19CTAP
-C1302
46-03

앵커긴장력상시육안확인장치개발

최종보고서

2020

국토교통과학기술진흥원

국토교통부

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )발간등록번호()

국토교통기술촉진연구사업 제3차 연도 최종 보고서

R&D / ∘∘∘∘-∘∘∘∘

앵커 긴장력 상시 육안확인 장치 개발 최종보고서

2020. 02. 21.

주관연구기관 / 동양대학교 산학협력단
공동연구기관 / 우리기술개발㈜
공동연구기관 / ㈜그라운드이엔씨
공동연구기관 / ㈜동성엔지니어링
공동연구기관 / 서울과학기술대학교 산학협력단

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

'앵커 긴장력 상시 육안확인 장치 개발'(연구개발 기간 : 2017. 04. ~ 2019. 12.) 과제의 최종보고서 1부를 제출합니다.

2020. 02. 21.

주관연구기관명 : 동양대학교 산학협력단 (대표자) 박진표 (인)

공동연구기관명 : 우리기술개발㈜ (대표자) 김호규 (인)

공동연구기관명 : ㈜그라운드이엔씨 (대표자) 김성규 (인)

공동연구기관명 : ㈜동성엔지니어링 (대표자) 이상규 (인)

위탁연구기관명 : 서울과학기술대학교 산학협력단 (대표자) 권용재 (인)

주관연구기관책임자: 동양대학교 산학협력단 교수 정혁상
공동연구기관책임자: 우리기술개발㈜ 대표이사 김호규
공동연구기관책임자: ㈜그라운드이엔씨 대표이사 김성규
공동연구기관책임자: ㈜동성엔지니어링 과장 백유진
위탁연구기관책임자: 서울과학기술대학교 산학협력단 교수 이용주

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	19CTAP-C130246-03	해당 단계 연구 기간	19.01.01 ~ 19.12.31	단계구분	총 단계
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	사회이슈해결			
연구과제명	대과제명	앵커 긴장력 상시 육안확인 장치 개발			
	세부과제명	-			
연구책임자	정혁상	해당단계 참여연구원 수	총: 18 명 내부: 18 명 외부: 0 명	해당단계 연구비	정부: 226,000 천원 민간: 76,000 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 302,000 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 18 명 내부: 18 명 외부: 0 명	총 연구비	정부: 600,000 천원 민간: 202,000 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 802,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	동양대학교 산학협력단, 우리기술개발㈜, ㈜그라운드이엔씨, ㈜동성엔지니어링			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: 서울과학기술대학교 산학협력단			연구책임자: 이용주	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정보	생물자원	정보	실물
등록·기탁 번호	2	출원4 /등록 2									

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

☞ 앵커 긴장력 상시 육안확인장치를 개발하여 앵커의 성능을 단계별로 확인하고 시설물(사면, 가시설)의 위험을 예측·예방함으로서 안전을 확보하여 궁극적으로는 국민의 생명과 재산을 보호함을 목표로 한다.

■ 신설 및 노후 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 및 시스템 개발
- 특허 출원 건수 4건, 등록 건수 2건, 논문 게재 건수 2건
- 육안확인장치 시제품 제작 2건

■ 육안확인장치 적용에 따른 앵커 설계기법 및 유지관리지침 개발
- 신설 및 노후 앵커 육안확인장치 설계기법 및 시방서, 가이드라인 제시

■ 노후된 앵커 긴장력 재확보 장치 개발
- 노후 앵커 긴장력 재인장 장비 및 육안확인장치 시공장비 시제품 제작 1건

■ 실용화 및 사업화
- 실제 현장에 육안확인장치를 적용함으로서 실용화 및 사업화 단계 돌입

보고서 면수

〈 국문 요약 〉

연구의 목적 및 내용	상시 앵커의 긴장력을 육안으로 확인할 수 있는 장치를 개발하여 앵커의 성능을 단계별로 확인하고 시설물(사면, 가시설)의 위험을 예측·예방함으로서 안전을 확보하여 궁극적으로는 국민의 생명과 재산을 보호함을 목표로 한다. 본 연구개발의 내용은 다음과 같다. ■ 국내·외 사용중 앵커 두부 정착방식 조사 ■ 육안확인장치의 탄성반력체 규격화 ■ 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 시스템 개발 ■ 노후된 앵커 긴장력 재확보 장치 개발 ■ 앵커의 장기거동 특성 분석 ■ 긴장력 상시 육안확인장치 적용 설계법 및 시공법 개발 ■ 육안확인장치 적용에 따른 유지관리지침 제시 ■ 제품생산 및 현장적용 ■ 건설신기술 신청
연구개발성과	■ 신설 및 노후 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 및 시스템 개발 ■ 육안확인장치 적용에 따른 앵커 설계기법 및 유지관리지침 개발 ■ 노후된 앵커 긴장력 재확보 장치 개발 ■ 실용화 및 사업화
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	기존에는 모든 앵커의 성능을 조사하는 것이 어려워서 표본조사로 대체하고 있으나 앵커 긴장력 상시 육안확인 장치 개발로 인해 사면, 가시설 등의 시설물에 적용된 앵커의 성능을 혁신적으로 확인할 수 있고 전수조사 또한 가능하게 된다. 또한 노후 앵커로 인한 사면과 가시설의 붕괴를 사전에 예측하고 그로 인해 발생할 수 있는 재산·인명 피해를 최소화할 수 있을 것으로 기대된다. 더욱이 노후 앵커에 수행해 오던 일반점검, 정기점검, 정밀안전진단 등의 비용을 감소할 수 있어 경제성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다. 손실된 앵커의 긴장력을 재확보하여 앵커의 생애주기를 연장시킴으로써 앵커를 통해 안정성을 확보하고 있는 구조물의 사용수명 또한 연장되어 그로 인한 경제적·환경적 효과가 기대할 수 있다.

핵심어 (5개 이내)	사면붕괴	가시설붕괴	그라운드앵커	유지관리	육안확인장치

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	The main purpose of this research is to develope visual checking device for the loss of anchoring forces. This checking system enables to identify the anchoring performance for ground structures such as slopes and retaining walls so that all the risks can be predicted and prevented as early as possible. Consequently, it can guarantee safety of all the ground anchoring structures so that people can live safely and protect their properties. ■ Review of anchoring head system in domestic and international situations ■ Specification of elastic reaction in visual checking system ■ Development of visual checking system for anchor pretension ■ Development of recovering device for old-used anchor pretension ■ Analysis of long-term characteristic of anchor ■ Design and construction methods for application of visual checking system ■ Maintenance guideline for application of visual checking system ■ Production of device and its field application ■ Proposal for new construction technology
Results	■ Development of visual checking system for new and old anchor pretension ■ Guidelines of design and maintenance methods for application of visual checking system ■ Development of recovering pretension device for old-used anchoring system ■ Development of business model for practical use
Expected Contribution	This visual checking device can be expected as following contributions: ■ can predict the event of collapse of the most old-used anchors; ■ minimize the damage of ground structure and the risk of human life; ■ can reduce the cost of general maintenance and inspection of safety; ■ can guarantee the stability through extension of life-time by re-pretension of lost anchor forces; ■ positive environmental and economic effects.

Keywords	Slope failure	Collapse of retaining walls	Ground anchor	Maintenance	Visual checking device

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1
1.1 연구개발 목적 ····· 1
1.2 연구개발의 필요성 ····· 1
1.3 연구개발 범위 ····· 5
2. 국내외 기술 개발 현황 ····· 7
2.1 국내 현황 ····· 7
2.2 국외 현황 ····· 9
3. 연구수행내용 및 성과 ····· 10
3.1 연구수행내용 ····· 10
3.1.1 그라운드 앵커의 정의 및 구성 ····· 10
3.1.2 그라운드 앵커의 설계 및 유지관리 기준 ····· 11
3.1.3 그라운드 앵커의 긴장력 손실 현황 ····· 19
3.1.4 국내외 앵커 긴장력 확인 장치에 관한 사례 조사 ····· 30
3.1.5 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 개발을 위한 기초조사 ····· 36
3.1.6 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 개념설계 ····· 48
3.1.7 신설 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 ····· 57
3.1.8 신설 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 규격화 ····· 60
3.1.9 신설 앵커 육안확인장치 탄성반력체 구조적 안정성 검토 ····· 73
3.1.10 신설 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 현장실험 및 적용 ····· 76
3.1.11 신설 앵커 육안확인장치의 경제성 분석 및 설계기법 개발 ····· 108
3.1.12 노후 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 ····· 124
3.1.13 노후 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 규격화 ····· 127
3.1.14 수치해석을 통한 노후앵커 구조적 안정성 검토 ····· 132
3.1.15 노후 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 현장실험 ····· 136
3.1.16 노후 앵커 육안확인장치의 경제성 분석 및 설계기법 개발 ····· 144
3.2 연구성과 ····· 162
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 168
5. 연구개발성과의 활용 계획 ····· 170
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 170
7. 연구개발성과의 보안등급 ····· 170
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황 ····· 170
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ····· 171
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 171
11. 기타 사항 ····· 172
12. 참고 문헌 ····· 172

제1장. 연구개발과제의 개요

1.1 연구개발 목적

- 그라운드 앵커는 고강도의 강선에 긴장력을 주어 횡방향 또는 연직방향의 구속력을 증대시켜 전단강도를 증진시키는 공법으로 1980년대 국내에 도입된 이후 수 많은 사회 인프라 건설에 사용되고 있으며, 그 동안 다양한 정착방식 및 시공방법의 개선이 이루어져 왔다.

- 전 국토의 70% 이상이 산지로 이루어진 우리나라는 사회 인프라 시설을 설치하는데 있어 절토사면의 비율이 외국에 비해 매우 높은 편이며, 일반국도의 경우 12,650여개의 절토사면이 전국적으로 분포되어 있는 것으로 집계되고 있고, 국토교통부(2015)에 따르면 도로의 신설로 인해 해마다 그 수가 증가하는 것으로 나타나고 있다.

- 뿐만 아니라 이러한 그라운드 앵커는 도심지 옹벽, 흙막이 가시설 공사 등 비탈면 보강에 사용되고 있지만, 국내에 앵커가 도입된지 30년이 지나고 노후화된 앵커로 인한 피해 사례가 증가하고 있다. 더욱이 최근 들어 이상기후 현상으로 인한 국지성 폭우 또한 빈번히 발생하고 있으며, 우면산 산사태와 같은 대규모의 산사태, 가시설 붕괴 등이 발생하여 그로 인한 인명 · 재산 피해는 그 수와 금액이 증가하고 있는 추세이다.

- 이러한 문제들로 인해 따른 그라운드 앵커 파괴 메커니즘에 대한 연구 및 정착 방식에 따른 축력 거동에 대한 연구는 많은 연구자들에 의해 이루어졌지만, 장기거동에 관한 연구는 현장시험의 한계로 인해 활발히 이루어지지 못하고 있다.

- 뿐만 아니라, 정밀점검 결과 사용연한이 오래된 앵커를 중심으로 설계 긴장력의 손실이 계측되어, 인프라 시설의 안정성이 우려되는 실정이다.

- 현재의 앵커 공법이 적용된 구조물의 안정성은 관리기준에 따른 정밀점검을 통해 이루어지고 있지만, ① 접근성의 어려움, ② 비용의 문제로 인해 경제성이 떨어지는 실정이며, ③ 전체 앵커의 일부 수량에 하중계를 설치하여 주기적으로 하중을 계측하는 방법으로 이루어지고 있다.

- 하지만 실제 앵커 구조물의 안정성을 평가하기 위해서는 표본조사가 아닌 전수조사를 통해 점검 결과의 정밀도를 높여야 하는 과제를 갖고 있다.

- 이에 따라, 본 과제를 통해 앵커의 긴장력을 상시 육안으로 확인할 수 있는 장치를 개발하고, 현재 신설 및 운영중인 앵커에 육안확인장치를 설치하는 시공법을 개발하고자 한다.

1.2 연구개발의 필요성

- 최근 우리나라는 도심지 지반함몰, 대구 삼덕동 흙막이 가시설 붕괴사고, 구의역 지하철 사고 등 다양한 안전사고에 노출되어 국민들이 안전에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 건설현장에서의 사고는 대규모 재산 · 인명 피해를 유발하여 그에 따른 유지관리 및 예방책이 화두로 대두되고 있는 실정이다.

▪ 그 동안 우리나라는 산업화 시대를 거치며 개발과 건설에 초점이 맞춰져 있었지만, 인구증가의 둔화, 의식수준의 향상, 환경에 대한 관심 등에 의해 개발뿐만 아니라 현재 사용되고 있는 구조물 및 시설물의 안전진단, 사전 검측, 보수보강 등에 관심을 기울이고 있는 실정이다.

▪ 앵커공법은 80년대 국내에 도입된 이후 많은 건설현장에서 사용되어 왔지만, 초기에 시공된 앵커의 경우 당시의 낙후된 시공기술이나 방식기술로 시공되었기 때문에, 공용기간이 장시간 지나면서 앵커 인장재의 파단이나 앵커두부의 돌출, 비탈면 · 구조물 등의 변형 · 손상 문제가 발생하고 있으며, 앵커로 안정성을 확보하고 있는 공용 구조물 파손이라는 2차 피해로 직결되고 있다.



(a) 자유장부 파괴로 인한 앵커 파괴



(b) 낙석으로 인한 앵커파괴



(c) 앵커 파괴로 인한 사면 붕괴 사례



(d) 앵커 파괴로 인한 지반 붕괴 사례

그림 1-1 그라운드 앵커의 손상에 의한 붕괴사례

▪ 그럼에도 불구하고, 2년 이상 사용가능 하도록 방부식 처리를 한 영구앵커가 적용된 비탈면 및 구조물은 영구구조물로 취급되어 일상점검의 대상이 되지 않고 있다. 즉, 공용 구조물의 안정성 확보에 중요한 역할을 하고 있음에도 앵커에 대한 유지관리나 정밀안전진단에 대한 구체적인 기준이 수립되지 않고 있다.

▪ 앞서 언급한 바와 같이 국내에서는 그 동안 주로 신설되는 구조물의 안정성에 초점이 맞추어져 있었다면, 현재는 기존 사용중인 앵커의 점검 및 유지관리에 관한 과업이 급격히 늘어나고 있는 추세이다.

▪ 이는 최근 6년간 (2012.01~2017.10) 나라장터를 통해 발주된 과업들을 분석하였을 때 그 경향을 뚜렷이 알 수 있다.

▪ 자료에 따르면, 최근 6년간 비탈면 관련된 공사는 총 223건의 공사에 약 710억의 예산이 소요되었다.

▪ 발주기관별로 구분하였을 때, 한국도로공사에서 가장 많은 비탈면 관련 예산을 소요하였으며, 국토교통부 산하 지방국도관리청 및 지자체 등에서 발주되었다.

▪ 연도별로 분석하였을 경우, 2014년에 약 220억으로 가장 많은 비탈면 관련 공사가 실시되었으며, 약 70%가량 한국도로공사가 발주한 공사였다(그림 1-2).

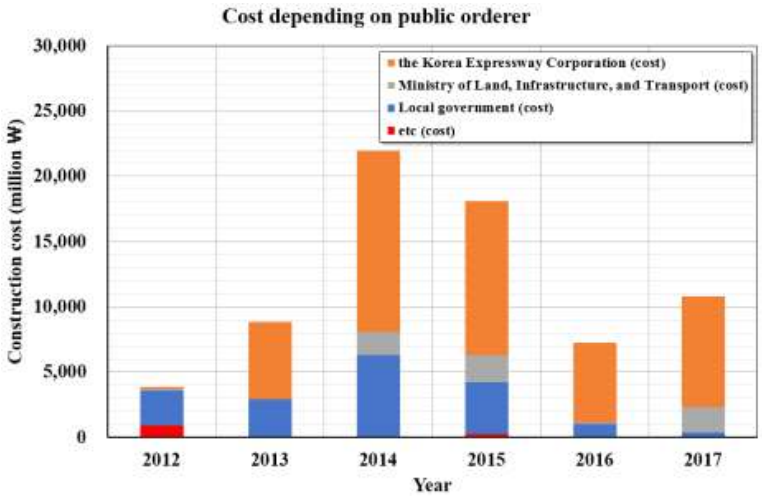


그림 1-2 발주기관에 따른 연도별 비탈면 관련 예산

▪ 이를 시공, 복구, 정밀점검, 유지관리 4가지 공사 유형으로 분류하였으며(그림 1-3), 비탈면 시공이 예산 중 가장 큰 부분을 차지하고 있지만, 그 건수는 2014년 이후 지속적으로 감소하는 추세이다.

▪ 하지만, 정밀점검 및 유지관리의 예산과 건수는 2015년 이후 지속적으로 증가하고 있는 추세이며, 특히 비탈면 정밀점검에 관한 과업은 2016년 이후 그 건수가 급격히 증가하고 있는 실정이다.

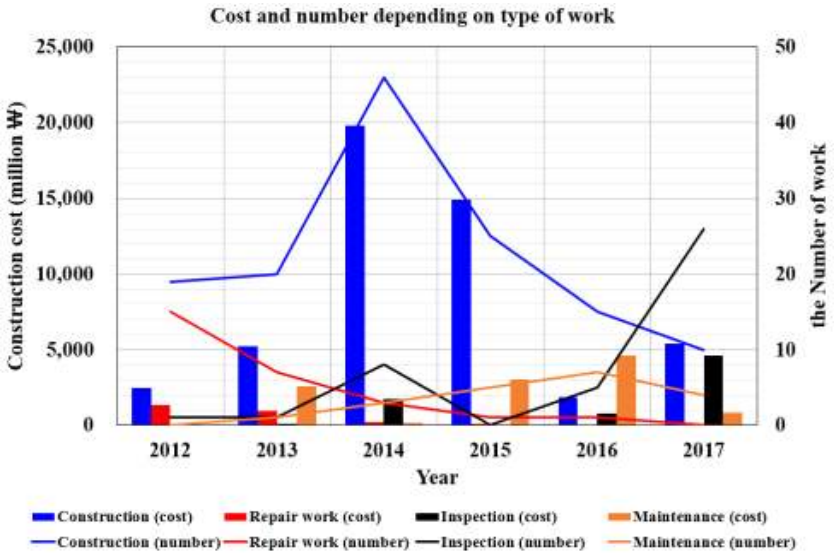


그림 1-3 공사 유형에 따른 연도별 비탈면 관련 과업 소요 예산 및 건수

▪ 지역별로 비교해 보면, 강원도와 경상북도에서 가장 많은 비탈면 관련 예산이 사용되었으며, 경기도, 전라북도, 전라남도, 경상남도 순으로 나타났다(그림 1-4).

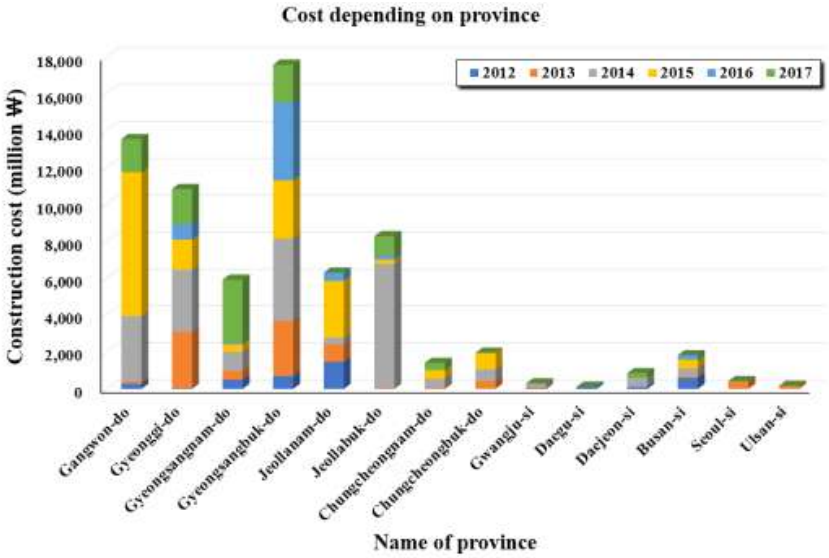


그림 1-4 지역에 따른 연도별 비탈면 관련 과업 소요 예산

- 또한, 적용 구조물에 따른 연도별 사용 예산과 건수의 분석결과, 고속도로 비탈면 유지관리를 위해 가장 많은 예산이 사용되고 있지만, 최근 2017년 들어 국도 및 일반도에서 매우 많은 건수의 비탈면 관련 과업이 발주되고 있는 것을 알 수 있었다(그림 1-5).

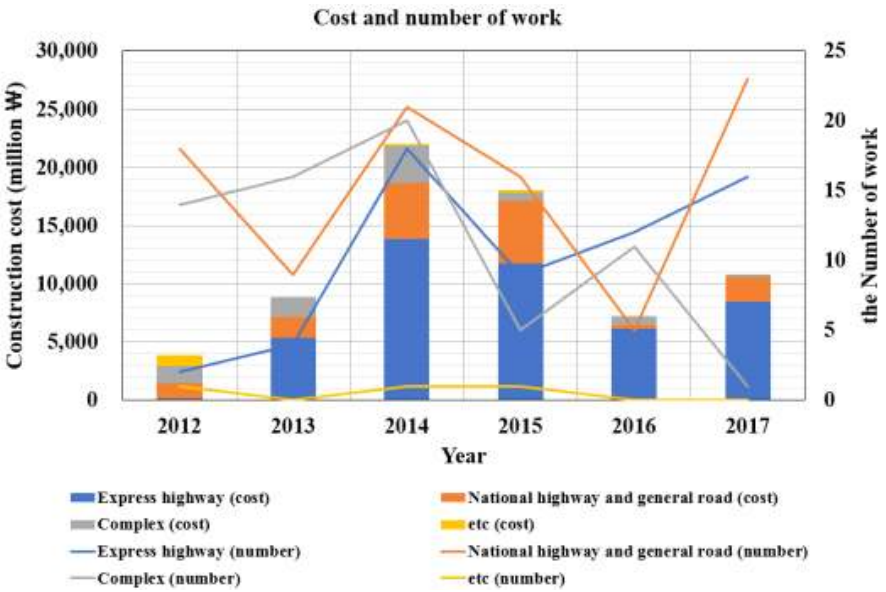


그림 1-5 적용 구조물에 따른 연도별 비탈면 관련 과업 소요 예산 및 건수

- 따라서, 현재 많은 발주기관에서 앵커로 구조적 안정성을 확보하고 있는 비탈면 구조물에 대해 우려하고 있으며, 그에 따라 정밀점검 및 유지관리에 대한 과업을 지속적으로 수행하고 있는 추세이다.

- 현재 앵커의 정밀안전진단과 대책분야에 대해 많은 기업에서 연구개발을 진행하고 있지만 앞으로 더욱더 발전해야할 필요가 있다고 판단된다. 또한 앵커의 잔존긴장력을 확인을 통해 설계긴장력과 증감이 있는 경우 비탈면 · 구조물 전체의 안정성을 평가하는 기술의 개발이 필요하다고 판단된다. 또 일부 앵커만 기능이 저하했을 때는 교체여부와 비탈면 전체의 안정성을 평가하여 적절한 대응이 가능한지를 평가하는 것이 필요하다.

▪ 이러한 기술들은 앵커의 잔존긴장력을 쉽게 측정할 수 있는 기술로 초석이 되어 발전할 수 있으며, 본 연구개발을 통해 개발될 신설/노후 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 및 재인장 장치가 그 역할을 할 수 있을 것이다.

1.3 연구개발 범위

▪ 본 과제를 통해 현재 국내에서 수행되고 있는 앵커 비탈면의 정밀점검 및 유지관리를 보다 간편하게 하여 예산을 절감할 뿐만 아니라, 앵커의 전수조사가 가능하여 앵커의 긴장력 손실로 인한 피해를 사전에 예방 · 조치할 수 있으며, 본 연구개발의 범위는 다음과 같다.

(1) 그라운드 앵커에 대한 이론적 고찰

▪ 그라운드 앵커의 정의 및 구성, 설계 및 유지관리 기준에 대한 이론적 고찰을 수행한다.

(2) 그라운드 앵커의 긴장력 손실 현황

▪ 그라운드 앵커의 긴장력 손실에 대한 원인 분석과 이에 따른 피해사례, 국내 시공된 그라운드 앵커의 잔존긴장력 현황 등을 파악한다.

(3) 국내외 그라운드 앵커의 긴장력 확인 장치 사례조사

▪ 본 연구개발에서 개발하고자 하는 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 외 현재 앵커의 긴장력을 확인할 수 있는 시스템에 대한 사례조사를 수행한다.

(4) 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 개발을 위한 기초조사

▪ 육안확인장치 시스템의 개발을 위한 ① 기존 앵커 두부 정착방식 조사, ② 탄성반력체의 종류 분석, ③ 수치해석 모델링 기법 분석 등을 수행한다.

(5) 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 개념설계

▪ 개념설계를 통해 육안확인장치의 부품을 구성하고, 시제품을 제작한다.

▪ 또한 제작된 육안확인장치의 적용성에 대한 검증을 신설앵커와 노후앵커로 구분하여 계획한다.

(6) 신설 앵커 긴장력 상시 육안확인장치

▪ 신설 앵커 육안확인장치에 대한 개념설계를 수행하고, 육안확인장치의 구성품 중 탄성반력체의 제원을 설정한다.

▪ 탄성반력체와 육안확인장치의 규격화를 위해 실내 앵커인장실험기에 대한 설계 및 제작을 수행하고, 육안확인장치 시스템의 규격화 실험을 수행한다. 또한 실내실험 결과분석을 통한 신설 앵커 육안확인장치의 적용성 평가를 수행하며, 이에 따른 개선사항을 도출하여 육안확인장치 시스템을 개선한다.

(7) 탄성반력체의 구조적 안정성 검토

▪ 수치해석을 통해 탄성반력체의 구조적 안정성을 검토한다.

(8) 신설 앵커 긴장력 상시 육안확인장치의 경제성 분석 및 설계기법 개발

▪ 신설 앵커 육안확인장치의 원가분석 및 LCC 분석을 수행하며, 육안확인장치 시스템에 대한 설계기법, 설계 프로세스, 시방서 및 가이드라인, 상세도면을 작성한다.

(9) 노후 앵커 긴장력 상시 육안확인장치

▪ 이미 사용중인 앵커에 적용할 수 있게 노후 앵커 육안확인장치에 대한 개념설계를 수행하고, 탄성반력체를 설치할 수 있는 재인장 장비를 제작한다.

▪ 노후 앵커 육안확인장치에 적용될 탄성반력체를 선정하고, 실내실험을 통해 탄성반력체와 육안확인장치의 규격화를 수행하며, 이에 따른 적용성 평가 및 개선사항을 도출한다.

(10) 수치해석을 통한 노후앵커 구조적 안정성 검토

▪ 수치해석을 통해 사용중인 앵커에 대한 구조적 안정성을 검토하고, 긴장력 손실에 대한 원인을 분석한다.

(11) 노후 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 현장실험

▪ 현장실험을 위한 Test-bed를 구축하고, 재인장 장비를 활용한 노후 앵커 육안확인장치의 현장 적용성을 평가한다.

(12) 노후 앵커 긴장력 상시 육안확인장치의 경제성 분석 및 설계기법 개발

▪ 노후 앵커 육안확인장치의 원가분석 및 LCC 분석을 수행하며, 육안확인장치 시스템에 대한 설계기법, 설계 프로세스, 시방서 및 가이드라인, 상세도면을 작성한다.

2.1 국내 현황

○ 특허

☞ 전 세계 연도별 특허출원(등록) 추이

- 한국과학기술정보연구원 NDSL(www.NDSL.kr) 데이터베이스에 관련검색어 'Ground anchor & Monitoring & Maintenance'로 수록된 관련 특허 12건의 특허를 대상으로 국토교통과학기술진흥원(KAIA)의 LANDSCOPE을 이용하여 분석을 수행하였다.

- 그 결과, 전 세계적으로 1981년 1건으로 시작하여 2014년 1건을 마지막으로 나타났다.



그림 2-1 전 세계 연도별 특허출원(등록) 추이

☞ 국적별 특허동향

- 분석결과 전체 16개의 특허 중 KOR102008004845 7이 1건의 특허를 출원(등록)하여 전체 6.25%로 가장 많은 비중을 차지하고 있다. KOR1020120033036은 1건으로 6.25%, USP198307RE31312는 1건으로 6.25%를 특허를 출원 및 등록하고 있다.



그림 2-2 국적별 특허동향

☞ 기술개발 추이

- 최근 10년간 세부기술 G08B은 1995년부터 시작하여 2014년에 총 6건, 세부기술 G01L은 1995년 1건으로 시작하여 2014년 총 3건, 세부기술 G01N은 1995년 시작하여 2014년 총 1건을 나타내고 있다.



그림 2-3 연도별 기술분야별 특허 수

▪ 연도별 주요국 출원(등록) 현황의 경우 최근 10년간 KOR10200800048457은 1995년 시작하여 2014년 총 1건, KOR10201200033036은 1995년 시작하여 2014년 총 1건, USP198307RE31312은 2005년 시작하여 2014년 총 1건을 나타내고 있다.



그림 2-4 연도별 주요국 현황 추이

☞ 특허 포트폴리오 분석

▪ 두 가지 특허 포트폴리오 분석을 수행하였다. 좌측의 포트폴리오 분석에서는 출원인수와 출원건 수 변화의 상관관계를 통해 기술의 위치를 살펴보고, 우측 분석에서는 출원수와 출원 수 증가율의 상관관계를 통해서 기술의 위치를 살펴보고 있다. 두 분석에서 구의 크기는 특허의 누적 출원건수를 의미하고 구간은 선의 시작부터 기술의 생성기, 성장기, 발전기, 성숙기, 쇠퇴기로 기술의 진화를 나타낸다.

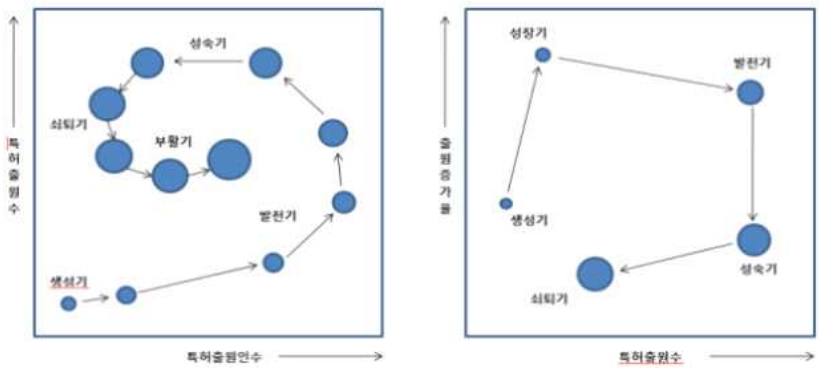


그림 2-5 특허 포트폴리오 분석

2.2 국외 현황

☞ 미국

- 토사앵커와 암반앵커 모두 고강도의 지지력을 얻어내고 부식을 방지하는 기술을 개발하였으며, 케이싱을 사용하여 천공 후 앵커체를 삽입하고, 시멘트 밀크를 주입하는 공정의 앵커공법에서 벗어나 인장재(tendon)에 관한 신소재의 개발, 가설에서 영구 앵커의 적용, 기술심사 증명의 취득 등 시공기술과 품질의 향상에 주력하고 있다.

☞ 일본

- '사면 안정 협회', '그라운드 앵커 협회' 등은 사면 붕괴에 대한 대책, 틈막이 공사, 방토 공사, 옹벽 공사, 내진 보강 등 각종의 사면 안정 공법을 중심으로 최첨단의 기술을 폭넓게 사회에 제공하고 풍부한 실적을 갖고 있으며, 특히 영구 앵커가 적용된 ASS(the Association of Slope Stabilization)공법은 경제성과 내구성을 만족하는 동시에 녹화 등 미관도 수려한 공법으로 널리 적용 중에 있다.

- SHS(Super Harmony System) 영구앵커 협회에서는 SHS 영구앵커 공법을 비롯하여 다양한 그라운드 앵커 공법을 보유하고 있으며, 영구앵커공법은 물론, 틈막이 앵커 공법이나 록볼트 외 암반 붕괴 방지 공법, 내진보강 등 다양한 사면 상황에 적절한 앵커의 개발 및 보급에 활발한 활동을 하고 있음. KAJIMA 건설은 현장으로 용이하게 조립 가공할 수 있는 여러 가지 영구앵커를 개발하였으며, 그 중 Super MC 앵커(Spiral Reinforced Multiple Compressive Anchor)는 스파이럴 보강근을 배치하여 앵커 지지력을 비약적으로 향상시켰던 것이 특징이다.

☞ 유럽

- 유럽 국가들의 경우 시공에 있어서의 천공방법과 인장재의 재료 개발, 특수조건하에서의 주입기술, 특수지반에 대응하는 앵커의 시공방법 개발 등에 초점을 맞추고 있으며, 지반 굴착에 있어서도 드릴 굴착 장치와 장비의 발달에 의해 높은 힘과 토크를 전달하고 앵커 머리 부분의 회전 타격 방식(rotary percussion)의 도입으로 앵커의 안전율을 증대시키고 있는 추세이다.

☞ 홍콩

- 1977년부터 '지반공화국'이라는 산사태 전담부서를 설치하여 항공사진 분석을 통해 지형의 변화를 추적하고 절토사면에 대한 정보를 전산화하여 관리하고 있으며, 57,000개의 절개지 보강에는 대부분이 다양한 형식의 그라운드 앵커와 옹벽이 적용되어 지속적인 유지관리를 수행하고 있다.

☞ 소결

- 최근 국외에서도 비교적 에 앵커의 하중감소를 확인하기 위한 현장조사 및 시험들이 수행되고 있으나 그 비용이 크게 발생하고 있다. 따라서, 육안으로 하중감소 여부를 쉽게 확인할 수 있는 경제적인 방법이 절실히 요구되고 있는 상황이다.

3.1 연구수행내용

3.1.1 그라운드 앵커의 정의 및 구성

(1) 그라운드 앵커 공법

- 그라운드 앵커 공법은 구조물을 지반에 정착시키기 위하여 고강도의 강재에 높은 긴장력을 도입하여 구조물에 횡방향 또는 연직방향으로 구속력을 가하는 공법이다.

- 긴장력은 앵커 정착장과 대좌 또는 수압판에 의해 유지되며 정착장이 연약하거나 대좌 또는 수압판이 견고하지 못할 경우 하중 손실이 발생된다.

- 일반적으로 가설구조물이나 영구 옹벽구조물에 대좌가 사용되고 사면보강용 영구앵커 법면보호용으로 수압판이 사용된다.

(2) 그라운드 앵커의 구조 및 하중전이

- 그라운드 앵커는 ① 헤드부, ② 자유부, ③ 정착부로 구성되어 있다. 헤드부는 정착구로서 헤드 및 웨지, 지압판 등으로 구성되어 있으며, 두부에 가해지는 하중을 지표면 또는 구조물에 전달시키는 역할을 한다.

- 일반적으로 인장재는 강연선 또는 강봉이 사용되며 앵커 자유부는 쉬스관이 씌워져 있어 그라우트와 부착이 일어나지 않기 때문에 앵커 긴장력을 정착장에 그대로 전달할 수 있다.

- 앵커 정착부는 인장재가 그라우트에 노출되어 있거나 내하체가 있어 하중을 그라우트로 전이시킬 수 있으며, 그라우트와 지반 사이 마찰력을 이용해 지반에 정착된다.

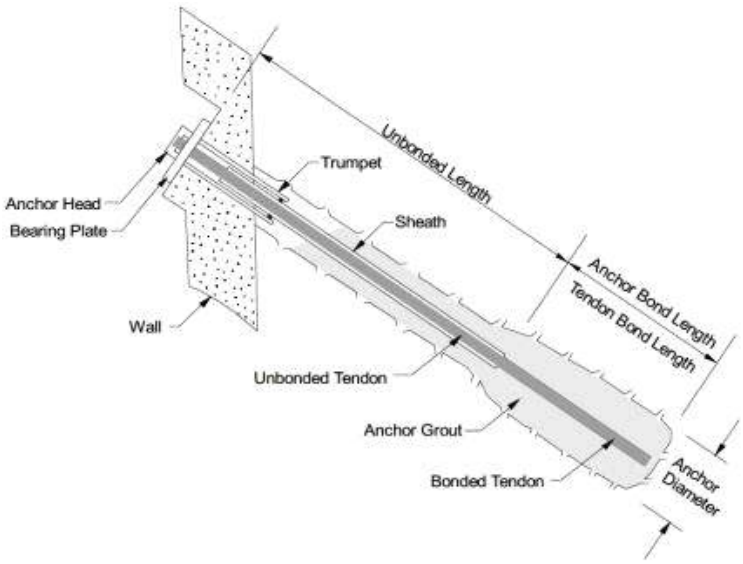


그림 3-1 그라운드 앵커의 구조

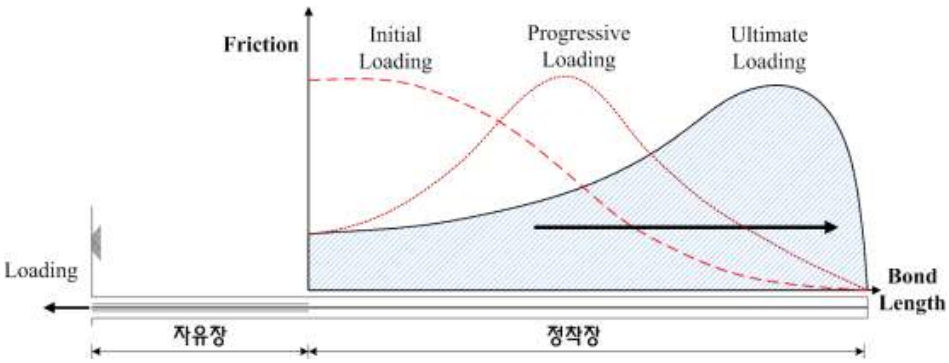
▪ 국내에 적용되고 있는 대부분의 앵커는 마찰형 앵커이며 앵커두부에 가해지는 하중이 정착장 그라우트에 전달되는 형태에 따라 마찰인장형과 마찰압축형으로 나뉜다.

▪ 마찰인장형 앵커의 경우 두부에 가해진 하중은 자유장을 거쳐 정착장 천단부터 그라우트로 전달되며, 모든 하중이 이 부분에 집중된다.

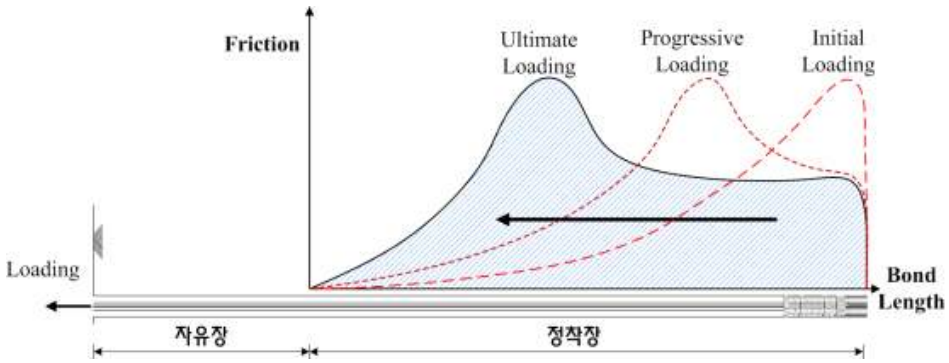
▪ 이러한 집중하중 때문에 강연선-그라우트, 그라우트-지반 사이에서 진행성파괴 및 슬립현상이 발생하여 초기 정착장 상부에 집중되었던 마찰력 분포가 점차적으로 정착장의 하부로 이동한다.

▪ 마찰압축형 앵커는 인장재 전체가 자유화되어 있으므로 두부에 가해진 하중이 정착장 선단에 집중되고 시간이 경과함에 따라 점차적으로 정착장 상부쪽으로 전이된다.

▪ 지반이 약할 경우 이러한 진행 속도는 빨라지며 초기에 도입되었던 인장력이 상당부분 감소하게 된다.



(a) 인장형 앵커



(b) 압축형 앵커

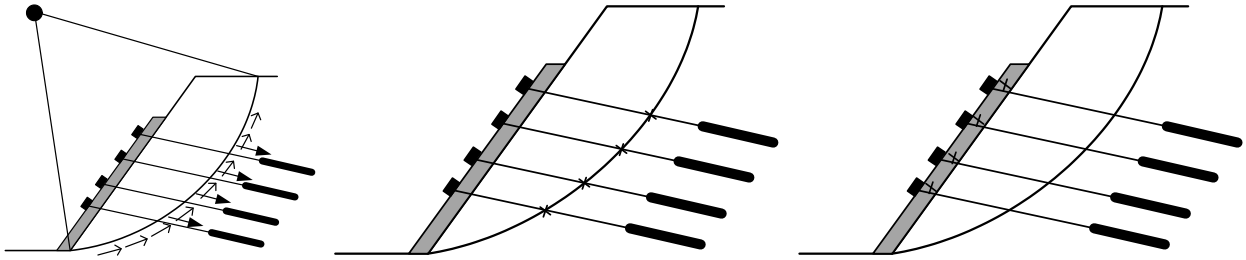
그림 3-2 앵커 마찰력 전이 분포

3.1.2 그라운드 앵커의 설계 및 유지관리 기준

(1) 그라운드 앵커의 설계

▪ 앵커로 보강된 비탈면의 설계는 그림 3-3에서와 같이 ① 비탈면의 전체 안정성은 물론 ② 앵커의 내적파괴 및 ③ 지압판의 파괴로 구분하여 설계한다. 앵커로 보강된 비탈면의 전체적인 안정성은 예상되는 파괴면에서의 앵커의 보강효과를 고려해 해석하여 판단한다. 내적 안정성은 앵커체의 파괴를 의미하며 앵커 긴장재의 파단 또는 정착부의 인발파괴로 구분된다.

▪ 지압판에는 앵커에 발생하는 긴장력과 동일한 힘이 작용되며 전단 또는 모멘트에 의해 파괴될 수 있으므로 앵커에 가하는 긴장력에 대하여 안전하도록 설계한다.



(a) 전체 안정성 (b) 앵커의 내적파괴 (c) 지압판의 파괴

그림 3-3 앵커보강 비탈면에서의 파괴형태

① 지반앵커의 내적안정설계

▪ 앵커가 최종한계상태의 파괴를 일으킬 때에 발생하는 앵커력을 극한 앵커력이라 한다. 앵커의 파괴상태는 다음의 그림 3-4에서와 같이 긴장재 자체의 파괴, 앵커체가 지반에서 뽑히는 파괴, 긴장재가 앵커체에서 뽑히는 파괴로 구분할 수 있으며, 앵커에 긴장력이 가해지면 이러한 세 가지 파괴모드 중 가장 약한 부분에서 파괴가 먼저 발생하게 된다.

▪ 저항력을 상실한 앵커는 더 이상 외력을 지지하지 못하며, 가해지는 외력은 주변앵커에 전가되어 긴장력을 증가시키게 되므로 전체적으로 안정성은 감소하게 된다. 설계 앵커력은 앵커의 내적파괴가 발생하지 않도록 하기 위하여 세 가지 파괴모드로 계산된 허용 앵커력에서 최소값을 설계 앵커력으로 사용한다.

▪ 앵커의 내적파괴형태에 따른 검토는 다음과 같다.

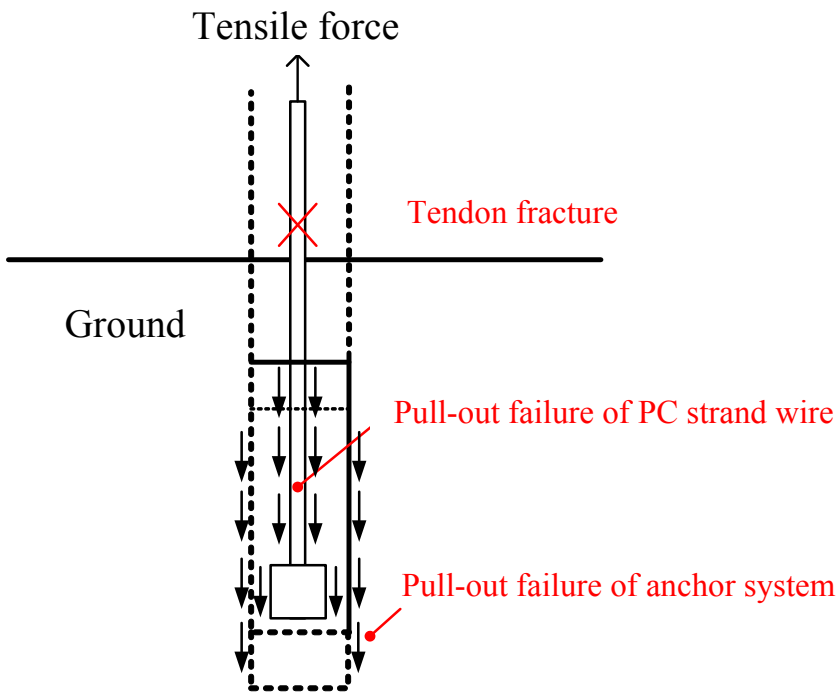


그림 3-4 앵커의 내적 파괴모드

☞ 앵커 긴장재 자체의 파단

▪ 앵커 긴장재의 파단은 긴장재가 파괴되는지 검토하는 것이며, 긴장재의 극한인장력(T_{us})에 안전율을 고려한 긴장재의 허용인장력(T_{as})과 긴장력을 비교한다.

$$T_{as} = \frac{T_{us}}{FS} \geq P \qquad (3.1)$$

여기서, T_{as} : 긴장재의 허용 인장력

T_{us} : 긴장재의 극한 인장력

P : 긴장력

☞ 인장정착부에서 그라우트와 주면지반 사이의 파괴

▪ 앵커 정착부에서 그라우트와 지반 사이의 인발파괴에 대한 검토에서는 주면 마찰 저항력에 의해 발휘되는 인발 저항력과 앵커 긴장력을 비교한다.

$$T_{ag} = \frac{T_{ug}}{FS} \geq P \qquad (3.2)$$

여기서, T_{ag} : 그라우트와 지반사이에서 발휘되는 허용인발 저항력

T_{ug} : 그라우트와 지반사이에서 발휘되는 극한인발 저항력

P : 긴장력

▪ 극한 인발저항력은 앵커 정착장과 앵커 천공직경 그리고 그라우트와 지반사이의 단위 극한 주면 마찰저항력을 이용하여 계산한다.

$$T_{ug} = \tau_u \bullet \pi \bullet D \bullet l_e \qquad (3.3)$$

여기서, τ_{ag} : 단위 극한주면 마찰저항력

D : 앵커의 천공직경

l_e : 앵커 정착장의 길이

▪ 지반과 그라우트 사이의 단위 극한 주면마찰 저항력은 문헌치 또는 실제 인발시험에서 측정한 값을 사용할 수 있으며, 표 3.1과 같다.

[표 3.1] 앵커의 극한 주면마찰저항(건설공사 비탈면 설계기준, 2013)

지반의 종류			극한 주면 마찰저항(τ_u, kPa)
암반	경 암		1500 ~ 2500
	연 암		1000 ~ 1500
	풍화암		600 ~ 1000
	파쇄대		600 ~ 1200
모래자갈	N 값	10	100 ~ 200
		20	170 ~ 250
		30	250 ~ 350
		40	350 ~ 450
		50	450 ~ 700
모래	N 값	10	100 ~ 140
		20	180 ~ 220
		30	230 ~ 270
		40	290 ~ 350
		50	300 ~ 400
점성토			1.0 c (c는 점착력)

☞ 긴장재와 그라우트 사이의 파괴

▪ 긴장재와 그라우트 사이의 파괴에 대한 검토는 허용부착응력에 의해 구속저항력을 앵커 긴장력과 비교하여 검토한다. 긴장 내와 그라우트와의 허용부착응력은 철근 콘크리트의 허용 부착응력을 준용하여 표 3.2를 적용한다.

$$T_{ab} = c_b \cdot U \cdot l_e \geq P \qquad (3.4)$$

여기서, τ_{ab} : 긴장재와 그라우트의 부착력

c_b : 긴장재와 그라우트 사이의 부착응력

U : 긴장재 원주면 길이

[표 3.2] 철근콘크리트의 허용부착응력(kPa)

그라우트 압축강도(kPa) / 긴장재 종류		15,000	18,000	24,000	30,000	40,000 이상
일시앵커	PS 강선	800	1,000	1,200	1,350	1,500
	PS 강연선					
	이형 PS 강봉	1,200	1,400	1,600	1,800	2,000
영구앵커	PS 강선	-	-	800	900	1,000
	PS 강연선					
	이형 PS 강봉	-	-	1,600	1,800	2,000

② 지반앵커의 정착장 설계

▪ 앵커의 정착장은 설계 긴장력을 확보하는 길이 이상으로서, 앵커체 저항길이와 부착 저항길이 중 큰 값으로 한다.

▪ 설계 앵커력이 작은 경우에는 앵커 정착장을 짧게 할 수 있지만 너무 짧게 하는 경우 지반조건이 조금만 변화해도 극한인발력에 큰 영향을 줄 수 있으므로 토사층인 경우 최소 정착장은 4.5m 이상으로 한다.

▪ 반면, 앵커 정착장을 길에 하더라도 극한 인발력이 길이에 비례하여 증가하는 것이 아니므로 별도의 시험을 통해 진행성 파괴 등에 대한 검증된 결과가 있지 않으면 10m 이상의 길이를 설계에 반영하는 것은 바람직하지 않다.

정착장, $L_{bond} = MAX(L_{bf}, L_{bs})$ (3.5)

마찰정착장, $L_{bf} = \frac{T_{Design} \times FS}{\pi \cdot D \cdot \tau_f}, L_{bf} = \frac{T_{Design} \times FS - q_a \cdot A}{\pi \cdot D \cdot \tau_f}$ (3.6)

부착정착장, $L_{bs} = \frac{T_{Design}}{U \cdot \tau_a}$ (3.7)

여기서, T_{Design} : 앵커의 설계 축력 FS : 설계안전율

D : 앵커의 천공직경 τ_f : 주변토층의 극한주면마찰저항

τ_a : 인장재의 허용 부착응력 q_a : 지반의 허용압축응력

A : 압축지반의 면적 U : 인장재의 둘레

(2) 그라운드 앵커의 유지관리 기준

① 기관별 관련기준

▪ 앵커 또는 앵커로 보강되는 구조물 및 주변지반은 관리주체가 정기적으로 점검, 관측 및 계측을 실시하고 이상 발생시 적절한 대책을 강구하여 시설이 제 기능을 발휘할 수 있도록 유지관리를 하고 있다.

▪ 앵커 또는 앵커로 보강되는 구조물 및 그 주변에 변위, 변형, 균열 등이 발생한 경우에는 관측 및 계측결과를 검토하여 필요시 보강, 재긴장, 앵커의 추가 시공 또는 긴장력 완화 등에 대해 적절한 대책을 강구하도록 하고 있다.

[표 3.3] 그라운드 앵커 유지관리 기준

<table>
<tr><th>구 분</th><th>관련기준</th></tr>
<tr><td>건설공사 비탈면
유지관리 지침
(2006, 건설교통부)</td><td>▪ 6.6 계측기기에 의한 비탈면 유지관리

6.6.1 일반사항[해설]

계측기에 의한 비탈면 유지관리는 공용중인 비탈면의 장기적인 건전도 확인 및 평가결과에 따른 대응대책의 신속한 수립을 목적으로 활용한다. 따라서 계측관리는 위험요인 제거, 보강공법 적용에 제한이 있는 경우 및 위험 정도가 높은 비탈면에 대해 실시하고, 정량적인 거동추이를 분석함으로써 사전에 붕괴를 예측하고 적절한 대책을 강구하여 피해를 최소화 할 수 있도록 계획하여야 한다.

<table>
<tr><th>계측항목</th><th>계측기명</th><th>설치장소 및 설치방법</th></tr>
<tr><td>앵커에 작용하는
장력 등</td><td>로드셀
(센터홀 식)</td><td>앵커 구조물의 필요 장소에 다수 설치
(일반적으로는 앵커 머리부에 설치)</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>그라운드 앵커 설계·시공
및
유지관리 매뉴얼
(2009, 국토해양부)</td><td>▪ 4.3.11 잔존긴장력의 모니터링

(2) 잔존긴장력의 측정 방법으로서는 앵커 긴장 시에 하중계를 설치하는 방법과 리프트 오프시험(Lift Off Load Tests)에 의해 확인하는 방법이 있다.

[해설] 시공 후의 앵커를 유지관리하기 위해서는 하중계측이 중요하다. 그리고 앵커타입에 맞는 다양한 하중계가 판매되고 있다. 각 하중계는 측정 정밀도나 비용에 차이가 있기 때문에 앵커가 설치되어 있는 환경, 계측의 목적에 따라 적절한 선택이 필요하다.</td></tr>
<tr><td>건설공사 비탈면
설계기준 해설
(2009, 국토해양부)</td><td>▪ 6.4.5 초기긴장력의 설정[해설]

(2) 앵커의 초기긴장력을 결정할 때 고려할 사항들은 ① 앵커의 저항개념, ② 긴장재 정착 직후의 긴장력 감소, ③ 정착지반의 크리프, ④ 긴장재의 릴렉세이션 등이 있다.

③ 지반의 크리프

지반의 크리프는 앵커로 보강된 전체지반의 크리프와 앵커 정착체 주면 지반에서의 크리프가 있다. 지반의 크리프를 저감하는 방법은 초기긴장력을 긴장재의 항복인장강도의 90% 정도를 가하거나 또는 설계앵커력의 1.2~1.3배의 긴장력을 일정기간 동안 가한 후에 최종적으로 정착시키는 방법이 있다. 중요구조물에 영구앵커를 사용하고자 하는 경우에는 장기 인장시험을 실시하여 지반의 크리프영향을 확인하는 방법도 있다.</td></tr>
</table>

② 국내외 앵커의 설계·시공 지침에서 앵커 긴장력에 대한 기준

▪ 앵커 또는 앵커로 보강되는 구조물 및 그 주변에 변위, 변형, 균열 등이 발생한 경우에는 관측 및 계측결과를 검토하여 필요시 보강, 재긴장, 앵커의 추가 시공 또는 긴장력 완화 등에 대해 적절한 대책을 강구하도록 하고 있다.

[표 3.4] 그라운드 앵커의 긴장력에 대한 기준

구 분	관련기준
건설공사 비탈면 유지관리 지침(2006, 건설교통부)	▪ 7.1.1 앵커시설의 유지관리 (1) 일반사항[해설] 앵커, 앵커로 보강되는 구조물 및 그 주변에 변위, 변형, 균열 등이 발생한 경우에는 관측 및 계측결과를 검토하여 필요시 보강, 재긴장, 앵커의 추가 시공 또는 긴장력 완화 등에 대해 적절한 대책을 강구한다. (3) 앵커시설의 손상조치[해설] ② 앵커의 잔존인장력에 뚜렷한 저하가 인지되는 경우 그 원인을 명확히 밝히고, 앵커의 설치목적이나 요구되는 기능 등을 고려하여 재긴장에 대해 검토한다. ③ 앵커에 발생하고 있는 잔존인장력의 뚜렷한 증가가 인지되는 경우에는 그 원인을 명확히 밝히고, 앵커의 추가설치 등 외력의 증가에 대한 대책이나 인장재의 파단을 방지하기 위해 긴장력 완화에 대해 검토한다.
그라운드 앵커 설계·시공 및 유지관리 매뉴얼 (2009, 국토해양부)	▪ 3.5.4 재긴장 앵커의 초기 긴장작업 이후에 시간의 경과에 따른 릴렉세이션 등이 발견되었을 시에 긴장력을 보정하여야 한다
건설공사비탈면 표준시방서 (2016, 국토교통부)	▪ 3.6 긴장 및 정착작업 (10) 점성토 지반이나 느슨한 사질토지반에서는 앵커의 재긴장 또는 긴장력 저하 대비하여 긴장력 조정이 가능한 정착두부구조를 가진 앵커를 사용하고 재긴장 할 수 있는 여유길이와 재긴장 장치를 두어야 한다.
고속도로공사 전문시방서 (2012, 한국도로공사)	▪ 3.6 긴장 및 정착작업 3.6.11 점성토 지반이나 느슨한 사질토 지반에서는 앵커의 재긴장 또는 긴장력 저하 대비하여 긴장력 조정이 가능한 정착 두부구조를 가진 앵커를 사용하고, 재긴장 할 수 있는 여유길이와 재긴장 장치를 두어야 한다.
현장실무자를 위한 절토비탈면 유지관리 핸드북 (2008, 도로교통연구원)	▪ 5.3.3 사면의 유지관리시 고려사항(앵커) 재긴장이 가능한 앵커형식을 사용해야 하며 여건상 불가할 경우 앵커가 아닌 다른방식의 대책공법을 수립해야 한다.
GROUND ANCHORS AND ANCHORED SYSTEMS (FHWA, 1999)	▪ 9.6.3 장기모니터링 전반적인 앵커의 장기 계측은 스트레인 게이지 및 경사계 등을 통해 주변지반 거동을 실시하는 방법으로 실시하여야 한다.

③ 앵커 하중의 증감 허용범위

▪ ‘건설공사 비탈면 유지관리지침(2006, 건설교통부)’, ‘그라운드 앵커 설계·시공 및 유지관리 매뉴얼(2009, 국토해양부)’에서는 앵커의 하중 증감 허용범위를 아래와 같이 제시하고 있다.

앵커의 긴장력 증감의 허용범위
- 앵커의 작용하중이 10% 이내에서의 변화는 일반적으로 문제없음 - 10% 이상 저하한 경우 그 원인과 영향을 분석할 것 - 영구 앵커의 긴장력이 20% 이상 증가한 경우는 정밀조사 및 분석으로 향후 비탈면의 정기적 안정성에 대비할 것

④ 앵커하중계 관리기준

▪ 서울시(지하철 건설본부, 2003)와 한국도로공사(설계실무자료집, 2010)에서는 흙막이 가시설 앵커에 대한 계측 및 관리기준(허용값)을 다음과 같이 제시하고 있다.

[표 3.5] 그라운드 앵커 하중계 계측 및 관리기준

구 분	앵커 축력	지중경사 주1)	벽체기울기
1차 관리기준	초기치 축력 ±5ton	0.20%H (0.20%H)	좌 동
2차 관리기준	초기치 축력 ±10ton	0.33%H (0.29%H)	좌 동
3차 관리기준	초기치 축력 ±15ton	0.50%H (0.35%H)	좌 동

주1) 지중경사 : 서울시 지하철 건설본부 (한국도로공사)

(3) 고찰

▪ 국내외 앵커의 설계·시공 지침에서는 앵커의 긴장력 모니터링 및 증감에 따른 재긴장, 앵커의 추가 시공 또는 긴장력 완화 등에 대한 적절한 대책을 강구하도록 하고 있다.

▪ 일부 기관(서울시, 한국도로공사)에서는 가설 앵커에 대해 앵커 축력의 관리기준치를 3차에 걸쳐 제시하고 있으나 이는 로드셀에 의한 방법으로서 시공과 유지관리가 어려우며 제한적으로 적용되고 있다.

▪ 앵커의 긴장력을 확인하는 방법 및 장치에 관한 사례조사 결과, 로드셀에 의한 앵커 긴장력 측정은 초기비용이 많이 들고 주기적으로 관리해야 하는 단점이 있으며, 표본조사의 한계가 있다.

▪ 리프트오프시험은 필요시 언제나 확인할 수 있다는 장점이 있으나 앵커체의 재인장형 정착구의 적용이 필수적이며 별도의 시험비용이 발생된다.

3.1.3 그라운드 앵커의 긴장력 손실 현황

(1) 앵커력 손실 원인 규명 및 분석

▪ 앵커의 유지관리는 앵커로 보강된 비탈면과 구조물에 중대한 손상이 발생하는 것을 방지하는 것을 목적으로 한다. 그것을 위해 손상과 관련된 요인과의 관련성을 정확히 파악하고 유지관리에 대한 중요한 변형 · 손상을 조기에 발견하려고 노력하여야 한다.

▪ 그라운드 앵커의 변형으로 인해 발생되는 긴장력 손실의 원인은 크게 1차 요인, 2차 요인, 3차 요인으로 구분할 수 있으며, 이를 다음 그림에 정리하였다.

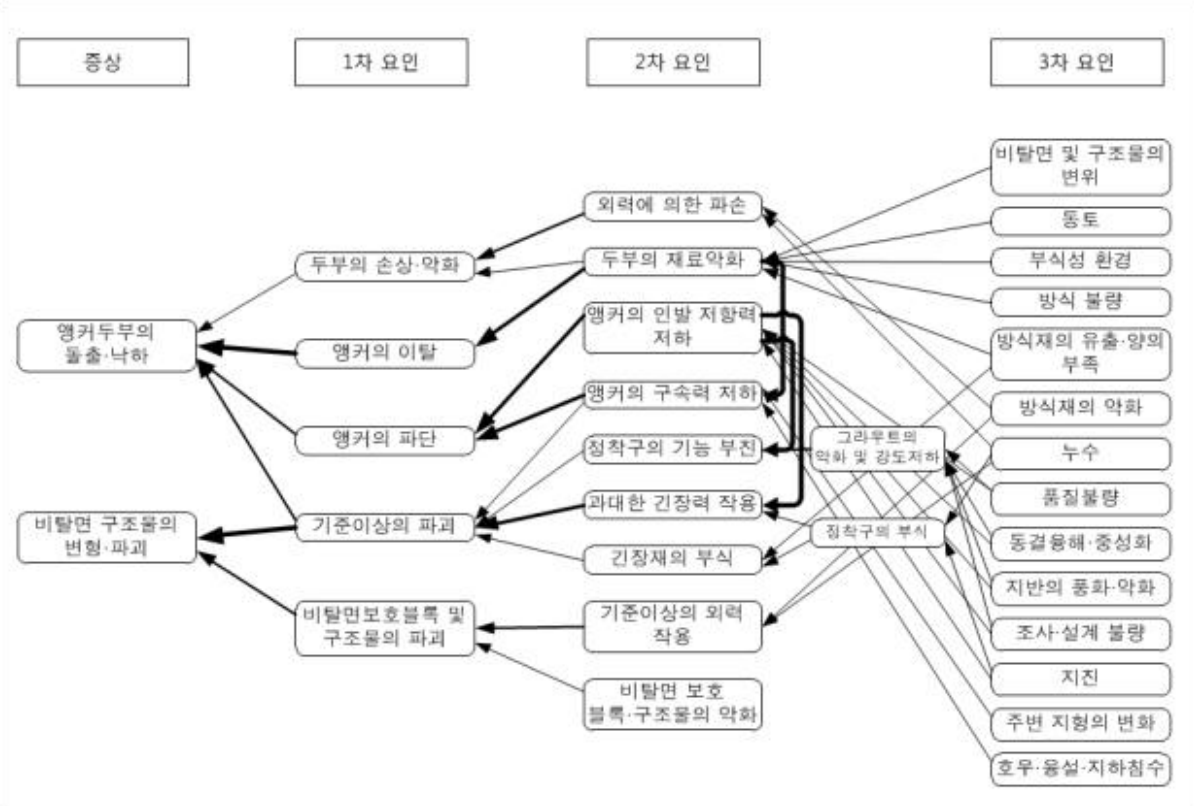


그림 3-5 그라운드 앵커의 변형으로 인한 긴장력 손실 원인

▪ 그림 3-5에서 볼 수 있듯이, 앵커력 손실의 근본적인 원인인 3차 요인은 총 14가지로 구분할 수 있다.

ⅰ) 비탈면 및 구조물의 변위 : 앵커가 적용된 비탈면 또한 구조물의 변위로 인해 설계된 앵커의 긴장력이 손실되거나 과긴장되는 것을 말한다.

ⅱ) 동토 : 앵커의 정착장을 지반이 동결된 상태에서 시공하게 되어, 계절의 변화 등으로 인한 온도상승에 따라 정착지반이 느슨해질 수 있다. 우리나라에서 일반적으로 동절기에 앵커를 시공할 경우에 발생할 수 있어, 시공에 주의하여야 한다.

ⅲ) 부식성 환경 : 지반 내부 또는 지표면에 노출되는 앵커의 두부에 화학적 물질의 접촉으로 인해 부식되는 것으로 앵커의 긴장력이 손실될 수 있다.

iv) 방식 불량 : 앵커의 시공, 특히, 영구앵커의 시공에 있어 부식방지는 매우 중요한 요소이다. 따라서, 앵커의 자유장에는 피복 호스와 구리스 충진, 두부에는 방식처리된 자재와 구리스 충진, 정착장에는 그라우트를 통해 부식에 대비하지만, 불량한 경우 앵커의 긴장력 손실에 큰 영향을 미치게 된다.

v) 방식재의 유출 · 양의 부족 : 방식재의 유출 · 양의 부족은 앵커의 자유장 및 두부의 부식방지에 영향을 미쳐, 앵커 긴장력의 손실을 유발시킨다.

vi) 방식재의 악화 : 이는 방식재의 품질과 관계된 것으로, 노출된 방식재에 강우, 먼지, 불순물 등이 영향을 미쳐, 방식재의 품질이 현저히 떨어지게 되는 것을 말한다. 방식재의 기능을 상실하게 되어, 부식방지 실패로 인한 앵커 긴장력의 손실을 유발시킨다.

vii) 누수 : 지표면에 노출되는 부분인 앵커 두부에서 발생하는 요인으로, 주로 낙석으로 인한 두부의 파손으로 발생되는 경우가 대부분이다. 낙석으로 인한 두부의 파손 또한 앵커 긴장력을 손실시키는 요인으로 꼽힌다.

viii) 지반의 풍화 · 약화 : 지반 조사를 통해 산정된 지반 물성에 근거하여 설계 앵커력을 발휘할 수 있는 정착길이가 산정된다. 하지만, 정착 지반이 풍화 또는 약화되어 실제적으로 정착길이가 부족하게 되어 앵커 긴장력이 손실될 수 있다. 일반적으로 매우 장기적인 거동에 해당되며, 근본적인 대책이 필요하다.

ix) 조사 · 설계 불량 : 설계 앵커력 확보를 위한 정착길이 산정에는 철저한 지반조사 및 인발시험을 통해 대상 지반의 특성을 세심히 살피는 것이 요구된다. 뿐만 아니라, 설계과정에서는 정착 지반의 특성을 반영한 앵커 정착방식 및 길이가 산정되어야 한다. 그렇지 못할 경우, 설계 앵커력의 확보가 어려울 수 있으며, 시공 직후 확보한 설계 앵커력이 사용 수명에 도달하기 전에 손실될 수 있다.

x) 지진 : 지진 등으로 인한 주변 지형의 변화 또는 정착 지반의 유실은 앵커 긴장력의 심각한 손실을 유발시킨다.

xi) 호우 · 융설 · 지하침수 : 집중 호우나 강설로 인해 앵커가 적용된 비탈면의 지표면이 유실되는 경우, 지표면의 변화로 인해 수압판이 변형 또는 침하되어 앵커의 긴장력이 손실될 수 있다.

- 위에서 언급한 근본적인 원인으로 인해 2차, 1차 요인들이 발생되고 그로인해 앵커의 긴장력이 손실된다.

- 뿐만 아니라, 비탈면의 표면 요철은 격자블록과 표면의 공간을 발생시키고 블록의 접지면적이 줄어들게 하는 원인이 된다. 그러므로 블록에 집중하중이 생길 수 있고 블록이 깨지는 경우가 발생할 수 있으며 블록의 강도가 강할 경우 표면 침하가 발생할 수 있다.

- 블록이 깨질 경우 응력집중은 가속되고 결국에는 앵커 전면판의 기능을 수행하지 못하게 된다.

- 현재 앵커 시방서에는 표면 요철에 대하여 편평도를 유지하고 앵커 전면판을 설치하게 되어 있다.

▪ 하지만 비용상의 이유로 그림 3-6과 같이 완전히 밀착하지 않고 시공되는 경우가 대부분이며 이로 인해 응력집중으로 인한 잔존긴장력의 감소를 발생시킬 수 있다.

▪ 이를 방지하기 위해서는 표면을 편평하게 굴착하거나 굴착 후 요철이 있을 경우 숏크리트 등으로 표면을 편평하게 굴착하거나 굴착 후 요철이 있을 경우 숏크리트 등으로 표면을 편평하게 마무리하여야 한다.



그림 3-6 표면 요철을 보완하지 않고 시공된 앵커

▪ 하지만, 이러한 다양한 원인들로 인해 발생되는 증상은 앵커 두부에서만 측정이 가능하다.

▪ 앵커 두부는 앵커의 구성 중 유일하게 지표면에 노출되어 있는 곳으로, 세심한 관리가 필요함과 동시에 앵커의 긴장력 변화를 확인할 수 있는 유일한 부분이라 할 수 있다.

▪ 따라서, 본 신청기술은 이러한 앵커 두부의 긴장력 육안확인장치를 설치하여, 다양한 요인으로 인해 발생된 앵커의 긴장력 손실을 상시 육안으로 확인할 수 있도록 하여, 추후에 발생할 수 있는 재산 · 인명 피해를 최소화하고자 한다.

(2) 지반앵커의 잔존긴장력 현황

▪ 한국도로공사(2016)에 따르면, 비탈면 보강용 지반앵커의 잔존긴장력 확인을 위하여 56개 비탈면의 19,405공의 앵커에 대하여 리프트오프시험을 실시하였다.

▪ 각 비탈면을 시공연도, 건설당시 또는 준공 후 유지보수 기간에 시공여부, 설계축력, 설계축력대비 잔존긴장력 비율, 옹벽 설치여부, 격자블록 설치여부에 따라 분류하였다.

▪ “건설/유지관리” 항목은 시공시기를 구분하기 위한 것으로 건설시에는 대형건설사가 감독하여 전문 앵커 시공업체가 시공하는 경향이 강하다.

▪ 반면 유지관리는 감독 인원이 상대적으로 적으며, 비전문 앵커 업체가 시공하는 경우가 많다. 그러므로 시공전문성, 관리의 중요성이 앵커의 잔존긴장력에 미치는 영향을 알아보기 위한 항목으로 선택하였다.

▪ “옹벽” 항목은 앵커의 전면판이 격자블록인지 옹벽인지를 구분하는 것으로 옹벽의 경우 앵커가 긴장되어 하중이 집중되는 앵커 헤드 부분의 강성이 크고 편평도가 매우 높다.

▪ 이에 긴장으로 인한 헤드부분 변위의 관리가 상대적으로 용이하다고 생각되어 헤드변위가 앵커의 잔존긴장력에 미치는 영향을 알아보기 위한 항목으로 선택하였다.

▪ 근본적으로는 앵커의 긴장력에 영향을 미치는 그라우트 부착강도, 정착장의 지반상태 등의 변수를 고려하여야 하나 현재까지 시공된 앵커에서는 보존된 데이터가 없어서 분석이 불가능하였다.

▪ 이에 보다 정확한 분석을 위해 향후 시공되는 앵커는 하부 지반상태에 대한 측정데이터를 축적할 수 있는 시스템을 구축하여야 할 필요가 있다.

① 설계축력 대비 잔존긴장력 비율

▪ 비탈면의 안정을 위한 앵커 설계는 정착장, 자유장의 길이, 간격과 함께 안전율을 만족하는 설계축력을 정하는 과정이다.

▪ 이 때 일반적으로 하중을 선택한 다음 간격을 정하여 앵커의 공수를 정한다.

▪ 하중을 선택할 때 고려해야할 사항은 암반의 강도가 핵심사항인데 설계축력이 큰 것은 암의 강도가 강하다는 의미이며, 암의 강도가 강하지 못하면 앵커의 인장시 과다한 변위를 발생시킨다.

▪ 그림 3-7의 설계축력 대비 잔존긴장력 비율의 관계를 보면 일반적으로 400kN이상의 축력이 대부분이고 최대 설계축력은 87kN이다.

▪ 일반적으로 암석의 강도가 강하면 헤드 부근 침하 등으로 발생하는 변위도 적고 그라우트의 부착 강도가 강하여 앵커 축력의 감소가 작을 것으로 판단되지만 그림 3-7에서는 뚜렷한 경향을 찾아 볼 수 없었다.

▪ 자세한 분류를 위해 구간을 분류하여 표 3.6으로 표시하였다. 400kN이하, 400-500kN, 500kN 초과 세 구간으로 분류하여 각각 잔존긴장력 비율의 최대, 최소, 평균, 표준편차를 표시하였다.

▪ 평균 500kN 초과 구간에서 가장 크게 나타나고, 표준편차는 유사한 것으로 분석되어 설계축력이 큰 앵커에서 잔존긴장력의 감소가 적다는 것을 확인하였다.

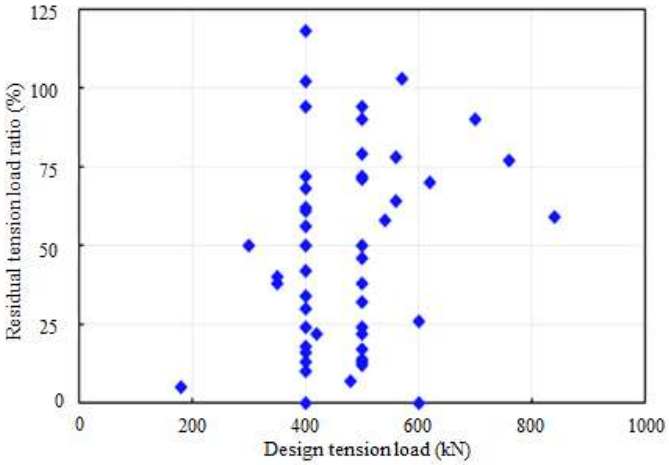
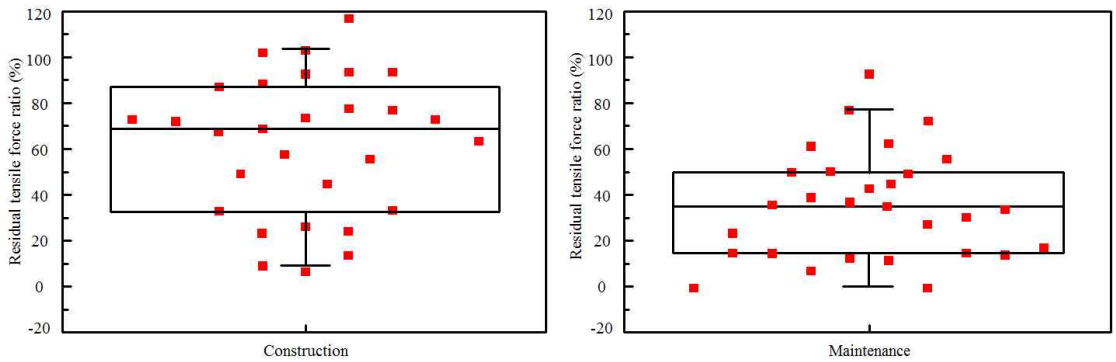


그림 3-7 설계축력 대비 잔존긴장력 비율

② 건설/유지관리 대비 잔존긴장력 비율

- 앞서 언급한 바와 같이 “건설/유지관리” 항목은 시공전문성, 관리의 중요성이 앵커의 잔존긴장력에 미치는 영향을 알아보기 위한 항목이다. 모든 토목시공물이 전문적으로 관리 받으면서 시공되는 경우와 그 반대인 경우에 결과물 상태의 차이점은 명확하다.

- 일반적으로 생각대로 그림 3-8, 표 3.6과 같이 건설시 시공되어진 앵커 비탈면이 유지관리시 시공되어진 앵커 비탈면 보다 잔존긴장력의 비율이 높았다. 그러므로 비탈면 앵커도 다른 토목구조물과 마찬가지로 전문적인 시공관리가 중요한 것을 알 수 있다.



(a) Residual tensile force ratio with construction (b) Residual tensile force ratio with maintenance

그림 3-8 건설/유지관리 대비 잔존긴장력 비율

[표 3.6] 건설/유지관리 대비 잔존긴장력 비율

분 류	잔존긴장력 비율(%)	개 소
건 설	62.58	29
유 지 관 리	35.29	28

③ 옹벽/격자블록 대비 잔존긴장력 비율

- 앵커의 전면판으로 앵커를 사용하면 격자블록에 비해 표면 요철 때문에 응력집중이 발생하는 것을 막을 수 있고 앵커헤드 부근의 침하를 방지할 수 있다.

- 이에 앵커의 긴장력 유지에 도움을 줄 것으로 추정할 수 있으나, 표 3.7과 같이 격자블록은 57.64%, 옹벽은 41.0%의 잔존긴장력을 보여 추정과 반대의 경우로 측정되었다.

- 그러나 이것은 자세히 보면 조사된 옹벽이 유지관리 때 시공된 것이 18개로 건설 때 시공된 11개보다 많아서 앞에서와 같이 시공관리에서의 문제가 반영된 결과로 볼 수 있어 많은 결과가 측정되어야 판단할 수 있을 것이다.

[표 3.7] 격자블록/옹벽 대비 잔존긴장력 비율

분 류	잔존긴장력 비율 (%)	개 소		
격 자 블 록	57.64	28	건 설	18
			유 지 관 리	10
옹 벽	41.0	29	건 설	11
			유 지 관 리	18

④ 시공년도 대비 잔존긴장력 비율

- 시공년도에 따른 잔존긴장력 변화를 그림 3-9에서 확인할 수 있다. 긴장력의 변화가 시간에 따라 점진적으로 일어난다면 시공년도가 빠른 앵커의 잔존긴장력이 작아야 하지만 공용기간과 잔존긴장력이 반비례관계는 보이지 않는다.

- 최근에 시공된 비탈면 앵커가 기술의 발달에 따라 긴장력의 감소가 작아질 수 있을 것으로 추정했으나 이 역시 비례관계가 성립되지 않았다.

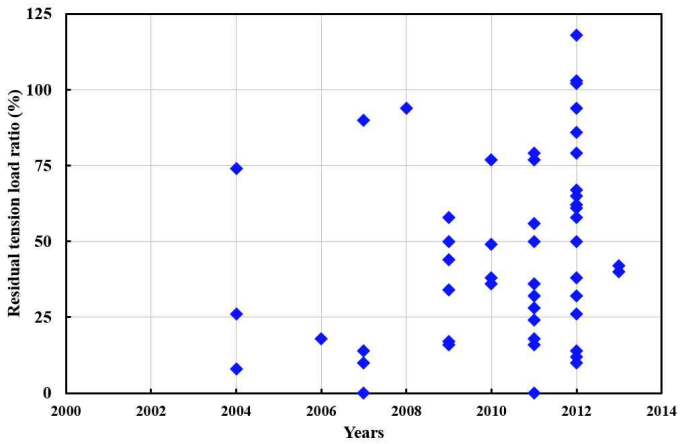


그림 3-9 시공년도 대비 잔존긴장력 비율

(3) 피해사례

① 경의선 가좌역사 붕괴사례 (2007.06.03)

▸ 개 요 : 경의선 가좌역 역사 신설을 위하여 터파기 굴착작업 중 (총 40m 굴착 중 38m 굴착 중) 흙막이 가시설 측벽이 무너지면서 인접한 선로노반 붕괴

▸ 붕괴규모: 길이 42m, 깊이 28.3m, 폭 25m

▸ 적용공법 :

- CIP(H-pile) + 어스앵커(상부토사, 풍화암)
- H-pile + 록볼트, 숏크리트 (하부 연·경암)

▸ 붕괴원인 :

- 굴착 지반 중 암반층에 대해서는 변형이 거의 없을 것으로 가정하여 엄지말뚝을 Rock Bolt로 지지하도록 설계함으로써, 실제 암반층의 파쇄대에서도 변형이 발생
- Rock Bolt 만으로는 엄지말뚝의 휨변형을 충분히 억제할 수 없었음
- 어스앵커 설계 시, 설계기준에 명시된 최종굴착단계 또는 최종어스앵커 설치 이후 지반의 Arching 현상에 대한 검토가 이루어지지 않아, 흙막이 벽체에 작용하는 토압이 과소평가됨
- 연암층의 단층파쇄대 내부에 굴착면에 불리한 방향으로 미끄러짐면(Slicken Side)이 존재하였을 가능성이 큼

▸ 대 책 :

- 복토작업 및 버팀보 설치
- 어스앵커 추가 시공
- 계측기 추가설치

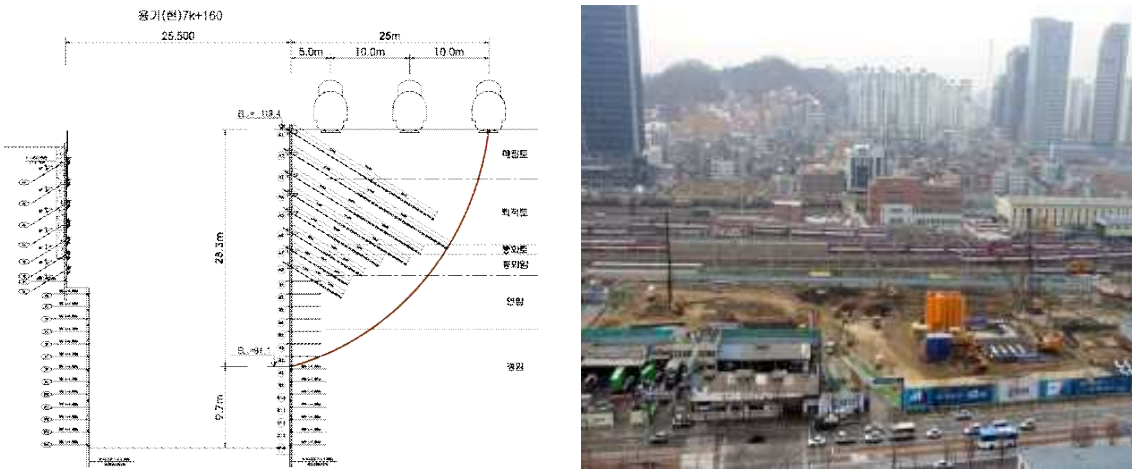


그림 3-10 경의선 가좌역 붕괴 사례

② 판교 00연구소 현장 (2009.02.15)

▸ 개 요 : 연구소 신축을 위한 지하터파기 작업 중 북측 흙막이 32m 도로구간 및 복공구조물이 붕괴

▸ 적용공법 : CIP + H-pile + Earth Anchor

▸ 붕괴원인 :

- 기초 암반에 발달한 수많은 소규모 단층, 절리 등의 불연속면에 의하여 형성되는 암반 블록이 강우에 의해 침투, 유입된 지하수로 인해 쐐기파괴 및 평면파괴를 일으켜 붕괴
- 앵커가 받고 있는 초기 하중이 각각 다르고 붕괴시 암반 활동도 균등하게 발생하지 않아 하중을 많이 받는 앵커부터 순차적으로 항복하여 붕괴

▸ 대 책 :

- 붕괴구간에 대해 지장물 제거, 상부 토사 제거, 압성토 및 표면 보호공 실시, 압성토 후 H-pile 설치
- 붕괴사면에 숏크리트 타설, 록볼트 설치 이후 압성토 제거 및 앵커 설치



그림 3-11 판교 00연구소 붕괴 현장

③ 수원 광교산 00현장 흙막이 벽체 붕괴사고 (2009.02.19)

▸ 개 요 : 경기도 수원시 조원동의 00현장에서 지하굴착 중 앵커 6단 진행, 버팀보 4단 진행 시점에서 벽체가 붕괴

▸ 적용공법 : H-pile + 토류판 + 앵커 or Strut

▸ 붕괴원인 : 앵커, 버팀보 등 시스템 파괴



그림 3-12 수원 광교산 00현장 흙막이 벽체 붕괴사고

④ 00고속도로 건설 현장 (2006.04 ~ 2008.07)

▸ 개 요 : 00고속도로 건설 현장 터널공사 중 앵커가 적용된 갱구부 비탈면에서 수차례 슬라이딩이 발생

▸ 발생일시 :

▪ 1차 : 2006. 04. 21 ▪ 2차 : 2007. 08. 10 ▪ 3차 : 2008. 07. 25

▸ 적용공법 : 앵커 + 수압판 + 녹생토

▸ 붕괴원인 : 풍화에 취약한 편암이며 파쇄대가 협재하고 있는 구간이며, 앵커의 정착장이 파쇄대에 위치함과 동시에 장시간 집중호우로 인한 파쇄대층의 전단저항력이 상실

▸ 대 책 : 비탈면 경사 완화(1:1.5) + 억지말뚝 + 영구앵커 공법



그림 3-13 00고속도로 건설 현장 중 터널 갱구부 붕괴 사고

⑤ 분당 00 역사 신축공사 (1992.12.27)

▸ 개 요 : 분당 00역사 신축공사 중 앵커가 적용된 흙막이 벽체가 붕괴

▸ 적용공법 : H-pile + 토류판 + 어스앵커

▸ 붕괴원인 : 정밀조사결과, 벽체 배면에 굴착면을 향하여 경사진 단층점토와 흑연을 함유한 연약층이 존재하며 이층을 따라 지반이 활동

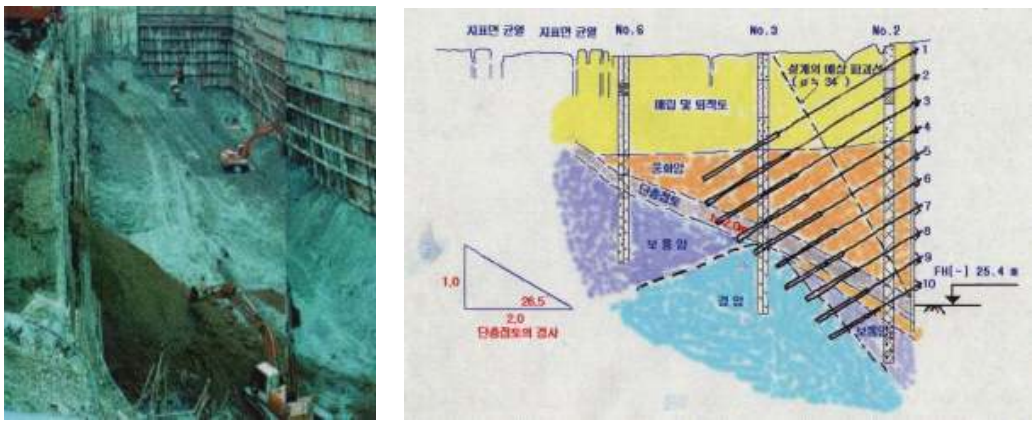


그림 3-14 분당 00역사 신축공사 중 가시설 붕괴 사고

⑥ 대전 대덕 특구 00 현장 (2008.04)

▸ 개 요 : 대전 유성구 도룡동에 00현장에서 GL(-)22.0m 굴착 진행 중 붕괴

▸ 적용공법 : 특수공법 + 어스앵커

▸ 붕괴원인 : 충분한 작업공간의 확보를 위해 사용된 특수공법에 대한 이해 부족 및 앵커 파단

▸ 대 책 : 파단된 앵커 추가 보강



그림 3-15 대전 대덕 특구 00현장 붕괴사고

⑦ 수원 신동 00현장

▸ 개 요 : 수원 신동 00현장에서 GL(-)19.6m 굴착 중 흙막이 벽체 붕괴

▸ 붕괴원인 : 코너버팀 띠장 폐합부실로 지지체 기능이 저하되었으며, 상부 C.I.P의 근입장이 부족, 상부버팀 파괴로 하부 C.I.P 벽체에 상재하중이 증가하여 급격한 변위 증가

▸ 적용공법 : C.I.P + H-pile + Anchor

▸ 대 책 : 암반층 까지 C.I.P 근입 깊이를 연장시키고, 띠장과 띠장, 띠장과 벽체의 연결부를 재시공하여 벽체를 폐합하여 보강

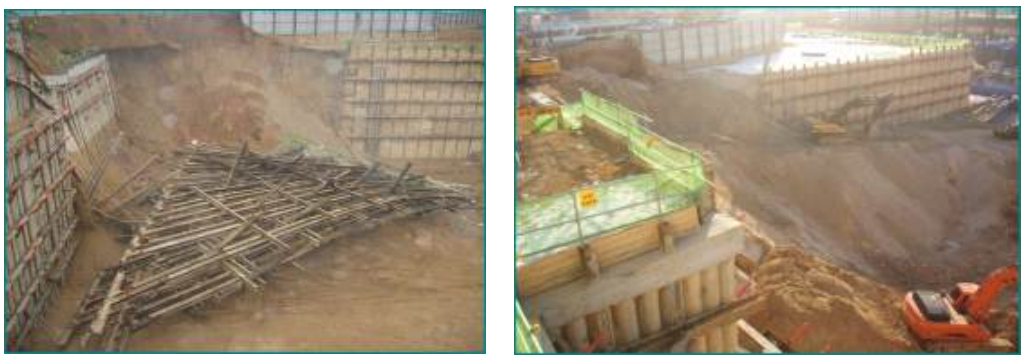


그림 3-16 수원 신동 00현장 가시설 붕괴 사고

⑧ 서울 강남지구 00현장

▸ 개 요 : 서울 강남지구 00현장에서 굴착이 완료된 후 성남 상대원 00현장에서 굴착 진행 중 흙막이 벽체가 붕괴

▸ 붕괴원인 : 흙막이 상부는 사면형성으로 지표수 유입, 붕괴전 집중호우 발생 (사면 측구 하단면 지표수 유입 발생)

▸ 적용공법 : H-pile + 흙막이판 + 앵커

▸ 대 책 : 붕괴라인 후면 절취 후 쏘일네일을 이용하여 보강



그림 3-17 서울 강남지구 00현장 붕괴사고

⑨ 용인 물류센터 절취면 붕괴 사고 (2017.10.23)

▸ 개 요 : 경기도 용인시 처인구의 한 물류센터 건설현장에서 흙막이 가시설 제거 중 높이 20m, 길이 80m 구간의 절취면이 붕괴되어 10명의 사상자가 발생

▸ 적용공법 : H-pile + 흙막이판 + 앵커



그림 3-18 용인 00물류센터 절취면 붕괴사고

⑩ Retaining Wall collapse at Bukit Setiawangsa in Malaysia (2012.12.24)

▸ 개 요 : Malaysia의 Bukit Setiawangsa 의 사용 중인 콘크리트 옹벽 일부와 비탈면이 붕괴

▸ 붕괴원인 : 기준치 이상의 옹벽 높이와 배수 시스템의 문제 및 지속적인 유지관리의 부족

▸ 적용공법 : 앵커 + 콘크리트 옹벽

▸ 대 책 : 옹벽 높이를 낮춰 재설계 및 시공



그림 3-19 말레이시아(Bukit Setiawangsa) 옹벽 붕괴 사례

3.1.4 국내외 앵커 긴장력 확인 장치에 관한 사례 조사

(1) 앵커 긴장력 확인 장치

① 일반사항

▪ 앵커 또는 앵커로 보강되는 구조물의 경우 설치 후 중요도에 따라 사용기간 동안 유지관리를 위한 장기계측을 실시하도록 하고 있다.

▪ 관련 기준에서 검토한 바와 같이, 앵커의 잔존 긴장력을 확인하는 방법에는 로드셀(Load cell)을 설치하는 방법과 리프트 오프 시험(Lift Off Load Tests)에 의해 확인, 특허로 등록된 공법으로 확인하는 방법이 있다.

② 감지소자(센서)와 계측의 원리

가. 계측시스템

▪ 계측시스템은 관찰하고자 하는 거동변수를 물리적 거동의 인터페이스에서 관리자가 해당 거동변수를 모니터링 할 수 있도록 구축한 시스템을 말한다. 계측은 '감지(센싱) → 변환 → 출력' 으로 이루어진다. 모니터링 변수와 센서 그리고 변환 가능 형태를 정리하면 아래 그림과 같이 표현 할 수 있다.

나. 감지소자의 분류

▪ 감지소자(센서, 변환기)는 에너지를 공급하는 어떤 한 시스템에서 2차 시스템으로 흘러간 에너지에 의해 활동되는 장치이다. 감지소자는 물리적 에너지를 변환기를 이용하여 전기 또는 빛 에너지로 변환하고 이를 다시 물리적 거동으로 정보화 한다. 일반적으로 기계적방법(다이얼게이지, 멤브레인 원리 등)과 전기적 방법[전기저항게이지방식, 진동현방식(vibrating wires), 선형변위원리(LVDT) 등], 광학적 방법 등의 원리로 작동한다. 감지소자는 그 감지방식에 따라 다음 그림과 같이 구분할 수 있다.

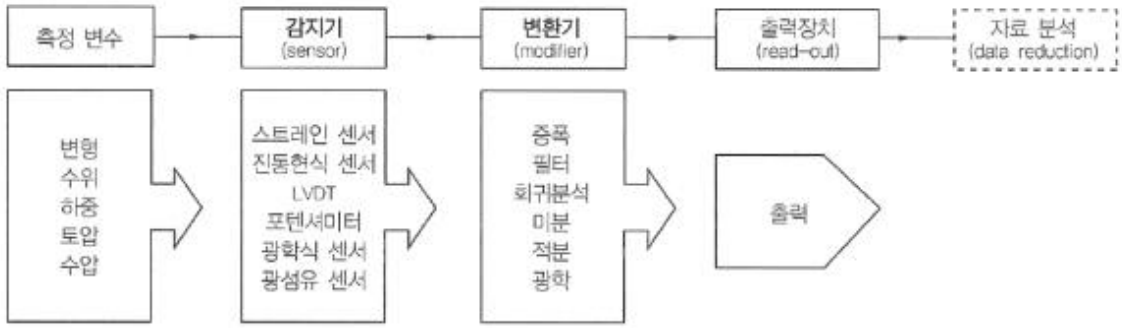


그림 3-20 계측시스템 구성 예(센서의 감지와 변환)

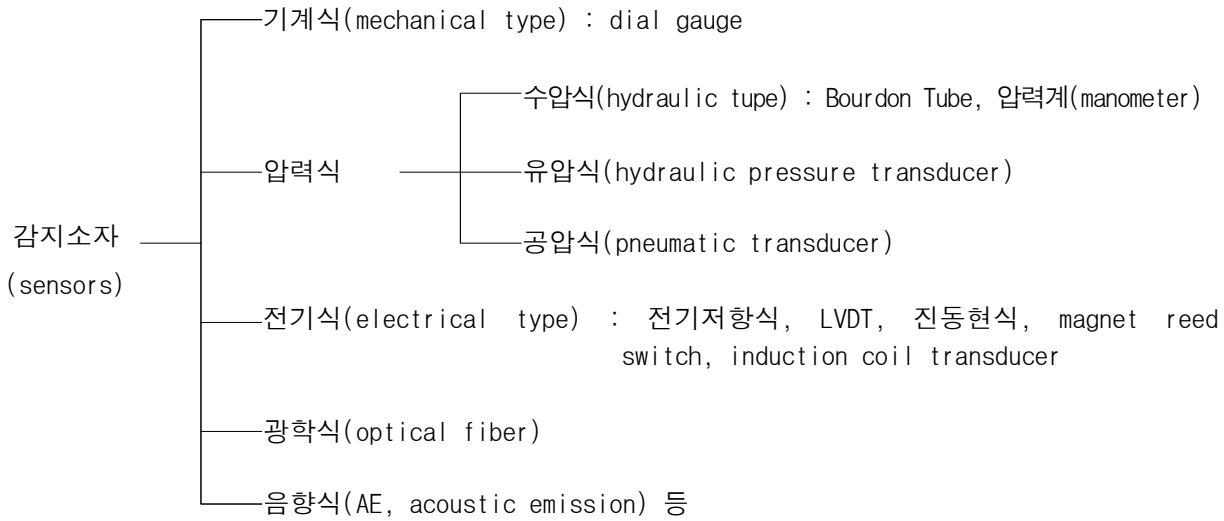


그림 3-21 감지소자의 분류

다. 대표적 감지소자

▪ 감지소자는 그 자체로도 계측기로 활용될 수 있지만, 대부분 상업용 계측기에 내장된다. 따라서 계측기를 활용하는 경우, 내장된 센서의 특성의 이해는 측정결과를 해석하는 데 유용하다. 특정 거동을 모니터링하기 위하여 특정 감지소자를 이용한 측정기를 제작하여 사용할 때도 있다. 관찰항목에 따른 대표적인 감지소자를 개략적으로 정리하면 다음 표와 같다.

[표 3.8] 대표적 감지소자

관찰항목	대표적 감지소자
응력 및 변형	전기저항식(스트레인 게이지), 진동현식, 광섬유
변위	전기저항식, 진동현식, 포텐셔미터, LVDT, 광섬유, 광학식
경사	전기저항식, 진동현식, 포텐셔미터, LVDT, 광섬유, 광학식
하중	전기저항식, 진동현식, 광섬유, 포텐셔미터, LVDT
수압	수압식, 유압식, 공기식

라. 감지소자별 힘(로드셀 등) 변환기의 특성

▪ 영국의 Institute of Measurement and Control에서는 로드셀의 변환기 종류별 일반적인 특성치의 범위를 아래 표와 같이 제시하고 있다.

[표 3.9] 로드셀 변환기 종류별 특성치

구 분	정격용량 범위	불확도(%)	온도 민감도(%) 및 작동범위
유압식(Hydraulic)	500 N ~ 5 MN	0.25 ~ 5	0.05 (+5 ° C ~ +40 ° C)
공압식(Pneumatic)	10 N ~ 500 kN	0.1 ~ 2	0.05 (+5 ° C ~ +40 ° C)
Strain gauge load cells : Foil gauges Semiconductor gauges Thin film gauges	5 N ~ 50 MN 1 N ~ 10 kN 0.1 N ~ 100 MN	0.02 ~ 1 0.2 ~ 1 0.02 ~ 1	0.01 (-40 ° C ~ +80 ° C) 0.02 (-40 ° C ~ +80 ° C) 0.02 (-40 ° C ~ +80 ° C)
LVDT, capacitive, tuning-fork, vibrating wire	10 mN ~ 1 MN	0.02 ~ 2	0.02 (-40 ° C ~ +80 ° C)
Piezoelectric crystal	1.5 mN ~ 120 MN	0.3 ~ 1	0.02 (-190 ° C t ~ +200 ° C)
Force balance	0.25 N ~ 20 N	0.0001	0.0001 (-10 ° C ~ +40 ° C)
Magnetostrictive	2 kN ~ 50 MN	0.5 ~ 2	0.04 (-40 ° C ~ +80 ° C)
Gyroscopic	50 N ~ 250 N	0.001	0.0001 (-10 ° C ~ +40 ° C)

▪ 일반적으로 bridge를 구성하여 사용하는 strain gauge 로드셀은 foil type strain gauge가 주로 쓰이며, 이는 탄성 부재에 힘을 가할 때 strain 변화에 따른 전기 저항의 변화를 전압을 이용하여 측정하고 이를 압력 또는 축력으로 변환하는 방법이다.

▪ 진동현식(Vibrating wire) 로드셀은 탄성 부재와 변형 센서의 조합은 같으나, strain을 장력변화에 따른 주파수 변화 측정을 통해 측정하고 이를 압력 또는 축력으로 변환하는 방법이다.

▪ LVDT(Linear variable differential transformer) 로드셀은 차동 트랜스식 로드셀이라고도 불리우며, 탄성 부재와 LVDT 센서가 조합된 형태로 압력 또는 축력을 변환하는 방법이다.

▪ 유압디스크식 로드셀은 다른 계측기와 달리 오일을 이용하여 압력을 부르동관 등의 변환기를 통해 압력으로부터 직접 압력을 측정하는 방법이다.

▪ 압전 로드셀(Piezoelectric Load Cells)은 기계적 변형률을 받을 때 전하를 발생하는 성질을 이용하여 압력을 측정하는 방법이다. 가장 보편적인 압전 재료는 단결정-수정(single-crystal quartz)이다.

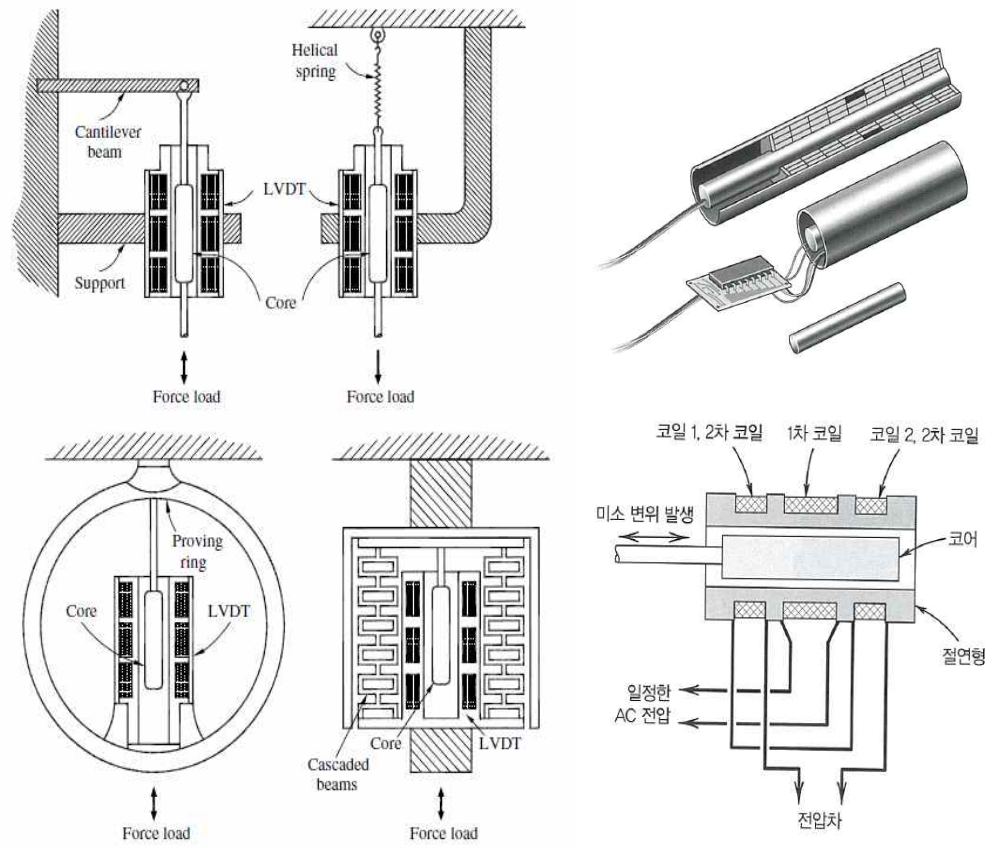
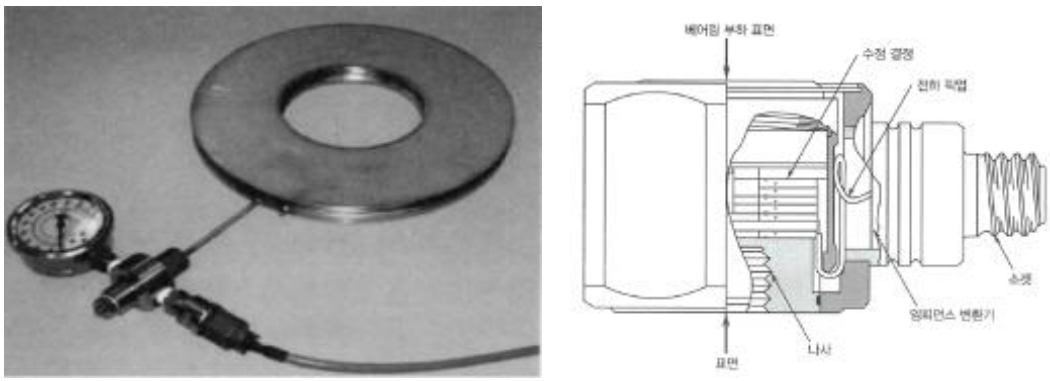


그림 3-22 다양한 형태의 탄성부재와 LVDT 조합의 변환기



(a) 유압디스크 로드셀 (b) 압전 로드셀

그림 3-23 로드셀의 종류

③ 앵커 긴장력 확인 장치(특허)

- 로드셀에 의한 앵커의 잔존 긴장력 측정법은 표본조사의 개념으로 적용되는 가장 일반적인 방법이며, 전기저항식, 진동현식, 차동트랜스식, 그리고 유압 디스크식 로드셀 등이 주로 사용되고 있다.

- 로드셀에 의한 앵커 긴장력 확인은 앵커의 시공단계에서 로드셀이 설치되어야 하므로 사전에 구조물의 중요도, 장기 계측의 목적 등을 고려하여 설치장소와 수량을 결정하여야 한다.

- 2000년대 초반부터 다양한 광섬유 센서들이 도입되어 적용되고 있으며 광섬유 센서가 내장된 텐던을 활용한 앵커 긴장력 측정 장치가 개발되었다.

▪ 보유응력 자가진단 방법은 가장 최근에 개발된 앵커 긴장력 확인방법으로 지반앵커의 긴장력이 자유장의 변형과 일대일 대응한다는 개념으로 앵커의 긴장력을 확인한다.

[표 3.10] 앵커 긴장력 확인 장치의 종류

구 분		작 동 원 리	비 고
Load Cells	Strain gauge type	길이 변화에 따른 전기 저항의 변화를 이용하여 측정	①
	Vibrating Wire	길이변화에 따른 wire의 장력변화를 측정	②
	LVDT	탄성 부재와 LVDT 센서가 조합된 형태로 측정	③
	Piezoelectric	기계적 변형률을 받을 때 전하를 발생하는 성질을 이용	④
	유압 디스크	오일을 이용하여 압력을 부르동관 등의 변환기를 통해 측정	⑤
광섬유 브래그격자 (Fiber Bragg Grating, FBG)센서		광섬유 센서를 이용 강연선의 변형률 측정	⑥
보유응력 자가진단법		앵커 자유장의 하중-변위 관계로부터 긴장력 확인	⑦
리프트 오프 시험 (Lift Off Tests)		설치된 앵커의 인장력에 대응하는 하중-변위곡선을 이용하여 긴장력을 확인	⑧

▪ 리프트 오프 시험(Lift Off Load Tests)을 통한 잔존 긴장력 확인 방법은 설치된 앵커의 인장력에 대응하는 하중-변위곡선을 이용하여 잔존 긴장력을 확인하는 것이다. 다음 그림은 리프트오프 시험 모습이다.



(a) 리프트 오프 시험



(b) 정착 두부의 변위발생



(c) 사면에서의 리프트 오프 시험 - 1



(d) 사면에서의 리프트 오프 시험 - 2

그림 3-24 리프트 오프 시험 전경

▪ 리프트 오프 시험을 통한 잔존 긴장력 판정방법은 다음과 같다.

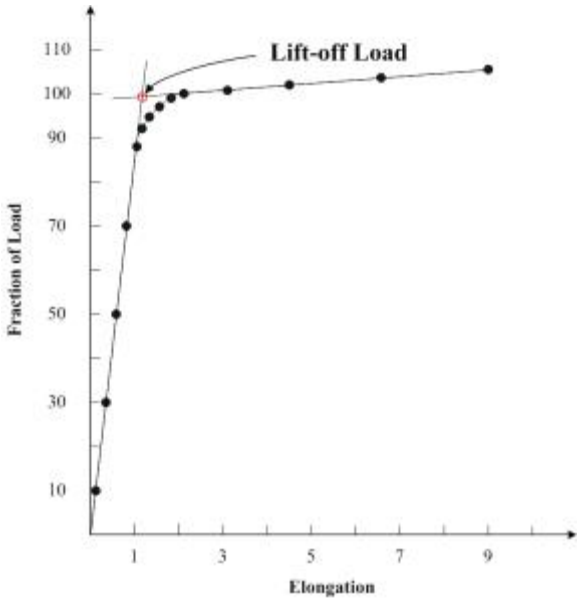


그림 3-25 리프트 오프 시험에 의한 보유응력 판정

잔존 긴장력 판정방법

◦ 리프트 오프 시험과장 중(a)구간의 변위를 정확하게 읽어내기는 쉽지 않다.

◦ 이론적으로는 시험과정에서 보유응력에 도달하기 전까지는 변위가 발생하지 않아야 한다.

◦ (a)과정의 변위는 시험장치의 세팅에 의한 변위가 나타나는 것으로 아주 미세하고 불규칙적으로 나타난다.

◦ 지반 앵커의 보유응력 이상의 하중단계에서 인장재에 긴장력이 도입되므로 당초 인장단계에서 나타났던 하중-변위곡선(자유장의 탄성곡선)의 기울기(θ_1)와 동일한 변위곡선(θ_2)이 나타난다.

◦ 즉, (b)구간과 같은 변위곡선을 얻을 수 있으며 이 곡선을 이용하여 보유응력을 확인할 수 있다.

▪ 리프트 오프 시험은 필요시 언제나 확인 할 수 있다는 장점이 있으나 재인장형 정착구가 적용된 앵커에 대해서만 적용이 가능하고 별도의 시험 비용이 추가적으로 발생한다.

[표 3.11] 리프트오프 시험 수량(비탈면 보강용 지반앵커 시험지침, 2013, 도로교통연구원)

앵커 수량	지반조건			
	발파암	리핑암	토사	
			사질토	점성토
20개 미만	최소 1개	최소 2개	최소 3개	최소 4개
100개 미만	최소 3개			
100개 이상	초기 시공된 3개의 앵커와 동일한 정착지반에 설치하는 앵커에 대하여는 추가로 100개당 1개			

라. 고찰

▪ 로드셀에 의한 앵커 긴장력 측정은 초기비용이 많이 들고 주기적으로 관리해야 하는 단점이 있으며, 표본조사의 한계가 있다.

▪ 리프트오프시험은 필요시 언제나 확인할 수 있다는 장점이 있으나 재인장형 정착구의 적용이 필수적이며 별도의 시험비용이 발생된다.

▪ 광섬유 센서를 이용한 앵커 긴장력 측정 및 관리 기술은 실험실에서의 연구를 통해 기술은 개발되어 있으나 경제성 분석 및 현장 적용성에 대한 면밀한 검토가 이루어지지 않아 아직 상용화에 이르지 못하고 있다.

▪ 최근에 개발된 보유응력 자가진단 방법은 지반앵커의 긴장력이 자유장의 변형과 일대일 대응한다는 개념으로 앵커의 긴장력을 확인한다. 이 방법은 지반과 정착장이 탄성거동 한다는 전제로 앵커의 긴장력을 확인할 수 있다고 하였다. 하지만 탄소성 재료이며 변형 연화 거동을 보이는 앵커체의 정착장 거동을 자유장 부분만의 하중-변위 관계로 앵커의 긴장력을 확인하는 단순화 구조로는 지반의 진행성 파괴 등과 같은 비선형 거동을 예측하기 어려울 것으로 사료된다.

3.1.5 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 개발을 위한 기초조사

(1) 육안확인장치가 설치되어야 할 구조물

▪ 가시설 현장도 터널 수직구 및 갱구 등 2년 이상 장기간 그 기능을 유지해야하는 현장의 경우 앵커 하중 손실 여부를 확인하여 구조물의 안정성을 평가해야 한다.

▪ 도로나 철도 사면 보강용 영구앵커나 도심지 옹벽보강용 영구앵커의 경우 그 기능을 수십년 동안 유지해야 한다.

▪ 그러므로 앵커 정착구의 방식처리 뿐만 아니라 앵커 하중손실 여부도 반드시 확인되어야 구조물의 안정성을 보장 받을 수 있다.

(2) 기존 앵커 두부 정착방식 조사

▪ 그라운드 앵커는 지반 정착형식에 의해 마찰형 앵커, 지압형 앵커, 복합형 앵커로 분류된다.

▪ 마찰형 앵커는 그라우트와 지반의 주면마찰력으로 지지되는 앵커로써, 그라우트에 하중이 가해지는 방식에 따라 다시 인장형과 압축형으로 분류할 수 있다. 인장형 앵커의 경우 앵커 두부에 가해지는 하중은 인장재를 통해 그라우트로 전달되고, 정착장을 통해 지반으로 전달되기 때문에 정착장에는 긴장력, 자유장에는 압축력이 작용하게 된다.

▪ 압축형 앵커의 경우에는 인장재 전장이 강선피복에 의해 보호되므로 앵커 두부에 가해지는 하중은 앵커체 선단 그라우트에서부터 지반으로 전달된다. 따라서 압축형 앵커의 그라우트 전장에는 압축력이 작용하게 된다. 또한, 압축형 앵커는 하중의 분포에 따라 하중집중형 앵커와 하중분산형 앵커로 분류할 수 있다.

▪ 지압형 앵커는 확공식 착공에 의한 그라우트와 지반과의 지압저항에 의해 지지되는 앵커이다.

▪ 복합형 앵커는 그라우트와 지반의 주면마찰력 및 확공식 착공에 의한 그라우트와 지반과의 지압저항에 의해 복합적으로 지지되는 앵커이다.

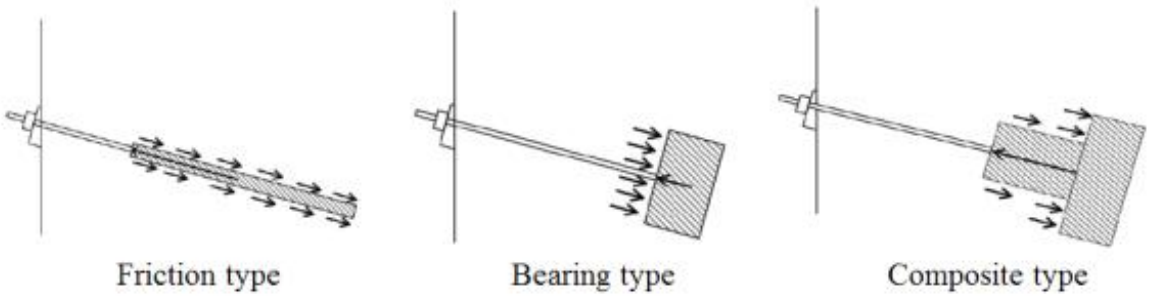


그림 3-26 지반 정착 형식의 의한 분류

- 지반 정착 형식에 따라 앵커 두부의 정착은 쐐기정착방식, 너트정착방식, 쐐기너트 병용방식 등으로 분류할 수 있으며, 고속도로에서는 필수적으로 재긴장이 가능한 앵커의 선정 및 시공을 하도록 하고 있다.



그림 3-27 그라운드 앵커의 긴장 정착방식

- 또한 특허 등록번호 1006785730000 강연선의 분리가 가능한 정착장치로 개발된 장치는 일단부에 강연선을 수용하고 강연선과 함께 회전될 수 있는 형상이다.

- 본 장치는 웨지조립체가 가압부에 의해 가압되어 강연선이 고정되고, 웨지조립체가 삽입공의 반대방향으로 움직이는 경우에는 웨지 조립체의 가압이 해제되어 강연선의 분리가 가능하다.

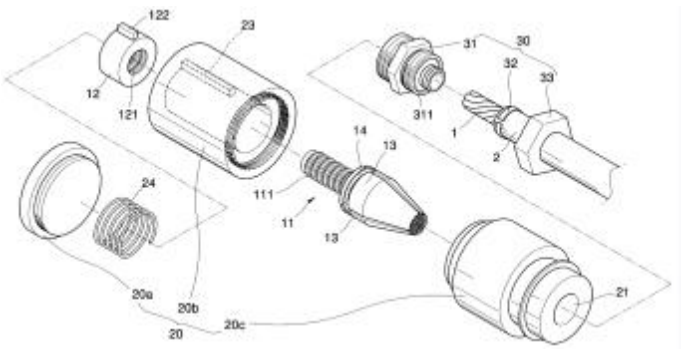


그림 3-28 강연선 분리가 가능한 정착장치(특허)

- 제거형 그라운드 앵커용 정착장치(1006990150000)는 웨지절편 내주면과 강연선 사이의 마찰력이 해제됨으로 인해 상기 강연선을 제거하는 것이 가능한 것을 특징으로 하는 정착방식이다.

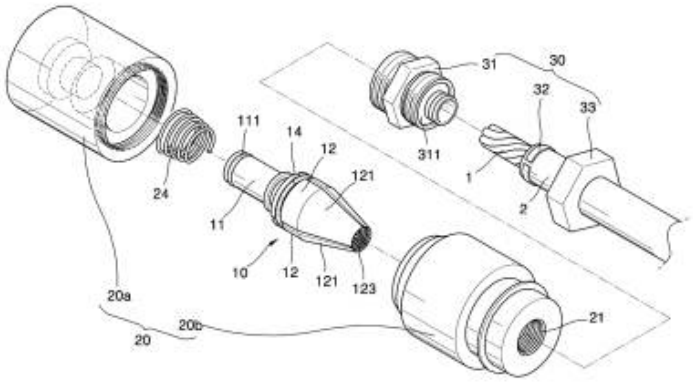


그림 3-29 제거형 그라운드 앵커용 정착장치(특허)

- 그라운드 앵커의 정착방식의 웻지 형식 중 강연선 이탈 방지하는 정착구는 강연선에 안정되고 증대된 긴장력을 제공하고 강연선 긴장시 강연선의 이탈을 방지할 수 있는 정착구이다.

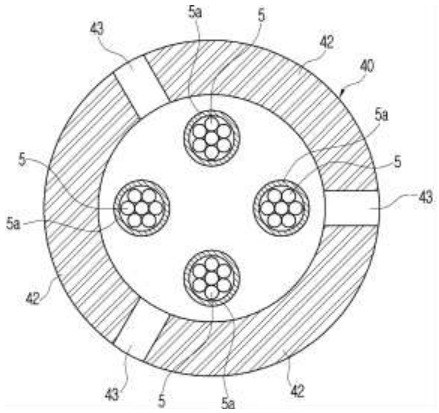


그림 3-30 강연선 이탈 방지 정착구(특허)

- 또한 좌굴 억제가 가능한 그라운드 앵커 두부 정착 시스템은 재하판의 이탈방지와 원활한 각도 조절이 가능하고 아치형을 이루는 앵커 브라켓의 응력 집중 및 좌굴 변형을 방지할 수 있고, 2축에서 발생된 지압력으로 H형강 띠장의 좌굴을 억제할 수 있는 두부 정착 시스템이다.

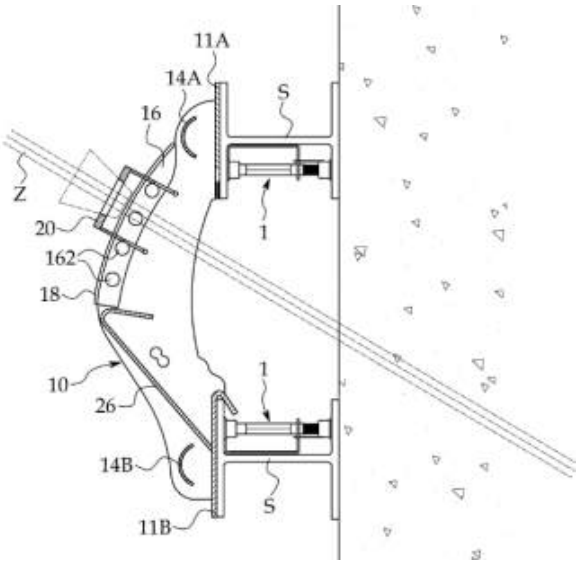


그림 3-31 좌굴 억제 두부 정착 시스템(특허)

(3) 탄성 반력체 종류 분석 및 선정

▪ 신설용 앵커와 노후용 앵커에 적용할 수 있는 탄성반력체의 종류를 재질에 따라 분석하여 가장 적합한 탄성반력체를 선정하였다.

① 고무

▪ 고무는 상온에서 탄성을 나타내는 사슬 모양의 고분자물질이나 그 원료가 되는 고분자 물질을 말하며, 크게 천연고무와 합성고무가 있고 재질별로 천연고무(Natural rubber), EVA(Ethylene vinyl acetate) 및 TPU(Thermoplastic polyurethane) 등으로 분류된다.



그림 3-32 고무재질의 탄성반력체

▪ 표 3.12에 나타낸 철도궤도용 고무재료의 재질별 물리적 특성 분석결과 인장강도는 TPU 재질이 매우 우수하며, 신장율은 EVA와 TPU가 유사하며 천연고무의 경우 신장율이 다소 떨어진다.

[표 3.12] 철도궤도용 고무재료의 재질별 물리적 특성

구 분		EVA (Eyhylene Vinyl Acetate)	TPU (Thermoplastic PolyUrethane)	NR (Natural Rubber)
인장강도(kgf/cm^2)		120 이상	400 이상	170 이상
신장율(%)		500 이상(건조상온)	500 이상	300 이상
경도(Shore A)		93 이상(KS M 6784)	90 이상	65~75 (ASTM D 2240)
전기고유저항(Ω · cm)		107 이상	108 이상	108 이상
정적스프링 계수 (kN/mm)	KR code	147~245	98~196	20~120

▪ 또한 고무는 교량의 받침의 재질로도 많이 쓰이는데, 압력을 가하여 상당한 변형이 있은 후 그 압력을 제거하면 초기의 크기와 형상으로 복원하기 위해 고분자 물질인 탄성중합체를 사용하며, 적용하중은 8ton ~ 1,000ton 까지 적용가능하다.

▪ 그러나 그림 3-33과 같이 고무는 초기에 가지고 있던 기계적 성질, 외관, 형상 등이 시간의 경과와 함께 변화하여 기능상의 문제가 발생되는 열화 현상으로 당초 예상했던 복원력을 기대하기 어려울 수 있으므로 내구성 개선이 필요할 것으로 사료된다.



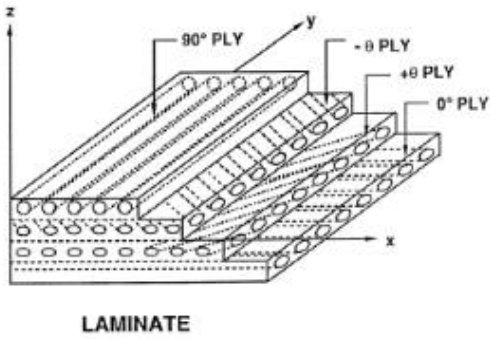
그림 3-33 고무의 열화과정

② FRP

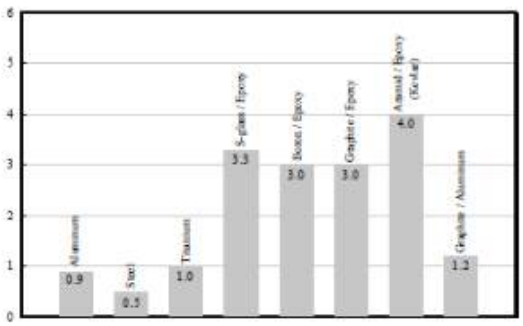
▪ FRP는 재료의 역학적 성질이 뛰어난 섬유(fiber)와 섬유를 구속, 성형하고 응력을 전달하는 고분자 재료(polymer)의 복합체를 말하며, 고비강도, 고비강성이며 높은 파괴인장강도를 지니고, 내부식성이 뛰어나며, 경량성과 신속 시공성이 좋은 장점을 지니고 있다.

▪ FRP 복합재의 구성요소는 입자, 섬유, 층과 이를 구속하여 일체화 시키는 기지 등이 있으며 이러한 요소들로 구성된 복합재료는 일반적으로 입자보강 복합재료, 섬유보강 복합재료, 층상 복합재료 등으로 구분할 수 있다.

▪ FRP는 2방향의 역학적 성질을 갖는 섬유와 기지로 구성된 단층을 설계의 목적에 따라 임의의 방향으로 여러 층을 적층하여 만들게 되는데 이렇게 만들어진 제품을 적층판이라 한다.



(a) 적층판의 개념도



(b) 파괴인장강도

그림 3-34 FRP의 특성

▪ 그러나 FRP는 취성적인 거동을 보이며, 대량 생산제품이기 때문에 대량 오류가 발생하기 쉽고, 재료비가 다소 고가일 뿐만 아니라 복잡한 파괴모드를 가지는 단점이 있다. 따라서 FRP의 경우 탄성반력체로 선정하기에 경제성 확보와 취성적인 거동에 대한 개선이 필요할 것으로 사료된다.

③ 강재

가. 코일 스프링

▪ 압축 코일 스프링은 압축하려고 하는 힘에 저항하는 스프링으로 설계가 용이하고 작업이 비교적 단순하며 제작비용이 저렴하고 효율이 높아 가장 널리 사용되는 스프링이다.

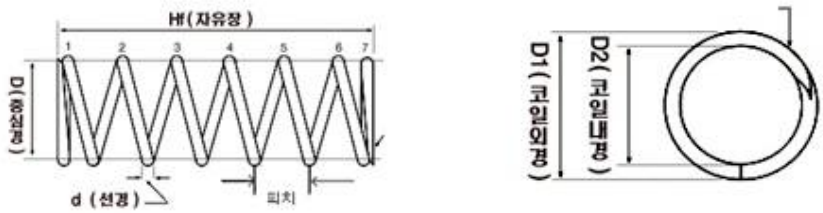


그림 3-35 압축 코일 스프링

▪ 압축 코일 스프링은 제동장치, 쇼바, 조향장치, 변압기 등 자동차 부품, 전기전자 부품 등에 다양한 용도로 사용되고 있으며 원통형, 원추형, 장고형, 단지형 등 여러가지 형태로 제작이 가능하다. 또한 코일 스프링은 제작 과정에 따라 냉간 코일 스프링과 열간 코일 스프링으로 구분할 수 있다.



그림 3-36 압축 코일 스프링의 형태

나. 냉간 코일 스프링

▪ 냉간 코일 스프링은 0.1㎜~13㎜ 냉간 소재를 성형기계를 통해 제작되며 스프링 형상으로는 원통형, 원추형 및 장고형 스프링이 있다. 자동차 엔진밸브, 차량용, 산업기계용, 콘트롤밸브, 방진용, 전자제품, 가구부품 등 다양하게 사용된다.

다. 열간 코일 스프링

▪ 14㎜이상의 소재를 고온상태로 달궈 성형한 후 급속 냉각시키는 방식으로 제작된다. 스프링 형상은 냉간 코일 스프링과 같다. 열간 코일 스프링은 자동차, 철도차량, 산업기계, 컨트롤 밸브, 방진장치 등에 사용된다.

라. 볼류트 스프링

- 볼류트 스프링은 직사격형 단면형태의 코일을 이용한 원추형 압축 스프링으로 압축시 바닥부의 판부터 좌면에 접촉하여 작은 공간에서 다른 스프링보다 큰 하중을 지지한다.

- 볼류트 스프링은 아랫방향으로 축 하중이 작용할 때 하중은 변형과 함께 거의 직선적으로 증가하다가 경이 큰 바닥부의 판으로부터 순차적으로 좌면에 접촉한다. 좌면 접촉 후 판은 스프링으로서의 작용을 하지 않기 때문에 일정하중 이상에서의 변위에 대해 하중이 급격히 증가하는 경향이 생긴다.



(a) 냉간 코일 스프링 (b) 열간 코일 스프링 (c) 볼류트 스프링

그림 3-37 코일 스프링의 종류

마. 금형 스프링

- 금형스프링은 압축 스프링의 일종으로 재료단면은 사각이며, 우수한 소재를 사용하여 뛰어난 내구성을 갖춘 스프링이다. 금형 스프링의 하중은 색깔에 따라 구분되며 사출 및 프레스 금형에 주로 사용된다.

종류	기호	색	종류	기호	색
輕小荷重	AF	노란색	重荷重	AH	녹색
輕荷重	AL	파란색	極重荷重	AB	갈색
中荷重	AM	빨강색	高變形用	AR	회색

그림 3-38 금형스프링의 하중에 따른 색깔 변화

- 와이어링 공정의 치밀한 조직으로 제작되어 길이의 변형과 표면손상이 전혀 발생하지 않고, 각종 금형 및 일반 기계정비에 적용하여도 뛰어난 성능을 발휘한다.

- 하지만 최대 밀착시까지 사용하면 영구변형이나 휨이 발생할 수 있으며, 스프링 장착면의 평행도가 좋지 않은 경우 스프링이 구부러지면서 안쪽부분에 국소적인 응력집중으로 파손이 발생한다.

- 이와 같은 코일스프링은 목표하중에 부합하도록 제작하기 위해 내 · 외경이 증가해야 하지만 육안확인장치 규격에 맞게 제작하기 위해서 다소 어려움이 있어 탄성반력체로 사용하기에 개선이 필요하다고 사료된다.

바. 판 스프링

- 판스프링은 한 개 또는 길이가 각각 다른 몇 개의 박판 또는 사다리꼴 형태의 판재를 겹쳐 만든 스프링이다.

- 부피는 작지만 다양한 형태로 가공이 가능하고 스프링 작용과 특성을 이용하여 판재로 가공하여 사용하며 구조가 간단하고 진동에 대한 억제 작용의 힘이 큰 반면, 작은 진동은 흡수하지 못하는 편이다.

- 또한 판스프링은 판간 마찰력을 이용해 진동을 억제할 수 있고 내구성이 큰 특징이 있지만 부드러운 스프링 판을 사용하면 지지력이 부족하여 불안정한 단점이 있다.

- 판스프링의 경우 내구성은 우수하나 설계하중을 지지하기에 부적절하며 이에 대한 개선이 필요할 것으로 사료된다.

사. 디스크 스프링

- 접시모양으로 성형된 원추형의 판 스프링으로 대형산업기계 완충 및 안전장치, 유압실린더 내 완충 스프링 등 큰 하중을 견디기 위한 모든 산업분야에서 광범위하게 사용된다.

- 디스크 스프링은 작은변위로 축방향의 큰 하중을 지지하며 조립방법에 따라 좁은 공간에서 다양하게 힘과 행정거리를 갖도록 응용해서 사용할 수 있다.

- 단위체적당 하중이 코일스프링에 비해 상당히 크고 피로수명이 길며 크립(Creep) 발생률이 낮다.

- 판수의 증감, 직렬, 병렬의 조합에 의해 스프링 특성을 변경시킬 수 있으며 충격완화가 풍부하고 완충효과가 크다. 또한 허용응력 범위내에서 사용하면 긴 내구수명을 유지할 수 있다.



그림 3-39 판 스프링



그림 3-40 디스크 스프링

④ 기타

가. 우레탄 스프링

- 우레탄 스프링은 우레탄을 이용하여 만든 스프링으로 고하중용 우레탄과 고변형용 발포 우레탄 등의 종류로 분류된다.

▪ 코일 스프링과 비교하여 하중에 대한 비용이 뛰어나며 가공성이 우수하다.

▪ 그러나 변형시 내부 마찰에 의해 열이 발생하여 급속하게 가압을 할 경우 내부가 축열되고 하중에 대한 안정성이 떨어진다.

▪ 하중에 대한 비용과 가공성은 우수하나 하중에 대한 안정성의 개선이 필요하며 하중을 받아 변형 후 복원량이 미흡하여 이에 대한 개선이 필요할 것으로 사료된다.

나. 공기 스프링

▪ 압축공기의 탄성을 이용한 스프링이며, 유연한 탄성을 얻을 수 있고 노면으로부터의 아주 작은 진동도 흡수할 수 있어 장거리 대형버스 등에 이용되는 스프링이다.

▪ 자동제어가 가능하며 스프링의 높이나 내하력 등을 독립적으로 광범위하게 설계할 수 있지만 공기 누출의 가능성이 있고 구조가 복잡하여 전체적으로 시설비가 많이 소요된다.

▪ 육안확인장치의 탄성반력체로서 적용하기에 구조적으로 복잡하고 공기 누출 위험이 있어 적절하지 않은 것으로 사료된다.



그림 3-41 우레탄 스프링



그림 3-42 공기 스프링

⑤ 고찰

▪ 육안확인장치에 설치되는 탄성반력체의 재료는 앵커의 설계 긴장력에 따른 적정한 하중과 변위 및 복원력을 보유하고 있어야하므로 고하중을 견딜수 있고, 피로수명과 내구성이 우수한 디스크 스프링을 탄성반력체로 선정하였다.

(4) 수치해석 모델링 기법 분석

① 탄성반력체 인터페이스 분석

▪ 신설 및 노후 앵커에 사용될 탄성반력체에 대한 안정성과 이를 앵커시스템에 적용할 경우, 전체 앵커 시스템의 안정성을 수치해석을 통해 평가하였으며, 그에 따른 탄성반력체의 인터페이스 분석 결과는 다음과 같다.

☞ 탄성반력체 정적 거동 모델링

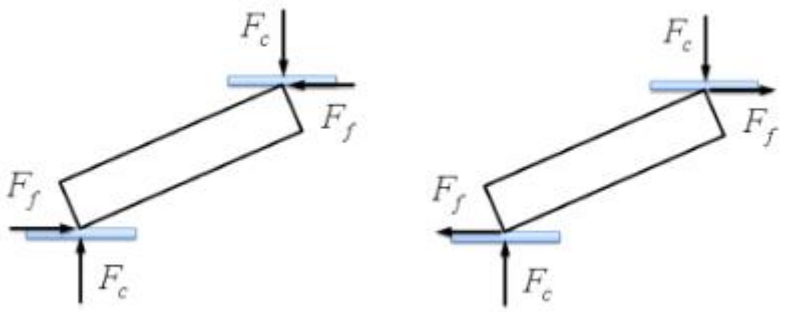
▪ 선정된 탄성반력체는 판의 두께가 일정하며 작용 하중이 내경 상부와 외경 하부의 가장자리에 고르게 분산되는 특징이 있다. 또한 작은 변위로 큰 축방향의 하중을 지지하는데 이상적으로 사용될 수 있는 기계요소로서, 자동차를 비롯한 선박 해양 탐사시설, 건설장비, 기계 공구, 교통시설 등 거의 모든 산업 분야에 광범위하게 적용되고 있다.

▪ 선정된 탄성반력체는 1867년 Julien-Francoise Belleville가 현재 사용되는 형태에 대한 특허를 취득한 이후 다양한 제품에 꾸준하게 적용되어 왔고, 그 특성에 대한 연구 또한 다양하게 이루어져 왔다.

▪ 이러한 탄성반력체를 신설용 앵커 긴장력 상시 육안확인장치에 적용함으로써, 긴장력 손실로 인해 느슨해진 앵커의 긴장력을 확인할 수 있는 장치의 탄성반력체로 사용할 수 있다.

▪ 탄성반력체를 앵커 긴장력 상시 육안확인장치로 사용하기 위해서는 먼저, 탄성반력체에 앵커의 긴장력을 재하하였을 때의 구조적 안정성과 앵커 시스템에 적합여부를 수치해석을 통해 파악하고, 적층 방법에 따른 정적 거동 특성에 대해 분석하여 규격화를 완료하여야 한다.

▪ 이를 위해 탄성반력체의 마찰특성에 대한 파악이 필요하다. 단일 탄성반력체의 압축과 복원 시에 작용하는 마찰력은 다음 그림 3-43에 나타내었다. 즉, 탄성반력체가 압축될 때 탄성반력체 모서리에서 발생한 마찰력은 회전중심에 모멘트를 발생시키고, 이것은 압축 하중이 회전중심에 대하여 발생시키는 모멘트와 반대 방향으로 작용하여 압축에 요구되는 하중이 증가하게 된다.

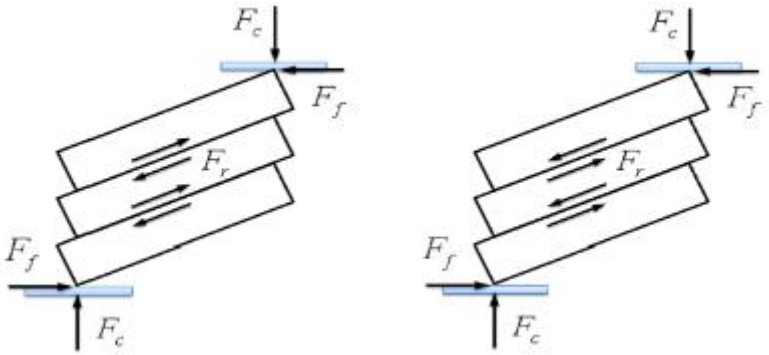


(a) Compression (b) Tension

그림 3-43 Friction forces of single elasticity reaction force device under compression and tension

▪ 이와는 반대로 복원 시에는 마찰력에 의한 모멘트가 압축 하중에 의한 모멘트와 같은 방향으로 작용하여 발생한 마찰력만큼 압축 하중이 감소하게 된다. 이러한 마찰력은 하중을 받는 표면 거칠기, 탄성반력체 모서리의 라운드 크기, 윤활제의 유무 등에 따라 달라진다.

▪ 탄성반력체는 그 적층 방법에 따라서 압축과 인장 시 각각의 탄성반력체 사이, 탄성반력체와 가이드 및 하중이 작용하는 모서리 등에서 마찰력이 발생하게 되고, 마찰력으로 인하여 탄성반력체는 적층되는 방법과 개수에 따라 다양한 이력현상이 나타난다.



(a) Compression (b) Tension

그림 3-44 Friction forces of stacks of elasticity reaction force device under compression and tension

- 그림 3-44에 나타난 바와 같이 탄성반력체를 병렬로 적층하는 경우 적층한 각각의 탄성반력체의 접촉되는 면에서 마찰력이 발생하게 된다. 이 마찰력은 적층된 개수에 비례하며, 압축 시 압축하중의 증가와 복원 시 압축하중의 감소를 발생시킨다.

- 이러한 탄성반력체의 적층 시 이력현상은 적층된 탄성반력체의 개수가 많을수록 커지는데 이는 적층된 탄성반력체에서 각각의 기하학적 형상 변화의 누적에 의한 것이다.

- 탄성반력체를 직렬로 적층할 때에는 병렬로 적층하는 경우에 비해 매우 작은 마찰력이 발생하는데, 탄성반력체 내경의 곡선을 탄성반력체 및 가이드 사이의 마찰력이 최소화되도록 설계하기 때문이다.

☞ 지반-구조물 수치해석을 위한 모델링 기법 연구

- 수치해석에 대한 모델링 기법 연구는 앵커의 장·단기 거동을 예측하고, 육안확인장치가 설치된 새로운 시스템으로써의 장·단기 거동을 비교하기 위해 수행될 예정이다.

- 앵커의 장·단기적 거동은 정착장에서의 지반과 그라우트 인터페이스의 변화에 가장 큰 영향을 받으므로, 당해연도에서는 Soil-Structure interaction에 대한 문헌검토를 통해 지반-그라우트의 인터페이스 모델링 기법에 대해 연구하였다.

- 추후 계획되어진 실내모형시험 및 현장시험 결과와 비교·분석을 통해 기존 앵커 시스템의 장·단기 거동에 대한 규명은 물론, 긴장력 상시 육안확인장치가 적용된 앵커의 거동 또한 규명할 예정이다.

- 대다수의 지반공학적 문제는 구조물과 흙의 상호거동을 포함한다. 이러한 상호거동 문제를 수치해석에서 다루기 위해서는 지반과 구조물 각각의 모델링과 더불어 지반과 구조물 사이의 인터페이스 거동을 모델링해야 한다.

- 대부분의 경우 이러한 상호거동을 모델링하기 위해 특별한 알고리즘이 요구된다. 예를 들어, 유한요소해석에서는 전통적인 연속체 요소와 함께 특별한 인터페이스 요소를 추가하여 사용할 수 있다.

▪ 그림 3-45와 같이 많은 지반공학적 문제들은 흙과 구조물의 상호거동을 포함한다. 따라서 이러한 문제에 수치해석을 적용할 때 구조적인 요소인 흙막이 벽체, 버팀보, 앵커, 터널 라이닝, 기초 등을 유한요소 메쉬에 포함해야 한다.

▪ 이론적으로 전통적인 2D 또는 3D 연속체 요소들을 사용하여 이러한 구조 요소들을 모델링할 수 있으나, 실제에서는 이러한 모델링에 한계가 있다.

▪ 지반-구조물 상호거동 상황에서는 흙과 구조물의 상대적 변형이 발생할 수 있다. 유한요소해석에서 변위의 적합성을 만족하는 연속체 요소를 사용하면 지반-구조물 인터페이스에서의 상대적인 변형을 구속한다(그림 3-45).

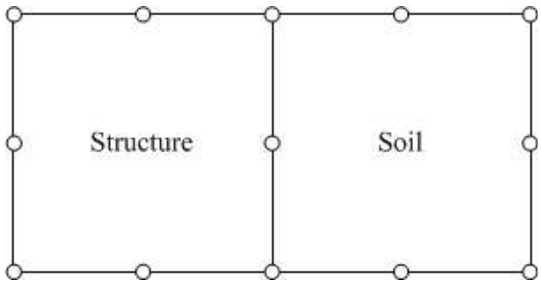


그림 3-45 연속체 요소를 사용하는 흙-구조물인터페이스

▪ 즉, 유한요소법의 절점의 적합성이 인접한 구조물 요소와 지반요소가 함께 움직이도록 한다. 인터페이스 요소는 가끔 조인트 요소로 불리며, 지반과 구조물 경계면을 모델링할 때 사용된다.

▪ 예를 들어, 앵커 정착장의 주면을 들 수 있다. 이러한 요소의 특별한 장점은 지반-구조물의 인터페이스 구성거동의 변화를 고려할 수 있고 흙과 구조물의 서로 다른 변형을 가능하게 할 수 있다. 지반과 구조물 인터페이스에서 비연속적인 거동을 모델링하기 위한 많은 방법들이 제안되어 왔으며, 이를 정리하면 다음과 같다.

ⅰ) 표준적인 구성법칙을 따르는 얇은 연속체 요소의 사용(그림 3-46)

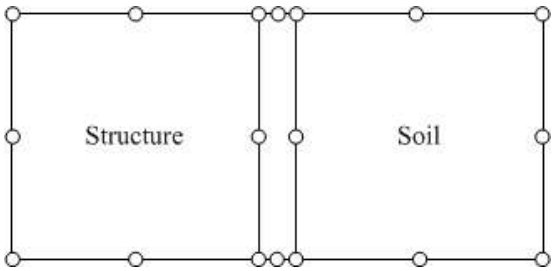


그림 3-46 연속체 요소를 사용한 인터페이스 모델링

ⅱ) 두 절점의 연결 요소를 사용. 일반적으로 개별 스프링으로 연결

ⅲ) 두께가 0이거나 유한 값을 갖는 특별한 인터페이스 요소, 또는 조인트 요소(그림 3-47)

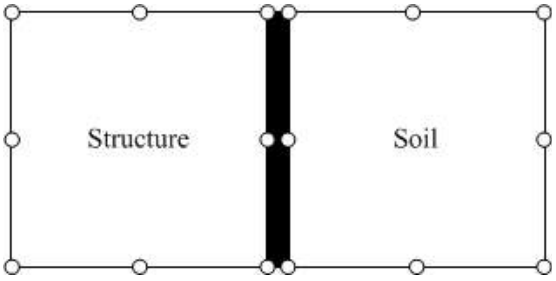


그림 3-47 특별한 인터페이스 요소의 적용

iv) 하이브리드 방법으로서 지반과 구조물을 각각 모델링하되, 구속방정식으로 연결하여 인터페이스에서 힘과 변위의 적합성을 유지

3.1.6 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 개념설계

(1) 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 개념설계

▪ 앵커 긴장력 상시 육안확인장치는 기존 그라운드 앵커의 시공과정과 유사하지만 추가적으로 탄성반력체와 육안확인장치 보호캡의 설치가 추가된다. 육안확인장치의 작동원리는 다음과 같다.

① 앵커 설치 및 강연선 인장 (탄성반력체 삽입)

▪ STEP 1: 앵커 천공 및 설치 후 지압판을 설치한다.

▪ STEP 2: 앵커의 손실된 긴장력으로 인해 느슨해지는 앵커 두부에 변위를 발생시키기 위한 탄성반력체를 설치한다.

▪ STEP 3: 인장작업 준비단계로 앵커 헤드 및 웨지를 설치한다.

▪ STEP 4: 유압실린더 및 펌프를 통해 인장작업을 준비한다.

▪ STEP 5: 앵커의 강연선에 긴장력을 도입하는 단계로써, 탄성반력체에 압축력이 발생한다.

▪ STEP 6: 설계 앵커력까지 긴장력을 도입한다.

▪ STEP 7: 일반적으로 육안확인장치를 사용하지 않는 경우에는 보호캡을 통해 앵커 헤드 및 웻지, 강연선 등을 부식 및 외부충격으로부터 보호하는 단계로, 육안확인장치가 장착된 보호캡을 설치한다.

▪ STEP 8: 육안확인장치의 나사를 이용해 영점셋팅을 수행한다. 이는 설계 앵커력을 받고 있는 탄성반력체의 상태를 초기상태(zero)로 설정하기 위한 작업이다.

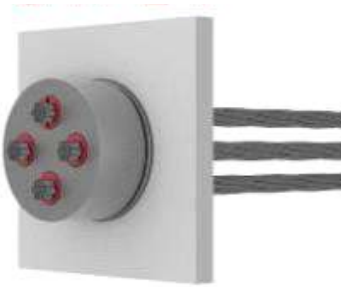
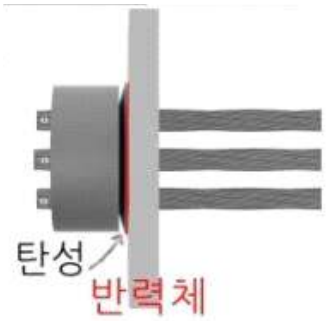
▪ STEP 9: 앵커의 설치, 인장, 두부정리, 육안확인장치 설치의 과정이 모두 완료된 상태이다.

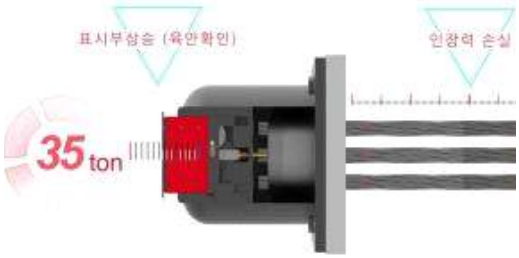
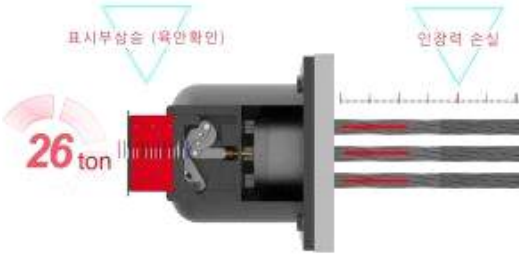
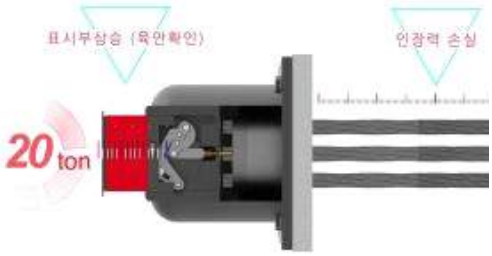
② 유지관리

▪ STEP 10: 설계 앵커력의 약 5.0 tonf 손실에 따른 표시패드 돌출

▪ STEP 11: 설계 앵커력의 약 15.0 tonf 손실에 따른 표시패드 돌출

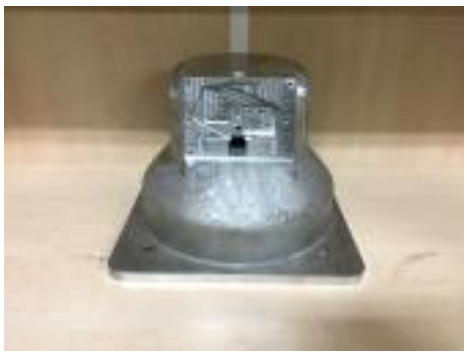
▪ STEP 12: 설계 앵커력의 약 20.0 tonf 손실에 따른 표시패드 돌출

STEP 1: 지압판 설치	STEP 2: 탄성반력체 설치
	
STEP 3: 정착구 및 웨지 설치	**STEP 4: 강선인장 전**
	
STEP 5: 강선인장 중(15.0ton)	**STEP 6: 강선인장 완료(40ton)**
	
STEP 7: 두부CAP 설치	**STEP 8: 영점세팅**
	

STEP 9: 영점세팅 완료	STEP 10: 인장력 약 5.0 tonf 손실
	
STEP 11: 인장력 14.0 tonf 손실	**STEP 12: 인장력 20.0 tonf 손실**
	

(2) 앵커 긴장력 상시 육안확인장치의 구성

▪ 앵커 긴장력 상시 육안확인장치의 구성요소는 다음 그림과 같이 보호캡, 표시패드, 커버, 측정 샤프트, 변위증폭장치, 탄성반력체로 구성된다.



(a) 보호캡



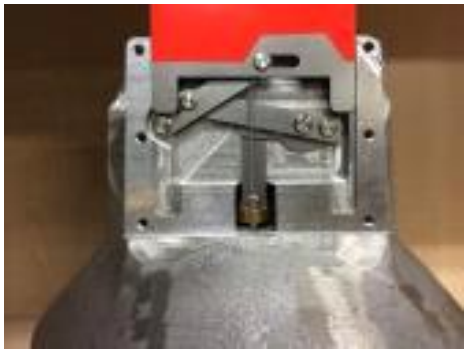
(b) 표시패드



(c) 커버



(d) 측정샤프트



(e) 변위증폭장치



(f) 탄성반력체

그림 3-48 앵커 긴장력 상시 육안확인장치의 구성요소

- 보호캡은 앵커 헤드의 부식 및 외부에서의 충격 등을 보호하기 위한 장치로 육안확인장치의 부품들을 포함하고 있다.

- 표시패드는 앵커의 긴장력 손실을 쉽게 알 수 있도록 나타내는 일종의 알림표시이며, 커버는 표시패드와 변위증폭장치를 외부요인으로부터 보호하는 역할을 한다.

- 측정 샤프트는 앵커에 긴장력을 도입한 직후 탄성반력체와 표시패드의 변위를 영점세팅을 위한 장치이며, 변위증폭장치란 긴장력 손실에 의해 발생된 탄성반력체와 헤드의 변위를 레버형식으로 증대시켜 표시패드를 노출시키는 역할을 한다.

- 탄성반력체는 앵커의 헤드와 지압판 사이에 위치하며, 손실된 긴장력에 의해 발생되는 변위를 헤드로 전달시키는 역할을 한다. 다음 그림은 앵커 긴장력 상시 육안확인장치의 시제품을 사진으로 보여주고 있다.

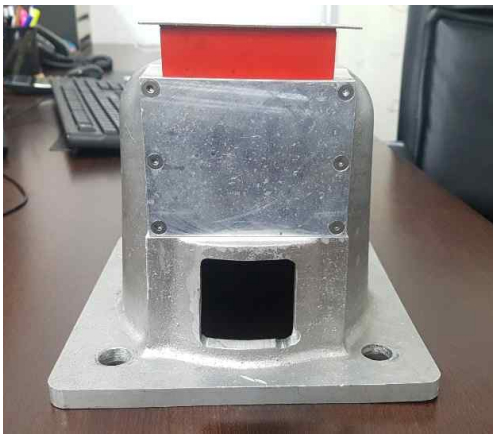


그림 3-49 앵커 긴장력 상시 육안확인장치(시제품)

(3) 육안확인장치의 검증계획

① 분석 항목 도출

☞ 앵커하중 계측관리기준

▪ 앵커의 하중감소량에 대한 관리기준은 산업안전보건공단 하중감소 관리기준과 서울시 지하철 관리기준이 있다.

▪ 산업안전보건공단 관리기준은 7일 변화하중이 50kN 이면 안전, 50~100kN이면 주의, 100kN 이상이면 위험으로 분류하고 있다.

▪ 서울지하철 계측관리요령 개선(안)에서는 앵커 하중 변화가 50~100kN일 경우 1차, 100~150kN일 때 2차, 150~200kN일 경우 3차로 나누어 관리하고 있으며, 1차 관리치는 공사관리를 위한 목표설정, 2차 관리치는 주변구조물에 영향을 미칠 수 있으므로 대비, 3차 관리치는 가시설 자체의 위험에 대비를 의미한다.

▪ 두 기관에서 제시한 결과로 판단해 볼 때, 육안확인장치의 지시값은 최소 50kN, 최대 200kN까지 측정 가능해야 한다.

[표 3.13] 산업안전보건공단

구분	안전/위험의 판정기준값	관리등급		
		안전	주의	위험
축하중 크기	허용하중	계측값 < 허용하중		계측값 > 허용하중
	7일 변화하중	5TON	5~10TON	10TON

☞ 반력장치 강성(K)설계

▪ 가시설 또는 비탈면에 설계된 앵커 하중에 따라 육안확인장치 헤드에 사용될 반력장치의 강성이 산정되어야 한다. 반력장치의 강성을 좌우하는 요소는 반력장치 재료의 탄성계수(E), 단면적(A) 및 길이(L) 등이 있다. 반력장치 강성(K)는 다음과 같다.

$$K = \frac{EA}{L} \tag{3.8}$$

[표 3.14] 반력장치 제원

적용 재료	앵커설계 하중(kN)	반력장치 내력(kN)	반력장치 지시하중 (kN)	반력장치 제원			
				최대변위 (mm)	탄성계수 (MPa)	단면적 (mm2)	길이 (mm)
접시 스프링	400	600	200	규격화를 통해 산정			
	600	900	200				
	800	1,200	200				
FRP	400	600	200				
	600	900	200				
	800	1,200	200				

▪ 반력장치가 받을 수 있는 최대하중은 앵커 설계하중의 150%, 최대 변위는 반력장치 특성에 따라 2~3㎜로 설정하고, 기존 연구에서 검증된 탄성계수를 반력장치의 탄성계수를 결정하면 반력장치의 단면적과 길이를 구할 수 있다.

▪ 반력장치 지시하중, 단면적 및 최대변위가 동일할 경우 반력장치 길이를 조절하여 최대변위를 결정할 수 있다. 이론적으로 산정된 반력장치의 강성은 실내실험을 통해 비교 및 검증하고 현장시험을 통해 적용성을 평가해야 한다.

☞ 육안확인장치 노출량 설계

▪ 앵커 하중감소 최대 관리 기준치 200kN을 바탕으로 1~3차로 나누어 육안확인장치의 노출량을 3단계로 설계한다.

② 육안확인장치의 적용성 검증을 위한 실내실험 및 Test-bed 설계

☞ 실내실험 검증

▪ 육안확인장치 헤드에 사용될 반력장치의 강성과 하중감소 관리 기준치를 바탕으로 각각의 관리기준에 따른 육안확인장치의 노출량을 결정해야 한다.

▪ 실내실험 방법은 재하대에 앵커 긴장재인 강연선을 거치한 후 로드셀을 설치하고, 유압실린더를 이용하여 하중을 재하한다. 앵커 헤드에 육안확인장치를 설치하고 유압실린더를 이용하여 하중을 서서히 감소시켜 반력장치의 하중-변위 관계로부터 반력장치 강성을 산정할 수 있다.

▪ 이렇게 검증된 반력장치를 이용하여 하중감소에 따른 육안확인장치 지시량을 결정한다.

▪ 실내실험에 사용되는 실험장비는 리프트오프 시험에 적용되고 있는 시험장비인 하중계 및 유압실린더 등과 동일하나 반력장치의 변위가 수 ㎜ 이내이므로 1/100㎜ 이상의 정밀도로 계측이 가능한 변위계(LVDT)가 사용되어야 한다.

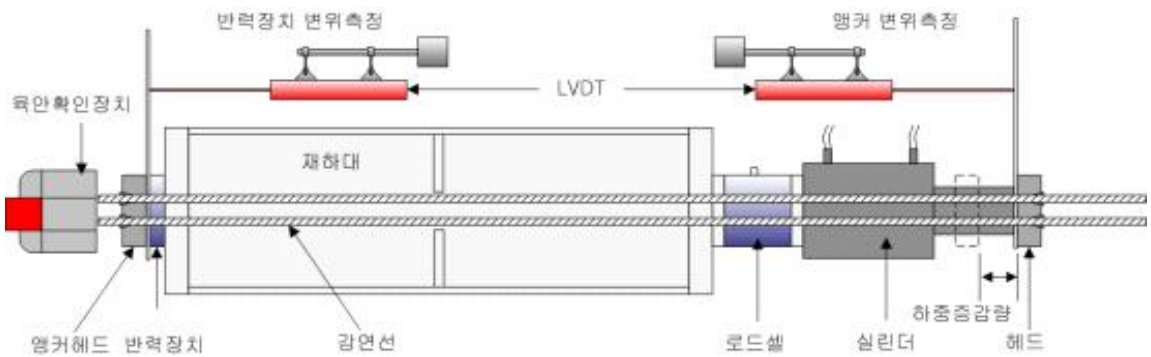


그림 3-50 유압실린더 이용 하중 증감조절 개요도

☞ 현장시험을 통한 검증

- 가설앵커의 경우 대좌와 헤드 사이, 영구앵커는 격자블록과 헤드 사이에 하중계를 설치하여 신설되는 앵커의 하중감소를 정밀하게 측정한다. 또한 앵커 헤드에는 육안확인장치를 설치하여 실내시험에서 검증된 하중감소에 따른 육안확인장치 노출량 등을 현장에서 검증한다.

- 다양한 지반에 앵커를 설치하고 앵커헤드에 하중계를 설치한 후 긴장력을 가하며, 헤드 상부에 육안확인장치가 설치된다. 연약한 지반에 설치된 앵커의 경우 긴장력은 시간이 경과할수록 감소하며, 육안확인장치 또한 지시값을 보일 것이다. 여기에서 특정된 감소하중과 육안확인장치 지시량을 측정한다.

- 현장시험을 통해 앵커의 인발거동특성을 분석한 후 실제 앵커 정착장에서 앵커력이 감소되는 경우, 재하대 또는 수압판이 침하되는 등의 다양한 조건하에서 육안확인장치의 거동특성을 확인 및 검증한다.

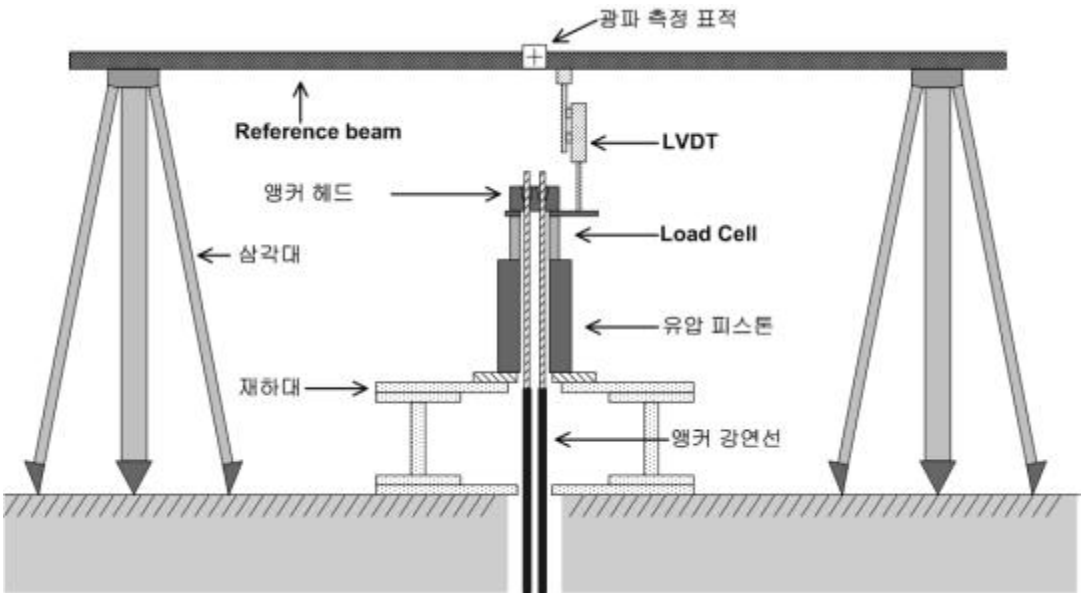


그림 3-51 앵커 현장시험 개요도

- 다양한 지반에서 실제 시공된 앵커에 대해 현장인발시험을 수행하여 크리프 및 장기거동에 따른 육안확인장치의 거동을 파악하고, 앵커 정착장 및 자유장에 계측기를 장착하여 하중 증감에 따른 앵커의 하중전이 분포 및 마찰력 분포를 확인한다.

- 실대형 시험 전경은 그림 3-53, 3-54와 같으며 지반별 시험개수는 표 3.15와 같다.

- 신설 앵커의 경우 주로 인장시험을 통해 설계내력 및 장기거동을 예측하며 기 설치된 앵커의 안정성 여부는 리프트오프시험을 통해 확인할 수 있다.

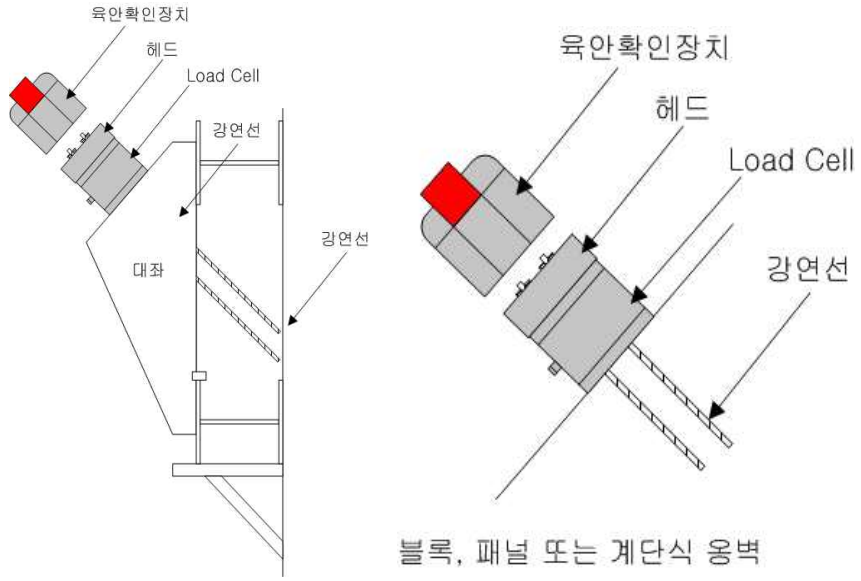


그림 3-52 육안확인장치 개요도



그림 3-53 신설 앵커 현장시험 전경

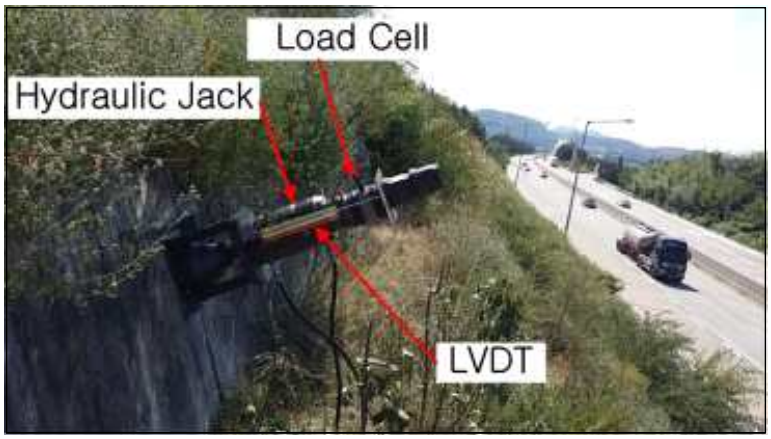


그림 3-54 노후 앵커 Lift-off Test 전경

☞ 계측계획

▪ 하중 재하시 강연선 및 그라우트에 작용하는 하중분포를 확인하기 위해 총 35개의 앵커체에 변형률게이지 및 매립형 게이지를 설치한다.

▪ 마찰 인장형 앵커의 경우 정착장 강연선에 변형률게이지와 그라우트에 매립형 게이지를 부착하며, 마찰 압축형 앵커의 경우에는 정착장과 자유장 그라우트에 매립형 게이지를 부착한다.

▪ 각각의 게이지에 연결된 케이블은 단자함에 연결하여 하중이 증가될 때마다 계측이 이루어지도록 한다.

▪ 장기하중 측정시험을 앵커 헤드에 하중계를 설치하여 주기적으로 하중 감소량을 측정하는 시험으로 육안확인장치 지시값을 검증하는데 이용된다.

▪ 앵커 종류 및 정착지반 종류에 따른 시험방법, 계측기 설치 개수 등은 표 3.15와 같다.

[표 3.15] 현장시험 수량 및 방법

No.	앵 커 종 류	정착장	정착지반 (N치)	계측기 개수		시 험 종 류	비 고
				강연선	그라우트		
1	마찰 인장형	대상지반에 따라 결정	토사	2	8	인발시험	주면 마찰력 측정
2			풍화암	2	8		
3			연암	2	8		
4	마찰 인장형	지반조건에 따라 산정	토사	2	8	육안확인장치 적용성 평가 및 장기거동	
5			풍화암	2	8		
6			연암	2	8		
7	마찰 압축형	지반조건에 따라 산정	토사	2	6		
8			풍화암	2	6		
9			연암	2	6		
10	하중 분산형	지반조건에 따라 산정	토사	2	6		
11			풍화암	2	6		
12			연암	2	6		
계				24	84		

☞ 시공계획

▪ 현장시험 수행을 위한 앵커 시공은 다음과 같은 절차로 이루어진다. 지반천공은 유압 또는 공압장비로 이루어지며 그라우트의 물/시멘트 비는 45~50%로 7일 양생시킨 후 시험이 수행된다.

▪ 시공장비는 연약지반에서는 유압천공장비, 암반에서는 공압 천공장비를 이용하여 시공하며, 앵커 시공 및 시험 절차는 그림 3-55와 같다.

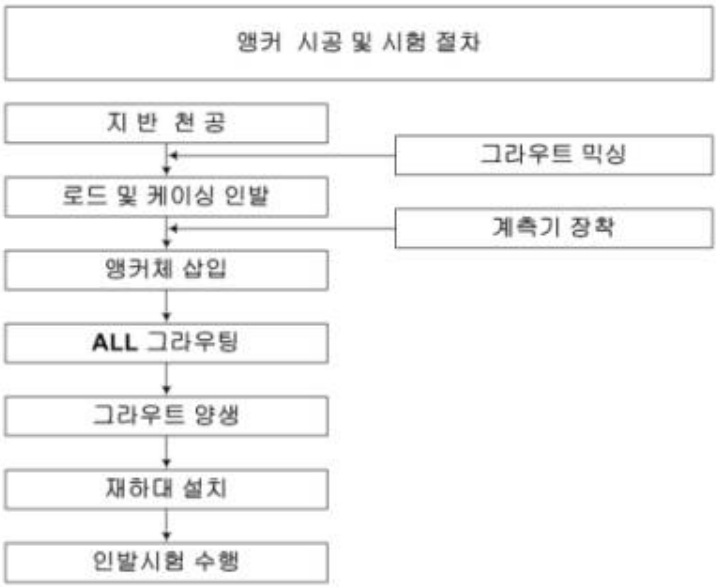


그림 3-55 앵커 시공 및 시험 절차

3.1.7 신설 앵커 긴장력 상시 육안확인장치

(1) 신설 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 개념설계

▪ 신설 앵커 긴장력 상시 육안확인장치의 작동원리는 앞서 언급한 개념설계와 유사하지만 탄성반력체의 적층 및 편심하중 방지를 위한 헤드의 가이드가 불가피하다.

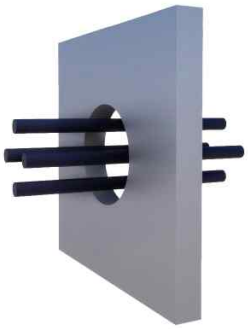
▪ 탄성반력체는 설계긴장력에 대응하여 고하중을 수용해야하기 때문에 내 · 외경의 증가가 불가피하여 육안확인장치 보호캡의 외경을 증가시켜 탄성반력체의 적용이 가능하게끔 하였다.



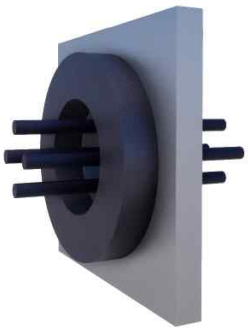
(a) 정착헤드의 가이드-1 (b) 정착헤드의 가이드-2

그림 3-56 탄성반력체 편심 방지를 위한 헤드 가이드

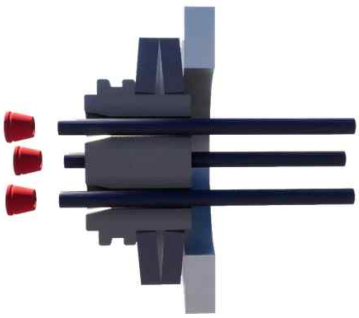
▪ 적층에 따라 가이드가 필요한 신설 앵커 육안확인장치의 개념은 다음과 같다.



STEP 1 : 지압판 설치



STEP 2 : 탄성반력체 설치(직렬 2장)



STEP 3 : 정착구(Anchor head)를 통한
탄성반력체 가이드



STEP 4 : 웨지 설치 및 강선인장 준비



STEP 5 : 강선인장 (100.0 kN)



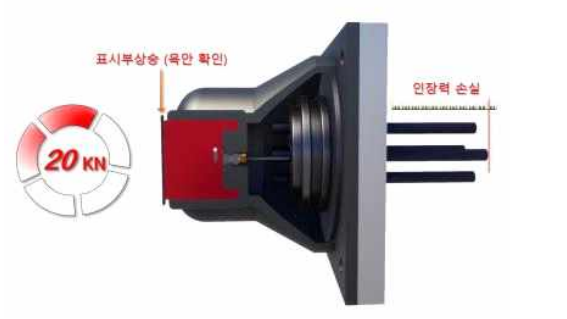
STEP 6 : 강선인장 완료(400.0kN)



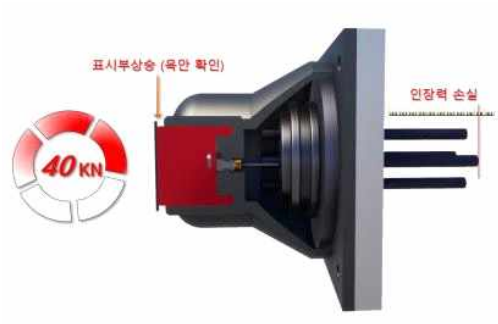
STEP 7 : 두부CAP 설치



STEP 8 : 영점세팅



STEP 9 : 긴장력 5% 손실(20kN) (표시패드)



STEP 10 : 긴장력 10% 손실(40kN)(표시패드)



STEP 11 : 긴장력 20% 손실(80kN)(표시패드)



STEP 12 : 긴장력 25%손실(100kN)(표시패드)

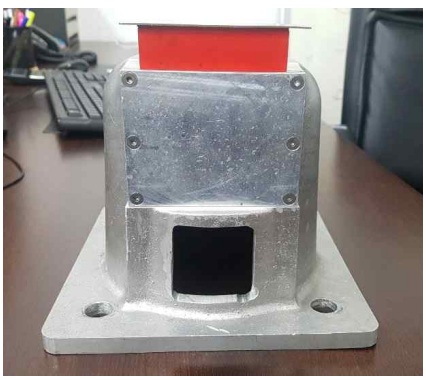
(2) 신설 앵커 육안확인장치 시제품 제작

- 신설 앵커 육안확인장치의 탄성반력체는 설계긴장력에 대응하여 고하중을 수용해야하기 때문에 내 · 외경의 증가가 불가피하다. 이에 육안확인장치 보호캡의 외경을 증가시켜 탄성반력체의 적용이 가능하게끔 하였다.

- 탄성반력체의 분담하중이 일반적인 영구앵커 설계, 시공에서의 설계축력과 비교하였을 때, 최소 400KN 이상 지지와 복원력이 확보되어야 하므로 탄성반력체의 외경이 최소 200㎜이상의 제원이 요구된다.

- 이에 따라 기존 육안확인장치의 보호캡 내경 또한, 150㎜에서 200㎜이상으로 확경이 필요하다.

- 다음 그림 3-57은 기존 육안확인장치의 보호캡과 개선된 육안확인장치 보호캡을 비교하여 보여주고 있다.



(a) 개선 전 육안확인장치 보호캡



(b) 개선 후 육안확인장치 보호캡

그림 3-57 신설 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 시제품

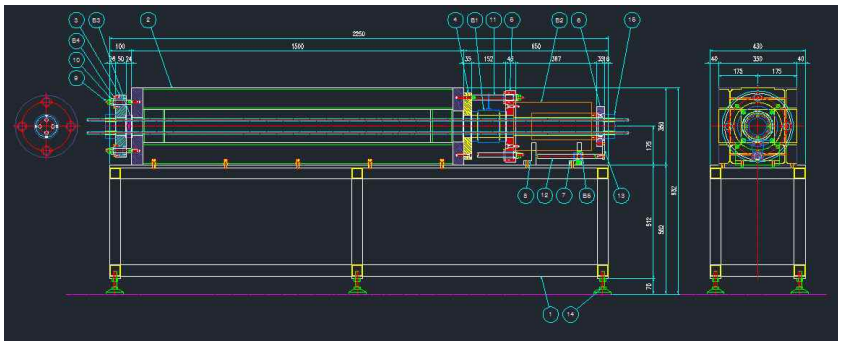
3.1.8 신설 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 규격화

(1) 신설 앵커 육안확인장치 규격화를 위한 실내모형실험기(시작품) 설계 및 제작

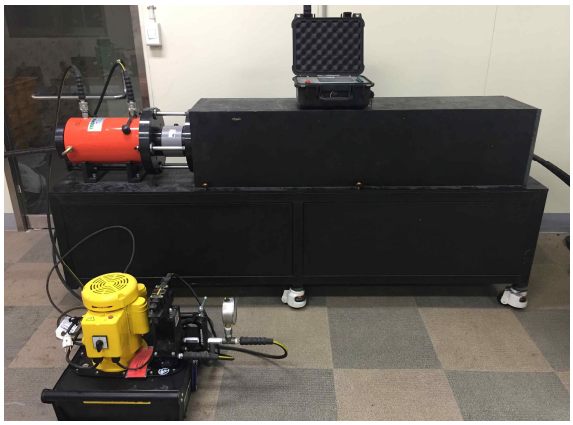
▪ 탄성반력체와 육안확인장치의 규격화를 위한 실내 앵커 인장실험은 한국산업규격(Korean Industrial Standards)에 규정되어 있지 않다. 이에 앵커 인장실험기를 시작품으로 제작하여 탄성반력체 및 육안확인장치의 규격화를 실시하고자 한다.

▪ 인장실험기는 크게 재하대, 하중계, 유압실린더, 변위계, 인디게이터로 구성되어 있다. 하중계와 유압실린더는 최대 1000kN의 하중용량을 수용할 수 있도록 제작되었으며, 변위계는 강연선의 늘음량과 탄성반력체의 변위량을 측정하기 위해 각각 100㎜, 50㎜까지 측정이 가능하도록 하였다. 또한 하중계와 변위계의 계측을 위해 인디게이터를 활용하여 하중과 변위를 쉽게 파악하도록 제작되었다.

▪ 그림 3-58은 실내 앵커 인장실험기의 설계도와 장비를 그림과 사진으로 보여주고 있다.



(a) 실내 앵커 인장실험기 설계도면



(b) 실내 앵커 인장실험기 제작

그림 3-58 육안확인장치 규격화를 위한 실내 앵커 인장실험기

(2) 신설 앵커 육안확인장치 탄성반력체 선정

① 탄성반력체

▪ 탄성반력체의 재료는 앵커의 설계 긴장력에 따른 적정한 하중과 변위 및 복원력을 보유하고 있어야하므로 고하중을 견딜수 있고, 피로수명과 내구성이 우수한 재료로 사용하였다.



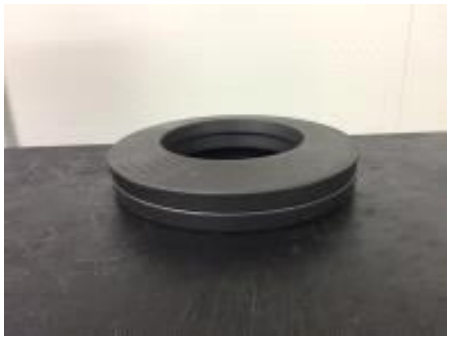
그림 3-59 탄성반력체

② 탄성반력체 적층에 따른 거동 특성

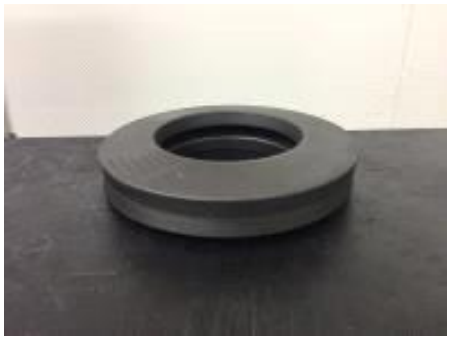
- DIN 2093에 의하면 탄성반력체는 적층 개수, 적층 방법에 따라 다양한 거동 특성을 보이며, 적층 방법에는 병렬 적층방식과 직렬 적층방식, 조합형 적층방식이 있다.

- 2개의 탄성반력체 병렬방식 적층은 탄성반력체를 정방향으로 쌓아올리는 것으로 하중의 수용은 탄성반력체 개수에 비례하며, 탄성반력체의 변위는 1개의 탄성반력체와 같다.

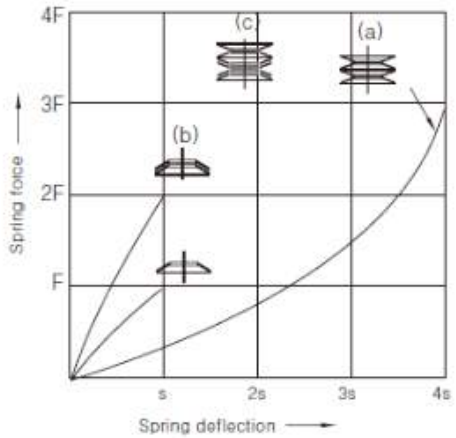
- 직렬방식의 적층은 각각의 탄성반력체를 정방향과 반대방향으로 쌓아올리며, 하중의 수용은 1개의 탄성반력체와 같지만 탄성반력체의 변위는 2개의 탄성반력체의 총합이다.



(a) 병렬조합



(b) 직렬조합



(c) 탄성반력체 적층에 따른 거동 특성

그림 3-60 탄성반력체의 적층

▪ 본 연구에서 사용한 탄성반력체의 규격은 다음 표 3.16과 같다.

[표 3.16] 탄성반력체 제원

No.	D_e(mm)	D_i(mm)	t(mm)	l_0(mm)	h_0(mm)
Type 1	200	112	14	17.5	3.5
Type 2	200	112	16	19.8	3.8

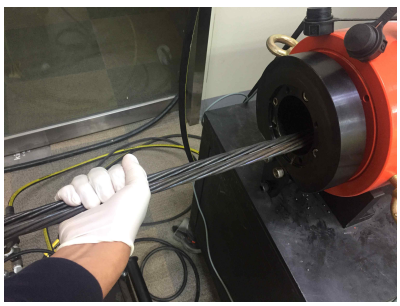
(3) 실내실험을 통한 육안확인장치 규격화

① 실험방법

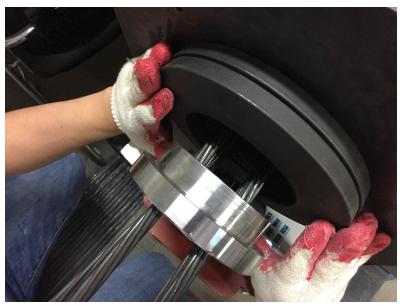
▪ 실험방법은 재하대 안쪽에 강연선을 삽입한 후 유압실린더 부분에 인장헤드와 웨지를 설치하고 반대편 재하대에 지압판, 탄성반력체, 정착헤드, 웨지를 설치한다.

▪ 특히 탄성반력체가 설치되는 부분의 정착헤드는 편심하중을 방지하기 위해 헤드의 밑 부분이 탄성반력체의 내경과 맞추어 가이드가 될 수 있게 가공하였다. 이후 탄성반력체가 설치된 헤드부분에 변위계를 설치하고, 유압펌프를 이용하여 강연선에 긴장력을 도입한다.

▪ 긴장력 도입이 완료되면 탄성반력체가 설치된 부분에 육안확인장치 보호캡을 설치 후 영점세팅을 실시하고 유압밸브를 서서히 풀어 인위적인 긴장력 손실을 일으킨다. 이후 하중계와 변위계, 인디게이터를 이용해 잔존긴장력과 탄성반력체의 복원량을 측정하여 변위증폭장치에 의한 표시패드 노출량을 확인해 규격화를 실시한다.



(a) 강연선 삽입



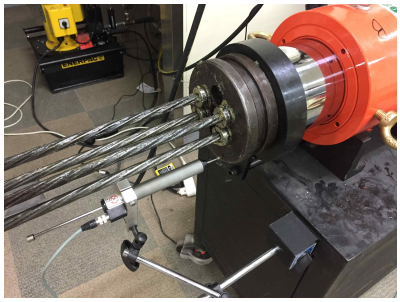
(b) 탄성반력체 및 정착헤드 설치



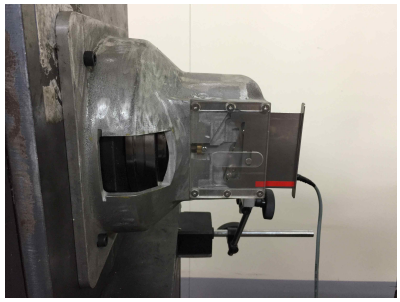
(c) 인장헤드 및 웨지 설치



(d) 변위계 설치



(e) 긴장력 도입



(f) 육안확인장치 노출량 측정

그림 3-61 실내 앵커 인장실험 방법

- 실내 앵커 인장실험시 설계 긴장력은 400kN~700kN으로 설정하였으며, 탄성반력체의 허용하중에 따라 단층 및 병렬과 직렬의 조합으로 실험하였다.

- 400kN의 경우 Type 1 2개의 병렬조합(Case-1(a))과 Type 2 단층(Case-1(b)), Type 2 2개의 직렬조합(Case-1(c))으로 실험하였다.

- 500kN의 경우 Type 1 2개의 병렬조합(Case-2)으로 실험하였다. 또한 600kN과 700kN은 Type 2 2개의 병렬조합(Case-3, Case-4)으로 실험하였다.

- 인장실험 후 탄성반력체의 하중-변위곡선을 통해 하중재하시 변위량과 하중제거시 복원량을 확인하였으며, 이에 따른 육안확인장치의 노출량을 측정하였다.

[표 3.17] 실내실험 Case

No.	Load(kN)			
	400	500	600	700
Type 1	2EA(병렬)	2EA(병렬)	-	-
Type 2	1EA 2EA(직렬)	1EA	2EA(병렬)	2EA(병렬)

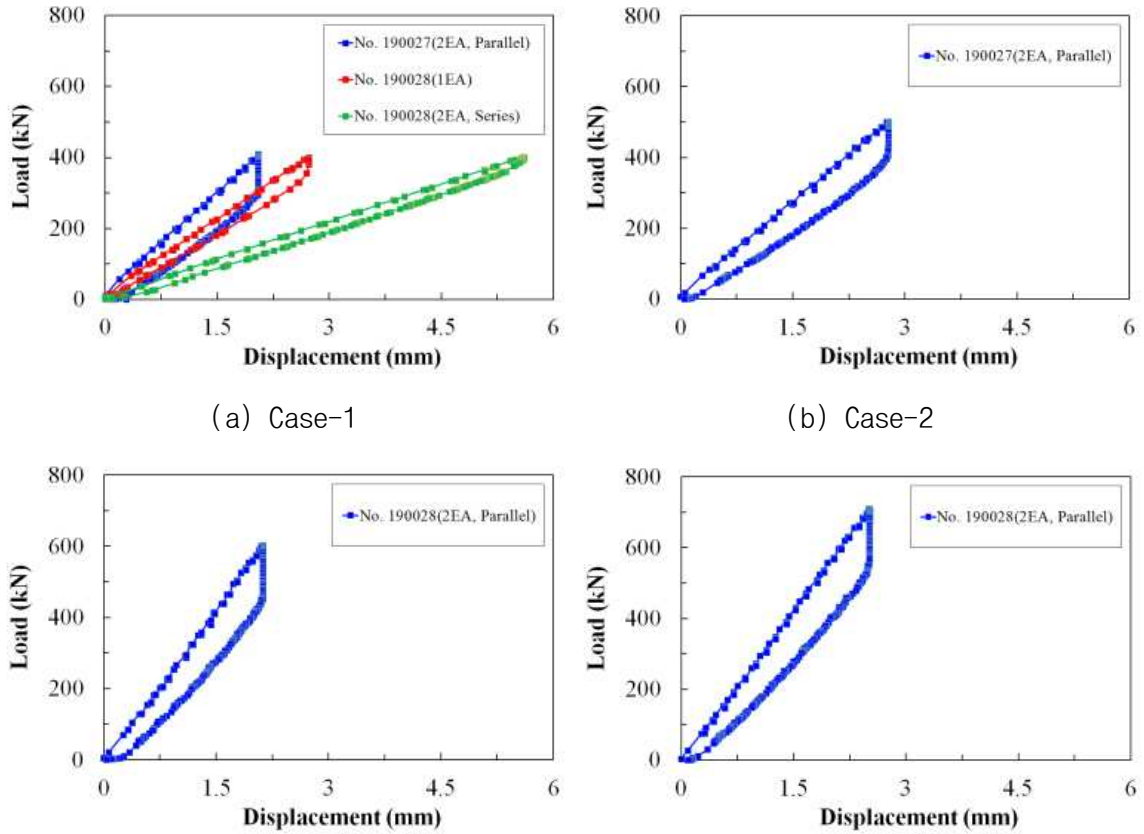
② 탄성반력체의 복원량 측정 결과

- 탄성반력체와 육안확인장치 노출량의 규격화에 앞서 앵커 인장실험을 실시하여 탄성반력체의 복원량을 측정하였다.

- 탄성반력체의 병렬적층의 경우 하중 수용력은 비교적 우수하였으나 최대변위 및 복원량은 미흡한 것으로 나타났다. 초기복원은 설계 긴장력의 약 20~25% 범위에서 발생했으며, 복원량의 크기도 미미하였다. 이는 설계 긴장력 20~25% 범위 미만의 손실에 대한 모니터링을 할 수 없는 한계점을 지니며, 초기복원에 대한 개선이 필요할 것으로 사료된다.

- 탄성반력체의 적층없이 1개의 탄성반력체를 사용한 인장실험결과 병렬적층에 비해 변위의 발생량과 복원력이 더 큰 것으로 나타났다. 최대변위는 동일하중에 대한 다른 규격의 병렬조합에 비해 약 1.2배 크게 나타났고, 초기복원의 경우 설계 긴장력의 약 12.5%에서 발생하였다. 그러나 최대변위와 초기복원이 비교적 우수함에도 복원량의 크기는 미미한 것으로 확인되었다.

▪ 탄성반력체의 직렬적층의 경우 앞선 병렬적층과 단층의 변위량 및 복원량의 결과보다 비교적 우수한 것으로 나타났다. 최대변위량은 5.61㎜로 동일 하중의 병렬적층과 단층에 비해 2배 이상 나타났으며, 초기복원의 경우 설계 긴장력의 약 2.5%에서 발생하였다. 초기복원시 발생한 변위량은 다소 미미하였지만 하중재하시와 하중제거시 거동은 다른 적층방법에 비해 유사하여 복원에 유리할 것으로 판단된다.



(a) Case-1 (b) Case-2

(c) Case-3 (d) Case-4

그림 3-62 탄성반력체 하중-변위 곡선

[표 3.18] 탄성반력체 복원량 측정 결과

잔존긴장력 (kN)	복원량(㎜)					
	case-1(a)	case-1(b)	case-1(c)	case-2	case-3	case-4
50	1.51	2.33	4.68	2.25	1.65	2.09
100	1.15	1.93	3.96	1.89	1.41	1.82
150	0.82	1.47	3.17	1.5	1.17	1.58
200	0.5	1	2.41	1.15	0.94	1.34
250	0.21	0.69	1.79	0.83	0.73	1.15
300	0	0.27	1	0.5	0.51	0.92
350	0	0.05	0.38	0.22	0.34	0.7
400	0	0	0	0.03	0.14	0.53
450	-	-	-	0	0.01	0.33
500	-	-	-	0	0	0.14
550	-	-	-	-	0	0.02
600	-	-	-	-	0	0
650	-	-	-	-	-	0
700	-	-	-	-	-	0
최대변위(㎜)	2.05	2.73	5.61	2.78	2.12	2.52

- 육안확인장치 잔존긴장력 상시확인의 가능여부를 검증하기 위해 잔존긴장력과 육안확인장치 표시패드 노출량에 대한 실내실험과 잔존긴장력 대비 육안확인장치의 노출량에 대한 규격화를 실시하였다.

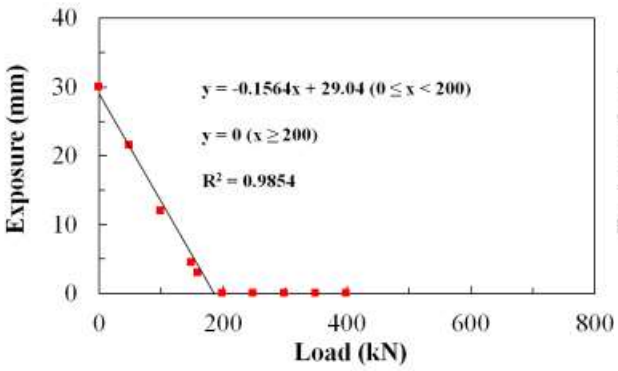
- 규격화 방법은 하중제거시 잔존긴장력에 따라 표시패드의 최초 노출량을 측정하였으며, 이후 50kN의 하중손실 때마다 노출량을 측정하였다.

- 2개의 탄성반력체로 병렬적층을 했을 경우 긴장력 손실량이 약 50~60%의 범위에서 약 2~3㎜의 표시패드가 최초로 노출되었다.

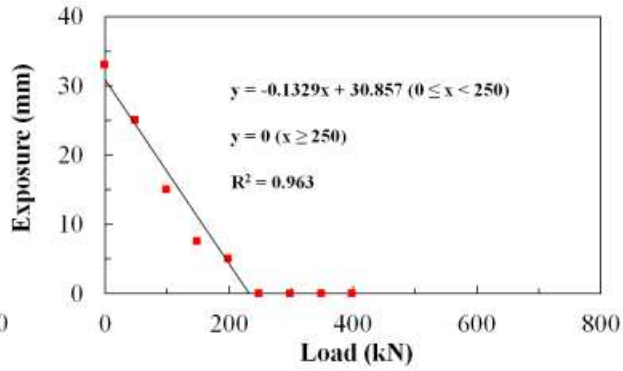
- 1개의 탄성반력체를 단층으로 사용한 경우 57.5%의 긴장력이 손실되었을 때 최초로 5㎜의 표시패드가 노출되었다. 또한 2개의 탄성반력체의 직렬적층의 경우 17.5%의 긴장력 손실시 1.5㎜의 표시패드가 노출되었다.

- 리프트오프시험과 같이 앵커의 안정상태가 긴장력의 손실이 20% 미만이라고 했을 때의 노출량 측정결과, 직렬적층의 경우에만 긴장력 손실의 20% 미만에서 잔존긴장력의 확인이 가능하였다.

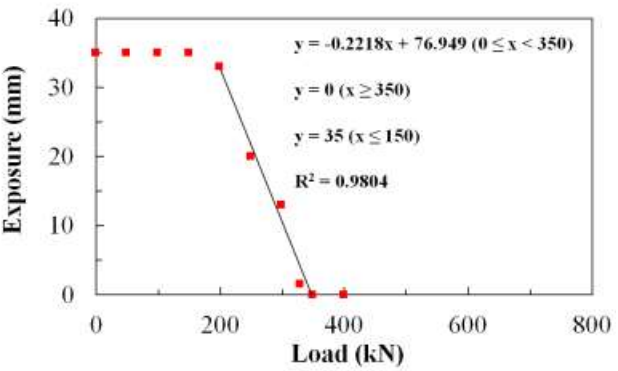
- 실험결과를 토대로 잔존긴장력과 표시패드 노출량의 관계식을 도출하여 규격화를 수행하였다. 다양한 적층방식의 잔존긴장력 대비 표시패드 노출량을 규격화 하였으며, 이는 현장적용시 육안확인장치의 노출량을 통해 잔존긴장력 판단이 가능할 것으로 보인다.



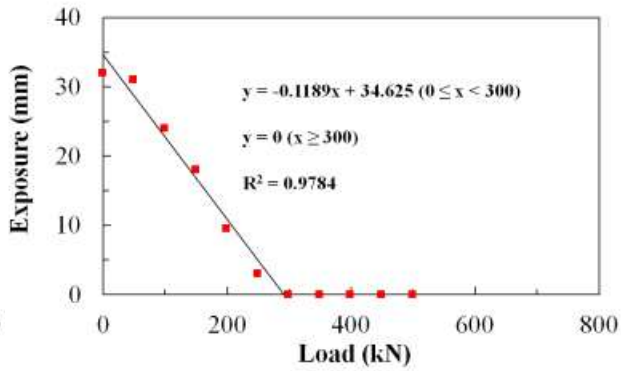
case-1(a)



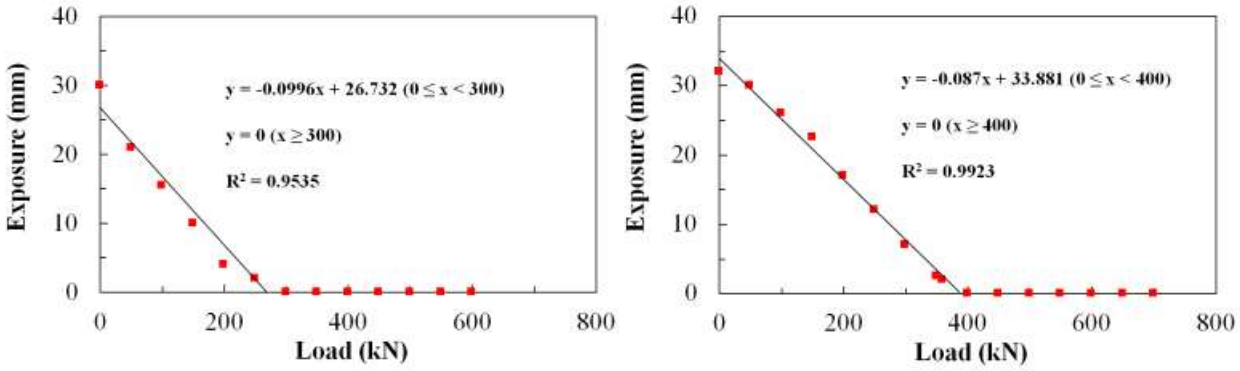
case-1(b)



case-1(c)



case-2



case-3 case-4

그림 3-63 잔존긴장력 대비 노출량 규격화

[표 3.19] 잔존긴장력 대비 노출량 측정 결과

잔존긴장력 (kN)	노출량(mm)					
	case-1(a)	case-1(b)	case-1(c)	case-2	case-3	case-4
0	30	33	35	32	30	32
50	21.5	25	35	31	21	30
100	12	15	35	24	15.5	26
150	4.5	7.5	35	18	10	22.5
200	0	5	33	9.5	4	17
250	0	0	20	3	2	12
300	0	0	13	0	0	7
350	0	0	0	0	0	2.5
400	0	0	0	0	0	2
450	-	-	-	0	0	0
500	-	-	-	0	0	0
550	-	-	-	-	0	0
600	-	-	-	-	0	0
650	-	-	-	-	-	0
700	-	-	-	-	-	0

④ 탄성반력체의 복원량 대비 육안확인장치 노출량 측정 결과

- 육안확인장치의 노출량은 탄성반력체의 복원력과 관계가 깊고, 이에 따른 규격화가 필요하다. 또한 표시패드의 최초 노출시 탄성반력체의 적층방식에 따른 복원량을 파악하여 20%의 긴장력이 손실되었을 때 확보해야할 복원량의 확인이 요구된다. 이에 탄성반력체의 복원량과 육안확인장치 노출량에 대한 실험결과를 비교 · 분석하였고, 분석결과에 따라 규격화를 수행하였다.

- 실험결과, 병렬적층의 경우 표시패드가 최초로 노출될 때 복원량의 크기는 평균적으로 0.75mm로 나타났고, 단층의 경우 1mm로 나타났다. 또한 직렬적층의 경우 표시패드가 최초로 노출된 탄성반력체의 복원량은 0.65mm로 확인되었다.

▪ 탄성반력체의 복원량이 발생하였을 때 표시패드의 노출량은 1.5~5㎜로 미세한 값이지만 20%의 긴장력 손실시 3개의 적층방법의 평균 복원량인 0.8㎜ 이상은 확보해야할 것으로 판단된다.

▪ 분석결과를 토대로 탄성반력체의 복원량 대비 육안확인장치의 노출량의 관계식을 도출하였다. 이는 추후 현장에서의 표시패드 노출량으로부터 탄성반력체의 복원량을 예상하여 앵커 두부에 발생되는 변위를 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

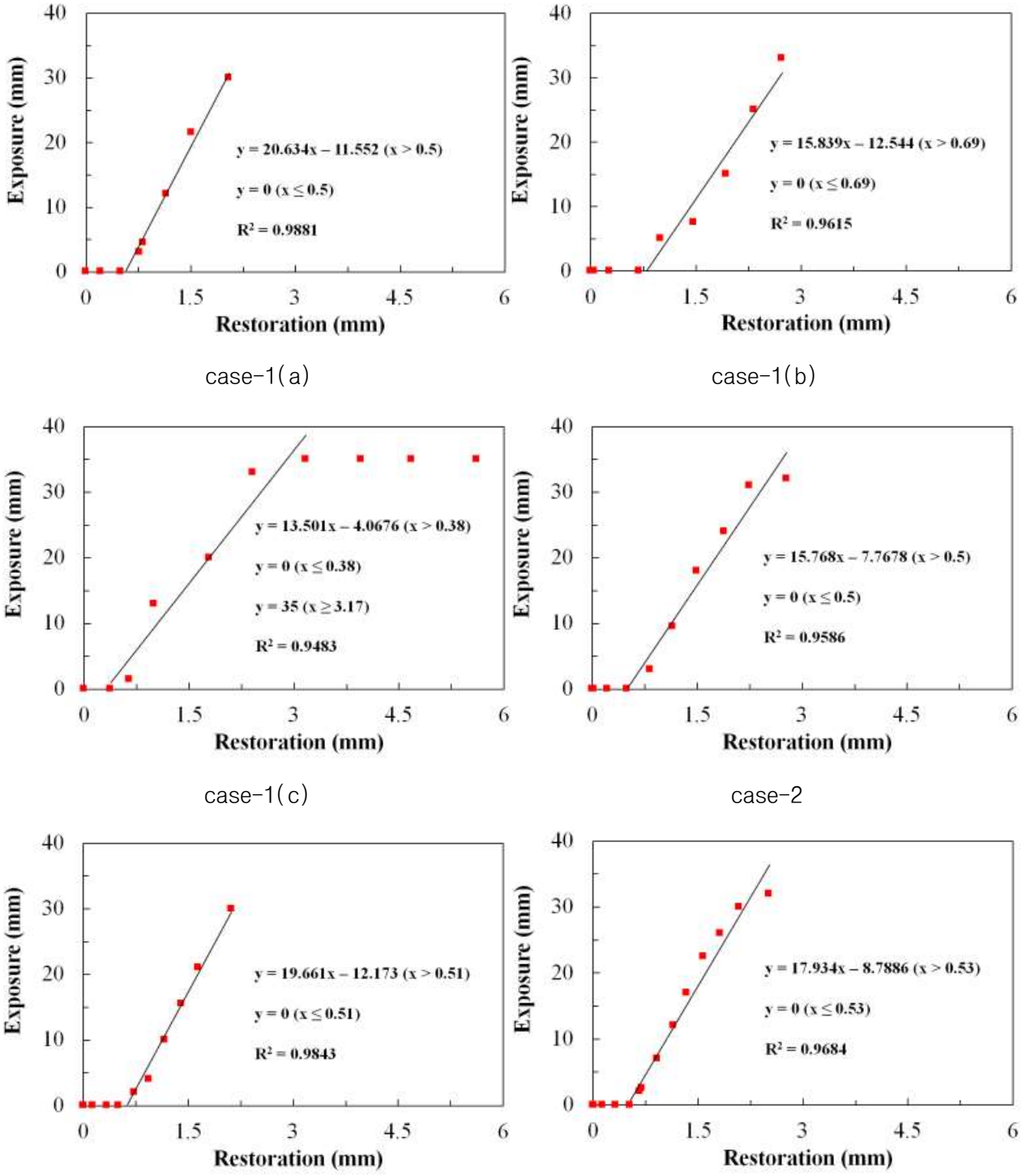


그림 3-64 탄성반력체 복원량 대비 노출량 규격화

[표 3.20] 탄성반력체 복원량 대비 노출량 측정 결과

잔존긴장력 (kN)	복원량 / 노출량(㎜)					
	case-1(a)	case-1(b)	case-1(c)	case-2	case-3	case-4
0	2.05 / 30	2.73 / 33	5.61 / 35	2.78 / 32	2.12 / 30	2.52 / 32
50	1.51 / 21.5	2.33 / 25	4.68 / 35	2.25 / 31	1.65 / 21	2.09 / 30
100	1.15 / 12	1.93 / 15	3.96 / 35	1.89 / 24	1.41 / 15.5	1.82 / 26
150	0.82 / 4.5	1.47 / 7.5	3.17 / 35	1.5 / 18	1.17 / 10	1.58 / 22.5
200	0.5 / 0	1 / 5	2.41 / 33	1.15 / 9.5	0.94 / 4	1.34 / 17
250	0.21 / 0	0.69 / 0	1.79 / 20	0.83 / 3	0.73 / 2	1.15 / 12
300	0 / 0	0.27 / 0	1 / 13	0.5 / 0	0.51 / 0	0.92 / 7
350	0 / 0	0.05 / 0	0.38 / 0	0.22 / 0	0.34 / 0	0.7 / 2.5
400	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0.03 / 0	0.14 / 0	0.53 / 0
450	-	-	-	0 / 0	0.01 / 0	0.33 / 0
500	-	-	-	0 / 0	0 / 0	0.14 / 0
550	-	-	-	-	0 / 0	0.02 / 0
600	-	-	-	-	0 / 0	0 / 0
650	-	-	-	-	-	0 / 0
700	-	-	-	-	-	0 / 0

(4) 실내 앵커인장실험을 통한 육안확인장치 적용성 평가 및 개선

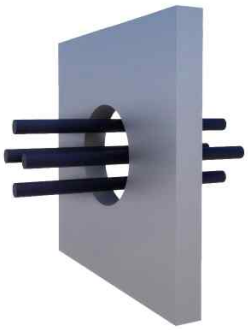
① 육안확인장치 보호캡 개선

- 실내실험 및 육안확인장치 규격화에서 나타난 결과들을 토대로 현재 신설 앵커 육안확인장치의 개선사항들을 도출하였다.

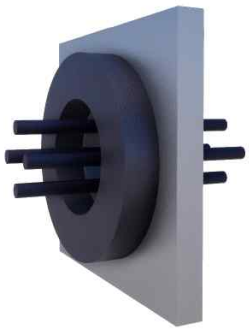
- 육안확인장치의 영점세팅 후 측정샤프트와 변위증폭장치 시스템의 레버와 레버간 이음부에 유격이 발생하여 제품의 정밀도 차이가 있는 것으로 판단된다.

- 현장 적용에 있어 긴장력 손실 후 앵커 헤드의 변위가 얼만큼 발생했는지에 대한 신뢰가 필요하다고 판단된다.

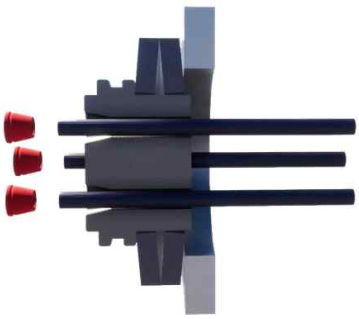
- 이와 같은 문제점들을 해결하기 위해 레버식 육안확인장치를 다이얼 게이지 방식의 육안확인장치로 개선하였으며, 다이얼 게이지 방식의 육안확인장치의 개념은 다음과 같다.



STEP 1 : 지압판 설치



STEP 2 : 탄성반력체 설치(직렬 2장)



STEP 3 : 정착구(Anchor head)를 통한 탄성반력체 가이드



STEP 4 : 웨지 설치 및 강선인장 준비



STEP 5 : 강선인장 (100.0 kN)



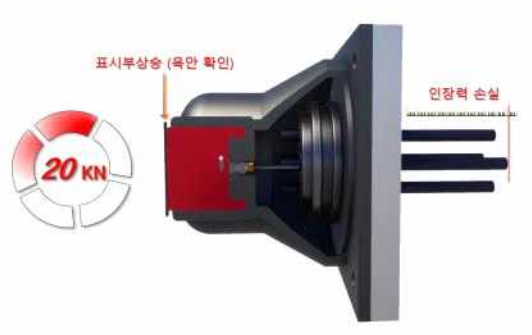
STEP 6 : 강선인장 완료(400.0kN)



STEP 7 : 두부CAP 설치



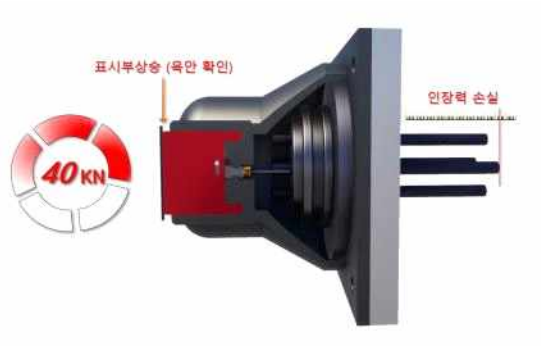
STEP 8 : 영점세팅 및 Dial Gauge 영점 세팅



STEP 9 : 긴장력 5% 손실(20kN)
(표시패드)



STEP 9 ‘ : 긴장력 5% 손실 (Dial Gauge)



STEP 10 : 긴장력 10% 손실(40kN)(표시패드)



STEP 10 ‘ : 긴장력 10% 손실 (Dial Gauge)



STEP 11 : 긴장력 20% 손실(80kN)(표시패드)



STEP 11 ‘ : 긴장력 20% 손실 (Dial Gauge)



STEP 12 : 긴장력 25%손실(100kN)(표시패드)

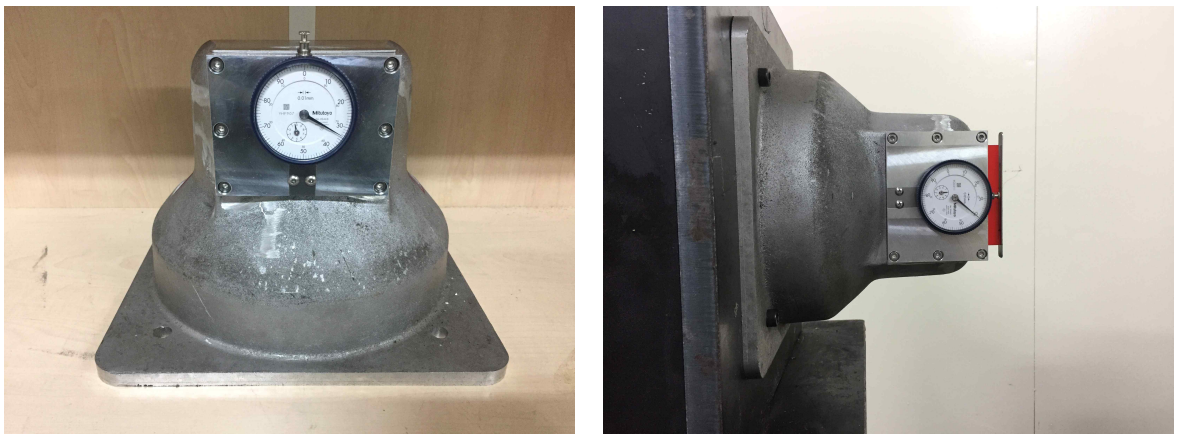


STEP 12 ‘ : 긴장력 25% 손실 (Dial Gauge)

② 육안확인장치 보호캡 개선에 따른 보완실험

▪ 개선된 육안확인장치의 잔존긴장력 대비 노출량, 탄성반력체의 복원량 대비 노출량을 측정하기 위해 앞서 수행한 실내 앵커인장실험을 수행하였다.

▪ 실험은 400kN에서 탄성반력체 Type 2 단층과 직렬 방식으로 수행하였으며, 실험 전경은 다음 그림 3-65와 같다.

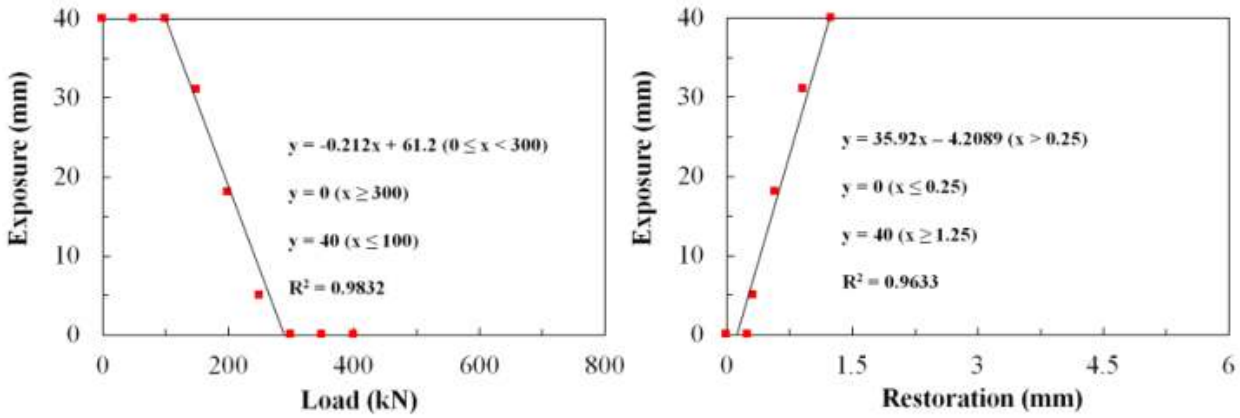


(a) 다이얼 게이지식 육안확인장치 (b) 다이얼 게이지식 육안확인장치 규격화

그림 3-65 다이얼 게이지식 육안확인장치 실내 앵커인장실험

▪ 다이얼게이지 방식으로 개선된 육안확인장치의 규격화 실험결과, 탄성반력체 Type 2 단층을 400kN으로 적용하였을 때 250kN에서 5㎜의 카드가 노출되었다.

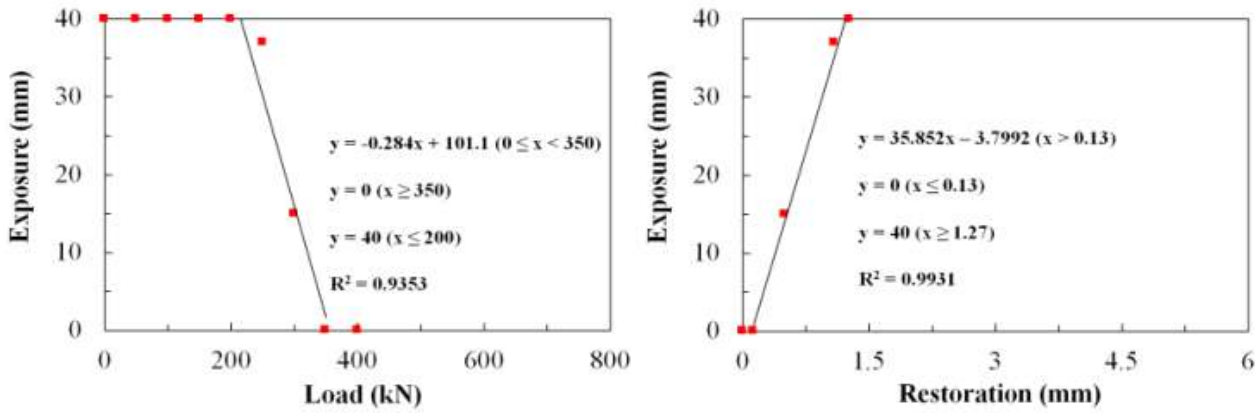
▪ 그때의 다이얼게이지의 값은 0.32㎜ 였으며, 100kN의 잔존긴장력에서 모든 카드가 노출되었다. 모든 카드가 노출되었을 때의 다이얼게이지 값은 1.25㎜로 나타났다.



(a) 잔존긴장력 대비 노출량 (b) 복원량 대비 노출량

그림 6-66 다이얼게이지 방식의 규격화 결과(400kN, Type 2 단층)

▪ 탄성반력체 Type 2 직렬적층을 400kN으로 적용하였을 때 300kN에서 15㎜의 카드가 노출되었다. 그때의 다이얼게이지의 값은 0.5㎜ 였으며, 200kN의 잔존긴장력에서 모든 카드가 노출되었다. 모든 카드가 노출되었을 때의 다이얼게이지 값은 1.27㎜로 나타났다.



(a) 잔존긴장력 대비 노출량 (b) 복원량 대비 노출량

그림 3-67 다이얼게이지 방식의 규격화 결과(400kN, Type 2 직렬)

- 실험결과를 분석한 결과, 기존 레버식과 비교하여 미세한 복원량에도 카드가 노출되어 정밀도에 대한 개선이 이루어 진 것으로 판단된다.

- 약 1㎜의 복원에 모든 카드가 노출되는 것으로 확인되었다. 이는 높은 잔존긴장력에도 카드노출이 선명하여 육안 모니터링이 더 쉽게 가능해 진 것으로 판단된다.

- 그러나 설계긴장력의 10%의 손실에 대한 모니터링에 대한 문제점은 좀 더 개선이 필요할 것으로 사료되며, 이는 초기복원력과 깊은 관계가 있다.

- 초기복원력을 좀 더 개선하기 위해서는 복원높이 즉, 최대변위가 더 높아져야할 것으로 분석되고, 이를 만족시킬수 있는 탄성반력체의 제작이 필요할 것으로 판단된다.

(5) KOLAS 인증업체를 통한 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 검증

- 과업 수행을 거쳐 시제품 제작을 완성하고, 하중제거시 표시패드 노출에 대한 검증 및 기계적 오차, 구조적 기능의 원활성에 대해 신뢰할 수 있도록 공인기관에 평가 의뢰를 하여 제품의 신뢰성을 검증하고자 하였다.

- 공인인증 시험기관인 SGS Korea에 시제품에 대한 구조를 이해시키고 신뢰성 검증을 의뢰하였다.

- 시험의뢰 결과, 앵커의 긴장력 손실에 의해 탄성반력체의 거동이 이루어졌으며, 이에 따른 육안확인장치의 노출패드도 일체적으로 변위발생이 되는 것을 확인하였다.

- 따라서 현재 시제품의 완성도에 대해서 시험 의뢰 기관인 SGS Korea에서 신뢰성 확보에는 문제가 없을 것이라고 판단하였다.

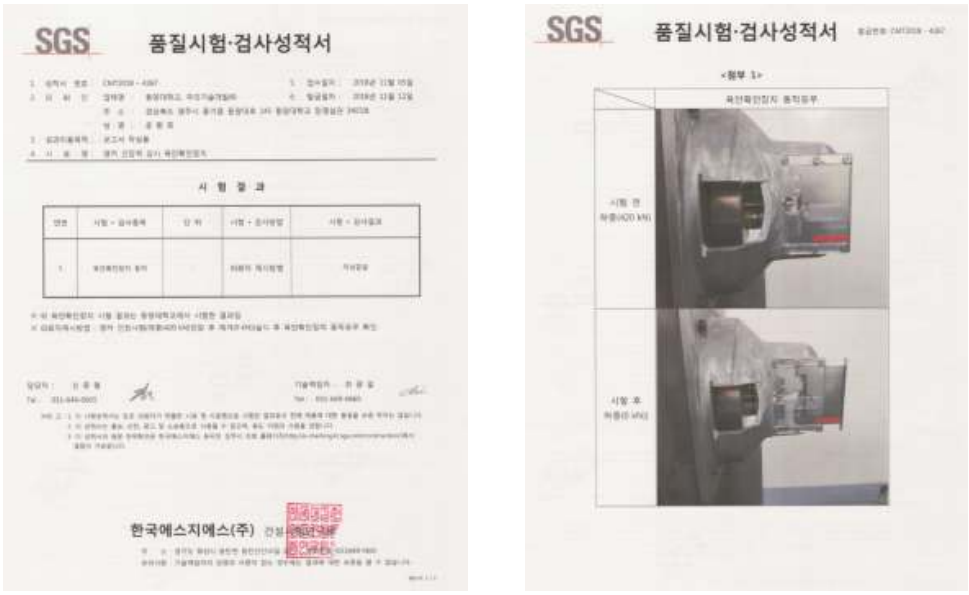


그림 3-68 신설 앵커 육안확인장치 공인기관 성적서

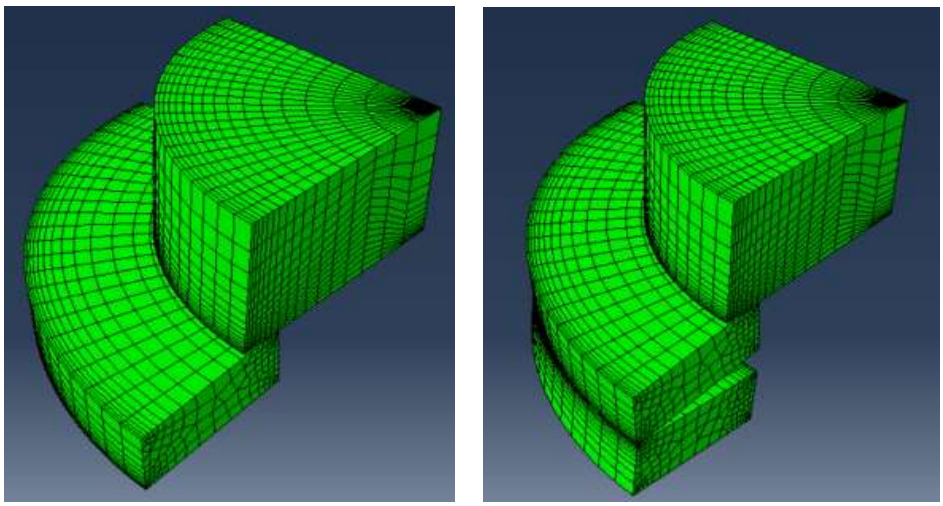
3.1.9 신설 앵커 육안확인장치 탄성반력체 구조적 안정성 검토

(1) 개 요

- 탄성반력체는 신설용 앵커 긴장력 육안확인장치의 핵심 부품 중 하나로써, 하중의 Loading/Unloading에서 발생되는 변위에 대해 정량화하여 육안확인장치의 사용성을 확보하는 것이 중요하다.

- 신청과제에서 고려되는 하중조건은 400kN이상의 하중이 2년 이상 장기간 동안 유지된 상태가 되므로 구조적 안정성에 대한 확보가 반드시 필요하다. 이에 탄성반력체의 구조적 안정성을 검토하기 위해 유한요소해석을 수행하였다.

- 수치해석은 Type 2 단일로 적용되었을 경우(case 1)와 Type 2 2개를 직렬로 연결 된 경우(case 2)로 고려하였다. 모든 Dimension은 실제 탄성반력체와 동일하게 모사하였다.



(a) Case 1 (b) Case 2

그림 3-69 Modelling for numerical analysis

▪ 탄성반력체의 구성모델은 Elastic으로 적용하였으며, 헤드의 재료는 SM45C, 탄성반력체의 재료는 51CrV4로 적용하였다. 수치해석에 적용된 물성치는 표 3.21에 나타내었다.

[표 3.21] Material properties for numerical analysis

구 분	재 질	탄성계수	포아송비
앵커 헤드	SM45C	206GPa	0.3
탄성반력체	51CrV4	206GPa	0.3

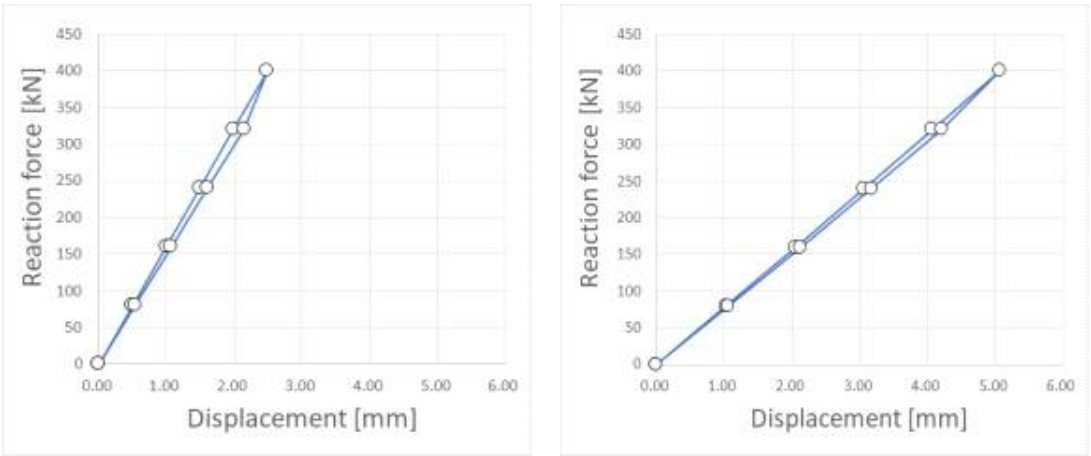
▪ 수치해석을 통해 도출된 하중 Loading/Unloading에 따른 탄성반력체의 하중-변위 곡선을 실내모형실험의 결과값과 비교 · 분석하였다.

▪ 구조적 안정성 검토는 하중 재하 상태에서의 잔류응력, 최대응력 발생 지점, 헤드 및 지압판과 탄성반력체의 접점에서의 응력을 분석하였다.

▪ 수치해석에 적용된 탄성반력체의 스프링상수(K)는 실내모형시험 결과를 이용하여 139.9로 적용하였다.

(2) 하중-변위 곡선

▪ 수치해석을 통해 나타난 탄성반력체의 하중-변위 곡선과 실내모형시험 결과를 그림 3-70에 나타내었다.



(a) Case 1 (b) Case 2

그림 3-70 Load-displacement curve

▪ Case 1에서 최대 재하하중을 400kN으로 적용하였으며, 발생된 최대 압축변위는 2.49mm로 나타내었다.

▪ Unloading이 완료되었을 때 탄성반력체에 소성변위는 발생하지 않았으며, Loading 단계에서 발생되는 압축변위량과 Unloading 상태에서 발생되는 복원량의 curve에 차이가 발생하였다.

▪ 탄성반력체를 직렬로 연결한 case 2의 하중-변위 곡선의 특성을 case 1과 비교하기 위해 동일한 최대하중을 적용하였다.

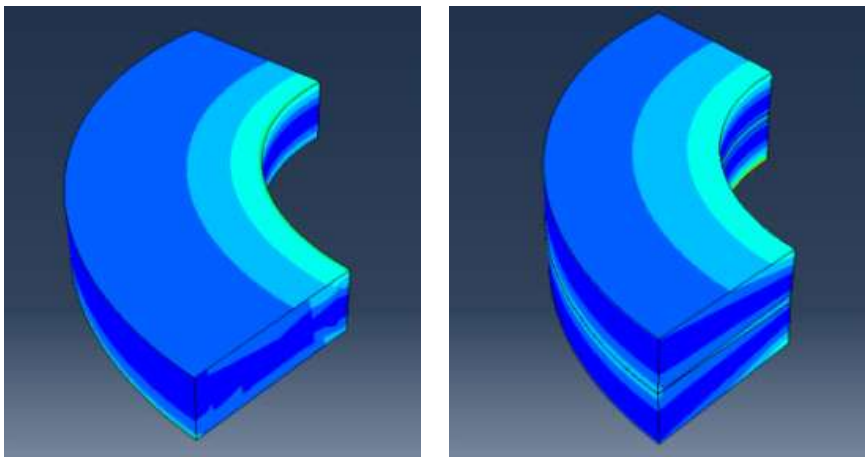
▪ case 1과 비교하였을 때, case 2와 같이 탄성반력체를 연결하여 사용하였을 경우, 탄성반력체의 허용하중은 case 1과 동일하지만 변위가 2배로 증폭되는 것을 알 수 있었고, 이는 실내모형실험의 결과와 동일하게 나타났다.

▪ case 2의 경우 최대하중 400kN일 때 압축변위는 5.07mm로 나타났으며, 하중-변위 곡선의 기울기는 72.58kN/mm로 나타났다.

▪ 이러한 탄성반력체의 비선형 거동은 압축하중에 의해 변위가 발생될 때 탄성반력체 두께의 변화에 따른 내 · 외경의 변화에 의한 것으로 기존 문헌 연구를 통해 확인하였다.

(3) 최대잔류응력 및 발생지점

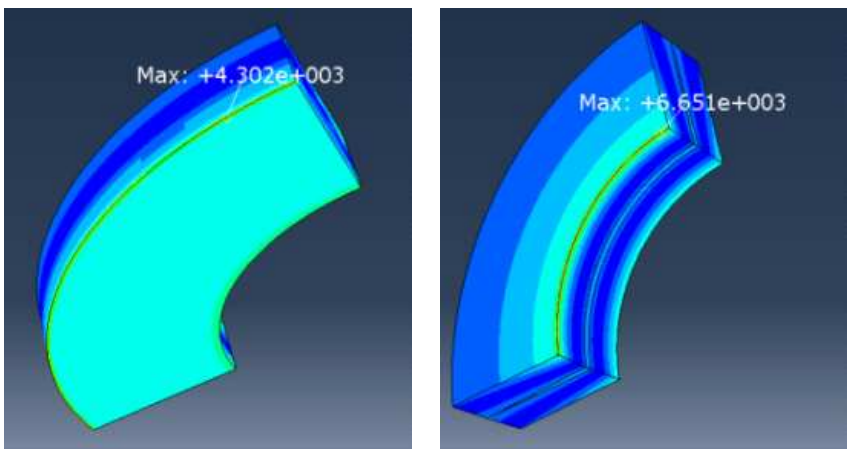
▪ 탄성반력체에 400kN의 하중이 재하될 경우 발생하는 최대잔류응력은 case 1에서 4,302MPa, case 2에서 6,651MPa로 나타났다. 이를 그림 3-71에 나타내었다.



(a) Case 1 (b) Case 2

그림 3-71 400kN 재하시 최대잔류응력

▪ 최대잔류응력이 발생하는 지점은 탄성반력체와 지압판이 맞닿는 지점임을 수치해석을 통해 알 수 있었다 (그림 3-72).



(a) Case 1 (b) Case 2

그림 3-72 최대잔류응력 발생지점

3.1.10 신설 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 현장실험 및 적용

(1) 현장실험을 위한 Test-bed 구축

① 개요

- 본 시공은 “신설 앵커의 긴장력 상시 육안확인장치” 의 시스템 개발을 위한 현장 검증시공과 경제적인 시공공정, 품질 및 안전관리에 만전을 수립하는데 그 목적이 있다.

- 현장 시공의 위치는 동양대학교 부지 내 옹벽 구조물과 수직앵커 시공을 위한 부지이며, 시공 기간은 2018년 8월 6일 ~ 2018년 9월 6일 이다.



(a) 시공위치



(b) 옹벽앵커 구간



(c) 수직앵커 구간

그림 3-73 현장실험 장소

② 현장 시공방법

가. 지반조사

- 본 조사의 목적은 “앵커 긴장력 상시 육안확인장치 개발” 에 대해 시추조사 및 각종 현장시험을 실시하고 지층의 분포상태 및 토성을 파악하고 설계 및 시공에 필요한 지반공학적 기초 자료를 수집. 분석하여 지반공학적 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

▪ 본 조사의 기본방향은 다음 그림 3-74와 같다.



그림 3-74 지반조사의 기본방향

▪ 조사위치는 동양대학교 부지 내 옹벽구조물 상부 지반에서 수행하였으며, 조사항목은 시추조사 1개소와 표준관입시험을 수행하였다. 다음 그림 3-75는 지반조사 전경을 사진으로 보여주고 있고, 표 3.22는 지반조사의 조사항목을 표로 보여주고 있다.



(a) 지반조사 전경 1



(b) 지반조사 전경 2



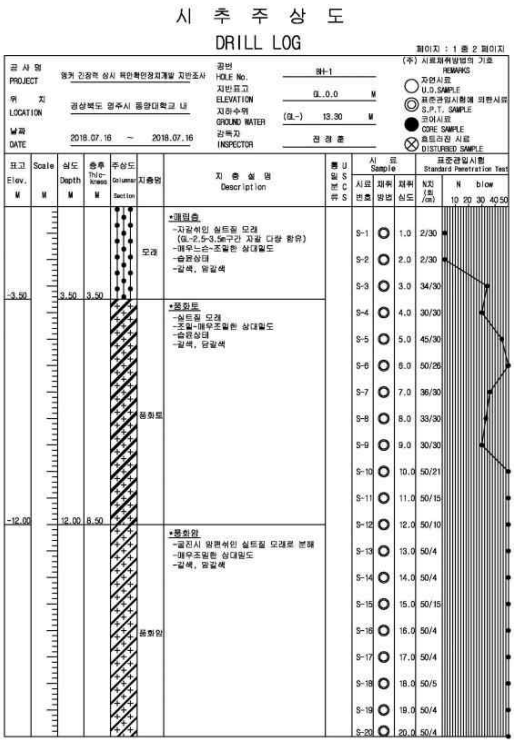
(c) 시추 코어

그림 3-75 지반조사

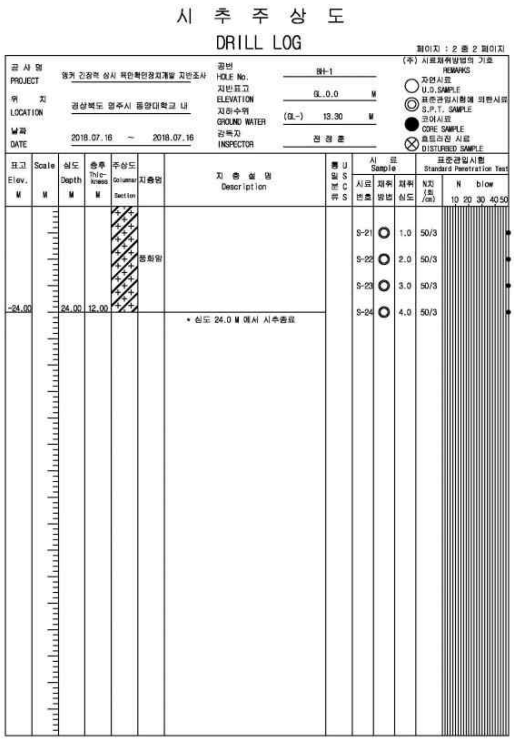
[표 3.22] 지반조사 조사항목

조 사 항 목	수 량(예상)	단 위	비 고
시추조사	1	개소	육상 (NX)
표준관입시험	14	회	20.0m(공당)/1.5M 간격

▪ 지반조사 결과, 신설용 그라운드앵커가 시공될 지반은 지표면으로부터 3.5m까지 자갈섞인 실트질 모래의 매립층, 12.0m까지 실트질 모래의 풍화토 및 풍화암으로 확인되었다. 다음 그림 3-76은 시추주상도를 그림으로 보여주고 있다.



시추주상도 1



시추주상도 2

그림 3-76 지반조사 결과

나. 앵커의 설계

▪ 그라운드앵커 정착장은 N치 30전후의 풍화토 지반에 위치하도록 계획되었으며 그라운드앵커 정착장 설계는 다음과 같다.

$$QF_s = \pi D L_a \tau \tag{3.9}$$

여기서, Q : 앵커 설계력
F_s : 안전율
D : 앵커 천공직경
L_a : 앵커 정착길이
τ_a : 앵커 주면마찰저항

▪ 앵커 설계력 350kN, 가설앵커 안전율 1.5, 천공직경 105㎜ 및 주면마찰저항력 0.3Mpa(N치 30)로 앵커 정착길이를 다음과 같이 설계되었다. 강연선은 12.7㎜ 4가닥으로 강연선의 허용설계하중은 440kN이다.

$$L_a = \frac{QF_s}{\pi D \tau_a} = \frac{350(kN)\cdot 1.5}{\pi \cdot 0.127(m)\cdot 300(kN/m^2)} = 5.31 \approx 5.5(m) \tag{3.10}$$

다. 코아천공

▪ 코아드릴거치대 설치(기존옹벽에 앙카볼트설치)

▪ L300㎜ x Ø150 x 앵커천공 각도(25°)로 용수와 함께 코아비트를 회전하여 천공

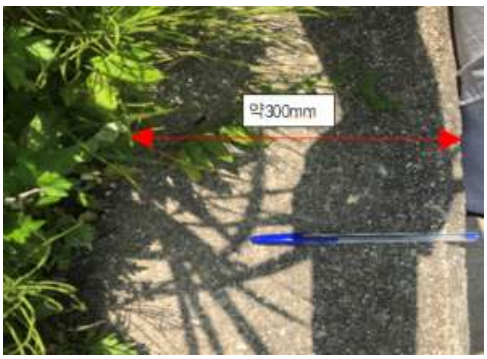




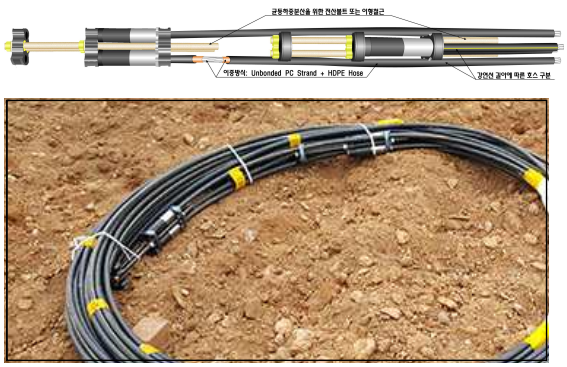
그림 3-77 코아천공

[표 3.23] 코아천공 항목

항 목	수 량	단 위	비 고
코아드릴천공	3	개소	L300㎜ x Ø150 x 30°

라. 앵구앵커 시공

▪ 앵커 시공은 천공, 앵커체 삽입, 그라우팅 및 양생 순으로 이루어지며 그 절차는 다음 전경과 같다.



(a) 영구앵커 제작 (L=13.5m, 여유장 1.5m 포함)



(b) 천공 (Ø105㎜, L=12.0m)



(c) 영구앵커삽입 (L=13.5m)



(d) 그라우팅 및 양생

그림 3-78 그라운드 앵커 시공

▪ 천공 규정된 위치, 방향, 각도15~30° , 길이와 구경 105㎜에 적합하게 천공하되 옹벽에 약 25° ,수직앵커는 90° (허용오차 ±2~3°)를 준수하여 천공하고 천공 시 SLIME을 제거한 후, 공벽이 손상되지 않도록 한다. 연약지반일 경우 공벽이 손상되므로 케이싱을 사용하여 천공을 한다.

▪ ANCHOR의 조립은 공장제작으로 하며, 내하체를 이형철근이나 전산볼트를 사용하여 길이를 길게하여 그라우트에 집중되는 하중을 길이방향으로 분산시켜 하중 손실을 최소화 하는 GE-3SP(균등분산압축형) 영구앵커를 사용한다.

▪ 앵커체의 삽입은 가공 조립된 ANCHOR 정착체를 오물, 기름, 녹 등의 유해물이 부착되지 않도록 취급하고, 특히 UNBOND 가공된 강재에 대해서는 방청제 등의 방식 재료가 파손하지 않도록 관리한다. ANCHOR 정착체의 설치시는 인장재가 엉키거나 파손되지 않도록 주의하면서 시공하고 ANCHOR 정착체가 공의 중심부에 위치하도록 삽입한다.

▪ 그라우팅은 ANCHOR 정착체가 공내에 설치 완료되면 1차, 2차 본 그라우팅을 연속적으로 실시하며 OVERFLOW가 될 때까지 주입한다. W/C는 45%로 하고 시멘트 혼화제는 그라우트의 유동성 및 조강성을 개선하기 위하여 ANCHOR용으로 개발된 제품을 사용하며, 배합비는 시멘트 중량에 대하여 2.5%내외를 사용한다.

[표 3.24] 그라우팅 배합비

구 분	시멘트	물	혼화제(1%)	W / C
단 위	kg	ℓ	kg	%
재료사용량	1,303	586	13	45

▪ 용수의 경우 본 공법의 사용자재는 충분하게 내구성이 확보된 제품이기는 하지만, GROUT에 사용하는 용수는 청수나 청수에 가까운 용수를 사용하여 ANCHOR 자재의 품질에 영향을 주지 않도록 하여야 한다.

▪ 인장은 GROUT 주입 후의 ANCHOR는 GROUT의 경화 중에 유해한 진동 또는 충격을 주지 않도록 보호한다. GROUT의 양생은 보통시멘트에서는 28일을 기준으로 하되, 필요시 보통시멘트 + 혼화제 1.0% 이상을 사용하면 약 7일 정도에도 인장을 시행할 수 있다.

③ 현장시공

가. 영구앵커 제원

[표 3.25] 영구앵커 제원표

No.	앵커명칭	사 양 (m)				P. C. Strand 강연선 수
		정착장	자유장	여유장	총길이	
1	인장형	5.5	6.5	1.5	13.5	4 가닥 (12.7㎜)
2	선단압축형	〃	〃	〃	〃	〃
3	분산압축형	〃	〃	〃	〃	〃
4	인장형	〃	〃	〃	〃	〃
5	선단압축형	〃	〃	〃	〃	〃
6	분산압축형	〃	〃	〃	〃	〃

나. 옹벽앵커 시공

▪ 옹벽앵커의 경우 다음 그림과 같이 기존 옹벽에 코어천공작업을 수행한 후 천공, 앵커체삽입, 그라우팅 및 양생 순으로 시공이 이루어 졌다.



(a) 지반조사



(b) 코아천공



(c) 앵커 게이지 설치



(d) 천공(Ø105㎜)



(e) 앵커 삽입



(f) 그라우팅(물/시멘트비 45%)



(g) 브라켓설치 및 인장시험



(h) 육안확인장치 설치

그림 3-79 옹벽앵커의 시공

다. 수직앵커 시공

▪ 수직앵커의 경우 원지반을 수직으로 천공을 하여 앵커체 삽입, 그라우트 및 양생이 이루어졌으며 앵커 반력장치는 패널을 이용하였다.



(a) 지반조사



(b) 스트레인 게이지 부착



(c) 천공(Ø127㎜)



(d) 앵커 설치



(g) 육안확인장치 설치 1



(h) 육안확인장치 설치 2

그림 3-80 수직앵커의 시공

(2) 실대형 실험을 통한 거동 분석

① 그라운드 앵커 현장시험 종류

▪ 다른 구조물 시스템과 달리 그라운드 앵커 구조물의 독특한 특징은 완성된 구조물의 한 부분인 앵커는 서비스가 수행하기 전에 앵커의 하중 보유 능력 및 하중-변위 거동 관계를 규정하기 위해 현장시험(Load Tests)이 수행되어진다는 것이다.

▪ 그라운드 앵커 현장시험은 BSI(BS 8081)에서 제시하고 있는 시험방법과 AASHTO(FHWA)에서 제시하고 있는 방법, 그리고 일본그라운드기술협회에서 제시하고 있는 방법 등으로 나눌 수 있다.

▪ 그라운드 앵커의 합격 또는 불합격 여부는 Performance Test(인장시험 또는 인발시험), Proof Test(확인시험) 및 Extended Creep Test(크리프 시험) 등의 결과에 기초하여 결정되어진다.

▪ 추가로 Shorter duration creep test(Extended Creep Test와 대조, 단기크리프 시험)는 Performance Test(인장시험)와 Proof Test(확인시험)의 한 부분으로 수행되어진다.

② 그라운드 앵커 시험의 절차

가. 인발시험(기본시험)

▪ 인발시험은 시험 시공된 앵커에 대해 점진적으로 하중을 증가 및 감소를 시키는 시험으로 앵커체의 품질, 설계의 정확성 등을 확인하기 위하여 수행되는 시험이다.

▪ 특히 지반에 대한 극한 인발력 및 거동특성을 파악하여 앵커체 설계에 필요한 지반 정수를 결정하기 위한 시험이다.

▪ 시험최대하중은 인장재 항복강도(Pf)의 90%(Pf90)이며 초기하중(Alignment Load, AL)은 일반적으로 최대하중의 0.05~0.2Pf90를 사용한다.

▪ 본 인발시험은 표 3.26과 같은 절차로 수행되며 각각의 사이클에서 증가되는 하중은 5~10ton이다.

▪ 각 사이클 최대하중에서는 하중을 10분 동안 유지시켜 앵커두부에서 발생되는 크리프 변위를 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10분 간격으로 측정한다.

▪ 각 사이클 최대하중에서 측정된 1분에서 10분 사이의 크리프 변위가 1mm 이상 발생될 경우 앵커가 인발된 것으로 간주하고 시험을 중단하며 이전 사이클의 최대하중을 극한하중으로 결정한다.

[표 3.26] 인발시험(기본시험)절차 예(12.7mm 4가닥 경우)

Step	Loading	Applied Load (tf)	Record and Plot Total Movement	Remark
1	Apply alignment load(AL=10tf) Cycle 1			
2	Cycle 2	15.0tf	δ	
		AL(10tf)	〃	
3	Cycle 3	15.0tf	〃	
		20.0tf	〃	
		AL(10tf)	〃	
4	Cycle 4	15.0tf	〃	
		20.0tf	〃	
		25.0tf	〃	
		AL(10tf)	〃	
5	Cycle 5	15.0tf	〃	
		20.0tf	〃	
		25.0tf	〃	
		30.0tf	〃	
		AL(10tf)	〃	
:	:	:	:	:
10	Cycle 10	15.0tf	δ	
		20.0tf	〃	
		25.0tf	〃	
		30.0tf	〃	
		35.0tf	〃	
		40.0tf	〃	
		45.0tf	〃	
		50.0tf	〃	
		55.0tf	〃	
		AL(10tf)	〃	

나. 인장시험(적성시험)

- 인장시험은 시공된 앵커의 단기 반복하중에 대한 설계내력과 자유부 구속 여부를 확인하는 시험으로 시험절차는 인발시험과 동일하다. 시험최대하중은 일반적으로 설계축력(Design Load, DL)의 1.20~1.50배로 하고 초기하중은 설계축력의 0.05~0.2배의 하중을 사용한다.

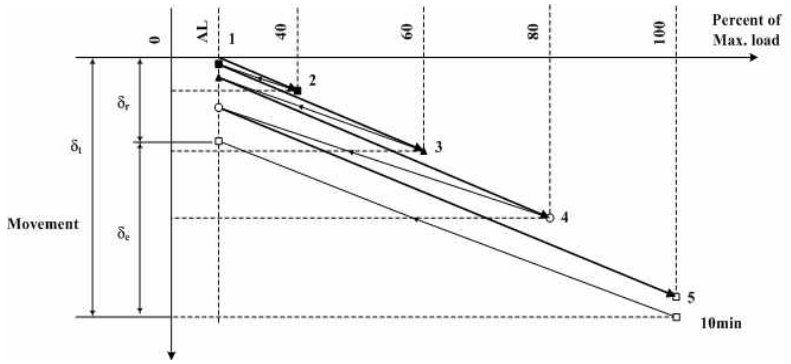
- 시험최대하중에서 인발시험과 동일하게 하중을 10분 동안 유지시켜 앵커두부에서 발생되는 크리프 변위를 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10분 간격으로 측정한다. 각 사이클 최대하중에서 측정된 1분에서 10분 사이의 크리프 변위가 1㎜ 이하일 때 설계 내력이 있는 것으로 간주한다.

[표 3.27] 인장시험 절차

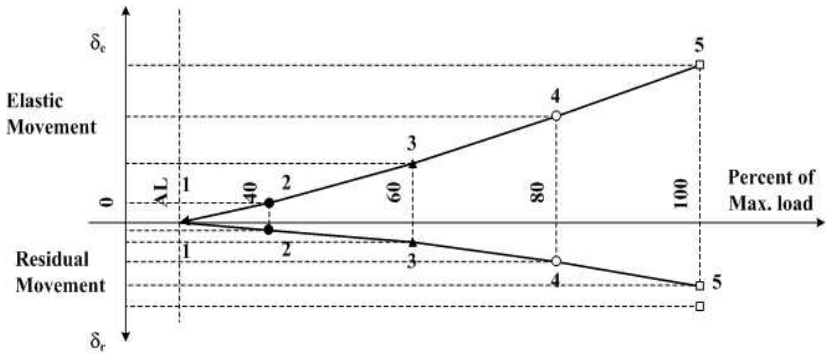
Step	Loading	Applied Load (tf)	Record and Plot Total Movement	Remark
1	Apply alignment load(AL=0.20P) Cycle 1			
2	Cycle 2	0.40 P	δ	
		AL	〃	
3	Cycle 3	0.40 P	〃	
		0.60 P	〃	
		AL	〃	
4	Cycle 4	0.40 P	〃	
		0.60 P	〃	
		0.80 P	〃	
		AL	〃	
5	Cycle 5	0.40 P	〃	
		0.60 P	〃	
		0.80 P	〃	
		1.00 P	〃	
		AL	〃	
6	Cycle 5의 최대하중에서 10분 동안 하중을 유지시켜 크리프 변위를 측정한다.			

Note: AL = 초기하중(Alignment Load), DL = 설계축력(Design Load)

P = 시험최대하중(1.20DL, 1.33DL or 1.50DL)



(a) 인장(인발)시험의 하중-변형 그래프



(b) 인장(인발)시험에서의 탄성변형과 잔류변형 그래프

그림 3-81 인장시험 결과 그래프

다. 확인시험

- 확인시험은 하나의 하중 사이클로 시험하중에서 하중을 일정시간 유지시킨다. 적용된 하중의 크기는 일반적으로 잭 압력 게이지을 사용하여 측정된다. 확인시험은 표 3.28에서와 같은 절차로 수행되어진다. 확인시험에서 각 하중 사이클에서의 총 변형은 그림 3-82와 같이 표현된다.

[표 3.28] 확인시험 절차

Step 1.	초기하중(Alignment load)을 재하하고 변위를 zero로 가정한다.
Step 2.	다음과 같은 하중을 점차적으로 가하고 총 변위를 측정한다. AL, 0.4P, 0.6P, 0.8P, 1.0P, P는 최대시험하중으로 가설앵커에서는 설계축력(Design Load의 120%, 영구앵커의 경우에는 133% 또는 잭킹력)
Step 3.	최대하중인 1.0P에서 10분 동안의 크리프변위를 측정한다.
Step 4.	크리프 규정을 만족할 경우 정착시킨다.

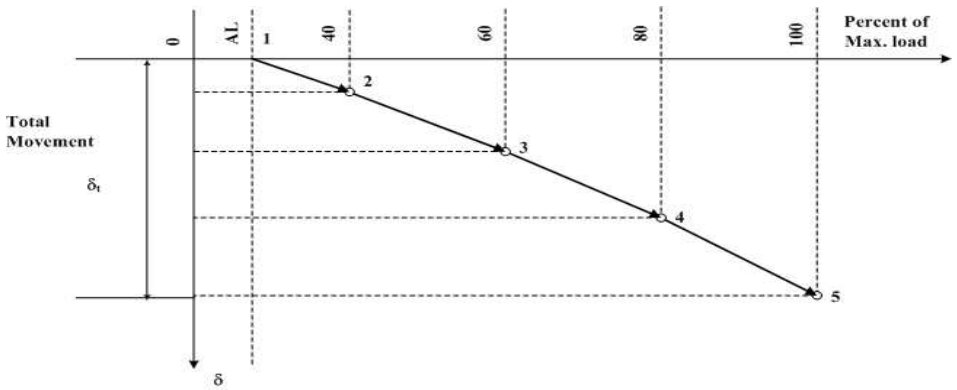


그림 3-82 확인시험의 하중-변형 그래프

라. 크리프 시험(Extended Creep Tests)

- 크리프 시험(Extended creep test)은 오랜 지속시간(대략 8시간)을 가지는 시험이다. 이 시험은 앵커의 크립 변형을 측정하기 위한 시험이며 소성지수가 20이상이거나 액성한계가 50이상인 점성토 지반에 시공된 앵커에 요구되는 시험이다. 이와 같은 지반 조건에서 최소 두 개의 그라운드 앵커에 대해 크리프 시험(Extended creep test)이 수행되어져야 한다.

- 인장시험(Performance tests)과 확인시험(Proof tests)에서 하중을 장시간 유지시켜야 한다면 크리프 시험(Extended creep test)은 여러 개의 앵커에 대해 수행되어 진다. 크리프 시험(Extended creep tests)에서 각 하중 사이클에 대한 하중재하 계획과 측정기간은 표 3.29와 같다.

[표 3.29] 크리프시험에 대한 하중과 관측 기간

Loading Cycle	Maximum Cycle Load	Total Observation Period(min)	Movements measured at following times(min)
1	AL	10	1,2,3,4,5,6,10
2	0.4P	30	1,2,3,4,5,6,10,15,20,25,30
3	0.6P	45	1,2,3,4,5,6,10,15,20,25,30,45
4	0.8P	60	1,2,3,4,5,6,10,15,20,25,30,45,60
5	1.0P	300	1,2,3,4,5,6,10,15,20,25,30,45,60,300
Note: 가설앵커 P=1.2DL, 영구앵커 P=1.33DL			

- 크리프 시험(Extended creep tests)에 대한 시험 데이터는 표 3.27과 같이 작성된다. 임의의 시간에서 크리프 변형은 총 변형과 1분에서 측정된 변형의 차이이다. 전형적인 크리프 시험(Extended creep tests)에 대한 크리프 커브는 그림 3-83에 나타나 있다. 각 커브는 별개의 하중을 유지시킨 것이다. 크리프 비는 시간 로그 사이클당 커브의 기울기로 정의된다.

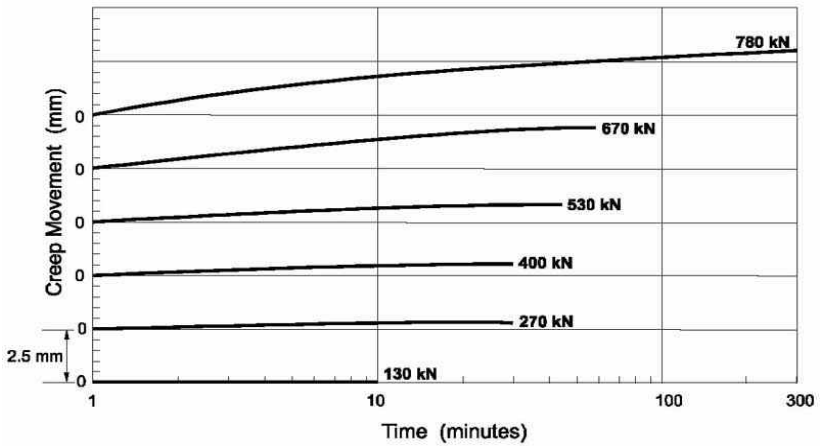


그림 3-83 크리프 곡선

③ 시험앵커 적합성 판정 방법

가. 크리프에 의한 규정

- 인발 및 인장시험과 확인시험에 대해서 시험하중에서 요구되어지는 하중 유지 시간 동안 측정된 총 변위는 1분에서 10분 사이에 1㎜를 초과해서는 안 된다. 측정된 총 변형이 위에서 설명한 규정(1㎜)을 초가 했을 때는 하중을 추가로 50분의 시간을 더 유지시킨다.

- 이 추가의 시간 동안 이상에서 측정된 총 변형이 6분에서 60분 사이에 2㎜를 보다 작으면 이 앵커가 크리프에 대한 적합하다고 판단할 수 있다. 크리프시험(Extended creep test)에서 임의의 하중을 유지시킬 때 총 변형이 각각의 하중 증가에서의 최종 시간 로그 사이클 분의 시간 로그 사이클 당 2㎜를 넘으면 안 된다.

나. 한계곡선에 의한 규정

- 앵커 현장시험에서 앵커 두부에서 얻어진 탄성변위를 이용하여 앵커력 확보여부 및 구속여부를 확인할 수 있다. 앵커 두부에서 얻어진 탄성변위가 상한을 벗어날 경우에는 지반 또는 그라우트가 연약하여 앵커력 확보가 곤란한 것이며, 하한을 벗어날 경우에는 앵커 자유부가 구속되었음을 의미한다. 상한 및 하한의 규정은 표 3.30과 같다.

$$\delta = \frac{PL}{EA} \tag{3.11}$$

여기서, δ : 인장재의 탄성변위

P : 앵커 두부에 재하되는 하중

L : 앵커 자유부 길이(인장형: 자유장, 압축형: 자유장 + 정착장)

E : 인장재 탄성계수(2 x 106 kg/cm^2)

A : 인장재 단면적(0.9871 cm^2, 12.7㎜)

[표 3.30] 앵커 종류에 따른 상한 및 하한 규정

구분	상한	하한	비고
인장형	(자유장 + 정착장50%) 탄성변위	(자유장) 탄성변위의 80%	
	$\frac{P(\text{자유장}+\text{정착장}/2)}{EA}$	$0.8\times\frac{P(\text{자유장})}{EA}$	
압축형	(자유장 + 정착장) 탄성변위 110%	(자유장) 탄성변위의 80%	
	$1.1\times\frac{P(\text{자유장}+\text{정착장})}{EA}$	$0.8\times\frac{P(\text{자유장}+\text{정착장})}{EA}$	

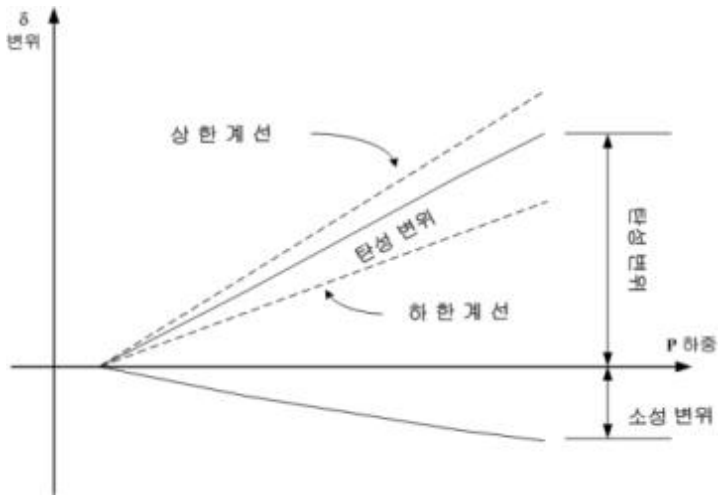


그림 3-84 한계곡선에 의한 규정

④ 그라운드 앵커 현장시험

가. 개 요

- 본 시험은 동양대학교 부지에 시험 시공된 영구앵커에 대해 인장시험을 수행하여 설계내력 및 자유부 구속여부를 확인하는데 목적이 있다.

- 설계내력은 시험결과로부터 얻어지는 하중-변위 관계와 각 사이클 최대하중에서 측정된 크리프 변위로부터 산정된다.

- 본 시험의 시험시공의 사용한 앵커체는 12.7㎜ Unbonded P.C.Strand.를 이용한 윙윙 제거식 앵커체로 P.C. Strand의 KS 규격 및 시험 앵커 사양은 각각 표 3.31 및 표 3.32와 같다.

[표 3.31] 사용 강연선 규격

구 분	규 격	비 고
스 트 랜 드 경	12.7㎜(+0.4, -0.2)	
공 칭 단 면 적	98.71㎟	
공 칭 중 량	0.774kg/m	
절 단 하 중	18,700kg	
0.2% 영구신율에 의한 항복하중	15,900kg	
70% 초기하중에서 1000 시간 후 RELAXATION	2.5%이하	

[표 3.32] 시험앵커 사양

No.	앵커명칭	사 양 (m)				P. C. Strand 강연선 수
		정착장	자유장	여유장	총길이	
1	인장형	5.5	6.5	1.5	13.5	4 가닥 (12.7mm)
2	선단압축형	〃	〃	〃	〃	〃
3	분산압축형	〃	〃	〃	〃	〃
4	인장형	〃	〃	〃	〃	〃
5	선단압축형	〃	〃	〃	〃	〃
6	분산압축형	〃	〃	〃	〃	〃

나. 현장시험 절차

▪ 인장시험 최대하중은 설계앵커력의 120%이며, 표 3.33과 같은 절차로 시험이 수행된다.

[표 3.33] 앵커 인장시험 절차

단계	하중 사이클	적용 하중 (%)	변 위 (mm)	하중유지시간 (분)
1	Apply alignment load(AL=0.25P) Cycle 1			
2	Cycle 2	0.5P	δ	1
		0.25P	〃	1
3	Cycle 3	0.5P	〃	1
		0.75P	〃	1
		0.25P	〃	1
4	Cycle 4	0.5P	〃	1
		0.75P	〃	1
		1.0P	〃	1
		0.25P	〃	1
5	Cycle 5	0.5P	〃	1
		0.75P	〃	1
		1.0P	〃	1
		1.2P	〃	10
		0.25P	〃	1

▪ 시험 절차는 앞서 설명한 인장 또는 인발시험 절차에 의해 수행 되었으며, 앵커 두부에 발생하는 변위는 현장 상황에 맞도록 제작된 LVDT set를 이용하여 동적 변형율 측정기를 통해 PC에 기록되고 하중 역시 Load Cell에서 측정된 데이터가 같은 방법으로 기록되며 DC-104R Controller라는 프로그램에 의해 현장에서 직접 눈으로 확인할 수 있다. 본 현장에서 사용된 시험 장비 및 시험 전경은 각각 표 3.34 및 그림 3-85와 같다.

[표 3.34] 계측 장비

항 목	사 양	제 조 원	비 고
인장기	현장사양	韓	
유압펌프	〃	外	
하중계 (Load Cell)	100tonf	韓(CAS)	
변위계 (LVDT)	200mm	日(TML)	
측정기 (DC-104R)	4 channel	日(TML)	
Software	DC-104R Controller	日(TML)	



(a) 앵커 인장시험 전경-1



(b) 앵커 인장시험 전경-2



(c) 앵커 인장시험 계측장비

그림 3-85 앵커 인장시험

다. 현장시험 결과

▪ No.1 인장형 앵커의 결과는 다음과 같다.

[표 3.35] No.1 인장형 앵커

Step	Loading	Applied Load (tonf)	Total Movement (mm)
1	Cycle 1	4.01	0.00
2	Cycle 2	10.42	9.96
		4.01	2.36
3	Cycle 3	10.42	10.16
		20.38	20.54
		4.01	4.72
4	Cycle 4	10.73	11.40
		20.54	21.60
		30.34	32.60
		30.34	32.72
5	Cycle 5	30.34	32.82
		30.34	32.92
		30.34	32.98
		30.34	33.06
		30.34	33.12
		30.34	33.24
		4.01	6.01

[표 3.36] No.1 인장형 앵커

실측하중	실측변위 (mm)		소성변위	상한 (mm)		하한 (mm)	
(tonf)	실 측	수 정	(mm)	계 산	수 정	계 산	수 정
4.01	4.72	0.00	0.00	5.46	0.00	3.25	0.00
10.73	11.40	6.68	-2.36	14.61	9.15	8.70	5.45
20.54	21.60	16.88	-4.72	27.96	22.50	16.65	13.40
30.34	32.60	27.88	-6.01	41.30	35.84	24.59	21.34

▪ No. 2 선단압축형 앵커의 결과는 다음과 같다.

[표 3.37] No.2 선단압축형 앵커

Step	Loading	Applied Load (tonf)	Total Movement (mm)
1	Cycle 1	3.01	0.00
2	Cycle 2	7.57	9.36
		3.01	0.84
3	Cycle 3	7.57	9.80
		15.21	22.36
		3.01	1.52
4	Cycle 4	7.57	10.56
		15.29	22.64
		22.54	34.56
		3.01	3.48
5	Cycle 5	7.72	12.04
		15.21	23.88
		22.93	35.68
		30.34	48.68
		30.34	49.40
		30.34	49.48
		30.34	49.60
		30.34	49.68
		30.34	49.96
		30.34	49.84
		30.34	49.92
		3.01	6.94

[표 3.38] No.2 선단압축형 앵커

실측하중	실측변위 (mm)		소성변위	상한 (mm)		하한 (mm)	
(tonf)	실 측	수 정	(mm)	계 산	수 정	계 산	수 정
3.01	6.94	0.00	0.00	5.56	0.00	4.04	0.00
7.80	15.12	8.18	-0.84	14.40	8.84	10.47	6.43
15.05	26.92	19.98	-1.52	27.78	22.22	20.20	16.16
22.70	38.84	31.90	-3.48	41.90	36.34	30.47	26.43
30.26	50.64	43.70	-6.94	55.85	50.29	40.62	36.58
36.00	67.00	60.06	-26.40	66.44	60.88	48.32	44.28

▪ No.3 분산압축형 앵커의 결과는 다음과 같다.

[표 3.39] No.3 분산압축형 앵커

Step	Loading	Applied Load (tonf)	Total Movement (mm)
1	Cycle 1	3.01	0.00
2	Cycle 2	7.64	7.96
		3.01	0.50
3	Cycle 3	7.87	7.62
		15.36	18.54
		3.01	1.82
4	Cycle 4	7.80	8.42
		15.36	18.70
		22.85	30.14
		3.01	2.78
5	Cycle 5	7.64	9.18
		15.13	19.46
		22.54	29.94
		30.34	41.30
		30.34	41.90
		30.34	42.02
		30.34	42.10
		30.34	42.18
		30.34	42.22
		30.34	42.26
		30.34	42.38
		3.01	4.58

[표 3.40] No.3 분산압축형 앵커

실측하중	실측변위 (mm)		소성변위	상한 (mm)		하한 (mm)	
(tonf)	실 측	수 정	(mm)	계 산	수 정	계 산	수 정
3.01	4.58	0.00	0.00	5.08	0.00	3.70	0.00
8.03	11.58	7.00	-0.50	13.56	8.48	9.86	6.16
15.30	21.42	16.84	-1.82	25.84	20.76	18.79	15.09
22.70	31.86	27.28	-2.78	38.34	33.26	27.88	24.18
30.42	42.50	37.92	-4.58	51.38	46.30	37.37	33.67
36.21	50.82	46.24	-10.74	61.16	56.08	44.48	40.78

▪ No.4 인장형 앵커의 결과는 다음과 같다.

[표 3.41] No.4 인장형 앵커

Step	Loading	Applied Load (tonf)	Total Movement (mm)
1	Cycle 1	3.01	0.00
2	Cycle 2	7.72	5.72
		3.09	1.28
3	Cycle 3	7.80	6.04
		15.21	13.48
		3.01	2.04
4	Cycle 4	7.95	6.76
		15.21	13.88
		22.64	22.24
		3.01	2.72
5	Cycle 5	7.87	7.64
		15.36	15.20
		22.70	22.76
		30.19	31.56
		30.19	31.84
		30.19	31.92
		30.19	32.04
		30.19	32.10
		30.19	32.16
		30.19	32.20
		30.19	32.36
		3.09	5.12
6	Cycle 6	7.95	9.84
		15.21	17.28
		22.85	25.16
		30.26	33.04
		36.21	39.80
		36.21	40.00
		36.21	40.20
		36.21	40.32
		36.21	40.40
		36.21	40.44
		36.21	40.48
		36.21	40.60
		3.01	6.72

[표 3.42] No.4 인장형 앵커

실측하중	실측변위 (mm)		소성변위	상한 (mm)		하한 (mm)	
(tonf)	실 측	수 정	(mm)	계 산	수 정	계 산	수 정
3.09	5.12	0.00	0.00	4.21	0.00	2.50	0.00
7.95	9.84	4.72	-1.28	10.82	6.61	6.44	3.94
15.21	17.28	12.16	-2.04	20.71	16.50	12.33	9.83
22.85	25.16	20.04	-2.72	31.11	26.90	18.52	16.02
30.26	33.04	27.92	-5.12	41.19	36.98	24.52	22.02
36.21	39.80	34.68	-6.72	49.29	45.08	29.35	26.85

▪ No.5 선단압축형 앵커의 결과는 다음과 같다.

[표 3.43] No.5 선단압축형 앵커

Step	Loading	Applied Load (tonf)	Total Movement (mm)
1	Cycle 1	3.01	0.00
2	Cycle 2	7.64	7.64
		3.00	0.98
3	Cycle 3	7.72	8.68
		15.36	19.60
		3.01	1.88
4	Cycle 4	7.72	8.88
		15.36	19.76
		22.70	31.12
		3.01	2.80
5	Cycle 5	7.87	10.04
		15.44	20.72
		22.62	31.32
		30.19	43.30
		30.19	43.80
		30.19	44.08
		30.19	44.20
		30.19	44.28
		30.19	44.36
		30.19	44.48
		30.19	44.60
		3.01	5.20
6	Cycle 6	7.72	12.08
		15.21	22.84
		22.62	33.72
		30.19	44.92
		36.21	54.40
		36.21	54.80
		36.21	55.04
		36.21	55.16
		36.21	55.28
		36.21	55.44
		36.21	55.52
		36.21	55.68
		3.01	7.24

[표 3.44] No.5 선단압축형 앵커

실측하중	실측변위 (mm)		소성변위	상한 (mm)		하한 (mm)	
(tonf)	실 측	수 정	(mm)	계 산	수 정	계 산	수 정
3.01	5.20	0.00	0.00	5.56	0.00	4.04	0.00
7.72	12.08	6.88	-0.98	14.25	8.69	10.36	6.32
15.21	22.84	17.64	-1.88	28.07	22.51	20.42	16.38
22.62	33.72	28.52	-2.80	41.75	36.19	30.36	26.32
30.19	44.92	39.72	-5.20	55.72	50.16	40.52	36.48
36.21	54.40	49.20	-7.24	66.83	61.27	48.61	44.57

▪ No.6 분산압축형 앵커의 결과는 다음과 같다.

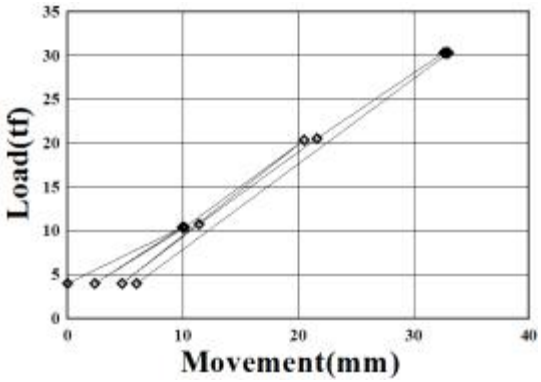
[표 3.45] No.6 분산압축형 앵커

Step	Loading	Applied Load (tonf)	Total Movement (mm)
1	Cycle 1	3.01	0.00
2	Cycle 2	7.53	7.08
		3.01	0.96
3	Cycle 3	7.64	7.64
		15.29	19.08
		3.01	1.88
4	Cycle 4	7.87	9.04
		15.44	19.04
		22.77	30.60
		3.09	3.32
5	Cycle 5	7.87	10.24
		15.36	20.88
		22.77	31.16
		30.19	42.52
		30.19	42.38
		30.19	42.58
		30.19	42.70
		30.19	42.80
		30.19	42.90
		30.19	43.02
		30.19	43.10
		3.01	5.82
6	Cycle 6	7.80	12.90
		15.20	23.50
		22.93	34.14
		30.26	44.62
		36.21	53.54
		36.21	54.06
		36.21	54.34
		36.21	54.46
		36.21	54.54
		36.21	54.62
		36.21	54.70
		36.21	54.82
		3.01	8.86

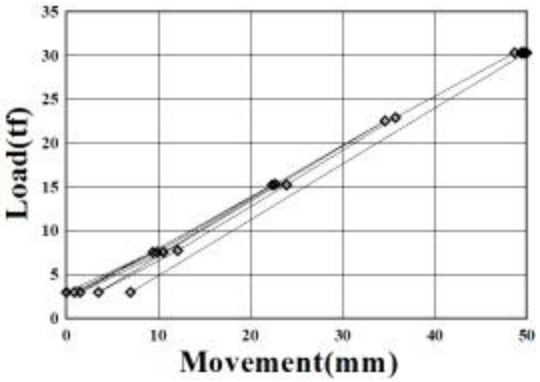
[표 3.46] No.6 분산압축형 앵커

실측하중	실측변위 (mm)		소성변위	상한 (mm)		하한 (mm)	
(tonf)	실 측	수 정	(mm)	계 산	수 정	계 산	수 정
3.01	5.82	0.00	0.00	5.08	0.00	3.70	0.00
7.72	12.90	7.08	-0.96	13.17	8.09	9.58	5.88
15.21	23.50	17.68	-1.88	25.67	20.59	18.67	14.97
22.62	34.14	28.32	-3.32	38.73	33.65	28.17	24.47
30.19	44.62	38.80	-5.82	51.11	46.03	37.17	33.47
36.21	53.54	47.72	-8.86	61.16	56.08	44.48	40.78

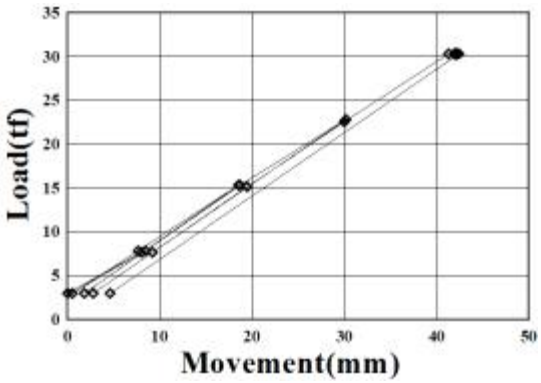
▪ 각 앵커별 하중-변형 곡선과 상한 및 하한 곡선은 다음과 같다.



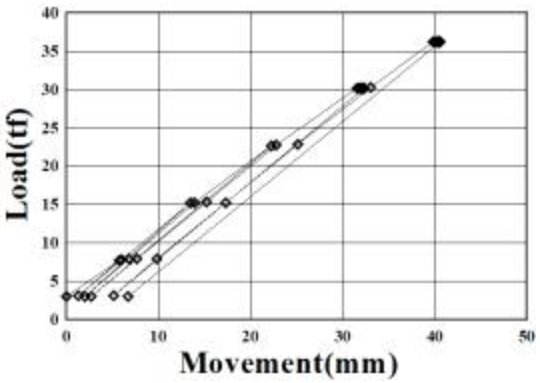
(a) No.1 인장형 앵커



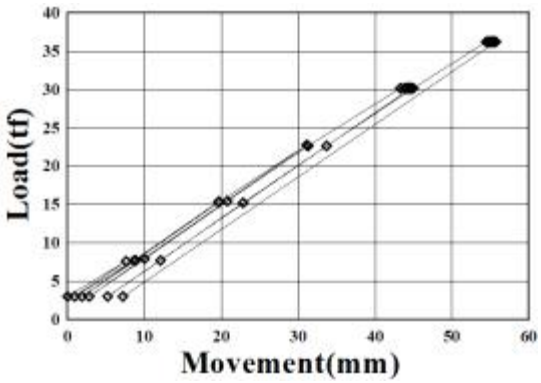
(b) No.2 선단압축형 앵커



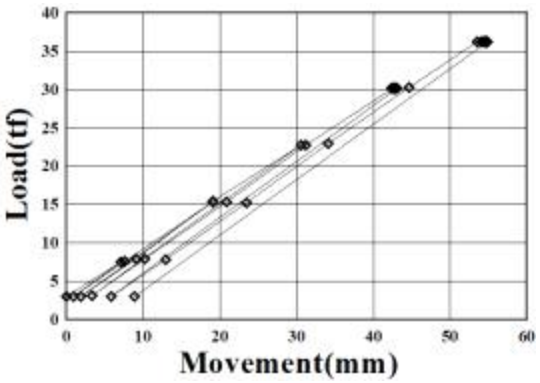
(c) No.3 분산압축형 앵커



(d) No.4 인장형 앵커

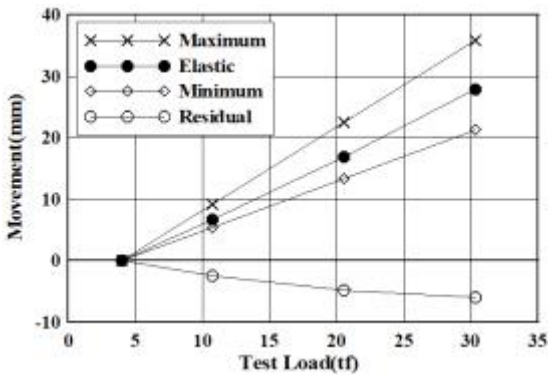


(e) No.5 선단압축형 앵커

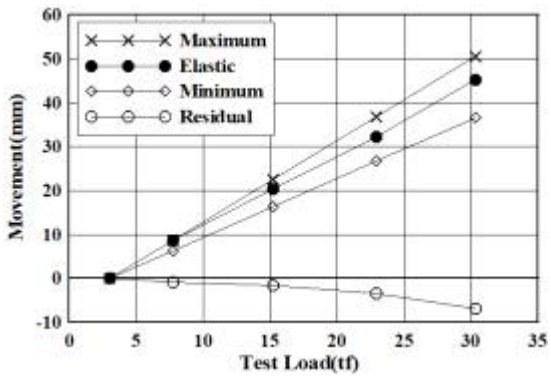


(f) No.6 분산압축형 앵커

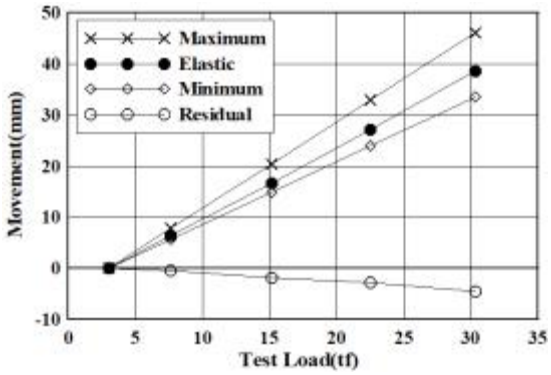
그림 3-86 하중-변형 곡선



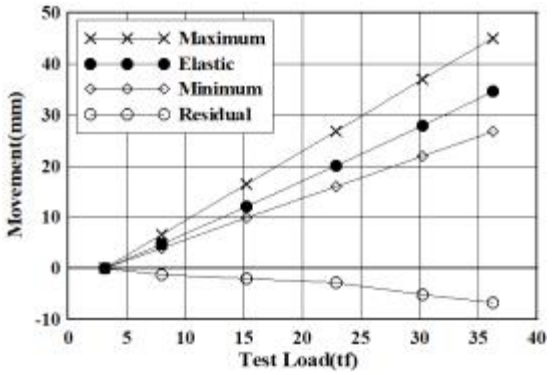
(a) No.1 인장형 앵커



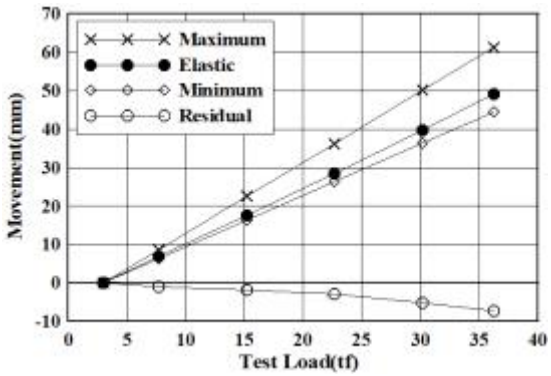
(b) No.2 선단압축형 앵커



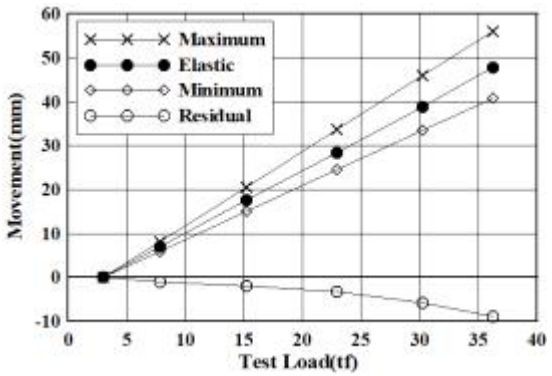
(c) No.3 분산압축형 앵커



(d) No.4 인장형 앵커



(e) No.5 선단압축형 앵커



(f) No.6 분산압축형 앵커

그림 3-87 상한 및 하한 곡선

라. 결과 분석

- 앵커 인장시험은 시험최대하중에서 10분 동안 하중을 유지시켜 크리프 변위를 측정하여 1분에서 10분 사이에 발생된 변위가 1.0㎜보다 작을 때 설계내력이 있는 것으로 판단한다.

- 옹벽앵커의 경우 30tf까지, 수직앵커의 경우 26tf까지 시험을 수행하였으며, 모든 앵커가 설계내력이 있는 것으로 확인되었다.

- 또 상한 및 하한 곡선에서 보는 것과 같이 단계별 하중에서 측정한 앵커 두부에서 발생된 탄성 변위 곡선이 하한곡선 위쪽에 있으므로 자유부가 구속되어 있지 않는 것으로 판단된다.

[표 3.47] 단기 크리프 변위

No.	하중	크리프 변위 (㎜)								비고
	(tonf)	1분	2분	3분	4분	5분	6분	10분	10-1	
1	30.34	0.00	0.10	0.20	0.26	0.34	0.40	0.52	0.52	
2	30.34	0.00	0.08	0.20	0.28	0.56	0.44	0.52	0.52	
3	30.34	0.00	0.12	0.20	0.28	0.32	0.36	0.48	0.48	
4	36.21	0.00	0.20	0.32	0.40	0.44	0.48	0.60	0.60	
5	36.21	0.00	0.24	0.36	0.48	0.64	0.72	0.88	0.88	
6	36.21	0.00	0.28	0.40	0.48	0.56	0.64	0.76	0.76	
Note : 1분에서 10분 사이의 크리프 변위가 1.0㎜ 이하일 때 양호										

(3) 탄성반력체 장기거동을 위한 DB 구축

① 현장계측

- 신설 앵커 육안확인장치의 적용 범위는 구조물을 설치하기 전에 지반을 일시적으로 보강하거나, 점토지반을 단기간에 압밀시키기 위해 일시적으로 설치하는 앵커인 가설앵커 뿐만 아니라 구조물의 잔존기간과 관련이 있고 보통 2년 이상의 장기간 사용하는 영구앵커에 적용을 목적으로 한다.

- 공용기간이 2년 이상인 영구앵커에 육안확인장치를 적용하기 위해서는 핵심 부품인 탄성반력체의 장기거동에 대한 검증이 요구된다.

- 현장에 시공된 앵커에 육안확인장치를 적용하여 잔존긴장력 대비 표시패드의 노출량을 확인하기 위해 하중계를 통한 잔존긴장력 계측을 실시하였으며, 탄성반력체의 장기거동 DB구축을 위해 옹벽앵커 1공, 수직앵커 1공의 육안확인장치에 다이얼게이지를 부착하여 복원량을 측정하였다.



(a) 현장계측 전경



(b) 다이얼 게이지식 육안확인장치

그림 3-88 현장계측

- 현장계측 결과, 앵커의 정착 후 긴장력은 236kN~350kN의 범위를 보였으며, 설계축력인 400kN에 미치지 못하는 것으로 확인되었다. 이는 긴장력 손실로 인한 표시패드의 노출량을 확인하고자 상대적으로 약한 지반에 시공하여 설계축력에 미치지 못한 것으로 판단된다.

- 정착 후 잔존긴장력과 표시패드의 계측을 실시한 결과, 옹벽구간의 경우 긴장력 손실은 3공 모두에서 약 11%의 손실이 발생하였으며, 표시패드는 노출되지 않았다. 이는 탄성반력체를 단층으로 설치하여 초기복원량이 미미하기 때문일 것으로 분석된다.

- 수직구간의 경우 탄성반력체를 직렬로 설치한 2개의 구간에서 긴장력 손실이 약 16%가 발생하였을 때 표시패드가 최초로 노출되었으며, 노출량은 2~3㎜로 나타났다. 또한 365일 후 수직구간의 긴장력 손실은 21~26%의 범위로 나타났고, 표시패드의 노출량은 탄성반력체를 직렬로 설치한 구간에서 6~8㎜가 노출되었다.

▪ 수직구간에서 탄성반력체를 병렬로 설치한 구간의 경우 26%의 긴장력 손실에도 불구하고 표시패드의 노출은 확인할 수 없었으며, 이는 병렬조합의 특성상 초기복원이 굉장히 미미하기 때문일 것으로 판단된다.



그림 3-89 표시패드 노출량 측정

[표 3.48] 장기계측 결과

구 분	잔존긴장력(kN) / 표시패드 노출량(mm)					
	옹벽 구간			수직 구간		
	Type 2 단층	Type 2 단층	Type 1 단층	Type 1 병렬	Type 2 직렬	Type 2 직렬
시공 후	260/0	238/0	236/0	330/0	350/0	343/0
1 일	253/0	225/0	231/0	311/0	323/0	305/0
3 일	252/0	220/0	230/0	306/0	319/0	299/0
7 일	251/0	217/0	228/0	302/0	315/0	296/0
14 일	248/0	216/0	226/0	298/0	311/0	292/0
28 일	247/0	214/0	225/0	295/0	309/0	290/0
42 일	246/0	214/0	224/0	293/0	308/0	289/0
56 일	246/0	214/0	224/0	291/0	306/0	289/0
154 일	242/0	213/0	220/0	281/0	294/2	283/3
252 일	239/0	212/0	215/0	268/0	287/2	271/3
365 일	236/0	211/0	210/0	248/0	278/8	254/6

② KOLAS 인증업체를 통한 탄성반력체 검증

▪ 탄성반력체의 구조적 기능의 원활성에 대해 신뢰할 수 있도록 공인기관에 평가를 의뢰하여 신뢰성을 검증하고자 하였다.

▪ 공인인증 시험기관인 SGS Korea에 시제품에 대한 구조를 이해시키고 신뢰성 검증을 의뢰하였다.

▪ 시험의뢰 결과, 앵커의 긴장력 손실에 의해 탄성반력체의 거동이 이루어졌으며, 이에 따른 육안확인장치의 노출패드도 일체적으로 변위발생이 되는 것을 확인하였다. 따라서 현재 시제품의 완성도에 대해서 시험 의뢰 기관인 SGS Korea에서 신뢰성 확보에는 문제가 없을 것이라고 판단하였다.



그림 3-90 탄성반력체 검증을 위한 입회시험



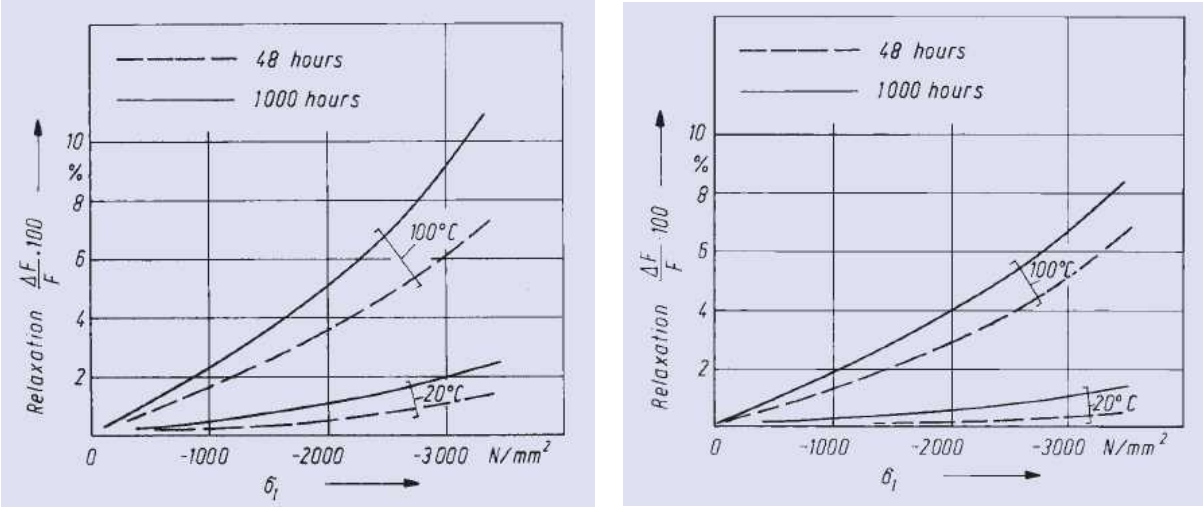
그림 3-91 탄성반력체 검증 성적서

③ 탄성반력체의 내구성 평가

- 시간이 경과함에 따라 탄성반력체는 탄성이 감소한며, 스프링에 가해지는 하중의 종류에 따라 릴랙세이션이나 크리프가 발생하게 된다.

- 릴랙세이션은 탄성반력체가 일정한 길이로 압축될 경우 시간이 지남에 따라 나타나는 힘의 감소인 △F로 설명되며, 크리프는 탄성반력체가 일정한 하중을 받는 경우 시간이 지남에 따라 나타나는 탄성반력체 높이 △l의 감소로 나타낼 수 있다.

- 릴랙세이션과 크리프는 부하응력, 잔류응력, 온도, 재료의 강도, 하중의 수용기간 등에 의해 영향을 받게 된다. 다음 그림 3-92는 탄성반력체의 허용 릴랙세이션을 그림으로 보여주고 있다.



(a) 탄성반력체의 허용 릴랙세이션(탄소강) (b) 탄성반력체의 허용 릴랙세이션(합금강)

그림 3-92 탄성반력체의 허용 릴랙세이션

▪ 앵커 긴장력 상시 육안확인장치에 사용되는 탄성반력체 Type 2에 대한 릴랙세이션 시험 결과는 다음과 같으며 현장여건의 온도를 고려하였을 때 2% 미만의 릴랙세이션이 발생하는 것으로 나타났다.

group 3 including load input surfaces

part. drawing no.:
project:

2020-01-08
0

Muhr und Bender, Teilefedern und Spannelemente GmbH, Postfach 120, 57564 Drasden
phone: sales: 02743 806-184, -194, Fax. -188, engineering: 02743 806-268, -134, -135, Fax. -292

remarks

max upper stress:	1248 MPa	
max compress. stress:	-3131 MPa	

upper stress too high!

setting at 20°C:	0.5	% after 48h	1.8	% after 1000h
setting at 100°C:	8.5	% after 48h	10.6	% after 1000h

calculated data

disc-angle at L0:	4.946	°
De at flat:	198.899	mm
Di at flat:	113.132	mm
center of rotation:	151.772	mm

Load tolerance:	+5 / -5	%	at 75% of h0 of one spring			
rel. min. load at disloading	95	%	at 75% of h0 of the stack			
tolerance inner diam.:	112.000	mm	to	112.350	mm	
tolerance outer diam.:	199.540	mm	to	200.000	mm	
gap at inner diam.:	1.000	mm				
gap at outer diam.:	1.600	mm				
tolerance of thickness:	14.700	mm	to	*****	mm	
tolerance of spring height:	19.500	mm	to	*****	mm	

그림 3-93 탄성반력체(Type 2)의 릴랙세이션 시험 결과

(4) 육안확인장치의 현장적용

▪ 현재 신설 앵커 긴장력 육안확인 장치는 신설된 도로 절토 사면 및 터널 갱구부 사면에 적용되고 있으며, 적용 현황은 다음과 같다.

① 굴티재 위험도로 개량공사 현장

가. 시공개요

- 공사명 : 굴티재 위험도로 개량공사 중 STA. 0+420.00 ~ STA. 0+500.00 터널좌측부 사면보강공사

- 현장 시공 위치 : 충북 괴산군 문광면 양곡리 일원

- 육안확인장치 설치 수량 : 1set (설계축력 400kN)

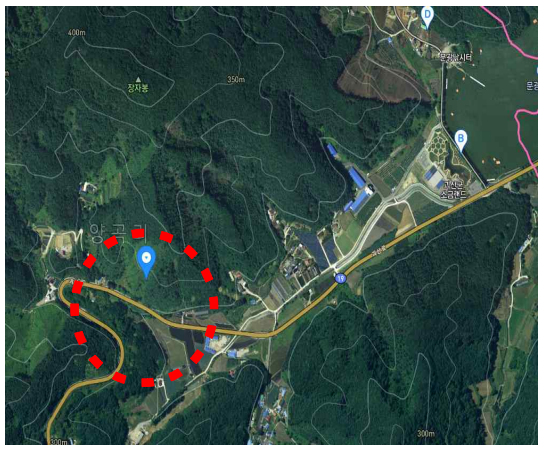
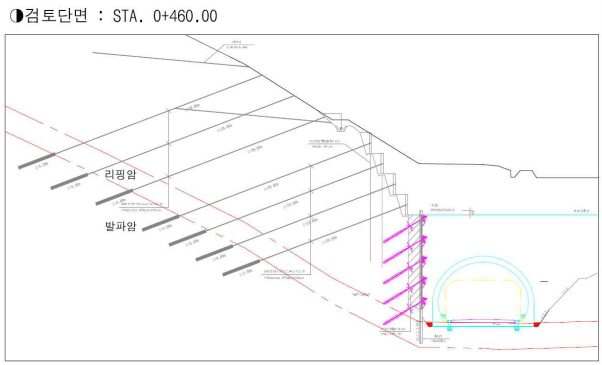
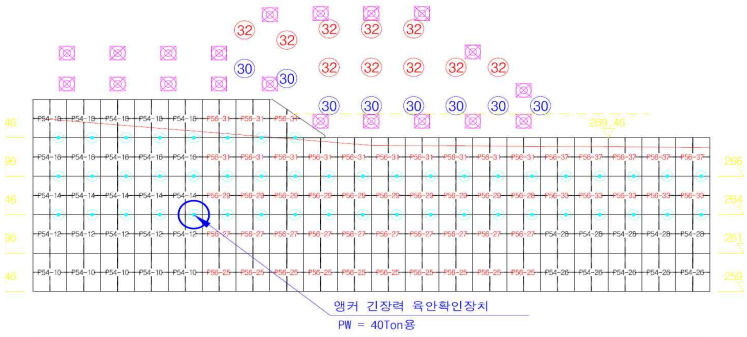


그림 3-94 굴티재 위험도로 터널좌측부 사면보강공사



(a) 횡단면도



(b) 전개도

그림 3-95 굴티재 현장의 횡단면도 및 전개도

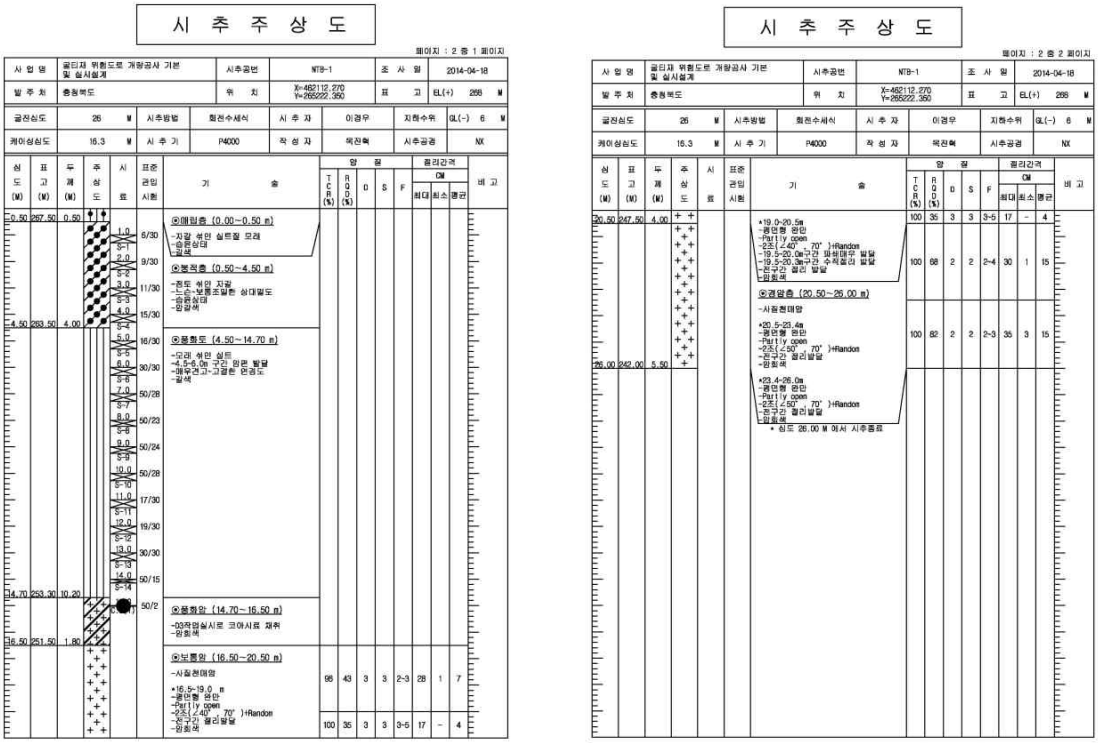


그림 3-96 지반조사 시추주상도

나. 앵커의 설계

▪ 원설계자료는 다음 표와 같다.

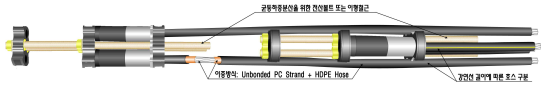
[표 3.49] 굴티재 현장 앵커 설계제원

No.	설계축력 (kN)	잭킹력 (kN)	자유장 (m)	정착장 (m)	여유장 (m)	총길이 (m)	천공경 (mm)	지압판 (mm)	가닥수 (EA)
1	400.0	452.7	9.0	4.0	1.5	14.5	115	240×15	4
2	400.0	457.9	7.0	4.0	1.5	12.5	115	240×15	4
3	400.0	457.9	7.0	4.0	1.5	12.5	115	240×15	4
4	400.0	461.2	6.0	4.0	1.5	11.5	115	240×15	4
5	400.0	461.2	6.0	4.0	1.5	11.5	115	240×15	4

다. 앵구앵커 시공

▪ 앵커 시공은 천공, 앵커체 삽입, 그라우팅 및 양생 순으로 이루어지며 그 절차는 다음 전경과 같으며, 영구앵커의 제원표는 아래 표와 같다.

▪ 경사앵커의 경우 원지반에 25° 경사를 두어 천공을 하여 앵커체 삽입, 그라우트 및 양생이 이루어졌으며 앵커 반력장치는 패널을 이용하였다.





(a) 영구앵커 제작(L=11.5m, 여유장 1.5m 포함)



(b) 천공 (Ø115mm, L=10.0m)



(c) 앵커삽입(L=11.5m),그라우팅 ,판넬설치



(d) 레미콘 뒷채움 후 양생



(e) 인장시험



(f) 육안확인장치 설치

그림 3-97 시공순서

[표 3.50] 영구앵커 제원표

No.	앵커명칭	사 양 (m)				P. C. Strand 강연선 수	비 고
		정착장	자유장	여유장	총길이		
1	경사앵커(압축형)	4.0	6.0	1.5	11.5	4 가닥 (12.7mm)	

② 삼척 화력발전소

가. 시공개요

▪ 공사명 : 삼척 화력발전소 석탄이송터널 갱구부 보강공사

▪ 현장 시공 위치 : 강원도 삼척시

[표 3.51] 육안확인장치 설치 수량(삼척현장)

구분	규격	앵커길이	설계축력	긴장력	육안확인장치 설치수량
강관앵커(SG30)	12.7mm X 4EA	8.0M	300kN	400kN	2
강관앵커(SG40)	12.7mm X 4EA	10.0M	300kN	400kN	2
강관앵커(SG40)	12.7mm X 5EA	10.0M	400N	500kN	1

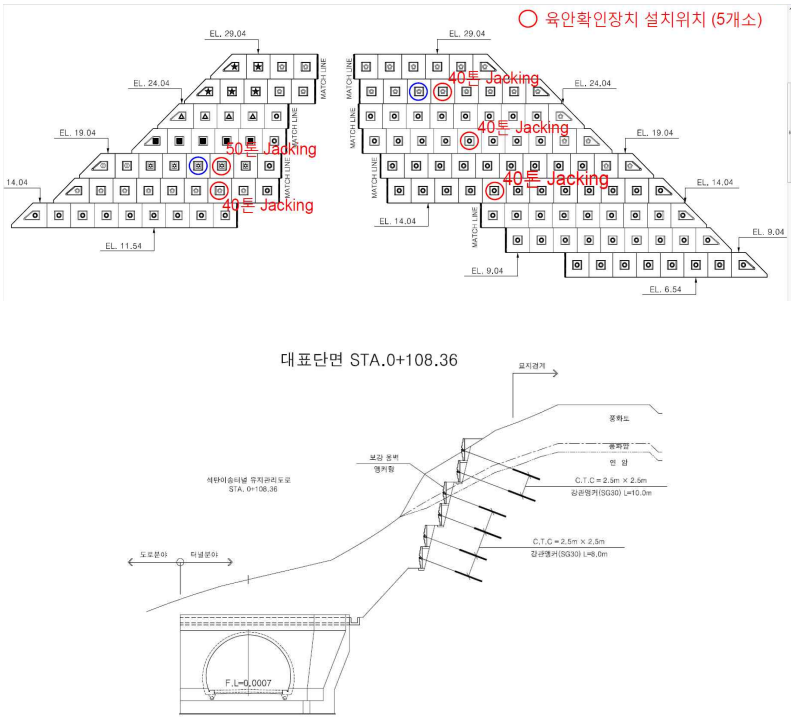


그림 3-98 대표 횡단면도 및 전개도



그림 3-99 육안확인장치 시공 전경(삼척 화력발전소)

③ 한국도로공사 양산 현장

가. 시공개요

▪ 공사명 : 부산외곽선 5.2K(기장) 비탈면 보수.보강공사

▪ 현장 시공 위치 : 경상남도 양산시

[표 3.52] 육안확인장치 설치 수량(한국도로공사 현장)

구분	규격	앵커길이	설계축력	긴장력	육안확인장치 설치수량
복합형 Anchor	12.7mm X 4EA	29.0M	300kN	340kN	3

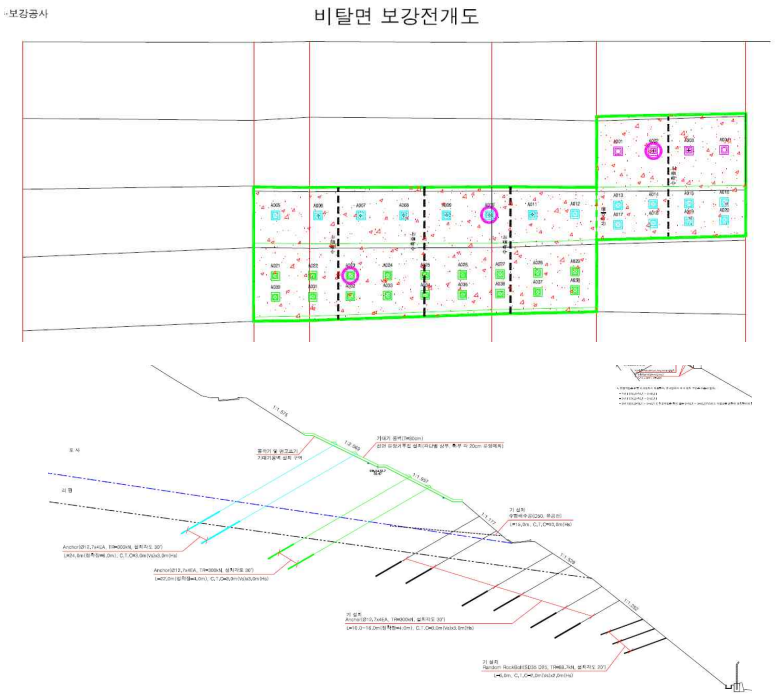


그림 3-100 보강 전개도 및 단면도



그림 3-101 육안확인장치 시공 전경(한국도로공사 현장)

(5) 현장시험 결과 분석 및 수치해석

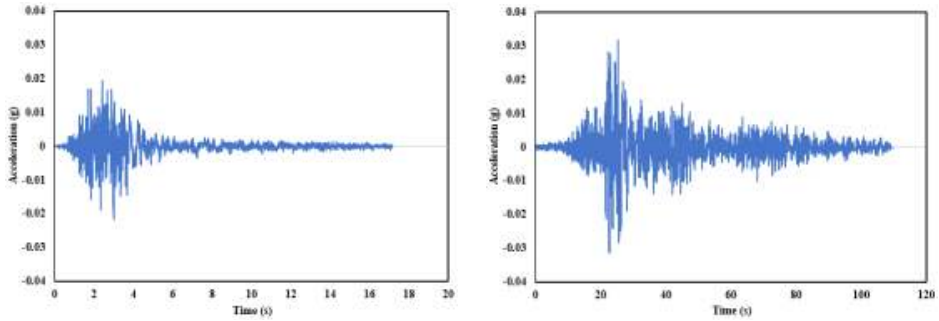
- 탄성반력체의 설계는 앵커 긴장력 상시 육안확인장치의 설계에 있어 매우 중요한 부분이다.

- 따라서, 탄성반력체의 설계를 위해 실내모형시험 및 실대형시험 결과와 비교하여 수치해석을 수행하였으며, 장기적인 거동의 특성을 검토하기 위해 지진하중을 고려하였다.

- 그라운드 앵커는 구조물의 안정성을 확보하는 1차적인 지보재 역할을 수행하므로 안정성이 사용구조물의 안정성에 직접적으로 영향을 미칠 수 있다.

▪ 지진하중을 고려하여 실제 사용구조물의 구조적 안정성에 대한 연구 및 합리적인 내진설계 방법에 대한 연구는 이루어지고 있으나, 지진하중에 따른 앵커 정착부에 대한 연구는 부족한 실정이다.

▪ 지진하중은 단주기 지진과 장주기 지진으로 구분하였고, 재현주기 1000년 기준 0.154g로 scalling하여 적용하였다(그림 3-102).



(a) Pohang earthquake (b) Hachinohe earthquake

그림 3-102 수치해석에 적용된 지진파

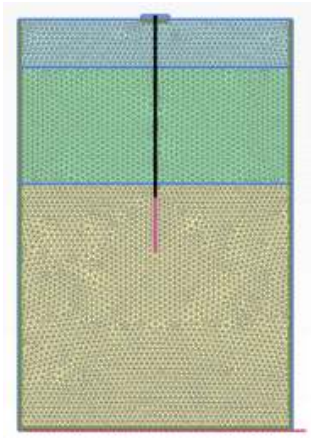
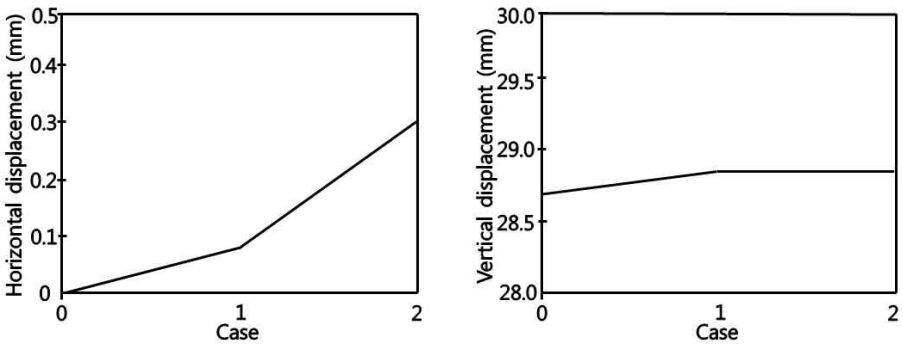


그림 3-103 Mesh generation

▪ 현장시험 결과를 수치해석으로 모사한 후, 지진하중을 고려하여 정착부의 변위 및 축력의 변화를 분석하였다.



(a) 수평변위 (b) 수직변위

그림 3-104 지진하중에 따른 앵커 정착부의 변위

▪ 앵커에 긴장력이 도입된 시점에서는 정착부의 수평변위는 0.0㎜이며, 단주기 지진인 포항지진이 발생하였을 경우, 0.08㎜의 수평변위가 발생한 반면, 장주기 지진이 발생한 경우 0.3㎜의 수평변위가 발생하여 약 4배 가량 큰 수평변위가 발생하는 것으로 나타났다.

▪ 그림 3-104(b)에서 알 수 있듯이, 지진하중이 고려되기 전 앵커의 긴장력 도입에 따른 정착부의 수직변위는 28.7㎜로 나타났으며, 단주기 지진이 발생하였을 때 0.15㎜, 장주기 지진이 발생하였을 때 0.14㎜가 발생하는 것으로 나타났다.

▪ 이와 같이 수직변위가 수평변위에 비해 큰 차이가 없는 이유는 지진하중 고려시 수평가속도만 고려하였기 때문인 것으로 판단된다.

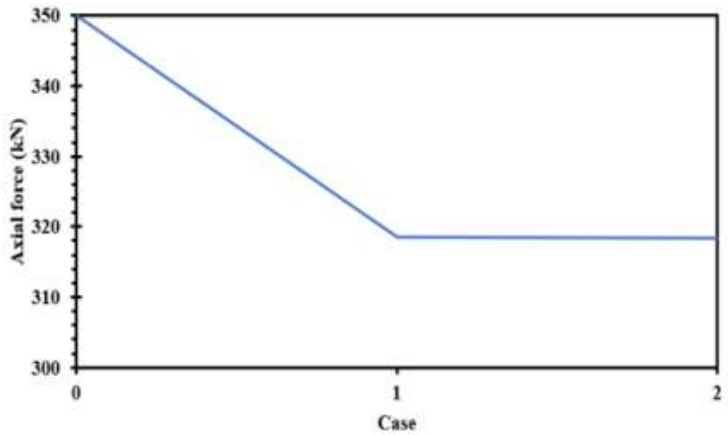


그림 3-105 지진하중에 따른 정착부 축력의 변화

3.1.11 신설 앵커 육안확인장치의 경제성 분석 및 설계기법 개발

(1) 신설 앵커 육안확인장치 LCC 분석

① 개 요

▪ 영구앵커의 정상적인 기능이 발휘 될 수 있도록 기존 설계, 시공, 유지관리까지 발생되는 모든 비용과 긴장력 육안 확인이 가능한 앵커장치 설치시 발생되는 비용을 비교·분석하여 생애주기 측면의 최적의 대안을 제시함으로써 비용절감의 효과에 상응하는 기대치를 제시하고자 한다.

② 검토방법

▪ 검토방법은 기존 어스앵커의 시공과 유지관리 대비 본 연구에서 개발한 앵커 긴장력 상시 육안확인장치의 시공과 유지관리에 대한 사전원가 분석을 수행하였으며, 생애주기 측면의 최적의 대안을 제시하였다.

③ 사전원가 분석

▪ 긴장력 육안 확인 앵커장치에 대한 원자재비, 원자재가공비, 조립비 등을 고려해

자재금액은 615,000원으로 산정되었으며, 앵커 설치시 발생되는 노무비의 적정단가는 기존 품셈 인장품의 대가를 고려하여 산정하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 이에 산정된 자재비, 시공 설치비에 대한 총 금액과 유지관리비용 즉, 정밀안전진단의 빈도수에 따른 조사비용을 비교 분석해야할 것으로 판단된다.

[표 3.53] 공사원가계산서

구 분 / 비 목		육안확인장치 300개소 기준	어스앵커 공법 300개소 기준	비 고
재료비	직접재료비	55,350,000		
	간접재료비			
	소 계	55,350,000		
노무비	직접노무비	23,700,090	22,143,900	
	간접노무비	2,986,211	2,790,131	직접노무비 × 12.6%
	소 계	26,686,301	24,934,031	
경비	기계경비	299,400	299,400	
	산재보험료	1,080,795	1,009,828	노무비 × 4.05%
	고용보험료	232,170	216,926	노무비 × 0.87%
	건강보험료	739,442	690,889	직접노무비 × 3.12%
	연금보험료	1,066,504	996,475	직접노무비 × 4.5%
	노인장기요양보험료	54,570	50,987	건강보험료 × 7.38%
	산업안전보건관리비	2,316,167		(재료비+직접노무비) × 2.93%
	기타경비	4,621,925	1,404,783	(재료비+노무비) × 5.634%
	소 계	10,410,973	4,669,288	
순 공 사 원 가		92,447,274	29,603,319	재료비 + 노무비 + 경비
일 반 관 리 비 (6%)		5,546,836	1,776,199	순공사원가 × 6%
이 윤 (15%)		6,396,616	4,706,927	(노무비+경비+일반관리비) × 15%
총 원 가		104,390,726	36,086,445	순공사원가+일반관리비+이윤
부 가 가 치 세 (10%)		10,439,072	3,608,644	총원가 × 10%
합 계		114,829,798	39,695,089	총원가 + 부가가치세

- 육안확인장치 공사비를 비탈면 보강 사면에 따른 영구앵커 보강수량을 300공 기준으로 가정하였을 경우 설치 후 10년 유지관리로 공사완료 후 5년 이내에 1회, 5년 이후 2년 마다 1회 진행하는 것으로 산정하면 최소 90공에 대한 설치비용으로 계상하여야 할 것으로 판단되었으며, 총공사비는 약 1억1천4백8십만원으로 원가검토 분석이 이루어졌다.

- 위 내용과 같이 일반 어스앵커공법 시공대비 육안확인장치 공사비가 추가로 약 7천5백1십만원정도 투입되야 하는 실정이지만 향 후 유지관리 측면에서 발생되는 시험비용을 고려하여 LCC검토 및 분석을 해야할 것으로 판단된다.

③ LCC 분석

- 국내외 점검 기준에 따른 유지관리 지침은 리프트오프 시험 등으로 앵커의 적정 기능여부를 파악하고 있는 실정이며, 이에 대한 유지관리 비용을 산출하여 비교 분석하였다.

일본지반공학회	근접 육안점검	1~2년에 1회의 빈도	
	근접 상세점검	3~5년에 1회의 빈도	
FIP	부식에 의한 변형검출	시공완료 후 3년까지는 6개월 간격으로 실시	5년 이내의 간격으로 실시
	지반의 변동검출	초기에는 3~6개월 간격, 그 후는 결과에 따라 장기간 실시	
Post-Tensioning Institute(PTI)		초기에는 1~3개월 간격, 그 후는 결과에 따라 2년이내의 간격	
영국기준 (BS)	부식에 의한 변형검출	시공완료 후 3년까지는 6개월 간격으로 실시	5년 이내의 간격으로 실시
	지반의 변동검출	초기에는 3~6개월 간격, 그 후는 결과에 따라 장기간 실시	
호주 뉴사우스웨일즈주 도로교통청		시공완료 후 1년까지는 최초 1주를 기준으로 2배씩 기간을 연장하여 실시	6개월 간격으로 실시
Prof. Littlejohn		시공완료 후 2년까지 매 3개월 마다 실시	1년 간격으로 실시

(a) 각국 문헌류에 따른 정밀안전진단 조사빈도

정기점검	시공완료 후 3년까지 : 연 1회	3~5년 : 연 1회 특히 중요도가 높은것 : 연 1회 구형앵커 : 연 1회
정밀안전진단	시공완료 후 5년 이내에 1회 특히 중요도가 높은것 혹은 5년이 경과한 경우 : 2~3년에 1회	

(b) 상기 내용을 참고하여 기준된 국내 점검 및 조사빈도

그림 3-106 국내외 앵커 유지관리 기준

- LCC 분석 검토의 업체 선정은 기획재정부와 행정안전부의 예규상에 규정된 원가계산 용역기관의 자격요건을 구비한 업체를 대상으로 심사를 거쳐 결격요인이 없는 업체이어야 하며, 상기 언급한 기관이 제정한 관련 예규에 의거 자격요건 심사를 면제받을 수 있는 업체로 임의로 선택하여 최저견적금액을 고려하여 선정토록 해야한다.

- 신설 앵커 긴장력 상시 육안확인장치에 관한 경제성 효과분석은 한국경제행정연구원에서 수행하였으며, 300개소 기준으로 내용연수를 10년으로 선정하여 분석한 결과는 다음 표와 같다.

[표 3.54] LCC 분석 결과

구 분		신청제품(A)	비교제품(B)	대비(A/B)	차액(B-A)
모 델 명		육안확인장치	어스앵커 공법		
규 격		300개소 기준	300개소 기준		
제품수명(내용연수)		10	10		
원가 항목	취득원가	114,829,798	39,695,089		-75,134,709
	유지경비원가		276,162,538		276,162,538
	합 계	114,829,798	315,857,627	36.35%	201,027,829

▪ 상기와 같이 LCC분석 결과 일반 어스앵커공법의 유지관리 비용은 약 3억1천5백8십만원 대비 1억1천4백8십만원으로 약 63.65%의 비용절감 효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났으며, 신설 앵커의 정상적인 기능이 가동되는지에 대해 간편하고 효율적으로 조사가 가능케 됨으로 앵커의 안정성 및 더 나아가 비탈면의 안정성을 예측하는데 있어 신청기술이 합리적인 비용측면에서 극대화 될 수 있을 것이라 할 수 있다.

(2) 신설 앵커 육안확인장치 설계기법 개발

① 앵커 긴장력에 대한 관련기준 문헌조사

▪ 영구앵커는 비탈면 안정 혹은 구조물의 부상방지 등을 목적으로 사용되는 보강재로써 가설 앵커와 달리 구조물의 공용기간 동안 기능을 유지해야 한다.

▪ 따라서 시간 경과에 따라 앵커의 릴렉셔이션 및 크리프가 지속적으로 발생되기 때문에 안정적인 기능발휘를 위해서는 인장력 손실에 대한 관리가 필수적이다.

▪ 앵커는 지반에 정착되는 구조로 공용기간 동안 긴장력을 모니터링하고 긴장력을 조정할 수 있는 구조로 설계, 시공토록 하고 있다.

▪ 다음은 각 기관별 앵커 긴장력과 관련한 기준 및 지침 등의 문헌조사 결과이다.

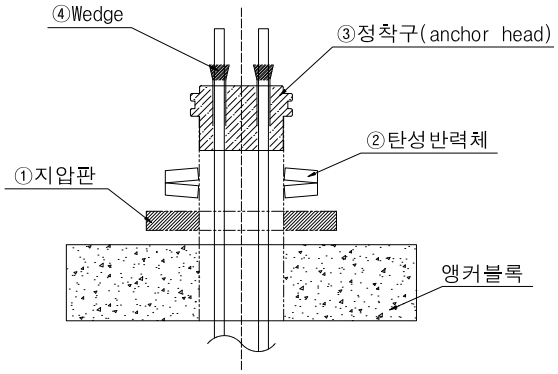
[표 3.55] 앵커의 긴장력에 대한 기준

구 분	관련기준	비 고
건설공사 비탈면 설계기준 (2011, 국토해양부)	▪ 6.2 재료의 특성 (3) 영구앵커의 경우, 향후 유지관리를 위하여 재긴장 및 긴장력 완화가 가능한 형식의 정착구를 사용하여야 하며 강선 길이를 여유 있게 두어야 한다. ▪ 6.4.5 초기긴장력의 설정 초기긴장력의 결정시 고려해야 하는 사항은 앵커의 저항 개념, 긴장재 정착 직후의 긴장력 감소, 정착지반의 크리프, 긴장재의 릴랙세이션 등이 있다.	
건설공사 비탈면 유지관리 지침 (2006, 건설교통부)	▪ 7.1.1 앵커시설의 유지관리 (1) 일반사항[해설] 앵커, 앵커로 보강되는 구조물 및 그 주변에 변위, 변형, 균열 등이 발생한 경우에는 관측 및 계측결과를 검토하여 필요시 보강, 재긴장, 앵커의 추가 시공 또는 긴장력 완화 등에 대해 적절한 대책을 강구한다. (3) 앵커시설의 손상조치[해설] ② 앵커의 잔존인장력에 뚜렷한 저하가 인지되는 경우 그 원인을 명확히 밝히고, 앵커의 설치목적이나 요구되는 기능 등을 고려하여 재긴장에 대해 검토한다. ③ 앵커에 발생하고 있는 잔존인장력의 뚜렷한 증가가 인지되는 경우에는 그 원인을 명확히 밝히고, 앵커의 추가설치 등 외력의 증가에 대한 대책이나 인장재의 파단을 방지하기 위해 긴장력 완화에 대해 검토한다.	

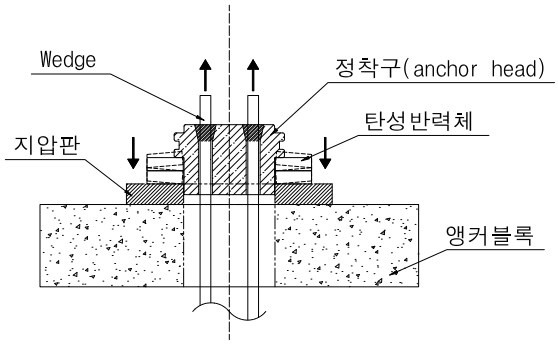
그라운드 앵커 설계·시공 및 유지관리 매뉴얼 (2009, 국토해양부)	▪ 2.1 설계일반 [해설] ④ 앵커는 천공된 구멍의 주면마찰저항이나 지반의 지압저항에 의해 앵커의 인발력을 기대하는 것이므로, 동일형상의 앵커라고 해도 지반조건이나 시공방법이 달라짐에 따라 극한인발력 등에 큰 차이가 발생할 수 있다. ⑥ 앵커는 시공된 후 시간의 경과에 따라 발생하는 잔존긴장력의 감소, 부식의 진행 등에 대응하기 위해 적절한 유지관리를 필요로 하는 구조체이다.	
그라운드 앵커 설계·시공 및 유지관리 매뉴얼 (2009, 국토해양부)	▪ 2.3.4 초기 긴장력 및 유효긴장력의 결정 [해설] ③ 앵커인장재와 주입재, 주입재와 지반과의 크리프 크리프의 크기는 지반조건에 따라 영향을 받는다. 하중의 장기적인 변화에 대한 측정이 시행되고는 있지만 아직은 하중감소에 관한 각 요인과 관련성이 명확하지 않고, 그 결과도 체계적인 정리가 이루어지지 않아 크리프량에 대한 충분한 자료가 없으므로 주변 지반상황을 고려하여 설계하여야 한다. ▪ 3.5.4 재긴장 앵커의 초기 긴장작업 이후에 시간의 경과에 따른 릴렉세이션 등이 발견되었을 시에 긴장력을 보정하여야 한다.	
건설공사비탈면 표준시방서 (2016, 국토교통부)	▪ 3.6 긴장 및 정착작업 (10) 점성토 지반이나 느슨한 사질토지반에서는 앵커의 재긴장 또는 긴장력 저하 대비하여 긴장력 조정이 가능한 정착 두부구조를 가진 앵커를 사용하고 재긴장 할 수 있는 여유길이와 재긴장 장치를 두어야 한다.	
고속도로공사 전문시방서 (2012, 한국도로공사)	▪ 3.6 긴장 및 정착작업 3.6.11 점성토 지반이나 느슨한 사질토 지반에서는 앵커의 재긴장 또는 긴장력 저하 대비하여 긴장력 조정이 가능한 정착 두부구조를 가진 앵커를 사용하고, 재긴장 할 수 있는 여유길이와 재긴장 장치를 두어야 한다.	
설계실무자료집 (2011, 한국도로공사)	▪ 깎기비탈면 보강용 재긴장 영구앵커 설계적용 검토 - 비탈면 보강용 그라운드 앵커는 시간경과에 따른 인장력 저하시 재긴장을 하도록 규정 '재긴장이 가능한 정착구를 사용' 하고 있다.	
현장실무자를 위한 절토비탈면 유지관리 핸드북 (2008,도로교통연구원)	▪ 5.3.3 사면의 유지관리시 고려사항(앵커) 재긴장이 가능한 앵커형식을 사용해야 하며 여건상 불가할 경우 앵커가 아닌 다른방식의 대책공법을 수립해야 한다.	

② 신설 앵커 육안확인장치의 시공순서도 및 정착구 상세 제원

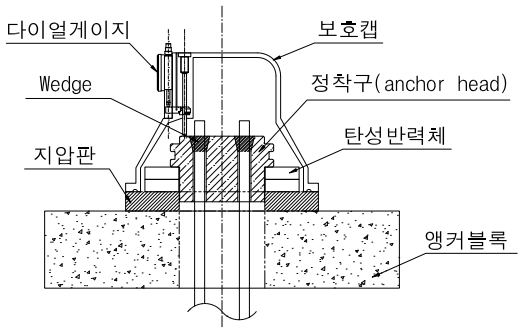
▪ 앵커 상시 육안확인장치는 기존의 로드셀 또는 리프트오프 시험을 통해 긴장력을 확인하는 것이 아닌, 탄성반력체를 지압판과 정착구 사이에 추가적으로 설치하여 긴장력을 상시 평가할 수 있는 시스템으로 시공순서도는 다음 그림과 같다.



(a) 정착구 설치



(b) 앵커긴장



(c) 보호캡 설치 및 영점세팅

그림 3-107 신설 앵커 육안확인장치 시공순서도

▪ 앵커 상시 육안확인장치의 정착구는 앵커의 소요응력을 구조체에 직접 작용토록 하는 요소로 탄성반력체를 지압판까지 가이드 할 수 있어야 한다.

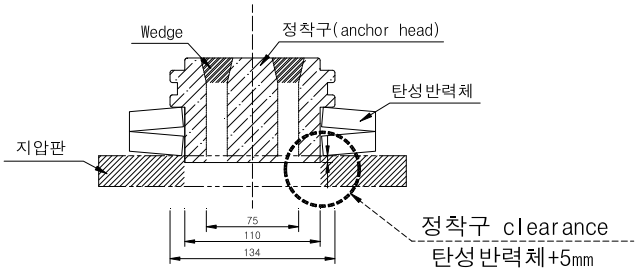
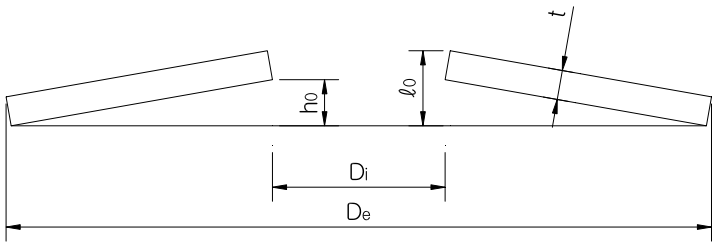


그림 3-108 정착구 상세 제원

③ 탄성반력체를 통한 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 설계프로세스

▪ 탄성반력체는 다음의 규격(DIN 2093)을 사용하여야 한다.

[표 3.56] 탄성반력체 규격



규격명	D_e (outer dia.)	D_i (Inner dia.)	t (Thickness)	ℓ_0	h_0	0.75F(kN)
Type 1	200	112	14	17.5	3.5	256.76
Type 2	200	112	16	19.8	3.8	415.73

▪ 실내실험 결과를 반영한 탄성반력체는 다음의 설계 프로세스를 통해 산정하여야 한다.

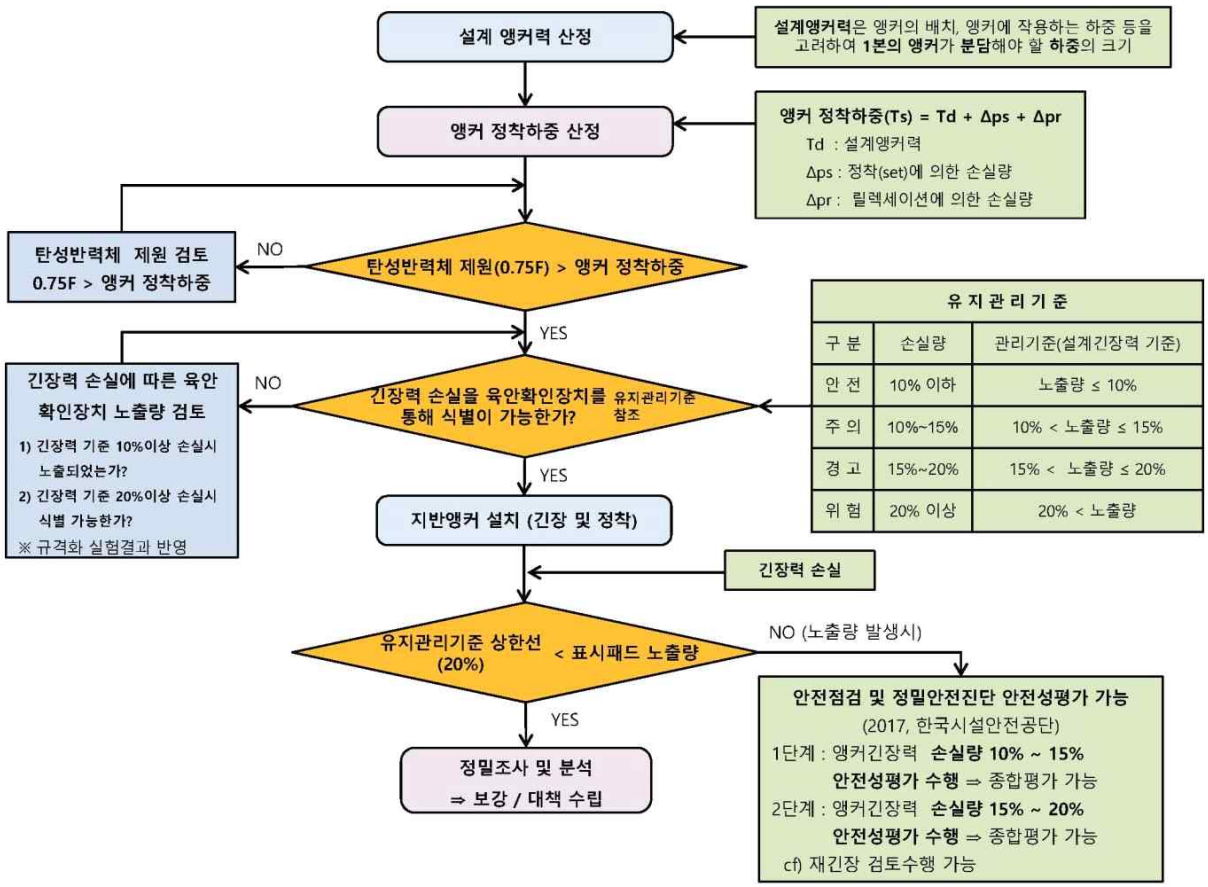


그림 3-109 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 설계 프로세스

④ 신설 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 시방서

▪ 신설 앵커 긴장력 상시 육안확인장치의 시방서는 다음을 따른다.

앵커 긴장력 상시 육안확인장치 시방서

1. 일반사항

1.1 일반사항

(1) 본 시방서는 신설 앵커와 관련하여 긴장력 육안확인장치에 대하여 일반 시방서에 우선하여 적용한다.

(2) 본 시방서는 설치되는 모든 앵커에 대하여 긴장력 육안확인장치 적용에 따른 자재, 시공, 품질관리 전반에 대하여 적용한다.

(3) 신설 앵커 육안확인장치 사용자는 고유 시스템에 대한 지적재산권 소유자와 사전에 협의가 이루어져 추후 분쟁이 발생되지 않도록 하여야 한다.

1.2 적용범위

(1) 본 시방서는 신설되는 모든 앵커에 대하여 앵커 긴장력 상시 육안확인장치가 설치되는 영구앵커공사에 한하여 적용한다.

1.3 참조규격

DIN 2093 German Industrial Standard, Disc Springs Dimensions and Quality Specifications

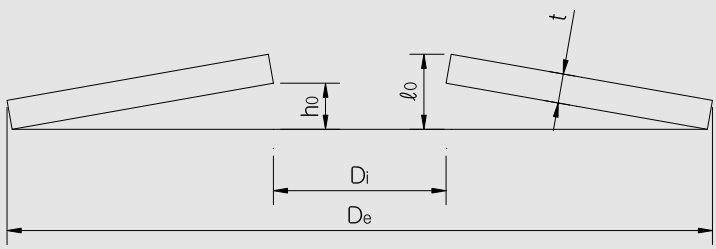
2. 재 료

2.1 재료일반

(1) 긴장재, 그라우트, 패커, 방식용 재료는 일반시방서의 기준을 따른다.

2.2 탄성반력체

(1) 탄성반력체의 규격(DIN 2093)은 다음의 표와 같다.

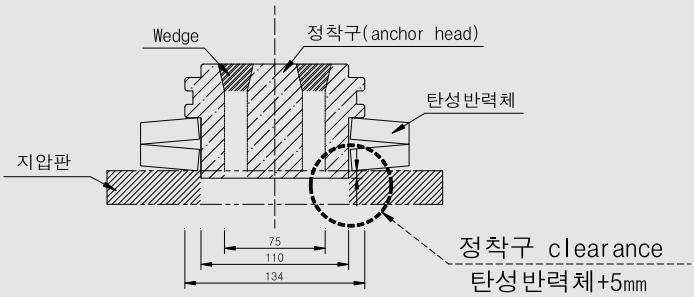


규격명	De (outer dia.)	Di (Inner dia.)	t (Thickness)	ℓ_0	h_0 (복원 높이)	0.75F(kN)
Type 1	200	112	14	17.5	3.5	256.76
Type 2	200	112	16	19.8	3.8	415.73

2.3 정착구

(1) 정착구(anchor head)는 앵커의 소요응력을 구조체에 직접 작용토록 하는 요소로 탄성반력체를 지압판 까지 가이드 할 수 있으며 재긴장이 가능한 정착구를 사용하여야 한다.

(2) 정착구는 탄성반력체 설치시 지압판과의 여유(clearance)가 5㎜이상 되는 제품을 사용하여야 한다. 모식도는 다음과 같다.



2.4 보호캡

(1) 보호캡은 앵커 헤드의 부식 및 외부의 충격에 대하여 충분히 저항할 수 있어야 하며 앵커 긴장력 상시 육안확인장치의 설치가 가능한 보호캡을 사용하여야 한다.

(2) 보호캡은 탄성반력체의 복원량을 직접 측정할 수 있는 다이얼게이지가 장착되어 있어야 한다. 다이얼게이지의 정밀도는 1/100㎜이상 이여야 한다.

2.5 표시패드 및 커버

(1) 표시패드는 앵커의 긴장력 손실을 쉽게 알 수 있도록 나타내는 일종의 알림표시이며, 커버는 표시패드와 변위증폭장치를 외부요인으로부터 보호하는 역할을 한다.

(2) 표시패드와 커버는 강재를 사용하며 용융아연도금 또는 착색되어 부식에 대한 저항성을 확보하여야 한다.

2.6 측정 샤프트 및 변위증폭장치

(1) 측정 샤프트는 앵커에 긴장력을 도입한 직후 탄성반력체와 표시패드의 변위를 영점 세팅하기 위한 장치이며 변위증폭장치는 긴장력 손실에 의해 발생된 탄성반력체와 헤드의 변위를 레버형식으로 증대시켜 표시패드를 노출시키는 기능을 한다.

(2) 측정 샤프트와 변위증폭장치는 강재를 사용하며 용융아연도금으로 부식에 대한 저항성을 확보하여야 한다.

2.7 재료의 보관

(1) 재료는 그 재질이 손상되지 않도록 보관하여야 하며, 특히 강재, 시멘트 및 혼화재료는 습기를 받지 않도록 보관하여야 한다.

2.8 장비

2.8.1 인장잭

(1) 인장잭은 설계인장응력 이상을 긴장할 수 있는 장비를 사용하여야 한다.

(2) 인장잭의 압력계는 공인된 교정기관에서 검 · 교정을 받은 장비를 사용하여야 한다.

(3) 인장잭에는 자동물림장치(Self Gripping Assembly)와 잭체어(Jack Chair) 부착되어 있어야 한다.

3. 시 공

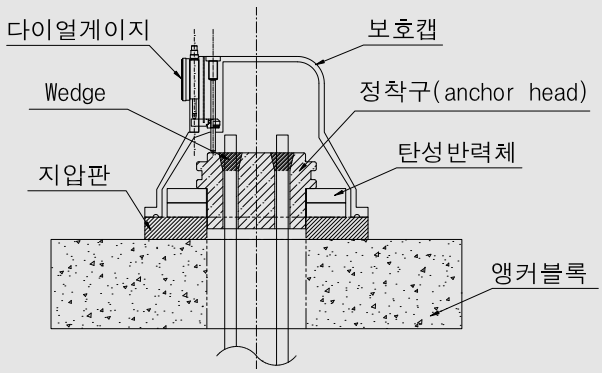
3.1 시공일반

(1) 앵커시공은 먼지 시공계획서를 작성하고, 감독원의 승인을 받아야 한다.

(2) 천공, 앵커의 가공 및 조립, 앵커의 삽입, 그라우트 혼합과 주입은 일반시방서의 기준을 따른다.

3.2 긴장 및 정착작업

(1) 앵커두부(지압판), 탄성반력체, 그리고 정착구(anchor head)의 설치는 그라우트 등에 의해 이물질이 묻지 않도록 하며 시공순서에 따라 정확하게 시공하여야 한다. 시공 개요도는 다음과 같다.



(2) 긴장은 긴장재의 종류에 적합한 잭(Jack)으로 행하며, 설계도서에 표시한 긴장력으로 정착하는 것으로 한다. 또, 한 개의 앵커에 있는 여러 강선을 동시에 긴장하여야 하며, 강선을 각각 긴장해서는 안 된다.

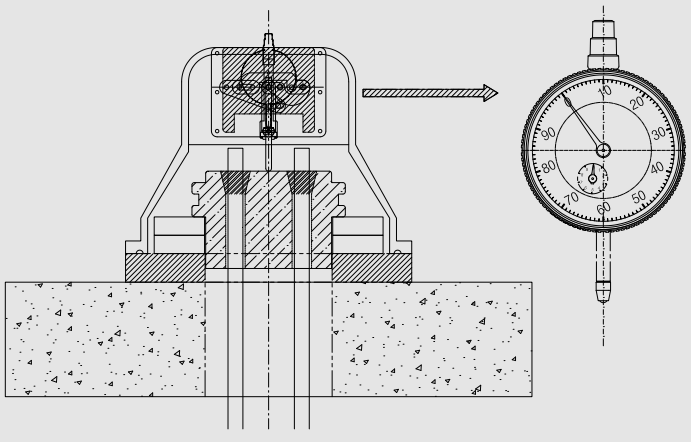
(3) PS 강선의 긴장 시기는 그라우트를 완료하고 설계도서에 명시된 강도를 확인한 후 실시한다.

(4) 앵커 두부면과 PS 강선은 수직을 유지하며 편심에 의한 강선 파단이 없도록 하여야 한다.

(5) 인장잭의 하중계 등 계기는 사전에 품질검사 전문기관에서 검 · 교정을 실시하여 정확한 하중을 측정할 수 있도록 한다.

(6) 긴장 측정기의 압력 및 신장량은 앵커 긴장보고서에 기록하여야 한다.

(7) 보호캡 설치 후 측정 샤프트는 영점세팅을 실시하여야 하고 다이얼게이지는 영점에 맞추어 놓아야 한다. 영점세팅 완료후의 모식도는 다음과 같다.



⑤ 요 약

▪ 앵커는 지반에 정착되는 구조로 공용기간 동안 긴장력을 모니터링하고 긴장력을 조정할 수 있는 구조로 설계, 시공토록 하고 있다.

▪ 장기계측은 보통 설치된 앵커의 3~5%정도의 수량으로 확인하는 실정이며 측정방법에는 로드셀(Load cell)에 의한 방법과 리프트 오프(Lift-off)테스트를 통한 방법이 있다.

▪ 앵커 상시 육안확인장치는 설치되는 모든 앵커의 긴장력을 상시 모니터링 할 수 있으며 긴장력의 재조정이 가능한 구조로 시공순서도 및 시방서에 맞게 시공하여야 한다.

▪ 탄성반력체는 '앵커 긴장력 상시 육안확인장치 설계 프로세스' 를 통해 선정하여야 한다.

▪ 정착구(anchor head)는 앵커의 소요응력을 구조체에 직접 작용토록 하는 요소로 탄성반력체를 지압판 까지 가이드 할 수 있으며 재긴장이 가능한 정착구를 사용하여야 한다.

(3) 육안확인장치 설계 및 유지관리 가이드라인 제시

① 앵커 긴장력 유지관리에 관한 기준 문헌조사

▪ 앞서 언급한 앵커 긴장력과 관련한 각 기관별 기준 및 지침에서 앵커는 공용기간 동안 긴장력을 관리하도록 하고 있다.

▪ 다음은 각 기관별 앵커(가설앵커 포함)의 계측관리기준이다.

[표 3.57] 앵커의 계측관리기준

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>그라운드 앵커
설계·시공 및
유지관리 매뉴얼
(2009, 국토해양부)</td><td>▪ 4.2 안전점검_[표4.1 앵커의 하중 증감 허용범위]
[해설]
- 앵커의 작용하중이 10% 이내에서의 변화는 일반적으로 문제없음
- 10% 이상 저하한 경우 그 원인과 영향을 분석할 것
- 영구 앵커의 긴장력이 20% 이상 증가한 경우는 정밀조사 및 분석으로 향후 비탈면의 정기적 안정성에 대비할 것</td><td></td></tr>
<tr><td>서울지하철
건설계측관리요령
(2003, 서울시)</td><td>▪ 가시설 표준단면별 관리기준 (초기치 축력 기준)
<table>
<tr><th>구 분</th><th>case1~case8</th><th>case9~case16</th><th>case17~case24</th></tr>
<tr><td>1차</td><td>±5ton</td><td>±7.5ton</td><td>±10ton</td></tr>
<tr><td>2차</td><td>±10ton</td><td>±12.5ton</td><td>±15ton</td></tr>
<tr><td>3차</td><td>±15ton</td><td>±17.5ton</td><td>±20ton</td></tr>
</table></td><td>2015년
일부
개선</td></tr>
</table>

▪ 현장관리대책

구분	관리기준	시공관리 및 대책
1단계	1차기준 < 계측치 ≤ 2차기준	▪ 주변침하, 토류벽체 균열정도 ▪ 인접건물의 균열정도 - 대책공의 검토준비
2단계	2차기준 < 계측치 ≤ 3차기준	▪ 현장상황의 점검 및 강화 ▪ 대책공의 실시 ▪ 관리기준치 검토 ▪ 해당구간의 계측기 및 측점 추가
3단계	3차기준 < 계측치	▪ 공사중지, 현장점검 ▪ 대책공의 실시결과 검토 ▪ 재설계, 대책공실시, 확인

설계실무자료집
(2010,
한국도로공사)
- 흙막이 가시설 -

▪ 계측관리 기준(허용값)

구 분	앵커 축력	지중경사	벽체기울기
1차 관리기준	초기치 축력 ±5ton	0.20%H	좌 동
2차 관리기준	초기치 축력 ±10ton	0.33%H	좌 동
3차 관리기준	초기치 축력 ±15ton	0.50%H	좌 동

▪ 현장관리대책

구 분	관리기준	현장관리 방안
주의	1차기준 < 계측치 ≤ 2차기준	▪ 원인분석 및 감독실 보고 ▪ 계측기 점검 및 재측정
경고	2차기준 < 계측치 ≤ 3차기준	▪ 원인분석 및 사업단 보고 ▪ 보강공법 검토 및 시행 ▪ 계측빈도 강화 ▪ 계측기 추가설치 검토
위험	3차기준 < 계측치	▪ 공사중지 및 사업단 보고 ▪ 후속대책 검토 및 시행

굴착공사 계측관리
기술지침
(2014,
산업안전보건공단)

▪ 관리 기준 설정

구분	안전/위험의 판정기준값	관리등급		
		안전	주의	위험
축하중 크기	허용하중	계측값 < 허용하중	-	계측값 > 허용하중
	7일 변화하중	5TON	5~10TON	10TON

▪ 앵커 긴장력 유지관리에 관한 기준 분석결과, 모든 기관의 앵커 긴장력 관리기준은 50kN ~ 200kN인 것으로 조사되었으며 국토교통부 ‘그라운드 앵커 설계·시공 및 유지관리 매뉴얼’에서는 앵커 긴장력을 하중의 범위가 아닌 10% ~ 20%의 범위로 규정하고 있다.

▪ 각 기관별 앵커 긴장력 계측관리 기준은 다음의 표와 같이 요약할 수 있다.

[표 3.58] 기관별 앵커 긴장력 계측관리기준 요약

구분	기관별 앵커긴장력 관리기준			
	국토교통부	서울시	한국도로공사	고용노동부
안전 [문제 없음]	계측치<10%	계측치<±50kN	계측치<±50kN	계측치<±50kN
1단계 [주의]	10%<계측치≤20%	±50kN< 계측치 ≤±100kN ±75kN< 계측치 ≤±125kN ±100kN< 계측치 ≤±150kN	±50kN<계측치≤±100kN	50kN<계측치≤100kN
2단계 [경고]		±100kN< 계측치 ≤±150kN ±125kN< 계측치 ≤±175kN ±150kN< 계측치 ≤±200kN	±100kN<계측치≤±150kN	-
3단계 [위험]	계측치 > 20%	계측치 >±150kN 계측치 >±175kN 계측치 >±200kN	계측치>±150kN	계측치>±100kN

▪ 상기 앵커 긴장력 계측관리 기준을 긴장력 별로 도표화 하면 다음 그림과 같다.

구 분		설계긴장력(kN)																	
		300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1,000	1,050	1,100	1,150	1,200
긴장력 손실율 (%)	2.5%	7.5	8.8	10.0	11.3	12.5	13.8	15.0	16.3	17.5	18.8	20.0	21.3	22.5	23.8	25.0	26.3	27.5	28.8	30.0
	5.0%	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0	52.5	55.0	57.5	60.0
	7.5%	22.5	26.3	30.0	33.8	37.5	41.3	45.0	48.8	52.5	56.3	60.0	63.8	67.5	71.3	75.0	78.8	82.5	86.3	90.0
	10.0%	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0	95.0	100.0	105.0	110.0	115.0	120.0
	12.5%	37.5	43.8	50.0	56.3	62.5	68.8	75.0	81.3	87.5	93.8	100.0	106.3	112.5	118.8	125.0	131.3	137.5	143.8	150.0
	15.0%	45.0	52.5	60.0	67.5	75.0	82.5	90.0	97.5	105.0	112.5	120.0	127.5	135.0	142.5	150.0	157.5	165.0	172.5	180.0
	17.5%	52.5	61.3	70.0	78.8	87.5	96.3	105.0	113.8	122.5	131.3	140.0	148.8	157.5	166.3	175.0	183.8	192.5	201.3	210.0
	20.0%	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	230.0	240.0
	22.5%	67.5	78.8	90.0	101.3	112.5	123.8	135.0	146.3	157.5	168.8	180.0	191.3	202.5	213.8	225.0	236.3	247.5	258.8	270.0
	25.0%	75.0	87.5	100.0	112.5	125.0	137.5	150.0	162.5	175.0	187.5	200.0	212.5	225.0	237.5	250.0	262.5	275.0	287.5	300.0
	27.5%	82.5	96.3	110.0	123.8	137.5	151.3	165.0	178.8	192.5	206.3	220.0	233.8	247.5	261.3	275.0	288.8	302.5	316.3	330.0
	30.0%	90.0	105.0	120.0	135.0	150.0	165.0	180.0	195.0	210.0	225.0	240.0	255.0	270.0	285.0	300.0	315.0	330.0	345.0	360.0

- 국토교통부 앵커긴장력 관리기준

: 앵커 작용하중 10% 이내 [안전]

: 10%< 앵커 작용하중 ≤20% [주의 & 경계]

: 앵커 작용하중 > 20% 3단계[위험]

- 타기관 앵커긴장력 관리기준

안전

고용노동부 한계선

한국도로공사 한계선

서울시 한계선

그림 3-110 앵커 긴장력 예시를 통한 계측관리 기준 비교표

▪ 앵커 긴장력 예시를 통한 계측관리 기준 비교표에서 보는바와 같이 긴장력 손실에 따른 관리기준을 정량적으로 제시할 경우에 앵커의 설계 긴장력에 따라 그 범위가 크게 변화하는 것으로 검토되었다.

▪ 이는 유지관리시 관리자 및 점검기술자에게 혼돈을 초래할 수 있어 본 연구에서는 앵커 긴장력 유지관리시 관리기준을 설계긴장력 대비 손실률로 제시하고자 한다.

② 앵커 긴장력 관리기준(안)

▪ 국내외 앵커의 설계·시공 지침에서는 앵커의 긴장력 모니터링 및 증감에 따른 재긴장, 앵커의 추가 시공 또는 긴장력 완화 등에 대한 적절한 대책을 강구하도록 하고 있다.

▪ 앞서 설명한 바와같이, 앵커 긴장력 관리기준을 정량적인 손실량으로 제시할 경우 관리자 및 점검기술자에게 혼돈을 초래할 수 있다.

▪ 이에 국토부에서 제시하고 있는 설계긴장력 대비 손실율로 관리기준을 다음 표와 같이 제안한다.

▪ 다만, 1차, 3차 관리기준 사이 설계긴장력의 10%~15% 구간을 추가하여 관리자로 하여금 점검시기 및 점검항목 등을 추가할 수 있도록 하였다.

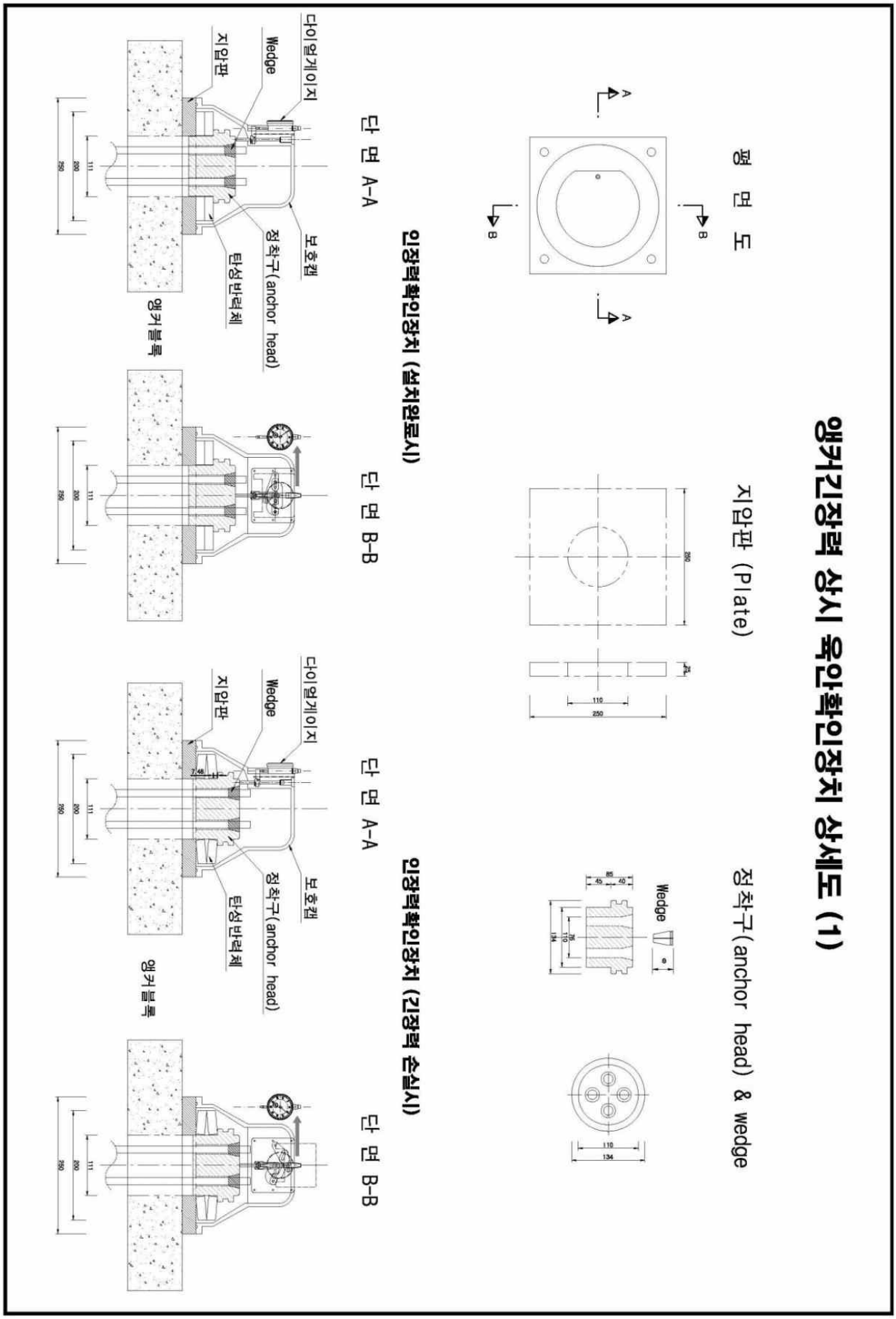
[표 3.59] 앵커 긴장력 관리기준(안)

구 분	등 급	손실량	관리기준 (설계긴장력 기준)	비 고
안 전	안 전	10% 이내	표시패드 노출량 ≤ 10%	
1 단 계	주 의	10% ~ 15%	10% < 표시패드 노출량 ≤ 15%	신 설
2 단 계	경 고	15% ~ 20%	15% < 표시패드 노출량 ≤ 20%	
3 단 계	위 험	20% 이상	20% < 표시패드 노출량	보강대책 수립

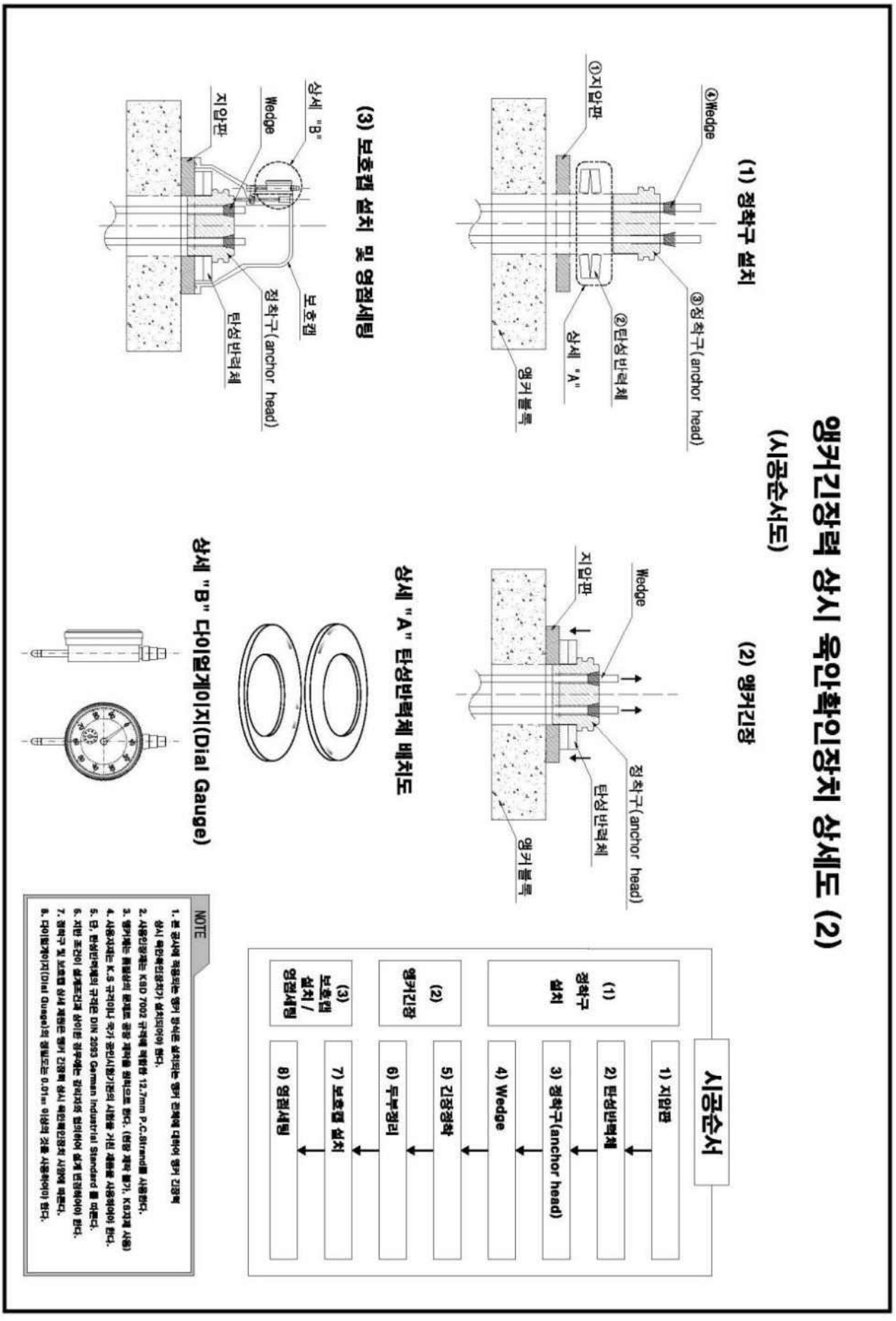
(4) 신설 앵커 육안확인장치 상세도면 작성

① 앵커긴장력 상시 육안확인장치 상세도면

▪ 신설 앵커긴장력 상시 육안확인장치 상세도(1)



▪ 신설 앵커긴장력 상시 육안확인장치 상세도(2)



3.1.12 노후 앵커 긴장력 상시 육안확인장치

(1) 노후 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 개념설계

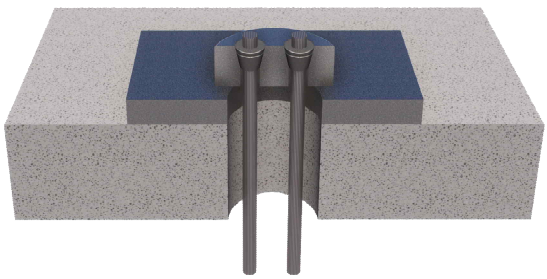
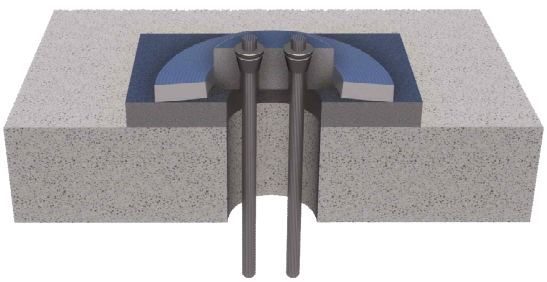
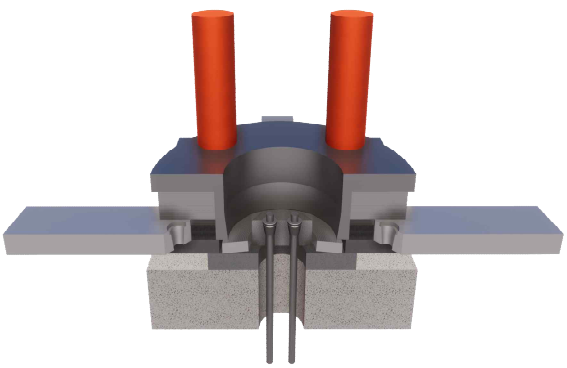
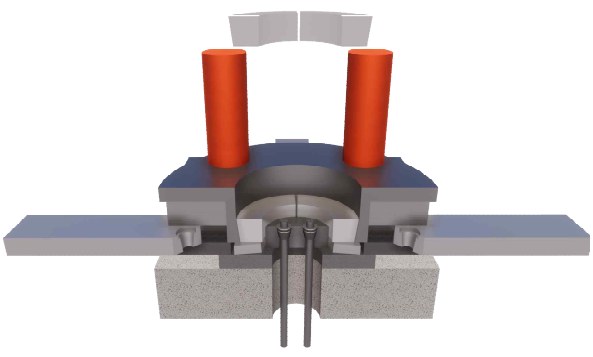
- 운영중인 앵커에 육안확인장치의 설치는 신설 앵커와 개념은 유사하나 설치방법이 상이하다.

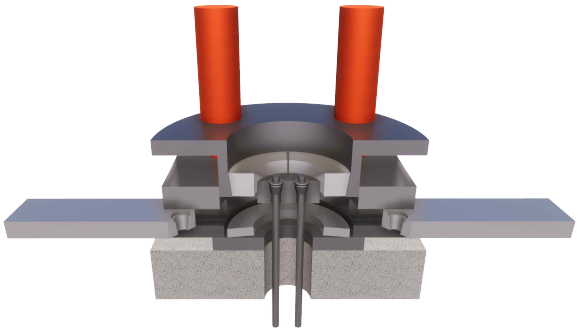
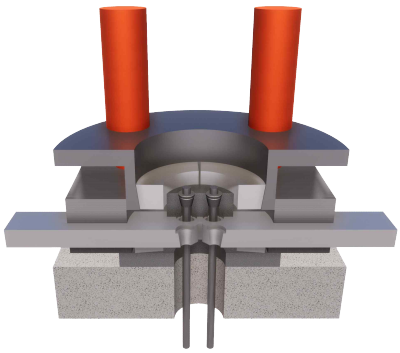
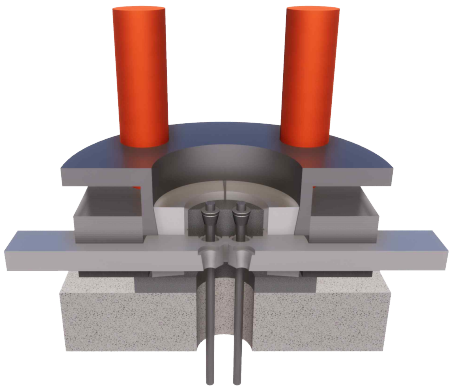
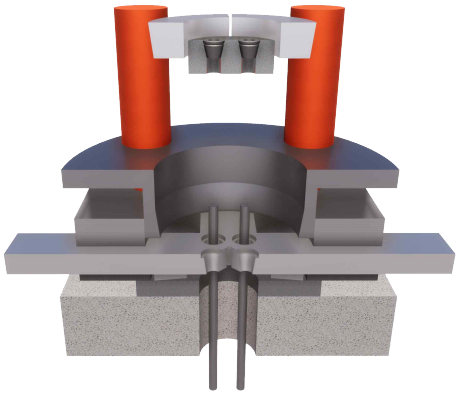
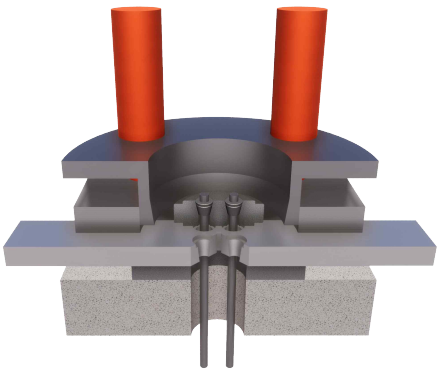
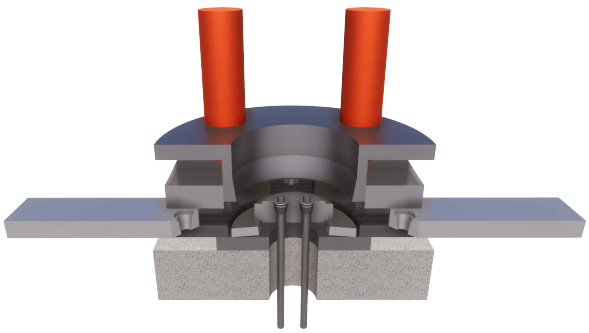
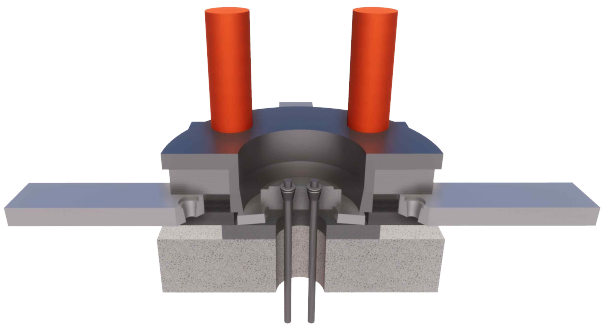
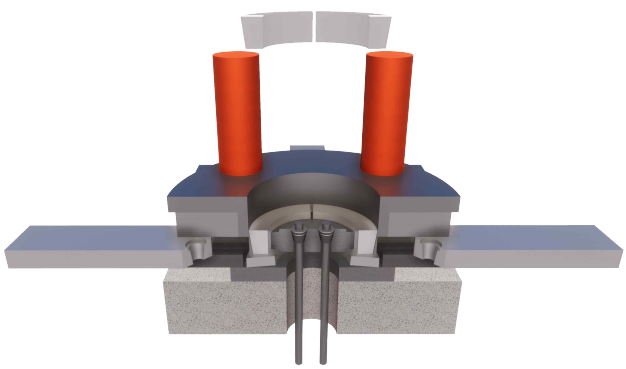
- 신설 앵커의 경우 지압판과 정착헤드 사이에 탄성반력체를 설치하여 긴장력을 도입하지만 운영중인 앵커의 경우 긴장력이 도입된 헤드를 들어올려 탄성반력체를 설치해야한다.

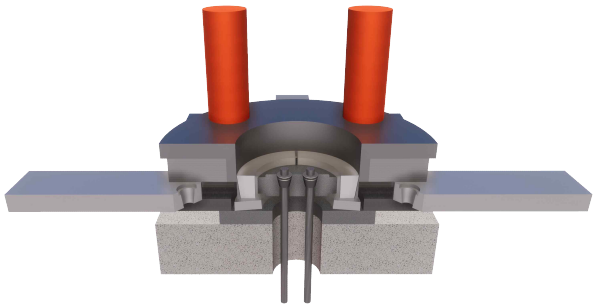
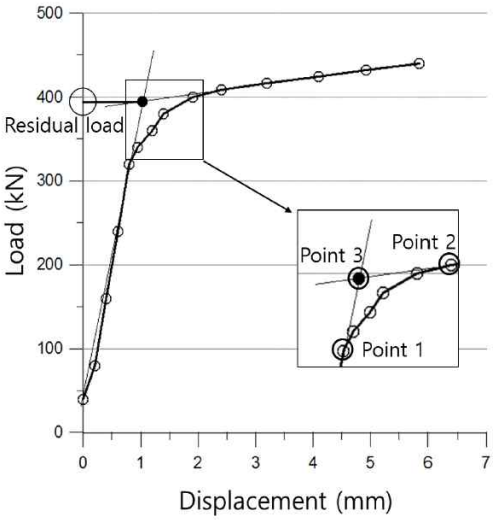
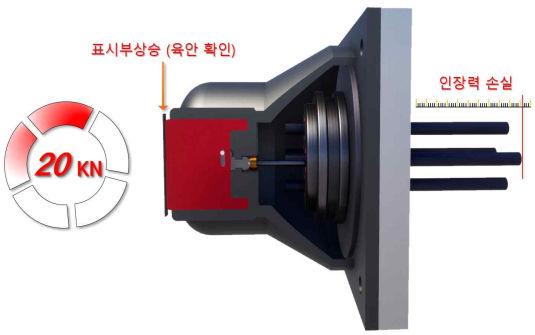
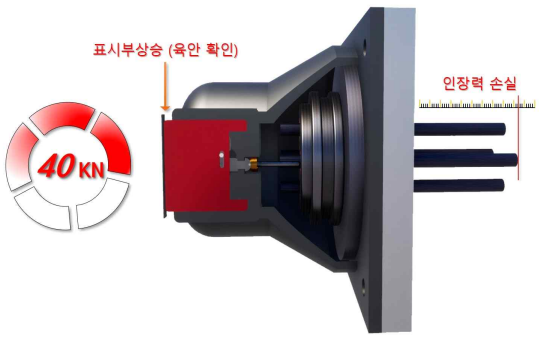
- 이에 재인장 장비를 활용하여 정착된 헤드를 들어올리고 탄성반력체를 설치하여 재인장할 수 있는 장비를 제작하여 개념설계를 수행하였다.

- 노후앵커 해체 장비는 먼저 탄성반력체를 지압판 위에 설치 후 노후앵커 해체 장비를 이용하여 기존 영구앵커의 앵커헤드를 1차적으로 구속시킨 후 유압실린더를 이용하여 소정의 높이까지 상승시킨다.

- 이후 빈 공간에 PC강연선을 2차로 구속시켜 고정하고 기존 앵커 헤드를 해체하고, 재인장용 앵커 헤드를 다시 끼워 탄성반력체에 안착시키는 시스템이다. 노후 앵커 육안확인장치의 개념설계를 그림으로 표현하면 다음과 같다.

STEP 0 : 공용앵커	STEP 1 : 탄성반력체 거치
	
STEP 2 : 노후 앵커 긴장력 육안확인장치 설치를 위한 장비 거치	**STEP 3 : 탄성반력체 wedge 삽입**
	

STEP 4 : 상부 Frame 인상	STEP 5 : 강연선 고정장치(Strand holder)를 통한 강연선 고정
	
STEP 6 : 상부 Frame 10㎜ 하강	STEP 7 : 탄성반력체 wedge, 정착구 wedge, 정착구 분리
	
STEP 8 : 육안확인장치 정착구(anchor head) 및 wedge 설치	STEP 9 : 강연선 고정장치 해제
	
STEP 10 : 상부 Frame 바닥 안착	STEP 11 : 육안확인장치 정착구(anchor head) wedge 설치
	

STEP 12 : 상하중-변위 시험에 의한 잔존긴장력 평가	STEP 12 ‘ : 하중-변위 곡선에 의한 잔존긴장력 평가
	
STEP 13 : 장비 제거 후 두부CAP 설치	**STEP 14 : 영점세팅**
	
STEP 15 : 영점세팅 완료	**STEP 16 : 앵커 긴장력 손실 확인 가능 (인장력 5.0ton 손실)**
	

(2) 노후 앵커 재인장 장비 제작

- 앞서 개념설계에서 언급한 바와 같이 운영중인 앵커에 육안확인장치를 적용하기 위해서는 기존 헤드를 들어올려 탄성반력체를 설치하는 작업이 요구된다. 이에 노후 앵커 재인장 장비를 제작하여 운영중인 앵커에 육안확인장치를 적용시키고자 하였다.

▪ 노후앵커 해체 장비는 탄성반력체의 외경이 200㎜이므로 유압용 실린더는 내측경이 최소 220㎜이상 확보되어야 한다. 그러나 관련업계에서는 생산되는 유압용 실린더는 한계가 있어 단독 유압용 실린더 여러개를 조합하여 탄성반력체의 설치를 용이하게 할 수 있도록 개선하였다.

▪ 노후앵커 해체 장비에 적용되는 유압용 실린더의 최대 인장력은 18.0ton/개으로 4개의 조합만으로도 일반적으로 많이 적용되는 40Ton~50Ton용 앵커를 해체하기에 충분한 인장력을 가지고 있다.

▪ 또한 강연선을 2차적으로 구속시키기 위해 측방향으로 웻지를 설치할 수 있게끔 유압실린더가 구성되어 있으며, 장비의 운용이 용이하게끔 유압펌프를 이용해 손쉬운 작업이 가능하게 제작하였다.



그림 3-111 노후 앵커 재인장 장비

3.1.13 노후 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 규격화

(1) 실내실험을 통한 노후 앵커 육안확인장치 규격화

① 실험방법

▪ 실험방법은 신설 앵커 육안확인장치 규격화를 위한 실내실험과 같으며, 탄성반력체의 경우 공용앵커의 늘음량을 고려하여 Type 2로 사용하였다.



그림 3-112 노후 앵커 육안확인장치 규격화 실험

▪ 실내 앵커 인장실험시 설계 긴장력은 300kN~700kN으로 설정하였으며, 인장실험 후 탄성반력체의 하중-변위곡선을 통해 하중재하시 변위량과 하중제거시 복원량을 확인하고, 이에 따른 육안확인장치의 노출량을 측정하였다.

[표 3.60] 실내실험 Case

No.	Load(kN)				
	300	400	500	600	700
Type 2	1EA	1EA	1EA	1EA	1EA

② 탄성반력체의 복원량 측정 결과

▪ 탄성반력체와 육안확인장치 노출량의 규격화에 앞서 앵커 인장실험을 실시하여 탄성반력체의 복원량을 측정하였다.

▪ 설계긴장력 300kN 재하시 탄성반력체의 최대변위는 2.1㎜로 나타났으며, 400kN의 경우 2.73㎜로 나타났다. 또한 500, 600, 700kN 재하시 탄성반력체의 최대변위는 각각 3.7, 4.8, 4.7㎜로 나타났다. 700kN의 경우 탄성반력체의 한계상태까지 도달하여 600kN과 비교했을 때 더 이상의 변위발생은 나타나지 않은 것으로 판단된다.

▪ 초기복원의 발생은 300kN 일 때 약 19%의 긴장력 손실시 발생하였고, 400kN의 경우 11%의 긴장력 손실시 초기 복원이 발생하였다. 또한 500, 600, 700kN 재하시 초기복원은 약 17~20% 손실 범위에서 발생하였다. 그러나 모든 재하 단계에서 초기 복원량의 크기는 미미하였다. 이는 설계 긴장력 20~25% 범위 미만의 손실에 대한 모니터링을 할 수 없는 한계점을 지니며, 초기복원에 대한 개선이 필요할 것으로 사료된다.

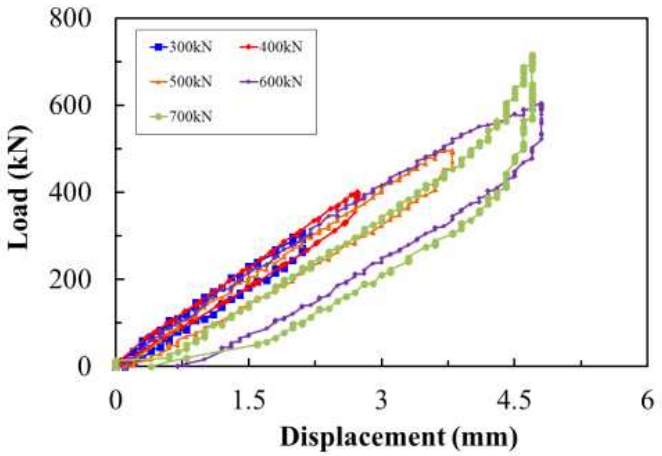


그림 3-113 탄성반력체 하중-변위 곡선

[표 3.61] 탄성반력체 복원량 측정 결과

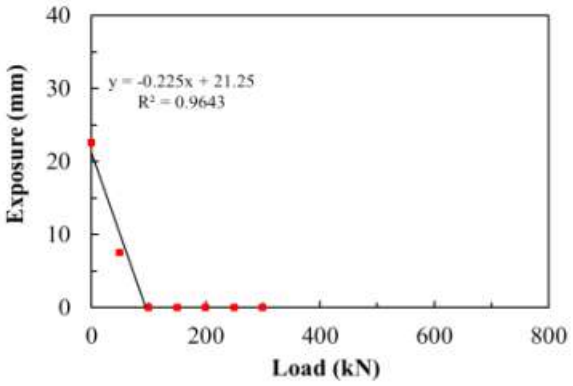
잔존긴장력 (kN)	복원량(mm)				
	300kN	400kN	500kN	600kN	700kN
50	1.6	2.33	3.1	3.5	3.1
100	1.2	1.93	2.6	3	2.6
150	0.8	1.47	2.1	2.5	2.2
200	0.4	1	1.7	2.2	1.7
250	0.1	0.69	1.3	1.8	1.4
300	0	0.27	0.9	1.3	0.9
350	-	0.05	0.5	1	0.6
400	-	0	0.2	0.6	0.4
450	-	-	0	0.3	0.3
500	-	-	0	0.1	0.1
550	-	-	-	0	0.1
600	-	-	-	0	0
650	-	-	-	-	0
700	-	-	-	-	0
최대변위(mm)	2.1	2.73	3.7	4.8	4.7

- 육안확인장치의 잔존긴장력 상시확인의 가능여부를 검증하기 위해 잔존긴장력과 육안확인장치 표시패드 노출량에 대한 실내실험과 잔존긴장력 대비 육안확인장치의 노출량에 대한 규격화를 실시하였다. 하중제거시 잔존긴장력에 따라 표시패드의 최초 노출량을 측정하였으며, 이후 50kN의 하중손실 때마다 노출량을 측정하였다.

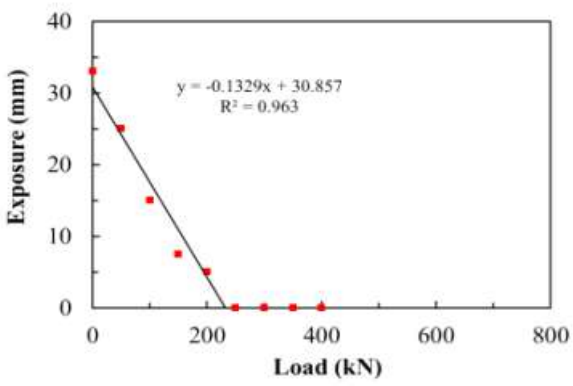
- 설계 긴장력 300kN 경우 긴장력 손실량이 약 83%에서 약 7.5mm의 표시패드가 최초로 노출되었다. 설계 긴장력이 400kN, 500kN 일 때는 긴장력 손실량이 50% 일 때 각각 약 5mm, 7.5mm가 노출되었다. 설계 긴장력 600kN의 경우 긴장력 손실이 58%가 발생했을 때 7.5mm의 표시패드가 노출되었으며, 700kN의 경우 71% 손실이 발생하였을 때 7.5mm의 표시패드가 노출되었다.

- 리프트오프시험과 같이 앵커의 안정상태가 긴장력의 손실이 20% 미만이라고 했을 때의 노출량 측정결과, 1장의 단층으로 적용되는 탄성반력체의 경우 초기복원량의 개선이 반드시 필요하며, 500kN 이상의 긴장력을 가하는 경우 하중 용량이 더욱 큰 탄성반력체를 적용해야 할 것으로 판단된다.

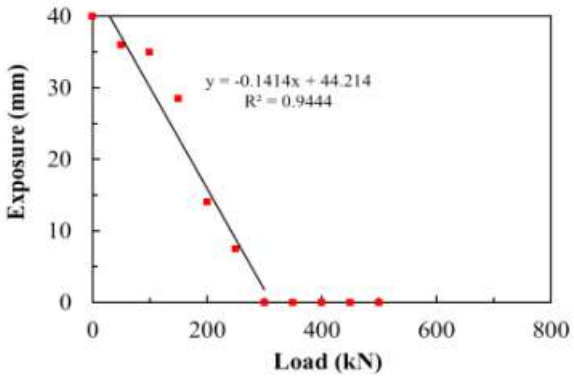
- 실험결과를 토대로 잔존긴장력과 표시패드 노출량의 관계식을 도출하여 규격화를 수행하였다. 다양한 적층방식의 잔존긴장력 대비 표시패드 노출량을 규격화 하였으며, 이는 현장적용시 육안확인장치의 노출량을 통해 잔존긴장력 판단이 가능할 것으로 보인다.



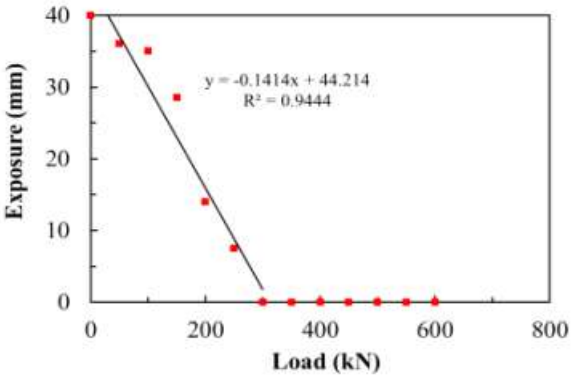
(a) 긴장력 300kN 재하시



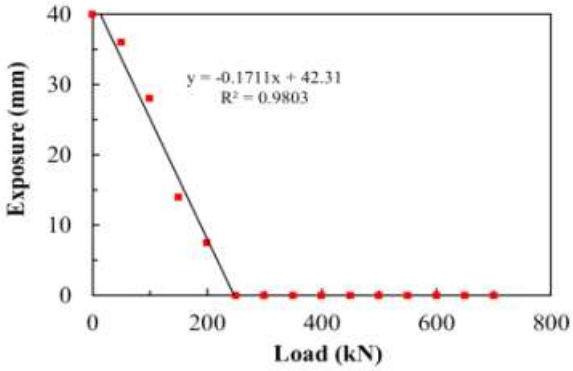
(b) 긴장력 400kN 재하시



(c) 긴장력 500kN 재하시



(d) 긴장력 600kN 재하시



(e) 긴장력 700kN 재하시

그림 3-114 잔존긴장력 대비 노출량 규격화

[표 3.62] 잔존긴장력 대비 노출량 측정 결과

잔존긴장력 (kN)	노출량(㎜)				
	300kN	400kN	500kN	600kN	700kN
0	22.5	33	40	40	40
50	7.5	25	36	36	36
100	0	15	35	35	28
150	0	7.5	28.5	28.5	14
200	0	5	14	14	7.5
250	0	0	7.5	7.5	0
300	0	0	0	0	0
350	-	0	0	0	0
400	-	0	0	0	0
450	-	-	0	0	0
500	-	-	0	0	0
550	-	-	-	0	0
600	-	-	-	0	0
650	-	-	-	-	0
700	-	-	-	-	0

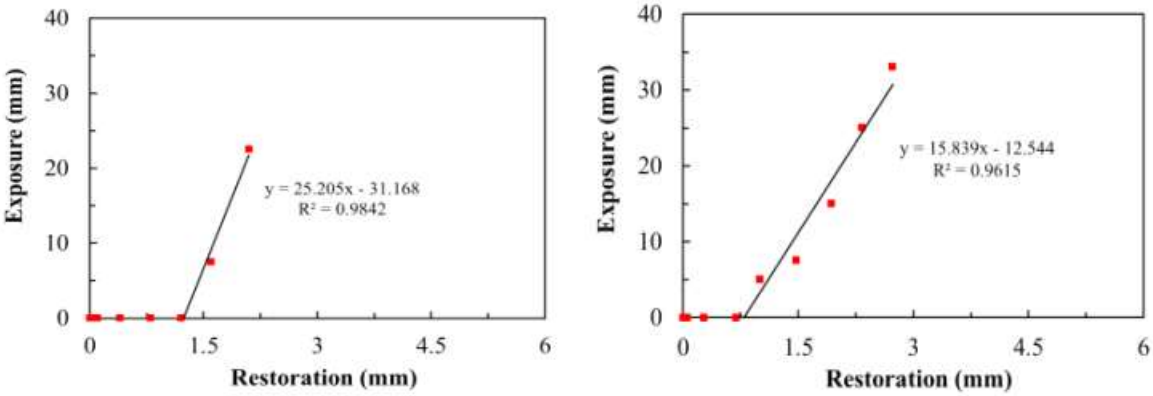
④ 탄성반력체의 복원량 대비 육안확인장치 노출량 측정 결과

- 육안확인장치의 노출량은 탄성반력체의 복원력과 관계가 깊고, 이에 따른 규격화가 필요하다. 또한 표시패드의 최초 노출시 탄성반력체의 적층방식에 따른 복원량을 파악하여 20%의 긴장력이 손실되었을 때 확보해야할 복원량의 확인이 요구된다. 이에

탄성반력체의 복원량과 육안확인장치 노출량에 대한 실험결과를 비교·분석하였고, 분석결과에 따라 규격화를 수행하였다.

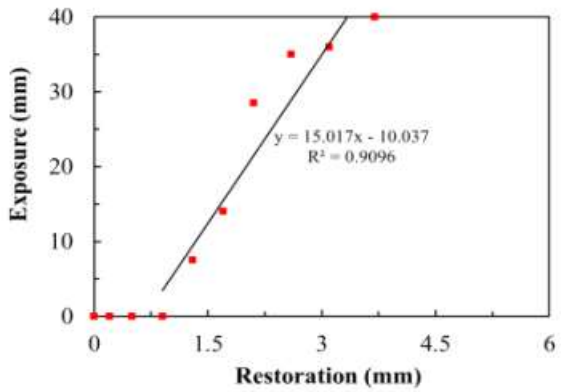
- 실험결과, 표시패드가 최초로 노출될 때 복원량의 크기는 평균적으로 1.48㎜로 나타났다. 탄성반력체의 복원량이 발생하였을 때 표시패드의 노출량은 7.5㎜로 미세한 값이지만 20%의 긴장력 손실시 평균 복원량인 1.48㎜ 이상은 확보해야할 것으로 판단된다.

- 분석결과를 토대로 탄성반력체의 복원량 대비 육안확인장치의 노출량의 관계식을 도출하였다. 이는 추후 현장에서의 표시패드 노출량으로부터 탄성반력체의 복원량을 예상하여 앵커 두부에 발생되는 변위를 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

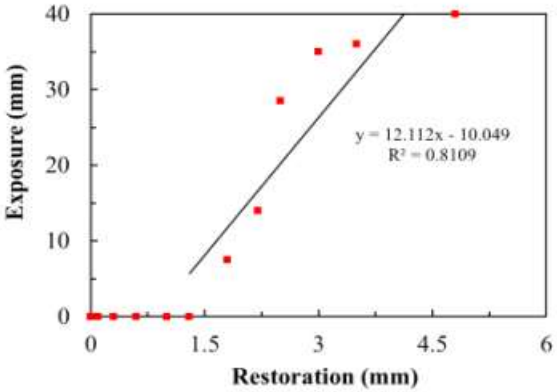


(a) 긴장력 300kN 재하시

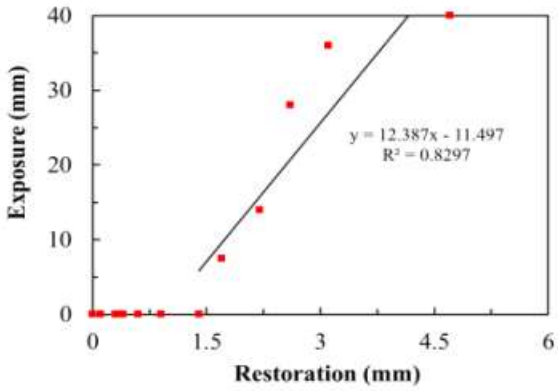
(b) 긴장력 400kN 재하시



(c) 긴장력 500kN 재하시



(d) 긴장력 600kN 재하시



(e) 긴장력 700kN 재하시

그림 3-115 탄성반력체 복원량 대비 노출량 규격화

[표 3.63] 탄성반력체 복원량 대비 노출량 측정 결과

잔존긴장력 (kN)	복원량 / 노출량(㎜)				
	300kN	400kN	500kN	600kN	700kN
0	2.1 / 22.5	2.73 / 33	3.7 / 40	4.8 / 40	4.7 / 40
50	1.6 / 7.5	2.33 / 25	3.1 / 36	3.5 / 36	3.1 / 36
100	1.2 / 0	1.93 / 15	2.6 / 35	3 / 35	2.6 / 28
150	0.8 / 0	1.47 / 7.5	2.1 / 28.5	2.5 / 28.5	2.2 / 14
200	0.4 / 0	1 / 5	1.7 / 14	2.2 / 14	1.7 / 7.5
250	0.1 / 0	0.69 / 0	1.3 / 7.5	1.8 / 7.5	1.4 / 0
300	0 / 0	0.27 / 0	0.9 / 0	1.3 / 0	0.9 / 0
350	-	0.05 / 0	0.5 / 0	1 / 0	0.6 / 0
400	-	0 / 0	0.2 / 0	0.6 / 0	0.4 / 0
450	-	-	0 / 0	0.3 / 0	0.3 / 0
500	-	-	0 / 0	0.1 / 0	0.1 / 0
550	-	-	-	0 / 0	0.1 / 0
600	-	-	-	0 / 0	0
650	-	-	-	-	0
700	-	-	-	-	0

(2) 노후 앵커 육안확인장치 적용성 평가 및 개선사항 도출

- 신설 앵커의 경우 강연선의 늘음량과 육안확인장치 설치에 관계는 고려 대상이 아니지만 공용중인 앵커에 육안확인장치를 적용하기 위해서는 탄성반력체의 높이만큼 재인장시 늘음량의 확보가 중요한 요인 중 하나이다.

- 신설 앵커 육안확인장치의 탄성반력체는 초기복원량과 최종 변위량을 증가 시키기 위해 2장의 탄성반력체를 직렬적층 방식으로 사용하여 초기 복원량에 대응 하였지만 노후 앵커 육안확인장치의 경우 직렬적층 방식을 적용하기에 늘음량 확보에 한계점을 지닌다.

- 그러나 실내실험 결과 현재 1장의 탄성반력체의 경우 초기복원량의 문제점을 해결하기에 어려움이 따른다.

- 이에 탄성반력체의 국산화를 통해 1장의 탄성반력체로 하중수용력과 초기복원이 유용한 탄성반력체 개발에 대한 추후 연구가 필요하며, 육안확인장치의 핵심 부품 중 하나인 변위증폭장치의 개선이 필요할 것으로 사료된다.

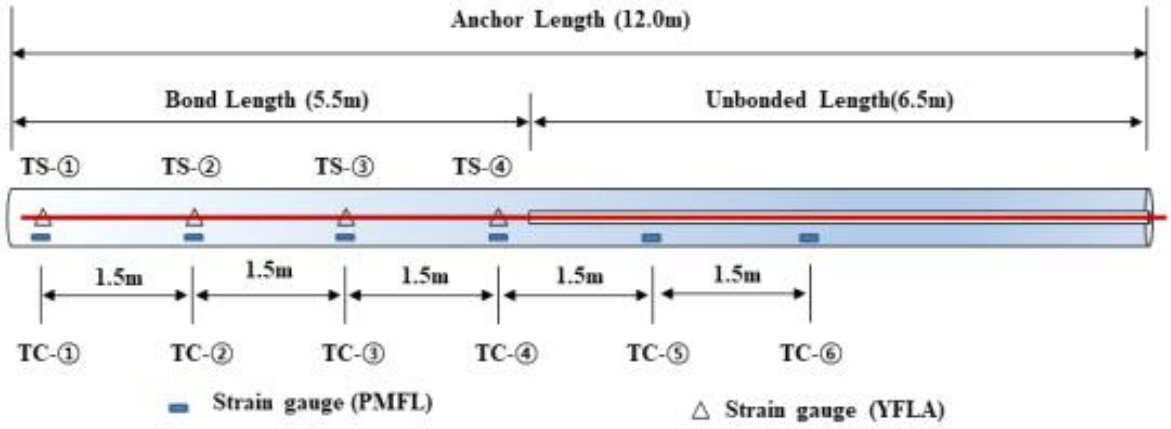
3.1.14 수치해석을 통한 노후앵커 구조적 안정성 검토

(1) 그라운드 앵커의 그라우트 변형률에 대한 장기계측

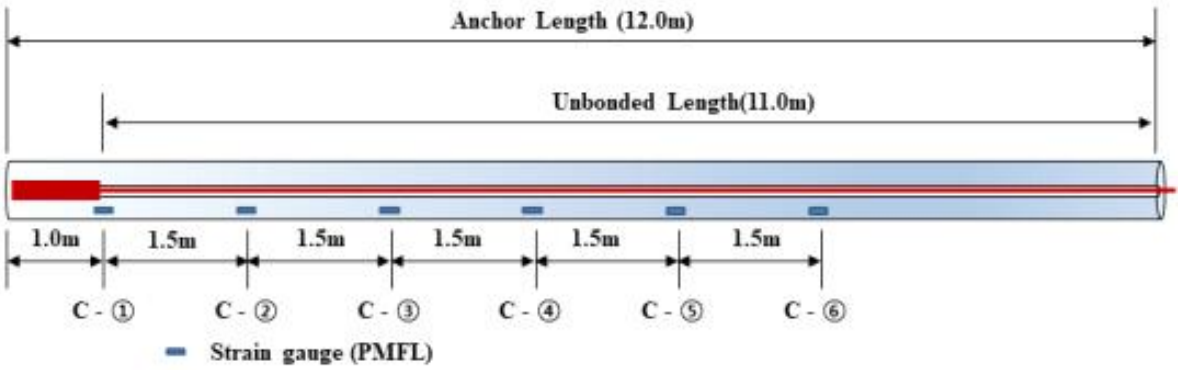
- 앵커 긴장력 손실의 원인을 규명하기 위해 인장 후 시공된 각각의 앵커의 그라우트 변형률에 대하여 장기 계측을 실시하였다. 계측기간은 2018년 10월부터 2019년 10월 까지 약 1년 간 진행하였고, 앞으로 지속적으로 모니터링을 실시할 예정이다.

▪ 앵커의 긴장력은 두부에 설치된 로드셀을 통해 계측을 실시하였다.

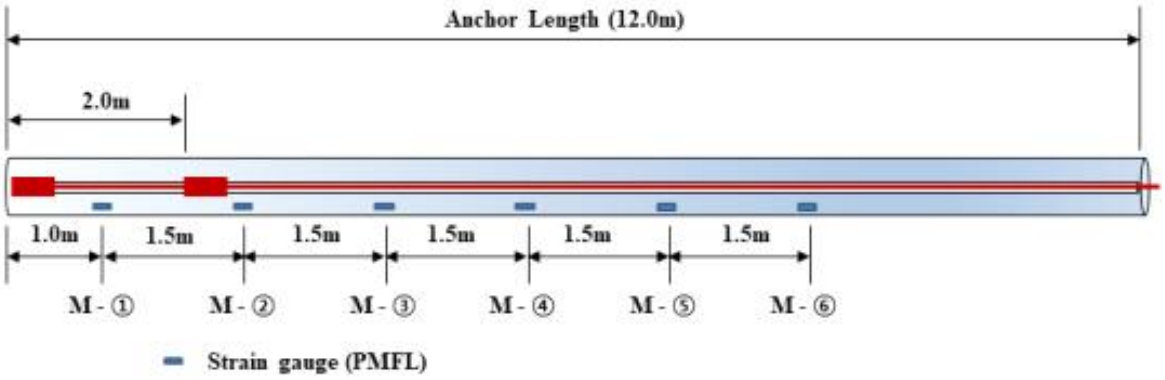
▪ 3가지 형태의 앵커에 설치된 strain gauge 위치는 그림 3-116과 같다.



(a) 인장형



(b) 선단압축형



(c) 분산압축형

그림 3-116 strain gauge 설치 위치

▪ 인장형 앵커는 긴장시 정착장 두부인 TC-④, ③에서 인장력이 작용하였으며, 긴장 후 1일이 경과한 시점에 19kN의 긴장력이 손실되었고, 정착장 선단은 인장에서 압축거동으로 변화하였으며, 선단에서 일부 이격된 TC-③ 부근에서는 지속적으로 인장거동을 보였다.

▪ 향후 지속적인 긴장력과 그라우트 변형률 계측을 통해 인장형 앵커의 장기거동에 따른 긴장력 손실 원인을 규명하여야 할 것이다.

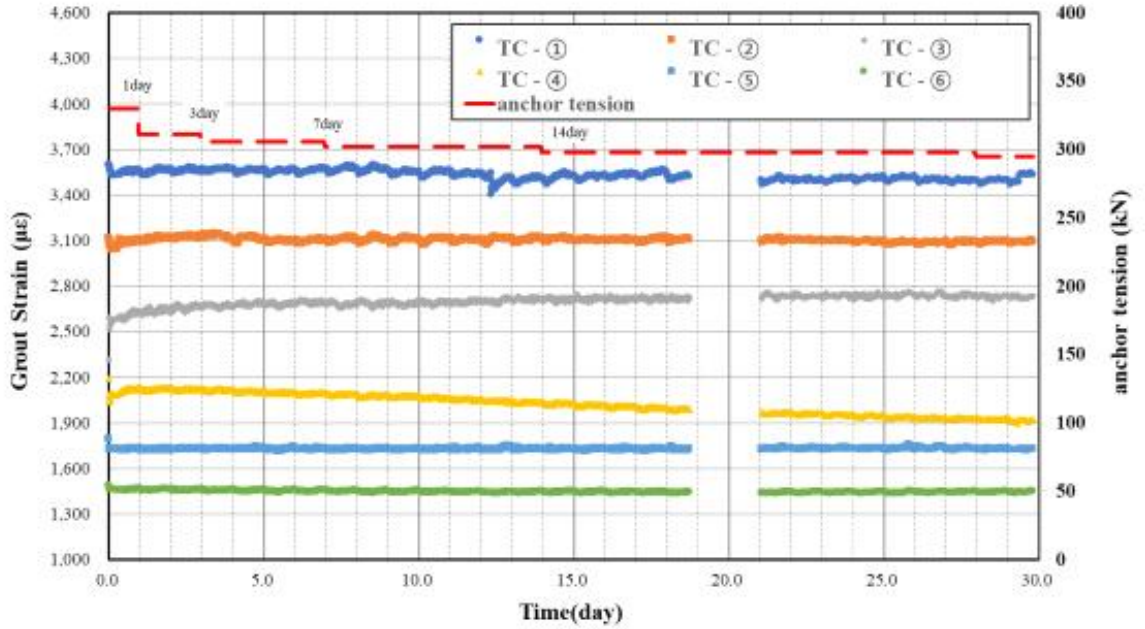


그림 3-117 인장형 앵커 그라우트 장기계측 결과

- 선단압축형 앵커는 내하체가 위치한 정착장 선단(C-①)에서 압축변형이 가장 많이 발생하였으며, 긴장 후 1일이 경과한 시점에 23kN의 긴장력이 손실되었다. 이후 정착장 선단에서의 그라우트는 지속적으로 압축변형을 보였다.

- 향후 지속적인 긴장력과 그라우트 변형률 계측을 통해 선단압축형 앵커의 장기거동에 따른 긴장력 손실 원인을 규명하여야 할 것이다.

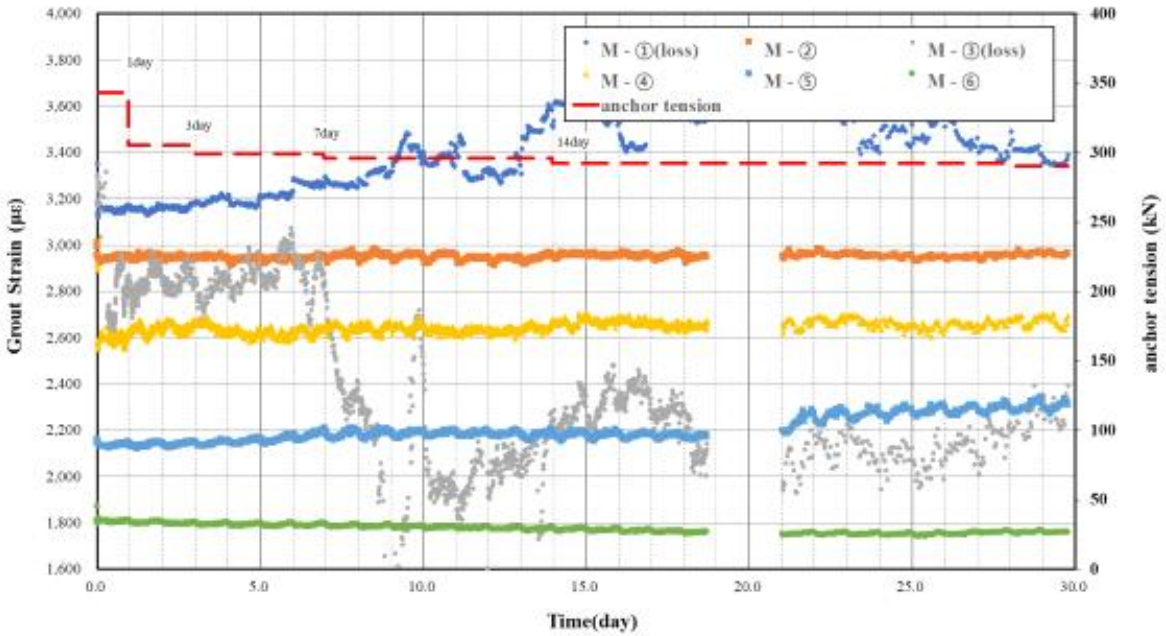


그림 3-118 분산압축형 앵커 그라우트 장기계측 결과

- 분산압축형 앵커의 그라우트 변형률 계측결과 M-①, ③의 데이터는 일정한 패턴 없이 노이즈가 많은 것으로 보아 망실로 보아야 할 것으로 사료된다. 현재 M-②, ④~⑥ 만의 변형률 계측데이터 만으로는 긴장력 손실과 그라우트의 거동은 분석에 어려움이 예상된다.

▪ 분산압축형 앵커의 경우, 긴장 후 1일이 경과한 시점에 38kN의 긴장력이 손실되었는데 이는 3가지 형태 앵커중 가장 손실량이 큰 것으로 계측되었다. 향후 지속적인 긴장력과 그라우트 변형률 계측을 통해 분산압축형 앵커의 장기거동에 따른 긴장력 손실 원인을 규명하여야 할 것이다.

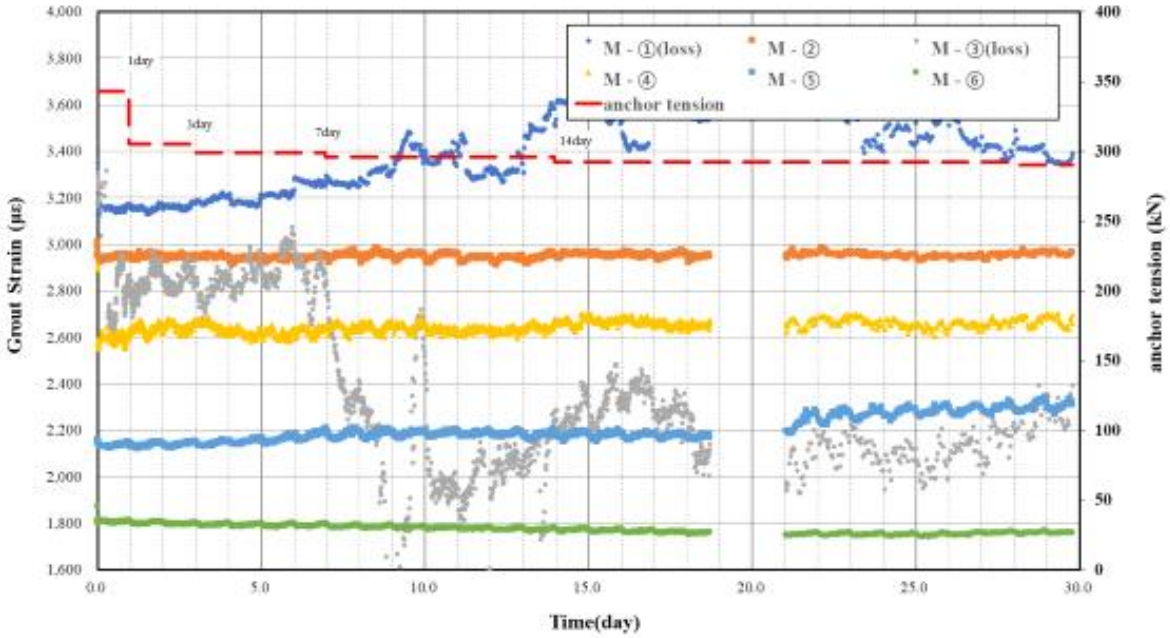


그림 3-119 분산압축형 앵커 그라우트 장기계측 결과

[표 3.64] 장기계측 결과

구 분	잔존긴장력(kN)		
	인장형	선단압축형	분산압축형
시공 후	330	350	343
1 일	311	323	305
3 일	306	319	299
7 일	302	315	296
14 일	298	311	292
28 일	295	309	290
42 일	293	308	289
56 일	291	306	289
154 일	281	294	283
252 일	268	287	271
365 일	248	278	254

3.1.15 노후 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 현장실험

(1) 현장시험을 위한 Test-bed 구축

① 개요

▪ 본 시공은 “노후 앵커의 긴장력 상시 육안확인장치” 의 시스템 개발을 위한 현장 검증 시공과 경제적인 시공공정, 품질 및 안전관리에 만전을 수립하는데 그 목적이 있다.

▪ 현장 시공의 위치는 경기도 화성시 장안면 황골길 일원이며 시공 기간은 2019년 7월 6일 ~ 2018년 9월 18일 이다.

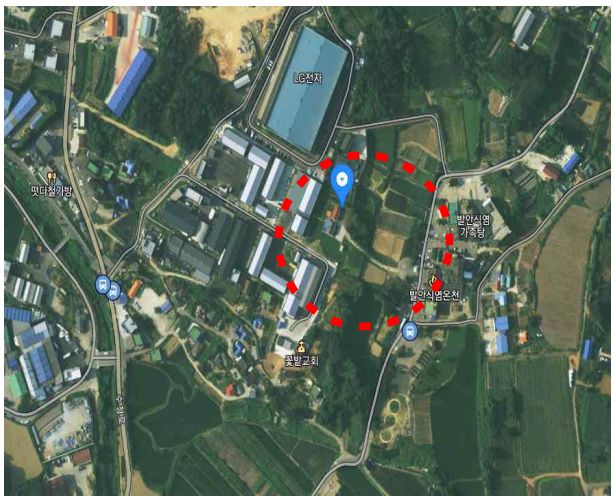


그림 3-120 현장시험 위치

② 현장 시공방법

가. 지반조사

▪ 본 조사의 목적은 “노후 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 개발” 에 대해 시추조사 및 각종 현장시험을 실시하고 지층의 분포상태 및 토성을 파악하고 설계 및 시공에 필요한 지반 공학적 기초 자료를 수집. 분석하여 지반공학적 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

▪ 조사위치는 경기도 화성시 장안면 황골길 내 지반에서 수행하였으며, 조사항목은 시추조사 1개소와 표준관입시험을 수행하였다.

[표 3.65] 지반조사 조사항목

조 사 항 목	수 량(예상)	단 위	비 고
시추조사	1	개소	육상 (NX)
표준관입시험	18	회	27.0m(공당)/1.5M 간격



(a) 지반조사 전경



(b) 시추 코어

그림 3-121 지반조사

▪ 지반조사 결과, 신설용 그라운드앵커가 시공될 지반은 지표면으로부터 3.0m까지 실트질 모래의 매립층, 16.0m까지 풍화토,27.0m까지 풍화암으로 확인 후 종료하였다.

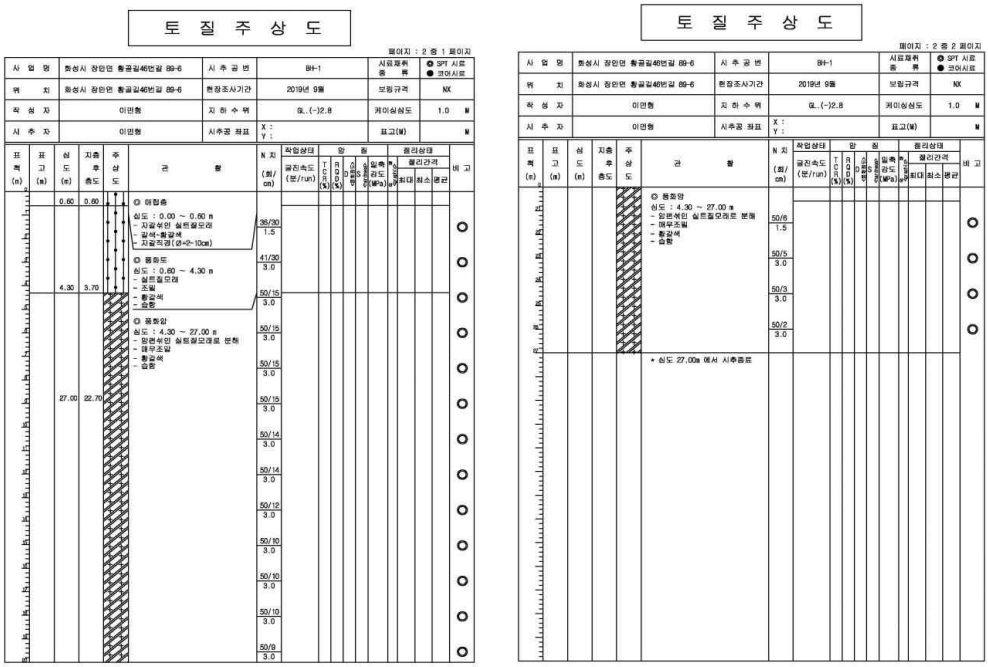


그림 3-122 지반조사 시추주상도

나. 앵커의 설계

▪ 그라운드앵커 정착장은 N치 30전후의 풍화암 이상의 지반에 위치하도록 계획되었으며 그라운드앵커 정착장 설계는 다음과 같다.

$$QF_s = \pi D L_a \tau \tag{3.12}$$

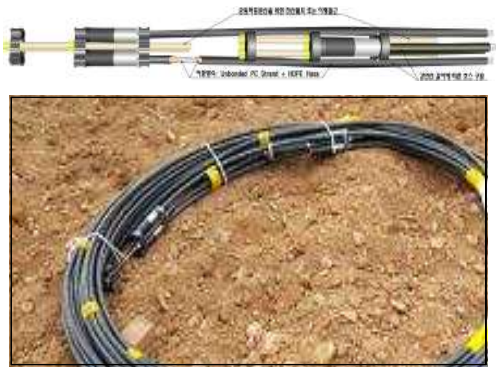
여기서, Q : 앵커 설계력
F_s : 안전율
D : 앵커 천공직경
L_a : 앵커 정착길이
τ : 앵커 주면마찰저항

▪ 앵커 설계력 400kN, 영구앵커 안전율 2.5, 천공직경 127㎜ 및 주면마찰저항력 0.5Mpa(N치 50)로 앵커 정착길이를 다음과 같이 설계되었다. 강연선은 12.7㎜ 4가닥으로 강연선의 허용설계하중은 440kN이다.

$$L_a = \frac{QF_s}{\pi D\tau} = \frac{400(kN) \cdot 2.5}{\pi \cdot 0.127(m) \cdot 500(kN/m^2)} = 5.0 \approx 5.0(m) \qquad (3.13)$$

다. 앵구앵커 시공

▪ 앵커 시공은 천공, 앵커체 삽입, 그라우팅 및 양생 순으로 이루어지며 그 절차는 다음 전경과 같다.



(a) 영구앵커 제작(L=11.5~21.5m, 여유장 1.5m 포함)



(b) 천공 (Ø127㎜, L=10~20.0m)



(c) 영구앵커삽입 (L=11.5~21.5m)



(d) 그라우팅 및 양생



(e) 재하대(Con'c)설치



(f) 인장시험



(g) 재하대(H빔)설치



(h) 재인장시험

그림 3-123 Test-bed 시공순서

▪ 천공 규정된 위치, 방향, 각도 15 ~ 30° , 길이와 구경 105~127㎜에 적합하게 천공하되 옹벽에 약 25° ,수직앵커는 90°(허용오차 ±2~3°)를 준수하여 천공하고 천공 시 SLIME을 제거한 후, 공벽이 손상되지 않도록 한다. 연약지반일 경우 공벽이 손상되므로 케이싱을 사용하여 천공을 한다.

▪ ANCHOR의 조립은 공장제작으로 하며, 내하체를 이형철근이나 전산볼트를 사용하여 그 길이를 길게함으로서 그라우트에 집중되는 하중을 길이방향으로 분산시켜 집중되는 하중을 줄여 하중 손실을 최소화 하는 GE-3SP(균등분산압축형) 영구앵커를 사용한다.

▪ 앵커체의 삽입은 가공 조립된 ANCHOR 정착체를 오물, 기름, 녹 등의 유해물이 부착되지 않도록 취급하고, 특히 UNBOND 가공된 강재에 대해서는 방청제 등의 방식 재료가 파손하지 않도록 관리한다. ANCHOR 정착체의 설치시는 인장재가 엉키거나 파손되지 않도록 주의하면서 시공하고 ANCHOR 정착체가 공의 중심부에 위치하도록 삽입한다.

▪ 그라우팅은 ANCHOR 정착체가 공내에 설치 완료되면 1차, 2차 본 그라우팅을 연속적으로 실시하며 OVERFLOW가 될 때까지 주입한다. W/C는 45%로 하고 시멘트 혼화제는 그라우트의 유동성 및 조강성을 개선하기 위하여 ANCHOR용으로 개발된 제품을 사용하며, 배합비는 시멘트 중량에 대하여 2.5%내외를 사용한다.

[표 3.66] 그라우팅 배합비

구 분	시멘트	물	혼화제(1%)	W / C
단 위	kg	ℓ	kg	%
재료사용량	1,303	586	13	45

▪ 용수의 경우 본 공법의 사용자재는 충분하게 내구성이 확보된 제품이기는 하지만, GROUT에 사용하는 용수는 청수나 청수에 가까운 용수를 사용하여 ANCHOR 자재의 품질에 영향을 주지 않도록 하여야 한다.

▪ 인장은 GROUT 주입 후의 ANCHOR는 GROUT의 경화 중에 유해한 진동 또는 충격을 주지 않도록 보호한다. GROUT의 양생은 보통시멘트에서는 28일을 기준으로 하되, 필요시 보통시멘트 + 혼화제 1.0% 이상을 사용하면 약 7일 정도에도 인장을 시행할 수 있다.

[표 3.67] 영구앵커 제원표

No.	앵커명칭	사 양 (m)				P. C. Strand 강연선 수	비 고
		정착장	자유장	여유장	총길이		
1	수직앵커 (압축형)	5.0	6.0	1.5	11.5	〃	
2	수직앵커 (압축형)	5.0	10.0	1.5	16.5	〃	
3	수직앵커 (압축형)	5.0	15.0	1.5	21.5	〃	

(2) 실대형 실험을 통한 거동 분석

▪ 그라운드 이엔씨 내 Test-bed에 시공된 압축형 앵커의 인장시험 결과는 다음과 같다.

[표 3.68] 시험 결과 a) No. 1 앵커 인장시험

Step	Loading	Applied Load (tonf)	Total Movement (mm)
1	Cycle 1	6.79	0.00
2	Cycle 2	13.72	9.12
		6.79	1.04
3	Cycle 3	13.68	9.12
		20.44	17.56
		6.72	2.08
4	Cycle 4	13.93	10.52
		20.51	17.92
		27.23	26.44
		6.79	3.52
5	Cycle 5	13.93	11.44
		20.51	19.04
		27.30	27.08
		34.09	35.72
		6.79	4.36
6	Cycle 6	14.07	12.76
		20.44	19.96
		27.37	28.08
		34.24	36.28
		41.09	45.24
		41.09	45.44
		41.09	45.64
		41.09	45.76
		41.09	45.88
		41.09	46.00
		41.09	46.16
		41.09	46.28
		6.79	6.20

[표 3.69] 시험 결과 a) No. 1 앵커 인장시험

실측하중	실측변위 (mm)		소성변위	상한 (mm)		하한 (mm)	
(tonf)	실 측	수 정	(mm)	계 산	수 정	계 산	수 정
6.79	4.36	0.00	0.00	9.46	0.00	6.88	0.00
14.07	12.76	8.40	-1.04	19.60	10.14	14.25	7.37
20.44	19.96	15.60	-2.08	28.47	19.01	20.71	13.83
27.37	28.08	23.72	-3.52	38.13	28.67	27.73	20.85
34.24	36.28	31.92	-4.36	47.70	38.24	34.69	27.81
41.09	45.24	40.88	-6.20	57.24	47.78	41.63	34.75

[표 3.70] 시험 결과 b) No. 2 앵커 인장시험

Step	Loading	Applied Load (tonf)	Total Movement (mm)
1	Cycle 1	6.70	0.00
2	Cycle 2	13.79	12.96
		6.72	1.24
3	Cycle 3	13.72	13.24
		20.44	25.32
		6.65	2.04
4	Cycle 4	13.76	14.16
		20.51	25.92
		27.34	38.44
		6.93	4.00
5	Cycle 5	13.72	15.76
		20.37	27.44
		27.44	40.12
		34.16	51.88
		6.86	5.16
6	Cycle 6	13.79	17.16
		20.52	28.76
		27.52	40.68
		34.16	52.16
		41.09	64.48
		41.09	65.08
		41.09	65.16
		41.09	65.32
		41.09	65.36
		41.09	65.44
		41.09	65.48
		41.09	65.60
		6.72	6.84

[표 3.71] 시험 결과 b) No. 2 앵커 인장시험

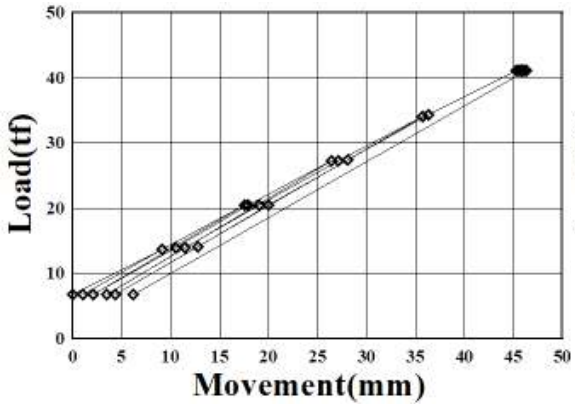
실측하중 (tonf)	실측변위 (mm)		소성변위 (mm)	상한 (mm)		하한 (mm)	
	실 측	수 정		계 산	수 정	계 산	수 정
6.86	5.16	0.00	0.00	14.33	0.00	10.42	0.00
13.79	17.16	12.00	-1.24	28.81	14.48	20.96	10.54
20.52	28.76	23.60	-2.04	42.88	28.55	31.18	20.76
27.52	40.68	35.52	-4.00	57.50	43.17	41.82	31.40
34.16	52.16	47.00	-5.16	71.38	57.05	51.91	41.49
41.09	64.48	59.32	-6.84	85.86	71.53	62.44	52.02

[표 3.72] 시험 결과 c) No. 3 앵커 인장시험

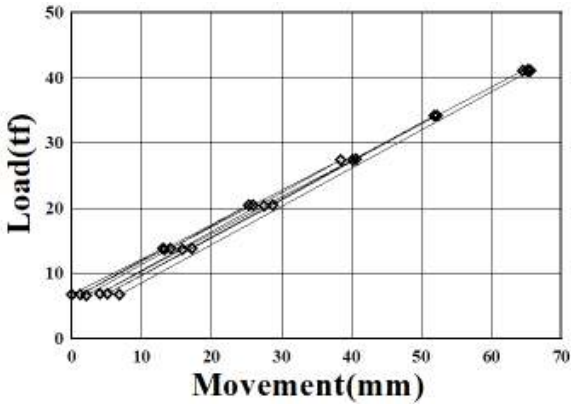
Step	Loading	Applied Load (tonf)	Total Movement (mm)
1	Cycle 1	6.86	0.00
2	Cycle 2	13.72	16.12
		6.79	1.04
3	Cycle 3	13.79	16.44
		20.16	31.68
		6.86	2.56
4	Cycle 4	13.56	17.04
		20.30	32.36
		27.16	48.72
		6.51	2.16
5	Cycle 5	13.86	18.52
		20.51	33.72
		27.51	49.80
		34.16	65.48
		6.93	4.24
6	Cycle 6	13.58	18.88
		20.20	33.84
		27.32	50.12
		34.23	66.12
		41.16	82.16
		41.16	82.56
		41.16	82.68
		41.16	82.84
		41.16	82.92
		41.16	83.00
		41.16	83.16
		41.16	83.24
		7.00	6.16

[표 3.73] 시험 결과 c) No. 3 앵커 인장시험

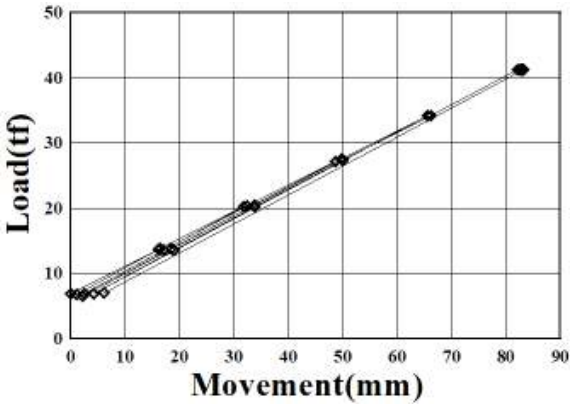
실측하중 (tonf)	실측변위 (mm)		소성변위 (mm)	상한 (mm)		하한 (mm)	
	실 측	수 정		계 산	수 정	계 산	수 정
6.93	4.24	0.00	0.00	19.31	0.00	14.04	0.00
13.58	18.88	14.64	-1.04	37.83	18.52	27.51	13.47
20.20	33.84	29.60	-2.56	56.28	36.97	40.93	26.89
27.32	50.12	45.88	-2.16	76.11	56.80	55.35	41.31
34.23	66.12	61.88	-4.24	95.36	76.05	69.35	55.31
41.16	82.16	77.92	-6.16	114.67	95.36	83.40	69.36



(a) No. 1 앵커 인장시험

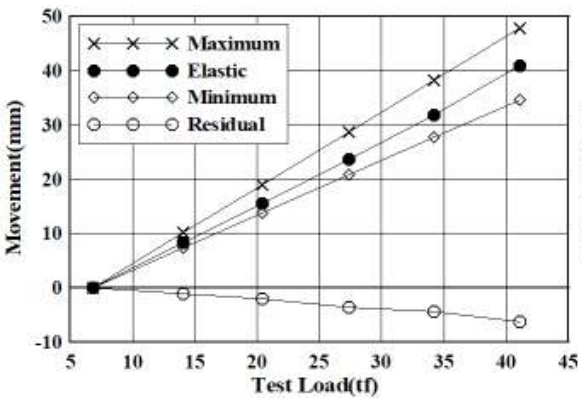


(b) No. 2 앵커 인장시험

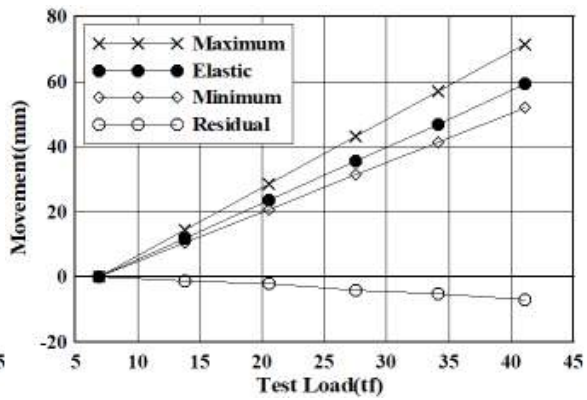


(c) No. 3 앵커 인장시험

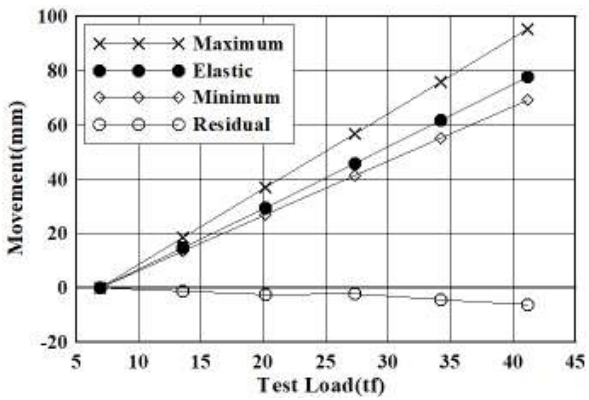
그림 3-124 하중-변형 곡선



(a) No. 1 앵커 인장시험



(b) No. 2 앵커 인장시험



(c) No. 3 앵커 인장시험

그림 3-125 상한 및 하한 곡선

▪ 앵커 인장 및 인발시험은 각 사이클 시험최대하중에서 10분 동안 하중을 유지시켜 크리프 변위를 측정하여 1분에서 10분 사이에 발생된 변위가 1.0㎜보다 작을 때 설계내력이 있는 것으로 판단 한다. No. 1, 2 및 3 앵커 인장시험 결과 시험최대하중인 41.00tf에서 크리프 변위가 1㎜ 이내이므로 설계내력이 있는 것으로 사료된다.

▪ 그림 3-125에서 보는 것과 같이 단계별 하중에서 측정한 앵커 두부에서 발생된 탄성 변위 곡선이 No. 1, 2 및 3 앵커 모두 한계곡선 내에 위치하고 있다.

[표 3.74] 단기 크리프 변위

No.	하중 (tonf)	크리프 변위 (㎜)								판정	비고
		1분	2분	3분	4분	5분	6분	10분	10-1		
1	41.09	0.00	0.20	0.32	0.44	0.56	0.72	0.84	0.84	OK	
2	41.09	0.00	0.08	0.24	0.28	0.36	0.40	0.52	0.52	OK	
3	41.16	0.00	0.12	0.28	0.36	0.44	0.60	0.68	0.68	OK	
Note : 1분에서 10분 사이의 크리프 변위가 1.0㎜ 이하일 때 양호											

3.1.16 노후 앵커 육안확인장치의 경제성 분석 및 설계기법 개발

(1) 노후 앵커 육안확인장치 LCC 분석

① 개 요

▪ 기존에 시공되어있는 영구앵커의 정상적인 기능이 발휘 될 수 있도록 유지관리를 위한 재긴장시 발생되는 모든 비용과 긴장력 육안 확인이 가능한 앵커장치 설치시 발생되는 비용을 비교·분석하여 생애주기 측면의 최적의 대안을 제시함으로써 비용절감의 효과에 상응하는 기대치를 제시하고자 한다.

② 검토방법

▪ 검토방법은 기존 어스앵커의 재긴장 작업 대비 본 연구에서 개발한 앵커 긴장력 상시 육안확인장치의 시공과 유지관리에 대한 사전원가 분석을 수행하였다.

③ 사전원가 분석

▪ 기존 그라운드 앵커 공법의 경우 이미 시공이 되어져 운영중이기 때문에 별도의 공사비는 들지 않는 것으로 분석되었으며, 육안확인장치의 경우 300개소 기준으로 공사비는 약 103백만원이 소요되는 것으로 분석되었다.

▪ 위 내용과 같이 일반 어스앵커공법 시공대비 육안확인장치 공사비가 추가로 약 103백만원정도 투입되야 하는 실정이지만 향후 유지관리 측면에서 발생되는 시험비용을 고려하여 LCC검토 및 분석을 해야할 것으로 판단된다.

[표 3.75] 공사원가계산서

구 분 / 비 목		육안확인장치 300개소 기준	어스앵커 공법 300개소 기준	비 고
재료비	직접재료비	55,858,620		
	간접재료비			
	소 계	55,858,620		
노무비	직접노무비	15,194,710		
	간접노무비	1,929,728		직접노무비 × 12.70%
	소 계	17,124,438		
경비	기계경비	2,016,490		
	산재보험료	642,166		노무비 × 3.75%
	고용보험료	148,982		노무비 × 0.87%
	건강보험료	490,789		직접노무비 × 3.23%
	연금보험료	683,761	-	직접노무비 × 4.5%
	노인장기요양보험료	41,766		건강보험료 × 8.51%
	산업안전보건관리비	2,081,862		(재료비+직접노무비) × 2.93%
	기타경비	4,412,555		(재료비+노무비) × 6.046%
	소 계	10,518,371		
순 공 사 원 가		83,501,429		재료비 + 노무비 + 경비
일 반 관 리 비 (6%)		5,010,085		순공사원가 × 6%
이 윤 (15%)		4,897,934		(노무비+경비+일관비)×15%
총 원 가		93,409,448		순공사원가+일반관리비+이윤
부 가 가 치 세 (10%)		9,340,944		총원가 × 10%
합 계		102,750,392		총원가 + 부가가치세

③ LCC 분석

- 국내외 점검 기준에 따른 유지관리 지침은 리프트오프 시험 후 앵커의 재긴장 작업을 실시하여 유지관리를 수행하고 있으며, 이에 대한 비용을 산출하여 기존 앵커의 재긴장시 발생하는 비용과 육안확인장치의 시공비용을 비교 분석하였다.

- 노후 앵커 긴장력 상시 육안확인장치에 관한 경제성 효과분석은 한국경제행정연구원에서 수행하였으며, 300개소 기준으로 내용연수를 10년으로 선정하여 분석하였다.

- 다음 표와 같이 LCC분석 결과 일반 어스앵커공법의 유지관리 비용은 약 284백만원 대비 육안확인장치의 시공비용 약 103백만원으로 약 64%의 비용절감 효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

- 노후 앵커의 정상적인 기능이 가동되는지에 대해 간편하고 효율적으로 조사가 가능하게 됨으로써 앵커의 안정성 및 더 나아가 비탈면의 안정성을 예측하는데 있어 신청기술이 합리적인 비용측면에서 극대화 될 수 있을 것이라 할 수 있다.

[표 3.76] 유지관리 원가계산서

구 분 / 비 목		육안확인장치 300개소 기준	어스앵커 공법 300개소 기준	비 고
재료비	직접재료비		144,755	
	간접재료비			
	소 계		144,755	
노무비	직접노무비		138,911,130	
	간접노무비		17,641,713	직접노무비 × 12.7%
	소 계		156,552,843	
경 비		-	55,051,933	
순 공 사 원 가			211,749,531	(재료비+인건비+경비)
일 반 관 리 비 (6%)			12,704,971	순원가 × 6%
이 윤 (15%)			33,646,462	(인건비+경비+일반관리비) × 15%
총 원 가			258,100,964	(순원가+일반관리비+이윤)
부 가 가 치 세 (10%)			25,810,096	
합 계			283,911,060	

[표 3.77] LCC 분석 결과

구 분		신청제품(A)	비교제품(B)	대비(A/B)	차액(B-A)
모 델 명		육안확인장치	어스앵커 공법		
규 격		300개소 기준	300개소 기준		
제품수명(내용연수)		10	10		
원가 항목	취득원가	102,750,392			-102,750,392
	유지경비원가		283,911,060		283,911,060
	합 계	102,750,392	283,911,060	36.19%	181,160,668

(2) 노후 앵커 육안확인장치 설계기법 개발

① 앵커 긴장력에 대한 관련기준 문헌조사

▪ 영구앵커는 비탈면 안정 혹은 구조물의 부상방지 등을 목적으로 사용되는 보강재로써 가설 앵커와 달리 구조물의 공용기간 동안 기능을 유지해야 한다. 따라서 시간 경과에 따라 앵커의 릴렉셔이션 및 크리프가 지속적으로 발생되기 때문에 안정적인 기능발휘를 위해서는 인장력 손실에 대한 관리가 필수적이다.

▪ 아래 표는 각 기관별 앵커 긴장력과 관련한 기준 및 지침 등의 문헌조사 결과이다.

[표 3.78] 기관별 앵커 긴장력 관련기준들

구 분	관련기준	비 고
건설공사 비탈면 설계기준 (2011, 국토해양부)	▪ 6.2 재료의 특성 (3) 영구앵커의 경우, 향후 **유지관리를 위하여 재긴장 및 긴장력 완화**가 **가능한 형식의 정착구를 사용**하여야 하며 강선 길이를 여유 있게 두어야 한다. ▪ 6.4.5 초기긴장력의 설정 (3) (2) 초기긴장력의 결정시 고려해야 하는 사항은 앵커의 저항 개념, 긴장재 정착 직후의 긴장력 감소, **정착지반의 크리프**, 긴장재의 릴랙세이션 등이 있다.	
건설공사 비탈면 유지관리 지침 (2006, 건설교통부)	▪ 7.1.1 앵커시설의 유지관리 (1) 일반사항[해설] **앵커, 앵커로 보강되는 구조물 및 그 주변에 변위, 변형, 균열 등이 발생한 경우**에는 관측 및 계측결과를 검토하여 **필요시 보강, 재긴장, 앵커의 추가 시공 또는 긴장력 완화 등에 대해 적절한 대책을 강구**한다. (3) 앵커시설의 손상조치[해설] ② 앵커의 **잔존인장력에 뚜렷한 저하가 인지되는 경우** 그 원인을 명확히 밝히고, 앵커의 설치목적이나 요구되는 기능 등을 고려하여 **재긴장에 대해 검토**한다. ③ 앵커에 발생하고 있는 **잔존인장력의 뚜렷한 증가가 인지되는 경우**에는 그 원인을 명확히 밝히고, 앵커의 추가설치 등 외력의 증가에 대한 대책이나 인장재의 파단을 방지하기 위해 **긴장력 완화에 대해 검토**한다.	
그라운드 앵커 설계·시공 및 유지관리 매뉴얼 (2009, 국토해양부)	▪ 2.1 설계일반 [해설] ④ 앵커는 천공된 구멍의 주면마찰저항이나 지반의 지압저항에 의해 앵커의 인발력을 기대하는 것이므로, 동일형상의 앵커라고 해도 **지반조건이나 시공방법**이 달라짐에 따라 **극한인발력 등에 큰 차이가 발생**할 수 있다. ⑥ 앵커는 시공된 후 **시간의 경과**에 따라 발생하는 **잔존긴장력의 감소, 부식의 진행 등**에 대응하기 위해 **적절한 유지관리를 필요로 하는 구조체**이다.	
그라운드 앵커 설계·시공 및 유지관리 매뉴얼 (2009, 국토해양부)	▪ 2.3.4 초기 긴장력 및 유효긴장력의 결정 [해설] ③ 앵커인장재와 주입재, 주입재와 지반과의 크리프 **크리프**의 크기는 지반조건에 따라 영향을 받는다. 하중의 장기적인 변화에 대한 측정이 시행되고는 있지만 아직은 하중감소에 관한 각 요인과 관련성이 명확하지 않고, 그 결과도 체계적인 정리가 이루어지지 않아 **크리프량에 대한 충분한 자료가 없으므로 주변 지반상황을 고려하여 설계**하여야 한다. ▪ 3.5.4 재긴장 앵커의 초기 긴장작업 이후에 시간의 경과에 따른 **릴렉세이션 등이 발견되었을 시에 긴장력을 보정**하여야 한다	
건설공사비탈면 표준시방서 (2016, 국토교통부)	▪ 3.6 긴장 및 정착작업 (10) 점성토 지반이나 느슨한 사질토지반에서는 앵커의 재긴장 또는 긴장력 저하 대비하여 **긴장력 조정이 가능한 정착 두부구조를 가진 앵커를 사용하고 재긴장 할 수 있는 여유길이와 재긴장 장치를 두어야 한다.**	

구 분	관련기준	비 고
고속도로공사 전문시방서 (2012, 한국도로공사)	▪ 3.6 긴장 및 정착작업 3.6.11 점성토 지반이나 느슨한 사질토 지반에서는 앵커의 재긴장 또는 긴장력 저하 대비하여 **긴장력 조정이 가능한 정착 두부구조를 가진 앵커를 사용하고, 재긴장 할 수 있는 여유길이와 재긴장 장치를 두어야 한다.**	
설계실무자료집 (2011, 한국도로공사)	▪ 깎기비탈면 보강용 재긴장 영구앵커 설계적용 검토 - 비탈면 보강용 그라운드 앵커는 시간경과에 따른 **인장력 저하시 재긴장을 하도록 규정 '재긴장이 가능한 정착구를 사용'** 하고 있다.	
현장실무자를 위한 절토비탈면 유지관리 핸드북 (2008,도로교통연구원)	▪ 5.3.3 사면의 유지관리시 고려사항(앵커) **재긴장이 가능한 앵커형식을 사용해야 하며** 여건상 불가할 경우 앵커가 아닌 다른방식의 대책공법을 수립해야 한다.	

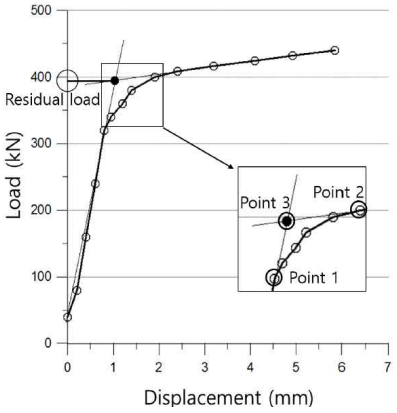
▪ 앵커는 지반에 정착되는 구조로 공용기간 동안 긴장력을 모니터링하고 긴장력을 조정할 수 있는 구조로 설계, 시공토록 하고 있다.

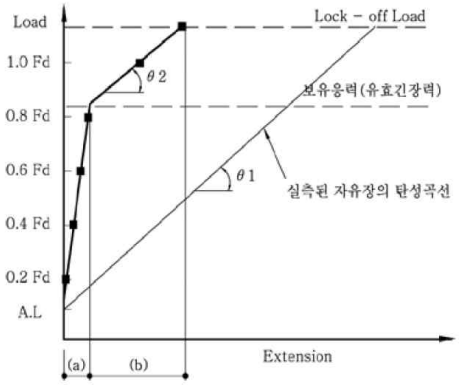
▪ 표 3.79는 각 기관별 지반앵커의 잔존긴장력 확인을 위한 리프트오프시험에 대한 문헌조사 결과이다.

[표 3.79] 기관별 지반앵커 잔존긴장력 확인시험

그라운드 앵커 설계·시공 및 유지관리 매뉴얼 (2009, 국토해양부)	비 고
▪ 3.6.5 리프트오프 시험 **리프트오프 시험은 이미 정착되어 있는 그라운드앵커의 긴장력을 확인하기 위해 실시한다.** [해설] (3) 최대시험하중 최대시험하중(Pm)은 공사보고서로부터 앵커의 사양을 확인할 수 있는 경우는 설계앵커력의 1.5배로 한다. 리프트오프시험은 이미 정착되어 있는 그라우트앵커를 다시한번 인장, 앵커두부의 하중~변위관계로부터 변위량의 증가비율이 인장재의 탄성신장량과 같아진다고 인정되는 하중을 구하는 시험이다. 하중-변위관계는 앵커가 가지고 있는 긴장력 부근에서 변곡점을 갖기 때문에 예상되는 긴장력에서 10% 정도 크게 한 하중을 최대시험하중으로 할 필요가 있다. 단, 하중을 증가해도 변곡점이 구해지지 않는 경우 에는 하중의 증가는 인장재의 항복하중(Py)의 90% 또는 비례한계하중(Pp)정도까지로 한다. (7) 시험결과의 평가 ① 리프트오프 시험의 결과는 하중~앵커두부변위량 관계를 보통눈금의 그래프용지에 작도하여 이것을 기초해서 리프트오프 하중을 구한다. 잭으로 앵커헤드나 인장재를 인장했을 때 앵커헤드가 지압판에서 떨어지든지, 정착쐐기가 앵커헤드에서 빠지기 시작했을 때의 하중을 리프트오프 하중이라고 한다. 이때 하중과 인장재의 신장과의 관계는 하중이 작을 때는 구배가 급한 곡선이 되고 하중이 앵커의 잔존긴장력보다 커지면 앵커자유장부의 인장재의 탄성적인 하중~변위 곡선의 구배와 거의 같아진다. 따라서 **리프트오프 시험에 대한 하중~변위량곡선의 변곡점(구배변화점)은 잭의 하중과 앵커의 긴장력이 균형을 이룬 점**으로 생각된다. 일반적으로 이때의 하중을 리프트오프 하중으로 한다. ② 리프트오프하중(Pl)과 도입긴장력(Pd)의 대소를 비교함으로써 앵커의 성능을 판단한다. 앵커 준공	

시에 실시한 확인시험의 결과와 리프트오프 시험의 결과를 비교함에 의해 앵커긴장력이 유지되는지 아닌지를 판단할 수 있다. 리프트오프 하중후의 하중 ~변위량곡선의 구배가 확인시험의 그것보다도 급해지는 경우는 자유장부에 이상이 있고 어떤 구속력이 발생하고 있는 것이다.





리프트오프 시험에 의한 하중-변위량 곡선 (예시)

② 비탈면 보강공사용 지반앵커 시험 지침(안) (2012.11, 도로교통연구원) | **비 고**

○ 지반앵커에 대한 시험구분은 목적에 따라 다음과 같이 인발시험, 인장시험, 확인시험, 리프트오프시험으로 구분함.

시험구분	시험목적	시험시기	시험대상
인발시험	설계의 신뢰성 향상을 목적으로 지반조건 등을 실제와 유사하게 맞춘 시험앵커에 대해 파괴시까지 실험	실시설계 or 시공전	별도앵커
인장시험	시공초기 앵커에 대해서 실시하고, 앵커의 특성판단과 확인시험 결과의 검증 자료로 사용	시공 초기	시공앵커 일부
확인시험	모든 앵커를 대상으로 그 성능의 적합 여부를 실증하고 평가하기 위하여 시행	시공 중	모든 시공앵커
리프트오프시험	시공 완료된 앵커 또는 유지관리 단계에서 앵커에 가해지고 있는 긴장력을 확인하기 위해 시행	**시공 후 or 유지관리**	일부 or 모든앵커

- 그라운드 앵커는 앵커구조의 특성상 준공 후 공내를 확인할 수 없으므로, 긴장재의 거동 및 성능을 간접적(리프트오프 시험)으로 판단해야 한다.

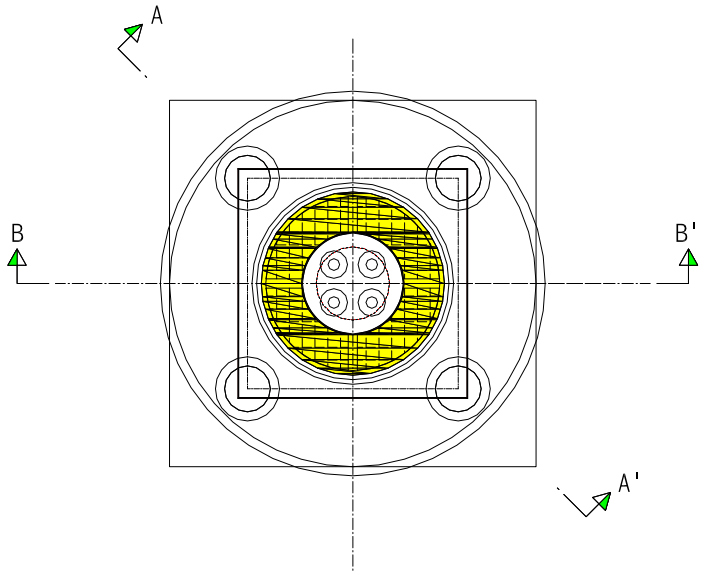
- 국내에서는 정기적인 점검 시 또는 이상 징후가 발생한 앵커를 대상으로 리프트오프 시험을 수행하여 앵커의 잔존긴장력을 확인하고 있으나, 현재 국내 리프트오프 시험 기준(국토해양부, 2010)은 수행 및 평가방법이 자세히 명시되어 있는 않은 실정이다.

- 미국(Sabatini et al., 1999)의 경우 하중-변위 곡선에서 하중증가비가 급격히 감소하는 하중을 잔존긴장력으로 정의하였으며, 이때 측정된 하중은 설계긴장력과 비교하여 평가하고 있다(Geotechnical Engineering Circular NO. 4 Ground Anchors and Anchored systems).

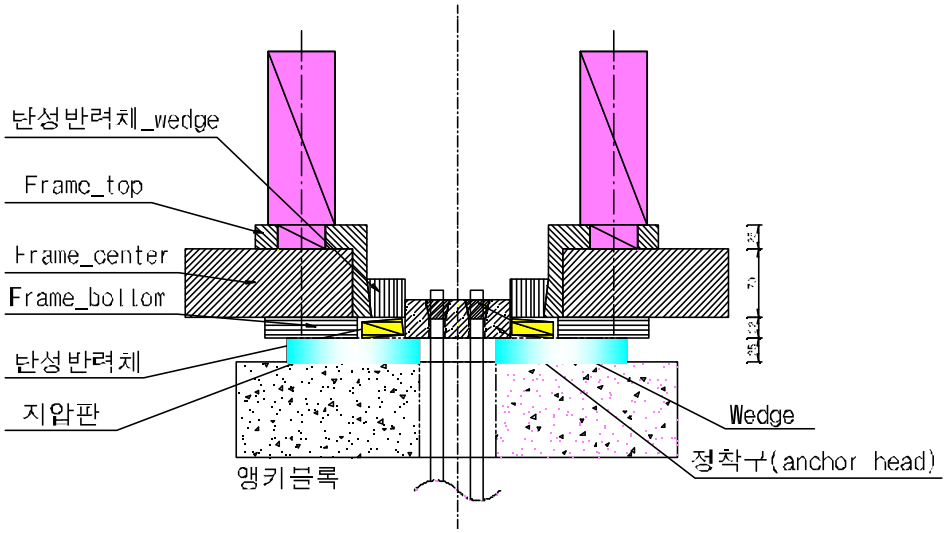
- 홍콩(Civil Engineering Department Hong Kong, 1989)의 경우 미국과 유사하게 하중-변위 곡선에서 기울기가 급변하는 지점을 잔존긴장력으로 평가하고 있다.

② 노후 앵커 긴장력 육안확인장치 설치를 위한 장비 개념도 및 시공순서도

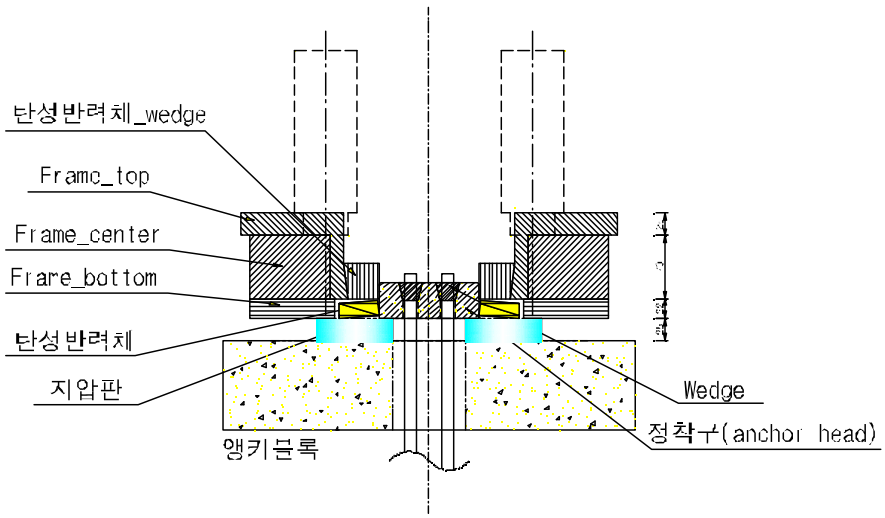
▪ 노후 앵커 긴장력 육안확인장치 설치를 위한 장비의 개념도는 그림 3-126과 같다.



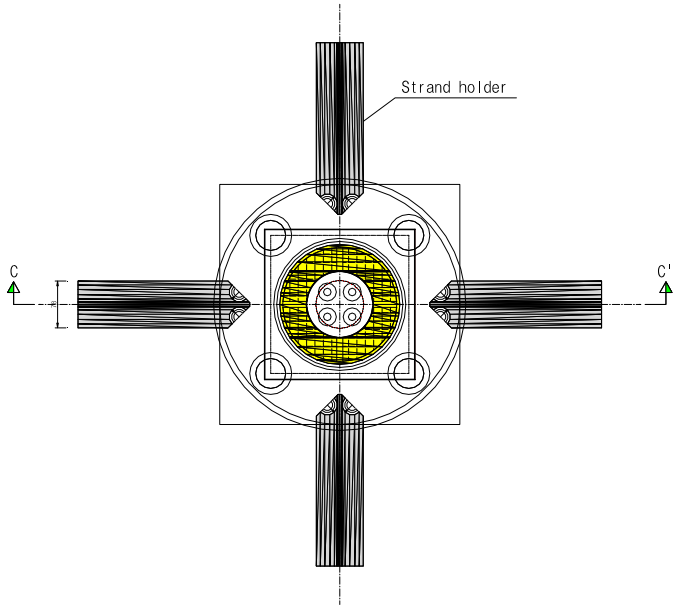
(1) 평면도



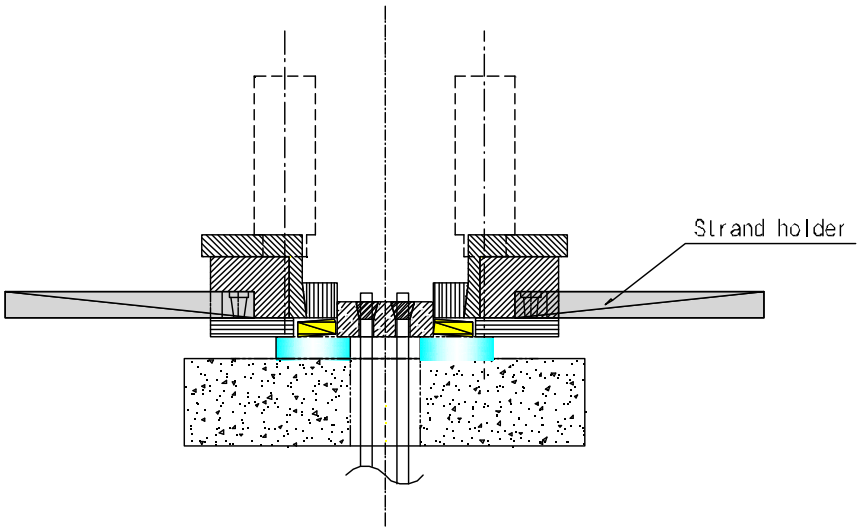
(2) 단 면 A-A'



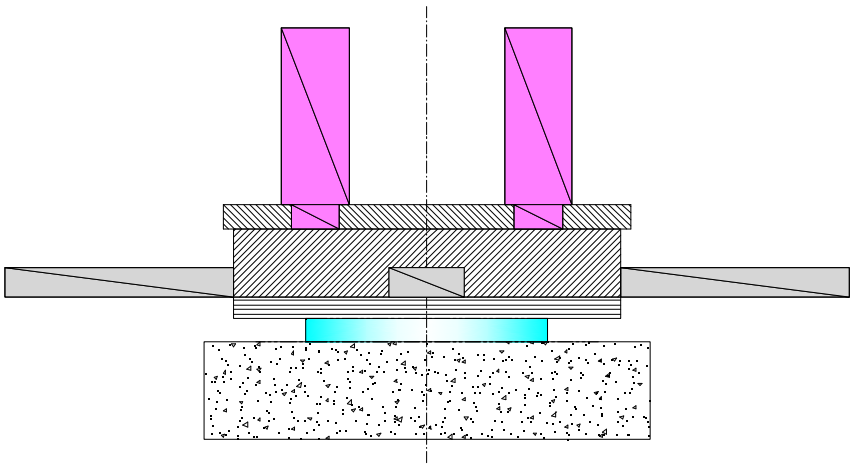
(3) 단 면 B-B'



(4) 강연선 고정장치 포함 평면도



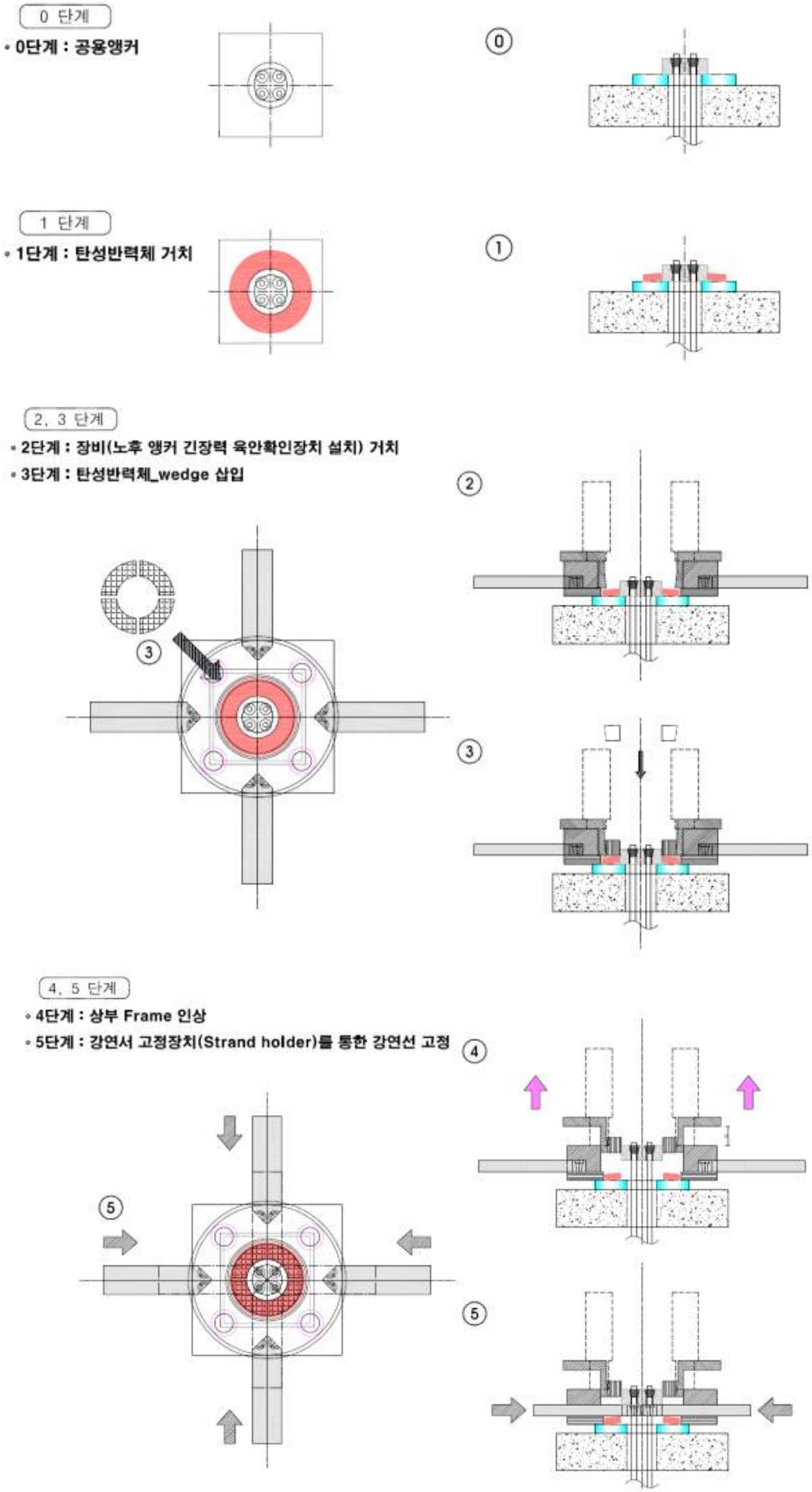
(5) 단 면 C-C'



(6) 측 면 도

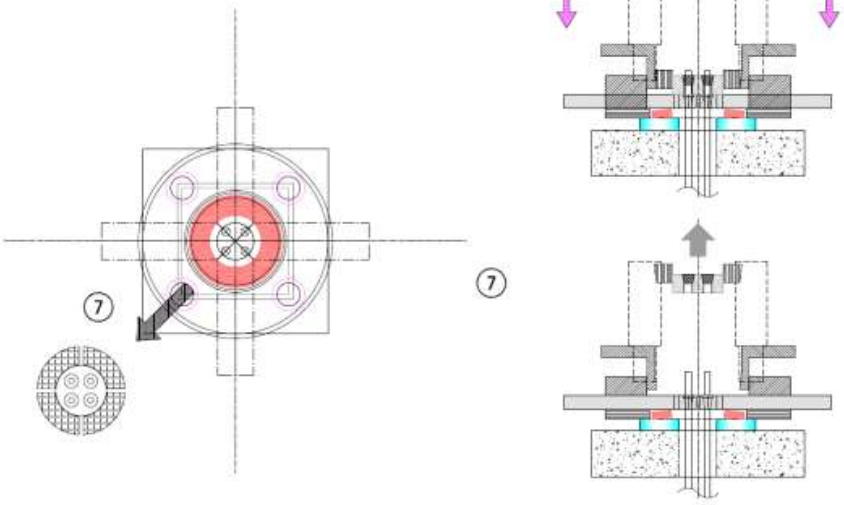
그림 3-126 노후 앵커 긴장력 육안확인장치 설치를 위한 장비 개념도

▪ 노후 앵커 긴장력 육안확인장치 시공순서도는 그림 3-127과 같다.



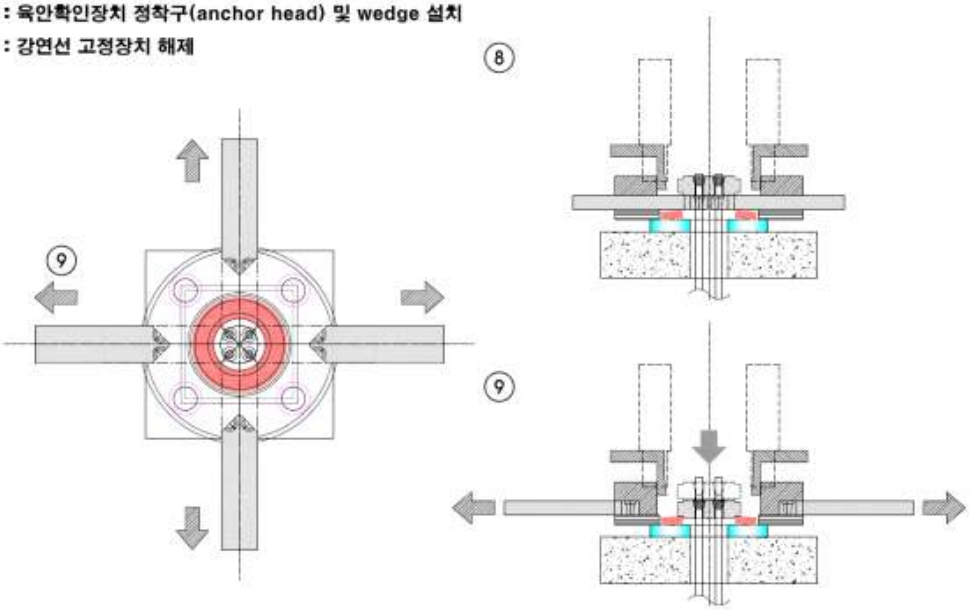
6, 7 단계

- 6단계 : 상부 Frame 10㎜ 하강
- 7단계 : 탄성반력체_wedge, 정착구 wedge, 정착구 분리



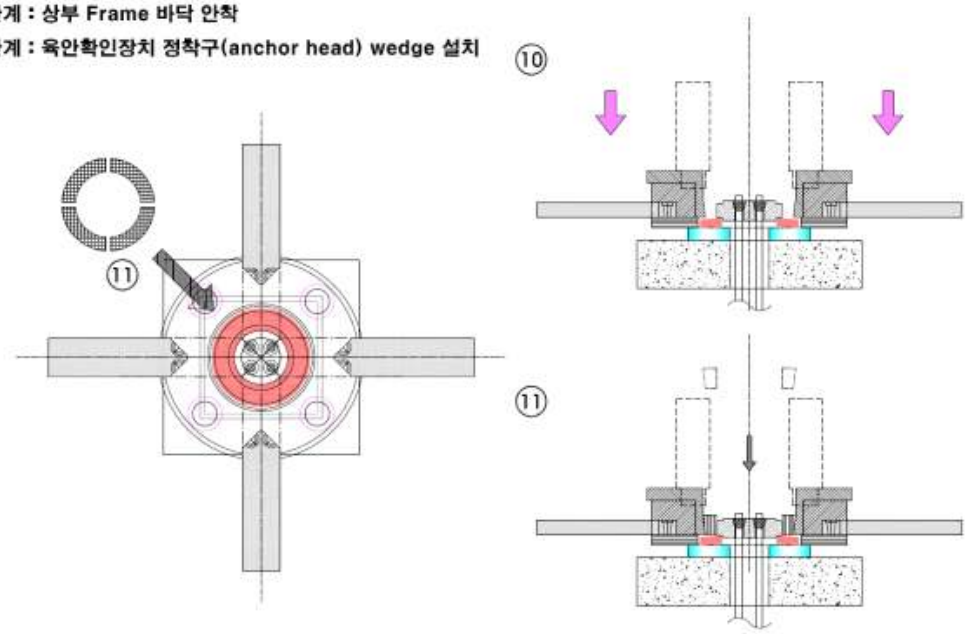
8, 9 단계

- 8단계 : 육안확인장치 정착구(anchor head) 및 wedge 설치
- 9단계 : 강연선 고정장치 해제



10, 11 단계

- 10단계 : 상부 Frame 바닥 안착
- 11단계 : 육안확인장치 정착구(anchor head) wedge 설치



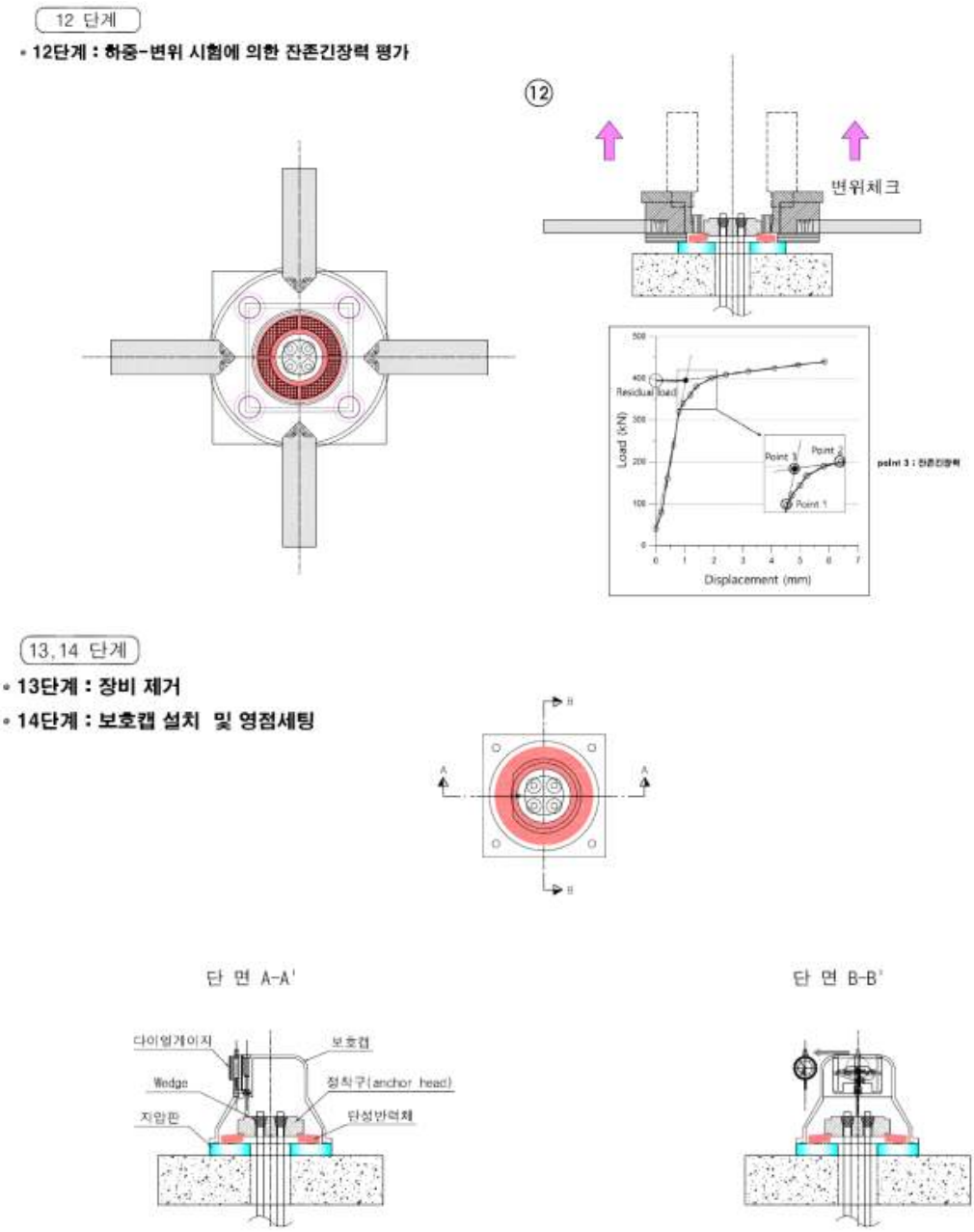
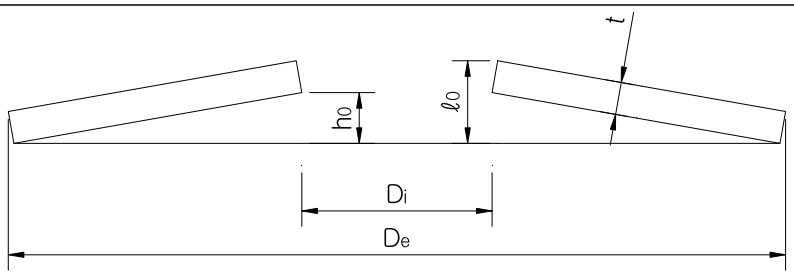


그림 3-127 노후 앵커 긴장력 육안확인장치 시공순서도

③ 노후앵커 긴장력 육안확인장치를 통한 앵커 잔존긴장력 확인 방법

▪ 탄성반력체는 다음의 규격(DIN 2093)을 사용하여야 한다.

[표 3.80] 탄성반력체 규격



규격명	D_e (outer dia.)	D_i (Inner dia.)	t (Thickness)	ℓ_0	h_0 (복원 높이)	0.75F(kN)
Type 2	200	112	16	19.8	3.8	415.73

▪ 노후앵커 잔존긴장력 확인 방법은 다음과 같이 수행한다.

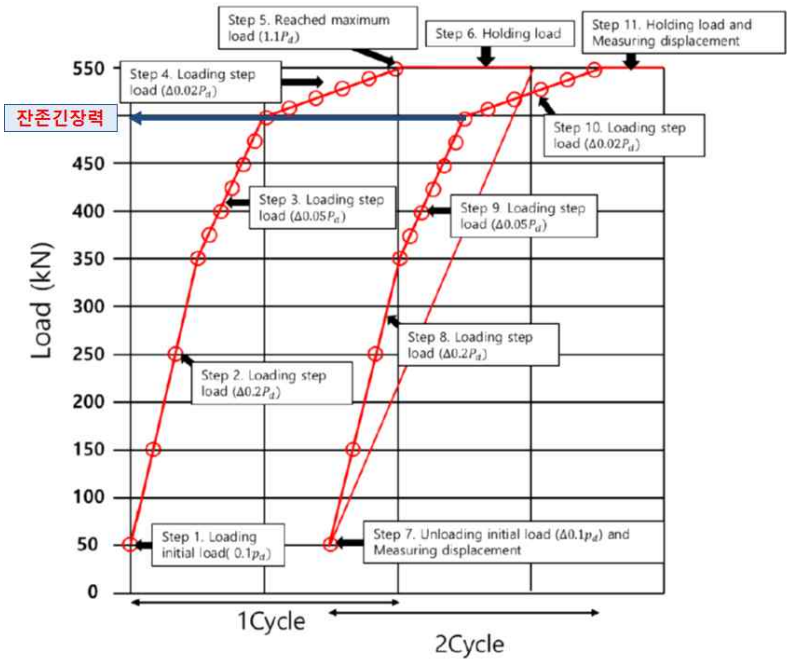


그림 3-128 2cycle 하중-변위량 곡선(예시)

① 노후앵커 긴장력 육안확인장치 시공순서도 12단계 하중-변위 시험에 의한 잔존긴장력 평가

② 2 cycle 하중～변위 곡선의 변곡점을 잔존긴장력으로 한다.

[시험조건]

가. 초기하중은 설계하중의 10% 또는 30~50kN을 적용한다.

나. 초기하중에서 설계하중의 70%, 설계하중의70%～100%, 100%～110%에 해당하는 하중증분은 각각 설계하중의 20%, 5%, 2%로 적용한다.

하중단계	앵커긴장력
$0.10 \times P_d$	초기하중
$0.30 \sim 0.7 \times P_d$	하중작용 직후
$1.00 \sim 1.10 \times P_d$	하중작용 직후
※P_d : 설계하중	

④ 노후 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 시방서

▪ 노후앵커 긴장력 육안확인장치 시방서는 다음을 따른다.

노후앵커 긴장력 육안확인장치 시방서

1. 일반사항

1.1 적용범위

(1) 본 시방은 노후(공용중) 앵커와 관련하여 긴장력 상시 육안확인장치 설치 및 잔존긴장력 확인에 적용한다.

1.2 관련 기준

- DIN 2093 German Industrial Standard, Disc Springs Dimensions and Quality Specifications

1.3 제출문

(1) 시험보고서

2. 재 료

2.1 탄성반력체

(1) 탄성반력체의 규격(DIN 2093)을 따른다.

2.2 장비

2.1.1 인장잭

(1) 인장잭은 노후앵커 긴장력 육안확인장치 설치 및 잔존긴장력을 확인하기 위한 장비를 말한다(노후앵커 긴장력 육안확인장치 장비 개념도 참조).

2.2 정착구

(1) 정착구(anchor head)는 앵커 긴장력 상시 육안확인장치의 소요응력을 구조체에 직접 작용토록 하는 요소로 탄성반력체를 지압판 까지 가이드 할 수 있어야 한다.

2.4 보호캡

(1) 보호캡은 앵커 헤드의 부식 및 외부의 충격에 대하여 충분히 저항할 수 있어야 하며 앵커 긴장력 상시 육안확인장치의 설치가 가능한 보호캡을 사용하여야 한다.

(2) 보호캡은 탄성반력체의 복원량을 직접 측정할 수 있는 다이얼게이지가 장착되어 있어야 한다. 다이얼게이지의 정밀도는 1/100㎜이상 이여야 한다.

2.5 표시패드 및 커버

(1) 표시패드는 앵커의 긴장력 손실을 쉽게 알 수 있도록 나타내는 일종의 알림표시이며, 커버는 표시패드와 변위증폭장치를 외부요인으로부터 보호하는 할을 한다.

(2) 표시패드와 커버는 강재를 사용하며 용융아연도금 또는 착색되어 부식에 대한 저항성을 확보하여야 한다.

2.6 측정 샤프트 및 변위증폭장치

(1) 측정 샤프트는 앵커에 긴장력을 도입한 직후 탄성반력체와 표시패드의 변위를 영점세팅하기 위한 장치이며 변위증폭장치는 긴장력 손실에 의해 발생된 탄성반력체와 헤드의 변위를 레버형식으로 증대시켜 표시패드를 노출시키는 기능을 한다.

(2) 측정 샤프트와 변위증폭장치는 강재를 사용하며 용융아연도금으로 부식에 대한 저항성을 확보하여야 한다.

3. 시 공

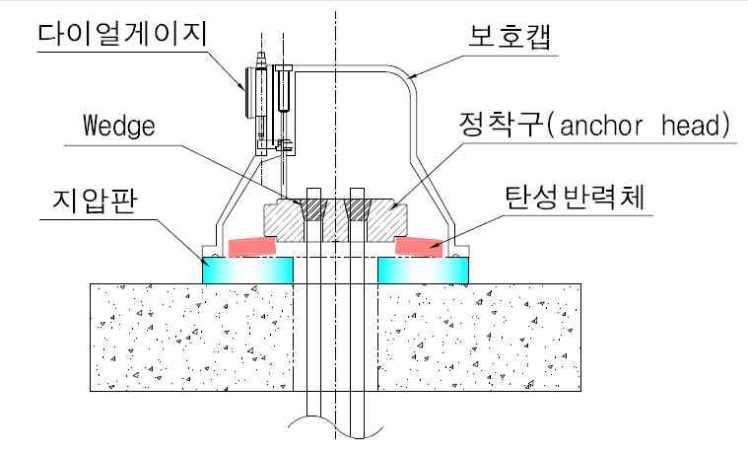
3.1 시공일반

(1) 앵커시공은 먼저 시공계획서를 작성하고, 감독원의 승인을 받아야 한다.

(2) 천공, 앵커의 가공 및 조립, 앵커의 삽입, 그라우트 혼합과 주입은 일반시방서의 기준을 따른다.

3.2 긴장 및 정착작업

(1) 앵커두부(지압판), 탄성반력체, 그리고 정착구(anchor head)의 설치는 그라우트 등에 의해 이물질이 묻지 않도록 하며 시공순서도에 따라 정확하게 시공하여야 한다.



(2) 긴장은 긴장재의 종류에 적합한 잭(Jack)으로 행하며, 설계도서에 표시한 긴장력으로 정착하는 것으로 한다. 또, 한 개의 앵커에 있는 여러 강선을 동시에 긴장하여야 하며, 강선을 각각 긴장해서는 안 된다.

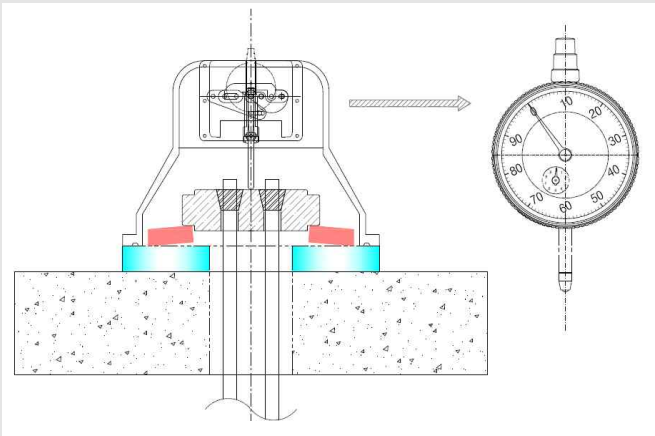
(3) PS 강선의 긴장 시기는 그라우트를 완료하고 설계도서에 명시된 강도를 확인한 후 실시한다.

(4) 앵커 두부면과 PS 강선은 수직을 유지하며 편심에 의한 강선 파단이 없도록 하여야 한다.

(5) 인장잭의 하중계 등 계기는 사전에 품질검사 전문기관에서 검 · 교정을 실시하여 정확한 하중을 측정할 수 있도록 한다.

(6) 긴장 측정기의 압력 및 신장량은 앵커 긴장보고서에 기록하여야 한다.

(7) 보호캡 설치 후 측정 샤프트는 영점세팅을 실시하여야 하고 다이얼게이지는 영점에 맞추어 놓아야 한다. 영점세팅 완료후의 모식도는 다음과 같다.



3.3 리프트오프시험

(1) 노후앵커 긴장력 육안확인장치 설치를 대상으로 하는 앵커는 시공계획서의 작업공정에 명기하고, 리프트오프시험의 판정기준이 효과적으로 얻어지도록 계획하는 것으로 한다.

(2) 리프트오프시험의 하중-변위 곡선은 2사이클 방법을 적용한다.

(3) 시험방법은 특별히 정해진 때를 제외하고 다음과 같이 한다.

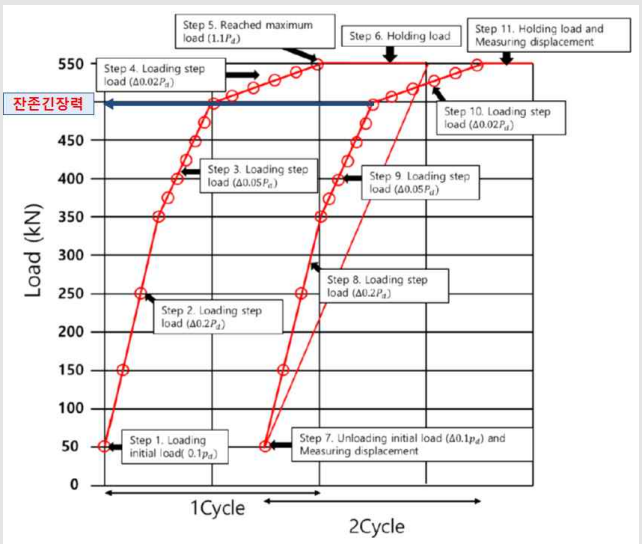
가. 초기하중은 설계하중의 10% 또는 30~50kN을 적용한다.

나. 초기하중에서 설계하중의 70%, 설계하중의 70%~100%, 100%~110%에 해당하는 하중증

분은 각각 설계하중의 20%, 5%, 2%로 적용한다.

하중단계	앵커긴장력 측정	하중단계	앵커긴장력 측정
$0.10\times P_d$	초기하중	$0.95\times P_d$	하중작용 직후
$0.30\times P_d$	하중작용 직후	$1.00\times P_d$	하중작용 직후
$0.50\times P_d$	하중작용 직후	$1.02\times P_d$	하중작용 직후
$0.70\times P_d$	하중작용 직후	$1.04\times P_d$	하중작용 직후
$0.75\times P_d$	하중작용 직후	$1.06\times P_d$	하중작용 직후
$0.80\times P_d$	하중작용 직후	$1.08\times P_d$	하중작용 직후
$0.85\times P_d$	하중작용 직후	$1.10\times P_d$	하중작용 직후
$0.90\times P_d$	하중작용 직후	※ P_d : 설계하중	

다. 하중-변위 곡선이 인장재의 탄성 거동을 보타 정확하게 대표할 수 있는 2사이클의 하중 재하 및 제하방법을 적용한다.



(2) 노후앵커 긴장력 상시육안확인장치 유지관리 가이드라인 제시

① 앵커 긴장력 유지관리에 관한 기준 문헌조사

▪ 앞서 언급한 앵커 긴장력과 관련한 각 기관별 기준 및 지침에서 앵커는 공용기간 동안 긴장력을 관리하도록 하고 있다.

[표 3.81] 운영중 앵커의 긴장력 관리기준

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>그라운드 앵커
설계·시공 및 유지관리
매뉴얼
(2009, 국토해양부)</td><td>▪ 4.2 안전점검_[표4.1 앵커의 하중 증감 허용범위]
- 앵커의 작용하중이 10% 이내에서의 변화는 일반적으로 문제없음
- 10% 이상 저하한 경우 그 원인과 영향을 분석할 것
- 영구 앵커의 긴장력이 20% 이상 증가한 경우는 정밀조사 및 분석으로 향후 비탈면의 정기적 안정성에 대비할 것</td><td></td></tr>
<tr><td>서울지하철
건설계측관리요령
(2003, 서울시)</td><td>▪ 가시설 표준단면별 관리기준 (초기치 축력 기준)
<table><tr><th>구 분</th><th>case1~case8</th><th>case9~case16</th><th>case17~case24</th></tr><tr><td>1차</td><td>±5ton</td><td>±7.5ton</td><td>±10ton</td></tr><tr><td>2차</td><td>±10ton</td><td>±12.5ton</td><td>±15ton</td></tr><tr><td>3차</td><td>±15ton</td><td>±17.5ton</td><td>±20ton</td></tr></table>▪ 현장관리대책
<table><tr><th>구 분</th><th>관리기준</th><th>시공관리 및 대책</th></tr><tr><td>1단계</td><td>1차기준 < 계측치 ≤ 2차기준</td><td>▪ 주변침하, 토류벽체 균열정도
▪ 인접건물의 균열정도
- 대책공의 검토준비</td></tr><tr><td>2단계</td><td>2차기준 < 계측치 ≤ 3차기준</td><td>▪ 현장상황의 점검 및 강화
▪ 대책공의 실시
▪ 관리기준치 검토
▪ 해당구간의 계측기 및 측점 추가</td></tr><tr><td>3단계</td><td>3차기준 < 계측치</td><td>▪ 공사중지, 현장점검
▪ 대책공의 실시결과 검토
▪ 재설계, 대책공실시, 확인</td></tr></table></td><td>2015년
일부
개선</td></tr>
<tr><td>설계실무자료집
(2010, 한국도로공사)
- 흙막이 가시설 -</td><td>▪ 계측관리 기준(허용값)
<table><tr><th>구 분</th><th>앵커 축력</th><th>지중경사</th><th>벽체기울기</th></tr><tr><td>1차 관리기준</td><td>초기치 축력 ±5ton</td><td>0.20%H</td><td>좌 동</td></tr><tr><td>2차 관리기준</td><td>초기치 축력 ±10ton</td><td>0.33%H</td><td>좌 동</td></tr><tr><td>3차 관리기준</td><td>초기치 축력 ±15ton</td><td>0.50%H</td><td>좌 동</td></tr></table>▪ 현장관리대책
<table><tr><th>구 분</th><th>관리기준</th><th>현장관리 방안</th></tr><tr><td>주의</td><td>1차기준 < 계측치 ≤ 2차기준</td><td>▪ 원인분석 및 감독실 보고
▪ 계측기 점검 및 재측정</td></tr><tr><td>경고</td><td>2차기준 < 계측치 ≤ 3차기준</td><td>▪ 원인분석 및 사업단 보고
▪ 보강공법 검토 및 시행
▪ 계측빈도 강화
▪ 계측기 추가설치 검토</td></tr><tr><td>위험</td><td>3차기준 < 계측치</td><td>▪ 공사중지 및 사업단 보고
▪ 후속대책 검토 및 시행</td></tr></table></td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>굴착공사 계측관리 기술지침 (2014, 산업안전보건공단)</td><td>▪ 관리 기준 설정
<table>
<tr><th rowspan="2">구분</th><th rowspan="2">안전/위험의 판정기준값</th><th colspan="3">관리등급</th></tr>
<tr><th>안전</th><th>주의</th><th>위험</th></tr>
<tr><td rowspan="2">축하중 크기</td><td>허용하중</td><td>계측값 < 허용하중</td><td>-</td><td>계측값 > 허용하중</td></tr>
<tr><td>7일 변화하중</td><td>5TON</td><td>5~10TON</td><td>10TON</td></tr>
</table></td><td></td></tr>
</table>

▪ 앵커 긴장력 유지관리에 관한 기준 분석결과, 모든 기관의 앵커 긴장력 관리기준은 50kN ~ 200kN인 것으로 조사되었으며 국토교통부 ‘그라운드 앵커 설계·시공 및 유지관리 매뉴얼’ 에서는 앵커 긴장력을 하중의 범위가 아닌 10% ~ 20%의 범위로 규정하고 있다.

▪ 각 기관별 앵커 긴장력 계측관리 기준은 다음과 같이 요약할 수 있다.

[표 3.82] 기관별 앵커 긴장력 계측관리기준 요약

<table>
<tr><th rowspan="2">구분</th><th colspan="4">기관별 앵커긴장력 관리기준</th></tr>
<tr><th>국토교통부</th><th>서울시</th><th>한국도로공사</th><th>고용노동부</th></tr>
<tr><td>안전
[문제 없음]</td><td>계측치<10%</td><td>계측치<±50kN</td><td>계측치<±50kN</td><td>계측치<±50kN</td></tr>
<tr><td>1단계
[주의]</td><td rowspan="2">10%<계측치≤20%</td><td>±50kN< 계측치 ≤±100kN
±75kN< 계측치 ≤±125kN
±100kN< 계측치 ≤±150kN</td><td>±50kN<계측치≤±100kN</td><td>50kN<계측치≤100kN</td></tr>
<tr><td>2단계
[경고]</td><td>±100kN< 계측치 ≤±150kN
±125kN< 계측치 ≤±175kN
±150kN< 계측치 ≤±200kN</td><td>±100kN<계측치≤±150kN</td><td>-</td></tr>
<tr><td>3단계
[위험]</td><td>계측치 > 20%</td><td>계측치 >±150kN
계측치 >±175kN
계측치 >±200kN</td><td>계측치>±150kN</td><td>계측치>±100kN</td></tr>
</table>

▪ 상기 앵커 긴장력 계측관리 기준을 긴장력 별로 도표화 하면 다음 그림과 같다.

구 분		설계긴장력(kN)																		
		300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1,000	1,050	1,100	1,150	1,200
긴장력 손실율 (%)	2.5%	7.5	8.8	10.0	11.3	12.5	13.8	15.0	16.3	17.5	18.8	20.0	21.3	22.5	23.8	25.0	26.3	27.5	28.8	30.0
	5.0%	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0	52.5	55.0	57.5	60.0
	7.5%	22.5	26.3	30.0	33.8	37.5	41.3	45.0	48.8	52.5	56.3	60.0	63.8	67.5	71.3	75.0	78.8	82.5	86.3	90.0
	10.0%	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0	95.0	100.0	105.0	110.0	115.0	120.0
	12.5%	37.5	43.8	50.0	56.3	62.5	68.8	75.0	81.3	87.5	93.8	100.0	106.3	112.5	118.8	125.0	131.3	137.5	143.8	150.0
	15.0%	45.0	52.5	60.0	67.5	75.0	82.5	90.0	97.5	105.0	112.5	120.0	127.5	135.0	142.5	150.0	157.5	165.0	172.5	180.0
	17.5%	52.5	61.3	70.0	78.8	87.5	96.3	105.0	113.8	122.5	131.3	140.0	148.8	157.5	166.3	175.0	183.8	192.5	201.3	210.0
	20.0%	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	230.0	240.0
	22.5%	67.5	78.8	90.0	101.3	112.5	123.8	135.0	146.3	157.5	168.8	180.0	191.3	202.5	213.8	225.0	236.3	247.5	258.8	270.0
	25.0%	75.0	87.5	100.0	112.5	125.0	137.5	150.0	162.5	175.0	187.5	200.0	212.5	225.0	237.5	250.0	262.5	275.0	287.5	300.0
	27.5%	82.5	96.3	110.0	123.8	137.5	151.3	165.0	178.8	192.5	206.3	220.0	233.8	247.5	261.3	275.0	288.8	302.5	316.3	330.0
	30.0%	90.0	105.0	120.0	135.0	150.0	165.0	180.0	195.0	210.0	225.0	240.0	255.0	270.0	285.0	300.0	315.0	330.0	345.0	360.0

- 국토교통부 앵커긴장력 관리기준

: 앵커 작용하중 10% 이내 [안전]

: 10%< 앵커 작용하중 ≤20% [주의 & 경계]

: 앵커 작용하중 > 20% 3단계[위험]

- 타기관 앵커긴장력 관리기준

안전

고용노동부 한계선

한국도로공사 한계선

서울시 한계선

그림 3-129 앵커 긴장력 예시를 통한 계측관리 기준 비교표

▪ 앵커 긴장력 예시를 통한 계측관리 기준 비교표에서 보는바와 같이 긴장력 손실에 따른 관리기준을 정량적으로 제시할 경우에 앵커의 설계 긴장력에 따라 그 범위가 크게 변화하는 것으로 검토되었다.

▪ 이는 유지관리시 관리자 및 점검기술자에게 혼돈을 초래할 수 있어 본 연구에서는 앵커 긴장력 유지관리시 관리기준을 설계긴장력 대비 손실률로 제시하고자 한다.

② 앵커 긴장력 관리기준(안)

▪ 국내외 앵커의 설계·시공 지침에서는 앵커의 긴장력 모니터링 및 증감에 따른 재긴장, 앵커의 추가 시공 또는 긴장력 완화 등에 대한 적절한 대책을 강구하도록 하고 있다.

▪ 앞서 설명한 바와같이, 앵커 긴장력 관리기준을 정량적인 손실량으로 제시할 경우 관리자 및 점검기술자에게 혼돈을 초래할 수 있다.

▪ 이에 국토부에서 제시하고 있는 설계긴장력 대비 손실율로 관리기준을 다음 표와 같이 제안한다.

▪ 다만, 1차, 3차 관리기준 사이 설계긴장력의 10%~15% 구간을 추가하여 관리자로 하여금 점검시기 및 점검항목 등을 추가할 수 있도록 하였다.

[표 3.83] 앵커 긴장력 관리기준(안)

구 분	등 급	손실량	관리기준 (설계긴장력 기준)	비 고
안 전	안 전	10% 이내	표시패드 노출량 ≤ 10%	
1 단 계	주 의	10% ~ 15%	10% < 표시패드 노출량 ≤ 15%	신 설
2 단 계	경 고	15% ~ 20%	15% < 표시패드 노출량 ≤ 20%	
3 단 계	위 험	20% 이상	20% < 표시패드 노출량	보강대책 수립

3.2 연구성과

(1) 특허

① 영구 앵커의 인장력 원격 측정이 가능한 휴대용 전자표시 측정장치(출원 1건, 등록 1건)

- 특허 출원 번호 : 제 10-2017-0101806 호
- 특허 출원 일자 : 2017년 08월 10일
- 특허 등록 번호 : 제 10-1844256 호
- 특허 등록 일자 : 2018년 03월 27일

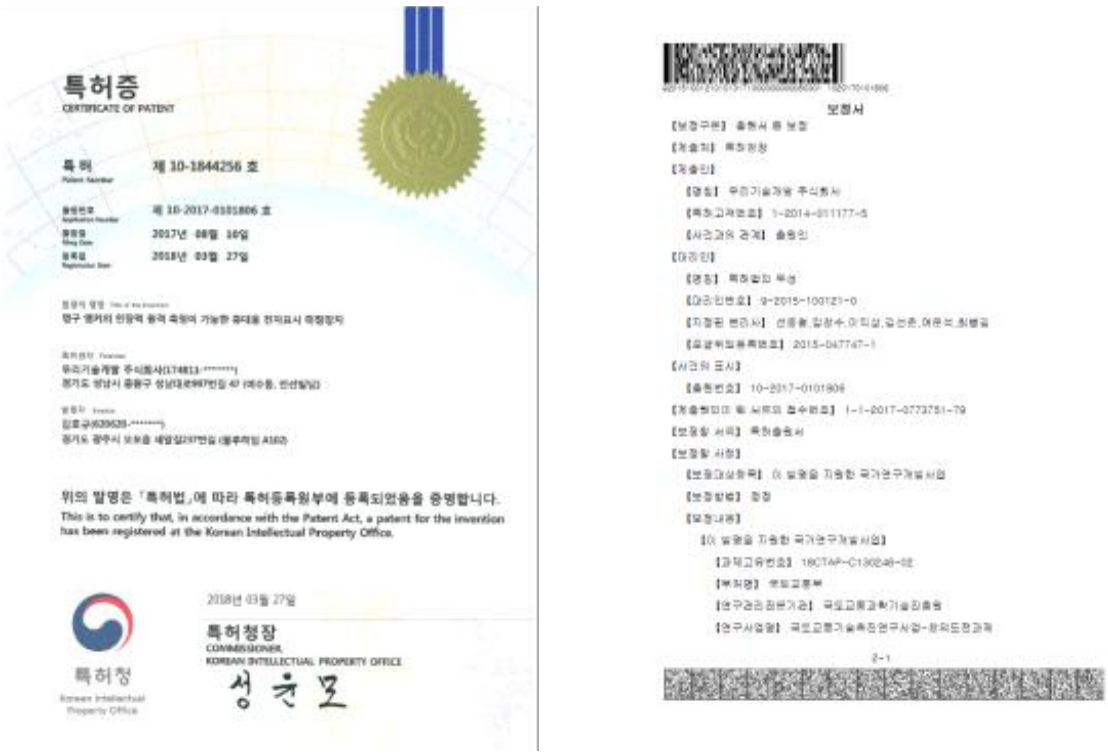


그림 3-130 영구 앵커의 인장력 원격 측정이 가능한 휴대용 전자표시 측정장치

② 긴장력 육안 확인이 가능한 앵커 장치 및 그 시공 방법(등록 1건, 국제출원 1건)

- 특허 등록 번호 : 제 10-1835831 호
- 특허 등록 일자 : 2018년 02월 28일
- 특허 국제출원 번호 : PCT/KR2018/009319
- 특허 국제출원 일자 : 2018년 08월 14일



그림 3-131 긴장력 육안 확인이 가능한 앵커 장치 및 그 시공 방법

③ 연약지반 보강장치 보수 시공 방법(출원 1건, 등록 심사중)

- 특허 출원 번호 : 10-2019-0101041
- 특허 출원 일자 : 2019.08.19.


관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2019.08.19
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(256)
출 원 번 호	10-2019-0101041 (접수번호 1-1-2019-0847173-26)
출원인 명칭	우리기술개발 주식회사(1-2014-011177-5)
대 리 인 성 명	고영갑(9-2006-000893-6)
발 명 자 성 명	이용주 정혁상 김호규 오동욱 윤환희 성호현
발 명 의 명 칭	연약지반 보강장치 보수 시공 방법

그림 3-132 연약지반 보강장치 보수 시공 방법

(2) 논문

① 앵커 긴장력 상시확인을 위한 육안확인장치 개발

- 학술지 : 한국암반공학회 (터널 및 지하공간)
- 게재일 : 2018년 10월 23일
- TUNNEL & UNDERGROUND SPACE Vol.28, No.5, 2018, pp.493-511
- ISSN(Print): 1225-1275
- ISSN(Online): 2287-1748

② 수치해석을 통한 지진하중의 주기특성에 따른 그라운드 앵커의 거동

- 학술지 : 한국암반공학회 (터널 및 지하공간)
- 게재일 : 2018년 12월 24일
- TUNNEL & UNDERGROUND SPACE Vol.28, No.5, 2018, pp.493-511
- ISSN(Print): 1225-1275
- ISSN(Online): 2287-1748

(3) 시제품 제작

① 앵커 긴장력 상시 육안확인장치

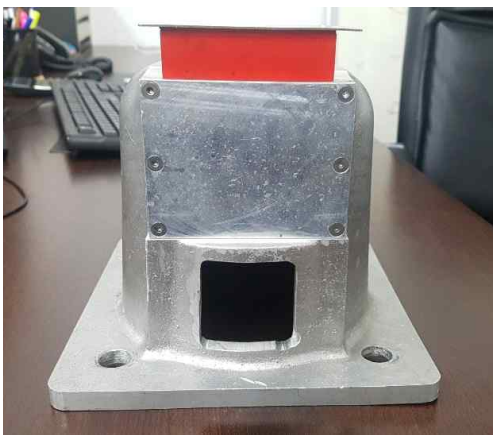


그림 3-133 앵커 긴장력 상시 육안확인장치

② 신설 앵커 긴장력 상시 육안확인장치



(a) 레버식 육안확인장치



(b) 다이얼 게이지식 육안확인장치

그림 3-134 신설 앵커 육안확인장치 시제품

③ 노후 앵커 긴장력 재인장 장비



그림 3-135 노후 앵커 재인장 장비

(4) 건설신기술을 위한 육안확인장치 현장 실험 및 적용

① 동양대학교 Test-bed



(a) 육안확인장치 설치(옹벽구간)



(b) 육안확인장치 설치(수직구간)



(c) 육안확인장치 장기계측-1



(d) 육안확인장치 장기계측-2

그림 3-136 동양대학교 Test-bed 적용

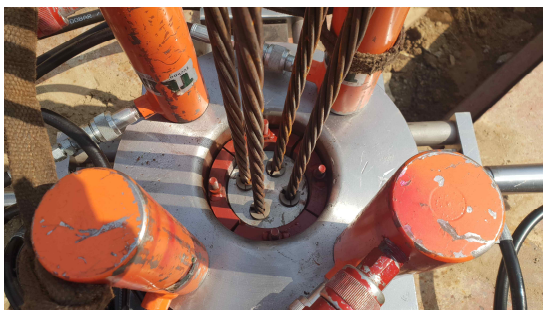
② 그라운드 이엔씨 Test-bed



(a) 탄성반력체 설치



(b) 재인장 장비 설치



(c) 재인장 지그 설치



(d) 재인장

그림 3-137 그라운드 이엔씨 Test-bed 적용

③ 굴티재



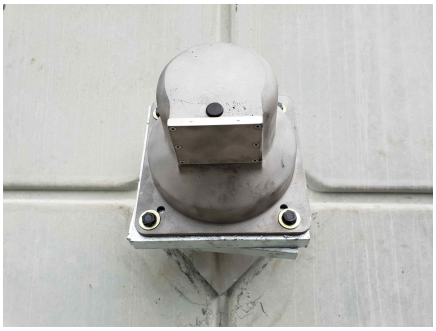
(a) 탄성반력체 설치



(b) 인장



(c) 영점세팅



(d) 육안확인장치 설치

그림 3-138 굴티재 위험도로 현장 적용

④ 삼척 (포스코)





그림 3-139 삼척 화력발전소 현장 적용

⑤ 양산 (한국도로공사)





그림 3-140 한국도로공사 현장 적용

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

(1) 연구개발의 최종 목표

구 분	내 용
최종 목표	신설 및 노후 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 개발
세부 목표	■ 앵커 육안확인장치 및 시스템 개발 ■ 앵커 육안확인장치의 탄성반력체 규격화 ■ 육안확인장치 현장실험 및 검증 ■ 육안확인장치 적용을 위한 설계기법 및 가이드라인 개발 ■ 유지관리지침 개발 ■ 건설신기술 작성 및 신청 ■ 실용화 및 사업화

(2) 연구개발의 목표 및 내용

가. 1차 연도

☞ 개발 목표 : 앵커 육안확인장치 개발을 위한 기초 연구

- 탄성반력체 종류 분석 → 탄성반력체로 사용될 수 있는 탄성반력체 종류 10건 분석
- 탄성반력체 인터페이스 분석 → 문헌조사를 통한 탄성반력체 인터페이스 종류 분석
- 육안확인장치 개념 설계 → 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 개념설계 총 12단계 제시
- 특허 출원 → 앵커 긴장력 상시 육안확인장치에 대한 특허 출원 및 등록
- 사전 원가분석 → LCC 분석을 위한 앵커 긴장력 상시 육안확인장치의 사전원가 분석
- 앵커 육안확인장치 설계기법 개발을 위한 기초 연구 → 설계기법 개발을 위한 문헌연구
- 국내외 앵커의 설계·시공 지침 관련 문헌조사 → 기존 유지관리 지침 분석
- 현장적용성 검증을 위한 Test-bed 설계 → 육안확인장치의 현장시험을 위한 Test-bed 설계
- 분석 항목 도출 → 실내실험 및 현장시험을 통한 분석 항목 도출
- 앵커 긴장력 손실에 대한 국내외 피해사례 조사 → 문헌조사를 통한 피해사례 10건 분석
- 앵커력 손실 원인 분석 → 문헌조사를 통한 앵커 긴장력 손실 원인 10건 분석

나. 2차 연도

☞ 개발 목표 : 신설 앵커 육안확인장치 개발 및 검증

- 실내모형실험기 설계 및 제작 → 육안확인장치 규격화를 위한 실내모형실험기 제작
- 신설 앵커 육안확인장치 규격화 → 실내실험을 통한 육안확인장치 규격화 및 결과값 제시
- 신설 앵커 육안확인장치 적용성 평가 → 실내실험 결과분석을 통한 적용성 평가
- 개념설계 → 신설 앵커 육안확인장치 개념설계 12단계 제시
- 시제품 제작 → 신설 앵커 육안확인장치 시제품 제작
- LCC 분석 → 신설 앵커 육안확인장치 LCC 분석을 통한 경제적 효과 제시
- 공인기관 검증 → 공인인증 기관의 입회시험 하 육안확인장치의 성능 검증 성적서 제시
- 설계기법 개발 → 신설 앵커 육안확인장치의 설계기법 제시
- 설계 가이드라인 제시 → 설계 및 설치 가이드라인 제시

■ 상세도면 작성 → 상세도면 제시
■ 단계별 디지털 Mock-Up → 신설 앵커 육안확인장치 디지털 슬라이드 제시
■ 실대형 실험을 통한 거동 분석 → Test-bed 구축 후 실대형 실험을 통한 거동분석
■ 현장시험 및 개선사항 → 신설 앵커 육안확인장치의 현장시험 후 개선사항 도출 및 개선
■ 공인인증기관 검증 → 공인인증 기관의 입회시험 하 탄성반력체의 성능 검증 성적서 제시
■ 구조적 안정성 검토 → 수치해석을 통한 탄성반력체 구조적 안정성 검토
■ 설계법 제시를 위한 현장시험 결과 분석 및 수치해석 → 수치해석을 통한 현장시험 결과분석

다. 3차 연도

☞ 개발 목표 : 노후 앵커 육안확인장치 개발 및 검증

■ 기존 앵커 두부 정착방식 조사 → 문헌조사를 통한 앵커 두부 정착방식 10건 조사
■ 노후 앵커 육안확인장치 규격화 → 실내실험을 통한 노후 앵커 육안확인장치 규격화
■ 노후 앵커 육안확인장치 적용성 평가 → 실내실험 결과분석을 통한 적용성 평가
■ 개념설계 → 노후 앵커 육안확인장치 개념설계 제시
■ 시제품 제작 → 노후 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 시공장비 제작
■ LCC분석 → LCC분석을 통한 노후 앵커 육안확인장치 경제성 분석
■ 특허 출원 → 노후 앵커 육안확인장치 시공 방법에 대한 특허 출원
■ 설계기법 개발 → 노후 앵커 육안확인장치의 설계기법 제시
■ 설계 가이드라인 제시 → 설계 및 설치 가이드라인 제시
■ 상세도면 작성 → 상세도면 제시
■ 단계별 디지털 Mock-Up → 노후 앵커 육안확인장치 디지털 슬라이드 제시
■ 실대형 실험을 통한 거동 분석 → Test-bed 구축 후 실대형 실험을 통한 거동분석
■ 현장시험 및 개선사항 → 노후 앵커 육안확인장치의 현장시험 후 개선사항 도출 및 개선
■ 구조적 안정성 검토 → 수치해석을 통한 노후앵커 구조적 안정성 검토
■ 현장시험 결과 분석 및 수치해석 → 수치해석을 통한 현장시험 결과분석

2. 관련 분야 기여도

○ 앵커공법은 80년대 국내에 도입된 이후 많은 건설현장에서 사용되어 왔지만, 초기에 시공된 앵커의 경우 당시의 낙후된 시공기술이나 방식기술로 시공되었기 때문에, 공용기간이 장시간 지나면서 앵커 인장재의 파단이나 앵커두부의 돌출, 비탈면·구조물 등의 변형·손상 문제가 발생하고 있으며, 앵커로 안정성을 확보하고 있는 공용 구조물 파손이라는 2차 피해로 직결되고 있다.

○ 그럼에도 불구하고, 2년 이상 사용가능하도록 방부식 처리를 한 영구앵커가 적용된 비탈면 및 구조물은 영구구조물로 취급되어 일상점검의 대상이 되지 않고 있다. 공용개시 후, 지속적으로 앵커의 긴장력을 계측하기 위해서 앵커두부에 하중계(Load cell)이 설치되는 경우가 있지만, 이는 실외에 설치하므로 환경적 요인으로 인하여 5~10년 이후에는 그로부터 수집되는 정보의 신뢰도가 현저히 떨어진다.

○ 또한 구조물에 적용된 앵커의 전체 수량에 적용하기에는 비용적 측면의 문제가 발생하여 전체 수량의 약 5% 이내에만 설치하고 있어 장기간에 걸쳐 앵커의 안정성을 구조물의 안정성과 연관지어 구조물 사용수명을 연장할 수 있는 관계를 정립하기에는 무리가 따른다.

○ 현재 앵커의 정밀안전진단과 대책분야에 대해 많은 기업에서 연구개발을 진행하고 있지만 앞으로 더욱더 발전해야할 필요가 있다. 또한 앵커의 잔존긴장력을 확인을 통해 설계긴장력과 증감이 있는

경우 비탈면·구조물 전체의 안정성을 평가하는 기술의 개발이 필요하다고 판단된다. 또 일부 앵커만 기능이 저하했을 때는 이것을 모두 교체해야 할지 여부와 비탈면 전체의 안정성을 평가하여 적절한 대응이 가능한지를 평가하는 것이 필요하다.

○ 이러한 기술들은 앵커의 잔존긴장력을 쉽게 측정할 수 있는 기술이 초석이 되어 발전할 수 있으며, 본 연구개발을 통해 개발될 신설/공용 앵커 긴장력 상시 육안확인장치 및 재긴장장치가 그 역할을 할 수 있을 것이다.

3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

○ 현재 앵커 긴장력 상시 육안확인장치의 핵심 부품인 탄성반력체는 국외 재료의 탄성반력체를 사용하고 있다. 기존 그라운드 앵커의 잔존긴장력 확인 방법으로 시행되고 있는 하중계 설치 또는 리프트 오프 시험과 비교하여 육안확인장치는 300개소 기준 내용연수 10년 일 때 약 64%의 비용절감 효과가 있지만 탄성반력체의 국산화가 이루어 진다면 유지관리 비용을 크게 감소시킬 수 있다.

○ 그러나 현재 국외 탄성반력체와 동일한 재료의 경우 국내에서 단가 협상에 있어 예상 수요량 산정에 어려움 따르며, 열처리 과정 또한 국외와 상이하여 육안확인장치에 적용하기 위한 하중수용력과 복원력을 기대하는 것에 어려움이 있다.

○ 이러한 이유로 앵커 긴장력 상시 육안확인장치의 핵심 부품 탄성반력체의 국산화는 매우 중요한 과제이며, 국내외 시장조사를 통해 탄성반력체의 국산화를 위한 지속적인 후속연구가 필요할 것으로 사료된다.

제5장. 연구개발성과의 활용계획

○ 신설 및 노후 앵커의 하중손실 여부의 확인을 중장비 및 시험장치를 사용하지 않고 육안확인장치를 이용할 경우 경제적일 뿐만 아니라 실시간 확인이 가능하다. 그 결과 사면의 위험성을 조기에 판단할 수 있으며 즉각적인 조치가 가능하다.

○ 국내외적으로 다양한 앵커체 및 시공기술로 수많은 현장에 앵커가 시공되어 있다. 육안확인장치의 안정성과 비용 절감 효과를 객관적으로 입증한 후 이를 바탕으로 건설시장의 세계화 속에서 해외 건설시장의 지출규모를 확대시킬 수 있는 기회를 제공한다.

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

제7장. 연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		■
결정 사유		

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

□ 기술적 위험요소 분석
◦ 현장조사 및 현장계측 시 위험요소
- 장비 운반 및 운용에 따른 위험요소
- 야간작업으로 인한 작업자 피로누적 및 인지능력 저하

□ 장시간 실내실험에 따른 위험요소
◦ 연구자 피로누적 및 인지능력 저하
◦ 장시간 작동으로 인한 시험기 오작동

□ 안전관리대책
◦ 연구실 안전점검 정기적 실시
- 연구실의 기능 및 안전을 유지 관리하기 위하여 안전점검지침에 따라 연구실에 관한 안전점검을 정기적으로 실시
◦ 참여 연구원의 안전관련 교육훈련 시행
- 산업안전보건법 제31조 (안전보건교육) 및 연구실 안전환경조성에 관한 법률 제 18조에 의거, 전 직원에 대한 안전보건교육을 매달 실시. 교육 방법은 모든 직원에 대한 자체교육(2시간)을 실시하고, 안전보건교육 일지를 작성하여 관리
◦ 연구실 안전 확보 계획
- 참여 연구원들이 안전관련 각종 법규, 규정 및 지침을 준수하도록 하며, 요구되는 안전교육 및 훈련 실시
- 실험에 관련된 위험 정보를 숙지하고 적절한 개인 보호 장비 착용 실험실에 노출된 위험을 안전관리책임자에게 보고
- 연구실의 잠재되어 있는 위험성 발견 및 위험물질과 각종 실험장비 등 사용에 따른 안전수칙이 잘 이행될 수 있도록 지도점검 및 교육

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	특허	영구 앵커의 인장력 원격 측정이 가능한 휴대용 전자표시 측정장치	우리기술개발(주)		대한민국		2018.03.27	○	
2	특허	긴장력 육안 확인이 가능한 앵커 장치 및 그 시공 방법	동양대학교 외 4개 기관		대한민국		2018.02.28	○	
3	특허	연약지반 보강장치 보수 시공 방법	우리기술개발(주)		대한민국		2019.08.19. (출원)	○	
4	논문	앵커 긴장력 상시확인을 위한 육안확인장치 개발	동양대학교		터널 및 지하공간		2018.10.23	○	
5	논문	수치해석을 통한 지진하중의 주기특성에 따른 그라운드 앵커의 거동	서울과학기술대학교		터널 및 지하공간		2018.12.24	○	

제11장. 기타 사항

제12장. 참고 문헌

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.