

장기계측을 통한 인장형 앵커의 인장력 손실 평가

Evaluation of Loss of Prestress Force of Tensile Anchor by Long Term Measurement

이 봉 직[†] · 이 종 규¹⁾

Bongjik Lee · Jongkyu Lee

Received: July 1st, 2015; Revised: July 2nd, 2015; Accepted: September 1st, 2015

ABSTRACT : In this study, to evaluate the long-term behavior characteristics and the loss of prestress force, the long-term measurement of the tensile anchors in the actual construction was performed and the results were analyzed comparing with the existing estimation. As the reinforcement member used for the purpose of slope stability or uplift-resisting of the permanent structure, etc, the permanent anchor should maintain the functions during the performance period of the structure differently from the temporary anchor. However, as the time passes by, since the relaxation and the creep of the anchor occur constantly, the management for the loss of tensile force is essential to perform the functions stably. So far, the loss of the tensile force has been estimated according to the reduction of the prestress using elasticity theory and using the relaxation value according to the type of tension member and the test using the long-term measurement is limited. Therefore, in this study, the site condition and the ground were investigated for the tensile anchor in the actual construction and the long-term measurement results more than 500 days was analyzed by installing the loadcell, inclinometer and the groundwater level gauge. In addition, the long-term behavior characteristics were evaluated by comparing the disposition of the measured earth retaining wall and the tension force loss of the anchor with the existing interpretation results. In the evaluation results, the most of the tension force loss occurs within 90 days and the loss was measured less than the estimated values.

Keywords : Permanent anchor, Tensile anchor, Loss of prestress force, Field measuring, Long term behavior

요 지 : 본 연구에서는 앵커의 장기 거동특성과 인장력 손실을 평가하기 위하여 실제 시공된 인장형 앵커를 대상으로 장기 계측을 실시하고 이를 기존 예측결과와 비교·분석하였다. 영구앵커는 비탈면 안정 혹은 구조물의 부상방지 등을 목적으로 사용되는 보강재로써 가설 앵커와 달리 구조물의 공용기간 동안 기능을 유지해야 한다. 그러나 시간 경과에 따라 앵커의 릴렉세이션 및 크리프가 지속적으로 발생되기 때문에 안정적인 기능발휘를 위해서는 인장력 손실에 대한 관리가 필수적이다. 지금까지 인장력 손실은 탄성론을 이용한 프리스트레스 감소와 인장재 종류에 따른 릴렉세이션을 값을 이용하여 산정하여 왔으며 장기적인 계측결과를 이용한 검증은 제한적인 실정이다. 이에 본 연구에서는 실제 시공된 인장형 앵커를 대상으로 현장조건과 상세 지반조사를 실시하였으며 하중계, 경사계 및 지하수위계를 설치하여 최대 500일 이상의 장기 계측결과를 분석하였다. 또한 측정된 벽체의 변위 및 앵커의 인장력 손실을 기존 해석결과와 비교함으로써 앵커의 장기 거동특성을 평가하였다. 평가결과 대부분의 앵커 손실은 90일 이내에 발생되며, 앵커 손실은 예측된 값보다 작게 측정되는 것으로 나타났다.

주요어 : 영구앵커, 인장형 앵커, 인장력 손실, 현장계측, 장기거동

1. 서 론

비탈면 및 흙막이 구조물의 안정성을 위하여 널리 사용하고 있는 보강재 중 하나가 어스앵커이다(Das, 1990). 앵커는 그라우팅 방법, 지지형태 및 사용용도 등에 따라 분류할 수 있으며(Lee et al., 2010) 사용용도에 따라 가설앵커와 영구앵커로 분류할 수 있다. 가설앵커는 가설 토류벽이나 지반 등을 일시적으로 보강하기 위하여 사용되는 앵커로서, 상대

적으로 짧은 기간 동안 사용하기 때문에 공용기간 중 재료에 대한 부식의 진행이 적어 간단한 방식, 방청으로도 문제가 없는 앵커를 말한다. 단, 가설앵커 중 장기간에 걸쳐 사용되는 앵커의 경우나 부식환경에 노출된 경우 영구앵커에 준하여 계획하여야 한다.

반면에 영구앵커는 비탈면의 안정 혹은 영구구조물의 전도 및 부상방지 등을 목적으로 사용되는 앵커로서 구조물의 장기적인 공용기간 동안 기능을 유지해야 한다. 따라서 영

† Department of Civil Engineering, Korea National University of Transportation (Corresponding Author : bjlee@ut.ac.kr)

1) Technical Firm DAWON Co., LTD.

구앵커의 경우는 그 구조, 사용재료, 방식방법 및 유지관리를 위한 특별관리가 필요하다. 특히 긴장재로 강재를 사용하는 경우에는 확실한 방식 또는 방청을 고려하여야 한다 (Ministry of Construction & Transportation, 2006).

특히 앵커가 장기적인 인장력을 발휘하는 구조물에 사용될 경우 구조물의 안정을 위해서는 앵커의 긴장력 손실을 정확하게 예측하여야 하며, 예측된 긴장력 손실을 기준으로 필요에 따라 재긴장이 가능한 구조로 설계 및 시공되는 것이 일반적이며 앵커의 긴장력 손실은 앵커의 지지방식에 따라 변화할 수 있다(Sabatini et al., 1999).

어스앵커의 경우 구조물을 지지하는 방식에 따라 마찰형, 지압형 및 복합형으로 분류될 수 있으며, 마찰형 앵커는 그라우트와 지반의 주면마찰력으로 지지되는 앵커로서 지지방식에 따라 다시 인장형과 압축형으로 분류할 수 있다.

인장형 앵커의 경우 앵커두부에 가해지는 하중은 긴장재를 통해 그라우트로 전달되고, 정착부를 통해 지반으로 전달되기 때문에 정착부에는 인장력, 자유길이에 압축력이 작용하게 된다. 압축형 앵커의 경우에는 긴장재 전 길이에 걸쳐 시스관으로 보호되기 때문에 앵커두부에 가해지는 하중은 앵커체 선단 그라우트에서부터 지반으로 전달된다. 이중 가장 보편적으로 사용되고 있는 형태가 인장형 앵커이다. 인장형 앵커는 정착부의 마찰을 통하여 구조물을 지지하는 방식으로 장기적인 인장력의 변화가 타 지지방식에 비해 큰 것으로 알려져 있다(Jang, 2009).

앵커의 경우 시간 경과에 따라 릴렉세이션 및 크리프가 지속적으로 발생할 수 있어 영구앵커로 사용 시 재긴장을 할 수 있도록 고안하고 있지만, 설계단계에서 앵커의 인장력 손실을 예측하기는 어려운 실정이다(Lee et al., 2008). 이에 본 연구에서는 현장에 설치된 앵커에 대한 장기계측을 실시하여 벽체의 변위 및 앵커의 인장력 손실을 측정하고 이를 해석결과와 비교함으로써 앵커의 장기 거동특성을 평가하였다.

2. 현장조건 및 지반특성

2.1 현장조건

본 현장은 산지를 개발하여 부지로 활용하기 위해 토목 및 건축공사가 진행된 현장으로 공사부지는 북측으로 산지가 분포하고 있으며, 남측으로는 완만한 평지가 형성되어 있다. 따라서 구조물 설치를 위해서는 대규모 절토가 수반되며, 특히 구조물 북측의 경우 구조물 외부에 영구옹벽이 필요한 상황이다. 이에 본 공사에서는 시공의 편리성과 경

제성 확보를 위하여 가시설을 영구벽체로 활용하도록 계획하였다.

굴착 면의 최대 굴착깊이는 약 23.0m이고 굴착지반은 대부분 풍화암으로 H 파일+토류판 공법을 적용하였으며, 어스앵커로 지지하면서 굴착하도록 계획하였다. 옹벽설치구간은 Fig. 1과 같으며, 시공순서는 케이싱설치, 천공, H 파일 근입과 향타, 앵커공 천공, 앵커조립 및 삽입, 그라우팅 및 정착구 체결의 순으로 진행하였다.

2.2 지반특성

연구대상 구간에 대한 지반조사는 총 7개소에 대해 수행되었으며, 시추조사 위치 및 암반 분포 심도는 Fig. 2와 같다. 시추조사 결과 상부로부터 매립토, 풍화토 및 풍화암층 순으로 분포하고 있는 것으로 조사되었다. 매립층(실트질 모래)은 지표면으로부터 1.5~6.5m의 층후로 느슨한 상태밀도를 보이고 있고, 풍화토층은 1.0m~4.0m의 층후로 실트질 모래, 조립질 모래로 구성되어 있으며, 표준관입시험 결과 N값은 10/30cm~50/30cm의 범위에 형성되는 것으로 나타났다.

옹벽구간의 대부분을 차지하고 있는 연암의 경우, 파쇄 및 절리가 발달하였으며 세 편의 코아회수가 가능하며, 강도는 매우 약하고 심한 풍화상태를 나타내고 있다. 시추조사 결과를 요약하면 Table 1과 같다.



Fig. 1. Anchor work area

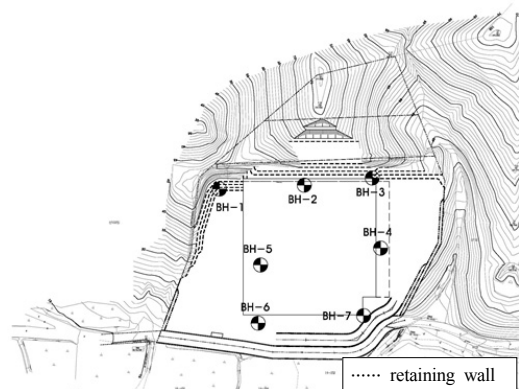


Fig. 2. Location of boring survey

Table 1. Result of soil investigation

BH No.	Soil layer	Depth of soil (m)	Soil property	N value
BH-1	Fill	1.3	Silty sand	-
	Weathered rock	2.5	Silty sand	50/10 ~ 50/3
	Soft rock	13.0	Gneiss	-
BH-2	Fill	6.5	Silty sand and gravel	-
	Weathered rock	0.5	Silty sand	-
	Soft rock	19.0	Gravel	-
BH-3	Fill	2.5	Gravel and pebble	-
	Weathered rock	2.0	Silt	50/8
	Soft rock	25.5	Gneiss	-
BH-4	Fill	0.5	Sand and gravel	-
	Soft rock	14.5	Gneiss	-
BH-5	Fill	0.5	Silty sand	-
	Residual soil	3.0	Silty sand	18/30 ~ 45/30
	Weathered rock	0.5	Silty sand	-
BH-6	Soft rock	7.0	Gneiss	-
	Fill	3.5	Silty sand and gravel	5/30 ~ 12/30
	Residual soil	4.0	Silty sand	10/30 ~ 50/22
	Weathered rock	2.5	Silt	50/9 ~ 50/5
BH-7	Soft rock	7.0	Gneiss	-
	Fill	2.0	Silt and sand	21/30
	Residual soil	1.0	Silt and sand	30/30 ~ 50/10
	Weathered rock	1.0	Silt and sand	-
	Soft rock	7.0	Gneiss	-

2.3 지하수위 및 투수계수

지반조사 시 측정된 조사지역의 공내수위는 0.9~19.9m의 범위에서 매립층, 풍화토층 및 연암층에 분포하고 있어, 공내수위 분포를 고려하면 시추위치 BH-3에서 BH-6, 7지점으로 흐르는 경향을 보이고 있다. 이는 과거의 지형분포와 유사한 방향성을 보이는 것으로 판단된다. 원지반 상태의 투수계수를 산정하기 위하여 토사층을 대상으로 현장투수시험을 수행하였으며, 시험결과 투수계수는 $3.31 \times 10^{-3} \sim 2.85 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 의 범위로 확인되었다.

조사구간의 지하수위 및 투수계수는 Table 2와 같다.

2.4 실내 실험결과

연구지역에 분포하는 지층의 공학적 특성을 파악하기 위

Table 2. Ground water level of bore hole

BH No.	Ground water level	k (cm/s)	Note
BH-1	GL. -7.0 m	1.26×10^{-3}	Fill
BH-2	GL. -16.6 m	2.36×10^{-3}	Fill
BH-3	GL. -19.9 m	2.23×10^{-3}	Fill
BH-4	GL. -5.9 m	3.56×10^{-4}	Residual soil
BH-5	GL. -2.3 m	3.31×10^{-3}	Fill
BH-6	GL. -2.9 m	2.85×10^{-4}	Residual soil
BH-7	GL. -0.9 m	5.27×10^{-4}	Residual soil

Table 3. Result of soil laboratory test

No.	Depth (m)	Wn (%)	Gs	Atterberg limit		USCS
				LL	PI	
BH-2	3.0	17.8	2.64	NP	-	SM
BH-3	1.5	18.1	2.65	NP	-	SM
BH-6	4.5	23.5	2.74	NP	-	SM
BH-7	1.5	21.7	2.81	NP	-	SM

하여 표준관입시험, 시험굴 조사 및 블록샘플시료에 대하여 토질실험을 실시하였으며, 결과를 요약하면 Table 3과 같다.

3. 앵커의 안정성 및 계측계획

3.1 앵커의 안정성 평가

앵커의 안정성 평가에 사용된 대표단면은 상재하중이 가장 크고 지반조건이 불리한 곳을 대상으로 선정하였으며 선정된 대표단면은 Fig. 3과 같다.

안정성 평가방법은 탄소성해석기법을 적용하였으며, 실제 시공단계를 고려하여 단계별로 해석을 실시하였다. 해석 결과 엄지말뚝, 락장 및 앵커 등은 안정성 확보가 가능한 것으로 평가되었으며, 엄지말뚝은 H-300×300×10×15(C.T.C 2.25m), 락장은 H-300×300×10×15, EARTH ANCHOR는 $\phi 12.7\text{mm} \times 6\text{EA}$ (C.T.C 2.25m), 토류판은 생송재 150×110×2,200을 사용하였다.

엄지말뚝 및 락장의 주요 해석결과를 정리하면 Table 4와 같다. 앵커의 안정성은 탄소성 해석 결과를 이용하여 산정된 축력에 예상 앵커력 손실을 고려하여 책정력을 산정하였으며, 이를 앵커의 허용응력과 비교하여 안정성을 평가한 결과는 Table 5와 같다.

인장력 손실은 프리스트레스의 손실과 릴렉세이션에 의한 손실을 고려하였다. 프리스트레스 손실은 Eq. (1)을 이용하여 산정하였다(Oh, 1999).

$$\Delta P_p = A_p E_p \frac{\Delta L}{L} \quad (1)$$

여기서 ΔP_p : 프르스트레스로 인한 인장력 감소

A_p : 인장재의 단면적

E_p : 인장재의 탄성계수

L : 인장재의 길이

ΔL : 정착장치에서의 강재의 활동량

릴렉세이션에 의한 손실은 앵커 인장재의 종류와 인장재에 가해지는 하중의 크기에 따라 좌우된다. 릴렉세이션 값은 인장재 종류에 따라 제안되어 있음을 감안하여 PC 강선 및 PC 강연선은 5%를 적용하여 산정하였다(Jung, 2010).

해석결과를 이용하여 앵커의 정착장 및 자유장, 직경(12.7 mm) 등을 결정하였으며, 정착장의 경우 설계인장력을 이용

하여 소요길이를 산정하였고, 자유장의 경우 응력의 예상과 괴면을 통하여 길이를 산정하였다(Table 6).

3.2 앵커의 계측계획

굴토에 따른 배면 지반의 거동은 일일 굴토량과 작업기기의 진동 및 하중 등의 영향을 받으므로 Data의 변화 추이를 인지할 수 있는 측정빈도를 갖추는 것이 변화속도의 파악과 안전의 판단에 도움이 된다. 특히 본 현장의 경우 가설 흙막이 벽체가 영구옹벽체로 활용되는 것을 감안하여 장기적으로 지속적인 계측이 수행할 수 있도록 계획하였다.

흙막이 가시설 벽체의 안정성을 확보하기 위하여 적용된 계측기 위치도는 Fig. 4와 같다. 공사완료 후 장기적인 계측을 위해 공사 중 계측기와 별도로 설치하였으며, 지중경사계의 경우 굴착부 각 부분의 대표적인 거동을 나타낼 수 있는 구간을 중심으로 설치하였으며, 지하수위계는 굴착으로

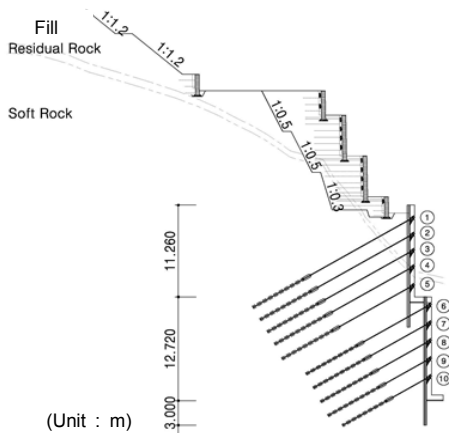


Fig. 3. Analysis section

Table 4. Stability analysis of H-pile and wale

Typical section		
H-pile	Bending stress	$F = 0.546 < 1$, O.K
	Shear stress	$F = 1,083.87 < 1,200.0$ O.K
Wale	Strong axis	$F = 0.14 \sim 0.34 < 1$, O.K
	Weak axis	$F = 0.14 \sim 0.34 < 1$, O.K

Table 5. Stability analysis of tensile anchor

No.	Forces (tf)	Losses of force (tf)	Jacking forces (ff)	Allowable tensile force (tf)	Note
1	36.485	7.19	43.671	85.285	O.K
2	39.789	7.4	47.190	85.285	O.K
3	41.401	7.65	49.055	85.285	O.K
4	44.244	7.95	52.197	85.285	O.K
5	47.163	8.32	55.480	85.285	O.K
6	46.853	8.77	55.619	85.285	O.K
7	46.369	9.33	55.703	85.285	O.K
8	46.450	10.08	56.528	85.285	O.K
9	43.936	11.09	55.028	85.285	O.K
10	18.994	12.56	31.550	85.285	O.K

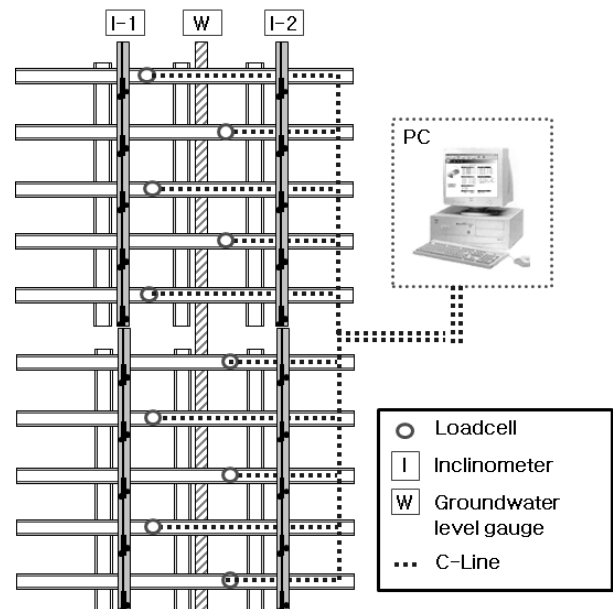


Fig. 4. Outline view of instrumentation

Table 6. Dimension of tensile anchor

No.	Diameter of anchor (mm)	Unbonded length (m)	Bonded length (m)	Total length (m)
1	100 mm, ($\phi 12.7 \text{ mm} \times 6EA$)	14.5	8.0	22.5
2		13.5	8.0	21.5
3		12.5	8.0	20.5
4		11.5	8.0	19.5
5		10.5	8.0	18.5
6		9.5	8.0	17.5
7		8.5	8.0	16.5
8		7.5	8.0	15.5
9		6.5	8.0	14.5
10		5.5	7.0	12.5

인한 지하수위의 변화가 예상되는 지점에 설치하였다.

또한 어스앵커의 축력 변화를 측정하는 하중계(Load cell)는 10개소에 설치하고, 전반적으로 계측기들의 측정결과를 상호 비교·분석이 가능하도록 지중경사계에 인접한 지보재에 설치하였으며, 계측결과는 통신선(C-Line)을 통하여 실시간으로 수집될 수 있도록 하였다.

4. 계측결과 분석

4.1 지중경사계 계측결과 분석

지중 수평변위는 측정 시작일로부터 1일~419일 경과 시까지 주요 일자별로 측정하였고, 벽체의 직각 방향(Fig. 5(a), Fig. 6(a))과 수평 방향(Fig. 5(b), Fig. 6(b))의 측정결과는 Fig. 5~6과 같다. 지중 수평변위는 굴착심도의 1/500을 1차 관리기준, 1/300을 2차 관리기준으로 설정하여 관리하였다.

계측결과 수평변위는 대부분의 구간에서 9mm 이하로 측정되었으며 일부 구간의 경우 26mm의 변위가 발생하였지만, 굴착심도 26m에 대한 1차 관리기준인 50mm 이하의 범위에서 형성되는 것으로 나타났으며, 앵커와 벽체의 응력재분배로 인해 발생하는 것으로 분석되었다.

4.2 지하수위계 계측결과 분석

지하수위 측정결과 초기값은 EL. -24.3(m)이었으며, 시간

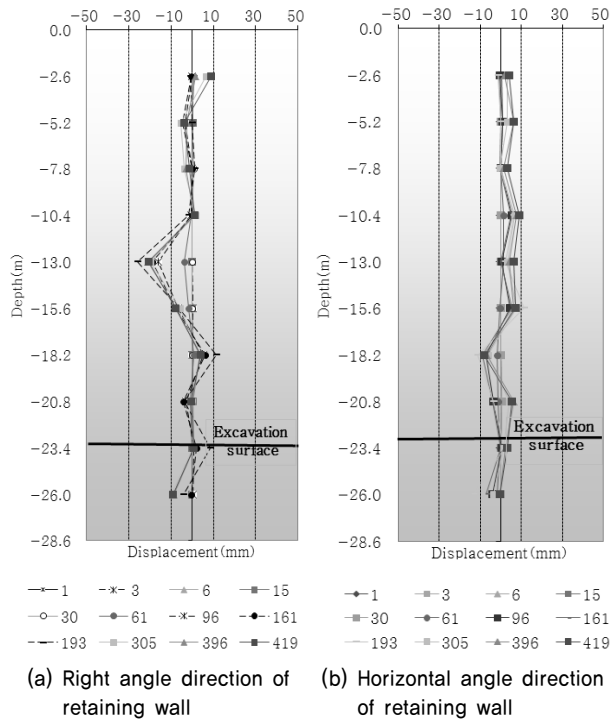


Fig. 5. Measuring result of inclinometer (I-1)

에 따라 최저 EL. -24.6(m)에서 최대 EL. -22.0(m)의 범위에서 분포하여 대체적으로 큰 변화는 없는 것으로 분석되었다. 특히 지하수위의 변화는 우기철인 7~9월에 집중되어 있으며 동절기에는 EL. -24.0(m) 이하, 하절기에는 EL. -24.0(m) 이상의 심도에서 지하수위가 형성되는 것으로 평가되었다.

지하수위 변화에 따른 경사계 및 앵커 인장력의 변화는 큰 상관성이 없는 것으로 나타났으며, 지하수위 분석결과를 Fig. 7과 같다.

4.3 하중계 계측결과 분석

앵커의 경우 긴장력은 편의상 초기인장력, 유효긴장력으로 분류할 수 있으며, 초기긴장력은 앵커체 정착 후에 가하는 최초의 인장력을 의미하고 유효긴장력은 인장재의 릴렉

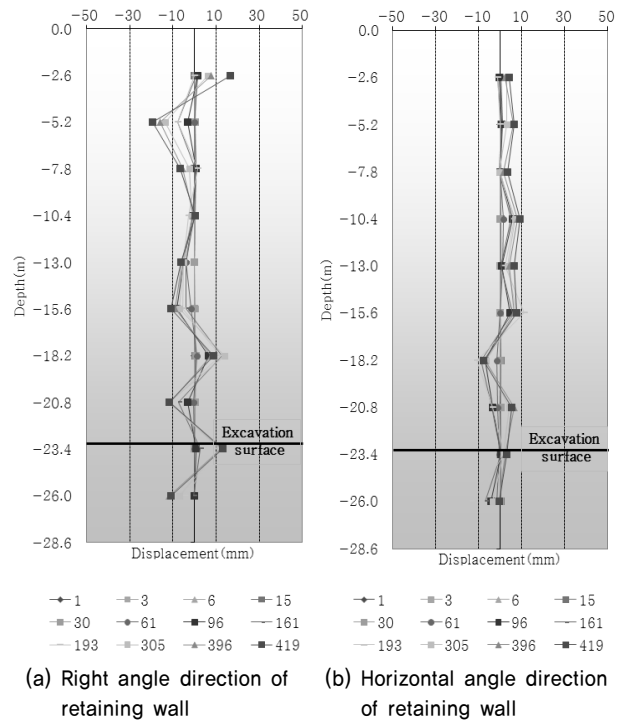


Fig. 6. Measuring result of inclinometer (I-2)

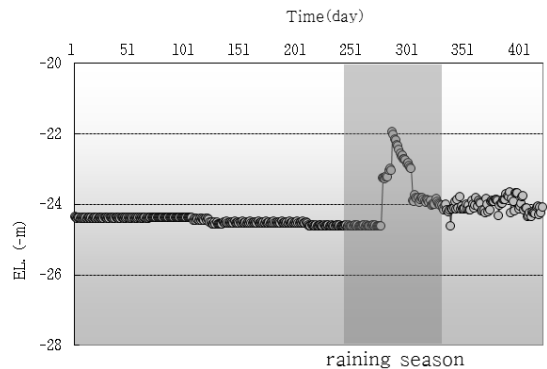


Fig. 7. Measuring result of ground water level

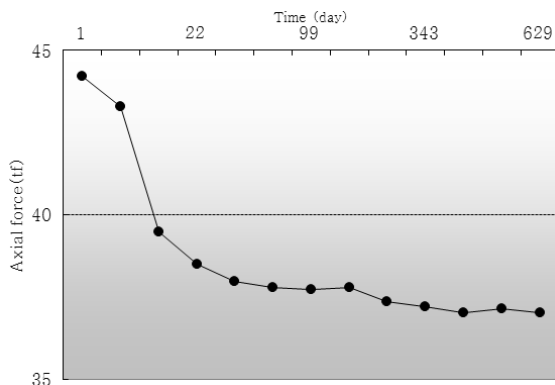
세이션, 지반 등의 크리프 및 정착 시의 세트량 등에 의한 긴장력 감소를 고려한 인장력을 의미한다(Im & Lee, 1999). 앵커로 지지되는 영구 구조물의 경우, 앵커의 손실이 과대해질 경우 벽체의 안정에 영향을 미칠 수 있기 때문에 이에 대한 정확한 예측이 필수적이다. 따라서 설계 시에는 감소되는 긴장력을 사전에 평가하여 긴장력 감소 후에도 유효인장력이 설계에서 산정한 앵커력을 만족할 수 있도록 계획하여야 한다.

본 연구에서는 하중계 장기 계측자료를 이용하여 긴장력 감소를 평가하였으며, 앵커는 총 10단에 걸쳐 시공된 것을 고려하여 각 단별 앵커력에 대한 계측결과를 정리하면 Fig.

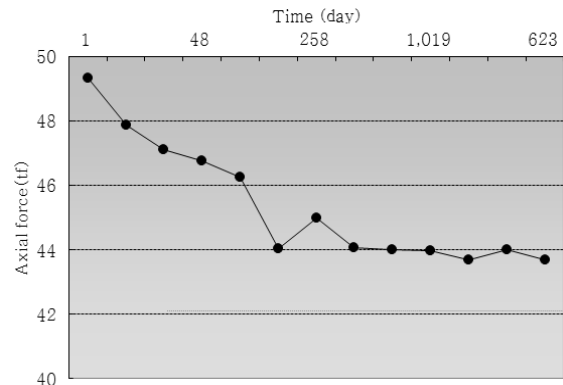
8과 같이 각 단별 앵커력은 인장 초기에 많은 손실이 발생하였고, 설치시기를 기준으로 시간 경과에 따라 앵커력 손실이 감소하며 30~90일이 경과한 후에 일정한 범위로 수렴하는 경향을 보이고 있다.

Fig. 9는 모든 앵커 위치에서 시간 경과에 따른 앵커력 감소 비율을 나타낸 값으로 설치위치별로 차이가 있지만 초기 90일 이내에 많은 앵커력 손실이 발생하는 것으로 나타났다.

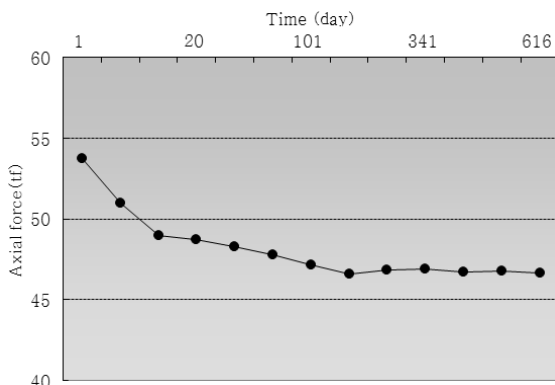
Fig. 10은 설계 당시 예측한 앵커력 손실 값과 실제 계측된 앵커력 손실 값을 비교한 것으로 앵커력 손실은 10단에서 2.7tf로 가장 작은 손실이 발생하였으며, 9단에서 8.41tf로 가장 큰 손실이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 설계 시 예측된



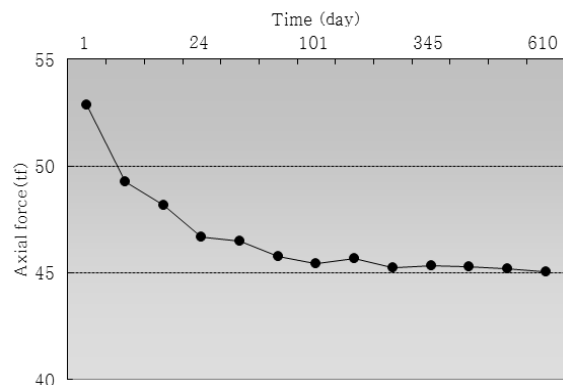
(a) First line of anchor



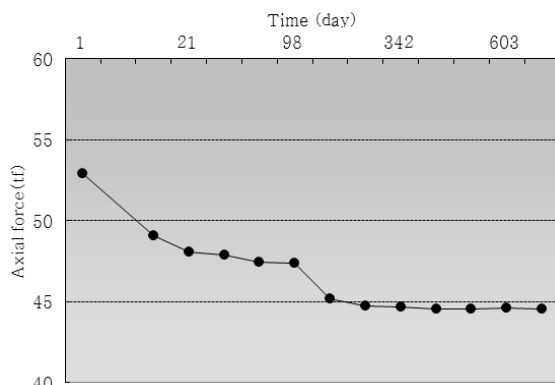
(b) Second line of anchor



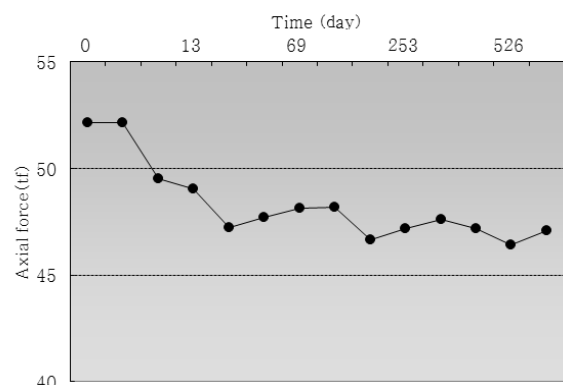
(c) Third line of anchor



(d) Forth line of anchor

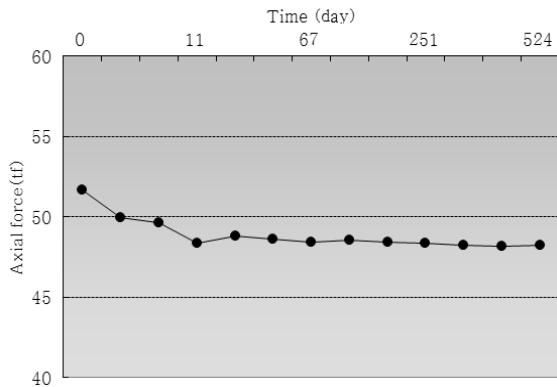


(e) Fifth line of anchor

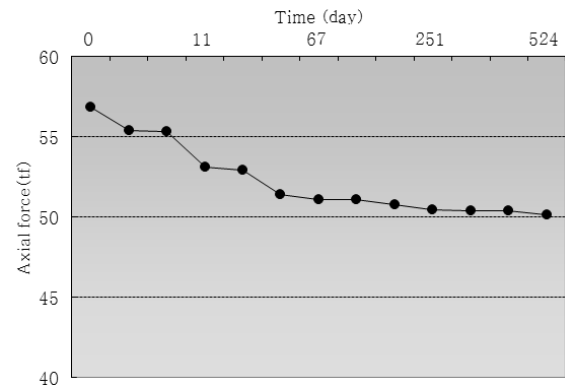


(f) Sixth line of anchor

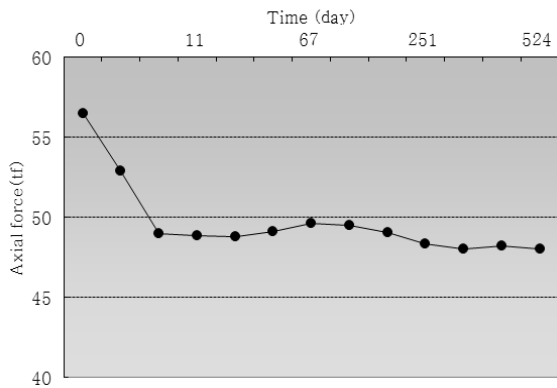
Fig. 8. Measuring result of load cell



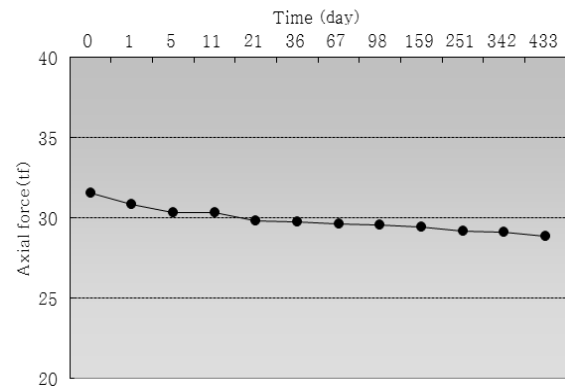
(g) Seventh line of anchor



(h) Eighth line of anchor



(i) Ninth line of anchor



(j) Tenth line of anchor

Fig. 8. Measuring result of load cell (Continued)

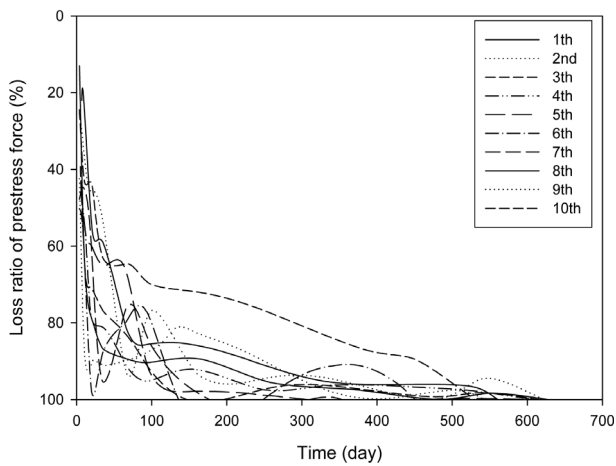


Fig. 9. Comparison between test value and predicted value

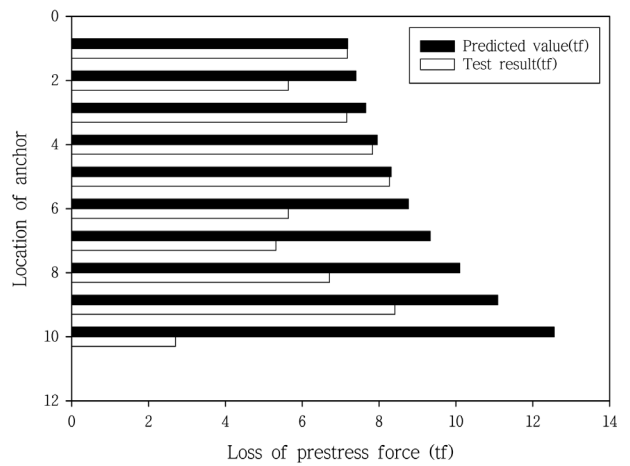


Fig. 10. Comparison between test value and predicted value

릴렉세이션 및 프리스트레스 감소로 7.186~12.56tf로 평가된 것을 감안할 때 당초 예상보다는 작은 앵커력 손실이 발생한 것으로 나타났다.

그러나 설계 당시 예측한 긴장력 손실은 앵커 길이가 짧아질수록 크게 평가되어 하단앵커의 손실이 크게 예측되었지만, 실제 계측결과는 이와는 다소 다른 양상을 보이는 것으로 분석되었다. 즉, 하단앵커일수록 앵커의 길이가 짧아지는 반면 앵커력 감소는 설계 시 예측된 값에 비해 작게

평가되는 것으로 나타났다.

Fig. 11은 설계 시 예측된 앵커력과 실제 계측한 유효긴장력을 비교한 결과로써 이때 유효긴장력은 시간 경과 후 최저 측정값으로 결정하였다. 평가결과 모든 앵커에서 손실이 발생되고 있지만 예상치 이내이며, 유효긴장력은 설계앵커력보다 크게 분포하는 것으로 나타났다.

Fig. 12는 앵커 인장 후 20일, 30일 및 100일 경과 후의 앵커력의 감소비율을 나타낸 것으로 20일 경과 후에 앵커손

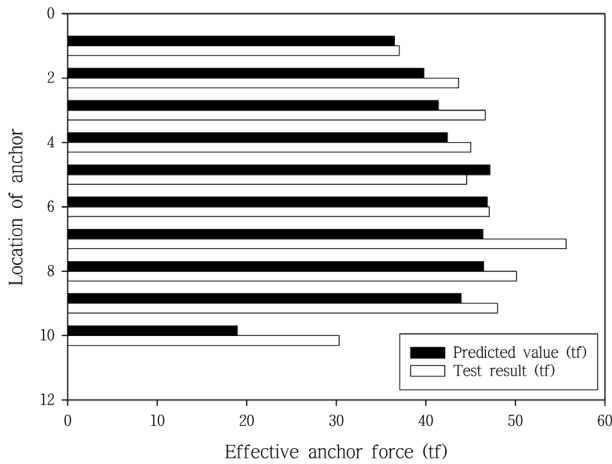


Fig. 11. Effective anchor force of ground anchor

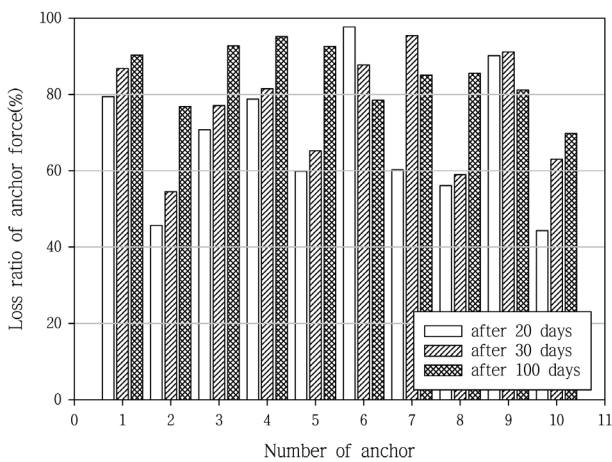


Fig. 12. Effective tension force with variation of time

실률은 최소 40%, 100일 경과 후에는 최소 70%에 이르는 것으로 나타났다. 따라서 대부분의 경우 앵커감소율의 60%가 30일 이내에 발생하는 것으로 나타남에 따라 앵커 인장 후 인장력 감소 비율이 비교적 초기에 많이 발생되는 것으로 분석되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 인장형 앵커에 대한 장기계측을 실시하여 벽체의 변위 및 앵커의 인장력 손실을 측정하여 앵커의 장기 거동 특성을 평가하였으며 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 경과시간에 따라 변화하는 앵커력은 일정한 범위 내에서 수렴하며 앵커력 감소율의 60%가 30일 이내에 발생하며, 앵커력 감소율 80%가 90일 이내에서 발생하는 것

으로 나타나 앵커력의 감소율은 비교적 초기에 많이 발생함을 알 수 있다.

- (2) 설계앵커력과 유효긴장력을 비교한 결과, 설계 시 릴렉세이션 및 프리스트레스 감소를 통해 예측된 값보다 작은 손실이 발생한 것으로 나타나 기존의 예측방법 내에서 수렴하는 것으로 나타났다.
- (3) 설계 당시 예측한 긴장력 손실은 앵커 길이가 짧아질수록 크게 평가되어 하단앵커의 손실이 크게 예측되었지만, 실제 계측결과는 앵커 길이와 긴장력 감소가 일치하지는 않은 것으로 나타났으며 이는 토압의 응력재분배로 인한 현상으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 한국교통대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행한 연구입니다.

References

1. Das, B. M. (1990), Earth anchors, Developments in Geotechnical Engineering, Vol. 50, pp. 1~6.
2. Im, S. S. and Lee, J. S. (1999), Determination of initial prestress force of earth anchors in rock on excavation, Journal of Civil Engineering, Vol. 19, No. 3-1, pp. 177~187 (in Korean).
3. Jang, B. S. (2009), Design, construction and maintenance manual of ground anchor, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, pp. 9~38 (in Korean).
4. Jung, Y. G. (2010), A study on the long-term behavior characteristics of buoyancy-resistant permanent anchor, Master's thesis, Hanyang University, pp. 23~25 (in Korean).
5. Lee, B. J., Youn, J. S., Lee, J. K. and Lee, D. H. (2008), Analysis of anchored wall in long term, Korean Geo-Environmental Conference, Korean Geoenvironmental Society, pp. 147~152 (in Korean).
6. Lee, B. J., Kim, S. S., Youn, J. S. and Lee, J. K. (2010), Pullout characteristics of reinforcing body using re-injection grouting methods, Journal of the Korean Geoenvironmental Society, Vol. 11, No. 10, pp. 25~31 (in Korean).
7. Ministry of Construction & Transportation (2006), The standards of construction slope, Ministry of Construction & Transportation, pp. 141~149.
8. Oh, J. B. (1999), Pullout characteristics of anchor to support earth retaining wall, Master's thesis, Konkuk University, pp. 18~20 (in Korean).
9. Sabatini, P. J., Pas, D. G. and Bachus, R. C. (1999), Geotechnical engineering circular No. 4 ground anchors and anchored systems, FHWA-SA-99-015, Office of Bridge Technology Federal Highway Administration, Washington, D.C, pp. 6~28.