

암석역학 전문가 시스템(ROMES)에 의한 암반분류 연구

양형식¹⁾ · 이회근²⁾ · 김호영³⁾ · 김남수⁴⁾

Rock Mass Classification by Rock Mechanics Expert System (ROMES)

Hyung-Sik Yang, Hi-Keun Lee, Ho-Young Kim
and Nam-Soo Kim

ABSTRACT

ROMES (Rock Mechanics Expert System) program was developed to improve the design technique for rock tunnels. It was verified by comparing with the Classex system, which showed very good fitness with ROMES. The application of ROMES to the several known case study showed that rock classification can be improved by this new system.

요 약

터널의 설계를 용이하게 하기 위하여 ROMES 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램의 타당성 검토를 위하여 기존 Classex 시스템으로 검증한 결과 높은 상관관계를 얻었으며 기존의 암반분류 사례에 적용한 결과 더 정밀하고 객관적인 분류가 가능한 것으로 밝혀졌다.

1. 서 론

현재 구미에서 터널의 설계에는 RMR, Q와 같은 암반분류 기법과 경계요소 해석법과 같은 간략한 탄성 프로그램에 경험적 파괴조건식을 적용하여 이완대를 계산하고 터널의 지보량을 추정하는 방식이 널리 적용되고 있다. RMR이나 Q와 같은 암반분류법은 지하공동의 안정성에 영향을 미치는 중요한 지질 요인들에 근거하여 암반을 몇가지 등급으로 분류하고 지보방법을 결정하는 분류방식으로 가장 많이 사용되고 있으나 각 항

목의 평가방식이 경험적인 판단을 요하게 되어 주관적인 오류에 빠질 가능성이 많고, 또 여러가지 대체 수단이 있어 종합적인 판단을 얻기가 용이하지 않다. 그래서 암반의 품질을 정량화하여 객관적이고 체계적인 분류가 가능하고 설계에 적용할 수 있는 전문가 시스템이 필요하였다.

현재 퍼지 이론이나 신경회로망(이철욱, 문현구, 1994)을 이용하여 인공지능을 구현한 암반분류 시스템도 연구되고 있으나 아직은 연산 시간이 지나치게 길고 번잡한 것에 비해 실익이 많지 않다고 보여진다.

*1995년 2월 25일 접수

- 1) 정회원, 전남대학교 자원공학과 부교수
- 2) 정회원, 서울대학교 자원공학과 교수
- 3) 정회원, 신경건설 지하비축팀 차장
- 4) 학생회원, 전남대학교 자원공학과 석사과정

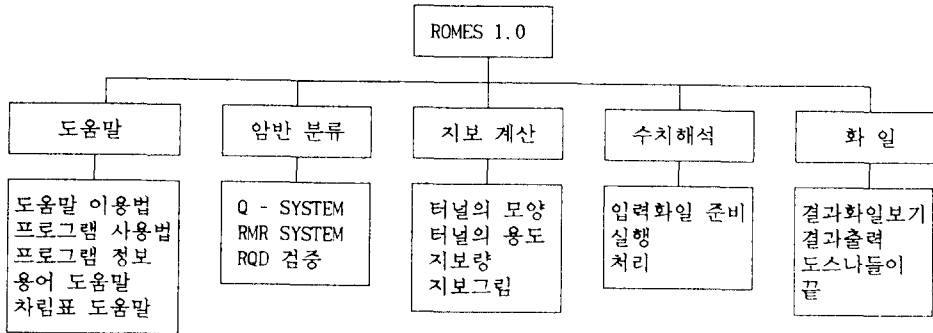


Fig. 1. The Structure of ROMES Program.

본 연구에서는 RMR(Bieniawski, 1989)과 Q시스템(Barton 외, 1974 ; Kirsten, 1988)을 이용하여 암반을 분류하고 지보를 산정하는 전문가 시스템으로서 ROMES(Rock Mechanics Expert System) 프로그램(양형식, 1994)을 작성하고 기존의 Classex(Butler & Franklin, 1990)로 검증하였으며 종래 연구결과에 적용하여 비교하였다(대한광업진흥공사, 1994).

2. 프로그램

2.1 ROMES 시스템

ROMES 시스템은 구조적인 모듈로서 그래픽 처리가 용이한 C++언어로 작성하였으며 암반분류의 항목이 유사한 점이 많다는 점에서 한가지 시스템의 입력자료를 다음의 입력자료로 활용할 수 있고 입력자료간의 상관성을 살려 다양한 상황에서의 묘사 자료로부터 입력 파라미터를 스스로 결정하거나 부분적 자료의 타당성을 기존의 입력자료로부터 검증할 수 있도록 하였다.

2.2 구조

ROMES 프로그램은 암반평가부와 수치해석부로 크게 구분된다. 암반평가부는 RMR, Q분류를 실시하거나 RQD를 검증하는 암반분류 모듈과 터널의 규격과 용도에 따라 지보량을 산정하는 지보계산 모듈로 되어 있다. 수치해석부는 지보량의 타당성을 평가하기 위하여 앞에서 분류된 암반내에 구조물을 설치하였을 때 발생할 수 있는 변위나 응력 또는 이완대의 형태와 모양 등을 판정하는 프로그램이며 이외에 보조 모듈로서 도움말 및 화일 처리 모듈이 있다(Fig. 1).

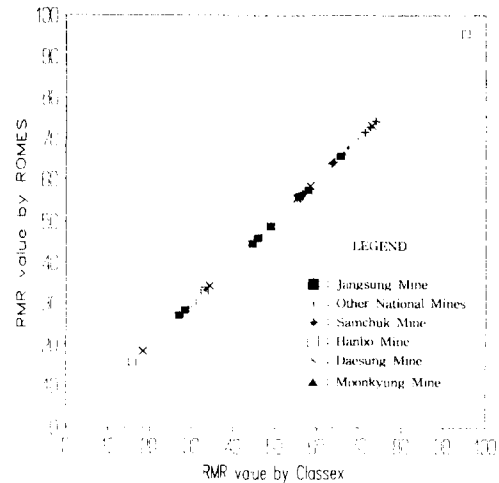


Fig. 2. The relationship between RMR values by ROMES and Classex systems.

3. 타당성 검증

ROMES의 암반분류 타당성을 검증하기 위하여 개발된 암반분류 사례에 대해 암반분류를 실시하고 캐나다 토론토 대학에서 개발되고 국제암반역학회(ISRM)가 공인한 Classex 프로그램(Butler & Franklin, 1990)의 적용 결과와 대비하였다.

검증에 이용된 사례들은 장성광업소(홍영표 외, 1987), 화순광업소, 은성광업소, 나전광업소(신용관 외, 1988), 삼척탄좌 정암광업소(한국동력자원연구소, 1986), 한보탄광(주)한보탄광, 한국동력자원연구소, 1988), 대성탄좌 문경광업소와 봉명 문경광업소(대한광업진흥공사, 1986) 등 광산현장의 암반분류 자료들이다.

Table 1. RMR classification for Sadong shale of Jangsung mine

RMR Item	Description or estimation	Orig.	ROMES	Remark
U.C.S.	30 MPa	4	3.70	continuous value
R.Q.D	10%	3	4.13	continuous value
Joint spacing	0.03~0.05 m	6	5.60	1 set, avg. 0.04 m
Joint condition	soft bedrock	6	10.00	1-5 mm separation, soft gouge
Groundwater	none	10	15.00	author's error
Orientation	dip 20~45°, strike perpendicular	-10	-10.00	
Adjustment	to tunnel axis, drive against dip			
Total	RMR	19	28.42	error 33.1%

Fig. 2는 ROMES와 Classex를 이용하여 RMR 분류를 한 값들의 상관관계이다. 그림에서 RMR 값은 15에서 95까지 매우 불량한 암반에서부터 매우 우수한 암반에 이르는 다양한 분포를 보이고 있다. ROMES와 Classex에 의한 결과들간의 상관관계는 0.9999였다.

Fig. 3은 전술한 대상 광산들에 대하여 두 방법으로 구한 Q 분류값을 대비한 것이다. RMR과 마찬가지로 0.01 이하에서 400 이상에 이르는 넓은 범위의 결과를 포함하고 있으며 그 상관계수는 0.9998이었다.

그러므로 ROMES의 암반분류는 거의 오차없이 신뢰할 만한 것으로 판정되었다.

4. 사례 연구

정확한 암반분류를 위해서는 입력 자료들이 명확하게 구해져야 하고 항목 점수의 산정에 주관성이 배제되어야 한다. 검증된 ROMES 프로그램을 이용하여 자료가 비교적 잘 소개된 몇가지 문헌사례에 적용하고 기존의 결과들과 비교 검토하였다.

4.1 오차발생 요인

Table 1은 장성광업소의 사동통 세일에 대한 종래의 RMR 분류와 ROMES 분류의 결과이다. 단축압축강도와 RQD는 종래의 방식에서는 표에서 제시된 단축적인 값을 택하게 되나 ROMES에서는 연속적인 값을 택함으로써 약간의 차이가 발생하고 있다.

절리면의 간격 선택에는 다소의 혼동이 있을 수 있으나 여기서는 평균값을 취하였는데 같은 이유로 약간의 차이가 발생하였고 절리면의 상태에 대해서는 설명이

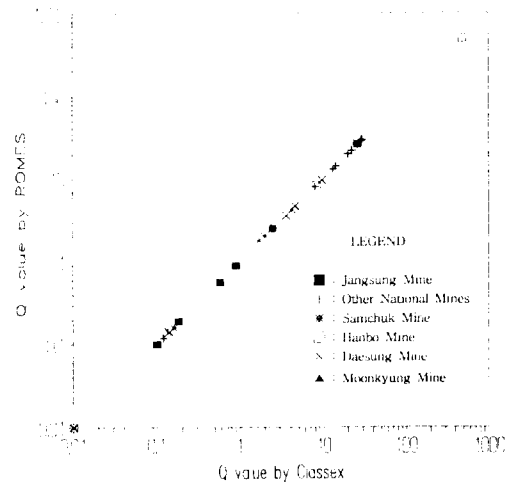


Fig. 3. The relationship between Q values by ROMES and Classex systems.

부족하여 오차가 발생하였다. 한편 지하수에서의 오차는 원지자의 오류로 생각된다.

이 사례에서는 원지자의 평가가 19점으로 매우 불량한 암반으로 분류되었으나 ROMES에서는 28.42로 불량한 암반으로 평가되었다. 종래의 분류에 의해 지보량을 산정할 경우 실제보다 암반이 과소평가되어 지보량이 증대하므로 비경제적인 시공이 이루어질 가능성이 있다.

Table 2는 삼척탄좌 사암 B에 대한 RMR 분류로서 연속된 값의 단속적 처리에 의한 오차만 발생하였다. 이 경우 종래의 분류에서는 63으로 평가되어 우수한 암반으로 분류되었으나 ROMES에서는 55.25로 양호한 암반으로 분류되었다.

Table 2. RMR classification for Sandstone B of Samchuk mine

RMR Item	Description or estimation	Orig.	ROMES	Remark
U.C.S.	196 MPa	12	13.90	continuous value
R.Q.D	75%	17	14.70	continuous value
Joint spacing	0.5~1.0 m	20	12.65	1 set(avg. 0.75 m)
Joint condition	rough and slightly weathered	20	20.00	0.1-1 mm apert.
Groundwater	dripping	4	4.00	hard, 3-10 m
Orientation	strike 30~40°, dip 40~50° drive	-10	-10.00*	incorrect data -5
Adjustment	with tunnel axis			
Total	RMR	63	55.25	error 14.0%

* : 방향성 보정의 자료가 불분명하여 원전의 -10을 택하였다.

Table 3. Q classification for tuff of Hwasoon mine

Q Item	Description or estimation	Orig.	ROMES	Remark
R.Q.D	80%	80	80.0	
Jn	1 set	2	2.0	
Jr	planar and smooth	1.0	1.0	Kirsten system
Ja	unaltered wall, surface staining only (apert.<1 mm, continuous)	1.0	1.0	SRF input data: $\sigma_c = 49.5$ MPa
Jw	Dry or minor inflow	1.0	1.0	$\sigma_1 = 9.18$
SRF	Medium Stress ($\sigma_2/\sigma_1 = 5.39$)	3.5	4.99	$\sigma_3 = 3.18$
Q	value	11.4	8.0	error 42.5%

이 사례에서는 종래의 분류 등급으로 지보량을 산정하는 경우 암반의 지보력이 과도하게 평가되어 실제 필요한 것보다 적은 지보료를 하게 되고 따라서 불안정한 시공이 될 수 있다.

Table 3은 화순광업소 응회암에 대한 Q 분류로서 상위 다섯 항목은 일치하고 있으나 ROMES의 SRF 값은 Kirsten의 이론을 적용하여 원분류의 3.5대신 4.99로 평가되었다. 따라서 기존 분류에서는 Q 값이 우수(good)인 11.4로 평가되었으나 ROMES에서는 양호(fair)인 8.0으로 평가되었다.

이러한 사례는 불명 문경광업소 사암의 경우에도 발견되는데 역시 Kirsten의 이론을 적용한 SRF 인자에서 오차가 발생하고 있고 SRF가 작게 평가됨으로써 전체 Q 값은 작게 평가되는 경향이 있다. ROMES의 Q 분류는 안정지향적임을 알 수 있다.

표들에서 보는 바와 같이 ROMES에 의한 암반분류 결과는 기존의 분류값과는 다소의 차이를 보인다. 이러한 오차 발생의 요인은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 원분류의 오류
- 2) 연속적 값의 단속적 처리 오차
- 3) 옛 이론과 향상된 새 이론의 적용(version up)으로 인한 오차

종래의 분류에서는 표를 이용하여 이미 제시된 점수를 단속적으로 부과하였으나 ROMES에서는 이와 달리 모든 값들이 연속된 식에 의해 유도되어 더욱 정밀하고 합리적인 분류가 이루어지기 때문이다. 특히 RMR 분류에서는 각 분류 인자의 특성치를 일정 범위로 구분하여 각 단계별로 평점을 부여하는데, 그 범위가 경계치의 값일 때에는 조그마한 차이에도 적용되는 평점에는 상당한 차이를 보이게 되며, RMR 값이 20, 40, 60, 80 등과 같이 분류 경계에 가까운 경우에는 선택이 대단히 곤란하다. 대개는 낮은 범위를 택함으로써 안정성을 추구하지만 그로 인한 지보량의 차이는 큰 점을 감안한다면 ROMES에 의한 정밀한 분류는 경제적으로도 의미가 있는 것이다. Q 값은 평점 부여방식이 비교적 세밀하기 때문에 다른 인자에서는 오류가 발

Table 4. Q classification for Sandstone of Bongmyung mine

Q Item	Description or estimation	Orig.	ROMES	Remark
R.Q.D	80%	80	80.0	
Jn	3 set	9	9.0	
Jr	planar, rough irregular	1.5	1.5	Kirsten system
Ja	slightly altered, non-softening, non-cohesive rock minerals or crushed	2.0	2.0	SRF input data: $\sigma_c = 190 \text{ MPa}$
Jw	Dry or minor inflow	1.0	1.0	$\sigma_c = 15.8$
SRF	Medium Stress ($\sigma_2/\sigma_1 = 11.1$)	1.0	1.72	$\sigma_3 = 5.8$
Q	value	6.67	3.87	error 72.4%

전되지 않으나 SRF는 새로운 이론의 적용으로 차이가 발생하고 있고 Q값 전체는 큰 차이로 된다. 이는 원래 Q 값이 변수의 조그만 차이에도 민감하게 변할 수 있는 정의상의 특성 때문이다.

기존의 분류에서는 주로 단축압축강도와 최대주응력의 비로 SRF를 구하는데 ROMES에서는 절리군의 수(Jn), 암반암질지수(RQD), 절리면의 상태(Jr), 절리면의 변질정도(Ja), 지하수 계수(Jw) 등의 모든 값을 이용하여 SRF를 구하는 Kirsten(1988)의 방법을 이용하고 있다.

그외에도 지질변화가 애매할 때 기술자의 판단 차이가 그만큼 크게 반영되고, 암반 상태 묘사가 불분명하여 자료 처리의 객관성이 결여되기 때문에 발생하는 오차를 들 수 있다. ROMES에서는 이러한 판단의 오류를 최소화해주고 있기 때문에 무조건적인 과안정 지보를 피할 수 있고 따라서 상당한 경제적 이익을 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

4.2 사례조사 중의 상대오차

Table 5는 ROMES 1.0으로 재분류한 암반의 RMR 및 Q값을 원래의 분류값과 비교한 것이다. 그 결과 RMR에 있어서는 7.95%, Q는 80.8%의 상대오차가 발견되었다. 그 결과 암반 등급의 차이가 발생한 경우는 RMR의 경우 장성광업소의 대석회암동 경계 홍점동의 사암과 사동동 세일, 화순의 응회암, 삼척탄좌의 사암 B 그리고 대성탄좌의 다이크 등 5개 암반이며 Q의 경우에는 조사 대상인 34개 암반 중 무려 12개 암반에 달하였다.

이러한 결과는 기존의 분류만을 단독으로 설계나 시공에 적용할 경우 문제가 발생할 수 있음을 의미하며 RMR과 Q의 제창자들은 사례연구를 통하여 끊임없이

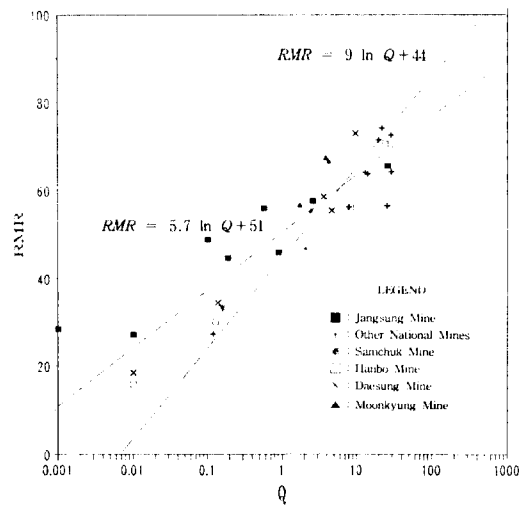


Fig. 4. Relationship between RMR and Q values of domestic coal mine bedrocks.

분류방식을 수정하고 있다.

4.3 ROMES 분류의 Q와 RMR 관계식

34개 암반으로부터 구한 RMR과 Q의 관계는 Fig. 4와 같다. 회귀분석으로 구한 식은

$$RMR = 5.7 \ln Q + 51 \quad (\gamma = 0.918)$$

이 관계식은 Bieniawski (1989)의 관계식

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

에 비해 기울기가 낮은 경향을 보이며 Rutledge와 Preston (1978)의 식

$$RMR = 5.9 \ln Q + 43$$

에 더 가까운 경향을 보이고 있다.

Table 5. Comparison between original and ROMES classification

Mine	Rock Type	RMR			Q		
		original	ROMES	error ⁺	original	ROMES	error
Jangsung Mine	Limestone (Great Lime.)	69	65.64	5.1	25	26.25	4.8
	Sandstone A (Hongjum)	64	57.86	10.6	1.25	0.64	95.3
	Sandstone B (Hongjum)	55	55.9	1.6	0.41	0.57	28.1
	Sandstone C (Hongjum)	41	44.59	8.1	0.23	0.19	21.1
	Shale (Hongjum)	26	27.13	4.2	0.016	0.01	60.0
	Limestone (Sadong)	47	45.89	2.4	1.43	0.90	58.9
	Sandstone (Sadong)	44	48.91	10.0	0.26	0.10	160.0
	Shale (Sadong)	19	28.42	33.1	0.004	0.01	60.0
Other National Mines	Hwasoon Tuff	64	56.12	14.0	11.4	8.0	42.5
	Sandstone	69	64.32	7.3	7.3	29.6	43.6
	Sandy quartzite	64	56.58	13.1	13.1	25.97	23.0
	Eunsung Sandstone	74	74.04	0.1	45.0	22.06	104.0
	Limestone	74	72.69	1.8	31.9	28.94	10.2
	Quartzite	27	27.25	0.9	0.063	0.12	47.5
	Najeon Sandstone	74	71.4	3.6	33.75	20.03	68.5
	Limestone	69	63.68	8.4	19.3	14.20	49.6
	Others	69	64.03	7.8	19.3	13.20	46.2
	Samchuk Mine	Sandstone A	69	66.39	3.9	22.2	4.21
Sandstone B		63	55.25	14.0	7.21	2.43	196.7
Sandstone C		39	33.27	17.2	0.66	0.16	312.5
Shale		45	46.59	3.4	4.09	2.07	97.6
Hanbo Mine	Sandstone A	74	70.59	4.8	28.7	24.46	17.3
	Sandstone B	56	56.01	0.0	9.0	8.42	6.9
	Sandstone C	23	30.10	23.6	0.23	0.13	76.9
	Shale A	27	33.13	18.5	0.48	0.15	220.0
	Shale B	12	15.89	24.5	0.02	0.01	100.0
	Igneous Rock	92	95.3	3.5	533.3	484.78	10.0
Daesung Mine	Sandstone	72	73.03	1.4	12.6	9.73	29.5
	Weathered Sandstone	33	34.44	4.2	0.194	0.14	38.6
	Shale	55	55.42	0.8	6.44	4.67	37.9
	Seamy Shale	17	18.46	7.9	0.012	0.01	20.0
	Dyke	62	58.52	5.9	3.81	3.63	5.0
Moonkyung Mine	Sandstone	67	67.48	0.7	6.67	3.87	72.4
	Shale	59	56.73	4.0	4.44	1.74	155.2
Average				7.95		80.8	

$$+ \text{ Relative Error} = \frac{\text{Original value} - \text{ROMES value}}{\text{ROMES value}} \times 100 (\%)$$

그림에서는 Bieniawski의 식과 함께 본 연구의 회귀 분석식을 같이 표시하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 터널의 설계를 용이하게 하기 위하여 ROMES 프로그램을 개발하고 프로그램의 타당성 검토를 위하여 기존 Classex 시스템으로 검증하였으며 이를 기존 분류 사례에 적용하였다. 이를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1) 제작된 암반분류 전문가 시스템 ROMES는 광범위한 사례에 대해서 기존의 공인 Classex와 거의 오차 없이 적용되어 그 타당성이 검증되었다.

2) 기존분류의 오차 발생 요인은 분류자의 실수, 연속적 자료의 단순적 등급처리에 의한 차이, 복합적인 문제의 단순처리에 의한 차이 등을 들 수 있으며 ROMES는 모든 변수가 정량화, 객관화되어 기존 분류보다 명확하고 정밀하여 주관적 판단오류가 적고 이것이 실제에도 반영되어 과안전적인 지보를 피할 수 있는 것으로 나타났다.

3) 기존의 암반분류와 ROMES를 이용한 암반분류에서 RMR 및 Q 분류의 상대오차는 각각 8과 81 %였다.

4) 국내 주요 탄광 기반암에서 구한 Q와 RMR의 관계식은 $RMR=5.7 \ln Q+51$ 로 나타났다.

참 고 문 헌

- 1) (주)한보탄광, 한국동력자원연구소, 1988, 한보탄광 암석경도에 대한 신지보법 설계, pp.29~40.
- 2) 대한광업진흥공사, 1986, Rock Bolt 지보 기술 광산 적용 시험 연구, pp.113~147.
- 3) 대한광업진흥공사, 1994, 암반구조물의 전산설계 연구, 320p.
- 4) 신용관, 지만식, 장기남, 임재웅, 정희용, 1988, 갱도지보법 개선에 관한 연구II, 화순, 보은, 나전광업소 경질 암반에 있어서의 적정지보법 연구, 대한석탄공사 기술연구소 연구보문, Dc. C.R.I. 110, pp.91~129.
- 5) 양형식, 1994, ROMES : Rock Mechanics Expert System ver. 1.0, 전남대학교, 대한광업진흥공사
- 6) 이철욱, 문현구, 1994, 암반 터널 예비 설계를 위한 인공 신경회로망 전문가 시스템의 개발, 한국지반공학회 논문집, 제10권 3호, pp.79~96.
- 7) 한국동력자원연구소, 1986, 심부 대단면 시설경도에 대한 신지보법(NATM)설계, pp.26~44.
- 8) 홍영표, 최재운, 장기남, 1987, 갱도지보법 개선에 관한 연구, 대한석탄공사 기술연구소 연구보문, Dc. C. R.I. 109, pp.83~128.
- 9) Barton, N., R. Lien and J. Lunde, 1974, Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support, Rock Mech. Rock Eng., 6(4), pp. 189-236.
- 10) Bieniawski. Z. T., 1989, Engineering Rock Mass Classifications, John Wiley & Sons, New York, 251p.
- 11) Butler, A. and J. Franklin, 1990, Classex : An expert system for rock mass classification, Toronto University.
- 12) Kirsten, H.A.D., 1988, Case histories of groundmass characterization for excavatability, Proc. Symp. Rock Class. Eng. Purp., ASTM Special Technical Publication 984, Philadelphia, pp.102-120.
- 13) Rutledge, J. C. and R. L. Preston, 1978, Experience with engineering classifications of rock, Proc. Int. Tunneling Symp., Tokyo, pp.A3.1-7.