

현장 잔존긴장력 평가를 통한 리프트오프 시험 방법 개선

Improvement of Lift-off Tests via Field Evaluation of Residual Load in Ground Anchor

송민권¹ Song, Minkwon 박성열² Park, Seong-yeol
이상래³ Lee, Sangrae 조완제⁴ Cho, Wanjei

Abstract

At present, the ground anchor method is commonly applied to securing the slope stability in Korea. The ground anchor is reported to decrease in tensile load due to aging and environmental influences with time such as corrosion, relaxation, creep and so on. In Korea, the lift-off test is performed for the periodic inspection or cases when the symptoms of deterioration on anchors and the residual tensile load of the anchors is checked. However, the current lift-off test standard (MOLIT, 2010) is not fully specified in details. In this study, the factors affecting the lift-off test were investigated based on the previous research and foreign standards and lift-off tests were performed with consideration for the loading and unloading cycle, load increment method, and tensioning tendon method. Based on the results, this paper proposes improved testing and evaluation procedures of the lift-off test considering the workability and time limits in the field.

요 지

현재 국내에서는 비탈면의 안정성 확보를 위해 그라운드 앵커공법을 적용하고 있다. 그라운드 앵커는 시간이 지남에 따라 노후화 및 환경적 영향에 의한 부식, 릴렉세이션, 크립 등으로 긴장력 감소현상이 발생하며, 이로 인해 앵커의 긴장력은 설계앵커력 이하로 감소할 가능성을 내포하고 있다. 이에 국내에서는 정기적인 점검 시 또는 이상 징후가 발생한 앵커를 대상으로 리프트오프 시험을 수행하여 앵커의 잔존긴장력을 확인하고 있으나, 현재 국내 리프트오프 시험기준(국토해양부, 2010)은 수행 및 평가방법이 자세히 명시되어 있지 않은 실정이다. 이에 본 연구에서는 선행연구들을 바탕으로 하중 재하-제하 사이클, 하중 증분방법, 긴장재 긴장 방법 등을 고려하여 리프트오프 시험을 수행하였으며 현장에서의 시공성과 시간적 제한을 고려하여 효율적인 리프트오프 시험 및 평가방법 개선안을 제시하였다.

Keywords : Ground anchor, Lift-off test, Residual tensile load, Residual displacement

1 정회원, 단국대학교 토목환경공학과 석사졸업 (Member, Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Engrg., Dankook Univ.)

2 정회원, 단국대학교 토목환경공학과 석사과정 (Member, Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Engrg., Dankook Univ.)

3 정회원, 한국도로공사 도로교통연구원 안전연구실 수석연구원 (Member, Principal Researcher, Korea Expressway Corporation Research Institute)

4 정회원, 단국대학교 토목환경공학과 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil & Environmental Engrg., Dankook Univ., Tel: +82-31-8005-3507, jei0421@dankook.ac.kr, Corresponding author, 교신저자)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2019년 11월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

1. 서론

현재 국내에서는 비탈면 구조물의 안정성을 높이기 위해 그라운드 앵커, 네일, 록볼트, 표층개량제 등의 다양한 보강재를 사용하고 있으며 그 중 그라운드 앵커를 가장 널리 사용하고 있다. 그라운드 앵커란 긴장재와 그라우트로 구성된 앵커체에 긴장력을 가하여 지반과 구조물을 일체화시킴으로써 지반의 안정성을 확보하는 공법으로, 앵커의 품질 및 시공성은 지반상태에 따라 큰 영향을 받는다. 비탈면에 그라운드 앵커가 설치된 이후에는 앵커의 내외적인 요인들에 의해 시간이 지남에 따라 긴장력의 감소는 불가피하게 발생하게 되고, 이는 앵커의 정착능력을 저하시킨다. 따라서 그라운드 앵커의 긴장력 변화를 조사 및 예측하는 것은 매우 중요하다 (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010).

또한, 그라운드 앵커는 앵커구조의 특성상 준공 후 공내를 확인할 수 없으므로, 긴장재의 재긴장을 통해 획득되는 하중-변위 곡선으로 앵커의 거동 및 성능을 간접적으로 판단해야 한다는 점과 공용기간이 장기간인 경우 잔존긴장력이 설계앵커력 대비 10% 이상 감소한다는 점을 고려하였을 때 그라운드 앵커의 유지관리 방안은 매우 중요하다고 판단된다(Korea Expressway Corporation, 2016). 외국의 경우 독일 DIN4125(Deutsche Industrie Normen, 1990), 미국 PTI(Post Tensioning Institute, 1996), 영국 BSI(British Standard Institution, 1989) 등 그라운드 앵커에 대한 시방 기준들이 제정되어 있으나 국내의 경우 앵커의 설계, 시공, 관리, 해석에 대한 적절한 기준이 아직 없는 실정이다(Kim, 2001).

현재까지의 그라운드 앵커 설계에서는 국외 시방에서 제시된 실험값을 토대로 재료의 파단, 그라우트와 지반의 마찰, 그라우트와 긴장재의 부착력만을 고려하였으나, 이는 단기적인 안정성만을 고려한 설계이며 공용기간이 영구적인 그라운드 앵커 설계 시에는 장기적인 거동을 고려하여야 한다. 국내에서는 인발, 인장, 확인, 리프트오프 시험 등을 통해 시공 전후 앵커의 성능을 확인 및 판단하고 있으나 리프트오프 시험의 경우 국내·외 모두 시험방법 및 평가에 관한 기준은 상세히 명시되어 있지 않은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 문헌연구를 통해 리프트오프 시험결과에 영향을 미치는 변수들을 파악하였으며 이를 기초자료로 활용하여 도로공사 도로교통연구원 내에 기시공된 앵커를 대상으로 여러 조건을 변화시켜 리

프트오프 시험을 수행하였다. 시험 결과 분석을 통해 현장에서의 시간적 제약 및 공간적 제약을 고려하여 효율적인 리프트오프 시험방안을 제시하고자 한다.

2. 문헌연구

2.1 리프트오프 시험을 통한 잔존긴장력 평가방법

본 절에서는 리프트오프 시험을 통하여 잔존긴장력을 평가하는 방법에 관하여 국내외 문헌을 조사하였다. 국내 기준(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010)에서는 리프트오프 시험을 통하여 하중-앵커두부 변위량 관계를 보통눈금의 그래프용지에 작도하여 초기 직선 구간에서의 접선과 변곡점 이후의 직선 구간에서의 접선의 교점으로 잔존긴장력을 구하고, 구한 리프트오프 하중과 설계긴장력을 비교하여 앵커의 안정성을 평가하고 있다. 미국 기준(Sabatini et al., 1999)의 경우 하중-변위 곡선에서 하중증가비가 급격히 감소하는 하중을 잔존긴장력으로 정의하였으며, 이때 측정된 하중은 설계긴장력과 비교하여 평가하고 있다. 홍콩 기준(Civil Engineering Department Hong Kong, 1989)의 경우 미국과 유사하게 하중-변위 곡선에서 기울기가 급변하는 지점을 잔존긴장력으로 평가하고 있다.

국내·외 모두 잔존긴장력의 평가방법은 Fig. 1과 같이 하중-변위 곡선에서 하중증가비가 급격히 감소하는 하중을 잔존긴장력으로 정의하고 있다. Fujiwara와 Sakai (2016)는 다수의 리프트오프 시험을 통하여 그림 1의 하중-변위 곡선에서 하중증가비가 급격하게 감소하는 구간

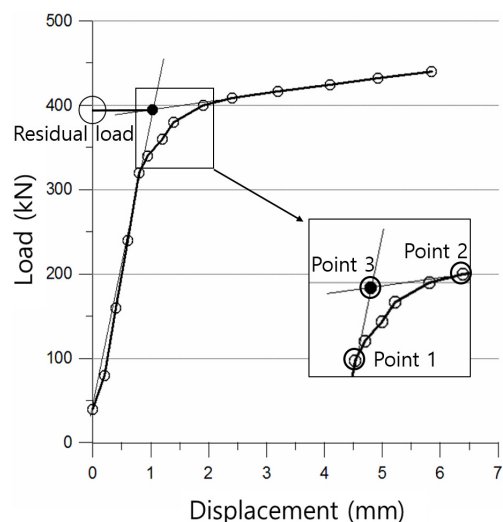


Fig. 1. Evaluation of residual load by lift-off test

인 point 1, point 2, 그리고 point 1과 point 2 접선의 교차점인 point 3의 하중을 비교하여 높은 재현성을 가진 point 3의 평가방법이 가장 정확한 것으로 보고하였다.

이에 본 연구에서는 문헌연구를 통해 국내·외에서 정확성과 재현성을 인정받아 수행해오던 Fig. 1의 point 3을 잔존긴장력으로 평가하는 방법을 현장시험에 적용하였다.

2.2 하중 재하·제하 사이클(Loading-Unloading Cycle)의 영향

본 절에서는 문헌연구를 통해 국내·외 리프트오프 시험의 하중 재하 및 제하 사이클의 횟수 및 영향에 관하여 확인해 보았다. 국내 기준(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010)과 미국 기준(Sabatini et al., 1999)의 경우 사이클의 횟수 및 영향에 관한 내용이 전혀 명시되어 있지 않았다. 홍콩 기준(Civil Engineering Department Hong Kong, 1989)의 경우 잔존긴장력의 대표적인 값을 획득하기 위해서는 3번 이상의 하중 재하 및 제하 사이클로 설계해야 한다고 언급하고 있다.

Fig. 2에서 1 사이클의 하중·변위 거동은 변곡점 부근까지 일정한 기울기로 증가하며 변곡점을 지나 완만한 기울기로 거동한 후 제하가 완료되면 약 4mm의 큰 잔류변형을 보였다. 이에 반해 2, 3 사이클의 경우 변곡점 부근까지 1 사이클보다 가파른 기울기로 증가하였지만, 잔존긴장력은 1 사이클과 동일한 값을 보였고 하중이 변곡점을 지나 완만한 기울기로 거동한 후 제하가 완료되면 약 1mm의 잔류변형을 보였다(Fujiwara and Sakai, 2016).

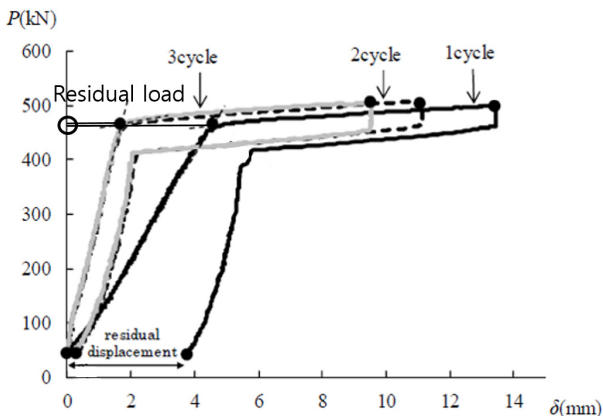


Fig. 2. Load-displacement curve for cycle (Fujiwara and Sakai, 2016)

이에 본 연구에서는 하중 재하 및 제하 사이클의 변화에 따른 잔존긴장력 및 잔류변형의 차이를 확인하기 위하여 1, 1.5, 2, 5 사이클을 현장시험에 적용하였다. 본 현장시험은 초기하중에서 최대 시험하중까지 재하하는 과정을 1 사이클로 정의하였으며, 초기하중에서 설계하중의 50%까지 재하하고 초기하중으로 제하한 뒤, 설계하중까지 다시 재하하는 과정을 1.5 사이클로 정의하였다.

2.3 긴장 방식의 영향

본 절에서는 문헌연구를 통해 국내·외 리프트오프 시험에서의 긴장 방식의 영향에 관하여 확인해 보았다. 국내 기준(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010)의 경우 리프트오프 시험 수행 시 시험에 적합한 긴장용 잭을 앵커에 세팅하여 가압한다는 내용과 재긴장 시 초기긴장력 이상을 낼 수 있는 잭을 앵커헤드에 세팅하여 긴장한다는 내용이 명시되어 있다. 미국 기준(Sabatini et al., 1999)의 경우 단순히 강연선을 긴장한다는 내용만 명시되어 있다. 홍콩 기준(Civil Engineering Department Hong Kong, 1989)의 경우 미국 기준과 유사하게 강연선을 긴장한다는 내용이 명시되어 있고, 추가적으로 재긴장 시 앵커헤드를 긴장할 경우 강연선과 압력차에 의해 과압현상이 일어날 수 있기에 앵커헤드를 긴장하는 방법을 권고하지 않는다는 내용이 명시되어 있다. 따라서 본 연구에서는 현장 리프트오프 시험에서의 긴장 방식에 대한 영향을 확인하기 위하여 국내에서 일반적으로 사용되는 긴장재를 인장하는 방식과 앵커 헤드를 직접 인장하는 방식을 현장시험에 적용하여 잔존긴장력과 초기기울기를 비교하였다.

2.4 하중재하속도 및 하중유지시간의 영향

본 절에서는 문헌연구를 통해 국내·외 리프트오프 시험의 하중재하속도 및 하중유지시간에 대한 영향에 관하여 확인해 보았다. 국내 기준(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010)과 일본 기준(Ground Anchor Technology Association, 1997)의 경우 하중재하속도는 인장시험의 하중재하속도에 준하고, 하중유지시간은 특별히 필요하지 않다고 명시되어 있다. 미국 기준(Sabatini et al., 1999)과 홍콩 기준(Civil Engineering Department Hong Kong, 1989)의 경우 하중재하속도 및 하중유지시

간에 관한 내용이 명시되어 있지 않다. 실제 시험을 수행한 결과 하중재하속도와 하중유지시간을 다르게 수행하여도 시험결과가 유사하여 잔존긴장력의 차이가 없음을 확인할 수 있었다(Fujiwara and Sakai, 2016).

이에 본 연구에서는 국내외 기준을 분석하여 하중재하속도 및 하중유지시간을 고려하는 경우가 없음을 확인하였으며, Fujiwara와 Sakai(2016)의 연구결과를 통해 하중재하속도와 하중유지시간이 잔존긴장력에 미치는 영향은 없다고 판단하여 현장시험 적용 시, 재하속도 및 하중유지시간에 대한 영향은 고려하지 않았다.

2.5 하중 증분 및 하중, 변위 측정간격의 영향

본 절에서는 문헌연구를 통해 국내·외 리프트오프 시험의 하중 증분 및 하중, 변위 측정간격의 영향에 관하여 확인해 보았다. 국내 기준(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010)의 경우 초기하중을 설계하중의 0.05~0.1배로 가하고, 단계적 하중증분은 설계하중의 85%까지는 설계하중의 0.02~0.05배로 하였다. 미국 기준(Sabatini et al., 1999)의 경우 하중 증분 및 하중, 변위 측정간격에 관한 내용이 명시되어 있지 않다. 홍콩 기준(Civil Engineering Department Hong Kong, 1989)의 경우 초기하중을 최대시험하중의 0.1~0.2배로 가한 후, 초기하중과 최대시험하중 사이를 6~10 등분으로 나누어 단계적으로 하중을 증분하였다.

Table 1은 일본 기준(Ground Anchor Technology

Table 1. Load increment, load and displacement measurement interval for lift-off test (Ground Anchor Technology Association, 1997)

Loading step	Measurement interval
$0.10 \times P_d$	Initial value
$0.35 \times P_d$	Immediately after loading
$0.60 \times P_d$	Immediately after loading
$0.85 \times P_d$	Immediately after loading
$0.90 \times P_d$	Immediately after loading
$0.95 \times P_d$	Immediately after loading
$1.00 \times P_d$	Immediately after loading
$1.02 \times P_d$	Immediately after loading
$1.04 \times P_d$	Immediately after loading
$1.06 \times P_d$	Immediately after loading
$1.08 \times P_d$	Immediately after loading
$1.10 \times P_d$	Immediately after loading

※ P_d = Design Load

Association, 1997)에서 제안한 리프트오프 시험의 하중 증분과 하중 및 변위측정 간격을 나타내고 있다. 전체적인 개형은 국토해양부의 경우와 유사한 것을 확인할 수 있었다. 일본 기준에서의 초기하중과 최대 시험하중은 각각 설계하중의 10%, 110%로 설정되었다. 하중증분의 경우 초기하중으로부터 설계하중의 85%까지는 설계하중의 25%로 하중을 증분하고, 설계하중의 85%로부터 설계하중의 100%까지는 설계하중의 5%로 하중을 증분하였다. 최종적으로 설계하중의 100%로부터 최대 시험하중인 설계하중의 110%까지는 설계하중의 2%로 하중을 증분하였다.

문헌연구를 통해 하중증분은 리프트오프 시험이 주로 설계하중 부근에서 변곡점이 발생한다는 점을 확인하였고, 설계하중 부근에서 낮은 하중증분을 적용하여 하중-변위 곡선의 정확한 거동을 파악할 수 있다고 판단하였다. 이에 현장시험에서 적용된 하중증분은 일본 기준을 수정하여 적용하였으며 자세한 내용은 4.2 절에 설명되어 있다.

3. 리프트오프 현장시험

3.1 리프트오프 시험방법 및 장치

리프트오프 시험은 앞의 문헌연구에서 조사한 바와 같이 하중 재하 및 제하 사이클, 긴장재 긴장방법, 하중 증분방법 등 다양한 조건들에 의해 하중-변위 곡선상 앵커의 거동이 달라지며 이에 따라 평가되는 잔존긴장력은 실제 잔존긴장력과 다소 차이가 발생할 수 있다. 하지만 기존 리프트오프 시험기준은 이와 같은 사항들을 고려하고 있지 않으며, 이에 본 연구에서는 선행연구를 바탕으로 현장에서의 시간적 및 공간적 제한을 고려하여 효율적인 리프트오프 시험 및 평가방법을 제안하고자 도로공사 도로교통연구원 내에서 리프트오프 시험을 수행하였다.

일반적으로 실제 시공 현장에서는 초기하중을 적용하고 있지 않으나, 본 연구에서는 설계하중이 400kN인 앵커들을 대상으로 초기하중을 설계하중의 10%, 최대 시험하중은 설계하중의 110%로 시험을 수행하였다. 하중증분의 경우 현장에서 적용하고 있는 하중증분 방법과 설계하중의 5%에 해당하는 하중으로 증분하는 방법을 비교하였으며, 하중 재하 및 제하 사이클의 경우 1 사이클, 1.5 사이클, 2 사이클, 5 사이클을 수행하여 하

중 재하 및 제하 사이클에 대한 영향을 확인하였다.

또한, 리프트오프 시험은 앵커구조의 특성상 앵커헤드 위에 위치한 긴장재가 절단, 부식, 파손 등으로 인해 하중을 온전히 전달할 수 없는 경우가 발생하며, 이 경우 앵커 헤드를 직접 긴장시킴으로써 리프트오프 시험을 수행하고 있다. 이에 본 연구에서는 긴장재를 긴장시키는 유압장비와 앵커헤드를 직접 긴장시키는 유압장비를 사용하여 긴장 방식에 따른 영향을 확인하였다. Fig. 3은 앵커헤드를 직접 긴장하는 유압장비와 긴장재를 긴장하는 유압장비의 모식도를 나타내고 있다.

4. 시험 결과 분석

4.1 초기하중에 따른 앵커의 거동

Fig. 4의 (b), (c), (d)는 초기하중을 적용한 리프트오프 시험결과를 나타낸 그림이며, 시험결과 초기하중 이전의 하중-변위 그래프는 직선이 아닌 곡선형태로 거동하는 것을 확인하였다. 이는 앵커시험의 특성상, 시험에 사용되는 장비들은 낮은 유압으로 정렬 및 결합하는 과정이 필요하므로 곡선형태의 거동은 장비 간 이격의 제거 및 압축 등으로 발생한 변위라고 판단된다. 이러한 변위는 인장재의 늘음량으로 인한 변위가 아님에도 불구하고 변곡점이 발생하기 이전 하중-변위 곡선의 기울기에 영향을 미치며, 잔존긴장력을 평가하는 데 있어 오차의 원인이 될 수 있다.

이에 본 연구에서는 설계하중의 10%에 해당하는 하

중을 초기하중으로 재하하도록 제안하고자 하며, 초기하중 이전에 발생한 변위는 데이터 분석에서 제외함으로써 앵커의 성능을 보다 정확하게 파악하고자 한다. 설계하중을 확인할 수 없는 경우 최소 30~50kN에 해당하는 하중을 초기하중으로 재하한다. 이처럼 정량적인 초기하중의 재하는 기존의 리프트오프 시험 및 평가방법보다 앵커의 거동을 정확하게 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

4.2 하중 증분방법에 따른 앵커의 거동

Fig. 4의 (a)는 실제 현장에서 적용하고 있는 하중증분 방법을 적용한 결과이며 (b), (c), (d)는 설계하중의 5%에 해당하는 하중으로 증분한 결과이다. 시험결과 Fig. 4의 (a)는 앵커헤드의 이격이 발생한 지점, 즉 리프트오프가 발생한 지점이 하나의 점으로 발현되었으나 (b), (c), (d)의 경우 곡선형태로 발현되었음을 확인하였다. 잔존긴장력을 정확하게 측정하기 위해서는 리프트오프가 발생한 부근의 데이터가 중요하므로 본 연구에서는 기존 현장에서 적용하고 있는 하중증분 방법을 세분화하여 제안하고자 한다.

하지만 모든 하중증분을 설계하중의 5%씩 적용하는 것은 시험에 많은 시간이 소요되며 잔존긴장력은 변곡점 부근의 데이터로 평가된다는 점을 고려하였을 때, 변곡점 이전의 하중증분을 큰 폭으로 증가시켜 시험을 효율성을 높이고자 한다. 잔존긴장력은 일반적으로 설계하중보다 낮은 범위에 존재하므로 본 연구에서는 Table

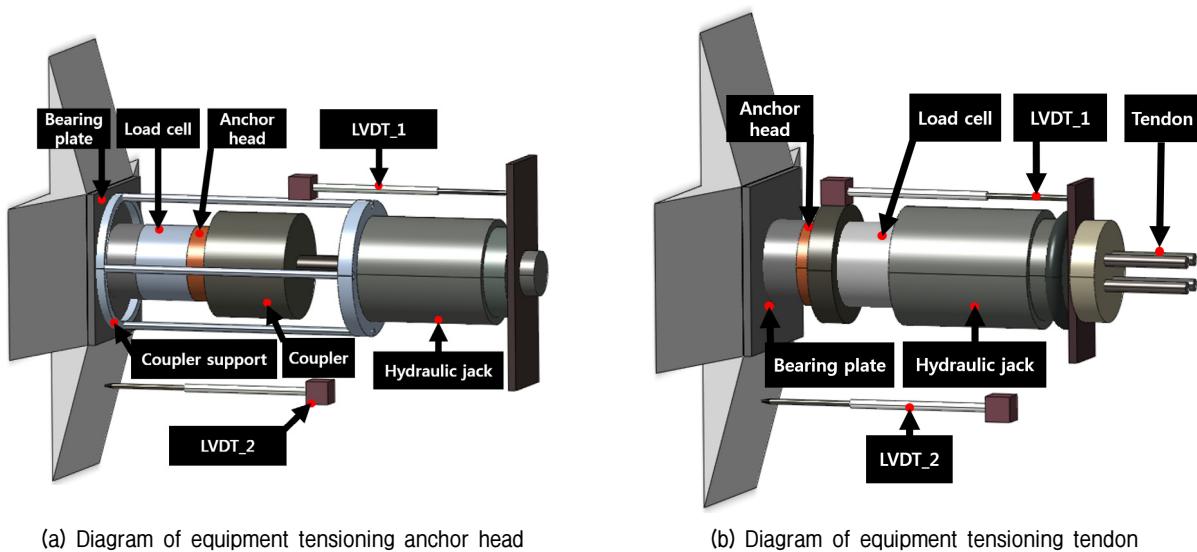


Fig. 3. Equipment diagram for lift-off test using different tensioning equipment

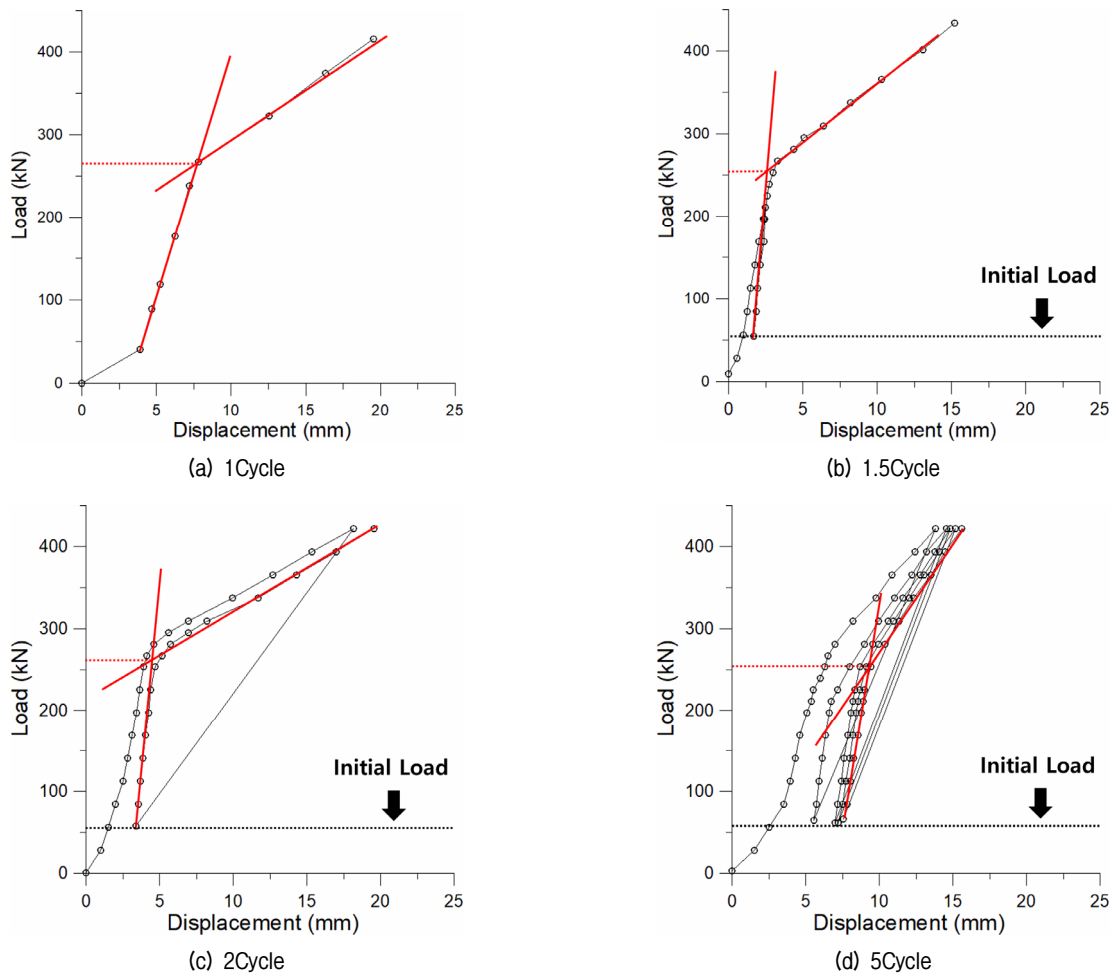


Fig. 4. Result of lift-off test with regard to initial load, load increment method, loading cycle

Table 2. Load increment, load and displacement measurement interval for lift-off test proposed in this study

Loading step	Measurement interval
$0.10 \times P_d$	Initial value
$0.30 \times P_d$	Immediately after loading
$0.50 \times P_d$	Immediately after loading
$0.70 \times P_d$	Immediately after loading
$0.75 \times P_d$	Immediately after loading
$0.80 \times P_d$	Immediately after loading
$0.85 \times P_d$	Immediately after loading
$0.90 \times P_d$	Immediately after loading
$0.95 \times P_d$	Immediately after loading
$1.00 \times P_d$	Immediately after loading
$1.02 \times P_d$	Immediately after loading
$1.04 \times P_d$	Immediately after loading
$1.06 \times P_d$	Immediately after loading
$1.08 \times P_d$	Immediately after loading
$1.10 \times P_d$	Immediately after loading

※ P_d = Design Load

2와 같이 초기하중에서 설계하중의 70%에 해당하는 하중범위에서는 설계하중의 20%, 70%~100%에 해당하는 범위에서는 설계하중의 5%, 100%~110%에 해당하는 범위에서는 설계하중의 2%를 증분하도록 제안하고자 한다.

4.3 하중 재하 및 제하 사이클에 따른 앵커의 거동

하중 재하 및 제하 사이클에 따른 앵커의 거동을 분석한 결과, Fig. 4의 (b), (c), (d)는 1 사이클 이후 사이클에서 변곡점 이전 직선의 기울기가 1 사이클보다 증가하는 것을 확인하였다. 이는 인장재의 탄성거동을 1 사이클보다 정확하게 대표하고 있음을 뜻한다. 또한, Fig. 4의 (d) 경우 사이클의 횟수가 증가할수록 정확한 소성 변위 값을 획득할 수 있음을 확인하였으나, 시험대상 앵커의 수량 및 현장에서의 시간적 제약을 고려하였을 때, 너무 많은 시간이 소요되며 사이클이 증가하여도 잔존

긴장력의 평가는 각각의 사이클마다 유사하게 추정되는 것을 확인하였다.

이에 본 연구에서는 현장에서의 시간적 제약, 하중 재하 및 제하 사이클을 더 많이 수행하여도 잔존긴장력의 평가는 유사하다는 점을 고려하여 Fig. 4의 (c)와 같이 하중 재하 및 제하 사이클을 수행하도록 제안하고자 한다. 이는 2 사이클의 하중 재하 및 제하 방법을 적용하여 (d)보다 시험에 소요되는 시간을 줄이는 동시에 소성변위 값을 획득할 수 있고 인장재의 탄성거동을 효율적으로 파악할 수 있다고 판단된다.

4.4 긴장재 긴장방식에 따른 앵커의 거동

Fig. 5의 (a), (b)에는 앵커헤드를 직접 긴장시켜 시험을 수행한 시험결과와 긴장재를 긴장시켜 시험을 수행한 시험결과를 나타내고 있다. (a)의 경우 초기하중으로 인해 약 1mm, (b)의 경우 약 4mm에 해당하는 변위가 발생한 것을 확인하였다. 이러한 차이는 긴장방식에 따라 시험에 필요한 장비의 수량이 다르며, 웬지의 물림 현상으로 인해 발생한 것으로 판단된다. 앞서 설명한 바와 같이 앵커시험에 사용되는 장비들은 낮은 유압으로 정렬 및 결합하는 과정이 필요하며 장비 간 이격의 제거 및 압축으로 인해 변위의 오차가 측정될 수 있다. 따라서 상대적으로 더 많은 시험장비가 필요하고 긴장재를 고정하기 위한 추가적인 웬지의 사용으로 (b)의 변위가 더 크게 측정되었다고 판단되며 (a)의 경우 앵커헤드를 직접적으로 긴장시키기 때문에 웬지의 물림 현상이 발생하지 않아 보다 정확한 변위가 측정된 것으로 판단된다.

4.5 연구결과를 통해 본 연구에서 제안하는 리프트오프 시험방법

본 연구에서는 도로공사 도로교통연구원 내에서 수행한 리프트오프 시험결과를 바탕으로 Fig. 6과 같이 리프트오프 시험의 수행방안과 평가방법을 제안하고자 한다.

초기 하중은 설계하중의 10%를 도입하여 시험장비 간의 이격 및 압축 등으로 발생하는 변위의 영향을 제거함으로써 앵커의 거동을 보다 정확하게 파악할 수 있으며 잔존긴장력을 평가함에 있어 오차의 원인을 줄이도록 제안하였다. 여기서 초기하중을 재하하는 동안 발생한 변위는 측정대상에서 제외한다.

초기하중에서 설계하중의 70%, 70%~100%, 100%~110%에 해당하는 하중까지 각각 설계하중의 20%, 5%, 2%씩 하중을 재하하도록 제안하였다. 본 연구에서는 문헌연구와 현장시험결과 분석을 통해 현장에서 적용하고 있는 하중증분 방법은 리프트오프가 발생하는 지점에서 변곡점이 발생하지 않음을 확인하였고 정확한 잔존긴장력을 측정하기 위해 설계하중의 5%에 해당하는 하중으로 증분하는 것이 적절하다고 판단하였다. 하지만 이는 시험에 많은 시간이 소요되며 잔존긴장력은 변곡점 부근의 데이터로 평가되기 때문에 위와 같은 하중 증분방법을 적용하여 초기하중으로부터 설계하중의 70%까지는 높은 하중증분으로 하중을 재하하여 현장의 시간적 제약을 고려할 수 있도록 제안하였다.

본 연구에서는 1 사이클 이후의 하중-변위 곡선이 인장재의 탄성거동을 보다 정확하게 대표하는 것을 확인하였으며 사이클이 증가하여도 잔존긴장력의 평가는 유

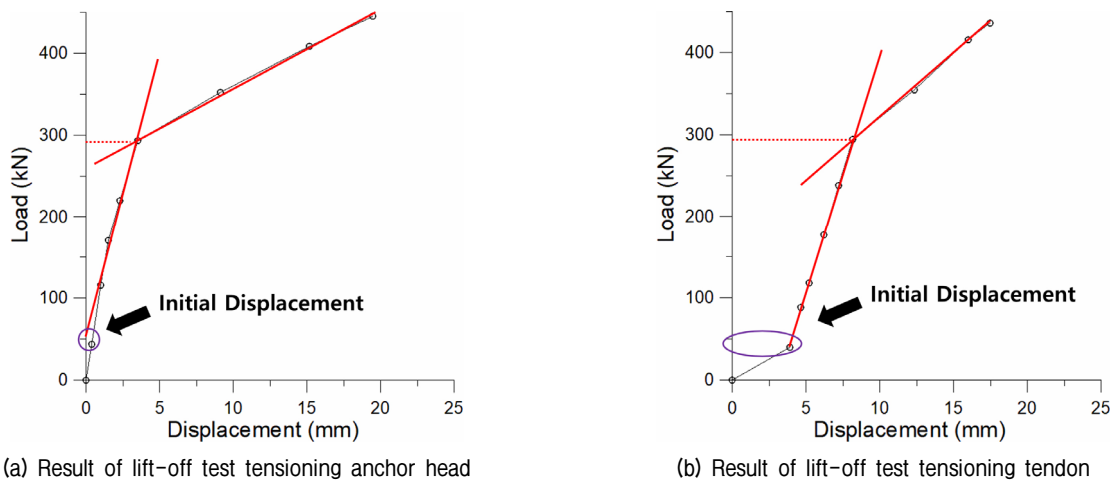


Fig. 5. Result of lift-off test using different tensioning equipment

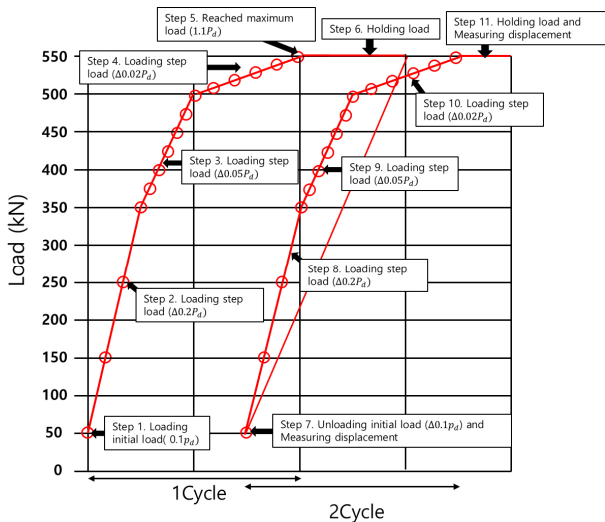


Fig. 6. Lift-off test method proposed in this study

사함을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 현장에서의 시간적 제약을 고려하여 2 사이클의 하중 재하 및 제하 방법을 제안하고자 한다.

추가로 하중이 최대 시험하중에 도달하면 일정 시간 하중을 유지한 후 초기하중으로 제하한 뒤, 변위를 측정 하도록 제안하였다. 이러한 변위는 소성변위, 기계오차, 정착구과단의 미세 변위 등을 판단할 수 있는 정보를 제공해 줄 것이라고 판단하였다.

5. 결론

본 연구에서는 현장에서의 시간적 및 공간적 제약을 고려하여 효율적인 리프트오프 시험방안을 제시하고자 도로공사 도로교통연구원 내에 기시공된 앵커를 대상으로 리프트오프 시험을 수행하였으며 그 결과를 요약 하면 다음과 같다.

- (1) 설계하중의 10% 또는 30~50kN에 해당하는 하중을 초기하중으로 적용한 리프트오프 시험방법은 시험장비 간의 이격 및 압축 등으로 발생하는 변위의 영향을 제거함으로써, 앵커의 거동을 보다 정확하게 파악할 수 있으며 잔존긴장력을 평가함에 있어 오차의 원인을 줄일 수 있다.
- (2) 현장에서 적용하고 있는 하중증분 방법은 리프트오프가 발생하는 지점에서 변곡점이 발생하지 않음을 확인하였으며 이에 본 연구에서는 잔존긴장력을 정확하게 측정하기 위해 설계하중의 5%에 해당하는

하중으로 증분하였다. 하지만 이는 시험에 많은 시간이 소요되며 잔존긴장력은 변곡점 부근의 데이터로 평가되기 때문에 초기하중에서 설계하중의 70%, 설계하중의 70%~100%, 100%~110%에 해당하는 하중증분은 각각 설계하중의 20%, 5%, 2%로 적용 하도록 제안하고자 한다.

- (3) 1 사이클, 1.5 사이클, 2 사이클, 5 사이클의 하중 재하 및 제하를 수행한 결과 1 사이클 이후의 하중 변위 곡선이 인장재의 탄성 거동을 보다 정확하게 대표하였으며 사이클이 증가하여도 잔존긴장력의 평가는 유사함을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 현장에서의 시간적 제약을 고려하여 2사이클의 하중 재하 및 제하방법을 제안하였다.
- (4) 긴장방식에 따른 앵커의 거동을 확인한 결과 앵커 헤드를 직접 긴장시키는 방식은 웬지의 물림 및 시험장비로 인한 변위의 오차가 적게 발생하여 긴장재를 긴장시키는 방식보다 정확한 변위가 측정되는 것을 확인하였다.
- (5) 최종적으로 본 연구에서는 Fig. 6과 같이 리프트오프 시험을 수행하도록 제안하고자 한다. 이는 시험 대상 앵커의 수량, 시험 소요 시간, 현장조건 등을 고려하였을 때, 기존의 리프트오프 시험방법보다 효율적이며 시험결과를 보다 정확하게 평가할 수 있다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국도로공사 도로교통연구원의 지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌 (References)

1. British Standards Institution (1989), "British Standard Code of Practice for Ground anchorages", BS 8081.
2. Civil Engineering Department Hong Kong (1997), "Model Specification for prestressed ground anchors", Geotechnical Control Office, GEOSPEC1.
3. Deutsche Industrie Normen (1990), "Ground Anchorages Design, construction and testing", DIN-4125.
4. Fujiwara, Y. and Sakai, T. (2016), "A Study of a Lift-off Test Method for Ground Anchors", Journal of JSCE, Vol.4, pp.106-117.
5. Ground Anchor Technology Association (1997), "Design-Construction Guideline for Ground Anchor".
6. Kim, N.K. (2001), "Pullout Capacity of Ground Anchors in Weathered Soil", Journal of The Korean Geotechnical Society, Vol.17, No.4,

pp.231-239.

7. 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.
8. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010), "Ground Anchor Design·Construction and Maintenance Manual", In Korean.
9. Post Tensioning Institute (1996), "Recommendations for Prestressed Rock and Soil Anchors, 3rd ed", Post Tensioning Institute.
10. Sabatini, P.J., Pass, D.G., and Bachus, R.C. (1999), "Geotechnical Engineering Circular NO. 4 Ground Anchors and Anchored systems", U.S Department of Transportation, FHWA-IF-99-015.

Received : April 19th, 2019

Revised : May 2nd, 2019

Accepted : May 3rd, 2019