

# 리프트오프 현장시험을 이용한 앵커의 안정성 평가

## Stability Evaluation of Anchors Using Lift-off Field Test

최태식<sup>1</sup> · 윤중만<sup>2</sup> · 김용성<sup>3</sup> · 유승경<sup>4</sup> · 이강일<sup>5\*</sup>Tae Sic Choi<sup>1</sup>, Jung Mann Yun<sup>2</sup>, Yong Seong Kim<sup>3</sup>, Seung Kyong You<sup>4</sup>, Kang Il Lee<sup>5\*</sup><sup>1</sup>Master Course, Department of Civil Engineering, Daejin University, Pochun, Republic of Korea<sup>2</sup>Associate Professor, Department of Civil Engineering, Shin Ansan University, Ansan, Republic of Korea<sup>3</sup>Professor, Department of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, Republic of Korea<sup>4</sup>Professor, Department of Civil Engineering, Myongji College, Seoul, Republic of Korea<sup>5</sup>Professor, Department of Civil Engineering, Daejin University, Pochun, Republic of Korea

\*Corresponding author: Kang Il Lee, kilee@daejin.ac.kr

### ABSTRACT

**Purpose:** This study examines the safety management of anchors that have already been constructed and evaluates the results of lift-off tests conducted at the site. The purpose of the project is to study countermeasures if necessary. **Method:** Compare the residual load gained after the lift-off test at 36 points behind the site with the preemptive load, allowable load, and design load. We also analyze stability through this and evaluate the stability of anchors. **Results and Conclusion:** The residual tension at 26 points remained stable. However, the residual load at 10 points was analyzed to be greater than the designed load and less than the allowable load, and it was evaluated as an instability that could cause fracture problems. Therefore, anchors with unstable conditions at 10 points should be monitored and monitored through periodic measurements and quality tests, and the anchor should be observed at the surrounding points as well as the relevant points to maintain stability.

**Keywords:** Anchor, Lift-off Test, Allowable Load, Design Load, Residual Load

### 요약

**연구목적:** 본 연구는 기 시공된 앵커의 안전관리에 대하여 고찰을 실시하고 이를 통해 현장에서 실시한 리프트오프 시험결과를 평가한다. 또한 필요 시 대책공법에 대하여 연구하는 것을 목적으로 한다. **연구방법:** 현장의 가시설 배면 36개의 지점에 리프트오프 시험을 수행한 후 얻어진 잔존긴장력에 대해 강연선항복하중, 허용긴장력 및 설계긴장력과 비교한다. 또한 이를 통해 안정성을 분석하고 앵커의 안정상태를 평가한다. **연구결과 및 결론:** 시험결과 26개 지점의 잔존긴장력은 안정상태에 있었다. 그러나 10개 지점에서 잔존긴장력이 설계긴장력 보다 크고 허용긴장력 보다 작은 것으로 분석되었고 파단문제가 발생할 수 있는 불안정상태인 것으로 평가되었다. 따라서 10개 지점에서 나타난 불안정상태의 앵커는 주기적인 계측과 품질시험을 통한 관리 및 관찰을 수행해야 하며 해당 지점뿐 아니라 주변 지점에 대해서도 주기적인 관찰을 실시하여 안정상태를 유지시켜야 한다.

**핵심용어:** 앵커, 리프트오프 시험, 허용긴장력, 설계긴장력, 잔존긴장력

Received | 5 January, 2021

Revised | 22 January, 2021

Accepted | 23 February, 2021

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서론

그라운드앵커는 강연선과 그라우트로 구성된 앵커체에 프리스트레스를 가함으로써 지반과 구조물의 일체화 거동을 통해 지반의 안정성을 확보하는 공법이며 지반보강, 비탈면 안정 등의 분야에 주로 사용되고 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2011). 이러한 그라운드 앵커는 국내에 도입된 이후 수많은 사회적 인프라 시설의 영구적인 보강과 안정성을 확보하기 위하여 사용되고 있으며 이미 국토의 대부분이 산지로 형성되어 있는 우리나라는 1990년대 이후부터 사회 발전과 더불어 그 시공실적이 급격하게 증가하였다(Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation, 2009). 그러나 그라운드 앵커는 시간이 지남에 따라서 노후화 및 환경적 영향에 의한 부식, 릴렉세이션, 크리프 등으로 긴장력 감소가 발생하며, 이로 인해 앵커의 긴장력은 설계긴장력 이하로 감소할 가능성을 내포하고 있다. 최근 보고에 따르면 대부분의 앵커에서 잔존긴장력이 설계긴장력 미만으로 나타나며 설계긴장력의 50% 미만인 경우도 절반 이상으로 보고된다(Korea Expressway Corporation, 2016). 그럼에도 불구하고 그라운드 앵커 설계 시공 및 유지관리 매뉴얼(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2011)에서는 앵커의 품질관리를 위한 인장시험 및 확인시험의 세부 지침은 제시하나, 여전히 현장 적용성 부족으로 기준 준수가 제대로 되지 않는 실정이다(Jin et al., 2018). 또한 그라운드 앵커의 긴장력은 현장의 지반, 암반, 그라우트, 긴장재 상의 복합거동과 비탈면의 활동, 간극수압 증가, 동결작용 등의 영향으로 인해 증가 또는 감소 할 수 있다.

이에 대하여 최근 진행된 연구를 살펴보면 다음과 같다. Cha et al.(2009)은 앵커의 변형 요인, 유지관리 소홀로 인한 문제점을 분석하고 국내 실정에 맞는 점검 및 정밀안전진단의 빈도, 유지관리 기록 등의 방안을 제시하였다. 그리고 Yoon et al.(2018)은 앵커의 잔존긴장력을 육안으로 확인하기 위한 상시 육안확인 장치의 설계 및 제작하였고 현장 리프트오프 시험을 통하여 그 성능을 검증하였다. Song et al.(2019)은 현장시험을 통하여 하중 재하 및 긴장방식, 변위 측정간격 등이 잔존긴장력에 미치는 영향을 조사하였고, 각 영향에 따른 앵커의 거동을 평가하였다. Park et al.(2020)은 하중계 계측을 통한 잔존긴장력을 측정하고 선형 회귀 분석을 수행하여 긴장력 증감 여부를 파악하였다. 또한 재긴장이 필요할 것으로 예상되는 일자를 산정하고 각 현장의 잔존긴장력 증감 영향요소를 평가하였다.

본 연구에서는 가설 앵커의 설계도서와 시방서, 도면상의 설계자료를 분석하고 초기긴장력과 설계긴장력 등 앵커 설치계획을 검토하였다. 현장시험은 가시설 배면의 지층 분포상태가 설계와 동일하다는 조건으로 현장 36개 지점의 리프트오프 시험(Lift-off Test)을 실시하였으며, 그 결과 얻어진 잔존긴장력을 강연선 항복하중 및 허용긴장력, 설계긴장력과 비교하였다. 이를 통해 안정성을 분석하였으며 연암~경암지반 흙막이 구조물(H-Pile+토류판)의 지보재로 사용된 가설 앵커의 안정상태에 대해 평가하고 그에 따른 대책을 제시하였다.

## 리프트오프 시험 및 평가법

### 개요

리프트오프시험(Lift-off Test)은 이미 정착되어 있는 앵커의 잔존긴장력을 확인하기 위해 실시하며, 잔존긴장력을 통해 앵커의 안정상태를 확인할 수 있다. 일반적으로 지반에 설치되는 앵커는 시간이 흐름에 따라 그 긴장력이 저하되고, 저하율은 지반의 종류나 설치조건에 따라 달라진다. 지반의 강도나 변형계수가 작은 점성토지반이나 느슨한 모래지반 등에서는 저하율이 큰 반면, 신선한 암반 등에서는 저하율이 작다. 또한 비탈면 붕괴나 비탈면 붕괴방지를 위해 설치된 앵커에서는 긴장력이 초기

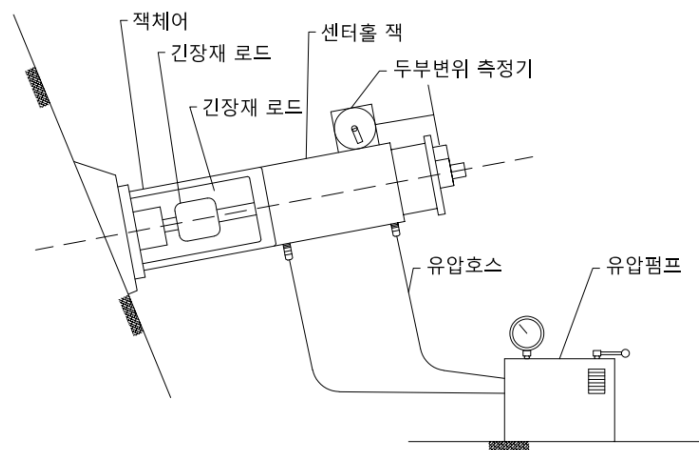
긴장력보다 커지는 경우도 있으므로 긴장력의 변화를 주기적으로 모니터링하여 앵커의 안정상태를 확인하여야 한다.

리프트오프시험 수량은 시공규모, 타설지반의 종류, 앵커 설치구조물의 중요도 등을 고려해서 결정하고, 일반적으로 앵커 50~100본에 1개소의 비율로 실시한다. 시기는 앵커 정착 후 잔존긴장력을 확인할 필요가 있을 때 또는 장기 유지관리를 위하여 결정된 시기에 실시한다. 또한 앵커의 긴장력 소실은 앵커 정착 직후에 크게 발생하고, 시간이 경과할수록 작아지는 경향을 보이므로 리프트오프시험의 시간간격은 정착 후 초기에는 짧게, 시간이 경과할수록 넓게 잡아야 한다.

**시험장치 및 시험방법**

리프트오프 시험장치는 Fig. 1과 같으며 구비해야 할 성능은 가력장치에서 최대시험하중에 대하여 1.2배 이상의 용량을 가지고 계측장치에서 앵커의 변위량이 충분한 정밀도로 계측할 수 있어야 한다. 앵커두부의 신장량 계측은 정밀도 0.1~0.5mm정도의 변위계를 사용한다. 리프트오프시험은 시험전에 긴장재의 재긴장 여유길이가 충분한지 확인하여야 하며, 재긴장 여유길이는 긴장 잭을 세팅하기 위해서 필요 길이 이상이 요구되지만, 일반적으로 PC 강연선의 경우에는 10cm 이상, 너트 타입의 긴장재의 경우는 커플러를 연결하기 위한 여분의 길이가 필요하다.

리프트오프 시험 시 계획 최대하중은 설계 또는 공사 보고서로부터 앵커의 사양을 확인할 수 있는 경우에는 설계긴장력의 1.2배, 긴장재의 항복 긴장력의 90% 하중 이하로 하고, 앵커의 사양을 확인할 수 없는 경우에는 긴장재의 항복 긴장력의 90%를 상한으로 한다. 하지만 불확실한 요소에 의한 저감을 고려하여 전문기술자의 신중한 판단 하에 결정한다. 초기 하중은 잔존긴장력이 정착시 긴장력보다 크게 저하하는 경우도 있으므로 긴장 잭이나 측정기기가 정상적으로 작동하는 범위에서 약간 낮게 설정한다. 재하 시의 측정간격은 작게 설정하는 것이 좋지만 일반적으로는 30~50kgf 간격으로 측정하는 경우가 많다. 또한 재하방법을 계획할 때에는 앵커 상태에 따라 시험 중에 긴장재가 파단되거나 앵커가 빠지는 위험이 있다는 것을 염두에 두고 신중하고 안전하게 계획할 필요가 있다. 리프트오프시험의 측정항목은 하중 및 긴장재의 두부 변위량을 기록하고, 일정 속도로 재하한 후에 하중이 안정된 상태에서 두부의 변위량을 측정한다. 시험과정에서 리프트오프가 확인되었을 때는 그 후 3단계 정도의 재하 및 측정을 시행한다.



**Fig. 1.** Equipment of lift-off test

### 앵커의 잔존긴장력 측정 및 평가법

리프트오프시험을 통한 앵커의 안정상태 평가방법은 시험결과를 통해 하중-앵커두부의 변위량 관계를 보통눈금의 그래프용지에 작도하며 이것에 기초해서 리프트오프 하중(잔존긴장력)을 구한다. 잣으로 앵커헤드 또는 긴장재를 긴장하는 경우 앵커 헤드가 지압판에서 떨어지거나, 정착 썩기가 앵커헤드에서 빠지기 시작할 때 즉, 리프트오프시험에 대한 하중~변위량 곡선의 변곡점(구배 변화점)이 잣의 하중과 앵커의 긴장력이 균형을 이룰 때의 하중을 리프트오프 하중이라고 한다.

앵커의 안정상태는 Table 1과 같이 잔존긴장력(Pe)과 설계긴장력(Pd), 허용긴장력(Pa)을 서로 비교하여 평가한다. 일반적으로 리프트오프시험의 최대긴장력은 앵커의 허용긴장력을 알고 있는 경우, 앵커의 허용긴장력의 110~120%을 적용하여 시험을 수행한다. 따라서, 앵커의 안정도 평가시에도 잔존긴장력이 허용긴장력의 120% 이하인 경우에는 앵커가 안정한 상태이지만 대상 앵커의 긴장력이 지속적으로 증가하는 경향을 보이는지 하중계의 변화를 모니터링할 필요성이 있으며, 허용긴장력의 120%를 초과하는 경우에는 앵커의 긴장재(강연선)의 파단 위험성이 있으므로 긴장력을 완화하거나 추가 앵커를 설치하는 등의 안정대책을 수립하여야 한다.

**Table 1.** Based on residual tension and anchor stability(The Japanese Geotechnical Society, 2000)

Residual load range	Stability	Anchor's condition	Measure
0.9Tys	D	Fears of fracture	Implement emergency measures
(Tys: Strand yield load)	C	Risk of becoming dangerous	Implementing measures
1.2Ta	B	Exceeding allowance	Review the need for countermeasures as they progress
Allowable load(Ta)	A	Fine	
Designed load(Pd)	A	Fine	
0.8Pd	B		Review the need for countermeasures as they progress
0.5Pd	C	Significant degradation in functionality	Implementing measures
0.1Pd	D	Not functioning	

시험결과는 리프트오프가 명확한 경우(Fig. 2) 및 리프트오프가 불명확한 경우(Fig. 3)와 같이 리프트오프 시험 측정결과로부터 하중-변위량 곡선도를 작성한다. 그리고 작성된 그래프에서 변곡점을 찾으면 이 때의 하중이 리프트오프 하중 즉, 잔존긴장력이 된다. 긴장재의 자유장 길이 산정은 리프트오프시험 후의 하중과 변위량을 이용하여 식 (1)과 같이 산정할 수 있다.

$$l_{sf} = \frac{\Delta \delta_s E_s A_s}{\Delta T} \quad (1)$$

여기서,  $l_{sf}$  : 긴장재의 자유길이(mm)

$E_s$  : 긴장재의 탄성계수(tonf/mm<sup>2</sup>)

$A_s$  : 긴장재의 단면적(mm<sup>2</sup>)

$\Delta \delta_s$  : 하중-두부변위량 곡선부분에 있어서의 변위량(mm)

$\Delta T$  : 하중-두부변위량 곡선부분에 있어서의 하중증가량(tonf)

앵커는 일반적으로 앵커 정착 후, 1주간부터 2개월 정도의 비교적 짧은 기간 동안 지반이나 앵커체의 초기 크리프 또는 PC 강재의 릴렉세이션에 의해 잔존긴장력이 10~20% 정도 저하하는 것으로 알려져 있다. 그러나 외력의 영향을 받는 경우에는 잔존긴장력의 손실이 큰 폭으로 감소하거나 증가하는 경우가 발생하기도 한다. 따라서 시험결과를 평가할 경우 잔존긴장력이 설계긴장력의 80% 이상이면서 허용긴장력 이하이면 안정한 상태에 있다고 판단할 수 있다.

리프트오프시험 분석결과, 리프트오프의 하중-변형량 곡선이 앵커 시공시 하중-변형량 곡선의 기울기와 같거나 같은 변위 경향을 갖는 경우에는 시험결과가 양호한 것으로 판단할 수 있다. 그러나 Fig. 2와 Fig. 3에서 나타난 바와 같이 리프트오프 이후의 기울기가 급격하게 변하거나 하중이 내려가는 경우에는 주의가 필요하다. 또한 리프트오프 시험결과가 불명확한 경우 리프트오프의 하중-변형량 곡선이 발생하는 이유는 다음과 같다. 첫 째는 앵커 축선과 받침대의 편심이나 앵커 배면 토체의 변형 등에 의해 강연선이 앵커 공벽이나 구조물과 접촉하여 강연선이 꺾인 상태인 경우이다. 둘째는 앵커의 자유장부 덮개 안으로 그라우트가 스며드는 등의 이유에 의해 자유장부의 강연선이 구속된 경우이다. 셋 째는 강연선 배면의 변위에 과부하가 발생하였을 경우이다. 따라서 리프트오프시험결과 분석시 종합적인 현장상황을 고려하여 판단하여야 한다.

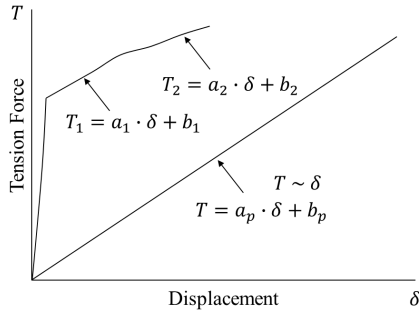


Fig. 2. Definite case of lift-off

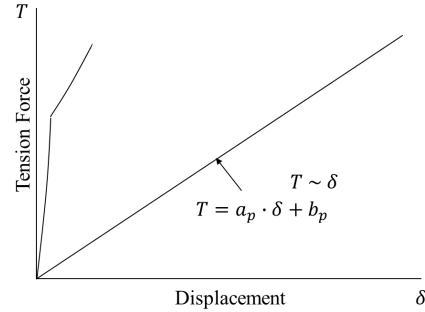


Fig. 3. Indefinite case of lift-off

## 리프트오프 현장시험

### 현장 개요

현장은 Fig. 4와 같이 ○○ 주택 건설을 위한 대규모 지하굴착 현장으로 지하 굴착시 굴착면의 안정성을 확보하기 위해 흙막이 구조물을 설치하고 흙막이 지지를 위한 앵커를 설치하였다. 그러나 현장의 계측결과 하중계번호 L-30~L-34의 2, 3단과



Fig. 4. Field view

4단 앵커에 설치된 하중계의 앵커축력이 4단 굴착 이후 급격하게 증가되어 가설앵커의 안정성 평가를 위해 리프트오프 시험을 수행하였다. 일반적으로 실제 시공 현장에서는 리프트오프 시험 시 초기하중을 적용하고 있지 않지만, 본 연구에서는 설계하중이 40tonf인 앵커들을 대상으로 초기하중을 설계하중의 10%, 최대시험하중은 설계하중의 110%로 수행하였다(Lee et al., 2019).

### 시험위치

시험위치는 현장에서 앵커의 긴장력이나 수평변위가 크게 증가한 1단부 L-4 지점과 2단부 L-29~L-34 구간 앵커의 안정상태를 파악하기 위해 총 36회의 리프트오프 시험을 실시하였다. Fig. 5는 1단과 2단 좌, 우측의 전개도로 각 지점의 리프트오프 시험 위치를 나타낸 것이며 현장에서 제공된 리프트오프 시험 결과를 토대로 가설앵커의 안정성 평가를 실시하였다.

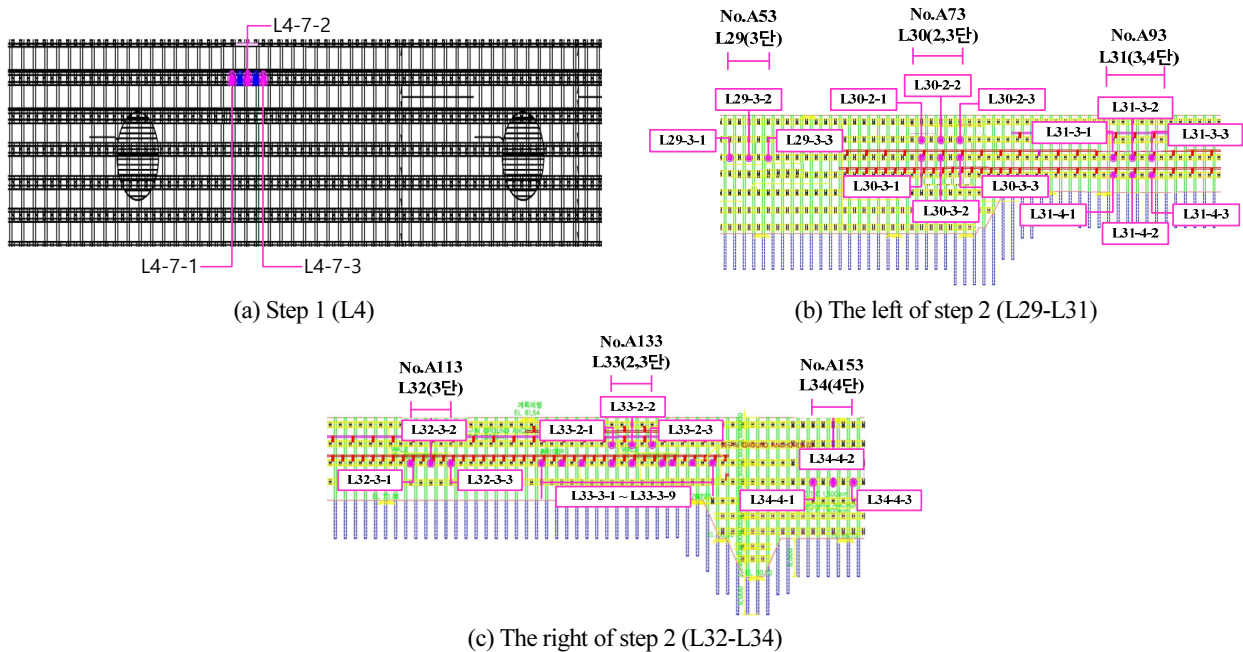


Fig. 5. Test location view

### 시험 위치별 앵커제원

현장의 시험 위치별 앵커의 잔존긴장력과 안정상태를 평가하기 위한 앵커 제원은 Table 2와 같다. 설계긴장력은 앵커의 배치, 앵커에 작용하는 하중 등을 고려하여 1본의 앵커가 부담해야 할 하중의 크기를 나타낸다. 이것은 극한긴장력을 앵커로 보강된 구조물의 안정해석에 적용하는 안전율로 나눈 값인 허용긴장력을 초과하지 않는 값이다. 현장의 1단부 앵커의 설계긴장력은 37.9tonf으로 산정되었고 2단 좌측의 앵커는 21.1~41.1tonf, 2단 우측의 앵커는 31.2~38.4tonf의 설계긴장력이 산정되었다.

초기긴장력은 앵커를 긴장 및 정착하기 위해 긴장재에 초기에 가해지는 긴장력이다. 이것은 정착 후 강재의 릴랙세이션, 지반의 크리프, 정착시의 세트량 등 각종조건에 의해 잃게 되는 긴장력을 포함한다. 따라서 유효긴장력으로서 설계하중의

**Table 2.** Data of construction anchors by test location

Section	Location	No.	Designed load (tonf)	Initial load (tonf)	Strand	Free length	Embedded length	Load cell (tonf)
Step 1	L4 (7 stage)	L4-7-1	37.9	44.0	6 lines	14m	6m	66.8/58.5
		L4-7-2	37.9	44.0	6 lines	14m	6m	
		L4-7-3	37.9	44.0	6 lines	14m	6m	
The left of step 2	L29 (3 stage)	L29-3-1	31.3	36.4	5 lines	14m	6m	41.7
		L29-3-2	31.3	36.4	5 lines	14m	6m	
		L29-3-3	31.3	36.4	5 lines	14m	6m	
	L30 (2 stage)	L30-2-1	21.1	26.1	5 lines	15m	6m	54.4
		L30-2-2	21.1	26.1	5 lines	15m	6m	
		L30-2-3	21.1	26.1	5 lines	15m	6m	
	L30 (3 stage)	L30-3-1	31.3	36.4	5 lines	14m	6m	50.0
		L30-3-2	31.3	36.4	5 lines	14m	6m	
		L30-3-3	31.3	36.4	5 lines	14m	6m	
	L31 (3 stage)	L31-3-1	38.4	45.5	6 lines	10m	6m	56.8
		L31-3-2	38.4	45.5	6 lines	10m	6m	
		L31-3-3	38.4	45.5	6 lines	10m	6m	
	L31 (4 stage)	L31-4-1	41.1	48.5	6 lines	9m	6m	58.9
		L31-4-2	41.1	48.5	6 lines	9m	6m	
		L31-4-3	41.1	48.5	6 lines	9m	6m	
The right of step 2	L32 (3 stage)	L32-3-1	38.4	45.5	6 lines	10m	6m	56.3/54.7
		L32-3-2	38.4	45.5	6 lines	10m	6m	
		L32-3-3	38.4	45.5	6 lines	10m	6m	
	L33 (2 stage)	L33-2-1	31.2	36.8	5 lines	11m	6m	61.0
		L33-2-2	31.2	36.8	5 lines	11m	6m	
		L33-2-3	31.2	36.8	5 lines	11m	6m	
	L33 (3 stage)	L33-3-1	38.4	45.5	6 lines	10m	6m	73.5
		L33-3-2	38.4	45.5	6 lines	10m	6m	
		L33-3-3	38.4	45.5	6 lines	10m	6m	
	L33 (3 stage)	L33-3-4	38.4	45.5	6 lines	10m	6m	73.5
		L33-3-5	38.4	45.5	6 lines	10m	6m	
		L33-3-6	38.4	45.5	6 lines	10m	6m	
	L33 (3 stage)	L33-3-7	38.4	45.5	6 lines	10m	6m	73.5
		L33-3-8	38.4	45.5	6 lines	10m	6m	
		L33-3-9	32.5	37.5	5 lines	14.5m	6m	
L34 (4 stage)	L34-4-1	37.6	44.4	6 lines	11m	6m	51.8	
	L34-4-2	37.6	44.4	6 lines	11m	6m		
	L34-4-3	37.6	44.4	6 lines	11m	6m		

100%를 도입할 수 있도록 초기긴장력을 결정하여야한다. 현장의 1단부 앵커의 초기긴장력은 44.0tonf으로 산정되었고 2단 좌측의 앵커는 26.1~48.5tonf, 2단 우측의 앵커는 36.8~45.5tonf의 초기긴장력이 산정되었다.

### 리프트오프 시험결과

Table 3은 현장 리프트오프 시험에 대한 36개 지점의 잔존긴장력을 나타낸 것으로 시험결과 L31-4-1과 L31-4-3지점을 제외한 34개 지점에서 설계긴장력을 초과하였으며 L31-4-1과 L31-4-3지점의 잔존긴장력은 각각 40.0tonf, 41.0tonf으로 설계긴장력 대비 97.3%, 99.8%의 잔존율을 보여 유일하게 100% 미만으로 나타났다.

또한 L29-3-1, L29-3-3, L31-4-3, L32-3-1지점을 제외한 32개 구간에서는 초기긴장력보다 잔존긴장력이 증가하는 양상을 보였다. 잔존긴장력의 범위는 최소 33.2tonf에서 최대 73.0tonf으로 나타났고 잔존긴장력의 최대값과 최소값의 차이를 비교한 결과 39.8tonf으로 큰 범위의 분포를 보였다. 그리고 설계긴장력이 같은 지점에서 설계긴장력이 증가 할수록 잔존긴장력의 범위가 넓게 분포하였다. 설계긴장력이 21.1tonf인 L30-2-2의 3개 지점에서 잔존긴장력의 범위는 13.8로 나타났고, 설계긴장력이 41.1tonf인 L31-4-2의 3개 지점에서 잔존긴장력의 범위는 22tonf으로 그 범위가 넓어졌다. 본 현장의 경우 잔존율의 평균치는 159.2%이고 최대치는 262.1%인 것으로 나타났으며 설계긴장력이 21.1tonf인 L30-2-2지점의 최대 잔존율은 262.1%, 평균치는 229.38%로 나타났다. 또한 설계긴장력이 41.1tonf인 L31-4-2지점의 최대 잔존율은 150.9%, 최소는 97.3%, 평균치는 116.0%로 나타났다. 따라서 설계긴장력이 같은 지점에서 설계긴장력의 크기가 커질수록 잔존율이 작아지는 경향을 보였다.

**Table 3.** Result of lift-off test

Section	Location	No.	Designed load Pd (tonf)	Residual load Pe (tonf)	Pe/Pd(%)
Step 1	L4 (7 stage)	L4-7-1	37.9	48.3	127.4
		L4-7-2	37.9	58.5	154.4
		L4-7-3	37.9	73.0	192.6
	L29 (3 stage)	L29-3-1	31.3	34.0	108.6
		L29-3-2	31.3	44.7	142.8
		L29-3-3	31.3	33.2	106.1
	L30 (2 stage)	L30-2-1	21.1	41.5	196.7
		L30-2-2	21.1	55.3	262.1
		L30-2-3	21.1	48.4	229.4
The left of step 2	L30 (3 stage)	L30-3-1	31.3	49.2	157.2
		L30-3-2	31.3	64.0	204.5
		L30-3-3	31.3	48.0	153.4
	L31 (3 stage)	L31-3-1	38.4	70.5	183.6
		L31-3-2	38.4	71.5	186.2
		L31-3-3	38.4	56.0	145.8
	L31 (4 stage)	L31-4-1	41.1	40.0	97.3
		L31-4-2	41.1	62.0	150.9
		L31-4-3	41.1	41.0	99.8

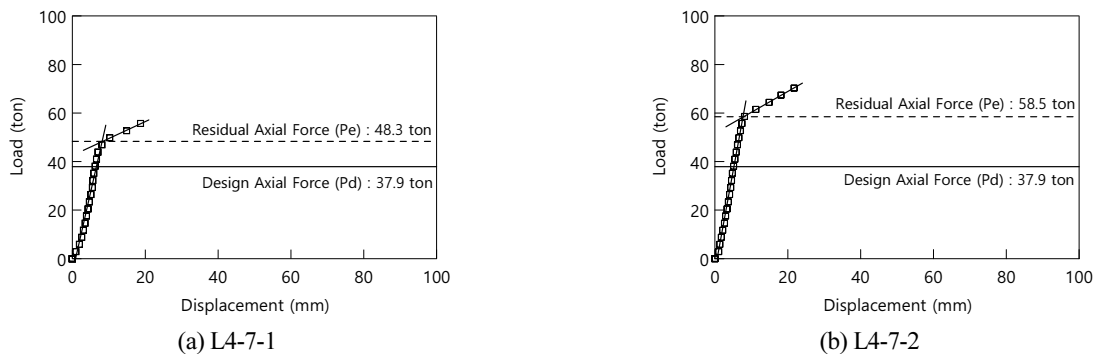


**Table 3.** Result of lift-off test (Continue)

Section	Location	No.	Designed load Pd (tonf)	Residual load Pe (tonf)	Pe/Pd(%)
The right of step 2	L32 (3 stage)	L32-3-1	38.4	40.5	105.5
		L32-3-2	38.4	57.5	149.7
		L32-3-3	38.4	46.5	121.1
	L33 (2 stage)	L33-2-1	31.2	64.5	206.7
		L33-2-2	31.2	65.5	209.9
		L33-2-3	31.2	56.0	179.5
		L33-3-1	38.4	53.0	138.0
		L33-3-2	38.4	46.5	121.1
		L33-3-3	38.4	46.5	121.1
	L33 (3 stage)	L33-3-4	38.4	72.0	187.5
		L33-3-5	38.4	67.4	175.5
		L33-3-6	38.4	70.5	183.6
		L33-3-7	38.4	61.5	160.2
		L33-3-8	38.4	66.5	173.2
		L33-3-9	32.5	54.5	167.7
	L34 (4 stage)	L34-4-1	37.6	53.0	141.0
		L34-4-2	37.6	63.0	167.6
		L34-4-3	37.6	47.0	125.0

**1단 리프트오프 하중-변위곡선**

Fig. 6은 1단부의 대표적인 지점의 리프트오프 하중-변위곡선 및 잔존긴장력 측정값을 나타낸 것이다. 시험결과 전 지점에서 잔존긴장력이 설계긴장력을 초과하였으며 초기긴장력보다 긴장력이 증가한 것으로 나타났다. Table 2 및 Table 3에서와 같이 L4-7-3지점의 경우는 초기 44.0tonf의 긴장력에서 29.0tonf이 증가하였고 65.9%의 증가율을 보여 타 지점과 비교하였을 때 비교적 높은 증가율을 보였다. 또한 L4-7-1과 L4-7-2, L4-7-3지점의 잔존긴장력은 각각 48.3, 58.5, 73.0tonf으로 127.4, 154.4, 192.6%의 잔존율을 보였다.



**Fig. 6.** Result of lift-off test at the step 1

## 2단 좌측 리프트오프 하중-변위곡선

Fig. 7은 리프트오프 하중-변위 시험을 통하여 2단 좌측 15개 지점의 잔존긴장력에 대한 대표적인 그림을 나타낸 것이다. 시험결과 L31-4-1과 L31-4-3지점을 제외한 13개 지점에서 잔존긴장력이 설계긴장력을 초과하였으며 L29-3-1과 L31-4-1, L31-4-3지점을 제외한 12개 지점에서 초기긴장력보다 긴장력이 증가한 것으로 나타났다. 또한 L30-2-2와 L30-2-3지점의 경우는 초기 26.1tonf의 긴장력에서 각각 55.3과 48.4tonf으로 2배에 가까이 가까운 증가율을 보였다. 잔존긴장력의 최대치는 L31-3-2지점의 71.5tonf, 최소치는 L29-3-1지점의 34.0tonf으로 나타났으며, 잔존율의 평균은 161.6%로 나타났다.

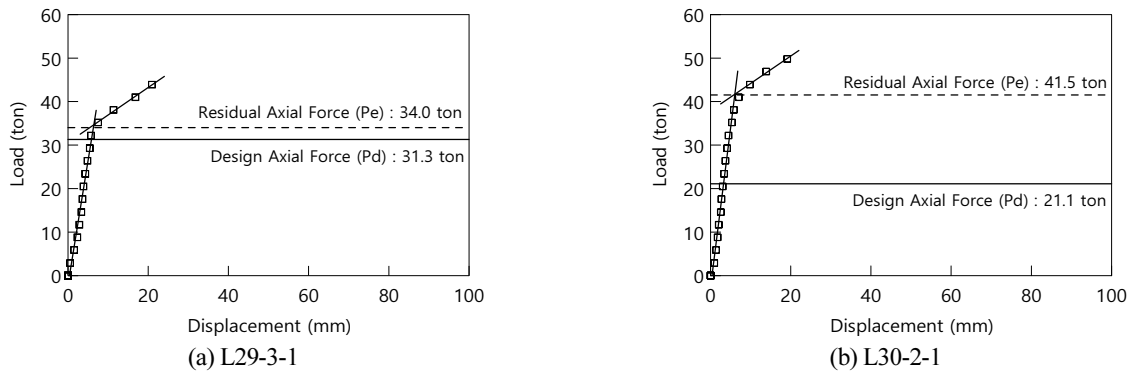


Fig. 7. Result of lift-off test at the left of step 2

## 2단 우측 리프트오프 하중-변위곡선

Fig. 8은 리프트오프 하중-변위 시험을 통하여 2단 우측의 18개 지점의 잔존긴장력을 측정하였으며 대표적으로 2곳의 결과만 제시하였다. 시험결과 전 지점에서 잔존긴장력이 설계긴장력을 초과하였으며 L32-3-1지점을 제외한 17개 지점에서 초기긴장력보다 긴장력이 증가한 것으로 나타났다. 또한 L33-2-1과 L33-2-2지점의 경우는 초기 36.8tonf의 긴장력에서 각각 64.5, 65.5tonf으로 75.3, 78.0%의 비교적 높은 증가율을 보였다. 잔존긴장력의 최대치는 L33-3-6지점의 70.5tonf, 최소치는 L32-3-1지점의 40.5tonf으로 나타났으며, 잔존율의 평균은 157.4%로 나타났다.

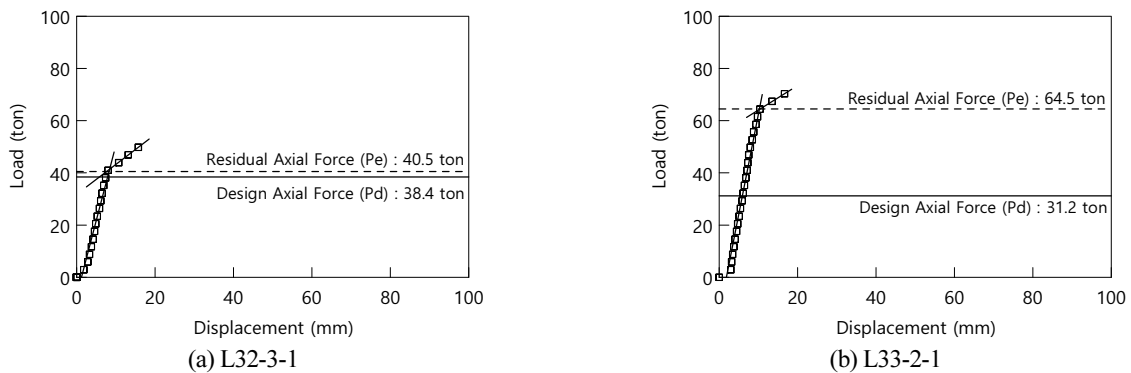


Fig. 8. Result of lift-off test at the right of step 2

## 리프트오프 시험결과 분석

### 강연선의 허용긴장력

관리대상 앵커나 주변의 하중계가 허용긴장력( $T_a$ )의 120% 초과하는 경우에는 Table 1에서 언급한바와 같이 대책을 수립하여야 한다. 강연선의 허용긴장력은 식 (2)와 같이 강연선 인장강도의 60% 및 강연선 항복하중의 75% 중 적은 값을 허용긴장력으로 한다.

$$T_a = \text{Min}(0.6 \times P_u, 0.75 \times P_y) \tag{2}$$

여기서,  $T_a$  : 강연선의 허용긴장력(tonf)

$P_u$  : 강연선의 인장강도(tonf)

$P_y$  : 강연선의 항복하중(tonf)

### 앵커의 안정상태 평가결과

Table 4는 10구역 총 36개 지점에서 수행된 앵커의 잔존긴장력에 의한 안정상태 평가결과를 나타낸 것이다. 이때 앵커가 최종한계상태에서 극한앵커력에 달하여 강연선이 파괴를 일으킬 때 발생하는 하중을 강연선항복하중( $T_{ys}$ ) 이라고 하며 안정성 분석 시에는 기준안전율 0.9를 적용하여 분석한다. 강연선 1개의 항복하중은 15.9tonf이며 1단의 경우 6연선을 사용하였기 때문에 95.4tonf의 강연선항복하중을 가지며, 안전율 0.9를 적용하면 Table 4와 같이 85.8tonf으로 산정된다. 앵커의 안정상태를 평가한 결과 Table 4에서와 같이 대부분의 앵커의 잔존긴장력은 앵커의 허용긴장력보다 작고, 설계긴장력보다 큰 안정상태에 있는 것으로 나타났으나, L30-3-2, L31-3-1~2, L33-2-1~3, L33-3-4~6, L4-7-3지점에서는 앵커의 잔존긴장력이 허용긴장력보다 크지만 허용긴장력의 1.2배를 초과하지 않기 때문에 현재까지는 앵커의 파단이나 문제가 발생하지 않아 안정성에는 문제가 되지 않는 것으로 나타났다. 그러나 지속적인 하중 증가가 발생하는 경우 앵커의 파단문제가 발생할 수 있으므로 대상 앵커나 주변의 하중계의 변화를 관찰하여 필요시 보강대책을 수립하여야 한다.

**Table 4.** Stability evaluation results of field anchors

Section	Location	No.	Strand	Designed load Pd (tonf)	Residual load Pe (tonf)	0.8xPd	Allowable load, $T_a$	1.2x $T_a$	0.9x $T_{ys}$	Evaluation
Step 1	L4-7	L4-7-1	6 lines	37.9	48.3	30.3	67.2	80.6	85.8	Stability
		L4-7-2	6 lines	37.9	58.5	30.3				Stability
		L4-7-3	6 lines	37.9	73.0	30.3				Continuous management
The left of step 2	L29-3	L29-3-1	5 lines	31.3	34.0	25.0	56.0	67.2	71.5	Stability
		L29-3-2	5 lines	31.3	44.7	25.0				Stability
		L29-3-3	5 lines	31.3	33.2	25.0				Stability
	L30-2	L30-2-1	5 lines	21.1	41.5	16.9	56.0	67.2	71.5	Stability
		L30-2-2	5 lines	21.1	55.3	16.9				Stability
		L30-2-3	5 lines	21.1	48.4	16.9				Stability

**Table 4.** Stability evaluation results of field anchors(Continue)

Section	Location	No.	Strand	Designed load Pd (tonf)	Residual load Pe (tonf)	0.8xPd	Allowable load, Ta	1.2xTa	0.9xTys	Evaluation
The left of step 2	L30-3	L30-3-1	5 lines	31.3	49.2	25.0				Stability
		L30-3-2	5 lines	31.3	64.0	25.0	56.0	67.2	71.5	Continuous management
		L30-3-3	5 lines	31.3	48.0	25.0				Stability
	L31-3	L31-3-1	6 lines	38.4	70.5	30.7				Continuous management
		L31-3-2	6 lines	38.4	71.5	30.7	67.2	80.6	85.8	Continuous management
		L31-3-3	6 lines	38.4	56.0	30.7				Stability
	L31-4	L31-4-1	6 lines	41.1	40.0	32.9				Stability
		L31-4-2	6 lines	41.1	62.0	32.9	67.2	80.6	85.8	Stability
		L31-4-3	6 lines	41.1	41.0	32.9				Stability
	L32-3	L32-3-1	6 lines	38.4	40.5	30.7				Stability
		L32-3-2	6 lines	38.4	57.5	30.7	67.2	80.6	85.8	Stability
		L32-3-3	6 lines	38.4	46.5	30.7				Stability
The right of step 2	L33-2	L33-2-1	5 lines	31.2	64.5	25.0				Continuous management
		L33-2-2	5 lines	31.2	65.5	25.0	56.0	67.2	71.5	Continuous management
		L33-2-3	5 lines	31.2	56.0	25.0				Continuous management
	L33-3	L33-3-1	6 lines	38.4	53.0	30.7				Stability
		L33-3-2	6 lines	38.4	46.5	30.7				Stability
		L33-3-3	6 lines	38.4	46.5	30.7				Stability
		L33-3-4	6 lines	38.4	72.0	30.7				Continuous management
		L33-3-5	6 lines	38.4	67.4	30.7	67.2	80.6	85.8	Continuous management
		L33-3-6	6 lines	38.4	70.5	30.7				Continuous management
		L33-3-7	6 lines	38.4	61.5	30.7				Stability
		L33-3-8	6 lines	38.4	66.5	30.7				Stability
		L33-3-9	5 lines	32.5	54.5	26.0	56.0	67.2	71.5	Stability
L34-4	L34-4-1	6 lines	37.6	53.0	30.1				Stability	
	L34-4-2	6 lines	37.6	63.0	30.1	67.2	80.6	85.8	Stability	
	L34-4-3	6 lines	37.6	47.0	30.1				Stability	

## 구간별 앵커의 안정성 분석

## 1단 안정성 분석

Table 1의 잔존긴장력과 앵커안정도 기준에서와 같이 만약 앵커의 잔존긴장력(Pe)이 강연선허복하중(Tys)의 90%에 도

달하면 D등급의 안정도를 가지며 파단의 우려가 있고 긴급대책을 실시하여야 한다. 또한 앵커의 잔존긴장력이 허용긴장력 (Ta)의 1.2배를 넘을 경우 앵커의 안정도 기준 C등급을 적용하여 위험한 상태인 것으로 판단하고 대책을 실시하여야 한다. 그러나 잔존긴장력이 설계긴장력(Pd)의 0.8배와 허용긴장력 사이 구간 범위에 머문다면 안정도는 매우 건전하다고 평가할 수 있다. 그리고 잔존긴장력이 설계긴장력의 50% 미만으로 떨어질 시 C등급으로 기능이 크게 저하되고 있는 것으로 판단하여 대책을 수립하여야 한다.

Fig. 9는 1단의 L4-7-1과 L4-7-2지점은 잔존긴장력이 설계긴장력과 허용긴장력 범위에 있어 안전하지만 L4-7-3의 경우 안전하지만 잔존긴장력이 허용긴장력(Ta)의 1.2배 허용치를 초과하였기 때문에 경과에 따라 대책 검토를 고려할 필요가 있다.

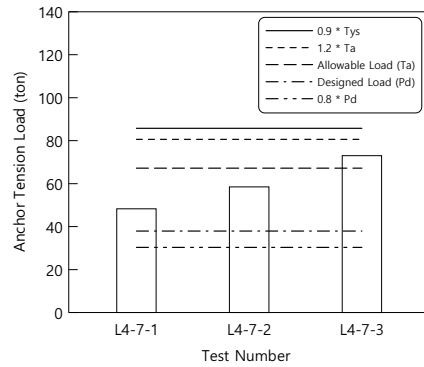


Fig. 9. Stability analysis result at the step 1

2단 좌측 안정성 분석

Fig. 10은 2단 좌측의 안정성 분석결과를 나타낸 것으로 L29-3단과 L30-2단, L31-4단, L30-3-1, L30-3-3, L31-3-3의 경우 전 지점에서 잔존긴장력이 설계긴장력의 0.8배에서 허용긴장력 사이 범위에 있어 안전한 것으로 평가되었다. 또한 L30-3-2, L31-3-1, L31-3-2의 경우는 안전한 상태로 평가되지만 잔존긴장력이 허용긴장력(Ta)의 1.2배 허용치를 초과하였기 때문에 경과에 따라 대책 검토를 고려할 필요가 있다.

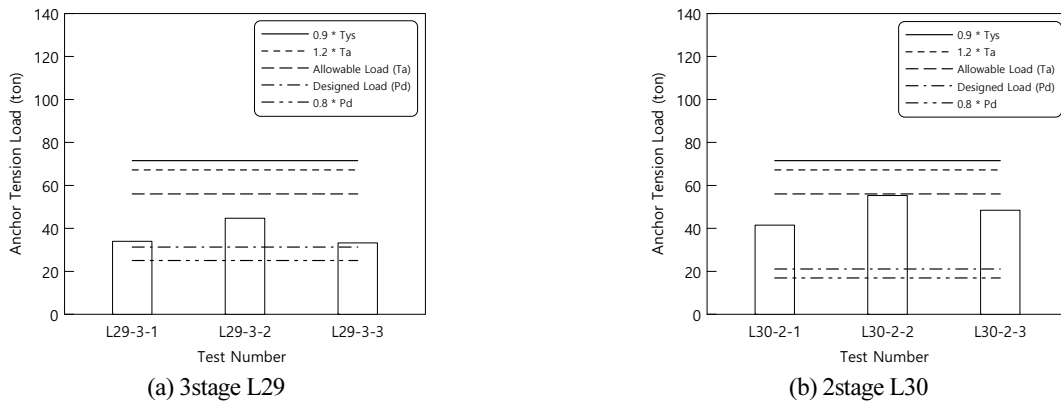


Fig. 10. Stability analysis result at the left of step 2

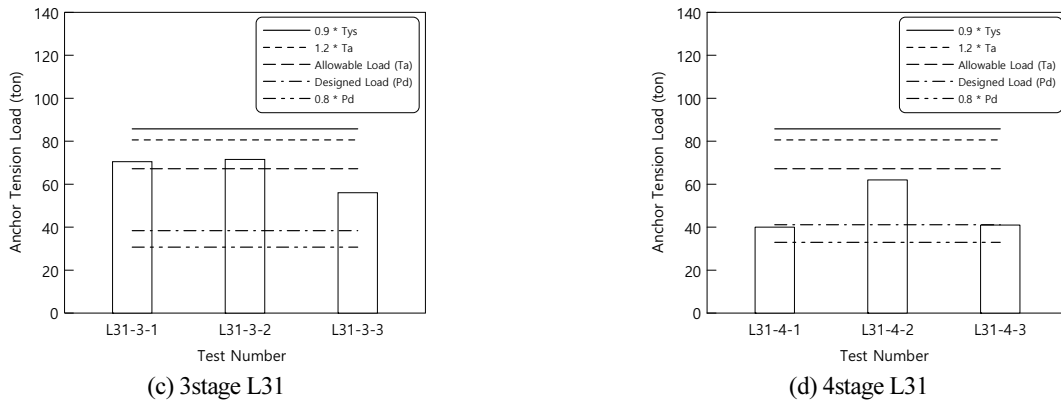


Fig. 10. Stability analysis result at the left of step 2(Continue)

2단 우측 안정성 분석

Fig. 11은 2단 우측의 안정성 분석결과를 나타낸 것으로 L32-3단과 L34-4단, L33-3-1, L33-3-2, L33-3-3, L33-3-7, L33-3-8, L33-3-9의 경우 전 지점에서 잔존긴장력이 설계긴장력과 허용긴장력 사이 범위에 있어 안전한 상태로 평가되었다. 그러나 L33-2단 전 지점과 L33-3-4, L33-3-5, L33-3-6의 경우는 안전하지만 잔존긴장력이 허용긴장력(Ta)의 1.2배 허용치를 초과하였기 때문에 경과에 따라 대책 검토를 고려할 필요가 있을 것으로 보인다.

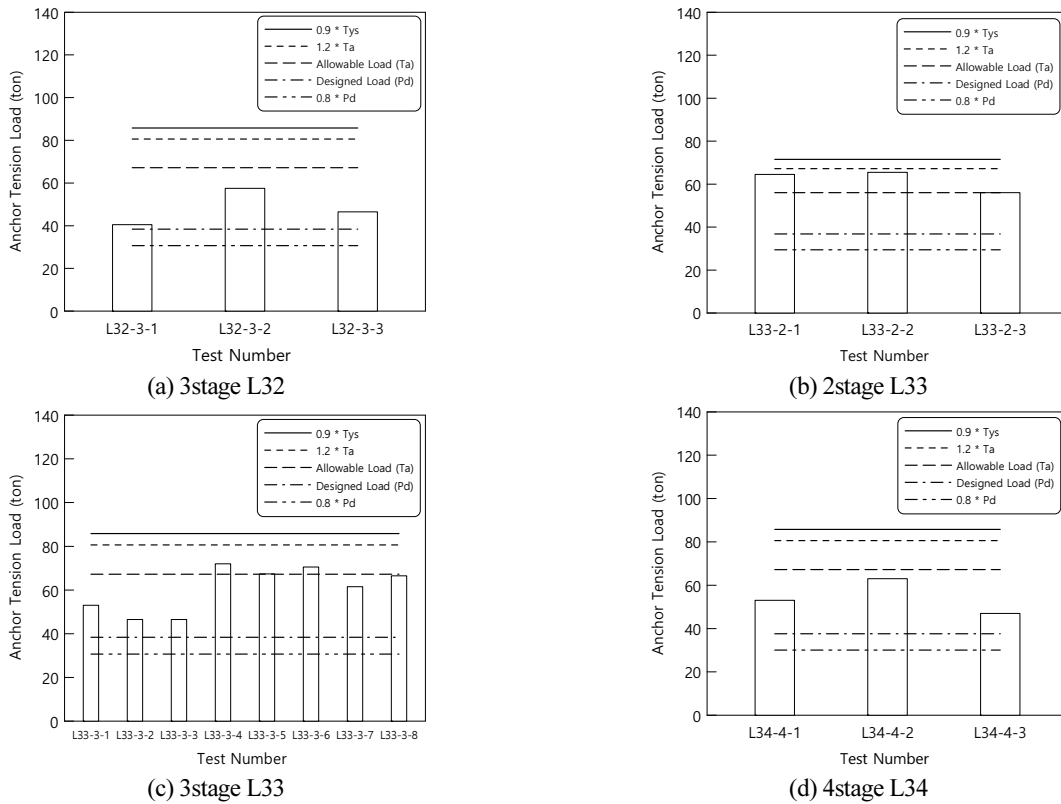


Fig. 11 Stability analysis result at the right of step 2

## 결론

본 연구는 연암, 경암층에 설치된 흙막이 구조물의 지보재로 시공된 가설앵커에 대한 리프트오프 시험을 통하여 잔존긴장력 및 잔존율을 분석하고 그에 따른 앵커의 안정성 평가를 실시하였으며 이로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 앵커의 안정도 평가는 잔존긴장력( $P_e$ )이 허용긴장력( $T_a$ )의 1.2배를 넘을 경우 앵커의 안정도 기준 C등급을 적용하여 위험한 상태로 대책을 실시하여야 하지만 잔존긴장력( $P_e$ )이 설계긴장력( $P_d$ )의 0.8배와 허용긴장력 사이 구간 범위에 머문다면 안정도는 매우 건전하다고 평가할 수 있다.
- 2) 36개 지점 중 26개 지점의 앵커의 잔존긴장력은 앵커의 허용긴장력( $P_a$ )보다 작고, 설계긴장력( $P_d$ )보다 큰 안정상태에 있는 것으로 평가되었다. 그러나 약 28%인 10개 지점에서 잔존긴장력이 허용긴장력의 1.2배보다 작아 지속적인 하중 증가로 인한 파단문제가 발생할 수 있는 상태로 평가되었다.
- 3) 현장에 설치된 대부분의 앵커는 현재는 안전율을 고려한 성능의 범위 내에 있어 보강이 필요치 않는 안정한 상태이지만 일부 불안정 상태의 앵커의 경우 주기적인 계측과 품질시험을 통해 관리 및 관찰을 수행해야 하며 해당 지점뿐 아니라 주변 지점에 대해서도 주기적인 관찰을 실시하여 안정상태를 유지시켜야 한다.

## References

- [1] Cha, A-R., Chang, B-S., You, D-W., Kim, B-H., Kim, T-H. (2009). "Proposal for the maintenance and inspection of ground anchor." KGS Spring National Conference, March 27~28, pp.1032-1041.
- [2] Jin, K-N., Sim, Y-J., Kim, C-K., Seo, H-J. (2018). Development of Advanced Proof Test Method to Verify the Performance of the Installed Earth Anchor. Land and Housing Institute (LHI) Korea Land & Housing Corporation (LH). Korea, pp. 25-129.
- [3] Korea Expressway Corporation (2016). A Survey on the Application Actual Condition and Establishment of Performance Improvement countermeasure of Permanent Anchor for Ground Reinforcement. Korea.
- [4] Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation (2009). Ground Anchor Maintenance Management Manual. Logo & CIR Introduction, Korea, p. 238.
- [5] Lee, K-L., Yoo, J-H., Park, M-J., Kim, K-H. (2019). "Anchor safety evaluation using lift-off test." Proceedings of Korean Geo-Environmental Society, pp. 61-62.
- [6] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2011). Design, Construction and Maintenance Manual of Ground Anchor. Korea.
- [7] Park, S-Y., Lee, S-R., Jung, J-H., Cho, W-J. (2020). "Evaluation of residual tensile load of field ground anchors based on long-term measurement." Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 36, No. 8, pp. 35-47.
- [8] Song, M-K., Park, S-Y., Lee, S-R., Cho, W-J. (2019). "Improvement of lift-off tests via field evaluation of residual load in ground anchor." Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 35, No. 5, pp. 43-51.
- [9] The Japanese Geotechnical Society (2000). "Standard for Design and Construction of Ground Anchors." JGS 4101-2000, Japan.
- [10] Yoon, H-H., Lee, Y-J., Oh, D-W., Kim, D-H., Jung, H-S. (2018). "Development of visual confirmation device for anchor tensile force." Journal of Korean Society for Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol. 28, No. 5, pp. 493-511.