

# 도로공사지역의 토양침식 및 토사유출

## Soil erosion and sediment in the construction area

박상덕\*, 지민규\*\*, 신승숙\*\*\*, 김호섭\*\*\*\*, 이종설\*\*\*\*\*

Sang Deog Park, Min Gyu Ji, Seung Sook Shin, Ho Sup Kim, Jong Seol Lee

### 요 지

산지환경급변지역에서 집중호우에 의한 다량의 토사유출은 하천유역내 사회기반시설을 파괴하는 재해요인으로 작용할 수 있다. 본 연구에서는 산지환경급변지역 중 인위적인 지표교란 지역으로 대표되는 도로공사지역을 선정하여 집중호우가 발생하는 6월, 7월, 8월의 강우사상별 강우에너지와 토양침식 및 토사유출의 관계를 조사하였다. 조사결과 강우에너지가 커질수록 토양침식 및 토사유출량이 증가하는 결과를 나타내고 있다. 토양침식 조사를 위한 조사구에서 토양침식량은 식생요인과 관리상태에 따라 크게 영향을 받았다. 일반적으로는 강우에너지 증가에 따라 토양침식량이 증가한다.

도로공사지역에서는 심각한 지표교란뿐만 아니라 선행강우, 세류의 존재 여부, 그리고 외부적 요인들 때문에 상대적으로 작은 규모의 강우에 대해서도 다량의 토양침식량이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 교란이 발생하지 않은 인근 산지의 대조구와 공사에 의한 교란 나지사면을 조사구를 비교해보았을 때, 평균 토양침식량은 약 7,352배의 차이를 보였으며, 섬유매트처리 및 사면포장처리 조사구처럼 인공적인 관리를 수행한 조사구와는 약 132배의 차이를 보였다. 또한, 인공적인 관리를 수행한 조사구는 지표사면관리의 영향과 야생종의 유입으로 지표가 안정되어 나지사면 조사구에 비해 상대적으로 적은 양의 토양침식이 발생하였다. 이는 지표교란이 심한 공사활동 지역에서는 지표특성에 따른 적합한 사면 응급처리 기법의 적용이 중요함을 나타내는 것이다.

**핵심용어 : 토사유출, 토양침식, 집중호우, 산지환경급변지역, 도로공사**

## 1. 서 론

인간의 사회적, 경제적, 정치적인 활동으로 인해 토지 이용과 개발 행위가 급속도로 증가하고 있다. 전 국토의 약 65%가 산지인 우리나라는 골프장, 도로공사, 도시개발 등의 건설활동으로 인하여 산림이 훼손되고 있으며, 이와 같은 산지환경 급변지역의 전국적인 증가추세는 경제성장과 더불어 더욱 가속화되고 있다. 이와 같은 산지환경 급변지역에서는 기후변화에 따라 증가하고 있는 집중호우와 함께 토사유출량이 유역 내 강우유출 시스템의 치수기능을 크게 저하시키고, 이로 인해 홍수의 위험을 증가시키며, 사회간접자본시설을 파괴하는 재해 요인으로 작용한다. 본 연구

\* 정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 교수 · E-mail : sdpark@gwnu.ac.kr  
\*\* 학생회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : yshinje@naver.com  
\*\*\* 정회원 · 강릉원주대학교 방재연구소 전임연구원 공학박사 · E-mail : cewsook@hanmail.net  
\*\*\*\* 정회원 · 강릉원주대학교 수충부 및 토석류 방재기술 연구단 사무국총괄팀장 · E-mail : krismas@nate.com  
\*\*\*\*\* 정회원 · 국립방재연구소 · E-mail : jlee@nema.go.kr

에서는 산지환경 급변지역중 인위적인 지표교란지역으로 대표되는 도로공사지역을 선정하여 경우에 의한, 공사 구역의 토사유출량과 섬유매트처리 조사구, 나지사면 조사구, 사면포장처리 조사구, 지표교란이 없는 인근 산지의 조사구에서 토양침식량을 조사하였다.

## 2. 시험구역 및 조사구

산지환경급변지역 중 도로공사 지역으로 선정한 시험구역은 강원도 강릉시 경포동에 위치한 왕복4차선 도로공사 지역이다. 이 지역은 도로건설공사에 따른 산지사면 굴착으로 지표가 심하게 교란되고 지형변화가 매우 큰 구역으로서 지형특성을 고려하여 5개의 조사구를 설치·운영하였다. 도로공사로 인해 급변하는 지형에 부합하여, 섬유매트처리, 나지사면, 사면포장처리 조사구는 1m×2m의 크기로 설치하였고 대조구는 3m×10m의 크기로 설치하였다. 섬유매트처리 조사구와 사면포장처리 조사구는 공사현장의 나지사면 토양침식을 방지하지 위하여 인위적인 사면처리를 한 조사구이며, 대조구는 공사 전 산지의 토양침식량을 측정하기 위한 것이다. 그림 1은 도로공사 지역의 전경 및 조사구의 위치 입체지형도이며, 표 1은 시험구역 및 조사구의 특성을 나타낸 것이다.

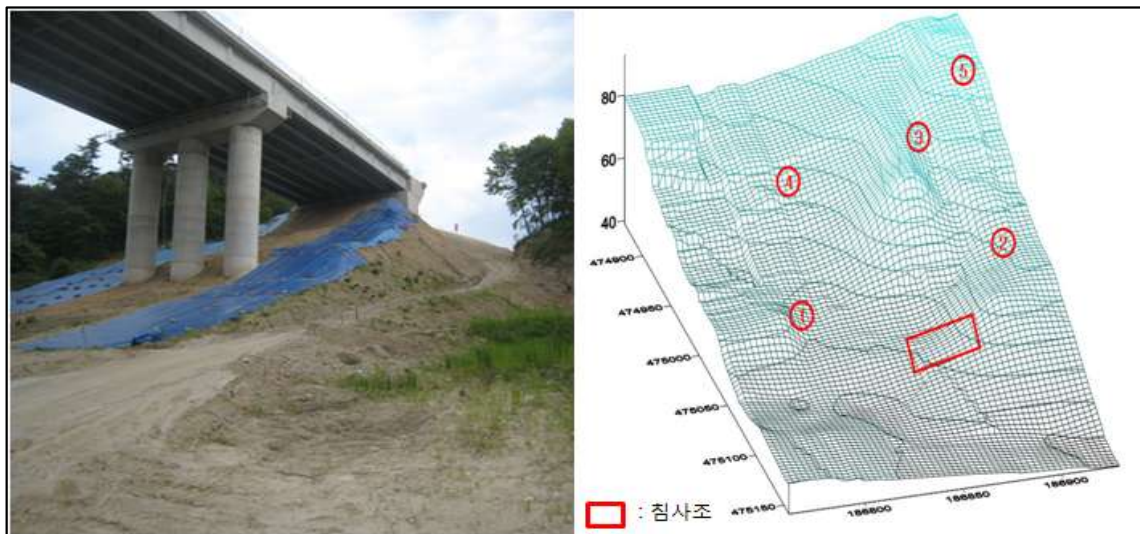


그림 1. 도로공사 지역 전경 및 조사구의 위치 입체지형도

표 1. 시험구역 및 조사구의 특성

구분	번호	명칭	면적 ( $m^2$ )	지형	관리상태	비고
토양 침식	1	섬유매트처리조사구	2	사면 중	인공섬유매트 설치	야생종 유입
	2	나지사면 조사구-1	2	사면 중	방치	세류 유
	3	나지사면 조사구-2	2	사면 상	방치	세류 무
	4	사면포장처리 조사구	2	사면 중	사면포장	야생종 유입
	5	대조구	30	사면 중	교란되지 않은 산지	소나무·밤나무 우점
토사 유출	시험구역		15,270	인공경사지	건설교란지	침사지규모 : 20m×15m×2m

### 3. 결과 및 고찰

2009년 6월부터 2009년 7월까지 발생한 강우사상에 따른 도로공사지역의 토사유출량 및 토양침식량을 조사하였다. 최대강우량은 2009년 7월 12일에 발생한 136.5mm이며 이때의 강우강도는 23.5mm/hr로 나타났다. 또한 1,827kg/m<sup>2</sup>의 비토사유출량이 발생하여 이 지역의 최대값을 나타내었다. 이 값은 산불발생 후 9년이 경과한 산불복원지역의 단위강우량에 대한 토사유출량 비인 0.071g/m<sup>2</sup>/mm와 벌목지역의 1.04g/m<sup>2</sup>/mm와 비교하였을 때, 각각 약 187,722배와 12,869배의 차이를 보인다. 이는 공사로 인한 토양의 교란뿐만 아니라, 식생인자의 차이가 이러한 값을 나타내었다고 판단된다. 비교지역으로 선정된 산불복원지역과 벌목지역의 평균 Vc는 85.6%와 48%로, 도로공사지역의 평균 2%와 비교하여 큰 식생지수를 가지고 있으며(국립방재연구소, 2009), 이는 사면의 토양침식 및 토사유출에 있어서 가장 중요한 인자로 작용하였다.

그림 2는 도로공사지역의 토사유출량을 나타낸 것이며 강우에너지는 Van Dijk(2002)가 제안한 식을 이용하여 산정하였다. 전체적으로 강우에너지가 증가할수록 토사유출량이 증가하는 추세를 보인다. 그림 3은 도로공사지역의 토양침식량을 제시한 것이다. 조사구 중 가장 큰 토사유출량을 보인 조사구는 나지사면-1 조사구로서 3,896.5g/m<sup>2</sup>의 토사유출량이 발생하였다. 하지만 이때의 강우량은 26.5mm를 나타냈다. 이는 토양침식량이 강우의 규모에 지배되긴 하지만 도로건설지역의 특성상 외적인 요인에 의해 민감하게 반응하여 적은 강우량에서도 이러한 값이 나타났다고 판단되어진다. 이 값은 섬유매트처리 조사구, 사면포장처리 조사구와 비교했을 때, 각각 약 23배, 56배의 차이를 보였으며, 대조구와 비교하면 약 7,352배의 차이를 나타내었다. 나지사면-2 조사구와는 약 24배의 차이를 나타내었는데 이는 나지사면-1 조사구가 다진 흔적이 없이 방치되었던데 반해 나지사면-2 조사구는 다져진 성토사면이었으며, 경사가 35°로서 44.5°인 나지사면-1 조사구에 비해 경사도도 낮았다. 또한 나지사면-1 조사구는 경사지에 세류가 형성되어 있었기 때문에 이러한 차이가 나타났다고 판단된다.

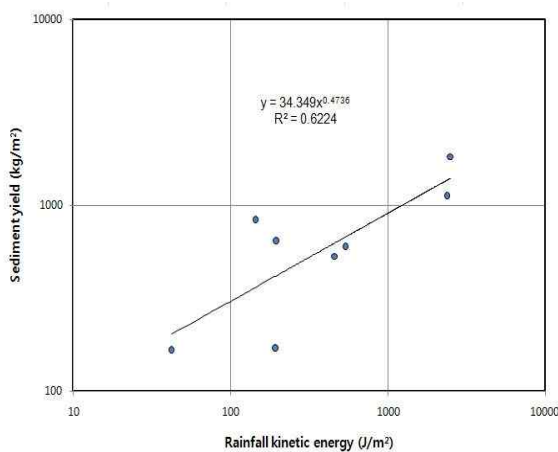


그림 2. 도로공사지역의 토사유출량

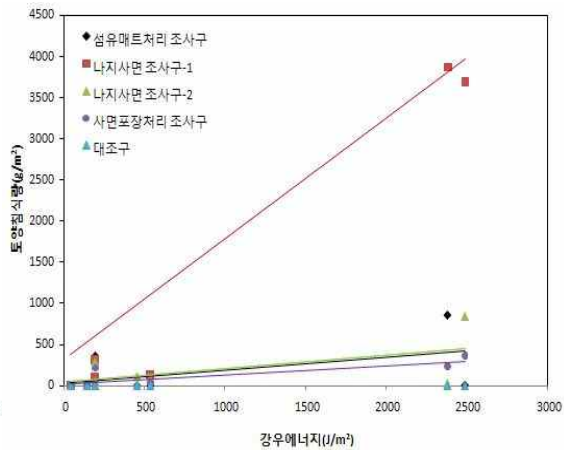


그림 3. 도로공사사면의 토양침식량

도로공사지역의 토사유출량은 산불복원지역이나 벌목지역과 비교하여 큰 차이를 보이며, 이는 공사로 인한 토양의 교란 뿐 아니라 전체 피복도의 차이로 인하여 이러한 차이가 나타났다고 판단된다. 산불지역의 식생피복도 차이에 대한 토양침식량의 경우, Johanson 등 (2001)의 연구에서는 소나무 숲을 태워 토양을 노출시킨 지역과 대조구에서 강우 모의시험을 수행하여, 토양침식량

을 비교한 결과 25배 증가함을 보였으며, 신 등 (2008)의 양양 산불지역의 토양침식에 대한 연구에서는 식생회복이 느린 조사구와 대조구의 차이가 10배 가까이 발생한 것으로 조사되었다. 하지만 도로공사지역에서 나지사면 조사구와 대조구의 차이는 무려 7,352배의 차이를 보여 도로공사지역의 토양특성을 고려한 차별화된 대책방안을 수립하는 것이 필요하다고 판단된다. 또한 일반적으로 강우에너지에 따라 토양침식량이 증가하지만, 도로공사지역의 경우 심각한 지표교란뿐만 아니라 선행 강우, 세류의 존재 여부, 그리고 외부적 요인들 때문에 상대적으로 작은 규모의 강우에 대해서도 다량의 토양침식량이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 뿐만 아니라 도로공사의 교란지역에서는 토사유출 및 토양침식에 있어 강우량보다는 강우강도에 더 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 사면관리의 경우 사면포장처리 조사구에서 가장 적은 토사유출량이 나타났는데, 이는 교란된 사면 전체에 포장 처리를 함으로서 강우시 토양과 강우의 직접적인 접촉을 차단시키고, 주변토양의 포화를 저하시켜 지표하 유출수 유도 가능성을 낮췄기 때문이라고 판단된다. 섬유매트처리 조사구의 경우도 나지사면-1 조사구와 비교하였을 때 큰 차이를 나타내었는데, 섬유매트 공법으로 인해 절토면의 지반보호나 유실보호 및 강우에 의한 사면침식 저감효과가 이루어졌기 때문이다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 산지의 지표환경변화가 극심한 도로공사지역의 토양침식 및 토사유출량을 강우사상별로 조사하였다. 토양침식량은 나지사면-1 조사구에서 가장 크게 발생하였으며, 대조구와는 7,352배의 차이를 나타냈다. 섬유매트처리와 사면포장처리 같은 인공적인 관리를 수행한 조사구와 대조구의 토양침식량은 132배의 차이를 보였으며, 이는 사면관리를 통한 강우의 타격 저감 및 야생종 유입으로 인한 식생 피복도 차이의 영향이라고 판단된다. 산지의 도로공사지역은 식생제거, 대규모 장비에 의한 지표교란, 성토와 절토 등에 의한 지형변화로 강우량이나 강우강도가 작은 강우에서도 토양이 쉽게 침식되고 많은 토사가 유출될 수 있다. 이에 따른 토사재해를 저감하기 위하여 토사의 생산과 유출의 줄일 수 있는 적절한 사면관리가 이루어져야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 국립방재연구소의 연구비지원(NIDP-주요-2009-04-02)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. 국립방재연구소(2009). 토사유출 관측망 확충 및 저감시설 효과분석 시범구역 운영, pp. 143-144
2. 신승숙, 박상덕, 조재웅, 이규송, 2008. 양양 산불지역 지표유출 및 토양침식에 대한 식생회복의 영향, 대한목학회, pp. 393-403
3. Van Dijk, A.I.J.M., Bruijnzeel, L.A. and Rosewell, C.J., 2002. Rainfall intensity - Kinetic energy relationships. Journal of Hydrology. Elsevier Science B.V., pp. 1-23
4. Johansen, M.P., Hakonson, T.E., and Breshears, D.D. 2001 Post-fire runoff and erosion from rainfall simulation: contrasting forests with shrublands and grasslands. *Hydrological Processes*, Vol, 15, pp. 2953-2965.