

현장실무자용 암반사면 위험도평가법 개발

정용복¹⁾, 송원경^{2)*}, 선우춘²⁾, 이병주³⁾

Development of Practical Rock Slope Hazard Evaluation Method

Yong-Bok Jung, Won-Kyong Song, Choon Sunwoo and Byung-Joo Lee

Abstract Hundreds of rock slopes are constructed along the road, highway and railroad in mountainous Kangwon province and managed by each authorities concerned. It is practically not possible to carry out detailed rock slope investigation owing to the tremendous number of slopes and budgetary limit. Therefore, it is reasonable to perform a step-by-step investigation consisted of basic and detailed survey program and practical rock slope hazard assesment method for person in charge is strongly required. Through the development and application of KSMR (Korean Slope Mass Rating), it was found that KSMR could be practically used as an alternative of SMR though the number of inputs were reduced. In addition, the difference of hazard assessment between KSMR and experts decreased in case of considering the height of slope.

Key words Rock slope, Practical hazard assessment, SMR, KSMR

초 록 산악지형이 우세한 강원도 지역 내 도로 및 철도 노선에는 수많은 암반 절개 사면들이 존재하며 이들 사면들은 각각 담당 기관별로 유지관리되고 있다. 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. 이를 위해 본 연구에서는 기존 문헌 조사 및 전문가에 의한 정밀현장조사와 분석을 통하여 현장실무자가 손쉽게 사용할 수 있도록 단순화된 암반사면위험도평가법을 개발하였으며 전문가에 의한 현장적용을 통해 타당성을 검토하였다. 개발된 KSMR은 적은 평가항목에도 불구하고 SMR을 대체할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 KSMR에 의한 평가시 사면높이를 고려한 결과 전문가에 의한 위험도평가등급과의 오차가 약간 감소하는 것으로 나타났다.

핵심어 암반사면, 실무자 위험도평가, SMR, KSMR

1. 서 론

산악지형이 우세한 강원도 지역 내 도로 및 철도 노선에는 수많은 암반 절개사면들이 존재하며 이들 사면들은 각각 담당 기관별로 유지관리되고 있다.

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 개략적

으로 평가하여 암반사면의 기본적인 정보를 관리하는 한편, 이를 바탕으로 위험사면을 선정하여 전문가에 의해 후속 정밀조사를 실시하도록 하는 2단계 평가가 필요하다.

이를 위해 본 연구에서는 기존 문헌 조사 및 전문가에 의한 정밀현장조사와 분석을 통하여 현장실무자가 손쉽게 사용할 수 있도록 단순화된 암반사면위험도평가법을 개발하였다. 또한 후속 연구를 통해 PDA나 태블릿 PC 등으로 현장에서 바로 사용할 수 있는 프로그램을 개발할 예정이다.

본 연구에서 다루고 있는 위험도란 ISO규정(ISO, 1999)에 따른 hazard(potential source of harm)를 말하는 것으로서 사면파괴나 붕괴 후의 결과까지 포함하는 risk(combination of the probability of occurrence of harm and

¹⁾ 한국지질자원연구원 지반안전연구부 선임연구원

²⁾ 한국지질자원연구원 지반안전연구부 책임연구원

³⁾ 한국지질자원연구원 지질기반정보연구부 책임연구원

* 교신저자 : songwk@kigam.re.kr

접수일 : 2007년 8월 14일

심사 완료일 : 2007년 8월 23일

3.2 실무자용 평가법 양식 개발

수정 GSI와 암반의 강도 및 지하수조건, 사면 높이를 적용한 평가법(KSMR)을 개발하였으며 자료처리의 용이성을 위해 엑셀 시트와 매크로를 사용하여 평가법 양식을 Fig. 2와 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 방향 정보로 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(Fig. 3).

4. 현장 적용 및 수정

4.1 현장조사

본 연구는 강원도내 삼척, 하장, 영월 및 정선 지역의 국도 및 지방도에 형성된 암반사면을 대상으로 하였으

평가자료번호		KSMR 평가				평가자료지장	
노선명	424	사면코드	KW001-01		평가자	정용복 2007-09-30	
Simplified GSI							
암반 구조	구분	이미지	등급	구분	설명	등급	
	과상 (MS)		7	표면 조건	매우 양호	아주 거칠, 신선하며 풍화되지 않은 표면	5
	블록상 (BL)		5		양호	거칠, 약간 풍화, 절로 변색	4
	심한블록상 (VB)		4		보통	매끄러운 다소 풍화, 변질된 표면	3
	블록상/교란 (BD)		3		불량	Slickensided 매우 풍화된 표면 단단한 충전물/미분	2
	파쇄 (DI)		2		매우 불량	Slickensided 매우 풍화된 표면 연한 충전물/미분	1
열리/층리/전단대(LS)		1	Div. of Geotechnical Eng., KIGAM				
선택	블록상 (BL)		5	선택	양호		4
sGSI			45				
암반강도				지하수 조건			
표현	UCS (MPa)	특징		등급	표현		
매우 강함	>250	지질해머로는 양면에 지극한 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 발생, 함몰 깊거나 벗겨수 없다		GW4	젖거나 끈적 있음, 계속적인 물의 유입		
매우약함	5~25	지질해머 표측한 부분으로 타격시 쉽게 관입되며 어렵지만 함몰 벗겨수 있다		GW5	부분적으로 젖거나 끈적, 심각한 물의 유입		
극도로 약함	1~5	지질해머 표측한 부분으로 타격시 부스러지며 함몰 발생됨 벗겨수 있다					
강함	100~250	12		GW2	10		
사면 및 불연속면의 측정							
사 면	사면 높이	15 m					
	경사방향	135					
	경사	75					
	시공방법	불연전발파					
불연속면	질리군	경사방향	경사	주 파괴 유형			
	Set1	215	78	전도파괴			
	Set2	165	70	평면파괴			
	Set3	220	75	평면파괴			
보정							
영역	Set1		Set2		Set3		
	P	T	P	T	P	T	
보정치(A)	평면파괴 -15.5		[Set 2] 전도파괴		-11.8 [Set 1]		
KSMR (sGSI+A)	등급	51		등급	Class 3 보통 (IIIa)		
	안정상태	부분적 안정		평가 결과	Toe ditch and/or nets		
	파괴모드	일부 절리 또는 다수의 썩기			Spot or systematic bolting		
	자외/보강	체계적 지보		Spot shotcrete			
파괴가능모드	평면파괴	대규모 (Major)		전도파괴			
	썩기파괴	없음 (Many)		없음 (None)			
전문가	평가등급	3 (보통)		Comments	평가자료지장		

Fig. 2. Developed KSMR sheet

Fig. 5는 조사사면 중 하나를 표시한 것으로서 암반구조는 VB(Very Blocky) ~ Blocky/Disturbed(BD) 구간에 속하며 표면조건은 Fair에 해당한다. SMR의 경우 IIIb로 평가되었으며 전문가의 위험도평가 결과는 3.5~4등급으로 평가되었다.

4.2 분석 결과

4.2.1 KSMR과 SMR 비교

먼저 기존의 SMR 분석 결과와 사면높이를 고려하지 않은 KSMR 결과를 상호 비교하였다. Fig. 6은 3인의

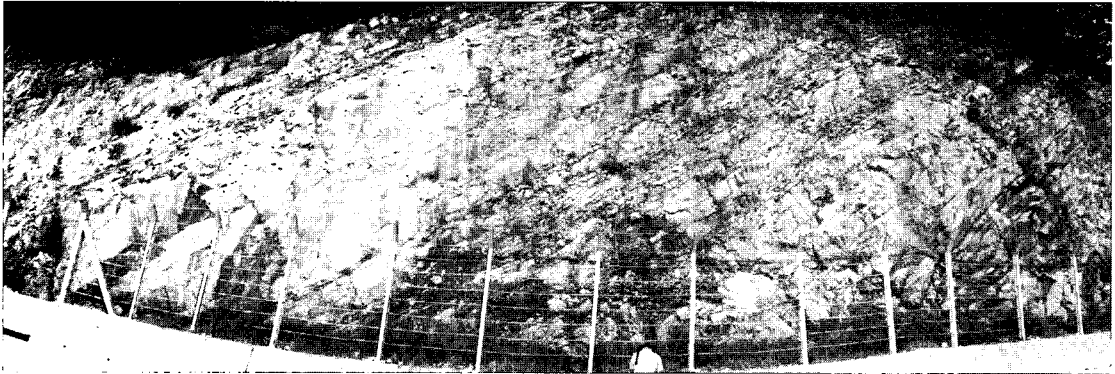
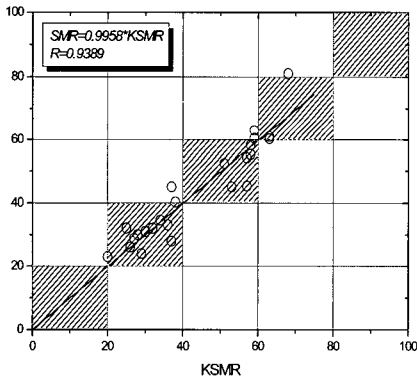
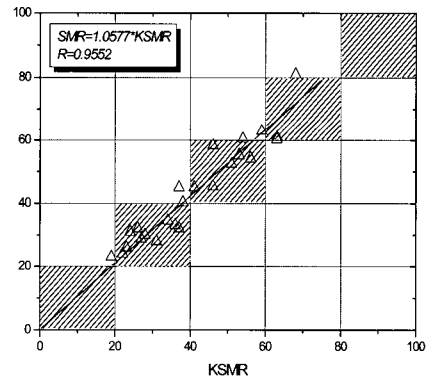


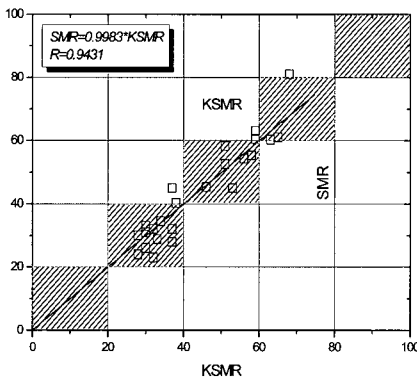
Fig. 5. View of rock slope investigation (SP02-06)



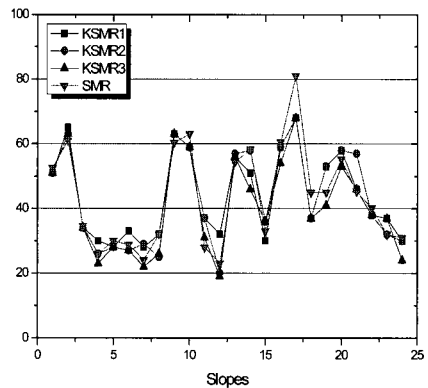
(a) Expert 1



(b) Expert 2



(c) Expert 3



(b) Distribution of SMR & KSMR values

Fig. 6. Results of regression analysis between KSMR and SMR

전문가가 평가한 KSMR과 SMR 결과를 상호 비교한 것으로서 평가자에 따라서 약간의 차이를 보여주기는 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.

4.2.2 KSMR과 전문가 위험도평가값과의 비교

KSMR에 의한 평가등급을 전문가가 평가한 위험도 등급과 비교를 하였다. 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 인자 수준 및 배점의 최적값을 유전자알고리즘을 이용하여 도출하였다. 전문가 각 3인에 의한 전체 오차가 최소가 되도록 하였으며 다음과 같은 목적함수를 정의하여 최적화에 사용하였다.

$$Minimize \sum_{expert} \sum_{i=1}^n Abs(Class_{KSMR} - Class_{Expert}) \quad (1)$$

먼저 전문가 3인의 위험도 평가결과는 Fig. 7 및 Table 2와 같다. 각 전문가의 주관적 판단이 포함된 것이기 때문에 약간씩의 차이를 보이나 최대 1등급 이상 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 또한 KSMR보다는 주관성이 개입된 것이기 때문에 평가자에 따른 편차가 상대적으로 크게 나타났다.

현재 조사,분석 및 평가자료에 근거한 최적화 결과 Table 3과 같이 사면높이에 따른 조정점수를 얻게 되었다. 목적함수값은 초기 32.0에서 최적화에 의해 27.0로 감소하였으나 사면높이에 의한 보정만으로는 한계가 있는 것으로 나타났다.

Fig. 8은 각 평가자별로 사면높이를 고려하기 전과 후의 KSMR값과 위험도등급 분포를 표시한 것이다.

4.3 토의사항

전문가 평가등급과 KSMR 보정등급의 차이를 검토한 결과 전문가 평가등급사이에서 2인 이상 공통적으로 1 이상의 등급 차이가 나는 조사사면은 SP01-03 사면으로 Fig. 9와 같다. 이 사면의 경우 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 Fig. 9와 같이 현재 불안정한 상태이며 사면 하부에서부터 암반블록이 계속 이탈될 경우 상부까지 연장될 가능성도 있다.

SMR이나 KSMR에서 방향성과 시공방법에 의한 보정의 경우 방향성에 의한 보정은 최대 -60점까지, 굴착공법에서 감점은 최대 -8점까지 가능하다. 최근 Romana (2003)도 SMR의 두 가지 단점으로서 보정인자 중 하나인 F3에 의해 SMR 점수가 최대 -60점까지 감점되는 극단적인 상황과 사면의 높이를 고려하지 않았다는 것을 지적하였으나 이에 대한 대안은 아직 제시하지 않은 상태이다.

국내의 경우 일반 국도나 지방도의 암반사면은 많은 경우 발파 후 기계식 타격으로 범면 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.

본 연구에서 조사한 사면의 경우 SMR이나 KSMR 등급과 전문가에 의한 위험도평가등급 사이의 차이가 이 부분에서 발생하였다. 즉, 전문가 위험도평가등급보다 KSMR이나 SMR이 더 양호한 것으로 판단한 사면의 경우 시공방법에 의한 감점을 더 줄 수 있는 방법이 KSMR이나 SMR에는 아직 없기 때문이다. 반대로 SMR이나 KSMR에 의해 더 불안정한 것으로 판단된 사면의 경우

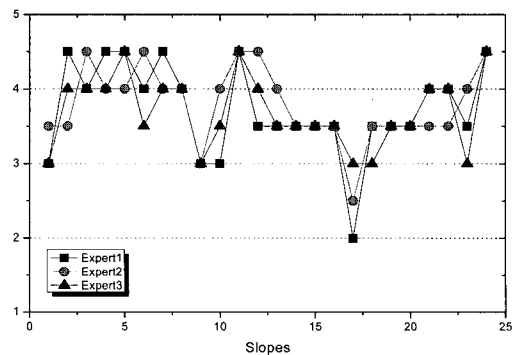


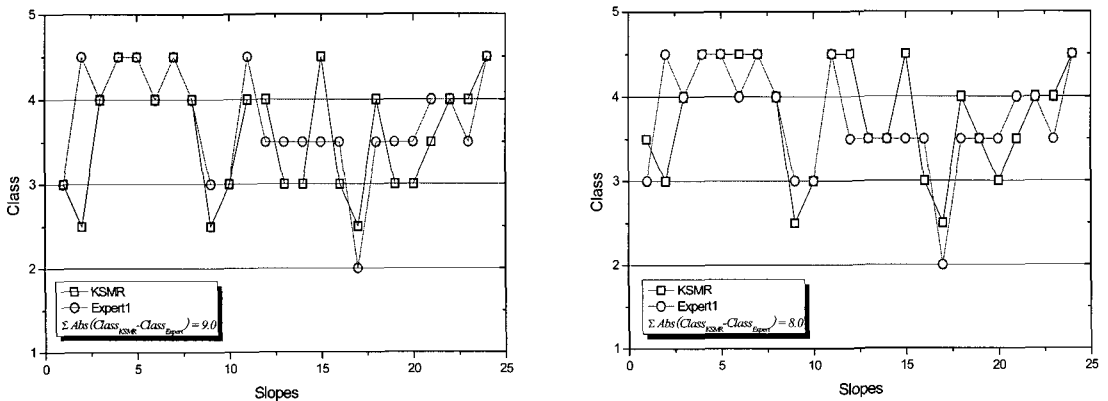
Fig. 7. Hazard distribution from three experts

Table 2. General information on slopes and hazard distribution

NO	사면 코드	KSMR			KSMR 등급			위험도 주관 평가		
		Expert1	Expert2	Expert3	Expert1	Expert2	Expert3	Expert1	Expert2	Expert3
1	SP01-01	51	51	51	3	3	3	3	3.5	3
2	SP01-03	65	63	63	2.5	2.5	2.5	4.5	3.5	4
3	SP01-04	34	34	34	4	4	4	4	4.5	4
4	SP01-06	30	26	23	4.5	4.5	4.5	4.5	4	4
5	SP01-08	28	28	28	4.5	4.5	4.5	4.5	4	4.5
6	SP01-09	33	27	27	4	4.5	4.5	4	4.5	3.5
7	SP01-11	28	29	22	4.5	4.5	4.5	4.5	4	4
8	SP01-1-1	32	25	26	4	4.5	4.5	4	4	4
9	SP01-13	63	63	63	2.5	2.5	2.5	3	3	3
10	SP01-15	59	59	59	3	3	3	3	4	3.5
11	SP01-17	37	37	31	4	4	4	4.5	4.5	4.5
12	SP01-19	32	20	19	4	5	5	3.5	4.5	4
13	SP01-22	56	57	56	3	3	3	3.5	4	3.5
14	SP01-24	51	58	46	3	3	3	3.5	3.5	3.5
15	SP01-27	30	36	36	4.5	4	4	3.5	3.5	3.5
16	SP02-01	59	59	54	3	3	3	3.5	3.5	3.5
17	SP02-02	68	68	68	2.5	2.5	2.5	2	2.5	3
18	SP02-03	37	37	37	4	4	4	3.5	3.5	3
19	SP02-04	53	53	41	3	3	3.5	3.5	3.5	3.5
20	SP02-05	58	58	53	3	3	3	3.5	3.5	3.5
21	SP02-06	46	57	46	3.5	3	3.5	4	3.5	4
22	SP02-07	38	38	38	4	4	4	4	3.5	4
23	SP02-08	37	32	37	4	4	4	3.5	4	3
24	SP02-09	30	30	24	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5

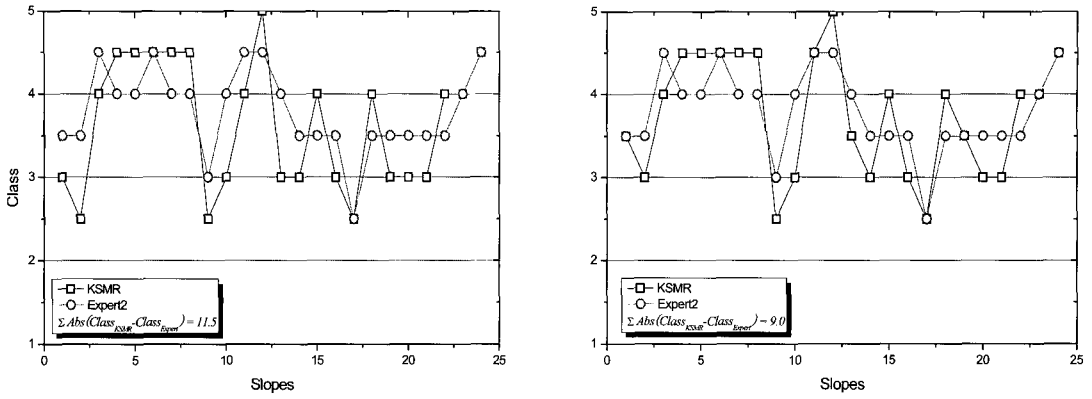
Table 3. Adjustment ranges and values for slope height in KSMR

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

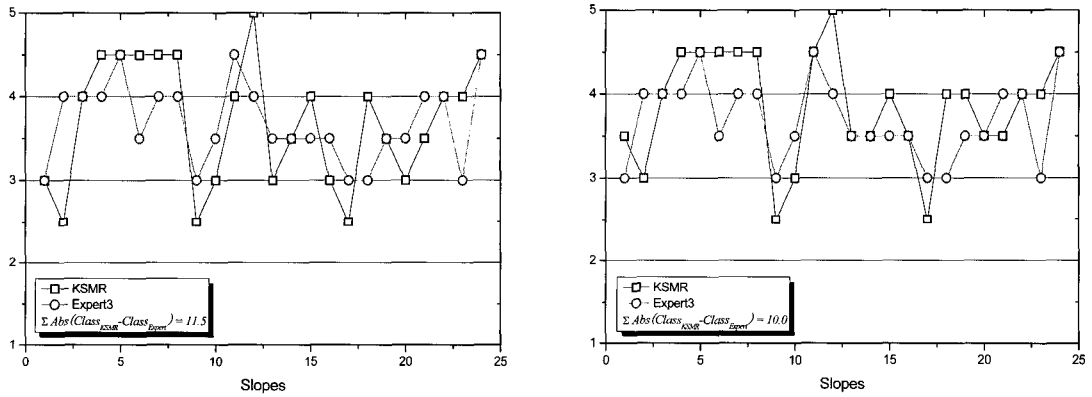


(a) Expert 1

Fig. 8 Slope hazard class distribution by KSMR and experts (left: before slope height correction, right: after slope height correction) (continue)



(b) Expert 2



(c) Expert 3

Fig. 8 Slope hazard class distribution by KSMR and experts (left: before slope height correction, right: after slope height correction)

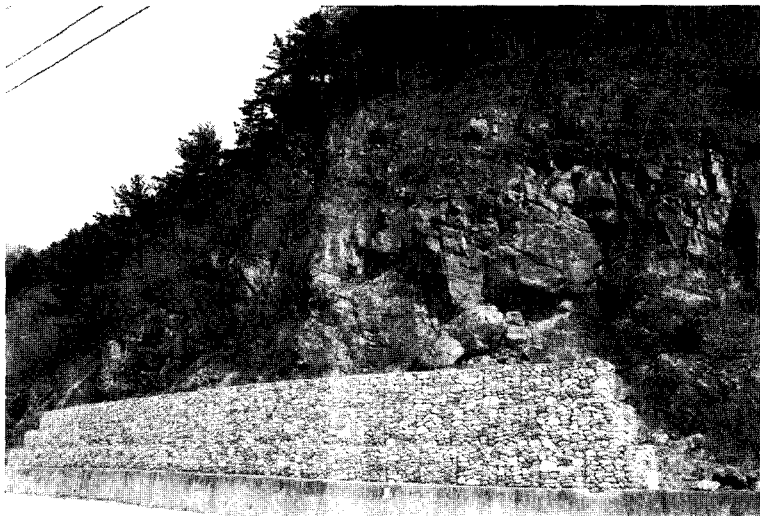


Fig. 9 View of SP01-03 rock slope at 424 local road

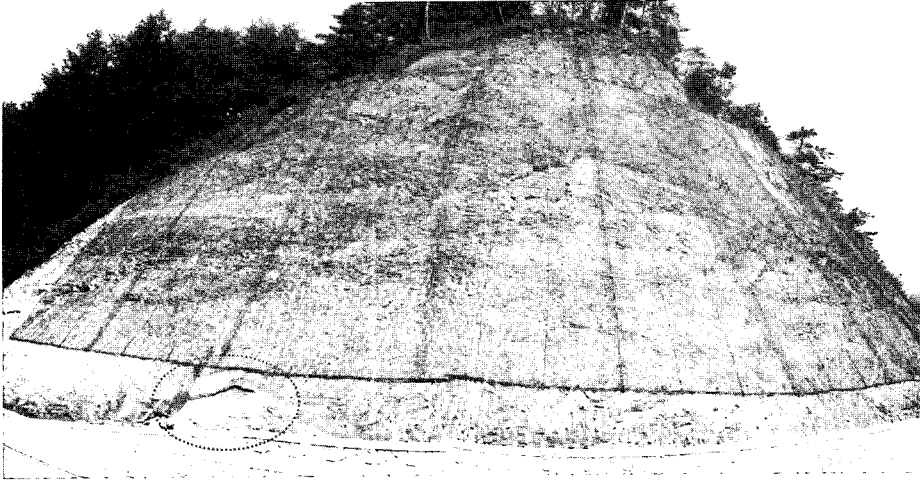


Fig. 10 View of SP02-03 rock slope at 59 national road

는 특정 방향성을 갖는 불연속면에 의해 과도한 감점이 발생하였기 때문이다. 후자의 사례가 59번 국도에 위치한 SP02-03사면이다(Fig. 10). 이 사면은 전문가들이 평가한 위험도는 3~3.5이나 SMR이나 KSMR 평가에서는 사면의 방향과 거의 평행하게 발달하는 불연속면들(Fig. 10의 점선 내부)에 의해 SMR의 보정요소중 하나인 F3가 -50이 되었고 전체적인 보정값은 -35점이 되어 SMR이나 KSMR의 경우 IV 등급의 불안정안 사면으로 분류가 되는 것이다.

따라서 F3의 극단적인 점수에 대한 하향조정과 반대로 시공방법에서 감점 부분을 국내 현실에 맞추어 좀 더 세분화하고 감점점수도 더 증가시킬 필요가 있는 것으로 판단된다. 이는 차후의 연구를 통해 계속 보완해 나갈 예정이다.

5. 결 론

Romana가 제시한 SMR은 암반사면 평가에 있어서 국제적으로 널리 사용되고 있는 평가법이나 부분적으로 단점을 가지고 있으며 비전문가가 개략적인 방법으로 암반사면 평가를 수행하기에는 어려움이 있다. 본 연구에서는 SMR에 근거하여 현장실무자가 암반사면에 대하여 개략적인 평가를 수행할 수 있도록 단순하며 신뢰성을 가지는 암반사면위험도평가법을 개발하였으며 일차적으로 전문가에 의해 타당성을 검토하였다. 검토 결과 평가항목이 기존 SMR에 비하여 좀더 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.

그러나 사면높이 외에 사면과 불연속면의 방향성에 따른 보정 요소에 대한 조정과 사면시공방법에 따른 감점 요인 등을 재조정하고 다수의 전문가에 의한 검증이 추가된다면 좀 더 신뢰성 있고 국내 현실에 맞는 평가법이 될 것으로 판단된다. 이는 지속적인 연구를 통해 보완할 예정이며 실제로 현장실무자와 전문가가 동행하여 본 연구에서 개발된 평가법의 적용성을 검증할 예정이다.

사 사

본 연구는 건설교통부 지역기술혁신사업(강원권역)의 연구비 지원(05지역특성B02)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김상규, 류치협, 윤수호, 2000, 퍼지집합을 이용한 사면의 위험도 평가, 대한토목학회논문집 20(3-c), pp. 179~193.
2. 선우훈, 정용복, 2006, 기존의 암반분류법 조합에 의한 새로운 암반평가법의 제안, 화약 발파(대한화약발파공학회지) 24권 1호, p. 21-18.
3. 이용희, 김종렬, 2004, 로지스틱 회귀분석을 통한 암반사면의 안정성 평가법 제안, 터널과 지하공간 14권 2호, pp. 133-141.
4. 이창우, 2004, 암반절개사면의 붕괴위험도 판정, 한국임학회지 93(1), pp. 95~102.
5. Hoek, E. & Bray J., 1981, Rock Slope Engineering, Institute of Mining and Metallurgy.
6. 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.
7. Romana M., 1988, Practice of SMR classification for slope appraisal, Proc. Int. Symp. on Landslides, Lausanne, Balkema, Rotterdam, pp. 1227~1229.
 8. Romana M., 1993, "A Geomechanical classification for slopes: Slope mass rating", Comprehensive rock engineering, ed. Hudson, Pergamon Press, chpt. 23, pp. 575 ~600.
 9. 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.
 10. Sonmez, H., C. & Ulusay R., 2000, Modifications to the geological strength index (GSI) and their applicability to stability of slopes, Int. J. Rock Mech. Min. Sci 36 pp. 743-760.

정용복



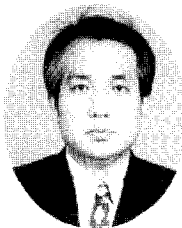
1994년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
 1996년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사
 2000년 서울대학교 대학원 지구환경시스템 공학부 공학박사
 Tel: 042-868-3097
 E-mail: ybjung@kigam.re.kr
 현재 한국지질자원연구원 지반안전연구부 선임연구원

송원경



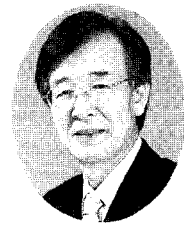
1982년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
 1986년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사
 1966년 프랑스 에콜데민 지질공학과 공학 박사
 Tel: 042-868-3247
 E-mail: songwk@kigam.re.kr
 현재 한국지질자원연구원 책임연구원

선우춘



1978년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
 1984년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사
 1985년 Paris VI 대학(France) DEA
 1988년 Paris VI 대학 지구구조학과 (France) 공학박사
 Tel: 042-868-3235
 E-mail: sunwoo@kigam.re.kr
 현재 한국지질자원연구원 지반안전연구부 책임연구원

이병주



1975년 경북대학교 문리대 지질학과, 학사
 1977년 경북대학교 대학원 지질학과, 석사
 1988년 프랑스 ORLEANS 대학교, 지구과학과, 이학박사
 Tel: 042-868-3042
 E-mail: bjlee@kigam.re.kr
 현재 한국지질자원연구원 지질기반정보연구부 책임연구원