

통신구 터널에서의 지반조사 적용사례

(A Case Study on Underground Survey in Telecommunication Tunnels)

백 송훈, 한국통신 가입자연연구소
최 명진, 한국통신 가입자망연구소
김 정운, 한국통신 조달본부
백 세환, (주) 도화지질

1. 서론

일반적으로 토목구조물의 설계를 이론적 해석방법에 의존할 경우 이론식의 도출 과정에 포함된 많은 가정 사항에 대한 철저한 이해가 필요하며 경험적 방법에서도 마찬가지로 경험식이 도출된 특수한 지반 조건과 시험방법 등에 대한 고려가 전제되어야 한다. 이러한 설계의 불확실성 외에 구조물의 재료적, 구조적 특성이나 현장 지반의 공학적 특성에 따라 시공 시에도 많은 문제가 야기되며 때에 따라서는 구조물이 파괴되는 상황도 종종 발생하게 된다.

특히 구조물 기초지반의 경우 비선형적인 거동특성과 응력상태, 시간, 공간 및 환경 등에 따른 변화성, 현장응력 이력을 실험실에서 재현하는데 따른 어려움, 조사 및 실험법상의 기술적 한계성 등으로 인해 설계 시 지반의 특성요소를 정확히 반영하는데 어려움이 따르게 된다.

현장 계측이란 이와 같은 설계 단계에서 예측할 수 없는 지반의 불확실성으로 인한 문제점을 시공 중에 발견하여, 설계 및 시공에 Feed Back 함으로써 예기치 못한 사고를 미연에 방지하고, 설계 및 시공방법을 적절히 수정하여 공사의 안정성과 경제성을 도모하고자 수행된다.

선진국에서는 이러한 현장 계측의 효용성을 인지하여 계측 기기의 개발은 물론 계측 시스템의 자동화 및 체계화에 중점을 두어왔으며, 실제 시공에 현장 계측 결과를 적용하여 적절한 설계 변경을 통해 안정성과 경제성을 확보하고 공사를 완료한 사례가 많이 보고되고 있다. 그러나, 국내에서는 현장계측의 목적에 대한 인식부족과 현장계측시스템 전반에 걸친 이해부족으로 인해 아직까지 이를 원활히 활용하지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 실제 소규모 터널 굴착 현장을 대상으로 주변지반의 침하 및 경사 계측을 실시하여 그 결과를 토대로 주변지반의 장기적인 거동에 대한 안정성 확보를 위한 기초 자료를 얻고자 하였다. 또한 터널의 내공변위와 천단침하량을 3차원 광파 측정기로 측정하여 터널의 안정성 및 지보패턴의 적정성을 판단하였다.

2. 터널굴착에 따른 지반응력 변화

2.1 터널굴착에 따른 주변응력

2.1.1 개요

평형상태에 있는 지반내에 공동을 굴착하면 초기응력은 굴착, 지보부재의 시공 등에 따라 응력의 재분배를 되풀이 하면서 새로운 평형상태, 즉 2차응력 상태에 도달하게 된다.

이와 같은 응력의 재분배 과정에서 어떻게 하면 경제적이고 안전한 상태에 이르게 할 수 있는가를 이해하는 것은 터널의 설계 및 시공의 목적 달성에 중요하다. 이를 위해서는 터널시공에 따른 주변 지반이나 지보 부재의 역학적 거동을 이해할 필요가 있으나 지반의 역학적 거동은 복잡하여 충분히 해명되지 못한 부분도 많기 때문에 앞으로 계속 연구가 요구되는 부분이다.

NATM공법에서는 지반이 갖고 있는 지보 능력을 적극적으로 이용하여 보다 합리적인 설계 및 시공을 하기 위해서 앞으로 지반의 역학적 거동의 이해를 바탕으로 실제 현상을 단계적으로 명확히 규명하는 것이 중요하다.

2.1.2 암반내 응력상태

일반적으로 암반내 응력은 크게 나누어 지하 암반 내에 공동을 굴착하기 이전에 존재하는 초기응력(initial stress, natural stress, 또는 일차응력, 절대응력)과 공동 굴착으로 인하여 초기응력이 교란된 다음 재분배된 상태의 2차응력(induced stress, 또는 유기응력)으로 구분된다.

1) 초기응력

지압 현상을 이론적으로 연구하기 시작한 초기에는 암반을 균질(homogeneous), 등방(isotropic)의 탄성체로 보고 지표는 수평이며 암반내에는 각종 불연속면(discontinuity)이나 지각변동이 없는 매질로 가정하고 암반내 응력을 계산하였다. 즉 암반내 임의의 한점에 작용하는 초기응력의 크기를 (그림 2.1)과 같이 직각 좌표로 표시하여 연직성분을 σ_z , 이것과 직각되는 방향의 수평응력성분을 각각 σ_x 및 σ_y 라 하면, 암반의 포아송비(ν)를 고려하여 다음식으로 표시된다.

$$\sigma_z = \rho gh = \gamma h$$

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\nu}{1-\nu} \sigma_z = K \sigma_z$$

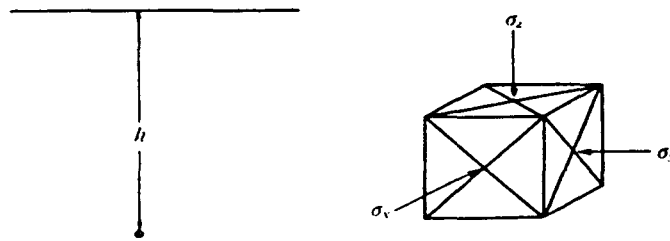
여기서 γ : 암반의 단위 비중

ρ : 암반의 단위밀도

g : 중력 가속도 $9.8\text{m}/\text{sec}^2$

h : 지표로부터 임의의 고려중인 지점까지의 깊이(m)

K : 수평응력대 연직응력의 비



(그림 2.1) 암반내 임의의 일점에서의 응력상태

또한 지표로부터 깊이가 큰 경우에는 거의 정수압의 응력장인 것으로 알려져 있다.(Heim's rule). 그러나 암반은 위의 가정과 같이 단순하지 않기 때문에 필요에 따라 추정하거나 또는 가장 바람직한 방법으로 응력을 실제로 측정하는 것이다.

최근 국내외에서 초기응력을 측정한 결과 연직성분은 대체로 위 계산치와 일치하지만 수평응력 성분은 위 계산치보다 훨씬 큰 경우도 있고 때로는 연직 응력보다도 더 큰 경우도 많은 것으로 알려져 있다.

현재까지 세계 각국에서 측정, 보고된 자료를 종합하여 정리한 결과는 (그림 2.2)와 같다. 이 그림에서도 측정심도가 낮은 경우, 지질조건이나 지형등의 영향으로 측정치의 분산도가 큰 것을 알 수 있다.

반면에 연직응력에 대한 평균 수평응력 ($\sigma_{h \cdot ave} = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y)$)의 비를 $k(= \sigma_{h \cdot ave} / \sigma_v)$ 라 하면 이 값은 대체로 다음 범위에 있다.

$$\frac{100}{z} + 0.3 \leq k \leq \frac{1,500}{z} + 0.5$$

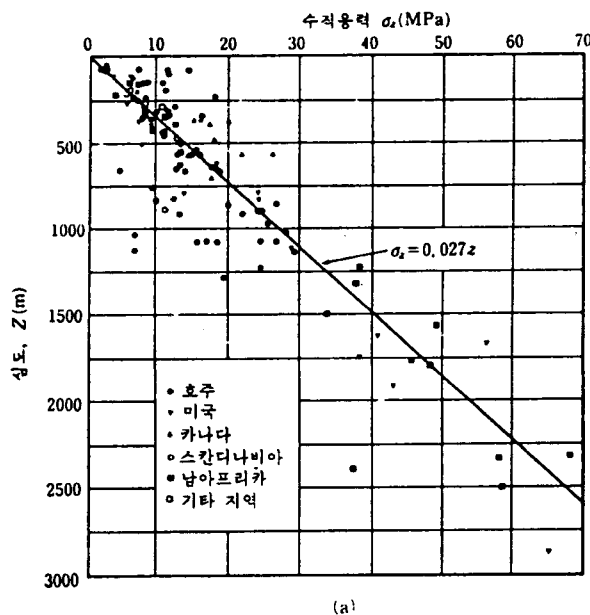
2) 2차 응력

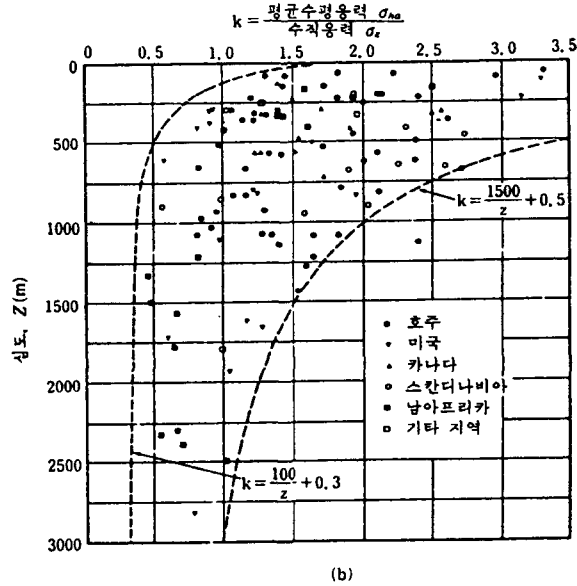
2차 응력 또는 유기 응력이란 터널과 같은 공동을 암반내에 인위적으로 굴착하면 공동 주변에 응력이 집중되어 새로이 유기되는 응력이다. 즉 암반내에 공동을 굴착하면 그 공간을 지지하는 것이 없거나 또 있더라도 약하게 되면 천반의 암석은 만곡되고, 균열이 생긴다. 또 양쪽 벽면은 상부 암반의 압박으로 균열이 생기고 연약한 터널 바닥은 부풀어 오르게 된다. 즉 반팽현상이 일어난다. 그리하여 공동 주위 암반은 공동의 안쪽을 향하여 돌출하려는 이른바 반압을 나타나게 된다. 이러한 반압은 크게 정압과 동압 또는 이완지압과 팽창성지압으로 구분하기도 한다.

정압은 암석이 주 암반에서 떨어져, 그 떨어진 무게만을 하중으로 작용시키는 것으로 공동주위의 이완된 암석에 의하여 생기는 압력이며 이를 이완지압이라고도 한다.

반면에 동압은 암반의 움직임에 의한 압력으로 공동의 상부가 침하하거나 하반의 융기 또는 반팽에 의한 압력등을 말하며 이를 팽창성 지압이라고도 한다.

팽창성 지압은 터널시공에 따라 환경변화나 응력의 재분배 과정등에 따라 생기는 비교적 큰 지압이다. 그러나 정압과 동압 또는 이완지압과 팽창성지압의 크기를 명확히 구분하기란 어렵기 때문에 여기서는 이들을 종합하여 2차응력(또는 2차지압)이라 부르기로 한다.



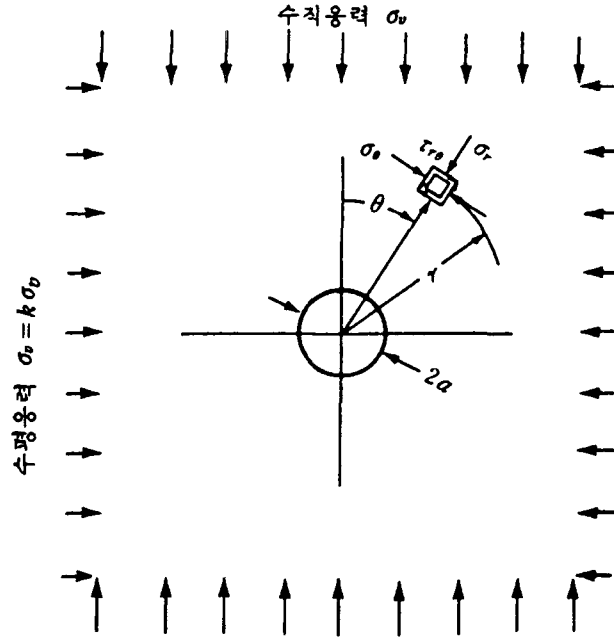


(그림 2.2) 심도에 따른 연직응력의 크기 (a) 및 K값의 변화경향(B) (Hoek, Brown)

이와 같은 2차응력의 크기와 그 작용방향은 공동의 크기, 형태, 배열방법, 지표로부터의 깊이, 지층의 상태 등 여러 가지 조건에 따라 다르기 때문에 설계를 위해 필요한 때는 진동현응력계(vibrating wire stressmeter)나 유압캡슐식 응력계 등으로 직접 계측하거나 또는 변위를 계측하고 이를 바탕으로 간접적으로 계산하기도 하지만 공동이 지표로부터 낮은 깊이에 있을때는 경험식에 의해 개략적으로 추정하기도 한다.

공동 주변의 암반은 역학적으로 탄성체, 탄소성체 또는 점탄성체등 여러 가지로 구분하여 2차응력의 분포상태를 해석할 수 있으나 여기서는 가장 간단한 2차원 완전 탄성체로 보고 터널의 반지름이 a인 원형의 단일 공동을 굴착할때 그 주변에 생기는 2차 응력의 크기를 극좌표로 표시하면 다음과 같다.

(그림 2.3)에서 임의의 점(r, θ)에서의 응력성분들은 다음과 같다.



(그림 2.3) 탄성체내 원형공동 주위에서의 응력식들을 설명하기 위한 그림
반경방향응력

$$\sigma_r = \frac{1}{2} \sigma_v [(1+K)(1 - a^2/\gamma^2) + (1-K)(1 - 4a^2/\gamma^2 + 3a^4/\gamma^4) \cos 2\theta]$$

접선응력

$$\sigma_\theta = \frac{1}{2} \sigma_v [(1+K)(1 + a^2/\gamma^2) - (1-K) - (1-K)(1 + 3a^4/\gamma^4) \cos 2\theta]$$

$$\text{전단응력 } \tau_{r\theta} = \frac{1}{2} \sigma_v [-(1-K)(1 + 2a^2/\gamma^2 - 3a^4/\gamma^4) \sin 2\theta]$$

(그림 2.3)에서 임의의 점(γ, θ)에서의 평면내 주응력들은 다음과 같이 주어진다.

$$\text{최대주응력 } \sigma_1 = \frac{1}{2}(\sigma_r + \sigma_\theta) + [\frac{1}{4}(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + \tau_{r\theta}^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{최소주응력 } \sigma_2 = \frac{1}{2}(\sigma_r + \sigma_\theta) - [\frac{1}{4}(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + \tau_{r\theta}^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{연직방향에 대한 경사 } \tan 2\alpha = 2\tau_{r\theta}/(\sigma_\theta - \sigma_r)$$

위 식에서 γ : 터널의 중심에서 임의의 점까지의 거리(m)

θ : 반시계 방향으로 측정한 각(도)

가) 공동 경계에서의 응력

위 식을 이용하면 공동경계 즉 $r = a$ 일 때 반경방향의 응력(σ_r) 및 전단응력($\tau_{r\theta}$)은 0이 되고 또 경계에서의 접선방향 응력(σ_θ)은 다음 식으로 주어진다.

$$\sigma_\theta = \sigma_v [(1+K) - 2(1-K)\cos 2\theta]$$

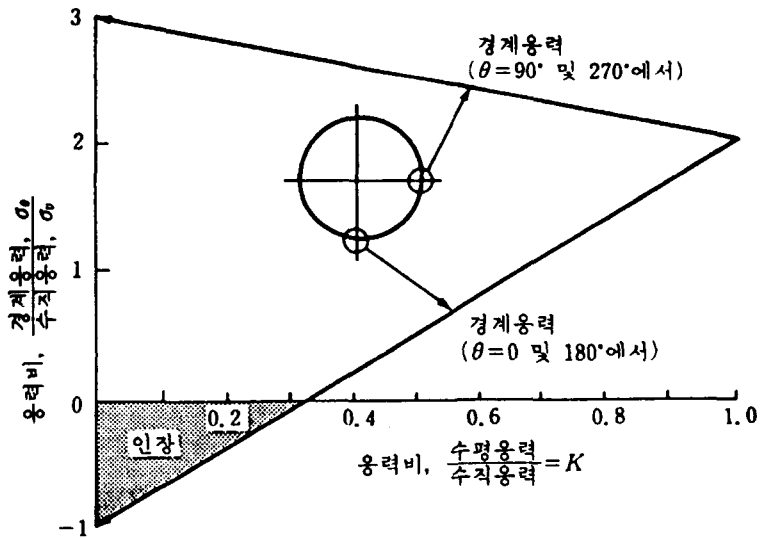
공동의 천반 및 바닥에서의 접선방향의 응력은 $\theta = 0^\circ$ 및 $\theta = 180^\circ$ 대입하면 다음식으로 된다.

$$\sigma_\theta = \sigma_v (3K - 1) \text{ ----- 식 2.1}$$

반면에 공동측벽에서의 응력은 $\theta = 90^\circ$ 및 $\theta = 270^\circ$ 를 대입하면 다음과 같다.

$$\sigma_\theta = \sigma_v (3 - K) \text{ ----- 식 2.2}$$

식 2.1 및 2.2를 도시하면 (그림 2.4)와 같다.



(그림 2.4) k값의 변화에 따른 원형공동의 천장,바닥 및 측벽에서의 경계응력의 변화(Hoek, Brown에 의함)

(그림 2.4)에서 수평방향의 작용응력은 없고 연직응력만 작용할때 즉 $K=0$ 의 경우 공동의 천정 및 바닥에서의 2차 응력은 인장응력이 되고 $K=0.33$ 일때는 천정 및 바닥에서의 응력은 0이되며, 이보다 더 큰 K 값에 대하여 공동의 경계응력은 모두 압축응력이 된다. 측벽에서의 응력은 $K=0$ 일때 최대값 $3\sigma_z$ 로

부터, K가 점차 커져서 K=1.0일때는 반대로 감소하여 $2\sigma_v$ 가 된다.

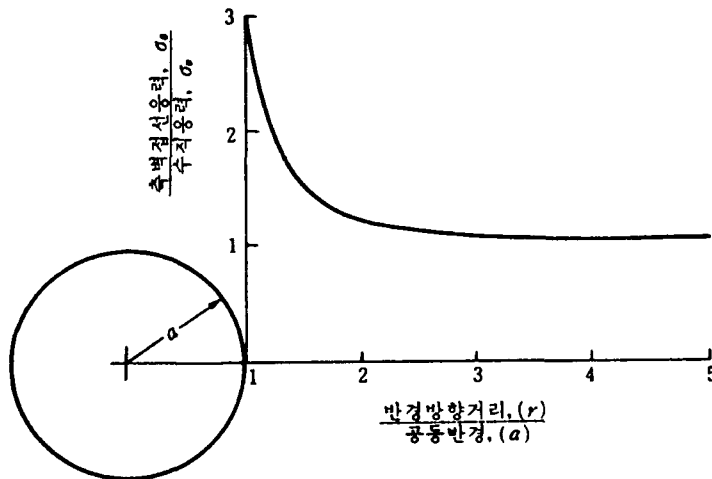
공동경계에 생기는 2차응력은 전부 접선 방향의 응력이 되며, 공동 내부에서 하중이 작용하지 않는 공동의 단면 크기에 좌우되지 않는다. 따라서 공동의 안쪽에서 수압, 콘크리트라이닝(복공)으로부터의 반력, 또는 록볼트로부터 하중이 작용할때는 당연히 이 내부응력을 고려하여 공동주변 암반의 응력분포를 계산하여야 한다.

나) 공동경계로부터 떨어진 위치에서의 응력

공동으로부터의 거리(γ)가 증가함에 따라 암반내 응력에 미치는 공동의 영향은 감소된다.

이러한 현상을 나타내기 위하여 수평축에 거리 (γ)를, 수직축에 $K(\sigma_\theta/\sigma_v)$ 값을 표시하고 이들 관계를 도시하면 (그림 2.5)와 같다.

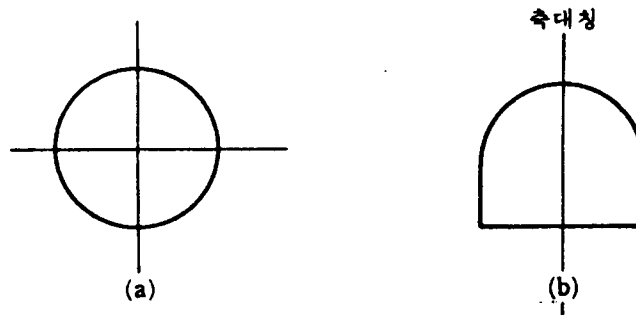
그림에서 공동으로 인한 응력의 집중도는 γ 이 증가함에 따라 급격히 감소하여 $\gamma = 3a$ 에서 암반내 2차응력과 작용응력과의 비는 거의 1에 가까워진다. 따라서 공동경계로부터 어느정도 떨어진 지점에서는 공동이 응력집중에 미치는 영향은 무시할 수 있다.



(그림 2.5) K=0일때 수평축에 따라 거리(γ)에 따른 수직응력(σ_v)에 대한 접선응력(σ_θ)의 비

다) 대칭축(axes of symmetry)

(그림 2.6)과 같이 공동이 수직, 수평으로 대칭을 이룰때는 4개 상한에서의 각각의 응력은 동일하게 된다. 즉 θ 를 0° 에서 90° 범위까지 그 값을 식에 대입하면 전체의 응력상태를 구할 수 있다.



(그림 2.6) 터널 단면의 대칭 축

그러나 (그림 2.6) (b)와 같이 마제형 터널(horse-shoe shape)에서는 공동의 상반부와 하반부는 비대칭이지만 좌반부와 우반부는 대칭이 된다. 따라서 연직 축만이 대칭축이 됨으로 θ 를 0° 에서 180° 범위까지 적당한 식에 대입하여 그 해를 구하면 응력분포도를 완전히 그릴 수 있게 된다. 그밖의 경우 특히 다수의 공동이 존재하는 경우에는 일반적으로 대칭축이 존재하지 않으므로 이와 같은 경우 모델의 응력분포를 알기 위해서는 그 모델의 모든 부분에 대하여 응력 관계식을 유도하고 그 답을 구해야 한다.

라) 탄성정수와 응력

원형공동 주변의 응력은 작용응력의 크기와 공동의 기하학적 형태에는 관계되지만 탄성정수 예를 들면 탄성계수(E)와 포아송비(ν)는 그 식에 포함되지 않기 때문에 사용하는 재료가 선형 탄성 재료이면 응력 패턴은 재료 특성에 의존하지 않는다.

마) 공동의 크기와 응력

무한암반 내의 공동주변 응력을 표시하는 식은 터널 반경 (a)의 함수가 아니고 무차원 변수 (r/a)의 함수인 점에 주의할 필요가 있다. 따라서 공동경계에서 계산한 응력의 값은 반경의 절대치와는 관계없다. 즉 직경 1m 되는 원형터널의 측벽응력과 직경 10m인 원형터널의 측벽응력은 동일한 탄성암반내

에서는 같은 값이 된다. 즉 공동의 안정성은 그 크기와는 관계가 없다.

암반이 완전탄성체이고 결함(defects)이 전혀 없다면 이 결론은 이론상 옳지만 실제 암반은 그 내부에 불연속면(fracture)을 갖고 있기 때문에 이 결론은 현실적으로 타당치 않다.

응력의 크기가 같더라도 절리성 암반이나 파단면을 갖는 암반내 공동의 안정성은 그 공동의 크기와 암괴(rock block)의 크기에 비례하여 결정된다. 따라서 대표적인 절리성 암반에서 공동의 크기가 증가함에 따라 응력은 증가하지 않지만 공동의 안정성은 확실히 감소하게 된다.

3. 통신구 터널 사례 분석

3.1 지형, 지질 및 지층 개요

3.1.1 지형

본 조사지역은 소규모 굴착터널 현장으로 터널의 단면은 지름 3.3m의 원형터널이며 조사지역 일원은 주택, 상가 및 아파트 단지 등의 건물들이 밀집하여 있다.

금번 조사지역 전역은 잔류토 및 풍화암의 풍화상태 및 입자의 구성성분으로 볼 때 안산암류(Andesites)를 관입(Intrusion)한 화강섬록암(Granodiorite)이 기반암(Bedrock)으로 분포하고 있는 것으로 사료된다.

각 지층의 성층상태 및 구성성분 등을 층서에 따라 요약하면 아래 <표3.1>과 같으며 계층기 매설 현황과 지하수위는 <표 3.2>에 보인 바와 같다.

<표 3.1> 지층요약표

지층구분	통일분류	두께(m)	N - 치	비고
매립토층	ML/SM/GP/GM	1.0 ~ 1.5	-	전지역
퇴적토층	CL/SC/GM	2.2 ~ 3.5	3 ~ 37	전지역
잔류토층	SM	10.0 ~ 20.0	10 ~ 50+	전지역
풍화암층	화강섬록암, 백악기(Cretaceous)			

<표 3.2> 계측기기 매설현황과 지하수위

시추공번	지하수위		비고
	심도(GL-m)	표고(EL+m)	
S-1	3.5	107.375	침하계매설
S-2	3.0	109.874	"
S-3	2.0	111.924	"
S-4	2.0	111.669	"
T-1	2.0	111.898	경사계매설
T-2	2.0	111.654	"

3.1.2 지질

본 지역의 하부 기반암은 중생대 백악기 경상계 불국사관입암층군에 해당하는 흑운모 화강암으로 구성되어 있으며, 본암은 각섬석 화강암 또는 화강섬록암이 인근부에 나타나고 있어 불국사화강암류의 최종 분화암체로 조사되었다. 본암을 현미경으로 관찰한 결과, 석영, 정장석, 미사장석, 사장석 및 흑운모 등으로 주로 구성되어 있으며 녹니석, 휘석, 경운모, 저어콘 등이 제반 광물로 나타났다. 지질 조사 결과에 의한 지층별 심도는 <표 3.3>과 같으며 (그림 3.1)에 시추주상도와 공사계획도를 예시하였다.

<표 3.3> 지질 조사 결과 집계표

시추공 번호	지 층 별 심 도									
	매립층	충 적 층			풍화토	풍화암	연 입	보통입	경 입	계
		사 질점토층	점토질모래층	모래자갈층						
BH-1	1.0	2.7	-	0.6	6.7	9.4	3.1	1.5	2.0	27.0
BH-2	1.5	2.2	-	1.2	8.2	26.4	3.0	1.5	6.0	50.0
BH-3	1.4	1.1	1.2	1.5	10.3	34.5	-	-	-	50.0
BH-4	2.0	-	-	4.8	7.4	55.4	0.4	-	-	70.0
BH-5	2.0	1.9	-	-	9.2	36.4	0.5	-	-	50.0
BH-6	2.0	1.6	-	-	8.2	18.2	-	-	-	30.0
계	9.9	9.5	1.2	8.1	50.0	180.3	7.0	3.0	8.0	277.0

3.2 계측 장비

3.2.1 층별침하측정기

1) 측정목적

본 시험계측 구간은 통신구가 지하철 및 고가도로와 교차하는 구간인데다 지반구조가 터널시공에 불리한 구간으로, 시공중 발생하는 지층별 침하를 사전에 계측하여 시공의 안정성을 도모하며, 계측된 계측자료를 분석하여 신속한 대처방안의 수립 및 장기적으로 굴착에 의한 주변구조물 영향범위를 설정하고 대책을 마련하는데 침하측정의 목적이 있다. 이러한 목적을 위하여 적용된 층별침하측정기의 개요 및 설치방법은 다음과 같다.

2) 측정기 개요

구분	내용	비고
계기명	매립형자동침하측정기	신개발품
제작사	천일지오컨설턴트	
측정방식	전기저항식	
정밀도	0.01mm	
주요기기	폴 리	침하되는 양을 회전량으로 변환
	스 프 링	폴리에 장력유지
	변 환 기	폴리의 회전양을 전기적신호(Volt)로 변환
	Reader	변환장치에서 발생된 전기적신호 측정
	Program	계측 Data를 이용하여 침하량 산정

3) 측정기 설치방법

지층별 침하량을 산정하는 층별침하측정기의 설치방법은 다음과 같다.

- 가) 상부지층을 관통하여 침하량이 전혀 없을 것으로 예상되며 통신구 터널 설계심도보다 깊은 심도까지 굴진한다.
- 나) 와이어가 연결된 지중고정 파이프를 원하는 심도까지 내린 후 지중 앵커를 앵커링시킨다.
- 다) 보링공 내부를 시멘트+벤토나이트 혼합액으로 채운다.
- 라) 이때 반드시 혼압액의 비중(약 $G_s=1.1$)을 측정한다.
- 마) 혼합액을 채우는 방법으로는 공내에 그라우팅 파이프를 넣어 주입하는 방법과 보링완료후 시추기를 이용해 혼압액을 미리 주입하는

두가지 방법이 있다.

바) 굴착상부 표층에 침하판과 자동침하측정기를 거치하고 폴리에 와이어를 연결한다.

사) 측정케이블을 원하는 지점에 고정시킨후 상부를 되메우기 하여 지중에 매입한다.

4) 침하량계산

상기 방법에 따라 침하계측기를 현장에 설치하고 외부로 노출되어 있는 측정용 Cable에서 Reader를 이용하여 초기값을 측정하고 단계별로 계측된 결과치와 초기치를 계측관리 Program에 적용하여 단계별 및 지층별 침하량을 계산한다.

3.2.2 지중경사계

1) 측정목적

통신구 굴착현장의 수직구 및 인근 지하철 공사의 수직구 공사와 관련하여 지반의 침하 및 수평변형이 발생시 당 현장의 중앙부에 위치한 동서고가도로 교각부의 안전에 영향이 있을 것으로 예상되어 사전에 지반의 거동을 파악하고 시공현장 및 주변구조물의 안전성을 도모하는데 측정의 목적이 있다. 이러한 목적을 위해 본 용역에 적용된 지중경사계의 개요 및 설치방법은 다음과 같다.

2) 측정기 개요

구분	내용	비고
계기명	지중경사계 (Inclinometer)	지중 변위량 측정
제작사	OYO (Japan) GK603 (GEOCON)	현장에서 만일의 사태에 대비하여 두개의 경사계로 측정
측정방식	수동식	
정밀도	0.01mm	
주요기기	Probe	공내에서 경사측정
	Indicator	Prpbe의 측정치를 수평변위량으로 변환
	Cable	전기 및 신호전달
	Access Tube	Prpbe를 일정한 방향으로 유도하는 파이프

3) 측정기 설치방법

지중의 수평변위량을 측정할 수 있는 지중경사계(Inclinometer)의 설치방법은 다음과 같다.

- 가) 계측할 지점에서 지지층까지 굴진한 후 Access Tube를 삽입한다.
- 나) 이때 Access Tube의 주방향 흠이 예상되는 구조물의 이동방향과 일치하도록 조정한 후 Access Tube를 고정한다.
- 다) Access Tube의 하단부는 지지층내로 1.0~1.5m정도 관입시킨 후 시멘트로 지지층 부분을 고정한다.
- 라) 나머지 Access Tube와 굴착공 사이는 지반조건에 따라 모래, 벤토나이트, 콩자갈 또는 이들의 혼합물로 채운다.

4) 변위량계산

상기 방법에 따라 지중경사계를 현장에 설치하고 Prove와 Indicator를 Cable로 연결하고 Access Tube에 Prove를 삽입하여 초기값을 측정하고 단계별 계측치와 비교하여 상대변위량을 계산한다.

3.2.3 내공변위 및 천단침하 측정기

1) 측정목적

내공변위량과 천단침하량의 크기와 변위속도, 수렴상태등을 파악하여 주변 지반과 터널의 안전성을 분석하고 지보재에 대한 설계 및 시공의 타당성 평가를 하는데 그 목적이 있다.

2) 측정기 개요

구분	내용	비고
계기명	3D Station	광파를 이용한 측정기
제작사	Sokkia	
측정방식	광파식	
정밀도	0.1mm	
주요기기	본체	타겟을 시준하여 좌표 측정
	타겟	계측지점에 부착

3) 측정기 설치방법

터널의 내공변위량과 천단침하량을 3차원으로 측정하는 기기의 설치방법은 다음과 같다.

- 가) 수직구 벽면에 시준이 용이하고 망실되지 않을 안전한 지점에 기준점 타겟을 2개소 이상 설치한다.
- 나) 터널 발파 후 최단시간내에 터널 천장부와 SL(Steel Line)에 천공을 하여 측정타겟을 설치한다.
- 다) 슛크리트 타설, 또는 다음 막장 발파시 측정타겟이 손상되지 않도록 보호조치를 한다.
- 라) 3D 측정기를 거치한 후 기준점을 먼저 시준하여 그 값을 저장하고 타겟을 시준하여 좌표값을 기록한다.

4) 변위 및 침하량 계산

상기 방법에 의하여 천단침하량과 내공변위량을 측정하여 초기값과 비교하여 변위량을 기록한다. 변위량을 그래프화하여 변위속도, 수렴여부등을 분석한다.

3.3 계측결과 및 분석

3.3.1 층별침하계 계측 결과 분석

일자별 층별 침하량을 근거로 현장부지의 계측공별 침하양상을 분석한 결과는 다음 <표3.4>와 같다.

<표 3.4> 계측공별 결과분석

계 측 공	결 과 분 석	비 고
S - 1	- 공사가 진행중인 통신수직구 및 지하철수직구 현장과의 거리가 멀어 현재까지 지중 및 지표침하, 지표변위의 양상을 거의 보이지 않음	
S - 2	- 본 계측공에서 지표침하량이 약 -18mm 정도의 값으로 지반이 용기되는 결과로 측정되었으나, 본 계측공은 공사진행상 현 작업구간과 상당한 거리에 위치하고 있고 주변여건상 상재하중의 큰 변화가 없는 지역으로 이것은 기계적인 측정오차일 가능성이 큰 것으로 생각된다.	

계 측 공	결 과 분 석	비 고
S - 3	- 계측결과로 볼 때 전체적으로 지반의 변동이 거의 없으며 수직구굴착을 위하여 시행되는 발파의 지반에 대한 영향도 미미한 것으로 보인다.	
S - 4	- 본 계측공의 침하량 변동양상은 거의 변화를 보이지 않으며 추후 지하철 공사에 의한 침하가 발생하리라 예상한다.	

3.3.2 경사계 계측 결과

1) 지표면 변위량

용역기간내 실시된 경사계 계측결과 지표면 변위량은 다음의 <표 3.5>와 같다.

<표 3.5> 지표면 변위량

일 자	T-1		T-2		비 고
	Aaxis	Baxis	Aaxis	Baxis	
99/05/04	1.14	-1.56	1.54	-2.59	
99/05/09	0.92	-0.89	1.6	0.19	
99/05/19	0.80	-1.57	0.65	-0.15	
99/05/24	1.33	3.79	-0.01	-0.64	
99/06/01	2.76	-0.06	1.89	0.37	
99/06/08	2.51	5.10	0.71	-4.13	
99/06/15	3.74	6.40	1.35	-3.90	
99/06/20	2.10	2.31	2.92	-3.88	
99/07/01	5.20	4.91	0.57	2.98	
99/07/07	5.21	5.30	1.54	0.54	
99/07/08	2.65	2.45	1.94	3.04	
99/07/11	6.65	1.21			
99/07/12	4.70	2.42	2.04	-2.93	
99/07/19	3.54	2.93	2.72	1.82	
99/08/14	3.43	2.62	3.26	-3.85	
99/08/28	3.55	3.31	3.51	0.95	

2) 계측결과분석

현장 계측결과 및 시공현황을 참고로 현장부지의 계측공별 지중변위 양상을 분석한 결과는 다음 <표 3.6>과 같다.

<표 3.6> 계측공별 결과분석

계 측 공	결 과 분 석	비 고
T - 1	<ul style="list-style-type: none"> - 전반적으로 A축 및 B축에서 + 방향으로 변위가 발생되고 있으며 두축의 조합된 방향은 통신수직구쪽 방향과 거의 일치한다. - 변위량은 4.5mm 내외의 값으로 나타남 - 발파에 의한 지반변동을 검토하기 위하여 시험발파를 실시한 7월 9일을 전후하여 집중적으로 계측한 결과 지반의 특별한 변형징후가 보이지 않았으며 발파에 의한 지반의 변형은 거의 없는 것으로 보인다. 	
T - 2	<ul style="list-style-type: none"> - 전반적으로 A축은 + 방향으로, B축은 +, - 방향으로 교차하며 변위가 발생되고 있으며 두축의 조합된 방향은 지하철수직구쪽 방향과 거의 일치한다. - 변위량은 3.3 mm 내외의 값으로 나타남 - 발파에 의한 지반변동을 검토하기 위하여 시험발파를 실시한 7월 9일을 전후하여 집중적으로 계측한 결과 지반의 특별한 변형징후가 보이지 않았으며 발파에 의한 지반의 변형은 거의 없는 것으로 보인다. 	

3.3.3 내공변위 및 천단침하 측정결과

1) 계측 간격

본 연구에서는 시공현장에서 실시하는 계측과 별도로 갱구입구에서 부터 교각 통과지점까지 내공변위와 천단침하 계측을 실시하였다. 계측 간격은 갱구로부터 1m 지점, 갱구로부터 10m 지점, 그리고 교각통과 지점인 27m 지점으로 하였다. 이는 일반적으로 갱구부가 구조적으로 취약하다는 점을 감안하여 시공업체에서 실시하는 계측간격보다 좁혀서 계측을 하였다.

2) 계측 결과

측점 번호	측점위치	변위량	
		내공변위	천단침하
1	갱구로부터 1m	(좌측선) → 3.0 mm (우측선) ← 5.8 mm	↓ 5.0 mm
2	갱구로부터 10m	(좌측선) → 6.4 mm (우측선) ← 7.2 mm	↓ 13.7 mm
3	갱구로부터 27m	(좌측선) ← 8.4 mm (우측선) → 8.0 mm	↓ 5.8 mm

1번 측정에서의 계측은 터널 현장여건으로 인해 발파 후 오랜 시간이 경과된 후에 초기값 측정이 가능하였기 때문에 변위가 상당히 진행된 상태이었다. 또한 3번 측정은 초기값 측정은 양호하였으나 현장사정에 따라 3회 계측 실시 후 중단되어 변위가 수렴하는 양상을 보이지 않았다. 만족할 만한 데이터 취득은 2번 측정에서의 측정결과인데 전형적인 변위 수렴곡선을 보였다. 3번 측정에서는 터널 내공이 좁혀지는 양상을 보였으며 이는 지반의 측압계수가 매우 낮은 것이 그 원인으로 판단된다.

4. 결론

현장의 공사진척현황과 층별침하계 와 경사계, 내공변위 및 천단침하 계측 결과를 종합하여 계측 대상지반의 침하양상 및 터널의 안정성에 대한 검토결과는 다음과 같다.

가. 지표면 침하 변동량 및 지표면 변위량의 분포현황 및 계측허용기준치는 아래 <표 4.1> 과 <표 4.2>와 같다.

<표 4.1> 지반 변형량 분포현황

구 분		계측치(cm)	최종변위(cm)	비 고
지표침하량		-1.7 ~ 0.5	-1.7~0.05	
경사계(T-1)	A-Axis	0.09 ~ 0.66	0.46	
	B-Axis	-0.16 ~ 0.64		
경사계(T-2)	A-Axis	-0.001 ~ 0.292	0.33	
	B-Axis	-0.39 ~ 0.304		

<표 4.2> 계측허용기준치

계측기	기준치	비고
지표침하량	표준치 : 2cm 최대치 : 3cm	일본"건축학회"
지중경사계	Y/h : 0.0005 수직구 50m 굴진시 → 2.5cm	NAVAFC DM-7
내공변위	14.5 mm	통신구 암반분류 의거 풍화암2, 지보등급VII
천단침하	6.65 mm	

- 나. 발파에 의한 지반변동을 검토하기 위하여 시험발파를 실시한 7월 9일을 전후하여 집중적으로 계측한 결과 지반의 특별한 변형정후가 보이지 않았으며 발파에 의한 지반의 변형은 거의 없는 것으로 나타남.
- 다. 현재까지의 계측결과로 얻어진 지표침하 및 지중변형량은 상기 표에서 보는바와 같이 아직까지 측정된 변위량이 허용기준치 보다 작은 값으로 지반의 안정성에 영향을 미치지 못하는 변형량으로 지반의 안정성에는 크게 문제가 없는 것으로 생각된다. 추가로 측정되는 계측자료와 연속적인 비교, 검토를 통하여 안전성에 대한 지속적인 신속한 검토가 이루어져야 할 것이다.
- 라. 내공변위와 천단침하 측정 결과 RMR에 의하여 결정된 지보등급은 적정한 것으로 판단되며 통신구 터널의 계측관리 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 측정 3번 이후의 지반 조건은 갱구부보다 오히려 열악한 것으로 조사되었기 때문에 수평갱 굴진시 터널 막장의 안정성 확보를 위한 특수보조 공법을 사용하여야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 사단법인 한국지반공학회 " 지반공학시리즈(7) 터널 " , 1996
2. 이희근, 임한욱 (1995) " 터널·지하공간 굴착공학 " , 구미서관
3. 윤지선(1991), " NATM 공법의 조사·설계·시공 " , 구미서관
4. 건설부, " 터널공사 표준시방서 " 1985
5. 김상수(1992), " 도시터널의 NATM공법 " , 창우출판
6. 이병현(1999), " 도로터널의 유지관리 " , 원가솔
7. 윤지선(1979), " 터널공학 " , 구미서관
8. 홍성영(1994), " 실무자를위한 터널의 설계이론 " , 탐구문화사