

국내의 위험 절개면 현장특성과 대책방안 제시 연구

구호본 · 이경미 · 김춘식 · 박혁진 · 박성욱 · , 민기복, 정의진
(한국건설기술연구원 토목연구부)

1. 서 론

우리나라는 산지가 국토의 많은 부분을 차지하고 있는 지형특성상 국토개발과정에서 절개면이 전국에서 다수 발생하고 있으며, 동결융해가 반복적으로 발생하는 기후특성에 따라 절개면 붕괴가 매년 발생하고 있다. 국내의 절개면 붕괴에 대한 연구는 다방면에서 활발히 이루어지고 있으나 현재 적용중인 절개면 붕괴 대책은 공법, 시공성, 시공비 등에 대한 국내 실정을 고려하지 못한 경우가 대부분이고 또 절개면 붕괴발생 후 대책을 제시하는 등의 문제점을 안고 있다. 따라서 본 연구는 지속적으로 증가하는 위험 절개면에 대한 현장특성을 파악하고 이에 따른 적절한 대책공법을 수립함으로써 절개면 붕괴의 사전예방은 물론 시공성과 국내실정에 맞는 절개면 대책공법을 제시하고자 한다.

2. 국내 위험절개면의 특성

우리나라는 지형 및 기후 특성상 낙석, 산사태와 같은 도로절개면의 붕괴가 잦은 편이다. 따라서 매년 발생하는 절개면붕괴에 대해 우리나라 실정에 적합한 사전예방차원의 대책수립이 필요하며 이를 위해서 전국 국도변에 산재해 있는 위험 절개면에 대한 상세한 현장조사가 필요하다. 현장조사는 위험 절개면의 제반사항을 조사하여 안정성을 검토하고, 붕괴징후 및 형태, 예상피해 규모 등을 파악하는 것으로 안정성해석과 대책공법 선정 등의 기초자료로 사용된다. 본 연구의 현장조사는 크게 현황, 지형 및 식생, 그리고 토질과 지질 특성 등으로 구분하여 조사하였다. 현장조사지역은 한국건설기술연구원에서 수행중인 도로절개면 유지관리 시스템 개발과제에 포함되는 국도를 따라 분포하는 절개면을 대상으로 하였다(건설교통부, 1998, 1999).

2.1 구성재료

지난 2년간 현장조사가 수행된 절개면은 구성재료에 따라 암반사면, 흙사면, 암반과 토층이 혼재하는 혼합사면으로 구분된다. 그림 1에 나타난 바와 같이 절개면을 구성하는 79%가 암반사면

인 것으로 조사되었으며, 혼합사면은 15% 정도로 나타났다. 암종별로 구분하면 변성암이 42%, 화성암과 퇴적암은 33%, 25%를 차지한다(그림 2). 변성암은 암종에서 뿐만 아니라 붕괴발생빈도도 높은 것으로 조사되었다(그림 3).

2.2 붕괴유형 분석

암반으로 구성된 절개면에서 발생할 수 있는 붕괴의 유형으로는 불연속면의 특성에 의해 좌우되는 평면파괴, 쉼기파괴, 전도파괴, 그리고 암반이 매우 연약하거나 절리면이 아주 심하게 발달한 경우 발생하는 원호파괴가 있다. 그밖에 절개면의 상층부를 덮고 있는 풍화토나 풍화암 등이 강우 등의 영향으로 유실되는 표층유실과 소규모의 암석이 상부로 자유 낙하함에 따라 발생하는 낙석 등이 있다. 전체 붕괴 절개면에 대해 붕괴유형을 분석했을 경우 쉼기파괴가 25%, 평면파괴가 20%, 표층유실이 19%를 차지하고 있으며 낙석이 약 35%로 가장 큰 비중을 차지하고 있다(그림 4).

2.3 높이에 따른 분포

국내에 분포하는 위험 절개면의 높이는 30m 이상이 20% 내외이며, 높이 10~20m가 42%로 가장 많은 분포를 보인다. 대부분의 절개면 높이가 30m 이하인 이유는 국도가 주로 산지의 계곡 부나 저지대 등 산록부를 따라 개설되었기 때문이다. 한편 절개면의 높이와 붕괴위험성과의 상관관계를 분석한 결과에 의하면 뚜렷한 상관관계는 보이지 않는 것으로 해석되었다(그림 5)(건설교통부, 1999).

2.4 경사에 따른 분포

경사별 분포현황의 파악을 위해서는 암반절개면의 표준경사도를 이용하였다. 표준경사도는 1:1 미만, 1:1~1:0.7, 1:0.7~1:0.5, 1:0.5~1:0.3, 1:0.3 이상의 5구간으로 구분되는데 그림 6에 나타난 바와 같이 53% 이상이 발파암의 표준경사도(1:0.5, 약 63°)보다 높은 경사를 보인다. 또한 리핑암의 표준경사도(1:0.7, 약 55°) 보다 높은 경사도를 가진 절개면은 전체의 77%에 해당한다.

2.5 길이에 따른 분포

길이별 분포현황은 그림 7에서 분석된 바와 같이 길이 100m 이하의 절개면이 전체의 43%를 차지하며, 전체의 86%는 길이가 200m 이하이다. 한편 200m 이상의 길이를 갖는 절개면은 전체의 14%에 불과하다.

2.6 강도정수

암반 절개면은 불연속면에 의해 각각의 블록으로 형성되어 있는 경우가 많으므로 불연속면의

발달방향과 절개면 방향과의 상관관계는 암반 절개면의 안정성과 파괴형태를 파악하는데 매우 중요하다. 암반 절개면의 안정성해석을 위해 SMR(Slope Mass Rating) (Romana, 1993)값을 검토하였으며 RMR 값으로부터 추정된 암반의 강도정수(c , ϕ) (Trueman,1988)를 이용하여 한계 평형법으로 안전율을 계산하고 그 결과를 평사투영법에서 얻은 안정성해석 결과와 비교, 검토하였다. 본 연구에서 조사된 현장들의 SMR등급 분포는 그림 8과 같다. 대부분 현장의 SMR 값이 매우 낮은 값을 가지는데 이는 위험절개면을 위주로 조사하였고 또한 위험절개면 중 가장 취약한 부분의 SMR값으로부터 도출하였기 때문이다.

2.7 경사도와 마찰각과의 상관성

국내의 경우 절개면 설계는 도로표준시방서의 도로절개면 표준설계기준의 암반 강도에 따라 경암, 연암, 풍화암으로 구별하여 1:0.5, 1:0.7, 1:1의 일률적인 경사도를 따르고 있다. 그러나 불연속면을 포함하고 있는 암반 절개면의 안정성은 암반강도자체보다 불연속면의 방향성과 c , ϕ 값에 의해 많은 영향을 받는다. 현장조사 절개면 290개소 중 변성암지역의 절개면을 대상으로 주 절리 방향에 따른 예상파괴면의 c , ϕ 값을 SMR에 의해 도출한 후 안전율 1.5에 대한 절개면 경사도와 상관성을 분석해 본 결과, 절개면 경사도와 ϕ 값의 상관성이 매우 밀접한 것으로 나타났다(그림 9). 즉, 절개면의 경사도는 암반 강도에 의한 경사도 기준보다 암반의 주 불연속면의 ϕ 값에 따라 결정해야 할 것으로 판단다.

3. 대책공법의 제시

절개면 대책공법은 크게 보호공법과 보강공법으로 나눌 수 있다. 보호공법은 절개면 안정해석을 수행한 결과 안전율이 1이상으로써 급작스런 절개면 붕괴가 발생하지는 않을 것으로 판단되거나 지속적인 강우의 영향이나 절개면 구성재료의 풍화작용에 의해 안전율이 감소하는 것을 방지하기 위하여 적용하는 공법이다. 보강공법은 절개면의 안전율이 1보다 작아 붕괴가 예상될 때 말뚝이나 앵커 등 보강재를 절개면내에 설치하여 붕괴에 대한 저항력을 강제적으로 증대시켜 안전율을 증가시키는 공법이다.

1995년부터 1998년 11월까지 위험절개면에 대해 시공된 대책공법은 낙석방지망, 낙석방지책 등과 같은 보호공법이 70% 이상을 차지한다. 보강공법으로는 주로 절취공(법면정리 포함 약 17%)이 시행되었다. 이와 같이 기존의 도로절개면 대책은 비교적 시공이 용이한 보호공법 위주였으며, 절개면이 붕괴되는 경우에 경사도를 완화하는 절취공이 적용되었다. 그러나 현장특성에 따라 적절한 공법이 제시되지 않을 경우 절개면 안정성 미확보는 물론 국가예산을 낭비하는 결과를

가져온다. 예를 들어 평면파괴가 발생한 절개면에서 상부 자연사면의 경사도가 30° 이상일 때 절취를 하게되면 절취량과 사면 높이는 기하급수적으로 커질 우려가 있다. 이런 경우 위험 블록에 앵커, 록볼트 등을 시공하고 절개면 저부에 콘크리트 버팀벽을 시공하면 절개면의 안정성이 확보될 수 있으며, 시공비를 절감할 수 있다. 특히 강우의 영향을 많이 받는 국내 절개면에 수평배수공, 측구배수로 등의 보호공법은 사면안정에 도움을 줄 수가 있다. 표 4.1은 도로절개면 유지관리 시스템 개발(건설교통부, 1998, 1999)과제와 관련 일반적으로 적용될 수 있는 공법을 제시한 것이며 그림 10과 11은 도로절개면 유지관리 시스템 개발과제 I, II 단계 수행에서 적용하였던 공법을 분류한 것이다.

4. 결 론

국내의 위험 절개면은 국토의 효율적인 개발과 더불어 점점 증가하고 있으며, 절개면 발생에 따른 붕괴현상도 매년 반복적으로 발생하고 있다. 본 연구는 도로절개면 유지관리시스템 개발(건설교통부, 1998, 1999)과제를 수행하면서 수집된 자료를 통해 국내에 산재한 위험 절개면의 현장특성을 파악하고 현장여건을 고려한 대책방안을 제시하는 것으로 이전에 낙석방지망, 낙석방지책 및 절취공 위주였던 대책공법에서 벗어나 절개면 위험도와 경제성, 시공여건, 환경친화 등 다양한 관점을 집목하여 최적의 공법을 선정하였으며, 절개면의 안정성 확보와 국가 예산 절감에 크게 기여하였다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부, 1998, 도로절개면 유지관리시스템개발 및 운용
2. 건설교통부, 1999, 도로절개면 유지관리시스템개발 및 운용(Ⅱ)
3. Romana, M.R., 1993, A Geomechanical classification for slope
: Slope Mass Rating, Comprehensive Rock Engineering, Pergamon Press, v.3
4. Trueman, R., 1988, An Evaluation of Strata Support Technique in Dual Life Gateroad, Ph. D. Thesis, University of Wales.

<표 및 그림>

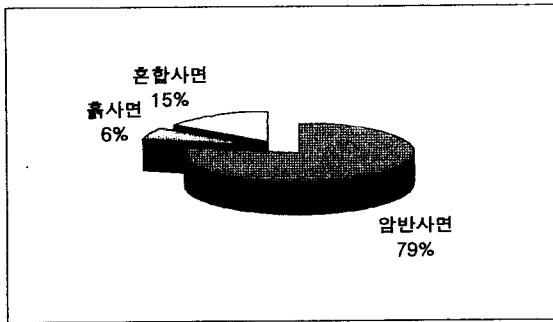


그림 1. 절개면 구성재료별 현장분포

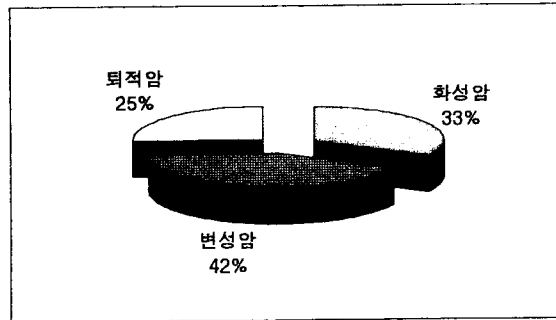


그림 2. 암종별 현장분포

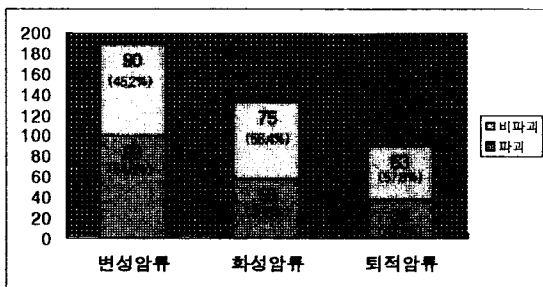


그림 3. 암종에 따른 붕괴 빈도

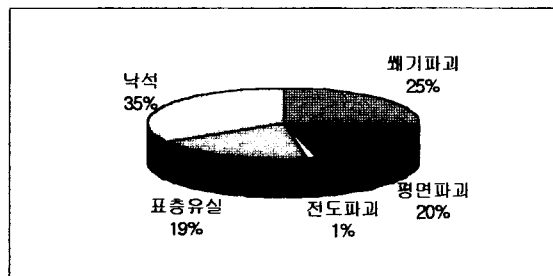


그림 4. 붕괴유형 분석

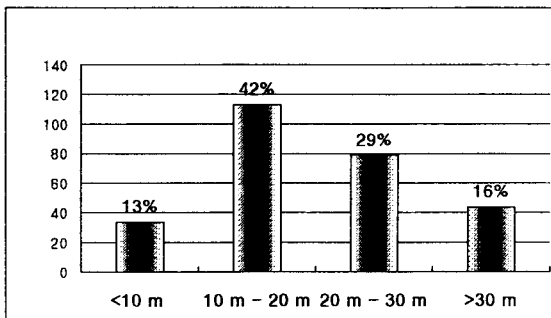


그림 5. 높이별 현장분포

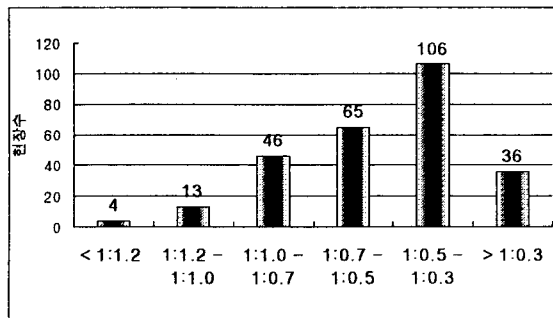


그림 6. 경사별 현장분포

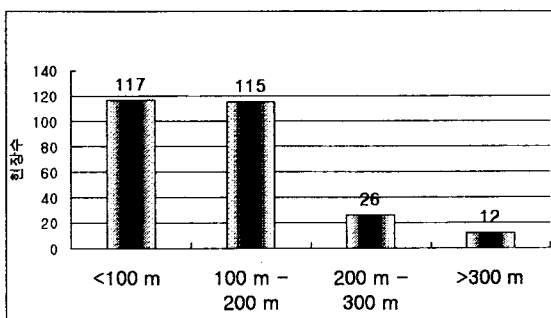


그림 7. 길이별 현장분포

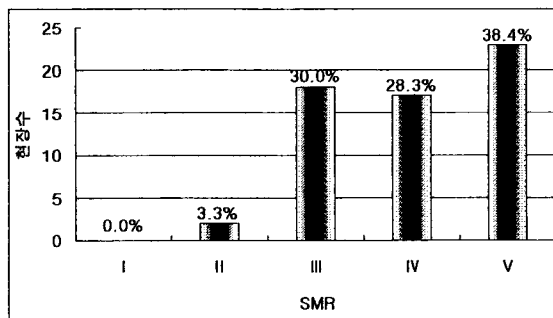


그림 8. 주절리의 SMR등급 분포

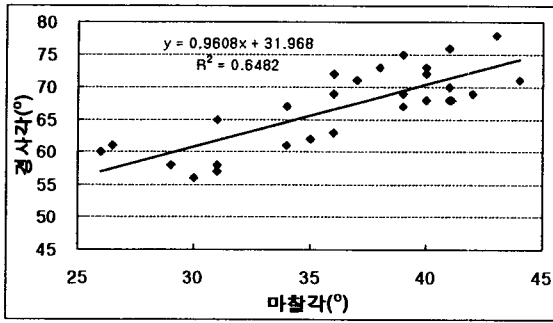


그림 9. 안전율 1.5일 때 절개면 경사각과 ϕ 값의 상관성