

지반앵커에 대한 인장시험 성능평가 기준선의 적용성 고찰

Applicability of the Tensile Test Performance Evaluation Baseline for Ground Anchors

김 대 근¹ Kim, Dae Gun 박 태 광² Park, Tae Kwang
박 이 근³ Park, Lee Keun 김 태 형⁴ Kim, Tae-Hyung

Abstract

Currently, tension ground anchors are divided into temporary and permanent based on their purpose and period of use, and their performance evaluations are presented separately. Therefore, applying the current performance evaluation's upper and lower limits to practice seems reasonable. However, because compression ground anchors have been mainly used as permanent, performance evaluation corresponding to permanent is conducted without distinction between temporary and permanent. This evaluation is a strict standard for ground anchors used as temporary, including the removal type. Because of examining the existing performance evaluation for the compression ground anchor, the lower limit can be applied without distinguishing between the temporary and permanent. However, the upper limit should be presented separately for the temporary and permanent. In applying the upper limit, it is necessary to adjust the upper limit of the anchor considering the anchored ground condition (rock or soil), the period of use, and particularly whether the load-displacement curve maintains the elastic state.

요 지

현재 인장형 지반앵커는 그 사용목적, 사용기간에 따라 가설과 영구로 구분하여 성능평가를 별도로 제시하고 있다. 현재의 성능평가 상한선과 하한선 기준을 실무에 적용하는 데 있어 타당한 것으로 보인다. 하지만, 압축형 지반앵커는 주로 영구로 사용되어 온 점으로 인해 가설과 영구의 구분 없이 영구에 해당하는 기준이 제시되어 있어 제거형과 같이 가설로 사용하는 지반앵커에 있어서는 엄격한 기준이 되고 있다. 기존 성능평가 기준선을 고찰해 본 결과, 하한 기준선은 가설과 영구 구분 없이 적용할 수 있는 것으로 판단되나 상한 기준선은 가설과 영구를 구분하여 제시하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 압축형 지반앵커에서 상한선 기준의 적용에 있어서 앵커의 정착지반상태(암반 또는 토사), 사용기간, 특히 하중-변위 곡선의 탄성상태 유지 여부 등을 고려하여 상한선을 조정할 필요성이 있다.

Keywords : Compression, Elastic state arrangement and analysis, Ground anchor, Permanent, Temporary, Tension

1 정희원, 한국해양대학교 토목환경공학과 박사과정 (Member, Graduate Student, Dept. of Civil and Environmental Engrg., Korea Maritime and Ocean Univ.)

2 비희원, 한국해양대학교 토목환경공학과 석사과정 (Graduate Student, Dept. of Civil and Environmental Engrg., Korea Maritime and Ocean Univ.)

3 정희원, (주)지오알앤디 대표이사 (Member, President, Geotechnical Research & Development Co.)

4 정희원, 한국해양대학교 건설공학전공 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Korea Maritime and Ocean Univ., Tel: +82-51-410-4465, kth67399@kmo.ac.kr, Corresponding author, 교신저자)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2023년 2월 28일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

1. 서론

지반앵커는 인장형, 압축형 모두 그라우트 구근과 정착 지반과의 경계면에서의 전단마찰저항응력을 발휘시켜 요구되는 정착력을 확보하도록 하는 구조체이다(Ground Anchor Technology Association, 1997; Kim and Jung, 2016). 그러므로 지반앵커를 시공한 후 앵커 성능이 확보되는지, 지속 유지 가능한 성능인지 등의 시공상태를 평가하여 필요 시 조정을 한다. 즉, 지반앵커는 시공이 이루어진 후 앵커시험을 실시한 결과를 분석하여 정착 성능을 평가하고 부적합한 경우 추가 보강의 필요성을 고려하는 공법이다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2011a, 2011b; Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020a).

정착이 이루어진 지반앵커의 성능의 양부(pass/fail)는 하중의 증가에 따라 긴장재의 늘음량이 탄성영역에서 존재하는지의 여부로 판단한다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020b; Korea Expressway Corporation, 2016; Park et al., 2021). 다시 말해 앵커시험에 의한 하중-변위 곡선이 상한선과 하한선의 범위 내에 있다면 지반앵커의 성능이 양호한 것으로 평가하는 기법으로 시공관리를 하고 있다. 이것은 우리나라뿐만 아니라 국외 다른 나라에서도 유사한 방법으로 지반앵커의 성능을 평가하고 있다(British Standards Institution, 1989, 1995; European Committee for Standardization, 2009; Deutsche Industrie Normen, 1990; The Japanese Geotechnical Society, 2000; Civil Engineering Department Hong Kong, 1997; AASHTO, 1990). 다만 구체적인 시험방법 및 개수에서는 다소 차이는 있다(Park et al., 2020).

지반앵커에서 발생하는 변위는 긴장재의 탄성늘음량,

정착부의 전단마찰변위, 인발변위로 볼 수 있다(Park et al., 2014). 긴장재의 단부가 움직이지 않는 물체에 완전 고정되어 있는 상태에서 긴장재의 반대편 단부에서 인장하중을 가하면 긴장재의 탄성늘음량 만큼의 변위만이 발생하게 된다. 지반앵커는 정착부를 통해 지반에 정착되기 때문에 단부가 완전고정 상태로 볼 수 없는 조건이다. 이로 인해 반대편 단부에서 인장하중을 가하면 정착부에서의 변위도 추가로 유발되며 이 때 발생하는 변위는 정착부의 주면과 지반의 경계에서 발생하는 전단마찰변위이다. 전단마찰변위가 발생하는 과정에서 전단저항력이 발현되는데 전단강도를 초과하는 변위가 발생하게 되면 인발변위가 발생하게 된다(Lee, 1997; Song et al., 2019).

하중-변위의 상한선과 하한선로 앵커의 성능을 평가하는 것은 초창기 방식인 인장형앵커에 대한 성능평가기법으로는 적합할 수 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020b). 그것은 최초로 사용된 지반앵커 형태가 1958년 스위스 Losinger사에서 제시한 방식인 VSL(Vordpann System Losinger)로 대표되는 인장형이어서 인장형에 대한 사용실적이 비교적 많기 때문이다. 인장형 지반앵커는 가설과 영구로 성능평가가 구분되어 있다(Fig. 1(a)).

반면 인장형 지반앵커에서 나타나는 진행성파괴 등의 구조적 결함을 줄이고자 고안된 압축형 지반앵커에 대한 성능평가 기준선은 제시되어 있으나 가설과 영구로 성능평가가 구분되어 있지 않은 상태이다. 이것은 압축형 지반앵커가 주로 영구로 사용되어 온 점으로 인해 가설과 영구의 구분 없이 기준을 적용하고 있는 것으로 판단된다(Hayashi, 1989). 지반앵커의 전 길이가 늘음량에 관련하는 압축형앵커에는 기존 성능평가 기준의 적

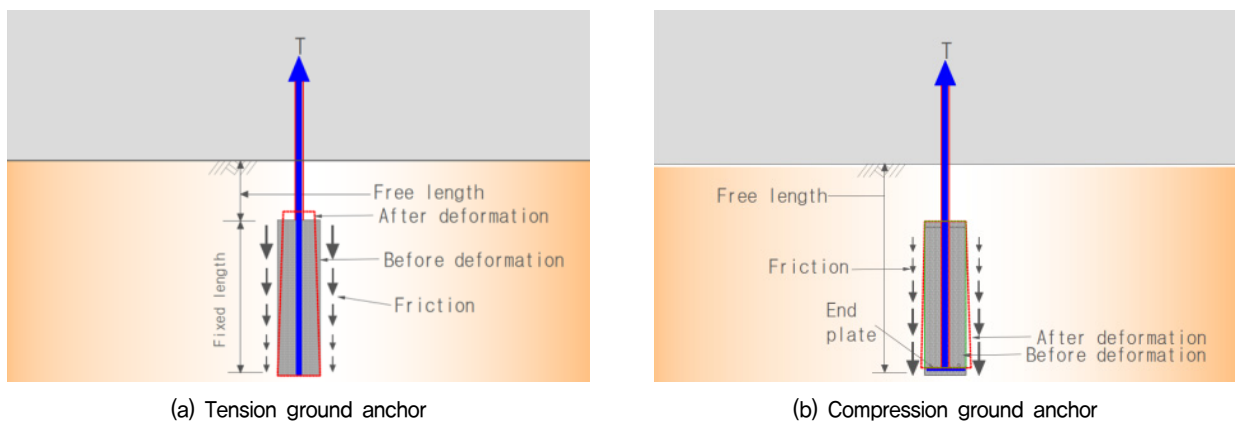


Fig. 1. Conceptual diagram of ground anchors

용성이 불확실하므로 지반앵커의 형식에 따라 성능평가기법을 달리하여야 할 필요성 있다(Fig. 1(b)).

이와 같이 지반앵커의 구조의 차이가 있음에 따라 하중-변위 곡선은 그 경향이 달라지게 되므로 성능평가기법도 달라져야 함에도 이에 관한 연구가 미흡한 편이다. 따라서 본 연구에서는 지반앵커의 구조의 차이에 따른 기존 성능평가기법을 고찰하여 현실적인 측면에서 기준을 적용하는 데 어떤 문제가 있는지 살펴보았다. 특히 현재 가설 및 영구로 많이 사용되고 있는 압축형 지반앵커에 대해 중점적으로 검토해 보았다.

2. 지반앵커 성능평가 시험의 국내외 관련 기준 및 국내 성능평가 한계곡선

2.1 성능평가 국내외 관련 기준

지반앵커의 성능평가시험과 관련하여 독일, 유럽, 홍콩, 일본의 국외 및 국내 기준에 대해 조사하였다. 영어식 표기는 가급적 원어를 따랐다. 각 나라에서는 표준시험방법에 대한 기준을 제시하여 시험을 실시하고 있으며, 시험장비의 최소요구정확도, 검교정에 대해서도 비교적 상세한 기준을 제시하고 있고, 시험목적에 따라 측정방법을 구분하여 제시하고 있다.

본 연구에서 조사하고 정리한 각 나라의 관련 기준은 Table 1과 같으며, 이들 국가에서 사용하고 있는 시험의 명칭은 Proof test(Proving test), Suitability test, Acceptance test 등을 사용하고 있는데, 국내 시험명칭과 비교하면 각각 인발시험(검증시험), 인장시험(적합성시험), 확인시험(인수시험)에 해당한다.

KCS 11 60 00(앵커)에서 현장품질관리를 위한 시험 기준으로서 인장시험, 확인시험, 인발시험, 크리프시험,

리프트오프시험에 대해 규정하고 각 시험의 방법에 대해 제시하고 있다. 지반앵커 시험에 관해 Lee(1997)에서 DIN 4125의 내용을 요약하여 비교적 상세히 기술하고 있으며, 기본시험(인발시험), 적합성시험(인장시험), 적용성시험(확인시험)으로 시험명칭을 사용하고 있다(() 내는 현재 KCS에서 사용하고 있는 명칭임).

2.2 국내의 성능평가를 위한 한계곡선

지반앵커는 시공 후 정착부에서 정착지반에 정착이 잘 이루어져 있는지를 판단하는 것이 매우 중요하다. 정착이 잘 이루어지면 지반앵커에 발생하는 변위는 하중의 크기에 상응하는 하중이 전달되는 구간에 해당하는 긴장재의 탄성늘음량과 정착부의 지반과 그라우트 구간의 경계면에서의 전단마찰변위만이 발생하게 된다. 따라서, 지반앵커 시험의 성능을 제대로 평가하기 위해서는 지반앵커 시험에서 하중이 전달되는 긴장재의 길이를 결정하는 문제와 정착부에서의 전단마찰변위(소성늘음량)를 결정하는 문제를 파악하여야 하는 것이다. 인장형 지반앵커와 압축형 지반앵커는 하중이 정착부에 전달되는 메커니즘이 다르기 때문에 서로 다른 성능평가법이 제시되어 있다(Suzuki et al., 1980; Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020b).

인장형 지반앵커의 정착장은 그라우트 구근과 긴장재의 부착으로 형성되고 있고, 긴장력에 의한 전단마찰 저항응력은 자유장과 정착장의 경계에서 가장 크고 정착장 단부로 갈수록 줄어드는 형상으로 분포한다는 것이 하중전이시험을 통해 밝혀졌다. 반면 압축형 지반앵커의 정착장은 앵커헤드에서 그라우트 구근에 가해지는 하중이 전이되는 길이에 해당하여 정착헤드측에서 가장 큰 전단마찰저항응력이 발생하고 자유장측으로 갈

Table 1. Ground anchor-related standards and specifications for each country at domestic and foreign

Country	Standards and specifications related to anchor
Germany	DIN 4125 (Ground Anchorages, Design, construction and testing, 1990) Part 1 : March, 1988, - Part 2 : February 1976
Hong Kong	GEOSPEC1(Model Specification for Prestressed Ground Anchors)
United States	AASHTO(1990), AASHTO-AGC-ARTBA TF27 PTI (FHWA-IF-99-015)
United Kingdom	BS 8081 : 2015
Japan	JSF D1-77 (Earth anchor design and construction standards) (1977) (Revision)-JSF D1-88 (Ground anchor design and construction standards) (November, 1988)
Korea	KDS 11 60 00 Ground anchor (2020) KCS 11 60 00 Ground anchor (2020)

수록 줄어드는 형상으로 분포하는 것으로 하중전이시험을 통해 밝혀졌다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020b).

2.2.1 인장형 지반앵커 성능평가 기준선

인장형 지반앵커는 정착장이 긴장재와 그라우트의 부착으로 형성되는 구조이기 때문에 실제 자유장 외에 정착장의 일부가 자유장과 같이 거동할 수 있는 것을 전제로 하고 있다. 자유장은 그라우트 구근과 긴장재가 부착되지 않도록 피복을 씌우고 있고 정착장은 피복을 씌우지 않아 그라우트 구근과 긴장재가 부착을 형성하여 그라우트 구근을 통해 지반의 전단마찰저항응력을 발휘시켜 정착력이 구해지도록 하고 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020b).

정착성능의 확보에 대한 시공상태를 평가하는 기법으로 긴장재에 가해지는 하중과 발생 변위의 관계로 파악하도록 하고 있다. 정착부에서 정착이 양호한 상태 즉, 정착장에서 인발이 발생하지 않고 정착장 전부의 긴장재가 정착을 이루는 경우에는 자유장만의 긴장재에서의 탄성늘음량과 정착장에서의 전단마찰변위만을 일으키는 상태가 될 것이다.

(1) 상한선

인장형 지반앵커의 하중전이분포는 삼각형 분포에 가까운데 이로 인해 정착장의 절반에 해당하는 긴장재는 탄성늘음량에 관여하는 것으로 간주하여 상한의 긴장재 늘음량의 한계를 정한 것으로 판단된다.

(2) 하한선

인장형 지반앵커의 하한선에 관여하는 긴장재의 길이를 자유장에 대해서만 고려하도록 하고 가설은 자유

장의 80%, 영구는 자유장의 90%로 하여 10%의 차이를 두고 있다. 인장형 지반앵커의 시공이 원만히 이루어졌다면 자유장의 100%에 걸쳐서 탄성늘음량이 발생하여야 한다. 그런데 늘음량에 관여하는 긴장재의 길이를 가설에서 20%, 영구에서 10%를 줄여 보는 것은 긴장재의 탄성계수의 균질성 여부, 여러 가닥의 긴장재 각각에 작용하는 하중 분배의 차이 등에 기인하는 것으로 보인다.

2.2.2 압축형 지반앵커 성능평가 기준선

압축형 지반앵커는 정착장의 끝단에 앵커헤드가 구성되어 있고 이 헤드에서 긴장재를 고정하는 고정썰기와 정착구가 있다. 긴장재 전 길이에 걸쳐 피복이 씌워져 있으므로 인해 그라우트와 긴장재의 부착은 이뤄지지 않고 앵커헤드의 정착구까지 전 길이가 자유장으로 거동할 수 있는 구조이다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020b).

압축형 지반앵커에서의 자유장과 정착장의 구분은 예상되는 파괴면의 내측인 움직이는 지반에 놓이는 긴장재의 길이는 자유장으로 예상파괴면의 외측인 움직이지 않는 지반에 놓이는 긴장재의 길이는 정착장으로 간주하여 정착장을 설계하고 있다. 따라서, 압축형 지반앵커에서의 자유장, 정착장의 구분은 파괴메커니즘에 의한 것이지 앵커시험에서 자유장과 정착장을 구분하는 것은 무의미하며 앵커시험에서는 긴장재의 전 길이(앵커헤드 고정점에서 정착구의 고정점까지의 길이)를 탄성늘음량에 관여하는 것으로 보고 있다.

(1) 상한선

압축형 지반앵커는 구조상 긴장재 전 길이가 탄성늘음량에 관여하는 것이 명백하므로 이론상 탄성늘음량에 관여하는 길이는 앵커헤드와 정착헤드 사이의 긴장

Table 2. Performance evaluation upper limit of tension ground anchor

Item	Temporary ground anchor	Permanent ground anchor
Upper limit	$d_{ul} = \frac{T_x - T_i}{E_s A_s} (l_{fs} + \frac{l_b}{2})$	$d_{ul} = \frac{T_x - T_i}{E_s A_s} (l_{fs} + \frac{l_b}{2})$
Tendon length related to elastic displacement	Design unbonded length + 50% of bonded length	

Table 3. Performance evaluation lower limit of tension ground anchor

Item	Temporary ground anchor	Permanent ground anchor
Lower limit	$d_{ll} = 0.8 \frac{T_x - T_i}{E_s A_s} l_{fs}$	$d_{ll} = 0.9 \frac{T_x - T_i}{E_s A_s} l_{fs}$
Tendon length related to elastic displacement	80% of design unbonded length	90% of design unbonded length

재 길이가 된다. 긴장재 탄성계수의 균질성 정도, 여러 가닥을 동시에 인장하는 일체형 인장기를 사용하게 됨으로써 긴장재 각각에 작용하는 하중 분배의 차이 등을 고려하여야 하므로 실제 시험에서는 이론적 탄성늘음량보다 약 10% 정도의 차이를 인정하는 것으로 보인다. 상한선에서 이론적 탄성늘음량의 10%를 초과하는 것의 의미를 살펴보면, 긴장재에 하중을 가하였을 때 하중의 크기에 따른 탄성늘음량 외에 정착장에서의 전단마찰변위가 발생하는데 전단마찰변위는 긴장재의 탄성늘음량의 10% 이내에 있어야 압축형 지반앵커는 적합하게 정착되었다는 것으로 볼 수 있다는 의미로 해석된다. 다시 말해, 압축형 지반앵커가 지반에 정착이 양호하게 이루어졌음을 판단하는 기준은 긴장재의 탄성늘음량의 10% 이내가 되는 양호한 지반에 정착되도록 하여야 한다는 시공관리 사항이 되는 것으로 해석할 수 있다.

(2) 하한선

압축형 지반앵커의 하한선은 통상 R점과 S점의 좌표로 제시되어 이들 두 점을 잇는 선을 하한선으로 하고 있다(Table 5). 하한선은 초기하중(T_i)에 최대시험하중의 15%를 더한 하중에서의 변위가 0이 되는 R점에서 초기하중에 최대시험하중의 75%를 더한 하중에서의 변위가 이론적 탄성변위량의 60%에 해당하는 변위까지 적게 발생하여도 좋다는 성능평가기준을 제시하고 있다.

이 하한선의 식의 의미를 고찰해 보면, 하한선은 변위가 0이 되는 하중축의 절편은 $(0.15 T_m + T_i) l_{tf} / E_s A_s$ 이고 그 기울기는 긴장재의 탄성늘음량에만 관련하는 값($l_{tf} / E_s A_s$)인 것을 알 수 있다. 즉, 지반앵커의 하중시험에서 이론적 탄성늘음량보다 적은 변위는 발생하지 않는다는 것이 전제된 것이며, 정착지반이 매우 양호하

여 전단마찰변위가 거의 발생하지 않는 경우에는 이론적 탄성늘음량에 아주 가까운 하중-변위 관계를 나타낼 것이고, 하중 재하에 따라 이론적 탄성늘음량 외에 정착장에서의 전단마찰변위가 추가 발생하는 것은 당연한 사실이기 때문에 이는 타당한 하한선인 것을 알 수 있다.

3. 압축형 지반앵커에 대한 성능평가 기준선의 적용성 고찰

서론에서 언급한 바와 같이 최초의 지반앵커인 인장형 지반앵커는 영구와 가설을 구분하여 그 정착성능을 평가하는 기준을 달리하고 있으나 압축형 지반앵커에 대해서는 영구와 가설에 대한 구분 없이 그 정착성능을 평가하도록 하고 있다. 따라서, 압축형 지반앵커에 대해서도 영구와 가설을 구분하여 그 정착성능을 평가하도록 할 필요성이 있다. Fig. 2~Fig. 6은 풍화토 지반(N치 50 정도)에 설치된 하중집중형 압축형 지반앵커에 대해 실시된 인장시험 결과를 정리한 것이다.

3.1 상한선에 대한 고찰

압축형 지반앵커에서는 긴장재의 이론적 탄성늘음량보다 10%까지 변위가 발생하여도 정착상태의 성능평가가 만족되는 것으로 하고 있으며, 가설과 영구의 구분을 두지 않고 있다.

$$d_{ul} = 1.1 \frac{T_x - T_i}{E_s A_s} l_{tf} \tag{1}$$

Table 4. Performance evaluation upper limit of compression ground anchor

Item	Contents
Upper limit	$d_{ul} = 1.1 \frac{T_x - T_i}{E_s A_s} l_{tf}$
Tendon length related to elastic displacement	Total length of tendon (length between anchor head and fixed head)

Table 5. Performance evaluation lower limit of compression ground anchor

Item	Contents				
Lower limit	Point R	X-axis (Load)	$0.15 T_m + T_i$	Y-axis (Displacement)	0
	Point S		$0.75 T_m + T_i$		$0.6 T_m l_{tf} / E_s A_s$
	$d_{ll} = \frac{T_x - (0.15 T_m + T_i)}{E_s A_s} l_{tf}$				

변위의 여유를 두고 있는 10%의 변위는 긴장재에 가해지는 하중에 따라 정착부의 구근과 정착지반의 경계면에서 발생하는 전단마찰변위로 볼 수 있다(Fig. 2). 즉, 지반앵커 정착시 전단마찰변위는 긴장재의 탄성능음량의 10%를 넘지 않는 지반에 정착할 것을 요구하는 상한선 기준이 되는 셈이다. 그리고 지반앵커는 정착부에서의 전단마찰변위가 적게 발생하여야 하므로 통상 암반에 정착하는 것을 원칙으로 한다.

그러나, 우리나라의 지반특성, 부지사용 상의 한계 등으로 암반에 정착하지 못하는 경우가 많이 발생하여 부득이 풍화토, 풍화암 등에 정착할 수밖에 없는 여건이 많은 편이다. 특히, 함수비가 높고 점성이 많은 풍화토, 풍화암의 경우에는 하중의 증가에 따라 전단마찰변위가 크게 발생할 수 있다. 이런 경우는 영구 보다는 제기

형과 같이 가설로 사용하는 지반앵커에 있어 주로 발생한다.

지반앵커의 사용성 문제에 있어서 Fig. 3의 ㉑와 같이 전단마찰변위가 비교적 크게 발생하여 현행의 상한선 기준을 초과하는 경우에도 그 직선성(즉, 탄성거동)의 여부에 따라 달리 고려해 볼 필요가 있다.

만약, Fig. 3의 ㉑곡선과 같이 현행의 상한선을 벗어나고 있는 하중-변위 관계를 보이는 시험결과가 구해졌더라도 하중-변위가 탄성상태를 보이고 있다면, 이는 하중에 따른 전단마찰변위는 긴장재의 탄성능음량의 10%보다 크게 발생한 상태 즉, 정착지반이 압축형 지반앵커에서 요구되고 있는 암반보다 약한 지반에 정착된 상태로 볼 수 있는 것이다. 따라서, 압축형 지반앵커에서는 상한선의 기준의 적용에 있어서 정착지반상태, 사용기

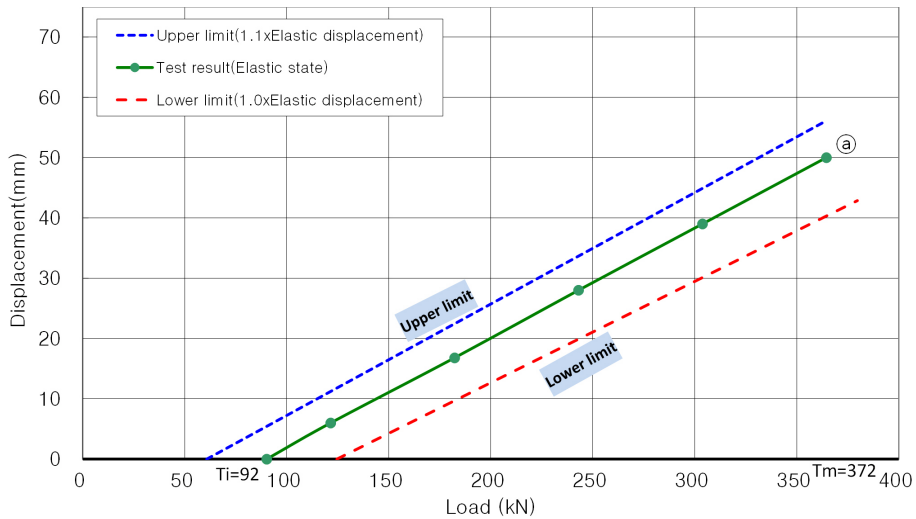


Fig. 2. Upper and lower limits and a test result of compression ground anchors

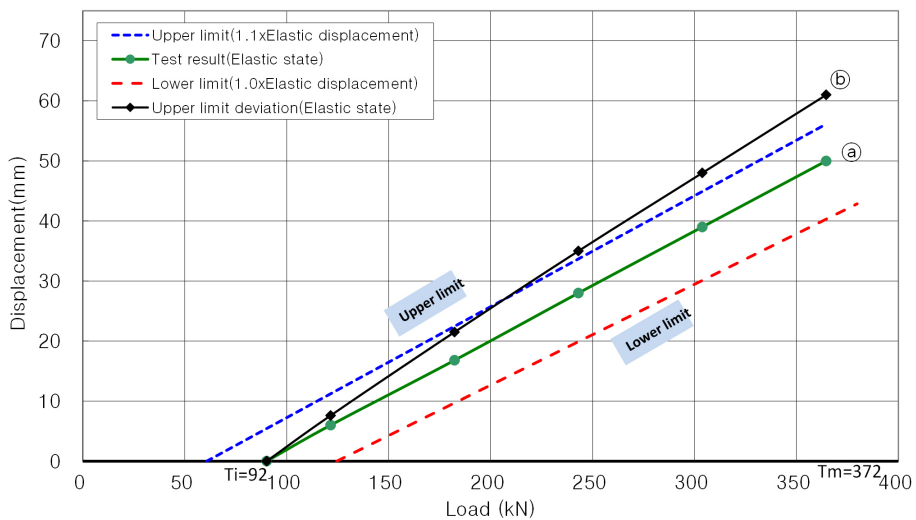


Fig. 3. Load-displacement relation of deviation from upper limit of compression ground anchor

간, 하중-변위 곡선의 탄성상태 유지 여부 등을 고려하여 상한선을 조정할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

다른 예로 Fig. 4의 ㉔곡선의 경우는 현행 상한선 기준 내에는 있으나 최대시험하중에서 인발되는 현상을 보이는 시험결과이다. 이러한 시험결과는 현행 기준의 성능평가에서 적정 상태로 판정될 수 있으나 지반앵커의 정착 개념에서 살펴보면 인발되는 하중이 나타난 결과로서 부적정 상태로 보아야 한다.

Fig. 3 또는 Fig. 4의 ㉔곡선과 같이 인발현상은 보이지 않고 탄성상태를 잘 유지하고 있으나 부적합으로 판정되는 지반앵커와 Fig. 4의 곡선 ㉔의 인발현상을 보이는 지반앵커 중 후자가 안정성 측면에서 불리함은 당연하다. Fig. 4의 곡선 ㉔는 굴착 진행에 따라 추가 하중이

발생하면 곧바로 인발현상을 일으켜 흠막이가시설과 같은 지지구조물의 변형을 동반할 것이기 때문이다.

따라서, 압축형 지반앵커는 단순히 현행의 상한선 내에 하중-변위 곡선이 놓여 있는가의 여부 외에 하중에 따른 변위의 관계가 탄성상태를 확보하고 있는지도 함께 평가되어야 하는 것은 중요한 사항이다.

Fig. 5의 하중-변위 ㉔곡선에서 발생한 변위를 분석하면, 최대시험하중에서 ①긴장재의 탄성늘음량, ②정착장에서의 전단마찰변위, ③인발변위가 발생한 것을 알 수 있다.

Fig. 5의 ㉔'는 ㉔ 곡선이 인발되지 않고 탄성상태를 유지할 경우의 하중-변위 곡선으로 이 둘의 변위 차이가 인발변위에 해당한다. 하중-변위 곡선 ㉔는 긴장재만

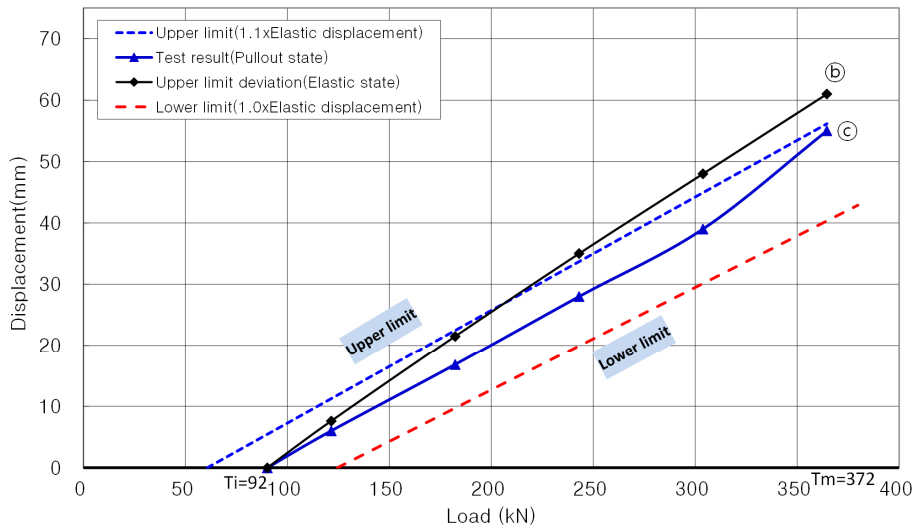


Fig. 4. Load-displacement relation of deviation from upper limit and pullout state of compression ground anchor

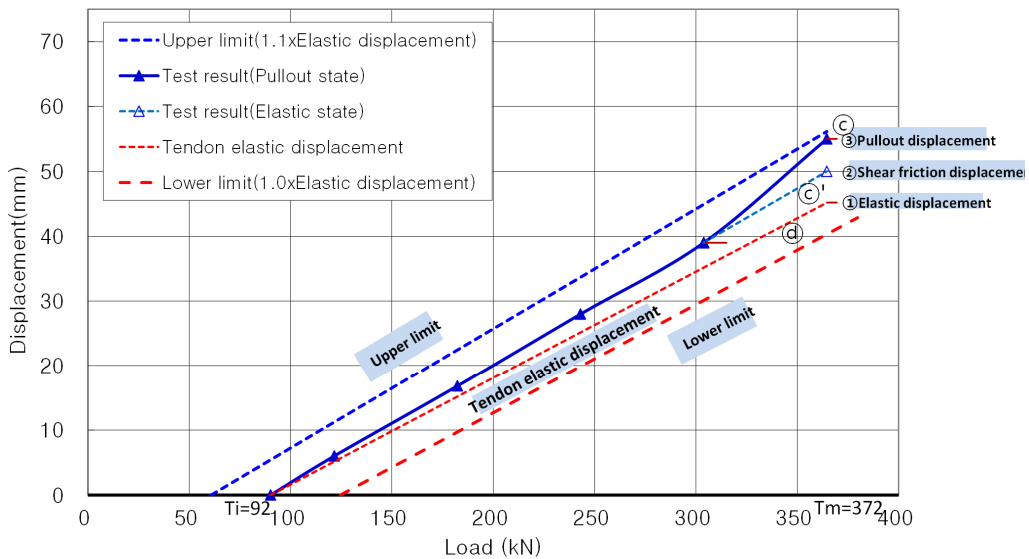


Fig. 5. Load-displacement relation in pullout state of the compression ground anchor

의 탄성늘음량에 해당하는 곡선이고, ㉔와 ㉔' 곡선의 변위 차이가 전단마찰변위에 해당한다.

Fig. 6은 현행의 상한선 기준을 벗어났으나 탄성상태를 유지하는 하중-변위 곡선 ㉔, 현행의 상한선 기준 내에 있으나 인발현상이 나타난 하중-변위 곡선 ㉔, 긴장재의 이론적 탄성늘음량 곡선 ㉔를 동시에 나타낸 것이다. Fig. 6에서 알 수 있듯이 곡선 ㉔가 곡선 ㉔보다 부적합한 하중-변위 곡선임에도 불구하고 현행 상한선 기준상 적합으로 판정되어 지반앵커 지지구조물의 불안정성을 야기할 수 있음을 간과할 수 있다. 그러므로 압축형 지반앵커 상한선 기준의 설정에 관한 사항을 제고할 필요성이 있다.

상한선은 영구는 당초와 같이 1.1배의 탄성늘음량으로 하되 최종단계 하중에서도 인발현상을 보이지 않는 탄성상태가 되어야 하는 것으로 하고, 가설은 1.2배의 탄성늘음량으로 하되 최종단계 하중에서도 인발현상을 보이지 않는 탄성상태가 되는 것으로 하는 것을 제안한다. 식으로 정리하면 Table 6과 같다.

3.2 하한선에 대한 고찰

2.2절에서 설명한 바와 같이 압축형 지반앵커의 하한선은 $0.15T_m + T_i$ 의 하중에서 변위를 0으로 하도록 하고 있다. 즉, 최대계획시험하중의 15%($0.15T_m$)와 초기하중(T_i)을 합한 하중에서 변위가 0이 되는 점을 초기하중의 변위로 하고 $0.75T_m + T_i$ 의 하중에서 $0.6T_m l_{tf}/E_s A_s$ 의 변위가 되는 점을 최대시험하중의 하한 변위로 하고 있다.

이들 두 점을 잇는 선을 구해보면, $d_{ul} = \frac{T_x l_{tf}}{E_s A_s} - \frac{(0.15T_m + T_i)l_{tf}}{E_s A_s}$ 가 되는데, 우변의 첫 항은 긴장재의 탄성늘음량의 기울기에 해당하고 두 번째 항은 상수가 된다. 즉, $0.15T_m + T_i$ 의 하중에서 변위 0인 점으로부터 하중의 증가에 따라 긴장재의 탄성늘음량의 기울기를 갖도록 하는 것이 된다.

하중축인 x 축의 절편이 $0.15T_m + T_i$ 가 되도록 하여 초기 시험하중에 의한 변위에 여유를 두고 있는 하한선으로 볼 수 있다. 이것은 압축형 지반앵커는 정착장 단

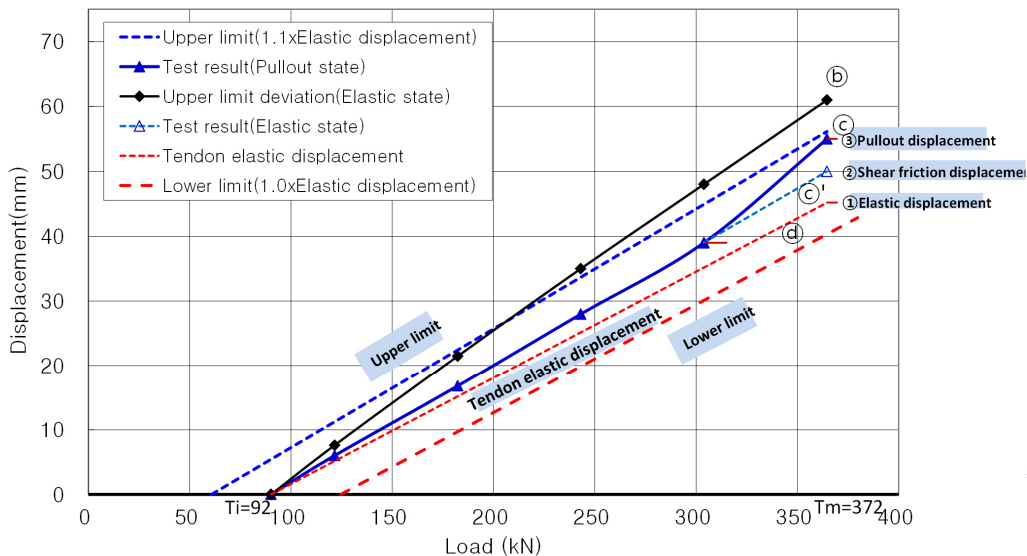


Fig. 6. Load-displacement aspects of compression ground anchor

Table 6. Performance evaluation upper limit of compression ground anchor

Item		Contents
Upper limit	Permanent	$d_{ul} = 1.1 \frac{T_x - T_i}{E_s A_s} l_{tf}$
	Temporary	$d_{ul} = 1.2 \frac{T_x - T_i}{E_s A_s} l_{tf}$
Tendon length related to elastic displacement		Total length of tendon (length between anchor head and fixed head)

부에서 가장 큰 하중이 집중되어 재하 초기에 그라우트 구근의 압축성이 클 수 있음을 염두에 두어 하한선 기준을 설정한 것으로 판단된다.

하한선의 기울기는 긴장재의 이론적 탄성늘음량을 따르고 있고 하중증가에 따라 정착장 주변에서 전단마찰변위의 발생이 필연적이기 때문에 하한선보다 낮은 변위값은 시험에서 나타날 수 없는 하한계선이 된다.

따라서, 압축형 지반앵커의 성능평가 기준인 하한선은 영구와 가설의 구분을 별도로 둘 필요성은 없는 것으로 판단된다.

4. 결론

지반앵커는 인장형, 압축형 모두 그라우트 구근과 정착지반과의 경계면에서의 전단마찰저항응력을 발휘시켜 요구되는 정착력을 확보하도록 하는 구조체여서 시공 후 그 성능이 확보되는지, 지속 유지 가능한 성능인지 등의 시공상태를 평가한다. 정착이 이루어진 지반앵커의 성능의 양부(pass/fail)는 하중의 증가에 따라 탄성영역에서 사용하는 긴장재의 늘음량이 탄성상태에 존재하는지의 여부로 판단한다.

본 연구에서는 영구형뿐만 아니라 제거형과 같이 가설로도 많이 사용하는 압축형 지반앵커에 현재 적용하고 있는 성능평가 기준선이 적절한지 고찰을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 인장형 지반앵커는 그 사용목적, 사용기간에 따라 가설과 영구로 구분하여 성능평가 기준선을 별도로 제시하고 있다. 제시된 성능평가 상한선과 하한선은 현재의 기준을 적용하는 데 있어 타당한 것으로 나타났다.
- (2) 하지만, 압축형 지반앵커는 주로 암반에 영구로 사용되어 온 점으로 인해 가설과 영구의 구분 없이 영구에 해당하는 기준이 제시되어 있어 제거형과 같이 가설로 사용하는 지반앵커는 토사지반에 정착하는 경우가 많아 엄격한 기준이 되고 있다.
- (3) 압축형 지반앵커의 기존 성능평가 기준선을 고찰해 본 결과, 하한선 기준선은 가설과 영구 구분 없이 적용할 수 있는 것으로 판단되었으나 상한선 기준선은 가설과 영구를 구분하여 제시하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.
- (4) 압축형 지반앵커에서는 상한선의 기준의 적용에 있

어서 정착지반상태(암반 또는 토사), 사용기간, 특히 하중-변위 곡선의 탄성상태 유지 여부 등을 고려하여 상한선을 조정할 필요성이 있다. 즉 최종단계 하중에서도 인발현상을 보이지 않는 탄성상태를 유지하는 것을 전제로 영구는 당초와 같이 1.1배의 탄성늘음량으로 하고 가설은 1.2배의 탄성늘음량으로 한다.

참고문헌 (References)

1. AASHTO (1990), Permanent ground anchor specification in-situ soil improvement technique, AASHTO-AGC-ARTBA TF27.
2. British Standards Institution (1989), British Standard Code of Practice for Ground anchorages, BS 8081.
3. Civil Engineering Department Hong Kong (1997), Model specification for Prestressed Ground Anchors, Geotechnical Control Office, GEOSPEC1.
4. Deutsche Industrie Normen (1990), Ground Anchorages Design, Construction and Testing, DIN-4125.
5. European Committee for Standardization (2009), EUROCODE 7 Execution of special geotechnical work – Ground Anchors, EN 1537.
6. Ground Anchor Technology Association (1997), Design-Construction Guideline for Ground Anchor, Science technology, pp.258-282.
7. Hayashi, T. (1989), Study on the pulling resistance mechanism of the ground anchor of the sandy ground, Ph.D. dissertation at the University of Tokyo, Japan.
8. Kim, J.H. and Jung, H.S. (2016), "Ground Anchor Method for Practitioners".
9. Korea Expressway Corporation (2016), A survey on the application actual condition and establishment of performance improvement countermeasure of permanent anchor for ground reinforcement (In Korean).
10. Lee, S.D. (1997), *Soil Testing - Principles and Methods*, Kyobobook.
11. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2011a), Man-made slope design standard.
12. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2011b), Man-made slope construction specification.
13. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2020a), Korean Design Standards (KDS) 11 60 00 : Ground anchor.
14. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2020b), Korean Construction Specification (KCS) 11 60 00 : Ground Anchor.
15. Park, K.D., Yoon, D.W., Heo, I.-Y., Lee, J.G., and Chang, B.S. (2014), "Standard Method Research on the Anchor Pullout Test", *Proceedings of Korea Institute for Structural Maintenance Inspection spring conference*, Vol.18, No.1, pp.206-209.
16. 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", *J. of the Korean Geotechnical Society*, Vol.36, No.8, pp.35-47.
17. Park, S.-Y., Hwang, B.S., Lee, S.R., and Cho, W.J. (2021), "Prediction of Long-term behavior of Ground Anchor based on the Field Monitoring Load Data Analysis", *J. of the Korean Geotechnical Society*, Vol.37, No.8, pp.25-35.

18. Song, M.K., Park, S.Y., Lee, S.R., and Cho, W.J. (2019), "Improvement of Lift-off Tests via Field Evaluation of Residual Load in Ground Anchor", *J. of The Korean Geotechnical Society*, Vol.35, No.5, pp.43-51.
19. Sabatini, P.J., Pass, D.G., and Bachus, R.C. (1999), GEOTECHNICAL ENGINEERING CIRCULAR NO. 4, Ground Anchors and Anchored Systems, Report No. FHWA-IF-99-015, pp.281.
20. The Japanese Geotechnical Society (1990), *Ground Anchor Design and Construction Standards, Commentary*.

Received : July 14th, 2022

Revised : August 3rd, 2022

Accepted : August 4th, 2022