

# IT를 이용한 터널 관측화 시공

岡野成敏(Okano Shigetoshi)\*<sup>1</sup>, 櫻井春輔(Sakurai Syunsuke)\*<sup>2</sup>,  
板倉賢一(Itakura Kenichi)\*<sup>3</sup>, 山地宏志(Yamachi Hiroshi)\*<sup>4</sup>

## 1. 머리말

글로벌 컨디션이라고 불리는 국제경쟁 시대를 맞이하여, 모든 산업에서 비용절감을 위한 산업활동 합리화가 제창되고 있다. 그 합리화를 실현하는 가장 유력한 수단으로 주목되고 있는 것이 생산활동의 IT화이다. 이미 많은 산업에서 조달·생산·재고관리의 모든 산업활동 과정에 IT(Information Technology)가 도입되어, 큰 성과를 올리고 있다. 건설분야에서도 그 필요성은 동일한 것으로 일본에서는 조달이나 설계도서 등의 전자 공유화를 달성한 CALS/EC<sup>1)</sup>를 시작으로 시공 그 자체의 합리화를 목표로 한 정보화 시공기술<sup>2)</sup>의 개발과 보급이 국토교통성을 중심으로 추진되고 있다.

그러나, 산업활동의 대부분의 과정을 정량화·수치화하여 얻는 몇몇의 산업과는 달리, 자연을 생산장소로 하는 토목공사의 IT도입에는 자연적으로 높은 장벽이 발생한다. 특히, 경험공학이라고 불리는 터널시공은 그 대상으로 하는 지반의 정량화가 곤란하다는 점 때문에 IT 도입은 쉽지 않다고 생각된다.

그럼에도 불구하고, 터널시공은 모든 토목공사 중 가장 빨리 관측화 시공이 도입된 분야로서, 관측과 피드백을 기초로 한 설계·시공 시스템이 정착된 분야이나, 필자들은 터널시공으로의 IT도입을 위해서는 지금까지의 터널 관측화 시공 체계를 근본적으로 바꿀 패러다임의 전환이 필요하다고 생각했다.

본론은 다음 절에서 일본의 터널관측화와 IT도입 현황을 살펴보고, 그 패러다임 전환의 한가지 방법으로서 필자들이 제창한 천공 검층(檢層) 범용화의 개념과 적용사례를 제시해 여러분의 의견을 묻고자 한다.

## 2. 터널시공 시 관측화 시공과 IT 도입의 현황

1975년 이후 NATM도입을 계기로, 현장계측과 막장 관찰을 중심으로 한 관측화 시공 방법은 체계적으로 산악터널 시공에 도입되어, 그 시공합리화, 경제성확보 및 안전성 향상에 일조해 온 것은 많은 사람들이 인정하는 점일 것이다.

그러나, 그 큰 기둥의 하나인 현장계측 실무의 본연의 모습에 대한 회의적인 의견도 한편으로 존재한다. 그 의견의 대부분은 다음과 같이 집약될 것이다.

\*<sup>1</sup> 삼성물산건설부문 기술본부 상무  
(shigetoshi.okano@samsung.com)

\*<sup>2</sup> (財)建設工學研究所 理事長

\*<sup>3</sup> 室蘭工業大學 教授

\*<sup>4</sup> 三井住友建設(株)技術研究所 主任研究員

하나는 현장계측결과로 어느 정도의 지반거동은 객관적으로 평가할 수 있지만, 공학적으로 중요한 지반거동예측이나 대책공의 필요·불필요 판정 및 설계에 이바지할 수 있는 정보는 주어지고 있지 않다. 또한, 이러한 의미에서 현장계측 실시에 필요한 인적·경제적 부담의 비용 대 효과를 얻고 있지 않다. 더욱이, 미계측 단면의 지반거동을 주위의 계측 단면 계측결과로부터 추정할 수 있는지 여부에 대한 의견도 있다. 결국, 우리가 계측결과를 어느 정도 정확하게 시공에 반영하고, 공학적으로 의미 있는 피드백을 달성하고 있는가가 의문시 되고 있는 것이다. 또한, 산악터널에 한하지 않고, 토목 구조물 전반이 유지·관리 및 보수를 전제로 생애주기비용의 최적화가 요구되는 오늘날의, 시공에 있어서, 관측화 시공도 이에 적절한 형태로의 변경이 요구될 것이다.

필자 중 한 명은 현장계측결과를 역학적으로 평가해, 시공으로의 피드백을 실현하기 위해서는 지반의 안정화를 변형으로 평가하는 것이 가장 실용적이라고 생각해, 그 안정성 평가기준으로서 한계 변형을 제안했다.<sup>3)</sup> 그리고, 터널 굴착에 의해 발생하는 변형 분포를, 등가 선형 지반의 초기응력과 지반 변형 계수의 비를 역해석함으로써 간단하게 구할 수 있다는 것을 제시했다.<sup>4)</sup> 이 두 가지 방식은 일본 터널시공에 널리 채용되어, 터널 시공 실무에 적용될 수 있다는 것이 실증되었다.

또한, 필자들은 균열성 모형 공시체를 사용한 실험으로, 락볼트가 지반변형을 억제할 뿐만 아니라, 지반의 허용 변형을 증대시킨다는 점과 지반 거동을 취성에서 연성거동으로 전이시킬 가능성이 높다는 점을 제시하여,<sup>5), 6)</sup> 종전에 제안한 역해석과의 융합으로 최적의 락볼트 개수 등을 산정하는 기법을 제안했다.<sup>7)</sup> 그러나, 지보부재의 효과발현은 대상지반

의 지질조건에 의존하며, 이것을 정량화 하기 어렵기 때문에 현재 이 기법은 실용화까지는 미치지 못하고 있다.

관측화 시공의 또 다른 기동인 막장 관찰은 지질 조건의 정확한 파악을 목적으로 하지만, 그 평가는 관측자의 주관과 지질에 의존하기 때문에 객관적인 평가가 이루어지고 있다고 하기는 어려우며, 이것을 보다 정량적, 객관적 평가에 근접하게 하기 위한 시도가 종종 이루어지고 있다.<sup>8), 9)</sup> 이 방법은 산악터널에서 시공경험이 많기 때문에, 시공실무에 많이 이용되어 지보 패턴 선정이나 공법 변경 등 거의 대부분은 이 막장 관찰에 기초하여 실시되고 있는 것이 현실이다.

이와 같이 현재의 관측화 시공 모습을 살펴 볼 때, 터널 시공의 현대화, 즉 지반 안정화의 정량적 평가, 지반거동예측, 최적지보설계 그리고 생애주기비용의 최적화 등을 현재의 관측화 시공의 틀 속에서 실현할 수 있는지 여부가 매우 중요하다.

현재의 관측화 시공기술의 발전은 계측센서의 발전과 정보기기 처리기능 향상 및 막장 관찰의 객관화·정량화가 병행적으로 발전하고, 이것이 향후 치밀하게 연결될 것을 전제로 하고 있다. 표 1은 필자 중 한 명이 터널계측의 주된 계측기기를 측정 원리에 기초하여 총괄한 표이다. 표에 제시된 것처럼 NATM도입기의 주역이었던 기계식 센서류는 요즘에도 많은 이점을 갖고 있으나, 전기식 센서류가 그 저렴화와 고속로거의 발달 및 1980년대 초부터의 퍼스널 컴퓨터 보급으로 고속 대용량 데이터 처리와 계측 비용의 절감이 가능하게 되어, 그 주역을 담당하게 되었다. 그리고, 최근 각종 측정원리의 실용화에 따라 고정밀도 측정, 장기안정 측정, 더 나아가 금속부재의 비파괴 응력 측정 등의 저비용화가 가능해졌다. 이러한 센서의 발전은 현장계측 방식을 변

표 1. 계측원리로 본 현장계측에 도움이 되는 주된 센서와 그 특징

	기계식	전기식	광섬유식	Servo식	자왜(磁歪)식 <sup>10)</sup>
원리	2점 사이의 변위량은 로드사이의 상대 변위량으로서 결정된다. 그 상대 변위량의 측정에는 버어니어 캘리퍼스나 다이얼게이지를 사용한다.	· 변형 게이지 저항체에 외력을 가하면 그 저항치도 변화한다. 이 저항 변화를 계측함으로써 변형을 측정한다. · 차동 트랜스 절연동선이 감겨진 코일과 코어(철심)의 위치에 따라 전자 유도로 교류전압이 발생한다. 이 교류 전압변화를 계측함으로써 변형을 측정한다.	· BOTDR법 광섬유에 변형이 더해지면, Brillouin 고산란광의 주파수가 변형량에 비례해 변화하므로 이 변화를 계측함으로써 변형을 측정할 수 있다. · FBG법 FBG는 특정파장의 빛만을 반사한다는 특성을 가진다. FBG에 가해지는 변형 및 온도에 의해 반사파장이 변화한다. 이 파장변화를 계측함으로써 변형을 측정할 수 있다.	진자에 더한 변위를 검출해, 그 신호를 servo 앰프에서 증폭한다. 그리고 토르커로 진자를 0점 위치로 되돌린다. 이 때 발생하는 전류를 계측함으로써 경사각 및 기속도를 측정할 수 있다.	피측정물(강자성체)의 투자(透磁)율이 응력상태에 따라 변화한다는 점을 이용해 자기 프로브를 피측정물에 밀어 넣어 회전 시킴으로써 얻어지는 최대 출력전압과 그 방향을 강재의 응력감도를 이용해 주응력 차와 최대 주응력의 방향으로 환산한다.
장점	견고하며 단순한 구조로서, 고장나는 부품이 없으므로 장기간 안정된 계측이 가능하다. 또한, 측정 케이블이 없으므로 설치가 용이하다.	· 변형 게이지 구조가 간단하여 무게, 용량이 작고, 측정대상의 응력상태를 교란시키지 않는다. · 차동 트랜스법 전기출력이 크므로 변형 게이지 절연저항의 노화에 강하다. · 다점계측 및 자동계측이 가능하다.	· BOTDR법 광범위한 영역의 선 또는 면의 계측에 뛰어나다. 또한, 계측가능 거리는 10km정도이다. · FBG법 고정밀도의 변형 측정을 할 수 있다. 또한, 동적인 변형 측정이 가능하다.	소형, 경량이다. 한지 지지이기 때문에 기계적 마모·마찰이 없이 안정하다. 토르커에 의한 포스밸런스형이 기 때문에 이력현상이 적다. 또한, 직선성, 분해능력이 좋다.	측정 오차가 저감된다. 구조물의 전 응력을 비파괴로 계측 가능하다. 센서의 부착, 케이블의 부설, 도장의 제거가 불필요하다.
비고	사용실적이 풍부하다. 수동 측정이므로 많은 노력이 필요하다.	벼락 등 전자 노이즈에 약하다. 컴퓨터 및 데이터 로거의 발달로 다양한 계측 시스템이 실용화 되어 있다.	온도 보정, 벵락 등 전자 노이즈에 강해 장애가 적다. 또한, 정보 박스에 접속한 계측이 가능하다.	공내 수평경사계나 공회 측정기로서 실용화 되어 있다. 또한 0점 온도계수, 감도 온도계수가 작다.	교량이나 파이프라인 등의 강구조물의 비파괴 검사 기술로 주목받고 있다.

화시킴과 더불어 공사 완료 후 구조물 관리 등에 이용할 수 있을 가능성은 높지만, 오늘날의 터널시공이 안고 있는 문제를 해결시키는 것과 직결시키는 것은 어렵다고 생각된다.

막장 관찰에 관해서도 동일하게 디지털 스틸 카메라의 이용이나 화상처리 기술 이용 등으로 많은 비용절감과 정보 공유화를 도모할 수 있지만,<sup>11), 12)</sup> 그

평가기법은 RMR(Rock Mass Rating)<sup>13)</sup> 등을 기본으로 한 평가 기법의 개량이 머물러 있는 것으로 생각된다.

결국, 현장계측과 막장 관찰을 주로 한 현재의 관측화 시공이 하나의 패러다임, 즉 이 패러다임을 어느 한 시대에 사람들의 관찰방법·사고방식을 근본적으로 규정하고 있는 개념적 틀이라고 한다면 현재

의 패러다임의 범주에서, 산악터널 시공에 남겨진 제반 문제를 해결하는 것은 어렵다고 판단된다. 그러나, 관측화 시공 방법 자체는 현대 토목기술에 있어서 가장 현저한 성과의 하나이고, 이것을 대신할 새로운 패러다임을 찾아내는 것은 어려울 것이다. 따라서, 패러다임 그 자체를 변경하는 것이 아니라, 지금 있는 패러다임의 틀을 변경하는 것이 요구되고 있다.

한편, 토목분야에서의 IT도입 흐름은, 최근 통신기술과 가시화 기술 도입이 추진되고 있다. 통신기술은 무선 LAN 등 저렴한 각종 통신기술이 용이하게 공사현장에 도입할 수 있게 되어 빠르게 보급되고 있다. 그러나, 현재는 막장 부근에 설치된 WEB 카메라 등의 화상을 현장 사무소에 송신 하는 정도로만 이용되고 있는 실정이다.

가시화기술은 VR(Virtual Reality)나 MR(Mixed Reality)을 이용하여 설계나 의사결정을 지원하는 시스템이 계속 개발되고 있다.<sup>14), 15)</sup> 즉, 시험설계 결과를 VR 등으로 가시화하고 설계 미비나 불량을 검증하거나, 대안과의 비교검토를 용이하게 함으로써 의사결정을 지원하는 것이다. 이러한 일련의 시스템은 VDC(Virtual Design and Construction)이라고 불리기도 한다.<sup>16)</sup>

필자들이 알고 있는 범위에서 가시화 기술의 토목공사에의 도입은 설계·검토단계로 한정되고 시공으로의 도입은 거의 이루어지고 있지 않은 실정이다. 그러나, 이것을 관측화 시공에 도입함으로써 지금까지 수치화하는 것이 곤란하기 때문에 간과해 온 많은 정보를 활용하는 것이 가능해지리라고 생각된다.

터널시공현장에서는 굴착기계의 가동상황, 온도나 습도, 소리의 울림 등이 지반의 안정성이나 지반 상황을 반영하는 정보임에도 불구하고, 역학 파라미터로 변환하는 것이 불가능했거나 수치화하는 것이 불가능한 탓에 활용되고 있지 않은 정보가 넘쳐 나

고 있다. 이러한 정보는 터널 기술자의 경험 속에 축적되어 있더라도 공유라는 의미로서 공학적으로 활용되는 일은 없었다.

그러나, 이러한 변화를 어떤 센서로 실시간 측정하고, 가시화 기술에 의해 그 공간적인 분포나 시간적인 변화를 평가하는 것만으로도 시공에 용이하게 피드백할 수 있다고 생각된다. 또한, 그 정보량은 종래의 현장계측 등에 비해 막대한 정보량이 발생한다는 것이 예상된다. 이러한 것을 실시간으로 측정·관리하기 위해서는 통신기술을 시작으로 하는 IT의 도입이 불가피해 진다.

필자들은 이러한 정보 중, 가장 용이하게 정보의 취득·관리가 가능하고, 직접적으로 지반 평가가 가능한 유압 착암기의 천공 상황에 착안해 그 시스템화를 시도해 왔다.<sup>17), 18), 19)</sup> 다음은 그 개념과 시스템의 구성 및 몇 가지 적용사례이다.

### 3. 터널관측화 시공으로서의 천공 검층<sup>18), 19)</sup>

오늘날의 현장계측결과나 막장 관찰결과에 의해 역학적인 설계가 요구하는 정밀도로 역학 모델을 설정하거나, 역학 파라미터를 일치시키는 것은 상당히 곤란하다. 또한, 터널의 안정성을 평가함에 있어서, 중요한 굴착에 따른 이완 영역의 형성과 그 범위를 평가하는 것도 이루어지고 있지 않다.

현재, 터널 막장 전방 및 터널 공동주변의 지질 정밀조사 기법은 다양하게 고안되어 있지만,<sup>21), 22), 23), 24)</sup> 그 대부분은 측정을 위해 장기간에 걸쳐 굴착이 정지되어야 하며, 특수한 계측기기를 요구하고, 시험·분석에 전문가가 필요한 경우도 많다. 따라서, 관측화 시공에서 요구되는 시공사이클을 방해하지

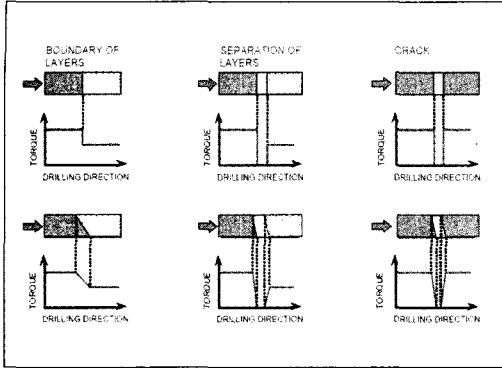


그림 1. 천공 시 토크의 기본패턴<sup>17), 18)</sup>

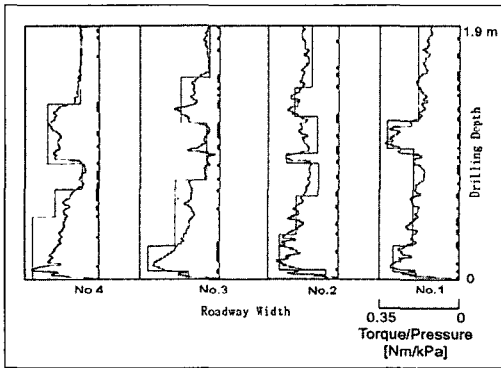


그림 2. 실측과 식별 천공 토크 분포의 비교 예<sup>17), 18)</sup>

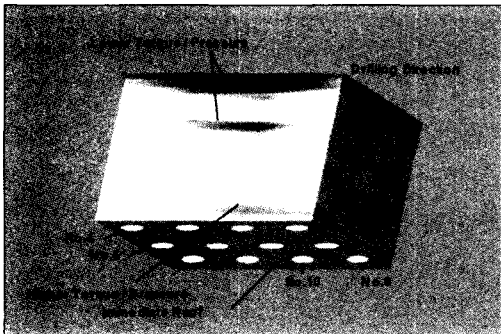


그림 3. 갱도 천단부의 3차원 지질구조 추정도<sup>17)</sup>

않으며, 인적·경제적 부담이 적고, 범용적으로 시공에 도입할 수 있는 기법이라고는 볼 수 없다고 생각된다. 단지, 이러한 기법 중에서 막장 전방 탐사에

이용되는 천공 검층기법은 관측화 시공에 제공할 수 있도록 그 시스템을 개량함으로써 우리들이 원하는 지질 정밀조사를 실현할 수 있을 가능성이 있다고 생각했다.

터널 시공 막장면관찰에 있어서, 각종 천공기계의 작동상황, 예를 들면 천공능력, 슬라임 상황 등은 천공위치의 지질상황과 밀접하게 관련된다. 따라서, 이것을 연속적이며 정량적으로 측정한다면, 터널 주변 지반의 지질상황을 정밀도 높게 파악할 수 있을 것이다. 필자 중 한 명은 이러한 개념에 기초해 광산 갱도의 락볼트 천공 토크데이터로부터 지반 천단부 지질을 CG 상에 재구성하는 연구를 실시했다.<sup>17)</sup> 이 방법은 기초 실험에서 얻어진 암반의 강도 및 불연속면과 천공에 요하는 토크의 관계를 그림 1에 나타난 6가지 패턴으로 분류하고, 천공시 측정된 토크가 이 중의 어떤 패턴에 해당하는지를 Neural Network System으로 인식시킨 것이다.

그림 2에 광산 갱도의 단면 내에 천공된 4공(각 천공장 1.9m)에 대한 토크 분포와 신경망으로 식별된 불연속면 위치의 비교가 나타나 있다. 그림 속 중측 위의 검은색 점이 추정된 불연속면의 위치를 나타낸다. 암층의 경계는 불연속면이므로 불연속면 위치 간 평균 토크치를 비교함으로써 암층의 차이를 판단하고 있다. 이 현장의 암 성층면 방향은 거의 수평이지만, 그림 2의 결과에서도 비교적 단단한 암층(토크가 높은 곳)과 연약한 암층(토크가 낮은 곳)이 교호하여 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉, 상대적인 암반의 강도가 상당한 정밀도로 재연된 것이라고 판단된다. 이 분석 결과를 바탕으로 갱도 천단부의 지질상황을 CG 위에 재현한 것이 그림 3이다. 이처럼 연속적인 데이터 채취로부터 입체적인 암반의 강도 분포, 혹은 불연속면 분포의 파악이 가능해져, 직감적인 이해를 도울 수 있을 뿐만 아니라, 지반 변위

등의 거동을 보다 정밀하게 분석할 수 있고, 설계시 필요한 역학모델을 제시할 수 있다.

이것은 천공이 회전만으로 이루어진 비교적 단순한 천공기계(WOMBAT L.P.)를 위해 개발된 기법이지만, 비슷한 시스템을 터널 시공에 범용적으로 사용할 수 있는 유압 착암기에 대해 구축할 수 있다면, 터널 시공에 따른 각종 천공작업, 예를 들면 락볼트공이나 발파공 천공 결과를 그대로 지질조사 자료로서 축적할 수 있다. 이를 위해서는 다음 3가지 조건을 만족하는 천공 검층 시스템의 구축이 필요하게 된다. 즉,

- ① 데이터·로깅 : 터널의 시공 사이클을 최대한 방해하는 일 없이, 저렴하며 범용성이 높은 시스템. 가능한 한, 작업원 등이 번잡하지 않게 데이터를 채취할 수 있는 것.
- ② 데이터·베이스 : 다른 관측화 시공 데이터와의 연계성을 확보한 분류가 가능한 것.
- ③ 데이터·컨트롤 : 방대한 데이터를 효율적으로 정리하고, 각자가 용이하게 구한 단면의 천

공 데이터에 접속할 수 있으며, 용이하게 분석·가공·해석에 제공할 수 있는 시스템

이러한 시스템을 구축하기 위하여 필자들은 국토교통성이 제창하는 정보화 시공기술<sup>2)</sup>의 검토방식을 도입하기로 했다. 즉, 시공관리에 필요한 전자정보를 실시간, 종합적으로 관리함으로써, 시공관리, 시공작업 및 관계서류 등의 작성 효율화를 도모할 수 있는 시스템 구축을 목표로 했다.

이미 10개 이상의 터널시공 현장에서 필자들의 천공 검층 시스템이 도입되어, 각 현장마다 목적으로 하는 기능이 정비되어가고 있는 단계이지만, 상기 ①에 관해서는 다음과 같은 데이터로깅·시스템이 이미 가동되고 있다. 즉, 유압 착암기의 전원이 입력되면 천공검층 데이터의 로깅·시스템 전원도 동시에 입력되어, 준비 상태가 된다. 그리고, 유압모터의 작동개시와 동시에 데이터 수집이 개시되어, 유압모터의 작동정지와 함께 데이터 수집은 종료되고, 데이터의 파일작성이 이루어진다. 이렇게 수집

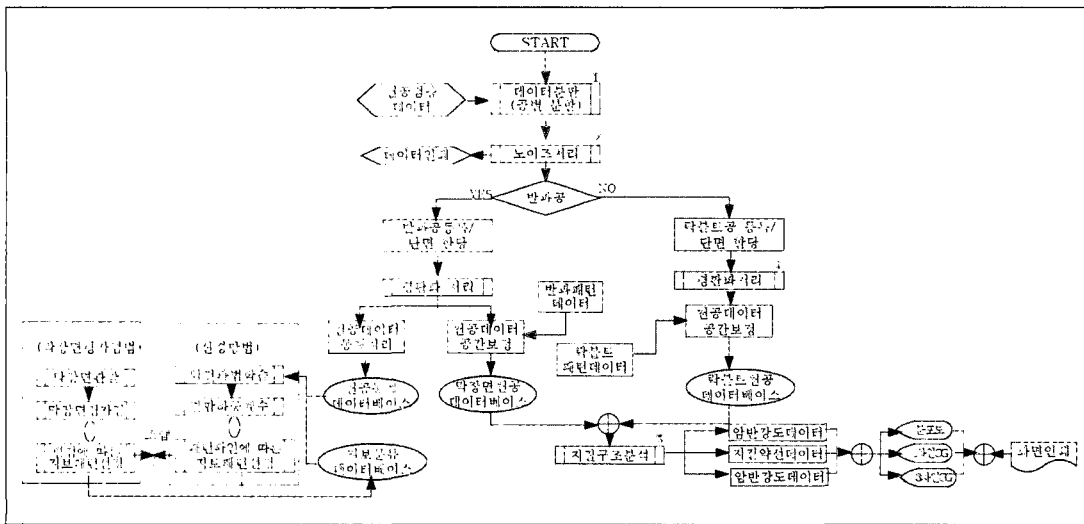


그림 4. 락볼트공 및 발파공을 대상으로 한 천공 데이터·베이스와 데이터·컨트롤의 구조

된 천공 데이터는 갱내 LAN을 통해 사무소 내 PC 상으로 전송되어, 막장면 진행을 기록한 작업 테이블에 의해 막장면에 따른 파일명이 분리되어 데이터·베이스 상에 정리·축적된다.

이 때, 천공데이터·파일명을 막장면에 맞게 분류하는 것은 막장면 관찰이나 현장계측과의 호환성을 확보하기 위한 것이고, 터널 기술자가 천공 데이터로의 접속이 용이해 진다고 판단했기 때문이다. 이것을 기본으로 한 상기 ②, ③의 데이터·베이스와 데이터·컨트롤의 구조를 그림 4에 나타내었다.<sup>18), 19)</sup>

그림 4는 락볼트공 및 발파공을 대상으로 한 천공 데이터·베이스와 데이터·컨트롤의 구조를 나타낸 것이지만, 막장면 전방 탐사에 대해서도 동일한 구조로 대처할 수 있다.

아래에 이 천공검층 시스템으로 얻어진 성과의 일부를 나타내었다.

#### 4. 천공검층기법의 터널시공으로의 피드백

천공검층기법을 터널 관측화 시공에 도입하는 가장 큰 목적은 터널 주변지반의 지질상황을 정확하게 파악하는 것이다. 지금까지의 막장면 전방 탐사 등에 사용된 천공검층에서는 지반을 평가하는 지표로서 타격압과 천공속도 비로 구해진 천공 에너지로 평가되는 경우가 많았다. 그러나, 터널시공에 사용되는 최근의 유압착암기에는 효율적이고 안정된 천공을 하는 것을 목적으로 한 각종 제어기구가 설치되었다. 이러한 제어기구가 작동할 경우, 타격 에너지만에 의한 지반평가는 오해를 낳을 가능성이 있다. 또한, 제어기구를 고찰함으로써 상세한 지질구조의 이해를 도와 준다는 것이 명백해지고 있다.<sup>18), 19), 25)</sup>

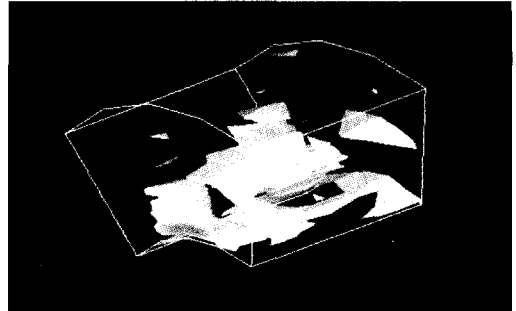


그림 5. 천공속도 3m/min이상 구간의 공간분포<sup>18), 25)</sup>  
(갱구축 오른쪽 상부의 조감도)

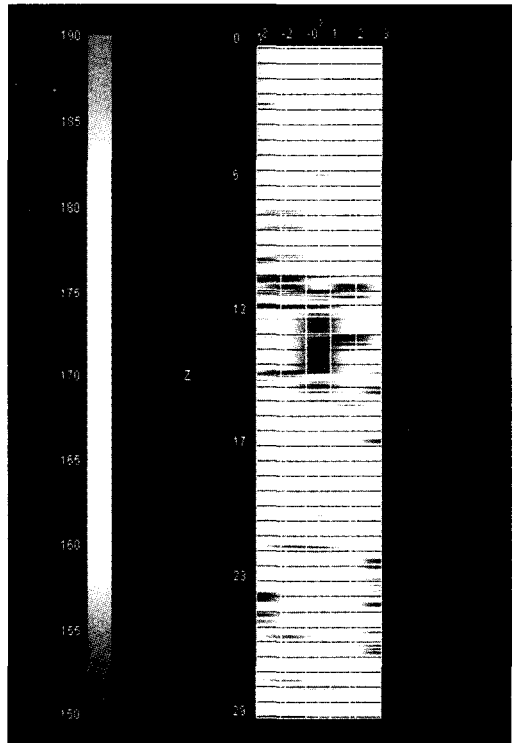


그림 6. 굴착면 전방 탐사구간의 평면타격압 분포<sup>18)</sup>

단, 제어 방법은 유압착암기의 종류에 따라 다양하며, 지반상황에 따라서는 전혀 다른 작동을 하는 경우도 있다. 그렇기 때문에 통일적인 지반 평가 방법은 아직 개발되어 있지 않지만, 터널의 안정성이

나 지보설계를 고려함에 있어 흥미로운 성과를 몇 개 얻었다.

어떤 종류의 지반에서는 특수한 지표를 도입하거나, 제어기구를 고려하지 않고도 지반평가가 가능한 경우가 있다. 그림 5는 그 일례를 나타낸 것으로써, 터널 천단부의 락볼트 천공 시, 천공속도 3m/min이상의 영역을 추출해, 이를 3차원적으로 보간하여 나타낸 그림이다. 해당 지반의 지질은 유문암질 응회암으로 전체적으로 비교적 균질한 지반이었기 때문이었는데 천공기계의 제어기구가 작동하는 일 없이, 타격압, 피드압 등이 천공 중 거의 일정하게 작동했다. 그러나, 토크에는 약간의 변동이 보여, 다른 영역에서는 0.5~1.0m/min미만의 천공 속도 밖에 발생하지 않은 것에 비해, 어느 지점에서는 천공 속도가 3m/min 이상으로 현저하게 증가되었다. 이 영역을 보간하면 그림 5에 나타난 것처럼 일정한 연속성이 공간적으로 존재하고 있다는 것을 알 수 있다. 즉, 연속한 지질 연약부가 존재할 가능성이 높다는 것이다. 이 중, 터널 천단 30cm정도의 영역에 나타난 연약부는 굴착에 의한 이완영역이고, 2~3m정도의 영역에 나타나는 연약부는 잠재적인 불연속면이라고 판단하는 것이 공학적으로는 타당할 것이다.

이와는 반대로, 제어기구가 작동함으로써 지반 연약부가 발견되는 경우도 있다. 예를 들면, 화강암 지반의 굴착 전방 탐사에서는 도중 1~2m정도의 구간에서 돌연 타격압이 저하하는 현상이 보였다. 이 현상은 복수의 인접한 공에서도 발생해 연속성이 높은 것으로 판단되었다. 이 때 사용한 천공기계의 제어기구는 토크가 급상승하고 피드압을 저하시켜도 저하되지 않을 경우, 공 파괴가 심한 것으로 판단해 타격압을 급강하시키는 기구이었다. 이로부터, 그 지점 근방에 1~2m정도의 단층, 혹은 파쇄대가 존재할 것이라고도 예상되었고, 그 후 굴착에서 예상

지점에 그다지 점토화가 진행되어 있지 않은 단층이 나타났다.<sup>18)</sup> 이 경우의 탐사 구역 타격압 평면분포를 그림 6에 나타내었다. 이 천공은 탐사심도가 30m, 그림의 상부가 탐사를 개시한 막장면에 해당하고, 탐사공은 터널 중심을 축으로 좌우 1.5m간격으로 5점 실시했다. 동 그림의 심도 10m근방에 추정되었던 단층이 확인되었다.

또한, 그림 7은 전술한 천공 에너지의 변화율을 바탕으로 터널 주변의 지질 연약부를 추정한 그림이다. 그림에 표시된 구간의 지보 패턴은 모두 D-1(한국 내 type-v상당)으로, 탐색구간의 터널 연장은 약 80m이다. 이 구간에서 추정된 지질 연약부는 모두 터널 굴착에 따른 이완영역이라고 판단되었지만, 동일 지보 패턴 구간에서도 이완 영역 발생 형태가 달랐던 것 같다. 여기에서는 그림에 나타낸 것처럼, A, B, C의 3가지 발생형태로 구분했지만, A부분은 비교적 양호한 지반이고, 굴착에 따른 이완영역도 적고, 또한 잠재적인 연약부도 보이지 않는다. 이에 반해 C부분은 터널 벽면의 1.8~2.4m 범위가 상당히 느슨해져 있는 것으로 판단되며, 범위로서는 좌측 어깨부 쪽이 약간 그 범위가 크다. 이것은 본 지점의 지반이 타 지점(D-1패턴 이외의 지점)과 비교해 취

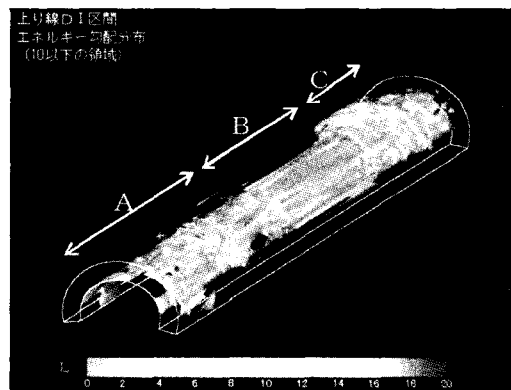


그림 7. 천공 에너지로 추정된 터널 주변의 지반 연약부<sup>19)</sup>





그림 8. VR을 이용한 터널 지보 시공 지원 시스템의 이미지

약하기 때문에 굴착의 영향이 비교적 넓은 범위에 미쳤다고 판단하는 것이 타당할 것이다. 또한, B부분은 천이영역이라고 판단해도 좋을 것이다.<sup>19)</sup> 터널 지보의 규모는 이원영역으로만 판단되는 것은 아니지만, 이 평가가 올바르다고 한다면, 보다 세분화한 지보 패턴을 구축할 수 있을 가능성을 시사하는 것이라고 생각한다.

이처럼, 천공 검층에 의해 종래의 지질조사로는 얻을 수 없는 정밀도의 지질 조사가 가능해진다. 더욱이, 유압 착암기의 작동상황을 지배하는 지질요인, 예를 들면, 암반의 강도, 균열의 성상, 불연속면의 성상(공의 황폐화 여부, 점토화되어 있는지 여부 등) 등이 터널 막장면 관찰항목과 비교적 일치한다는 점에 착안한다면, 막장면 평가점에 적합한 지보 분류가 가능하지 않을까 생각된다.<sup>19), 20)</sup> 이처럼 천공 검층결과의 분석은 작은 일에 불과하지만, 터널 관측화 시공에 많은 새로운 것을 가져다 줄 가능성이 높다는 점을 이해할 수 있을 것이다.

임 재구축을 향한 방법의 일환을 소개했다. 물론, 우리들이 제안한 기법만이 터널 관측화 시공의 패러다임을 재구축할 수 있다고 생각하는 것은 아니다. 터널 공사에 종사하는 개개의 터널 기술자가 관측화 시공 본래의 목적을 재확인하고, 그 문제의 본연의 모습(Problem Configuration)을 인식함으로써 보다 합리적인 관측화 시공의 틀이 구축된다고 믿는다. 그리고, 각각이 관측화 시공 본연의 모습을 명확한 비전으로 나타내는 것은 중요하다고 생각한다.

또한, 그 비전은 현재의 기술 범위를 넘어, 가까운 미래의 기술을 첨가한 비전이 허용되어야 할 것이다. 예를 들면, 필자들은 여기에 소개한 지반내부의 지질구조 CG를 작업원이 현위치에서 실시간으로 공유하면서 최적의 터널 지보 시공이 이루어질 수 있는 시스템으로 수년 안에 실용화할 것을 목표로 하고 있다. 그 완성 이미지는 그림 8과 같으며, 오늘날의 IT기술에서 보자면 비약한 것으로 생각되어 질 지도 모른다. 그러나, 기본적인 기술은 이미 확립되어 있고, 그것이 시공의 합리화, 안전성 확보로 연결되는 것이라면 상상 이상으로 빠른 진전을 볼 수 있을 것이라 믿는다.

마지막으로 본 논문은 재단법인 첨단건설기술 센터의 2000, 2001년도 연구개발 조성의 성과 일부를 바탕으로 한 것입니다. 또한, 천공 검층 시스템 구축에 대해서는 일본 도로공단 중부 지사 岐阜공사 사무소 여러분의 지도·협력을 받았습니다. 이 글을 빌어 깊이 감사 드리며, 본 논문을 마무리 짓겠습니다.

## 5. 마무리

본문에서는 필자들이 터널 관측화 시공의 패러다

## 참고 문헌

1) 社団法人日本土木工業会 公共工事委員会 CALS 検

- 討ワーキンググループ：'98建設CALS/ECの實踐，社団法人日本土木工業会 公共工事委員会 CALS検討ワーキンググループ編 山海堂' 1998.
- 2) 国土交通省総合政策局建設施工企画課：情報化施工のビジョン-2 1世紀の建設現場を支える情報化施工-，[http://www.milt.go.jp/kisha/kisha01/01/010330\\_.html](http://www.milt.go.jp/kisha/kisha01/01/010330_.html), 2001.
  - 3) 桜井春輔：トンネル工事における変位計測結果の評価法，土木学会論文報告集，第317，pp.93~100，1982.
  - 4) 桜井春輔 武内邦文：トンネル掘削時における変位計測結果の逆解析法，土木学会論文報告集，第337号，pp.137~145，1983.
  - 5) Yamachi, H., M.Hirai, M.Nakata and S.Sakurai : Mechanical behavior of jointed rock masses supported with rock bolts, Proc. Of Int. Sympo. On Rock at Great Depth, pp.497~504, 1989.
  - 6) 山地宏志 桜井春輔 平井正雄 中田雅夫：現場計測に基づくロックボルトの作用効果の評価，土木学会論文集，No.448/III-19, pp.83~89, 1992.
  - 7) 山地宏志 桜井春輔：ひずみ制御によるトンネル支保工の最適化，土木学会論文集，No.448/III-19, pp.83~89, 1992.
  - 8) 中田雅博 三谷浩二 八木弘 西琢郎 西村和夫 中川浩二：切羽観察の分析に基づく新しい切羽評価システムの提案，土木学会論文集，No.623/VI-43, pp.131~141, 1999.
  - 9) 赤木 渉 佐野理 進士正人 西琢郎 中川浩二：山岳トンネル施工支援のための切羽評価法の適用に関する研究，土木学会論文集，No.6686/VI-52, pp.121~134, 2001.
  - 10) 芥川真一 太田道宏 松岡敬：磁歪法を用いたトンネル支保構造部材作用荷重の現場計測，土木学会年次学術講演会概要集，III-263, 1993.
  - 11) 西村毅 田中正：画像処理による岩盤不連続面の調査手法の研究，間組研究年報，pp.119-126, 1992.
  - 12) 嘉指登志也 近久博志 筒井雅行 石黒真一：新第三紀堆積岩地山における切羽画像を利用した3次元地質分析，第34回地盤工学研究発表輔，地盤工学会，pp.1749-1750, 1999
  - 13) Bieniawski, Z.T. : Rock mass classification in rock engineering, Proc. Of Sympo. On Exploration for Rock Engineering, pp.79~106, 1976.
  - 14) Fisher, M., K. Liston and R.R. Schwegler : Inter-active 4D Project Management System, Proc. of 2nd Civil Engineering Conference in the Asia Region (2nd CECAR), the Asia Civil Engineering Coordinating Council, Japan Society of Civil Engineers, Tokyo, Japan, pp.367-372, 2001.
  - 15) Fischer, M., J. Haymaker and K. Liston : Benefits of 3D and 4D Models for Facility Managers and AEC Service Providers, 4D CAD and Visualizations in Construction- Developments and Applications, Issa, R.R.A., I. Flood and W. O'Brien (eds), Balkema, pp.1-32, 2003.
  - 16) Fischer M. and J. Kunz : The scope and Role of Information Technology in Construction, 土木学会論文集 No.763/VI-63, pp.1-31, 2004.
  - 17) 板倉賢一：ボーリング ビット位置でのAEと機械量データに基づく岩盤内可視化に発する研究，平成9年度~11年度科学研究費補助金(基礎研究

- (B)(2) 研究報告, 2001.
- 18) 板倉賢一 岡野成敏 山地宏志: 情報化施工におけるトンネル施工法および支保工の最適化に関する研究, 平成12年度財団法人先端建設技術センター研究助成報告書, 2001.
- 19) 桜井春輔 板倉賢一 山地宏志: 情報化施工におけるトンネル施工法および支保工の最適化に関する研究, 平成13年度財団法人先端建設技術センター研究助成報告書, 2002.
- 20) 桜井春輔 清水則一 変位計測に基づく地下空洞周辺地山に発生する組成領域の推定法, 土木学会論文集, No.394/Ⅲ-9, pp.89~96, 1988.
- 21) 稲崎富士, 千田敬二: 坑内 HSP によるトンネル切羽前方弱層評価, 第25回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.271~275, 1993.
- 22) 新田邦弘: 地下レーダによる岩盤内部割れ目調査例, 物理探査学会 第86回学術講演会 論文集, pp.321~325, 1992.
- 23) 青木謙治, 稲葉武史, 塩釜幸弘, 手塚康成: 油圧ドリルによる削孔データを用いた岩盤評価および切羽前方地質の予測技術について, 第8回岩の力学シンポジウム講演論文集, pp.67~72, 1990.
- 24) 山下雅之, 石山宏二, 稲葉力, 岡本修, 小野利昭, 安部俊夫: 油圧式削岩機の穿孔圧を利用した切羽前方探査法の現場適用場適, 西松建設技報, vol.21, pp.1~8, 1998
- 25) 板倉賢一 山地宏志 中野陽一: ジャンボマシンの作動特性を基にした地山地質構造の可視化, 平成13年度建設機械とシンポジウム公演論文集, pp.61-66, 2001.



# 2005년도 정기총회 및 봄학술발표회 · GEO EXPO

2005년도 정기총회 및 봄학술발표회를 아래와 같이 개최하오니 회원여러분께서는 사전등록 일정 및 논문진행 일정을 확인하시고 학회 참여에 지장이 없도록 미리 준비하시기 바랍니다. 또한 해마다 진행되는 GEO EXPO도 참가 신청을 받고 있어오니 관련 업체의 많은 참여를 부탁드립니다.

- ◆ 일 시 : 2005년 3월 25일(금)~26일(토)
- ◆ 장 소 : 제주 국제 컨벤션센터 (중문)

## ◎ 학술발표회 사전등록 안내

### 1. 사전등록자 등록방법(사전등록 마감일 2005년 1월 31일)

- ◆ 학술발표회 홈페이지 접속(www.kgshome.or.kr) → 참가등록 신청 → 참가자 인적사항 입력(회원검색, 비회원 직접입력) → 리셉션 참여여부 체크 → 결제방법선택 → 최종입력현황확인 → 결제
- ◆ Off line에서 사전등록을 할 경우 사전등록 내용(참가자 인적사항)을 작성 하신 후 fax(02-3474-7379)로 보내 주시고 화비는 입금하여 주시기 바랍니다.

### 2. 등록비 안내

#### ▶ 학술발표회

구분	사전등록	현장등록
정회원	50,000원	80,000원
학생회원	30,000원	50,000원
비회원	80,000원	100,000원

#### ▶ Banquet

Banquet (3/25(금))	사전등록	현장등록
	30,000원	40,000원

### 3. 논문 진행 일정

- ◆ 2004년 10월 1일(금) ~ 2004년 12월 31일(금) : 논문요지 및 논문전문 작성 및 제출
- ◆ 2005년 1월 1일(토) ~ 2005년 1월 31일(월) : 논문전문 심사 및 사전 등록 실시  
(제출된 논문은 모두 발표 기획(구두 또는 포스터) 부여 - 심사를 통해 구두와 포스터 발표 선정 / 사전등록자에 한해 구두발표 기회 제공)
- ◆ 2005년 2월 1일(화) ~ 2005년 2월 28일(월) : 논문전문 수정보완 및 최종본 접수
- ◆ 2005년 3월 1일(화) ~ 2005년 3월 20일(일) : CD논문집 및 인쇄본(구두 및 포스터) 제작
- ◆ 2005년 3월 25일(금) ~ 2005년 3월 26일(토) : 정기총회 및 봄 학술발표회

## ◎ GEO EXPO 참가신청 안내

- ◆ 일 시 : 2005년 3월 25일(금)~26일(토)
- ◆ 장 소 : 제주 국제 컨벤션센터 (3층 로비)
- ◆ 참가신청 (입금순서 및 전시항목을 고려하여 배치)
  - ① 규격 : 3m×3m
  - ② 가격 : 800,000원 (1 Booth당)
  - ③ 신청기간 : 3월 5일까지 선착순 한정

◎ 입금계좌번호 : 국민은행 468037-01-005039(예금주 : 한국지반공학회)