

암반등급 분류법들의 비교연구

박철환^{1)*}, 박 찬¹⁾, 신중호¹⁾

Comparison of Rock Mass Classification Methods

Chulwhan Park, Chan Park and Joong-Ho Synn

Abstract This report is to introduce an article to compare 3 kinds of methods as RMR, Q-system and RMI published in Tunnel and Tunnelling Technology 2003. As rock mass classification is applied to estimate the amount of the support as an empirical design method, an attempt has been made to evaluate the parameters for classifications and their variations by Professor Nilsen and his team in Norway. Representability and reproducibility in measuring the field parameters are discussed and sensitivity of rating values in the three methods is also analyzed in this research. Although some parameters have high variation in rating among the 5 observers, the rock mass class has been found to be quite similar.

Key Words Rock mass classification, RMR, Q-system, RMI, Variation of parameter

초 록 본보는 터널전문지에 게재된 RMR과 Q, RMI 등의 3개의 암반분류법을 비교한 논문을 소개하는 것이다. 암반 분류법은 경험적 방법으로 지보설계에 적용되고 있는데, Nilsen 교수는 그의 연구팀과 함께 암반분류법의 변수들과 이들의 분산을 평가하는 연구를 시도하였다. 이 연구에는 현장의 여러 변수들을 평가하는데 요구되는 대표성과 반복성에 대하여 논하며, 또한 세가지 분류법에서 평점에 대한 민감성을 언급하고 있다. 비록 몇가지 변수들은 측정자에 따라 상당히 큰 측정편차를 갖고 있음에도 불구하고, 암반등급은 매우 유사한 것으로 평가되고 있음이 밝혀졌다.

핵심어 암반분류, RMR, Q-system, RMI, 변수의 측정편차

1. 서 론

터널과 같은 지하공간의 건설에서 암반 분류법은 경험적 방법으로 지보설계에 적용되고 있다. Terzaghi의 암반하중이론과 Deere의 암질지수가 소개된 이래, 암반 등급은 터널설계에서 지보량을 결정하는 요소로 반세기 이상이 지났다. 지금은 암반하중이나 암질지수 등을 하나의 변수로 사용하는 보다 복잡한 분류법들이 많이 적용되고 있는데, RMR과 Q 분류법이 대표적인 것이다. 가장 최근에 알려진 분류법은 1995년 오슬로대학의 박사논문으로 제출된 Palmstrom의 RMI이다(Palmstrom, 1995).

이와 같이 암반등급 분류법은 꾸준히 발전되어 왔지만 아직도 측정자들의 판단은 서로 다를 뿐만 아니라 측정시기에 따라 여러 환경적 요인으로 인하여 변화한다.

이렇듯 암반등급의 측정은 실험실 시험과 달리 보편성과 반복성이 미흡하여 이의 신뢰성은 수십년 동안 논쟁되어 왔다. 최근의 국제 학회에서는 이러한 분류법들의 적용성이 항상 하나의 토론주제로 다루어지기도 한다(Bieniawski, 1997, Palmstrom et. al., 2001, Palmstrom et. al., 2002, Barton, 2001).

노르웨이 국립공과대학 지질자원공학과 교수인 Nilsen은 박사과정 학생 4명과 함께 RMR과 Q, RMI 등의 3개 암반분류법을 비교하기 위한 암반등급에 언급된 변수들의 측정을 시도하였다. 이의 결과를 2003년 'RMR vs Q vs RMI'라는 제목으로 Tunnel and Tunnelling Technology에 학술논문으로 발표하였다. 본보는 이 논문을 번역하여 소개하는 기술보고서로서, 앞으로 국내에서 수행하는 암반분류에 요구되는 변수들의 측정이나 연구에 도움이 되고자 한다.

Nilsen 교수 연구팀의 숙련된 5명의 측정자들은 모두 경험이 많을 뿐만 아니라 측정을 시작하기 전에 일관성을 확보하기 위하여 보편적 평가에 대한 사전토론도 실시하였다. 연구내용은 현지측정과 암반등급, 지보예측이

¹⁾ 한국지질자원연구원 지반안전연구부

* 교신저자 : cwpark@kigam.re.kr

접수일 : 2006년 4월 11일

심사 완료일 : 2006년 4월 21일

며 이와는 별도로 실험실 시험도 수행되었다.

암반등급에서 측정자들에 의하여 각 변수들의 평점들이 갖는 분산의 특성을 연구하는 것이 이 논문의 초점이다. 즉 이는 측정에서 상당한 분산을 보이는 변수들에 대해서만 언급하며, 측정의 반복성이나 재현성에 대하여 논의한다.

2. 연구지역

암반등급과 지보예측은 폭과 연장의 크기가 각각 8.5m 및 6km인 터널에서 수행되었는데, 이는 기존 RV 715번 도로의 일부분을 우회하는 도로터널로 Trondheim 서북쪽에 위치하고 있다. 암반의 특성은 심도 200m의 터널을 따라 발달한 노두암으로 평가되었다. 현지 암반의 요인들은 그림 1에서 볼 수 있는 Trolla 지역의 채석장과 Folafoten 지역의 노두 등의 3개 구역에서 2002년 9월에 측정되었다.

Trolla 지역의 암반은 Trondheimitite(Trondheim 지역의 독특한 화성암으로 화강암과 유사한 특성을 가진 암석)를 관입하는 화강섬록암으로 구성되어 있다. 두개의 조사지역 가운데 Trolla의 동쪽 지역에는 절리가 조금 발달된 신선한 암반 또는 약간 풍화된 암반이 존재하며, Trolla의 서쪽 지역에는 절리가 거의 없이 신선하고 괴상의 암반이 형성되어 있다. 세가지 암반분류법에 필요한 모든 변수들이 평가되었으며, 실험실 시험을 위하여 한개의 암괴만이 채취되었다.

Folafoten 지역의 암반은 녹니석을 함유한 녹색편암으로 구성되어 있는데 기반이 되는 화성암에 대한 변성 정도는 매우 낮다. 배개 형태의 용암은 균열이 심한 암반 내에 가끔 발견된다. 이러한 균열 암반의 풍화정도

는 보통인 것으로 판명되었다. 실험실 시험을 위하여 두개의 거력이 채취되었는데, 실험실 일축압축강도시험을 수행하기 위하여 직경 32mm 그리고 길이 80mm의 코어시험편을 3개씩 제작하였다. 실험결과 50mm로 환산한 일축압축강도의 크기는 Trolla 화강섬록암이 74MPa였으며, Folafoten 녹색편암이 84MPa였다.

현장요인들에 대한 평가는 암반등급 방법론에서 제시된 각각의 기술변수를 현장상태에 대입하는 방법으로 수행되었다. 이에는 代表性(representability)과 反復性(reproducibility)이 요구된다. 대표성이란 변수들을 묘사하는 방법이 현장상태를 얼마나 잘 표현한 것인가를 뜻한다. 그리고 암반등급 평점은 각 변수들에 할당된다.

현장상태가 각 변수들의 표현과 가장 잘 일치할 때에, 변수평가는 편리한 것이 되며 동시에 다른 측정자에 의하여 평가될 때에도 같은 값이 얻어질 수 있을 것이다. 이는 반복성을 뜻하는데 그렇지 않다면 이러한 변수의 평점은 편차를 갖게 될 것이다. 각 변수에 대한 올바른 대표성과 좋은 반복성은 이러한 경험적 방법을 정당화할 수 있게 된다.

3. RMR 측정결과

1973년에 개발된 RMR 분류법은 발전을 거듭하여 6개의 암반변수를 갖는다(Bieniawski, 1989). 그 중에 불연속면 요소는 다시 5개의 상세한 변수로 나뉘어져 평가변수는 모두 10개이다. 평가변수들 가운데 RQD와 불연속면의 거칠기는 매우 좋은 반복성을 보였으며, 다른 5개 변수의 측정값에서 편차를 보였다. 이들은 불연속면의 간격과 불연속면의 충전물, 불연속면의 풍화정도, 지하수, 절리의 방향 등과 같은 요소들이다.

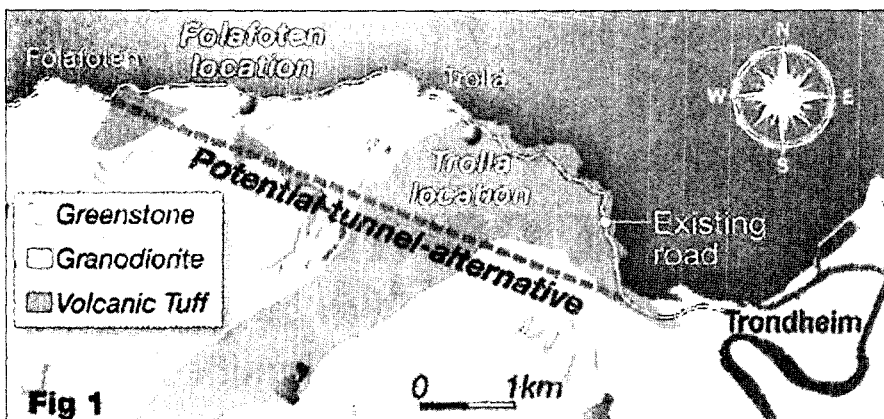


Fig. 1. Site location

지하수 변수는 지하수 상태를 예측하는 것으로 평가 되기 때문에 측정에서 편차가 예상되는 요소이다. Fola-foten 노두암반에서 비록 지하수의 유동은 관측되지 않았지만, 계획된 터널에서의 평가는 '완전 건조'에서 '물 방울 떨어짐(dripping)'으로 변화가 심하여, 등급 평점은 상당한 편차를 보였다. 녹색편암에 함유된 녹니석으로 인하여 몇몇 측정자들은 터널 굴착 중에 지하수가 없을 것으로 예측하였다. 그러나 다른 측정자들은 암반의 절리 때문에 지하수가 있을 것으로 예측하였다.

절리의 방향을 등급화하는데 사용될 수 있는 확실한 참조사항은 없다. 불연속면의 간격과 충전물, 풍화정도는 여러 방향으로 크지 않은 규모로 발달되어 있어 그림 2와 같이 역시 변화가 심하였다. 모든 측정자들이 각각 다른 특정한 상태를 평가하였기 때문에 평점은 심한 편차를 보이고 있다.

불연속면의 거칠기 변수는 불연속 표면을 육안으로 관찰하는 방법이 포함되어 있는데 5명의 모든 측정자들은 녹색편암에서 동일한 점수를 부여하였다. 이는 현장의 상태가 여러 표현 가운데 slickensided 상태와 잘 일치하기 때문이다. 즉 대표성이 매우 적합하였기에 동일한 평가가 가능한 것이다. 하지만 화강섬록암에서는 일치되는 평가가 이루어지지 않았다. 이와 유사하게 RQD 측정에서는 양호한 반복성을 보였다. 화강섬록암에서 모두 20의 값으로 평가되었는데, 이 암반에 절리의 빈도가 아주 낮았기 때문이다.

4. Q 측정결과

노르웨이 지질공학연구소에서 1974년에 개발되었고, 1993년에 새롭게 개정된 Q 분류법은 6개의 변수로 구성되어 있다(Grimstad & Barton, 1993). 이들 변수가

운데 RQD와 Jn의 측정값은 그림 3과 같이 상당한 오차를 보이고 있으며, Jr은 양호한 재현성을 보여 주고 있다. RQD와 Jn의 측정에서 암반의 종류에 따라 서로 다른 오차를 나타낸 것은 주목할 만하며 흥미로운 것이다. 이들 두 변수의 평점은 섬록화강암 암반보다 절리가 많이 발달한 녹색편암에서 상당히 큰 편차로 측정되었다. RQD는 단위 부피당 절리의 수인 Jv로부터 다음의 식을 이용하여 계산되었다.

$$RQD = 115 - 3.3 J_v \text{ (after Palmstrom, 1982)}$$

Folafoten 지역의 암반에서 절리가 보다 많기 때문에 Jv를 결정하는 측정자들 사이에 편차가 심하다. 비슷한 이유로 Jn 값을 결정하는 규칙적 또는 불규칙적인 절리 균을 정의하는데 어려움이 나타났다. 모든 측정자들은 절리가 적은 암반에 대해서는 Jr의 값을 1로 측정하였다.

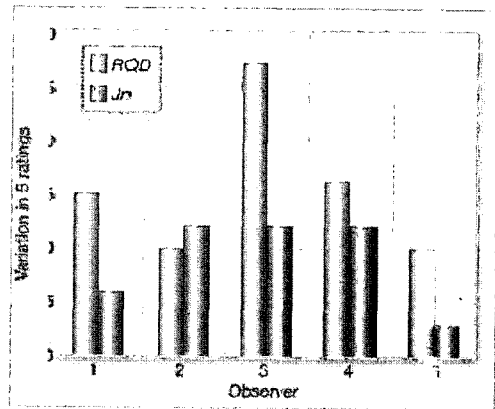


Fig. 3. Variations of parameters in Q-system values

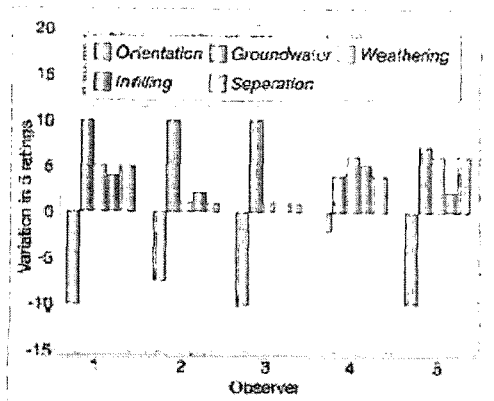


Fig. 2. Variations of parameters in RMR values

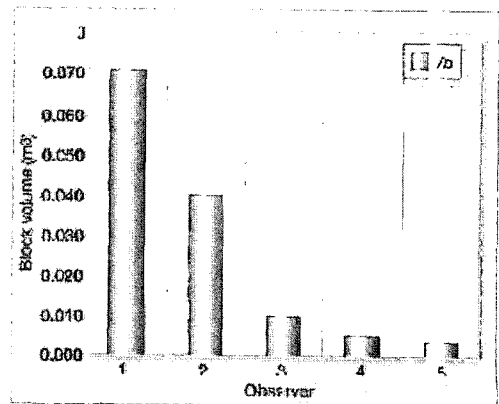


Fig. 4. Variations of parameters in RMi values

5. RMi 측정결과

가장 최근에 개발된 RMi 방법은 무결암의 일축압축강도와 암괴의 부피, 균열상태 등 모두 5개의 변수로 구성되어 있다(Palmstrom, 1995 & 1996). 이들 가운데 암괴의 부피(Vb) 만이 그림 4와 같이 큰 편차를 보였으며, 절리의 변성변수(jA)의 측정에는 양호한 재현성을 보여 주고 있다. 절리가 보다 많은 Folafoten 지역의 암반에서 모든 암괴의 부피는 서로 다르다. 따라서 특정 암반의 부피를 결정하는 데에는 상당한 편차를 가질 수밖에 없다.

절리의 변성변수(jA)를 결정하는 설명에서 절리내 녹니석 함량의 묘사는 녹색편암에서 현장과 잘 일치하고 있다. 따라서 jA의 값을 모든 측정자들이 최대치인 4로 측정하였다.

6. 분류법 비교검토

세가지 암반분류법에서 변수를 평가하는데 다섯명의 측정자들은 비슷한 경험을 갖고 있음에도, 모든 측정자들은 묘사된 몇몇 개의 현장 요소를 판정하는데 어려움

을 겪었다. 이 때문에 몇가지 변수의 값을 평가하는데 오차가 발생하였다. 다섯명의 측정자들에 의한 세가지 암반에 대한 세가지 암반평가의 측정치와 암반등급은 표 1에서 보는 바와 같다.

또한, 암반분류에서 평가치를 비교하기 위하여 각 방법에서 값이 증가하게 표현되도록 측정자의 순서를 결정하고 그림 5 및 그림 6, 그림 7과 같이 그래프를 그렸다.

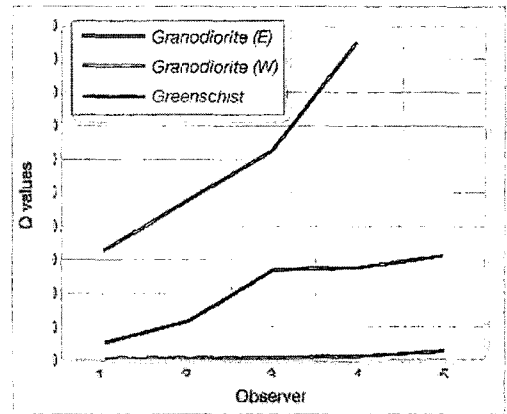


Fig. 6. Sensitivity of Q-system values

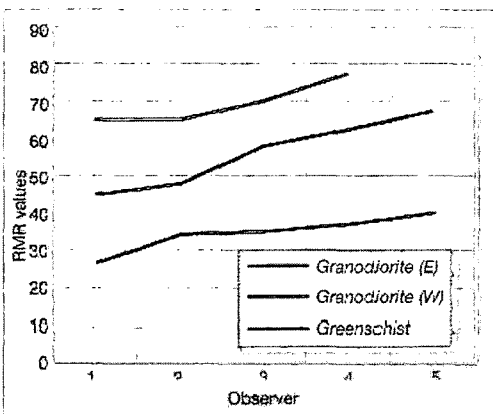


Fig. 5. Sensitivity of RMR values

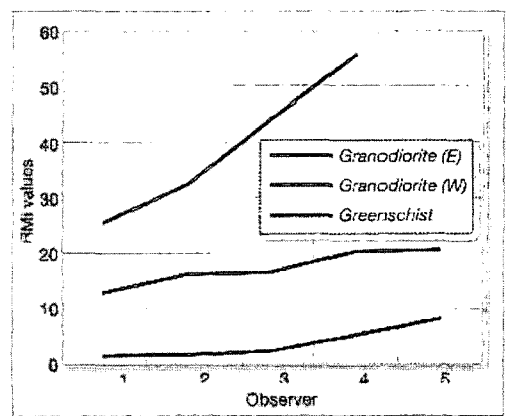


Fig. 7. Sensitivity of Rmi values

Table 1. Rock mass classification values and categories

rock	Granodiorite(East)	Granodiorite(West)	Greenschist
RMR	45-67, Fair-Good	65-77, Good	27-40, Fair-Good
Q-system	5.1-30.4, Fair-Good	32.7-95, Good-Very good	0.2-2.5, Fair-Good
RMi	13-20.4, Jointed	25.6-55.5, Jointed-Continuous	1.6-8.3, Continuous(particulate)

표 1에서 알 수 있듯이 세가지 암반 가운데 녹색편암이 가장 약한 암반이며 동쪽 보다는 서쪽의 화강섬록암이 약간 더 강하고 양호한 암반으로 확인되었다. 따라서 세가지 분류법의 그림들에서 가장 큰 값을 보이는 선은 서쪽의 화강섬록암의 측정값들을 표시하고 있다.

세 개의 그림들을 보면 RMR 방법이 변수들을 측정하는 값에서 오차에 대하여 가장 덜 민감한 것을 알 수 있다. RMR 방법에서 동쪽의 화강섬록암(그림 5의 중간 값의 선)에서는 다섯명의 측정자들의 측정값이 45부터 67로 편차가 약간 크게 나타났지만, 다른 두 암반에서는 거의 같은 값이며 동일한 등급으로 판명되었다. Q 분류법은 변수의 평가에서 발생하는 오차에 가장 민감한 것으로 알 수 있다. 발생할 수 있는 오차들은 암반등급을 실제보다 낮게 또는 높게 평가할 수 있을 정도로 Q 값을 변화시킨다고 할 수 있다. 실제로 표 1에서 보면 3가지 암반에 대하여 높은 값은 낮은 값에 비하여 한 등급이 높을 뿐만 아니라, 낮은 값은 낮은 등급의 최저값 수준이고 높은 값은 높은 등급의 최대값 수준으로 측정되었다.

RMi 방법에서 측정값은 균열이 적은 암반에서 민감하다. 균열이 적은 서쪽의 화강섬록암의 평가는 균열암반 범주와 연속체 암반 범주로 해석 가능할 만큼 커다란 오차를 보이고 있다. 따라서 RMi 방법은 유도응력 문제를 평가하는데 도움이 되는 연속성 암반을 규명하는데 유용하다. 즉, 응력으로 구속되는 암반에 대한 문제를 해결해야 하는 경우에는 RMi 방법을 활용하는 것이 매우 유용할 것으로 판단된다.

암반분류의 평점은 많은 독립적 변수들의 함수로 오차를 내포하고 있지만, 앞의 세 그림에서 보듯이 평점들의 오차는 각 변화선들이 서로 교차될 정도까지로 크지는 않았다. 따라서 세가지 모든 방법들은 질적인 면에서 큰 차이가 없다. 측정 참여자 대부분은 암석강도 변수를 고려하는 RMR과 RMi 분류법에 자신감을 갖게 되었다. 그러나 지하수 변수를 평가하지 않는 RMi 방법에는 회의적이었다.

표 2에서와 같이 세가지 방법에 의한 지보예측을 비교하면 지보량은 서로 크게 다르지 않은 것을 알 수 있다. 모든 측정자들은 Q 분류법에 의한 지보예측 그림이 터널지보를 예측하는데 가장 유용하다고 의견에 일치하고 있다.

7. 결 론

경험적 암반분류법들을 적용하는데 있어서 편리성과 양호한 반복성이 중요한 요소이다. 여기에 언급된 세가지 방법들은 현장 변수를 평가하는데 있어 편리성은 큰 차별이 없다. 그러나 각 방법에서 몇 가지 변수들의 평점은 서로 다른 측정자들 사이에서 상대적으로 높은 오차를 보인다. 이러한 오차들에 의한 불리한 영향은 한 개의 값으로 하는 것 보다 범위를 갖는 평점을 산정함으로써 최소화할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 Q 분류법이 다른 두 방법에 비하여 변수들을 평점하는데 발생하는 오차에 더 민감하다는 것이 밝혀졌다.

비록 몇몇 입력변수들을 정량화하는데 차이점은 있다 하더라도, 암반등급의 최종 평점은 유사하였다. 또한 이 뿐만 아니라 예측된 지보설계는 양과 질적 측면에서 세가지 분류법에서 서로 유사함을 보이고 있다. 이 경우 Q 분류법이 터널지보를 예측하는데 가장 편리한 것으로 판단된다. 또한 Q 분류법은 RMR이나 RMi 분류에서는 사용하는 실험실 시험을 요구하지 않고 기본적으로 현장측정 자료에만 의존하므로, 가장 간단한 방법이라 여겨진다.

세가지 서로 다른 방법들이 차이점을 갖고 있고 서로 다른 다섯명의 측정자들이 각변수를 평가하는데 오차를 보이고 있음에도 불구하고, 본 연구의 주요 결론은 각 암반분류에 의한 암반등급이나 지보량 산정이 매우 유사한 것으로 밝혀진 것이다. 비록 이 연구가 모든 종류의 암반분류법을 다루지는 않았지만 암반의 특성을 규명하고 지하굴착에서 지보량을 산정하는데 이러한 분류법들이 매우 유용하다는 것을 재확인하였다.

Table 2. Classification system and support estimated

rock	Granodiorite(East)	Granodiorite(West)	Greenschist
RMR	Bolts + Shotcrete	Local bolts + Shotcrete	Syst. bolts + Shotcrete
Q-system	Syst. bolts + Shotcrete - spot bolts	Spot bolts + Unsupported	Fiber shotcrete + Syst. bolts
RMi	Bolts + Shotcrete-bolts	Bolts + Shotcrete - spot bolts	Bolts + Fiber shotcrete

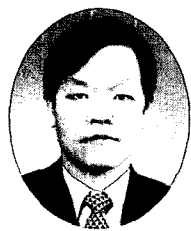
그러나 굴착사업의 계획단계에서 입력 변수들 가운데, 예를 들어 Q 분류법의 Jw나 SRF와 같은 여러 가지 변수들은 정량화하기 매우 어려운 것이 사실이다. 따라서 이런 분류법은 단지 도구로만 사용되어야 하는 것에 주의해야 할 것이다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원의 과학기술부 출연연구인 “지하구조물의 통합 안전감시 시스템개발연구”의 일부분입니다.

참고문헌

1. Barton N., 2001, Water and stress are fundamental to rock mass characterization and classification.
2. Bieniawski Z. T., 1989, Engineering rock mass classifications, New York. Wiley and Sons.
3. Bieniawski Z. T., 1997, “Quo vadis rock mass classifications” Felsbau 15-3
4. Grimstad E. & N. Barton, 1993, Updating the Q-system for NMT, Proc. Int. Symp. on Sprayed Concrete, Norwegian Concrete Association, Trondheim
5. Palmstrom A., 1982, The volumetric joint count - a useful and simple measure of the degree of jointing, Proc. 4th IAEG Congress, New Delhi.
6. Palmstrom A., 1995, RMI a rock mass characterisation system for rock engineering purposes, PH. D. thesis. University of Oslo.
7. Palmstrom A., 1996, Characterizing rock masses by the RMI for use in practical rock engineering, Part 1 & 2, Tunnelling and Underground Space Technology.
8. Palmstrom A., D. Milne & W. Peck, 2001, The reliability of rock mass classification used in underground excavation and support design, GeoEng 2000 Workshop, ISRM New Journal, 6(3), 40.
9. Palmstrom A., O. T. Blindheim & E. Broch, 2002, The Q-system - possibilities and limitations (in Norwegian), Proc. Norwegian National Rock Engineering conference 2002, Norwegian Soil and Rock Engineering Association.



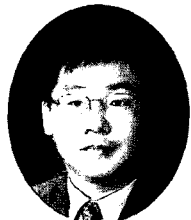
박철환

1979년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
 1981년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사
 1987년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학박사
 Tel: 042-868-3244
 E-mail: cwpark@kigam.re.kr
 현재 한국지질자원연구원 지반안전연구부 책임연구원



박찬

1988년 한양대학교 공과대학 자원공학과 공학사
 2000년 수원대학교 공과대학 토목공학과 공학석사
 Tel: 042-868-3245
 E-mail: chan@kigam.re.kr
 현재 한국지질자원연구원 지반안전연구부 선임연구원



신중호

1983년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
 1985년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학석사
 1990년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학박사
 Tel: 042-868-3242
 E-mail: jhsynn@kigam.re.kr
 현재 한국지질자원연구원 지반안전연구부 책임연구원