

천공데이터를 활용한 터널 막장 전방 암반특성 평가

김광염^{1)*}, 김창용¹⁾, 장수호¹⁾, 서경원²⁾, 이승도³⁾

Assessment of Rock Mass Properties Ahead of Tunnel Face Using Drill Performance Parameters

Kwang-Yeom Kim, Chang-Yong Kim, Soo-Ho Chang, Kyeong-Won Seo
and Seung-Do Lee

Abstract : The drill monitoring data are useful for the detection of abrupt and unexpected changes in ground conditions. This paper introduces a new approach to how drill performance parameters can be used for the prediction of quantitative rock mass properties ahead of tunnel face and the blasting design. The drill monitoring parameters available for the predictions include the instantaneous advance speed, thrust force, torque, tool pressure and penetration rate. The assessment of the drill monitoring parameters will be able to build a database provided that in-situ drill monitoring informations are accumulated and enable us to make a reasonable blast design based on quantitative assessment of rock mass.

Key words : drill performance parameters, prediction of rock mass properties, blast design

초 록 : 본 연구에서는 NATM터널 시공사이클에서 필수적으로 수행되는 천공작업 시 획득할 수 있는 정보를 통해 굴착 대상 암반의 특성을 평가하는 방안에 대해 고찰하였다. 활용 가능한 천공데이터는 천공속도, 피드압, 토크 등이 있으며, 이러한 인자들과 암반 특성들과의 상관관계를 규명하고자 하며 이러한 결과를 토대로 향후 정량적 발파설계를 위한 가이드라인을 제안하고자 하였다.

핵심어 : 천공 데이터, 암반특성 예측, 발파 설계

1. 서 론

최근 수십km에 달하는 장대터널들이 설계 시 공되면서 급속 시공 및 급속 안정화 터널 시공의 중요성이 더욱 커지고 있는 실정이다. TBM과 같은 기계화 장비의 발전으로 인해 기계화 터널 굴착이 점차 늘어나고 있는 추세이지만 아직까지 천공-발파에 기초한 NATM 시공이 가장 큰 비율을 차지하고 있다. 터널 시공 중 붕괴/붕락 사고가 최근까지도 계속 발생하고 있는 실정에서 발파굴

착 대상 암반에 대한 정량적 평가와 이에 기초한 발파설계에 대한 필요성이 지속적으로 요구되고 있다.

발파를 위해 필수적으로 진행되는 천공작업은 터널 시공 사이클타임에서도 가장 큰 비율을 차지할 뿐만 아니라 굴착 대상인 막장면에 대한 특성을 정량적으로 평가할 수 있음이 많은 연구를 통해 알려져 왔다(Thuro, 1997 & 2003; Kahraman, 2000 ; Mutsuisumito 건설, 2005). 하지만 이러한 천공데이터를 통한 막장을 정량적으로 평가하기 위해서는 다양한 특성을 가지는 암반에 대한 상당한 양의 축적된 데이터베이스의 확보가 선행되어야 한다. 몇몇 선진국에서는 각기 자국 암반에 적용 가능한 천공데이터 분석시스템을 개발하여 현장에 적용함으로써 DB를 구축하고 있으나, 국내에서는 아직 독자적인 천공데이터 획득 및 분석 시스템이 없는 실정이다. 본 논문에서는 천공

1) 한국건설기술연구원 국토지반연구부

2) 광해방지사업단 산지복원팀

3) 삼성물산 건설부문 토목ENG팀

* Corresponding author : kimky@kict.re.kr

접수일 : 2007년 6월 8일

게재승인일 : 2007년 6월 25일

데이터를 이용한 막장 평가 기술 및 국내 실정에 맞는 천공 데이터 분석 시스템의 개발 내용을 소개하고자 하였다. 또한 국내 터널 현장에서 실제 시공 중 천공데이터 분석을 위한 검사 천공을 실시하고 동일 구간에 수평시추를 통한 지반특성과 비교 분석을 실시함으로써 천공데이터 분석결과의 적용성을 파악해 보고자 하였다.

2. 천공데이터를 통한 막장 평가 기술

천공 데이터를 이용한 막장전방 탐사기술은 그림 1의 개요도처럼 점보드릴에 유압센서 및 데이터 레코더를 부착하여 천공시의 피드압, 회전압, 타격압을 측정함으로써 막장전방의 지반상태를 사전에 예측하고 이를 지보패턴 등에 피드백하여 공사의 효율성을 증대시키고 시공 중 안전성을 향상시키기 위한 기술이다.

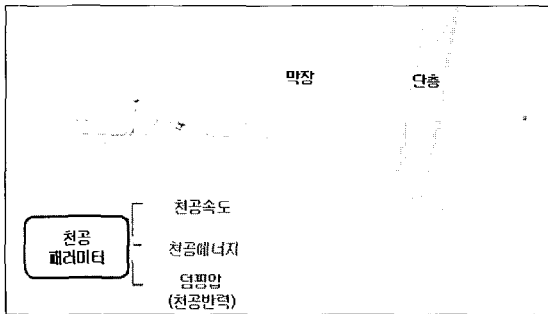


그림 1. 천공데이터 분석 개념도.

이전의 연구사례에 의하면 개별 천공 데이터들이 암질과 밀접한 상관성이 있지만 천공능력을 대표하는 값인 천공에너지를 암질판단의 기준으로 사용할 수 있으며 아래의 식으로 표현할 수 있다.

$$E_d(J/m^2) = (E_p \times C_p \times K) / (V_d \times A) \quad (1)$$

여기서 E_p : 타격에너지, C_p : 타격수,
 K : 손실계수, V_d : 회전속도(cm/min)

$$E_p(\text{천공에너지}) = A_p \times P_s \times P_p \times 9.8 \quad (2)$$

(J / kg · m)

여기서 A_p : 피스톤 수압면적(cm^2),
 P_s : 피스톤 스트로크(m),
 P_p : 타격압(kgf/cm^2)

천공탐사에서는 탐사장이 길어질 경우에는 로드와 지반의 마찰과 로드 자중에 의한 저항을 극복하기 위해 특수 제작된 로드가 사용되기도 한다. 최근에는 천공속도 등을 이용한 지반정수의 평가 및 전방 지반구조의 예측뿐만 아니라 데이터를 축적하여 지보패턴의 변경, 화약소비량의 추정을 통해 적극적으로 시공공정에 피드백 시키고 있다. 천공작업은 NATM 개념 굴착방식 중 장약 및 록볼트 시공을 위해 필수적으로 수행되는 작업공정이며 동일막장에서 다수로 시행되고 있으므로 이에 수반되는 데이터를 이용하여 현장에서 신속히 지반을 평가하고 예측하는 기술의 개발은 매우 실용성이 높은 것으로 판단된다. 국내의 천공 데이터를 이용한 탐사기술은 기초적인 적용단계에 머물러 있다. 국내·외의 천공데이터 활용관련 현황을 간단히 정리하였다.

국내에서 적용한 사례로는 현장에서 천공작업에 널리 사용되고 있는 점보드릴을 이용하여, 지보패턴분류에 기초적인 자료로 활용하기 위해 천공패러미터들인 지보패턴별 평균비트마모율을 조사하였고, 막장전방암반에 대한 천공속도, 타격압, 회전압을 측정하였다(김낙영 외, 2001). 측정된 결과와 막장지질조사결과를 비교분석한 결과는 천공데이터 값들의 변동이 전방의 파쇄정도에 파악하였다. 이는 단순한 천공데이터 값의 변동만으로 파쇄대의 추측은 가능하나 정확한 막장전방의 예측 및 지반판정에는 미흡하다.

Thuro(1997, 2003)는 천공 데이터들의 인자인 천공속도와 비트마모율을 이용하여 천공용이도(drillability)에 대한 개념을 제안하고 이러한 개념을 이용하여 암종이 단일종인 지역과 다양한 지

역에서의 천공용이도에 대한 암반의 분류를 제시 하였으며(그림 2), 굴착용이도(excavatability)의 제안을 통해 천공속도와 상관성이 있는 변형에너지와 체적당 화약소비량에 대한 관계를 연구하였다(그림 3).

Kahraman(2000)은 암반의 특성들로부터 천공 속도를 정확히 예측 할 수 있는 천공용이도 지수 (drillability index)를 제안하였으며, 암반의 특성 들과 관계를 제시하였다(그림 4).

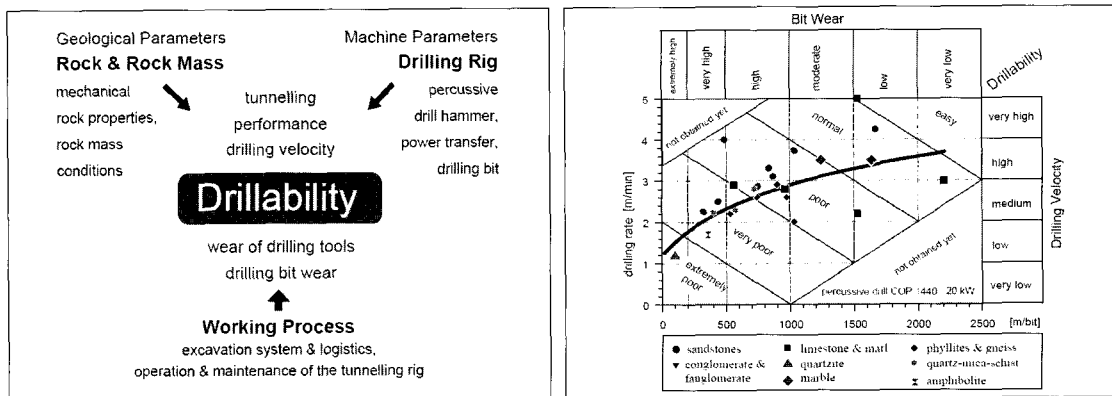


그림 2. 천공용이도 개념을 이용한 암반분류 예(Thuro, 1997).

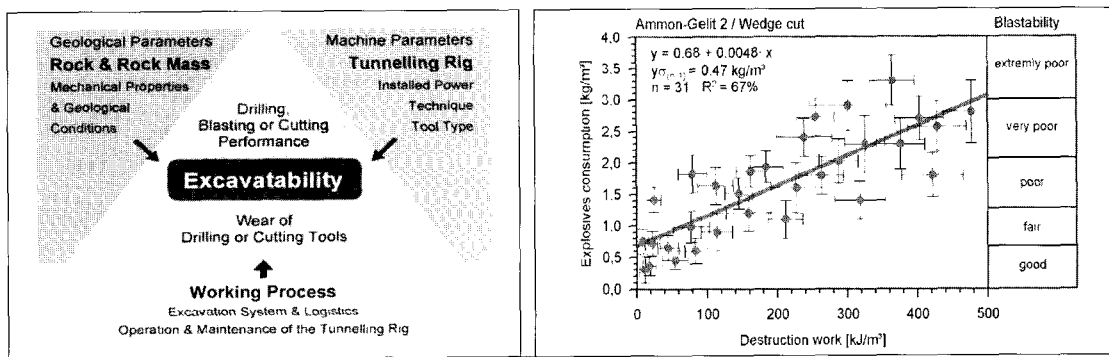


그림 3. 굴착용이도와 파괴일 개념을 이용한 발파용이도 산출 예(Thuro, 2003).

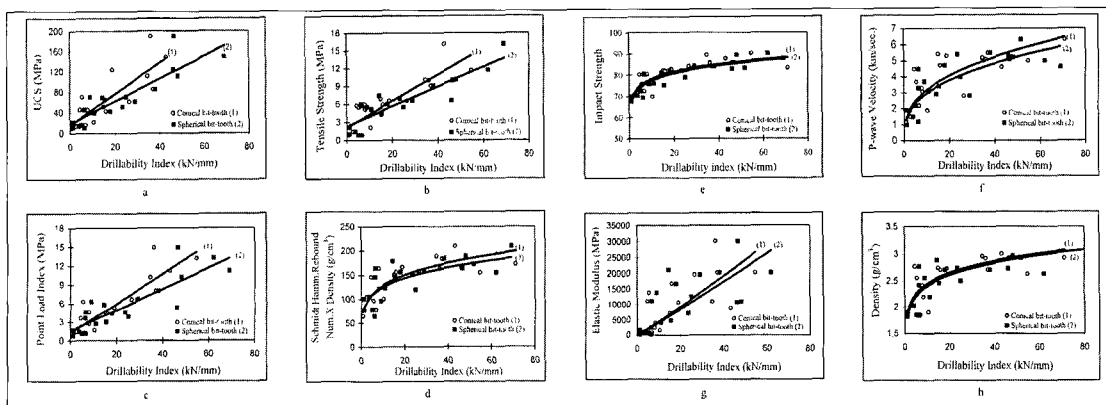


그림 4. 천공용이도 지수와 암반 특성과의 관계(Kahraman, 2000).

천공 데이터를 가장 활발히 활용하고 있는 일본에서는 천공 데이터를 이용한 분석 시스템을 시공사이클 중 막장전방탐사에 추가하여 막대한 양의 천공데이터를 신속하고, 효율적이며, 정량적으로 이용하여 막장전방을 예측하기 위한 많은 연구 및 개발이 진행 중이다.

일본의 Toda 건설(2005)은 유압식 착암기의 천공데이터를 수집하고 얻어진 데이터로부터 천공구간의 지반성상을 평가하는 시스템인 '산악터널 막장전방천공검사시스템(DRISS)'를 개발하였다. 천공데이터들 중 천공속도, 천공에너지, 회전압을 이용하여 막장전방의 연약대/파쇄대의 예측만 가능할 뿐 천공데이터를 통한 정량적인 자료분석 및

개발이 필요하다. 그림 5는 막장전방탐사에 추가하여 록볼트공, 발파공과 같은 시공 사이클에 포함된 막대한 양의 천공데이터를 효율적으로 처리하고, 시스템 전체를 자동화시키기 위해 개발된 천공 데이터 분석시스템이다(Mutsuisumito 건설, 2005). 천공 데이터들 중 천공에너지의 변화폭을 분석하여 막장전방의 지질변화를 예측 하였으며, 실시공 패턴과의 관계를 분석하였다. 또한 천공에너지는 실시공 패턴 및 막장평가점과 높은 상관관계를 보이는 것으로 나타났다(그림 6). 이러한 연구 결과는 막장전방의 지반특성을 정량적으로 예측할 수 있으며, 기 시공구간의 지반안정평가 및 지보패턴을 판정하는데 활용 되어질 수 있다.

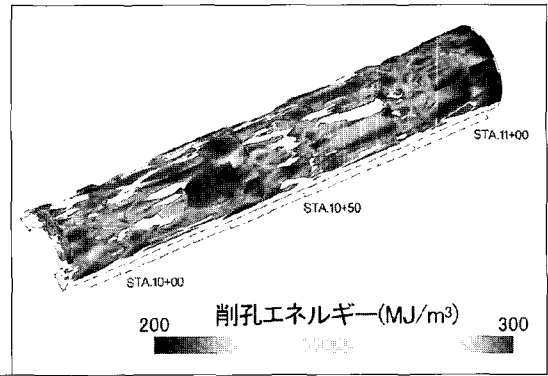
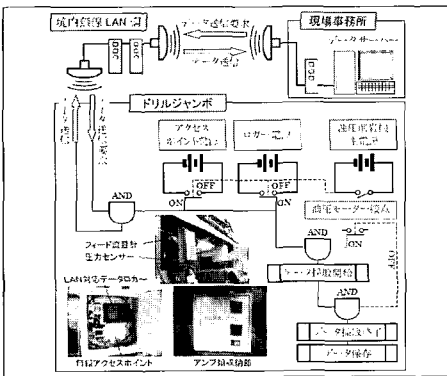


그림 5. 천공 검층 시스템과 터널 적용 사례(Mitsuimito 건설, 2005).

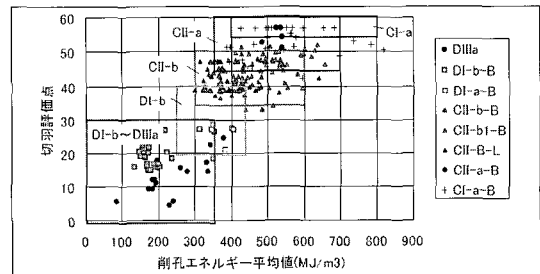
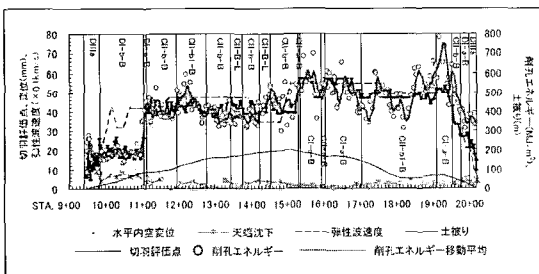


그림 6. 천공에너지와 실시공패턴 및 막장평가점의 관계(Mutsuisumito, 2005).

3. 천공데이터 분석의 적용성 검토

천공데이터 분석을 통한 지반 특성 평가의 적용성을 파악하기 위해 현재 터널 시공 중인 00터

널에서 점보 굴착장비를 통해 천공데이터를 획득하고 이를 동일 구간의 수평시추결과와 비교해 보았다. 획득된 천공데이터는 회전압, 타격압, 천공속도이었으며 동일 막장에서 최소 3공 이상 15m

정도 굴진함으로써 굴착 전방의 천공데이터를 확보할 수 있도록 하였다.

3.1 천공데이터 수집

그림 7에 각 공의 기계량 데이터 계측결과를 나타내었다. 그림에서 횡축은 천공심도이고 종축은 회전압, 타격압 및 천공속도 등의 천공기계량을 나타내었다. 천공시의 기계량으로부터 지반상황을 추정하기 위해서 계측결과를 기계량과 천공심도의 관계로 표현하였다. 이를 위해 피드길이 데이터로부터 천공에 관계없는 피드길이 데이터를 뺀 누적 피드길이(즉 천공장)를 구해 이에 대응하는 기계량과의 관계를 구하였다.

천공에 관계없는 피드길이 데이터라는 것은 천공개시전의 자리 잡기 위한 워밍이나, 연결부를 위해 행하는 드리프트의 후퇴 등이다. 이러한 작업은 피드길이부터 판단할 수도 있지만 보다 높은 고정밀도로 이것을 판별하기 위해서는 천공작업에 수반하는 미묘한 기계거동을 정확히 판별해야만 한다. 이것을 정확히 판별하지 않으면 천공이 진행됨에 따라 누적되어 지반추정의 정밀도에도 영향을 주게 된다.

기계량 데이터의 그림을 보면 모든 공에서 타격압이 다른 기계량 데이터와 비교해서 크게 안정되어 있는 것을 알 수 있다. 이 값은 전체 천공작업 중 거의 22.5~70(bar)의 범위에 들어 있지만 타격압이 급감하는 부분이 발생하였다. 이것은 교

란된 지반에 대하여 재밍 등을 피하기 위해 회전압을 감지하여 천공 모드(고압)로부터 저압으로 자동적으로 이동하여 타격압이 저감하도록 설계되어 있기 때문이며 점보의 작동특성의 하나이다. 이 고압 천공부와 저압천공부의 차이는 지반상황을 추정하는데 있어 큰 단서가 된다.

회전압은 점보 천공기가 천공 대상지반에 전달하는 토크를 표현하는 것으로써 지반강도와 상관이 높은 것으로 추정되지만 점보 굴착기에서는 회전압이 어느 기준치를 넘으면 토크를 저감시키기 위한 제어가 이루어지기 때문에 이를 고려해야 할 것으로 판단되었다. 탐사천공에서 측정결과를 보면 회전압은 약 70~90(bar)의 범위에 있다. 또한 심도에 대한 회전압의 변동을 보면 모든 탐사공에서도 심도 0.5~5(m)의 구간에서 50~80(bar)의 범위내로 변동하지만 심도 15~30(m) 구간에서는 70bar이하의 회전압에서 천공이 이루어진 것 같다. 또한 심도 30~35(m)의 구간에서는 국소적으로 90bar 정도까지 회전압이 상승하는 구간이 있으며 어떤 지질적 요인과 상관관계가 있다고 추정된다. 천공속도는 130~150(m/h)의 속도를 기준으로 지질이 약한 경우나 열린 균열 등을 돌파하는 지점에서 급격히 증가 또는 감소하는 경향을 나타내었으며, 천공속도의 변동은 회전압의 변동양상과 상관성이 높은 것으로 나타났다.

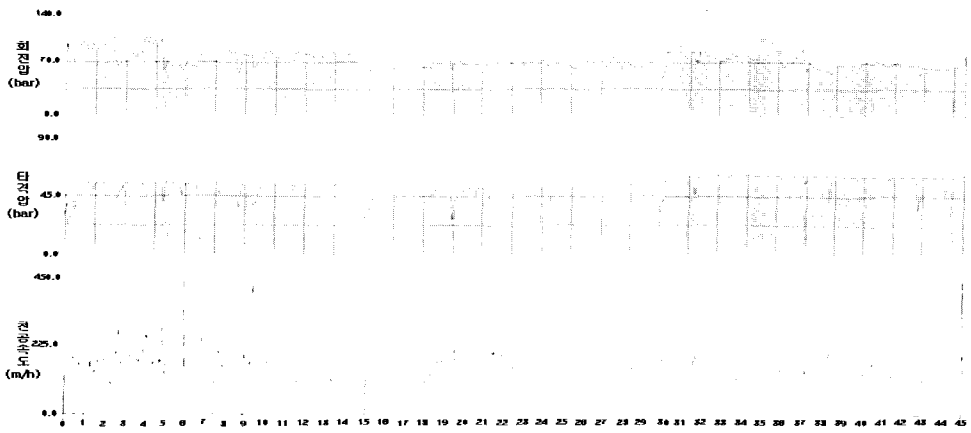


그림 7. 심도별 천공기계량 변화.

3.2 천공데이터와 수평시추결과의 비교

그림 8과 그림 9는 점보드릴에 의해 얻어진 기계량의 데이터와 수평시추에서 얻어진 결과를 비교한 것이다. 수평시추결과 중 파쇄대/연약대를 대변하는 값들인 RQD 값과 연경의 정보를 제공할 수 있는 한국기술용역협회의 암반분류법에 의한 암반분류로 각각의 천공 데이터들이 어떤 양상을 보이는지 분석을 수행하였다. 천공은 점보드릴에 장착된 유압착암기에 의해 이루어진다. 천공데이터 획득을 위한 천공장을 12~15(m) 정도로 설정한다면, 유압착암기의 비트를 막장전방으로 전진시키기 위해 룯드를 연결시키면서 천공이 이루어진다. 보통 룯드의 길이는 3~5(m)로서 천공 데이터 분석시 15m를 기준으로 4m 룯드를 사용하게 된다면 4, 8, 12(m) 정도에서 회전압, 타격압 그리고 천공속도가 감소를 보이는 구간인 룯드의 교체구간과 장비 제어시스템과 관련하여 교란된 지반에 대하여 재밍(jamming : 회전토크의 이상 상승 현상) 등을 피하기 위해 회전압을 감지하고 천공 모드(고압)로부터 탐사 모드(저압)로 자동적으로 이동하여 타격압이 저감하도록 설계되어 있기 때문에 데이터 분석에서 재밍(jamming)현상과의 구분을 하는 것이 중요하다.

타격압을 보면, 타격압은 거의 30~70(bar) 사이에 분포하고 보통 타격압이 60~70(bar) 상태에서 천공이 이루어진다. 앞에서 언급한 타격압, 회전압, 천공속도가 감소하는 구간은 앞에서 언급한 재밍현상이 일어나는 구간과 룯드의 교체 구간이다. 타격압은 RQD나 연경정도와 높은 상관도를 보이지는 않지만 파쇄대부에서는 타격압이 대폭 저하됨을 통해 파쇄대를 알 수 있다.

회전압은 RQD와 연경정도에 민감하게 반응함을 알 수 있다. 우선 전체적으로 타격압이 일정할 때, 그림 8의 16~24(m)구간에서 타격압이 동일한 연경의 암일 때 RQD값이 낮은 부분에서 70~95(bar)의 범위를 보이고, 회전압은 전체 평

균값인 70bar보다 큰 값을 보인다. 또한 그림 9의 31~41(m) 구간에서 RQD값이 0일 때 연암에서 회전압이 다른 구간에 비해 70~90(bar) 정도까지의 증가를 보이고 있다. 0~8(m)의 구간에서는 특히 RQD가 0일 때 풍화암 구간이 높은 회전압을 보인다. 이 구간에서 3m구간은 앞에서 언급한 룯드의 교체 구간으로서 고압에서 저압모드로 바뀌므로 회전압, 타격압, 천공속도가 감소함을 알 수 있다.

천공속도는 구간마다 값의 변화가 가장 크게 나타났다. 그림 8의 15~30(m) 구간을 보면 보통 암에서 연암을 지나는 24~27.5(m) 구간에서 값들의 증가를 보이다가 보통암의 구간에서 감소하는 것을 알 수 있었다. 그림 9의 0~15(m)구간에서 전체적인 양상이 풍화암, 연암, 보통암 순으로 값들이 작아짐을 알 수 있다.

이상의 결과를 정리해보면, 단순히 각각의 천공 패러미터들 하나를 통해서 지반을 평가하기에는 문제점이 있음 알 수 있다. 각각의 천공 패러미터들의 데이터들을 종합하여 해석을 해야만 보다 정밀한 지반의 평가가 가능하다. 예를 들어 재밍 현상과 룯드교체 때에는 회전압, 타격압, 천공속도가 감소하게 되며 타격압과 회전압의 값들이 감소하고 천공속도의 값이 증가하는 구간들은 절리나 혹은 파쇄대일 가능성이 크다. 그리고 암반의 연경정도가 연약할수록 회전압이 커지고, RQD의 값이 작을수록 회전압이 커짐을 알 수 있었다. RQD와 회전압의 관계를 자세히 살펴보면 타격압이 일정할 때 회전압과 천공속도가 증가하는 구간에서는 RQD값이 작아지며, 회전압이 증가하고 천공속도가 일정한 구간에서는 RQD값이 커짐을 알 수 있었다. 천공데이터의 자료를 해석함에 있어 각각의 값들이 짧은 지점에 피크가 심하게 변하는 구간과 전체적으로 값들이 변하는 구간을 통해서 막장전방 지반의 상황을 이야기 해 줄 수 있다는 가능성을 보여 주었다고 판단된다.

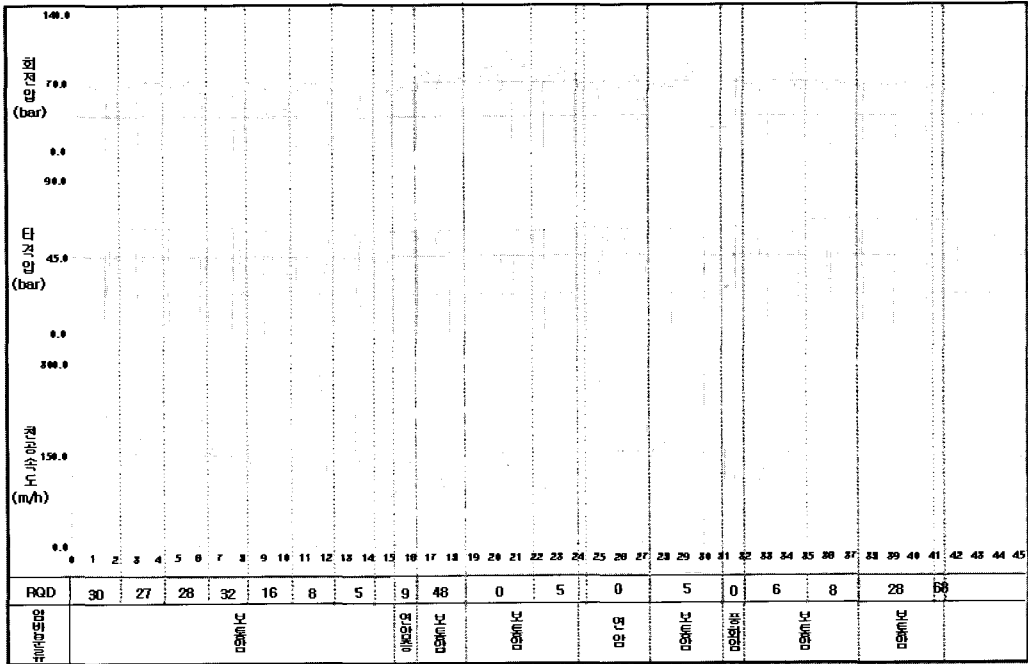


그림 8. 수평시추와 천공검층 결과의 비교 I.

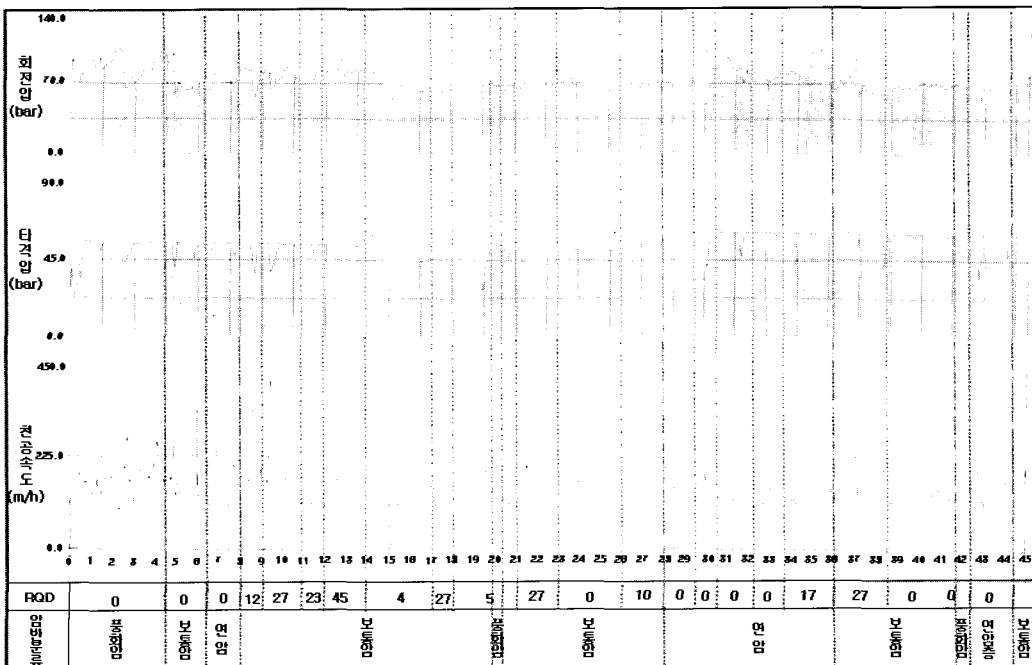


그림 9. 수평시추와 천공검층 결과의 비교 II.

4. 천공 데이터 분석 시스템의 개발

4.1 한국형 DDAS 시스템

발파에 영향을 미치는 암반의 특성에 대한 연구는 국내외에서 다양하게 수행되어 왔다. 암반의 역학적 특성(압축강도, 탄성과 속도 등)과 같은 하나의 인자와 비장약량과의 관계에 대한 규명연구로부터 RMR과 같은 복합요인들과 발파설계인자의 관계에 대한 연구도 지속적으로 수행되어 왔다. 하지만, 매 발파시 마다 이러한 암반의 역학적 특성들에 대한 평가 과정(실내시험, 현장시험, 막장조사 등)이 정밀하게 수행하고 이를 통한 발파설계의 반영과정은 공기지연을 초래할 뿐만 아니라 막장 전체를 하나의 시험결과만으로 평가하여 발파설계를 한다는 것은 불확실하고 부정확한 평가를 초래할 수 있다는 문제가 있다.

앞서 언급하였듯이 NATM 터널 굴착 공정 중 천공작업은 발파 및 록볼트 설치 등을 위한 필수 공정이며 하나의 단면에서도 100공 이상의 천공작업이 수행되어진다. 천공작업시 생성되는 데이터는 막장 전방에 대한 지반의 정량적 데이터를 내재하고 있으므로 이를 활용하는 기술은 작업공

정에 영향을 주지 않고 실시간으로 분석되기 때문에 신속·정량적인 평가가 가능하다. 따라서 이러한 천공데이터와 발파설계인자와의 분석을 통한 평가 시스템이 개발되어 질 수 있다면 공기를 저해하지 않으며 하나의 막장에서 변화하는 암반특성을 고려한 발파설계가 가능할 것이다.

현재 본 연구에서는 이러한 목적으로 DDAS (Drilling Data Assessment System)의 개발을 진행중이다. 본 연구에서 구축하려는 신속정량화 지반평가 시스템인 DDAS는 다음 그림과 같이 신속정량화 지반평가 데이터의 전송모듈과 분석소프트웨어, 현장자료의 DB모듈로 구성되어 있다. 그림 10은 DDAS의 개요를 나타내고 있다.

이중 신속정량화 지반평가 데이터의 분석모듈은 터널막장에 수행되는 천공데이터의 수집 및 정보처리 기능을 담당하는 모듈이며, 현장자료의 DB 모듈은 천공데이터와 지반정수의 상관관계, 지보패턴, 발파 인자 등을 데이터베이스화 하는 모듈이며 본 연구의 핵심요소가 되는 부분이다. 분석 소프트웨어는 구축된 데이터베이스와 현재의 지반상태를 비교 분석하는 모듈이다.

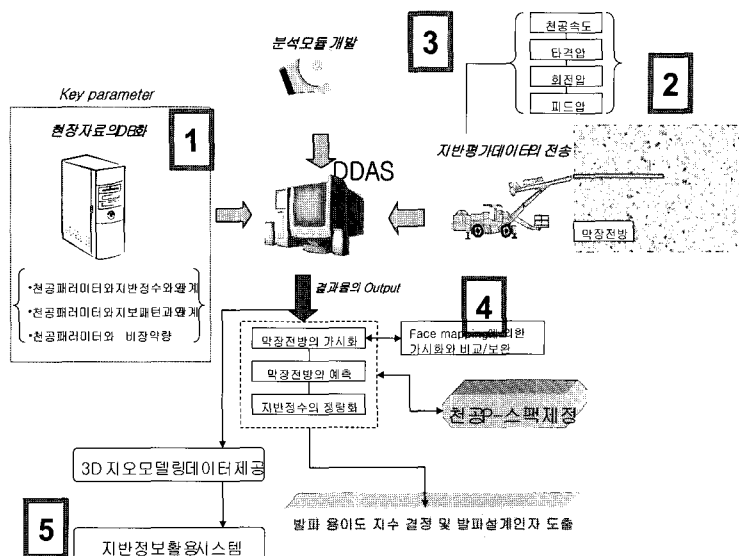


그림 10. DDAS 운영 모식도.

4.2 DDAS 시스템을 이용한 발파설계 방안

국의 연구를 통해 나타났듯이 천공에너지와 같은 천공 데이터는 발파설계가 핵심이 되는 비장약량과 상관관계가 높은 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 DDAS를 통해 대상 암반의 천공용이도를 결정하고 이를 통해 발파용이도를 결정하는 것을 목표로 하고 있다. 터널 막장면에 천공된 다수의 장약공들에 대한 이러한 정보들은 3차원

공간상의 정보로 DB화 하고 가시화 하여 암반의 3차원적인 특성변화에 따른 적절한 발파설계에 도움을 주고자 한다. 또한 발파 결과를 확인하는 가장 많이 사용되고 있는 파쇄입도 분석과 HCF(half cast factor)와 같은 발파 후 평가를 정밀하게 측정하기 위하여 디지털 이미지 입체화 기법을 적용할 예정이다. 그림 11은 시공 중 터널 막장면에 대한 3차원 디지털 모델을 구성한 예이다.

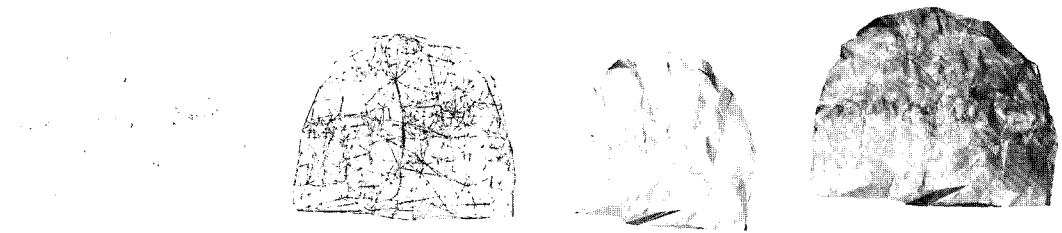


그림 11. 터널 막장면 3차원 디지털 모델(OO터널).

5. 결 론

천공데이터와 관련된 기존 연구에서는 타격압 변동이 지반을 구성하는 암의 연경과 상관성을 갖고, 회전압이 점성화된 파쇄대 등에서 상승하는 것으로 가정하여 왔다. 그러나 이번에 천공 데이터 분석에서는 회전압이 암의 연경과 파쇄대 등에 높은 상관을 나타내었고, 파쇄대부에서는 타격압이 대폭 저하되는 결과가 나타났다. 이것은 탐사 구간에 나타난 파쇄대가 상당히 파쇄되어 있지만 점토화 되어있지 않기 때문에 파쇄대부에서의 회전압 상승이 보이지 않았다고 판단된다. 이 때문에 파쇄대의 특성이 다르다면 타격압의 저하와 회전압의 상승이 동시에 발생하기도 하고 회전압만이 상승하는 경우도 있을 수 있다. 그러므로 이후 여러 종류의 지반조건에서 천공검층을 실시하고 지반특성과 기계량 변동 및 제어기구의 관계를 정리하여야 할 것으로 판단된다.

또한 지금까지의 천공검층에 의한 막장전방 탐사는 대부분 한공의 검층결과를 가지고 전방 막장

전체를 추정하려고 하였다. 전방의 파쇄대 등의 연약대 유,무 뿐만 아니라 구조까지 파악하기 위해서는 다수의 천공 데이터 확보를 통한 천공데이터의 분석과 이를 3차원적으로 가시화 하는 것이 중요할 것으로 판단된다. 한편 지반추정의 정밀도를 향상시키기 위해서는 기초가 되는 기계량 데이터의 평가를 보다 고정밀도로 함과 동시에 검사할 천공 배치의 최적화를 고려해야 할 것이다.

참고문헌

1. 김낙영, 김성환, 정형식, 2001, 도로터널에서 지보패턴별 굴착지수 상관관계 고찰, 한국터널공학회 터널기술논문집, Vol. 3, No. 14, pp. 17-24.
2. 이현구 등, 2005, 천공파라미터 분석을 통한 터널 전방 암질 예측, 삼성건설 기술집(토목사업부), pp. 301-306.
3. Mutsuisumito 건설, 2005, 천공 검층 시스템을 이용한 터널 주변지반 평가, 일본토목학회 제60회 연차학술강연회, pp. 10~11.
4. Kahraman, S., C. Balci, S. Yazici and N.

- Bilgin, 2000, Prediction of the penetration rate of rotary blast hole drills using a new drillability index, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, Vol. 37, pp. 729-743.
5. Thuro, K, 1997, Drillability prediction -geological influences in hard rock drill and blast tunnelling, Geol Rundsch, Vol. 86, pp. 426-438.
6. Thuro, K, 2003, Hard rock tunnel boring, cutting, drilling and blasting : rock parameters for excavatability, ISRM - Technology roadmap for rock mechanics, pp. 1227-1234.
7. Toda 건설, 2005, 산악터널 막장진방 천공검사 시스템(DRISS)의 적용, 일본토목학회 제 60회 연차학술강연회, pp. 13-14.



김 광 염

한국건설기술연구원 국토지반연구부

전화 : 031)910-0225

E-mail : kimky@kict.re.kr

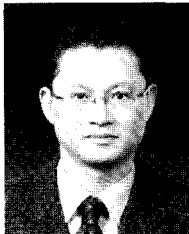


서 경 원

광해방지사업단 산지복원팀

전화 : 02)3702-6642

E-mail : kwseo71@msn.com

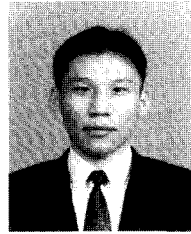


김 창 용

한국건설기술연구원 국토지반연구부

전화 : 031)910-0224

E-mail : cykim@kict.re.kr



이 승 도

삼성물산 건설부문 토목ENG팀

전화 : 02)2145-6038

E-mail : rockeng.lee@samsung.com



장 수 호

한국건설기술연구원 국토지반연구부

전화 : 031)910-0661

E-mail : sooho@kict.re.kr