

국내 국도변의 비탈면 현황 분석 연구

Analysis for Current Situation of Slope along National Roads in Korea

박재영[†] · 신창건¹⁾ · 장범수²⁾

Park, Jaeyoung · Shin, Changgun · Chang, Bumsu

ABSTRACT : Inventory survey is process collecting data about cut slope. It's different from inspection. Collected data are being used get at status about cut slope along national roads. And we analyse between current situation and data about collapse slope. It helps finding better method about maintenance of cut slope. We found changes in the situation between data at present and data at 10 years ago. We will research collapse and counterplan by cause.

Keywords : Status of cut slope, Analysis about cut slope along national roads, Inventory survey, Detailed investigation

요 지 : 기초조사란 위험비탈면에 실시하는 정밀조사와는 달리 비탈면의 현황을 파악하고자 실시한다. 과거 기초조사자료를 토대로 하여 전국 국도변에 분포하고 있는 비탈면의 일반현황을 분석하였다. 또한 비탈면 일반 현황과 붕괴가 발생한 비탈면에 대한 비교분석을 통하여 유지관리 시 중요한 사항에 대하여 연구를 수행하였다. 10년 전 붕괴가 발생된 자료와 현재 붕괴된 자료를 통하여 비탈면 파괴 유형 및 대책공법의 적용에 대한 변화 추이를 분석하였다. 추후 원인별 붕괴형태 분석 및 대책공법과의 연관성을 연구하려 한다.

주요어 : 비탈면 현황, 국도 비탈면 분석, 기초조사, 정밀조사

1. 서 론

기초조사란 비탈면의 현황을 파악하고자 실시한다. 즉, 행정구역상 위치, GPS 좌표, 높이, 연장 등 비탈면의 기본적인 정보 뿐만 아니라 풍화도 및 절리방향, 수리조건 등 지질학적인 정보, 조사자의 주관적인 위험도 및 피해도 등이 포함된다. 조사한 자료는 전국에 분포하고 있는 비탈면의 현황을 파악하고 위험도를 예상함으로써 위험사면에 대한 정밀조사를 실시하는데 기본이 되는 조사 우선순위를 판단하는데 활용된다. 정밀조사는 기초조사 이외에 육안조사 및 비파괴조사를 통한 사면상태 파악, 안정해석, 대책공법 및 대략공사비 등이 포함된다. 본 연구에서는 전국 국도변의 비탈면에 대한 기초조사 자료를 바탕으로 비탈면의 일반현

황을 파악하고 붕괴사례 정밀조사 현황을 분석하여 비탈면 유지관리를 수행하는데 개선방안을 도출하고자 하였다.

2. 본 론

2006년부터 2010년까지 수행된 기초조사 결과를 바탕으로 국도변 비탈면의 일반현황을 분석해 보았다. 국도변 비탈면 전체 개수는 총 28,707개소의 비탈면이 조사되었다. 아래 표 1에서 비탈면 기초조사 시 조사 항목을 나타내었다 (김진환 등, 2009). 일반현황에서 비탈면의 일반현황을 작성하고 비탈면 특성에서는 기술자에 의한 기본적인 조사를 실시한다. 또한 조사자의 의견을 넣을 수 있어 세밀한 비탈면 정보를 추가로 기재한다.

표 1. 비탈면 기초조사 조사 항목

구분	조사항목
일반현황	거리표, 위경도, 차선, 조사일자, 조사자
비탈면 특성	길이, 높이 경사, 상부경사, 이격거리, 소단분포, 종류, 주변지형, 지하수, 누수위치, 풍화도, 불연속면 방향성, 비탈면형상, 측면형상, 계곡부, 붕괴이력, 뜬돌 및 낙석분포, 압중, 토층심도, 암반형태, 불연속면 종류, 시공상태
조사자 의견	위험도, 피해도, 붕괴유형, 위험등급, 위험구간, 필요주공법, 기타사항

† 비회원, 한국시설안전공단 기술개발팀 사원(E-mail : ids0130@kistec.or.kr)

1) 비회원, 한국시설안전공단 기술개발팀 차장 · 공학박사

2) 정회원, 한국시설안전공단 기술개발팀 팀장 · 공학박사

2.1 국내 국도변 비탈면 일반현황

규모별 비탈면 현황을 분석해 보았다. 비탈면 길이는 비탈면 시점부터 종점까지의 연장을 나타내며 차량 진행 방향을 기준으로 측정한다. 길이 구분은 50, 100, 150, 200m의 기준으로 분류하였으며, 아래 그림 1에서 비탈면 길이별 분포 현황을 나타내었다. 분석 결과를 살펴보면 50~100m 구간에 44%의 비탈면이 분포하는 것을 볼 수 있다. 전체 비탈면의 길이 평균은 95m 이다(한국건설기술연구원 등, 2009).

다음으로 비탈면 높이에 대하여 분석해 보았다. 비탈면 높이의 평균은 15m로 조사되었으며, 높이의 경우 10, 20, 30, 50m의 구분으로 분류하여 그림 2에 나타내었다. 높이 분포의 경우 10~20m 구간에 49%의 비탈면이 존재하는 것을 알 수 있다.

최근 들어 준공되는 국도를 살펴보면 직선화, 광폭화되는 경향을 보이고 있다. 따라서 비탈면 길이가 200m 이상, 높이 50m 이상인 대규모 비탈면이 많이 생겨나고 있다. 이에 대한 지역별 분포를 그림 3에서 나타내었다. 지역별 분포에서 가장 넓은 구간을 관리하고 있는 부산청이 제일 많

은 대규모 비탈면이 분포하고 있으며, 4차선으로 직선화 구간이 많은 대전청, 산악지형인 원주청 순으로 대규모 비탈면이 분포하고 있는 것을 확인할 수 있다.

그림 4에서는 비탈면 안정성 검토에 중요 요인으로 작용하는 경사에 관한 분포를 나타내었다. 전체 평균은 54°이며, 30°, 45°, 60°, 70°의 구분 기준으로 비탈면 경사 분포를 살펴보면, 그림 4에서와 같이 45~60°경사 분포가 전체 중 56%를 차지하였다. 실시설계 후 해당 비탈면에 대한 공법이 지정되었더라도 암반비탈면은 단층, 절리, 층리면 등과 같은 불연속면에 의해 불연속적으로 거동하며, 불연속면의 공학적인 특성에 의해 안정성이 좌우된다. 그러므로 시공 중 불연속면 상태에 대한 정밀 지질조사를 수행하여 지질구조가 미치는 비탈면 안정성을 재검토하여 시공 중 설계변경이나 보강공사를 수행하는 것이 바람직하다(정상현 등, 2001).

상부 자연 비탈면 경사의 경우 비탈면 상부에서 발생할 수 있는 낙석의 도로유입, 우수 등 지표수의 비탈면 유입 등으로 인해 정밀조사 시 필수 조사 항목이다. 상부 자연 비탈면 경사 평균은 11°이며, 이에 대한 분포를 분석해 보았다. 구분은 0° 이하, 10°, 28°, 32°로 기준을 정하였다(신창건, 2008).

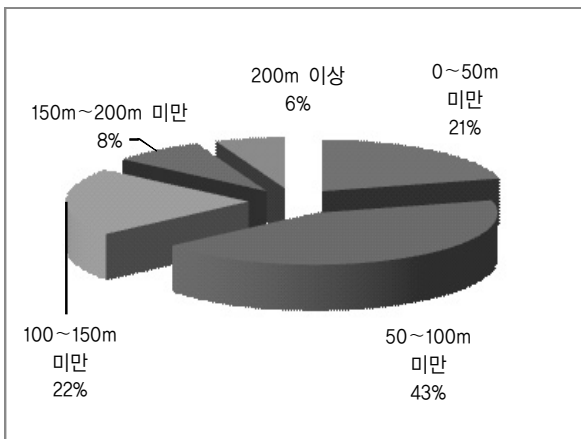


그림 1. 비탈면 길이별 구분

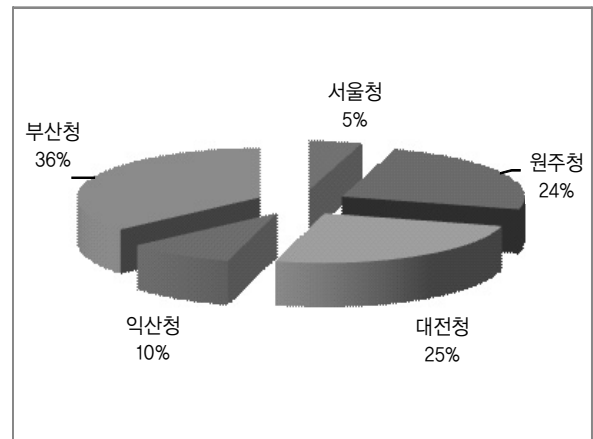


그림 3. 대규모 비탈면 지역분포

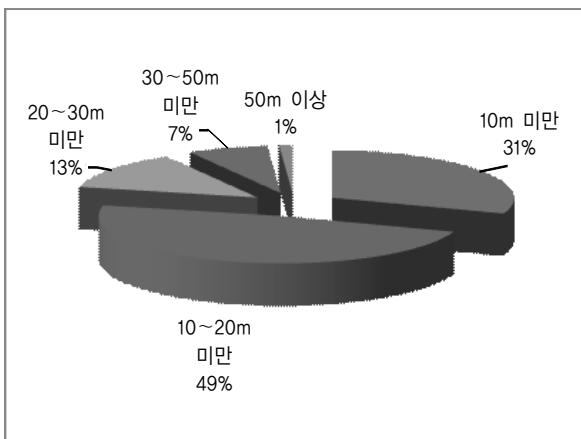


그림 2. 비탈면 높이별 구분

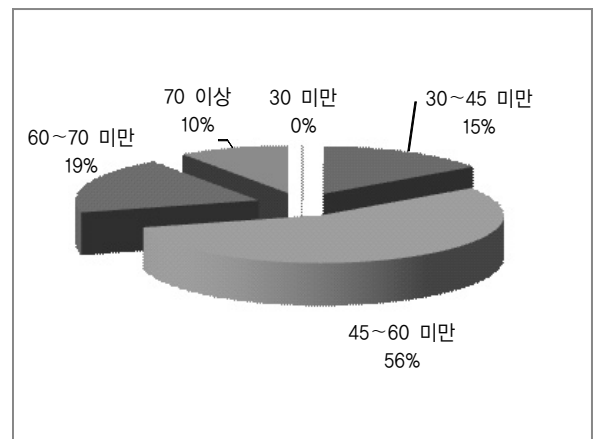


그림 4. 비탈면 경사 분포(단위: °)

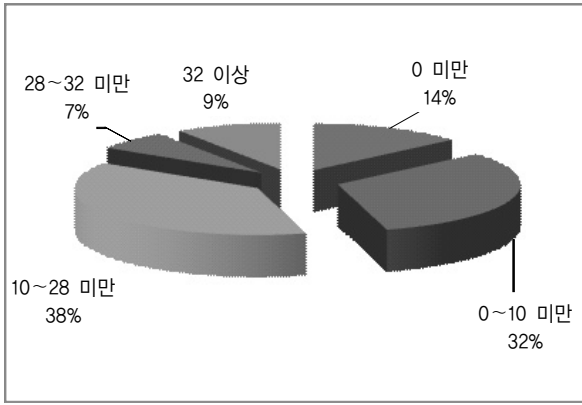


그림 5. 상부 자연 비탈면 경사 분포(단위: °)

그림 5에서와 같이 상부 자연 비탈면의 경사는 10° 이상 54%로, 이 경우 상부에서 지표수가 유입될 수 있는 조건을 갖추고 있어 배수로 적용이 필요하다. 다음 절에서 붕괴사례 현황분석을 통해 대표적인 붕괴 사례를 파악해 보고자 한다.

2.2 비탈면 붕괴사례 현황 분석

비탈면 붕괴사례 분석을 위한 년도별 자료를 추출하여 2006

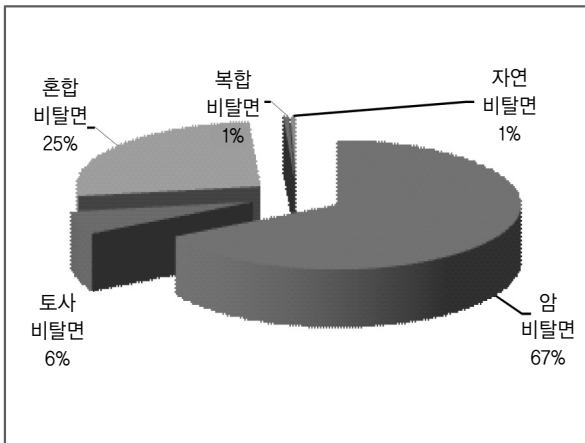


그림 6. 비탈면 종류

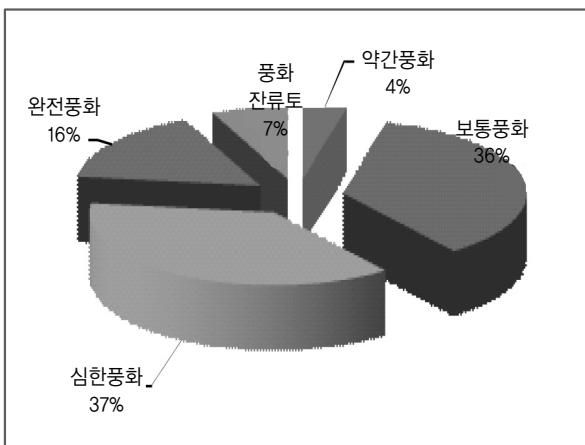


그림 7. 풍화정도

년부터 실시된 정밀조사 자료를 바탕으로 분석을 실시하였다. 조사가 이루어진 비탈면은 비탈면 관리자가 위험성이 있다고 판단하여 비탈면 전문가에게 조사 의뢰를 한 경우와 실제 붕괴가 발생하여 긴급하게 정밀조사를 한 경우를 포함하였다. 2006년 131개소, 2007년 242개소, 2008년 209개소, 2009년 331개소 정밀조사를 실시하였다.

먼저 비탈면 종류에 대한 분석을 실시하였다. 그림 6에서와 같이 비탈면 종류는 토층심도가 비탈면 전체 높이의 20% 미만이면 암 비탈면, 20~40% 혼합 비탈면, 40% 이상 토사 비탈면, 토사와 암이 복합적으로 나타나면 복합 비탈면, 깎기 비탈면에서 발생하지 않고 자연 비탈면에서 발생한 경우로 분류하였다. 붕괴가 발생한 비탈면 종류를 분석하여 보면 토층심도가 40% 미만인 혼합 비탈면과 암 비탈면이 92%로 대부분을 차지하였다.

토사 비탈면의 경우 시공 시 일정 구배 이하로 시공하여 대부분 표층파괴로 파괴심도가 깊은 천층파괴 발생빈도는 적었으며, 암 및 혼합 비탈면의 경우는 표면보호의 손실로 풍화가 진행되어 붕괴가 발생한 것으로 판단된다. 따라서 암 비탈면의 경우 일률적인 구배를 정하여 시공하는 것이 아니라 비탈면내 절리에 의한 파괴를 염두해 두어 깎기 공정을 시행해 가면서 추가로 정보를 획득하여 추가 깎기 및 보강 등을 결정해야 한다(장범수, 2009).

그림 7에서는 붕괴가 발생한 풍화 정도에 대한 자료 분석을 실시하였다. 분석에 의하면 심한풍화~완전풍화 상태의 비탈면이 50% 이상의 붕괴양상을 나타내었다. 이는 비탈면 시공 시 약간풍화 정도의 비탈면이 풍화가 진행되면서 붕괴가 발생한다고 볼 수 있는데 표면 보호를 적용하여 풍화진행을 억제하는 것이 효과적인 것으로 판단된다.

그림 8에서는 붕괴가 발생한 암반형태에 대하여 자료 분석을 실시하였다. Irregular형태의 비탈면이 40% 정도 붕괴가 발생하였는데 이는 암반 비탈면의 경우 불규칙한 절리

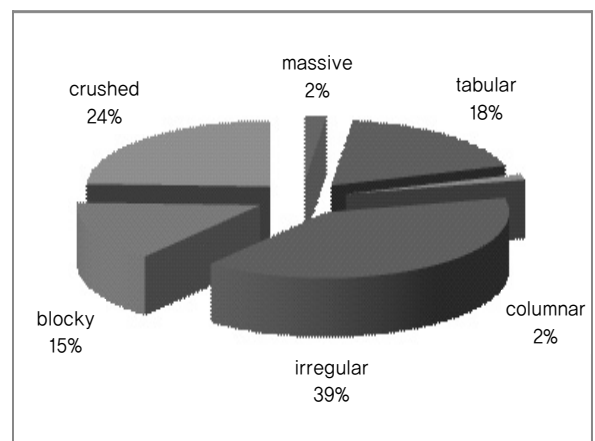


그림 8. 암반형태

조합에 의한 붕괴발생이 빈번한 것으로 볼 수 있다.

그림 9에서와 같이 토층심도에 대한 자료를 분석해 보면 위험 비탈면에 대한 토층심도는 3.0m 이하가 73%로 대부분을 차지하였다. 토층심도의 경우 비탈면 표면으로 우수가 흐를 경우에 토층과 암반사이에 간극수압을 발생시켜 붕괴

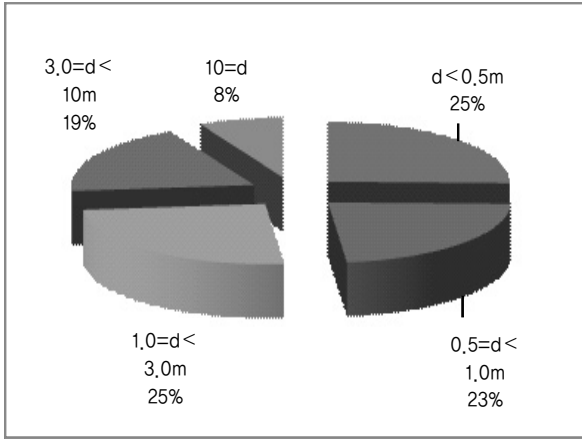


그림 9. 토층심도(d)

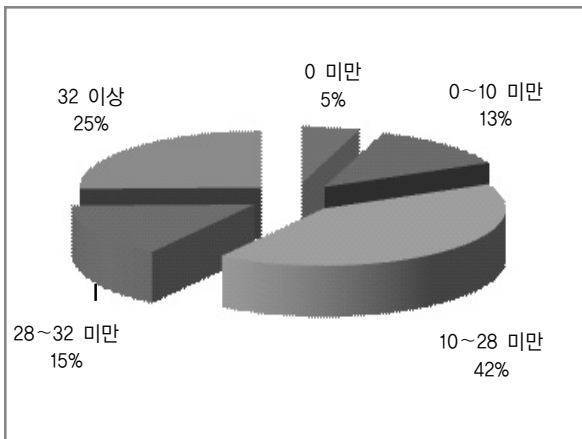


그림 10. 상부 비탈면경사(단위 : °)

를 일으키는 중요한 요인으로 작용한다. 토층이 얇은 경우 표면보호가 필수적이며, 표면보호 시 표면보호공의 탈락이나 유실이 발생하지 않도록 주의해야 한다.

그림 10에서는 위험 비탈면에 대한 상부 비탈면 경사에 대하여 분석하여 보았다. 위험 비탈면의 경우 상부 비탈면 경사가 10° 이상인 비율이 82%에 달한다. 앞서 검토한 전체 국도상의 상부 비탈면 경사 10° 이상은 54%로 상부 자연 비탈면 경사가 클수록 상부 비탈면에서의 지표수 유입, 뜬 돌 등 비탈면에 가할 수 있는 위험도가 높다고 판단된다.

그림 11에서는 붕괴 유형에 대한 자료 분석을 실시하였다. 구분은 낙석, 표층유실, 표층붕괴(표층유실보다 깊은 형태), 원호, 썩기, 전도, 평면 파괴 및 기타로 분류하였다. 그림에서와 같이 낙석, 표층유실, 표층붕괴 등의 비탈면 표면 부에서 발생한 붕괴, 즉 천층파괴가 67%에 달했다. 즉, 표면 부 붕괴에 대한 대책은 비탈면 보강공법을 적용하는데 필수적인 요소로 볼 수 있다.

표 2에서는 대책공법 적용 현황에 대한 자료 분석을 실시

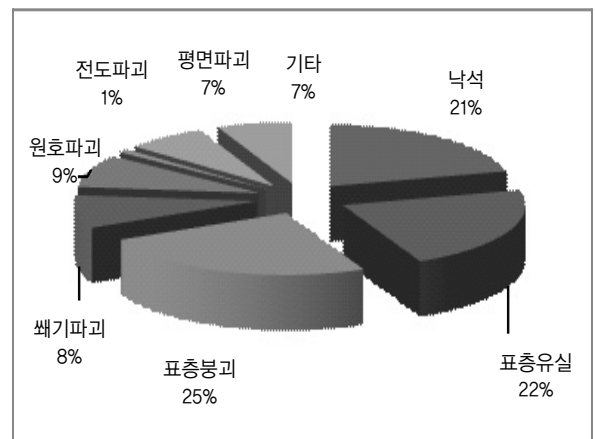


그림 11. 붕괴 유형

표 2. 비탈면 대책공법

활동하중경감	활동억제공법	낙석제어공법	표면보호공법	수리제어공법	기타
깎기	록앵커	낙석방지망	비탈면 녹화	산마루배수구	피암터널
상부깎기	어스앵커	포켓식 낙석 방지망	격자블록	집수시설	도로확폭
면정리	록볼트	낙석방지 울타리	돌(블록) 붙이기	소단배수구	그라우팅
이완암 및 뜬돌제거	네일	낙석방지옹벽	돌(블록) 쌓기	중배수구	사방댐
	기대기옹벽	돌망태옹벽	기대기 돌망태 옹벽	수평배수공	상시계측 시스템
	계단식옹벽	낙석방지 울타리 옹벽	콘크리트뿔어 붙이기공법	비탈끝배수구	암파쇄 방호시설
	억지말뚝			지하배수구	
	와이어로프 걸기공				

하였다. 비탈면의 대책공법은 여러 가지로 분류될 수 있으나 크게 6가지 공법으로 분류하였다(한국시설안전공단, 2003).

그림 12에서는 대책공법 적용 현황을 비교해 보았다. 대책공법은 크게 보강공법과 보호공법으로 분류되는데 활동하중경감 및 활동억제공법은 보강공법으로 낙석제어, 표면보호, 수리제어공법은 보호공법으로 분류된다. 보강공법은 59%를 차지하고 보호공법은 41% 정도로 비슷하게 적용되었으나 이는 자료추출 시 비탈면당 대표공법을 추출하였기에 발생한 결과로 판단된다. 즉, 각기 후 비탈면 녹화가 실시되었을 경우 활동하중경감에 대해서만 자료를 추출하였다. 따라서 보호공법의 적용은 50%를 넘는다고 예측할 수 있다.

그림 13에서는 대책공법이 적용된 추이를 살펴보았다. 활동하중 경감공법은 각기 이외에도 면정리, 이완암 제거 등도 포함된다. 2006년도에 비해 각기의 비중이 낮아지고 있는데 이는 구간별 안정검토 및 표면보호 등의 다양한 접근이 이루어지고 있으며, 일률적인 각기가 아닌 취약구간의 활동억제공법으로 경제성을 도모한 결과이기도 하다. 앞서 언급한 바와 같이 낙석제어공법, 표면보호공법, 수리제어공

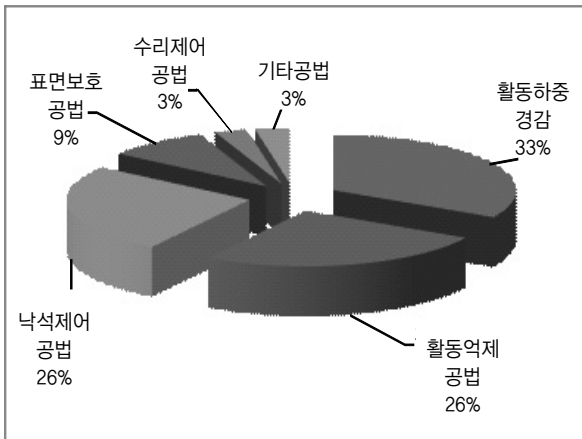


그림 12. 대책공법 적용 현황

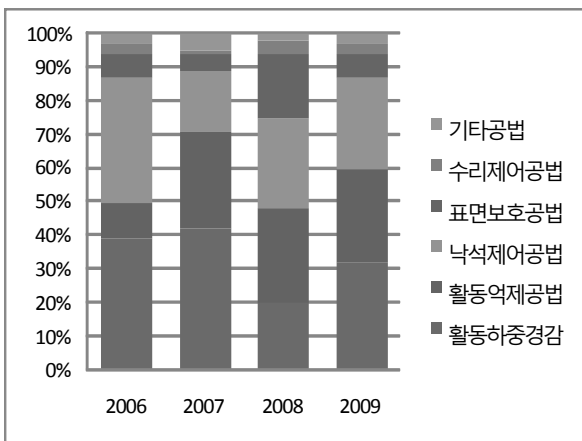


그림 13. 대책공법 적용 추이

법은 보강공법이 적용되면 추가로 적용되어지는 공법이므로 비율은 낮으나 적용은 50%가 넘는 것으로 볼 수 있다(한국건설기술연구원 등, 2006).

2.3 과거 자료 분석을 통한 붕괴 양상 비교

근래들어 기상이변 등 집중호우로 인한 비탈면 붕괴가 많이 발생하고 있다. 우기 시 붕괴 사례 비교 분석을 통하여 호우대비에 적절한 방법을 고찰하고자 하였다. 추출자료는 2002년 태풍 루사 당시 붕괴 발생한 55개 비탈면과 2009년 집중호우 당시 붕괴가 발생한 67개 비탈면에 대해 그림 14에서 비교하여 나타내었다. 또한 우기 시 붕괴 비탈면과 평상 시 붕괴 비탈면에 대한 비교를 실시하였다.

그림에서와 같이 2002년의 경우 활동하중경감공법의 비율이 많았다(한국건설기술연구원 등, 2002). 즉, 각기 공법이 많이 적용되었는데 근래에 들어서는 각기공법 뿐만 아니라 여러 공법들이 두루 적용되었다. 또한 2002년 태풍 루사 때에는 비탈면 자체의 붕괴에 대한 비율이 높았으나 2009년 수해의 경우 비탈면 뿐만 아니라 계곡부 붕괴 역시 많이 발생하여 사방댐 등의 공법적용이 많이 이루어졌다.

그림 15에서는 2000년 비탈면 붕괴에 대한 유형별 붕괴율을 분석하였다. 그림에서와 같이 낙석, 표층유실, 표층붕괴 등 천층파괴 비율이 51%로 나타났으며, 그림 11에서는 천층파괴의 비율이 67%였는데, 이는 국도변 정비가 진행됨에 따라서 위험 비탈면이 정비되고 있어 위험 비탈면의 개

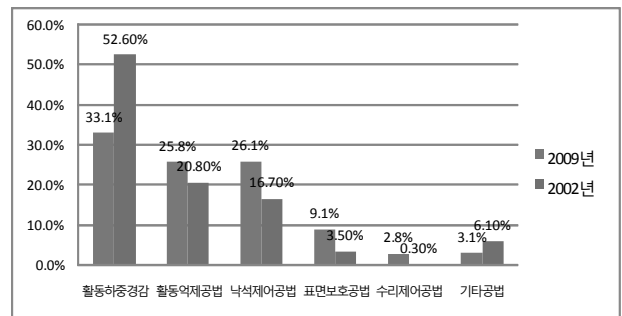


그림 14. 대책공법 적용현황 비교

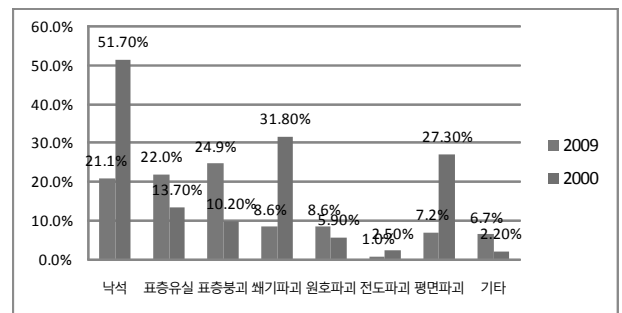


그림 15. 붕괴유형 비교



그림 16. 시공불량으로 배수기능 저하



그림 18. 기성품 시공으로 배수로 들뜸(배수 안됨)



그림 17. 관리 소홀로 배수능력 저하



그림 19. 설계용량 과소설계로 인한 월류

수가 시간이 진행됨에 따라 점차 줄어든 것으로 판단된다.

2009년 수해 현장 32개소를 정밀조사 결과를 분석하여 배수로 부분에 대한 자료를 추출하였다. 32개소 붕괴 비탈면 중에서 배수로 상태가 양호한 경우는 11개소, 보통은 2개소, 19개소가 불량한 것으로 조사되었다. 불량한 배수로의 경우는 기성품 시공으로 인한 비탈면과의 일체와 미비, 시공불량, 관리소홀, 설계 착오 등으로 인하여 발생되었으며 이러한 원인으로 집중호우에 의한 붕괴가 발생하였다. 표면수와 지하수는 신속하게 배수시키는 시설을 설치하여 표면수 및 용수를 적절히 처리할 수 있도록 설계한다(건설교통부, 2006).

3. 결 론

본 연구에서는 국도변 비탈면의 기초조사 자료를 토대로 현황분석을 실시하였으며, 붕괴사례 분석 및 정밀조사 결과를 토대로 현황을 분석하였다. 분석결과를 토대로 다음과 같은 결론 및 유지관리 방안을 제안하고자 한다.

- (1) 기초조사 자료 분석 결과 국도변 비탈면 평균 규모를 살펴보면 연장은 95m, 높이 15m, 비탈면경사 54°, 상부 자연 비탈면 경사 11°로 파악되었다. 4차선 국도의 신설이 증가하고 있는 추세로 연장 200m 이상, 높이 50m 이상의 대형 비탈면도 증가하고 있다.
- (2) 붕괴사례분석 결과 일부 구간의 위험성을 제거하기 위해 구간마다 적절한 공법을 적용하는 것이 안정성을 도모함과 동시에 경제성을 취할 수 있다. 또한 표면 보호 및 배수로 설치 시 시공에 만전을 기하여 추가 붕괴를 예방하여야 할 것이다.
- (3) 위험 비탈면 정밀조사 결과를 보면, 암 비탈면이 대부분을 차지하고 있으며 irregular 형태의 불규칙한 절리 조합에 의한 파괴가 상당수 발생하였다.
- (4) 또한 보통풍화 이상의 비탈면에서 붕괴가 발생하였는데 깎기 후 비탈면에 적합한 표면보호공을 시공하여 풍화를 억제하면 붕괴 발생을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.
- (5) 토층심도의 경우 3m 이하가 70%를 넘고 있어 비탈면 내 우수 등 유입 시 표층붕괴의 위험성이 크게 증가한

다. 상부 자연 비탈면 경사 10° 이상이 80%를 상회하여 평균 54%에 비해 높은 수치를 나타내었다. 즉 상부 경사 10° 이상으로 토층심도가 3m 이하인 비탈면의 경우 우수 유입 등으로 인한 붕괴 가능성이 크게 증가하므로 정기점검 등 유지관리 시 유의하여야 한다.

- (6) 붕괴유형은 천층파괴가 67%에 달하며, 2000년 51%로 위험 비탈면의 정비가 시간이 진행되면서 이루어지고 있다고 볼 수 있다.
- (7) 붕괴유형 분석 결과 배수처리 공법의 적절한 설계 및 시공으로 붕괴의 상당수를 예방할 수 있다. 반드시 현장 여건에 맞게 배수로의 위치 및 용량이 적용되어야 할 것이며, 특히 배수로의 경우 유지관리 시 수시 정비를 통한 적정배수능력을 확보하여야 한다.
- (8) 붕괴 원인에 대한 자료 정리가 이루어지지 않아 분석을 실시하지 못하였으나 향후 원인별 붕괴 형태 및 대책공법 연관성 등 추가 연구를 진행할 예정이다 있다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부(2006), *건설공사 비탈면 설계기준*, pp. 136~137.
2. 경상현, 고경환, 김지성(2001), 고속도로 비탈면의 설계와 시공 관리, *한국지반공학회*, Vol. 17, No. 2, pp. 9~24.
3. 김진환, 이정엽, 김승현, 구호본(2009), 비탈면 현황조사 자료와 위험도간의 상관분석에 관한 연구, *한국지반공학회논문집*, Vol. 25, No. 12, pp. 27~35.
4. 신창건(2008), *AHP기법을 이용한 비탈면의 효율적인 유지관리에 관한 연구*, 박사학위 논문, 서울시립대학교, pp. 129~144.
5. 장범수(2009), 호우로 인한 비탈면 재해대책, *철도웹진*, pp. 78~90.
6. 한국건설기술연구원, 한국시설안전공단(2002), *2002년도 도로 비탈면유지관리시스템(CSMS) 개발 및 운용*, 건설교통부, pp. 55~98.
7. 한국건설기술연구원, 한국시설안전공단(2006), *2006년도 도로 비탈면유지관리시스템(CSMS) 개발 및 운용*, 건설교통부, pp. 50~261.
8. 한국건설기술연구원, 한국시설안전공단(2009), *2009년도 도로 비탈면유지관리시스템(CSMS) 운영 업무*, 국토해양부, pp. 15~48.
9. 한국시설안전공단(2003), *절토사면유지관리 매뉴얼*, pp. 155~162.

(접수일: 2010. 7. 6 심사일: 2010. 8. 11 심사완료일: 2010. 11. 2)