템을 개발하였다. 특히 강우시 토층의 깊이별 유효응력 변화를 고려할 수 있도록 모니터링 센서를 배치하였으며, 기존 불포화 사면의 모니터링 사례를 토대로 국내 자연사면에 적합한 센서를 선정하였다. 또한 실시간 자료전송을 위하여 무선통신이 가능한 자료수집장치 DAS(Data Acquisition System)를 구축하였다.

### 2.2 산사태 모니터링 시스템 구성

본 연구에서는 강우시 자연사면에서 발생하는 얇은 산사태를 모니터링하기 위하여 자연사면의 상부토층의 불포화 특성변화에 초점을 맞추었다. 즉, 상부토층내의 체적함수비 및 모관흡수력을 측정하고, 사면지반의 변위와 강우량을 측정하였다. 그림 1은 본 연구에서 제안하여 설치된 산사태 모니터링 시스템의 구성도를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 강우의 침투로 발생하는 침윤전선의 하강 및 포화도 변화를 측정하기 위하여 체적함수비와 모관흡수력을 깊이별로 측정하였다. 일반적으로 국내의 경우 자연사면의 토층의 깊이가 2m 이내이므로 이들 센서는 지표면으로부터 0.5m, 1.0m 및 1.5m 하부에 설치되었다.

체적함수비 측정을 위하여 Decagon사의 5TM을 설치하였다. 이 센서는 강우가 지표면으로부터 토층으로 침투할 때 지중방향으로 토층 내 체적함수비 변화를 관측하기 위하여 설치되었다. 강우가 토층으로 침투함에 따라 침윤전선은 지표면으로부터 지중으로 이동하게 되고 이 과정에서 침윤대가 형성되면서 포화가 진행된다. 이와 같이 침윤대의 확장은 상부토층에서 얇은 파괴를 유발하게 된다. 모관흡수력

측정을 위하여 Decagon사의 MPS-6를 설치하였다. 자연사면의 상부토층은 불포화토 상태로 존재하며, 불포화토 내부에 강우가 침투하면 토층 내 포화상태가 변화하면서 흡입응력의 변화가 발생하게 되며 결국 상부토층에서 파괴를 유발하게 된다.

자연사면의 변위를 측정하기 위하여 틸트미터를 설치하였으며 NGI사의 MV-5B 센서를 현장에 설치하였다. 그리고 모니터링 스테이션 설치지역의 실시간 강우량과 강우강도를 측정하기 위하여 강우량계를 설치하였으며, tipping bucket 방식을 갖는 Wedaen사의 WDR-205를 설치하였다. 표 1은 산사태 모니터링 스테이션에 설치된 센서들의 주요사항을 나타낸 것이다. 그리고 그림 2 및 그림 3은 현장에 설치된 다양한 센서의 설치 개념과 설치과정을 나타낸 것이다.

한편, 현장에서 다양한 센서를 통하여 측정된 자료는 마스터 로거가 설치된 자료수집장치 DAS로 수집되고, 이는 LTE 무선통신기술을 통하여 모니터링 스테이션에서 모니터링 상황실로 전송되며, 전송된 결과를 토대로 현재 산사태 발생가능성에 대한 분석이 진행된다. 그림 4는 현장의 모니터링 스테이션에서 측정된 자료의 전송 및 운영에 대한 내용을 나타낸 것이다.

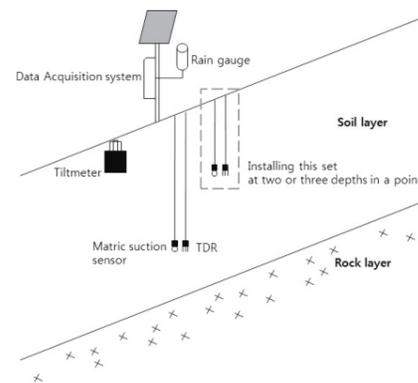


그림 1. 산사태 모니터링 스테이션의 구성

표 1. 산사태 모니터링 스테이션에 적용된 센서의 주요사항

Sensor type	VWC/Temp/EC	Matric suction	Slope displacement	Debris flow	Rainfall
	Decagon TM-5	Decagon MPS-6	NGI MB-5V	Sakada Denki EDZ-004	Wedaen WDR-205
Dimensions (L×W×H)	10cm×3.2cm×0.7cm	9.6cm×3.5cm×1.5cm	12cm(φ)×6.3cm(H)	36cm×4.4cm×7.5cm	외부: 40cm(φ)×52cm(H) 내부: 20cm(φ)×52cm(H)
Measurement range	0~100%VWC/ -40~60°C	-40~60°C	±5deg	±25mm	0.5mm
Resolution	0.1%/1°C	0.1°C	0.15%FS	-	1mm/h
Measurement time	150ms	150ms	1.0s	1.0s	150ms
Operating temperature	-40~60°C	0~60°C	-20~80°C	-30~50°C	0~80°C



그림 2. 모니터링 센서의 설치개념



그림 3. 모니터링 센서의 설치방법

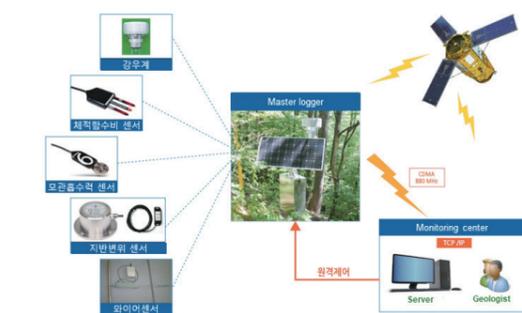


그림 4. 모니터링 스테이션 측정자료의 전송 및 운영

### 3. 산사태 모니터링 스테이션 구축

#### 3.1 산사태 모니터링 스테이션 위치 선정

산사태 모니터링 스테이션의 위치를 선정하기 위해서는 무엇보다도 산사태가 발생할 가능성이 있는 지역을 대상으로 하여 산사태와 연관되는 여러 요소들을 복합적으로 파악하여야 할 것이다. 이러한 관점에서 산사태 모니터링을 위한 위치선정에서 가장 우선적으로 고려한 사항으로는 지질조건이다. 국내의 대표적인 지질조건이라 할 수 있는 화강암, 편마암 및 퇴적암이 분포되어 있는 지역으로서 가능한 지질의 대표성을 갖는 지역을 대상으로 하였다. 그리고 위치 및 지형 등 모니터링시스템을 설치할 수 있는 제반 조건이 갖춰진 지역, 설치한 이후에도 모니터링시스템을 지속적이고도 효율적으로 관리가 가능한 지역, 그리고 산사태 발생에 기여하는 다양한 요소들이 종합적으로 반영되고 평가될 수 있는 지역을 우선 검토대상으로 하였다.

이처럼 산사태 모니터링 스테이션의 위치를 선정하는 단계에서 우선적으로 고려한 사항은 지질조건, 대표성, 설치가능한 지형여건, 대규모 산사태 발생이력, 산사태발생의 주요 요인이 되는 태풍과 집중호우의 영향권역 및 이동경로, 토층 및 토질의 분포특성 등 산사태에 유의한 영향인자, 산사태가 발생할 경우 산사태로 인해 인명과 재산피해가 발생할 가능성이 있는 지역 등이다. 또한, 산사태 모니터링시스템 설치를 위한 인허가의 용이성, 모니터링시스템의 장기적인 운영 및 유지관리의 편의성, 그리고 산사태 모니터링과 병행하여 제반 현장시험이 가능한 토층과 입상의 분포조건 및 지형조건 등을 모두 고려하였다.

이러한 검토사항을 종합적으로 반영하여 국립공원지역의 설치 후보지역을 선정하였으며,



후보지역에 대한 현장조사 및 설치여건을 고려하여 최종 설치위치를 선정하였다.

### 3.2 산사태 모니터링 스테이션 구축 현황

앞서 설명한 산사태 모니터링 스테이션의 설치위치 선정방식을 토대로 2014년부터 2019년까지 6년 동안 국내 8개 국립공원지역에 12개소의 산사태 모니터링 스테이션을 구축하였다. 그림 5는 국립공원지역의 산사태 모니터링 스테이션이 설치된 위치를 나타낸 것이며, 표 2는 산사태 모니터링 스테이션의 위치 좌표를 나타낸 것이다. 산사태 모니터링 스테이션이 설치된 국립공원지역은 설악산, 주왕산, 속리산, 계룡산, 덕유산, 무등산, 월출산 및 지리산으로 총 8개 지역이다. 이들 국립공원지역에는 총 12개 지점에 모니터링 스테이션이 설치되어 있는데, 이를 보다 세부적으로 구분하면 주왕산, 속리산, 계룡산, 덕유산, 무등산 및 월출산 국립공원에는 각 1개소에 설치하였고, 설악산국립공원에는 2개소(백담사, 희운각에 각 1개소), 그리고 지리산국립공원에는 4개소(제석봉, 중봉, 로타리대피소 및 중산리에 각 1개소)에 설치되어 있다.

그리고 표 3은 산사태 모니터링 스테이션이 설치된 위치에서의 지질조건을 나타낸 것이다. 또한 표 4는 산사태 모니터링 스테이션에 설치되어 있는 계측 센서들의 정보를 나타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이 국립공원지역의 12개소에는 함수비센서 160개, 모관흡수력센서 160개, 지반변위센서 24개, 와이어센서 8개, 강우량계 12개, 자료전송 및 수집을 위한 DAS 12개를 설치하여 현재에도 산사태 모니터링을 계속적으로 수행하고 있다.

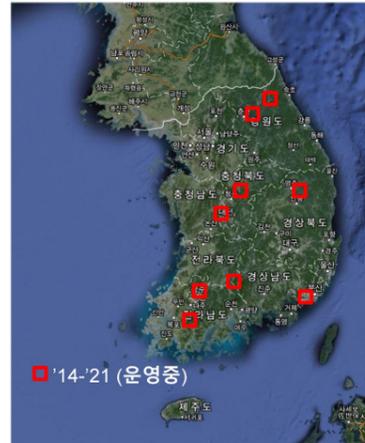


그림 5. 12개소의 산사태 모니터링 스테이션 설치 현황

표 2. 산사태 모니터링 스테이션의 설치위치

Station site	Coordinate	X	Y
Mt. Seorak	Baekdamsa	128°22'17.67"E	38°10'45.83"N
	Huiwoongak	128°27'55.52"E	38°07'56.82"N
Mt. Juwang		129°06'58.75"E	36°26'30.43"N
Mt. Sokri		127°49'49.71"E	36°33'18.20"N
Mt. Kyeryong		127°17'20.19"E	36°19'54.68"N
Mt. Deok-yu		127°44'47.15"E	35°51'34.69"N
Mt. Mudeung		126°59'35.70"E	35°07'07.20"N
Mt. Wolchul		126°41'10.56"E	34°45'13.99"N
Mt. Jiri	Jeseokbong	127°43'17.55"E	35°20'03.85"N
	Jungbong	127°44'00.63"E	35°20'32.71"N
	Rotary Shelter	127°44'17.57"E	35°19'35.96"N
	Jungsalli	127°45'25.62"E	35°19'18.42"N

표 3. 산사태 모니터링 스테이션 설치 위치에서의 지질조건

Station site	Geological period	Geological condition
Mt. Seorak	Jurassic period of the Mesozoic Era	Daebo granites
	Cretaceous period of the Mesozoic Era	Bulgksa granites
	Jurassic period of the Mesozoic Era	Two mica granite
Mt. Jiri	age unknown	Mixed pegmatite gneiss
	age unknown	Gneiss mixed pegmatite gneiss
	age unknown	Porphyroblastic gneiss
	age unknown	Gneiss granitic gneiss
Mt. Sokri	Cretaceous period of the Mesozoic Era	Gyeongsang alkali granite
Mt. Juwang	Cretaceous period of the Mesozoic Era	Red sandstone layer of the Gyeongsang Silla Group-Nakdong group
Mt. Mudeung	Cretaceous period of the Mesozoic Era	Mudeungsan quartz andesite
Mt. Deok-yu	Precambrian	Deogyusan layer of the Precambrian Weonnam group
Mt. Wolchul	the Cretaceous	Red feldspar granite
Mt. Kyeryong	Cretaceous period of the Mesozoic Era	Quartz porphyry

표 4. 산사태 모니터링 스테이션에 설치된 센서 현황

Station site	Sensors	Volumetric water content	Matrix suction	Slope displacement	Debris-flow Wire	Rainfall	Data logger
Mt. Seorak	Baekdamsa	12	12	2	3	1	1
	Huiwoongak	12	12	2	-	1	1
Mt. Juwang		12	12	2	-	1	1
Mt. Sokri		18	18	2	-	1	1
Mt. Kyeryong		12	12	2	-	1	1
Mt. Deok-yu		18	18	2	-	1	1
Mt. Mudeung		18	18	2	-	1	1
Mt. Wolchul		18	18	2	-	1	1
Mt. Jiri	Jeseokbong	8	8	2	3	1	1
	Jungbong	8	8	2	2	1	1
	Rotary Shelter	12	12	2	-	1	1
	Jungsalli	12	12	2	-	1	1
Total		160	160	24	8	12	12

그림 6은 국립공원지역에 설치된 12개소의 모니터링 스테이션을 나타낸 것으로 자료수집 및 전송을 위한 DAS와 강우계의 모습을 볼 수 있다.

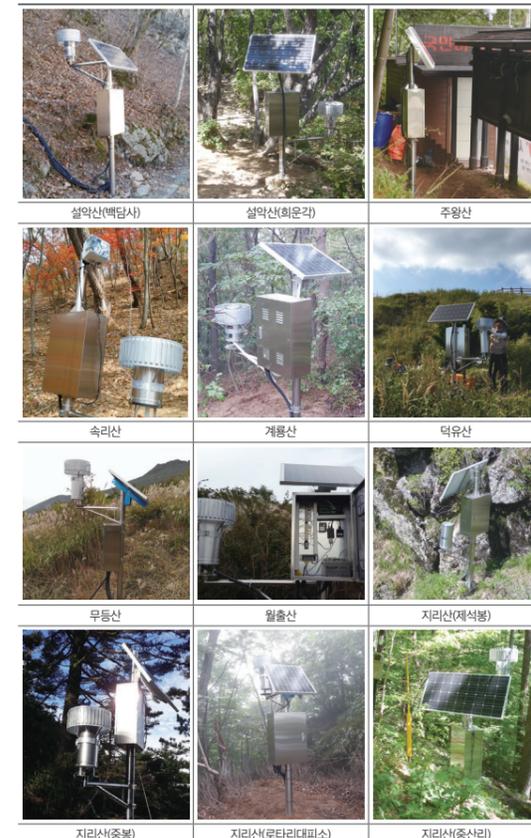


그림 6. 국립공원지역의 12개소에 설치한 모니터링 스테이션

### 3.3 산사태 모니터링 운영 프로그램

클라우드 서버는 중앙 센터에서 사용하지 않는 컴퓨팅 자원을 사용자에게 원격으로 제공함으로써 자원의 활용적 측면에서 유용하고, 흩어진 자원을 개별로 힘들게 관리하지 않고 중앙에 모인 모니터링 자료를 안정적으로 저장 및 제공할 수 있기 때문에 관리자 및 개발자가 시스템을 지속적으로 운영하는데 편리할 뿐만 아니라 효율성도 증가된다. 이러한 클라우드 서버의 장점을 바탕으로 산사태 모니터링 시스템의 안정적인 서비스와 서버구축 및 유지관리 비용의 절감을 위해 클라우드 서버를 그림 4와 같이 구축하였다. 산사태 모니터링 스테이션에서 들어오는 데이터는 스테이션에 설치된 센서, Data Logger, 무선통신장치(LTE Modem), DAQ 컴퓨터, G-cloud 서버 순서로 이동된다. 사용자는 웹서비스(한국지질자원연구원 산사태 모니터링 시스템 K-LAMOS: KIGAM-Landslide Monitoring System)를 통해 서버에 저장된 데이터를 조회할 수 있다.

데이터의 자세한 이동경로는 다음과 같다. 산사태 모니터링 스테이션 12개소의 계측센서에서 들어오는 계측값(강우량, 모관흡수력, 지반변위 및 함수비)과 센서상태 정보(로거 배터리상태, 함수비 및 흡입응력)는 그림 4의 Data Logger에 실시간으로 저장되어 LTE 무선 통신장치를 통해서 한국지질자원연구원 산사태 모니터링실(K-LAMOS)에 설치된 DAQ 컴퓨터에 저장된다. 기존 12개소 모니터링 스테이션에 설치되었던 3G(CDMA) 통신망은 통신환경의 변화와 통신 음역지역에 설치된 계측시스템의 원활한 통신을 위해 2017년도부터 4G(LTE) 통신으로 교체되었다. DAQ 컴퓨터는 Data Logger의 아날로그 신호를 디지털화하여 컴퓨터가 그 신호를 해독하고 분석하는 디바이스이다. 최종 데이터는 공공기관 전용의 보안 클라우드 서버에 저장된다.

산사태 모니터링 계측지의 데이터는 가상 서버 포트를 통해 전송되기 때문에 산업용 PC의 IP가 고정으로 구성되어 있어야 데이터를 받을 수 있다. 또한 모니터링시에 Web주소가 고정적이어야 웹 서비스가 가능하고, 주소가 있어야 모니터링이 가능하기 때문에 클라우드 서버는 고정 IP로 설정하였다. 현재 LTE 모뎀은 유동 IP로 부여 받기 때문에 방화벽자체에서 필터링이 불가하고, LTE 모뎀 자체에서 VPN으로 연결 할 수 없기 때문에 산업용 PC를 통하여 데이터를 취득하고, 산업용 PC와 클라우드 서버간 VPN으로 구성하여 데이터를 DB에 저장 할 수 있게 구성하였다.

한편 그림 5는 산사태 모니터링 운영프로그램의 화면을 나타낸 것으로 실시간 자료 전송 뿐만아니라 센서 및 통신상태도 실시간으로 확인이 가능하다. 또한 산사태 발생가능성을 평가할 수 있도록 모관흡수력과 강우에 대한 관리기준을 선정하여 산사태 예경보가 가능하도록 구성하였다. 산사태 모니터링 관리기준은 현장에서 측정되는 모관흡수력 혹은 체적함수비와 강우자료를 활용하여 선정하였다. 이를 위하여 국내 대표적인 지질조건에서의 풍화토를 대상으로 산사태 모형실험을 수행하여 불포화토의 무한사면 안전율이 1.0이하일 경우에 대한 한계모관흡수력을 산정하여 활용하고 있다. 강우자료는 과거 산립청의 산사태 발생기준을 적용하여 활용하고 있다. 본 산사태 모니터링 운영 프로그램에서는 현장에서 측정된 모관흡수력과 강우측정자료가 모두 해당 관리기준을 초과하는 경우 예경보가 가능하도록 구축하였다.

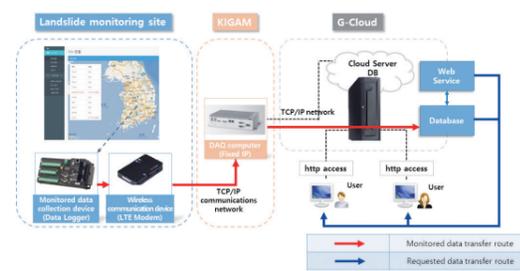


그림 7. 산사태 모니터링 시스템의 자료수집 및 전송

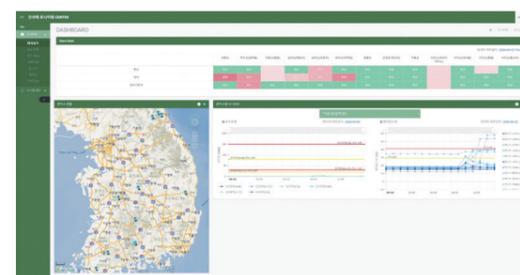


그림 8. 산사태 모니터링 시스템의 운영 프로그램

#### 4. 요약 및 결론

자연사면에서 산사태를 유발하는 강우 및 이로 인한 지반의 거동을 실시간으로 측정하고, 측정결과를 기반으로 산사태의 발생 가능성을 평가하여 현재 상태의 산사태 예경보가 가능한 산사태 모니터링 시스템을 개발하였다.

전국 8개 국립공원 내 자연사면 12개소에 모니터링 스테이션이 구축되었고, 실시간 강우 및 지반특성을 계측하기 위한 다양한 센서와 계측자료의 수집 및 전송을 위한 제반 장비들이 설치되었다. 국내의 대표적인 지질조건이라 할 수 있는 화강암, 편마암 및 퇴적암이 분포되어 있는 지역을 위주로 모니터링 스테이션을 선정하였다. 전국의 다수 모니터링 스테이션들로부터 전송되는 대량의 데이터들을 실시간으로 효율적으로 저장 및

관리하기 위해 클라우드 서버 기반의 산사태 모니터링 운영 프로그램을 개발하여 사용자에게 친환경적인 인터페이스를 조성하였다.

또한 산사태 발생가능성을 평가할 수 있도록 모관흡수력과 강우에 대한 관리기준을 선정하여 산사태 예경보가 가능하도록 구성하였다. 산사태 모니터링 관리기준은 현장에서 측정되는 모관흡수력 혹은 체적함수비와 강우자료를 활용하여 선정하였다. 이를 위하여 국내 대표적인 지질조건에서의 풍화토를 대상으로 한 산사태 모형실험 결과와 과거 산립청의 산사태 발생에 대한 강우기준을 적용하여 활용하고 있다. 따라서 실제 현장에서 측정된 모관흡수력과 강우의 측정자료를 이용하여 산사태 예경보가 가능하도록 구축하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국지질자원연구원 기본사업인 “실시간 도시지역 산사태 조기경보기술 및 지질환경 오염물질 위험관리기술 개발”과제의 일환으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- Cheon, D.J., Park, Y.J., Lee, S.H., Kim, J.S. and Jung, D.Y. 2013. The development of landslide predictive system using measurement information based on u-IT. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 14(10), 5115-5122. (In Korean with English abstract)
- Damiano, E., Olivares, L., Picarelli, L. 2012. Steep-slope monitoring in unsaturated pyroclastic soils, Engineering Geology, 137-138, 1-12.
- de Campos, T.M.P., Andrade, M.H.N., and Vargas, E.A., Jr. 1991. Unsaturated colluvium over rock slide in a forested site in Rio de Janeiro, Brazil, Proc. 6th Int. Symp. on landslides, Christchurch, New Zealand, 2, 1357-1364.
- Fredlund, D.G., Rahardjo, H. 1993. Soil mechanics for unsaturated soils. Wiley, New York.
- Godt, J.W., Baum, R.L., and Chleborad, A.F. 2006. Rainfall characteristics for shallow landsliding in Seattle, Washington, USA, Earth Surface Processes and Landforms, 31(1), 97-110.
- Godt, J.W., Baum, R.L., Lu, N. 2009. Landsliding in partially saturated material, Geophysical Research Letter, 36, L02403.
- Graziella, D., Ingeborg, K., Monica, S., Nils-Kristian, O., Ragnar, E., Erik, J. and Hervé, C. 2015. Landslide early warning system and web tools for real-time scenarios and for distribution of warning messages in Norway. In Engineering Geology for Society and Territory, 2, 625-629
- Harris, S.J., Orense, R.P., Itoh, K. 2012. Back analysis of rainfall-induced slope failure in



Northland Allochthon formation, *Landslides*, 9, 349-356.

Kim, K.S. and Song, Y.S. 2015. Geometrical and geotechnical characteristics of landslides in Korea for various geological conditions, *Journal of Mountain Science*, 12(5), 1267-1280.

Lee, M.J., Park, I., Won, J.S. and Lee, S., 2016. Landslide hazard mapping considering rainfall probability in Inje, Korea. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(1), 424-446.

Lu, N. and Godt, J. 2008. Infinite-Slope Stability under Steady Unsaturated Seepage Conditions, *Water Resources Research*, 44, W11404.

Lu, N., Wayllace, A., Oh, S. 2013. Infiltration-induced seasonally reactivated instability of a highway embankment near the Eisenhower Tunnel, Colorado, USA, *Engineering Geology*, 162, 22-32.

Manconi, A. and Giordan, D. 2015. Landslide early warning based on failure forecast models: the example of the Mt. de La Saxe rockslide, northern Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(7), 1639-1644.

Ng, C.W.W. and Shi, Q. 1998. A numerical investigation of the stability of unsaturated soil slopes subjected to transient seepage, *Computers and Geotechnics*, 22(1), 1-28.

Nuhn, E., Kropat, E., Reinhardt, W. and Pickl, S., 2012, Preparation of complex landslide simulation results with clustering approaches for decision support and early warning. *Proc. 45th Hawaii International Conference on System Sciences*, Hawaii, 1089-1096.

Park, J.Y., Lee, S.R., Lee, D.H., Kim, Y.T. and Lee, J.S. 2019. A regional-scale landslide early warning methodology applying statistical and physically based approaches in sequence, *Engineering Geology*, 260, No.105193.

Pradhan, A.M.S., Lee, S.R. and Kim, Y.T. 2019. A shallow slide prediction model combining rainfall threshold warnings and shallow slide susceptibility in Busan, Korea, *Landslides*, 16(3), 647-659.

Rahardjo, H., Leong, E.C., Rezaur, R.B. 2008. Effect of antecedent rainfall on pore-water pressure distribution characteristics in residual soil slopes under tropical rainfall, *Hydrological Process*, 22(4), 506-523.

Smith, J.B., Godt, J.W., Baum, R.L., Coe, J.A., Burns, W.J., Lu, N., Morse, M.M., Sener-Kaya, B., Kaya, M. 2014. Hydrologic monitoring of a landslide-prone hillslope in the Elliott State Forest, Southern Coast Range, Oregon, 2009-2012, U.S. Geological Survey Open-File Report 2013-1283

Song, Y.S., Chae, B.G. and Lee, J.T. 2016a. A method for evaluating the stability of an unsaturated slope in natural terrain during rainfall, *Engineering Geology*, 210, 84-92.

Song, Y.S., Cho, Y.C. and Hong, S. 2016b. Analyses on variations in the unsaturated characteristics of a mine waste-dump slope during rainfall, *Environmental Earth Sciences*, 75(14), No.1106.

Song, Y.S., Hong, W.P. and Woo, K.S. 2012. Behavior and analysis of stabilizing piles installed in a cut slope during heavy rainfall, *Engineering Geology*, 129-130, 56-67.

Song, Y.S., Chae, B.G., Kim, K.S., Park, J.Y., Oh, H.J. and Jeong, S.W. 2021. A landslide monitoring system for natural terrain in Korea: Development and application in hazard evaluations, *Sensors*, 2021(21), No.3040.

Walter, K. 2010. Development of an early warning information infrastructure using spatial web services technology, *International Journal of Digital Earth*, 3(4), 384-394.

Wolle, C.M. and Hachich, W. 1989. Rain-induced landslides in southeastern Brazil", *Proc. of the 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Roi de Janeiro, 1639-1644.

Zhang, L., Shi, B., Zhang, D., Sun, Y. and Inyang, H.I. 2020. Kinematics, triggers and mechanism of Majiagou landslide based on FBG real-time monitoring, *Environmental Earth Sciences*, 79, No.200



## 광역적 산사태-토석류 통합해석기법과 도심지 재해영향평가



**정 상 섬**  
연세대학교 건설환경공학과 교수



**홍 문 현**  
연세대학교 기후변화 적응형 사회기반시설연구센터 연구교수

### 산사태와 토석류

산사태는 강우, 지진 등에 의해 지반의 안정성이 저하되어 발생하며, 특히 강우에 의한 산사태는 모래, 자갈, 점토, 실트와 같은 토사와 물을 함유하여 토석류로 확장된다. 산지에서 발생한 토석류는 하류에 도달하여 인명과 재산을 파괴할 수 있으며, 최근 연구결과에 따르면 기후변화에 따른 이상기상현상으로 토석류의 발생과 영향이 증가하고 있다. 이렇듯 강우에 의한 산사태와 토석류는 그림 1과 같이 강우-침투, 산사태 발생, 토석류 확장, 퇴적에 이르는 과정에 걸쳐 발생한다.

강우에 의한 산사태는 지반의 습윤상태에 의한 토양의 전단강도 저하와 자중의 증가가 주요 발생요인이며, 습윤조건은 일반적으로 모관흡수력의 감소로 인한 지반의 유효응력 감소를 유발한다. 또한 이렇게 감소한 사면안정성은 토석류에 의한 하부지반의 연행침식작용을 증가시킬 것으로 판단된다. 토석류는 상류에서 발생한 산사태로부터 확장되어 나타나며, 토석류 경로를 따라 발생하는

연행침식작용은 토석류에 의한 하부지반의 침식으로부터 촉발된다. 이는 하류에 도달하는 토석류의 부피를 증가시켜 피해를 가중시키는 원인으로 작용한다.

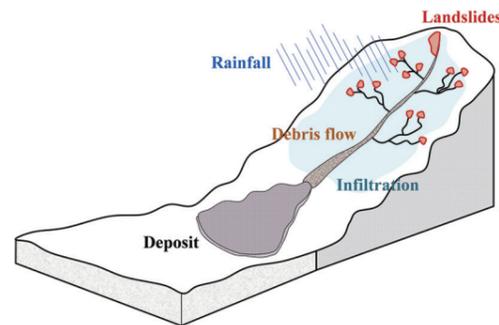


그림 1. 산사태-토석류 발생 과정

### 산사태-토석류 예측기술

산사태와 토석류를 예측하기 위한 해석기법은 국내외로 많은 연구가 진행되어왔다. 산사태 예측기술은 주로 안정성 평가를 위해 수행되었으며,

SINMAP, TRIGRS, YS-Slope과 같은 강우-침투와 사면안정해석을 연계한 해석기법이 개발되었다. 토석류 예측기술은 주로 유체유동모델을 기반으로 RAMMS, DAN3D, TOCHNOG, DMM, SCIDDICA s3-hex, FLO-2D 등의 해석기법이 개발되었다.

토석류는 산사태로부터 확장되어 발생하기 때문에 산사태와 토석류를 연계한 분석이 요구되어 일반적으로는 산사태 위험도 평가를 선행하여 그 결과를 토석류 흐름 해석에 적용하고 있으나, 이 과정에서 발생하는 여러 가정사항이 해석 결과에 영향을 미칠 가능성이 존재한다. 또한, 강우-침투에 의한 지반의 습윤상태는 산사태 발생뿐만 아니라 토석류에 의한 연행침식 작용에도 영향을 줄 것으로 판단되나 이러한 요인은 산사태와 토석류를 구분한 해석에서는 고려할 수 없는 한계가 있다.

### 산사태-토석류 통합해석기법

이러한 한계를 극복하기 위해 산사태-토석류 통합해석기법을 개발하였다. 본 해석기법 LANDFLOW는 그림 2와 같이 토석류 해석 시 강우-침투 해석과 산사태 안정해석의 결과가 토석류의 거동과 연행침식 작용에 연계되어 강우-침투, 산사태, 토석류에 이르는 일련의 과정에 대하여 실시간 강우를 반영한 일관된 해석이 수행될 수 있도록 구성되었다. 또한, 지리정보시스템 (Geographical Information System, GIS)을 기반으로 광역적 분석이 가능하다. 산사태 해석 결과로부터 산정된 토석류의 초기 체적에 기반하여 토석류 해석이 수행되며, 강우-침투 분석에 의해 추정된 습윤대에 의해 정의되는 사면의 습윤 조건은 토석류 해석의 초기 조건으로 적용되어 연행침식 분석에서 침식 깊이의 계산에 적용되도록 고려되었다.

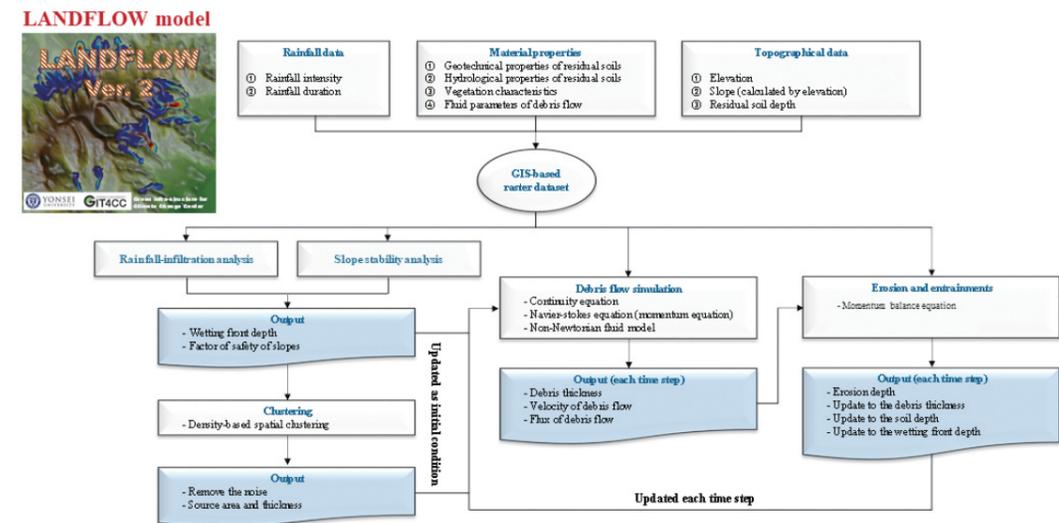


그림 2. LANDFLOW 모델 구성

산사태 예측모델에는 강우-침투 모델과 사면안정해석 모델을 기반으로 강우에 의한 산사태 예측방법을 적용하였다. 강우-침투 모델에는 Modified Green-Ampt 모델, Richard's infiltration 모델과 같은 침투모델을 적용하였으며 실시간 강우와 같이 시간경과에 따라 변화하는 강우를 고려한 침투해석으로 습윤대 깊이 ( $Z_w$ )를 산정할 수 있다.

사면안정해석은 무한사면파괴 모델로부터 안전율을 계산하여 수행되며, 그림 3과 같이 일반적인 무한사면파괴 모델에서 습윤대 조건 및 식생하중과 뿌리에 의한 저항력이 함께 고려되었다. 안전율은 식 (1)과 같이 계산되며, 안전율이 1보다 작은 경우 사면파괴가 발생한 것으로 정의하였다.

$$FS = \frac{(c'_s + c'_r) + ((\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot Z_w + q_0) \cos^2 \beta \cdot \tan \phi'}{(\gamma_{sat} \cdot Z_w + q_0) \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta} \quad (1)$$

여기서,  $c'_s$ 는 지반의 점착력,  $c'_r$ 은 식생뿌리에 의한 저항력,  $\gamma_{sat}$ 는 지반의 포화단위중량,  $\gamma_w$ 는 물의 단위중량,  $q_0$ 는 식생 하중,  $\delta$ 는 사면의 경사,  $\phi'$ 은 지반의 내부마찰각을 의미한다.

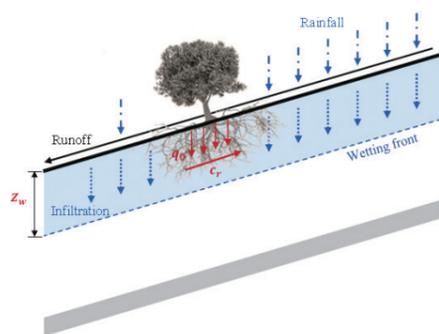


그림 3. 무한사면파괴모델에 의한 사면안정 분석

토석류 흐름해석은 Navier-Stokes 방정식을 심도 평균화하여 도출된 지배방정식을 기반으로 수행되며, 광역적 3D (혹은 semi-3D) 시뮬레이션인 것에 비해 계산 시간을 줄임으로써 대규모 토석류

해석을 용이하게 하였다. 본 해석기법에서는 토석류의 구성요소를 고체와 유체로 구분하였으며, 각 요소에 해당되는 지배방정식은 아래와 같다.

<Continuity equations - mixture-solid>

$$\frac{\partial h \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (h \rho v_x) + \frac{\partial}{\partial y} (h \rho v_y) = -\rho_b \frac{\partial z_b}{\partial t} \quad (2)$$

$$\frac{\partial h c_s}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (h c_s v_{s,x}) + \frac{\partial}{\partial y} (h c_s v_{s,y}) = -c_{bs} \frac{\partial z_b}{\partial t} \quad (3)$$

<Navier-Stokes momentum equations - mixture>

$$\frac{\partial h \rho v_x}{\partial t} + \frac{\partial h \rho \alpha_x v_x v_x}{\partial x} + \frac{\partial h \rho \alpha_x v_x v_y}{\partial y} = -\frac{\partial h \bar{p}}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{\tau}_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{\tau}_{xy}}{\partial y} - p_b \frac{\partial z_b}{\partial x} + \omega \tau_{s,b,x} \quad (4)$$

$$\frac{\partial h \rho v_y}{\partial t} + \frac{\partial h \rho \alpha_x v_x v_y}{\partial x} + \frac{\partial h \rho \alpha_y v_y v_y}{\partial y} = -\frac{\partial h \bar{p}}{\partial y} + \frac{\partial h \bar{\tau}_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{\tau}_{yy}}{\partial y} - p_b \frac{\partial z_b}{\partial y} + \omega \tau_{s,b,y} \quad (5)$$

여기서,  $h$ 는 토석류 높이,  $\rho$ 는 토석류의 밀도,  $\rho_b$ 는 연행침식에 의한 토석류의 밀도,  $c_s$ 는 고체 체적 비율,  $c_{bs}$ 는 연행침식에 의한 고체 체적 비율,  $v_k$  및  $v_{s,k}$ 는 k축 방향의 토석류 속도,  $z_b$ 는 지표면 높이,  $\alpha_m$ 은 운동량 보정계수,  $\bar{\tau}_{xy}$ 는 심도평균 전단강도,  $\bar{p}$ 는 심도평균 압력,  $p_b$ 바닥면 압력,  $\tau_{b,k}$ 는 k축 방향의 바닥면 마찰,  $w$ 는 바닥면 너비를 의미한다.

본 해석기법은 토석류에 의한 사방댐, 구조물 등에 작용하는 충격력을 산정하기 위해 그림 4와 같이 토석류의 충격력( $\vec{F}$ )을 정하중 ( $\vec{F}_o$ , Static force)과 동하중 ( $\vec{F}_d$ , Dynamic force)으로 구분하여 식 (6)~(8)과 같이 계산한다.

$$\vec{F}_d = \frac{d\vec{P}}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m \frac{d(h_{dynamic})}{dt} \quad (6)$$

$$\vec{F}_o = \frac{1}{2} K_0 \cdot \gamma_t \cdot h_{static}^2 \cdot \cos \theta \quad (7)$$

$$\vec{F} = \vec{F}_d + \vec{F}_o \quad (8)$$

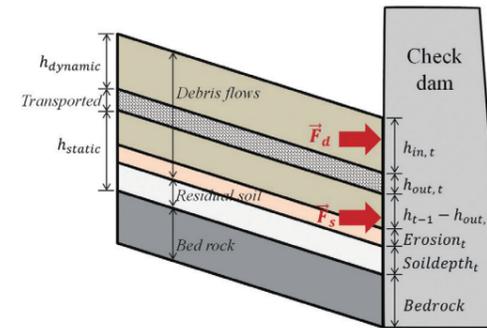


그림 4. 토석류에 의한 충격력 산정

본 통합해석기법은 2019년에 개발되어 국내외 주요 학술지에 게재되어 우수성을 인정받았다. 또한, 성능 및 정확도 향상을 위한 개발을 지속하였으며, 최근 상용화 작업에 착수하여 산사태와 토석류에 의한 재해영향평가에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

### 광역적 산사태-토석류 통합해석 적용

<실 규모 토석류 시험 (Iverson et al. 2011)>

Iverson et al. (2011)은 그림 5와 같이 길이 95m, 폭 2m의 다양한 함수비 조건을 갖는 토사와 물의 혼합물을 사용하여 8회의 현장규모 실험을 수행했다. 6m3의 체적을 갖는 약 56%의 자갈, 37%의 모래 및 7%의 점토로 구성된 토사가 Head gate에서 배출되어 침식 가능한 12cm의 퇴적토 위로 흘러내렸다. 퇴적토의 평균 두께는 12cm이며 Head gate로부터 6m 지점에서 53m까지 덮고 있다. 이와 동일한 조건으로 그림 6과 같이 수치모델링을 구축하였으며, 본 해석기법에 적용된 토석류 및 연행침식 해석기법을 검증하기 위해 관측 결과와 수치해석 결과를 비교하였다.



그림 5. 실 규모 토석류 시험 전경 (Iverson et al. 2011)

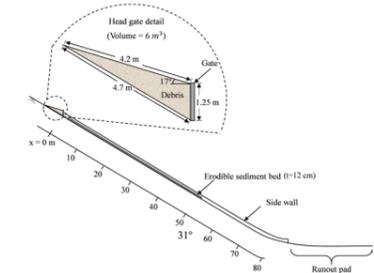


그림 6. 실 규모 토석류 시험 수치해석 모델링

시간 경과에 따른 토석류 위치를 비교하면 그림 7, Runout pad에 퇴적된 토석류의 형상 비교결과는 그림 8, 60m에서 70m의 토석류의 속도, 체적 및 운동량 비교결과는 그림 9와 같다. 실 규모 시험 및 수치해석은 퇴적토의 함수비를 변동요인으로 결과를 비교하였으며, 함수비가 증가할수록 토석류의 속도 및 체적이 증가하는 것으로 나타났다. 관측 결과와 수치해석 결과를 비교한 결과, 시간 경과에 따른 토석류의 위치, 토석류의 속도, 체적 및 운동량 모두 유사하게 나타났다.

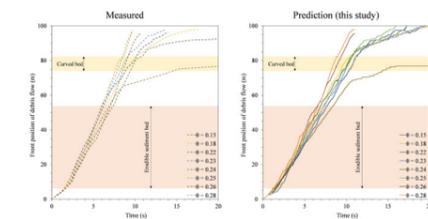


그림 7. 실 규모 시험-수치해석 비교 (토석류 위치)

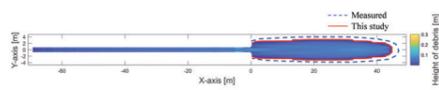


그림 8. 실험 규모 시험-수치해석 비교 (토석류 퇴적 형상)

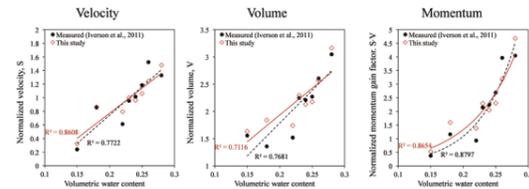


그림 9. 실험 규모 시험-수치해석 비교 (토석류 속도, 체적, 운동량)

<광역적 산사태-토석류 연계해석 (우면산 산사태)>

2011년 7월 27일 서울 우면산에서 발생한 산사태는 그림 10과 같이 산지 전반에 걸쳐 광역적으로 발생하여 많은 인명과 재산피해를 발생시켰다. 산사태 발생 직전인 26일 오후 6시부터 27일 오전 9시까지 발생한 누적강우량은 그림 11과 같이 우면산 인근의 두 관측소에서 각각 424.5mm (남현 관측소), 364.5mm (서초 관측소)로 기록되었으며, 이를 산사태-토석류 연계해석의 입력강우로 적용하였다.

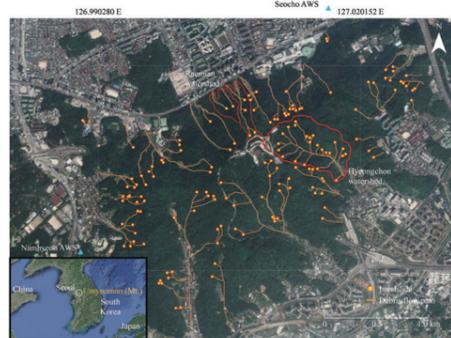


그림 10. 우면산 산사태 (2011년 7월 27일 발생)

지형 및 토심은 그림 12와 같이 DEM 자료와 시추정보를 활용하여 구축하였으며, 기존 연구결과로부터 얻은 자료를 바탕으로 표 1과 같이 입력변수를 결정하였다.

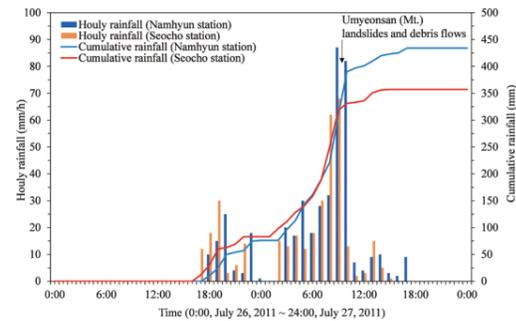


그림 11. 우면산 산사태 강우 기록 (남현, 서초 관측소)

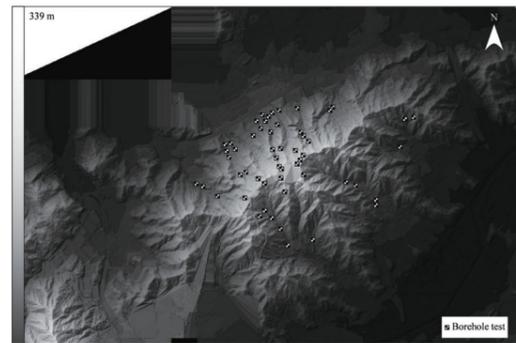


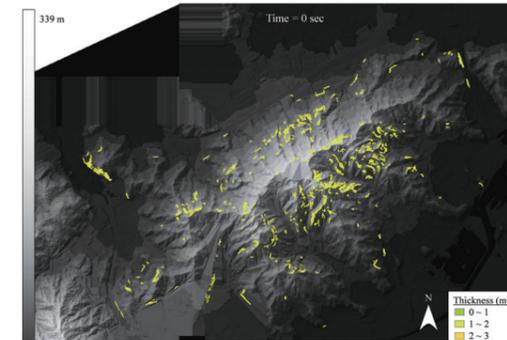
그림 12. 우면산 DEM 및 시추위치

표 1. 우면산 수치해석 입력변수

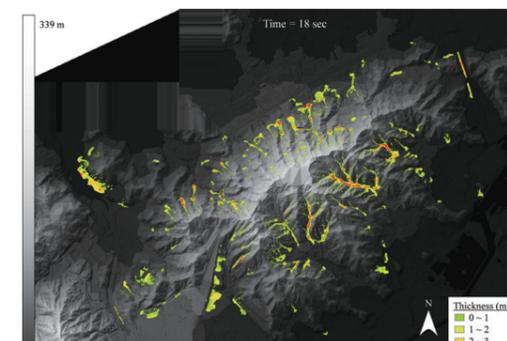
Contents		Data and value
Rainfall data		Rainfall record
		Based on DEM
Topographical data	Slope <sub>c</sub> (°)	
	Soil depth (m)	1.71 ~ 3.85 m (From borehole)
	Dry unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	17
	Saturated unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	19
	Cohesion (kPa)	11.7
	Inter friction angle <sub>c</sub> (°)	25.3
Soil properties	Initial dynamic viscosity (Pars)	0.1 (back-analyzed)
	Permeability (m/sec)	8×10 <sup>-6</sup>
	Head of matric suction (m)	0.83
	Deficit water content (%)	30
	Root cohesion (kPa)	1.0
	Tree load (kN)	0.253
Vegetation properties		

해석 결과는 그림 13과 같다. 산사태 발생(Time=0)으로부터 약 36초 경과 시 대부분의 유역에서 토석류가 하류에 도달하는 것으로 나타났다. 본 해석 결과는 당시 발생한 산사태 및 토석류와 비교하여 정량적으로 분석되었다. 일반적인 지반조사 수준의 조사가 진행되어 입력자료가 구축된 경우 70~80%의 정확도를 보여주었으며, 입력변수의 신뢰도가 매우 낮은 경우 20~30%의 정확도를 기대할 수 있다. 또한, 형촌마을 유역의 토석류 발생 체적을

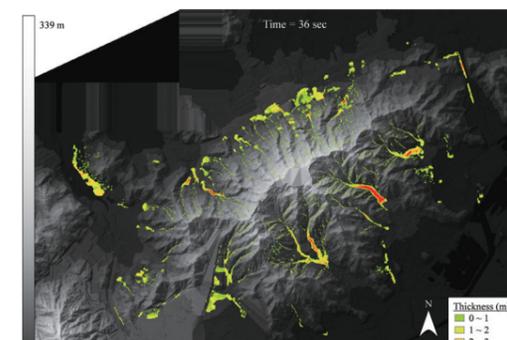
분석한 결과 LiDAR DEM 비교를 통해 계산된 결과 (32,480 m<sup>3</sup>)와 매우 유사한 결과 (33,351 m<sup>3</sup>)를 보여주었다.



(a) t = 0 sec



(b) t = 18 sec



(c) t = 36 sec

그림 13. 우면산 산사태-토석류 통합해석 수행 결과

### 산사태-토석류 통합해석기법을 활용한 도심지 재해영향평가

산사태 및 토석류에 의한 도심지 재해영향평가를 위해서는 대상지역 인근 산지(사면)의 산사태 위험도 평가, 토석류에 의한 피해규모 및 확산범위 산정을 포함한다. 이를 위해 본 통합해석기법을 적용할 수 있으며, 재해방지대책 수립을 위한 시뮬레이션을 수행할 수 있다.

<산사태-토석류 통합해석 및 재해영향평가 예시>

대상지역은 그림 14와 같이 서울특별시 서대문구에 위치한 자연산지로 도심지와 매우 인접하여 재해 발생 시 인명 및 재산피해가 예상된다.

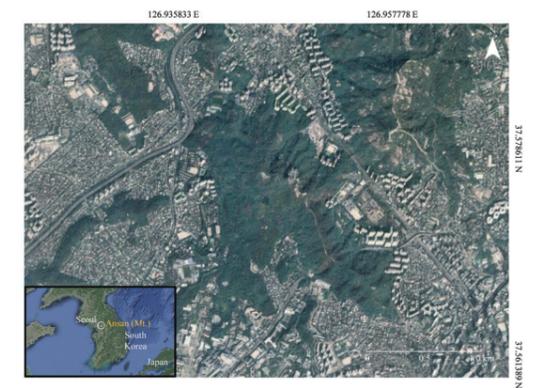


그림 14. 해석 대상지역 (서대문구 안산)

대상지역 모델링을 위해 그림 15와 같이 표고, 경사와 같은 지형정보와 시추자료 및 현장조사 결과를 참고하여 토심자료를 구축하였다. 또한, 현장 지반조사 결과를 활용하여 표 2와 같이 입력변수를 결정하였다. 강우 입력자료는 서울시 확률강우량 산정결과를 활용하여 50년 빈도, 24시간 지속시간의 확률강우강도 16.6mm/h를 적용하였다.

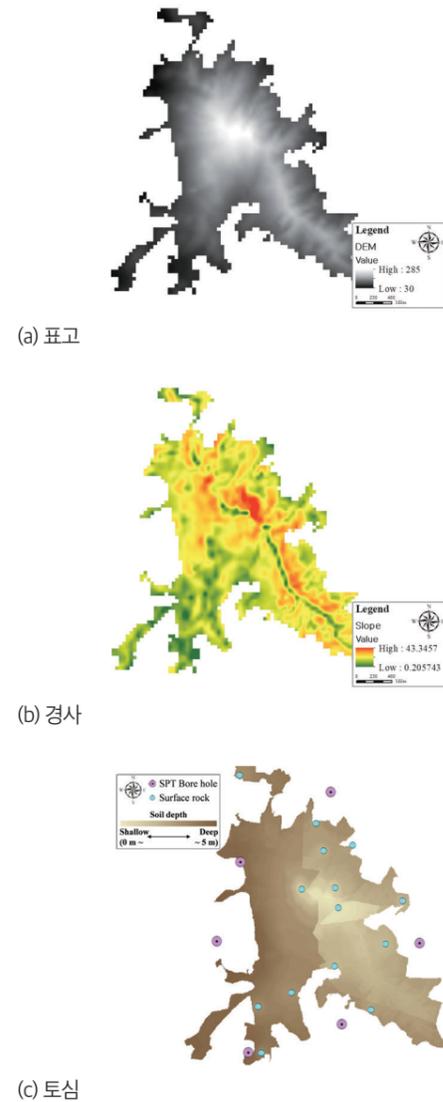


그림 15. 해석 대상지역 지형 및 토심

표 1. 우면산 수치해석 입력변수

Rainfall data	Slopes( $\alpha$ )	Probability rainfall (design rainfall)
Topographical data	Soil depth (m)	Fig. 15b
	Dry unit weight ( $kN/m^3$ )	Fig. 15c
	Saturated unit weight ( $kN/m^3$ )	17.5
	Cohesion (kPa)	19
	Inter friction angle( $\phi$ )	4.3
Soil properties	Initial dynamic viscosity (Pars)	35.2
	Permeability (m/sec)	0.1 (back-analyzed)
	Head of matric suction (m)	$3.23 \times 10^{-6}$
	Deficit water content (%)	0.8
Vegetation properties	Root cohesion (kPa)	45
	Tree load (kN)	0.5
		0.1

산사태-토석류 통합해석 결과, 그림 16a 같이 산사태 위험도 평가 결과로부터 산정된 토석류 초기위치로부터 토석류 확산 범위를 산정하였으며, 피해 규모는 토석류 초기체적  $436m^3$ 에서 연행침식작용에 의해 약  $2,005m^3$ 까지 증가하는 것으로 나타났다. 본 수치해석 결과를 참고하여 재해방지대책으로 토석류 확산경로에 높이 4m의 사방담을 모델링하여 기존 시뮬레이션 결과와 비교하였으며, 사방담 설치 시 토석류 확산범위는 그림 16b와 같다. 시간경과에 따른 토석류의 체적변화는 그림 17과 같고, 사방담 설치 시 토석류의 최대 체적은 약  $1,081m^3$ 으로 기존  $2,005m^3$ 과 비교하여 약 46% 감소시킬 수 있는 것으로 나타났으며, 사방담에 의한 토석류 확산방지효과를 확인할 수 있다. 사방담에 작용하는 하중은 식 (6)~(8)과 같이 동하중과 정하중의 합으로 계산되어 그림 17에 도시하였다.

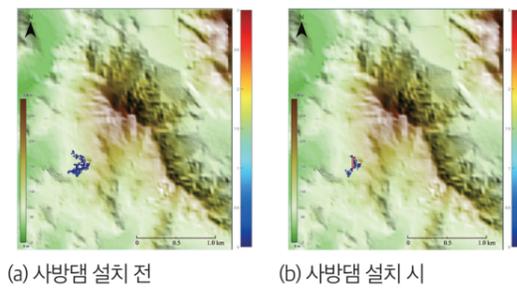


그림 16. 토석류 확산범위

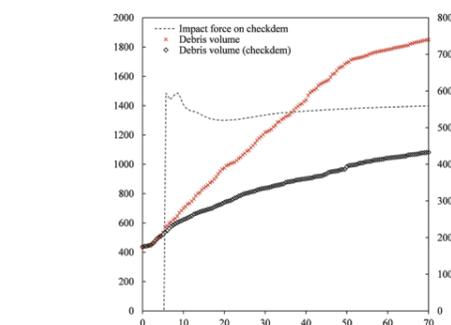


그림 17. 토석류 체적 및 사방담 작용하중

### 결언

우리나라는 국토의 70% 이상이 산지로 이루어져 필연적으로 산지와 인접한 지역의 개발이 강제된다. 또한, 우리나라 기후 특성은 여름철 집중호우가 잦고 기후변화에 따라 강우량이 증가될 것으로 전망된다. 이에 따라 미래의 산사태-토석류와 같은 기반재해의 영향과 그에 의한 사회·경제적 위험성이 증대되고 있다.

오늘 소개된 산사태-토석류 통합해석기법 LANDFLOW는 이러한 문제를 해결하고 기존에 개발되어 사용되고 있는 해외 해석기법의 한계점을 보완하는 수치해석 프로그램으로 산사태-토석류에 의한 재해를 사전에 예측하고 강우조건에 따른 시뮬레이션을 통해 재해에 의한 도심지 영향 평가 및 피해범위 예측뿐만 아니라 재해방지대책 수립에도 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

# 재해영향평가 사면안정성검토에서 산사태-토석류 연계해석 활용방안



**엄 관 용**  
(주)경보기술단 대표이사



**탁 원 준**  
(주)경보기술단 대리

## 1. 서론

최근 기후변화로 인해 규모가 큰 태풍 및 국지성호우가 자주 발생하며 강우패턴이 변화하면서 2020년도에는 장마기간 54일을 기록하며 역대 최장기간의 장마, 2021년도에는 39년만에 7월 장마가 시작되는 등 재해적 불안요소들이 증가하는 추세이다. 이에 강우와 밀접한 산사태 및 토석류 등 산지재해 역시 큰 위협성에 노출되고 있는 시점이다. 국내에서는 우면산 산사태 이후 2017년 7월 16일 청주시에서는 최대 시간당 91.8 mm/hr 강우량을

기록하면서 산사태로 인해 인명피해가 발생하는 등 충청 지역에 산사태 피해면적이 56.84ha로 조사되었는데 이는 2016년에 발생한 산사태 피해면적인 54ha를 뛰어넘는 수치로 조사되었다. 또한 2019년 태풍 미탁에 의해 부산, 삼척 등 산사태 및 토석류가 곳곳에서 발생하여 인명 및 재산피해가 발생하였으며 2021년에는 7월 장마전선으로 인해 일본 시즈오카현 아타미시 이즈산에 유속 30km/s, 유동심 4~5m를 기록하는 토석류가 발생하며 하류부의 건물 약 130채와 20명이 넘는 사망·실종이 발생하여 큰 피해를 일으켰다.



그림 1. 전국 산사태 피해 및 복구비

피해현황(중앙안전재난대책본부 피해복구계획서)



2017년 청주 산사태 및 토석류 피해 (YTN, 2017)



2019년 부산 산사태 및 토석류 피해 (연합뉴스, 2019)



2019년 삼척 산사태 및 토석류 피해 (연합뉴스, 2019)



2021년 일본 산사태 및 토석류 피해 (조선일보, 2021)

그림 2. 국내외 산사태 및 토석류 피해현황

더불어 산지재해 위험성을 증가시키는 요인 중에는 주택 및 도로건설 등으로 인한 산지의 무분별한 개발이 주된 원인이 되며, 안전 설계기준에 벗어난 성토 및 절토, 산지를 포함하고 있는 주택단지를 개발함에 있어 산사태 및 토석류의 위험성을 불러오고 있다. 일반적으로 산지에서 일어나는 개발행위에는 인공사면, 옹벽 및 축대 등의 건축물이 설계되어 사면의 안정성을 계획하고 있지만, 기존의 자연사면을 개발의 목적으로 인해 시설물들이 계획되는 자체의 행위가 위험성을 증가시킬 수 밖에 없는 큰 이유 중 하나이다. 한국에서 발생하는 토석류는 일반적으로 산사태가 확장되어 나타나는 경향을 보이고 있다. 산사태는 강우가, 지진 등에 의해 지반의 안정성이

저하되어 발생하며, 특히 강우에 의한 산사태는 모래, 자갈, 점토, 실트와 같은 토사와 물을 함유하여 토석류로 확장된다. 토석류는 주로 얇은 사면파괴에 의한 산사태와 연관되며, 이는 토석류의 발생이 선행되는 산사태로부터 시작되기 때문이다. 토석류의 해석은 산사태 발생에 따른 초기 체적이 경사면을 따라 흘러내리는 것을 모사하여 수행되며, 이를 위해서 산사태 발생 예측이 선행되어야 한다(정상섭 & 홍문현, 2019). 이 글에서는 재해영향평가에서 수행되는 사면안정성 검토에서 토석류 위험성 해석 및 사업지구에 유입되는 토사량 산정을 위해 산사태-토석류 연계해석 모델(LANDFLOW)의 활용방안을 소개하고자 한다.



## 2. 재해영향평가 실무지침에 따른 토석류 피해분석 및 토사량 산정의 방법론

### 가. 재해영향평가에서 사면안정검토시 토석류 해석 방법론

재해영향평가에서 사면안정성 검토에서 토석류 해석은 「재해영향평가등의 협의 실무지침(2021.01, 행정안전부)」에 근거하여 실시한다. 토석류 해석을 실시하기 이전에 실무지침에서 제시하는 평가대상지역선정 기준에 의해 토석류 위험지역을 선정하고, 현장조사를 통해 토석류 취약지역 판정표를 사용하여 위험 등급을 산정한다. 이때 토석류의 위험 등급은 총 4개의 등급으로 분류되며, 1~2등급을 토석류의 발생 가능성이 높은지역, 3~4등급을

토석류의 발생가능성이 낮은 지역으로 결정된다. 앞에서 서술한 토석류 취약지역 판정표를 이용하여 토석류 재해위험도 평가결과 1~2등급의 위험지역들을 대상으로 토석류 해석을 실시한다<그림 3>.

현재 자연사면의 광역적인 산사태 위험도 평가는 「재해영향평가등의 협의 실무지침(2021.01, 행정안전부)」에 근거하여 무한사면분석기법을 기반으로 하는 SINMAP 등 을 권고하고 있으며, 토석류 해석은 2D 유한차분모델인 FLO-2D 등 권고하고 있다.

물론 산사태 위험평가 모델인 SINMAP 이나 토석류 위험평가 모델인 FLO-2D를 이용한 국내·외 수많은 연구사례들이 있지만 이는 산사태나 토석류의 위험성을 높은 신뢰성 및 정도를 가지는

분석결과를 추출하기에는 어려움이 있다. 이는 각각의 위험요인 및 특성이 다른 유역을 해석하는데 있어 기존의 해석모형을 사용함으로써 엔지니어가 고려하고자 하는 변수에 한계가 발생하는 것이며, 신뢰성 및 정도가 높은 위험성 해석을 수행하는데 한계가 있다는 것을 뜻한다. 또한 국내·외 토석류를 해석하기 위해 사용되는 수치해석 모형들을 살펴본 결과 <표 1>과 같은 특징을 볼 수 있었다. 토석류를 해석하기 위해 사용되는 기존모형들은 산사태-토석류의 연계해석이 아닌 산사태 위험도평가를

선행하여 분석한 결과를 토석류 흐름해석에 적용하고 있어, 이 과정에서 발생하는 여러 가정사항이 해석결과에 영향을 미칠 가능성이 존재한다. 강우-침투에 의한 지반의 습윤상태는 산사태 발생뿐만 아니라 토석류에 의한 연행침식 작용에도 영향을 줄 것으로 판단되나 이러한 요인은 산사태와 토석류를 구분한 해석에서는 고려할 수 없는 한계가 있으며, 토사량은 연행침식이 고려되지 않아 토석류 발생시 피해지역으로 유입되는 토사량이 실제 발생 토사량보다 적게 산정되는 문제점도 발생할 수 있다.

표 1. 국내·외 토석류 수치해석 모형 비교(홍문현, 2019)

해석기법	분류	유동학모델	연행침식모델	초기 토사체적	초기습윤조건
RAMMS	Continuum integrated	고려	침식메커니즘	가정	미고려
DAN3D	Continuum integrated	고려	침식비율정의	가정	미고려
TOCHNOG	Continuum integrated	고려	침식메커니즘	가정	미고려
3dDMM	Continuum integrated	고려	침식비율정의	가정	미고려
MassMov2D	Continuum integrated	고려	침식비율정의	가정	미고려
SCIDDICA s3-hex	Cellular automata	미고려	침식메커니즘	가정	미고려
FLO-2D	Continuum integrated	미고려	미고려	가정	미고려

1 - 평가대상선정에 따른 기초현장 조사	
재해영향평가 토석류 평가대상지역 선정기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 과거 토석류가 발생한 사면</li> <li>- 급경사지로 관리되고 있는 자연사면, 급경사지 기준에 해당되는 사면(자연사면의 경우 높이가 50m 이상이고 경사도가 34°이상인 사면), 산사태 위험지도에서 등급이 높은(1, 2등급)인 자연사면 등 3가지 조건에 하나라도 해당되며 평가 대상지역이 계곡지형내에 위치하는 경우</li> <li>- 황폐지화가 우려되거나 진행중 또는 이미 진행된 지역</li> <li>- 계류의 침식 등이 우려되거나 진행중 또는 진행된 지역</li> <li>- 계류의 경사 급한 지역 또는 토석·나무 등의 유출이 우려되거나 진행중인 지역</li> </ul>
2 - 토석류 재해위험도 평가	
토석류 취약지역 판정표	- 토석류 취약지역 판정표에서 1, 2등급으로 판정시 토석류 해석 실시
3 - 토석류 해석 및 재해영향 검토	
토석류 모델링을 이용한 정량적 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 토석류의 흐름유형 표기(earth flow, debris flow, rock avalanche 등)</li> <li>- 2차원 유한차분 모델인 FLO-2D 등 사용 권고</li> </ul>

그림 3. 재해영향평가지 토석류 해석 순서도 (재해영향평가등의 협의 실무지침(2021.01, 행정안전부))

### 나. 재해영향평가에서 토사유출량 증가량 해석 방법론

재해영향평가에서 토사유출량 증가량 분석은 「재해영향평가등의 협의 실무지침 (2021.01, 행정안전부)」에 근거하여 원단위법, RUSLE(Revised Universal Soil Loss Equation, 수정 범용 토양 손실 공식), 미국교통연구단 (Transportation Research Board, TRB) 등을 권고하고 있다. 이중에서도 주로 RUSLE 방법을 주로 채택하여 토사유출량 증가량 분석을 실시하고 있다. RUSLE를 이용하여 대상지역 개발단계에 따른 토사유출량을 산정하고 저감대책을 수립하고 있지만, 극한 이벤트의 산사태 및 토석류에 의해 재해영향평가 대상지역으로 유입되는 토사량을 고려하지 못하고, 빗물과 산사태로 발생한 침식, 침전, 퇴적의 토양유실 증감효과를 반영하지 못해 유역 전체의 개략적인 토사량을 산출하는 수준이며 정확도가 떨어진다는 문제점이 있다(채병곤 & 김만일, 2011).

### 3. 토사유출량 증가에 따른 산사태-토석류 연계해석 통합모형의 사용방향

#### 가. 산사태-토석류 연계해석(LAND FLOW) 기법 제안

앞서 서술한 기존 산사태 및 토석류 해석의 한계를 극복하기 위해 본 장에서는 산사태-토석류 통합해석기법을 제안하고자 한다. LANDFLOW는 <그림 4>와 같이 토석류 해석시 강우-침투 해석과 산사태 안정해석의 결과가 토석류의 거동과 연행침식 작용에 연계되어 강우-침투, 산사태, 토석류에 이르는 일련의 과정에 대하여 실시간 강우를 반영한 일관된 해석이 수행될 수 있도록 구성되어 있다. 산사태 해석 결과로부터 산정된 토석류의 초기 체적에 기반하여 토석류 해석이 수행되며, 강우-침투 분석시 추정된 습윤대에 의해 사면의 습윤조건은 토석류 해석의 초기 조건으로 적용되어 연행침식 분석에서 침식깊이의 계산에 적용되도록 고려되었다(홍문현, 2019).

산사태 예측모델에는 강우-침투 모델과 사면안정해석 모델을 기반으로 강우에 의한 산사태 예측방법을 적용하였다. 강우-침투 모델에는 Modified Green-Ampt 모델, Richard's infiltration 모델과 같은 침투모델을 적용하였으며 실시간 강우와 같이 시간경과에 따라 변화하는 강우를 고려한 침투해석으로 습윤대 깊이 ( $Z_w$ )를 산정할 수 있다.

사면안정 해석은 무한사면파괴 모델로부터 안전율을 계산하여 수행되며, 그림 3과 같이 일반적인 무한사면파괴 모델에서 습윤대 조건 및 식생하중과

뿌리에 의한 저항력이 함께 고려되었다. 안전율은 식 (1)과 같이 계산되며, 안전율이 1보다 작은 경우 사면파괴가 발생한 것으로 정의하였다.

토석류 흐름해석은 Navier-Stokes 방정식을 심도 평균화하여 도출된 지배방정식을 기반으로 수행되며, 광역적 3D (혹은 semi-3D) 시뮬레이션인 것에 비해 계산 시간을 줄임으로써 대규모 토석류 해석을 용이하게 하였다. 본 해석기법에서는 토석류의 구성요소를 고체와 유체로 구분하였으며, 각 요소에 해당되는 지배방정식은 아래와 같다.

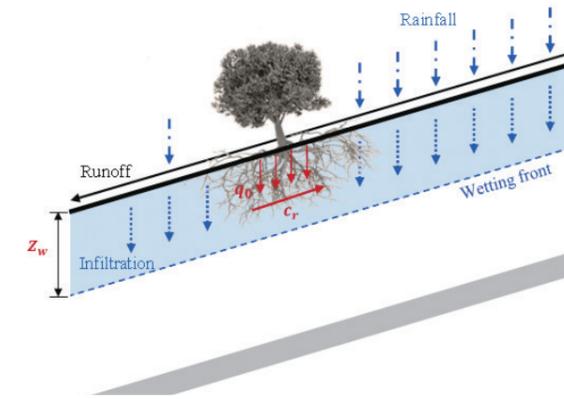


그림 5. 무한사면파괴 모델의 사면안정 분석 개념도

$$FS = \frac{(c'_s + c'_r) + ((\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot Z_w + q_0) \cos^2 \beta \cdot \tan \phi'}{(\gamma_{sat} \cdot Z_w + q_0) \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta} \quad (1)$$

<Continuity equations - mixture-solid>

$$\frac{\partial h\rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(h\rho v_x) + \frac{\partial}{\partial y}(h\rho v_y) = -\rho_b \frac{\partial z_b}{\partial t} \quad (2)$$

$$\frac{\partial hc_s}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(hc_s v_{s,x}) + \frac{\partial}{\partial y}(hc_s v_{s,y}) = -c_{bs} \frac{\partial z_b}{\partial t} \quad (3)$$

<Navier-Stokes momentum equations - mixture>

$$\frac{\partial h\rho v_x}{\partial t} + \frac{\partial h\rho \alpha_m v_x v_x}{\partial x} + \frac{\partial h\rho \alpha_m v_x v_y}{\partial y} = -\frac{\partial h\bar{p}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{\tau}_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{\tau}_{yx}}{\partial y} - p_b \frac{\partial z_b}{\partial x} + \omega \tau_b f_{b,x} \quad (4)$$

$$\frac{\partial h\rho v_y}{\partial t} + \frac{\partial h\rho \alpha_m v_x v_y}{\partial x} + \frac{\partial h\rho \alpha_m v_y v_y}{\partial y} = -\frac{\partial h\bar{p}}{\partial y} + \frac{\partial h\bar{\tau}_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{\tau}_{yy}}{\partial y} - p_b \frac{\partial z_b}{\partial y} + \omega \tau_b f_{b,y} \quad (5)$$

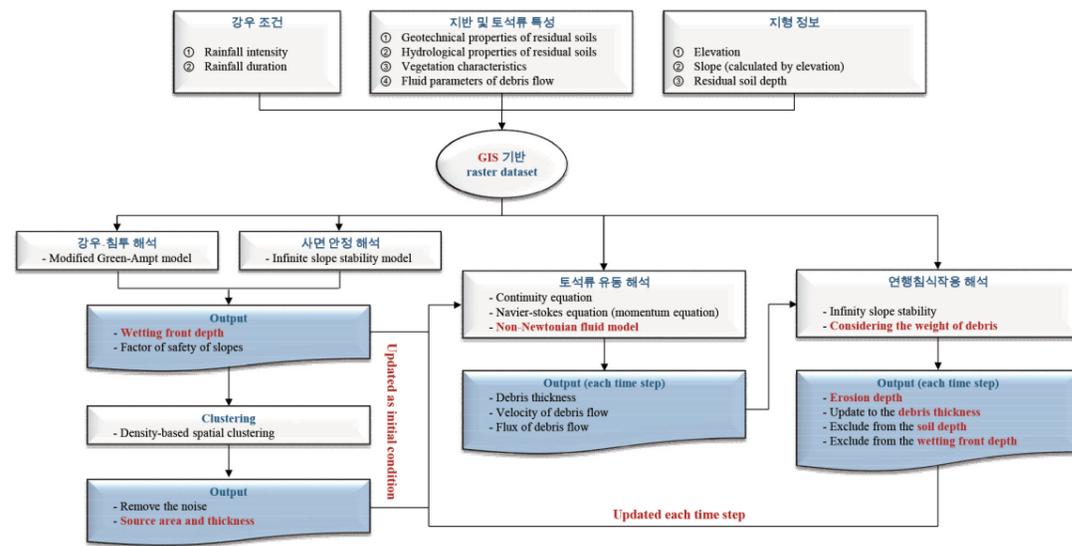


그림 4. LANDFLOW 모형 흐름도(홍문현, 2019)

여기서,  $h$ 는 토석류 높이,  $\rho$ 는 토석류의 밀도,  $\rho_b$ 는 연행침식에 의한 토석류의 밀도,  $c_s$ 는 고체 체적 비율,  $c_{bs}$ 는 연행침식에 의한 고체 체적 비율,  $v_k$  및  $v_{s,k}$ 는 k축 방향의 토석류 속도,  $z_b$ 는 지표면 높이,  $\alpha_m$ 은 운동량 보정계수,  $\bar{\tau}_s$ 는 침도평균 전단강도,  $\bar{p}$ 는 침도평균 압력,  $p_b$ 바닥면 압력,  $\tau_{b,k}$ 는 k축 방향의 바닥면 마찰,  $w$ 는 바닥면 넓이를 의미한다.

또한, LANDFLOW 모형의 신뢰성을 높이기 위해 실규모 토석류 실험(Iverson et al., 2011)과 동일한 조건으로 수치해석 모델링을 구축하여 수치해석 결과를 비교하였으며<그림6>, 실험결과와 수치해석 비교결과, 시간경과에 따른 토석류의 위치, 속도, 체적 및 운동량 모두 유사하게 나타나 본 모형의 신뢰도를 검증하였다<그림 7>.

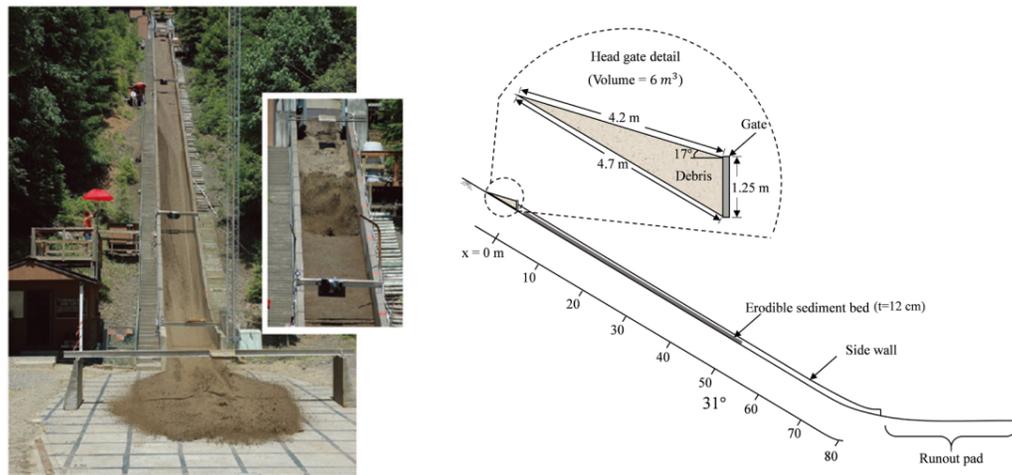


그림 6. 실규모 토석류 실험 전경(좌), 실규모 토석류 실험 수치해석 모델링(우)

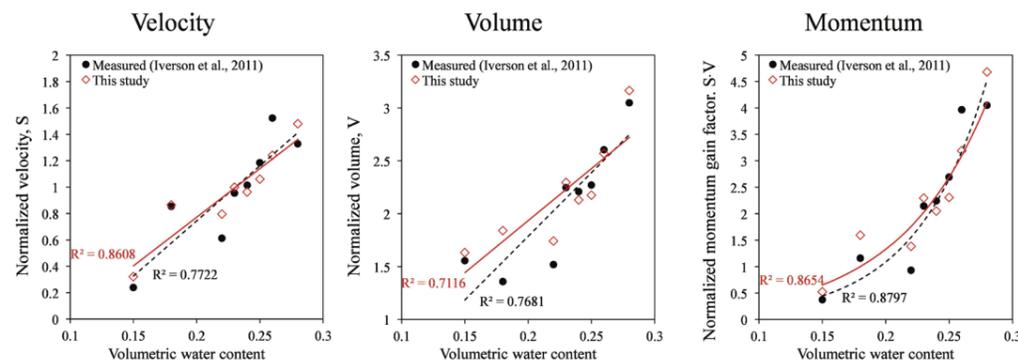


그림 7. 실규모 실험-수치해석 비교 (토석류 속도, 체적, 운동량)

#### 4. 결론 및 향후 재해영향평가 사면 및 토사재해 해석을 위한 방재적 고찰

재해영향평가에서는 재해유형별(하천, 내수, 사면, 토사, 해안, 바람, 기타 등) 다양한 방재분야의 재해영향평가를 수행하고 이에 따른 저감대책 수립 및 저감 방안을 제안한다. 이 중에서도 사면, 토사 재해에 해당하는 산사태 및 토석류 위험성 분석, 토사유출량 증가량 분석의 신뢰성 및 정도 높은 분석결과를 얻기 위하여 산사태-토석류 연계해석 모형인 "LANDFLOW"의 활용방안을 제안하였다. 「재해영향평가등의 협의 실무지침(2021.01, 행정안전부)」은 다양한 분석방법들을 제시하고, 재해영향평가시 기본 프로세스를 구축하고 있지만, 실질적으로 홍수량 유출량 증가량 저감 등 하천 및 내수재해에 큰 비중이 맞춰져 있어 사면 및 토사재해의 재해영향평가를 통해 신뢰성 높은 저감대책 및 저감방안을 제시하는데는 한계가 있다.

이에 본 글에서는 재해영향평가에서 산사태-토석류 위험성 평가시 "LANDFLOW" 모형의 활용방안을 제안하는 바이며, 세부내용은 다음과 같다.

첫 번째, 국내의 경우 대부분의 토석류는 산사태로부터 확장되어 발생하기 때문에 산사태와 토석류를 연계한 분석이 요구되지만, 현재 산사태 위험성 평가를 선행하여 그 결과를 토석류 흐름해석에 적용하고 있어, 이 과정에서 발생하는 여러 가정사항들이 해석결과에 영향을 미칠 가능성이 존재한다. 이에 산사태-토석류 연계해석 모형인 "LANDFLOW"의 활용방안을 제안하는 이유이다.

두 번째, 기존 토석류 해석 모형들은 강우-침투에 의한 지반의 습윤상태, 토심, 초기 토사체적 등을 고려하지 못한다는 단점이 있다. 이는 토석류 발생 이전의 지반상태를 반영 못한다는 단점이 있다.

지반상태를 제대로 반영하지 못한다면 토석류 흐름시 계류상에서 발생하는 연행침식을 고려함에 있어 오차가 발생 할 수 있으며, 하류부 즉 피해객체들이 집중되어 있는 피해예상지역에 대한 토석류 및 산사태 피해범위 산정, 흐름방향 분석 등 피해를 예상하고 분석하는데 문제가 발생할 수 있을 것으로 판단된다.

세 번째, 기존 재해영향평가에서 토사유출량 증가해석은 RUSLE를 통해 개발지구에서 발생 및 유입되는 토사량에 한정되어 있으며, 산사태나 토석류 등에 의해 개발지구 유입되는 토사량 등 극한 이벤트에 대한 토사 증가량은 고려되지 못하고 있다. 이는 실제 발생할 수 있는 토사량이 적게 산정되어 사방댐, 임시침사지나 임시침사지점저류지, 가배수로 등 재해저감대책을 설계하는데 있어 부정확한 설계가 발생할 가능성이 있으며 이는 곧 인명 및 재산피해와 직결된 문제로 확장될 수 있다.

앞으로의 재해영향평가에서는 개발단계에 따른 토사증가량에 한하여 토사량을 분석하는 것이 아니라 방재적인 측면에서 실제 발생할 수 있는 산사태 및 토석류 발생 가능성을 고려하고, 이로 인하여 유입되는 토사량도 추가적으로 고려할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

본 통합해석기법인 LANDFLOW는 2019년에 개발되어 국내·외 주요 학술지에 게재되어 우수성을 인정받았다. 또한, 성능 및 정확도 향상을 위한 개발을 지속하였으며, 최근 상용화 작업에 착수하여 산사태와 토석류에 대한 재해영향평가에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 5. 참고문헌

- 산림청 산림보호국 산사태 방지과. (2021). 중앙안전재난대책본부 피해복구계획서
- 채병곤 & 김만일. (2011). 토사 유실량 측정장치 및 토사 유실량 측정 시스템, 공개특허번호 10-2011-0130815
- 정상섭 & 홍문현. (2019). 광역적 산사태-토석류 연계해석기법 제안. 한국지반공학회논문집, 35(10), 17-31.
- 홍문현. (2019). (A) combined analytical method for rainfall-induced landslides and debris flows. 연세대학교 박사학위논문
- 행정안전부. (2021). 재해영향평가등의 실무지침
- Iverson, R. M., Reid, M. E., Logan, M., LaHusen, R. G., Godt, J.W., & Griswold, J. P. (2011), "Positive Feedback and Momentum Growth during Debris-flow Entrainment of Wet Bed Sediment", Nature Geoscience, Vol.4(2), pp.116-121.
- YTN. (2017). 청주 산사태... 폭우·취약한 지질구조 겹쳐 발생, [https://www.ytn.co.kr/\\_ln/0115\\_201707251740319649](https://www.ytn.co.kr/_ln/0115_201707251740319649)
- 조선일보. (2021). 별목한 그곳에서 아타미 덮친 산사태 시작됐다, <https://www.chosun.com/international/japan/2021/07/05/QXGH7FULPZB25EHOUGJO7RMIUA/>
- 연합뉴스. (2019). '30년 전에도 산사태'부산 구평동 사고 현장 관리 사각 논란, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20191004101100051>
- 연합뉴스. (2019). 강원 태풍 미탁 피해액 402억원...특별재난지역 추가 선포되나, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20191011146400062>



## 협회 소식

전문분과위원회 소개

협회 회원사 소개



## 기획운영위원회

### 기획운영위원회 구성

- 위 원 장 : 남순성(이제이텍)
- 부위원장 : 정길수(테라텍)
- 위 원 : 성현종(한국급경사지안전협회), 이종현(한국건설기술연구원), 배우석(한국교통대학교)

### 기획운영위원회 역할 및 활동계획

- 역할  
기획운영위원회는 주로 협회의 운영과 관련된 사항에 대하여 계획수립, 자문, 행정지원 등의 역할을 수행한다.
- 활동계획
  - 협회 로드맵 수립 및 개선에 관한 사항
  - 협회 업무 지원 및 홍보에 관한 사항
  - 제규정의 검토에 관한 사항
  - 정부, 공공기관, 학회, 협회 및 국민의 협력에 관한 사항
  - 기타, 회장이 위임한 회무에 관한 사항



## 사업정책위원회

### 사업정책위원회 구성

- 위 원 장 : 엄관용(경보기술단)
- 부위원장 : 김병렬(서현기술단)
- 위 원 : 오 종(한국토지주택공사), 김인식(극동엔지니어링), 김유진(세광엔지니어링), 김학수(명지전문대학교)

### 사업정책위원회 역할 및 활동계획

- 역할  
사업정책위원회는 한국급경사지안전협회가 급경사지 재해예방에 관한 법률에 협회 업무에 대한 위임·위탁 조항 신설을 통해 정부 및 지자체의 급경사지 관련 업무를 원활하게 추진할 수 있도록 지원 및 협력한다.
- 활동계획
  - 급경사지 관리 정책개발 및 지원체계 구축
    - 한국급경사지안전협회 업무에 대한 위임·위탁 조항 신설 추진「급경사지 재해예방에 관한 법률」
    - 민·관과의 급경사지 정책연구 협력 거버넌스 구축
    - 기후변화에 대한 급경사지 재해 대비·대책 강구
    - 중·장기적 관점에서 급경사지 관련 정책 및 사업 계획수립



## 교육인증위원회

### 교육인증위원회 구성

- 위 원 장 : 전계원(강원대학교)
- 부위원장 : 장창덕(CND)
- 위 원 : 이호진(충북대학교), 전병희(강원대학교), 배우석(한국교통대학교)

### 교육인증위원회 역할 및 활동계획

- 역할  
교육인증위원회는 급경사지 관련 기술강좌, 교육 및 급경사지 관련 각종 인증에 관한 업무를 맡으며, 협회의 급경사지 교육 및 인증과 관련한 전문교육 및 인재양성을 위한 다양한 활동을 지원, 협력한다.
- 활동계획
  - 교육프로그램 개발 및 활성화
    - 계측교육 활성화 및 기초, 심화프로그램 개발 및 운용
    - 급경사지 담당공무원 교육프로그램 개발 및 운용
    - 급경사지 설계기술자 교육프로그램 개발 및 운용
  - 급경사지 실무자 교육 활성화
    - 급경사지 상시계측관리 전문인력 양성 교육
    - 급경사지 기술등급에 따른 실무교육과정 운영



## 학술편집위원회

### 학술편집위원회 구성

- 위 원 장 : 윤찬영(강릉원주대)
- 부위원장 : 김만일(산림조합중앙회)
- 위 원 : 김정완(제력스), 김정환(서울기술연구원), 정길수(테라텍), 최승일(지오브로그 코리아)

### 학술편집위원회 역할 및 활동계획

- 역할  
학술편집위원회는 한국급경사지안전협회에서 발간하는 각종 협회지, 기술기사, 기술논문집 등의 출판업무를 맡으며, 급경사지 안전과 관련한 다양한 학술활동을 지원, 협력한다.
- 활동계획
  - 협회지 발간 업무
    - 2021년 창간호 발간
    - 2022년부터 분기별 발간
    - 다양한 급경사지 신기술에 대한 기술소개서 및 기술논문집 발간
  - 급경사지 관련 학술 활동
    - 국내외 유관 학·협회와 공동 학술회의, 세미나 개최
    - 학술회의, 세미나 등의 학술 발표내용 인쇄본 제작, 배포
    - 회원사 보유 기술에 대한 기술 기사 발굴 및 회원사 소개



## 회원소통위원회

### 회원소통위원회 구성

- 위 원 장 : 이중재(에스텍컨설팅그룹)
- 부위원장 : 강명원(서희건설 기술연구소)
- 위 원 : 김정렬(삼우기초기술), 노배영(호반건설), 유찬호(아신이앤씨), 최원석(브사렐건설), 정찬규(도화기술공사)

### 회원소통위원회 역할 및 활동계획

- 역할  
회원소통위원회는 회원들간의 급경사지와 연관된 기술적 교류와 새로운 기술개발이나 개선을 위한 소통의 중심이 되어, 급경사지분야에서의 국민안전과 관련한 정책수립이나 개선이 될 수 있도록 회원간의 정보소통의 창구역할을 한다.
- 활동계획
  - 회원 상호간의 소통 지원 업무
    - 전체 회원(개인)의 희망과 관심사별 소그룹화로 정보교류를 통한 협회 활성화 지원
    - 급경사지 관련한 기술정보를 학술회의, 세미나 또는 기술자료 형식으로 공유
    - 회원사간 전문기술과 정보에 대한 소통이 필요한 경우, 협업 업무 원활을 위한 가교역할
  - 급경사지 관련 활동
    - 급경사지와 관련한 회원사 또는 개인의 능력 또는 특화된 기술을 상호 교류하도록 지원
    - 급경사지와 관련한 회원사(개인)들의 요구사항을 파악하여 정책수립 자료로 제공
    - 회원사들간의 전문기술 융합으로 새로운 기술 재창출이 가능할 수 있도록 기술적인 조율



## 국제협력위원회

### 국제협력위원회 구성

- 위 원 장 : 이준규(서울시립대학교)
- 부위원장 : 김재영(한국교육시설안전원)
- 위 원 : 김재홍(동신대학교), 최원석(브사렐건설), 고준영(충남대학교)

### 국제협력위원회 역할 및 활동계획

- 역할  
국제협력위원회는 급경사지 안전관리의 선진화 및 효율성 제고를 위해 급경사지에 관한 국제기술 및 연구동향을 파악하고 국제적 정보교류 및 협력 활성화를 증대하고자 한다. 이에 본 위원회에서 구상한 중장기 발전계획은 스마트계측을 통한 급경사지 관리시스템 및 유지관리기술의 선진화이며 이에 대한 구체적인 배경 및 추진방안은 다음과 같다.
- 활동계획
  - 급경사지 관리시스템 구축에 대한 추진방안
    - 급경사지 위험도 평가자료 구축과 관리대상 급경사지 선별적 관리
    - 급경사지 테스트베드를 활용한 우수한 계측기기 발굴 및 적용성 평가
    - 급경사지 재해판단에 대한 정량적 설계기준 정립
  - 미래기술융합 기반 계측유지관리 시스템 구축에 대한 추진방안
    - 스마트계측 유지관리시스템 도입의 구체화 방안 수립
    - 급경사지 테스트베드를 활용한 스마트 계측관리시스템의 구축
    - 계측기기 및 시스템의 기술 검증 및 허가제 도입 추진



## 재해평가위원회

### 재해평가위원회 구성

- 위 원 장 : 고준영(충남대학교)
- 부위원장 : 김재홍(동신대학교), 이민근(태근엔지니어링)
- 위 원 : 김정환(서울기술연구원), 이준규(서울시립대), 최현철(한국도로공사), 김재영(한국교육시설안전원), 김한샘(한국지질자원연구원), 유찬호(아신이엔티), 최원석(브사렐건설)

### 재해평가위원회 역할 및 활동계획

- 역할  
재해평가위원회는 급경사지 재해위험도 평가에 관한 업무를 담당하며, 급경사지 피해 원인조사에 관한 다양한 지원 활동을 수행한다.
- 활동계획
  - 재해평가 관련 학술활동 및 지원
    - 2021년도 하반기 운영회의 및 기술세미나 개최
    - 유관 기관 및 위원회와의 공동 학술활동 지원
  - 급경사지 관리 및 재해평가 수요 기관(지자체)과의 협력
    - 한국교육시설안전원과의 업무협약 체결 (2021. 하반기)
    - 협회 전문가 인력 Pool 제공, 안전점검 지원 및 관련 교육 협력



## 계측산업위원회

### 계측산업위원회 구성

- 위 원 장 : 우종태(경북대학교)
- 부위원장 : 김영배(미래이엔씨), 김현수(이제이텍)
- 위 원 : 강기천(경상대학교), 손무락(대구대학교), 전제성(인덕대학교), 김낙영(한국도로공사), 이근호(호승이엔씨), 권형석(이제이텍), 권성훈(테스콤엔지니어링), 윤성희(성수이엔씨), 이영수(다인계측), 홍성진(디피에스글로벌), 권순기(아주엔지니어링)

### 계측산업위원회 역할 및 활동계획

- 역할
  - 급경사지 재해예방에 관한 법률에 따른 상시계측에 관한 사항
  - 계측산업화 및 발전에 관한 사항
  - 계측기기, 설계, 설치 및 유지관리에 관한 사항
  - 계측업 등록 및 교육에 관한 사항
- 활동계획
  - 한국형 뉴딜사업으로 2021년부터 시행중인 상시계측관련 행정안전부 재해위험지역 재난대응 조기경보시스템 구축 자료 수집 및 검토
  - 건설 계측산업의 발전을 위한 법제화 자료 수집 및 검토
  - 계측기기의 설계, 설치 및 유지관리 관련 기술시방서 자료 수집 및 검토
  - 계측업의 등록에 관한 개선방안 검토
  - 계측업체 종사자 교육에 관한 계획 수집 및 검토
  - 기타 사항



## 계측관리위원회

### 계측관리위원회 구성

- 위 원 장 : 김용성(강원대학교)
- 부위원장 : 박성용(용인시청)
- 위 원 : 김낙영(한국도로공사), 손정익(창광이앤씨), 정인주(이도), 노병돈(삼성건설), 유동호(지누리엔아이), 장우영(파이티), 이승주(스마트지오텍), 정재광(명지대학교), 이종현(한국건설기술연구원), 강기천(경상대학교), 윤성희(KNC건설터트), 김정호(하이테크)

### 계측관리위원회 역할 및 활동계획

- 역할  
계측관리위원회는 급경사지 계측운영 프로그램 및 계측DB 분석에 대한 표준(안) 마련을 위해 상호 협력하고 이와 관련한 다양한 담론을 수렴하며 급경사지 계측관리 분야의 발전에 필요한 사항을 지원한다.
- 활동계획
  - 급경사지 계측운영 프로그램 업무
    - 급경사지 계측운영프로그램 사례 조사 및 분석
  - 계측DB 분석 업무
    - 급경사지 계측DB 구축에 대한 기초 자료조사 수행



## 계측기성능검사위원회

### 계측기성능검사위원회 구성

- 위 원 장 : 유찬호(아신씨엔티)
- 부위원장 : 김원일(대림대학교)
- 위 원 : 배상호(대림대학교), 박준경(대림대학교), 천호권(우정종합기술), 이광훈(이도가엔지니어링), 이제욱(소키아코리아), 한연진(아신씨엔티)

### 계측기성능검사위원회 역할 및 활동계획

- 역할  
계측기성능검사위원회는 급경사지 재해예방에 관한 법률에 따라 급경사지 상시계측관리에 이용되는 센서, 데이터로거 및 데이터처리장치 등 계측기기의 성능기준 및 검사에 관한 업무를 맡으며, 급경사지 상시계측관리에 사용되는 계측기기와 관련한 기준정립 및 성능검사 등의 활동을 지원, 협력한다.
- 활동계획
  - 급경사지 상시계측관리 계측기기 현황조사
    - 국내·외 급경사지 계측기기 및 계측기술 조사 및 소개
    - 급경사지 계측기기 (센서, 데이터로거 및 데이터처리) 성능조사 및 소개
  - 급경사지 상시계측관리 계측기기 성능기준 마련
    - 급경사지 계측기기 (센서, 데이터로거 및 데이터처리) 선정 가이드라인 설정
    - 급경사지 계측기기 성능검사 방법 및 기준 설정



## 스마트기술위원회

### 스마트기술위원회 구성

- 위 원 장 : 장대원(엘아이지시스템)
- 부위원장 : 반승욱(바이브컴퍼니)
- 위 원 : 김성태(대흥), 김연수(엘아이지시스템), 송태정(케이아이티벨리), 장창덕(씨앤디), 장철승(에스티알), 정우석(한국전자통신연구원), 정인주(이도), 홍성진(DPS글로벌)

### 스마트기술위원회 역할 및 활동계획

- 역할  
스마트기술위원회는 급경사지와 관련된 데이터베이스를 기반으로 재난과 관련된 빅데이터 융합, 인공지능 기반 추론 등 미래기술에 관한 연구 및 기술 분석 등의 업무를 맡으며, 관련된 R&D 기획 및 다양한 학술활동을 지원·협력한다.
- 활동계획
  - 급경사지 DB 분석 및 융합
    - 급경사지 계측 데이터 수집 및 분석
    - 데이터 기반 다양한 기사 및 분석 보고서 작성
    - 급경사지 분야 데이터 수집, 분석, 서비스 전반에 대한 외부 기관 소개
  - 스마트 기술 관련 학술 활동
    - ICT 분야 연구자와 세미나 개최 및 주제 발표
    - 미래 기술(빅데이터, AI, 자연어처리 등) 소개 및 급경사지 분야 접목 방안 연구
    - 급경사지 데이터 활용 차세대 R&D 기획 및 과제 발굴



## 조기경보위원회

### 조기경보위원회 구성

- 위 원 장 : 송영석(한국지질자원연구원)
- 부위원장 : 박준영(한국지질자원연구원)
- 위 원 : 김한샘(한국지질자원연구원), 홍성원(한국교통대학교), 문병환(계룡건설), 이동원(세종이앤씨), 이명원(지아이건설), 고병수(에스알이앤씨), 오창환(세종방재연구소), 이민근(기산엔지니어링)

### 조기경보위원회 역할 및 활동계획

- 역할  
조기경보위원회는 한국급경사지안전협회에서 수행하는 급경사지 조기경보와 관련된 연구 및 용역사업을 지원하며, 급경사지 안전관리, 현장대응 및 점검 등에 대한 업무를 지원 및 협력한다.
- 활동계획
  - 산학연 급경사지 조기경보기술 교류
    - 국내외 급경사지 조기경보기술 소개
    - 최신 급경사지 조기경보기술 공유
    - 정기적인 기술교류회 개최
    - 협회 연구 및 용역사업 지원
  - 급경사지 조기경보기술 현장 지원
    - 급경사지 재해 발생지역 공동조사
    - 급경사지 조기경보기술 보유기관 방문 및 세미나 개최
    - 급경사지 안전관리, 현장대응 및 점검 업무 지원



## 산지재해위원회

### 산지재해위원회 구성

- 위 원 장 : 김민식(백림FR)
- 부위원장 : 서정일(공주대학교)
- 위 원 : 김동엽(대구대학교), 김종선(사방협회), 오재만(한국산림과학회), 김만일(산림조합중앙회), 최원일(주)경기방재연구소, 송동근(주)백림FR, 유승용(주)푸름, 구기운(주)백제산림기술사사무소, 허원무(주)산림기술사사무소 에코, 노두성(그린텍엔지니어링), 김명준(산림환경공간기술연구소)

### 산지재해위원회 역할 및 활동계획

- 역할  
산지재해위원회는 한국급경사지안전협회 사업(정관 제4조) 수행함을 기초로 산지 또는 산지 주변에서 발생할 수 있는 다양한 재해를 예방하고 인명 및 재산피해를 최소화하기 위해 구조물 및 비구조물대책 등을 수행하며, 재해예방을 위한 다양한 기술협력 등을 지원한다.
- 활동계획
  - 급경사지 지정 및 유지관리 등을 위한 산지 등의 위험성 조사 등 지원
    - 산지 또는 산지 주변 급경사지의 위험성 조사 결과를 기초로 구조물 대책 및 비구조물 대책 제안
    - 산지개발 및 급경사지 지정을 위한 산지 관련 조사 업무 협조
    - 산지 및 산지 주변 급경사지 위험성 경감을 위한 주민홍보 및 교육 등 지원
  - 산림 관련 기관과의 업무 협조 및 기술협력
    - 국내외 산림 관련 학·협회, 업체 등과의 공동 업무 협의 및 수행
    - 급경사지안전협회 회원사 및 신기술 등 산림분야 소개 및 적용 가능성 등 검토
    - 급경사지에 발생할 수 있는 재해로부터 인명 및 재산피해 최소화를 위한 산림분야 법령 검토 및 제안



## 설계기준위원회

### 설계기준위원회 구성

- 위 원 장 : 박이근(주)지오알앤디 대표이사)
- 부위원장 : 안우종(주)세진이엔시)
- 위 원 : 김태오(주)지오알앤디), 김정환(서울특별시), 김영민(LH공사), 박주영(주)세움텍), 안민홍(주)세움텍), 이민희(주)지텍크), 이병욱(주)동해이엔지), 이태형(국토안전관리원), 이현재(주)지오사이언스), 장지건(주)광림엔지니어링건설), 정성민(주)유광계측)

### 설계기준위원회 역할 및 활동계획

- 역할  
설계기준위원회는 급경사지와 관련한 각 기관의 기준 및 법령 사항을 분석하고 급경사지 설계 및 유지관리 실무에 요구되는 사항을 해당 기관에 요청하여 반영될 수 있도록 한다.
- 활동계획
  - 급경사지 관련 기준 설계기준의 적정성 분석 및 보완 사항 연구
    - 급경사지 관련 기준 및 법령[국가건설기준(KDS, KCS), 급경사지 재해예방에 관한 법률, 재해영향평가 실무지침, 건축법, 자연재해대책법, 산지관리법, 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 각 공공기관 및 지자체의 조례 등의 분석
    - 급경사지 점검 및 유지관리 실태 및 사례 조사
    - 급경사지 설계 사례 조사
    - 급경사지 점검 및 유지관리, 배수로 설치 관련 기준 제안
  - 급경사지 관련 실무 활동
    - 급경사지 점검 활동 참여
    - 급경사지 사고 발생 현장 점검 및 자문활동 참여
    - 각 기관 및 지자체의 기술심의위원회 활동(풍수해 예방을 위한 급경사지안전협회의 전문성 홍보)
  - 급경사지 관련 연구 활동
    - 국내외 사고사례, 우수사례 등의 발굴, 소개



## 보강공법위원회

### 보강공법위원회 구성

- 위 원 장 : 한용배(삼안)
- 부위원장 : 류정훈(태영), 이재국(삼안)
- 위 원 : 강희진(한국지오텍), 김철준(KRTC), 문준석(도화), 양성우(삼안), 이상영(삼안), 이용호(GS건설), 이종호(단우기술단), 조충식(지오텍엔지니어링)

### 보강공법위원회 역할 및 활동계획

- 역할  
급경사지 정비사업 보강공법과 관련한 설계 및 시공기술을 향상시켜 급경사지 안정성 확보와 유지관리 기능 향상, 기술세미나 개최 등 회원간의 기술교류를 토대로 기술 및 제도적인 뒷받침을 통해 위원회 발전을 도모한다.
- 활동계획
  - 보강공법 위원회 활동계획 수립
    - 2021년 1월 활동계획 수립
    - 2021년 2월 키포 회의(비대면)
  - 급경사지 설계 및 시공기술세미나 개최
    - 기술분과 중 관련 분과와 협력하여 공동으로 기술세미나 개최(2021년 11월)
    - 국내 급경사지 운영현황, 해외 급경사지 운영사례 소개
    - 급경사지 관련 제도적인 개선사항, 관련 기준 개정 필요성
    - 급경사지 재해영향평가 현황 및 개선방안 도출
    - 급경사지 보강기술 소개
  - 급경사지 관련 연구과제 추진



## 복합재해위원회

### 복합재해위원회 구성

- 위 원 장 : 최영근(아이콘텍이앤씨)
- 위 원 : (토질) 정석열(에스알이앤씨), 김봉수(엠에이치컨설턴트), (시공) 서선범(한국기술개발), (도로) 신현승(동평건설엔지니어링), (지질) 신동윤(지토엔지니어링), (터널) 이강일(대진대학교), (수자원) 박상식(부천대학교)

### 복합재해위원회 역할 및 활동계획

- 역할  
급경사지 복합재해 예방과 복합재해로 인한 피해 관련 점검, 조사, 설계, 시공, 유지관리 분야의 기술을 발전시키고, 협회의 발전과 기술위원회 위원간의 친목을 도모하고 나아가 국민의 안전 확보에 일익을 할 수 있는 복합재해기술위원회가 되도록 한다.
- 활동계획
  - 급경사지 관련법 및 그 외의 재해, 방재관련법에 의한 급경사비탈면의 복합적인 원인으로 발생하는 복합재해에 대한 예방, 응급대책 및 복구관련 사항을 연구, 기술개발 및 현장 적용성을 향상시킨다.
  - 재해경감 정책을 효율적으로 지원하고, 급경사지의 복합적인 재해 위험을 점검하고 현장 실태조사, 점검 및 예방교육 등에 관한 사업
  - 여러 가지 요인에 의한 복합 형태의 불안정 재해 요인에 대한 현장조사, 안정성 검토, 평가, 안정대책 수립 및 유지관리 등에 대한 사업



# 협회 회원사 소개

창간을 진심으로 축하 드립니다  
무궁한 발전을 바라면서...



**재해영향평가 지하안전영향평가  
전문업체**

(주) 경 보 기 술 단  
대표이사 엄 관 용

**Dain**  
Dain Engineering & Construction Co., Ltd.



- 급경사지 계속관리
- 저수지 계속관리
- 가시설 및 연약지반 계속관리
- 교량, 터널 및 지하철 계속관리
- 계속기기 제조
- 지반조사, 각종 시험분야

건설계측의 선두주자 (주)다인계측

TEL.031-902-8915 FAX.070-7610-9812  
E-MAIL. dain0337@daum.net 홈페이지 : www.dain21.co.kr

주식회사  
**아주엔지니어링**  
www.ahjoeng.com/



본사 경기도 광명시 하안로60, B동 908호,  
A동1501호 (소하동 광명테크노파크)  
전화 02-2083-2300 팩스 02-2083-2310

서울사무소 서울시 송파구 송파대로 167,  
태라타워 B동819호(문정동651)  
대전사무소 대전시 유성구 학하서로  
121번길122,201호(덕명동)  
대구사무소 대구광역시 서구 외동로65길22  
태백빌딩A동216호  
부산사무소 부산시 해운대구 율촌로 126번길55  
전남사무소 전라남도 여수시 고소5길74  
전북사무소 전라북도 전주시 완산구소태영5길  
17-4번지 1층(오자동2가)  
강원사무소 강원도 고성군 간성읍  
간성북로21-8

재난대응-재해위험  
조기경보 시스템 구축  
재해위험 저수지  
상시계측 및 모니터링 시스템 구축

토목설계 및 감리  
건설 및 자동화계측  
지하안전영향평가 전문기관  
토질조사, 재하시험, 축량  
시설물 안전진단 및 안정성평가  
3D Modeling & Build  
3D 지형도/건축/토목구조물 모형 제작

해외법인  
베트남  
Floor 15, Daeha Business  
Center, 360 Kim Ma, Ngoc  
Khanh ward, Ba Dinh district,  
Hanoi, Vietnam

**안전의 또 다른 이름**  
STR Safe Trust Relationship

(주)STR은 안전의 또 다른 이름 계측이라는 신념으로  
건설·토목 분야의 안전을 책임지겠습니다.

**사업분야**

- 토질 및 지질 설계
- 건축계측 및 자동화 계측
- 엔지니어링, 지반조사
- 현장시험 및 진단

**등록현황**

- 정보통신공사업
- 엔지니어링사업자(토질, 지질)
- 소프트웨어사업자
- 계측업

★ 본사 : 경상북도 경산시 강변서로 53길 15-5 ★ 대구사무소 : 대구광역시 동구 웃골로 20길 31-11  
※ 문의 : (053)812-8787(대) FAX : (053)812-4747

**[주]디피에스글로벌**

(주) 디피에스글로벌은 자연 재해들을 사전에 예측, 방지하는 'U-모니터링 기술 기반의 최첨단 재해 예방 시스템' 을 보유한 기업입니다.

**사업분야**

- ◆ 재해 예방 시스템 개발 및 구축
- ◆ 센서와 연동된 각종 시스템 개발
- ◆ 도로, 철도, 교량, 댐 등 시설물 유지관리

**보유연허**

- ◆ 계측업
- ◆ 정보통신공사업
- ◆ 엔지니어링사업자
- ◆ 소프트웨어사업자 외

주식회사 디피에스글로벌  
소재지 : 경상북도 구미시 금오시장로 28(원평동)  
전화번호 : 054-456-7100  
팩스 : 054-456-7101



**아이콘텍이앤씨**

"모두가 함께 웃을 수 있는 세상"

환경친화적 공법으로 Upgrade  
아이콘텍이앤씨가 함께합니다.



**질토부 판넬식옹벽(SRP/ARP 공법)**

**섬유대 물말려자물력**

**REB보강 옹벽(대형 옹벽블럭)**

**이중가압식 쓰일네일**

경기도 안양시 동안구 흥안대로 415 두산벤처다인 728,729호  
Tel.031.478.5730 Fax.031.478.5739 www.icot.co.kr

**EJtech Co., Ltd.** www.ejtech.net

이제이텍의 기술력으로  
미래를 개척하겠습니다

**연지니어링 사업부**

- 토목설계 및 감리
- 지반조사 및 시험
- 지하안전영향평가 외

**복합소재 사업부**

- 열차레일
- 차량용, 보도교용 FRP레일

**계측 사업부**

- 지반계측 및 구조물 모니터링
- 지반계측 시스템
- 정보통신공사 외

**엔지니어링 수행**

- 해안방파제 및 저수지 시험
- 지반조사 및 계측수행

**연구개발**

- IoT 기반 모니터링 시스템
- 현장영역 자가구조물 모니터링 시스템 등 연구개발 수행

경주 방파제 구조물 계측  
인천대교 시공중 및 유지관리 계측  
구리 - 포천 지반조사  
이리크 임피우 계측

피카스팀 퍼블릭도담 계측  
양재대교 매가림 프로젝트 지반조사  
브루나이 탐방용 CO2, CO3 교량 지반조사  
말레이시아 매남대학교 유지관리 계측시스템 구축

(주)이제이텍  
본사 | 경기도 성남시 분당구 미금로 33번길 10 4층(영동) T. 031.711.4880 F. 031.711.6311 E. ejtech@ejtech.net  
지사 및 해외법인 | 부산 | 일제대 | 베트남 | 브루나이 | 말레이시아 | 인도네시아

ISO 9001 인증 / ISO 14001 인증

**ZINOO**  
Geo & Information

(주)지누지앤아이

- 급경사지 자동화 계측시스템
- 비탈면 현황조사 및 안정성 검토
- 가시설/터널/교량 계측시스템
- 정보통신공사업/계측업 등록

**ZINOO Gni**  
ZINOO Geo & Information

Tel 031) 448-2228 Fax 031) 448-2248

## 협회 회원사 소개



## 협회 회원사 소개

회사명	대표연락처	회사명	대표연락처
경보기술단	02-521-7071	CONTEC (주)아이콘텍이앤씨	031-478-5730
주식회사 아주엔지니어링	02-897-2345	에스티알	053-812-8787
EJtech	031-711-4880		

회사명	대표연락처	회사명	대표연락처
대흥미래기술	031-608-9596	(주)동해이엔지 DONGHAE ENG. CO., LTD.	051-338-5636
[주]디피에스글로벌	054-455-7100	백악지오이엔씨	062-603-0352
브사벨건설	02-483-7456	(주)삼우기초기술 Anchor Technology	02-2679-2380
세움텍	051-907-9771	SMART Geotech (주)스마트지오텍	033-250-6463
스팅이앤씨	062-603-1750	씨앤디	033-642-8809
아신씨엔티	1600-7839	주아정보	055-336-5147
지누지앤아이	031-448-2228	지오알앤디	051-515-0138
Chang Wang (주)창광 E&C	02-489-0816~7	테라텍	033-254-4830
하리기술이십이	033-747-7020	HIGH TECH	033-645-2407
학영엔지니어링	070-8220-8843		

회사명	대표연락처	회사명	대표연락처
노아에스앤씨	02-6105-6600	다인계측	031-902-8915
도화엔지니어링	02-6323-4560	동우티이씨	02-402-0341
셀파이엔씨	070-4700-4171	신우하이텍	051-816-1680
이도	070-4048-7887	제력스	070-8868-9699
현성건설	061-283-0158		

## 급경사지 창간호

Vol.1 No.1

2021년 8월 | 제1호

발행인 류지협

발행처 (특)한국급경사지안전협회

세종특별자치시 한누리대로 253 에스빌딩 5층 504호

Tel : 044-868-5680

Fax : 044-868-5681

발행일 2021년 8월 30일

인쇄처 디자인화랑

### | 학술편집위원회 |

위원장 윤찬영 강릉원주대학교 교수

부위원장 김만일 산림조합중앙회 책임연구원

위원 김정환 서울기술연구원 연구실장

정길수 테라텍 대표이사

최승일 지오브로그코리아 상무

김정완 제럭스 대표이사