

암반 사면의 안정성

보령댐 현장 여수로 절취사면 기술검토

강성희 / 특수기술개발부 대리

많은 건설 기술자들은 사면의 설계를 토공량 산출을 주목적으로 하여 실시함으로써 종종 붕괴 등의 피해를 야기하고 있다. 그러므로 암반의 공학적인 특성을 파악하여 이에 따른 사면 안정처리 및 대책 방안을 수립하여야 한다.

암 반 사면의 공사와 같이 암반을 대상으로 하는 건설공사에 있어서 암석과 암반에 대한 이해는 매우 중요한 의미를 가진다. 토공사와는 달리 암반의 파괴는 주로 불연속면(절리, 단층, 파쇄대 등)과 변질(풍화 등)정도에 기인하고 있으나, 많은 건설 기술자들은 사면의 설계를 토공량 산출을 주목적으로 하여 실시함으로써 종종 붕괴 등의 피해를 야기하고 있다. 그러므로 암반의 공학적인 특성을 파악하여 이에 따른 사면 안정처리 및 대책 방안을 수립하여야 한다. 본고에서는 보령댐 여수로 절취사면 안정처리 및 대책 방안을 소개함으로써 암반 사면의 이해에 도움을 주고자 한다.

보령댐 여수로 사면의 대부분은 변질된 사암 및 역암으로 형성되어 있으며, 층리, 절리, 단층 등의 불연속면이 3~4개의 주그룹과 2~3개의 부그룹으로 형성되어 암반 내에 많은 파쇄 구조선을 발달시키고 있다. 당초 사면은 92년 8월 굴착공사를 계획 구배 1:0.5로 시작하였으나 93년 3월 18일에 1차 붕락이 발생한 후, 사면 구배를 1:1.2, 사면고는 15m로 변경하여 재굴착을 하였다. 그러나 굴착

경사 조정 후에도 절취 사면에 국부적인 붕락이 발생하는 등 불안정한 상태를 보이고 있어 이에 대한 안정성 및 대책을 검토하게 되었다.

공사규모

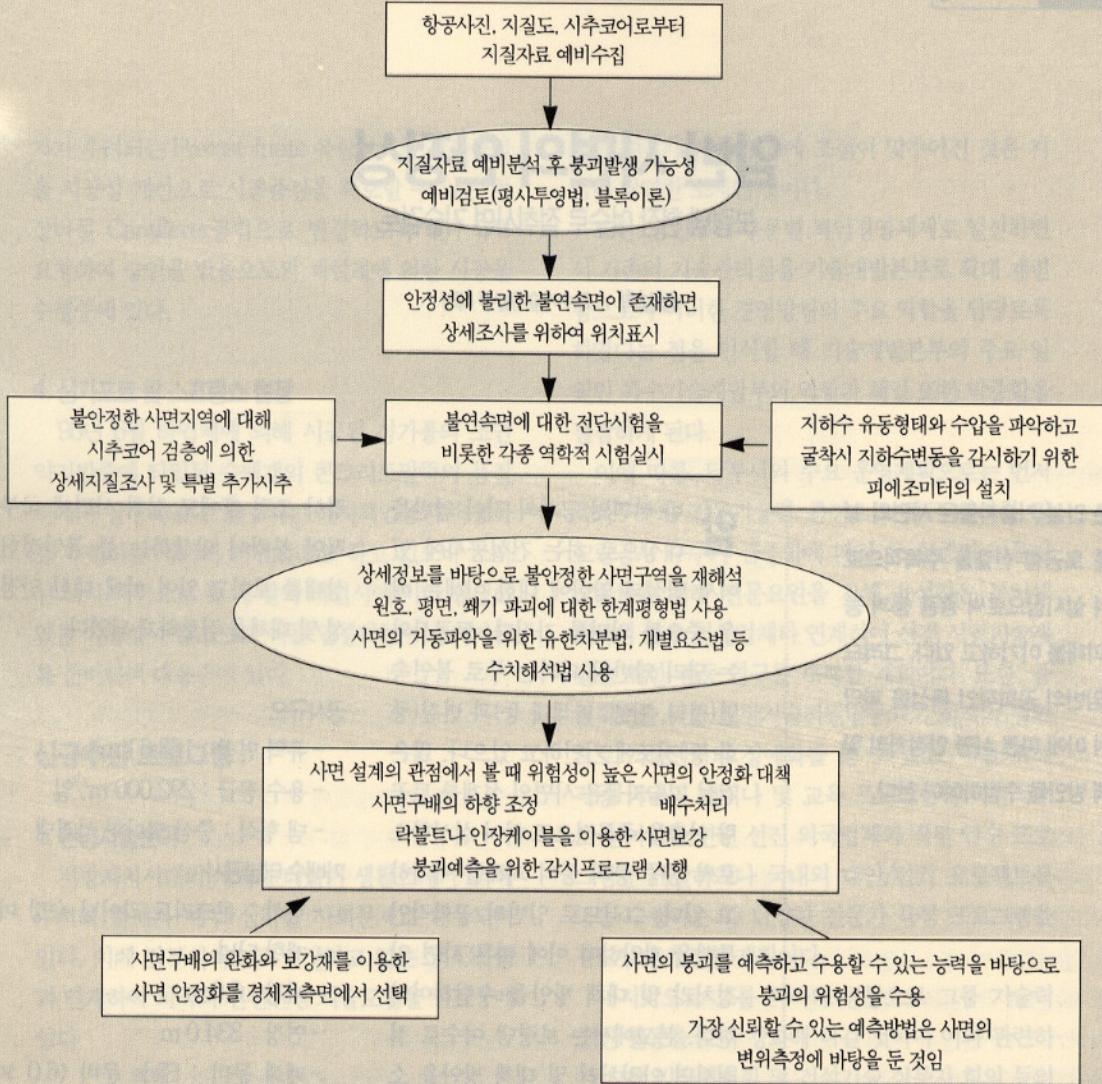
- 유역 면적 : 163.6 km²
- 용수 공급 : 292,000 m³/일
- 댐 형식 : 중심 코아형 석괴댐

가배수 터널공사

- 형식 : 콘크리트 라이닝 수정 마제형 터널
- 내경 : 6.0 m
- 연장 : 334.0 m
- 폐쇄 문비 : Slide 문비 (6.0 × 5.7 m) 1문

본댐 및 코퍼댐

- 형식 : 중심 코아형 록필댐
- 댐 길이 : 290m
- 댐마루 폭 : 10m
- 댐 체적 : 1.131 x 10.3 m³
- 형식 : 분산지를 갖는 월류형 여수로
- 크기 : B= 29.0 L= 105.127 m
- 문비 : 레디얼 게이트(3.0 × 11.714 m) 3조
- 스톱로그 : B= 8.0 H= 10.13 m



〈그림 1〉 암반사면의 안정성 해석과정

사면안정 해석 계획

본 연구에서는 〈그림 1〉에 도시된 것과 같은 과정을 거치며 절취 사면에 대한 안정성 및 대책을 수행하였다. 절취사면의 안정화 방법은 크게 예상 과괴면 이하 까지의 사면구배 완화와 락볼트와 인장케이블 등의 보강재를 이용한 예상과괴면의 억제를 들 수 있으며, 이는 경제적 측면의 고려와 붕

괴예측의 능력의 수용에 따라 선택될 수 있다.

암반의 공학적 분류

1. 불연속면의 분포상황

현장에서 불연속면은 균등하게 분포하는 것이 아니라 일정한 방향으로 무리를 지어, 하나 이상의 절리군들로

분포하고 있다. 따라서 조사대상 암반에 분포하고 있는 우세 절리군을 파악 하기 위하여 각 소단 별 20m 간격으로 Clinometer를 사용하여 주요 절리의 경사 및 경사방향을 측정하였다.

주요 절리군은 각 소단 별 및 전체적으로 몇개의 그룹으로 분포하고 있었으며 왼쪽사면에 분포하는 불연속면들의 경사와 경사방향에 의해 결정

된 극점을 평사투영도에 도시한 결과는 <그림 2>와 같다.

측정된 자료로부터 추계론적인 방법을 이용하여 3~4 개의 우세 절리군으로 경사와 경사방향을 결정하여 이후의 안정성 해석에 이용하였다.

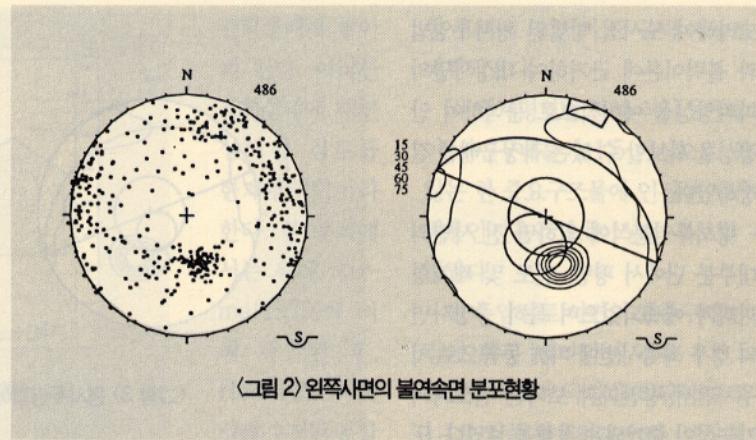
가장 중요한 우세 절리군들은 대상 암반의 지층면 형성 및 단층면으로 작용하고 있으며, 다른 우세 절리군에 비해 사면의 경사각에 가장 근접하게 분포하고 있으므로 사면의 안정성에 가장 큰 영향을 주는 불연속면으로 우려되었다. 또한, 우세 절리군들이 교차하게 분포함으로 쇄기형 파괴 가능성을 함축하여 주었다. 따라서, 예상파괴 불연속면들에 대한 정밀조사의 필요성이 대두되었다.

2. 현지암반의 물성 예측

암반사면의 안정성을 해석함에 있어 고려해야 할 가장 중요한 요소는 암반의 기하학적인 형상이다. 이는 암반내에 존재하는 불연속면의 경사와 경사방향에 의해 결정되는 구조적인 관계로부터 암반의 미끄러짐이나 붕락 여부가 결정되기 때문이다.

다음으로 중요한 것은 잠재적인 파괴면의 전단강도라 할 수 있다. 암반은 지질구조에 의한 단일 불연속면으로 구성되거나 무결암질이 균열을 수반하여 복잡한 경로를 따르는 몇 개의 불연속면으로 구성되어 있다. 일반적으로 암반사면의 붕괴는 불연속면을 따라 일어 난다고 예측되므로 암반절리면의 전단강도는 안정성 해석시 고려되어야 할 중요한 요소가 된다.

그리므로, 대상 암반의 전단강도를



<그림 2> 원쪽사면의 불연속면 분포현황

예측하기 위하여 불연속면의 발달현황, RQD값, Schmidt hammer test, Point load test, 삼축압축 실험 및 절리면 전단시험 등을 수행하였다.

3. S.M.R 법에 의한 현지 암반 평가

S.M.R(Slope Mass Rating) 분류법은 Romana(1985)가 사면의 안정성을 평가하기 위해 Bieniawski(1979)가 제안한 암반분류 방법인 R.M.R(Rock Mass Rating) 평가값에 사면 및 절리면의 경사와 경사방향 그리고 사면의 절개방법에 의존하는 변수들을 고려하여 사면의 붕괴형태와 지보방식을 제시하여 주는 사면 안정분석 방법이다. 이는 평사투영법과 달리 불연속면의 분포상황에 암반의 강도 및 불연속면의 특성에 대한 정보가 고려되므로 더욱 발달된 분석법이라 할 수 있다. 본 보령댐 절취암반 사면에 대한 공학적 분류값은 R.M.R 값으로 42정도로 예측되었으며 이는 S.M.R 분류법에 의거 조정변수에 의해 보정한 결과 25~37 정도로 예측되었다. 이 값은 전체 등급으로 보면 IV 등급

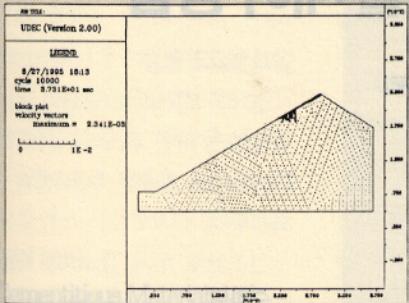
에 해당되는 불량한 암반이며 평면파괴 및 대규모의 쇄기형파괴가 발생가능하다고 판정되었다. 따라서 S.M.R 법은 보강대책으로 대상암반을 강화하기 위한 적극적인 보강대책인 Rein-forced Shotcrete, Toe벽, 깊은 배수로 또는 재굴착을 제시하였다.

암반사면의 안정성 해석

절취사면의 안정화 방법으로 고려할 수 있는 예상파괴면의 억제 공법에 대하여 검토하여 본 결과 광역적으로 파쇄구조가 발달하고 있으며 하부 기반암의 암반등급에도 문제가 있으므로 경제적 측면의 고려와 장기적 안정성 측면에서 예상파괴면 이하 까지의 구배완화 공법이 더 효율적이라 판단되었다. 따라서, 절취사면의 적정구배에 대한 검토가 진행되었다.

1. 예비 안정성 평가

사면붕괴의 주요 원인이 되는 사면의 기하학적인 형태와 지질적인 요소인 불연속면의 출현빈도, 경사 및 경사방향과 자체의 물리적인 특성 등을



〈그림 4〉 제1안 사면의 속도벡터

암반의 지질학적 자료로 부터 Hoek & Brawn (1988)과 Sarafim & Pereira (1983)에 의해 제안된 경험적 방법을 이용하여 구하였다.

수치해석법을 이용하여 분석하여 본 결과 1안의 경우(사면구배 1:1.4)는 파괴 예상선 상부에 잔여 암체가 잔존하므로 〈그림 4〉와 같이 상부의 암체가 전체적으로 미끄러지고 있음으로 나타난다. 따라서, 잔여 암체의 부분적 보강 내지는 파괴예상선을 완전히 제거하는 제 2안(사면구배 1:1.5)이 바람직하다고 분석되었다.

3. 한계평형법에 의한 안정성 분석

사면에는 임계면 즉, 최소안전계수를 갖는 활동면이 존재하게 되며, 사면의 붕괴는 이러한 활동면을 따라서 발생하게 된다. 이러한 활동면에는 자중에 의해 유발되는 미끄러짐과 표면의 전단강도에 기인하여 미끄러짐에 저항하는 전단력이 존재하게 된다.

사면은 활동면 아래로 미끄러지려는 힘이 전단저항력과 정확히 같을 때 미끄러짐이 일어나려는 순간인 극한

평형상태에 놓이게 된다. 이러한 극한상태에 대한 상대적 검토를 한계평형법이라 한다. 본 분석에서는 원래 Sarfima(1979)에 의해 제안된 후, Hoek(1987)에 의해 수정된 분할법으로 여러 형태

의 사면 안정성분석에 사용되는 Non-Vertical Slice법을 사용하였으며, 그 결과는 〈표 3〉과 같다.

상기 표와같이 현 사면의 안전율을 계산하면 그 값은 1.13~1.18이다. 또한, 제 1안과 같이 사면의 구배를 1:1.4로 낮추어 사면을 절취시에도 그 안전율은 1.36~1.43에 지나지 않는다. 그러나 제 2안과 같이 사면구배를 1:1.5로 낮추어 사면을 절취할 경우 그 안전율은 1.45~1.60 값을 나타난다.

결론 및 제언

이상과 같이 보령댐 암사면부의 절개방향과 불연속면의 발달 상황을 고려하여 분석한 결과는 아래와 같이 요약된다.

- 1) 수치해석에 의한 분석결과, 사면절취구배가 1:1.4인 경우에도 예상파괴면 상부에 잔여 암체가 잔존하여 불안정한 거동을 보여주었다.
- 2) 잔여 불안정한 암체에 대한 부분적인 보강방법은 하부 기반암의 암반등급을 미루어 볼 때 탁볼트의 매달

림 효과에 의한 더 큰 붕락 가능성이 예상되었다.

3) 한계평형법 분석 역시 2안과 같이 사면구배를 1:1.5 이상으로 하지 않는 한 중요구조물에 인접한 사면의 허용안전율인 1.5이상을 확보할 수 없었다.

현재 암절토 사면의 표준구배는 암질에 따라 발파암의 경우 1:0.5~1:0.8, 파쇄가 극심한 리핑암의 경우 1:1로 기준 적용하고 있다. 보령댐 암사면의 경우도 당초 설계 시 절개사면의 안정성을 좌우하는 불연속면의 방향 및 특성과 사면 절개방향과의 상관관계를 고려하지 않은 채 사면구배를 결정한 결과 대규모의 붕락을 경험하게 되었다. 따라서, 현 구배 방향을 유지하는 한 사면구배를 1:1.5 까지 완화하여야 안정성을 확보할 수 있다고 분석됨으로 막대한 경비와 공사기간이 소요되는 대규모의 절토작업이 후속되어야 한다. 그러므로 보령댐과 같은 대절토부에서는 표준구배에 의한 일률적인 구배를 적용하는 것 보다는 시추조사, 탄성파 토모그라피, 첨단 물리검증법인 Televueer기법 등을 실시하여 불연속면의 존재를 사전에 확인하고 체계적인 조사를 걸쳐 대표적인 불연속면의 특성 및 방향을 고려하여 사면 절취 방향 및 구배를 선정하는 것이 합리적이며 경제적이라 할 수 있다. 또한, 우리의 예측능력에 대한 신뢰성을 미루어볼 때 반드시 대붕락을 사전에 감지할 수 있는 계측시스템을 지중에 매설 활용하여 암반내 예상취약면의 변형거동을 지속적으로 계측해야 한다. **S**