

## 퍼지근사추론법에 의한 암반사면의 안정해석

# Analysis of Rock Slope Stability Based on Fuzzy Approximate Reasoning

기완서 (Wan Seo Ki)  
김삼석 (Sam Seok Kim)  
주승완 (Seung Wan Joo)

조선이공대학 토목과  
조선이공대학 토목과  
서강정보대학 토목과

### 요약 / ABSTRACT

암반사면의 안정성 평가에 있어서 경험적 평가에 중점을 둔 RMR분류법과 여러 가지 변수들을 이용한 평가방법인 평사투영·한계평형·유한차분·개별요소해석을 실시하였다. 그리고 여러 가지 암반사면의 안정성에 영향을 미치는 변수들의 불확실성을 고려할 수 있는 점추정법에 의한 신뢰성해석과 더불어 퍼지언어를 이용한 퍼지근사추론법의 구조화에 따른 평가방법을 비교·분석 하였다. 그 결과 점추정법의 신뢰성해석은 전 구간의 안정성을 평가 할 수 있으며 퍼지근사추론법에 의한 안정성평가는 다른 기존의 안정성해석 결과와 전반적으로 일치함을 알 수 있다. 위와 같이 RMR분류·평사투영·한계평형·유한차분·개별요소해석과 점추정법의 신뢰성해석, 퍼지근사추론법을 병행하면 암반사면의 특수성을 체계적이고 종합적으로 평가 할 수 있다.

**주요어 :** RMR분류법, 평사투영해석, 한계평형해석, 유한차분해석, 개별요소해석, 점추정법, 퍼지근사추론법

The quantitative evaluation of the stereo graphic projection, the limit equilibrium analysis, the finite difference analysis, the distinct element method is a analytical evaluation using many variables. Through the reliability analysis by the point estimation technique, uncertainty of other variables that have an effect on the stability of the rock slope was considered. The organized evaluation method of the approximate reasoning concept and using a fuzzy language was developed to confer and analysis the failure factors in planning and constructing the rock slope. Considering the result of the analysis, it was demonstrated that stability of entire sections can be evaluated through reliability analysis of point estimation technique. The results of stability evaluation by Fuzzy Approximate Reasoning is generally identical with the results of other existing analyses. As mentioned above, general and

organized evaluation of special qualities of rock slope is possible using RMR Classification, Stereo Graphic Projection, Limit Equilibrium Analysis, Finite Difference Analysis, Distinct Element Method, Point Estimation Technique, and Fuzzy Approximate Reasoning.

**Key Words :** RMR classification, Stereo graphic projection, Limit equilibrium analysis, Finite difference analysis, Distinct element method, Point estimation technique, Fuzzy approximate reasoning

## 서론

최근 생활수준의 향상과 함께 인구증가·산업의 발달로 인해 더 많은 사회간접자본 시설이 필요하게 되고 효율적인 국토의 개발이 요구되었다. 그러나 도로와 철도, 터널 등의 각종 구조물 건설에 사용할 수 있는 부지가 좁아 대규모의 사면을 절취하고 그 부지를 이용할 수 밖에 없는 경우가 자주 발생하고 있다. 그로 인해 절취사면들이 도처에 산재하고 있으며 이러한 사면들의 붕괴로 인적·경제적 손실이 크므로 이를 방지하기 위하여 절취사면의 안정성을 분석하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

특히, 암반사면은 암석고유의 특성, 풍화의 정도 및 불연속면의 특성 등에 따라 각 암반의 거동이 현저하게 다르기 때문에 그 상태를 정량적 지표로 정확히 평가할 수 없는 경우가 많은데 암반사면의 절취경사를 결정하는 국내의 현행방법은 불연속면의 방향이나 거칠기 등의 공학적 특성을 전혀 고려하지 않고 주로 암석강도에 따라서 일률적으로 절취경사를 결정하고 있는데 이러한 불확실성 때문에 암반사면에서 붕괴사고를 유발시키며 막대한 손실을 초래할 수 있다는 문제점을 안고 있다.

본 연구에서는 암반사면의 안정성 평가에 있어서 암반의 물리적 특성을 이용한 경험적 평가에 중점을 둔 RMR분류법(Bieniawski, Z.T., 1979)과 여러가지 변수들을 이용한 수치해석적 평가 방법인 평사투영, 한계평형, 유한차분, 개별요소해석 및 암반사면의 안정성에 영향을 미치는 변수들의 불확실성을 고려할 수 있는 점추정법에 의한 신뢰성해석을 실시하였다. 점추정법의 신뢰성해석(심태섭과 주승환, 2000)은 암반사면의 안정성에 영향을 주는 인자들에 대한 평균값과 표준편차를 이용하여 암반사면의 신뢰성을 계산할 수 있고 복잡한 미분방정식

의 유도가 필요치 않으며 확정론적 방법에서 제안된 식을 한계상태 방정식으로 유도하여 산정할 수 있다는 장점이 있다. 그리고 퍼지근사추론법의 구조화에 따른 평가방법을 상호 비교·분석하여 합리적인 암반사면의 안정성 평가방법을 제시해 보고자 한다.

## 퍼지근사추론법의 안정해석

퍼지이론에 의한 안정성평가는 Fig. 1과 같은 소속도함수를 이용하여 암반사면의 변상 및 파괴요인을 암석의 물성치와 불연속면, 지하수 등의 내적요인과 절개면의 형상, 교통량 등의 외적요인으로 구분하고 이러한 요인에 의한 파괴형태를 평면활동파괴의 성능함수로 가정한 후에 Table 1, 2의 암반사면에 대한 변상평가 기준을 토대로 하여 안전성 평가를 수행하게 된다.

평면활동의 거동함수식에서 활동면의 내부마찰각과 경사각 및 균열부에 용출수가 있는 경우 저감계수의 영향을 받아 암반사면이 파괴된다고 가정하면 암반사면에 대한 활동요인의 변상평가기준은 식 (1)과 같은 예측파괴확률에 대응하는 예측상태지수  $X_0$ 로부터 구해지며 점추정법의 신뢰성해석으로 구한 변상평가기준은 Table 3과 같다.

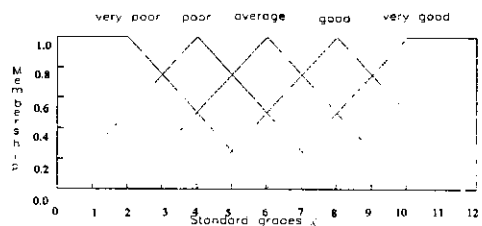


Fig. 1. Membership functions of results by fuzzy approximate reasoning

퍼지근사추론법에 의한 암반사면의 안정해석

Table 1. Internal factors for the assessment of rock slope

No	Description	Grades				
		A	B	C	D	E
X1	Uniaxial compressive strength(kg/cm <sup>2</sup> )	Very high (>2500)	High (1000~2500)	Medium (500~1000)	Low (250~500)	Very low (250~0)
X2	RQD(%)	Very good (90~100)	Good (75~90)	Fair (50~75)	Poor (25~50)	Very poor (25>)
X3	Spacing of joints(cm)	Very wide (>200)	Wide (60~200)	Moderately close (20~60)	Close (6~20)	Very close (6>)
X4	Condition of joints	Very good	Good	Fair	Poor	Very poor
X5	Groundwater	Dry	Wet	Very wet	Medium inflow	Large inflow
X6	Joints slope	Very good	Good	Fair	Poor	Very poor
X7	Excavation method	Natural slope	Pre-splitting	Smooth-blasting	Normal-blasting	Deficient-blasting

Table 2. External factors for the assessment of rock slope

No	Description	Grades				
		A	B	C	D	E
Y1	Height of slope	<5m	5~8m	8~11m	11~14m	>14m
Y2	Length of slope	<15m	15~30m	30~45m	45~60m	>60m
Y3	Shoulder of road	Very wide	Wide	Medium	Close	Very close
Y4	Traffic capacity	Very small	Small	Medium	Load	Very load
Y5	Rockfall size	Very inadequate	Inadequate	Medium scale	Definite scale	None
Y6	Geology	No crack	Random array	Wedge form	Discontinuous crack	Continuous crack
Y7	Block size	<0.15m	0.15~0.3m	0.3~0.6m	0.6~1.5m	>1.5m
Y8	Joint friction	Very rough	Rough	Plane	Smooth	Fault-clay
Y9	Water/Freezer	Dry-area	Warm-area	Cold-area	Cold-area(rainfall)	Frozen-area
Y10	Rockfall	None	Free	Bouncing	Rolling	Sliding

Table 3. Sliding factors for the assessment of rock slope

Grades	Predictive index(X0)	Assessment	Grades	Predictive index(X0)	Assessment
A1	0.00 ~ 0.05	No collapse	A2	0.05 ~ 0.10	Very stable condition
B1	0.10 ~ 0.20	Stable condition	B2	0.20 ~ 0.30	Comparative stable condition
C1	0.30 ~ 0.45	Ordinary condition	C2	0.45 ~ 0.55	Limit condition
D1	0.55 ~ 0.70	Unstable condition	D2	0.70 ~ 0.85	Serious Unstable condition
E1	0.85 ~ 0.95	Serious Unstable condition	E2	0.95 ~ 1.00	Failure

$$X_0 = \frac{1}{1 + (k \times \log(1/p_f^i))^3} \quad (1)$$

$$k = 1/\log(p_{f_0})$$

$p_f^i$  = Predictive failure probability

$p_{f_0}$  = Target failure probability

그리고 퍼지근사추론법에 의한 방법은 변상상태로부터 기인되는 세 가지 변상인자, 즉 내적변상요인(X), 외적변상요인(Y) 및 활동상태요인(Z)에 대한 표현을 하나의 특정한 인자로 변형시키는 것이 아니고 퍼지언어변수를 이용하고 각 변상인자의 퍼지언어변수값은 근사추론법에 의해 합성하므로써 종래의 안정성평가 분석방법보다 더욱 정밀하게 평가하게 된다.

X, Y, Z 및 S를 각각 내적, 외적, 활동상태요인 및 안정성판정에 대한 술어집합이라 하고,  $P_X, P_Y, P_Z$  및  $P_S$ 을 각각 X, Y, Z 및 S에 관한 퍼지명제라고 하면 퍼지논리에 의한 안정성분석의 퍼지조건문 및 퍼지관계는 식 (2)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} &IF (X = P_X) \cap (Y = P_Y) \cap (Z = P_Z) THEN S = P_S \\ &R = R_X \cap R_Y \cap R_Z \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,  $R_X, R_Y$  및  $R_Z$ 은 각각 내적, 외적, 활동상태요인 및 퍼지관계를 나타내는 것으로 식 (3)과 같은 조건문으로 풀이할 수 있다.

$$\begin{aligned} &IF X = P_X THEN S = P_S \Rightarrow R_X = P_X \times P_S \\ &IF Y = P_Y THEN S = P_S \Rightarrow R_Y = P_Y \times P_S \\ &IF Z = P_Z THEN S = P_S \Rightarrow R_Z = P_Z \times P_S \end{aligned} \quad (3)$$

다음으로 각 요인에 대한 조건이 변할 때 퍼지합성규칙에 의한 근사추론법을 이용하여 안정성판정을 추론할 수 있으며, 각 요인의 조건이  $X=PX'$ ,  $Y=PY'$  및  $Z=PZ'$ 로 변하였다고 가정할 때, 합성규칙에 의해 결정되는 안정성판정은 식 (4)과 같이 된다.

$$S(F_S) = \bigwedge_{i=X, Y, Z} [\bigvee_{f_i \in F_i} (P_i'(F_i \wedge r_i(F_i; F_S)))] \quad (4)$$

여기서,  $\wedge$ 는 Min,  $\vee$ 는 Max이다.

다음은 안정성판정을 다시 언어표현으로 전환시키는 과정으로 Kaufmann(1975)의 해밍거리의 개념을 도입하여 근사추론에 의한 안정성판정과 퍼지부분집합과의 해밍거리를 최소화하는 S내의 한 퍼지부분집합을 선택하게 되며, A와 B가 집합 F의 퍼지부분집합일 때 A와 B간의 해밍거리는 식 (5)과 같이 되고, 도출된  $d \in (1, 2, 3, \dots, m)$ 의 퍼지집합  $S_d^0 = (S_{d1}^0, S_{d2}^0, S_{d3}^0, \dots, S_{dm}^0)$ 에 근사화되는 S내의 한 퍼지부분집합  $S_d^*$ 은 식 (6)과 같이 된다. 또한 퍼지근사추론으로 해석한 암반사면의 안정성평가 기준은 Table 4와 같이 된다.

Table 4. Assessment of rock slope by fuzzy approximate reasoning

Grades	Rock condition (SMR)	Risk condition (SSR)	Internal factor (X)	External factor (Y)	Sliding factor (Z)	Assessment
A1	Very good	Very good	Very good	Very good	Very good	No collapse
A2						Very stable condition
B1	Good	Good	Good	Good	Good	Stable condition
B2						Comparative stable condition
C1	Fair	Fair	Fair	Fair	Fair	Ordinary condition
C2						Limit condition
D1	Poor	Poor	Poor	Poor	Poor	Unstable condition
D2						Serious unstable condition
E1	Very poor	Very poor	Very poor	Very poor	Very poor	Very serious unstable condition
E2						Failure

$$d(A, B) = \sum_{i=1}^n | \mu_A(F_i) - \mu_B(F_i) | \quad (5)$$

$$S_d^* = \text{Min } d(S_d^o, S_d) = \text{Min } \sum_{i=1}^n | S_{di}^o - S_{di} | \quad (6)$$

### 현장적용 및 안정해석

본 연구지역은 천안-논산간 고속도로 건설공사 현장으로 분포하는 암석은 고기로부터 선캠브리아기에 속하는 변성암류와 시대미상의 편마상 화강암류, 중생대의 화강암류, 염기성암맥, 산성암맥, 안산암질암 및 경상계 퇴적암류로 되어 있다. 암반사면의 안정해석 대상구간은 No.1~4(20m간격)구간으로서 대표단면도는 Fig. 2와 같다. 절리의 간격은 약0.2~+0.45cm 정도이고, 절리틈은 소량의 용출수로 채워져 있으며, 절리의 연장성은 2~3m 정도로 약한 상태이다. 본 지역의 사면에서는 대규모 단층이나 파쇄대 등은 관찰되지 않고, 불연속면의 방향성은 70~90°의 경사각을 지닌 NE~EW방향의 절리가 우세하게 나타난다. 암반사면 안정해석의 대상구간에 대하여 RMR값을 산출하였으며 그에 따른 암석의 풍화정도, 절리 등의 불연속 특성과 간격, 코어회수율 및 암질표시율 등을 기록하여 분석하였다.

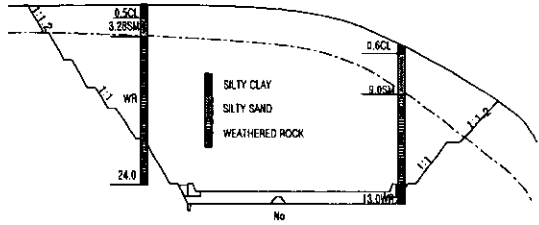


Fig. 2. Location of representative section

또한 암석의 시험결과를 Bieniawski(1979)의 RMR분류에 적용하여 점착력과 내부마찰각을 산출하여 Table 5에 나타내었다. 그리고 암반의 특성을 분석하여 얻어진 자료들을 이용하여 평사투영해석으로 안정해석을 실시하였는데 No. 1의 해석결과 관찰된 노두에 발달되어 있는 불연속면이 사면과 유사한 주향을 가진 절리들이 우세하게 발달하고 있으나 사면의 경사보다 15° 이상 큰 절리경사를 지니므로 절리에 의한 평면파괴의 가능성은 적은 것으로 평가되었다. 그러나 사면의 주향과 유사하며 경사방향이 반대의 경사로 발달되어 있는 절리들에 의한 전도파괴 및 낙석의 가능성이 다소 있는 것으로 평가되었다. No. 2지역 절리의 분포형태는 전반적으로 뚜렷한 주절리를 갖지 않는 분산된 양상을 보이고 있으며 소수의 절리가 평면활동 및 전도파괴의 영역에 분포하는 것으로 나타날 뿐 절리

Table 5. Results of RMR

Case	Compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> )	RQD (%)	Joint space (cm)	Joint roughness	Water	Orientation	Cohesion (kg/cm <sup>2</sup> )	Friction angle(°)	Rating	Grades	Assessment
No. 1	840	49	0.45	Smooth<1mm	None	Advantage	2.95	34.5	59	4	Poor
Evaluation	8	10	11	20	15	-5					
No. 2	1,620	85	0.20	Smooth<1mm	None	Advantage	3.40	39	68	3	Good
Evaluation	13	17	8	20	15	-5					
No. 3	930	50	0.30	Smooth<1mm	None	Advantage	2.90	34	58	4	Poor
Evaluation	9	10	9	20	15	-5					
No. 4	1,250	78	0.20	Smooth<1mm	None	Advantage	3.20	37	64	3	Good
Evaluation	11	15	8	20	15	-5					

들은 사면의 안정에 유리하게 발달되어 있는 것으로 나타나 소수의 절리에 의한 평면활동 및 전도파괴의 우려만이 있는 것으로 평가되었다. No. 3의 노두로부터 조사된 불연속면은 N5~45W의 주향을 가지며 경사 60~80°NE인 주절리군에 의한 전도파괴 및 낙석의 우려가 예상되며 일부 부절리군에 의한 평면파괴의 가능성은 적은 것으로 평가되었다. No. 4의 불연속면은 대규모 단층이나 파쇄대 등은 관찰되지 않았으며 대부분 70~80°이상의 경사를 가진 NE방향의 절리들이 우세하게 분포하며 그 중 일부가 전도파괴 및 낙석의 우려가 예상되는 것으로 나타났으며, 다른 형태의 파괴 가능성은 적은 것으로 평가되었다.

### 분석 및 고찰

개별요소법은 Table 5의 암반물성을 기초로 하여 해석하였으며 변형가능 블록에 의한 해석은 매우 우세한 지질특성(단층, 파쇄대 등)만 블록으로 경계짓고 블록과 요소망의 좌우 경계에서는 수평방향 변위구속, 요소망의 하부경계는 수평 및 수직방향 변위를 구속하였다. 따라서 수평방향 응력은 암반자중에 의한 수직방향으로서의 압밀시 포아슨효과에 의해서만 고려되는 초기조건과 경계조건을 부과하였다. No. 1은 사면전체의 변위와 응력에는 이상이 없으나 사면전단에 부분적인 응력이력 상태에서 벗어난 경력등으로 미루어 약간의 낙석이 우려되며 No. 2은 구간 소단에서부터 블록파괴의 형태로 전단변위가 발생되어 임계각에서의 절리면이 파괴상태가 되었으며 응력이력 상태도 블록모양으로 나타난다. 따라서 변위의 분포상태에서 알 수 있듯

이 현재는 안정한 상태지만 조그마한 현장변화에도 민감하게 반응할 것으로 판단된다. No. 3은 변위 및 응력상태가 양호하며 응력해방으로 불연속면의 오픈현상은 일어나지만 절리면을 따라 임계각에서의 절리면 파괴 혹은 변위가 발생되지 않아 안정에는 이상이 없으나 풍화암층에서 인장파괴의 징후가 보인다. No. 4는 변위, 응력상태, 불연속면의 전단변위가 모두 안정적이며 임계각에서의 절리면 파괴 분포도 거의 없고 응력이력도 표면에서만 발생되며 표면의 응력이력은 사면형성에 따른 응력해방의 영향으로 전체적인 사면의 안정에는 영향이 없을 것으로 추정된다.

유한차분법에 의한 해석에서는 Mohr-coulomb의 소성모델을 선정하여 해석하였는데 No. 1은 사면의 정상부분에서 사면을 따라 약간의 미끄러짐이 일어나고 있으나 이러한 미끄러짐은 사면의 정상부분에서만 나타나고 있으며 사면의 최대변형량은 2.023cm로 나타났다. No. 2는 사면표층 부분과 중간부분에 소성영역이 발생하여 부분적인 파괴 가능성이 있는 것으로 나타났으며 약간의 사면구배 변화에도 민감한 변화를 보였다. 그리고 사면의 최대 변형량은 2.828cm로 나타났다.

No. 3은 지형적인 영향으로 수평 및 연직방향의 미끄러짐이 발생한 것으로 나타났으며 사면의 최대 변형량은 2.134cm로 부분적인 파괴가능성은 있는 것을 알 수 있다. No. 4은 수평 및 연직방향의 미끄러짐이 거의 발생하지 않고 있어 각 요소의 파괴 가능성이 매우 적은 것으로 평가되었으며 사면의 최대변형량도 1.159cm로 변위 발생이 거의 나타나지 않았다.

점추정법의 신뢰성해석에 의한 안정해석은 심태섭

Table 6. Source and factor of analysis model

Case	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12
	c	H	Z	cosec $\theta$	W	cos $\theta$	$\gamma W$	ZW	sin $\theta$	tan $\phi$	Wsin $\theta$	Vcos $\theta$
No. 1	3.0	42.2	2.0	1.2	182.5	0.6	1.0	1.0	0.8	0.7	149.6	0.3
No. 2	3.4	63.8	1.0	1.2	446.3	0.6	1.0	0.5	0.8	0.8	366.0	0.1
No. 3	2.9	37.5	1.0	1.2	150.5	0.6	1.0	0.5	0.8	0.7	123.4	0.1
No. 4	3.2	23.3	1.0	1.2	56.1	0.6	1.0	0.5	0.8	0.8	46.0	0.1
Mean	3.1	41.7	1.3	1.2	208.8	0.6	1.0	0.6	0.8	0.7	171.2	0.1
Standard deviation	0.2	4.5	0.8	-	20.0	-	-	0.6	-	0.1	18.1	0.5

퍼지근사추론법에 의한 암반사면의 안정해석

과 주승완(2000)에 상세히 기술되어 있으므로 본 논문에서는 대상지역에 대한 해석모델의 제원 및 각 인자의 확률변수에 대한 평균과 표준편차만 Table 6에 나타내었고 한계평형해석에 의한 방법과 점추정법의 신뢰성해석 방법을 비교한 결과는 Table 7과 같다. Table 6, 7에서와 같이 한계평형 해석과 점추정법에 의한 신뢰성해석의 결과 값이 차이를 보이는 것은 점추정법의 신뢰성해석이 전체 구간에서 실시되었기 때문이다. 임의의 한 구간에 대하여 안전률을 산출하는 기존의 해석방법과는 달리 점추정법의 신뢰성해석을 수행함으로써 사면 전 구간의 안정성을 평가할 수 있다. 그리고 퍼지근사

Table 7. Comparisons of results between Limit equilibrium analysis and Point estimation technique

Case	Limit equilibrium analysis(F.S)	Point estimation technique	
		Reliability index	Safety factor
No.1	1.48	2.23	1.19
No.2	1.24		
No.3	1.46		
No.4	2.13		

Table 8. Verification of rule base through back data

Case	Internal factors							External factors									
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10
No. 1	C	D	C	C	A	B	D	E	B	C	C	A	B	E	B	B	B
No. 2	B	B	D	C	A	B	D	E	B	C	C	A	B	E	B	C	C
No. 3	C	C	C	C	A	B	D	E	B	C	D	A	B	E	C	C	C
No. 4	B	B	D	C	A	B	D	E	B	C	C	A	B	E	C	B	B

Table 9. Results of rock slope by fuzzy approximate reasoning

Case	Internal factors(X)	External factors(Y)	Sliding factors	Condition assessment
No.1	C	B	B	C
No.2	B	C	B	C
No.3	C	C	B	C
No.4	B	B	B	B

추론에 의한 분석기법을 적용하고자 내적요인에 대하여 서는 사면과 RMR값에 암반상태의 값인 SRM요소 즉, 사면과 절리의 방향, 경사각의 관계를 고려한 요소를 곱하여 산출된 값으로 등급을 구분하였고, 외적요인은 SSR의 사면의 안정도 평점 시스템에 의하여 산출된 종합평점의 예측상태 지수를 통해 평가기준을 설정하였는데 입력데이터는 Table 8과 같다.

Table 9의 퍼지근사추론에 따른 안정성평가 결과를 살펴보면 항목중 일축압축강도, 절리면의 간격, 상태 및 사면의 길이의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 위와같이 암반사면에 대한 안정성평가 결과를 종합하여 Table 10에 나타내었는데 암반사면은 많은 불확실성을 내포하고 있기 때문에 본 연구에서 제안하고 있는 예측방법을 병행하면 암반사면의 특수성을 체계적이고 종합적으로 고려할 수 있을 것으로 판단된다.

결 론

암반사면의 안정성평가 방법에 대한 타당성을 검토하기 위해 암반의 물리적 특성을 이용한 경험적 평가에 중점을 둔 RMR분류법과 변수들을 이용한 수치해석적 평가 방법인 평사투영, 한계평형, 유한차분, 개별요소해석 및 암반사면의 안정성에 영

Table 10. A synthetic analysis of rock slope stability

Description	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
RMR classification	Poor	Good	Poor	Good
Stereo graphic projection	Toppling	Plane	Toppling	Toppling
Limit equilibrium analysis	1.48	1.24	1.46	2.13
Distinct element method	Ordinary condition	Ordinary condition	Ordinary condition	Ordinary condition
Finite difference analysis	Ordinary condition	Ordinary condition	Ordinary condition	Ordinary condition
Point estimation technique	1.19			
Fuzzy approximate reasoning	C	C	C	B

향을 미치는 변수들의 불확실성을 고려할 수 있는 점추정법에 의한 신뢰성해석과 더불어 퍼지언어를 이용한 퍼지근사추론법의 평가방법 구조화에 따른 결과를 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 평사투영법은 불연속면의 형태에 따라 파괴유형을 분석할 수 있었고 한계평형법의 안전률이 높을수록 유한차분 및 개별요소법에 의한 최대변형량은 낮은 것으로 나타났다.

2. 점추정법의 신뢰성해석은 전 구간에 대해 안정성을 평가할 수 있으며, 신뢰성지수와 안전률을 도출할 수 있다.

3. 퍼지근사추론에 따른 안정성평가 결과를 살펴보면 일축압축강도, 절리면의 간격, 상태 및 사면의 길이에 영향을 받는 것으로 판단되었으며 안정성평가 결과는 다른 기존의 안정해석 결과와 전반적으로 일치하고 있음을 알 수 있다.

## 사 사

본 연구는 2000년도 조선이공대학 학술연구비의 지원을 받아 연구되었으며, 연구를 지원해 주신 학교당국에 감사드립니다. 또한, 본 논문을 심사하여 주신 심사위원님께 감사를 표합니다.

## 참 고 문 헌

- 기술경영사, 1996, 암반사면의 안정해석과 계측.  
 심태섭, 주승완, 2000, 점추정법에 의한 암반사면의 안정성해석 모델, 대한지질공학회지, 10(2), 107-114.  
 이증빈, 백대우, 박주원, 강수경, 1998, 퍼지-베이지 이론에 의한 기존구조물의 신뢰성 평가모델, 순천제일대학 학술 연구보고서. 황정규, 1994, 지반공학의 기초이론, 구미서관, 267-326.  
 鈴木昌次,古川浩平,井上洋司,中川浩二, 1990, ファジィ回帰モデルに基づくトンネル岩盤分類法の提案, 土木學會論文集, No.418/III-13, 181-190.  
 Bieniawski, Z.T., 1979, The geotechnics classification in rock engineering applications, Proc. 4th Int. Cong. on rock Uech, ISRU, Balkema, Vol.2, 41-48.  
 Hoek, E. & Bray, J. W., 1979, Rock Slope engineering, 59-81.  
 Kaufmann, A., 1975, Introduction Theory of Fuzzy Subsets, Vol. I, Academic Press, New York.  
 Leung, C. F. & Quek, S. T., 1995, Probabilistic Stability Analysis of Excavations in Jointed Rock, Can. Geotech. J. 32, 397-407.  
 Tamimi, S., Amadei, Bernard and Frangopol, D. M., 1989, Monte Carlo Simulation of Rock Slope Reliability, Computer & Structure 33(6), 1495-1505.



기완서

조선이공대학 토목과

501-744 광주광역시 동구 서석동 290번지

Tel : 062-230-8662

e-mail : wski@mail.chosun-c.ac.kr

김삼석

조선이공대학 토목과

501-744 광주광역시 동구 서석동 290번지

Tel : 062-230-8653

e-mail : samskim@mail.chosun-c.ac.kr

주승완

서강정보대학 토목과

501-742 광주광역시 북구 운암동 789-1번지

Tel : 062-520-5198

e-mail : swjoo@seokang.ac.kr