

암반사면의 안전율에 영향을 미치는 JRC의 상관성에 대한 연구

Study on the Relationship of JRC Affecting the Safety Factor of Rock Slope

박 춘 식¹ Park, Choon-Sik

정 창 근² Jeong, Chang-Keun

Abstract

When drilling investigations for Rock Slopes are not possible, it is often difficult to calculate the Ground Design Constants required for the Limit Equilibrium Analysis. Therefore, the outcrops or partially cutted Rock Slopes were analysed using JRC and JCS that can be easily and conveniently measured. In particular, the effect of the JRC on the Safety Factor or the Rock Slopes was analyzed intensively, and the results were presented as a relationship formula and Table. When the Rock slope was stable, the JRC increased by an average of 9.0% as the slope height increased, and increased by an average of 29.8% as the slope angle increased. JRC was more sensitive to slope angle changes. The Cohesion corresponding to JRC was calculated from JRC-Fs formula. JRC and Cohesion showed a nonlinear relationship, and the Cohesion was about 8.0% more sensitive to slope height changes than slope angle changes.

요 지

암반사면은 시추조사가 불가한 경우가 많아 안정 해석에 필요한 지반정수를 산정하기 어려운 경우가 빈번하다. 본 연구에서는 노두나 부분적으로 절취된 사면에서 쉽고 간편하게 측정할 수 있는 거칠기계수(JRC) 및 강도(JCS)값을 이용하여 분석하였으며 특히, JRC값이 암반사면의 안전율에 미치는 영향을 집중 분석하여 그 결과를 상관식 및 도표로 제시하였다. 사면이 안정할 때 JRC값은 사면높이가 높아질수록 평균 9.0%씩 증가하였으며, 사면기울기가 높아질수록 평균 29.8%씩 증가하여 사면 기울기변화에 보다 민감한 것으로 나타났다. JRC-c의 상관식에서 JRC에 상응하는 점착력을 계산한 결과 JRC와 점착력은 비선형적인 관계를 보였으며, 점착력은 사면의 기울기 보다는 높이 변화에 약 8.0% 더 민감한 것으로 나타났다.

Keywords : Cohesion, JRC, Relationship formula, Rock slope, Safety factor, Slope angle

1. 서 론

국토의 대부분이 산악지형이고 산업화로 인한 국토 개발이 진행되면서 도로 및 건설용지확보를 위하여 암

반사면에 대한 공사가 급속히 증가하고 있으며, 사면의 위치 및 규모 또한 제각각이며, 그곳에 분포하는 절리, 층리, 습곡, 단층 및 이를 관입하는 관입체등 매우 복잡하게 분포하기도 한다. 암반사면을 불안정화시키는 요

1 정회원, 창원대학교 토목공학과 교수 (Member, Prof. School of Civil, Environment and Chemical Engrg., Chanwon National Univ., Tel: +82-55-213-3772, Fax: +82-55-285-9491, pcs@changwon.ac.kr, Corresponding author, 교신저자)

2 비회원, 세움건설(주)대표이사, 공학박사 (CEO, Seum Construction)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2022년 1월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

소는 매우 다양하고 복잡하게 작용하며, 이러한 요소들을 정량화시켜 해석하기에는 많은 어려움이 따르고 있다. 현재 지역적인 특성이나 암중에 대한 연구 및 파괴 사례에 대한 연구는 활발히 진행되고 있지만 불안정 요소들을 단순화시켜 설계기준을 제시하기 위한 연구는 부족한 상황이다. 특히, 시추조사 장비의 진입이 제한적이거나 불가한 비탈면의 안정성을 검토하여야 할 경우나, 시공현장에서 보수 보강이 시급한 경우 비탈면 파괴에 대하여 저항력으로 작용하는 거칠기계수를 신속하고 광범위하게 측정하여 비탈면의 안정성을 신속하게 판단할 수 있도록 거칠기계수와 안정성과의 상관성을 분석함으로써 설계자는 보다 현실적인 분석 및 설계가 되도록 하고, 현장에서는 즉각적인 대처가 가능하도록 연구를 진행하였다.

기간의 주요 연구 활동을 살펴보면, Kang et al.(1994)는 “절리면의 거칠기에 따른 암석 절리의 전단강도 및 변형거동에 관한 연구”에서 절리면의 거칠기 및 수직응력 조건이 암석의 전단강도 및 변형거동에 미치는 영향을 조사하였다. Kim et al.(2007)는 “거칠기와 수직응력에 따른 암석 절리면의 전단거동”에서 거칠기와 수직응력 변화에 따른 전단실험을 실시하여 절리면의 거칠기 증가에 따른 최대전단강도 변화특성 및 최대전단강도에 미치는 수직 응력에 대한 상관성을 연구하였다.

Goo and Park(2017)는 “한계평형해석에 의한 암반사면의 안정성”에서 실제 암반사면에서 가장 많이 발생하고 있는 평면파괴에 대하여 다양한 조건들을 이용하여 한계평형해석을 수행하고 각 조건들에 대응하는 안전율 및 이를 활용한 암반사면의 최적 설계기준을 제시하였다. Lee and Lee(1999)는 “신뢰도에 근거한 암반사면의 최적설계”에서 암반사면의 신뢰도에 근거한 최적 설계방안을 제시하였다. Lee et al.(2001)는 “불연속면의 특성을 고려한 보은지역 암반사면 안정성 해석”에서 충청북도 보은군 보은읍 도로공사구간에서의 암반사면에 대한 현장조사를 실시하고 이를 바탕으로 한계평형법의 해석방법을 통해 안전율을 연구하였다. Chung and Ryu(1996)은 “지질특성에 따른 암반사면 붕괴유형 연구”에서 고속도로 주위의 암반사면에 대한 현장 조사를 실시한 후 조사결과에 따른 붕괴유형에 대해 연구하였다. Ha and Park(2015)은 “경상남도에서 발생한 암반사면의 파괴유형 연구”에서 경상남도 지역에 발생한 암반사면의 평면파괴시 절리면과 사면이 이루는 각이 퇴적암의 경우 10-30°, 화성암의 경우 0-20°, 변성

암의 경우 0-30°일 때 주로 발생하는 것으로 분석하였다.

2. 연구조건 및 방법

본 연구는 암반사면에 대한 한계평형해석을 Barton-Bandis법(이하 B-B법)을 사용하며 거칠기계수, 압축강도, 사면의 높이, 사면의 기울기 등의 조건을 변화시켜가며 거칠기계수와 안전율의 상관성을 분석하여 도표 및 상관식으로 도출하였다.

또한, 위의 각 조건의 안전율에 상응하는 점착력을 Mohr-Coulomb법(이하 M-C법)을 이용해 역산하여 거칠기계수와 점착력과의 상관성 역시 도표 및 상관식으로 도출하였다.

본 연구에 적용한 사면의 조건은 사면기울기는 3종(1:0.3, 1:0.5, 1:0.7), 사면 높이는 4종(10m, 15m, 20m, 25m), 내부마찰각은 30°, 단위중량은 22kN/m³, 압축강도 JCS는 3000kN/m², 거칠기계수는 20종(1~20) 지하수위는 사면 높이의 1/2H로 하여 우기시 조건으로 해석한 후 건기시의 안전율과 비교 검토하였다. 사면과 절리면이 이루는 각도는 20°(Ha and Park, 2015), “경상남도에서 발생한 암반사면의 파괴유형 연구”논문 인용을 적용하였는데 이는 경상남도 암반의 대부분이 중생대 백악기의 퇴적암류 및 화강암으로 구성되어 있으며, 특히 평면파괴는 퇴적암류에서 많이 발생하는 경향이 있어 이를 적용하였다.

3. 연구 결과

3.1 거칠기계수(JRC)와 안전율(Fs)의 상관성 분석

B-B법을 이용하여 각 조건에 대하여 JRC를 변화시켜가며 사면의 기울기 및 높이에 따른 안전율 변화를 분석하였다.

Table 1을 보면 우기시 기준안전율 1.2이상을 확보하기 위한 JRC값은 사면 높이가 높아질수록, 사면 기울기가 높아질수록 큰 값이 요구된다. 동일한 높이에서 안전율은 JRC값이 1씩 커질수록 평균 11.0%증가하고, 사면 높이가 5.0m씩 높아질수록 JRC는 1-2만큼의 큰 값이 요구되며, 사면 높이가 높아질수록 JRC는 평균6-9-12로 약 3씩 큰 값이 요구되었다(1:0.7은 6이상, 1:0.5는 8-10 이상, 1:0.3은 11-13이상). JRC값은 절리면의 파괴에 대

한저항요소로서 작용하는 것을 알 수 있다.

Table 2는 JRC-Fs의 상관식(Table 3)에서 허용안전율 1.2를 만족할 때의 산술적 JRC값을 나타낸 것으로 사면 기울기가 낮아질수록 작은 값이 요구되며, 평균 29.8%의 감소하는 변화율을 보인다. 사면 높이가 높아질수록 JRC는 평균 9.0% 증가하는 것으로 나타났다. 따라서, 사면의 안전율은 사면 높이 변화보다는 사면기울기 변화에 더욱 민감한 것으로 분석되었다.

Fig. 1은 JRC변화에 따른 안전율의 변화를 사면의 기울기별로 나타낸 것으로 허용안전율 1.2를 만족하기 위해서는 1:0.7에서는 5.4, 1:0.5에서는 8.2, 1:0.3에서는 11.6이상의 JRC값이 요구된다. 즉 사면의 안전율은 사면 기울기가 높을수록 보다 큰 JRC값이 요구됨을 알 수 있다.

Table 3은 JRC와 안전율의 상관식을 사면의 기울기 및 높이별로 정리한 것으로 JCS 3,000kN/m²를 적용하

Table 1. Changes in Fs based on JRC (Rainy condition, Barton-Bandis Method)

JRC	Fs											
	1 : 0.3				1 : 0.5				1 : 0.7			
	10m	15m	20m	25m	10m	15m	20m	25m	10m	15m	20m	25m
5	0.58	0.56	0.55	0.54	0.87	0.84	0.82	0.81	1.18	1.15	1.12	1.11
6	0.65	0.62	0.61	0.59	0.96	0.93	0.91	0.89	1.31	1.27	1.23	1.21
7	0.72	0.69	0.67	0.66	1.08	1.03	1.00	0.97	1.46	1.40	1.35	1.32
8	0.82	0.77	0.75	0.73	1.20	1.14	1.10	1.07	1.62	1.54	1.49	1.45
9	0.92	0.87	0.83	0.81	1.35	1.27	1.22	1.18	1.82	1.71	1.64	1.59
10	1.06	0.98	0.93	0.90	1.53	1.42	1.36	1.31	2.04	1.90	1.81	1.75
11	1.22	1.12	1.05	1.01	1.74	1.60	1.51	1.45	2.31	2.13	1.99	1.91
12	1.42	1.28	1.20	1.14	2.01	1.82	1.70	1.62	2.63	2.39	2.25	2.14
13	1.42	1.46	1.38	1.29	2.28	2.09	1.93	1.82	3.04	2.72	2.52	2.39
Fs change rate	13.2%	12.5%	11.8%	11.5%	11.3%	10.95	10.4%	10.1%	11.0%	10.4%	9.8%	9.0%
	Avg 12.3%				Avg 10.7%				Avg 10.1%			
	Avg 11.0%											

Table 2. Changes of JRC by slope angle with relation (Fs=1.2)

Slope height (M)	JRC					
	Slope angle			Rate of changes with slope angle		
	1: 0.3	1: 0.5	1: 0.7	1:0.3 → 1:0.5	1:0.5 → 1:0.7	Avg
10	11.6	8.2	5.4	29.5%	33.8%	31.6%
15	12.1	8.4	5.8	31.1%	30.3%	30.7%
20	12.5	9.2	6.1	26.3%	33.5%	29.9%
25	13.5	10.2	7.2	24.4%	29.6%	27.0%
Rate of changes with slop height	10→15	4.7%	2.3%	7.7%	29.8%	
	15→20	2.6%	9.8%	4.8%		
	20→25	8.2%	10.9%	17.4%		
	Avg	5.4%	10.3%	11.1%		
		9.0%				

Table 3. Relation between JRC-Fs (JCS=3,000kN/m²)

Height (m)	Relationship formula		
	1 : 0.3	1 : 0.5	1 : 0.7
10	$F_s=0.246x^2+0.307x+2.064$	$F_s=0.278x^2+0.587x+2.376$	$F_s=0.297x^2+0.960x+2.253$
15	$F_s=0.292x^2+0.837x+2.314$	$F_s=0.377x^2+0.773x+3.467$	$F_s=0.404x^2+1.239x+3.617$
20	$F_s=0.380x^2+0.815x+3.547$	$F_s=0.416x^2+1.486x+3.637$	$F_s=0.515x^2+1.264x+5.465$
25	$F_s=0.412x^2+1.342x+3.694$	$F_s=0.521x^2+1.334x+5.523$	$F_s=0.554x^2+2.066x+5.583$

※Avg, R²=0.9966, x=JRC

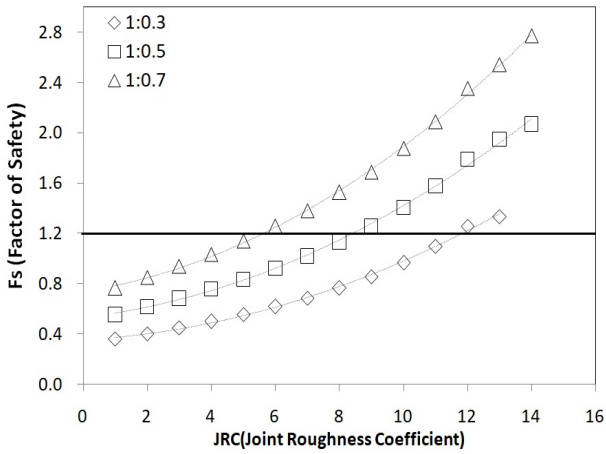


Fig. 1. Changes of Fs by slope angle based on JRC (JCS=3,000N/m²)

였다. 표의 조건과 유사한 현장에서는 각 조건에 해당하는 상관식을 이용하여 사면의 안전율을 계산가능토록 하였으며, 각 상관식의 평균 신뢰도 $R^2=0.9966$ 로 매우 높은 것으로 나타났다.

3.2 상관식을 이용한 JRC와 점착력의 상관성 분석

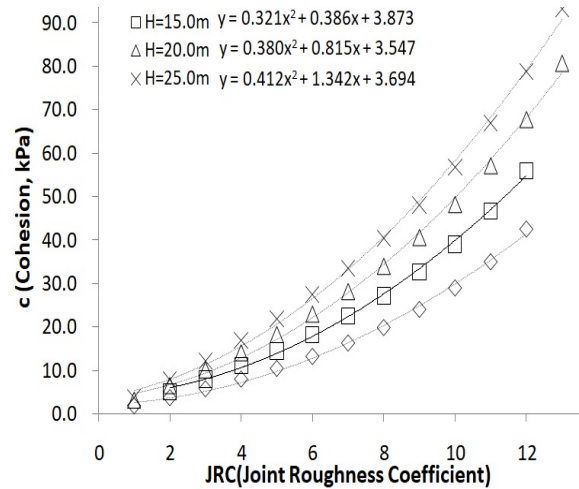
실제 현장에서 시추조사 및 시료채취가 불가능한 경우를 대비하여 본 연구결과 중 거칠기계수-안전율 상관식으로부터 JRC에 상응하는 점착력을 M-C법으로 역산해 거칠기계수와 점착력(c)의 상관식을 작성하였다.

Table 4를 보면 JRC-점착력의 상관식에서 사면이 허용안전율 1.2를 만족할 때의 점착력을 도기한 것으로 1:0.3에서는 35.0-93.3kPa, 1:0.5에서는 24.4-69.0kPa, 1:0.7에서는 19.1-39.6kPa의 분포 분포범위를 보인다.

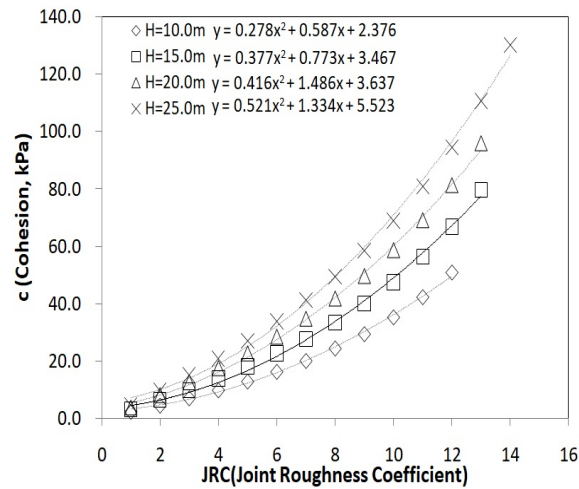
Fig. 2를 보면 각 기울기별 점착력은 JRC값이 커질수록 점착력이 비선형적으로 증가하는 형태를 보이며, 사면 기울기가 높아질수록, 사면 높이가 높아질수록 보다 JRC에 따른 점착력 변화가 크게 나타남을 알 수 있다. 기울기 및 사면 높이가 높아질수록 유효수직응력이 크게 작용하므로 사면 안정을 위하여 보다 큰 점착력이 요구되기 때문이다.

Table 5를 보면 점착력은 사면 기울기가 낮아질수록 28.7-35.4%(평균 32.0%)감소하며, 사면 높이가 5.0m씩 높아질수록 36.9-42.0%(평균 40.1%) 증가하는 것으로 나타났다. 따라서, 사면 안정에 필요한 점착력의 크기는 사면의 기울기보다 높이 변화에 더 민감한 것으로 분석되었다.

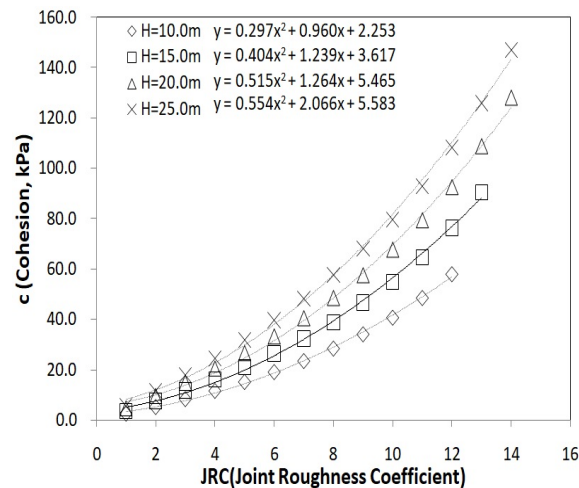
Table 6은 JRC와 점착력(c)의 상관식을 사면의 기울



(a) Slope angle = 1:0.3



(b) Slope angle = 1:0.5



(c) Slope angle = 1:0.7

Fig. 2. Changes of cohesion based on JRC

기 및 높이별로 정리한 것으로 표의 조건과 유사한 현장 조건에서 상관식을 이용하여 사면의 안전율과 이에 필요한 점착력을 계산할 수 있도록 하였다. 각 상관식의

Table 4. Changes of cohesion based on JRC (Fs > 1.2)

JRC	Cohesion, c (kPa, Blank = Fs > 1.2)											
	1 : 0.3				1 : 0.5				1 : 0.7			
	10.0m	15.0m	20.0m	25.0m	10.0m	15.0m	20.0m	25.0m	10.0m	15.0m	20.0m	25.0m
5	10.4	14.5	18.3	21.9	12.9	18.0	22.7	27.1	15.2	21.1	26.6	31.8
6	13.2	18.2	23.0	27.5	16.3	22.6	28.5	33.9	19.1	26.4	33.2	39.6
7	16.2	22.5	28.2	33.6	20.1	27.6	34.7	41.3	23.5	32.3	40.5	48.2
8	19.8	27.2	34.0	40.4	24.4	33.4	41.7	49.5	28.4	38.9	48.5	57.6
9	24.0	32.7	40.6	48.0	29.4	39.9	49.6	58.7	34.1	46.6	57.6	68.0
10	28.9	39.0	48.2	56.8	35.2	47.4	58.6	69.0	40.7	54.9	67.7	79.7
11	35.0	46.6	57.1	66.9	42.2	56.2	69.0	80.8	48.5	64.7	79.4	93.0
12	42.5	55.8	67.8	78.8	50.8	66.7	81.2	94.6	58.0	76.3	92.6	108.2
13	49.5	67.3	80.7	93.2	61.2	79.6	95.8	110.7	69.7	90.3	108.9	126.0

Table 5. Changes of cohesion by slope angle with relation (Fs=1.2)

Slope height (M)	c (kPa)					
	Slope angle			Rate of changes with slope angle		
	1: 0.3	1: 0.5	1: 0.7	1:0.3 → 1:0.5	1:0.5 → 1:0.7	Avg
10	38.8	25.8	16.2	33.5%	37.3%	35.4%
15	55.9	36.4	24.6	29.6%	32.4%	31.0%
20	72.8	52.5	32.5	27.9%	38.1%	33.0%
25	96.8	73.3	49.0	24.3%	33.2%	28.7%
Rate of changes with slop height	10→15	33.2%	41.0%	52.1%	32.0%	
	15→20	40.9%	44.2%	32.0%		
	20→25	33.0%	39.7%	50.9%		
	Avg	36.9%	42.0%	41.4%		
		40.1%				

Table 6. Relationship formula between JRC-c

Height (m)	Relationship formula		
	1 : 0.3	1 : 0.5	1 : 0.7
10	$c=0.246x^2+0.307x+2.064$	$c=0.278x^2+0.587x+2.376$	$c=0.297x^2+0.960x+2.253$
15	$c=0.292x^2+0.837x+2.314$	$c=0.377x^2+0.773x+3.467$	$c=0.404x^2+1.239x+3.617$
20	$c=0.380x^2+0.815x+3.547$	$c=0.416x^2+1.486x+3.637$	$c=0.515x^2+1.264x+5.465$
25	$c=0.412x^2+1.342x+3.694$	$c=0.521x^2+1.334x+5.523$	$c=0.554x^2+2.066x+5.583$

※Avg, R²=0.9976, x=JRC

평균 신뢰도 R²=0.9966로 매우 높은 것으로 나타났다.

Table 7은 본 연구의 결과를 종합한 것으로서 지표지질조사에서 측정된 JRC값을 이용하여 각 조건(사면의 기울기 및 사면 높이)별 암반 사면의 평면파괴에 대한 안정 여부를 판단할 수 있도록 도표화한 것으로 현장에서 측정된 JRC값을 각 조건에 대입하여 사면의 안정성을 예견하고 이에 따른 시공 방법 및 대책 공법 수립에 임할 수 있도록 하였다. JRC값은 현장에서 측정된 수에 따라 소수점의 결과가 나올 수 있으나 실제 적용에서는

정수의 값으로 올림하여 보수적인 평가가 이루어지도록 하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

3.3 건기시와 우기시에 대한 비교 분석

암석에서의 평면파괴는 우기시 많이 발생하므로 본 연구에서는 우기시 조건으로 분석하였으며, 건기시와 비교하기 위해 건기시 조건으로도 분석을 수행하였다.

Table 8을 보면 건기시 안전율은 우기시에 비하여

Table 7. Relation table of JRC-Fs (From JRC-Fs relationship formula)

JRC	Fs											
	10m	15m	20m	25m	10m	15m	20m	25m	10m	15m	20m	25m
	1:0.3				1:0.5				1:0.7			
5	0.54	0.53	0.52	0.50	0.83	0.81	0.78	0.76	1.15	1.10	1.08	1.07
6	0.60	0.59	0.58	0.56	0.93	0.91	0.86	0.84	1.28	1.22	1.19	1.18
7	0.68	0.67	0.65	0.62	1.04	1.02	0.95	0.92	1.44	1.36	1.32	1.30
8	0.77	0.75	0.73	0.68	1.17	1.15	1.06	1.02	1.61	1.51	1.46	1.44
9	0.88	0.84	0.81	0.76	1.32	1.29	1.18	1.13	1.81	1.69	1.63	1.60
10	0.99	0.95	0.91	0.84	1.49	1.45	1.31	1.26	2.02	1.88	1.81	1.77
11	1.12	1.03	1.02	0.94	1.67	1.63	1.45	1.39	2.26	2.09	2.01	1.96
12	1.26	1.18	1.14	1.04	1.86	1.82	1.60	1.54	2.51	2.31	2.23	2.16
13	1.41	1.31	1.27	1.14	2.07	2.03	1.76	1.70	2.79	2.56	2.47	2.38
14	1.57	1.46	1.41	1.26	2.30	2.25	1.94	1.87	3.08	2.82	2.72	2.62
15	1.75	1.61	1.56	1.38	2.55	2.49	2.13	2.05	3.40	3.10	3.00	2.87

Table 8. Fs of dry condition / Rainy condition (Rainy condition Fs = 1.2)

Slope height (H, M)	Safety factor in dry condition (Dry /Rainy condition)		
	1:0.3	1:0.5	1:0.7
10	1.5280 (27.3%)	1.4625 (21.9%)	1.4189 (18.2%)
15	1.5220 (26.8%)	1.4591 (21.6%)	1.4180 (18.2%)
20	1.5180 (26.5%)	1.4574 (21.5%)	1.4168 (18.1%)
25	1.5141 (26.2%)	1.4554 (21.3%)	1.4156 (18.0%)
Avg Fs change rate	26.7%	21.5%	18.1%

18.0-27.3% 증가하는 것으로 나타났으며, 사면기울기가 높아질수록 4.2-4.55%(평균 4.35%) 증가하고, 사면이 높아질수록 0.66-0.37%(평균 0.21%)이하로 미세하게 감소하는 경향을 나타내었다. 따라서, 건기시의 안전율은 사면 높이보다는 기울기 변화에 더욱 민감한 것으로 분석되었다.

3.4 기존 DATA와의 비교 분석

본 연구의 상관식에 대한 신뢰성을 검증하기 위해 여러 현장에서 수행된 10개소의 암반사면 해석 보고서에 수록된 지반정수(절리면전단시험값)를 이용하여 한계 평형해석을 수행하였다.

해석방식은 기존 사례의 지반정수(c, Φ)를 이용해 M-C 법으로 안전율을 구하고, B-B법에 의한 안전율이 M-C 법으로 구한 안전율과 동일한 값이 될 때까지 JRC값을 변화시켜 수정JRC값을 산출한 후, 수정JRC값을 본 연구에서 도출한 JRC-c관계식 대입하여 두 안전율의 오차를 백분율로 환산하여 비교한 결과 0.32%-7.29%의 오

차범위를 나타내었다. 따라서 본 연구의 상관식에 대한 신뢰도는 높은 것으로 판단된다(Table 9 참조)

4. 연구결과에 대한 분석

본 연구는 암반사면의 평면파괴에 대한 안정성 평가에 있어 JRC값이 사면 안정성에 미치는 영향에 대하여 상관식 및 도표를 제시하여 설계자가 보다 직관적인 판단이 가능하도록 하였다.

그러나 JRC값은 조사자의 숙련도에 따라 편차가 발생할 수 있으므로 조사자에 대한 교육과 훈련을 통해 편차를 줄이는 노력이 필요하며, 특히 지반조사 결과가 있는 경우 지표지질조사 결과와의 비교, 검토가 필수적으로 뒤따라야 한다.

또한, 서론에서 언급한 바와 같이 암반사면은 지역별로 사면을 구성하는 암종, 풍화양상 및 지질구조 등이 매우 복잡하게 나타나므로 이에 대한 다양한 연구를 진행하여 지역별로 빅 데이터화하여 분석함으로써 보다 다양한 설계 지표를 만들어 나가는 활동이 이루어져야

Table 9. Comparative analysis with field data

Case	Geotechnical integers & Fs in filed data								Comparison of relationship results	
	H	Slope angle	c (kPa)	JRC	JCS	Fs			Fs, +, -	
						Mohr method	B-B method	Modified JRC	Apply modified JRC (modified/Existind mohr method)	
1	10	1:0.3	33.0	11	3200	1,371	1,240	11.64	1,329	-3.06%
2	15	1:0.3	43.1	11	2500	1,235	1,215	11.42	1,221	-1.13%
3	20	1:0.3	62.5	12.5	3000	1,251	1,228	12.64	1,224	-2.16%
4	10	1:0.5	26.4	10	2500	1,411	1,485	9.58	1,416	+0.35%
5	10	1:0.5	37.5	12	2400	1,796	1,909	11.55	1,773	-1.28%
6	10	1:0.5	30.2	11	2800	1,543	1,724	10.15	1,513	-1.94%
7	15	1:0.5	4.53	11	2600	1,536	1,564	10.85	1,424	-7.29%
8	10	1:0.7	18.1	6	3000	1,418	1,307	6.77	1,382	-2.52%
9	15	1:0.7	24.1	6	2900	1,355	1,256	6.76	1,321	-2.51%
10	20	1:0.7	32.4	7	3000	1,340	1,350	6.92	1,309	-2.31%

※ Geotechnical survey report cases

- (1) 2004, "Geotechnical survey for construction of National Road replacement in Donducheon City" (Sandpe-Cheongsan)
- (2) 2011, "Geoje-Masan 1 National Road Construction Basic and Detailed Design Geotechnical Survey"
- (3) 2009, "Basic Design for National Road Expansion Construction of Yangnam-Gampo 1, Gyeongju city"
- (4) 2011, "Geotechnical survey for the construction of the Gumi City National Road Substitution Bypass" (Gupo-Saengok)
- (5) 2012, "Geotechnical survey during design service for relocation construction of National Road 31"
- (6) 2011, "Geotechnical survey for construction of National Road replacement bypass (Ilwol-Mundeok) in Pohang city"

할 것이다.

더불어, 최근에는 인적 접근이 어려운 사면을 대상으로 드론, 화상카메라 등을 이용한 절리면에 대한 촬영기법과 이를 해석하는 프로그램이 개발되고 있어 이들 결과를 안정해석에 접목하는 기술 역시 앞으로의 연구과제가 될 것이다.

5. 결론

거칠기계수(JRC)가 암반사면의 안전율에 미치는 영향을 사면 기울기 및 사면 높이에 따라 분석한 결과, 사면의 높이 보다는 기울기에 보다 더 민감하게 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 거칠기계수가 커질수록 암반사면의 안전율은 비선형적으로 증가하는 것으로 분석되었다.

더불어, 거칠기계수와 점착력의 상관식에서 보듯이 점착력은 거칠기계수와 선형에 가까운 비례적인 관계를 가지며 두 값이 커질수록 사면의 안정성 역시 증가하는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 두 값이 사면의 파괴에 저항하는 요소로 작용하고 있다는 점에서 유사한 성질을 갖고 있는 것으로 판단된다.

건기시 안전율은 우기시에 비하여 크게 나타나며, 동일한 높이에서 사면 기울기가 높아질수록 큰 폭의 안전

율 차이를 보이고, 동일한 기울기에서는 사면 높이변화에 대하여 미세한 변화를 보여 우기시에 대한 건기시의 안전율비는 사면 높이보다는 기울기 변화에 더욱 민감한 것으로 분석되었다.

또한, 기존 사례와의 비교 결과 본 연구의 상관식은 0.32%~7.29%의 오차를 보여 상관식에 대한 신뢰도는 높은 것으로 나타났다.

시추 및 실내시험이 불가능한 비탈면에서 거칠기계수와 강도정수를 측정하여 본 연구에서 도출한 상관식 및 도표 Table 3 및 Table 7을 활용하면 큰 수고로움 없이 한계평형해석에 활용할 수 있을 것으로 사료되며, 보수·보강이 시급한 현장에서도 즉각적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

다만, 모든 현장이 본 연구 조건과 동일 할 수는 없으므로 그 적용에 있어 한계가 있을 수 있으며, 보다 다양한 암종과 비탈면 조건에 따른 연구는 앞으로도 계속 진행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 논문은 2018년 8월 창원대학교 박사학위(정창근, 2018) 논문에서 발췌하였습니다.

참고문헌 (References)

1. Kang, J. H., Lee, S. D., and Lee, J. I. (1994), "Shear Strength and Deformation Behavior of Rock Joint with Roughness", *Korea Society for Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol.4, No.3, pp.261-273.
2. Kim, J. W., Lee, M. H., and Jang, K. T. (2007), "The Influence of Rock Joint Roughness and Normal Stress on Shear Behavior", *Korea Society for Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol.17, No.3, pp.186-196.
3. Goo, Y. T. and Park, C. S. (2017), "Stability of Rock Slope by Limit Equilibrium Analysis", Changwon University, pp.15-32.
4. Lee, I. M. and Lee, M. J. (1999), "Optimal Design of Rock Slope based on Reliability", Korea University, pp.75-83.
5. Lee, G. S., Park, H. J., and Min, K. D. (2001), "Stability Analysis of Rock Slope Considering Discontinuous Surface Characteristics", *The Korea Society of Economic and Environmental Geology*, Vol.34, No.6, pp.601-615.
6. Chung, H. S. and Ryu, B. O. (1996), "Failure Types in Rock Slopes According to Geological Characteristics", *Korea Society for Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol.12, No.6, pp. 37-49.
7. Ha, J. C. and Park, C. S. (2015), "Investigations on the Failure Modes of Rock Slope in Gyeongsangnam-do", *Korea Society for Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol.28, No.6, pp.569-583.

Received : October 7th, 2020

Revised : July 21st, 2021

Accepted : July 21st, 2021