

# 앵커의 리프트 오프 시험을 이용한 비탈면 안정성 평가

전승철, 한희수\*  
금오공과대학교 토목공학과

## Slope Stability Evaluation Using Anchor Lift-Off Test

Seung-Chul Jeon, Heui-Soo Han\*  
Department of Civil Engineering, Kumoh National Institute of Technology

**요약** 본 논문은 리프트 오프 시험을 통해 구해진 앵커의 잔존 긴장력의 관리기준 설정에 관한 것이다. 앵커의 잔존긴장력에 관한 관리기준은 경험에 의한 관리기준을 이용하였다. 관리기준으로는 비탈면 안전율과 연동된 관리기준 및 앵커의 설계축력에 따른 관리기준으로 구분하여 설정하였다. 설계축력에 따른 안정성 평가를 위한 관리기준은 1차 관리기준치를 설계축력의 90%로 하였으며, 2차 관리기준치는 설계축력의 80%로 하여 관리기준을 정하였다. 분석결과, 43tf 설계축력 그룹 및 39tf 설계축력 그룹의 앵커 잔존력 모두 위험영역에 존재하였다. 비탈면 안전율과 연동된 관리분석의 경우, 앵커의 잔존력을 20%단위로 분리하여 1차 관리를 한 후 비탈면의 건기 시 안전율 1.5를 기준으로 하여, 설계축력을 0.67(1/1.5)을 곱한 2차 기준을 정하여 주의영역으로 구분하였다. 분석결과, 대부분의 앵커 잔존력이 위험영역에 존재하였다. 현재의 잔존하중을 고려하여 비탈면안정해석을 실시한 결과 우기에 안전율 1.04~1.06으로 한계상태에 근접되었다. 현재 시공되어있는 앵커는 잔존하중은 설계인장력 대비 50% 이하로 작용하고 있으므로 재인장이 불가피할 것으로 판단된다. 비탈면에 설치된 앵커의 경우, 앵커 자체의 잔존 긴장력만 안정성 평가할 것이 아니라 비탈면의 안전율과 연동하여 평가하면 더욱 효율적인 비탈면 유지관리가 될 것이다.

**Abstract** This paper is related to the management standard setting of the residual tension of an anchor obtained from a lift-off test. The management standard linked to the slope safety factor and the design axial force of the anchor were usually divided. For stability evaluation according to the design axial force, the primary control standard was set to 90% of the design axial force, and the secondary control standard was set to 80% of the design force. In the case of management analysis linked to the slope safety factor, the residual strength of the anchor is divided into 20% units for primary management. The design axial force is then multiplied by 0.67 (1/1.5) based on a safety factor of 1.5 during the dry season of the slope. As a result of the slope stability analysis considering the current residual load, a limit state was approached with a safety factor of 1.04 to 1.06 in the rainy season. In the case of an anchor installed on a slope, if it is evaluated in conjunction with the safety factor of the slope, rather than providing only the residual tension of the anchor it also leads to more efficient maintenance of the slope.

**Keywords** : Ground Anchor, Lift Off Test, Slope, Management Standard, Residual Load

\*Corresponding Author : Heui-Soo Han(KIT)

email: hanhs@kumoh.ac.kr

Received September 2, 2021

Accepted November 5, 2021

Revised October 6, 2021

Published November 30, 2021

## 1. 서론

토목구조물 계측관리의 경우 미리 결정된 구조물별 관리기준치를 계측결과와 비교·분석하고 있다. 그러나 비탈면에 설치된 그라운드 앵커의 잔존 긴장력 측정을 위한 앵커의 리프트 오프 시험결과자료와 비교할 관리기준치가 아직 명확하지 않다[1]. 본 논문은 리프트 오프 시험을 통해 구해진 앵커의 잔존 긴장력의 관리기준치 설정에 관한 것이다. 리프트 오프시험은 시공 완료된 앵커 또는 유지관리 단계에서 앵커에 가해지고 있는 긴장력을 확인하기 위해 시행하는 시험이다. 본 논문에 사용된 하중-탄성변위곡선은 앵커의 하중잔존력 그래프의 특성을 변곡점을 이용하여 분석하는 것으로, 앵커 잔존 긴장력은 앵커의 탄성영역하중과 책의 리프트 오프하중이 같은 지점으로 앵커의 항복점을 의미한다.

관리기준은 비탈면안전율과 연동된 관리기준 및 앵커의 설계축력에 따른 관리기준으로 구분하여 설정하였다.

일반 구조물은 재료가 균질하여 파괴면과 응력을 확실히 구하기가 쉬우나, 그라운드 앵커가 설치된 앵커는 재료가 불균질하여 확실한 지반의 응력을 계산하기 곤란하다[2]. 그러나 비탈면의 안전율은 대부분의 시방서에 건기 시,  $F_s(\text{Safety Factor}) = 1.5$ , 우기 시  $F_s = 1.2$ , 지진 시  $F_s = 1.1$  이므로 이를 이용하여 그라운드 앵커의 관리기준치를 만들 수 있다. 즉, 비탈면의 안전율과 연동된 앵커 잔존 응력의 안정성을 분석할 수 있다[3].

또한 앵커 자체의 긴장력 변화만을 고려하여 안정성을 해석할 수도 있다. 예를 들어 관리기준치를 “그라운드 앵커잔존력/안전율”로 구분하여, 3단계의 경보단계를 만들 수 있다. 이는 설계 기준값을 20% 단위로 나누어 관리기준을 정하는 방법이다. 현재 한국도로공사에서는 앵커의 설계 하중력에 대한 리프트 오프 하중값을 이 기준으로 안정성 해석을 하고 있다[4].

본 연구에서는 리프트 오프시험에서 도출할 수 있는 하중-탄성변위곡선의 앵커 하중잔존력 그래프의 결과를 이용하여, 기존의 앵커 설계축력에 따른 관리기준의 적정성을 판단하고자 하였다. 이를 위해, 비탈면 안전율과 연동된 앵커잔존력 관리방법을 추가로 도입하여 두 방법에 따른 앵커의 안정성 차이를 분석하였다.

본 연구를 위해 경남 00현장 비탈면 앵커설치구역에 대한 리프트 오프시험을 실시하였다. 그 후 앵커 설계축력에 따른 관리기준 및 비탈면 안전율과 연동된 앵커 잔존력 관리기준을 적용하여 앵커의 안정성을 각각 판단하였다. 나아가 앵커의 잔존 긴장력에 따른 비탈면 안정

석을 추가하여 비탈면의 안정성을 해석하였다.

## 2. 앵커잔존력 관리기준

리프트 오프 시험은 앵커의 긴장력을 확인하기 위해 실시하는 시험으로, 앵커 하중계 자료와 같이 앵커 긴장력의 유지관리를 위한 자료가 된다. 한국 도로공사의 앵커 잔존긴장력 측정 및 관리를 위한 잠정기준(리프트 오프 Test, 리프트 오프 시험)에 따르면, 리프트 오프 시험에서 측정된 잔존긴장력의 평균이 설계긴장력과 비교해서 10% 이상 감소 시 재긴장하며, 10% 이상 증가할 경우는 비탈면 안정성 정밀점검을 시행하도록 하고 있다[4]. 시험 위치는 앵커보강 설계 시 대표 단면에서 시험하며, 설계서가 확인되지 않은 경우는 높이가 제일 높은 단면에서 시험해야 한다[5].

리프트 오프 시험의 하중 잔존력은, 하중-앵커두부 변위량의 관계를 작도하여 구한 값으로 정한다. 책으로 앵커헤드나 인장재를 인장했을 때 앵커헤드가 지압판에서 떨어지든지, 정착쐐기가 앵커헤드에서 빠지기 시작했을 때의 하중을 리프트 오프하중이라 한다. 이때 하중과 인장재 신장과의 관계는 하중이 작을 때는 구배가 급한 곡선이 되고 하중이 도입긴장력보다 커지면 앵커 자유길이 부 인장재의 탄성적인 하중-변위곡선의 구배와 거의 같아진다. 따라서 리프트 오프시험에 대한 하중-변위량곡선의 변곡점(구배변화점)은 책의 하중과 앵커의 긴장력이 균형을 이룬 점으로 일반적으로 이때의 하중을 리프트 오프하중으로 한다[5,6]. 앵커의 성능은 리프트 오프 하중과 도입긴장력의 대소를 비교하여 판단한다[6].

### 2.1 관리기준에 따른 해석

계측 관리 기준은 지질 조건, 단면의 크기 및 형상, 굴착 공법, 주변 구조물 및 환경조건 등에 따라 각각 달라지므로 일정한 기준을 적용하는 것은 곤란하다. 그러나 각종 이론식에 의한 기준치, 유사 지질 및 단면에서의 계측결과를 토대로 한 경험적 기준치에 의하여 정하게 된다.

#### 2.1.1 앵커 설계축력 기준 관리

벽체의 경험적 관리치의 경우 1차 관리기준치를 부재의 허용응력일 경우와 벽체의 변형 및 배면 토압 등에 대하여 80~100%로 정하여 관리하도록 하였으며, 2차 관리기준치는 허용응력과 설계시의 변위량으로 규정한다.

이에 대한 개략적인 1,2차 관리기준치는 Table 1과 같다[5].

2.1.2 비탈면 안전율과 연동된 관리

앵커 설계축력을 기준한 관리기준은 비탈면의 안정성을 고려하지 않은 앵커 자체만의 잔존 긴장력을 고려한다. 이와 달리, 비탈면의 안정성과 관련된 앵커의 관리기준을 고려할 수 있다. 즉, 이 방법은 구조물의 안전율 개념을 도입한 것으로 사전에 구조물 안전율을 설정하고, 설계시에 사용한 보강재의 강도와 계측결과치의 비와 안전율을 비교하여 공사의 안전성을 예측하는 방법이다. Table 2는 안전율을 이용한 흠막이 공사의 관리방법을 나타낸 것이다. Table 2에 언급된 관리기준은 설계값에 대한 1차 관리기준치를 80~100%로 정하여 관리를 하도록 하였으며, 2차 관리기준치는 허용응력과 설계 시의

변위량으로 규정되고 있다[5,7-9].

앵커는 비탈면에 설치되므로 상기의 개념을 비탈면의 안전율과 연동하여 사용할 수 있다. 비탈면 기준안전율은 안정해석방법과 입력변수가 내포하는 불확실성을 감안하여 경제성을 확보하면서 보수적인 설계를 유도하고자 설정하는 값으로, Table 3과 같다[4,7-9]. 상기에 언급된 두 종류의 관리기준을 이용하여, 1차 관리기준치를 앵커 잔존긴장력의 80~100%로 정하여 관리 하며, 2차 관리기준치는 비탈면 안전율 계산 시 한계평형상태로 규정할 수 있다. 즉, 본 연구에서는 앵커의 잔존력을 20% 단위로 분리하여 1차 관리를 한 후 비탈면의 건기 시 안전율 1.5를 기준으로 하여, 설계축력을 0.67(1/1.5)을 곱한 2차 기준을 정하였다.

Table 1. Table Examples of 1st and 2nd management standards [4]

Measurement category	Comparison target	Management standard	
		Primary value	Secondary value
① Side pressure, water pressure	Design side pressure distribution (Surface~each stage, excavation depth)	100%	-
② Wall stress	I) Allowable tensile stress of rebar II) Allowable bending moment III) Allowable compressive stress of concrete	80% 80% 80%	100%
③ Wall deformation	Calculation at the time of planning	100%	-

Table 2. An example of standards for safe construction management of earth retaining construction [5]

Measurement category	Judgment Criteria	Table of judgment			
		Management standard	danger	caution	safety
Side pressure (earth pressure, water pressure)	Earth pressure distribution used in design (The depth of insertion of each step in the surface)	F1= Earth pressure used in design / Side pressure by actual measurement(prediction)	F1<0.8	0.8≤F1≤1.2	F1>1.2
Wall deformation	Estimate at design time	F2 = Estimated at design time / actual amount of deformation(prediction)	F2<0.8	0.8≤F2≤1.2	F2>1.2
Stress in retaining wall	Allowable tensile stress of rebar	F3= Allowable tensile stress of rebar/ Actual tensile stress	F3<0.8	0.8≤F3≤1.0	F3>1.2
	Allowable bending moment of retaining wall	F4 = Allowable tensile stress of rebar / Bending moment by actual measurement	F4<0.8	0.8≤F4≤1.0	F4>1.2
Brace axial force	Allowable axial force of the member	F5= Allowable axial force of the member/ Actual axial force	F5<0.7	0.7≤F5≤1.2	F5>1.2

Table 3. Standard safety factor applied in slope stability analysis [4,7~9]

Classification	Standard safety factor	Reference
Dry season	$F_s > 1.5$	• When interpreted as having no groundwater (Applying the measured groundwater level during drilling)
Rainy season	$F_s > 1.2$ or $F_s > 1.3$	• For the rock slope, the groundwater is placed up to 1/2 the depth of the tensile crack and analysis is performed. • For soil layers and weathered rocks, the groundwater level is placed at the location where the groundwater level rise is expected during the rainy season and analysis is performed in consideration of the groundwater level measured during drilling. ( $F_s=1.2$ applied) • In case of conducting an analysis considering the infiltration of rainfall (Apply $F_s=1.3$ ) • One of the two conditions must be satisfied
Earthquake	$F_s > 1.1$	•The seismic inertia force acts on the center of the fractured soil in the horizontal direction. •The groundwater level is the level of the actual measurement or infiltration analysis.
Short-term	$F_s > 1.0$	•Stability of short-term slopes of less than one year

### 3. 앵커시공현황

00현장의 앵커는 총 600공이 시공되었으며 앵커 시공 각도는 20°로 계획되었으나 비탈면의 경사 각도가 다양하게 변화하여 앵커 스트랜드의 시공 각도는 앵커 플레이트와 직각을 이루지 못하고 대부분 경사지게 시공된 것으로 파악되었다.

또한, 격자블럭의 시공면이 불규칙하여 벽돌, 스티로폼 등이 격자블럭 하부에 받침되어 있는 것이 관찰되기도 하였다.

00현장의 앵커 잔존하중을 확인하기 위하여 리프트 오프 시험을 실시하였다. 시험 위치는 붕괴가 발생한 주

변의 앵커, 시공된 앵커가 불안정해 보이는 앵커, 기타 전체앵커를 대표하여 평가할 수 있도록 적절하게 분산하여 Fig. 1과 같이 10개소에서 리프트 오프 시험 위치를 결정 후 실시하였으며, 리프트 오프시험 위치별 앵커 사양 및 설계축력은 Table 4와 같다[6].

00현장 비탈면의 리프트 오프 시험 중, 8단 34의 앵커는 설계하중에 도달 전에 변위가 과다하게 발생하는 것으로 나타났다. 시험 앵커 중 일부 앵커는 앵커의 상태를 평가하기 위하여 설계축력 이상의 하중을 가하여 하중-변위의 양상을 측정하였다.

리프트 오프시험 후 일부 앵커는 설계하중까지 재하하였으며(확인시험 개념), 리프트 오프시험 및 확인시험에 따른 하중-변위 곡선은 Fig. 2와 같다[6].

Fig. 2의 하중-변위곡선으로 앵커의 잔존 긴장력을 구하여 본 논문의 비탈면 및 앵커의 안정성 해석에 사용하였다. 하중 탄성변위곡선은 앵커의 하중잔존력 그래프의 특성을 분석하기 위한 것으로, 앵커 잔존 긴장력은 앵커의 탄성영역하중과 잭의 리프트 오프하중이 같은 지점으로 앵커의 항복점을 의미한다. 리프트 오프 시험결과는 Table 5에 요약 정리하였다.

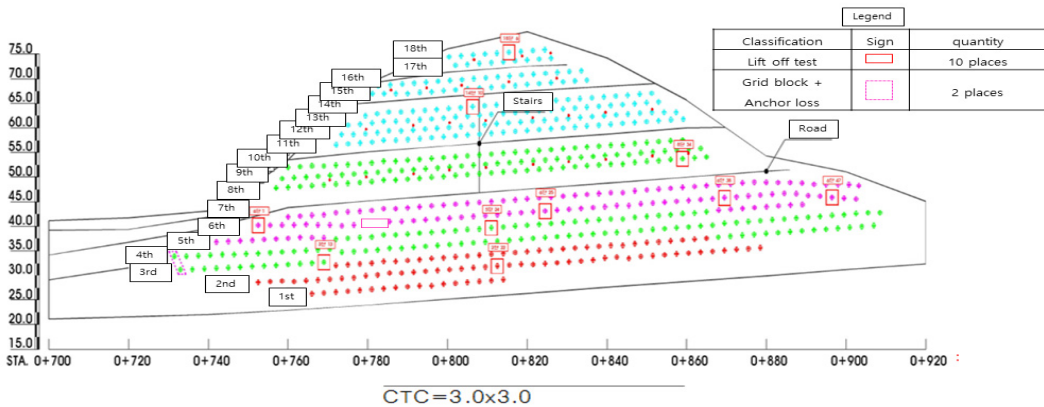
리프트 오프 시험결과는 Table 5에 보인바와 같이 잔존하중은 최소 12.8ton, 최대 31.5ton, 평균 23ton으로 나타났다. 앵커 잔존하중력은 43tf 앵커인 경우 29.77~70.9 %의 잔존 하중력을 가졌으며, 29tf 앵커의 경우 54.36~80.96%의 잔존 하중력을 가져 앵커하중의 손실량이 상당함을 알 수 있다.

Table 4. Anchor specifications and design axial force for each lift-off test location

Classification	Specification (m)			Design axial force (ton)
	Bond length	Free length	Spare length	
2nd floor 22	4.0	9.0	0.55	43.00
3rd floor 13	4.0	9.0	0.55	43.00
5th floor 24	4.0	10.0	0.55	43.00
6th floor 1	4.0	14.0	0.55	43.00
6th floor 25	4.0	14.0	0.55	43.00
6th floor 38	4.0	14.0	0.55	39.00
6th floor 47	4.0	14.0	0.55	39.00
8th floor 34	4.0	10.0	0.55	39.00
14th floor 10	4.0	12.0	0.55	43.00
18th floor 6	4.0	12.0	0.55	43.00



(a) Anchor construction view



(b) Anchor test location

Fig. 1. Anchor test slope location [6]

### 4. 앵커관리기준

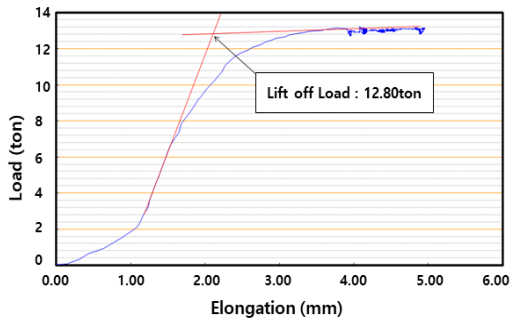
Table 5. Lift off test result

Classification	Design axial force (ton)	Residual load (ton)	Load residual rate (%)	Maximum test load
2nd floor 22	43.00	1st 12.80	29.77	13.00tf
3rd floor 13	43.00	1st 15.60	36.28	18.50tf
5th floor 24	43.00	1st 19.80	46.05	23.00tf
		2nd -	-	44.30tf
6th floor 1	43.00	1st 27.50	63.95	30.00tf
6th floor 25	43.00	1st 27.80	64.65	32.00tf
		2nd -	-	44.30tf
6th floor 38	39.00	1st 31.50	80.77	34.50tf
		2nd -	-	40.20tf
6th floor 47	39.00	1st 21.80	55.90	24.00tf
8th floor 34	39.00	1st 21.20	54.36	24.00tf
		2nd -	-	34.60tf
14th floor 10	43.00	1st 13.00	30.23	15.00tf
		2nd -	-	40.20tf
18th floor 6	43.00	1st 30.50	70.93	33.00tf
		2nd -	-	44.30tf

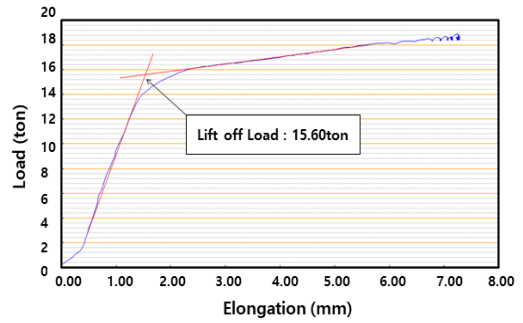
리프트 오프 시험결과와 하중-변위 곡선을 분석하여 앵커의 성능을 분석하였다. 또한, 설계축력 기준 관리 및 비탈면 안전율과 연동된 관리분석을 행하였다.

#### 4.1 앵커 설계축력 기준 관리

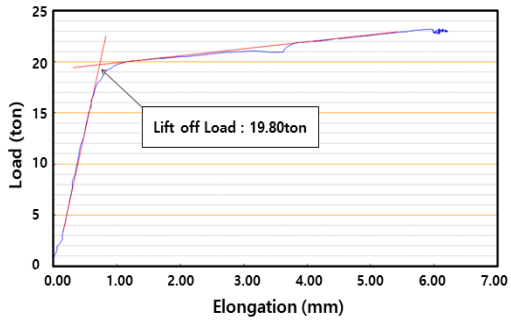
Table 5의 리프트 오프 시험결과에 대하여 기존의 앵커 축력만을 고려한 관리기준과 본 논문에서 제안된, 비탈면 안전율과 연동된 관리기준을 이용하여 앵커 설계축력에 따른 안정성 평가를 하였다. 기존 관리기준은 설계축력을 기준하여 1차 관리기준치를 설계축력의 90% 하였으며, 2차 관리기준치는 설계 축력의 80%로 하여 관리기준을 정하였다.



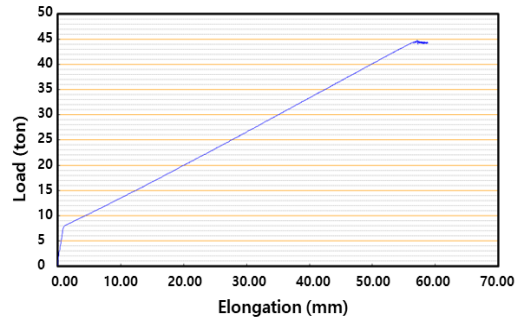
(a) 2nd floor 22 Lift off test result



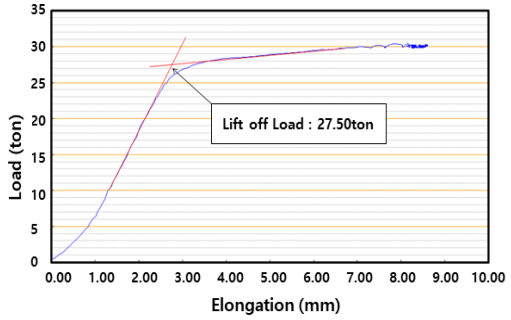
(b) 3rd floor 13 Lift off test result



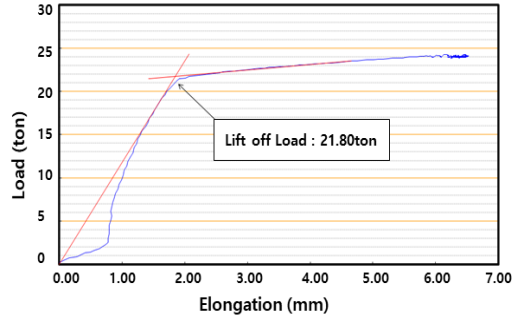
(c) 5th floor 24 Lift off test result



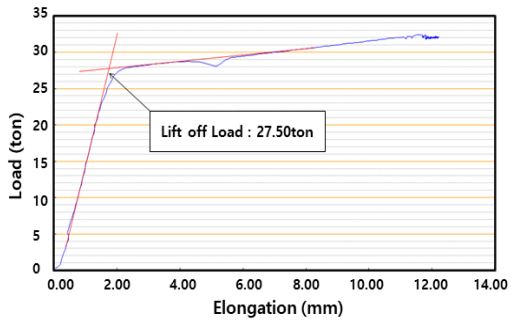
(d) 5th floor 24 test result under design load



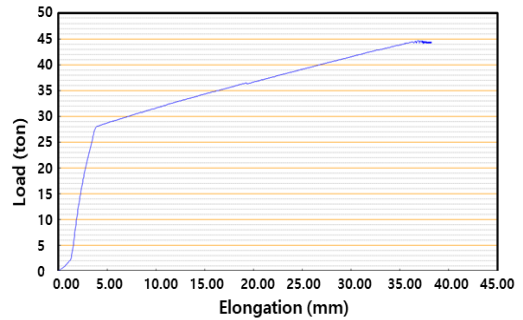
(e) 6th floor 1 Lift off test result



(f) 6th floor 38 Lift off test result

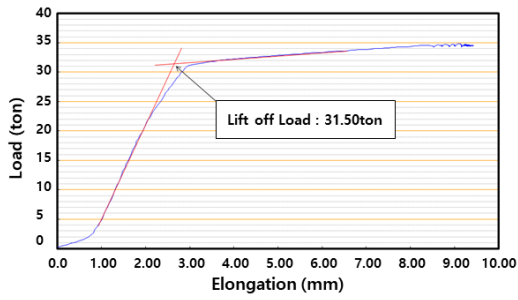


(g) 6th floor 25 Lift off test result

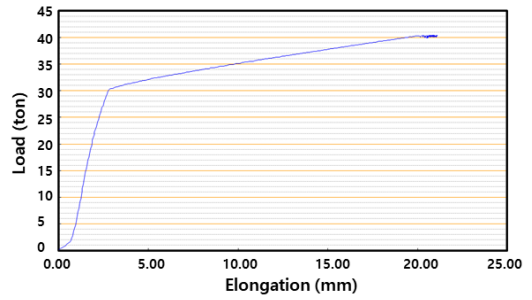


(h) 6th floor 25 test result under design load

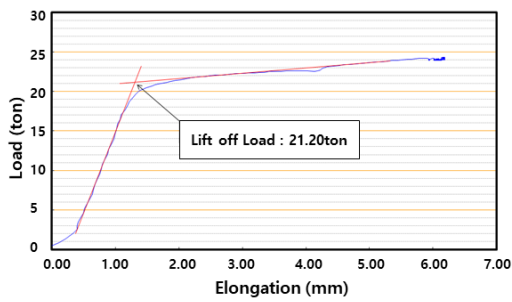
Fig. 2. Lift off test result (continue)



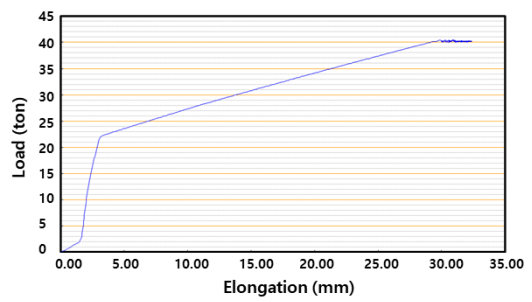
(i) 6th floor 38 Lift off test result



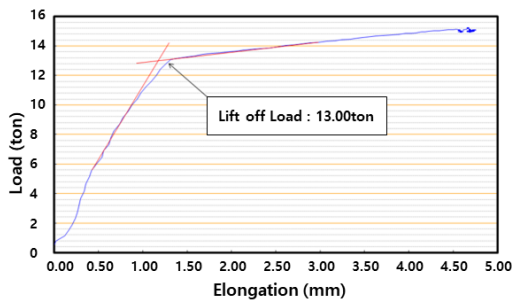
(j) 6th floor 38 test result under design load



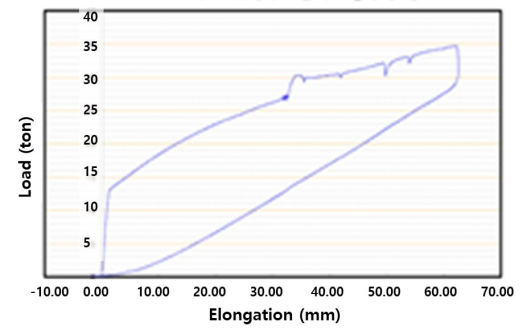
(k) 8th floor 34 Lift off test result



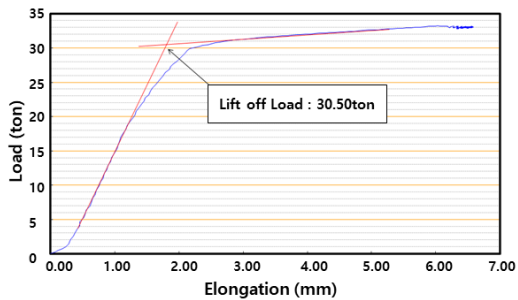
(l) 8th floor 34 test result under design load



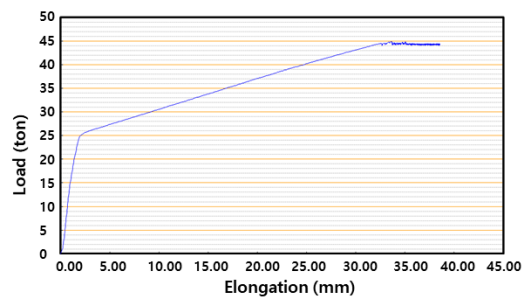
(m) 14th floor 10 Lift off test result



(n) 14th floor 10 test result under design load



(o) 18th floor 6 Lift off test result



(p) 18th floor 6 test result under design load

Fig. 2. Lift off test result (end) [6]

Table 5에 보인 바와 같이 설계축력은 43tf와 39tf의 2가지로 구분되며, 43tf의 설계축력에 관한 안정성 평가는 Fig. 3에 나타내었다. 43tf 설계축력 그룹(2단 22, 3단 13, 5단 24, 6단 1, 6단 25, 14단 10 및 18단 6)에 해당되는 7개의 앵커 모두 위험영역에 존재하여 앵커의 재긴장이 필요한 상태임을 알 수 있다.

또한, 39tf의 설계축력에 관한 안정성 평가는 Fig. 4에 나타내었다. 39tf 설계축력 그룹(6단 38, 6단 47 및 8단 34)에 해당되는 3개의 앵커중 6단 38 위치에 해당되는 앵커는 주의영역에 위치하지만, 나머지 두 개의 앵커는 위험영역에 존재하여 앵커의 재긴장이 필요한 상태임을 알 수 있다.

#### 4.2 비탈면 안전율과 연동된 앵커 관리

이 방법은 두 종류의 관리기준을 혼합 이용하는 것으로, 1차 관리기준치를 기존 방법대로 20% 증감영역 구간을 안정영역으로 구분하며, 2차 관리기준치는 비탈면 안전율 계산 시 한계평형상태로 규정하였다. 즉, 앵커의 잔존력을 20%단위로 분리하여 1차 관리를 한 후 비탈면의 건기 시 안전율 1.5를 기준으로 하여, 설계축력을  $0.67(=1/1.5)$ 을 곱한 2차 기준을 정하여 주의영역으로 구분하였다.

비탈면 안전율과 연동된 관리분석의, 43tf의 설계축력에 관한 안정성 평가는 Fig. 5에 나타내었다. 43tf 설계축력 그룹에 해당되는 7개의 앵커 중 18단 6의 위치에 해당되는 앵커는 주의영역에 속해있다. 나머지 6개의 앵커는 잔존긴장력이 모두 위험영역에 속해있어 앵커의 재긴장이 필요함을 알 수 있다.

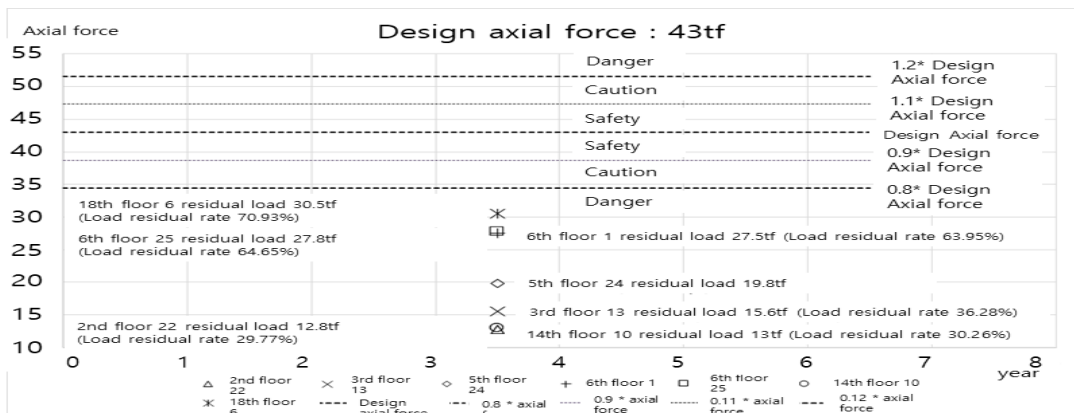


Fig. 3. Stability evaluation for design axial force of 43tf (Anchor)

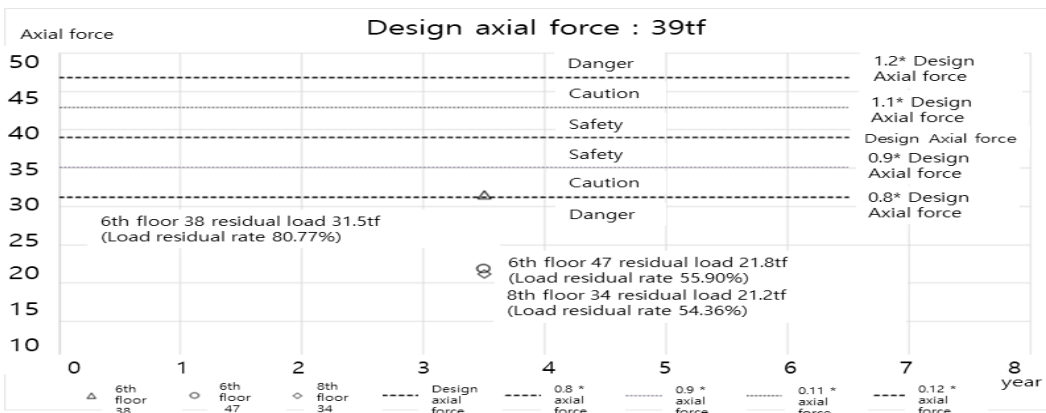


Fig. 4. Stability evaluation for design axial force of 39tf (Anchor)



또한, 39tf의 비탈면 안전율과 연동된 설계축력에 관한 안정성 평가는 Fig. 6에 나타내었다. 39tf 설계축력 그룹에 해당되는 3개의 앵커중 6단 38 위치에 해당되는 앵커는 안정영역에 위치하지만, 나머지 두 개의 앵커는 위험영역에 존재하여 앵커의 재긴장이 필요한 상태임을 알 수 있다. Fig. 5~6에 보인바와 같이 앵커 잔존 긴장력만을 기준으로 하는 경우(Fig. 3~4 참조) 보다, 비탈면의 안전율을 연동하여 앵커 잔존력을 관리하는 경우가 상대적으로 약간 높은 안정성을 보여준다. 그러나 분석방법을 달리한 이 방법에서도 현재 앵커 대부분이 불안정한 상태임을 알 수 있었다.

그러므로 추가로 상세한 비탈면 안정성 평가를 통하여, 앵커의 재인장 및 비탈면 재보강방법 등을 분석할 필요가 있다.

### 4.3 앵커 잔존하중에 따른 영향분석

리프트 오프 시험결과 앵커의 평균 잔존하중은 약 23.7ton인 것으로 나타났다. 앵커 시공자료가 확인 불가하여 설계대로 시공되었다는 가정하에 잔존하중에 따른 현재의 비탈면에 대한 안정성검토를 실시하여 영향을 분석하였다. 설계당시 안정성 검토단면인 인접한 A단면과 B단면은 Fig. 7과 같다.

Table 6은 해당 단면들의 토사 및 기반암(암석)설계 정수를, Table 7은 해당 비탈면들의 불연속면의 강도정수를 보여준다[6].

앵커의 평균잔존하중은 247kN이나 앵커의 시공각도를 고려하여 보정을 실시하면 평균 잔존하중은 236.6kN이다(Table 8 참조)[6]. 이에 따른 보정된 잔존하중을 고려하여 비탈면 해석을 실시하였다.

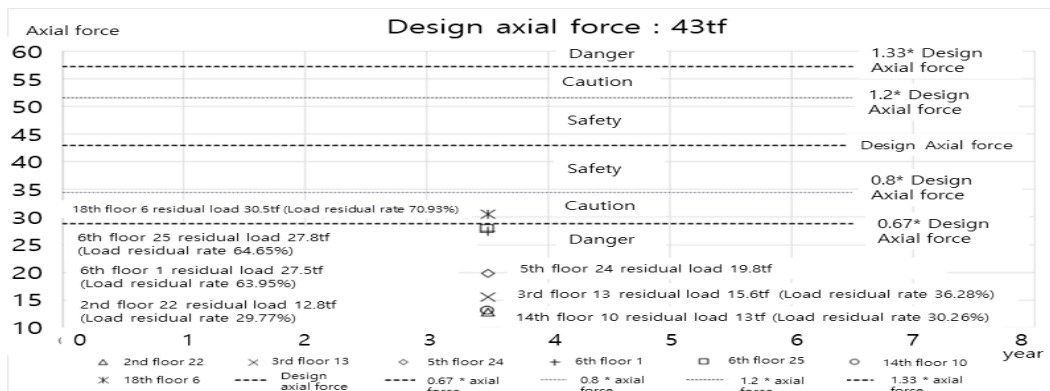


Fig. 5. Stability evaluation for design axial force of 43tf related to slope stability

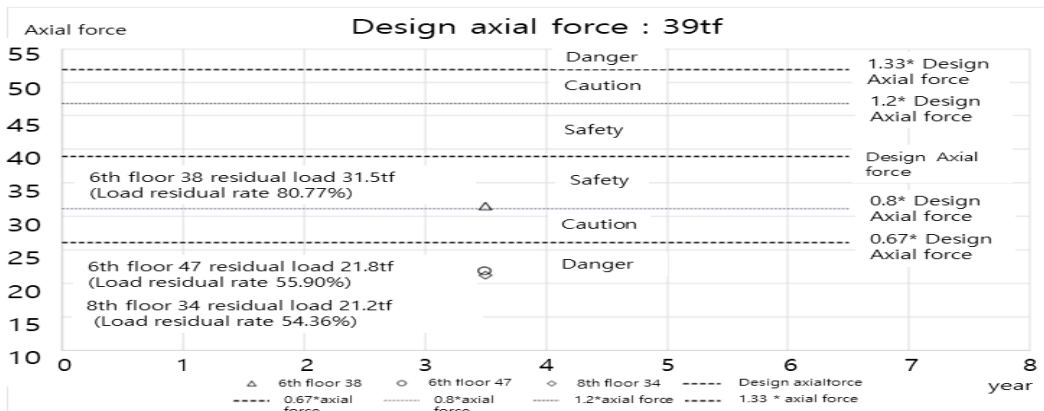


Fig. 6. Stability evaluation for design axial force of 39tf related to slope stability

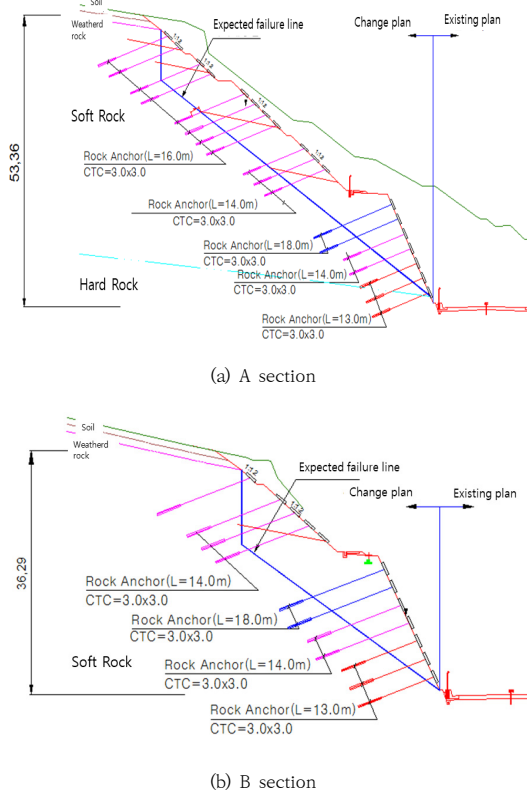


Fig. 7. Slope review section

Table 6. Earth and bedrock (rock) design parameters

Classification	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesion (kPa)	Internal friction angle ( $\phi$ )	Strain coefficient (MPa)	Poisson's ratio ( $\nu$ )
Buried layer/colluvium	20.0	5.0	35.0	15.0	0.35
Weathered soil	19.0	20.0	30.0	50.0	0.35
Weathered rock	20.0	30.0	33.0	300	0.31
Soft rock	24.0	200	35.0	1,500	0.26
Hard rock	26.0	500	40.0	14,000	0.24

Table 7. Intensity constant of discontinuous surface

Classification	Rock type	Joint surface shear strength		Note
		Cohesion (kPa)	Internal friction angle ( $\phi$ )	
Cutting part	Andesite	15.0	30.0	

Table 8. Corrected residual load according to installation and construction angle

Classification	Residual load (kN)	Installation angle ( $^\circ$ )	Construction angle ( $^\circ$ )	Corrected residual load (kN)
1 2nd floor 22	130	86	(-)36	105.2
2 3rd floor 13	185	74	(-)24	169.0
3 5th floor 24	230	46	4	229.4
4 6th floor 1	300	60	(-)10	295.4
5 6th floor 25	320	62	(-)12	313.0
6 6th floor 38	345	70	(-)20	324.2
7 6th floor 47	240	62	(-)12	234.8
8 8th floor 34	240	34	16	230.7
9 14th floor 10	150	38	12	146.7
10 18th floor 6	330	34	16	317.2
Range	150~330	34~86	(-)36~16	105.2~324.2
Average	247	56.6	-6.6	236.6

Janbu의 간편법을 이용한 앵커 잔존 하중에 따른 우기 및 건기 조건별 해석결과는 Table 9와 같다. Fig. 8~9는 우기 시 각 단면을 해석한 결과를 보여준다. A 단면의 경우 우기 시 안전율이 1.06, 건기 시 안전율이 1.24이다. B 단면의 경우 우기 시 안전율이 1.04, 건기 시 안전율이 1.26으로 나타났다. 우기 시 현재의 잔존하중을 고려하는 경우 비탈면 안전율은 거의 한계상태인 것으로 판단된다.

Table 9. Slope analysis result considering residual load

Classification	Section	Anchor design	Safety factor	
			Dry season ( $>1.5$ )	Rainy season ( $>1.2$ )
Considering the current residual load	A	3m×3m (18th floor)	1.24	1.06
	B	3m×3m (11th floor)	1.26	1.04

## 5. 결론

본 연구에서는 리프트 오프 시험에서 도출할 수 있는 앵커 하중 잔존력 그래프의 결과를 이용하여 앵커의 안정성을 분석하였다.

리프트 오프 시험에 의한 하중-탄성변위곡선으로 앵커 잔존 하중력을 구하였다. 앵커 잔존긴장력에 관한 관리기준은 1) 앵커 설계축력을 기준으로 하는 방법과 2) 앵커가 설치된 비탈면 안전율과 연동된 앵커 잔존력 관리방법으로 구분하였다. 이를 위해, 리프트 오프 시험 후 일부 앵커에서 설계하중까지 재하하는 확인시험을 실시하였다.

### 5.1 하중-탄성변위곡선에 따른 앵커 상태

- 1) 확인시험 시 하중-변위곡선과 앵커의 탄성곡선을 분석하여 앵커의 성능을 분석하였으며 앵커 성능

분석은 이론탄성곡선, 상한선, 하한선을 분석하고 시험결과를 분석하였다.

- 2) 설계하중까지 하중을 가한 후 하중-변위를 분석한 결과 시험한 대부분의 앵커는 탄성 범위내에 있으나 14단 10앵커는 인발이 되었다. 대부분의 앵커가 탄성거동을 하므로 향후 앵커의 재인장이 가능할 것으로 판단된다.

### 5.2 앵커 설계축력 기준 관리

- 1) 설계축력에 따른 안정성 평가 방법은 설계축력을 기준하여 1차 관리기준치를 설계축력의 90%로 하였으며, 2차 관리기준치는 설계축력의 80%로 하여 관리기준을 정하였다.
- 2) 43tf 설계축력 그룹에 해당하는 7개의 앵커 모두 위험영역에 존재하였다.
- 3) 39tf 설계축력 그룹에 해당하는 3개의 앵커중 6단

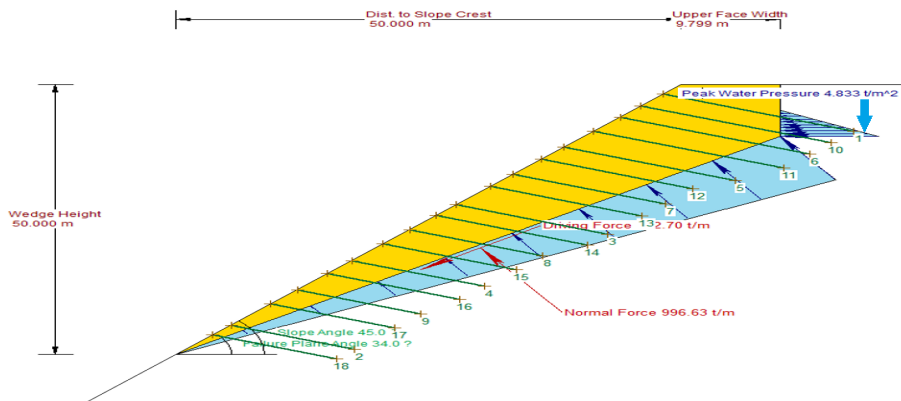


Fig. 8. Section A when considering residual load (rainy season  $F_s:1.06$ )

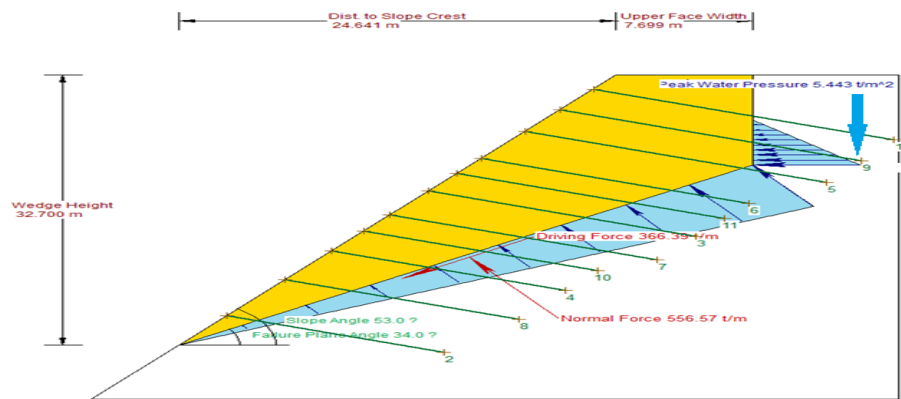


Fig. 9. Section B when considering residual load (rainy season  $F_s:1.06$ )

38 위치의 앵커는 주의영역에 위치하지만, 나머지 두 개의 앵커는 위험영역에 존재하였다.

- 4) 이 방법을 이용하면 해당 앵커들은 1개의 주의영역, 나머지는 모두 위험영역에 존재한다.

### 5.3 비탈면 안전율과 연동된 앵커 잔존력 관리

- 1) 앵커의 잔존력을 20% 단위로 분리하여 1차 관리를 한 후 비탈면의 건기 시 안전율 1.5를 기준으로 하여, 설계축력을 0.67(=1/1.5)을 곱한 2차 기준을 정하여 주의영역으로 구분하였다.
- 2) 43tf 설계축력 그룹에 해당하는 7개의 앵커 중 18단 6의 위치의 앵커는 주의영역에, 나머지 6개의 앵커는 잔존긴장력이 모두 위험영역에 속해 있었다.
- 3) 39tf 설계축력 그룹에 해당하는 3개의 앵커중 6단 38 위치에 해당되는 앵커는 안정영역에, 나머지 두 개의 앵커는 위험영역에 존재하였다.
- 4) 앵커 잔존 긴장력만을 기준으로 하는 경우 보다, 비탈면의 안전율을 연동하여 앵커 잔존력을 관리하는 경우가 상대적으로 약간 높은 안정성을 보여준다. 그러나 두 경우 모두 대부분 앵커가 현재 불안정한 상태를 알 수 있다.

### 5.4 앵커 재인장

- 1) 현재 시공되어있는 앵커는 잔존하중은 설계인장력 대비 50% 이하로 작용하고 있으므로 재인장이 불가피할 것으로 판단된다.
- 2) 현재의 잔존하중을 고려하여 비탈면안정해석을 실시한 결과 우기에 안전율 1.04~1.06으로 한계상태에 근접되었다.
- 3) 비탈면에 설치된 앵커의 경우, 앵커 자체의 잔존 긴장력만 평가할 것이 아니라 비탈면의 안전율과 연동하여 평가하면 더욱 효율적인 비탈면 유지관리가 될 것이다.

## References

[1] Choi, T. S., Yun, J. M., Kim, Y. S., You, S. K. and Lee, K. I., "Stability Evaluation of Anchors Using Lift-off Field Test", *Journal of the Society of Disaster Information*, Vol. 17, No. 1, pp. 128~142, 2021. DOI: <https://doi.org/10.15683/kosdi.2021.3.31.128>

[2] Huh, B. J., Kim, C. K., Jung, Y. G. and Chun, B. S., "A Study on the Long-Term Behavior Characteristics of Buoyancy-Resistant Permanent Anchor", *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol. 11, No. 12, pp. 27~35, 2010.

[3] Korea Authority of Land & Infrastructure Safety, Anchor and nail design commentary for slope reinforcement in construction work, Geotechnical Research Center of Korea Authority of Land & Infrastructure Safety, Korea, pp. 29~32.

[4] Korea Expressway Corporation Research Institute, Investigation of application condition and making the performance improvement technique of permanent ground anchor, Korea Expressway Corporation Structure Research Center, Korea, pp. 20~21.

[5] Korea Expressway Corporation Research Institute, Maintenance Manual of Ground Anchor for Slope Reinforcement, Korea Expressway Corporation Structure Research Center, Korea, pp. 45~47.

[6] Song, P. I., Precision Safety Diagnosis Research Service Report(KGS16), Korea Geotechnical Society, Korea, pp. 54~55.

[7] Ministry of Land-Transport and Maritime Affairs, Design criteria for slope of construction work, pp. 36~37.

[8] Park, Y. J. and Cho, K. H., "An Analytical Study on initial prestressed force change of earth anchor in fault Fracture", 2015 *Proceedings of the Fall Conference of the Korea Society for Railroad*, Korean Society for Railway, pp. 769~803, 2015.

[9] Park, S. Y., Lee, S. R., Jung, J. H. and 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. DOI: <https://doi.org/10.7843/kgs.2020.36.8.35>

### 전 승 철(Seung-Chul Jeon)

[정회원]



- 1988년 2월 : 충북대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 2017년 2월 : 국립금오공과대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2021년 2월 : 국립금오공과대학교 토목공학과 (박사수료)
- 1990년 6월 ~ 2002년 3월 : 신동아건설
- 2002년 3월 ~ 현재 : 계룡건설산업(주)

<관심분야>

토질 및 기초, 연약지반, 사면안정

한 희 수(Heui-Soo Han)

[정회원]



- 1989년 2월 : 서울대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 한국과학기술원 토목공학과 (공학석사)
- 1999년 12월 : South Dakota School of Mines Technology (공학박사)

• 2002년 3월 ~ 현재 : 국립금오공과대학교 토목공학과 교수

〈관심분야〉

토질 및 기초, 사면안정, 보강토옹벽