

Earth Anchor 설치구조의 안전성 해석

최경집*, 안세희**, 고상훈***, 김두환****

서울산업대학교* ** *** ****

1. 서 론

본 연구는 현장의 굴착공사에 따른 토류 구조물 설치공사의 수행에 있어서 토류 벽체의 지지 구조체를 형성하는 Earth Anchor에 대한 시공의 적정성 여부 및 설계목적에의 부합 여부를 판정하여 토류 벽체의 안정성 판단 및 Earth Anchor의 설계 목적에의 부합성 여부를 판단하기 위하여 본 연구를 수행하며 실험의 기준은 SIA. Standard Edition 1977 규정에 따르며, Earth Anchor의 설계, 정착장 및 자유장의 길이를 적절히 산출하고 정착력에 대한 신뢰도, 즉 인발력을 실험하여 정착장의 소요 안전율을 추정하며 더불어 지반에 대한 비교, 판단도 행하는 것이 목적이다.

2. Anchor의 실험

2.1. 개요

Anchor의 적용기준은 SIA. Standard Edition 1977, British Standard Institution (Recommendation for Ground Anchorage)의 규준에 따른다.

초기하중 (T_{AL}) $0.1 T_P \leq T_{AL} \leq 0.2 T_P$ 로 정하고 T_{AL} 과 T_P 사이에는 ΔT 크기의 등 간격으로 6~10등분한다.

총 늘임량은 탄성 변위와 소성 변위의 합이며 Strand가 긴장된 상태에서 자료의 변위는 계산된 신장량의 0.5%를 초과해서는 안된다.

하중의 재하 및 제거의 순환을 T_{AL} 로부터 증가되어 시험 하중에의 도달 시까지 단계별로 연속하여 수행되어야 한다.

각 순환 단계에서 지정된 하중에 도달한 후 $n \cdot \Delta T$ 시간동안 하중 또는 변위를 고정시킨 후 하중 또는 변위의 변화량을 측정한다. 그리고 n 은 초기에 1을 선택하나 그 한계가 표 2.1의 한계치에 도달할 때 까지 연속적으로 증가시킨다. ΔT

는 표 2.1에 따른다.

표 2.1 시간대별 변위의 증가량과, 하중 감소량의 한계치

구분	관찰 시간	한 계 치	
		변위의 증가량	하중 감소량
A	0 ~ ΔT	max. 1r의 2%	max. T_P 의 2%
B	ΔT ~ $3\Delta T$.	max. 1r의 1%	max. T_P 의 2%
C	$3\Delta T$ ~ $10\Delta T$	max. 1r의 1%	max. T_P 의 2%

표 2.2 지반상태별 ΔT

구분	지 반 상 태	ΔT
A	암반 또는 마찰력이 없는 지반	최소 5분
B	마찰력이 매우 작은 지반 또는 과 압밀 된 흙	최소 15분
C	보통상태의 진흙 또는 진흙 섞인 실트	최소 1시간

2.2 작업순서

위와 같은 반복작업을 실시한 후 아래와 같은 작업을 수행한다.

첫째로 시험 하중에 도달하면 $0.3 T_P$ 까지 4개의 등 간격으로 하중을 감소하고 둘째로, Lock-Off Load 까지 3개의 등 간격으로 하중을 증가시키며, 각각 이들의 하중과 변위를 측정 기록한다. 마지막으로 고정 작업을 실시한다.

2.3 실험 기록

실험의 각 단계에서 측정된 하중과 변위는 정확히 기록되고 하중-변위 곡선에 표시되어야 하며 측정의 정확도는 Anchor Head 의 실질적 변위와 Base Plate 의 변위는 Engineer에 의해 재가된 자료들에 관련하여 정밀도 $\pm 2\%$ 를 갖는 기구 또는 보정된 기구에 의해 측정되어야 한다. 모든 실험기구는 검정서가 있어야 하며 변위, 하중에 대하여 기준 값의 $\pm 2\%$ 이내로 정확히 계측되어야 한다.

유효 자유장 길이를 추적하여 설계 길이와 비교 검토한다.

다단계 하중 재하에 따른 실험이 완료된 후 Lock-Off Load를 재하 하여 하중을 고정시킨다.

Lift - Off Test를 실시하여 잔류 응력을 확인하여 설계 하중과 비교한다. 이때 잔류하중은 설계 하중의 110% 이상이어야 한다.

하중재하 하중은 각 단계별로 표 2.3과 같이 하중을 재하 한다.

표 2.3 단계별 하중 재하표

하중	A.L	1단계	2단계	3단계	4단계	5단계	Pull-Out
Ton	4.0	7.20	18.00	27.00	36.00	54.00	
Bar	20.0	36.0	90.0	135.0	180.0	270.0	

※ 최대 시험하중

인장재의 극한 하중의 80%를 넘지 않는 범위에서 설계하중의 125%를 재하한다.

※ A.L 하중 : 설계하중의 10% ~ 20%

단계별 Gage 압력계산

$$\text{Max. Bar } \frac{P \times 1000 \times 1.04}{P.A \times 1.02} = \frac{5.4 \times 1000 \times 1.04}{203.6 \times 1.02} = 270.43 \text{Bar}$$

$$\text{- A.L Load : } \frac{4.0 \times 1000 \times 1.04}{203.6 \times 1.02} = 20.01 \text{Bar}$$

$$\text{- 1단계 : } \frac{7.2 \times 1000 \times 1.04}{203.6 \times 1.02} = 36.02 \text{ Bar}$$

$$\text{- 2단계 : } \frac{18.00 \times 1000 \times 1.04}{203.6 \times 1.02} = 90.05 \text{Bar}$$

$$\text{- 3단계 : } \frac{27.0 \times 1000 \times 1.04}{203.6 \times 1.02} = 135.0 \text{Bar}$$

$$\text{- 4단계 : } \frac{36.0 \times 1000 \times 1.04}{203.6 \times 1.02} = 180.11 \text{Bar}$$

$$\text{- 5단계 : } \frac{54.0 \times 1000 \times 1.04}{203.6 \times 1.02} = 270.16 \text{Bar}$$

3. 실험 결과 및 분석

3.1 결과 분석

① Anchor Type : Friction Type Temporary Anchor.

가. Cross Sectional Area = 592.26mm² 나. Free Length = 10.0m

다. Bond Length = 18.0m

라. Working Load = 37.0ton

마. Test Load = 54.0ton

② Elongation (단계별 신장량 계산)

$$\Delta l = \frac{(P \times L_f) + (P \times L_b)}{E \times A}$$

$$\Delta l_{\min} = \frac{(P \times 0.9L_f) + (P \times L_b)}{E \times A}$$

$$\Delta l_{\max} = \frac{P \times (L_f + 0.5L_b) + (P \times L_b)}{E \times A}$$

가. 1단계 :

$$\Delta l_{\min} = \frac{(7.2 \times 1000 \times 0.9 \times 10 \times 1000) + (7.2 \times 0.69 \times 1000 \times 1000)}{1.8 \times 10000 \times 98.71 \times 6}$$
$$= 6.54 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{\max} = \frac{[7.2 \times 1000 \times (10.0 + 0.5 \times 8.0) \times 1000] + (7.2 \times 0.69 \times 1000 \times 1000)}{1.8 \times 10000 \times 98.71 \times 6}$$
$$= 9.92 \text{ mm}$$

나. 2단계 :

$$\Delta l_{\min} = \frac{(18.0 \times 1000 \times 0.9 \times 10 \times 1000) + (18.0 \times 0.69 \times 1000 \times 1000)}{1.8 \times 10000 \times 98.71 \times 6}$$
$$= 16.36 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{\max} = \frac{[18.0 \times 1000 \times (10.0 + 0.5 \times 8.0) \times 1000] + (18.0 \times 0.69 \times 1000 \times 1000)}{1.8 \times 10000 \times 98.71 \times 6}$$
$$= 24.80 \text{ mm}$$

다. 3단계 :

$$\Delta l_{\min} = \frac{(27.0 \times 1000 \times 0.9 \times 10 \times 1000) + (27.0 \times 0.69 \times 1000 \times 1000)}{1.8 \times 10000 \times 98.71 \times 6}$$
$$= 24.54 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{\max} = \frac{[27.0 \times 1000 \times (10.0 + 0.5 \times 8.0) \times 1000] + (27.0 \times 0.69 \times 1000 \times 1000)}{1.8 \times 10000 \times 98.71 \times 6}$$
$$= 37.20 \text{ mm}$$

라. 4단계 :

$$\Delta l_{\min} = \frac{(36.0 \times 1000 \times 0.9 \times 10 \times 1000) + (36.0 \times 0.69 \times 1000 \times 1000)}{1.8 \times 10000 \times 98.71 \times 6}$$
$$= 32.72 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{\max} = \frac{[36.0 \times 1000 \times (10.0 + 0.5 \times 8.0) \times 1000] + (36.0 \times 0.69 \times 1000 \times 1000)}{1.8 \times 10000 \times 98.71 \times 6}$$
$$= 49.61 \text{ mm}$$

마. 5단계 :

$$\Delta l_{\min} = \frac{(54.0 \times 1000 \times 0.9 \times 10 \times 1000) + (54.0 \times 0.69 \times 1000 \times 1000)}{1.8 \times 10000 \times 98.71 \times 6}$$
$$= 49.08 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{\max} = \frac{[54.0 \times 1000 \times (10.0 + 0.5 \times 8.0) \times 1000] + (54.0 \times 0.69 \times 1000 \times 1000)}{1.8 \times 10000 \times 98.71 \times 6}$$
$$= 74.41 \text{ mm}$$

③ Elastic Limit Line

가. Upper Limit Line

$$U = \frac{(L_f + 0.5L_b) \times (T - T_A)}{A \times E} \times 1000000$$

$$= \frac{[(10.0+4.0) \times (54.0-4.0)] + [0.59 \times (54.0-4.0)]}{1.8 \times 10000 \times 98.71 \times 6} \times 1000000$$

$$= 68.43mm$$

나. Lower Limit Line

$$L = \frac{0.9 \times L_f \times (T - T_A)}{A \times E} \times 1000000$$

$$= \frac{[0.9 \times 10.0 \times (54.0-4.0) + 0.59 \times (54.0-4.0)]}{1.8 \times 10000 \times 98.71 \times 6} \times 1000000$$

$$= 44.98mm$$

④ Effective Free Length

$$L_{ef} = \frac{\Delta e \times A \times E}{T - T_A}$$

$$L_{ef1} = \frac{0.194 \times 5.292 \times 1.8 \times 1000000}{(7.2-4.0) \times 1000} = 577.49mm$$

$$L_{ef2} = \frac{0.803 \times 5.292 \times 1.8 \times 1000000}{(18.0-4.0) \times 1000} = 546.36mm$$

$$L_{ef3} = \frac{1.292 \times 5.292 \times 1.8 \times 1000000}{(27.0-4.0) \times 1000} = 535.09mm$$

$$L_{ef4} = \frac{1.90 \times 5.292 \times 1.8 \times 1000000}{(36.0-4.0) \times 1000} = 786.90mm$$

$$L_{ef5} = \frac{3.282 \times 5.292 \times 1.8 \times 1000000}{(54.0-4.0) \times 1000} = 625.26mm$$

* Tension Type Criteria $0.9 \times L \leq L_e \leq L_f + 0.5 L_b$ $9.0 \leq L_{ef} \leq 14.0$

- 1단계 $L_{ef1} = 5.77m > 9.0m \rightarrow N.G$ - 2단계 $L_{ef2} = 5.46m > 9.0m \rightarrow N.G$
- 3단계 $L_{ef3} = 5.35m > 9.0m \rightarrow N.G$ - 4단계 $L_{ef4} = 7.86m > 9.0m \rightarrow N.G$
- 5단계 $L_{ef5} = 6.25m > 9.0m \rightarrow N.G$

본 시험 Anchor는 유효 자유장 (설계 자유장)의 확보가 설계목적에 미치지 못하는 상태로서 각 하중 재하 단계별 유효 자유장의 길이는 설계 자유장의 60%~87.5%의 범위를 나타낸다.

⑤ 단계별 Δl_{allow} Check

$$\Delta l_{allow} = \frac{(T - T_A) \times L_f}{E \times A}$$

가. 1단계 $\Delta l_{allow} = \frac{(7.2-4.0) \times 10.0 \times 1000 \times 1000}{1.8 \times 10000 \times 98.71 \times 6} \times 0.02 = 0.060mm$

$$\text{나. 2단계} \quad \Delta l_{allow} = \frac{(18.0 - 4.0) \times 10.0 \times 1000 \times 1000}{1.8 \times 10000 \times 98.71 \times 6} \times 0.02 = 0.263 \text{mm}$$

$$\text{다. 3단계} \quad \Delta l_{allow} = \frac{(27.0 - 4.0) \times 10.0 \times 1000 \times 1000}{1.8 \times 10000 \times 98.7 \times 6} \times 0.02 = 0.431 \text{mm}$$

$$\text{라. 4단계} \quad \Delta l_{allow} = \frac{(36.0 - 4.0) \times 10.0 \times 1000 \times 1000}{1.8 \times 10000 \times 98.71 \times 6} \times 0.02 = 0.600 \text{mm}$$

$$\text{마. 5단계} \quad \Delta l_{allow} = \frac{(54.0 - 4.0) \times 10.0 \times 1000 \times 1000}{1.8 \times 10000 \times 98.71 \times 6} \times 0.02 = 0.938 \text{mm}$$

3.2 실험 결과의 종합

시험 Anchor의 상태는 양호한 것으로 판단되며 연구 결과에 따르면 소성 변위량이 매우 크게 나타나고 있음을 알 수 있고 지반의 Creep 영향은 매우 작은 것으로 판단된다. 신장률, 탄. 소성 변위, Lock-Off Load등은 양호한 것으로 나타난다.

4. 결 론

현장의 굴착공사 토류벽의 외부 버팀재를 형성하고 있는 Earth Anchor의 시험결과 Anchor의 상태가 전반적으로 양호하게 나타나고 있는 것으로 판단된다.

Anchor의 확보에 가장 중요한 정착력에 대하여는 시험한 Anchor 모두 양호한 상태를 보여주고 있으며 지반의 Creep 영향은 모두 암반에 정착되었으며 시험결과도 매우 양호하므로 별도의 분석 및 대책은 필요하지 않을 것으로 평가된다.

다만 자유장의 보호 및 설계 요구 길이의 확보가 다소 미흡한 것으로 나타나 이에 대한 대책 마련이 필요한 상황으로 평가된다.

5. 참고문헌

- 1) 북강정이, (1997) "그라운드 Anchor 공법 설계 시공 지침", 과학 기술, pp.59~61
- 2) 이 장모, 이 상환, 이 근하, 이 규인, 1993 "부력 저항용 영구 Anchor의 설계와 시공", PEC 엔지니어링 기술, VOL. 6, NO.3 pp.50~65
- 3) 임 종철, 강 낙안, 홍 석우(1995. 10), "압축형 Anchor(SSC Anchor)의 개발", 한국 지반 공학회 '95 가을 학술발표회 논문집', pp.31~35
- 4) 임 종철, 홍 석우, 박 승일(1995. 12), "SSC Anchor의 인발 특성에 관한 연구", 부산대학교 생산기술 연구소 논문집, pp.73~83
- 5) 이 상덕, "전문가를 위한 기초공학", 엔지니어즈, pp.499~527
- 6) Ostermayer, H. and Scheele, F.(1997), "Research on Ground Anchors in Noncohesive Soils", IXICSMFE, Tokyo, Special Session 4.