

## 절토사면의 수목에 의한 블록이완 사례 연구

### A Case Study on the relaxation of rock blocks caused by trees in slopes

김수로<sup>1)</sup>, Soo-Lo Kim, 김용수<sup>2)</sup>, Yong-Soo Kim, 신창건<sup>3)</sup>, Chang-Gun Shin 안상로<sup>4)</sup>, Sang-Ro Ahn

<sup>1)</sup> 한국시설안전기술공단 기술개발실 연구원, Researcher, Dept. of Technical Development, Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation

<sup>2)</sup> 한국시설안전기술공단 기술개발실 과장, Team manager, Dept. of Technical Development, Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation

<sup>3)</sup> 한국시설안전기술공단 기술개발실 차장, Team chief, Dept. of Technical Development, Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation

<sup>4)</sup> 한국시설안전기술공단 기술사업단 단장, Group leader, Group. of Technical Development, Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation

**SYNOPSIS :** Falling rocks are classed by the collapse to wide meaning. it is a kinds of earth disaster that has happen every year. Falling rocks are defined as blocks which had fallen from the cliff. It is caused by the relaxation of discontinuous structures like as a joint, a foliation, a bedding, and so on. Usually, the Relaxation of blocks from the rock face is happened by various kinds factors that are acted as a complex. Sometimes, the tree can be a factor of the weakness or relaxation of rock blocks and a cause of the falling rock.

**Key words :** 낙석, 수목, 공액절리군(Conjugate joint systems), 부정근(不定根).

## 1. 서 론

일반적으로 낙석과 붕괴를 발생 규모의 대소로서 구분하지만 명확하게 설명하기는 어렵다. 그러나 이를 발생시키는 원인은 자연적인 원인과 인위적인 원인으로 설명되어 진다. 자연적인 원인으로서는 암의 종류, 불연속적인 암반 구조 특성, 암반의 풍화, 지하수 또는 지표수 등 수리적 조건, 동결 및 융해, 강풍으로 대표되는 기상 조건, 지진으로 대표되는 외부 활동, 주변의 식생 작용으로 생각해 볼 수 있다. 인위적인 원인으로서는 암반사면 시공 시 부적절한 발파작업, 차량통행에 따른 인위적인 진동, 주변 공사로 인한 지반 변화, 경작 행위, 구조물 시공에 따른 변화 등이다. 이들 원인은 단독으로 작용하여 낙석 및 붕괴를 발생시킬 수도 있지만 두 가지 이상의 원인이 복합적으로 작용되는 경우가 보다 일반적이라 할 수 있다(표 1).

본 연구는 수목의 작용에 의한 블록 이완 발생 및 붕괴 및 낙석에 미치는 특징을 확인하기 위하여 2003년부터 2005년 까지 도로절토사면 유지관리기법 개발 및 운영 연구로 조사된 현장 중 이완된 암 블록이 수목의 작용인 것으로 추정되는 34개소 현장에 한하여 조사되었다. 대상 절토사면은 의정부국도 유지건설사무소 관내 7개소, 정선국도유지건설사무소 관내 16개소, 충주국도유지건설사무소 관내 5개소, 영주국도유지건설사무소 관내 1개소, 포항국도유지건설사무소 관내 1개소, 대구국도유지건설사무소 관내 1개소, 강릉국도유지건설사무소 관내 3개소이며, 대상 현장의 위치는 다음 그림 1 와 같다.

## 2. 우리나라의 산림 분포

우리나라의 산림대는 크게 난대림 온대림, 한대림 지대로 나눌 수 있다. 난대림 지대는 북위 35도 이남인 일부 남해안 지역과 제주도 그리고 연평균 기온이 14도 이상 지역으로 많은 수의 도서 지역을 포함한다. 이 지대는 상록활엽수림이지만 개발 및 산불로 인한 파괴로 인하여 낙엽활엽수, 소나무림으로 바뀌었다. 북위 35~43도에 위치한 온대림은 연평균 기온이 6도~13도이며, 대표 수종이 낙엽활엽수이지만 대부분 파괴되어 소나무림으로 바뀌어 있는 상태이다. 따라서 남한 전체 면적에 있어서 소나무림의 분포가 우세하게 나타나며, 절토사면 조사에 있어서 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 대표적인 수종임을 알 수 있다. 소나무의 뿌리는 어릴 때부터 주근이 발달되며, 지표면을 따라 발달되는 수평근과 함께 곁뿌리의 아래쪽에 굵은 수하근이 하부로 발달하게 된다.

표 1. 주요 자연적인 낙석, 붕괴 원인과 작용

요 인	작 용
지반특성	암종 및 지반의 구조적 특징에 따른 파괴 및 붕괴.
강우	용설, 용수, 표면수, 침투수에 의한 연약화와 침식.
적설	활동에 의한 침식.
동결, 융해	물의 동결에 의한 절리의 확대, 분리, 토중수의 이동에 의한 지반지층의 연약화.
풍화	물리적, 화학적인 작용에 따른 약화.
강풍	전석의 불안정화.
지진	부석(뜬돌)과 사면의 불안정화.
식생	식물의 뿌리에 의한 절리의 확대, 박리 및 블록 이완.

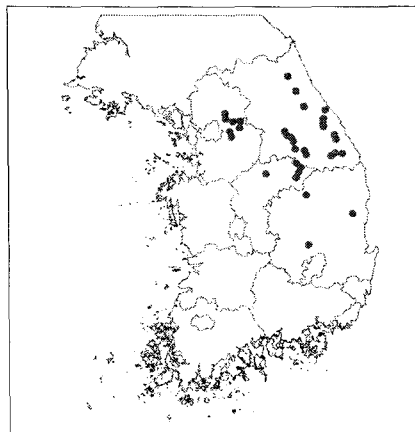


그림 1. 조사위치도

## 3. 지반 특성에 따른 수목에 의한 블록이완 양상

본 절은 다른 지반 환경에서 수목에 의한 블록 이완 상황이 대상 암반의 블록 발달 형상과 밀접한 관계가 있음을 확인하기 위함이며, 수목에 따른 블록이완 형상과 대상 암반의 지질학적 특성에 주안점을 두었다. 상이한 암반에서 수목에 의한 블록 이완 특성을 고찰하기 위하여 전체 34개 조사대상 사면을 화성암류(5개소), 퇴적암류(16개소), 변성암류(13개소)로 분류하였다.

화성암에서 관찰되는 수목에 의한 블록 이완 특성을 고찰하기 위하여 조사 대상 현장 5개소 중 사진에 제시된 대표 현장을 선정하였다. 본 현장은 행정구역상으로 단양군 단성면 회산리에 해당하며, 국도 59호선 상에 위치하고 있다. 본 사면은 월악산 국립공원을 통과하고 있어 자연 환경보호 측면도 고려되

어야 하는 현장 여건을 가지고 있다. 본 현장은 사진 1과 같이 수목의 생장에 따라 중규모 이상의 암 블록의 낙석 위험에 노출되어 있는 상태로서 시간이 지남에 따라 대상 수종인 소나무의 생장으로 인하여 블록의 이완이 심화되는 추세에 있다. 본 현장은 수직 절리군이 우세한 반면, 기타 절리군의 발달은 미약한 암반 상태로서 사면 자체로서는 경사에 따른 위험 절리 노출이 낮아 낙석 및 파괴 발생 가능성이 낮은 상태이지만 사진 1과 같이 국부적으로 수목의 작용에 따른 각주상 또는 장편상의 블록 이완으로 잠재적인 낙석 위험이 관찰되었다.



사진 1. 화강암의 수목에 의한 블록이완 상태(좌 : 사면내, 우 : 상부자연사면)

변성암에서 관찰되는 수목에 의한 블록 이완 고찰 대상은 총 34개 현장 중 13개소이며, 사진에 제시된 양평군 청운면 용두리에 위치한 절토사면을 대표적인 현장으로 선정하였다. 본 현장은 국도 6호선에 위치하고 있으며, 상부 자연사면에서 관찰되는 노두에서 수목의 발달에 따른 블록이완 및 낙석이 예상되는 편마암 암반사면이다. 본 현장은 경사, 경사방향이 50~65/190을 나타내고 있으며, 엽리면의 방향은 15/45로서 사면에 역경사의 방향으로 낮은 경사도를 보이는 특성을 나타내어 대규모 블록파괴나 낙석 위험성은 낮은 상태이다. 사진 2는 상부자연사면상의 블록 이완 양상으로서, 발달된 수평 엽리군에 비하여 낮은 빈도 및 평균 연장성이 1~3m 내외로 낮은 연장성을 가지는 수직 방향 공액절리군(conjugate joint systems)을 따라 수목이 생장하고 있다. 그러나 진술한 수직방향 절리군이 발달된 화강암의 사례와 대조해 볼 때, 낙석이 발생할 만한 완벽한 블록 형성을 위해서는 연장성이 낮은 공액절리군의 이완 심화가 요구되는 상태이다.

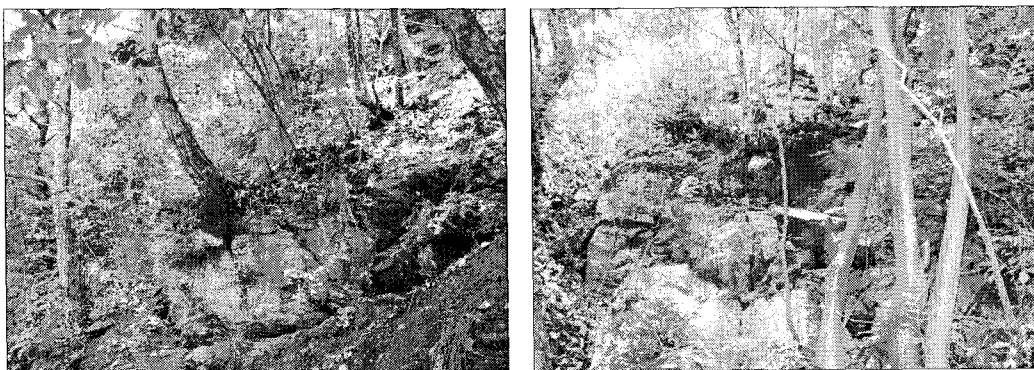


사진 2. 편마암의 수목에 의한 블록이완 상태 및 불연속면 양상

퇴적암류에서 관찰되는 수목에 의한 블록 이완 특성 고찰 대상은 전체 34개소 중 16개소이며, 금번 퇴적암류의 분류는 약간의 변성을 받은 변성퇴적암류까지를 조사대상에 포함하였다. 본 연구에 적용된 16개소의 퇴적암류 절토사면 중 정선국도유지건설사무소 관내의 사진에 제시된 4개소 현장을 대표 현장으로 선정하였으며, 다음 사진 3 ~ 사진 5와 같다. 퇴적암류 사면은 대체로 과거 층리였던 방향을 따

라 불연속면의 발달이 우세하게 발생되며, 공액절리군도 우세하게 발달되어 블록간의 결합력이 낮은 파쇄암반 양상을 보이는 경우가 많았다. 이러한 퇴적암류의 불연속면 발달 특성으로 인하여 사진 3과 같이 적은 이완으로도 자생이 가능한 잡목이 넓게 분포되어 있었다. 이러한 암반 특성은 수목의 구근 발달에도 영향을 주어 수직방향과 함께 수평방향으로도 쉽게 구근이 성장되는 특징을 보였다. 또한 사진 5와 같이 조밀한 불연속면을 포함한 파쇄암반사면의 경우 암반이 수목이 지탱할 만한 충분한 지지력을 확보하지 못하여 바람의 영향으로 인하여 수목의 전도가 발생됨으로 인하여 2차적으로 낙석이 발생하는 사례도 조사되었다.

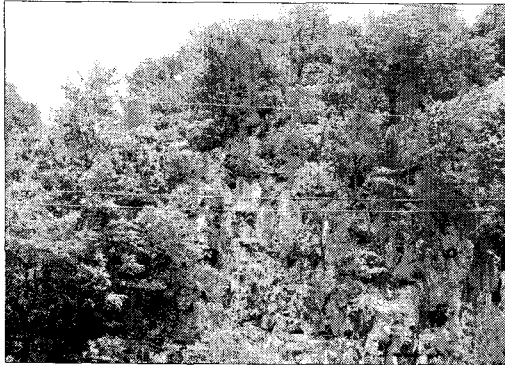


사진 3. 넓게 분포된 소목류 및 이완



사진 4. 퇴적암류의 수목에 의한 블록이완

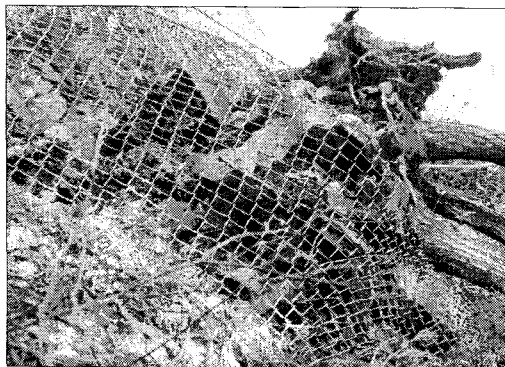
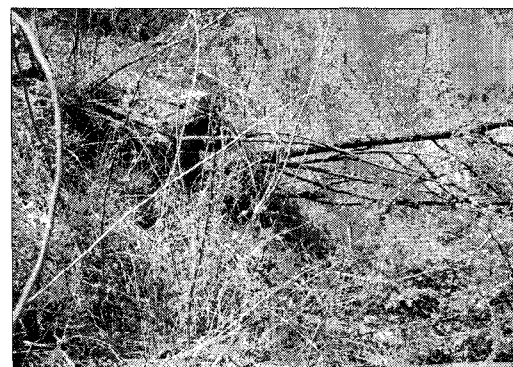


사진 5. 퇴적암류 사면에서 수목의 전도에 의한 낙석 발생



#### 4. 기타 식물에 의한 낙석 사례

식물의 뿌리의 생장은 전술한 바와 같이 낙석발생에 직접적으로 영향을 끼치기도 하지만 다른 위험요소들과 연계하여 발생하는 경우가 있다. 대상 절토사면은 행정구역상으로 경기도 가평군 청평면 청평리에 속하며 국도 46호선 상의 암반절토사면이다. 본 절토사면은 위험방향 옆리면 발달이 우세한 암반사면으로, 시점부~중간부 구간 중상단 법면에서 대형 블록의 이완이 관찰되며, 평사투영 해석 결과, 그림 2과 같이 Set 1 불연속면에 의하여 평면과파 및 쉐기과파 위험이 있는 것으로 나타났으며, Set 1 불연속면의 기하학적 특성상 블록과파 발생시 평면과파가 우세한 것으로 판단된다.

본 현장은 넝쿨식물 자생이 낙석 발생의 한 원인으로서 낙석 발생 부근에서 관찰되는 뿌리는 직경 1~5mm 로서 가는 구근 특징을 보였다. 본 현장에서 넝쿨식물이 직접적으로 블록을 이완시킨 것으로 판단하기는 어렵지만, 식생이 블록 경계부에서 블록을 침투한 상태에서 블록간의 전단특성 약화가 발생되었을 것으로 예상된다. 2005년 7월 13일 본 현장에서 발생한 낙석 발생 원인은 불연속면의 심한 풍화(Highly Weathered)에 따른 블록 사이의 결합력 약화와 함께 넝쿨식물의 구근이 불연속면을 침투하는 현상, 그리고 발생 당일의 기상 조건이 복합적으로 작용된 결과로 평가되었다(사진 6~9).

넙쿨 식물은 자연발생적으로 생성되는 경우도 있지만 인공적으로 사면 절취 후 표면보호 또는 친환경적 녹화의 수단으로 사용되기도 한다. 그러나 암반 특성과 넙쿨식물의 부정근 발달 특성을 고려하지 않은 경우 원래의 표면보호의 목적 보다 암반 블록 이완을 가속화 하는 원인이 될 수 있다(사진 10).

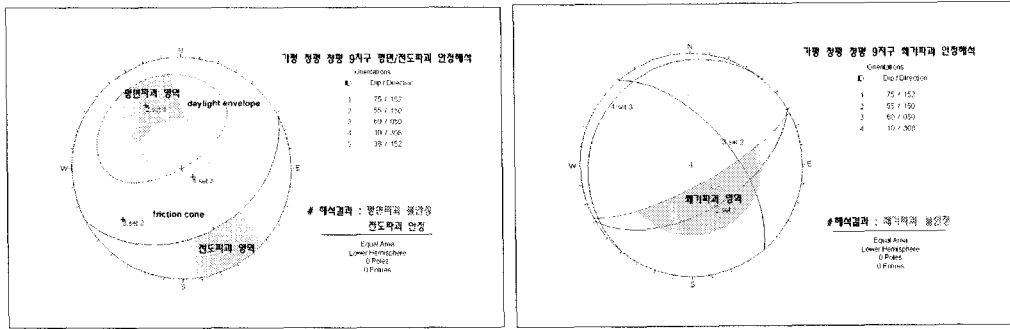


그림 2 평사투영해석(평면파괴:불안정, 썩기파괴:불안정, 전도파괴:안정)



사진 6. 넙쿨식물 및 뿌리 발달 양상

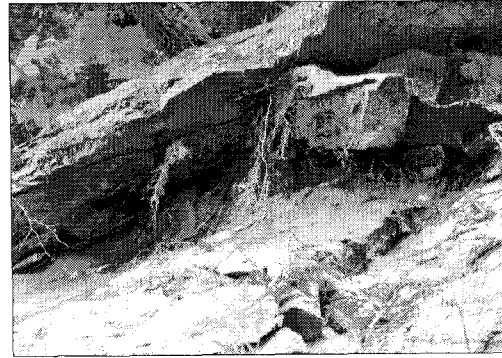


사진 7. 식물 잔뿌리의 침투 양상



사진 8. 낙석 발생부 측면

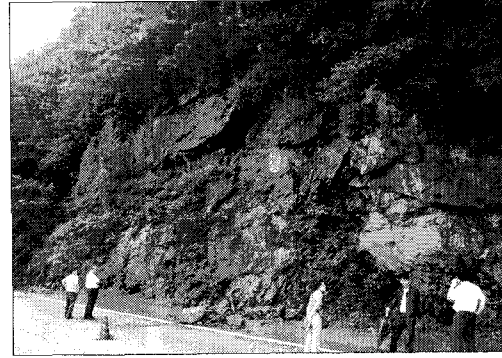


사진 9. 낙석 상황(2005년 7월 13일)

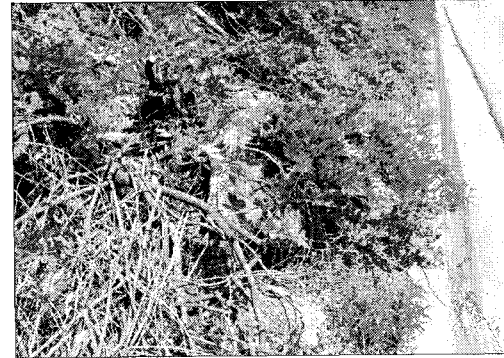


사진 10. 넙쿨식물의 부정근 발달에 따른 낙석 발생 사례

## 5. 결론

본 연구는 절토사면의 수목에 의한 블록이완에 관한 연구로서, 현장조사 사례를 중심으로 분류하고, 서술하였다. 현장 사례 분류를 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

- (1) 암반절토사면에서 수목에 의한 블록이완 양상은 암종의 차이에 따른 불연속면 특성 변화 및 암반 상태에 따라 암블록 이완 특성이 다른 양상으로 나타난다. 따라서 절토사면 안전진단을 위해 수목의 영향 평가 및 예측이 필요한 경우 해당 위치의 불연속면의 방향성 분석, 불연속면의 간격 자료에 대한 고찰을 통한다면, 정성적인 평가는 가능한 것으로 사료된다.
- (2) 낙석 발생은 여러 원인 중 수목의 작용에 따른 블록 이완은 단독으로 발생하는 경우도 있지만 다른 원인들과 함께 복합적인 원인으로 발생하는 사례가 있으므로 다른 원인과의 비교를 위해서 절토사면에 대한 안전진단시 수목의 발달 현황에 대한 조사가 필요한 것으로 판단된다.
- (3) 암반 사면의 표면보호 또는 친환경 녹화의 수단으로 인공으로 넝쿨식물을 시공할 경우 암반상태 및 대상 식생의 부정근 발생 특성을 고려한 설계 및 시공이 필요한 것으로 판단된다.

## 참고 문헌

1. 건설교통부, (2003), 도로절토사면 유지관리지침, vol pp. 1~54
2. 건설교통부, (2005), 2004년도 도로절토사면 안정성 해석 및 대책-의정부국도유지건설사무소, vol 1.
3. 건설교통부, (2005), 2004년도 도로절토사면 안정성 해석 및 대책-정선국도유지건설사무소, vol 1~3.
4. 건설교통부, (2004), 2003년도 도로절토사면 안정성 해석 및 대책-대구국도유지건설사무소, vol 1.
5. 전성기, (1998), 사면안정화 설계실무편람, 과학기술, 서울, pp. 139~147.
6. 산림청, (2005), 한국의 입엽, <http://www.foa.go.kr>
7. Marland P.Billings, (1972), Structural Geology, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, pp. 168~172