

# 도로터널에서 지보패턴별 굴착지수 상관관계 고찰

## Correlation Between Drilling Parameter and Tunnel Support Pattern Using Jumbo Drill



김낙영\*  
Kim, Nag-Young



김성환\*<sup>2</sup>  
Kim, Sung-Hwan



정형식\*<sup>3</sup>  
Chung, Hyung-Sik

### Abstract

Four road tunnels of which the construction conditions were similar were selected in the paper, and laboratory tests and rockmass classification for the tunnels were carried out. And the analysis was performed to find out the correlation between ratio of bit abrasion or drilling parameter and support pattern of tunnel using jumbo drill machine. It was analyzed that there was average abrasion of bit from 11.85% to 3.25% per support patterns of tunnel in four tunnels. Drilling parameter happens to fluctuate according to extent of fracture zone.

**Keywords:** Drilling Parameter, Ratio Of Bit Abrasion

\*1 정회원, 한국도로공사 도로연구소 책임연구원

\*2 정회원, 한국도로공사 도로연구소 부처장

\*3 정회원, 한양대학교 토목공학교 교수

## 요 지

본 연구에서는 시공여건이 유사한 도로터널 4개소를 선정하여 실내시험 및 막장지질조사를 실시하였고 그 결과와 점보드릴을 활용하여 얻을 수 있는 비트마모율과 굴착지수의 상관관계를 지보패턴별로 분석하였다. 연구대상 4개 도로터널에 대한 평균비트마모율은 지보패턴별로 11.85%에서 3.25%로 차이를 보였고 굴착지수는 주로 파쇄대의 발달정도에 따라 변동이 발생하였다.

**주요어:** 굴착지수, 비트마모율

## 1. 서론

산지가 전 국토의 70%를 차지하고 있는 우리 국토의 지리적 특성과 생활수준 향상에 따라 쾌적한 주행에 대한 요구가 높아지므로서 양호한 도로 선형확보가 강조되고 있다. 특히, 건설정책의 방향이 친환경적 건설로 강조됨에 따라 사면절토로 인한 자연환경훼손을 최소화하기 위하여 고속도로 신설공사와 확장공사시 터널공사가 급증하고 있고 규모·연장면에서도 과거와는 비교 할 수 없을 정도로 장대화 되어가고 있는 추세이다. 도로터널은 일반 구조물들과는 달리 지중에 건설되는 구조물로서 굴착중 시공성과 안전성을 확보하기 위하여 사전에 지질조건을 충분히 파악하는 것이 중요하다.

굴착 막장전방에 예상치 못한 연약파쇄대와 같은 층들로 인해 부적절한 굴착방법 및 지보패턴 적용으로 발생하는 막장붕괴와 같은 안전상의 문제로 인한 막대한 경제적 손실이 발생하게 된다.

그러므로 일반적으로 막장전방에 풍화가 심한 파쇄대 층이나 단층등이 예상되는 경우, 안전하고 효과적인 터널 굴착을 위하여 정밀지질조사를 실시하여 굴착방법 및 보강방법을 결정하여 적용한다. 그러나 이와같은 추가적인 정밀조사방법은 안전성 측면에서는 유리하나 공기지연과 추가적인 장비가 투입되므로 많은 비용과 시간이 소요된다.

최근들어 일부 현장에서 막장전방의 암반특성을 좀 더 간편하고 시공공정의 지연없이 예측하고자 점보드릴에 컴퓨터를 탑재하여 암반천공작업과 더불어 굴착지수를

측정하여 암반상태를 파악할 수 있는 장비를 외국에서 도입, 일부 시범적으로 적용하고 있다. 그러나 국내 특성에 맞는 기초적인 자료나 객관적인 판단기준이 없는 상태이므로 막장암질 판정결과를 현장에서 즉시 활용하는데 어려움이 있다. 그러므로 본 연구에서는 현장에서 천공작업에 널리 이용되고 있는 점보드릴을 활용, 지보패턴분류에 기초적인 자료로 활용토록 하기 위하여 지보패턴별 평균 비트마모율을 조사하였고 막장전방암반에 대한 굴착지수(Drilling Parameter) 즉, IAS(Instantaneous Advance Speed, 순간전진속도)와 TP(Tool Pressure, 기계압), TQ(Torque, 회전력) 측정결과와 막장지질조사결과를 비교 분석하였다.

## 2. 연구 대상 현장 현황

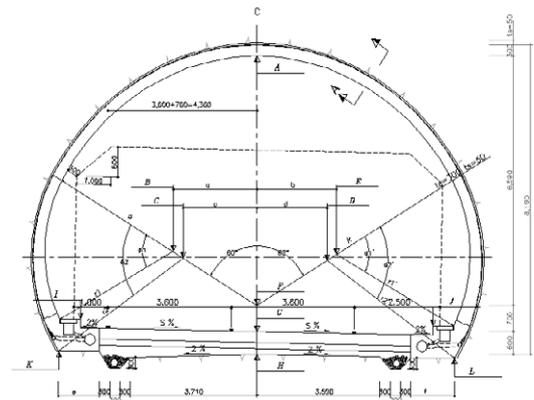


그림 1. 연구대상 터널 단면도(2차로)

표 1. 한국도로공사 분류기준

지보패턴	암질	RMR	일축압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )
Type I	경암	100~81	1,200이상
Type II	보통암	80~61	1200~800
Type III	연암	60~41	800~600
Type IV	풍화암	40~21	600~250
Type V	풍화암(토)	20이하	250이하

그림 1~그림 5와 같이 시공공정 및 여건이 유사한 2차로 터널 4개 현장을 선정하여 천공시 각 지보패턴에 대한 비트마모율의 상관관계를 조사분석하였다.

### 2.1 지보패턴별 천공결과분석

한국도로공사 지보패턴 분류기준 및 현장에서 천공에

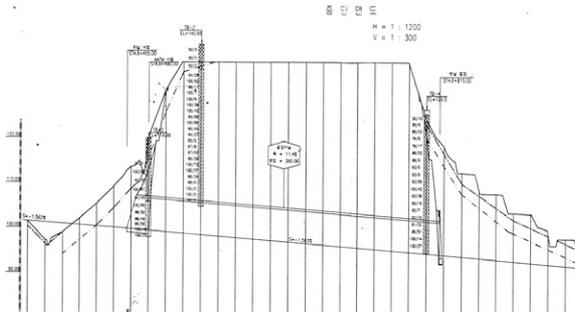


그림 2. A 터널 종단면도

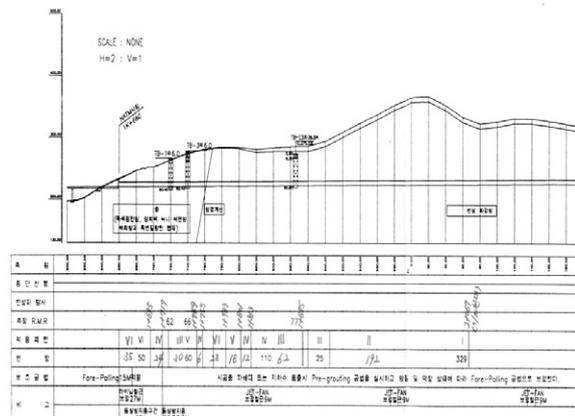


그림 4. C 터널 종단면도

표 2. 점보드릴 내역

품명	Data Titan 316-150(3-Boom)
제원	11,900mm×2,500mm×43,000kg (길이×폭×중량)
작업범위	(높이×폭)11,800mm×16,600mm
착암기	중량 = 130kg, 길이 = 1,025mm
작동압력	타격력 = 230ba, 회전력 = 1,756ba 최대토크 = 400Nm
드릴비트	45mm(Type : 버턴식 9팁)

사용된 점보드릴 사양은 표 1, 표 2와 같고 각 터널들의 지보패턴별 천공장, 천공시간, 비트마모율은 표 3~표 6과 같다.

연구대상 2차로 도로터널 4개 현장에 대한 각 지보패턴별 비트마모율을 분석해 보면 그림 6~그림 10과 같이 지보패턴 II의 평균 비트마모율은 11.85%, 지보패턴 III

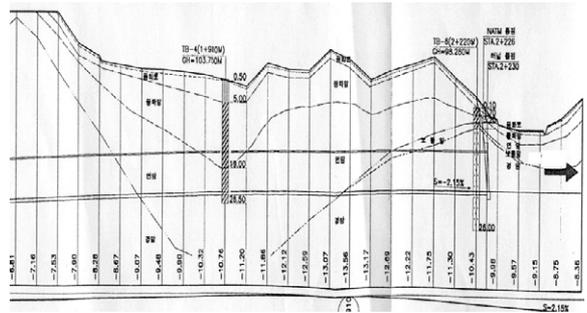


그림 3. B 터널 종단면도

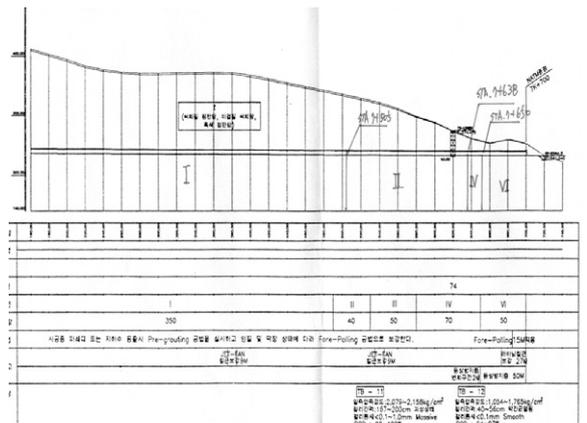


그림 5. D 터널 종단면도

표 3. A 터널 암반등급별 천공

암반 등급	천공장 (m/공)	천공시간 (min/공)	비트마모율 (%/공)
Type I	-	-	-
Type II	3.70	2.22	11.57
Type III	2.20	1.52	6.67
Type IV	1.65	1.34	4.85
Type V	1.30	0.99	3.71
Type VI	1.10	0.89	3.06

표 4. B 터널 암반등급별 천공

암반 등급	천공장 (m/공)	천공시간 (min/공)	비트마모율 (%/공)
Type I	-	-	-
Type II	-	-	-
Type III	2.1	1.6	8.2
Type IV	1.6	1.4	5.3
Type V	1.3	1.2	4.1
Type VI	1.1	1.1	3.5

표 5. C 터널 암반등급별 천공

암반 등급	천공장 (m/공)	천공시간 (min/공)	비트마모율 (%/공)
Type I	3.85	6.3	12.1
Type II	3.85	6.3	12.1
Type III	2.2	4.2	11.3
Type IV	1.65	2.5	6.3
Type V	1.3	1.0	3.5
Type VI	1.1	0.83	3.2

표 6. D 터널 암반등급별 천공

암반 등급	천공장 (m/공)	천공시간 (min/공)	비트마모율 (%/공)
Type I	4.0	5.2	11.9
Type II	4.0	5.2	11.9
Type III	2.5	3.9	8.6
Type IV	1.8	2.8	5.9
Type V	1.5	1.6	4.5
Type VI	1.2	1.1	-

의 평균 비트마모율은 8.69%, 지보패턴 IV의 평균비트마모율은 5.58%, 지보패턴 V의 평균비트마모율은 3.95%, 지보패턴 VI의 평균비트마모율은 3.25%으로 분석되었다.

각 현장에 대한 천공에 대한 비트마모율을 ±1%내외의 차이가 발생하는데 그림 7과 같이 지보패턴 III에서는

5%내외의 차이가 보인다. 그 원인을 파악하고자 각 현장 막장지질조사를 분석해본 결과 특히 지보패턴III에서 절리분포가 발달 정도가 다른 지보패턴에 비하여 각 현장별로 큰 차이를 보였다. 따라서 절리 및 풍화 파쇄대의 발달 정도에 많은 영향을 받는 것으로 조사되었다.

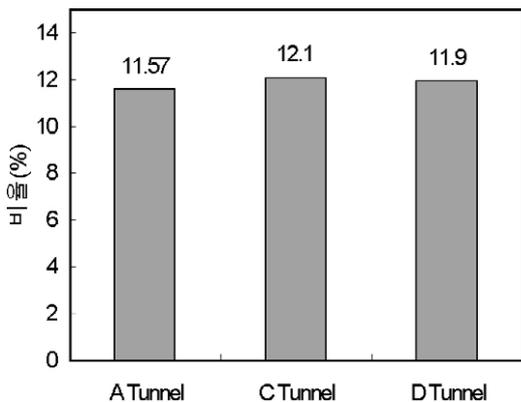


그림 6. 각 현장 지보패턴II 비트마모율

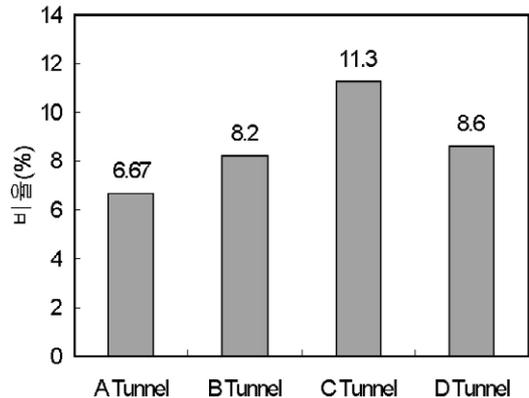


그림 7. 각 현장 지보패턴III 비트마모율

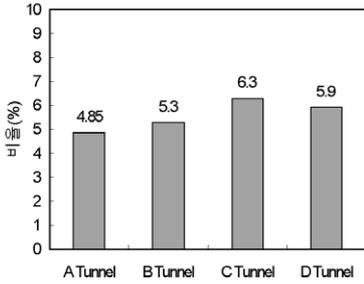


그림 8. 각 현장 지보패턴Ⅳ 비트마모율

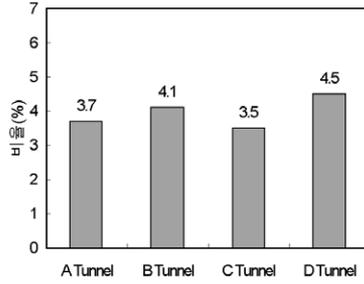


그림 9. 각 현장 지보패턴Ⅴ 비트마모율

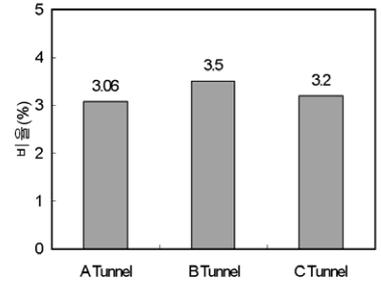


그림 10. 각 현장 지보패턴Ⅵ 비트마모율

### 3. 지보패턴별 굴착지수

컴퓨터를 탑재한 점보드릴을 활용하여 각 지보패턴들에 대하여 측정된 막장전방압반에 대한 굴착지수 (Drilling Parameter) 즉, IAS(Instantaneous Advance Speed, 순간전진속도)와 TP(Tool Pressure, 기계압), TQ(Torque, 회전력) 측정결과와 굴착후 막장지질조사를 분석결과는 다음과 같다.

그림 11~그림 12는 지보패턴 I에 해당하는 구간을 선정하여 조사를 실시한 결과이다.

그림 11의 위치별 측정된 값을 분석에 보면 0~13.9m에서 TP값이 120bar, IAS 값이 50(m/h), TQ값이 70bar로 측정되었고 굴착후 막장지질조사결과 미세한 절리를 포함하고 있는 암질이 양호한 경암층이 분포하는 것으로 조사되었다. 시료를 채취하여 시험한 일축일축 압축강도는 2260~1780 (kg/cm<sup>2</sup>)정도로 일축압축강도 기

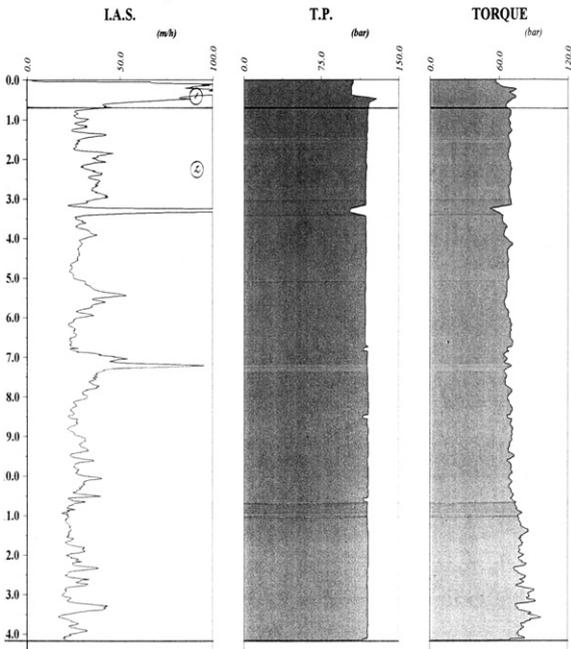


그림 11. 지보패턴 I구간에 대한 굴착지수 측정값(IAS,TP,TQ)

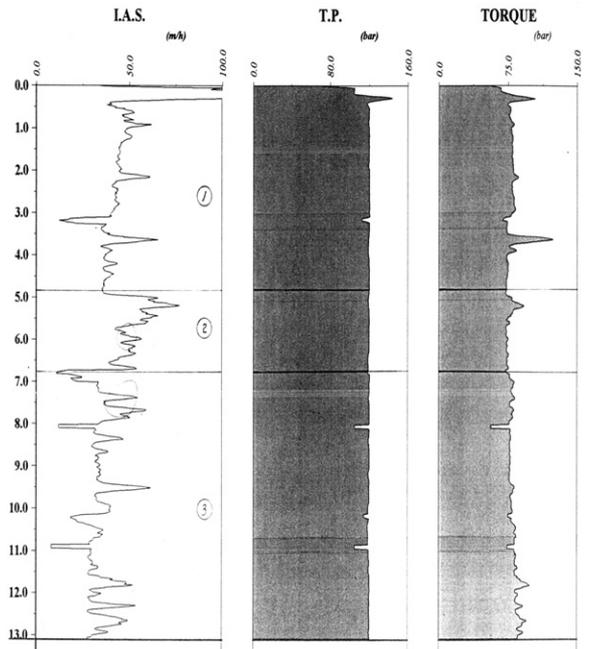


그림 12. 지보패턴 I 구간에 대한 굴착지수 측정값(IAS,TP,TQ)

준으로 분류해 보면 극경암으로 조사되었다.

그림 12의 위치별 측정된 값을 분석에 보면 0~6.8m에서 TP값이 120bar, IAS값이 60(m/h), TQ값이 60bar이고 굴착후 막장지질조사결과 2~3mm 절리가 약간 포함된 경암층이 막장면에 분포하는 것으로 조사되었다. 6.8~8.8m에서 TP값이 120bar, IAS값이 50~75(m/h), TQ값이 65bar이고 풍화되거나 절리가 국부적으로 존재하는 경암이 분포하였다. 8.8~12.9m에서 TP값이 120bar, IAS값이 50(m/h), TQ값이 60bar로 경암층이 분포하였다. 시료를 채취하여 측정된 일축압축강도는 1144~1534(kg/cm<sup>2</sup>)이다.

그림 13은 지보패턴Ⅱ에 해당하는 구간에 대한 측정결과이다. 위치별 측정된 값을 분석에 보면 0~2.3m에서 TP값이 120bar, IAS값이 45~85(m/h), TQ값이 80bar이고 굴착후 막장지질조사결과 절리가 발달한 보통암층이 막장면에 분포하는 것으로 조사되었다. 2.3~6.2m에

서 TP값이 120bar, IAS값이 50(m/h), TQ값이 75bar로 조사되었고 약 5m되는 지점에서 상승된 IAS값은 절리가 발달된 소규모 파쇄대층으로 인한 것으로 판단되었다. 6.2~6.6m에서 TP값이 120bar, TQ값은 75bar, IAS값이 150(m/h)로 급등하였다. 풍화된 파쇄대층이 분포하였다. 6.6~14.8m에서 TP값이 120bar, IAS값이 50(m/h), TQ값이 75bar로 미세한 절리가 있는 보통암이 분포하였고 8.9m과 13.7m지점에서 IAS값이 100이상으로 급상승하였는데 조사결과 불규칙한 파쇄대가 분포하였다. 시료를 채취하여 측정된 일축압축강도는 1022~1344(kg/cm<sup>2</sup>)이다.

그림 14는 지보패턴Ⅲ에 해당하는 구간에 대한 측정결과이다. 위치별 측정된 값을 분석에 보면 0~3.6m에서 TP값이 120bar, IAS값이 50(m/h), TQ값이 75bar이고 굴착후 막장지질조사결과 양호한 보통암층이 막장면에 분포하는 것으로 조사되었다. 3.6m~14.8m에서 TP값이

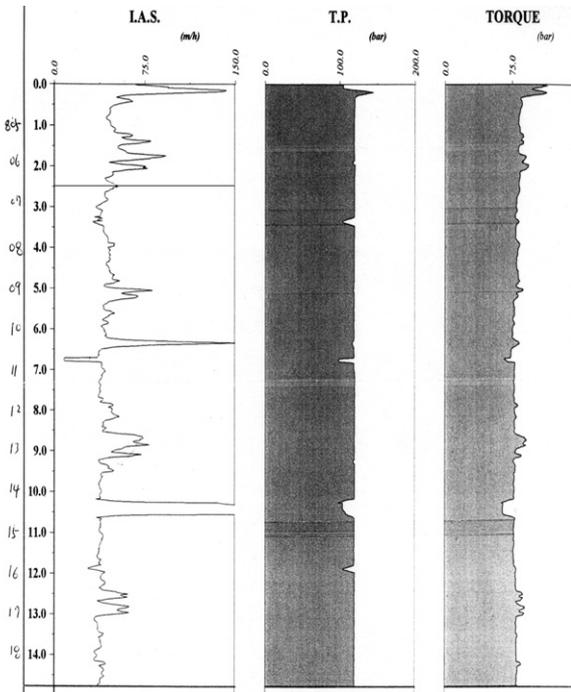


그림 13. 지보패턴Ⅱ 구간에 대한 굴착지수 측정값(IAS,TP,TQ)

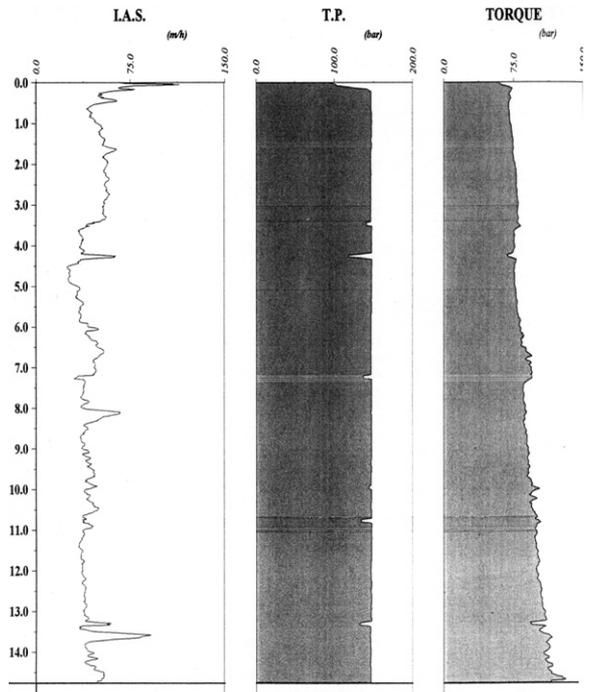


그림 14. 지보패턴Ⅲ 구간에 대한 굴착지수 측정값(IAS,TP,TQ)

120bar, IAS값이 25~45(m/h), TQ값이 75에서 120bar로 상승하였다. 막장면 조사결과 전반에 걸쳐 절리가 발달되어 가는 된 경향으로 연암과 보통암이 혼재하여 분포하였다. 시료를 채취하여 측정된 일축압축강도는 746~1024(kg/cm<sup>2</sup>)이다.

그림 15는 지보패턴Ⅳ에 해당하는 구간에 대한 측정결과이다. 위치별 측정된 값을 분석에 보면 0~3.6m에서 TP값이 100bar, IAS 값이 30~70 (m/h), TQ값이 70bar로 변동이 심하였다. 막장면 조사결과 절리가 잘 발달된 풍화암층이 분포하였다. 3.6~5.8m에서 TP값이 100 bar, IAS값이 20~110(m/h), TQ값이 75bar이고 절리가 발달된 풍화암층이 분포하였다. 5.8~10.8m에서 TP값이 100bar, IAS값이 20~120(m/h), TQ값이 70~80bar이고 절리가 매우 발달된 풍화암층이 분포하였다. 시료를 채취하여 측정된 일축압축강도는 460~510(kg/cm<sup>2</sup>)이다.

그림 16은 지보패턴Ⅴ에 해당하는 구간에 대한 측정결과이다. 위치별 측정된 값을 분석에 보면 0~1.3m에서 TP값이 110~150bar, IAS 값이 20~400(m/h), TQ값이 100bar로 변동이 심하였다. 막장면 조사결과 파쇄가 매우 심한 풍화암층과 토사층이 분포하였다. 1.3~2.3m에서 TP값이 100bar, IAS값이 140(m/h), TQ값이 70bar이고 절리가 발달된 연암층이 분포하였다. 2.3~3.6m에서 TP값이 100~120 bar, IAS값이 50~200(m/h), TQ값이 70~100bar이고 미세한 절리가 많은 파쇄대층이 분포하였다. 3.6~9.4m에서 TP값이 140~150 bar, IAS 값이 60~100(m/h), TQ값이 100 ~120bar이고 절리가 심한 파쇄대층이 분포하였다.

#### 4. 결론

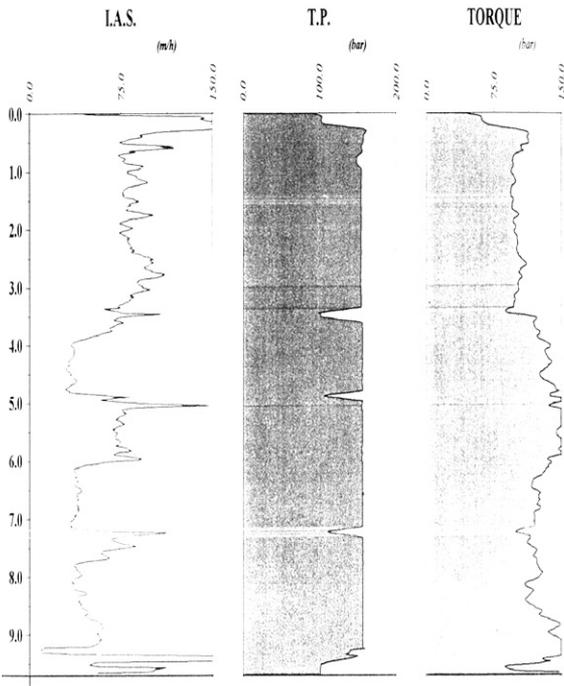


그림 15. 지보패턴Ⅳ 구간에 대한 굴착지수 측정값(IAS, TP, TQ)

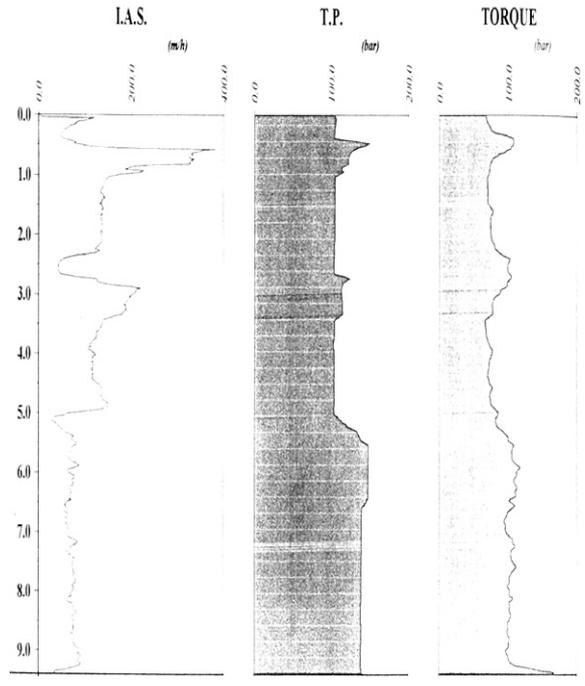


그림 16. 지보패턴Ⅴ 구간에 대한 굴착지수 측정값(IAS, TP, TQ)

(1) 연구대상 2차로 도로터널 4개현장에 대한 각 지보패턴별 평균비트마모율은 지보패턴 II 11.85%, 지보패턴 III 8.69%, 지보패턴 IV 5.58%, 지보패턴 V 3.95%, 지보패턴 VI 3.25%으로 분석되었다.

(2) 각 현장에 대한 점보드릴 천공에 대한 지보패턴별 비트마모율을 분석해 보면  $\pm 1\%$  내외의 차이가 발생하나 지보패턴 III에서는 5%내외의 차이가 보인다. 막장지질조사결과를 분석해 보면 이는 절리발달 정도에 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

(3) 굴착지수에 의해 지보패턴별로 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

지보패턴 I, 지보패턴 II는 유사한 경향을 보이며 IAS 50~60(m/h), TP 120bar, TQ 60bar 정도로 유지되지만 국부적인 파쇄대나 절리가 있을 경우 IAS, TQ값이 20%이내의 변동을 나타냈다.

지보패턴 III은 IAS 50~60(m/h), TP 120bar, TQ 75bar 정도로 유지되지만 국부적인 파쇄대나 절리가 있을 경우 IAS, TQ값이 40%이내의 변동을 나타냈다.

지보패턴 IV는 IAS 30~110(m/h), TP 100bar,

TQ 70~80bar이고 특히 파쇄정도에 따라 주로 IAS값이 변동하였다.

지보패턴 V는 IAS 20~400(m/h), TP 110~150bar, TQ 100~120bar이고 IAS, TP, TQ값의 변동이 전반적으로 발생하였다.

### 참고문헌

1. Carmichael, R.S. (1989), Practical Hand book of Physical Properties of Rocks and Minerals, pp.139-209
2. R. S. Sinha (1991), "Underground Structures Design & Construction", Elsevier, pp 31~78
3. W. H. Hansmire (1984), "Example analysis for circular tunnel lining", Proceedings of two sessions at GEOTECH '84, ASCE, pp 30~44
4. Nicholson, G. A. and Z.T. Bieniawski (1990), "A Nonliner Deformation modulus based on rock mass classification", Int. J. Min & Geological Eng, pp.181-202
5. Mohammad, N., D. J. Reddish and L. R. Stance (1997), "The relation between In situ and laboratory rock properties used in numerical modelling", Int. J. Rock Mech. Min. Sci & Geomech, Abstr., Vol.34, No. 2, pp181-202.