KGS Fall '96 National Conference / 25~26, October, 1996 / Seoul / Korea

암반 분류를 위한 평사 투영법
Stereographic Method for Rock Mass Classification

윤운상[1], Woon-sang Yoon, 김학수[2], Hag-Soo Kim, 최정수[1], Jeong-Soo Choi
배성호[1], Seong-Ho Bae, 최용근[1], Yong-Keun Choi

[1] 동부건설(주) 기술연구소 연구원, Researcher, R & D center, Dongbu Eng. & Cons.
[2] 동부건설(주) 기술연구소 선임 연구원, Ph.D., R & D center, Dongbu Eng. & Cons.

SYNOPSIS : 'Stereographic method for rock mass classification' is a field rock mass classification method to integrate pre-existed rock mass classification method(e. g. RMR) and stereographic method. In order to classify rock mass of slope and tunnel using the stereographic method, SMR-net(Slope rock Mass Rating-net) and TMR-net(Tunnel rock Mass Rating-net) are designed as the polar nets with modified discontinuity orientation adjustment criteria based on RMR system. The SMR-net and TMR-net may give the reasonable adjustment rating for RMR classification and geotechnical informations of failure type, shape and direction to field engineers.

Key words : stereographic method, RMR, SMR-net, TMR-net, discontinuity orientation adjustment

1. 서 론

터널 및 지하공간, 사면 등 암반 구조물은 그 시공 대상이 되는 암반의 상태에 따라 적합하고 신속한 설계 및 시공이 수행되어야 하며, 암반 상태에 부적절하거나 수동적인 시공이 실시되었을 경우에는 예상치 못한 지반 사고가 발생하여 인적 물적 손실을 가져다 주기도 한다. 이러한 지반 사고의 방지를 위하여 각종 암반 구조물의 시공 현장에서는 시방에 따라 일상 계측의 하나로서 암반 분류를 실시하고 있으나, 이에 대한 분석과 지침의 생산을 위한 주요 자료로서의 활용성은 아직까지 미흡한 실정에 있어 지반상태의 변화에 따라 보다 적합하고 신속한 대응 방침을 마련하려는 본래 취지가 제대로 살려지지 못하는 면이 있다. 특히 암반 시공시 안정성에 중요한 역할을 하는 불연속면 방향에 대하여 현장에서 사용할 수 있는 효율적인 평가 기준 역시 주관적인 판단에 의존하고 있는 상태이다.

'암반 분류를 위한 평사 투영법'은 현재 각종 암반을 대상으로 하는 시공 현장에서 일상적인 암반 평가방법으로 널리 사용되고 있는 암반 분류법과 평사 투영법의 장점을 통합 구성함으로써 현장 기술자가 불연속면 방향에 대한 분석을 효과적으로 수행하여 암반 상태를 합리적으로 평가하므로써 현장에서 직접 대응 시공할 수 있도록 하는 데 주안점을 가지고 개발되었다.

2. 기존 암반 평가법과의 비교

2.1 RMR 분류에서의 불연속면 방향 평가

RMR 암반 분류법(Bieniawski, 1989)은 Q-system과 더불어 현재 세계적으로 널리 통용되는 경험적인

암반 평가법으로서 시공 대상이 되는 암반의 제반 특성을 경험적인 통계에 의해 합리적으로 점수화하고 등급을 나누어 설계 및 시공상의 객관적인 기준을 제공하므로써 특히 현장 지질에 대한 신속한 대응이 요구되는 터널 현장에서 효과적으로 사용되고 있다.

그러나, 터널, 사면, 기초 등 구조물 방향과 불연속면 방향의 각 관계에 따라 기본 RMR 값을 보정하는 불연속면 방향 평가의 구체적인 기준이 터널에 대하여 주로 설정되어 있으며, 이 평가 기준 역시 설정이 단속적이고 모호하여 주관적 요소가 강할 뿐 아니라 잠재적인 지반 사고의 유형이나 원인을 분석하기 어려운 한계가 있다(표 1). 이를 보완하기 위하여 Romana(1993)에 의해 개발된 SMR 분류법(Slope Mass Rating system)은 사면에 대한 불연속면의 방향 평가 기준을 보다 명확하게 설정하여 사면의 평면 또는 전도 파괴에 대한 보정 점수를 산정하므로써 기본 RMR 값을 보정하고 있다 (표 2).

표 1. RMR의 암반 등급 보정을 위한 불연속면 방향 평가 기준 (Bieniawski, 1989)

불연속면의 주향 및 경사		매우 불리	불리	양호	유리	매우 유리
절리 방향 보정 점수	터 널	-12	-10	-5	-2	0
	사 면	-60	-50	-25	-6	0
	기 초	-25	-15	-7	-2	0

불연속면의 주향 및 경사		매우 불리	불리	양호	유리	매우 유리
점수		-12	-10	-5	-2	0
터널 축에 수직인 주향	경사방향 굴진				경사 20-45	경사 45-90
	반경사방향 굴진		경사 20-45	경사 45-90		
터널 축에 평행한 주향		경사 45-90		경사 20-45		
주향에 무관한 경우				경사 0-20		

표 2. SMR의 사면 암반 등급 보정을 위한 불연속면 방향 평가 기준(F1×F2×F3)

유 형	평 가 기 준	매우 유리	유리	양호	불리	매우 불리
P	$\lvert \alpha_j - \alpha_s \rvert$	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
T	$\lvert \alpha_j - \alpha_s - 180 \rvert$	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
P/T	F1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P	$\lvert \beta_j \rvert$	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
P	F2	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T	F2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (-10°)	< -10°
T	$\beta_j + \beta_s$	< 110°	110° - 120°	> 120°		
P/T	F3	0	-6	-25	-50	-60

P = 평면 파괴 α_s = 사면의 경사방향 α_j = 불연속면의 경사방향
T = 전도 파괴 β_s = 사면의 경사 β_j = 불연속면의 경사

2.2 기존 평사 투영법의 불연속면 방향 평가

RMR 등 암반 분류법은 불안정한 암괴의 분석과 지반 사고의 예측 그리고 지질 구조 분포 양상에 대해 전반적인 이해가 미흡할 수밖에 없어 현장에서 이를 비교적 손쉽게 수행하기 위하여 평사 투영법을 이용한 암반 평가법이 사용되고 있다.

특히 Markland(1972)의 평사 투영법은 평사 투영한 암반 내 불연속면들의 방향과 각종 암반 구조물의 자유면 방향과 비교하므로써 불안정한 불연속면 및 암괴를 분석하여 비교적 간편하게 시공 및 지보 설치를 위한 각종 정보를 획득할 수 있는 특징을 가지고 있어 유용하게 응용되고 있다(Hoek and Bray, 1974, 그림 1; Hoek and Brown, 1980, 그림 2). 그러나, 현재 각종 시공 방식의 기준을 제공하는 RMR 등 암반 분류법에 객관적인 지수를 직접 제공하기 어려운 한계를 가지고 있어 일상적인 계측보다는 설계시 또는 문제 발생 시에 주로 사용되고 있다.

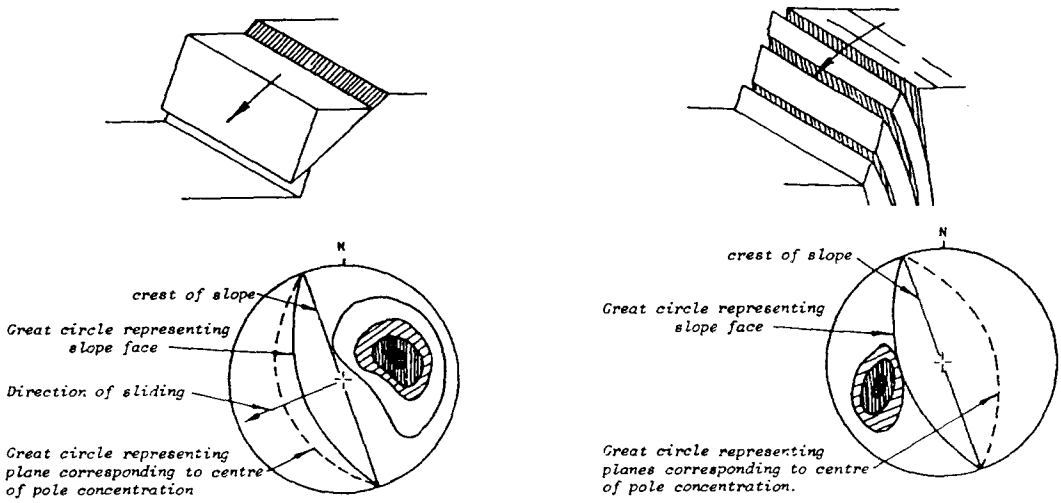

그림 1. 기존 평사 투영법의 사면에 대한 불연속면 방향 평가(Hoek and Bray, 1974)

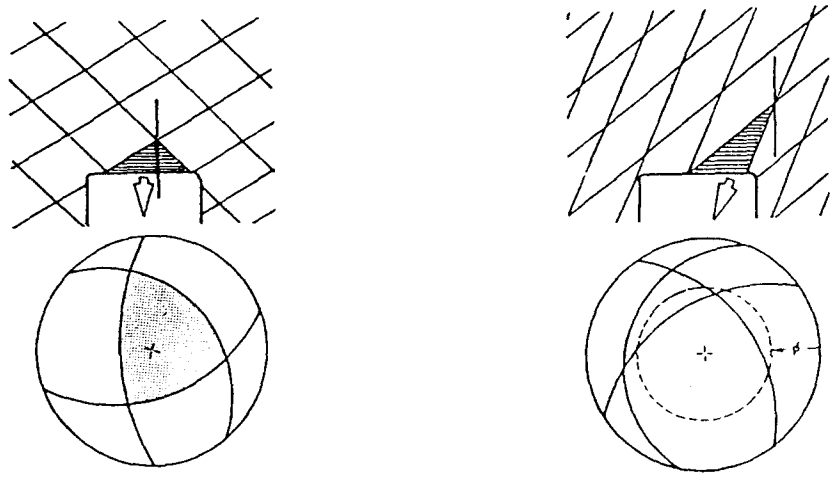

그림 2. 기존 평사 투영법의 터널에 대한 불연속면 방향 평가 (Hoek and Brown, 1980)

2.3. '암반 분류를 위한 평사 투영법'의 불연속면 방향 및 암반 평가 체계

위와 같은 기존의 현장 암반 분류 및 평사 투영법의 한계를 개선하고, 이 두 가지 현장 암반 평가법을 일상적인 암반 검측에서 통합적으로 운영한다면 불연속면을 포함한 현지 암반 평가의 질을 높이고, 대상 암반의 유용한 지질 정보를 합리적이고 효과적으로 획득할 수 있을 것이다. '암반 분류를 위한 평사 투영법'은 이러한 목적으로 개발된 암반 평가 시스템으로서 특히 암반 시공 시 중요한 역할을 하는 불연속면의 방향 평가에 중점을 두어 터널 및 사면에 대한 영향을 보다 합리적으로 평가할 수 있는 기준을 설정하고 이를 투영망 상에 도시한 SMR-net(사면의 암반 평가를 위한 투영망)과 TMR-net(터널의 암반 평가를 위한 투영망)등 암반 평가를 위한 투영망(RMR-net)을 통하여 각종 불연속면 분석 및 기본 RMR 값의 보정을 위한 방향 평가값을 투영망에서 직접 구하고 총 RMR값 산정 및 암반의 종합적 평가를 현장에서 체계적으로 수행할 수 있도록 하였다.

'암반 분류를 위한 평사 투영법'을 이용한 현장 암반 평가 체계는 다음 그림 3과 같다.

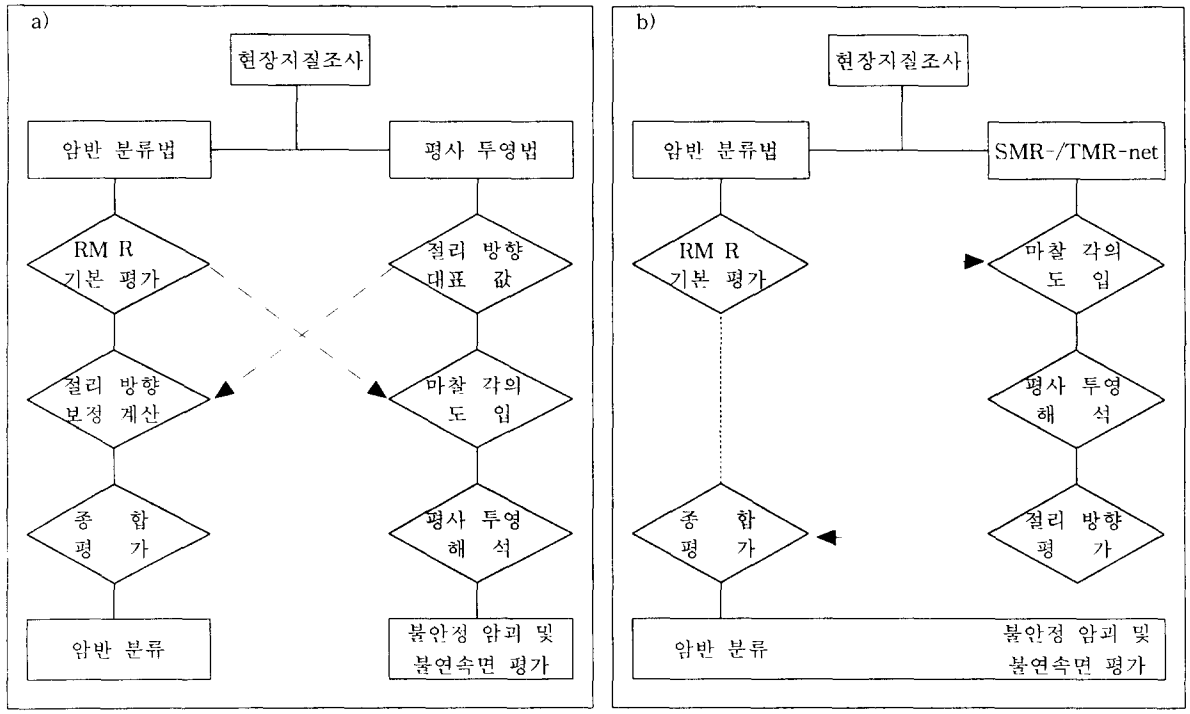

그림 3. '암반 분류를 위한 평사 투영법'을 이용한 암반 평가 체계
a) 기존 암반 평가 체계, b) 암반분류를 위한 평사투영법을 이용한 암반 평가 체계

3. 암반 평가를 위한 투영망(RMR-net: SMR-net / TMR-net)

'암반 평가를 위한 투영망'은 각 암반 구조물에 대한 불연속면 방향의 평가 기준을 보완 재설정하고 이를 투영망에 도시한 것으로서 사면의 암반 평가를 위한 SMR-net(그림 4)과 터널의 암반 평가를 위한 TMR-net(그림 5)로 구성되었으며, 불연속면 방향 평가 기준의 설정과 투영망 도시에 대한 기본 개념은 다음과 같다.

1) 현장 활용에 간편한 극투영망을 기본 투영망으로 사용하였다.

기존의 평사 투영법에서 흔히 쓰이고 있는 적도 투영망에 비하여 불연속면의 극점 표시가 보다 간편한 극투영망을 이용하여 SMR-net 및 TMR-net를 구성하였으며, 현장에서 극투영망의 선을 따라 SMR-net 및 TMR-net를 바로 작도할 수 있도록 하여, 극투영망이 포함되어 있는 현장 암반 조사표 상에서 즉시 SMR-net 및 TMR-net를 구성하여 기본 RMR 값을 보정하고 총 RMR 값과 암반 등급을 구할 수 있도록 하였다.

2) RMR 평가 기준을 기본으로 불연속면의 daylight envelope와 마찰각을 도입하였다.

암반 등급평가를 위한 투영망의 불연속면 방향 평가 기준은 우선적으로 RMR의 평가 기준을 충분히 반영하고 기존의 평사 투영법(그림 1, 2)과 SMR(표 2)에서 고려하고 있는 노출 범위 및 마찰각을 도입하여 보다 일반적으로 사용할 수 있는 불연속면 방향 평가 기준을 설정하였다.

표 3은 SMR-net의 사면 암반에 대한 불연속면 평가 기준이며, 표 4는 TMR-net의 터널 암반에 대한 불연속면 평가 기준으로서 daylight envelop와 마찰각을 불연속면 및 구조물의 방향에 관련시켜 평가 기준을 설정하였다.

표 3. SMR-net의 사면 암반 등급 보정을 위한 불연속면 방향 평가 기준(F1×F2×F3)

유 형	평 가 기 준	매우 유리	유리	양호	불리	매우 불리
P, W	$\lvert \alpha_j - \alpha_s \rvert$	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
T	$\lvert \alpha_j - \alpha_s - 180 \rvert$	> 30°	30° - 20	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
P, W/T	F1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P, W	$\beta_j - \varphi$	< -10°	10°	0°	10°	> 10°
P, W	F2	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T	F2	1	1	1	1	1
P, W	$\beta_j - \beta_s$	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (-10°)	< -10°
T	$\beta_j + \beta_s - 90 - \varphi$	< -10°	-10° - 0°	0°		
P, W/T	F3	0	-6	-25	-50	-60

P = 평면 파괴　　W = 쐐기 파괴　　T = 전도 파괴
α_s = 사면의 경사방향 (또는 주향)　　α_j = 불연속면의 경사방향(또는 주향)
β_s = 사면의 경사　　β_j = 불연속면의 경사　　φ = 내부 마찰각

표 4. TMR-net의 터널 암반 등급 보정을 위한 불연속면 방향 평가 기준(F1×F2 또는 C)

유 형	평 가 기 준	매우 유리	유리	양호	불리	매우 불리
S	$\lvert (\alpha_j \pm 90) - \alpha_t \rvert$	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
F	$\lvert \alpha_j - \alpha_t \rvert$	< 10	10 - 20	-	160 - 200	170° - 190°
S, F	F1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
S	$\beta_j - \varphi$	< -10°	10°	0°	10°	> 10°
F	β_j		> 60	< φ	φ - 60	
S, F	F2	0	-2	-5	-10	-12

C			점수
암괴 붕락	투영망의 중심점이 암괴 삼각형 내부에 포함		-10 (불리)
쐐기 활동	투영망의 중심점이 암괴 삼각형의 외부에 존재	β_{j1}, β_{j2}, β_{j3} > φ	-5 (양호)
		β_{j1} < φ, β_{j2} or β_{j3} > φ	-2 (유리)
		β_{j1}, β_{j2}, β_{j3} < φ	0 (매우 유리)

S: 측벽부 파괴, F: 막장면 파괴, C: 천정부 파괴
α_t: 터널의 굴진 방향, α_j: 불연속면의 경사 방향,
β_{j1} / β_{j2} /β_{j3}: 불연속면(j1, j2, j3)의 경사 φ: 불연속면의 내부 마찰각,

3) 암반 구조물의 특성과 암반 붕괴의 유형에 따라 불연속면의 평가 기준을 설정하였다.

불연속면 방향에 대한 영향을 가장 많이 받는 것으로 알려진 사면은 절취된 면에서 암반 붕괴가 일어나며, 그 면에 대한 불연속면의 노출 범위가 매우 중요한 평가 요소가 된다. 이에 대한 평가 기준이 비교적 세심하게 설정되어 있는 SMR과 기존의 평사 투영법에 입각하여 사면의 주향과 경사 그리고 분포하는 불연속면의 방향과 마찰각에 대하여 사면에서 발생할 수 있는 평면 파괴, 쐐기 파괴, 전도 파괴 및 원호 파괴의 유형 분석과 이에 따른 기본 RMR 값의 보정을 수행할 수 있도록 평가 기준을 설정하고 이를 SMR-net로 구성하여 투영망상의 범위로 표시하였다 (그림 4).

터널 역시 불연속면의 방향에 대한 십대한 영향을 받는 암반 구조물로서 사면과는 달리 막장면, 천정부 및 좌, 우 측벽부 등 4 개면에서 암반 붕괴가 일어날 수 있다. RMR의 터널에 대한 불연속면 방향 평가 기준에서는 터널의 굴착 방향에 따른 막장면 및 측벽부의 평면 파괴에 대하여 기준을 설정해 놓으며, 기존의 평사 투영법에서는 세 개의 불연속면에 의하여 구획되는 불안정 암괴의 붕괴 가능성 및 형상을 분석할 수 있도록 하였다. TMR-net에서는 사각 단면으로 단순화시킨 터널에서 터널의 굴진 방향과 불연속면의 방향 및 마찰각에 대하여 발생할 수 있는 막장면 붕괴(평면 및 쐐기 활동), 측벽부 붕괴(평면 및 쐐기 활동), 천정부 붕락 및 쐐기 활동의 유형 분석과 이에 대한 기본 RMR 값의 보정 기준을 설정하고 투영망상의 범위로서 표시하였다. 이때 RMR 분류에 따르면 기본 RMR 값의 보정을 위한 불연속면 방향 평가 기준이 터널 막장면 또는 측벽에 대한 평면 파괴를 가정하므로 TMR-net에서는 전도를 고려하지 않은 수직면에서의 SMR-net의 평면 또는 쐐기 파괴 보정 범위에 근거하여 범위 기준을 설정하였다(그림 5).

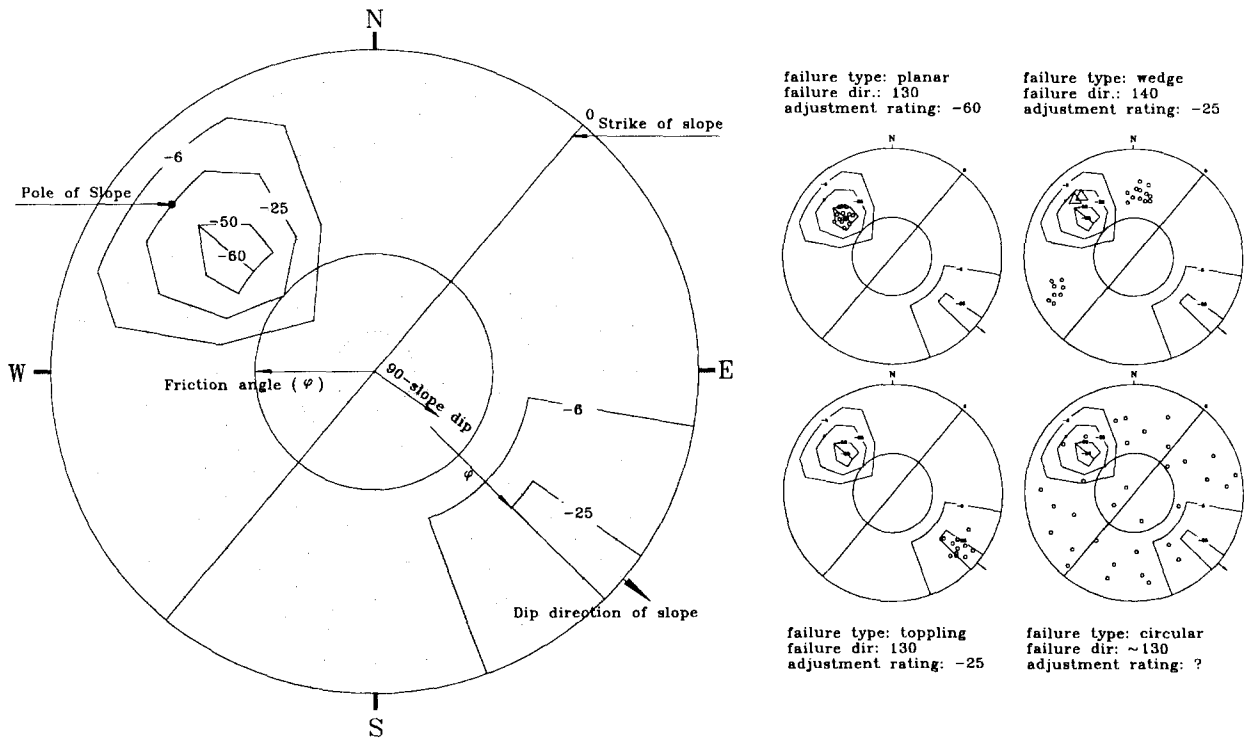

그림 4. SMR-net 및 SMR-net를 이용한 사면에서의 불연속면 방향 평가

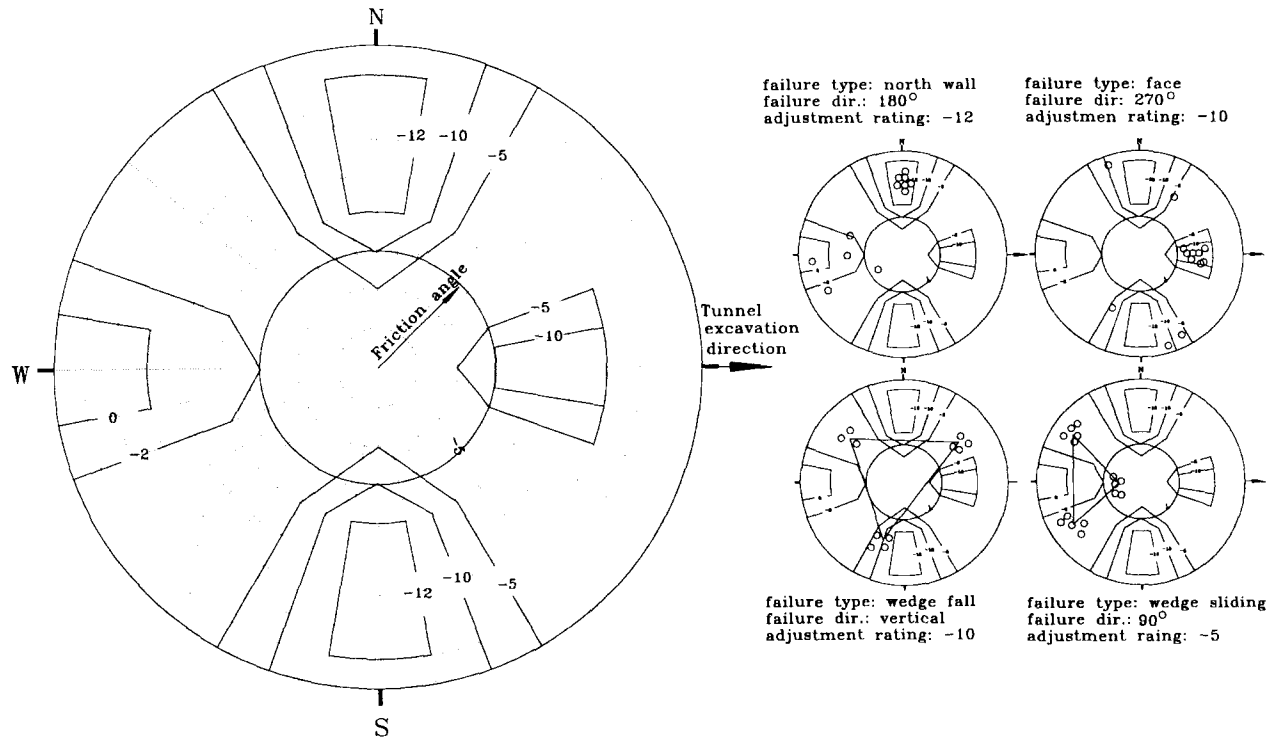

그림 5. TMR-net 및 TMR-net를 이용한 터널에서의 불연속면 방향 평가

4. TMR-net를 이용한 터널의 시공 관리

'암반 분류를 위한 평사 투영법'은 암반 구조물의 설계 및 시공 상에서 부딪히는 불연속면에 대한 문제를 일상적으로 수행하는 현장 암반 검측을 통하여 예측하고, 해결하고자 하는 분석 기법으로서 TMR-net가 첨부된 암반 검측 대장을 이용하여 터널 막장의 일상 관찰을 수행한 결과, 절리방향에 대한 RMR 보정이 보다 객관적인 기준에 의하여 실시되었으며, 각 막장에 대한 불안정한 불연속면 및 암괴의 분석 및 주의 대책을 마련할 수 있었다.

그림 6은 이렇게 일상적으로 진행된 TMR-net를 이용한 암반 분류 및 평가 자료를 시공 단위 별로 TMR-net를 이용하여 다시 통계 분석하므로써 암반 분류 및 구간에 대한 지보 대책을 수립하고, 전방의 지질 상태를 예측 대비할 수 있도록 한 자료로서, RMR 보정을 위한 객관적인 불연속면 평가와 함께 불안정 암괴의 예측이 터널 전구간의 굴착 및 지보 선정과정에서 성공적으로 이루어졌다 (동부건설(주) 기술연구소, 1996).

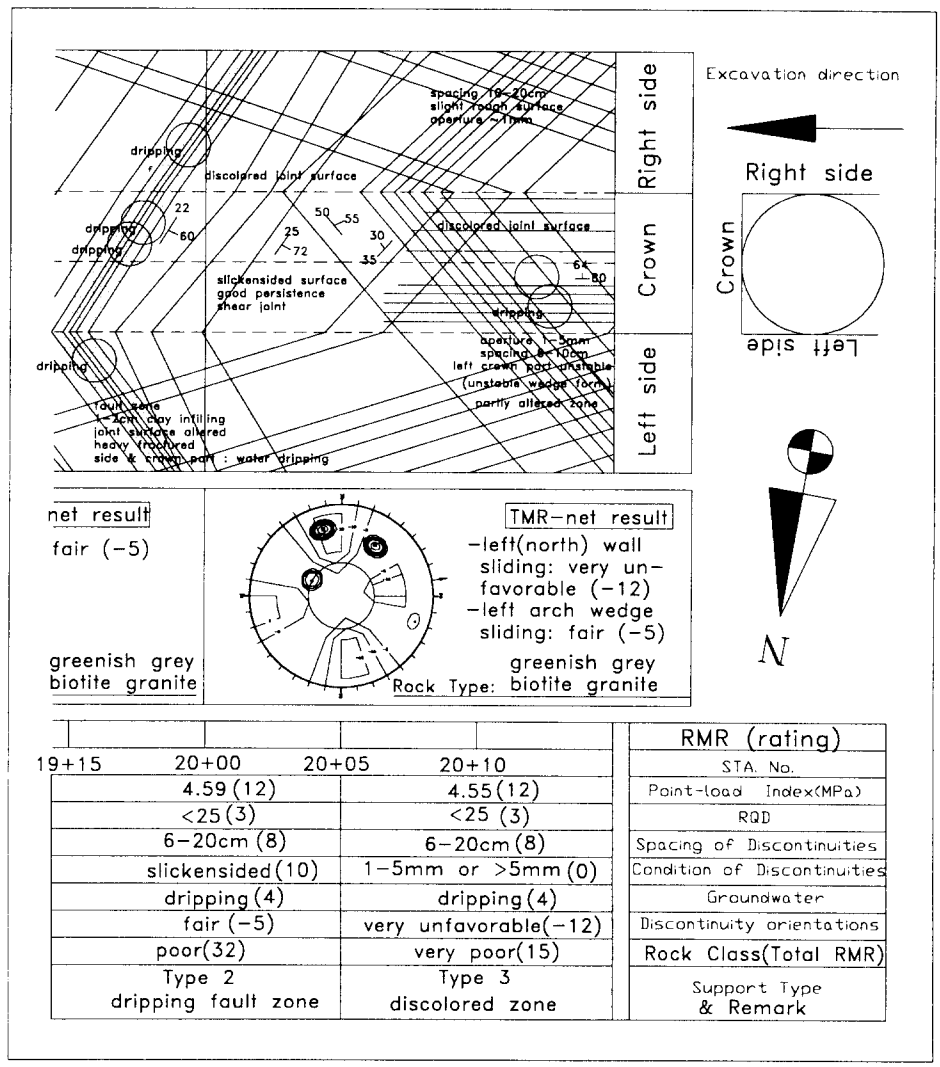

그림 6. TMR-net를 이용한 터널 지질 전개도 일부

5. 결 론

'암반 분류를 위한 평사 투영법'은 기존의 RMR 분류에서 모호하게 설정되었던 암반 구조물에 대한 불연속면 방향의 평가 기준을 보다 일반적으로 적용 가능한 기준으로 재설정하고, 불연속면 방향에 의한 기본 RMR의 보정값을 투영망 상에서 직접 도출하는 동시에 평사 투영법이 제공할 수 있는 제반 정보를 획득할 수 있도록 하여 현장 기술자의 암반 시공에 대한 대처 능력을 보다 확장하기 위해 개발된 기법으로서 현장에서 일상적으로 수행되는 현장 암반 검측의 내용으로 구성되었다.

이상의 기법을 터널 현장의 암반 검측에 적용시킨 결과, 보다 객관적인 현장 불연속면 방향 평가 및 암반 평가가 실시되었으며, 현장 지질에 대한 신속한 대응 및 예측 뿐 아니라 전반적인 시공 관리에도 효과적으로 활용할 수 있었다.

6. 참고문헌

1. 동부건설(주) 기술연구소(1996), 횡성댐 가배수 터널 및 발전수로 터널의 지보 설치를 위한 지질조사 및 암반 평가, DB-GEO-96-35.
2. Bieniawski, Z.T. (1989), Engineering Rock Mass Classifications, John Wiley & Sons, New York, pp.51-72.
3. Hoek, E., and Bray, J. (1974), Rock slope engineering, Inst. Min. Metall., London, Eng., pp. 37-63.
4. Hoek, E., and Brown, E.T. (1980), Underground excavations in rock, Inst. Min. Metall., London, Eng., pp.183-242.
5. Markland, J. T. (1972), "A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge sliding type of failure is expected". Imperial College Rock Mechanics Research Report No. 19, pp 10.
6. Romana, M. R., (1993), "A geomechanical classification for slopes: slope Mass Rating", Comprehensive Rock Engineering. Hudson, J.A. eds., Pergamon Press, U.K., Vol 3, pp. 575-601.