

Barton-Bandis Joint Model을 이용한 보은지역 암반사면 안정성해석

이지수¹⁾ · 박혁진²⁾ · 민경덕¹⁾ · 구호본²⁾

1. 서론

본 연구지역인 보은읍 누정~신정리는 옥천변성대에 속하며, 도로공사구간 중 절취한 암반사면내에 화강섬록암이 관입한 부분에서 대규모 평면파괴가 발생하였다. 특히, 파괴구간 직하부에 추가붕괴가 예상되는 대규모 암반블럭이 존재하며, 파괴구간 우측부에는 발파로 인해 생긴 조밀한 인장균열들로 인해 소규모 낙석이 예상되는 등 파괴면과 동일한 방향성을 갖는 불연속면에 의해 불안정한 상태이다. 따라서, 본 사면에 대해 SMR로 암반사면평가를 실시하였으며, 평사투영법을 이용하여 파괴유형별로 불안정한 불연속면들을 선정하였고, 선정된 불연속면들에 대해서는 한계평형해석으로 안전율을 구하였다. 그러나, 평사투영법이나 한계평형법으로 해석할 수 없는 절취에 따른 암반사면의 응력재분배 및 비선형적인 변위거동에 대해서는 UDEC의 Barton-Bandis 절리모델을 이용하여 수치해석하였으며, 이를 위해 일축 및 삼축압축시험, 직접전단시험을 실시하여 암석과 불연속면의 입력물성들을 구하였다.

2. 연구 내용

본 사면에서 안정성에 영향을 미칠 수 있는 영역을 선정하여 SMR에 의한 암반사면의 안정성을 평가해 보았다. SMR은 35.4점으로 등급 IV(불안정)에 속한다.

Table 1 SMR classification of jointed rock mass(Romana. 1993)

SMR	F_1 : 불연속면과 사면 주향 사이의 차이각	20°	0.7
	F_2 : 평면파괴 형태를 갖는 불연속면의 경사각	58°	1
	F_3 : 사면과 불연속면 경사각 사이의 관계	-2°	-50
	F_4 : 사면의 굴착방법	제어발파	8
	$RMR + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$	IV(불안정)	35.4

본 사면에 대한 기하학적인 안정성에 대한 평사투영 해석결과 $J_1(58^\circ / 210^\circ)$ 이 평면파괴의 불안정 영역내에 도시되며, $J_3(52^\circ / 275^\circ)$ 는 이 영역에 근사하게 도시된다. 쐐기파괴 해석에서는 J_1 과 J_3 의 불연속면 교차선이 쐐기파괴영역에 도시되며, J_1 과 J_2 의 교차선이 이 영역에 근사하게 도시되므로 이들 불연속면 조합에 대해 안전율을 구하여 안정성을 평가하였다.

이 중 J_1 은 본 사면의 100-120m 구간에서 평면파괴를 발생시킨 불연속면으로, 현장조사결과 추가붕괴의 가능성이 있는 것으로 판단되었다. 사면이 건조한 상태라고 가정시 한계평형법에 의한 안전율은 0.665으로서 불안정한 상태이다. 그러나, 한계평형법은 평사투영법에 의해 기하학적으로 불안정한 불연속면에 대해서 안전율을 구하나, 실제로 자연암반이나 지반은 그 형상이 복잡하고 지질구조가 다양하게 나타나기 때문에 사면내부에서 임의의 취약한 부분에서부터 붕괴가 시작될 수 있다. 그러므로, 개별요소법에 근거하여 불연속체 암반에 대해 불연속면 특성을 고려하여 안정성을 해석할 수 있는 UDEC의 BB 모델을 이용하여 본 사면에 대해 수치해석을 실시하였다.

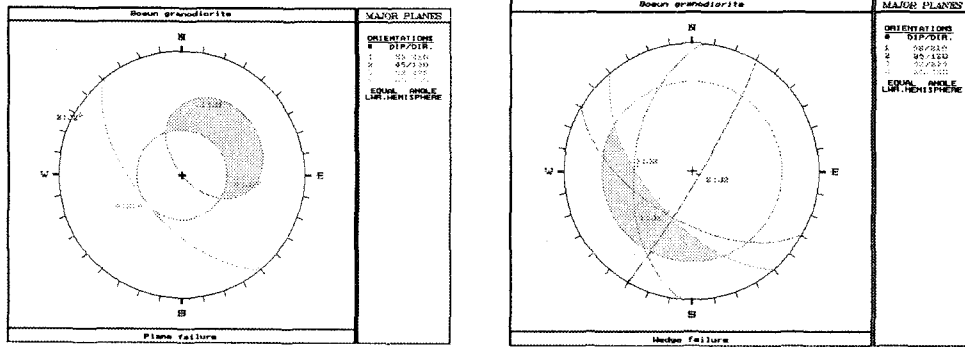


Figure 1 Stereographic projection for planar failure and wedge failure

Table 2 Factor of safety for plane failure of J₁ (dry condition)

h(m)	Ψ_p	Ψ_f	A(m)	U(kN/m)	γ (kN/m ³)	W(kN/m)	c(kN/m ²)	ϕ	F
35	58	60	41.27	0	25.39	799.85	5	30	0.665

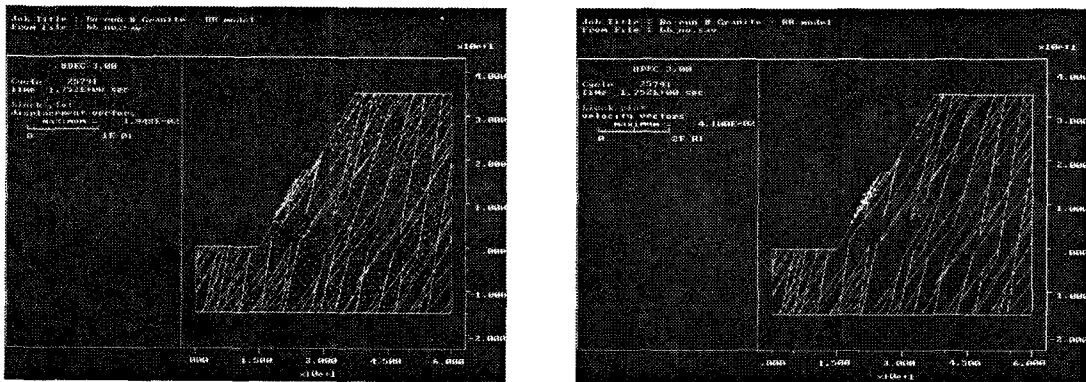


Figure 2 Displacement vector and velocity vector of natural slope

Figure 2와 같이 본 사면에 대해 지하수의 영향을 고려하지 않은 상태에서 변위벡터는 약 1.95cm 가 발생하였으며, 미끄러지는 불안정한 암반블럭의 속도벡터는 약 4.1×10^{-2} m/s이다.

이 때의 한계평형법에 의한 안전율은 0.665로서 불안정한 상태라고 판단된다.

따라서, SMR 결과로서 불안정등급에 따른 보강공법을 적용하여 본 사면을 안정화시키는 것이 요구되며, 본 수치해석에서는 록볼트를 사용하여 사면이 보다 안정화됨을 모사하였다.

Figure 3과 같이 절취면상에서 불안정한 변위거동을 보이는 암반블럭에 대해 록볼트를 타입한 결과 변위벡터는 약 7mm로 감소하였으며, 속도벡터도 약 2.25×10^{-3} m/s로 감소하였다. 따라서, 추가보공이 예상되는 본 사면에 대해 록볼트 보강공법을 적용하면 사면의 안정성이 증가된다고 판단된다.

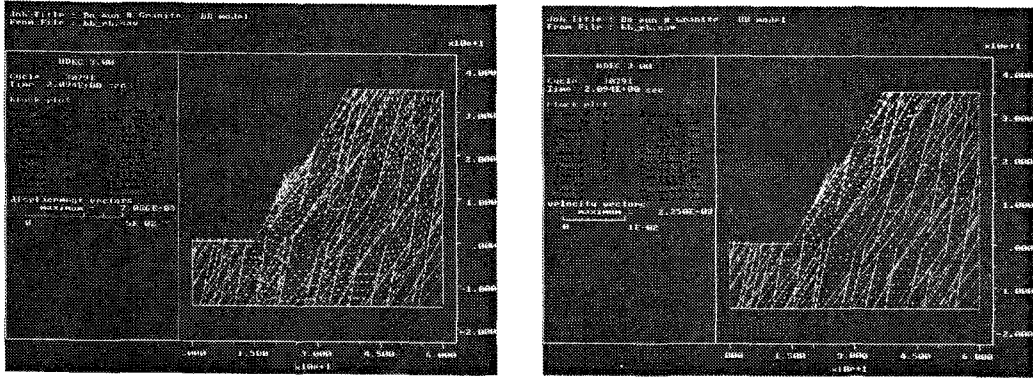


Figure 3 Displacement vector and velocity vector of supported slope

3. 결론

본 사면에 대한 SMR은 35.4점으로 등급 IV(불안정)에 속한다. 현장조사결과와 안정성이 가장 취약한 구간에 대해 평사투영법으로 기하학적인 안정성 해석 후, 불안정영역에 도시된 불연속면에 대해서는 한계평형법에 의해 안전율을 구하여 안정성을 해석하였다. 또한, 개별요소법에 근거한 UDEC의 BB 모델을 이용, 암반과 불연속면의 특성을 고려하여 종합적인 수치해석을 수행하였다. 이를 위해 현장조사시 채취한 시료를 정형하여 일축압축 및 삼축압축시험을 수행하여 암반의 역학적인 물성들을 구하였고, 직접전단시험을 수행하여 불연속면의 물성들을 구하였다.

본 사면에 대해 건조상태를 고려했을 때 한계평형해석에 의한 안전율은 0.665으로 사면에서 요구되는 최소안전율 1.3에 크게 미치지 못하는 불안정한 상태로 추가파괴의 잠재성이 있다. 따라서, 본 사면에 대해서 SMR의 등급판정에 따라 제시된 보강공법을 적용하여 사면이 보다 안정화되는 것을 모사하여 사면에 대한 안정성을 해석하였다. 보강공법으로 록볼트를 적용한 결과 절취면상에서 발생한 변위벡터와 속도벡터가 감소하였고, 불안정한 거동을 보이는 암반블럭이 록볼트에 의해 모암과 일체화되는 것을 알 수 있다. 이와 같이, UDEC은 explicit 프로그램이기 때문에 시간단계별로 해석이 가능하므로, 시공중의 사면이 불안정하다고 판단되면 이에 적합한 보강공법을 수치적으로 적용, 해석하여 시공 후 사면의 안정화 정도를 예측할 수 있다.

4. 참고문헌

- Barton, N., Bandis, S., Bakhtar, K. 1985. Strength, Deformation and Conductivity Coupling of Rock Joints. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr, Vol. 22, No. 3, pp.121-140
- Hoek, E. and Bray, W.J. 1981. Rock Slope Engineering, rev. 3rd edition, The institution of mining and metallurgy, London
- Itasca Consulting Group, Inc. 1996. UDEC User's Manual, Ver 3.0, Vol. 1-3
- Romana, M.R. 1993. A geomechanical classification for slopes: Slope Mass Rating. Comprehensive Rock Engineering. Vol 3. pp.575-601

주요어 : 보은, 암반사면, 평면파괴, SMR, 평사투영법, 한계평형법, 삼축압축시험, 직접전단시험, Barton-Bandis joint model, 보강공법

- 1), 3) 연세대학교 지구시스템과학과
- 2), 4) 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원