

SMR을 기반으로 한 암반사면 안정성 간편 평가법 개발

송원경, 정용복, 선우춘, 이병주 (한국지질자원연구원)

1. 서론

사면의 위험도를 평가할 때 모든 암반사면에 대한 정밀조사를 수행하기에는 전문 인력과 예산 면에서 거의 불가능하다. 이러한 암반사면의 효율적 관리를 위해서는 1단계로 현장 실무자가 암반사면의 위험도를 개략적으로 평가하여 암반사면의 기본적인 정보를 관리하는 한편, 이를 바탕으로 위험사면을 선정하여 전문가에 의해 후속 정밀조사를 실시하도록 하는 2단계 평가가 필요하다.

Romana(1985, 1988, 1993)가 제시한 SMR은 암반사면 평가에 있어서 국제적으로 널리 사용되는 평가법이나 한국의 암반 사면 조건에는 부적합한 면들이 있으며 또한 비전문가가 개략적인 방법으로 암반사면 평가를 수행하기에는 어려움이 있다. 본 연구에서는 SMR에 근거하여 현장실무자가 암반사면에 대하여 개략적인 평가를 수행할 수 있도록 단순하며 신뢰성을 가지는 한국형 암반사면 위험도 평가법(KSMR, Korea Slope Mass Rating)을 개발하였으며 일차적으로 전문가에 의해 타당성을 검토하였다.

본 연구에서는 KSMR과 사면높이, 그리고 3인의 전문가에 의한 사면안정 평가치를 통계적으로 분석하였다. 또한 후속 연구를 통해 PDA나 태블릿 PC 등으로 현장에서 바로 사용할 수 있는 프로그램을 개발할 예정이다.

2. 현행 암반사면 평가법의 문제점

Romana(1985, 1988, 1993)에 의해 개발된 SMR(Slope Mass Rating)을 비롯하여 미국, 홍콩, 일본, 호주 등에서 암반사면 안정성 평가법이 개발되어 사용되고 있으나 이들 방법은 모두 전문가를 위한 방법이다. SMR은 기본점수를 결정하는 RMR(Rock Mass Rating)에 있어서 비전문가가 평가하기에는 다소 어려움이 있으며 특히 이 방법은 사면의 높이를 고려하고 있지 않다.

Romana(2003)에 따르면 SMR이 각국에서 광범위하게 사용되고 있으며 특히 중국의 경우 국가적으로 사용하는 것으로 알려졌다. 다만 본 연구의 목적과 같이 현장실무자가 사용하기에는 입력값을 결정하는 데 어려움이 있으며 사면의 높이를 고려하지 않는다는 단점이 있다.

국내의 경우 암반사면에 대하여 주로 개개 사면에 대해 물리적 방법으로 사면 안정해석을 통하여 안정도를 평가하는 방법이 주로 적용되어 왔다. Song and Lee(2005)는 다수의 철도절개사면에 대한 안정성 평가 및 대책방안 연구를 수행하였으며, 이창우(2004)는 암반 절개면의 위험도판정표를 작성하였으나 상관계수가 다소 낮았다. 김상규 외(2000)는 퍼지 집합을 이용하여 사면 위험도를 평가하고자 하였으나 위험도평가를 위한 입력자료의 양이 상대적으로 많아 현장 실무자가 사용하기에는 다소 어려움이 있는 것으로 나타났다.

3. 간편 평가법

3.1 수정 GSI

원래의 GSI는 암반의 구조와 표면조건을 고려하여 도식적으로 영역을 선택하여 범위로 값을 결정하게 되어 있다. 그러나 이 경우 원 자료를 보관하지 않으면 추후 해당 GSI값이 어느 부분을 선택하여 결정한 것인지 알 수가 없다. 즉 블록상의 매우 양호한 암반 조건과 괴상의 양호한 암반 조건의 경우 GSI점수는 거의 같다. 따라서 본 연구에서는 원래의 GSI에서 제시한 암반구조 6등급 및 암반표면조건 5등급의 항목을 각각 선택하면 그에 따른 평균적인 GSI값을 결정하도록 하였으며 이러한 관계식을 얻기 위해 최적화 방법을 적용하였다. 또한 수정된 GSI 최대값은 암반강도와 지하수조건을 제외한 RMR 최고값인 70이 되도록 조정하였다.

3.2 평가법 양식

수정 GSI와 암반의 강도 및 지하수조건, 사면 높이를 적용한 평가법(KSMR)을 개발하였으며 자료처리의 용이성을 위해 엑셀 시트와 매크로를 사용하여 평가법 양식을 Fig. 1과 같이 개발하였다. 평가자료는 다른 시트에 데이터베이스 형식으로 저장되며 사면코드를 통해 검색 및 수정할 수 있도록 하였다.

입력항목은 암반구조, 불연속면표면 조건, 암반강도, 지하수 조건, 사면 높이, 그리고 사면과 불연속면의 방향정보로 구성되었다. 각 항목들은 항목별 자세한 설명과 이미지를 표시하여 선택을 용이하게 할 수 있도록 하였으며 황색으로 구별하였다. 또한 입력오류를 최소화하기 위해서 대부분의 입력항목을 목록에서 선택하도록 하였다.

4. 현장 검증

4.1 조사대상 사면

본 연구를 통하여 개발된 평가법의 타당성을 검토하기 위하여 강원도내 삼척, 하장, 영월 및 정선 지역의 국도 및 지방도에 형성된 암반사면을 대상으로 총 24개소 사면에 대하여 현장 조사를 수행하였다.

각 사면에 대하여 SMR 평가, GSI 평가가 수행되었으며 암반강도는 슈미트해머를 사용하여 결정하였다. 그리고 기존평가법과 더불어 개발된 KSMR도 적용하였다. 또한 위의 세 가지 평가를 완료한 후, 암반사면 분야에서 5~10년 이상 연구를 수행해 온 각 3인의 전문가가 평가자료 및 평가에서 고려되지 않은 다른 요소 (사면 형상, 배후 사면, 암종 등)등을 종합적으로 고려하여 전체적인 사면의 위험도를 평가하도록 하였다. 이 위험도 평가는 blind test로 진행되었으며 위험도 평가값이 평가 항목의 보정을 위한 목적값이 된다. 위험도는 hazard에 대한 것이며 매우 안전한 것에서부터 매우 불안정한 등급까지 5단계로 나누고 각 단계 안에서 0.5단계 조정이 가능하도록 사전에 정하였다 (Table 1).

평가자료보기		KSMR 평가		평가자료지정	
노선명	424	사면코드	KW001-01	평가자	정윤복 2007-03-30
Simplified GSI					
항목	구분	이미지	등급	항목	구분
암반 구조	과상 (MS)		7	표면 조건	매우 양호
	블록상 (BL)		5		양호
	심한블록상 (VB)		4		보통
	블록상/교란 (BD)		3		불량
	파쇄 (DI)		2		매우 불량
	엷리/층리/전단대(LS)		1		Div. of Geotechnical Eng., KIGAM
선택	블록상 (BL)		5	선택	양호
sGSI		45			
암반강도					
표면	UCS (MPa)	특징		등급	표면
매우 강함	>250	지질해머로는 암반에 자국만 남는다		GW1	물의 유입 없음
강함	100~250	지질해머 다수 타격에 의해 균열 발생		GW2	축축함, 자유수 없음
보통	50~100	지질해머 1회 이상 타격에 의해 균열 발생		GW3	젖음, 경우에 따라 물이 떨어짐
약함	25~50	지질해머 1회 타격으로 균열 생성, 칼로 긁거나 벗길 수 없다		GW4	씻거나간 흔적 있음, 계속적인 물의 유입
매우약함	5~25	지질해머 약속한 부분으로 타격시 쉽게 관입되며 어긋지만 칼로 벗길 수 있다		GW5	부분적으로 씻거나감, 심각한 물의 유입
극도로 약함	1~5	지질해머 약속한 부분으로 타격시 부서지거나 칼로 암석을 벗길 수 있다			
강함	100~250	12		GW2	10
사면 및 불연속면의 속성					
사 면	사면 높이	15 m			
	경사방향	135			
	경사	75			
	시공방법	불연전발파			
불연속면	절리군	경사방향	경사	주 파괴 유형	
	Set1	215	78	전도파괴	
	Set2	165	70	평면파괴	
	Set3	220	75	평면파괴	
보강					
항목	Set1		Set2		Set3
	P	T	P	T	P
보정치(A)	평면파괴 -15.5		[Set 2]	전도파괴	-11.8 [Set 1]
KSMR (sGSI+A)	51		등급	Class 3	보통 (IIIa)
안정상태	부분적 안정		세부	Toe ditch and/or nets	
파괴모드	일부 절리 또는 다수의 썩기		지보/보강	Spot or systematic bolting	
지보/보강	체계적 지보		전도파괴	Spot shotcrete	
파괴가능모드	평면파괴	대규모 (Major)	전도파괴	소규모 (Minor)	
	썩기파괴	많음 (Many)	전쇄파괴	없음 (None)	
전문가	평가등급	3 (보통)	Comments	평가자료지정	

Fig. 1. KSMR sheet

Table 1. Classes and description of rock slope stability

등급	5	4	3	2	1
상태	매우 불안정	불안정	부분적 안정	안정	매우 안정
정밀조사	필요	필요	필요	불필요	불필요
보호/보강	시급한 보강/재굴착	정밀평가에 따른 보강	일반 유지 관리	일반 유지 관리	일반 유지 관리

4.2 평가 결과

4.2.1 KSMR vs SMR

기존의 SMR 분석 결과와 사면높이를 고려하지 않은 KSMR 결과를 상호 비교하였다. Fig. 2는 3인의 전문가가 평가한 KSMR과 SMR 결과를 상호 비교한 것으로서 평가자에 따라서 약간의 차이를 보여주시는 하지만 상관계수가 0.9 이상으로 비교적 양호한 것을 알 수 있다. 기존 연구 사례(Hoek, 1999, 선우춘 외, 2006)에서도 GSI와 RMR이 높은 상관관계를 갖는 것으로 보고된 바 있으며 본 연구에서도 GSI와 RMR 사이의 상관성이 높음을 확인하였다. 따라서 높이를 고려하지 않은 KSMR은 SMR을 대체하여 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

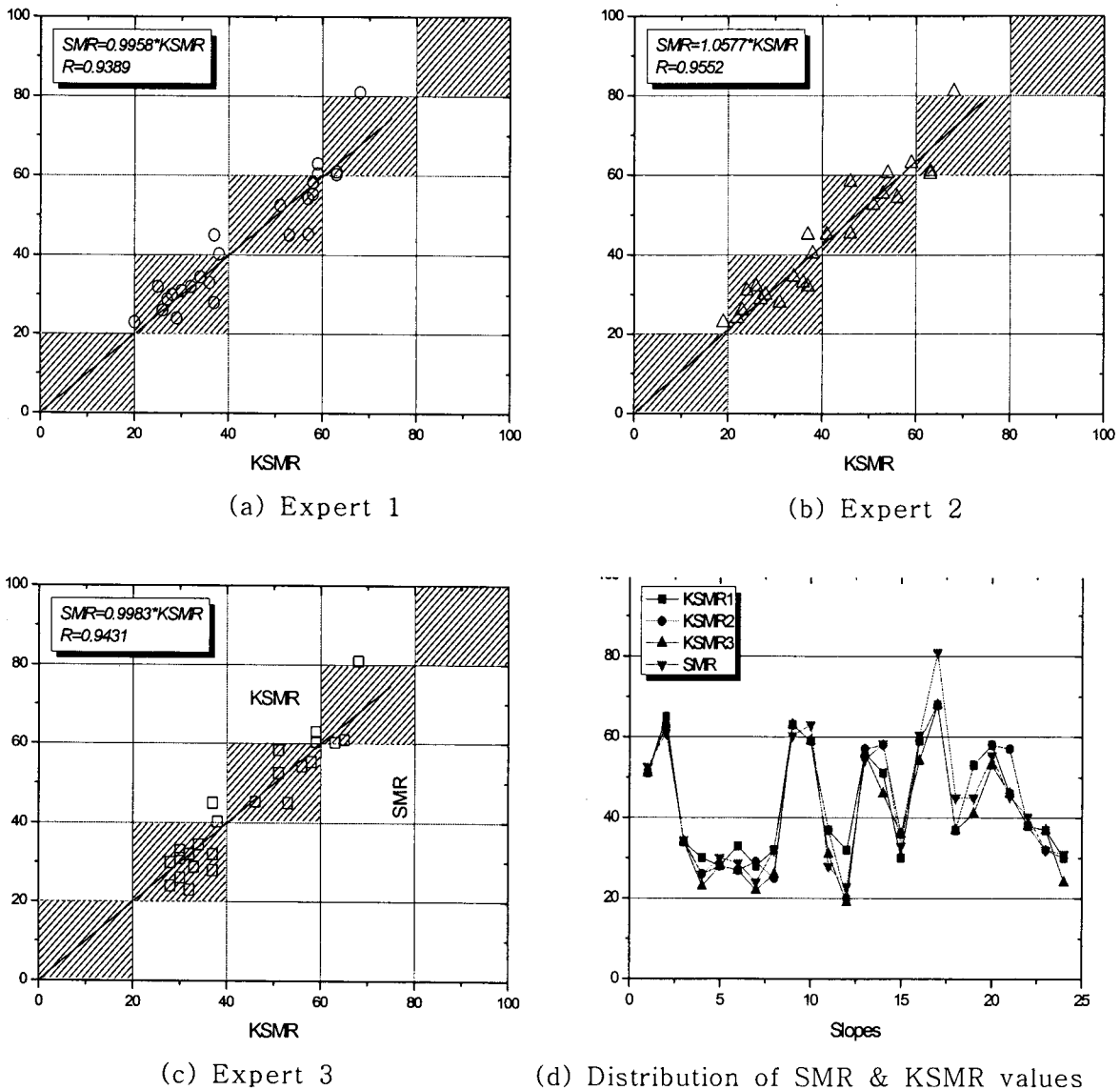


Fig. 2. Results of regression analysis between KSMR and SMR

4.2.2 KSMR vs 육안 평가

KSMR에 의한 평가등급을 전문가가 육안으로 평가한 위험도 등급과 비교하였다. 일차적으로 사면의 높이에 의한 배점 조정을 목표로 하였기 때문에 사면높이를 고려하지 않은 단순비교 후 전문가에 의한 평가 결과를 목표값으로 하여 오차가 최소가 되도록 사면높이에 대한 인자수준 및 배점의 최적값을 유전자알고리즘을 이용하여 도출하였다. 전문가 각 3인에 의한 전체 오차가 최소가 되도록 하였으며 이를 다음과 같은 목적함수를 정의하여 최적화에 사용하였다.

$$\text{Minimize } \sum_{\text{expert}} \sum_{i=1}^n \text{Abs}(\text{Class}_{\text{KSMR}} - \text{Class}_{\text{Expert}})$$

먼저 전문가 3인의 위험도 평가결과는 Fig. 3과 같다. 각 전문가의 주관적 판단이 포함된 것이기 때문에 약간씩의 차이를 보이나 최대 1등급을 초과하지 않음을 알 수 있다. 또한 KSMR보다는 주관성이 개입된 것이기 때문에 평가자에 따른 편차가 상대적으로 크게 나타났다.

조사, 분석 및 평가자료에 근거한 최적화 결과 사면높이에 따른 조정점수는 Table 2와 같다. 목적함수값은 초기 32.0에서 최적화에 의해 27.0로 감소하였으나 사면높이에 의한 보정만으로는 한계가 있는 것으로 나타났다. Fig. 4는 각 평가자별로 사면높이를 고려하기 전과 후의 KSMR값과 위험도등급 분포를 표시한 것이다.

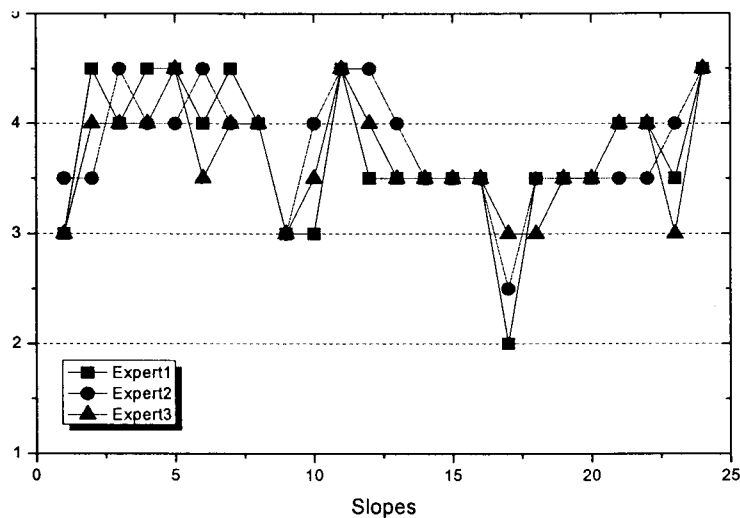
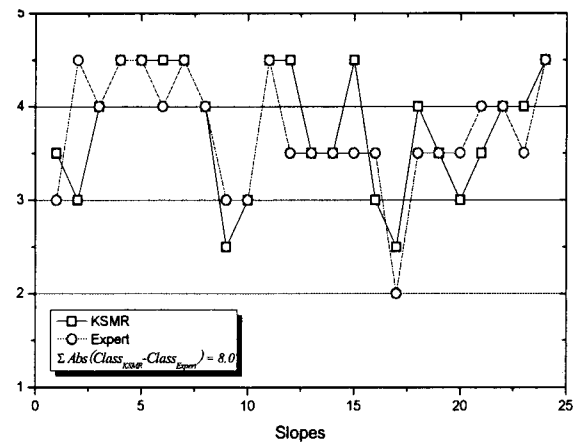
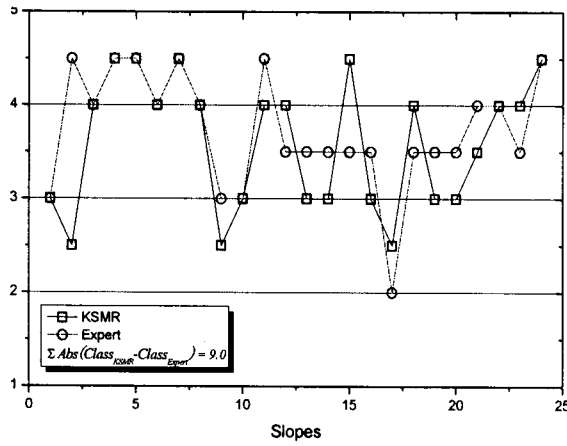


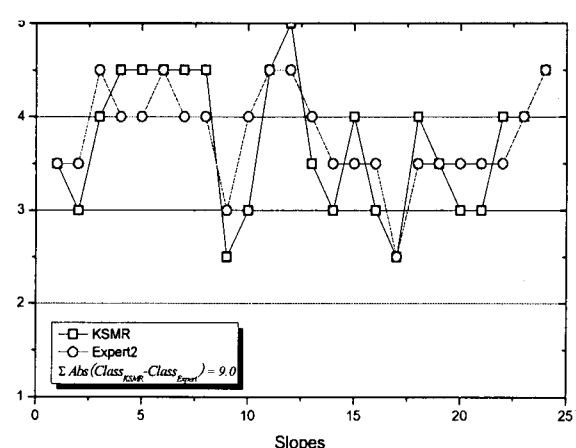
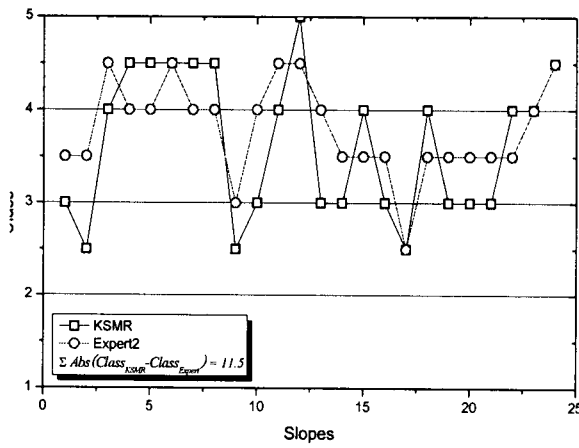
Fig. 3. Distribution of hazard levels estimated by experts

Table 2. Adjustment ranges and values for slope height in KSMR

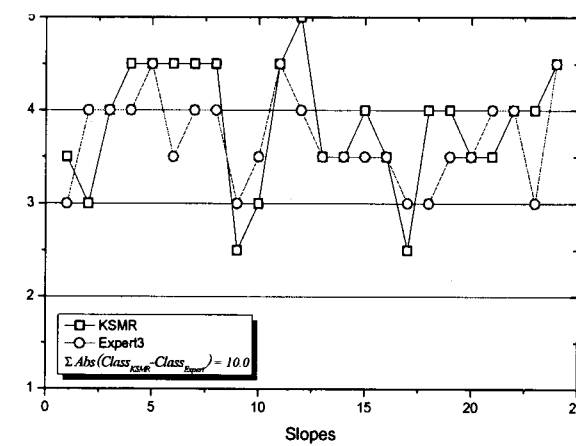
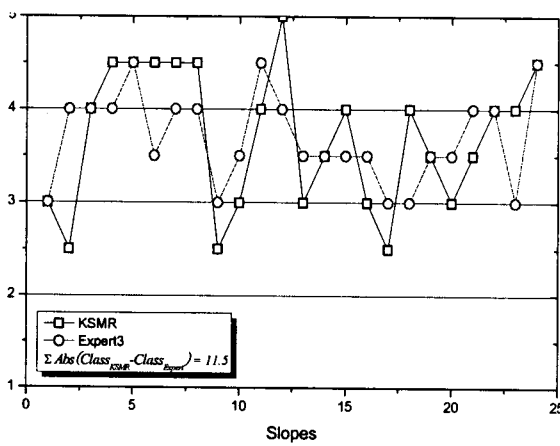
사면높이(m)	< 9	9~16	16~34	34 ~ 83	> 83
보정값	0	-1	-5	-7	-10



(a) Expert 1



(b) Expert 2



(c) Expert 3

Fig. 4. Slope hazard class distribution by KSMR and experts (left : before slope height correction, right : after slope height correction)

4.3 결과 분석

전문가 평가등급과 KSMR 보정등급의 차이를 검토한 결과 전문가 평가등급사이에서 2인 이상 공통적으로 1 이상의 등급 차이가 나는 조사사면은 BL(Blocky)에서 MS(Massive)의 암반구조 및 표면조건 Good에 해당하며 건조하고 암반강도도 경암에 해당된다. 감점요인은 불연속면의 방향성과 시공방법에 의한 점수로서 16점이 감점되어 65점의 KSMR 평가치가 계산되었다. 시공방법에서 최대감점은 불완전 발파에 의한 -8점이 최대이다. 이 사면의 경우 암반조건은 모두 양호하나 시공시 발파에 의한 암반블록들의 이완으로 불안정한 상태이며 사면 하부에서부터 암반블록이 계속 이탈될 경우 상부까지 연장될 가능성도 있다.

국내의 경우 일반 국도나 지방도의 암반사면은 많은 경우 발파 후 기계식 타격으로 법면 정리를 한다. 이로 인해 많은 암반사면이 발파로 인해 이완되어 불안정한 경우가 많으나 기존의 SMR에서는 이를 기계굴착으로 볼 경우 0점에서 불완전 발파로 볼 경우 최대 -8점까지 밖에 조정할 수가 없어서 국내 실정과 괴리감이 있는 것으로 판단된다. 또한 과도한 발파에 대한 고려도 필요할 것으로 본다.

따라서 F3가 갖고 있는 과도한 점수 배점을 하향조정할 필요가 있다. 반대로 시공방법 항목에 있어서는 감점 부분을 국내 현실에 맞추어 좀 더 세분화하고 점수도 상향조정할 필요가 있는 것으로 분석되었다.

5. 결론

우리나라에서뿐만 아니라 전 세계적으로 널리 사용하고 있는 SMR은 부분적으로 단점을 가지고 있으며 비전문가가 이를 이용하여 암반사면 평가를 수행하기에는 조사하기 어려운 항목이 포함되어 있다. 본 연구에서는 SMR에 근거하여 현장실무자가 암반사면에 대하여 개략적인 평가를 수행할 수 있도록 단순하며 신뢰성을 가지는 암반사면 위험도 간편 평가법을 개발하였으며 일차적으로 전문가에 의해 타당성을 검토하였다.

검토 결과 평가항목이 기존 SMR에 비하여 좀 더 단순화되었음에도 불구하고 SMR과 유사한 결과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 또한 KSMR에 의한 평가시 사면높이를 고려한 결과 전문가에 의한 위험도평가등급과의 오차가 약간 감소하는 것으로 나타났다. 이 외에도 방향성에 대한 조정과 함께 시공방법에 따른 감점 요소를 재조정할 필요가 있는 것으로 분석되었다.

참고문헌

1. 김상규, 류치협, 윤수호, 2000, 퍼지집합을 이용한 사면의 위험도 평가, 대한토목학회 논문집 20(3-c), pp.179-193.
2. 선우춘, 정용복, 2006, 기존의 암반분류법 조합에 의한 새로운 암반평가법의 제안, 화약 발파(대한화약발파공학회지) 24권 1호, p.21-18.

3. 이창우, 2004, 암반절개사면의 붕괴위험도 판정, 한국암학회지 93(1), pp.95-102.
4. Hoek, E. & Bray J., 1981, Rock Slope Engineering, Institute of Mining and Metallurgy.
5. Romana M., 1985, New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes, Proc. Int. Symp. on the role of rock mechanics, Zactecas, pp.49-53.
6. Romana M., 1988, Practice of SMR classification for slope appraisal, Proc. Int. Symp. on Landslides, Lausanne, Balkema, Rotterdam, pp.1227-1229.
7. Romana M., 1993, "A Geomechanical classification for slopes: Slope mass rating", Comprehensive rock engineering, ed. Hudson, Pergamon Press, chpt. 23, pp575-600.
8. Romana, M., Jose, B. & Montala E, 2003, SMR Geomechanics classification : Application, experience and validation, ISRM2003-Technology roadmap for rock mechanics, South African Institute of Mining & Metallurgy.
9. Song, W.K. and B.J. Lee, Correlation between geological factors and risk of rock slope failure in railroads, Geosystem Engineering, Vol.8, No.1, pp 5-8.