

수목뿌리 형태에 따른 토석류 저감효과 분석 기초실험*

Analysis Basic Experiment of Reduction Effect of Tree Roots Type on Debris Flow

Tak Won Jun**, Kye Won Jun***

Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University, 346 Joogang-ro, Samcheok-si, Gangwon-do, Korea

Abstract

The purpose of this study was to find out the answer to the question "which forms of roots are more effective in reducing debris flow?" based on the tree roots' function of slope stability among their engineering functions to reduce disasters from debris flow, which is one of disasters taking place in mountainous areas. For this purpose, this study made simulated models of tree roots and compared debris flow taking place in simulated debris flow experiments. As the result, it turned out that experiments using trees had less debris flow than the ones without trees and the model with deep-rooted tree species had better reduction effect than the one with shallow-rooted tree species. In addition, in a same simulated trees miniature model, the form with more root branches had better reduction effect than the one with less root branches.

Key words: tree roots, debris flow, trees miniature model, tree species

국문초록

본 연구에서는 산지에서 주로 발생하는 재해 중 하나인 토석류 재해를 저감하기 위한 방법으로 수목의 여러 공학적 기능 중 뿌리가 가지는 사면안정에 관한 현상에 착안하여 '어떠한 형태의 뿌리가 토석류 저감에 더 효과적인가?'를 실험으로 분석하기 위해 수목뿌리 모사모형을 제작하고 토석류 실험에 적용하여 발생하는 토석류량을 비교하였다. 그 결과 수목을 활용한 실험에서 수목을 활용하지 않은 토석류발생 실험보다 더 적은 양의 토사량이 발생되었으며 천근성 수종의 모형보다 심근성 수종의 모형이 저감 효과가 더 뛰어난 것으로 확인되었다. 또한 같

* 본 연구는 2013년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2013R1A1A4A01010397).

** Fax. +82-33-570-6447. E-mail. wjtak@kangwon.ac.kr

*** Corresponding author. Tel. +82-33-570-6816. E-mail. kwun@kangwon.ac.kr

Submission & Publication Process

Received: Mar. 16, 2015 / Revised: Mar. 19, 2015 / Accepted: Apr. 10, 2015

은 형태의 모사모형에서는 가지근의 개수가 많은 형태가 더 저감효과가 큰 것으로 분석되었다.

주제어: 수목뿌리, 토석류, 수목모사모형, 수종

1. 서론

산지에서 주로 발생해서 하류까지 피해를 미치는 토석류는 산지의 자연환경 변화, 계류의 변화 및 산림생태계의 보존 측면에서 많은 악영향을 끼치고 있다. 특히 도심과 인접한 지역에서의 토석류 발생은 많은 인명과 재산피해를 발생시키며 사회적 이슈화 되고 있다.

토석류를 저감하기 위한 연구는 크게 토석류의 특성을 파악하고 분석하는 연구(토석류 발생실험, 실험모 토석류 시험 등)와 위험지역을 미리 예측하기 위한 방법(GIS와 인공위성 자료를 활용한 지도 제작) 그리고 토석류 저감공법(사방댐, 링네트 등의 저감구조물 설치) 등으로 나누어진다. 그 중 토석류 저감공법에 관한 연구는 토석류의 유출을 저감하기 위한 구조물의 설계, 설치 및 관리방안 수립 등에 관한 연구들이 주를 이루고 있다. 그러나 최근 친환경적인 방법으로 토석류를 저감할 수 있는 연구에 관심이 모아지고 있다. 식생을 이용한 토석류 저감공법에 관한 연구 동향으로는 유전용 외(2002)은 식물의 공학적 특성을 고려한 토사사면 보호공에서의 식생선정법 연구에서 사면보호를 위한 식물종의 선정 시 식물의 공학적 요소를 고려할 필요가 있다는 결론을 얻었고, 김상수 외(2006)은 식생구조물의 생명기간이 토목구조물에 비해 장기적으로 봤을 때 유리하고 뿌리의 면적비가 클수록 인장강도 및 전단강도가 증가하는 특징을 가지고 있으며, 김기욱 외(2006)은 토사유출량 산정을 위한 사면안정해석에서 뿌리 영역의 안전율이 약 0.3정도 더 확보되는 것을 확인할 수 있었다. 또 이창우(2006)는 수분조건 및 변형과정을 고려한 새로운 수목근계의 토질강도 보강효과 평가방법을 제시하여 수목근계의 보강효과의 원인인 직근과 세근은 그 보강효과가 다르고 보강효과의 특징을 세밀한 검토를 통해 명확히 하였고, 최종호 외(2015)는 토석류 저감효과를 위해 심근성 뿌리모형과 천근성 뿌리모형으로 나누어 수목모사모형을 제작하였다. 이동균 외(2009)는 2006년도 집중호우에 의해 많은 피해가 발생한 강원도 평창군 진부면 수변림 지역을 중심으로 수변림의 현황을 파악하여 분석하고 생성된 토석류와 유목 등이 이동, 퇴적되어 그 피해가 가중된 것으로 판단하여 집중호우 시에 있어서 수변림이 산사태 발생에 미치는 영향에 대해 연구를 진행하였다.

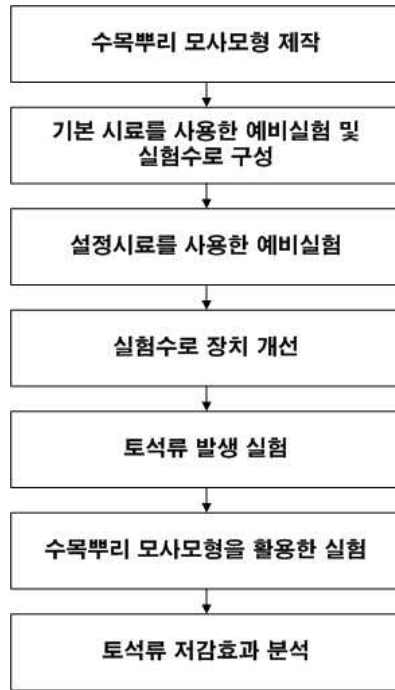
이처럼 식생이 사면안정에 미치는 영향은 수문학적인 측면에서 식물은 흙 속의 수분함량에 대한 영향을 통해서 간접적으로 사면의 안정에 영향을 미친다. Faisal, *et. al.*,(2008)은 사면에서 붕괴현상이 발생할 경우 토양의 전단면에 있는 식생의 뿌리는 뿌리 자체가 가지고 있는 인장력으로 토피조직이 약화되지 않도록 지지하는 전단저항을 발휘함으로써 사면의 붕괴를 억제하게 된다고 연구결과를 제시하고 있다. Lee, *et. al.*,(1991)의 조사결과에서도 사면의 붕괴를 초래하는 대부분의 장소가 식생이 조성되지 않거나, 훼손된 지역이라는 것을 밝혔다. 사면의 안정성에 대한 식물의 영향은 <표 1>과 같이

구분되며 본 연구의 흐름도를 <그림 1>과 같이 나타내었다.

본 연구의 목적은 수목 모사모형을 제작하고 모형실험에 적용하여 토석류 저감효과를 분석하는 것이다. 이를 위해 토석류 발생 실험장치를 구성하였으며 수목뿌리 모사모형의 토양보강효과로 인한 토석류 저감효과는 실험장치에 식재되는 유형에 따라 유출되는 토사량을 비교·분석하여 나타내고 식재된 모형의 실험 전·후 상태 비교를 통해 실제 토석류 재해현장에서 수목 뿌리의 형태에 따른 토석류 저감효과에 대해 살펴보고자 하였다.

<표 1> 식물이 사면의 안정성에 끼치는 영향(Wu, T.H., 1995)

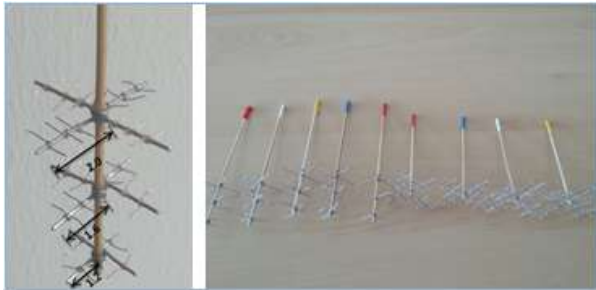
과정	형태	안정에 미치는 영향
1. 뿌리는 투수계수, 침투, 간극수압 증가시킴	수문학적	불안정
2. 식물은 차단, 증발산, 간극수압을 감소시킴	수문학적	안정
3. 식물은 자중으로 인하여 사면에 하중으로 작용함	역학적	불안정
4. 식물은 바람에 대한 저항력으로 인하여 사면에 하중으로 작용함	역학적	불안정
5. 뿌리는 흙을 보강함으로써 강도를 증가시킴	역학적	안정



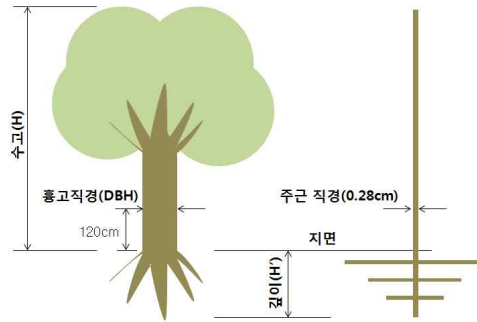
<그림 1> 연구흐름도

II. 수목뿌리의 모사모형 제작

식생을 활용한 저감공법 중 수목뿌리를 모사하여 토석류 저감효과를 분석할 수 있도록 수목종에 따른 수목모사 모형을 제작하였다. 일반적으로 식물의 근계를 표현할 때 주근의 경우 실 혹은 net종류를 많이 사용하고 있다. 이에 실험에 들어갈 재료로 대나무 젓가락을 이용하고 세근을 활용할 재료로 연철을 택하였고 수목의 뿌리모형을 보다 실제적으로 제작하기 위하여 구리선을 세근에 묶어 잔근을 모사하여 모형을 제작하였고 우리나라의 주요수종 소나무, 잣나무, 낙엽송, 오리나무 및 신갈나무의 뿌리모형을 재현하고자 하였으나 뿌리모형에 대한 자료를 찾기 어렵고 수종에 따라 중복된 모양이 많아 수목의 뿌리모형 제작을 심근성 뿌리모형과 천근성 뿌리모형으로 나누어 제작하였다<그림 2>. 모형 제작시 천근성 수종의 뿌리모형과 심근성 수종의 뿌리모형을 각각 제작하고 줄기뿌리의 개수에 따라 배치하여 천근성 수종의 뿌리모형 15개, 심근성 수종의 뿌리모형 25개를 제작하여 총 40개의 모형을 제작하였다. 수목뿌리 모형을 토석류 실험 수로의 폭(20cm)과 토심(10cm)을 고려하여 뿌리모형의 근입깊이와 줄기뿌리의 길이를 축척(1:0.012)에 맞게 상단줄기 뿌리의 길이는 2.0cm, 중간단 줄기뿌리 길이는 1.6cm 그리고 하단 줄기뿌리의 길이는 1.2cm로 수정하여 실험에 사용할 수 있도록 조정하였다 <그림 3>.



<그림 2> 수목뿌리모형



<그림 3> 수목의 부위별 치수

III. 실험장치 및 방법

1. 실험장치 구성

1) 실험수로

연구에 사용된 실험수로는 전병희 외(2012)의 산지재해 연구를 위한 토석류 실험장치의 개발 방안에 대한 연구에서 국내·외 토석류 실험 사례를 조사하여 총길이 6m, 상·중·하단부의 경사변화가 구현

가능하고 수로폭에 대한 조정이 가능한 토석류 실험장치를 활용하였다. 수로경사는 기존 토석류 발생 실험과 문헌에서 검증되어 제시된 18°로 설정하고 수목 모형을 다양하게 배치하기 위하여 실험수로 폭을 기존 10cm에서 20cm로 개선하여 적용하였다. 실험수로에 대한 기본제원을 <그림 4>에 제시하였다.



<그림 4> 실험장치의 제원 및 기본 명칭

2. 실험방법

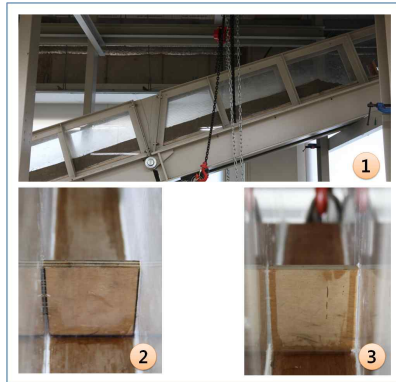
1) 수로의 적용 및 토사비율

본 연구에서 수로에 적용하기 앞서 토사비율은 하상재료의 비율을 일정하게 하고자 강원도 지역의 입도분석 자료를 기본으로 강원도 삼척지역의 하상시료를 채취하여 4번체, 8번체 이하의 입경으로 구분하여 각각 20, 30, 50%로 배합하여 사용하였으며 수로의 적용은 흙막이(10cm×10cm)를 설치하고 상단에 유량을 전 수로에 균등하게 흘러가도록 위어를 설치한 후 토사를 수로 상단 2m 구간에 높이 10cm로 수로내에 포설하고 고르게 다짐한 후 소량을 물을 흘려서 함수비를 100%가 되도록 설정한다. 표준사 포설 상태와 흙막이, 위어에 대한 사진을 <그림 5>에 정리하였다.

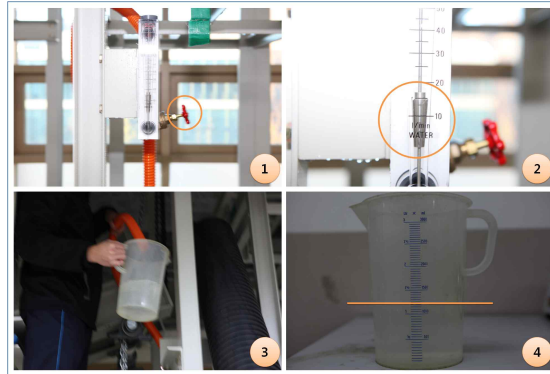
2) 유량공급 및 토사량 측정방법

유량공급장치를 이용하여 일정한 양의 유량을 공급해 흙막이를 넘어 발생하는 토석류의 발달형태를 파악하고 토사량을 측정하였다. 이에 유량공급은 일정하게 유량을 공급하기 위하여 용량식 유량계를 설치하고 순환펌프를 통해 일정하게 유량을 공급한다. 하지만 유량계가 하단에 설치되어 있기 때문에 5초간 유량을 3회 측정하여 그 평균값으로 유량을 조절한다. <그림 6>은 유량공급 장치를 사용하는

사진으로 ①에 표현된 밸브를 조절하여 ②에 표현된 추를 움직여 유량을 설정한 뒤 수로의 상단에서 ③과 같이 비커에 5초간 유량을 측정하여 단위시간동안의 유량을 계산한다. ④와 같은 방법으로 3회 측정된 값의 평균을 계산하여 추의 위치에 대한 실제 공급되는 유량을 계산한다. 예비실험 단계에서 토석류 발생 형태를 확인하고 세굴형태를 확인 할 수 있는 유량공급 시간으로 8초를 설정하였다.

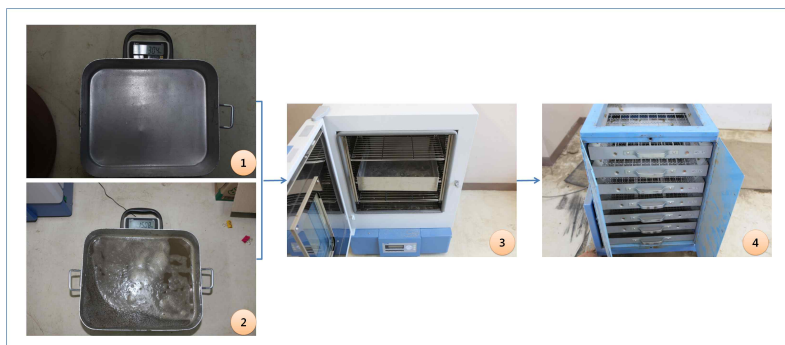


<그림 5> 토석류 실험장치
(표준사 포설 상태 ①, 흙막이 ②, 위어 ③)



<그림 6> 유량공급 조절장치의 활용

토사량 측정 방법으로는 흙막이를 월류하여 발생한 토사가 실험수로 유출단에 도달하는 시간을 기준으로 10초 동안 내려온 양을 측정한다. 토사가 담길 그릇의 무게를 먼저 측정하고 물과 함께 떠내려온 토사를 건조 한 후 다시 그 무게를 측정하여 흙의 무게와 물의 무게를 측정한다. 그 후 체가름을 하여 입경을 분석하였다. 해당내용을 <그림 7>에 표현하였다.



<그림 7> 하상토 입경 분석기 및 저울기

3) 수목배치

산림청에서는 조립수종에 대하여 식재방법을 정방형식재방법, 부분일식방법, 3본 군상 식재방법, 5

본 군상 식재방법 등을 제시하고 있다. 본 연구에서는 수목뿌리 모사모형과 실험 수로의 폭을 고려하여 적절한 식재방법으로 ha당 3000본은 가로, 세로 1.8m간격으로 식재하는 정방형 배치를 기본으로 하였다. 식재면적(20cm×20cm)을 식재본수(6본)으로 나눈 값으로 한 본당 차지하는 면적을 알아낸 뒤 간격을 8.2cm로 계산하였다. <그림 8>에 표현한 것과 같이 6본의 같은 수목모사모형에 각각 다른 색깔 테이프로 표시하여 전도된 수목의 거동 형태를 파악하기 쉽도록 하였으며 주문진 표준사를 사용한 예비실험에서 흐르던 물이 토사와 함께 토석류의 형태로 발생하는 구간이 전체 2m 구간 중 흠막이를 기준으로 50~100cm 구간으로 확인하여 해당 구간에 식재하였다.

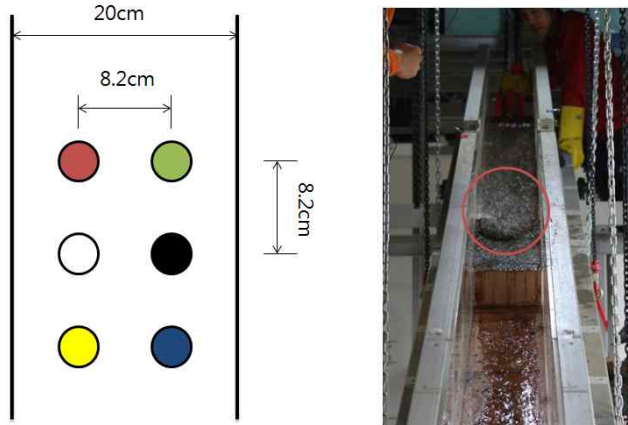


그림 8> 식재방법(좌), 식재위치(우)

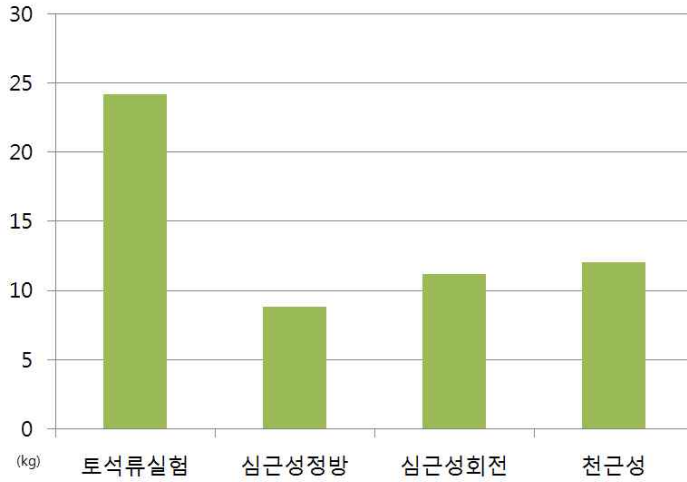
IV. 실험결과 및 고찰

실험케이스는 유량과 공급시간을 파악하기 위한 예비실험 2회, 토석류 발생실험 2회, 수목모사모형에 의한 실험 6×2회로 총 16회로 기획하였다. 하지만 예비실험과 토석류 발생실험 과정에서 포설된 토사를 포화시키는 방법에 따라 물이 스며들거나 토석류 형태로 발생하지 못하고 표면을 따라 그대로 유출되는 등 차이가 발생했기 때문에 정확한 형태의 토석류 발생 실험을 위해 예비실험과 토석류 발생 실험을 각각 5회 진행 후 수목모사모형에 의한 실험을 타입별 1회 진행하였다. 각 실험에 의한 데이터는 <표 2>에 정리하였다. 토석류발생 실험에서 발생된 양보다 수목뿌리 모사모형을 활용한 실험에서 토사량이 저감되는 것을 확인할 수 있었다<그림 9>. 또한 같은 형태의 모사모형에서는 가지 근의 개수가 많은 형태가 더 저감효과가 큰 것이 확인되었다.

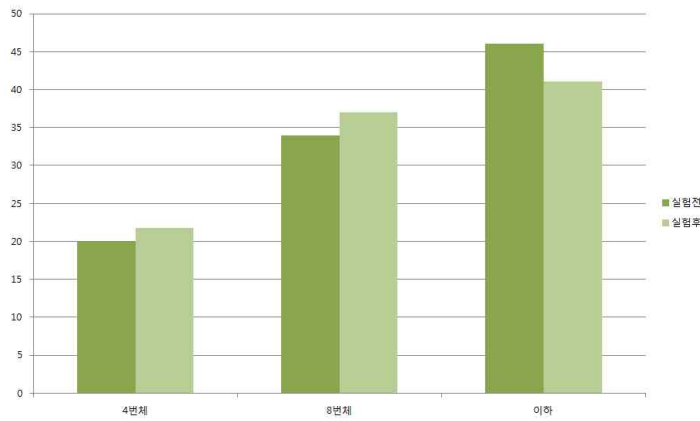
실험 전과 후의 입도분석을 한 결과는 <그림 10>에 표현한 것과 같이 상대적으로 작은 입자인 8번체 이하의 비율이 감소하고 큰 입자인 4번체와 8번체의 비율이 늘어난 것을 확인할 수 있었다.

<표 2> 실험데이터 정리

실험조건	흙+물(kg)	물(kg)	흙(kg)	No.4	No.8	No.80이하
토석류발생실험	24.18	8.54	15.64	3.56	5.58	6.5
심근성회전_3	15.78	5.6	10.18	2.44	3.68	4.06
심근성회전_4	6.58	2.04	4.54	1	1.94	1.56
심근성정방_3	11.86	3.66	8.2	1.9	3	3.3
심근성정방_4	5.78	2.14	3.64	0.58	1.28	1.78
천근성_3	16.68	6.58	10.1	2.2	3.4	4.5
천근성_4	7.34	2.58	4.76	1.08	1.86	1.82



<그림 9> 토석류량(흙+물) 비교



<그림 10> 실험 전·후 입도분포 비교(%)

V. 결론

본 연구에서는 산지에서 발생하는 재해 중 하나인 토석류 재해를 저감하기 위한 방법으로 수목의 여러 공학적 기능 중 뿌리가 가지는 사면안정에 관한 현상에 착안하여 '어떠한 형태의 뿌리가 토석류 저감에 더 효과적인가'를 파악하기 위해 수목뿌리 모사모형을 제작하고 토석류 실험에 적용한 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

수목뿌리 모사모형은 국내 대표적인 뿌리 형태인 심근성 뿌리모형과 천근성 뿌리모형으로 나누어 제작되었고 실험수로의 축척에 맞춰 뿌리모형의 근입깊이와 줄기뿌리의 길이를 결정하였다.

정확한 토석류의 형태를 발생시키고자 입도분석과 강원도 삼척시의 하상시료를 활용하여 토사를 포설하고 예비실험과 토석류 발생 실험 및 수목뿌리 모사모형을 활용한 기초실험을 수행하였고 실험후 발생된 토사량은 무게측정과 입도분석을 하였다.

그 결과 수목을 활용한 실험에서 수목을 활용하지 않은 토석류발생 실험보다 적은 양의 토사량이 발생되었으며 천근성 수종의 모형보다 심근성 수종의 모형이 저감 효과가 더 뛰어난 것으로 확인되었다. 또한 발생된 토사량의 입도분석 결과 8번체 이하의 작은 입자의 비율이 줄어들고 4번체와 8번체 이상의 큰 입자에 대한 비율이 증가한 것은 토석류의 특성 중 하나인 선단부에 큰 입자가 분포하는 특성과 일치하였다.

향후 수목뿌리 모사모형의 추가적인 배치 방법과 실험 횟수를 증가시켜 수목뿌리가 토석류 저감효과에 미치는 영향에 대한 추가적인 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

- 김기욱, 유철상. 2006. 유역 내 토사유출량 산정을 위한 사면안정해석에서의 식생뿌리의 영향에 관한 연구. 대한토목학회 학술대회. 10: 2109-2112.
- 김상수, 이종규. 2006. 비탈면에서의 식생공법과 보강효과. 한국토목섬유학회지 5(4): 24-33.
- 서동준, 김세진, 김동근. 2010. 소나무의 근계특성이 사면안정화에 미치는 영향. Journal of Forest Science. 26(3): 193-202.
- 이동균, 전근우, 이진호, 임영협, 김민식. 2009. 집중호우시에 있어서 수변림이 산사태 발생에 미치는 영향. (사)한국임학회 정기총회 학술발표회. pp. 376-377.
- 이창우. 2006. 수목근계의 사면안정에 미치는 영향. 2006열린세미나 자료집. pp. 43-49.
- 유전용, 김현태, 강병운, 반창현, 양영철. 2002. 식물의 공학적 특성을 고려한 토사사면 보호공에서의 식생선정기법 연구. 한국지반공학회 2002년도 가을 학술발표회논문집. pp. 459-466.
- 전병희, 전계원, 장창덕. 2012. 산지재해 연구를위한 토석류 실험장치의 개발 방안. 한국위기관리논집.

8(3):137-146.

최종호, 전계원. 2015. 수목모사모형에 의한 토석류 저감효과 분석실험 I (수목모사모형제작에 관한연구). 한국환경기술학회지. 15(2).

Faisal, H. A. and O. Normaniza. 2008. Shear Strength Of A Soil Containing Vegetation Roots. *Soils and Foundations*. 48(4): 587-596.

Lee, I. M., S. G. Sung, and C. M. Lim. 1991. An experimental study on the effect of vegetation roots on slope stability of hillside slopes. *International Journal of Geo-engineering*. 7(2): 51-66.

Wu, T. H., W.P. McKinnell III, and D.N. Swanston, 1979. Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska, *Canadian Geotechnical Journal*, 16: 19-33.

탁원준: 강원대학교 방재전문대학원 방재관리전공 박사과정으로 재학중이다. 강원대학교에서 공학석사 학위를 취득하고 (논문 : RAMMS를 이용한 토석류 이동과 확산범위 산정에 관한 연구), 관심분야는 산지재해 방재, GIS, 수리·수문 모델링 이다(E-mail: wjtak@kangwon.ac.kr).

전계원: 충북대학교에서 공학박사 학위를 취득하고(논문: 홍수유출과 수질예측을 위한 Web기반 시스템의 개발, 2004. 2), 현재 강원대학교 방재전문대학원에서 부교수로 재직중이다. 관심분야는 풍수해 방재, 산지재해 방재, 자연재해관리 등이며, 자연재해란 무엇인가?(공저, 2008), 방재사전(공저, 2010) 등의 저서와 주요 논문으로 “산악지역돌발홍수 기준우량 결정에 관한 기초연구(2010)”, “지상 LiDAR를 이용한 토석류 발생량 추정에 관한 기초연구(2010)” 등이 있다(kwjun@kangwon.ac.kr).