

터널 단층대에서 수평시추와 막장관찰에 의한 RMR값의 비교 분석

김치환^{1)*}

Comparison of the RMR Ratings by Tunnel Face Mappings and Horizontal Pre-borings at the Fault Zone in a Tunnel

Chee-Hwan, Kim

Abstract The RMR ratings, one by horizontal pre-boring in a tunnel and another by tunnel face mapping, are compared at the fault zone in a tunnel. Generally, the horizontal pre-borings were so effective as to forecast reasonably the supporting patterns after tunnel excavation. But the maximum difference in RMR ratings estimated by two methods was about 50 at a certain section of a tunnel. The differences were analyzed on each parameter of the RMR system: the rating differences were 24 in the condition of discontinuities, 15 in the RQD and 13 in the uniaxial compressive strength of rock. To minimize the gap between RMR by pre-borings and by face mappings, it is necessary to select the horizontal pre-boring location where tunnel stability could be critical and to evaluate in detail the sub-parameters of the condition of discontinuities.

KeyWords rock classification, RMR, fault zone, horizontal pre-boring, tunnel face mapping

초 록 터널 단층대에서 수평시추로 조사한 막장전방의 암반 상태를 공학적 암반분류법인 RMR값으로 평가하였고 이를 터널 굴착 후 막장을 관찰하여 결정된 RMR값과 비교 분석하였다. 수평시추로 예측한 RMR값은 비교적 정확하여 터널 굴진 후 막장을 관찰하여 구한 RMR값과 큰 차이가 없었다. 그러나 일부 구간에서는 수평시추와 막장관찰로 구한 RMR값의 차이가 약 50까지 발생하였고 이를 RMR 평가항목으로 분석한 결과 불연속면의 상태에 대한 평점에서 24의 차이가 나타났고 암질지수와 단축압축강도 평점에서 각각 15와 13의 차이로 나타났다. 두 방법에서 평가한 RMR값의 차이를 줄이기 위해서는 터널 내 수평시추공의 위치를 터널의 안정성에 가장 큰 영향을 줄 수 있는 곳으로 선정하고 불연속면의 상태에 대한 평가는 불연속면의 연속성, 분리 틈, 풍화도 등 5개의 소항목 각각에 대해 5단계로 구분한 세부평점을 적용하여야 할 것이다.

핵심어 공학적 암반분류, RMR, 단층대, 수평시추, 터널막장 매핑

1. 서 론

터널 굴진 중 막장 전방의 암반 상태를 미리 파악하고 굴착 후 보강방법을 준비하기 위하여 막장에서 수평방향으로 시추조사를 수행하는 사례가 많이 있다. 이와 같이 수평방향 시추로 얻은 암석코어 상태에 대해 공학적 암반분류법을 적용하여 암반특성을 분석하면 터널의 보강수준을 예측할 수 있고 수평시추 구간의 터널을 굴진할 때에는 준비된 보강방법으로 신속하게 보강하여 터널의 안정성을 높이는데 효과적이기 때문이다. 즉 터널 막장에서 굴진할 수평방향으로 시추조사를 하는

것은 터널이 지나갈 암반을 연속적으로 파악할 수 있는 장점이 있다. 터널설계를 위한 조사단계에서는 지표에서 물리탐사와 수직하향의 시추조사이기 때문에 터널의 선형을 따라 연속적으로 암반의 상태를 파악하는 것은 불가능하다. 하향시추공은 수평터널의 일부분만을 교차하게 되므로 터널 구간 중 극히 작은 부분의 지질상태만을 파악할 수 있다. 그러므로 터널시공 중 터널 내에서 굴진방향으로 수평시추 조사를 하는 것은 터널 설계 단계에서 알 수 없었던 암반상태를 추가로 파악하기 위한 효율적인 조사방법이다.

그러나 터널 굴착진행면의 단면적에 비하여 수평시추공의 단면적은 작고 막장 수평시추공의 위치와 공수에 따라 시추공에 의한 공학적 암반분류 결과는 달라질 수 있다. 특히 단층대 혹은 파쇄대에서는 막장 수평시추공의 위치에 따라 암반상태의 평가는 서로 상이할

¹⁾ 우석대학교 토목공학과 교수

* 교신저자 : kimcheen@korea.com

접수일: 2004년 12월 13일

심사 완료일: 2005년 2월 19일

수 있다. 또 터널 막장에서 수평시추로 예측한 막장 전방의 공학적 암반분류값과 수평시추로 조사한 구간이지만 터널을 굴진하면서 막장을 관찰하여 결정된 암반의 공학적분류값이 다르게 나타날 수 있다. 만약 단층대와 같이 지층의 변화가 심한 곳에서는 수평시추를 기초로 분석한 암반 상태의 예측에 더 신중한 접근이 필요할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 터널 시공 중 수평시추로 예측한 공학적 암반분류값과 터널을 굴진한 후 새롭게 반복하여 나타난 막장을 관찰하여 평가한 공학적 암반분류값을 비교 분석하였다. 즉 터널 굴진 중 단층대를 통과하게 되어 터널막장에서 수평시추로 막장전방의 암반상태를 예측하였고 이를 바탕으로 터널의 굴진길이와 보강방법을 수평시추 구간 굴착 전에 미리 준비하였다. 터널 막장에서 수평시추조사가 끝난 후 터널을 굴진 시공할 때 마다 나타나는 막장을 관찰하여 공학적 암반분류값을 구하였고 이를 바탕으로 터널을 보강하고 터널 시공을 종료하였다. 터널 내의 수평시추와 터널을 굴착하면서 막장을 관찰하여 평가한 암반분류값은 서로 다르게 나타날 수 있을 것이다.

본 연구대상이 되는 터널의 시공에서 적용한 공학적 암반분류법은 RMR분류법이었다. 위 두 방법에서 구한 RMR값의 차이는 RMR값을 결정하는 평가요소 각각의 평점차이로 분석할 수 있다. 본 연구에서는 수평시추로 예측한 공학적 암반분류값과 터널을 굴진하면서 막장을 관찰하여 평가한 공학적 암반분류값의 차이를 RMR값을 결정하는 5개 평가요소 및 불연속면의 방향보정요소로 나누어 비교 분석하였다.

연구 대상이 되는 터널의 위치는 서울특별시 영등포구 여의도동 서울 노량진 제 2 수원지 앞 한강변 올림픽대로 하부이다. 터널 설계를 위하여 지표지질, 전기비저항탐사 및 하향시추조사를 11공 수행하였고 단층대를 포함한 약 1 km의 터널 구간에서는 추가로 14공의 시추조사를 수행하였다. 현장시험으로 표준관입시험, 수압시험, 현장투수시험, 토질 및 암석강도시험과 시추공을 이용한 시추공내촬영 및 공내재하시험을 수행하였다. 굴착한 터널은 직경 3.4 m의 원형터널이다.

2. 지 질

서울 지역은 선 캄브리아기 변성암계통의 편마암 지역과 이를 관입한 중생대 쥐라기의 화강암지역으로 대별할 수 있고 이를 제4기 충적층이 부정합으로 피복하고 있다. 그런데 서울 사대문 내와 북쪽에는 쥐라기의 거정질 화강암이 분포하고 있으며 본 연구 지역이 위치

한 한강 남쪽에는 선 캄브리아기 경기변성암복합체의 하나인 편마암이 주로 분포하고 있다. 본 연구지역은 호상편마암이 기반암으로 분포하고 부분적으로 안구상 편마암과 석영맥이 소규모로 산재되어 나타나고 있다.

본 연구지역인 서울 노량진 제 2 수원지 앞 올림픽대로 구간은 수계가 동서방향으로 흐르는 한강의 인접 지대로로 제4기의 퇴적물이 피복되어 있고 주 단층대인 한강과 그에 직교하여 주변부에 발달한 여러 개의 소단층대의 하나이며 충적층이 발달한 노년기 지형이다.

터널 시공 전인 설계 단계의 조사에서 시추한 BH-12에 의하면 터널이 통과할 지반은 풍화암으로 분류되었다. 이곳에서는 절리 및 균열의 경사가 40~70도이다. 시공 중 추가조사 시추공 TCH-7~TCH-10에서 풍화대가 깊게 나타났고 연구 대상 터널 구간 좌우의 인접부분과 지층 분포가 연속되지 않은 파쇄대였다. 이는 파쇄대 양쪽의 시추공과 비교한 다음과 같은 결과로 파악할 수 있었다. 즉 파쇄대 구간 내의 시추공 TCH-8(표고 11.45 m), TCH-9(표고10.20 m), TCH-10(표고8.86 m)에서 연암까지의 심도가 약 26.3 m~50.8 m로 매우 깊었다. 파쇄대를 벗어난 흑석동 방향쪽의 시추공 TCH-3, TCH-4, TCH-5, TCH-6에서 연암까지의 심도는 약 13 m~18.7 m, 여의도 방향쪽의 시추공 TCH-11, TCH-12, TCH-13, TCH-14에서 연암까지의 심도는 약 16.2 m~23.6 m로 파쇄대에서의 연암까지 심도와 뚜렷하게 구별된다. 따라서 노량진 제2수원지 앞의 지질단면도에 깊은 골짜기를 이루는 단층대일 것으로 추정되었다. 파쇄대 구간에는 하상퇴적물인 모래질실트, 모래질 자갈층이 분포하고 있다. 터널이 굴착되는 심도에서의 RQD는 TCH-8, TCH-9, TCH-10에서 모두 0이고 공내재하시험과 수압시험을 할 수 없었다. RMR값은 시추공 TCH-8에서 9-10, 시추공 TCH-9에서 4, 시추공 TCH-10에서도 4이었다. 추가조사 중 파쇄대가 아닌 구간에서 채취한 무결암의 단축압축강도는 28~101 MPa(280~1010 kg/cm²)이었다[1-2].

3. RMR의 개념

본 연구대상의 터널설계 단계에서 터널을 보강하는 기준으로 경험적 암반 분류법인 RMR과 Q시스템을 적용하였다. 이 설계에 따르면 터널 굴착 후 나타나는 굴착면을 관찰하여 RMR값을 구하도록 되어 있다. 그리고 터널 보강패턴은 RMR을 Q값으로 환산하여 표준화된 것으로 제시하고 있으므로 RMR을 결정하면 보강패턴을 선택할 수 있다.

RMR(Rock Mass Rating system; Geomechanics Cl-

assification)은 1972-1973년에 Bieniawski에 의해 제안되었으며 그 후 여러 적용 사례가 늘어남에 따라 발전 진화되어 왔다. 그 적용범위도 터널뿐만 아니라 지하공동, 광산채굴, 사면, 기초 분야 등으로 확장되었다. RMR값은 6개의 암반공학적 요소를 평가하여 구한다. 암반공학적인 6개의 요소는 무결암의 단축압축강도(uniaxial compressive strength), 암질지수(rock quality designation), 불연속면의 간격(spacing of discontinuities), 불연속면의 상태(condition of discontinuities), 지하수 상태(groundwater conditions), 불연속면의 방향(orientation of discontinuities)이다. RMR을 결정하는 각각의 평가요소는 공학적 암질을 좌우하는데 있어 중요도에 따라 서로 다른 평가점수범위를 정해 놓고 있다. 불연속면의 방향을 제외한 평가요소의 합이 기본RMR값이 되고 기본RMR값은 최대 100까지 표시할 수 있는데 그 중 평가점수가 가장 높은 요소는 불연속면의 거칠기로 최대 30이다. RQD와 불연속면의 간격에 따라 각각 최대 20, 암석의 단축압축강도와 지하수 상태에 따라 각각 최대 15의 평점이 나타날 수 있다. 터널의 경우 기본RMR 값에서 불연속면의 방향에 대한 최대 평점 12를 감하면 보정RMR값을 구할 수 있다. 보정RMR값을 기준으로 터널 보강패턴이 결정될 수 있다[6].

4. 수평시추와 막장관찰에 의한 공학적 암반분류

터널 내에서 굴진면 전방의 지질 상태를 조사하기 위하여 막장에서 수평시추를 하고 시추코어를 이용하여 RMR로 분류한 후 터널 굴진 시 굴진길이와 보강패턴을 미리 결정하는데 이용하였다. 이어서 수평시추 조사 결과에 따라 터널을 굴진하면서 새로이 드러내는 막장의 지질을 관찰하여 RMR로 분류한 다음 터널을 보강하였고 시공을 종료하였다. 이 과정에서 터널 내에서 수평시추로 획득한 시추코어에 대하여 구한 RMR값과 터널을 굴착한 후 막장을 관찰하여 결정한 RMR값을 비교하여 수평시추의 유용성과 보완점을 분석하였다. 분석할 항목은 기본RMR값과 보정RMR값 또 기본RMR값을 구성하고 있는 각각의 평점요소로 나누었다. 두 가지 접근방법으로 구한 RMR값을 비교할 터널 구간의 길이는 약 50 m이다[2-5].

4.1 RMR값의 비교

먼저 두 가지 방법으로 구한 기본RMR값과 보정RMR값을 비교하였다. Fig. 1은 터널 내에서 수평시추와 막장관찰에 의한 RMR값의 변화를 보인 것이다. 터널 내에서 막장의 위치에 따라 RMR값의 차이를 비교할 수

있도록 수평시추 깊이와 막장의 위치가 동일하도록 정리하였다. RMR값은 기본RMR값과 보정RMR값으로 구분하여 표시하였다. 수평시추로 구한 기본RMR값 중 최대값은 79이고 최소값은 20이었다. 이 기본RMR값을 터널에 대한 불연속면의 방향을 고려하여 보정한 결과인 보정RMR값은 최대값이 74이고 최소값은 15이었다. 그러나 터널 시공 중 터널 막장을 관찰하여 구한 기본RMR값은 최대값이 35로 수평시추로 예측한 기본RMR값 79와 비교할 때 매우 작은 값이고 최소값은 22로 수평시추로 예측한 기본RMR값 20과 거의 비슷하였다. 터널 막장을 관찰하여 구한 보정RMR값의 최대값은 24, 최소값은 11이었다.

이와 같이 수평시추와 막장관찰로 구한 RMR값이 차이가 나타나는 곳을 구간별로 비교하였다. 터널 내 수평시추 조사를 시작한 곳에서 깊이 약 12 m 까지는 수평시추에 의한 기본 RMR값이 약 23이었다. 따라서 터널 설계서의 RMR값에 따라 터널 굴진장을 약 0.8m로 하여 터널을 굴착하였다. 동일 구간에서 터널을 굴진하면서 막장관찰로 구한 기본RMR값은 약 25~30으로 수평시추에 의한 기본RMR 보다 3~7큰 값이나 거의 같은 값으로 간주할 수 있었다. 또 수평시추 후반구간인 시추 깊이 약 34~46 m 구간에서도 위와 유사한 경향으로 막장관찰에 의한 기본RMR값이 약간 크게 나타났다. 그리고 기본RMR값을 불연속면의 방향에 따라 보정한 보정RMR값도 위 두 구간에서의 거의 일치하고 있다. 따라서 수평시추 구간 0~12 m와 34~46 m의 두구간에서는 터널 내 막장 전방을 수평시추로 예측 조사한 결과와 터널을 굴진하면서 확인한 공학적 암반분류 결과는 잘 일치하였고 수평시추 자료를 기초로 세운 터널굴진 계획은 효과적인 것으로 판단되었다.

그런데 수평시추 구간 12~34 m에서의 기본RMR값은 53~79로 전 후 구간에 비하여 현저하게 큰 값을 보였다. 수평시추 결과에 의한 RMR값이 큰 것을 고려하여 이 구간의 터널 굴진장을 0.8 m에서 1 m로 더 길게 하였다. 그런데 이 구간의 터널을 굴진하면서 막장을 관찰하여 구한 기본 RMR값은 약 22~35의 분포로 전 후 구간의 분포와 비슷한 경향을 보였다. 그러므로 수평시추심도 12~34 m 구간에서는 수평시추로 예측한 기본RMR값이 터널막장을 관찰하여 구한 기본RMR값보다 현저하게 크게 평가되었다. 특히 시추심도 14~18 m 구간에서는 수평시추와 막장관찰에 의한 기본RMR값의 차이가 약 50으로 최대이었고 이에 따른 보강패턴 등급은 2등급 이상 차이가 나타났다. 마찬가지로 수평시추로 예측한 보정RMR값도 막장관찰에 의한 보정 RMR값 12~23과 비교할 때 매우 큰 값이었다. 터널설

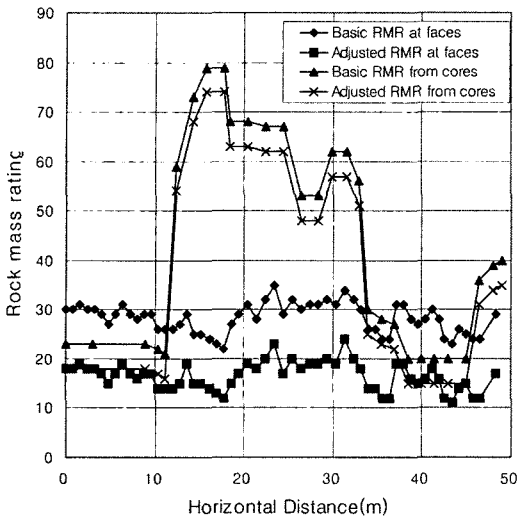


Fig. 1. RMR ratings of RMR system at tunnel faces and from horizontal boring cores in the tunnel

계단계에서 지상에서 연직하향 조사 시추공 중 본 터널 구간에 위치한 시추공에서의 보정RMR값으로는 시추공 TCH-8에서 9-10, 시추공 TCH-9에서 4, 시추공 TCH-10에서도 4이었고 이는 막장관찰에 의한 보정RMR값과 거의 같은 범위의 분포를 보였다.

이와 같이 수평시추로 예측한 RMR값과 막장관찰로 평가한 RMR값의 차이가 나타난 현상을 RMR의 평가요소를 각각 검토하여 분석하였다.

4.2 단축압축강도

수평시추와 터널막장을 각각 관찰하여 구한 두 개의 기본RMR값의 차이를 분석하기 위하여 RMR의 평가요소 중 암석의 단축압축강도에 대한 두 방법의 평가치를 비교하였다. Fig. 2는 RMR 평가요소 중 암석의 단축압축강도에 대한 평점을 비교한 것이다. 수평시추로 채취한 시추코어의 단축압축강도를 측정하지 않았으므로 수평시추결과로 RMR값을 구할 때에는 설계단계에서 측정된 단축압축강도를 원용하였다. 수평시추코어의 단축압축강도에 대한 평점을 육안으로 판정한 결과 수평시추심도 0~11 m 구간에서 약 2, 구간 11~33 m에서 7~15, 구간 33~43 m에서 약 2~4의 분포를 보였다. 터널 막장을 관찰하여 RMR값을 평가할 때에는 단축압축강도를 구하기 위하여 막장에서 슈미트해머로 암반의 강도를 측정하였고 그 결과 7~100 MPa의 강도를 보였다. 슈미트해머로 측정된 막장의 강도를 RMR평점으로 환산하고 수평시추에 의한 단축압축강도 평점과

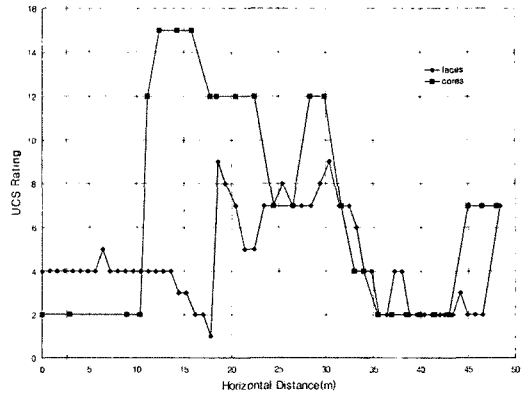


Fig. 2. Uniaxial compressive strength ratings of RMR system at tunnel faces and from horizontal boring cores in the tunnel

비교하면 수평시추심도 약 0~14 m 구간과 약 30~43 m 구간에서는 수평시추와 막장을 슈미트해머로 측정된 강도평점이 비슷하였다. 그러나 수평시추 구간 14~30 m에서는 막장을 슈미트해머로 측정된 강도 평점이 작게 평가되었고 최대차이는 약 13이었다.

4.3 암질지수

수평시추 결과를 평가하여 구한 RMR값과 막장을 관찰하여 구한 RMR값의 차이를 분석하기 위하여 평가요소 중 암질지수에 대한 평점 차이를 검토하였다. Fig. 3은 수평시추공과 터널막장에서 RMR값을 각각 구할 때 RMR 평가요소 중 암질지수에 대한 평점을 비교한 것이다. 수평시추조사로 평가한 암질지수는 다음과 같다. 수평시추 심도 0~11 m와 33~48 m에서는 암질지수에 대한 평점이 약 3~6으로 거의 변화가 없었다. 그러나 수평시추 심도 11~33 m에선 암질지수에 대한 평점이 9~19 사이에서 변화하였다. 터널막장을 관찰하여 구한 암질지수는 수평시추 심도 11~32 m에서만 시추에 의한 암질지수 평점보다 최대 15의 큰 차이로 작게 평가되었다. 터널 내에서 수평시추 결과 이 구간의 암질지수가 90~100%이었다. 터널 내 수평 시추공의 위치는 터널 막장의 중앙이었다. 수평시추 시점인 터널막장면은 풍화된 상태이었으나 시추깊이 11~32 m에서 경암으로 변하면서 높은 암질지수를 보였다.

그런데 이 구간을 굴진하면서 막장의 지질 변화를 관찰한 결과 시추 시작점의 막장 전체는 풍화된 상태이었으나 터널을 굴진함에 따라 터널 하부에서 경암이 나타났고 풍화암과 경암의 경계선이 수평시추공 위치를 지나 터널의 상반까지 올라가는 경사진 상태를 보였다. 따라

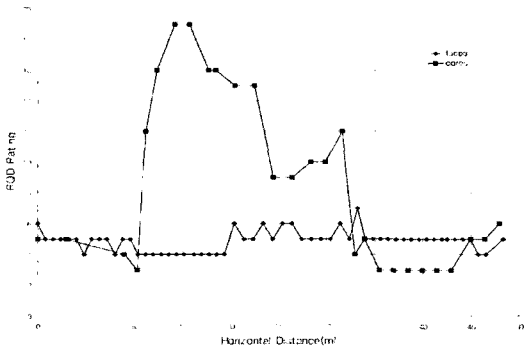


Fig. 3. Rock quality designation ratings of RMR system at tunnel faces and from horizontal boring cores in the tunnel

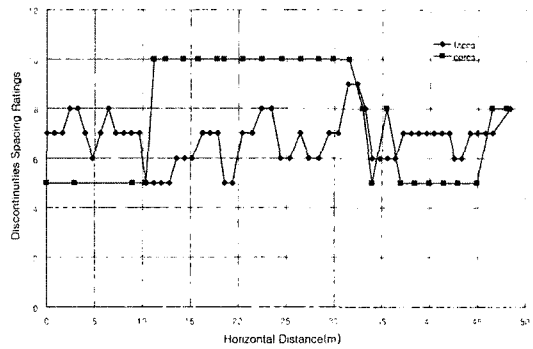


Fig. 4. Rock discontinuity spacing ratings of RMR system at tunnel faces and from horizontal boring cores in the tunnel

서 수평 시추 심도 11~32 m 구간에서 터널 상부는 풍화되고 그 하부는 경암이 분포한 상태였다. 한편 터널을 굴진하면서 터널 보강패턴을 결정하기 위하여 RMR 값을 계산할 때에는 터널의 안정성에 영향을 주는 부분을 주로 고려하여야 하므로 수평시추심도 11~32 m 구간에서 터널 막장관찰을 통하여 RMR값을 계산할 때에는 암질이 불량한 터널 상부를 기준으로 평가한 것이다. 그러므로 경암을 통과한 수평 시추와 터널 막장 중 불량한 부분을 관찰하여 산정한 암질지수는 크게 다를 수 있다. 이 구간을 제외하고 수평시추 심도 0~11 m 구간과 32~48 m 구간에서 수평시추와 터널막장 관찰로 평가한 암질지수는 평점 차이 2 이하로 거의 일치하고 있다.

4.4 불연속면의 간격

수평시추 결과를 평가하여 구한 RMR값과 막장을 관찰하여 구한 RMR값의 차이를 분석하기 위하여 평가요소 중 불연속면의 간격에 대한 평점 차이를 검토하였다. Fig. 4는 수평시추공과 터널 막장을 관찰하여 결정한 여러 RMR 평가요소 중 불연속면의 간격에 대한 평점을 비교한 것이다. 암질지수에서 분석한 것과 같이 수평시추 구간 0~11 m에서는 막장에서 보이는 것과 같은 풍화암이었으나 시추 구간 11~32 m에서 경암으로 변화하였고 32 m 이후 구간은 다시 풍화암으로 변화했다. 수평시추 심도 11~32 m의 경암구간에서 평가한 불연속면 간격에 대한 평점은 10이었으나 터널막장 관찰을 통하여 평가한 평점은 5~8이었다. 이는 경암에서 불연속면의 간격이 200~600 mm이고 풍화암에서는 불연속면의 간격이 대부분 60 mm 이하인데 막장관찰 중 풍화암 부분을 증시하여 불연속면 간격에 대한 평점을 결정하였기 때문에 그 차이가 최대 5로 나타났다. 그러나

불연속면에서의 평점 차이는 암질지수를 평가할 때 나타난 평점 차이 15보다는 작았다.

4.5 불연속면의 상태

수평시추 결과를 평가하여 구한 RMR값과 막장을 관찰하여 구한 RMR값의 차이를 분석하기 위하여 평가요소 중 불연속면의 상태에 대한 평점 차이를 검토하였다. Fig. 5는 수평시추공과 터널 막장에서 RMR 평가요소 중 불연속면의 상태에 대한 평점을 비교한 것이다. 터널 막장을 관찰하여 평가한 불연속면의 상태는 2~9로 큰 변화가 없으나 수평시추로 평가한 불연속면의 상태는 풍화암과 경암에서 평점 차이가 크게 나타났다. 경암 구간인 수평시추 심도 11~32 m에서 터널막장 관찰을 통하여 평가한 불연속면의 상태에 대한 평점은 2~8이었으나 수평시추로 평가한 불연속면의 평점은 20~28이었다. 따라서 터널 막장 관찰과 수평시추로 평가한 불연속면의 상태에 대한 평점의 최대 차이는 24로 암질지수의 평점 차이 15보다 더 큰 차이를 보였다.

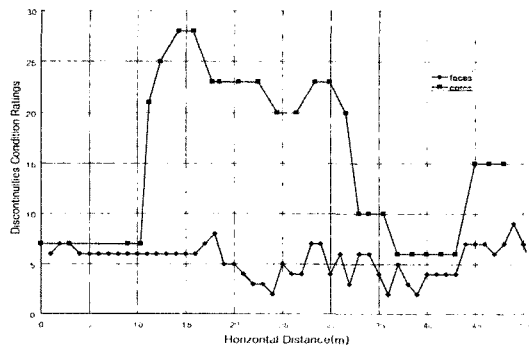


Fig. 5. Rock condition ratings of RMR system at tunnel faces and from horizontal boring cores in the tunnel

4.6 지하수 유입량

수평시추 결과를 평가하여 구한 RMR값과 막장을 관찰하여 구한 RMR값의 차이를 분석하기 위하여 평가요소 중 지하수 유입량에 대한 평점 차이를 검토하였다. Fig. 6은 수평시추공과 터널 막장에서 RMR 평가요소 중 지하수 유입량에 대한 평점을 비교한 것이다. 터널 막장을 관찰하여 평가한 지하수 유입량 평점은 7~8로 큰 변화가 없으나 터널 내에서 수평시추로 평가한 지하수 유입량 평점은 풍화암 구간에서 4이고 수평시추심도 11~32 m의 경암 구간에서 7로 약한 차이가 나타났다. 터널 내에서 수평시추 중 지하수의 유입량을 정확하게 파악하기는 용이하지 않기 때문에 막장 관찰로 결정한 지하수 유입량과 차이가 발생하였으나 평점의 최대차이가 약 4로 거의 일치하고 있다.

4.7 불연속면의 방향에 따른 보정

Fig. 7은 수평시추공과 터널 막장에서 RMR 보정요소인 불연속면의 방향에 대한 평점을 비교한 것이다. 터널 막장을 관찰하여 평가한 불연속면의 방향은 터널 시공에 불리 혹은 매우 불리한 상태로 이에 따른 보정평점은 -10 혹은 -12이었으나 터널 내에서 수평시추로 평가한 불연속면의 방향에 대한 보정평점은 풍화암과 경암 모두에서 -7로 평가하였다. 터널 굴착 전 수평시추로 불연속면의 방향을 결정하는 것이 어렵기 때문에 보통과 불리의 중간값으로 보정평점을 추정한 결과 막장관찰로 보정한 평점과 비교하여 최대 5의 차이를 보였다.

5. 검토 및 고찰

수평시추와 터널막장 관찰로 평가한 RMR 평가요소 중 가장 큰 차이를 보이는 평가요소는 불연속면 상태에 대한 항목으로 그 차이는 24이었다. 그 다음으로 암질

지수에 대한 평점 차이는 15이고 단축압축강도에 대한 평점 차이는 13이었다. 불연속면의 간격과 지하수 상태 및 불연속면의 방향에 따른 보정 평점은 그 차이가 5이하로 상하 한 단계의 평점차이 이내이므로 두 방법으로 평가한 것이 일치한다고 간주할 수 있다. 따라서 불연속면의 상태와 암질지수 및 단축압축강도에 대한 평점 차이를 주로 분석하였다.

두 방법으로 평가한 불연속면의 상태에 대한 평점차이 24는 불연속면의 상태를 나타내는 최대평점이 30인 것과 비교하면 매우 큰 차이이다. 수평시추 심도 0~11 m와 33~48 m에서는 불연속면 상태에 대한 평점차이가 약 6~12로 변화가 없었다. 그러나 수평시추 심도 11~33 m에서 불연속면 상태에 대한 평점차이가 9~24 크게 변화하였다.

그런데 이 구간을 굴진하면서 막장의 지질 변화를 관찰한 결과 시추 시작점의 막장 전체는 풍화된 상태이었으나 터널을 굴진함에 따라 터널 하부에서 경암이 나타났고 풍화암과 경암의 경계선이 수평시추공 위치를 지나 터널의 상반까지 올라가는 경사진 상태를 보였다. 따라서 수평 시추 심도 11~32 m 구간에서 터널 상부는 풍화되고 그 하부는 경암이 분포한 상태이었다. 터널을 굴진하면서 터널 보강패턴을 결정하기 위하여 RMR값을 평가할 때에는 터널의 안정성에 영향을 주는 부분을 주로 고려하여야 하므로 수평시추심도 11~32 m인 구간에서 터널 막장관찰을 통하여 RMR값을 계산할 때에는 수평시추 부분인 터널 중앙부가 아니라 암질이 불량한 터널 상반을 기준으로 평가한 것이다. 그러므로 경암을 통과한 수평 시추와 터널 막장 중 불량한 부분을 관찰하여 산정한 RMR값은 크게 다를 수 있다. 즉 막장관찰 중 터널 상반 풍화암 부분을 중시하여 불연속면 상태를 평가하였기 때문에 그 수평시추와 막장

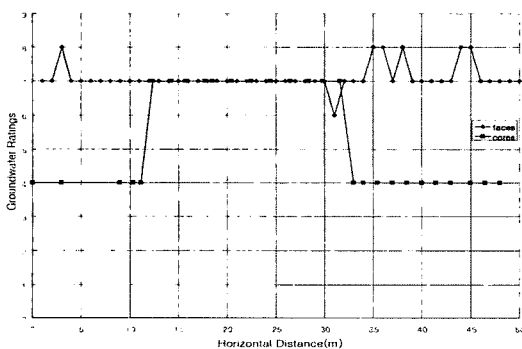


Fig. 6. Groundwater ratings of RMR system at tunnel faces and from horizontal boring cores in the tunnel

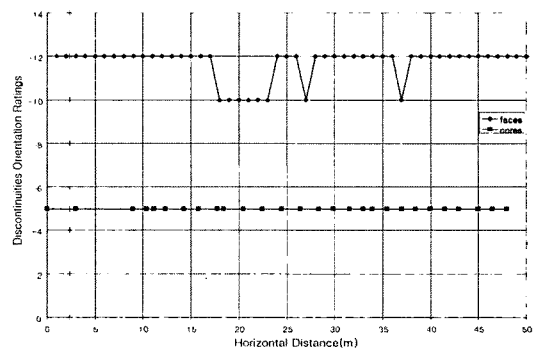


Fig. 7. Discontinuity orientation ratings of RMR system at tunnel faces and from horizontal boring cores in the tunnel

관찰에 의한 평점차이가 최대 24로 나타난 것이다. 같은 이유로 암질지수에 대한 평점 차이도 15까지 발생하였다.

그런데 직경이 약 3.4 m인 터널 내에서 수평시추공의 위치는 터널 바닥에서 위로 약 1.5~1.9 m 떨어진 곳이다. 수평시추 조사의 목적은 터널 아치부의 암반 상태를 확인하고 보강하기 위한 것이었다. 만약 수평시추공의 위치를 터널 아치부에 근접하도록 변경하였다면 수평시추에 의해 분석한 불연속면의 상태와 암질지수는 터널 상반부의 풍화암대를 기준으로 결정되므로 굴착 중 막장에서 관찰한 불연속면 상태와 거의 같은 평점으로 평가되었을 것이고 터널 아치의 역학적 안정성에 대해 더 정확한 예측이 가능하였을 것이다.

또 암석의 단축압축강도에 대한 평점 차이를 분석하였다. 수평시추로 평가한 단축압축강도 평점으로부터 암석의 단축압축강도를 역산하고 이를 설계 단계에서 강도시험을 통하여 구한 암석의 단축압축강도와 비교하면 막장에서 슈미트해머로 측정된 평점과의 차이를 분석할 수 있을 것이다. 수평시추에서 예측한 암석의 단축압축강도에 대한 평점이 12~15일 경우는 암석의 강도가 100~250 MPa이어야 한다. 그런데 설계 단계의 시추조사 중 본 파쇄대가 아닌 양호한 지반에서 얻은 암석 코어를 가지고 단축압축강도를 측정된 결과 한 개의 시편에서 약 100 MPa로 측정된 것을 제외하고 나머지 암석에서는 28~75 MPa의 강도를 보였으며 이를 RMR값으로 평가하면 약 4~7 정도이다. 설계단계의 시추조사에 의하면 본 구간은 파쇄대로 강도시험을 위한 암석코어를 얻을 수 없는 상황이었으므로 단축강력이라 하더라도 파쇄대가 아닌 구간의 암석강도보다 크지 않도록 평가하는 것이 합리적일 것이다. 따라서 단축압축강도에 대한 RMR평점은 약 7로 평가하는 것이 적절할 것이다. 만약 수평시추심도 14~30 m 구간에서 수평시추로 예측한 단축압축강도에 대한 평점이 위와 같은 가정을 기준으로 4~7로 평가되었다면 수평시추와 막장관찰로 구한 단축압축강도에 대한 평점은 거의 같아지게 된다.

수평시추와 막장관찰로 평가한 RMR값에 차이가 발생한 또 다른 원인은 RMR 분류기준을 개선되지 않은 최초로 제안된 분류기준을 적용한 것이다. 최초로 제안된 RMR 분류 항목 중 불연속면의 상태를 예로 들면 정성적인 특성으로 평점 30까지 선택할 수 있었으나 개선된 분류기준에 따르면 불연속면 연속성의 길이, 불연속면의 분리 틈, 불연속면의 거칠기, 불연속면 분리 틈의 충전 두께, 불연속면의 풍화도로 구분한 5개 소항목 각각에 대해 5단계로 나는 세부평점을 부여하여 평가할

수 있으므로 수평시추와 막장관찰로 결정한 평점의 차이는 감소하게 될 것이다[7].

6. 결 론

터널 내에서 수평 시추한 위치가 터널막장 중앙이고 시추결과에 따른 기본RMR값은 20~79이었으나 터널 막장 관찰로 평가한 기본RMR값은 22~35이었다. 두 방법으로 구한 기본RMR값을 비교할 때 최소값은 거의 일치하나 최대값에서 큰 차이를 보였다. 이는 수평시추한 단층대 내 일부 구간의 터널 중앙부분이 경암이었으나 굴착 후 관찰한 터널 상반은 파쇄된 상태로 나타났기 때문이다. 이에 따라 수평시추와 터널막장을 관찰하여 구한 기본RMR값의 최대 차이는 약 50이었다. 그런데 기본 RMR값을 결정하는 5개 항목 중 가장 큰 차이를 보인 것은 불연속면의 상태에 대한 평점으로 24의 차이를 보였다. 그 다음으로 암질지수 평점에서 15의 차이가, 단축압축강도에서 13의 차이가 발생하였다.

두 방법에서 평가한 RMR값이 차이가 나는 것은 수평시추로는 터널막장 전방 작은 부분에 대해 암반 상태를 파악할 수 있으나 굴착한 터널막장을 관찰한 경우에는 수평시추공의 위치에 관계없이 터널의 안정성에 가장 큰 영향을 줄 수 있는 부분에서 기본RMR값을 구하였기 때문이다. 따라서 터널 내에서 수평시추로 막장 전방의 암반상태를 파악하기 위해서는 시추공의 위치를 터널막장의 중앙보다 터널의 안정성을 유지하는데 가장 큰 영향을 주는 곳으로 선정하면 두 방법으로 구한 RMR값의 차이를 줄일 수 있을 것이다.

이와 같이 수평시추공의 위치를 터널의 안정성에 영향을 줄 수 있는 곳으로 선정하면 RMR평가 요소 중 암질지수와 단축압축강도에 대한 평점은 그 차이가 거의 없어질 것이다. 또 불연속면에 대한 평점은 불연속면 연속성의 길이, 불연속면의 분리 틈, 불연속면의 거칠기, 불연속면 분리 틈의 충전 두께, 불연속면의 풍화도 등 5개 소항목 각각에 대해 5단계로 나는 세부적인 평점을 부여하면 수평시추에 의한 터널막장 전방의 공학적 암반분류가 더 정확해 질 것이다.

참고문헌

1. OO터널 기본 및 실시설계 보고서, 1996.
2. OO터널 지질조사 보고서, 1999.
3. OO터널 수평시추조사 보고서, 2000.
4. OO터널 수평시추조사 보고서, 2001. 1.
5. OO터널 수평시추조사 보고서, 2001. 3.
6. Bieniawski Z.T., 1984, Rock Mechanics Design in Mining

- and Tunneling, A. A. Balkema, 112-120.
7. Bieniawski Z.T., 1993, Classification of rock masses for engineering: The RMR system and future trends, Comp-

rehensive Rock Engineering, Pergamon Press, Vol. 3
553-565.



김치환

1983년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1985년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학석사
1990년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학박사

Tel: 062-290-1468

E-mail: kimcheen@korea.com

현재 우석대학교 토목공학과 교수
