

NATM 시공사례와 개선에 관한 연구

(터널의 붕괴 및 토압현상과 대책을 중심으로)

서 응 조

Suh, Ung cho*

1. 서론

도심지 지하철공사와 산악터널공사를 추진함에 따라 현실적으로 정밀하게 터널굴착의 가능성을 조사하고 검측 분석한다는 것은 시공성과 경제성을 고려해 볼때 매우 중요한 요인이 된다고 할 수 있다.

현장답사, 보어링, 탄성파시험등에서 지반검측이 가능함으로 이에 따라 굴착을 시도하는 것만이 전부가 될 수는 없다. 이와 같은 지반의 경·연도, 절리도, 용수, 내풍화성등과 더불어 시공기술과 관련된 것을 고려해야만 하기 때문이다. 어느 구조물이 지반상 안전하게 시공되거나 사용시장기간 내구성을 갖을 수 있는지의 여부를 판정할수 있고 또한 굴착시공의 가능성을 용이하게 할 수 있어야만 하기 때문이다.

주로 터널의 LOCSTION과 굴착에는 지질공학과 토목시공 기술을 접목하여 문제점을 검토 연구하여 해결해야 하며 터널, 교량 및 기타 구조물의 시공전 조사와 시공중의 실질적 경험을 통하여 토목공사에 직접적으로 필요한 이론을 축적시켜야만 한다.

고로 생활환경을 조성하고 있는 토목공사가 점차적으로 대형화 되어가고 있는 추세이므로,

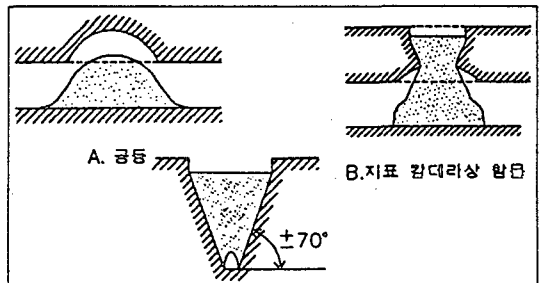
표면적인 조사에서 내부적인 예측, 현시점에서의 상황에서 장래의 예측 등을 지반 및 암반 공학을 통하여 안전하고 양호한 구조물을 건설하는데 일조할 수 있도록 해야만 한다.

2. 터널의 붕괴현상

터널의 붕괴는 지반활동(滑動)이나 암반활동 등의해 순간적으로 발생하는 붕괴로 정의할 수 있으며, 주로 터널주변의 지반중에 발생하는 붕괴라고 말할 수 있다. 보통 발생하는 붕괴는 다음과 같은 형상을 보여준다.(그림1)

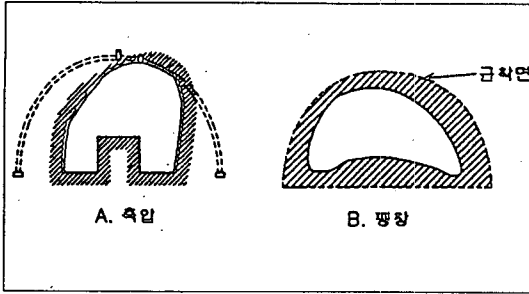
그림1. 붕괴현상

1) 천단의 붕괴(낙반) : 천단에 공동이 있는 경우에 발생하며, 또한 토피가 두껍지 않은 경우 지표에 칼데라상(CALDERA狀)의 함몰이 발생한다.

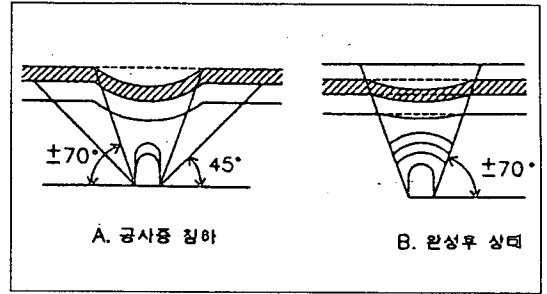


* (주)삼호 기술연구부차장

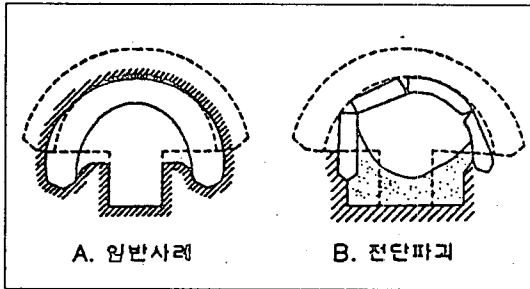
2) 내공단면이 현저하게 축소된다.



6) 터널상부의 지층이 침하된다.

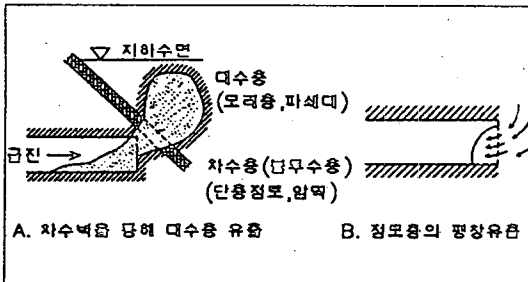


3) 아아치 콘크리트(복공)가 침하된다.



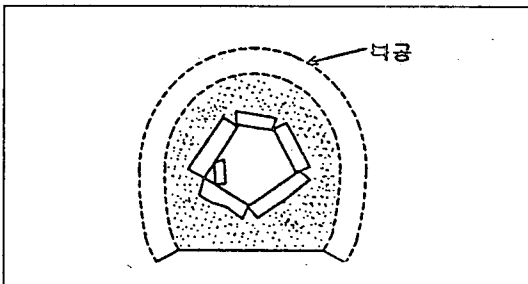
상부지층의 침하를 작게하는 공법으로써 토압이 작용하는 연약지반에 강관을 시목(矢木)으로서 타입(打入)하는 바, 최근 메셀(MESSEL) 공법의 형태를 이용하고 있다. 메셀시판(矢板)이나 강관시목(矢木)을 더욱 JACK으로 들어 올려 침하부분을 압착시키는 방법으로 이때 들어올리는데 가하는 힘은 지층을 파괴하지 않는 한도내에서 CONTROL해야만 한다.

4) 지층의 유출로 매몰이 된다.



터널의 붕괴를 공학적으로 해석해보면 다음과 같은 경우로 말할 수 있다.

5) 압쇄(壓潰)현상(압력을 받아 무너지는 현상)이 발생한다.



- 지보공과 복공의 강도 부족 : 토압이 평가와 설계상의 문제가 된다.

- 천단 및 측벽의 지층·암반의 강도 부족 및 이완된 기초의 지지력 부족 : 지보공 및 복공의 변형을 초래하고 이의 내력(강도)를 저하시킨다. 지층·암반의 강도부족은 커다란 토압의 요인이 되므로 기초의 지지력이 충분하지 못하게 되면 지보공 및 복공은 상당한 토압에 내력을 갖도록 해야한다. 이의 대책은 다음과 같다.

• 넓은 지지면을 만들어 준다.(콘크리트 블럭, WALL PLATE등)

• 측벽부의 강화와 하중의 분산이 되도록 한다.(혼합콘크리트, 콘크리트 등)

- 예상외의 토압 : 기초지지력 부족으로 인한

지보공의 침하, 함수모래층의 유출, 인접공사에의 영향, 환경조건의 변화등이 발생하므로, 시공기술의 정밀도가 크게 관계되며, 계측관리를 고려해야 한다.

3. 붕괴의 원인

터널붕괴는 발생요인에 따라 분류된다.

- 1) 갱구 : 일반적으로 견고한 기초(암반)에 있지않고 표토층에 있으며, 토피가 얇고, 지형적으로 편압을 받는 경우가 대부분이다.
- 2) 토피가 얇은 지역 : 토피가 얇으며 터널주벽이 GRAND ARCH를 형성하지 않는 지표에 있으며 활동(滑動)이 발생한다.
- 3) 미고결퇴적층 : 애추(TAILUS), 화강암의 마사, 표층풍화층, 응회암층, 제3기층의 미고결 모래층 실트층이 여기에 해당한다.
- 4) 연암 : 터널주벽에 생기는 응력에 대항하는 강도가 부족한 경우에 발생한다.
- 5) 풍화변질암 및 팽창성지반 : 온천여토, 사문암, 벤토나이트(팽윤성 강한 점토), 조산대의 연암등은 연암의 요소를 보여주며 팽창성 토압이 작용한다.
- 6) 파쇄대 : 연암의 요소로서, 지하수에 의하여 지층이 유출한다.
- 7) 미고결퇴적층 중의 함수모래층의 유출이 발생한다.
- 8) 활동(滑動)지반 : 외견상 후지상태의 안정된 지역이나 지질적으로 애추나 붕토로서 불안정한 요소를 지니고 있으므로 굴착시 활성화된다.
- 9) 지층경계면의 격변에 따라 미고결 표층토

와 고결암반과의 경계가 급격히 떨어진다.

10) 관통지점 : 관통지점 부근은 한 방향으로 장기간동안 이완되며, 잔여 지지 부분이 제거되므로써 붕괴위험이 발생할 수 있으므로 관통지점의 지반은 우량한 지역을 선택한다.

11) 지하수의 동결로 측벽의 압출 : 동정기에 변위량이 커지며, 하절기에는 역방향의 변위로 회복되는 현상이 나타난다.

4. 토압의 발생

터널주변에 발생하는 토압을 어떻게 처리해야 하는지의문제와 관련하여, 적당한 터널을 가정할때 작은 경우에는 형태를 유지하지만 큰 경우에는 터널주변에 균열이 발생하고 저키며 수량이 많아지므로 터널은 육안으로 인지할 정도로 변형되어 불력화 되면서 일부 붕락되어 버린다. 이러한 변형이 발생하지 않도록 하기 위해서는 내측에서 외측 방향으로 힘을 가해주는 방식과 같이 토압에 대응되어야 한다. 내측에 항토압구조체로써 지보공과 복공이 수행되어야 한다.

단면이 크면 형상에 이상이 발생하는바, 주벽을 구성하는 암반이나 지반의 재료역학적으로 우량한 경우 변형은 육안으로 볼수 없는 탄성변형의 정도가 존재하게 된다. 이러한 경우의 변형(변위량)은 굴착 후에 단시간내 안정되므로 차후에 채용된 지보공이나 복공에 커다란 토압이 작용하지는 않는다.

그러면 감지할 수 있는 토압의 메카니즘이 나타나야 하는데 붕괴가 예상되는 지반의 범주

내에서 취급되어야 한다.

4-1. 터널 주변의 응력 상태

탄성론에 대하여 터널 주변의 응력상태는 다음과 같은 공식으로 설명할 수 있다. 우선 굴착전의 지중응력(일차 또는 초기응력과 동일)은 다음과 같은식으로 나타낼 수 있다.

$$P_v = r \cdot h, P_h = \lambda \cdot P_v$$

P_v : 연직방향의 평균응력

P_h : 수평방향의 평균응력

λ : 축압계수

h : 심도

r : 암반 또는 지반의 단위체적 중량

굴착후에 터널 주변의 응력상태는 이차 응력을 받게 된다. 도표1은 P_h 와 P_v 의 여러 형태인 경우에 임의의 타원단면의 터널에 발생하는 원주방향의 이차응력으로서 측벽부분과 천단 또는 기초지반(저반)에 작용하는 주응력의 상태를 표시한 것이다.

원형단면은 $b/a=1/1$ 의 경우에 해당하며, 측

압계수(λ)=0인 경우 $3P_v$ 가 되고 $\lambda=0.25$ 인 경우 $2.75P_v$ 가 되는 주변방향 주응력(σ_θ)이 측벽중심부에 발생하나. 압축응력이 지반 또는 압축강도를 초과할 때 주벽에는 소성영역이 발생하므로 소성 토압론에 따라야 한다. 소성토압론에 대하여 시간 경과에 따른 축압계수는 포아송비의 변화로 탄성해(彈性解)의 계산이 수행되어야 하고 소성론의 경우에는 탄성론의 경우와 동일하므로, 결국은 측벽부분에 있어서 소성영역은 별로 변화가 없다. 암반이 소성적으로 진도하는 경우 토압현상은 측벽부에 나타난다.

도표1. 탄성론에 의거한 터널의 주변 방향주응력

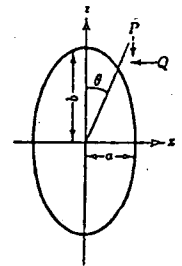
P : 연직응력

Q : 횡방향 응력

θ : 수직에서의 각도

b : 연직축 반경

a : 수평축 반경



$P:Q \frac{b}{a}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1.75}{1}$	$\frac{1.50}{1}$	$\frac{1.25}{1}$	$\frac{1}{1}$ (원)	$\frac{1}{1.25}$	$\frac{1}{1.50}$	$\frac{1}{1.75}$	$\frac{1}{2}$
1:0.1 $\theta=90$	1.00	1.14	1.33	1.60	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
$\theta=0$	4.00	3.50	3.00	2.50	2.00	1.60	1.33	1.14	1.00
1:0.75 $\theta=0$	1.25	1.39	1.58	1.85	2.25	2.75	3.25	3.75	4.25
$\theta=90$	2.75	2.37	2.00	1.62	1.25	0.95	0.75	0.60	0.50
1:0.5 $\theta=90$	1.50	1.64	1.83	2.10	2.5	3.00	3.50	4.00	4.50
$\theta=0$	1.50	1.25	1.00	0.75	0.50	0.30	0.16	0.07	0
1:0.25 $\theta=90$	1.75	1.89	2.08	2.35	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75
$\theta=0$	0.25	0.12	0	-0.12	-0.25	-0.35	-0.42	-0.47	-0.50
1:0 $\theta=90$	2.00	2.14	2.33	2.60	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
$\theta=0$	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00

4-2. 주벽(周壁)의 파괴와 아아치 작용

암석의 인장강도(σ_t)는 일반적으로 압축강도(σ_c)의 1/10~1/30에 해당하며, 주벽에 결함이 없는 일정한 암석으로 이루어져 있는 경우에 파괴는 인장응력에 대하여 천단 또는 저반에 발생한다. 그러나 암반은 여러 가지의 크고 작은 암석과의 집단으로 형성되었는데, 일반적으로 불균질성 및 이방성을 나타내며 또한

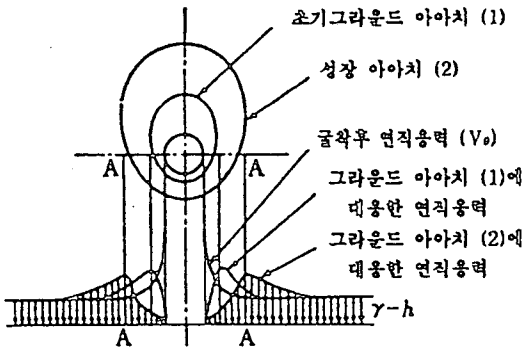


그림2. 터널주변 부근의 증가응력

암괴의 크기나 종류에 따라 지질적 분리면이 존재하며, 암반의 강도는 암석괴에 나타는 강도에 따라 약해지며, 천단 또는 저반에 강한 인장응력이 작용하기 전에 압축압력의 증가와 전단력에 대하여 우선적으로 측벽부가 파괴를 일으키게 된다. 따라서 토압현상을 제시해주는 붕괴 지층과 암반에 대하여 강하게 나타나는 경향이 있다.

터널주변에 발생하는 증가응력(그림2)에 대하여 지층과 암반의 강도가 부족하여 주벽에 파괴가 발생하는데 증가응력을 지탱하는 범위는 응력과 강도의 균형이 보존되어 단계별로 확대되어간다. 터널주변의 암반은 암석괴의 집합체에 변화를 주게 된다. 측벽의 지

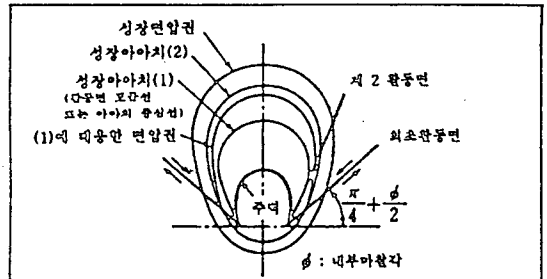


그림3. 주변부근의 GROUND ARCH

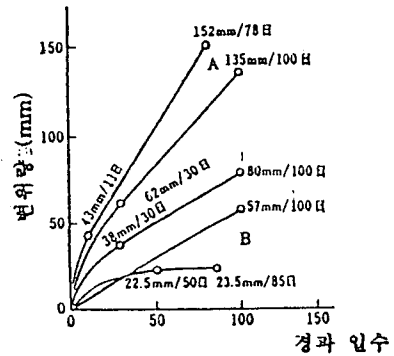
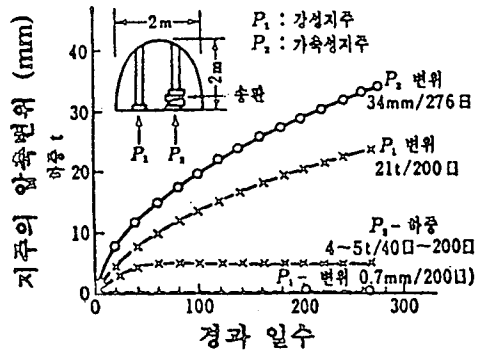
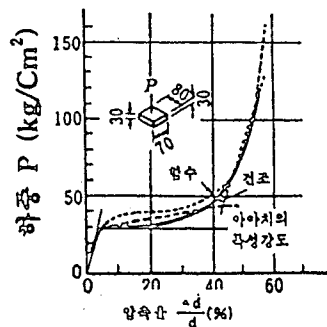


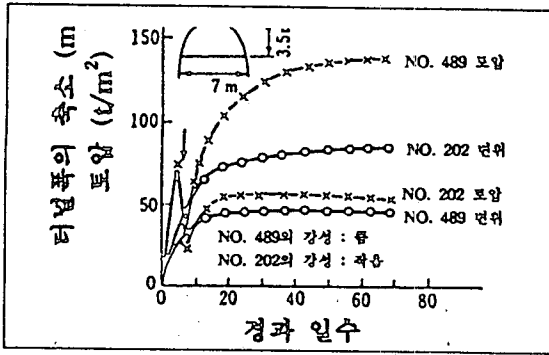
그림4. 굴착면 변위



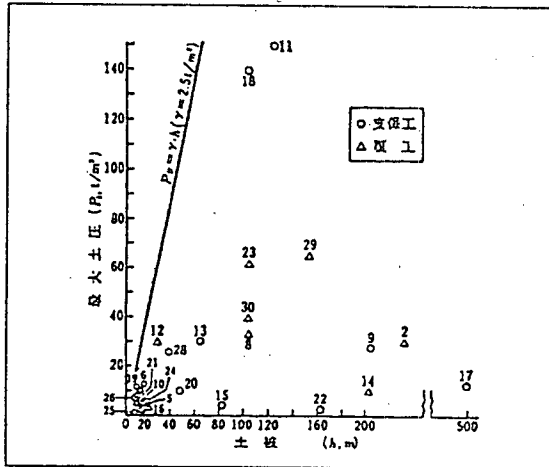
(a) 지주의 강성과 토압



(b) 아아치의 특성곡선



(C) 지보공의 강성과 토압
그림 5. 변위의 허용과 토압과의 관계



지가 약화되고 측벽부분에 탁월하게 나타나는 면이 있게 된다. 이때 마찰저항이 작용하고, 단계적인 파괴가 유발되는데 그림3에서와 같이 CROUND아아치가 형성하게 되며 시간이 경과함에 따라 확대되어간다. 그림 1의 6은 실제 터널에 나타나는 아아치狀 균열과 지층의 침하를 보여준다.

그림 6은 토압계측사례로부터 얻어낸 터널의 최대토압 P_t 와 토피와의 관계를 나타내는데, 보통 터널에는 토피하층 P_v 에서 작은 압력이 작용하는 경향이 있다. 어떤 경우에는 토피가 작은 ($h < 40m$) 터널의 침하계측에서 얻은 경과에 대하여 지보공에는 침하영역(크게 나타

남)의 $1/(22 \sim 30)$ 정도의 토압이 작용하는데 과중하지는 않다. 터널주변에 GROUND아아치가 형성되어 나타는 것을 고려해야 한다.

4-3. 실제토압

공사중 터널에 나타나는 토압의 작용은, (1) 굴착면의 변위, (2)지반에 따라 시공되는 지보공과 복공의 변위량과의 상관관계에 나타나는 하중에 의거한다. 굴착면에 나타나는 변위(그림 4)는 주변부근에 따른 응력상태와 주벽 물질의 특성과의 관계로부터 주벽 가운데에 파괴와 밸런스가 깨지는 상호관련된 단계적인 변화가 나타나는 현상의 결과이며 지보공이나 복공에는 변위를 저지해주는 비율에 따라 대응하여 증가하는 하중이 작용하게 된다.(그림5)

예를들면 지보공의 지주가 강한 경우 크게 하중이 작용하지만 주벽의 변위량은 작아진다. 또한 변위 억지 효과도 커진다. 반대인 경우 지보공이나 지주에 작용하는 하중은 작아지지만 주벽의 변위량은 크게 나타난다.

결국, 토압이 나타나는 방향은 지보공의 변위량, 변위속도, 하중(반력), 하중속도 등에 따라 변화된다. 토압은 지보공의 이와같은 내력(耐力)특성 때문에 CONTROL할 수 있는 상태로 나타난다.

4-4. 복공후의 토압의 작용

토압은 강지보공에 분담되고 복공에는 분담되지 않으며 복공은 풍화방지 정도로 고려된다. 이러한 복공 가운데의 강지보공과 콘크리트의 하중분담이 행하여진다.(하중분담기능)

터널복공의 경우 H강의 위치가 단면외측에 있고 이의 콘크리트피복의 상태, 상단부는 층

분치 않은 것이 많고 콘크리트와 H강과의 관계에 따라 철골콘크리트 형식에 의거하지 않는 요서가 된다. 복공을 반대로 시공하는 경우 아치 부분과 측벽부분과의 접합이 복공의 일체화를 저지하게 된다.

지반이 중질암 이상인 경우에는 지보공과 복공에는 토압이 작용하지 않는다. 예를들면 천연동굴인 경우 단면 자체가 수백년 이상 안전하게 자립할 수 있는 사례를 볼 수 있다.

지반이 중질암 이하인 경우에는 적더라도 지보공단계 토압이 작용하는 지질에 있어서는 복공후에도 반드시 토압이 작용한다.

가령 복공시점일지라도, 지보공에 토압의 증가가 인지되지 않는 경우 주벽에 있어서 지층변위가 CREEP(변형증가)또는 FLOW(유동)의 용이한 방법이 되며, 지보공골조(H강)사이의 시판(矢板)부분(H강에서 취약한 곳)또는 지층의 노출면에는 변위가 계속 발생하며, 토압이 이에 따라 해방되는 바, 지보공 골조에 초기에는 토압이 작용하지는 않는다.

지보공 골조 주변의 목재류의 압축CREEP등도 한 원인이 된다.

복공 콘크리트가 타설되면 이의 강성(剛性) 때문에 지층의 변위가 있더라도 목재류의 변위가 억지되는 결과도 있지만, 콘크리트와 강지보공에도 재차 토압이 작용하게 된다.

더우가 강지보공에 대한 콘크리트의 하중분담율이 초기에는 작고 콘크리트가 경화되는 시점에는 약 60%가 달하고 최종적으로는 90%에 도달하는데, 항(抗)토압구조체로서 복공 콘크리트의 의존도가 증가하는 결과로 나타난다. (그림7)이와같이 복공후에도 토압이 작용한다.

그와 같은 방식으로 토압에 저항하는 주체는

콘크리트가 된다.

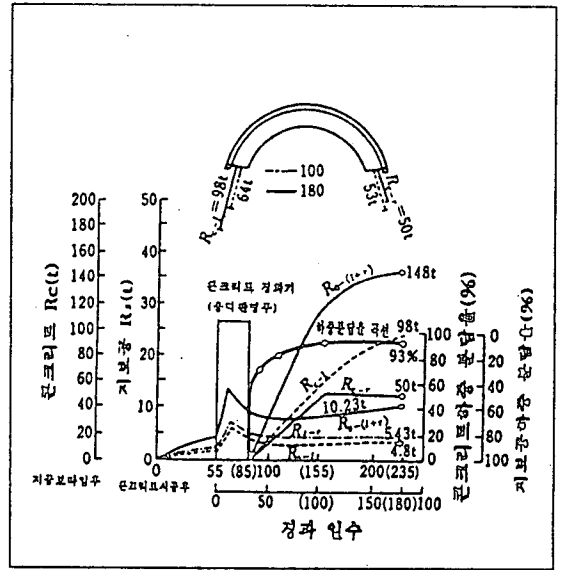


그림7 복공후 토압증가 강아아치 지보공과 복공콘크리트의 하중

5. 팽창성 토압

5-1. 팽창성 토압의 3요소

지반은 보통 열, 압력, 지하수 및 공기의 작용에 따라 체적이 변화되는 성질을 갖고 있는데 체적이 증가하는 현상을 “팽창”으로 정의하고 이와 반대인 경우를 “수축”으로 정의한다. 터널 주변의 지반에 미치는 원인으로는 내공단면을 축소시키는 거동과 관련하여 나타나는 토압현상을 일반적으로 “팽창성토압”이라고 정의한다.

팽창성 토압의 원인은 다음과 같이 분류할 수 있다.

(1) 흡수에 의한 물리적 팽창: 연암 및 변질암에 함유된 점토광물에는 몬모릴로나이트에

의해 현저히 흡수팽창이 발생한다.

(2) 화학변화의 결과에 의한 팽창: 경석고가 물을 흡수하여 석고가 되면 용적이 증가한다.

(3) 상재하중에 의한 지층의 파괴와 소성변형, 또는 그 결과에 따른 응력의 해방으로 팽창한다.

(4) 조산운동으로 갖고있는 잠재에너지(잔류응력), 또는 지층퇴적시에 따른 선행하중등이 해방되므로써 잠재응력의 해방: 전자는 압과열로 대표되고, 후자는 가압 및 탈수 상태의 압밀제하(際荷)에 의한 REBOUND(용적의 확대)에 따른 현상이라고 볼 수 있다. 현상적인 것으로는 (a)팽창과 (b)소성유동, 발생기구 적으로는 (i)암석의 세분화, 결국 상태변화에 수반되는 용적변화, (ii)연암이나 토질의 성분으로 팽윤성(膨潤性)점토광물을 포함하는 경우에 강압이나 흡수에 수반되는 용적변화, (iii)응력과 지층의 물성치와의 관계에 따른 소성 변형 등으로 분류할 수 있다

(A) 조산대 또는 습곡대

(B) 연암 또는 변질대

(C) 팽윤성 점토광물

상기 (A)(B)(C)의 조합이라면 협의의 의미로 팽창성토압의 3요소라고 정의할 수 있다.

5-2. 터널주벽에 나타는 팽창현상의 체계

(1) 탄성변형: 탄성체→굴착→제차(際荷)→증가응력→탄성변형(압반의 변형적 성질: 변형계수, 암석탄성의 성질: 영률)→일반굴착직후, 지보 공시공전에 완료된다. GRAND ARCH의 ZONE이 작아진다. 주벽이 파괴되는 정도가 지속되는 경우 GRAND ARCH의 ZONE이 확대된다.

(2) (상태변화 및 조직의 이완: 연암, 파쇄대 및 입상체)→굴착→증가응력→상태변화(BLOCK화 및 체적변화)

(3) RING-CUT: 선행하중→압밀→굴착→제하(除荷)→RING-CUT→체적변화

(4) 팽윤(膨潤, 점토성광물 및 석고)→굴착→자유면→지하수 공급→팽윤(可的: 지반상태가 변화되었다가 원래의 상태로 복귀되었을 때 외부에도 아무런 변화가 남지 않는 과정)

터널 가운데에는 지하수 공급원이 지반 내부에 있으므로, 물리적이 아닌 화학적 포텐셜때문에 팽윤하게 된다. 엄밀한 의미로 주벽에 있어서 증가응력의 상태변화, 조직이 이완되며(상기(2)의 상태), 지하수가 공급되므로 간극에 지하수가 함유되어 결과적으로 흡수상태가 되는 경우가 많아지게 된다.

(5) SQUEEZE-OUT(압착): 고압하에서→연약점토 및 연약협재층→굴착구속력의제거(물성치를 초월한 응력)→CREEP(일정한 응력하에서 변형이 시간 경과와 함께 증대하는 현상)

(6) 잔류응력의 해방

• 지각변동→굴착→구속력의 제거→변형

에너지의 급격한 개방(압과열)

• 선행하중...(REBOUND 현상) 상기(1)은 급속한 BALANCE가 되고, (2)~(4)는 응력상태와 물성치에 응하여 지속성의 변위를 보여주고, 궁극적으로 광의로 볼때 GRAND ARCH가 형성되는 BALANCE가 된다. (5)는 응력상태와 물성치에 응하여 변위가 지속되며 이것이 저지되도록 정지시킬 수는 없다. (2)~(5)의 변형은 소성적인데, (2)는 FLOW(流動)의 형태가 되고, (3)과 (4)도 응력의 기여가 전제되는 것으로 FLOW(流動)의 형태가 된다.

(5)는 CREEP의 형태가 탁월하게 나타난다.

팽창성 토압에 대해서 흡수팽창으로 정의할 수 있다. 흡수가 되면 팽창하여 토압이 작용하게 된다. 그러나 터널에 있어서는 주벽(周壁)의 응력이 증가하고 굴착하므로써 구속력이 해방되고, 지층의 조직이 우선 이완되고(팽창), 그 다음에 그 간극에 지하수가 공급되는데(지하수가 끌고후 퍼짐), 이러한 순서에 따라서 흡수는 최종단계의 결과에서 된다고 볼 수 있다.

강력한 팽창성 토압이 작용하는 경우나, 주벽의 지층및 암반의 강도가 부족한 경우의 대책에 대해서는 최종적으로 폐합이 되는 TYPE의 복공을 신속히 시공해야 한다. 최근의 시공사례를 예를들면, 진행속도가 느린 토압의 증가를 촉진시키도록 작용하는 경우가 적지 않다.

6. 암파열(ROCK BURST)

암파열은 지압현상의 대표적 사례라고 말할 수 있다. 지중에 있어서 응력상태는 일반적으로 $P_v = r \cdot h$, $P_h = \lambda \cdot P_v$ 공식에서 나타나는 바, 지중에 있어서는 예를들면 압축이완에 대응하여 횡방향의 신장이완 되므로, 상호 억지하는 상태로 BALANCE를 유지해 가는 것으로 볼 수 있다. 결국, 지중에는 연직방향의 이완도 억지되는데, 탄성 이완의 에너지가 저장된다고 볼 수 있다.(항목 4-1 참조)

즉, 암파열은 탄성이완의 에너지가 돌연 극벽히 해방되어 발생되는 것인데, 이러한 기회는 절취되는 경우 한번에 많이 발생하며 실제로 절취의 후방, 절취와의 거리가 절취의 폭에 따라 커지고 위치가 많이 발생하게 된다. 절취에는 축과時 이완의 해방이 일거에 수행되는

데, 실제로 암파열로써 이를 구별하기란 어렵다. 그 다음, 공동화(共同化)가 진행되는 측벽 또는 천단에 응력이 높은 장소에 대해서는 절취후방의 측벽부에 암파열과 같은 현상이 나타나는 것을 검측해내기란 어렵다.

터널사례로써, 섬록암지질의 토괴가 1,000m 이상되는 경우 폭파를 완료한 후, 버럭(폐석)이 나오는 가운데 많이 발생

하며(폭파 후 20~30분후) 이 때문에 1시간정도 대피가 필요하게 된다. 그후 H강 제작에 따라 암파열 방호공을 사용하는데 문제를 해결할 수 있다. 암편의 박리면에 작은 열이 발생한다. 큰 음향이 들리는 암편은 렌즈상 또는 박판상을 이루는데 주변이 칼날처럼 예리하고 암편은 강한 탄성변형을 이루어 돌출된다. 일반적으로 암파열은 압축응력의 제공에 비례하며, 영률에 반비례한다.

영률이 작은 취약한 암석, 즉 예를들면 석탄은 암파열이 발생하는 좋은 실례라 할 수 있다. 그러나 보통 연암에 축적에너지가 여분이 크지 않은채 유동하면 암파열이 생기는 에너지는 축적되지 않는다. 암파열 방지에는 (1) 축적에너지를 암석의 탄성한계에 도달하게 하는데 예를들면 정(正)변형에서 부(負)변형으로 변환되는데 도움을 주게된다. (2) 터널주변의 암반에 지하수를 분포시키므로써 암석간 또는 암석의 내부마찰을 떨어뜨리는 등의 방법이 유효적절한 경우도 있다.

7. 지진과 터널

소규모 산악터널은 지진에대하여 대체로 강하다고 볼 수 있다. 암간 가운데에 지진과는

도표2.

터널의 지층·암반의 물성치 사례

암 질	암탄성	암 반 의 물 성 치					암 석 시 편 의 물 성 치																										
	파속도V _{pf} (m/sec)	포아송비	지내력P (t/m ³)	P재하시변 위량S(mm)	지반계수K (kg/m ³)	정탄성계수 Es(변형계수)	V _{op} (m/sec)	σ_c (kg/cm ²)	포아송비 V	균열도 $f = \left(\frac{v_{pf}}{v_{po}}\right)^2$																							
엽편상 사문암	2500-3000	0.69	32-50	25-5	10-128	276-316	4500-5000	32-45	0.31-0.36	0.31-0.36																							
응회암	2000										0.7	0.7																					
점토+조립사													60	5	12	259	2400	70															
세사+점토													95-117	5	19-234	410-505																	
현무암													203	25	81	1450																	
응회각력암													211	25	844	1820	3200	210															
부석질 응회암													301-320	5	60-64	1290-1380	1050-2630	30-60															
연질이암													60-62	5	12-124	259-268	1080-2050	30-60															
점토질이암													37-38	5	74-76	160-164	800-1600	0.56-1.15															
풍화혈암,파쇄안산암	1600												0.33-0.4					2000-2200	10-20		0.53-0.46												
홍적층 사질토	750	54-100	5	11-20	350-670																												
토상각력암	800-1000	9-144	5	18-288	388-620																												
안산암질 응회암	1300	0.4	36-170	5	72-34	155-735																											
사암,이암(온천여토)	2200									2600	40	0.72																					
응회각력암 II										600	20	30										450	1400	30-50									
함수역암	3200									0.33													3800	30		0.71							
이암,사암	2000-2200																										42-164	5	14-33	302-712			
사실파쇄이암	2200																										162	5	32	690			
파쇄화강암	3200																										0.42				3400	3	
응회각력암파쇄대	2200-3000												86-105	20	4.3-5.3	67-80	3800-5000	300	0.36-0.45	0.2-0.54													
점토와 분암	2000-2500												50-70	20	2.5-3.5	65-90	4000-4500	0.8-1.6	0.25-0.31														
변교안산암	1060																4200	400															
변교안산암 파쇄점토	3800	0.6	3	0.2	29	1060																											
균열변교안산암		280	5	93	1340	3800																											
수면하응회암		160	5	32	460																												
점토질로움		26	5	5.2	75																												
사력		72	5	14.4	208																												
력·실트점토		25	5	5	165																												
파쇄석목편암	3200	0.3				4600	400			0.49																							

기가 빠르고 진폭이 작는데 지반과 일체하여 진동하는 터널복공은 쉽게 변상(變狀)되지 않는다. 이것과 비교하여 충적층이나 홍적층에서는 진폭이 커서 강성(剛性)기초나 터널의 경우 진동에 대하여 일체성이 없으므로 문제가 많아진다.

산악터널은 지진시 변상되어 발생하는 가스에 대해서는 지형적·지질적인 요인이 되는 것으로 지진시에 강조되는 사항이며 이로 인해 발생하는 시기도 고려해야만 한다. 복공두께가 두꺼운 경우에 내진설계에 결합이 있는 것으로 지적할 수도 있으나 터널의 지진피해는 지질적 결합으로 발생되고 있으므로 복공두께를 두껍게 시공하는 경우가 있게 된다.

탄성론의 입장에서 얇은 복공에 대해서는 시공의 정도(精度)나 기술이 이론 및 설계상의 요청으로 이루어지는 것이 전제되는바, 현시점에서 시공기술을 포함하여 경제성·안정성에 문제가 된다. 이러한 문제는 지진에 강한 터널 복공에도 한계가 없으므로, 향후 록볼트공사와 콘크리트공사를 병용하는 SYSTEM, 예를 들면 오스트리아 방식을 적극적으로 채용하고 또는 벨트 공법등의 실적을 이용하여 해결하는 방안도 있다.

8. 붕괴되는 지층과 암반의 물성치

공사중인 터널인 경우, 현저한 토압현상을 나타내는 지층과 암반의 물성치를 대략적으로 선정하는 것이 편리하다고 볼 수 있다. DATA의 직접상태를 다소 검토해 볼 여지가 있는바, 지층과 암반의 물성치를 나타내는

범주는 현저한 토압현상을 보여주고 있다. (도표2)

(예)

변형계수(E_s) < 1,000kg/cm²

포아송비(V) > 0.3~0.4

균열도(f_c) < 0.6~0.7(탄송과 속도에서)

균열도인 경우, 건전한 암석편의 탄성과 속도를 V_{p0} , 각종 지질적 분리면을 따른 암반의 탄성과 속도를 V_p 라 하면 $f_c = (V_p/V_{p0})^2$ 로 나타낼 수 있다.

지층이 미고결 토질로 판단되는 연약지층의 터널(SOFT GROUND TUNNEL 또는 EARTH TUNNEL)인 경우, 평상시 토질의 물성치에 일축 압축강도, 전단강도, 지지력 및 지하수의 영향에 의한 물성치의 저하가 실제로 문제가 된다고 볼 수 있다.

9. 터널시공을 위한 암반분류

터널시공을 위해 제기되는 암반분류방법은 여러 유형이 있으며, 지질구분(암종별)과 이에 대한 지층과 암반의 탄성과 속도를 조합하는 암반분류가 대부분 적용되고 있다. 지반 탄성과 속도는 구성암이 신선하고 결합이 없는 경우의 속도값과 비교하게 되며, 암석의 풍화도가 없는 균열도를 병용하여 제시하는 암질지수(指數)의 의미를 갖게 된다. 토질 또는 I에서 암반 V까지의 암반구분은 작업별 관계를 나타내어 시공계획時 참고자료로 이용하게 된다.(도표3)

도표3.

암반구분과 터널굴착패턴 선정요령

암반구분 항 목	토질, 암 I	암 II	암 III, IV	암 IV	암 V
• 복공두께(cm)					
단선	60	45	45	30	30
복선	75	60	60 45	45	45
• 상반선진굴착공법					
단면적 복선	32.9m ²	30.4	30.4 28.1	29.1	28.1
공법 복선	봉지	봉지, 시판	가판(후시공)	가판(후시공)	가판(후시공)
지보공 복선	200H×0.9m	175H×1.0m	150H×1.2m	150H×1.5m	150H×1.5m
• 1발과 진행(m)					
단선 상반	1.0	1.2	1.5	1.5	1.5
하반	1.2	1.2	1.5	1.5	1.5
복선상반	0.9	1.0	1.2	1.5	1.5
하반	1.2	1.2	1.5	1.5	1.5
• 천공수(본/m ²)					
도갱(6.75m ²)	2.1본m ²	2.4	3.8	4.1	4.4
(9.0m ²)	2.0	2.2	3.7	4.0	4.3
(11.0m ²)	1.9	2.1	3.6	3.9	4.2
단성상반	1.7	1.9	3.1	3.4	3.7
하반	1.0	1.3	2.4	2.8	3.4
복선상반	1.5	1.7	2.9	3.1	3.4
하반	0.8	0.9	1.5	1.6	2.0
• 다이내마이트(kg/m ²)					
도갱(6.75~11.0)	0.5	0.8	1.2	1.7	2.1
단성상반	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
하반	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6
복선상반	0.3	0.5	0.8	1.1	0.4
하반	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6

도표4는 철도터널에 대한 시공사례로

도표4. 터널시공사례에 따른 난이도 구분

분류	지질상황	굴착난이	도갱월진
A	· 안정된 화성암	용이	200m이상
B	· 단층이 적은중 · 고생층, 화성암 · 제3기층	보통	150m
C	· 단층이 많은중 · 고생층, 화성암 · 지하수면상의 연암, 미고결층	때때로 곤란	100m
D	· 팽창성 지질 · 온천, 가스를 동반한 지질, 대규모 파쇄대 · 지하수면하의 연암, 미고결층	곤란	60m
E	· 연약지반, 활동지반 · 상기항에 명시된 지질 상황이 특히 현저한 경우	극하곤란	특수공법이 필요함

서 난이도 구분을 제시해본 것이다. 최근에 때 때로 수행할수 있는 방법으로 개량된 방법을 추가하여 새로운 암반구분을 제시하고 있는데 이의 개략적인 내용은 다음과 같다.

(1) 지반지수(指數) : G

$$G = g + \alpha + \beta + \gamma$$

g: 암질지수, 지질조건에 따라 결정되는 계수

α : 용수량에 따라 결정되는 계수

β : 지질변화의 빈도에 따라 결정되는 계수

γ : 기타사항(토피, 지형, 타구조물과의 관계 등에 따라 결정되는 계수)

(2) 암질지수(g)

암질지수(g)는 다음과 같이 결정한다.

$$g = \left(\frac{\text{지반의 탄성과 속도}}{\text{신선하고 결합없는 암석의 평균탄성과 속도}} \right)^2 \times 100$$

신선하고 결합없는 암석시편의 평균탄성과 속도는 도표5의 부록에 나타나 있는 바, 이것은 지역내의 각 암질을 대표하는 신선하고 결합이 없는 암석시편에 대해 구한 값을 이용하는 것이다.

(3) 용수량에 따라 결정되는 계수(α)

용수량과 α 간의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 예상용수량은 기존자료, 특수계수 또는 갈수 비유량(比流量)에서 추정되는 값으로 수행한다.

g의 값 예상용수량	암 석 군 (群)			
	A,B		C	
	≥ 60	< 60	≥ 60	< 60
0~200 l/min	0	5	0	-5
101~1000 l/min	-5	-10	-10	-15
>1000 l/min	-10	-15	-15	-20

(4) 지질변화에 따라 결정되는 계수(β (도표A))

(5) 기타사항(γ)

도피, 지형, 타구조물과의 관계등에 따라 결정되는 계수(γ)는 $+10 \geq \gamma \geq -10$ 의 범위 내에서 정해진다.

도표A

지질 변화도(度)	계수(β)
· 지질변화가 급격한 경우(100 ~ 200m이내에서 지질변화)	-5
· 지질변화가 작은 경우	0

도표5. 암반구분과 지반수와의 관계

암석군	지 반 지 수 (C)				
	100~80	79~65	64~50	49~35	35이하
A	Ⅳ	Ⅳ-Ⅲ	Ⅲ-Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ
B	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ-Ⅰ	Ⅰ
C	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ

(6) 지반지수와 암반구분과의 관계

지반지수와 암반구분과의 관계는 도표5에서 보여준다.

(注) 팽윤성 지질(사문암, 변교안산암, 온천여토, 벤토나이트 등)인 경우 별도 고려해야 함. A,B,C의 암석군은 도표 5-1과 같다.

도표5-1

분류	암 석 의 분 류	신선하고 결함없는 암석 시편의 평균 탄성파속도	
A	화 성 암	<ul style="list-style-type: none"> · 심성암(화강암, 섬록암, 반려암) · 반심성암(석영, 반암, 분암) · 화산암의 일부(현무암) · 화산암(유문암, 안산암, 석회질안산암) 	<ul style="list-style-type: none"> · 5.2km/sec · 4.8km/sec
	고 생 층	· 사암(점판암, 처트, 역암)	· 5.2km/sec
	중 생 층	· 석회암(화록응회암)	· 4.8km/sec
	규 화 제 3 기 층	· 규화응회암(규화사암)	· 5.0km/sec
	변 성 암	· 편마암, 사암, 편암, 녹니편암, 혼펠스	· 5.2km/sec
B	변 성 암	· 편리 현저한 석목편암(천매암, 위록암질편암)	· 5.2km/sec
	고 생 층 · 중 생 층	· 세층리 발달한 사암, 혈암의 호층, 세층리 발달한 혈암	· 5.2km/sec
	중 생 층 일부	· 이질암	· 4.6km/sec
	古第紀~ 하 부 중 신 세 층	· 사암, 혈암, 응회암 · 각려응회암, 화산암질응회암	· 3.6km/sec
C	新世紀층의 대부분	· 이암, 사암, 역암, 화산력 응회암, 응회암	· 2.6km/sec
	鮮新世층~	· 이암, 실트암, 사암, 사력암	· 1.8km/sec
	홍 적 층	· 화산분출 퇴적물	
	홍 적 층	· 역암의 일부(화산분출 퇴적물의 일부 괴암)	· 2.6km/sec

(注) 변교안산암은 분암(粉岩)으로 PORPHYRITE로 정의함

10. 토압의 개념

지층과 암반은 정역학적 평형상태에 있으며, 지층의 한 지점에서 상부에 있는 암석의 중량으로 인해 힘이 작용한다고 볼 수 있다. ALBERTHEIM(1878)은 지하의 깊은 심도에서 어느 한점에 응력이 작용하는 방향에 대해 모

두 동일한 것으로 판단하고, 깊은 심도에서 토압은 정수압적(淨水壓的)이 된다고 판단하고 있다. 이는 암석이 소성을 나타내는 항목으로 분류되고 있는 것이다. 암석이 지중에서 가소성(可塑性)을 획득하기 위한 심도가 필요한 것이다. 그 이상으로 깊은 심도의 암석은 그 암석의 강하고 높은 압력이 있는바, 파괴하지 않

않고 변형이 행해지는 것으로 판단된다. 이를테면, 암석의 거동은 깊은 심도이상에서 잠재가 소성이 있다고 판단되는 것이다. 암석은 소성을 나타내는 지층의 습곡에 있어서 그 실례를 들 수가 있다. 3축 압축시험기의 발달에 따라 원주상의 압력을 받고 있는 암석이 높은 축압(軸壓)으로 소성변형을 나타낸다고 볼 수 있다.

축방의 변위가 억제된 상태에서는 암석의 파괴가 발생하지 않고 높은 응력에 순응하게 되며 지질내의 조직이나 입자결합이 파괴되어 내부마찰이 작아지게 되며 유동성을 나타내게 된다.

결국 적응의 형태는 탄성체에서 소성체까지의 물성이 수차 변화되는 형태로 되어버린다. 암반이 균질등방성이라면 완전탄성체라 할 수 있고, 지표가 수평한 경우에 지중의 응력상태는 연직주응력으로 나타내며 이는 단위체적 중량에 심도를 곱한 것에 비례한다고 볼 수 있다.

그러나, 간혹 암반의 자중(自重)에 대해서 해석 할 수 없는 하중이 보고된 사례도 있다. 예를들면, 터널의 심도가 40~60m이며 최대 12kg/cm²(심도의 약 2배, 120TON/m²)의 소성적 토압이 측정되는 사례가 있으며, 또한 심도가 60m되는 어느 지하철에서 지보공에 250 TON/m²의 토압(심도의 약3배)이 작용하는 보고서가 발표된 사례도 있다.(TERZAGHI)이러한 수치의 일부에는 계측상의 주의가 미흡한 것으로 판단할 수도 있다. 이러한 사례인 경우에 원인은 잔류응력에서 구해내도록 해야 한다.

TERZAGHI는 과거의 조산운동時 잔류응력의 존재가 역학적으로 가능할 수도 있으나, 지하철의 상당한 부분이 조산운동의 변형이 잔류하고 있다고 예측하기는 어렵다고 보고한 적이 있다. 지하철 터널의 토압계측 사례를(약50건) 검토한 결과 그중 조산대에 포함되는 것이 적지는 않으나 토피가 대단히 큰 경우 토압수치

를 정확히 계측해낼 수는 없다.

11. 붕괴는 지층조사의 문제점

11-1. 터널의 갱구(坑口)

갱구부근은 일반적으로 견고한 기초(암반)에 도달하지 않으므로, 토피가 얇고, 지형적 편압이 있는 상태이며, 특수한 지형과 지질조건으로 문제점이 많이 나타난다. 노선설정 및 갱문, 갱구부근의 설계·시공장 고려해야 할 문제점은 다음과 같다.

1. 갱구문제점 구성

(1) 산허리 사면(斜面)의 형태

- 정면(正面)형상
- 종단형상
- 횡단면 형상

(2) 지형종별

- 단순 사면(斜面)
- 활락(滑落) 사면
- 층적선상지 사면
- 직벽(直碧)

(3) APPROACH

- 절취
- 성토,고가(高架)
- 계곡부

(4) 지질구성

- 토질 또는 미고결 퇴적층 사면
- 암석사면(풍화,지질적 분리면인 成層 및 암종)
- 복합사면(피복사면)

(5) 진입각도

- 직각·사각(斜角)
- 평행

(6) 지하수의 관여

- 지하수의 상태(지하수면, 특수성)
- 호수,바다,강,저수지(수위,변동)

2. 갱수에 있어서 현상 문제점

(1) APPROACH

- 절취사면의 붕괴(장대인 경우)
- 토류벽이 압출

(2) 갱문

- 사면붕괴(滑動)
- 전면경사-토압
- 후면경사-하부압출(滑動)
- 침하
- 이동(移動)

(3) 터널 본체

- 상부지층의 침하
- 함몰
- 활동(滑動)-좌우,상하
- 침하
- 이동
- 편압

(4) 갱문 및 본체

- 분리

11-12. 새로운 퇴적층의 경우

홍적층이나 충적층 또는 표층미고결 퇴적물을 대상으로 하는 경우에, 이러한 지층이 ① 산마루 ② 산간부의 출구 ③ 홍적대지 ④ 평야부 등에 분포 하는 바, 터널이 이러한 곳을 통과 할 때에는 다음과 같이 조사항목을 점검해야 한다.

① 산록부(산기슭) : 애추,선상지,산사태,단층 지형,구조분지,단구,표층미고결 퇴적물 등이 존재할 가능성이 많으며, 지층의 성층 상태나 지하수의 상태가 문제점이 된다.

② 홍적대지 : 홍적층은 지층이 연약하고 미고결 상태이며, 단구를 형성하는 경우가 많으며 단구퇴적물의 종류와 두께, 기반암석의 종류와 기반면의 형태가 문제점이 된다.

③ 충적평야부 : 토층단면, 매립퇴적물 계곡,

델타, 자연제방, 습지대, 기반면의 현상 등이 특징적으로 문제점이 된다.

전술한 항목과 관련하여 붕괴가 예상되는 지층에서 터널이 직면하게 되는 문제점으로 이해 되어야 하며, 예를들면, 공학적으로 편압, 지지력의 부족, 지층 경계면 격변(激變), 심도의 부족, 유사(流砂)현상, 응집력의 결여 등이 문제점이 된다고 볼 수 있다.

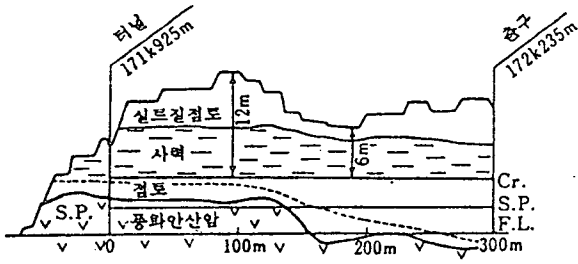
11-3. 지층경계면의 격변(激變)

예를들면, 충적지대(沖積地臺)에 대해서는, 표층을 형성하고 있는 홍적층 또는 단구퇴적층 하부에 고기(古期)암층에서 부터 기반이 존재하는바, 이의 기반면의 침식이 되고 또한 기복이 있으면 이의 기반면의 침식이 되고 또한 기복이 있으면 이런 경우 침강계곡(DOWNED VALLEY)을 형성하는데 침식된 계곡이 해진(海進) 또는 지반에 따라 해역(海域)이 깊숙히 들어간 곳을 고려해야만 한다.

이런 지역의 터널에 대해서는 기반면 하부에 예정대로 굴착을 할 때 기반의 피복이 얇은 것과 관련하여 천단의 파괴가 발생하며 터널이 기반에서부터 나오는 표층미고결층 가운데에 돌입하게 된다.

터널이 홍적대지를 관통하는 지질단면과 관련하여 풍화안산암 및 각력응회암이 기반에 침식면을 형성하므로 중앙부 얇은 곳에 깊숙히 들어가는 부분이 나타나는 경우도 있다.

도심지 또는 산지부의 지형을 판정할 때, 매립된 퇴적층을 고려해야 하고 미고결퇴적층 하부에 있는 지중계곡부 등이 우연히 나타나는 것을 쉽게 이해하기 위한 조사로써 탄성과 탐사 및 보어링을 근접 밀실하게 수행하도록 해야하고, 프로젝트 규모가 클수록 밀실하게 배치하도록 해야 한다.



11-4. 지반활동(活動)지역 (산사태 등)

현재 활동중인 지반활동지역이나 비교적 최근에 발생한 붕괴지역은, 대체로 과거의 지반활동 자료인 화석 및 증거만을 통하여 해석해 내기에는 다소 곤란한 경우도 많다. 지반활동면이 성층면(成層面)과 일치하게 되는 지층활동에 대해서, 상부가 이동하는 지반의 성층구조가 하부의 암반과 지나치게 엇갈리지 않아 한개 층으로 간주해 버리는 지질적 현상도 볼 수 있게 된다.

경사진 지층이 노선이나 도로에 따라 평행하게 발달한 지역 또는 결정평암이 지층이 절단되어 아래쪽으로 경사져 있는 경우라면, 좌우 암반의 고저차와 경사진 방향이 문제가 될 수 있음을 간과해서는 않된다. 고저차는 활동지반임을 인지할수 있으나 활동여부를 판단해 낼 수는 없다.

절취시, 기초 굴착이나 깊은 심도굴착이 사고의 원인이 될 수 있다.

탄성과 탐사에는 활동면 부근의 파쇄구조가 저속도대(ZONE)를 나타내므로 단층파쇄대임을 예측해 낼 수 있다. 저속도대에 있는 협소한 구간이 활동하지 않는 기반이지만 어느 정도 저속을 나타내므로 활동지반이라고 판단될 수는 없다.

파쇄대를 과평가하여 공사를 추진하는 경우도 있게되며 실제로 저속대를 과평가하여 급격한 지압현상을 받는 것으로 볼 수도 있게 된다.

고로 지반해석에 있어서 지질(암반)공학 전문가가 항공사진을 실제로 판독해야 하며, 지질도나 현지 답사결과를 충분히 종합 고려하여 판단해야 한다. 그 다음 항공사진에 따라 지반활동 증거를 명확히 알아내어 노선 등의 결정을 고려해야 한다.

활동지반이라고 인지하고 굴착할 때 역권공법(逆卷公法, INVERTED LINING)으로 시공하더라도 아아치 콘크리트가 현저히 침하되는 사례가 많다.

11-5. 팽창성 토압의 예측

전술한 활동지반의 조산대, 연암, 팽윤성 점토광물이 함유되는 경우 터널굴착시 커다란 토압이 예상된다. 조산대는 습곡대, 연암은 변질대가 대상이 된다. 이러한 지질은 답사단계에 따라 정도(精度) 예측(규모 등)이 가능하다.

이러한 지층에 터널을 계획하는 경우에, 일반적으로 암석시험에 팽창성·점토광물을 검정하는 시험을 추가해야 하며 터널주벽(酒壁)에 대하여 응력상태와 관련한 시험개를 굴착하고 병행할 수 있는 대책공법을 수립토록 예측해내야 한다. 즉, 시공상의 요점을 예측과 지질확인의 조사, 복공후 배면 즉시주입 및 인버트 등을 시공하여 단면을 조속히 폐합(CLOSED)시키도록 한다.

11-6. 함수모래층, 파쇄대, 풍화변질대 등의 굴착 전방 지반의 예측

보오링이나 조사갱등의 직접적인 방법에 국한하지 않고 지표조사에서 얻을 수 있는 예측과 현황에 터널이 좌우할 수 있는 지질이 이상적으로 적합한지를 검토해야 한다. 공사행사, 중대한 영향을 미치는 것을 고려해야할 지질문제는 시공분에 대해 절대적으로 체크해야하고 잔여구간에 대한 지질예측의 정확도를 증대시키는데 항상 최대 관심사가 되며 공정추진시 절취를 중지하고 지질조사를 수평보오링이나 횡갱(지질조사 갱)등을 굴착하여 절취전방의 지질변화를 확실히 파악하지 않으면 안된다. 전기적 성질이나 자기적 성질은 암석의 공학적 물성(物性)에 대하여 특수한 성질이므로, 지질조사 단계에는 필수적인 요소가 된다.

전기적 탐사는 양호한 지질에 적용하는 사례는 적으나 대수층, 파쇄대, 변질대로부터 불량지질을 검출해내는 것을 목적으로 한다. 암석의 전기비저항치는 일반적으로 고결도가 양호하고 강도가 대단히 크면 그 값이 크고, 동일한 종류의 암석에서 균열이 많으면 그 값이 작게 나타난다. 지층 또는 암반이 함수(含水)가 되면 비저항이 떨어지는 것이 현저한 특징이라 할 수 있다. 그와 같은 값이라 하더라도 지층이 대수층이라고 판정하기에 어려울 때도 있다.

전기비저항(比抵抗)의 단독측정에는 판단의 오류가 있을 수 있으므로 탄성과속도의 판정을 동시에 수행하는 것이 신뢰도를 높일 수 있다.

그림 9는 각종 암석의 비저항치의 범위를 실측치에 따라 나타내고 있다.

12. 결론

터널공사에 대한 사전 시공경험이 어느 정도 정확하게 결정적인 해결책으로 적용해오고 있

는바, 극단적으로 상이한 작업여건과 지반조건 하에서 상당히 오랫동안 지하굴착을 수행해온 경험을 토대로, 특히 NATM 터널에 있어서 지반에 대한 축적된 경험과 적용지보패턴이 응용은 대규모 공사를 시공한다 할지라도 수많은

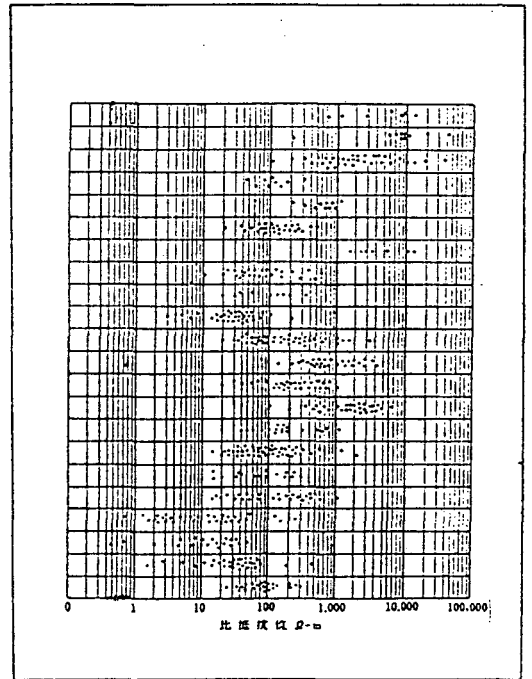


그림9.지하수,토질 및 주요지질의 비저항치 분포

불확실성을 불식시켜준 사실을 주목할 수 있다. 또한 다양한 시공실적을 통하여 도심지 터널굴착 뿐만 아니라 산악터널시공에서 보다 면밀하고 개선된 지반조사, 검측 및 해석방법을 접근 시도할 수 있는 지반공학, 암반공학 및 토목지질학의 메카니즘을 발전개량시켜나가고 있으므로, 향후 수년내에 상당한 자료집적과 연구분석, 또한 체계적 계측방법과 적용, 다양한 시공법의 복합 및 응용시스템과 하계 고도정밀성과 시공안정성을 구축하는데에 공동심으로 심혈을 기울여야만 한다.