

극경암에서의 전단면터널 굴착속도 분석연구

박철환¹⁾ · 신중호¹⁾ · 박 찬¹⁾ · 김민규¹⁾ · 정소걸¹⁾ · 김화수²⁾

Analysis on the TBM Penetration Rates in Extremely Hard Rocks

Chulwhan Park, Joong-Ho Synn, Chan Park, Min-Kyu Kim, So-Keul Chung and Hwa-Soo Kim

ABSTRACT The uniaxial compressive strength of rock mass is known as the major factor in the assessment of drillability and the optimum excavation design in full-face tunnel excavation by TBM. Referring to worldwide cases, TBM has been applied mostly to the rock mass within the strength range of 80~250 MPa. Recently, a water way tunnel has been constructed as a part of Milyang dam project by TBM within the rock masses where the rock type is mainly granite with some granophyre, hornfels and andesite. Their uniaxial compressive strengths in extended area are estimated higher than 260 MPa. In this paper, the relation between the penetration rate and the rock mass properties is analyzed and TBM application to the very hard rocks is discussed. As a result that three suggestions to predict the TBM net penetration rate are analyzed, NTH method seems a better approach than other methods in the extremely hard rocks. NTH prediction matches with the results of actual values with the variations of 2~20%. Hardness measurement by Schmidt hammer and RMR estimation are carried out along the L=5.3 km entire TBM tunnel alignment. The net penetration rate measured monthly is shown to be reciprocally proportional to Schmidt rebound hardness and RMR where coefficients of correlation, R^2 are 0.705 and 0.777 respectively. As a result, they are good quantitative indices for the prediction of TBM net penetration rate in the extremely hard rocks. Magnitude of in-situ stress has a certain effect on TBM performance, and it is required to measure the in-situ stresses in TBM excavation design.

Key words : TBM, net penetration rate, Schmidt rebound hardness, RMR

초 록 : 전단면터널 굴착장비에 의한 터널굴착을 설계할 때 일반적으로 적용되는 암반의 강도는 80~250 MPa로 알려져 있으나 설계단계에서 암반의 특성을 완전히 파악하지 못한 채 설계하고 수행하는 경우가 있다. 본 연구는 60% 이상 구간의 단축압축강도가 260 MPa 이상이며, RMR 값이 70 이상의 암반에서 TBM으로 굴착된 약 5.3 km 연장의 밀양댐계통 광역상수도 도수로터널 TBM 굴착구간의 암반특성을 규명하고 이로써 이론적 굴착속도를 분석하여, 실제의 순굴착속도와 비교분석한 것이다. 노르웨이 NTH에 의하여 제안된 이론적 굴착속도는 현장에서 수행된 순굴착속도의 평균값과 2~20%의 오차를 갖는 것으로 평가되어, 극경암에서의 굴착속도 설계는 일본이나 미국에서 제안된 해석법에 비하여 NTH 해석법이 가장 접근된 설계방법이라 할 수 있다. 현지암반을 평가하여 순굴착속도와의 상관관계를 규명한 결과, 극경암에서의 순굴착속도는 슈미트 해머에 의한 반발경도와 RMR 값에 반비례하는 것으로 나타났는데, 이의 상관계수는 각각 0.705 및 0.777이었다. 이로써 반발경도와 RMR의 크기는 순굴착속도를 예측할 수 있는 요소가 될 수 있음을 알 수 있다. 또한 극경암에서의 순굴착속도는 현지암반의 지압의 크기에 크게 영향을 받고 있는 것으로 평가되어 TBM 굴착설계에서 지압상태는 중요한 설계요소의 하나로서 고려되어야 할 것이다.

핵심어 : 전단면터널 굴착장비, 순굴착속도, 반발경도, 암반등급

1. 서 론

전단면터널 굴착장비(tunnel boring machine, TBM)에 의한 터널굴착을 설계할 때 일반적으로 적용되는 암반의 강도는 80~250 MPa로 알려져 있다.¹⁻³⁾ 그러나 설

계단계에서 암반의 특성을 완전히 파악하지 못한 채 설

1) 정회원, 한국자원연구소, 탐사개발연구부

2) 한국수자원공사, 밀양댐건설단 단장

접수일 : 2000년 5월 22일

심사 완료일 : 2000년 8월 11일

제하고 수행하는 경우가 가끔 있다. 이러한 경우 현장에서는 설계된 굴착속도를 유지하기 위하여 tungsten carbide 재질의 특수 커터를 사용하는 등 단가가 높은 방법을 사용하여 터널의 굴착작업을 수행하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 부산광역시상수도사업의 일환으로 굴착작업이 완료된 밀양댐계통 광역상수도 도수로터널 TBM 굴착구간을 대상으로 TBM 굴착속도와 암반특성과의 관계를 조사하였다.

연구대상인 도수로 터널은 총연장 7.6 km로 두 개 방향으로 굴착되었다. 밀양댐에서 시작하는 입구부분 2,250 m는 NATM 공법으로 굴착하였으며, 양산시 정수장에 인접한 출구에서부터 5,354 m는 직경 2.6 m의 TBM으로 1997년 6월에 시작하여 1999년 12월까지 30개월 동안 굴착작업이 수행되었다. 설계단계에서 수행한 지질조사결과는 Fig 1과 같으며 전체적으로 불국사화강암이 분포되고 있는데 이는 흑운모가 많고, 입자의 크기가 세립 또는 중립질의 화강암이다.⁴⁾ 그러나 실제 굴진 중에서 4400 m 지점부터 4800 m 지점(TBM으로 굴착된 출구로부터의 거리)까지는 지질도상에 표시되지 않은 극경암인 그레노파이어(granophyre)가 분포하고 있고, 예상된 안산암류, 응회질암, 쳐어트, 혼펠스 등으로 구성된 정각산층의 암반이 상당히 크게 분포되어 있어 실제 굴착속도는 예측값에 비하여 매우 낮아 순굴착속도의 재설계와 재평가가 요구되었다.

이를 위하여 암종별 강도특성시험과 현장에서의 슈미트 해머에 의한 반발경도 측정 및 RMR 암반평가 등을 통하여 TBM 굴착구간별 암반강도특성에 따른 이론적 굴착속도(predicted penetration rate)와 실제 순굴착속도(net penetration rate)를 비교분석하였으며, 조사된 여러 암반공학적 요소와 굴착속도와의 상관관계를 규명하였다.

2. 지질구조 및 암석강도

실험실 시험을 통하여 얻어진 불국사화강암 및 보다 강한 암종인 그레노파이어와 혼펠스, 안산암의 특성은 Table 1과 같다. 표에서 알 수 있듯이 3000 m 이후에 분포된 불국사화강암의 단축압축강도 평균값은 268 MPa이며, 그레노파이어에서는 374 MPa로 나타났다. RMR 암반분류에서 극경암을 250 MPa 이상으로 분류하고 있는데 혼펠스나 그레노파이어는 극경암 중에서도 초강의 극경암이라 할 수 있다. 실제 굴착설계에 적용되는 표준 품셈에서의 분류로는 해결되지 않아 새로운 등급의 추가가 요구되기도 한다.

사전지질조사 보고서를 통하여 입구에서부터 약 2500 m까지에 분포된 암반은 역시 불국사화강암으로 조사되었으며, 약간의 풍화가 일어나 3000~4400 m에 분포하는 암반보다 낮은 강도를 보이고 있다. 이들의 단축압축강도는 130~256 MPa 분포로 평균 176 MPa로 조사

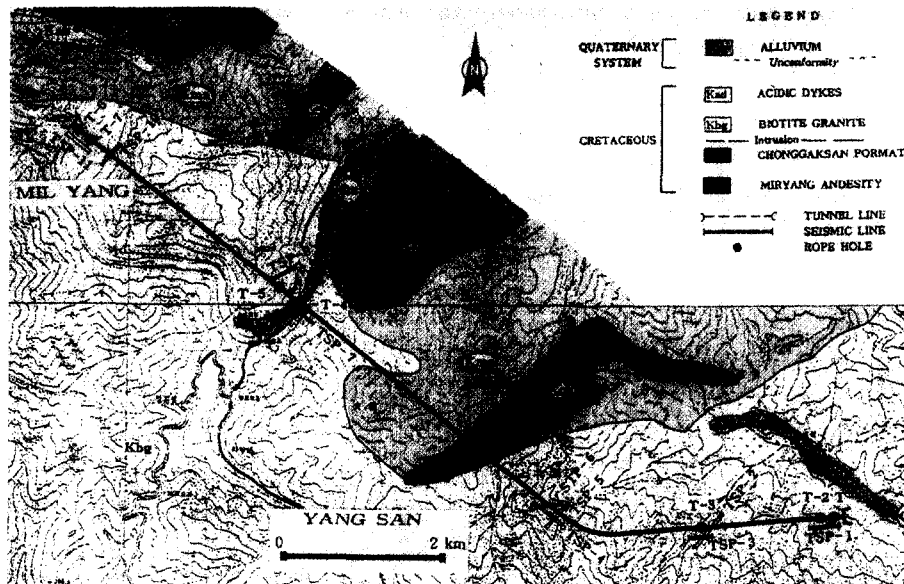


Fig. 1. Geologic map around the Milyang tunnel site

Table 1. Mechanical properties of granite and extremely hard rocks.

Sample Name (Location)	Bulk Specific Gravity	Elastic Wave Velocity (km/sec)		Uniaxial Comp. Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Shore Hardness	Numbers of Tested Specimens
		P-wave	S-wave				
Granite (3000~4400 m)	2.61	4.75	2.60	268	14.1	111(96~121)	36
Granophyre (4600 m)	2.62	5.26	2.84	374	16.3	117(97~125)	16
Hornfels (4400 m)	2.97	6.60	3.28	407	14.7	104(95~113)	10
Andesite (4000 m)	2.82	6.17	2.92	305	21.9	108(94~116)	10

되었다.⁵⁾

터널지역의 대표적인 지질구조는 모량단층으로서 양산 단층과 평행하게 발달하여 있으며 총연장이 약 80 km의 대규모 단층이다. 이는 우수향 주향이동단층으로서 주방향이 N30E이며, 경사는 수직에 가깝다. 터널부근에는 단층이 분절되어 있으며 분절된 양상은 중첩형태를 보이고 있다. 터널내에서는 단층이 N50E 방향으로 발달하고 있는데, TBM 종점에서 200 m 정도 떨어진 지역에 90 m 폭으로 형성되어 있다. TBM 구간 후반에는 소규모 단층들이 분포하는데 모량단층의 형성과정에서 파생된 Riedel shear로 해석된다. 이들의 대부분은 대략 북동 또는 동북동, 동서 및 남북방향으로 발달하고 있는데 굴착속도에 크게 영향을 미치고 있다. 터널내에 발달한 절리들은 대부분 전단절리이며, Riedel shear와 관련되어 있다.⁶⁾

3. 현지암반의 공학적 특성

터널이 위치한 지역에는 해발 816 m의 가지산 염수봉이 인접하고 있는데 관통하는 최대 상부는 염수봉 좌하부 500 m, TBM 3600 m 지점에 위치하며, 해발고도는 745 m이다. 터널의 해발고도가 145 m 이므로 최대 상재하중은 600 m 높이 및 15 MPa에 이른다. Fig 2는 0.7%의 경사를 갖는 터널과 함께 200 m 단위로 측정된 터널상부 지표의 해발고도를 도시한 것이다. TBM 터널 입구에서 최대상부까지의 경사는 8.2도이나, 2200 m까지는 1.5도이며, 2400 m부터 최대상부는 평균경사가 20도에 이를 정도로 가파르다. 해발 400 m 이상인 2200 m부터 4800 m까지의 구간의 평균심도 및 상재하중은 410 m 및 10 MPa로서 그 이전 1 km 구간에 비해 2.5 배에 달한다.

실험실 시험과는 별도로 현장에서 슈미트 해머에 의한

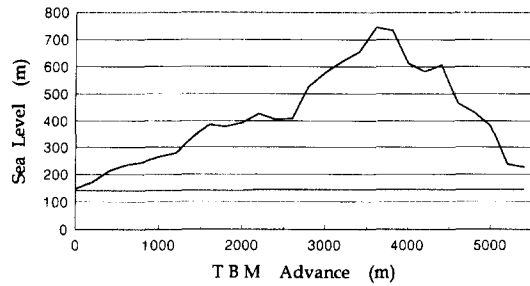


Fig. 2. Sea levels of TBM tunnel and ground surface.

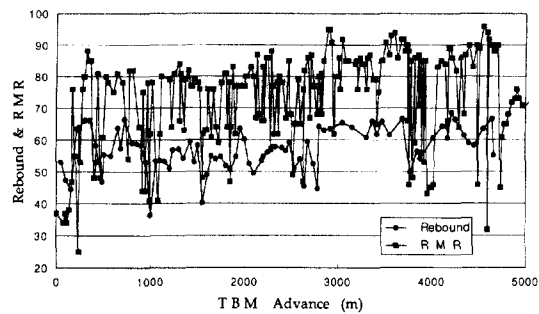


Fig. 3. Average values of Schmidt hammer rebound and RMR.

현지암반의 반발경도를 측정하였으며, 불연속면과 지하수 상태 등을 측정하여 RMR 분류를 수행하였다. Fig 3은 이들 두 자료의 측정결과를 TBM 굴착거리에 따라 표시한 것이다. 슈미트 해머에 의한 반발경도는 약 50 m 간격으로 측정하였는데 각 점은 동일위치 좌우측벽에서 6회 타격하여 얻은 평균값을 의미한다. 반발경도의 크기를 분석한 결과, 2800 m 지점을 경계로 측정값은 거의 일정하게 나타났는데, 그 이전에서의 평균은 56.9이며, 4660 m까지의 평균값은 62로 평가되었다. 특히 3800 m 부근을 제외하면 2800 m 이후의 값은 분산이 거의 없

어 균열과 풍화가 없는 균일한 암반임을 시사한다.

Fig 3에 사각형으로 표시된 RMR 값은 20 m 내외의 간격으로 측정된 결과인데 슈미트 해머에 의한 반발경도 값에 비하여 자료의 분산이 매우 심한 편이다. TBM 굴착구간의 48.6%가 암반등급 I, 38.4%가 암반등급 II로 나타나 전체의 대부분인 87% 구간이 양호한 암반상태로 나타났다.

RMR 자료에 의하면 2700 m 지점부터 3700 m 지점까지의 값은 비교적 분산이 작은 양상을 보이면서 평균 값은 82.5로 나타나 다른 구역보다 높은 값으로 평가되어, 반발경도에서 분석한 결과와 일치한다. 그러나 그 이후의 구간은 평균값이 73.5로 나타났지만 가장 심한 분산을 보이고 있는데 이는 앞절에서 언급한 모량단층의 영향으로 암반질리가 발달하였기 때문이다. TBM 굴착이 시작된 260 m 구간에서는 전체의 최소값인 25로 평가된 지점을 포함하고 있으며, 평균은 46으로 나타났는데 이는 지표부근에 위치하여 암반이 약간 풍화되었으며 지표수가 침투하였기 때문이다. 260 m 지점부터 2700 m까지는 최소 41에서 최대 88까지로 심한 분산을 갖는 구간으로 평균 70.8로 나타났다.

실험실 및 현지에서 얻어진 암반의 특성으로부터 초기 지압이나 반발경도, RMR의 크기가 높은 2400 m 또는 2800 m 이후에서의 TBM 굴착속도는 현저히 저하될 것이며, 단층의 영향을 받고 혼펠스와 그래노파이어가 나타나는 4400 m 지점부터에서는 TBM의 정상적 운영이 어려울 것으로 예상된다.

4. 이론적 굴착속도 및 굴진실적분석

굴착에 사용된 장비는 밀양댐사업에 투입될 목적으로 설계된 독일 Wirth 제품으로 모델명은 TB 260 E로서, 직경은 2.6 m이며, 일회 스트로크는 1m, 추력의 크기는 4300 kN이다. 커터헤드에는 3개의 gauge cutter와 6개의 center cutter를 포함하여 직경 16"의 커터가 22개 장착되어 있으며, 커터간격은 65 mm이다. 이의 회전력은 435 kW이며 회전속도는 13 RPM으로 최대 순굴착속도는 6 m/hr이다. 본 터널의 설계에서 품셈기준에 의하여 압입깊이의 설계값은 3 mm/rev으로 결정되었으며, 따라서 순굴착속도의 예상값은 2.34 m/hr 이다.

그러나 터널의 대부분을 차지하고 있는 불국사화강암 암반층내에서의 TBM 순굴착속도는 설계 때의 예상속도에 훨씬 못 미치는 실적을 보이고 있는데, 지난 2년동안

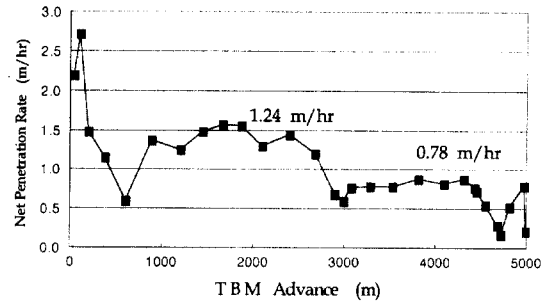


Fig. 4. Average net penetration rates in month.

의 월평균 순굴착속도를 굴진거리에 따라 도시하면 Fig 4와 같다. 굴진이 비교적 용이한 구간에서도 순굴착속도는 설계값의 53%에 불과한 1.24 m/hr였으며, 2800 m 이후부터는 33% 정도인 0.78 m/hr로 크게 부진했다. 이들의 경계는 2800 m 부근에서 확연히 나타났는데 이는 Fig 3에서 얻은 반발경도 측정값이 크게 변화하는 지점과 일치하며, Fig 2에서 분석한 상부하중이 크게 변화하는 2400 m 지점과 유사하다.

더욱이 불국사화강암 이후에 나타난 그래노파이어에서의 굴착속도는 3개월동안 0.46 (0.23~0.49) m/hr에 불과하였다. 이때에는 암반이 파쇄메카니즘에 의한 파괴보다는 과도한 마모에 의한 파괴양상을 보이고 있을 뿐만 아니라 그림 5와 같이 커터가 파쇄되는 현상도 발견되는 등 효과적인 파쇄가 이루어지지 않았다.

이론적 순굴착속도는 여러 연구자에 의하여 제안된 바 있는데 본 연구에서는 일본의 Komatsu 연구팀⁷⁾을 비롯하여 노르웨이의 NTH 연구팀⁸⁾, 미국의 Tarkoy 교수⁹⁾에 의하여 제안된 방법에 따라 분석하였다. 이러한 분석에 있어서 암반의 특성은 단축압축강도 외에 천공속도지수,

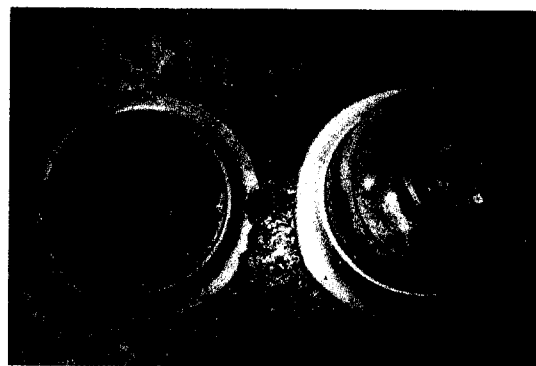


Fig. 5. Photo of the abnormal breakage and abrasion of cutter edge.

Table 2. Geotechnical data for 3 classified boundaries in the Milyang tunnel.

Rock Type	Granite - A	Granite - B	Granophyre
Location (m)	300~2800	2800~4400	4400~4800
Average Overburden (m)	188	484	235
Uniaxial Comp. St.	176 MPa	268 MPa	374 MPa
Schmidt H. Rebound	54.9	62	62
Abrasive Hardness	6.0	7.2	10
Predicted P.R. (m/hr)			
Komatsu prediction	3.12	1.56	0.31
N T H prediction	1.56	0.78	0.39
Tarkoy prediction	1.06	0.43	0.30
mean	1.91	0.92	0.33
Average Net P.R. (m/hr)	1.24	0.78	0.46

반발경도, 마모경도 등이 요구된다. 앞절에서 평가된 5.3 km 길이의 TBM 구간은 관입형태로 분포하는 안산암과 안산암이 접촉열변성한 혼펠스를 포함하는 그래노파이어 극경암대와 두 종류의 화강암(경암 및 극경암) 구역 등의 세가지 암반대로 구분되며, 각 구간대의 이론적 굴착속도와 영향요소, 굴착실적 등은 Table 2와 같다.

굴진실적에 의한 순굴착속도는 제안된 세가지 이론속도의 평균값에 비하여 15~39%의 오차를 가지며 유사한 크기이다. 특히 NTH에 의한 이론속도는 오차가 2~20%에 불과하여 상당히 접근된 설계방법이라 할 수 있다. Komatsu에 의한 이론속도는 실적과 많은 편차를 보이며, Tarkoy에 의한 이론속도는 실적보다 작아 이들의 이론은 경암에서의 굴착속도를 예상하여 설계에 적용하는 데에는 한계가 있는 것으로 판단된다.

표에서 알 수 있듯이 순굴착속도는 현지암반의 지압에도 큰 영향을 받는데 이론적 해석에는 이의 요소가 고려되어 있지 않아 실제 적용에서 참고되어야 한다. Tarkoy는 경암층에서의 실측자료들을 통하여 이를 지적하였으며, 평균강도가 250 MPa 또는 최대강도가 300 MPa일 때를 TBM 적용한계라고 규정하고 이때 실험실 자료에 의한 굴착설계는 무의미하다고 발표한 바 있다⁹⁾. 또한 인도에서는 250 MPa 이상에서는 TBM을 적용하지 않는다는 연구사례로 미루어¹⁰⁾, 본 터널에서 2800 m 이후 구간은 물론이며, 거의 전구간이 TBM 굴착이 원활히 수행될 수 없는 한계를 넘는 암반으로 판단된다.

Fig 6은 굴진실적에 의한 순굴착속도(PR, m/hr)의 단

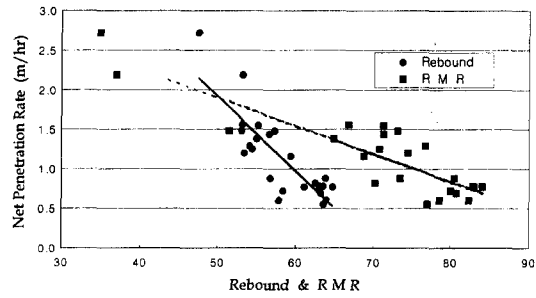


Fig. 6. Net penetration rates vs Schmidt hammer rebound and RMR.

위를 슈미트 해머에 의한 반발경도 값(SHR) 및 RMR 값과의 상관관계를 도식한 것으로 값이 클수록 순굴착속도가 낮아지는 경향을 볼 수 있다. 이들의 상관관계식은 각각,

$$PR = 6.62 - 0.094 * SHR$$

$$PR = 3.68 - 0.035 * RMR$$

로 분석되었다. 여기에 사용된 자료의 수는 총 30개월 동안 수행된 월평균 속도에서 월간 굴진량이 100 m가 되지 않는 6개의 자료를 제외한 24개이며, 해당구간에서 측정된 여러 개의 반발경도와 RMR 값은 평균으로 얻어진 것이다. 즉 그림의 각 점은 매월 굴진된 구간의 평균값들이다.

이들의 상관계수(R²)는 각각 0.705 및 0.777로 나타나 반발경도나 RMR 값의 크기가 50 이상인 암반에서의 이들 관계식은 신뢰할 수 있는 것으로 판명되어 앞으로 경암에서의 TBM 굴진설계에서 순굴착속도를 예측할 수 있는 지침이 될 것으로 사료된다. 한편, Barton은 Q 값을 변형하여 순굴착속도를 PR = 5 * Q_{TBM}^{-0.2} (Log PR = 0.7 - 0.2 Log Q_{TBM})와 같이 제안하였다¹¹⁾. Barton이 언급한 Q_{TBM}은 Q값에 TBM의 여러요소와 암석의 석영함량 및 암반심도를 적용한 값이다.

본 연구에서는 이러한 추가요소를 무시한 채 Q_{TBM} = Q로 가정하여 분석한 결과, PR = 2.1 * Q^{-0.2} (R² = 0.658)의 관계로 나타났다. 여기에서 정확한 지수값은 -0.20014이며 이의 평균편차는 0.047 (23%)로 Barton이 제안한 값과 오차없이 동일한 크기이나 비례상수는 2.1로 나타나 실제속도는 제안값의 42%에 불과하다. 이러한 오차는 당연히 Q와 Q_{TBM}와의 차이에서 기인하며, Q값이 직접 측정된 것이 아니고 Q-RMR 상관관계식으로부터 얻어진 값에서 발생한 것으로 여겨진다. 그러나, 이러한

오차에도 불구하고 굴착속도가 $Q^{-0.2}$ 에 비례하고 있는 분석결과는 Barton이 제안한 $Q_{TBM}^{-0.2}$ 에 비례한다는 수식의 차수와 일치하여 주목할 만하다.

5. 결 론

경암지역인 약 5.3 km 연장의 밀양댐계통 광역상수도 도수로터널 TBM 굴착구간의 암반특성을 규명하고 이로써 이론적 굴착속도를 유도하고, 반발경도 및 RMR에 대한 월평균 순굴착속도를 분석한 결과로서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1) 극경암에서의 TBM 굴착속도를 실험실 자료로서 예측하는 것은 매우 어려워 현실성이 없으며, TBM을 적용하기에는 한계가 있는 것으로 판단되지만, 노르웨이 NTH에 의하여 제안된 이론적 굴착속도는 현장에서 수행된 순굴착속도의 평균값과 2~20%의 오차를 갖는 것으로 평가되어, 국내의 경암이나 극경암에서의 TBM 굴착속도 설계는 일본이나 미국에서 제안된 해석법에 비하여 NTH 해석법이 가장 접근된 설계방법이라 할 수 있다.

2) 순굴착속도는 2800 m 지점을 경계로 하여 이전 구간에서는 1.24 m/hr, 이후에서는 0.78 m/hr이다. 이는 반발경도 측정값이 크게 변화하는 지점과 일치하며, 상부하중이 크게 변화하는 2400 m 지점과 유사하다. 이로서 경암 또는 극경암에서의 순굴착속도는 현지암반내 지압의 크기에 크게 영향을 받고 있는 것으로 평가되며, TBM 굴착설계에서 지압은 중요한 설계요소로서 고려되어야 할 것이다.

3) RMR 값이 35 이상이며, Q값이 약 0.1 이상인 경암에서의 TBM 순굴착속도는 반발경도나 RMR 값에 반

비례하며, 이의 상관계수는 0.7~0.8로서 비례상수는 각각 -0.094 및 -0.035이다. 이로서 반발경도와 RMR의 크기는 순굴착속도를 예측할 수 있는 요소가 될 수 있음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. 박철환 외, 1991, 전단면 터널 굴착기술 개발연구, 과학기술처
2. 박철환, 김길수, 1992, 암반기계굴착공법의 적용연구, 한국암반역학회지, 2.2, 177-189
3. 박철환, 이경운, 1994, Evaluation of the TBM performance, 6th South America Symposium on Rock Mechanics, 579-588
4. 박철환 외, 1999, 밀양댐 도수로 터널의 암반물성 및 TBM굴착 분석연구, 한국자원연구소, 98p.
5. 부산권 수도건설사무소, 1995, 밀양댐계통 광역상수도사업 토질조사보고서, 283p.
6. 정소걸 외, 2000, 도수로터널 라이닝여부 재검토연구, 한국수자원공사, 215p.
7. 小松製作所, 1988, 巨礫地盤에서의 최근의 실드공법, Komatsu Manufacturing Co., 34p.
8. NTH, 1994, Hard rock tunnel boring, Project Report 1-94, 164p.
9. Tarkoy Peter J. and Massimo Marconi, 1991, Difficult rock comminution and associated geological conditions, Tunnelling '91, 195-207
10. Verma M. and J. L. Jethwa, 1988, Strategy for adoption of machine tunnelling in India, International Symposium on Tunnelling for Water Resources, ITA, New Delhi
11. Barton Nick, 1999, General report concerning some 20th century lessons and 21st century challenges in applied rock mechanics, safety and control of the environment, 9th Int'l Congress on Rock Mechanics, 1-21

박 철 환



1979년 서울대학교 공과대학 자원공
학과, 공학사
1981년 서울대학교 대학원 자원공학
과, 공학석사
1987년 서울대학교 대학원 자원공학
과, 공학박사

Tel : 042-868-3244

E-mail : cwpark@kigam.re.kr

현 재 한국자원연구소 탐사개발연구부 책임연구원

신 중 호



1983년 서울대학교 공과대학 자원공
학과, 공학사
1985년 서울대학교 대학원 자원공학
과, 공학석사
1990년 서울대학교 대학원 자원공학
과, 공학박사

Tel : 042-868-3242

E-mail : jhsynn@kigam.re.kr

현 재 한국자원연구소 탐사개발연구부 선임연구원

박 찬



1988년 한양대학교 공과대학 자원공
학과, 공학사

Tel : 042-868-3245

E-mail : chan@kigam.re.kr

현 재 한국자원연구소 탐사개발연구부 선임연구원

김 민 규



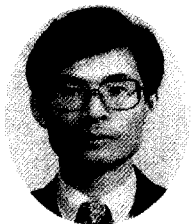
1981년 서울대학교 공과대학 자원공
학과, 공학사
1984년 서울대학교 대학원 자원공학
과, 공학석사
1992년 서울대학교 대학원 자원공학
과, 공학박사

Tel : 042-868-3246

E-mail : mkkim@rock25t.kigam.re.kr

현 재 한국자원연구소 탐사개발연구부 책임연구원

정 소 걸



1975년 서울대학교 공과대학 자원공
학과, 공학사
1982년 Ecole des Mines de Nancy
(프랑스), DEA
1984년 Orleans 대학교(프랑스), 공
학박사

Tel : 042-868-3231

E-mail : skchung@kigam.re.kr

현 재 한국자원연구소 탐사개발연구부 부장

김 화 수



1977년 경상대학교 농공학과, 농학
사
1994년 서울시립대학교 대학원 토목
공학과, 공학석사

Tel : 052-359-3262

E-mail :

현 재 한국수자원공사 밀양댐건설단 단장