건설기술혁신사업 최종보고서

R&D / 06건설핵심 C12

펄스파워를 이용한 확공형 앵커공법 개발

2010. 3. 2.

주관연구기관 / (주)대우건설
협동연구기관 한국시설안전기술공단
/ (주)세원리타
위탁연구기관 / 한국과학기술원
/ 성균관대학교
참 여 기 업 / 서정엔지니어링(주)
/ (주)코리아에스이
/ (주)삼우기초기술

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

Land Transpot and Maritime R&D Report

제 출 문

건설교통부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 “펄스파워를 이용한 확공형 앵커공법 개발”의 최종보고서로 제출합니다.

2010. 3. 2.

주관연구기관 : (주)대우건설
대표이사 서 종 욱
협동연구기관 : 한국시설안전기술공단
이사장 신 방 웅
협동연구기관 : (주)세원리타
대표이사 정 규 점
위탁연구기관 : 한국과학기술원
서 남 표
위탁연구기관 : 성균관대학교산학협력단
이 영 관
참 여 기 업 : 서정엔지니어링(주)
이 승 련
참 여 기 업 : (주)코리아에스이
남 홍 기
참 여 기 업 : (주)삼우기초기술
김 정 렬

■ 총 괄 연 구 책 임 자	/ 선임연구원	김 태 훈	연구총괄
■ 주관연구기관 참여연구원	/ 전문위원	김 영 진	앵커확공분석
(주)대우건설	/ 선임연구원	차 경 섭	앵커확공분석
	/ 선임연구원	김 경 오	실 험
	/ 전임연구원	김 선 주	실 험
■ 협동연구기관 참여연구원	/ 부 장	장 범 수	앵커체중 구조분야 자료분석
한국시설안전기술공단	/ 부 장	유 동 우	앵커체중 구조분야 자료분석
	/ 부 장	정 수 형	앵커체중 지반분야 자료분석
	/ 차 장	이 종 우	앵커체중 구조분야 자료분석
	/ 차 장	최 욱	앵커체중 구조분야 자료분석
	/ 차 장	김 보 헌	앵커체중 구조분야 자료분석
	/ 차 장	손 해 성	앵커체중 지반분야 자료분석
■ 협동연구기관 참여연구원	/ 전 무	강 금 식	펄스전달 메커니즘
(주)세원리타	/ 과 장	김 재 형	장치개발
	/ 과 장	조 규 연	장치개발
■ 위탁연구기관 참여연구원	/ 교 수	이 승 래	지반해석
한국과학기술원	/ 박사과정	박 현 구	지반해석
	박사과정	Ta, X.H	자료조사
■ 위탁연구기관 참여연구원	/ 교 수	김 낙 경	확공앵커 설계
성균관대학교	/ 박사과정	김 성 규	확공앵커 실험
	/ 박사과정	주 용 선	확공앵커 설계
	/ 석사과정	윤 승 권	확공앵커 설계
	/ 석사과정	김 재 원	확공앵커 설계
	/ 석사과정	김 웅 진	확공앵커 설계
■ 참 여 기 업 참여연구원	/ 부 장	양 재 혁	앵커설계
서정엔지니어링(주)	/ 과 장	문 영 민	앵커설계
	/ 사 원	이 동 원	앵커설계
■ 참 여 기 업 참여연구원	/ 대 표 이 사	남 홍 기	앵커설계, 시공
(주)코리아에스이	/ 부 장	김 석 훈	앵커설계, 시공
	/ 차 장	정 홍 섭	앵커설계, 시공
■ 참 여 기 업 참여연구원	/ 과 장	정 종 기	앵커설계, 계측
(주)삼우기초기술	/ 사 원	박 대 웅	앵커설계, 계측

요 약 문

I. 제목

펄스파워를 이용한 확공형 앵커공법 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

그라운드 앵커공법은 고강도의 강재에 높은 긴장력을 도입하여 횡 또는 연직방향으로 구조물을 지반에 구속시켜 구조물 또는 주변지반의 변형을 억제하기 위해 이용되는 공법으로 탁월한 안정성 및 작업 공간 활용을 극대화 할 수 있다는 앵커 공법의 장점 때문에 대규모의 흙막이 공법 또는 사면 보강공법으로 자주 사용되고 있다.

그러나 이러한 장점에도 불구하고 지반이 연약할 경우에는 앵커와 지반 사이 주면마찰저항이 적어 소정의 앵커력을 확보하지 못하여 앵커 간격을 좁히거나 앵커 자유장을 연장하여 비교적 단단한 지반에 정착시키고 있으며, 타 공법으로 변경되는 사례도 빈번하게 발생하고 있다. 국내외적으로 연약지반에서 보다 큰 극한인발력을 확보하기 위한 방법으로 앵커 두부에서 가해지는 하중을 정착장내 여러 곳에 분산시킬 수 있는 하중분산압축형 앵커체가 개발되어 시공되고 있으며, JSP 그라우팅 공법과 앵커공법을 접목시킨 앵커공법, 팩커를 이용한 가압그라우팅 공법 등 다양한 방법들이 시도되고 있으나 그 효과가 크지 않아 기존 무압그라우팅 앵커공법에서 얻어진 극한인발력을 크게 개선시키지 못하고 있는 실정이다.

한편 앵커 설계방법이나 시공절차를 명확하게 규정하고 있는 기관이나 연구 성과가 없어 앵커 설계 및 시공 시 AASHTO(1990), BSI(1996) 및 일본그라운드앵커협회 등에서 제시하고 있는 규정들을 따르고 있는 실정이다.

따라서 이 연구에서는 전기공학의 펄스파워 기술을 토목공학의 앵커공법을 접목시켜 토사지반을 확공 및 다짐에 의하여 주면마찰력과 지압력을 증대시킨 복합형 앵커공법을 개발하고자 한다. 또한, 국내·외의 설계·시공자료를 이용하여 앵커설계, 시공 및 유지관리 지침을 개발하고자 하였다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

1. 펄스압에 의한 확공특성 규명

(1) 펄스압에 따른 지반별 확공률 규명

- 펄스압에 따른 지반변형에 대한 문헌연구
- 펄스압에 따른 지반확공 영향인자 연구
- 모형시험 및 실대형시험을 통한 확공형상 및 확공율 분석

(2) 수치해석을 통한 지반확공 특성 분석

- 펄스 방전에 의한 충격파의 정량적 예측
- 실내 펄스 방전 실험에 대한 시뮬레이션 및 해석 모델의 적절성 검토
- 유체-구조물 연동 해석을 기반으로 한 지반 확공 현상 시뮬레이션
- 점성토와 사질토의 거동 특성을 고려한 시뮬레이션 방안 도출
- 매개변수 해석 수행 및 현장 시험과의 비교/검토 수행

2. 확공형 앵커의 인발파괴 메커니즘 규명 및 설계식 개발

(1) 문헌연구 및 예비실내모형실험

- 문헌연구를 통해 다양한 앵커의 극한인발력 산정식 조사
- 다구근 확공형 앵커 극한인발력에 영향을 주는 인자 조사
- 실내 모형 시험을 통해 중간조밀의 사질토 지반에서 직선 샤프트형 모형앵커와 확공형 모형앵커의 극한인발력을 비교(예비시험)

(2) 모형 및 실대형시험을 통한 확공형 앵커의 인발거동특성 분석 및 설계식 제안

- 모형실험을 통해 직선 샤프트형 앵커 및 다구근 확공형 앵커 극한인발력 증대효과 규명
- 모형실험을 통해 확공형 앵커의 확공비, 확공개수 및 확공형상 등에 따른 극한인발력 효과 비교분석
- 모형시험 및 실대형 시험결과로부터 확공형 앵커의 극한인발력 산정식 제안

(3) 수치해석 통한 펄스앵커의 인발저항력 예측

- 확공 형상을 고려한 앵커 인발 해석
- 펄스 방전 후 지반상태를 고려한 앵커 인발 해석
- 점성토 및 사질토에 대한 매개변수 해석

(4) 현장인발시험을 통한 극한하중산정 설계식 완성

- 현장시험결과로부터 확공형 앵커의 극한인발력 산정식 개발
- 각 지반에서 앵커의 크리프 특성 파악
- 각 지반에서 앵커의 장기거동 특성 파악

3. 펄스방전 메커니즘 규명 및 펄스방전 시스템 개발

(1) 펄스방전 메커니즘 규명

- 펄스압에 관한 영향인자 이론연구
- 모형실험을 통한 펄스방전, 펄스파, 매질 등에 따른 펄스압 규명
- 모형실험을 통한 위치와 거리에 따른 펄스 압력 및 전기적 성질을 측정, 공법 효율성 파악

(2) 펄스방전 시스템 개발

- 전기적 에너지의 손실을 최소화하는 펄스방전전용 동축케이블 개발
- 시공성 개선을 위한 선단장치 개발
- 펄스발생장치 개발
- 그라우트 주입재료 개발

4. 앵커 설계, 시공 및 유지관리 지침 개발

(1) 앵커 설계, 시공 및 유지관리 지침 도출을 위한 연구

- 유지관리 중심의 지침안 연구
- 설계 중심의 지침안 연구
- 시공 중심의 지침안 연구
- 국내외 앵커보강 시설물의 유지관리 실태 및 주요 결함 사항 도출

(2) 앵커의 설계, 시공, 유지관리 지침 개발

- 일본 그라운드 앵커 유지관리 매뉴얼
- 그라운드 앵커 설계, 시공, 유기관리 지침(안)
- 펄스앵커공법의 설계, 시공 지침(안)

Ⅳ. 연구개발 결과

1. 펄스압에 의한 확공특성 규명

(1) 모형시험

- 구근의 형상 및 크기

상대밀도 40%, 60%에 대하여 방전횟수를 달리하면서 구근의 확장형상을 관찰하였다. 실내모형실험의 결과 예상했던 구형의 구근은 생성되지 않았으며, 원통형 모양의 구근이 생성되었다. 이는 실내실험시 모래지반속에 박혀있는 케이싱의 하단으로부터 지반까지의 거리가 30cm이내밖에 안되서 방전루트가 다소 왜곡되어 발생한 것으로 판단된다.

- 그라우트 하강깊이

상대밀도 40%의 경우 방전횟수 55회까지는 거의 선형적인 관계를 보이고 있으며, 40회부터 약간 하강깊이가 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서, 공법의 개발이후 주로 사용될 범위는 5회부터 20회 미만일 것으로 예상되며, 이 구간에 대해서는 선형적인 관계로 보아도 무방할 것으로 판단된다. 매 방전당 그라우트의 하강깊이는 91cm인 것으로 나타났다.

상대밀도 60%의 경우 방전횟수가 20회 이후부터 매 방전당 하강깊이가 감소하는 것을 알 수 있다. 매 방전당 그라우트의 하강깊이는 36cm로서 상대밀도 40%의 경우의 40%정도인 것으로 나타났다.

- 확공계수

상대밀도 40%의 경우 5회방전시 2.37에서 40회 방전시 3.95정도의 확공계수 값을 보이고 있으며, 상대밀도 60%의 경우 2.13에서 3.01의 값을 나타낸다. 방전횟수가 증가할수록 두 상대밀도간의 확공계수의 차이가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 지반 밀도가 증가할수록 확공율이 감소하는 것과 일치한다.

한편, 40%일때 하강깊이로부터 산정한 확공직경과 실측최대직경을 분석한 결과 산정된 확공직경이 실측최대직경에 비해 15~32%정도 큰 값을 나타내었다. 이는 확공의 형상이 앞서 기술한 바와 같이 완전한 구형이 아니기 때문인 것으로 판단된다.

(2) 실대형 시험

- 구근의 형상 및 크기

방전횟수를 달리하여 구근의 확장상을 관찰하였다. 현장실대형실험의 경우 구형에 가까운 모양의 구근이 발견되었다. 이유는 케이싱 하단으로부터 지반까지의 거리가 1m이상 떨어져 있으므로 펄스방전시 케이싱의 영향을 받지 않은 것으로 판단된다.

- 그라우트 하강깊이

현장실대형 실험에서 방전시 그라우트 하강깊이를 측정하였으며, 충적토층 및 풍화토층에 대해서 수행하였다. 실내실험과 마찬가지로 방전횟수에 따라서 증가하는 경향으로 나타났다. 다만, 현장 site가 좁은 면적임에도 불구하고, SPT N치의 차이 및 세립토, 조립토에 대한 차이 등으로 인하여 상관성이 높게 나타나지는 않았다.

- 확공계수

지반의 불균질성과 시공여건 등으로 인하여 유사한 지층에서도 확공계수의 편차가 크게 나타났다. 이러한 경향은 충적층에서 더욱 크게 나타난 것으로 판단된다.

대략적으로 방전횟수가 10회일때 대략 확공계수가 2.0을 나타내는 것으로 사료되며, 40회 방전시 2.4정도인 것으로 나타났다.

(3) 수치해석 결과

- 펄스 방전 에너지를 고려한 등가 수중 폭발 질량 산정 방안 도출
- 수중 폭발 모델을 이용한 펄스 방전에 의한 충격파 압력 예측 기법 도출
- 실내 펄스 방전 실험과의 비교를 통한 수치해석 기법의 검증
- 점점성토와 사질토의 거동 특성을 고려한 확공 시뮬레이션 방안 도출
- 지반별/시추공 직경 별 방전 횟수에 따른 확공 정도 평가 도표 도출

2. 확공형 앵커의 인발파괴 메커니즘 규명 및 설계식 개발

(1) 모형시험

- 상대밀도에 따른 극한인발력

지반의 상대밀도를 선형증가 시키면 앵커의 극한인발력은 더 큰 폭으로 증가하며. 또한 상대밀도 40%의 느슨한 지반에서는 직선형 앵커와 확공형 앵커의 극한인발력이 큰 차이를 보이지 않는데 비해 지반이 조밀해질수록 확공에 의한 극한인발력 증가율이 커지는 것을 알 수 있다.

- 확공비에 따른 극한인발력

D/d가 1인 직선형 앵커의 경우 정착장 주면에서의 마찰저항에 의해 인발력이 발휘되므로 Peak점을 지나면 하중이 급격히 떨어진다. 확공에 의해 구근이 형성되면 구근 상부의 지지면적이 늘어나 마찰과 지지력의 복합거동을 보여 Peak점 이후에도 하중이 유지되는 것을 볼 수 있으며, 구근의 확공비가 커짐에 따라 확공에 의한 극한인발력 증가량 또한 증가하는 경향을 보였다.

(2) 실대형 시험

- 방전 횟수에 따른 극한인발력과 증가율 (2차년도 성대지반, 풍화토 , N=25)

지반 종류	방전 횟수 (회)	평균 극한인발력 (kN)	극한인발력 증가율 (%)	지반 종류	방전 횟수 (회)	평균 극한인발력 (kN)	극한인발력 증가율 (%)
풍화토	0	246.9	0	Sandy Clay	0	180.4	0
	5	310.7	25.84		5	239.0	32.48
	10	371.3	50.38		10	254.0	40.80
	20	390.5	58.16		20	251.7	39.52
	40	434.7	76.06		40	255.8	41.80

- 방전횟수에 따른 극한인발력 증가율(3차년도 김포지반, Silty Clay)

방전횟수 (회)	극한인발력 (kN)	극한인발력증가율 (%)
0	84.17	0
5	95.79	13.81
10	101.39	20.45
20	100.85	19.81
40	105.16	24.94

- 방전 횟수에 따른 극한인발력과 증가율 (3차년도 부평지반, 풍화토 , N=20)

방전압	방전 횟수 (회)	평균 극한인발력 (kN)	극한인발력 증가율 (%)	방전압	방전 횟수 (회)	평균 극한인발력 (kN)	극한인발력 증가율 (%)
5kV	0	119.41	0	7kV	0	119.41	0
	5	157.46	31.9		5	212.38	77.86
	10	176.55	47.9		10	237.71	99.07
	20	202.56	69.6		20	271.06	127.01
	40	221.43	85.4		40	279.94	134.44

(3) 극한인발력 산정식

현장 실대형 시험과 실내 모형시험을 통해 앵커의 극한인발력에 영향을 미치는 요소를 지반의 종류, 확공비로 결정하였다. 지반의 종류에 따른 마찰계수를 A, 구근 상부 지반에서의 지지력 관련계수를 B로 놓고, 기존 이론식을 압축형 앵커의 거동에 맞추어 구근 상부에서의 마찰 항을 추가하여 다음식을 유도하였다. Sandy Clay의 경우 기존 식에서는 구근 상부 정착장에서의 점착계수와 구근에서의 지반교란 영향계수가 구분되어 있으나, 본 식에서는 고려하지 않고 구근 확공에 의한 직경 변화만을 고려하였다.

$$Q_u = A\bar{\sigma}_{ov1}{}'\pi DL_a + B\sigma_{ov2}{}'\frac{\pi(D_e^2 - D^2)}{4} + A\bar{\sigma}_{ov3}{}'\pi D_e L_b \quad (\text{풍화토})$$

$$Q_u = AS_u\pi DL_a + BS_u\frac{\pi(D_e^2 - D^2)}{4} + AS_u\pi D_e L_b \quad (\text{Sandy Clay})$$

$$D_e = C \times D$$

여기서, A = 지반에 따른 마찰계수

B = 지반에 따른 지지력계수

C = 방전 횟수에 따른 계수 (D_e/D)

D = 확공 되지 않은 앵커의 직경

D_e = 확공 된 구근의 직경

L_a = 구근 상부의 정착전이길이

L_b = 구근의 길이

$\bar{\sigma}_{ov1}{}'$ = 구근 상부 정착장에서의 평균 유효상재하중

$\sigma_{ov2}{}'$ = 구근 상부에서의 유효상재하중

$\bar{\sigma}_{ov3}{}'$ = 구근부 중앙에서의 평균유효상재 하중

S_u = 점토의 비배수전단강도

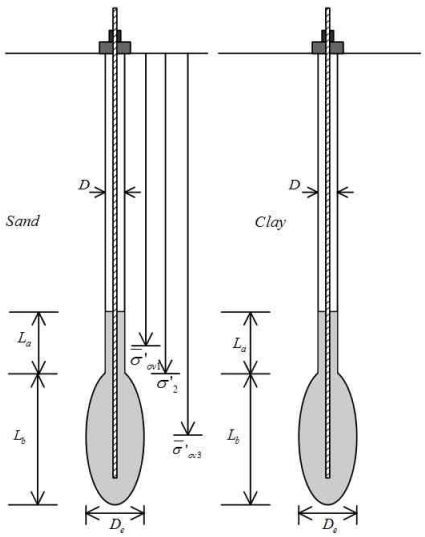


그림 .극한인발력 제안식

3. 펄스방전 메커니즘 규명 및 펄스방전시스템 개발

(1) 펄스방전 메커니즘 규명

- 캐패시터 용량에 따른 실험 결과

충전용량에 따라 Peak전력은 차이가 크지 않으나 방전지속시간은 캐패시터의 용량과 반비례하는 것을 알 수 있으며 결과적으로 앵커정착부에 확공압력을 지속하는 펄스방전시간을 조절할 수 있음을 알 수 있다.

- 적용저항에 따른 실험결과

충전전압이 일정한 상태에서 선단의 저항이 크면 펄스방전 시간이 길어지고 발생전력은 작아지며, 저항이 작으면 펄스방전 작용시간이 짧아지고 발생전력은 커지는 것을 알 수 있다. 즉방전선단의 저항의 크기를 조절하면 앵커 정착부 천공부에 가해지는 확공력과 지속시간을 조절할 수 있을 것으로 판단된다.

(2) 펄스방전 시스템개발

- 펄스방전용 동축케이블 개발

기존 케이블에 비하여 발열을 낮추고 에너지 전달 효율을 높였으며, 외피를 보강하여 안전성을 증대시켰다.

- 펄스방전 선단장치 개발

에너지 전달 효율을 높이고 내구성을 향상시키기 위하여 방전선단은 몸체를 철재질로 하고 팁을 몰리브덴이나 칸탈 재질을 사용하여 제작하였다.

본 연구결과를 포함한 특허출원 실시.(출원번호: 10-2008-0039408, '대전력시스템용 전극봉')

- 펄스발생장치 개발

안정된 직류전압을 공급하는 전원 공급장치, 고밀도의 에너지를 저장할 수 있는 캐패시터 뱅크, 저장된 에너지를 방전할 수 있는 고전압 대 출력 스위치로이루어진다. 기존 에어 갭 스위치는 설정 전압에 따라 스위치간의 간격을 일일이 수동으로 조절해야 하고 그 또한 7kV이하의 전압에선 조정이 쉽지 않았다. 이를 개선하기 위하여 메카닉 타입의 스위치를 도입함으로써 다양한 전압에서 확실한 방전을 유도하여, 말뚝에 비하여 상대적 소구경인 앵커에 적용이 용이하도록 제작되었다.

- 펄스방전용 그라우트 개발

지층하부에 지하수가 포화상태이고 유속이 있을 경우, 시멘트 그라우트의 하강 깊이에 의한 확공량 산정 및 주입재 품질의 신뢰도를 향상시키기 위하여 시멘트 희석이 억제된 시멘트 그라우트를 개발하여 특허를 출원함.(출원번호: 10-2009-0030721, '펄스 방전용 시멘트 그라우트')

4. 앵커 설계, 시공 및 유지관리 지침 개발

(1) 앵커 설계, 시공 및 유지관리 지침 도출을 위한 연구

- 유지관리 중심의 지침안 연구

국내외에서 앵커로 보강된 시설물의 유지관리 실태 및 유지관리시 발생하는 주요 결함사항, 앵커공법의 점검을 통한 유지관리방법 및 유지관리시 착안사항 등을 도출

하였다.

- 시공 및 설계 중심의 지침안 연구

앵커공법의 적용성, 경제성, 선정기준 및 적용한계등에 대한 분석, 앵커공법의 유지관리를 고려한 설계에 대한 연구, 앵커 수압판 설계등에 대한 연구, 국내외에서 사용되는 앵커재료에 대한 연구(앵커용 그라우트,텐돈, 정착구 등), 앵커의 시공 및 시공후 시험등에 대한 연구을 수행하였다.

(2) 앵커의 설계, 시공, 유지관리 지침 개발

- 일본 그라운드 앵커 유지관리 매뉴얼
- 그라운드 앵커 설계, 시공, 유기관리 지침개발(별첨)
- 펄스앵커공법의 설계, 시공 지침(별첨)

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

1. 펄스압에 의한 확공특성 규명

- 다구근 앵커의 거동 메커니즘 파악
- 지반 구조물에서의 확공형 다구근 앵커의 거동 예측
- 실내, 현장 실험을 보완하고 거동 파악에 필요한 비용과 시간 절감
- 앵커 지지력 증대를 통한 공사비 절감
- 앵커 지지력 증대를 통한 사면의 안정성 증가로 방재 가능

2. 확공형 앵커의 인발파괴 메커니즘 규명 및 설계식 개발

- 연약지반에서 앵커의 극한인발력을 증대시키기 위한 연구의 발판을 마련
- 다양한 앵커의 극한인발력 및 거동 메커니즘 조사로 정밀시공에 기여
- 구조물의 정밀시공으로 안정성 확보에 기여
- 앵커에 대한 거동특성 파악으로 앵커로 보강된 구조물에 문제가 발생할 경우 적절한 대응이 가능
- 극한인발력 증대로 쏘일네일링과 같은 유사한 공법에 적용이 가능
- 극한인발력이 큰 확공형 앵커의 시공으로 구조물의 안정성 확보에 기여

3. 펄스방전 메커니즘 규명 및 펄스방전시스템 개발

- 펄스파워 시공장비의 상용화 기술 및 적용분야의 장비개발 확보 예상
- 펄스파워 에너너지의 효율적 적용(토목시공요건에 필요한 정량적 에너지 특성연구)으로 종래의 가압과 그라우팅의 두가지 기술을 한번에 전기,물리적 에너지의 응용 이론을 적용하여 동시효과를 얻을 수 있는 기술 구현

4. 앵커 설계, 시공 및 유지관리 지침 개발

- 현실성 있는 시공기준의 정립으로 설계변경 최소화 및 공기단축
- 기존의 비탈면경사를 완화하는 방법에서 탈피하여 기술경험축적
- 앵커공법의 적용성, 경제성, 선정기준 및 적용한계 등에 대한 제시로 합리적인 굴착 및 비탈면 설계가능
- 비탈면안정처리방법 개선
- 신공법 및 신재료 도입으로 토목기술의 질적인 향상도모
- 비탈면 및 흙막이 굴착시 앵커의 안정을 위한 유지관리 기술개선

S U M M A R Y

Ⅰ. TITLE

Development of an expanded Anchor using Pulse Power

Ⅱ. Objective and Necessity of Research

A ground anchor resists against the driving force by inserting a steel tendon or wires into ground and by stressing. Since they have advantages in point of view of efficient site use and stability ground anchors have been frequently and widely applied to large scale of excavations and slope stability and so on. However, despite of these advantages using ground anchors requires cautions specially when the ground condition is weak because of lack of frictional resistance between the anchor system and the ground. So far, such a difficulty has been improved by installing anchors close or by elongation the anchor length up to the rock. Recently, new techniques or tendons such as anchorage with JSP grouting, anchorage with packer and load distributable compressive tendon have been developed in order to generate larger pullout capacity. However the efficiencies are still controversial because there is only small changes in ultimate pullout capacities comparing with existed anchoring technique. Besides, when civil engineers are faced with challenges to desingn and construction of geo structures combined with ground anchor they usually follow the AASHTO(1990), BSI(1996), or the standard proposed by JAPAN GROUND ANCHOR ORGANIZATION because any standard for ground anchorage has been established yet in Korea.

Therefore, this project aims at development of a new ground anchorage technique that can generate more shaft and end bearing capacity by underreaming and ground compaction using pulse power. In addition, recommendations for design, construction and maintenance of ground anchorage are to be proposed.

Ⅲ. Contents and Scope of Research

1. Examination of Characteristics of Ground Expansion by Pulsed Power

(1) Examination of Expansion Ratio by the Ground Condition

- Literature review on ground deformation induced by pulsed power
- Study parameters affecting the ground expansion
- Analysis of shape and ratio of expansion by model and full scaled tests

(2) Numerical Analysis on the ground expansion

- Quantitative estimation of shock wave by pulse discharge
- Verification of a proper simulation modeling method on pulse discharge tests in laboratory
- Simulation of the ground expansion based on fluid-structure related analysis
- Derivation of a simulation method considering behaviors of clayey and sandy soils
- Comparative examination between the results of in-situ tests and numerical analyses

2. Examination of Pullout Mechanism of An Expanded Anchor and Development of Design Equation

(1) Literature review and preliminary model test

- Literature investigation of ultimate pullout capacity equations of various anchor systems
- Investigation of parameters affecting the ultimate pullout capacity of multi underreammed anchor system
- Comparison of ultimate pullout capacity between a straight anchor and an expanded anchor in medium dense sandy soils

(2) Analysis of Behavior of expanded anchor and Proposal of a Design Equation

- Examination of the effect on increase of ultimate pullout capacity of straight and multi underreammed anchor system throughout model tests
- Comparative analysis of ultimate pullout capacity by the coefficient, number, and shape of expansion
- Proposal of an equation of ultimate pullout capacity

(3) Prediction of pullout resistance of a pulsed anchor by numerical analysis

- Analysis of the behavior of an anchor pullout considering the shape of expansion
- Analysis of the behavior of an anchor pullout considering the ground condition after pulse discharge
- Analysis of parameters for clayey and sandy soils

(4) Derivation of an equation for ultimate load by in-situ tests

- Development of an equation of ultimate pullout capacity of an expanded anchor
- Creep of an anchor
- Long term behavior of an anchor

3. Examination of Pulse Discharge Mechanism and Development of A Pulse Discharge System

(1) Examination of pulse discharge mechanism

- Theoretical analysis of parameters affecting pulsed power
- Examination of pulsed power according to pulse discharge, wave, and media by model tests
- Investigation of pulsed power according to location and distance by measuring electrical values

(2) Development of pulse discharge system

- Development of a cable
- Development of a rod
- Developement of a pulse generator
- Developement of grout material

4. Compliation of Design, Construction and Maintenance Manuals of Gound Anchor

(1) Derivation of items for design, construction and maintenance

- Study on a guide to maintenance
- Study on a guide to design

- Study on a guide to construction
- Derivation of items on major defeats of anchored structures in worldwide

(2) Compliation of design, construction, and maintenance of ground anchor
- Japanese manual of ground anchor maintenance
- Guide to design, construction and maintenance of ground anchor
- Guide to design, construction and maintenance of pulse anchor

Ⅳ. Results of Research

1. Characteristics of Expansion by Pulsed Power

(1) Model test

- Shape and size

In order to investigate the shape of expansion, couples of experiments with different number of impulse were carried out on sands with relative density of 40% and 60%. As a result, the shape of expansion was close to a cylinder rather a sphere. That might be because that the distance from the tip of a casing embedded in the model ground to the bottom of the container is too short, which was 30cm only, to propagate. In other words, the discharge route might be distorted at the bottom.

- Depth of grout fall

For relative density of 40%, the depth of grout fall appears to be almost proportional to the number of impulse up to 5 times. The depth appears to decrease a little over 40 eimes of impulse. The average falling depth per every single impulse appears to be about 91cm. For the relative density of 60%, the depth appears to show a slight decline after 20 times of impulse. The average falling depth per every single impulse appears to be about 36cm that is 40% of that of the relative density of 40%.

- Coefficient of expansion

For relative density of 40%, the coefficient of expansion appears to be 2.37 at 5 times of impulse and 3.95 at 40 times respectively. Meanwhile, the coefficinets of expansion appear to be 2.13 and 3.01 for relative density of

60%. It also appears that the difference between two relative density conditions increases with an increase of the number of impulse. It is consistence with the phenomenon that the expansion ratio increases as the ground density increases. As a result of analysis of diameter estimated from falling depth and the real maximum diameter measured at 40% of relative density, the estimated diameter appears to be larger than that of measured by 15~32%. This might be, as mentioned earlier, because the shape of expansion is not perfectly spherical.

(2) Full scale test

- Shape and size

In contrast to the model tests, the shape appears to be close to sphere. Since the distance between the end of casing and the ground, the bottom of the hole, is over 1m, the effect of the casing on the propagation of wave generated by pulse discharge may be ignorable.

- Depth of grout fall

The measurement of grout falling was carried out on the weathered soil and alluvial soil layers. Similar to what found in the model tests, the depth appears to increase with an increase of the number of impulse. Despite of small area of the site, the correlationship is not high enough because of variation of SPT N value and constituent of soils, such as finer material and coarse material.

- Coefficient of expansion

Due to nonuniformity of the ground and construction conditions, the deviation of the coefficient of expansion appears to be large at even similar layer. Such phenomenon seems to be more definite at the alluvial soil layer. In general, the coefficients at 10times and 40 times of impulse appeared to be 2.0 and 2.4 repectively.

(3) Result of numerical analysis

- Derivation of an evaluation method of equivalent underwater explosion mass considering pulse discharged energy
- Derivation of a technique of pressure estimation induced by pulse discharge using the underwater explosion model
- Verification of numerical analysis technique by comparison with laboratory

pulse discharge tests

- Derivation of expansion simulation method considering the characteristics of behavior of clayey and sandy soils
- Determination of the degree of expansion with respect to the number of impulse by the ground and the diameter of borehole.

2. Examination of Failure Mechanism of An Expanded Anchor and Development of Design Equation

(1) Model test

- Ultimate pullout capacity according to relative density

When the relative density of ground increases linearly, the ultimate pullout capacity of an anchor increase with bigger range. In addition, for loose sands with relative density of less than 40% , there appears to be no big difference in the ultimate pullout capacity between straight anchors and expanded anchors. In contrast, the incremental rate of the ultimate pullout capacity becomes larger as the ground gets denser.

- Ultimate pullout capacity according to the coefficient of expansion

For a straight anchor that D/d is one, the resistance is generated in the perimeter of fixed zone by friction, which means that the load is reduced rapidly after a peak point. When a bulb is formed by expansion, the area of the upper part of the bulb becomes larger, and therefore the resistance is generated by both friction and end bearing. Because of this composite resistance mechanism, the load can remain a while after a peak point. Again, the incremental rate of the ultimate pullout capacity appears to become larger with an increase of the coefficient of expansion.

(2) Full scale test

- Rate of ultimate pullout capacity increase according to the number of impulse (Weathered soil , N=25)

Ground	No. of Impulse	Average ultimate pullout capacity (kN)	Rate of ultimate pullout capacity increase (%)	Ground	No. of Impulse	Average ultimate pullout capacity (kN)	Rate of ultimate pullout capacity increase (%)
Weathered soil	0	246.9	0	Sandy Clay	0	180.4	0
	5	310.7	25.84		5	239.0	32.48
	10	371.3	50.38		10	254.0	40.80
	20	390.5	58.16		20	251.7	39.52
	40	434.7	76.06		40	255.8	41.80

- Rate of ultimate pullout capacity increase according to the number of impulse (Silty Clay)

No. of Impulse	Ultimate pullout capacity (kN)	Rate of ultimate pullout capacity increase (%)
0	84.17	0
5	95.79	13.81
10	101.39	20.45
20	100.85	19.81
40	105.16	24.94

- Rate of ultimate pullout capacity increase according to the number of impulse (Weathered soil , N=20)

Magnitude of Maximum charge	No. of Impulse	Average ultimate pullout capacity (kN)	Rate of ultimate pullout capacity increase (%)	Magnitude of Maximumcharge	No. of Impulse	Average ultimate pullout capacity (kN)	Rate of ultimate pullout capacity increase (%)
5kV	0	119.41	0	7kV	0	119.41	0
	5	157.46	31.9		5	212.38	77.86
	10	176.55	47.9		10	237.71	99.07
	20	202.56	69.6		20	271.06	127.01
	40	221.43	85.4		40	279.94	134.44

(3) Equation of ultimate pullout capacity

The equation of ultimate pullout capacity is derived based on the original equation for underreamed anchor. The equation is expressed by three terms as following. In the equation the coefficient A represents frictional resistance, and B represents end bearing resistance. For sandy Clay, the original equation takes into account the cohesion at the upper part of a bulb and disturbance effect at the bulb separately. But, the new equation takes into account the variation of diameter only.

$$Q_u = A\bar{\sigma}_{ov1}{}'\pi DL_a + B\sigma_{ov2}{}'\frac{\pi(D_e^2 - D^2)}{4} + A\bar{\sigma}_{ov3}{}'\pi D_e L_b \qquad \text{(weathered soil)}$$

$$Q_u = AS_u\pi DL_a + BS_u\frac{\pi(D_e^2 - D^2)}{4} + AS_u\pi D_e L_b \qquad \text{(Sandy Clay)}$$

$$D_e = C \times D$$

3. Examination of Pulse Discharge Mechanism and Development Pulse Discharge System

(1) Pulse discharge mechanism

- The peak electrical power appears not to be defendant on the charge capacity, but duration period appears to be inverse proportional to the capacity.

- With constant electric charge, it the resistance at the tip is large, the generated power appears to diminish and time to elongate.

(2) Development pulse discharge system

- Cable

Comparaing with any other cables, the new cable has lower generation of heat and higher effectiveness of energy transfer. and the outer cover was reinforced so as to increase safety.

- Rod

In order to increase the effectiveness of energy transfer and to improve durability, the body of a rod was made of steel, and the tip was made of molybdenum or kanthal.

- Generator

The generator is composed of supplier, capacitor bank and switch. In an air gap switch. the switch distance should be adjusted by manual according to electric pressure, and that is not adjustable with voltage less than 7kV. To improve these weakness a mechanic type of switch was adopted.

4. Compliation of Design, Construction and Maintenance Manuals of Gound Anchor

(1) Derivation of items for design, construction and maintenance

- Study on a guide to maintenance

The status of maintenance of anchored structure in worldwide, major defeats and the method of maintenance were derived.

- Study on a guide to design, construction

A study on the design considering maintenance, anchor plate design, materials of anchor, tests during and after construction was carried out.

(2) Compliation of design, construction, and maintenance of ground anchor

- Japanese manual of ground anchor maintenance
- Guide to design, construction and maintenance of ground anchor
- Guide to design, construction and maintenance of pulse anchor

Ⅴ. Utilization of Results of Research

1. Examination of Characteristics of Ground Expansion by Pulsed Power

- Investigation of behavior of multi expanded anchor
- Prediction of behavior of an multi expanded anchor on geostructures

2. Examination of Failure Mechanism of An Expanded Anchor and Development of Design Equation

- Application to comprehensive study on an anchor in soft clay ground

- Contribution to detailed construction of various anchor
- Extension to similar method such as soil nailing.

3. Examination of Pulse Discharge Mechanism and Development Pulse Discharge System
   - Commercialization of pulse discharge system.
   - Application to pressure grouting technology

4. Compliation of Design, Construction and Maintenance Manuals of Gound Anchor
   - Provision a practical design, construction, maintenance guide
   - Suggestion applicability, economical efficiency, selection standard and the limit of application of ground anchor

목 차

제 1 장 서 론 ····· 1

제 1 절 연구개발의 필요성 ····· 1

1. 연구개발 개요 ····· 1

2. 연구개발의 중요성 ····· 3

제 2 절 연구개발 목표 및 내용 ····· 12

1. 연구개발의 최종목표 ····· 12

2. 연차별 연구목표 및 내용 ····· 15

제 2 장 국내·외 기술개발 현황 ····· 16

제 1 절 국내기술동향 ····· 16

1. 국내 시장 현황 및 예측 ····· 17

2. 국내 주요 관련 업체 ····· 20

3. 국내 전문가 및 연구기관 현황 ····· 20

4. 국내연구 인프라 수준 ····· 21

5. 국내 기술개발 수준 ····· 21

제 2 절 국외기술동향 ····· 22

1. 주요국가의 시장규모 ····· 23

2. 세계시장을 선도하는 주요 업체 ····· 24

3. 해외 시장예측 및 발전전망 ····· 25

제 3 절 기술동향 분석 결론 ····· 27

1. SWOT분석 ····· 27

2. 시사점 및 결론 ····· 27

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· 29

제 1 절 펄스압에 의한 확공특성 ····· 29

1. 이론연구 ····· 29

가. 펄스파워 ····· 29

나. 확공율 ····· 31

2. 시험방법 ····· 37
가. 모형시험 ····· 37
나. 실대형시험 ····· 41
다. 결과 및 고찰 ····· 43
3. 수치해석 ····· 52
가. 펄스 방전에 의한 충격파 발생 시뮬레이션 ····· 52
나. 수치해석을 통한 펄스 방전 시 지반 확공 모사 ····· 72
4. 요약 및 결론 ····· 86
제 2 절 펄스확공앵커의 인발저항특성 ····· 88
1. 이론연구 ····· 88
가. 그라운드 앵커의 종류 ····· 88
나. 그라운드 앵커의 인발 시험 ····· 89
다. 그라운드 앵커의 극한 인발력 ····· 93
라. 앵커의 하중 전이 분포 ····· 93
마. 펄스 방전 확공형 앵커 ····· 96
2. 시험방법 ····· 98
가. 모형시험 ····· 98
나. 실대형시험 ····· 113
3. 수치해석 ····· 149
가. 펄스 방전에 의해 확공된 앵커의 인발저항력 예측 ····· 149
4. 극한인발력 산정식 ····· 163
가. 기존 산정식 분석 ····· 163
나. 극한인발력 산정식 제안 ····· 164
다. 계수 제안 ····· 165
5. 현장시험 ····· 170
가. 현장시험 개요 ····· 170
나. 현장시험 위치 및 지반특성 ····· 170
다. 현장시험 앵커설계 ····· 172
라. 펄스앵커 시공 ····· 174
마. 계측 ····· 176

바. 현장시험 결과 ····· 177
6. 요약 및 결론 ····· 181
제 3 절 펄스확공 메커니즘 규명 및 펄스방전시스템 개발 ····· 182
1. 펄스확공 메커니즘 규명 ····· 182
가. 펄스확공 영향인자 ····· 182
나. 구경에 따른 펄스파워 방전양상 분석 ····· 190
2. 펄스방전시스템 개발 ····· 195
가. 펄스앵커 전용 케이블 개발 ····· 195
나. 펄스방전 선단장치 제작 및 실험 ····· 196
다. 확공형 앵커용 펄스발생 장치 제작 ····· 201
라. 펄스방전 확공형 앵커공법 전용 주입재 개발 ····· 203
3. 결론 및 요약 ····· 207
제 4 절 앵커 설계, 시공 및 유지관리 지침 개발 ····· 208
1. 앵커 설계, 시공 및 유지관리 지침 도출을 위한 연구 ····· 208
가. 유지관리 중심의 지침안 연구 ····· 208
나. 시공 및 설계를 중심의 지침 연구 ····· 232
2. 앵커의 설계, 시공, 유지관리 지침 개발 ····· 262
가. 일본 그라운드 앵커 유지관리 매뉴얼 ····· 262
나. 그라운드 앵커의 설계·시공 및 유지관리 지침(안) [별첨자료 첨부] ····· 264
다. 펄스파워를 이용한 확공형 앵커의 설계·시공 지침(안)[별첨자료 첨부] ·· 270

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도 ····· 275
제 1 절 연구개발목표 달성도 ····· 275
제 2 절 관련분야에의 기여도 ····· 277
1. 기술적 측면 ····· 277
2. 사회・경제적 측면 ····· 277

제 5 장 연구개발 결과의 활용계획 ····· 278
제 1 절 연구성과의 활용방안 ····· 278
제 2 절 타 산업에의 응용 ····· 279

제 3 절 관련 후속연구개발의 전망 ····· 279

제 6 장 연구개발 과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 280

제 7 장 참고문헌 ····· 281

[별첨자료1] 그라운드 앵커의 설계·시공 및 유지관리 지침 ····· 295
[별첨자료2] 펄스파워를 이용한 확공형 앵커의 설계·시공 지침 ····· 453

C O N T E N T S

Chapter 1 Introduction ····· 1
Section 1. Necessity of Research ····· 1
1. Introduction ····· 1
2. Importance ····· 3
Section 2. Objectives and Contents of Research ····· 12
1. Ultimate Objective ····· 12
2. Objectives and Contents of Research for Each Year ····· 15

Chapter 2 State of The Art ····· 16
Section 1. Domestic State of The Art ····· 16
1. Status and Prediction of Domestic Market ····· 17
2. Relative Business Enterprise in Domestic ····· 20
3. Status of Experts and Research Institutes ····· 20
4. Level of Research Infrastructure in Domestic ····· 21
5. Level of Technology Development in Domestic ····· 21
Section 2. International State of The Art ····· 22
1. Market Limit of International Leading Countries ····· 23
2. Major Business Enterprise Leading International Market ····· 24
3. Prediction of International Market and Growing ····· 25
Section 3. Results of a Technical Trend Analysis ····· 27
1. SWOT Analysis ····· 27
2. Suggestion and Conclusions ····· 27

Chapter 3 Achivements and Results ····· 29
Section 1. Expansion Characteristics by Pulsed Power ····· 29
1. Literature Review ····· 29
a. Pulsed Power ····· 29
b. Expansion Coefficient ····· 31
2. Experiment ····· 37
a. Model Test ····· 37
b. Full Scale Test ····· 41
c. Results and Discussion ····· 43
3. Numerical Analysis ····· 52
a. Simulation of Impulse wave by Pulse Discharge ····· 52

b. Simulation of Ground Expansion ····· 72
4. Summary and Conclusion ····· 86

Section 2. Characteristics by Pullout Resistance of Expanded Anchors ····· 88
1. Literature Review ····· 88
a. Type of Ground Anchor ····· 88
b. Pullout Test ····· 89
c. Ultimate pullout capacity ····· 93
d. Load transfer of Ground Anchor ····· 93
e. Expanded Anchor by Pulse Discharge ····· 96
2. Experiment ····· 98
a. Model Test ····· 98
b. Full scale Test ····· 113
3. Numerical Analysis ····· 149
a. Prediction of Pullout Resistance of an Expanded Anchor ····· 149
4. Ultimate Pullout Capacity Equation ····· 163
a. Literature Review ····· 163
b. Suggestion Of Ultimate Pullout Capacity Equation ····· 164
c. Suggestion Of Coefficien ····· 165
5. Pilot Test ····· 170
a. Introduction ····· 170
b. Site Location and Ground Condition ····· 170
c. Anchor Design ····· 172
d. Construction ····· 174
e. Measurement ····· 176
f. Result ····· 177
6. Summary and Conclusion ····· 181
Section 3. Examination of Pulse Discharge Mechanism and Development of Pulse Discharge System ····· 182
1. Examination of Expansion Mechanism ····· 182
a. Affecting Parameter ····· 182
b. Analysis of Pulse Discharge Aspect according to Hole Diameter ····· 190
2. Development of Pulse Discharge System ····· 195
a. Cable ····· 195
b. Rod ····· 196
c. Pulse Generator ····· 201
d. Grout Material ····· 203

3. Summary and Conclusion ····· 207

Section 4. Development of Design, Construction and Maintenance Manual ····· 208
1. Derivation of items for design, construction and maintenance ····· 208
a. Study on a guide to maintenance ····· 208
b. Study on a guide to Design and Construction ····· 232
2. Compliation of design, construction and Maintenance of Ground Anchor ····· 262
a. Japanese manual of ground anchor maintenance ····· 262
b. Guide to design, construction and maintenance of ground anchor ···· 264
c. Guide to design, construction and maintenance of pulse anchor ····· 270

Chapter 4 Goal Achievements and Contribution to the Related Field ····· 275
Section 1. Goal Achievement ····· 275
Section 2. Contribution to the Related Field ····· 277
1. In a Technical View ····· 277
2. In a Social and Economical View ····· 277

Chapter 5 Utilization Plan ····· 278
Section 1. Utilization Plan of Output ····· 278
Section 2. Application to other industry ····· 279
Section 3. Prospect of Successive Research and Development ····· 279

Chapter 6 Information an Advanced Scientific Technology ····· 280

Chapter 7 References ····· 281

[Attachment 1] Guide to design, construction and maintenance of ground anchor ····· 295
[Attachment 2] Guide to design, construction and maintenance of pulse anchor ····· 453

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 필요성

1. 연구개발 개요

■ 그라운드 앵커공법은 1970년대 중반부터 국내에 적용되기 시작하여 현재 다양한 용도로 사용되고 있다. 현재 가장 많이 적용되고 있는 지반보강 방법으로 토목이나 건축 구조물을 지반에 정착시키기 위해 고강도의 강재에 높은 긴장력을 도입하여 횡 또는 연직방향으로 구조물을 지반에 구속시켜 구조물 또는 주변지반의 변형을 억제하기 위해 이용되는 공법이다.

■ 탁월한 안정성 및 작업 공간 활용을 극대화 할 수 있다는 앵커 공법의 장점 때문에 최근 들어서는 지하철, 광역 상하수도, 대형 빌딩 및 지하 주차장, 지하 쇼핑몰 및 지하 편의 시설 등을 건설하기 위한 대규모 도심지 굴착공사에 활발히 적용되고 있다. 뿐만 아니라, 서해안 시대의 개막으로 영종도 신공항, 월미도 및 새만금 방조제 내부에 고층빌딩 및 대규모 산업시설이 건설 중이거나 건설될 예정에 있어 연약지반에서 대규모의 굴착공사가 빈번하게 이루어짐에 따라 대규모의 흙막이 공법 또는 지반 보강공법의 사용이 증가할 것으로 예상된다.

■ 그러나 이러한 장점에도 불구하고 지반이 연약할 경우에는 앵커와 지반 사이 주면마찰저항이 적어 소정의 앵커력을 확보하지 못하여 앵커 간격을 좁히거나 앵커 자유장을 연장하여 비교적 단단한 지반에 정착시키고 있으며, 타 공법으로 변경되는 사례도 빈번하게 발생하고 있다. 국내외적으로 연약지반에서 보다 큰 극한인발력을 확보하기 위한 방법으로 앵커 두부에서 가해지는 하중을 정착장 내 여러 곳에 분산시킬 수 있는 하중분산압축형 앵커체가 개발되어 시공되고 있으며, JSP 그라우팅 공법과 앵커공법을 접목시킨 앵커공법, 팩커를 이용한 가압그라우팅 공법 등 다양한 방법들이 시도되고 있으나 그 효과가 크지 않아 기존 무압그라우팅 앵커공법에서 얻어진 극한인발력을 크게 개선시키지 못하고 있는 실정이다.

■ 한편 앵커 설계방법이나 시공절차를 명확하게 규정하고 있는 기관이나 연구 성과가 없어 앵커 설계 및 시공 시 AASHTO(1990), BSI(1996) 및 일본그라운드앵커협회 등에서 제시하고 있는 규정들을 따르고 있는 실정이다. 특히 앵커와 지반사이 주면 마찰저항값은 일본 그라운드앵커협회에서 저압 그라우팅한 앵커

에 대해서 얻은 연구 성과를 그대로 사용하고 있어 국내 지반조건 및 시공방법에 큰 차이가 있음에도 불구하고 광범위하게 사용하고 있다. 또 미국, 유럽 및 일본 등에서는 앵커 정착 길이에 따라 지반-그라우트 주면 마찰저항값을 저감하여 사용하고 있으나 국내에서는 길이와 관계없이 사용하고 있으며 앵커 정착 길이를 최대 10m 이내로 제한하고 있는 규정조차도 따르지 않고 있다.

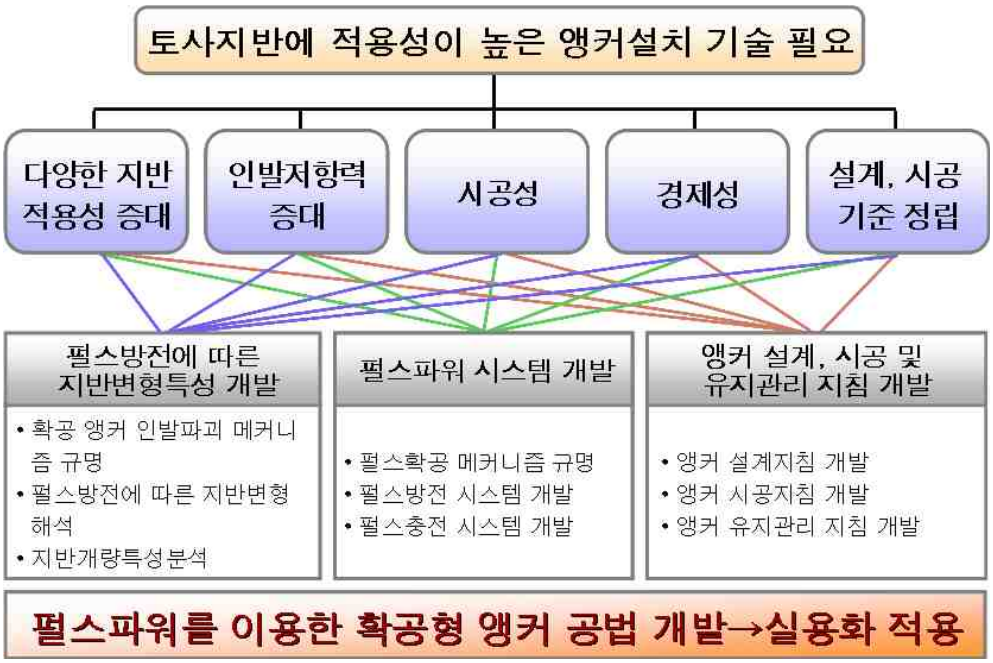


그림 1.1.1 연구의 필요성

■ 최근의 환경에 대한 인식변화 등으로 보다 친환경적이고 경제적인 앵커공법에 대한 필요성이 증대되고 있으며, 사회적인 발전으로 간척지반 매립지반등에 대한 증가하는 건설수요에 맞춰 토사지반(연약지반)에서 앵커 인발저항력을 극대화시켜 구조물의 안정성을 확보하고 공사비용을 절감시킬 수 있는 공법 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

■ 따라서 이 연구에서는 전기공학의 펄스파워 기술을 토목공학의 앵커공법을 접목시켜 토사지반을 확공 및 다짐에 의하여 주면마찰력과 지압력을 증대시킨 복합형 앵커공법을 개발하고자 한다. 또한, 국내·외의 설계·시공자료를 이용하여 앵커설계, 시공 및 유지관리 지침을 개발하고자 한다.

2. 연구개발의 중요성

가. 기술적 측면

■ 앵커 천공홀을 확대시키기 위한 방법의 하나로 확공 비트를 이용하여 앵커 정착장 내에 여러 개의 구근을 형성시켜 앵커 극한인발력을 증대시키는 방법이 해외에서 많이 시공되고 있으나 천공 후 천공홀이 그대로 형성될 수 있는 단단한 지반에서만 적용이 가능하므로 연약지반이나 사질토 지반에서는 천공홀의 붕괴에 따른 시공의 한계로 국내에서는 적용실적이 적다.

■ 최근 연약한 지반에서 앵커 극한인발력을 증대시키기 위한 방법으로 개발된 하중분산형 앵커체는 앵커 두부에서 가해지는 하중을 정착장 내부 여러 곳에 분산시켜 앵커 극한하중을 증대시키기 위한 방법(그림 1.1.2)이며, JSP앵커공법(그림 1.1.3-a) 및 팩커를 이용한 가압 그라우팅 공법(그림 1.1.3-b)은 지반에 그라우트를 주입시켜 강도를 증대시키거나 앵커 천공 홀을 확대시켜 그라우트 표면적을 넓히기 위한 방법이다. 그러나 전자의 경우 분산효과를 발휘하기 위해서는 각각의 인장재 길이가 달라지기 때문에 앵커 두부에서 가해지는 하중은 인장재 길이 차이에 의한 동일하게 분산되지 않고 하중이 편중되어 국부적인 파괴가 발생할 수도 있다. 따라서 이와 같은 하중 집중을 방지하기 위해서는 별도의 인장방법이나 인장장비가 필요하다. 후자의 경우 연약지반에 주입시킬 수 있는 주입재의 강도가 그다지 크지 않으며 지반 내 침투 효과도 불확실하여 지반의 강도증대에 큰 효과를 기대할 수 없다. 또 팩커를 이용하여 천공 홀을 가압하는 경우 천공으로 이완된 지반을 확장시키기 위해서는 고압의 그라우팅 기술과 고압을 견딜 수 있는 팩커 개발이 선행되어야 한다.

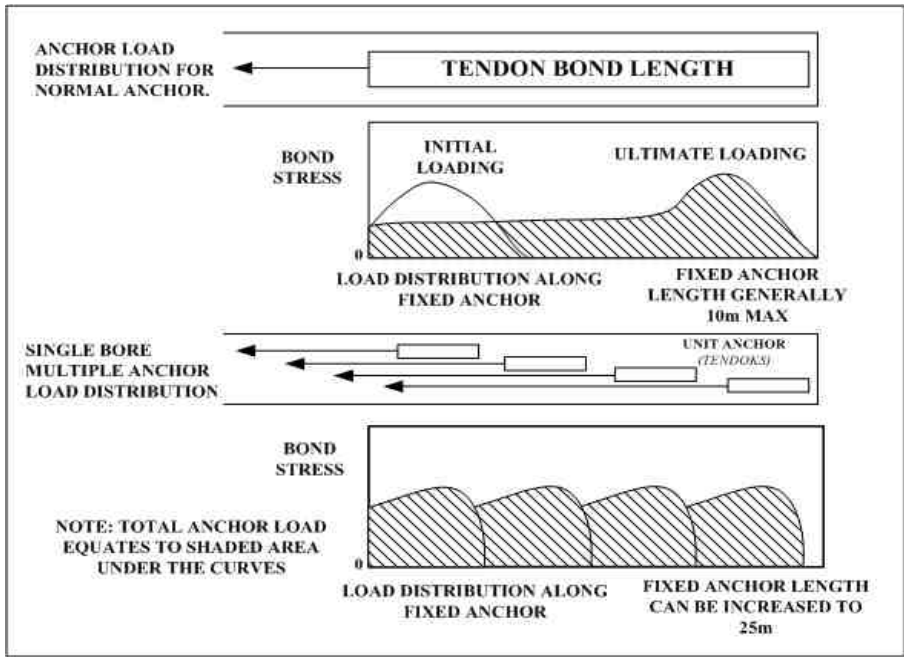
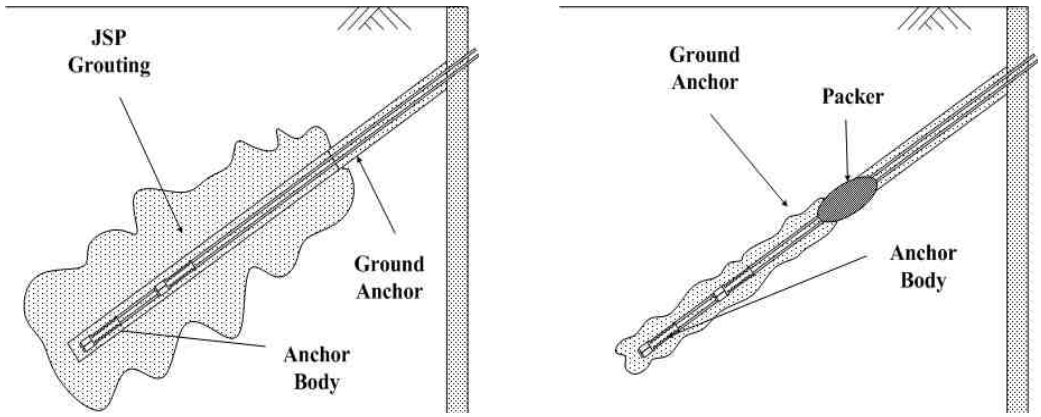


그림 1.1.2 기존 일반앵커와 압축분산형앵커의 하중전이 분포(Barley, 2000)



(a) JSP앵커공법 (b) 팩커앵커공법

그림 1.1.3 JSP와 팩커를 이용한 가압그라우팅 앵커공법의 이론적 개념도

■ 최근에 개발되어 연구되고 있는 펄스파워기술은 전기방전현상을 이용한 에너지 압축 기술로써 소음과 진동이 거의 없으며 전기적 충격으로 지반 자체의 다짐에 의한 지반개량 효과가 있어 연약한 지반의 전단강도, 지지력의 증가뿐만 아니라 앵커에 작용하는 주면마찰력도 크게 증대시킬 수 있는 기술이다. 펄스파워기술의 원리는 그림 1.1.4에서와 같이 1J(joule)의 에너지를 1s(초) 동안에 방출하면 1W(watt)의 파워가 되지만 1μs(10^{-6}초)의 짧은 시간에 방출 하면 단위 시간당의 에너지변화량이 아주 큰 1MW(10^{6}watt)에 이르는 큰 파워를 가지게 되는 에너지 보존 법칙의 원리에 의한 것으로 에너지 저장장치를 통하여 전력변환 혹은

에너지 압축을 이용하는 기술이다. 다시 말하면, 절연 매질 내부에 있는 양 전극 사이에 수십 ㎲ 내에 고전압을 가하면 양극 사이에 큰 에너지가 발생하고 이 에너지로 인해 높은 온도의 열에너지가 생성되게 된다. 이와 같은 고온의 열에너지는 내부 매질의 부피 팽창을 유발하게 되고 고온으로 인한 부피팽창은 주위의 차가운 매질을 만나면서 저항을 받게 되며, 이러한 저항으로 인해 고온의 매질과 저온의 매질 경계에서 높은 압력차가 발생하게 된다. 이러한 높은 압력차는 충격파(Shock wave)로 변환되어 주위 매질을 매개체로 전달되게 된다. 펄스파워 에너지 변환단계 모식도는 그림 1.1.5와 같다.

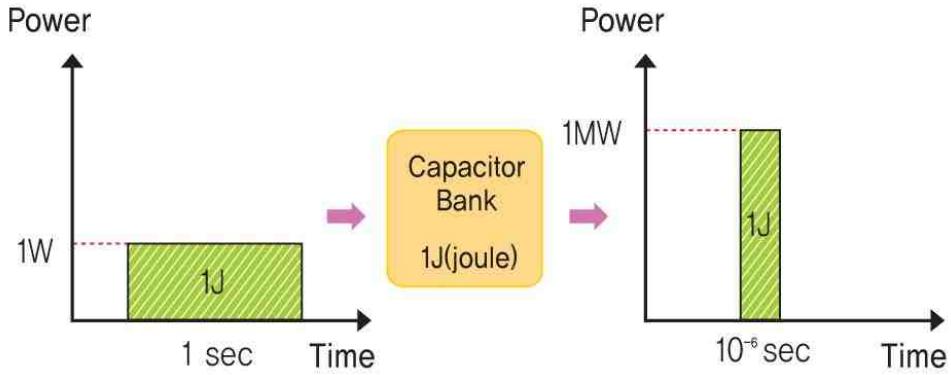


그림 1.1.4 펄스파워 발생 개념

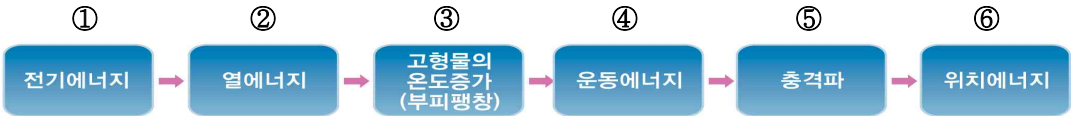


그림 1.1.5 에너지 변환단계 모식도

■ 펄스파워를 이용한 확공형 앵커공법은 고전압에 의한 에너지 전환에 의해 발생되는 펄스파워를 이용하여 그림 1.1.6에서와 같이 천공벽을 충격파로 확장시켜 앵커를 현장에서 조성하는 공법으로 천공 홀 여러 곳에 펄스파워에 의한 구근을 성형시켜 그라우트체와 지반의 마찰력 및 구근의 지압력을 이용하여 앵커 극한 인발력을 증대시키는 공법이다(그림 1.1.7).

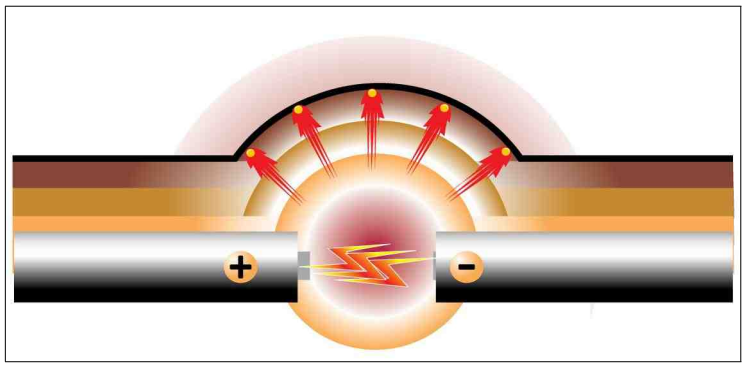


그림 1.1.6 펄스방전에 의한 지반 확장

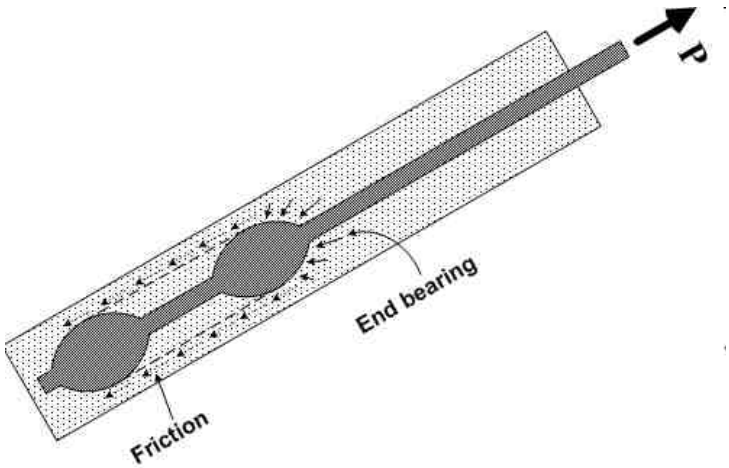


그림 1.1.7. 펄스파워를 이용한 확장형 앵커 저항 개념도

■ 국내외적으로 활발하게 사용되고 있는 앵커는 그라우트와 지반 사이의 마찰력을 이용한 마찰형 앵커로 초창기에는 인장형 앵커에 대한 활발한 연구와 시공이 이루어졌으나 인장재의 부식방지 및 제거 등을 편리하게 하기 위하여 최근에는 압축형 앵커가 사용되고 있는 추세다.

앵커 시장의 확대에 따라 국내외적으로 다양한 앵커들이 개발되어 시공되고 있다(표 1.1.1, 표 1.1.2). 하지만 각각의 앵커들은 인장재 2차 가공방법, 반영구적으로 사용하기 위한 방식, 인장재 제거 방법 및 정착방식 등에 차이가 있을 뿐 앵커 극한인발력을 증대시킬 수 있는 시공방법이나 공법들을 제시하지는 않고 있다.

표 1.1.1. 영구앵커 종류 및 특징

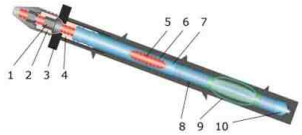
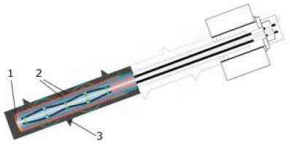
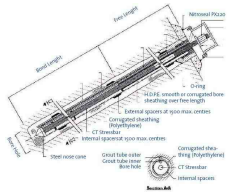
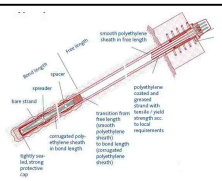
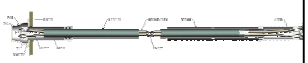
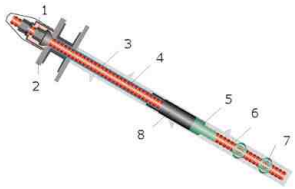
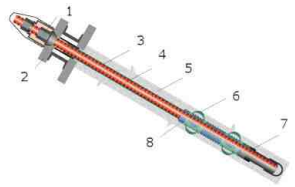
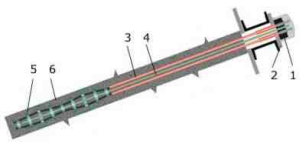
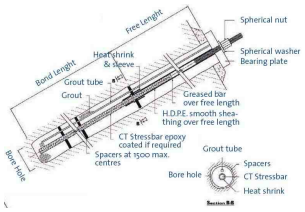
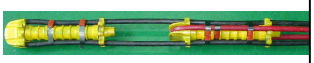
국 외	개 요 도	분 류	정착방식	특 징
디비닥		선단압축형 앵커	너트 정착	· 강봉 사용 · 고가
		인장형 앵커	웨찌 정착	· 강연선 사용 · 고가 · 진행성 파괴 발생
		인장형 앵커	웨찌 정착	· 강연선 사용 · 정착장 2중방식 · 진행성 파괴 발생
V S L		인장형 앵커	너트 정착	· 강봉 사용 · 고가 · 진행성 파괴 발생
		인장형 앵커	웨찌 정착	· 강연선 사용 · 진행성 파괴 발생
국 내	**개 요 도**	**분 류**	**정착방식**	**특 징**
KOREA SE		집중압축형 앵커	너트 정착	· 강연선 사용 · 2중방식 · 장기 크리프 발생 · 고가
한성씨 앤시스		집중압축형 앵커	웨찌 정착	· 강연선 사용 · 정착장 2중방식 · 장기 크리프 발생 · 고가
삼우기 초기술		분산압축형 앵커	웨찌 정착	· 강연선 사용 · 하중분산효과가 있음
공 통		인장형 앵커	웨찌 정착	· 강연선 사용 · 진행 성파괴 발생 · 실적이 풍부 · 저렴

표 1.1.2. 가설앵커 종류 및 특징

국 외	개 요 도	분 류	정착방식	특 징
디비닥		인장형 앵커	너트 정착	· 강봉 사용 · 자유장의 인장재 제거 가능 · 고가
		압축형 앵커	너트 정착	· 강봉 사용 · 인장재 제거 가능 · 고가
		인장형 앵커	웨찌 정착	· 강연선 사용 · 인장재 제거 불가능 · 진행성 파괴 발생 · 저렴
VSL		인장형 앵커		· 강봉 사용 · 인장재 제거 불가능 · 고가
국 내	**개 요 도**	**분 류**	**정착방식**	**특 징**
공 통		분산압축형 앵커	웨찌 정착	· 강연선을 절공하여 사용 · 인장재 제거 가능 · 중장비로 제거 · 강연선 강도 저하 · 저렴
삼우기초기술 외		분산압축형 앵커	웨찌 정착	· 강연선 사용 · 인장재 제거 가능 · 인력으로 제거
오륙개발		집중압축형 앵커	웨찌 정착	· 강연선 사용 · 인장재 제거 가능 · 전용장비로 제거 · 고가

나. 경제·산업적 측면

■ 펄스파워를 이용한 확공형 앵커공법 개발은 토목 분야에 경제적으로 높은 가치 창출을 이끌 것으로 여겨지며 산업적 측면에선 흙막이 공사의 경쟁력을 향상시킬 수 있을 공법으로 사료된다. 최근에 연약지반에서 앵커 하중을 증대시키기 위해 개발된 방법들은 근본적으로 지반 자체를 개선시키는 공법이 아니므로 기존 앵커공법에 비해 공사비를 크게 절감시키지 못 하고 있다.

■ 하중분산압축형 앵커체를 이용한 방법은 하중분산을 위한 추가의 인장재 및 별도의 긴장방법과 기술이 필요하고 JSP앵커공법 및 팩커를 이용한 가압그라우팅 공법 역시 고가의 장비가 투입되어 시공되고 있으나 이들 모두 극한인발력 증대 효과를 발휘하지 못하고 있다.

■ 그러나 펄스파워를 이용한 확공형 앵커공법을 이용할 경우 순간적인 펄스파워에 의해 발생된 충격파가 매질인 그라우트로 전달되어 천공벽을 확장시키면서 다지므로 지반의 전단강도 및 지지력이 증대되고 지반과 그라우트의 부착력이 증대되어 앵커 극한인발력을 크게 개선시키므로 앵커 수평 간격을 넓게 하여 앵커 총 공수를 줄일 수 있어 시공비 및 공사기간을 상당히 단축시킬 수 있을 것으로 예상된다. 펄스파워를 이용한 확공형 앵커공법의 장점은 아래와 같다.

① 앵커 극한인발력 증대로 구조물의 안정성 확보
② 앵커 공수 감소에 따른 자재비 및 공기 단축으로 공사비 대폭 절감
③ 진동과 소음이 없고 공기가 단축되므로 도심공사에 유리, 민원이 감소

■ 앵커공법별 특징은 표 1.1.3과 같으며 특히 연약지반이나 매립지반 등과 같은 느슨한 지반에서 지반다짐 및 전단강도 증대효과가 큰 펄스파워 앵커공법을 적용할 경우 지반-그라우트 주면마찰저항의 증대로 앵커 수평간격을 상당히 넓힐 수 있어 큰 앵커 공사비 절감효과를 얻을 수 있다.

1.1.3. 앵커공법별 특징 및 공사비 비교

구분	일반 앵커공법	팩커 앵커공법	JSP앵커공법	펄스파워 앵커공법
특징	· 케이싱을 이용하여 지반을 천공하며 그라우트는 무압으로 주입	· 천공후 천공홀 전체를 그라우팅한 후 팩커를 부풀려 정착장 부위만 추가로 가압그라우팅(5-10kg/cm^2) 실시	· JSP 그라우팅 장비를 이용하여 초고압 그라우팅(200kg/cm^2)을 수행한 후 앵커 천공장비를 이용하여 앵커 시공	· 고전압의 펄스파워를 이용하여 지반을 확공시키는 공법으로 지반에 따라 천공홀이 20~70%까지 확공 가능
장점	· 시공실적이 풍부 · 공정이 단순	· 고무 팩커를 사용할 경우 약간의 앵커력 증대 효과	· 초연약지반이나 느슨한 지반의 경우 극한인발력이 증대됨 · 큰 앵커력이 확보되어 앵커 수평간격을 넓게 할 수 있음	· 초연약지반이나 느슨한 지반의 경우 극한인발력이 크게 증대됨 · 큰 앵커력이 확보되어 앵커 수평간격을 넓게 할 수 있음 · 앵커 수평간격의 증대로 총공사비 감소
단점	· 연약한 지반에서는 하중확보가 곤란 · 하중확보 곤란으로 앵커가 추가 시공될 가능성이 큼 ⇒공사비 상승	· 팩커 그라우트 주입 공정이 추가됨 · 고무 팩커가 아닌 천 팩커를 사용하므로 고압력을 유지하지 못함 ⇒ 앵커력 증가효과 없음	· JSP 그라우팅 공정이 추가됨 · JSP 공사비 고가로 앵커 수평간격이 증가해도 앵커 총공사비 상승 · 시공경험과 숙련공이 필요	· 펄스방전의 공정이 추가됨 · 시공경험과 숙련공이 필요

다. 사회·문화적 측면

■ 펄스파워 기술은 고전압 또는 대전류의 대전력 펄스를 고속으로 제어하는 기술로 그 핵심은 기계적인 또는 전기적인 장치에 에너지를 저장하였다가 어느 정도의 짧은 시간에 부하로 방출하는 기술이다. 산업이 고도화됨에 따라 펄스파워 기술은 중요한 기술분야들 중의 하나로 자리 잡고 군사기술, 레이저, 핵물리 및 항공우주산업의 기초가 되는 첨단 분야이다. 하지만 각종 부품 및 기술이 일반에게 공개되지 않아 다른 산업기술에 비해 각종 분야에 응용되지 못해왔던 기술이다. 90년대 중반에 이르러 여러 분야에서 다양하게 사용되기 시작한 이 기술은 펄스라는 전기에너지의 한 현상을 이용하는 것으로 외국의 경우, 특히 러시아에서는 몇 년 전 부터 이러한 펄스 파워를 토목공학에 적용하고자 하는 시도가 이루어지고 있으며 우리나라에서도 최근 하수처리에 있어서 펄스를 이용한 신기술이 개발되었고 암반 파쇄 등에 기존의 폭파에 의한 파쇄 방법의 대안으로 연구가 진행되어 현장에 적용시키려는 시도가 이루어지고 있다.

■ 최근 우리나라의 국민생활의식 수준이 선진국과 대등할 정도로 높아지면서 환경 및 공해에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 현상은 도심을 중심으로 점점 소음 및 진동 그리고 사유지 침범에 대한 민원제기로 나타나고 있으며, 따라서 기존의 많은 기술들이 적용되지 못하고 사라지고 있다. 이러한 관점에서 펄스파워는 자연의 물리적 힘을 이용하기 때문에 친 환경적이며 펄스 파워를 이용한 앵커 설치 공법은 앵커 시공 시 문제시 되었던 지반과 앵커의 부착력 감소, 연약지반에서의 시공 불량 등의 문제점을 개선할 수 있는 공법으로 기술개발이 완료되면 다음과 같은 효과가 있을 것으로 판단된다.

① 앵커의 인발력을 향상시킴으로써 경제적 앵커가 가능.
② 앵커의 길이를 줄임으로써 근접시공시 효과적인 시공이 가능.

제 2 절 연구개발 목표 및 내용

1. 연구개발의 최종목표

가. 최종목표

펄스파워를 이용한 확공형 다구근 앵커공법 개발

토사지반 및 연약지반에서 적용성이 우수한 앵커공법을 개발하는 것이 최종목표이며, 신공법을 개발하기 위한 세부 연구목표 및 기술연구 성과물의 범위는 다음과 같다.

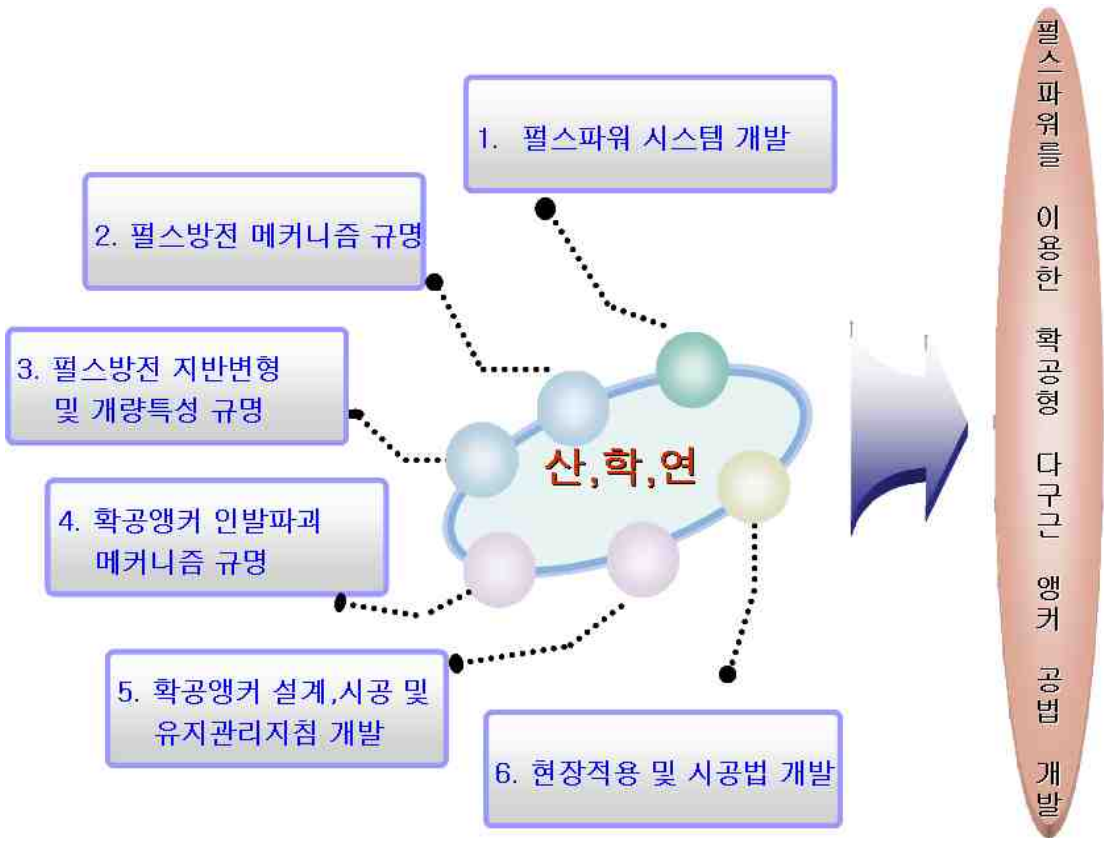


그림 1.2.1. 연구세부목표

■ 세부연구목표 및 기술연구 성과물의 범위

세부 연구목표	기술연구 성과물의 범위
펄스파워 시스템 개발	• 펄스방전장치 개발(전달장치, 방전장치, 선단장치) • 펄스충전시스템 개발(Capacity, 연결부)
펄스방전 메커니즘 규명	• 펄스파, 펄스방전횟수, 방전주기 등에 따른 펄스압 전달 메커니즘 규명 • 모형실험에 의한 펄스압 측정
펄스방전에 의한 지반변형 및 개량특성 규명	• 펄스압에 따른 지반조건별 확공률 제시 • 펄스방전에 따른 지반변형특성 규명 • 펄스방전에 따른 지반개량특성 규명
확공형 앵커의 인발파괴 메커니즘 규명 및 설계식 개발	• 모형실험과 실대형 실험을 통한 확공앵커의 인발파괴 영향인자 규명 • 수치해석을 통한 앵커-구조물 인발 및 지반변형특성 규명 • 설계식 개발
확공앵커 지침개발	• 확공앵커 설계·시공 지침서 개발 • 앵커구조물의 유지관리 지침 개발
현장적용 및 시공법 개발	• 현장시험시공을 통한 펄스앵커 시공법 개발

나. 최종목표의 성격 및 설정 근거

연구목표	성 격	설정근거
● 펄스파워를 이용한 확공형 다구근 앵커공법 개발	제품개발 공정개발 요소실험 설계,시공지침개발 실용화	● 연구기간 : 3년 - 1차년도 : 기반기술 구축 - 2차년도 : 실용화기술을 확보 - 3차년도 : 시험시공을 통하여 시공법 개발 ● 연구비 : 12억 - 확공앵커 인발파괴 메커니즘 규명(실험, 수치해석) - 펄스방전 지반변형,개량특성 규명(실험, 수치해석) - 펄스방전장치 개발 - 펄스충전시스템 개발 - 현장시험시공에 의한 공법 검증 - 제 지침서 개발(앵커 설계, 시공, 유지관리) ● 연구자의 역량(최고의 산+학+연 기관이 협력) - 대우건설 : 국내 최고의 시공/연구능력을 갖춤 - 시설안전기술공단 : 구조물 진단, 유지관리전문 정부출연기관 - (주)세원리타 : PDT 말뚝, 앵커 시공전문회사 - 성균관대학교, KAIST : 지반 및 앵커전문가(실험, 해석기술) - (주)삼우기초기술 : 국내 최고의 앵커 제조, 설계전문회사 - (주)코리아에스이 : 국내 최고의 앵커 제조, 설계전문회사 - 서정엔지니어링(주) : 토목 설계회사 ● 현단계의 기술수준 - 무가압식 마찰형 앵커사용 ☞ 가압확공에 의한 지반개량, 확공형 앵커개발 - 활용되는 확공장치 없음 ☞ 펄스방전을 이용한 확공장치 개발 - 지반과 앵커체 상호작용 규명 미흡 ☞ 지반변형 및 개량특성 규명 - 복합형 앵커 인발메커니즘 연구 미미 ☞ 다구근 앵커 설계법 개발

다. 연구개발과제의 핵심어(keyword)

핵심어	핵심어1	핵심어2	핵심어3	핵심어4	핵심어5
국문	펄스파워	지반개량	확공형앵커	인발 저항력	연약지반
영문	Pulse Power	Ground Improvement	Expanded Anchor	Pullout Capacity	Soft Ground

2. 연차별 연구목표 및 내용

연차	개발목표	세부연구목표	주요 연구내용
1차년도	확공앵커 기반기술 개발	펄스확공 메커니즘 규명	• 펄스파 및 전달에너지에 관한 이론연구 • 펄스방전에 관한 모형실험
		인발파괴 영향인자 규명	• 확공 앵커 인발파괴 메커니즘에 관한 이론연구 • 앵커 시험체 제작 • 인발파괴 영향인자 규명(모형실험)
		펄스방전에 의한 지반변형해석	• 펄스압에 의한 지반변형에 대한 이론연구 • 펄스방전에 의한 지반변형 수치모델연구
		앵커공 관련 기준 및 지침 분석	• 기존 앵커 기준 및 지침 문제점 파악 • 국내외 앵커 기준 및 지침 조사
2차년도	실용화 기술 개발	펄스방전을 이용한 앵커 정착부 확공장치에 대한 연구	• 확공 메커니즘 연구 (방전실험에 따른 에너지전달연구 및 선단장치 펄스방전양상분석) • 펄스방전을 이용한 앵커 정착부 확공장치 연구 (앵커전용 펄스 선단 장치 및 케이블 설계 제작)
		인발파괴 메커니즘 규명 및 설계식 개발	• 인발파괴 영향인자/메커니즘 규명(사질토) - 모형실험, 실대형실험, 수치해석 • 확공앵커 인발저항에 관한 설계식 제안
		확공율 및 지반 개량특성 분석	• 확공률 분석 (사질토) - 모형실험, 수치 해석 • 지반개량 이론연구/모형실험(사질토)
		앵커공 시공, 유지관리 지침 도출을 위한 연구	• 1차년도 연구를 바탕으로 앵커 시공, 유지관리시 발생하는 주요 결함사항을 지속적으로 연구
3차년도	현장적용 및 공법 개발	펄스앵커 장비 및 주입재료 개발	• 펄스앵커 전용 충전장치개발 • 펄스앵커 전용 주입재료 개발
		인발파괴 메커니즘 규명 및 설계식 개발	• 인발파괴 영향인자/메커니즘 규명(점성토) - 모형실험, 실대형실험, 수치해석 • 확공앵커 인발저항에 관한 설계식 개발 • 시공과정을 고려한 지반-구조물 거동 수치해석
		확공율 및 지반 개량특성 분석	• 확공률 분석 (점성토) - 모형실험, 수치 해석 • 지반개량 이론연구/모형실험(점성토)
		시험시공	• 현장섭외 • 시험시공을 위한 설계 및 물량산출 • 시험시공에 의한 공법 검증 및 장비 성능 검증
		앵커공 설계,시공 및 유지관리 지침 작성	• 앵커 설계시 발생하는 주요 결함사항을 지속적으로 연구 • 설계식과 시험시공 결과를 이용하여 설계지침서 작성 • 시방서 작성

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

제 1 절 국내기술동향

■ 펄스파워

- 국내에 있어서 고전압·대전류 펄스파워기술은 전자빔, 살균소독, 오존발생 등의 용도로 사용되는 수kV, 수kA의 펄스파워장치가 일부 생산업체를 중심으로 개발되어 에어콘, 공기청정기 등에 이용되고 있음.
- 펄스코로나를 이용하여 발전소의 폐가스처리용 연구가 수행되고 있으나 실적이 미비.
- Synchrotron radiation, E-beam 용접기, 핵융합, 물체 가속용 전자가속에 대한 기초 연구단계에 있음.
- 최근 펄스파워 기술이 환경 및 토목 분야에 확장되는 추세로 펄스파워를 이용한 하수처리 기술, 암반파쇄 분야에서는 적용이 되고 있음.

■ 앵커공법

- 80년대 이후 활발하게 적용되기 시작하여 90년대 후반부터는 밀집된 도심지 굴착시 긴장재 제거할 수 있는 제거 앵커가 개발되어 시공되고 있음. 그라우트 앵커공법에 대한 연구는 지반 적용성에 대한 연구, 하중전이 분포 및 앵커체 개발 등의 분야에서 많은 발전이 있었으나 앵커 극한인발력을 높이기 위한 연구는 미비.
- 국내에 적용되고 있는 앵커의 대부분은 마찰형 앵커로, 최근에는 나선형, 원형, 지반개량형 앵커공법에 대한 연구(임종철,1998; 박시삼,2005; 강진용,1997; 이광수,1999)가 이루어지고 있음.
- 1990년대 후반에는 인장재인 강연선을 절곡시켜 내하체(또는 정착체)에 연결하여 시공완료 후 인장재를 제거할 수 있는 앵커체가 일본으로부터 도입.
- 근래에는 인장재를 인력으로 손쉽게 제거할 수 있는 기술이 개발되어 사용되고 있으며 그 제거 방법도 다양하게 개발되고 있음.
- 그라운드 앵커공법의 적용 초기에는 대상지반이 주로 암반, 화강풍화토 등 양호한 지반이었으나, 최근에는 서해안의 개발로 연약지반에서 대규모의 굴착공사가 빈번하게 이루어지고 있어 연약지반에서 앵커 극한인발력을 증대시킬 수 있는 공법이 절실히 요구되고 있음.

1. 국내 시장 현황 및 예측

■ 건설업 총 공사액

○ 2005년 중 건설업체가 시공한 총 공사액은 152조 6,210억원으로 전년에 비해 2.6%(3조 9,070억원) 증가하였음.
'04년의 증가율(8.2%) 및 증가액(11조 2,920억원) 보다 다소 낮은 수준임.

표 2.1.1. 연도별 건설업 총 공사액 비교 (단위 : 10억원, %)

공사액 / 분야	공사액			구성비	증감률	
	2003년	2004년	2005년		2004년	2005년
합계	137,422	148,714	152,621	100.0	8.2	2.6
종합건설업	61,534	65,615	66,720	43.7	6.6	1.7
전문직별공사업	75,888	83,099	85,901	56.3	9.5	3.4
전문	48,447	53,052	52,725	34.5	9.5	-0.6
설비	7,798	8,708	9,417	6.2	11.7	8.1
전기	11,580	12,500	13,532	8.9	7.9	8.3
통신	5,985	6,658	7,478	4.9	11.2	12.3
기타 (소방, 오수, 난방)	2,078	2,181	2,749	1.8	5.0	26.0

자료 출처: 통계청, 2005년 기준 건설업 통계조사

■ 공사 종류별 공사액

○ 건축공사는 90조 620억원으로 전년대비 2.2%(1조9,180억원) 증가하였음.
- 주택·아파트(4.4%), 기타건축시설(15.2%)공사가 증가하였으며,
- 호텔숙박시설(-23.6%), 사무실(-12.6%), 학교(-9.4%), 백화점·쇼핑센타(-7.7%)공사는 감소하였음.

○ 토목공사는 43조 1,430억원으로 전년대비 5.9%(2조 7,180억원) 감소하였음.
- 고속도로(19.7%), 항만(4.7%)공사가 증가하였고,
- 도로교량(-10.7%), 일반도로공사(-10.5%), 지하철(-0.9%)공사는 감소하였음.

표 2.1.2. 연도별 공사종류별 공사액 비교 (단위 : 10억원, %)

공사액 / 분야	공사액			구성비	증감률	
	2003년	2004년	2005년		2004년	2005년
국내공사액	132,299	144,012	147,729	100.0	8.9	2.6
건축	80,274	88,144	90,062	61.0	9.8	2.2
토목	43,816	45,861	43,143	29.2	4.7	-5.9
산업설비	6,380	7,502	11,576	7.8	17.6	54.3
조경	1,829	2,505	2,948	2.0	37.0	17.7

자료 출처: 통계청, 2005년 기준 건설업 통계조사

■ 국내 앵커 시장 현황

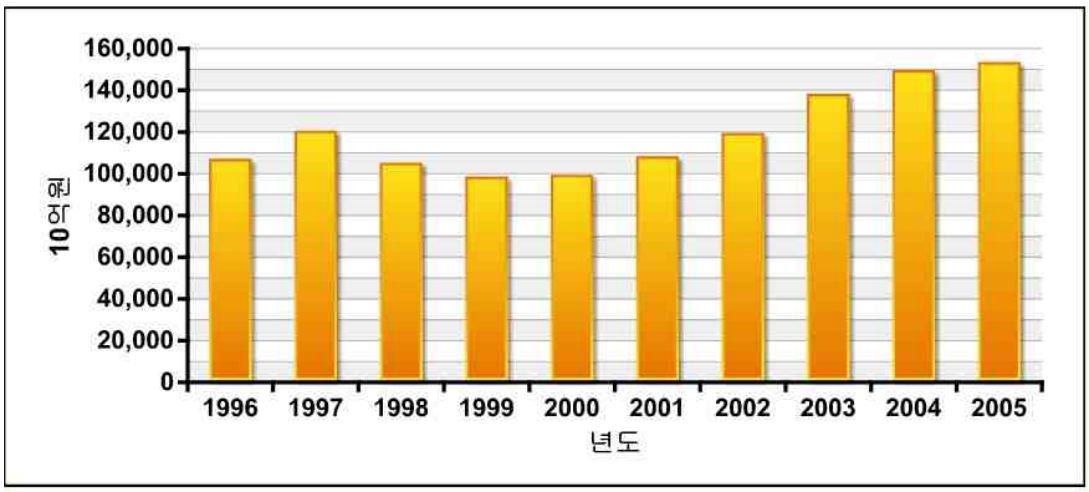
국내에서 사용되고 있는 그라운드앵커 약98%가 인장재를 강연선(P.C. Strand)으로 사용하고 있다. 따라서 강연선의 국내 연간 소모량을 이용하여 앵커 국내시장규모를 예측할 수 있다. 강연선을 생산하고 있는 국내 업체는 4개로 연간 약 97,200ton을 생산하여 46%(45,000ton)을 국내에 판매하고 있다. 이 중 교량용으로 62%, 그라운드앵커용 24%, 철도침목용 11% 및 기타 3%의 비율로 사용되고 있다. 그라운드앵커용 24%인 10,800ton은 15m 앵커 길이로 약 181,000공으로 연간 140억 정도로 가시설용은 44%인 약 62억 정도 적용되고 있다. 그러나 연약지반에서 앵커 극한인발력을 확보하지 못하여 타 공법으로 변경된 것을 포함한다면 이 금액보다 훨씬 큰 공사비를 가질 것이다.

표 2.1.3. 국내 앵커 종류별 사용 현황 단위 : ton

구분	월간 사용량	년간 사용량	비고
교량용	2,300	27,600	62%
앵커용	900	10,800	24%
철도 침목용	400	4,800	11%
기 타	100	1,200	3%
계	3,700	44,400	100%

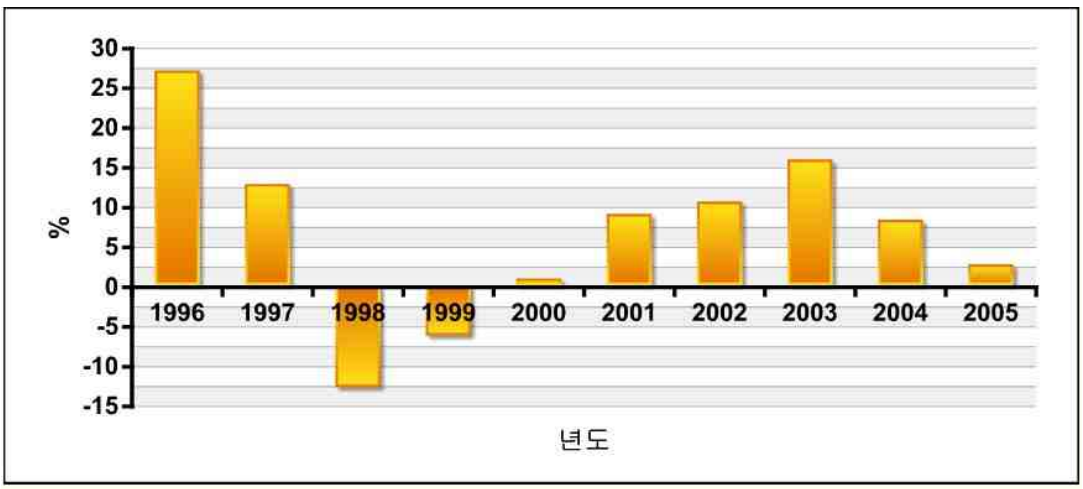
■ 국내 시장 예측

- 국내 공사액의 추이를 살펴보면 1999년을 기점으로 점차 증가하고 있음.
- 하지만, 2003년을 최고 정점으로 줄어드는 추세임.
- 따라서, 앞으로 국내시장은 현 규모에서 보합세를 보일 것으로 판단됨.
- 서해안 시대의 개막으로 연약지반에서 대규모의 굴착공사가 빈번하게 이루어지고 있어 앵커시장의 규모가 증가할 것으로 예측됨.



자료 출처: 통계청, 2005년 기준 건설업 통계조사

그림 2.1.1 연도별 건설공사액 추이



자료 출처: 통계청, 2005년 기준 건설업 통계조사

그림 2.1.2 연도별 전년대비 증감률

2. 국내 주요 관련 업체

업체명	업체별 능력	비 고
(주)삼우기초기술	앵커 설계 및 생산업체. SW-RCD(Removable, Compressive and Distributive) Anchor, SW-U Ground Removable Anchor, SW-CLOSE, SW-OPEN Type Ground Anchor, SW-PCD(Permanent, Compressive and Distributive)Anchor등 제작,앵커 체 관련 특허 보유 http://www.samwoogeotech.co.kr/	중소기업
(주)쏘일텍코리아	STK영구앵커, MLT영구앵커, MLT제거형앵커, 마이크로파일, 락앵커 등 설계 및 시공, http://www.stk21.co.kr	중소기업
지오텍코리아	토목공사 전문업체, 사면보강, 보링그라우팅, 앵커, 보강 토 옹벽 공사 시공, http://www.geo-korea.co.kr/	중소기업
네오엔지니어링	어스, 옹벽앵커 전문 시공업체, http://www.neoeng.net/	중소기업
(주)코리아에스이	토목공사자재 제조업체, 어스앵커, 타이케이블, 타이로드 생산 및 설계, 특허 9건, 실용신안 19건의 기술력 보유 http://www.korease.co.kr	중소기업
지앤에스건설	토목공사 전문업체, 사면보강, 보링그라우팅, 앵커, 보강 토 옹벽 공사 시공, 제거 가능한 토목용 앵커 관련 특허 보유 http://www.gs21c.com	중소기업
(주)GS건설	종합건설 회사, 앵커 관련 특허 다수 보유	대기업
(주)SK건설	종합건설 회사, 앵커 관련 특허 다수 보유	대기업

3. 국내 전문가 및 연구기관 현황

항목	전문가	소속기관	기술개발현황	수준 (국외대비)
펄스 이론	김철영	플라즈마연구소	Pulse Power 장비 개발	80%
	이홍식	전기연구원	장수명 Pulse Power 전원 개발	80%
앵커 구근의 확공률 분석	임종철	부산대학교	JSP로 지반개량한 앵커공법	70%
	천병식	한양대학교	앵커체 형식에 대한 연구 수행	70%
	김태훈	(주)대우건설	Pulse를 이용한 말뚝 구근 형성 분석	70%
지반변형 해석	이승래	KAIST	지반변형 해석에 대한 연구	70%
	김홍택	홍익대학교	지반변형 해석에 대한 연구	70%
	이영생	경기대학교	지반변형 해석에 대한 연구	70%
파괴 메커니즘 분석	김낙경	성균관대학교	앵커체의 인발메커니즘 연구	70%
	권오균	계명대학교	지반의 파괴메커니즘 연구	70%
	차경섭	(주)대우건설	지반의 파괴메커니즘 연구수행	70%

4. 국내연구 인프라 수준

기술분야	인프라 항목	선진국 대비 인프라 수준				
		부족	다소 부족	동등	우월	보다 우월
Pulse Power 앵커	연구시설 및 설비	○				
	기초인력	○				
	산업기술인력		○			
	산학연공동연구기반	○				
	정보화	○				
	표준화기반	○				
	기술이전 및 거래	○				
	국제기술협력기반	○				

5. 국내 기술개발 수준

세부기술 내용	국외 현황 (주요선진국명)	국내 개발 현황	수준 (국외대비)
Pulse Power	Rita (러시아)	김철영	100%
Pulse Power 말뚝	Rita (러시아)	김태훈, 채수근, 정규점	70%
Pulse Power 앵커	Rita (러시아)	무	50%

제 2 절 국외기술동향

국명	국외 기술 및 산업 동향
미국	• 토사앵커와 암반앵커 모두 고강도의 지지력을 얻어내고 부식을 방지하는 기술을 개발하였으며, 그라운드 앵커에는 케이싱을 사용하여 천공하는 대형의 보링 기계에 의해 케이싱으로 시멘트 밀크를 주입하는 공정의 앵커공법에서 벗어나 인장부(tendon)에 관한 신소재의 개발, 가설에서 영구 앵커의 적용, 기술심사증명의 취득 등 시공기술과 품질의 향상에 주력.
일본	• 일본의 '사면 안정 협회'는 사면 붕괴 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 영구앵커가 적용된 A S S(the Association of Slope Stabilization) 공법은 경제성과 내구성을 만족하는 동시에 녹화 등 미관도 수려한 공법으로 널리 적용 중에 있음. • 일본의 SHS(Super Harmony System) 영구 앵커 협회에서는 SHS 영구 앵커공법을 비롯하여 다양한 그라운드 앵커공법을 보유하고 있으며, 영구 앵커공법은 물론, 틈막이 앵커공법이나 록 볼트 외 암반 붕괴 방지 공법, 내진 보강 등 다양한 사면 상황에 적절한 앵커의 개발 및 보급에 활발한 활동을 하고 있음. • 일본 KAJIMA 건설은 현장으로 용이하게 조립 가공할 수 있는 여러 가지 영구 앵커를 개발하였으며 그 중 Super MC 앵커(Spiral Reinforced Multiple Compressive Anchor)는 스파이럴 보강근을 배치하여 앵커 지지력을 비약적으로 향상시켰던 것이 특징 임.
E U 국가	• 시공에 있어서의 천공방법과 인장부의 재료 개발, 특수조건하에서의 주입기술, 특수지반에 대응하는 앵커의 시공방법 등이 개발되고 있으며, 지반 굴착에 있어서도 드릴 굴착 장치와 장비의 발달에 의해 높은 힘과 토크를 전달하고 앵커 머리 부분의 회전 타격방식(rotary percussion)의 도입으로 앵커의 안전율이 증가하고 있는 추세.
홍콩	• 1977년부터 '지반공화국'이라는 산사태 전담부서를 설치하여 항공사진 분석을 통해 지형의 변화를 추적하고 사람이 깎아 만든 비탈에 대한 자료도 꼼꼼하게 전산화 관리하고 있으며 여기에 적용된 5만7000개의 절개지 보강에는 대부분이 여러 가지 그라운드 앵커와 옹벽이 적용하여 지속적인 유지관리를 수행하고 있음.

1. 주요국가의 시장규모

■ 미국

(단위 : 백만달러)

구분	2000	2001	2002	2003
전체건설시장	828,180	858,291	871,342	915,742
공공발주공사	185,529	205,797	219,636	225,724

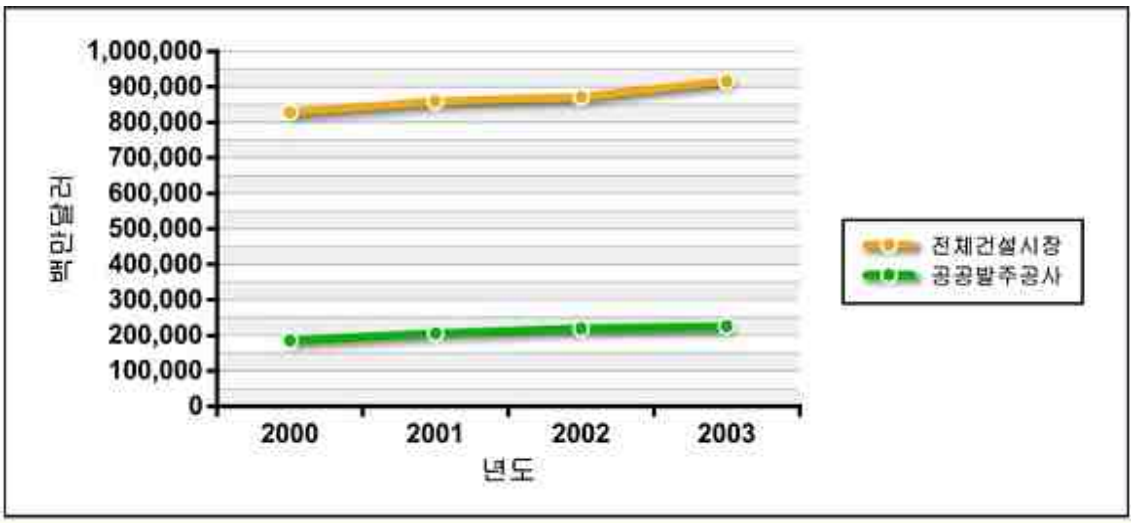


그림 2.2.1 연도별 미국 건설시장 규모

■ 일본

(단위 : 억엔)

구분	1999년	2000년	2001년	2002년
공공건설투자	319,379	299,632	277,900	249,500
GDP(국내총생산)	5,106,873	5,154,779	5,026,023	4,996,000

■ 영국

(단위 : 억달러)

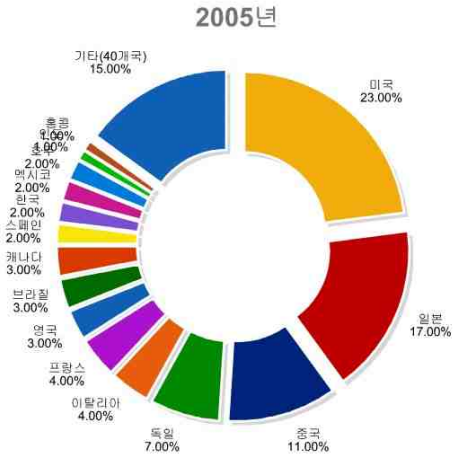
구분	2002년	2003년	2004년
공공건설투자	103	91	70
GDP(국내총생산)	15,650	17,950	21,320

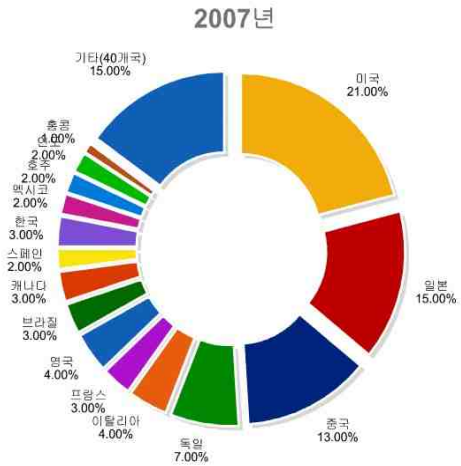
2. 세계시장을 선도하는 주요 업체

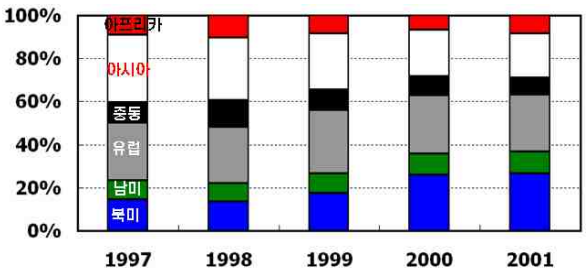
업체명(국적)	업체별 능력	중점 분야
CINTEC(독일)	micro concrete, ground anchoring	설계
Hayward Baker Inc.(미국)	soil and slope stabilization, under pinning	설계, 시공
Willians form engineering corp.(미국)	concrete forming products, multiple corrosion protection anchors	설계, 시공
쉬나벨(미국)	지반공학관련 시공 및 설계	설계, 시공
디비닥(독일)	프리스트레스 및 포스트텐션 교량 시공 및 설계 앵커리지 시공 및 설계	설계, 시공
브이에스엘	프리스트레스 및 포스트텐션 교량 시공 및 설계 앵커리지 시공 및 설계	설계, 시공
KAJIMA (일본)	Super MC 앵커(스파이럴 보강 압축형 영구앵커) 개발	시공기술
TAISEI (일본)	앵커 응답 내진 보강공법의 실용화 기술 VSL-J1 영구 앵커공법	내진보강
OBAYASHI (일본)	일본 최초, 경사형 영구 앵커공법을 채용	시공기술
SHIMZ (일본)	SR-CF 공법에 의한 철근콘크리트 벽의 내진 보강	내진보강
Takken (일본)	VSL-J1영구 앵커공법	시공기술

3. 해외 시장예측 및 발전전망

본 자료는 통계청 및 KICM의 기술조사자료를 근거로 작성된 것으로 아래의 그림은 전 세계의 건설산업에 대한 아시아권의 건설산업분포를 연도별로 나타낸다. 예측결과 2005년 2%에서 2007년 3%정도로 국내 건설이 증가가 예측된다. 즉, 국내의 건설시장 규모는 2002년 895억불에서 2003년 951억으로 증가하였으며(Global Insight, 2003), 2000년의 건설시장 규모는 10위권으로 분석됨. 이처럼 국외의 건설산업의 변화를 고찰할 때 국내의 건설산업 및 지반보강관련 산업은 증가가 예상되며 이에 따른 본 연구의 성과 역시 시대적 흐름을 선도할 수 있을 것으로 예상된다.







	1997	1998	1999	2000	2001
아프리카	9.1	10.5	8.5	6.8	8.4
아시아	31.5	29.1	26.2	21.6	20.6
중동	9.5	12.3	9.4	8.8	8.0
유럽	26.8	26.3	29.4	27.2	26.5
남미	8.8	8.4	9.1	9.8	10.0
북미	14.3	13.4	17.4	25.8	26.5

순위	국가	건설시장 규모 (억불)	GDP 대비 (%)	순위	국가	건설시장 규모 (억불)	GDP 대비 (%)
1	미국	8,193	6.24	11	캐나다	652	10.18
2	일본	6,179	12.87	12	인도	602	12.28
3	독일	2,527	11.37	13	멕시코	446	8.95
4	중국	1,813	17.02	14	러시아	434	10.81
5	영국	1,092	7.72	15	호주	433	10.49
6	브라질	1,091	13.80	17	대만	327	10.47
7	프랑스	1,067	7.01	24	사우디 아라비아	238	16.95
8	이탈리아	958	8.11				
9	스페인	864	14.76	29	싱가폴	174	18.67
10	한국	682	15.40	43	말레이시아	95	12.05
				50	쿠웨이트	51	16.80

· ENR 2000. 12. 4

그림 2.2.2. 해외 시장 규모

2006년 세계경제는 고유가에 대한 부담과 버블붕괴 위험이 존재하나 미국과 중국의 견실한 성장으로 연간 4%대의 경제성장률 예상된다. 고유가로 인한 물가상승과 조류 인플루엔자, 허리케인 등 각종 재난으로 인한 소비위축이 가시화되면서 세계경제는 불안정한 국면을 보이나 미국경제의 잠재성장률 이상의 견실한 성장세와 중국의 8% 대 고성장세 지속으로 세계경제는 4%대 초반의 성장률을 기록할 것으로 전망된다. 중국 등 개도국(NICs)과 산유국의 성장세는 여전히 높을 것으로 예상된다.

제 3 절 기술동향 분석 결론

1. SWOT분석

• SWOT 분석

강점	- 정착장의 주면마찰력 증가로 인발저항 증가 - 다양한 지반조건 적용 가능 - 길이축소로 인한 대지활용 증대	약점	- 펄스방전 장비의 상용화가 필요 - 펄스방전 공정추가로 시공 복잡
기회요인	- 앵커 설계의 신개념 기술 확보 - 도심지 협소지역에서의 대형 지반굴착의 보편화	위협요인	- 건설 업체의 참여 미비 - 건설 산업 전반의 경기 부진 - 시장 경쟁력 확보의 불확실성

본 공법의 내부요인(강점, 약점) 및 외부요인(기회요인, 위협요인)을 분석하고, 중점전략을 선정하였다.

• 중점전략 선정



그림 2.3.1. 해외 시장 규모

2. 시사점 및 결론

■ 사회여건의 변화

국민생활의식 수준이 선진국과 대등할 정도로 높아지면서 환경 및 공해에 대한 관심이 증대

- 소음 및 진동 그리고 대규모 굴착에 의한 사유지 침범 및 피해에 대한 민원제기가 증가
- 기존의 그라운드 앵커공법은 연약지반에서는 시공이 어려울 뿐만 아니라 충분한 인발 저항력을 발휘하기 위해 깊은 곳까지 시공하다보니 인접 대지를 침범하는 경우가 빈번

■ 시공성, 경제성 우위 공법 필요성 대두

최근 우리나라에서는 사회 간접 시설이나 문화생활을 위한 공간 등에 대한 요구가 커지고 있는 추세이며 보다 경제적이며 효과적인 공법의 필요성 제기

- 이러한 요구를 충족하기 위한 시설을 수용할 만한 부지의 부족으로 인해 간척지를 개척하고 사회기반시설이나 건물 등이 대형화 및 고층화 되고 있는 추세이며, 이에 따른 대규모 굴착공사가 증가추세에 있음

■ 새로운 분야 접목된 연구필요

- 전기공학분야와 토목분야의 접목으로 새로운 형식의 앵커공법 개발 요구
- 펄스파워를 이용한 지반개량형 확공앵커공법은 확장된 구근에 의한 지압력과 정착장의 마찰력에 의해 동시에 저항할 수 있는 복합형 공법으로 기존 앵커공법들의 취약점을 상당부분 개선

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 펄스압에 의한 확공특성

1. 이론연구

가. 펄스파워

펄스 파워(Pulse power)란 전기에너지 상태에서 방전시키는 현상을 이용한 에너지 압축 기술로서 단위시간당의 에너지 변화량을 나타내는 물리량(dE/dt, 여기서 E와 t는 각각 에너지 및 시간)으로 그 크기는 주어진 에너지를 어느 만큼의 짧은 시간 내에 부하로 방출하느냐에 의해 결정된다. 그림 A-1,2와 같이 1J(joule)의 에너지를 1초 동안에 방출하면 1W(watt)의 파워가 되지만 1㎲ (10^{-6}초)의 짧은 시간에 방출 하면 단위 시간당의 에너지 변화량이 아주 큰 1MW(10^{6}Watt)에 이르는 큰 파워를 가지게 된다. 즉 펄스파워 기술은 에너지 보존 법칙의 원리에 의한 것으로 에너지저장 장치를 통하여 전력변환 혹은 에너지 압축을 이용 하는 기술이다.

$$W = P \cdot t = constant \Rightarrow P_1 \cdot t_1 = P_2 \cdot t_2 \quad [\, P_1 < P_2 \,,\, t_1 > t_2 \,]$$

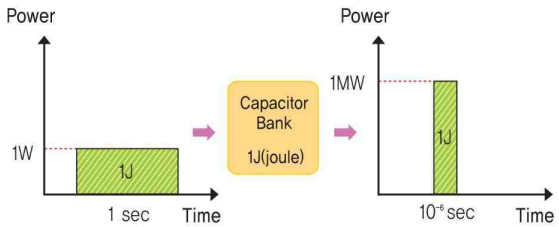


그림 3.1.1. 펄스 파워 발생 개념

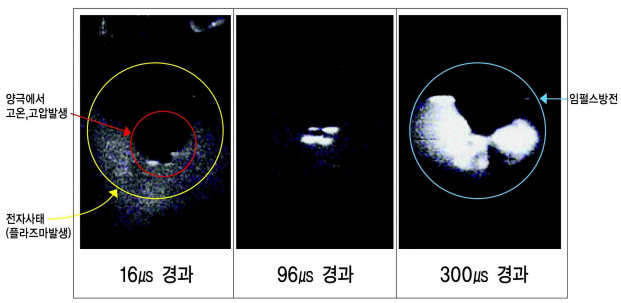


그림 3.1.2. 에너지방출 시간별 변화

응축된 매질(유체매질) 내에서 이루어지는 펄스 파워에 의한 에너지 방출 프로세

스는 다음의 2단계로 나누어진다.

■ 1단계

1단계의 현상은 응축된 매질 내부에 있는 양 전극 사이에 고전압을 인가하면 스트리머 채널(Streamer channel)이 생기는 것이다. 최초에 음극과 양극 사이에 고전압이 인가되면 음극을 출발한 전자는 그림 3.1.3.(a)와 같은 전자사태(Electron avalanche : 눈 사태와 비슷한 현상)를 형성하는데 전자사태란 고전압에 의해 양극 쪽으로 이동하는 전자들이 기체를 해리 또는 이온화 시키면서 전자의 수가 급격하게 증가하는 현상을 의미한다. 이때 충돌 전리로 생긴 양이온은 드리프트 속도가 작기 때문에 뒤에 남게 된다. 전자사태의 선단이 양극에 도달하면 전자는 즉시 양극에 흡수되어 나중에는 그림 3.1.3.(b)와 같은 양이온의 원추형 기둥이 남는다. 양극 부근의 양이온 밀도는 극히 크므로 전계는 그 근방에서 대단히 강해져 주변에서 발생한 전자(전자사태로부터 방사된 빛에 의한 전리로 생긴 전자)를 흡인한다. 이 전자는 흡인되면서 전자사태를 일으켜 그 후에는 고밀도의 양이온이 남는다. 이 이온은 다시 부근에 전자 사태를 만들어 순차 음극 쪽으로 진전해 간다. 흡인된 전자는 양이온 기둥 속에 유입하고 도전율이 큰 플라즈마 상태의 방전로를 형성하는데 이 현상을 스트리머(Streamer)라 한다. 스트리머의 선단은 그림 3.1.3.(c)와 같이 연속해서 전자사태를 흡인해서 음극으로 향하고 결국에는 전극간이 스트리머로 교락(Bridge-over)된다. 이것에 의해 Break-down이 발생하는 것이다.

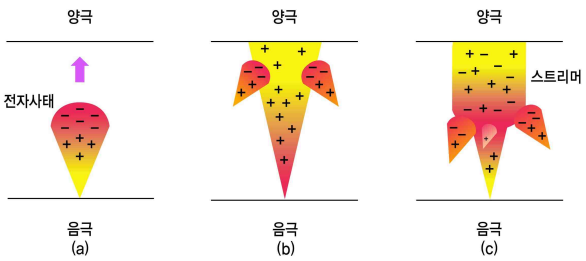


그림 3.1.3. 전자 사태로부터 스트리머로의 전환

■ 2단계

2단계는 리더중 하나가 플라즈마 터널(방전 터널)을 형성하면서 시작되는데 그림 3.1.4.에서 보듯이 이 터널 안에는 수십 ㎲ 내에 큰 에너지①과 높은 온도② 그리고 높은 압력③이 생기며 이런 조건이 터널의 순간적인 확장④와 주위 매체에 대한 압력 파동을 만든다(유체 내에 버블이 형성되어 버블이 점점 확장된다). 즉 충격파⑤(Shock wave)가 발생하며 이 충격파가 유체역학 작용⑥으로 변환된다. 이것이 펄스파워가 생기는 원리이다.

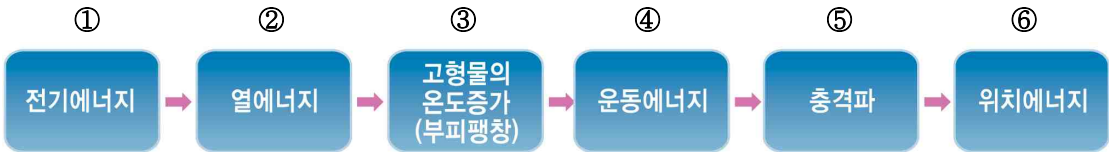


그림 3.1.4. 에너지 변화단계 모식도

나. 확공율

(1) 확공직경

천공된 구멍에 몰탈을 채우고 펄스 파워를 방전하게 되면 몰탈이 내려간다. 만약 초기구멍의 지름을 d_0, 펄스 파워 효과에 의해 내려간 몰탈의 높이를 Δh라 하면, 체적 변형량은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\Delta V = A \times \Delta h \tag{1-1}$$

$$= \frac{\Pi d_0^2}{4} \times \Delta h$$

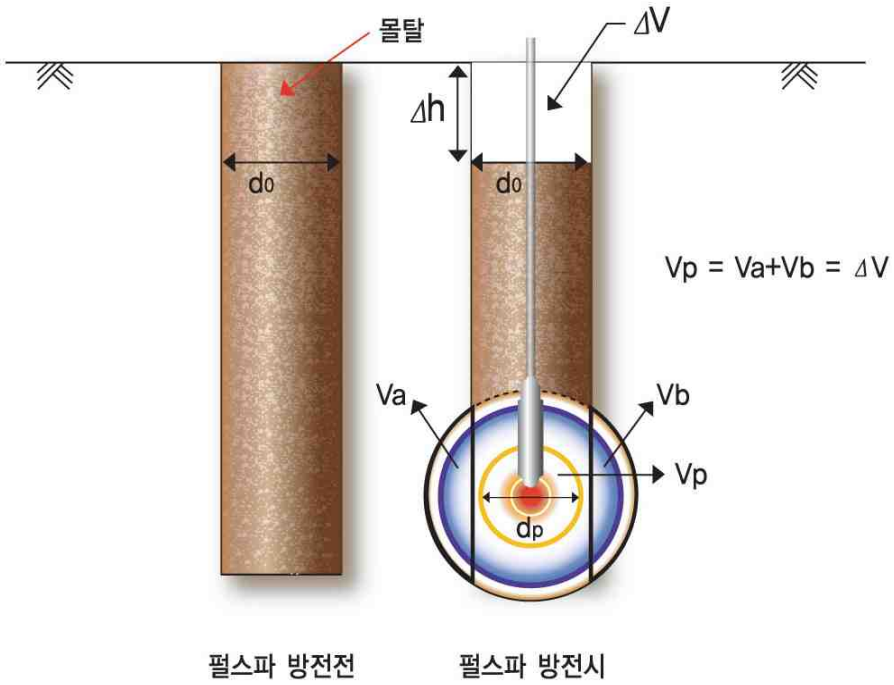


그림 3.1.5. 펄스 파워 에너지 방출에 의한 확공직경(가정)

선단 장치에서 발생한 압력은 사방으로 퍼지기 때문에, 만약 펄스 파워 효과에 의해 생긴 순간적인 공간을 구 모양이라 가정하면 가상의 구의 체적은 다음과 같다.

$$V_p = \frac{\Pi}{6} d_p^3 \qquad (1\text{-}2)$$

여기서, V_p = 가상의 구의 체적, d_p = 가상의 구의 직경이다.

식 (1-1)의 체적만큼의 몰탈이 펄스 파워 효과에 의해 확장된 공간에 채워지기 때문에 몰탈의 체적 변형량은 가상 구의 체적과 같다고 할 수 있다. 따라서, 식 (1-1)과 식(1-2)를 같다고 놓고 구의 직경 d_p에 대해서 정리하면,

$$\Delta V = V_p \qquad (1\text{-}3)$$

$$\frac{\pi d_0^2}{4} \times \Delta h = \frac{\pi}{6} d_p^3$$

$$\therefore\ d_p^3 = \frac{6}{\pi} \times \frac{\pi d_0^2}{4} \times \Delta h$$

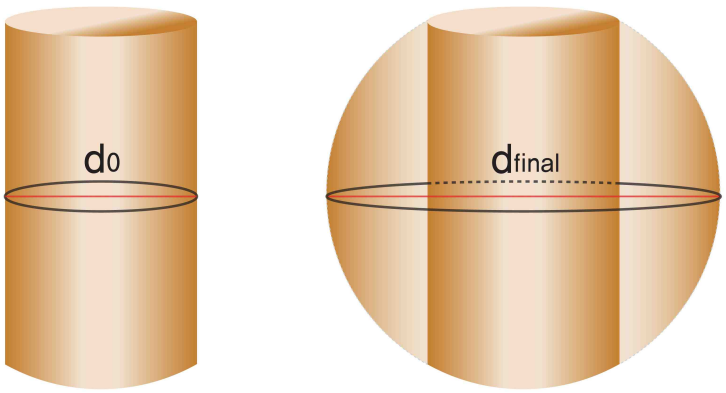
$$d_p = \sqrt[3]{1.5 d_0^2 \times \Delta h}$$

천공된 구멍에서 펄스를 방전하게 되면 방전지점의 단면적은 확장된다. 하지만 단면적은 확장된 구근의 모양에 따라 틀리기 때문에 정확한 면적을 구하기는 힘들다. 따라서 본 연구에서는 선단 면적은 다음과 같은 가정 하에서 구하였다.

즉 펄스 파워에너지를 방출할 경우 압력이 방사방향으로 작용하여 구멍을 확장하기 때문에 펄스 파워방전 위치에서의 확장된 구멍의 직경은 그림 3.1.6과 같이 구라고 가정하였다.

펄스 파워 효과를 주기전의 원기둥 말뚝의 초기 체적을 구하면 식(1-4)와 같다.

$$V_0 = \frac{\pi}{4} d_0^2 \times H \qquad (1\text{-}4)$$



(a) 확공전 (b) 확공후

그림 3.1.6. 펄스 파워에너지 방출에 의한 확공후 가상의 체적 변화

여기서, V_0 = 초기 원기둥 체적, d_0 = 원기둥 초기 직경, H = 원기둥의 높이를 나타낸다.

펄스 파워 에너지를 준 후 확장된 구의 체적은 식(1-4)에 의해 구한 초기 체적에 식 (1-1)에 의해서 구해진 가상 구의 체적 더해주면 얻을 수 있다. 즉

$$V_{final} = V_0 + V_p \tag{1-5}$$
$$= V_0 + \Delta V$$
$$= \frac{\Pi}{4} d_0^2 \times H + \frac{\Pi}{4} d_0^2 \times \Delta h$$

한편, 확장된 구는 원기둥에 의해 위아래가 잘린 모양을 하고 있으며 이를 다시 그리면 그림 3.1.7과 같이 그릴 수 있다. 그림과 같이 평면으로 잘린 구의 체적을 구하는 공식은 다음과 같다.

$$v = \frac{\pi h}{6}\left(\frac{3}{4}c_2^2 + \frac{3}{4}c_1^2 + h^2\right) \tag{1-6}$$

여기서,

v = 평면으로 잘린 구의 체적
h = 평면으로 잘린 구의 높이
c_1 = 평면으로 잘린 구의 위쪽원의 직경
c_2 = 평면으로 잘린 구의 아래쪽원의 직경

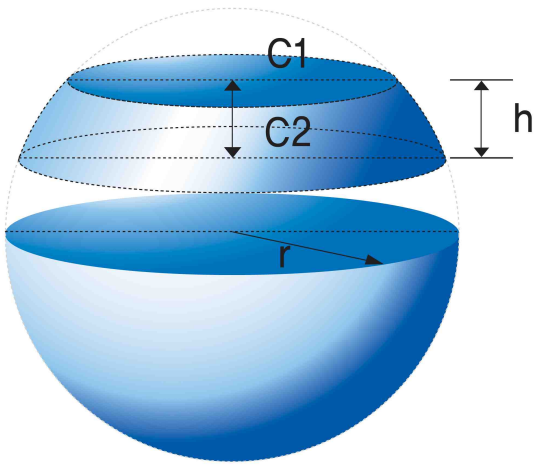


그림 3.1.7. 평면으로 잘린 구

따라서 확장된 구의 체적은 식 (1-6)에서 C1 대신에 d_0 를 그리고 C2 대신에 d_{final}을 대입하고 정리하면 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$\frac{V}{2}=\frac{\pi h}{6}\left(\frac{3}{4}d_{final}^2+\frac{3}{4}d_0^2+h^2\right) \tag{1-7}$$

$$V=\frac{\pi h}{3}\left(\frac{3}{4}d_{final}^2+\frac{3}{4}d_0^2+h^2\right)$$

식(1-5)과 식(1-7)은 같은 구에 대한 체적을 나타내므로 서로 같다고 놓고 확공 직경, d_{final}에 대해 정리하면,

$$V_{final}=\frac{\pi}{4}d_0^2\times H+\frac{\pi}{4}d_0^2\times\Delta h=\frac{\pi h}{3}\left(\frac{3}{4}d_{final}^2+\frac{3}{4}d^{2_0}+h^2\right) \tag{1-8}$$

$$\therefore \frac{3}{4}d_{final}^2+\frac{3}{4}d^{2_0}+h^2=\frac{3}{h}\times\frac{1}{4}d_0^2\times H+\frac{3}{h}\frac{1}{4}d_0^2\times\Delta h$$

$$\therefore \frac{3}{4}d_{final}^2+\frac{3}{4}d^{2_0}+h^2=\frac{3}{4h}d_0^2\times H+\frac{3}{4h}d_0^2\times\Delta h$$

한편, 원기둥의 높이 $H=2h$, $h^2=r_{final}^2-r_0^2=\frac{d_{final}^2-d_0^2}{4}$ 이므로 식 (1-8)을 다시 정리하면.

$$V_{final}=\frac{\pi}{4}d_0^2\times H+\frac{\pi}{4}d_0^2\times\Delta h=\frac{\pi h}{3}\left(\frac{3}{4}d_{final}^2+\frac{3}{4}d^{2_0}+h^2\right) \tag{1-9}$$

$$\therefore \frac{3}{4}d_{final}^2+\frac{3}{4}d_0^2+\left(\frac{1}{4}d_{final}^2-\frac{1}{4}d_0^2\right)=\frac{3}{2}d_0^2+\frac{3}{4}d_0^2\times\frac{\Delta h}{h}$$

$$d_{final}^2+\frac{1}{2}d_0^2=\frac{3}{2}d_0^2+\frac{3}{4}d_0^2\times\frac{\Delta h}{h}$$

$$d_{final}^2=d_0^2+\frac{3}{4}d_0^2\times\frac{\Delta h}{h}$$

위 식 (1-9)을 다시 정리하면,

$$d_{final}^2 = d_0^2 + \frac{3}{4} d_0^2 \times \frac{\Delta h}{h} \tag{1-10}$$
$$d_{final}^2 - d_0^2 = \frac{3}{4} d_0^2 \times \frac{\Delta h}{h}$$

다시 $d_{final}^2 - d_0^2 = 4h^2$ 를 식 (1-10) 에 대입하여 정리하면,

$$d_{final}^2 - d_0^2 = \frac{3}{4} d_0^2 \times \frac{\Delta h}{h} \tag{1-11}$$
$$4h^2 = \frac{3}{4} d_0^2 \times \frac{\Delta h}{h}$$
$$4h^3 = \frac{3}{4} d^{2_0} \times \Delta h$$
$$h^3 = \frac{3}{16} d^{2_0} \times \Delta h$$
$$h = \sqrt[3]{0.19 d_0^2 \times \Delta h}$$

식 (1-11)에서 $h = \sqrt{\frac{d_{final}^2 - d_0^2}{4}}$ 를 대입하고 d_{final} 에 대해서 정리하면 식 (1-12)와 같다.

$$h = \sqrt[3]{0.19 d_0^2 \times \Delta h} \tag{1-12}$$
$$\sqrt{\frac{d_{final}^2 - d_0^2}{4}} = \sqrt[3]{0.19 d_0^2 \times \Delta h}$$

$$\therefore d_{final} = \sqrt{d_0^2 + 4 \times \left(0.19 d_0^2 \times \Delta h\right)^{2/3}}$$

(2) 확공율 및 확공계수

펄스 파워에너지 방출에 의한 체적의 변화는 일반적인 재료역학에서 말하는 체적 변형률 개념으로 쉽게 구할 수 있다. 따라서 체적 변화를 나타내는 확공률은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$ER = \frac{V_{final} - V_0}{V_0} = \frac{\Delta V}{V_0} \tag{1-13}$$

$$= \frac{\left(\frac{\pi}{4} d_0^2 \times H + \frac{\pi}{4} d_0^2 \times \Delta h\right) - \frac{\pi}{4} d_0^2 \times H}{\frac{\pi}{4} d_0^2 \times H}$$

$$= \frac{\frac{\pi}{4} d_0^2 \times \Delta h}{\frac{\pi}{4} d_0^2 \times H} = \frac{\Delta h}{H} \times 100(\%)$$

여기서,

ER = 확공률, V_{final} = 확공 구의 체적, V_0 = 초기 구의 체적

ΔV = 체적 증가량, d_0 = 초기 구의 직경, Δh = 몰탈 하강 깊이

식(1-13)에 의하면, 펄스 파워에너지 방출위치에서의 천공 구멍의 확공률을 몰탈의 하강 깊이로 알 수 있음을 나타내고 있다.

확공 계수는 다음과 같이 초기직경과 확공후의 직경을 비로 표현할 수 있다.

$$\text{확공계수} = \frac{d_f}{d_0} \tag{1-14}$$

2. 시험방법

가. 모형시험

모형토조시험은 실제 앵커의 시공간격을 고려하고, 실제 시공에 사용되는 펄스압을 적용할 수 있도록, 직경 1.5m, 높이 1m의 강재 원통형 토조를 이용하여 수행하였다. 모형토조의 모식도는 그림 3.1.8과 같다. 토조의 상부는 덮개를 씌워 펄스방전에 의한 지반의 교란을 방지하였다.

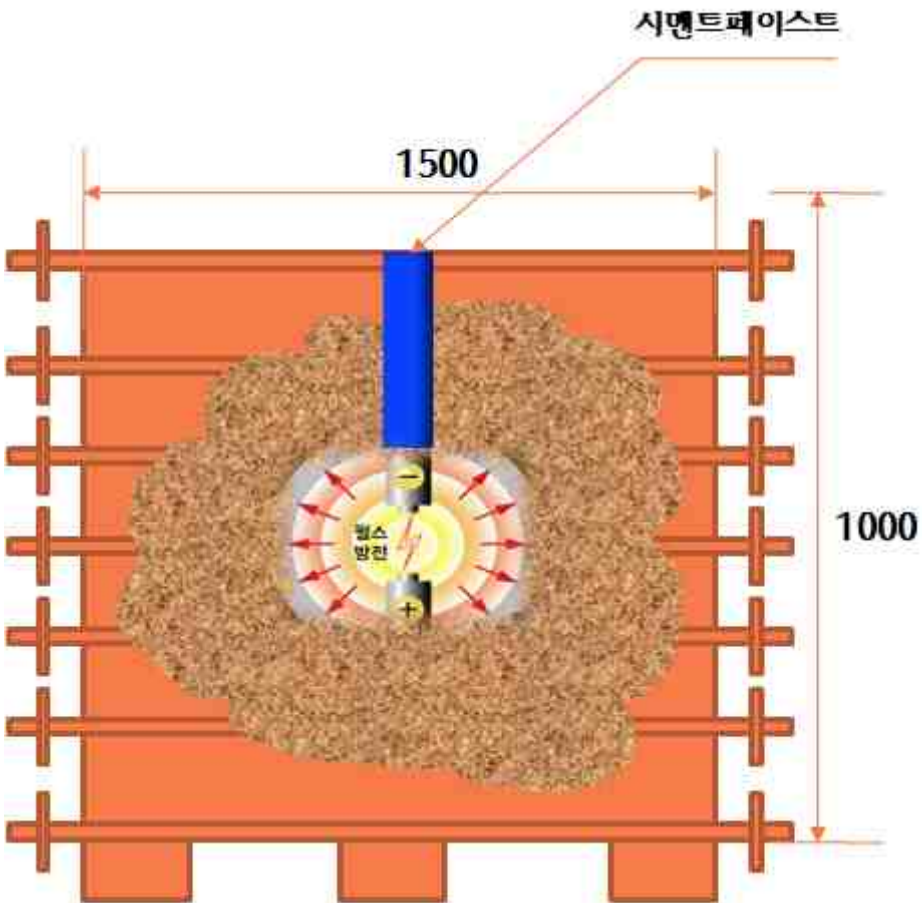


그림 3.1.8. 모형토조 모식도

(1) 지반제작

일반적으로 모래지반을 제작하는 방법은 강사법과 다짐법이 있다. 본 실험의 경우에는 토조가 대형인 관계로 강사에 의한 지반조성은 시간이 많이 걸리는 단점이 있어 다짐시료 제작과 동일한 방법인 층다짐에 의해서 지반을 제작하였다. 지반조성 후, 동적콘관입시험을 통하여 지반이 균질하게 조성됨을 확인하였다.

모래지반을 제작하는 과정은 그림 3.1.9와 같다.

모래는 상대밀도에 따라 양이 다르지만 2tonf이상 들어가기 때문에 크레인을 이용하여 투하하였고, 진동다짐기 및 정적다짐기를 이용하여 층다짐을 실시하였다. 한편, 그라우트제를 주입하기 위한 가이드관을 지반조성 중간에 토조의 중심부에 설치하였다.



- 모형토조



- 모래시료투하



- 전동 램머 다짐



- 가이드 설치



- 수동 다짐기



- 최종 단면

그림 3.1.9. 지반제작과정

(2) 펄스방전

본 실험에 사용된 펄스시스템은 일반 상용전원을 입력받아서 고전압으로 승압하여 캐패시터라는 저장장치에 전하를 충전한다. 그리고, 스위치에서 순간적으로 전류를 방전하며, 이는 전용 케이블과 방전선단장치를 통하여 지반으로 전달된다. 펄스시스

템은 그림 3.1.10과 같다.



그림 3.1.10. 펄스방전시스템

펄스방전순서는 먼저 물 시멘트비 50%의 그라우트액을 주입하고, 8kV 전압으로 충전된 에너지를 7~8초정도 일정간격으로 방전한다. 이후 확공율을 알기 위하여 그라우트액의 하강깊이를 측정하였다. 자세한 사항은 그림 3.1.11과 같다.



- 시멘트 페이스트 주입	- 펄스방전	- 하강깊이 측정

그림 3.1.11. 펄스방전순서

(3) 시험조건

시험조건 및 시험개수는 아래와 같다.

지반종류	상대밀도	방전횟수	개수
사질토 (표준사)	40%	3	1
		5	2
		10	1
		15	1
		20	1
		40	1
	60%	5	1
		20	1
		40	1
총 실험개수			10

* 천공경: 10cm, 천공경사: 90°, 천공길이: 60cm, 그라우트재 물/시멘트비: 50%
* 펄스전압 : 8kV, 캐패시티용량 : 1.2mF

상세한 시험조건은 아래의 기준을 근거하였다.

(가) 지반종류 및 밀도

본 연구의 개량목표 대상지반은 느슨한 사질토 지반이다. 점성토에 대한 실험을 수행할 예정이다. 사용된 시료는 주문진 표준사이며, 실험을 위한 지반밀도는 SPT N 값과 상대밀도의 관계로부터 상대밀도 40%, 60%, 80%로 결정하였는데, 각각 느슨한 상태, 중간조밀상태, 조밀한 상태를 의미한다.

표 3.1.1 N치-상대밀도-전단저항각 관계

N-치	상대밀도(Dr)		전 단 저 항 각 (ϕ)	
			Peck	Meyerhof
0-4	Very Loose	<20%	28.5° 이하	30° 이하
4-10	Loose	20-40	28.5-30	30-35
10-30	Medium Dense	40-60	30-36	35-40
30-50	Dense	60-80	36-41	40-45
50이상	Very Dense	80%이상	41° 이상	45° 이상

(나) 펄스방전

펄스에너지는 충전전압, 콘덴서용량 그리고 방전시간에 좌우된다.

$$E = \frac{1}{2} CV^2$$

여기서, E:펄스에너지, C, 콘덴서용량, V:충전전압
그러나, 본 연구에서는 장비의 한계로 인하여, 충전전압 및 콘덴서용량 방전시간 등을 일정하게 유지하였고, 방전횟수만 변화시켜 그 양상을 살펴보았다.

(다) 시공

실제 앵커의 경우 경사천공이 이루어지며, 자유장 및 정착장에 따라 그 길이가 변화하지만 본 연구에서는 실험의 한계상 천공경사는 수직으로 하였고, 천공경은 10cm, 천공길이는 60cm로 결정하였다. 그라우트 주입재는 일반 포틀랜트 시멘트를 이용하여 일반적으로 사용되는 물시멘트비 50%로 한정하였다.

나. 실대형시험

(1) 현장 위치 및 지반 특성

본 시험은 토사지반에서 펄스방전에 의한 확공특성을 확인하기 위한 시험으로 현장시험이 수행된 시험장소는 모래질 점토 및 풍화토 지반으로 구성된 성균관대학교 지반시험장이며, 수원시 장안구 천천동에 위치하고 있다. 지반 시험장 상부 층은 약간 조밀한 상태의 모래질 점토 및 실트질로 구성되어 있고, 하부층은 조밀 또는 매우 조밀한 상태의 풍화토로 이루어져 있다. 또, 시험장의 지층별 특성은 매립층(지표 - 5m), 충적층(5 - 7m), 풍화토층(7 - 13m), 풍화암(13 - 19m) 및 연암(19m 이하)으로 구성되어 있다. 지반 시험장의 주상도 및 표준 관입 시험 결과는 그림 와 그림 에 각각 나타나 있다.
앵커 현장시험을 수행하기 위해 천공작업은 유압장비를 이용하며 그라우트의 물/시멘트(W/C)비는 현장에서 일반적으로 사용하고 있는 50%로 하여 시험을 수행하였다.
방전횟수에 따른 극한인발력을 측정하기 위하여 방전횟수를 5회, 10회, 20회, 40회로 조정하였으며, 구근의 개수는 1개이다.
지반 종류에 따른 확공효과를 관찰하기 위하여 앵커를 풍화토 지반(11m)과 충적토 지반(8m)에 설치하였다.

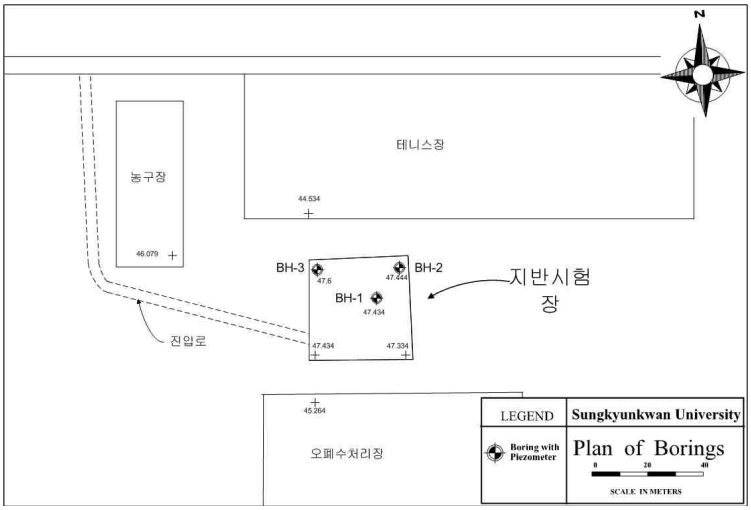


그림 3.1.12. 지반시험장 위치 및 표준관입시험 위치

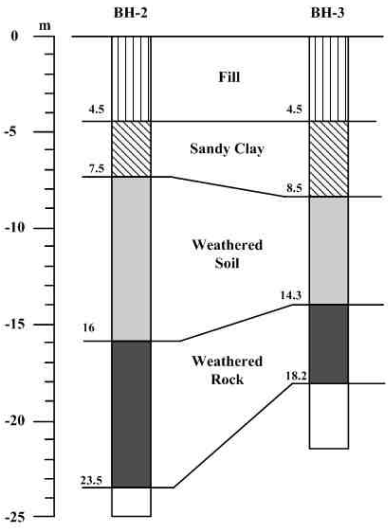


그림 3.1.13.
지반시험장의 지층 구조

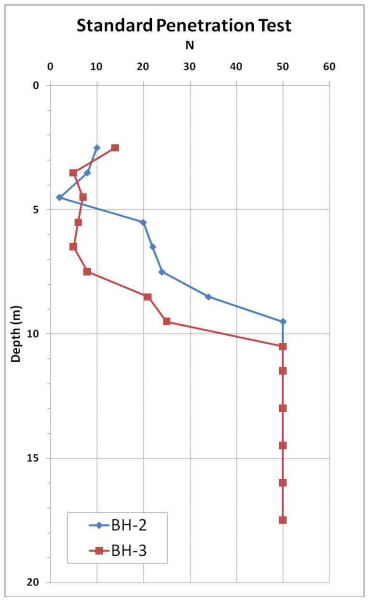


그림 3.1.14.
표준관입시험 결과

(2) 시험조건

시험조건 및 시험개수는 아래와 같다.

표 3.1.2. 시험조건

천공깊이(m)	방전횟수(N)	개수	천공깊이(m)	방전횟수(N)	개수
8m (충적토층)	5	2	11m (풍화토층)	5	2
	10	2		10	2
	20	2		20	2
	40	2		40	2
4m (매립토층)	10	1	* 4m : 구근확인		
	20	1			
	40	1			

천공깊이 8m 와 11m 의 경우에는 방전에 따른 그라우트액 하강깊이로 구근의 크기를 산정하였고, 천공깊이 4m 의 경우에는 직접 구근을 확인하였다.

다. 결과 및 고찰

(1). 구근형상 및 크기

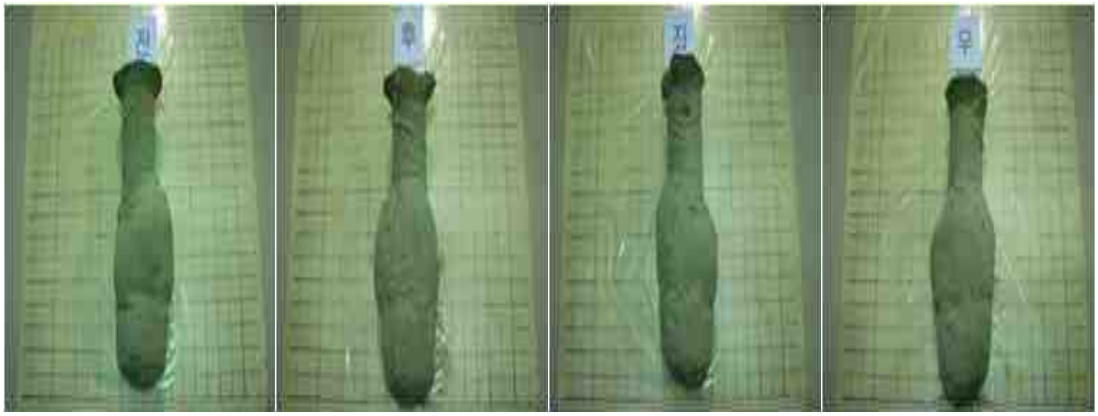
(가) 실내시험

상대밀도 40%, 60%에 대하여 방전횟수를 달리하면서 구근의 확장형상을 관찰하였다. 아래 사진은 펄스방전에 따른 확공형상을 구근의 전, 후, 좌, 우로부터 촬영한 사진이다.



(a) 5회방전, Dr=40%

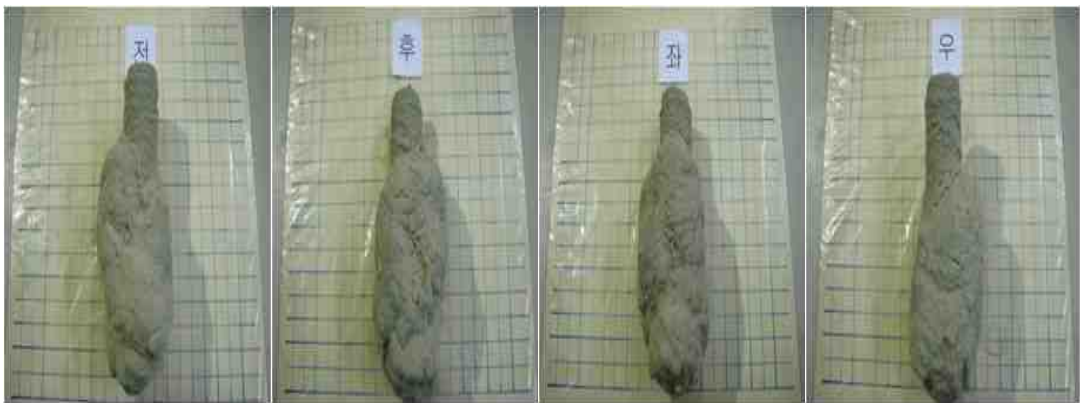
그림 3.1.15. 구근형상



(b)10회방전, Dr=40%

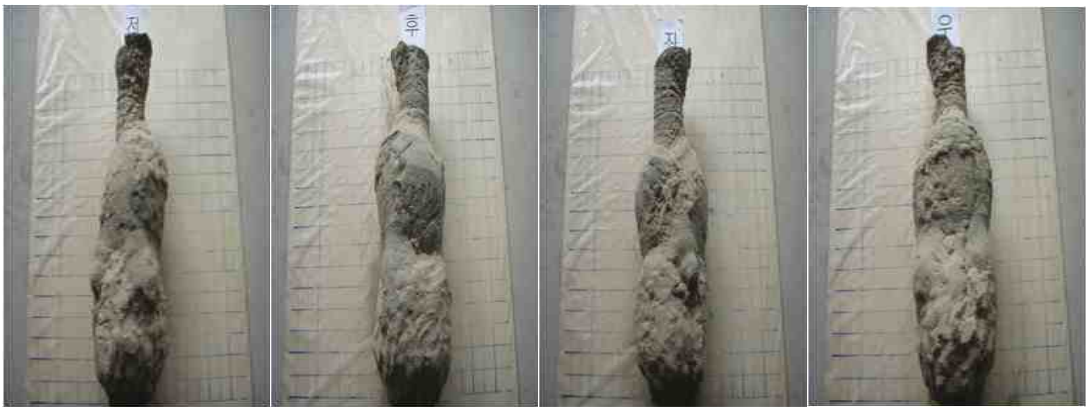


(c)15회방전, Dr=40%



(d)20회방전, Dr=40%

그림 3.1.15. 구근형상



(e) 40회방전, Dr=40%



(f) 5회방전, Dr=60%



(g) 40회방전, Dr=60%

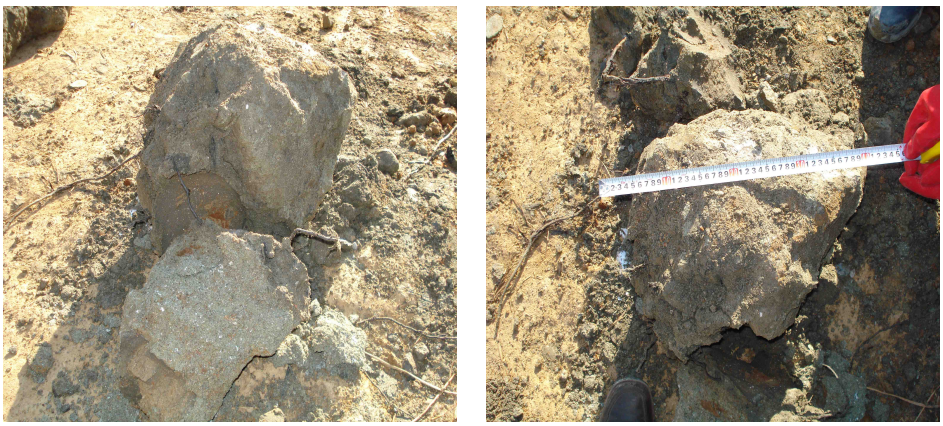
그림 3.1.15. 구근형상

(나) 현장시험

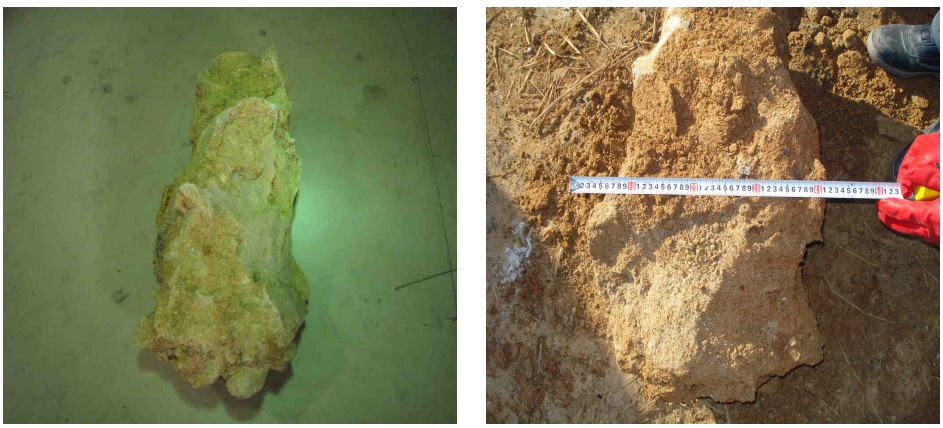
아래 사진은 방전횟수 10, 20, 40회에 대한 구근 사진이다.



(a) 10회방전



(b) 20회 방전



(c) 40회 방전

그림 3.1.16. 구근형상(매립토 지반, 천공깊이 4m)

상기 그림 3.1.15~16의 결과로부터 펄스방전횟수에 따라 구근이 확대되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 그림 3.1.16으로부터 구근형상이 전, 후, 좌, 우가 거의 동일하게 확공됨을 알 수 있다.

한편, 실내모형시험의 결과 예상했던 구형의 구근은 생성되지 않았으며, 원통형 모양의 구근이 생성되었다. 반면, 실대형 시험결과에서는 비교적 구형에 가까운 구근이 생성되었다. 이는 실내시험시 모래지반속에 박혀있는 케이싱의 하단으로부터 지반까지의 거리가 30cm이내밖에 안되서 방전루트가 다소 왜곡되어 발생한 것으로 판단된다. 반면, 현장실대형시험의 경우 구형에 가까운 이유는 케이싱 하단으로부터 지반까지의 거리가 1m이상 떨어져 있으므로 펄스방전시 케이싱의 영향을 받지 않은 것으로 판단된다.

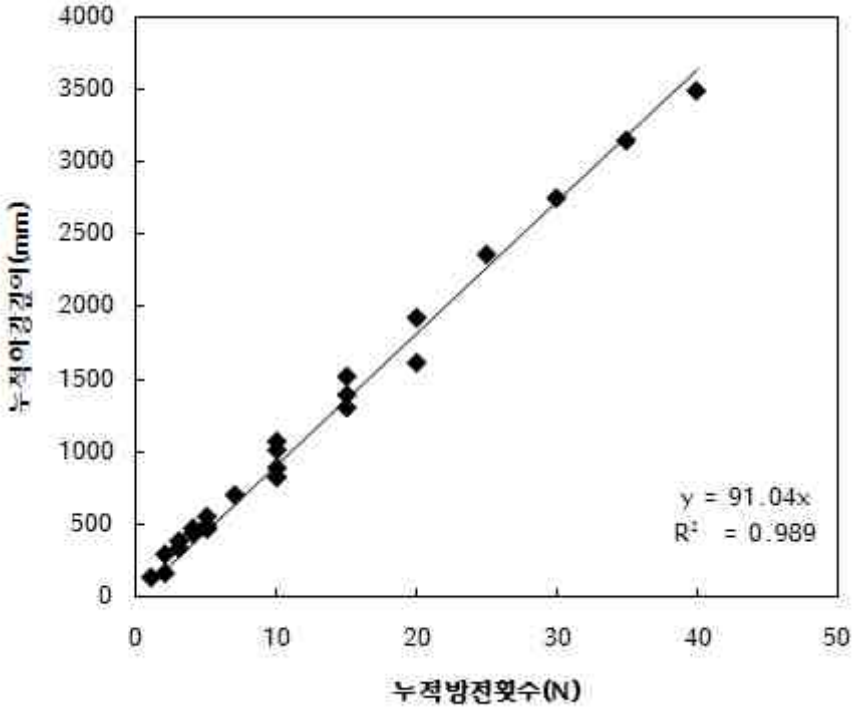
(2) 확공율

(가) 그라우트 하강깊이

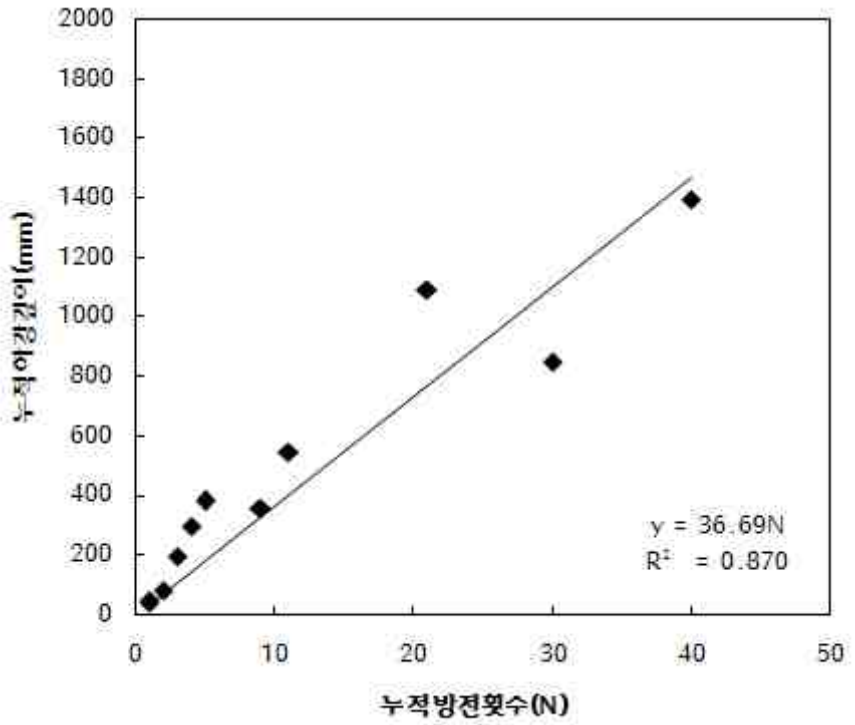
상대밀도 40%, 60%에 대하여 펄스방전직후 그라우트 하강깊이를 측정하였다. 그림 그림 3.1.17는 펄스방전횟수에 대한 그라우트 하강깊이를 나타내는 것으로서 하강깊이로부터 구근의 크기를 산정해낼 수 있다.

그림 3.1.17에서 상대밀도 40%의 경우 방전횟수 55회까지는 거의 선형적인 관계를 보이고 있으며, 40회부터 약간 하강깊이가 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서, 공법의 개발이후 주로 사용될 범위는 5회부터 20회 미만일 것으로 예상되며, 이 구간에 대해서는 선형적인 관계로 보아도 무방할 것으로 판단된다. 매 방전당 그라우트의 하강깊이는 91cm인 것으로 나타났다.

상대밀도 60%의 경우 방전횟수가 20회 이후부터 매 방전당 하강깊이가 감소하는 것을 알 수 있다. 추세선이 2차 다항식인 경우 R^2값이 높게 나타나지만, 40%에서처럼 선형적인 관계로 간주하여 관계식을 구하였다. 향후 데이터를 추가하여 보다 정확한 추세선을 그리는 것이 필요할 것으로 사료된다. 매 방전당 그라우트의 하강깊이는 36cm로서 상대밀도 40%의 경우의 40%정도인 것으로 나타났다.



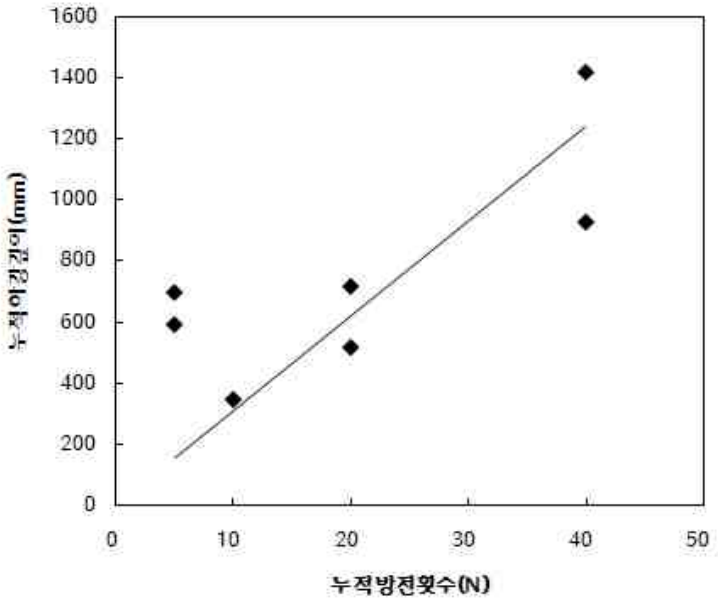
(a) 상대밀도 40%



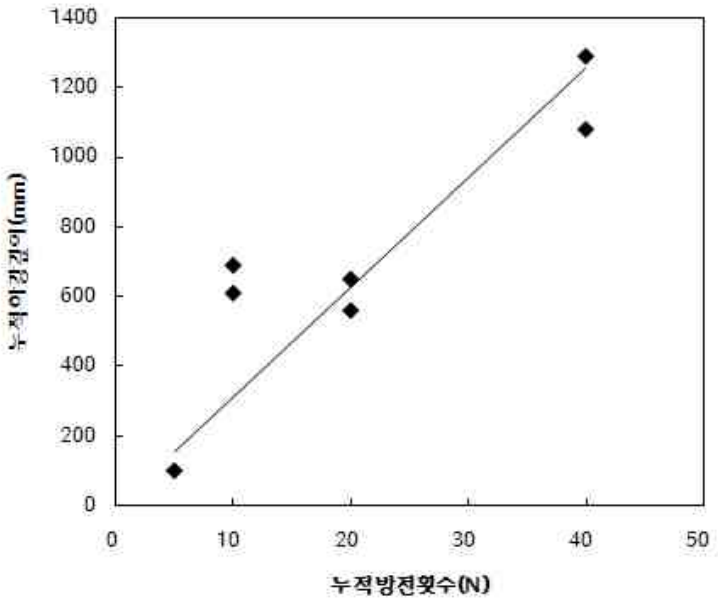
(b) 상대밀도 60%

그림 3.1.17. 누적방전횟수에 따른 그라우트 하강깊이(모형실험)

현장실대형 시험에서 방전시 그라우트 하강깊이를 측정하였으며, 충적토층 및 풍화토층에 대해서 수행한 결과를 각각 그래프로 도시하였다. 실내실험과 마찬가지로 방전횟수에 따라서 증가하는 경향으로 나타났다. 다만, 현장 site가 좁은 면적임에도 불구하고, SPT N치의 차이 및 세립토, 조립토에 대한 차이 등으로 인하여 상관성이 높게 나타나지는 않았다.



(a)천공깊이 8m, 모래질점토, SPT N: 8~25

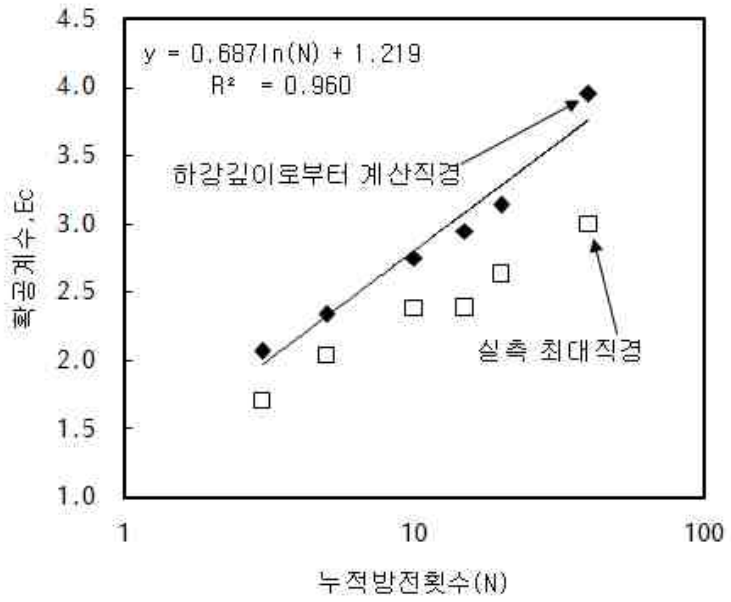


(b) 천공깊이 8m, 풍화토, SPT N: 20~50

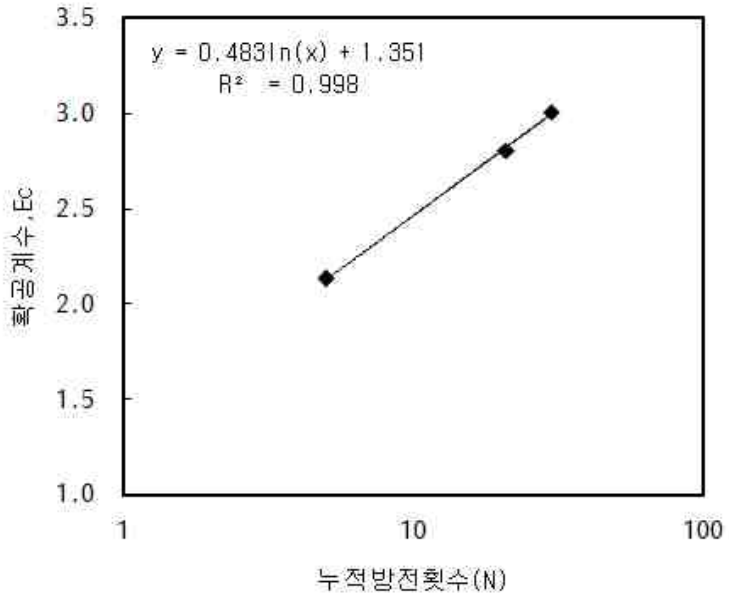
그림 3.1.18. 누적방전횟수에 따른 그라우트 하강깊이(현장 실대형실험)

(나) 확공계수

확공계수는 형태가 구형이라는 가정으로부터 산정하는 식이며, 이에 근거하여 그림 3.1.19와 같이 도시하였다.



(a) 상대밀도 40%



(b) 상대밀도 60%

그림 3.1.19. 누적방전횟수에 따른 확공계수(모형실험)

가로축의 누적방전횟수를 로그를 취하여 나타내면 선형적인 관계로 표현된다. 상대밀도 40%의 경우 5회방전시 2.37에서 40회 방전시 3.95정도의 확공계수 값을

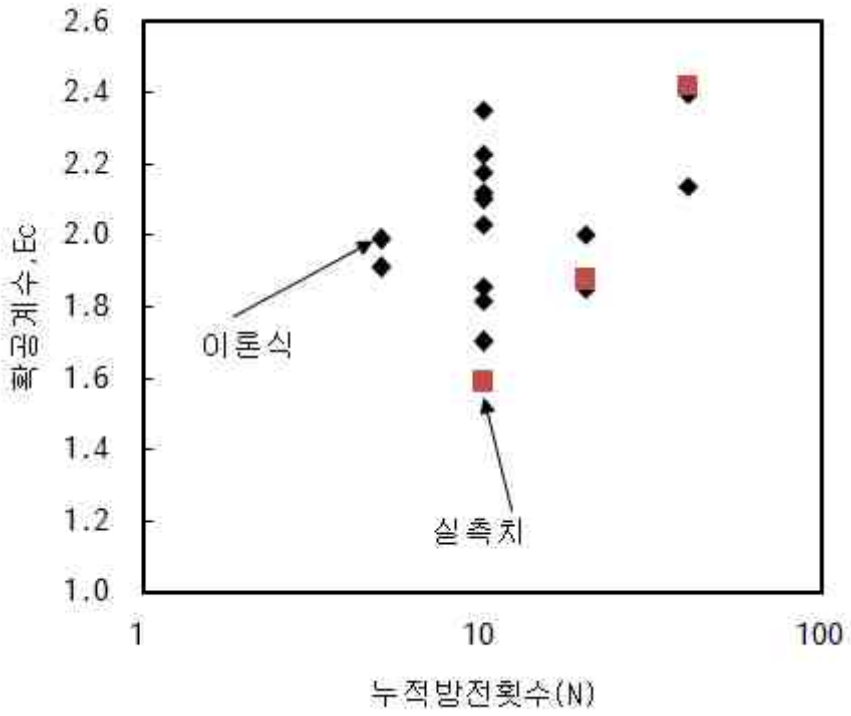
보이고 있으며, 상대밀도 60%의 경우 2.13에서 3.01의 값을 나타낸다. 방전횟수가 증가할수록 두 상대밀도간의 확공계수의 차이가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 지반 밀도가 증가할수록 확공율이 감소하는 것과 일치한다.

한편, 그림 3.1.19(a)에서 40%일때 하강깊이로부터 산정한 확공직경과 실측최대직경을 함께 도시하였으며, 그 결과 산정된 확공직경이 실측최대직경에 비해 15~32% 정도 큰 값을 나타내었다. 이는 확공의 형상이 앞서 기술한 바와 같이 완전한 구형이 아니기 때문인 것으로 판단된다.

실대형시험에 의한 누적방전횟수에 따른 확공계수를 그림 3.1.20에 도시하였다.

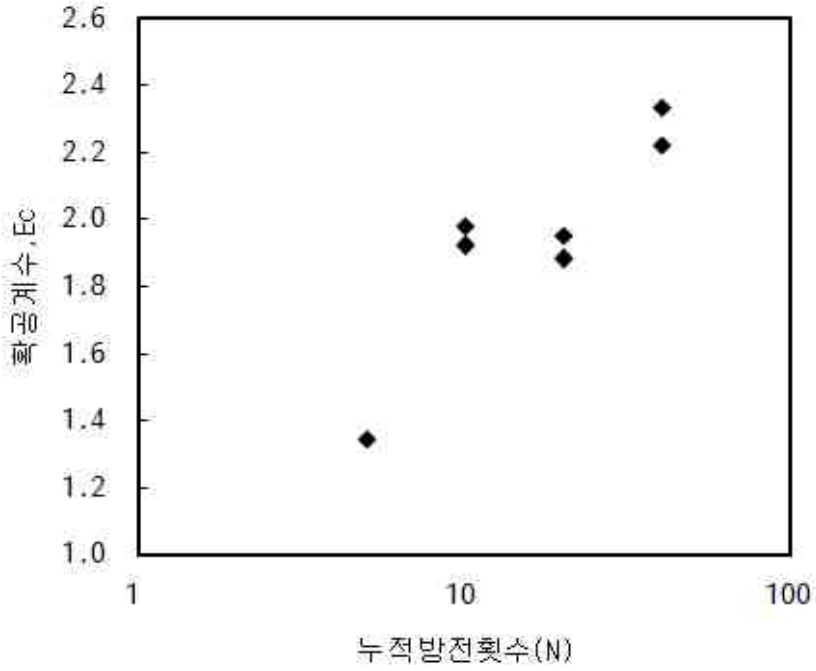
지반의 불균질성과 시공여건 등으로 인하여 유사한 지층에서도 확공계수의 편차가 크게 나타났다. 이러한 경향은 충적층에서 더욱 크게 나타난 것으로 판단된다.

대략적으로 방전횟수가 10회일때 대략 확공계수가 2.0을 나타내는 것으로 사료되며, 40회 방전시 2.4정도인 것으로 나타났다.



(a) 매립토 및 충적토층(구근심도 4m, 8m)

그림 3.1.20. 누적방전횟수에 따른 확공계수(실대형실험)



(b) 풍화토층(구근심도 11m)

그림 3.1.20. 누적방전횟수에 따른 확공계수(실대형실험)

3. 수치해석

가. 펄스 방전에 의한 충격파 발생 시뮬레이션

(1) 선행 연구 분석

(가) 수중 방전에 의한 충격파 발생 원리

펄스 방전(pulse discharge)이란 전기 방전을 통해 동일한 에너지를 매우 짧은 시간에 방출하여 높은 전력을 얻는 기술을 통칭하는 것으로 그림 3.1.21와 같이 콘덴서(C), 인덕턴스(L), 그리고 저항(R)으로 구성된 회로에서 고전압으로 콘덴서에 전기를 축전하여 이를 스위치에서 방전, 저항부에서 축전에너지가 소모되며 큰 방전에너지를 유발하게 된다.

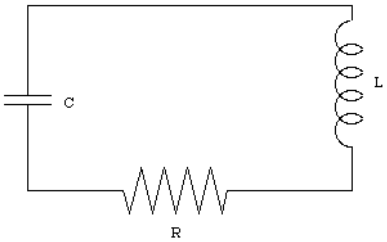


그림 3.1.21. 전기 방전 회로도

확공형 말뚝 및 앵커 시공을 위해 적용되는 펄스 방전 기술은 유동성이 큰 시멘트 페이스트 내에 전극을 삽입하여 전기방전을 시키는 일종의 수중 방전(underwater discharge) 기술로써 앞서 언급한 일반적인 전기 방전과는 달리 저항이 고정 저항이 아닌 변동 저항 특성을 갖게 된다.

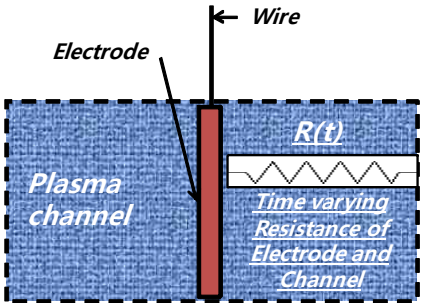


그림 3.1.22. 수중 방전에 의한 전극 주변부 플라즈마 채널 형성

수중에서 방전이 일어나면 전극에서 방전에너지로 인한 ohmic heating 현상이 발생하며 이는 전극체 및 주변 유체의 상변화(phase transition)를 유발하여 전극주변부에 그림 3.1.22와 같은 플라즈마 채널을 형성시키게 된다(Gurovich 등, 2004). 이 플라즈마 채널의 외부 경계와 전극 사이에 높은 전류가 발생하는 아크 방전이 유발되며 따라서, 플라즈마 채널을 채우고 있는 플라즈마 입자 특성에 따라 저항 R 및 전류 I가 달라진다. 그림 3.1.23은 펄스 방전 시 계측되는 전류와 전압의 일반적인 형태를 나타낸 것으로 고전압/전류가 매우 짧은 시간에 유발되고 시간에 따라 감쇠하는 특성을 보이는 것을 확인할 수 있다.

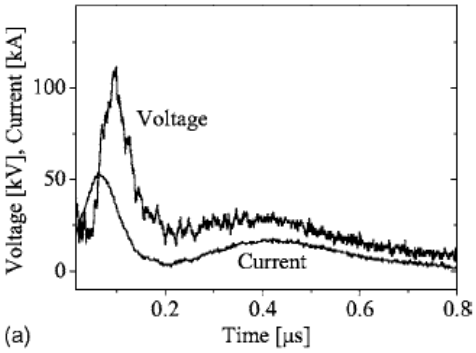


그림 3.1.23. 수중 방전 시 전압 및 전류 발생 경향 (Grinenko 등, 2006)

플라즈마 방전 채널 형성 후, 전극에 방전에너지가 유입됨에 따라 플라즈마 채널의 입자의 운동에너지가 증가하게 된다. 이는 주변 유체에 가하는 충돌을 증가시켜 주변 유체를 플라즈마 상태로 상변화시키며 그 결과 플라즈마 채널은 팽창하게 된다. Arsentev (1965)는 이러한 일련의 수중 방전 특성을 그림 3.1.24와 같이 도식화 하였으며 그림에서 확인할 수 있듯이 플라즈마 채널의 팽창은 주변 유체를 급격하게 밀어내어 충격파를 발생시키게 된다.

따라서, 플라즈마 채널로 유입되는 전기 에너지와 플라즈마 채널의 체적은 특정한 관계를 갖게 되며 Kosenkov (1997)에 따르면 플라즈마 방전 채널의 압력과 체적은 채널 내부로 유입되는 전기 에너지에 대해 식 (1-18)과 같은 에너지 보존 법칙이 성립하는 것으로 알려져 있다.

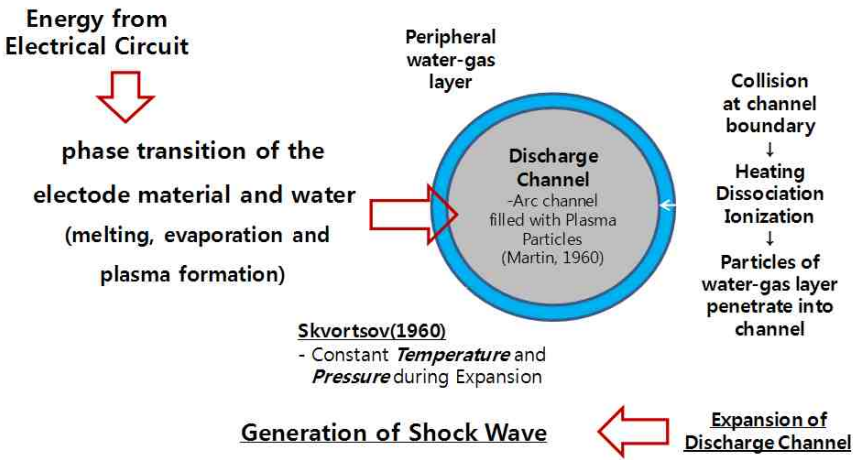


그림 3.1.24. 수중 방전에 의한 충격파 발생 메커니즘

$$\frac{1}{\gamma-1}\frac{d(P_c V_c)}{dt}+P_c\frac{dV_c}{dt}=i^2(t)R \qquad (1-15)$$

여기서, γ는 플라즈마 채널 내부의 adiabatic 상수, P_c는 채널의 내부 압력, V_c는 채널의 체적, $i(t)$는 전류, R은 저항을 의미한다.

그림 3.1.25는 매우 가는 전극을 이용하여 수중 방전 수행 시 계측된 shadow graph로써(Grinenko 등, 2006) 검은 음영부분이 높은 밀도를 나타낸다. 방전 후 전극 주변부에 검은 부분은 방전채널을 나타내며 외곽에 형성되는 검은 음영부분은 충격파로 인해 유체매질이 압축되어 있는 영역을 나타낸다.

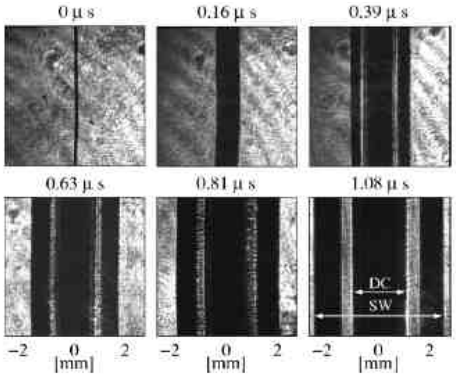


그림 3.1.25. 수중 방전으로 인한 플라즈마 채널 및 충격파의 발생
(Grinenko 등, 2006)

그림 3.1.26은 위의 그림 3.1.25의 시험 중 측정된 방전 중 플라즈마 채널의 직경 및 충격파의 변위를 나타낸 것으로 약 1μs의 시간동안 방전 채널의 크기는 일정하게 도달하는 반면 충격파는 동일한 속도로 진행하고 있음을 알 수 있으며 이는 수중 방전 시 플라즈마 채널의 확장 속도가 시간에 따라 감소하여 일정해지지만 그로 인해 발생되는 충격파는 동일한 속도로 유체에서 진행하는 것을 의미한다. 일반적으로 수중 방전으로 발생하는 충격파 압력은 그림 3.1.27과 같으며 수중 방전이 유발되는 위치와 매우 가까운 거리에서 수 μsec 안에 40MPa에 달하는 매우 큰 충격파 압력이 발생하는 것을 알 수 있다.

한편, 위에서 설명한 긴 전극에서 유발되는 수중 방전이 아닌 전극 사이에서 방전이 유발되는 경우에는 그림 3.1.25달리 구형 형태의 방전 채널이 형성되며 Bougo와 Canelli (2002)는 그림 3.1.28a과 같이 기포(bubble)가 형성됨을 실험적으로 확인하였다. 이 경우 충격파는 구형파 형태로 발생하며 그 압력 형태는 그림 3.1.28b와 같다.

한편, 그림 3.1.29는 주변 유체가 시멘트 모르타르인 경우 단일 펄스 방전에 의해 발생되는 방전 전압, 전류 및 저항과 전력 및 충격파의 파형을 나타낸 것이다(신병우 등, 2007). 방전 이후 매우 짧은 시간(수 ms) 이내에 매우 큰 전류가 발생하고 있으며 이로 인해 매우 큰 전력이 유발됨을 알 수 있다. 약 250mm 떨어진 지점에

설치된 압력센서로부터 측정한 충격파 압력 그래프는 그 형태가 전류 및 전압과 매우 유사한 형태를 나타내고 있고 충격파의 전달시간을 고려할 때 전력과 거의 동일한 거동을 보임을 확인할 수 있다. 최대 압력 점 이후 지수 감소 형태의 압력의 감소와 증가가 지속적으로 나타나고 있으며 이는 충격파가 압력셀 내부에서 계속적으로 반사되고 방전 채널의 수축과 팽창이 반복되어 나타나는 것으로 사료된다. 이러한 결과는 기존의 수중 방전에 대한 실험 연구 결과와 유사한 것으로써 이는 곧 모르타를 채운 경우에도 펄스 방전에 의한 충격파 발생 메커니즘이 수중 방전과 동일하게 발현되고 있음을 의미한다.

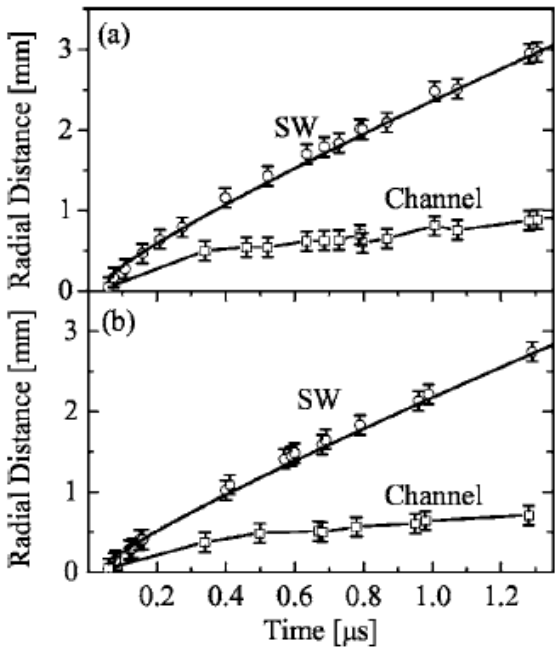


그림 3.1.26. 시간에 따른 플라즈마 채널과 충격파 변위 (Grinenko 등, 2006)

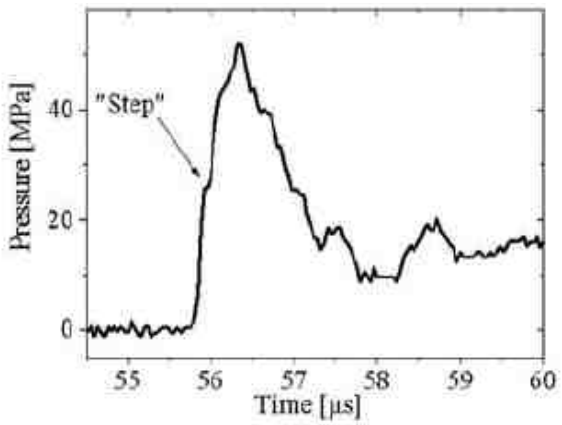
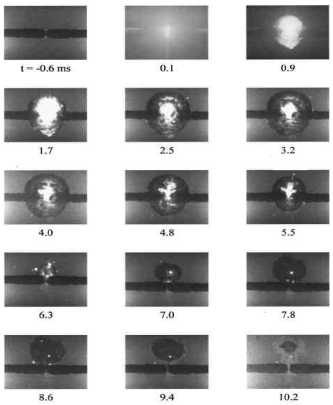
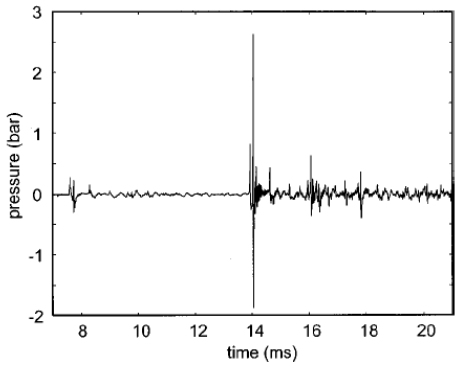


그림 3.1.27. 수중 펄스 방전에 의한 충격파 발생 형태 (Sayapin 등, 2006)

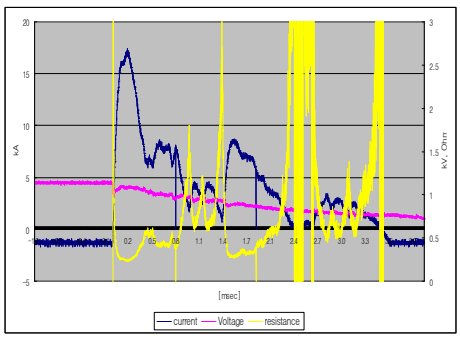


(a) 수중 방전으로 인한 구형 기포 형성

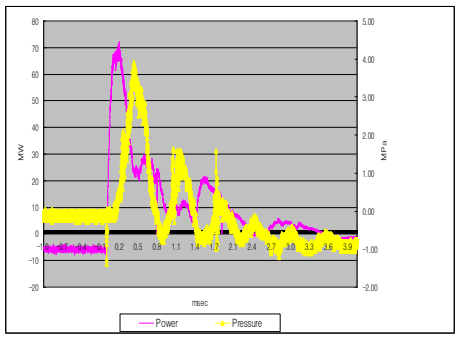


(b) 충격파의 파형

그림 3.1.28 수중 방전 사례 (Bougo와 Canelli, 2002)



(a) 방전 전압, 전류 및 저항



(b) 전력 및 충격파의 파형

그림 3.1.29. 단일 펄스 방전에 의해 발생되는 방전 전압, 전류 및 저항과 전력 및 충격파의 파형 (신병우 등, 2007)

(나) 수중 방전에 의한 충격파 발생 예측 사례

㉮ 수중 방전 현상을 고려한 해석적 모델로부터 충격파 압력 예측 사례

앞서 언급한 바와 같이 펄스 방전에 의한 충격파 발생은 전기 회로에서의 방전 및 그로 인한 펄스 에너지의 발생, 펄스 에너지로 인한 전극 주변 방전 채널(discharge channel)의 형성, 방전 채널의 내부에너지 증가 및 채널 체적 팽창, 급격한 채널 확장으로 인한 주변 유체 내 충격파 발생의 순으로 나타나게 된다(Arsent′ev, 1965).

따라서 펄스 방전으로부터 형성되는 충격파의 특성을 정량적으로 살펴보기 위해서는 방전 에너지와 전극 주변에 발생되는 방전 채널의 거동 특성 및 주변 유체와의 상호작용을 합리적으로 고려하는 것이 요구되며 이는 방전 에너지와 채널 내부의 압력-부피를 규정하는 에너지 보존식과 주변 유체의 거동을 나타내는 운동방정식

및 유체의 상태방정식을 통해 고려된다(Ioffe와 Naugol′nykh, 1968).

앞서 언급한 바와 같이 Kosenkov(1997)에 따르면 방전 채널의 압력과 체적은 방전으로 인해 채널 내부로 유입되는 에너지에 대해 식 (1-15)와 같은 Helmholtz 포텐셜 관계를 가지고 있는 것으로 알려져 있으며 이를 이용하여 충격파를 예측하기 위해서는 방전 채널 내부의 플라스마 특성 및 온도에 대한 정보를 제공할 수 있는 상태방정식이 요구되나 이를 정량적으로 나타내기에는 많은 가정이 요구되며 (Arsent′ev, 1965), 이를 실험적으로 증명하는 것은 거의 불가능 한 것으로 알려져 있다 (Gurovich 등, 2004)

이에 몇몇 연구자들(Pozdeev와 Semko, 1987; Semko, 1997)은 방전채널 내부의 플라스마를 이상기체(ideal gas)로 가정하여 펄스 방전으로부터 충격파가 형성되는 과정을 해석적으로 구현하였으나 전극 주변에 무한한 길이를 갖는 원통형 방전채널과 채널이 확장되는 속도가 일정하다는 가정을 바탕으로 하고 있다. 또한, Arsent′ev(1965) 및 Grinenko 등(2005)은 플라스마 및 전기적 특성을 고려한 충격파 발생 해석을 수행하였으나 많은 가정 사항과 각 특성 변수를 도출하기 위한 매우 정교한 실내 실험을 수반하기 때문에 본 연구에서 고려하는 앵커 시공 등에 적용하는 상대적으로 큰 현장 규모의 방전에는 적용성이 떨어진다고 할 수 있다.

㉯ 수중폭발 모델을 이용한 수중 방전 충격파 압력 예측 사례

수중 방전 시 발생하는 플라즈마를 이상기체로 고려하는 해석 방안은 통상적인 수중 폭발 현상 (underwater explosion)과 유사한 것으로써 수중 폭발의 경우 플라즈마 방전 채널의 형성과 팽창 대신 폭약의 기화를 통한 이상기체 기포 (bubble)가 형성되고 기포의 팽창으로 인해 충격파가 발생한다(Geers와 Hunter, 2002).

일례로, Wakeland 등(2003)은 수중 방전 시 유발되는 충격파의 특성을 정량화하기 위해 등가 에너지 개념을 이용하여 펄스 방전으로 유발되는 최대에너지(35kJ)를 TNT 폭약의 질량(W)으로 환산하였고, 수중 폭발로부터 충격파를 예측하는 유사관계식(equation of similitude relation)을 이용하여 거리에 대한 충격파 압력을 예측하여 계측된 충격파의 최대 압력 및 충격파의 발현 시간에 대해 유사한 예측을 그림 3.1.30과 같이 얻을 수 있었다.

이는 곧 펄스 방전에 의한 충격파 발생에 대해 수중 폭발 이론의 적용이 가능함을 의미하며 따라서 합리적인 펄스 방전 기술 적용을 위해서는 유체의 종류 및 상태에 따라 충격파와 최대 방전 에너지 간의 유사 관계식을 도출하는 것이 가능하다는 것을 나타낸다.

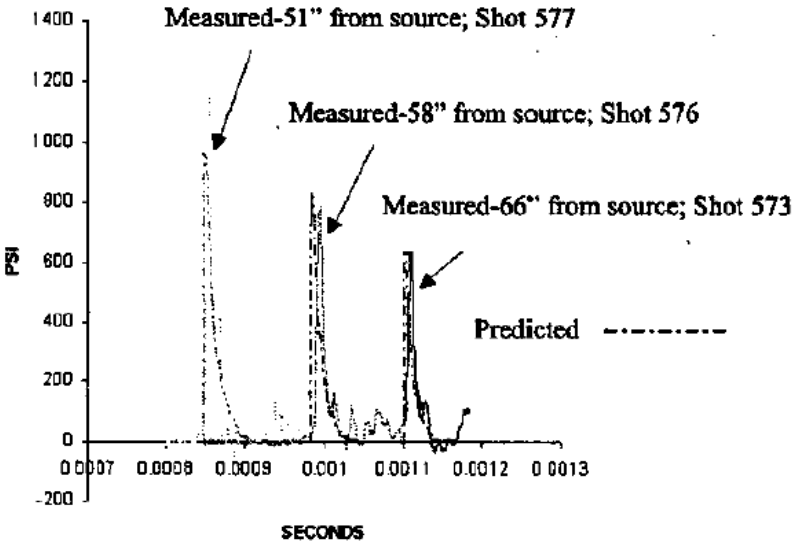


그림 3.1.30. 수중 폭발 모델을 이용한 수중 방전 충격파 압력 예측 (Wakeland 등, 2003)

(다) 수중 폭발 모델을 이용한 수중 방전 충격파 압력 예측 기법

㉮ 수중 폭발 모델

수중 폭발현상에 대한 연구는 주로 폭약의 폭발로 인해 발생하는 충격파의 압력, 기포의 진동 주기 등 수중 폭발 특성의 예측에 대해 주로 이루어져 왔다. 이는 크게 특정 폭발 재료에 대한 원거리 영역(far-field)에서의 충격파에 대한 유사 관계(similitude relation) 계수 산정을 위한 실험(Thiel, 1974; Goertner, 1980)과 폭발역학 및 수리동역학에 근거한 수치해석 연구(이재민 등, 1998)로 나뉠 수 있으며, 전자는 폭발 특성을 결정하기 위한 많은 실대형 실험이 요구되는 반면, 후자는 엄밀한 해석을 위한 재료의 상태방정식 계수의 정교한 산정이 요구되는 특징을 갖고 있다.

이중 기포 동역학(bubble dynamics)에 근거한 유사 관계식(equation of similitude relation)은 수중 폭발에 의해 발생되는 충격파와 구조물의 상호작용을 모델링을 하는데 다양하게 사용되고 있다(Zhang 등, 2008; 김재현과 신형철, 2008). Coles 등(1946)은 위의 유사 관계로부터 폭약에 따른 충격파의 특성을 최대 충격파 압력(P_m), 시간계수(θ), 임펄스(I), 그리고 에너지(E)로 구분되는 변수로 표현하였으며, 표 3.1.3.은 각 변수의 정의 및 산정 수식을 나타낸 것이다.

단일 수중 폭발 시 시간에 따른 충격파 압력의 변화는 식 (1-16)와 같은 지수 감소

형태로 나타낼 수 있으며 이를 표 3.1.3과 연계하면 폭약을 수중 폭발할 경우 시간과 거리에 따른 충격파 압력은 식 (1-17)과 같이 나타낼 수 있다.

표 3.1.3. 충격파 특성에 대한 유사 관계 변수의 정의 및 산정 수식(Coles 등, 1946)

case	정의	산정수식
P_m	충격파면에서의 최대 압력 크기	$P_m = k\left(\frac{w^{1/3}}{R}\right)^{\alpha}$
θ	시간 상수 압력 P가 $P = P_m/e$에 도달하는 시간	$\theta = lw^{1/3}\left(\frac{w^{1/3}}{R}\right)^{\beta}$
I	임펄스	$I = \int_0^{5\theta} pdt$
E	충격파 에너지	$E = \frac{1-(1.7\times10^{-6})}{\rho_f c_f}\int_0^{5\theta} p^2 dt$

$$P(t) = P_m e^{-t/\theta} \tag{1-16}$$

$$P(R, t) = k\left(\frac{W^{1/3}}{R}\right)^{\alpha} e^{-t/[lW^{1/3}\left(\frac{W^{1/3}}{R}\right)^{\beta}]} \tag{1-17}$$

㉯ 방전에너지를 이용한 펄스 충격파 특성 산정

수중 폭발 시 시간과 거리에 따른 충격파 압력을 나타내는 식 (1-16)과 (1-17)은 단위 질량을 갖는 폭약물이 폭발할 때 유발되는 에너지와 관계된 식으로써 충격파 압력을 예측하는데 있어서 폭발에 의한 에너지가 전체 거동에 있어 중요한 요인임을 의미한다.

펄스 방전의 경우, 유체로 전달되는 전력(P_{power})및 에너지($E_{discharge}$)는 방전 회로에서 계측되는 시간 별 전류[$I(t)$] 및 전압[$V(t)$]으로부터 식 (1-18) 및 식 (1-19)와 같이 산정될 수 있으며, 수중 방전을 통한 음파 발생기 개발에 대한 과거의 연구에서도 방전 에너지와 거리별 충격파 압력의 특성은 방전 장치의 효율성과 관련하여 매우 중요한 요소로 고려되고 있다(Ghuman과 Humprey, 1968).

$$P_{power}(t) = V(t) \times I(t) \tag{1-18}$$

$$E_{discharge}(t) = \int_0^t P_{power}(\tau)d\tau = \int_0^t V(t) \times I(t)d\tau \quad (1\text{-}19)$$

따라서, 수중 폭발과 수중 방전에 의한 충격파 발생 메커니즘의 유사성으로부터 방전에 의해 유체로 전달되는 에너지량은 식 (1-20)을 이용하여 등가의 폭약 질량으로 환산이 가능하며 환산된 폭약 질량을 표 3.1.3. 및 식 (1-17)에 대입하면 수중 방전에 의해 발생하는 충격파 압력을 예측할 수 있게 된다.

$$W = \frac{E_{discharge}}{H} \quad (1\text{-}20)$$

여기서, W는 등가의 폭약 질량, $E_{discharge}$는 방전에너지, 그리고 H는 연소열(heat of combustion)로 단위질량당 폭발에너지를 의미한다.

(2) 유한요소해석을 통한 충격파 발생 모델링

(가) 해석 모델의 선정 및 검증

① 해석 모델 개요

본 연구에서는 유한 요소 해석 프로그램 ABAQUS/Explicit의 UNDEX 해석 기법을 이용하여 펄스 방전에 의해 유발되는 충격파를 모델링하고자 하였다. ABAQUS/Explicit의 UNDEX 해석기법에서는 유체를 체적 압축 거동만을 하는 ACOUSTIC 탄성체로 고려하며 이는 기존의 많은 수중 폭발 현상 해석 및 구조물의 손상도 평가에서 널리 적용되고 있다(Zhang 등, 2008; 김재현과 신형철, 2008). 수중 폭발 해석 코드에 대한 Mair (1996)의 벤치마킹 연구에 따르면 ABAQUS의 UNDEX는 수중 폭발 문제에서 합리적인 예측을 수행하는 것으로 알려져 있다.

ABAQUS/Explicit에서는 폭발 거동의 모사는 고려하지 않으며 대신 폭발로 인해 유체에 가해지는 충격파 압력을 Geers와 Hunter(2002)의 기포하중(bubble load) 모델을 통해 산정하며 이를 유체의 외부 경계면에 가하여 연속적인 충격파의 전달을 시뮬레이션 한다. Geers와 Hunter(2002)의 모델은 유사 관계를 기본으로 거리와 시간에 따른 구형(spherical) 충격파의 압력을 식 (1-21)과 같이 고려하며, 식 (1-21)을 기포의 체적과 관련해서 나타내면 식 (1-22)과 같다.

$$P(R,t) = P_c\left(\frac{a_c}{R}\right)^{1+A} f\left[\left(\frac{a_c}{R}\right)^B \frac{\nu_c}{a_c}t\right] \quad (1\text{-}21)$$

$$P(R,t)=\frac{1}{R}\frac{\rho_f}{4\pi}\left(\frac{a_c}{R}\right)^A \ddot{V}(t)=\left(\frac{a_c}{R}\right)^{1+A} P_c[0.8251\exp(-1.338t/T_c)+0.1749\exp(-0.1805t/T_c)] \quad (1\text{-}22)$$

여기서, R은 반지름 a_c를 갖는 폭약의 중심으로부터의 거리, P_c, T_c, A, B는 폭약의 특성과 관련된 재료 상수로써 P_c는 충격파의 최대압력과 T_c는 폭약의 폭발속도와 관련하며, 식(1-23) 및 식 (1-24)과 같다.

$$P_c = K\left(\frac{m_c^{1/3}}{a_c}\right)^{1+A} \quad (1\text{-}23)$$

$$T_c = \kappa m_c^{1/3}\left(\frac{a_c}{m_c^{1/3}}\right)^B \quad (1\text{-}24)$$

위의 관계와 폭발 전 초기 상태에 대한 조건으로부터, 폭발 후 기포가 진동하는 동안 기포 체적의 변화 및 기포 경계면의 속도가 산정되며 기포의 거동은 이중 점근사법(doubly asymptotic approximation)을 통하여 계산된다. 수중 폭발 및 수중 방전은 유체 내부에 기포를 형성하게 되며 이러한 기포의 팽창과 압축이 계속되면서 지속적인 충격파가 발생된다. 이러한 기포의 거동은 기포 내부의 압력이 외부 유체의 압력과 동일할 때까지 지속된다(Geers와 Hunter, 2002).

② 모델링 및 검증

ABAQUS의 UNDEX를 이용한 정확한 충격파 시뮬레이션을 위하여 이론해와 비교를 수행하여 적절성을 평가해 보았고 모델링 변수를 바꾸어가며 해석을 수행하여 각 모델링 변수의 영향정도를 파악하고자 하였다.

모델링 검증을 위한 예제는 1m의 반경을 갖는 구 형태의 유체 요소(물)로써 그림 3-28과 같이 고려하였다. 구의 중앙을 폭발의 진원(source)로 하여 기포 하중 모델에 의해 산정되는 충격파 압력을 경계면 S_1에 가하였으며, 경계조건으로 경계면 S_2에서 자유로운 방사 (free radiation) 조건을 부여하였다. 기포하중 모델의 입력변수는 표 3.1.4.와 같고 해석 시간은 5msec를 고려하였다.

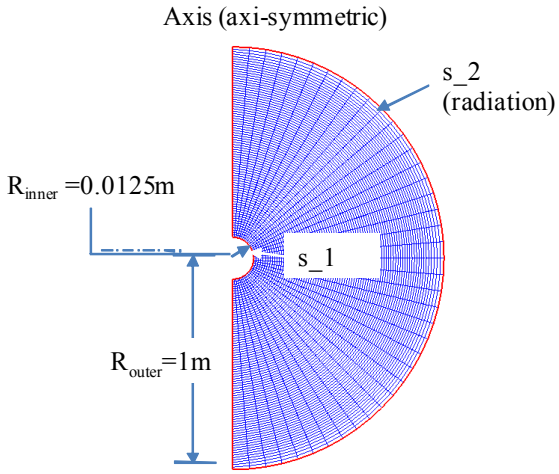


그림 3.1.31. 수중 폭발 모델링 검증을 위한 유한 요소망 및 경계 조건

표 3.1.4. 기포 하중 모델 변수 입력 자료

입력자료		값	입력자료	값
TNT 폭약의 재료 상수 (Price, 1979)	K	5.21×10^{7}	폭발 기체의 비열비	1.27
	k	$9.\times10^{-5}$	중력가속도(m/sec^2)	10.0
	A	0.18	대기압 (kPa)	101.3
	B	0.185	유체의 밀도(kgf/m^3)	1000
	K_c^*	8.4×10^{8}	유체의 음속(m/sec)	1450
	ρ_c (kgf/m^3)	1600	유체의 체적탄성계수 (Pa)	2.12×10^{9}
	m_c (kgf)	1.0×10^{-1}		

㉮ 최대 충격파 압력 산정의 적절성

그림 3.1.32는 Geers와 Hunter(2002)의 이론식과 ABAQUS의 기포 하중 모델에 의하여 예측되는 최대 충격파 압력의 크기를 비교한 것으로 ABAQUS가 합리적으로 충격파 압력을 산정하고 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 압력을 부여하는 지점 외의 다른 위치에서는 ABAQUS해석이 이론값에 비하여 다소 큰 충격파 압력을 산정하는 것으로 나타났으나 그 차이는 미미한 것을 알 수 있다.

그림 3.1.32. 이론해와 ABAQUS 기포하중 모델로부터 예측된 최대 충격파 압력 비교

㉰ 시간에 따른 충격파 압력의 변화

그림 3.1.33은 폭발 진원으로부터 각각 0.0125m(stand-off point로 기포하중모델에 의한 하중이 입력되는 위치), 0.125m, 0.5m에서 예측된 시간에 따른 충격파 압력 변화를 나타내는 것으로 stand-off point인 0.0125m를 제외한 다른 위치에서는 ABAQUS의 예측값이 이론식에 비해 상대적으로 크게 나타남을 확인할 수 있다.

이는 ABAQUS에서 사용하는 ACOUSTIC요소에서 구형파가 전달되는 경우, 임의의 점 P(r_1), Q(r_2) ($r_1 < r_2$)사이에는 식(1-25)과 같은 관계가 성립하는 반면 Geers와 Hunter (2002)가 제안한 이론식에서는 식 (1-26)와 같은 관계가 성립하기 때문에 식 (1-26)의 지수 1+A 값에 의해 이러한 차이가 발생하게 된다.

$$P_{\max}(r_1) = P_{\max}(r_2) \times \frac{r_2}{r_1} \tag{1-25}$$

$$P_{\max}(r_1) = P_{\max}(r_2) \times \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^{1+A} \tag{1-26}$$

위의 결과는 ABAQUS의 UNDEX 모델링은 특정 위치의 압력을 부여하는데 있어 합리적이지만, 외부 경계에 압력을 가하여 파가 전파될 때의 거동은 정확하게 모사하기 어렵다는 것을 의미하는 것으로 이해될 수 있으며 바꾸어 말하면, 유체와 구조물의 경계에서의 압력 값이 중요한 문제엔 합리적인 것으로 판단된다.

(a) R=0.0125m

(b) R=0.125m

(c) R=0.5m

그림 3.1.33. 위치 별 충격파 압력의 시간에 따른 변화

㉰ 기포 하중의 시뮬레이션 시간 $T_{duration}$의 영향

기포 하중 모델의 기포 거동 시뮬레이션 시간 $T_{duration}$을 바꾸어 가며 해석을 수행해

보았으며 그 결과는 그림 3.1.34와 같다. $T_{duration}$의 크기에 따라 최대 충격파 압력의 크기 및 도달 시간이 다르게 나타남을 확인할 수 있으며 따라서, 실제 폭발 현상에 부합하는 $T_{duration}$을 적절하는 것이 합리적인 충격파 압력을 산정할 수 있음을 알 수 있다.

그림 3.1.34. 기포 하중 시뮬레이션 시간 (Tduration)의 영향 (R=0.125m)

(나) 수중 방전에 의해 발생되는 충격파에 대한 수치 시뮬레이션

Wakeland 등 (2003)은 수중 방전에 의해 발생되는 충격파를 수중 폭발 모델을 이용하여 합리적으로 모델링할 수 있음을 실험적, 수치적 연구를 통해 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 Wakeland 등 (2003)의 실내 시험을 수치적으로 모델링하고 충격파 발생을 시뮬레이션하여 해석 모델의 적절성을 살펴보고자 하였다. Wakeland 등 (2003)은 실내 시험에서 오실로스코프를 이용하여 방전 시 전압과 전류를 측정하였으며 3번의 수중 방전 (Shot 577, Shot 576, Shot 573)에 대해 평균적으로 35kJ의 방전에너지를 측정하였다. 이를 등가의 폭약으로 TNT 화약의 재료 특성(Price, 1979)을 고려하여 식(1-20)을 적용하면 방전에너지와 등가의 에너지를 제공하는 화약의 질량으로 0.0076kg을 얻을 수 있다.

본 해석에서 예측되는 거리별 최대압력과 Wakeland 등 (2003)의 시험결과를 비교한 결과는 그림 3.1.35와 같고, 거의 유사한 압력이 예측되었음을 확인할 수 있으며 이는 본 연구에서 적용한 수중 폭발 모델이 수중 방전에 의한 충격파 발생을 합리적으로 모델링 할 수 있는 것을 의미한다. 단, R=1.29m에서 다소 큰 차이가 나타남을 확인할 수 있으나 이는 실제로 Wakeland 등 (2003)의 논문에서도 이론에 비해 다소 큰 충격파 압력이 계측되었다고 기재되었으며 이는 실제 방전에너지가 평균값으로 적용된 35kJ에 비해 매우 크게 적용되었음을 의미한다고 사료된다.

그림 3.1.35. 실내 실험(Wakeland 등, 2003)과
수치 해석 간 최대 충격파 압력 변화 비교

(3) 실내 방전 시험 시뮬레이션

(가) 실내 방전 시험

① 펄스 방전 장치 및 시험 장비

모르타르를 채운 상태에서 수행한 펄스 방전 시 발생하는 충격파의 크기를 파악하기 위하여 협동연구기관 (주)세원리타의 도움으로 실내 방전 시험을 수행하였다. 펄스 방전 시험 장비는 그림 3.1.36과 같다. 6kV 수준의 고전압으로 충전한 후 선단 방전 장치를 직경 250mm의 나일론 챔버에 담긴 시멘트 페이스트에 넣고 스위치를 이용하여 전기 방전하는 순으로 실내 방전 시험을 수행하였다. 선단 방전 장치에서의 전류 및 전압은 방전 장치에 연결된 오실로스코프를 통해 측정하였고 충격파의 압력은 압력 챔버의 내측 벽면부에 설치된 압력셀을 이용하여 약 3.5msec 동안 계측하였다.



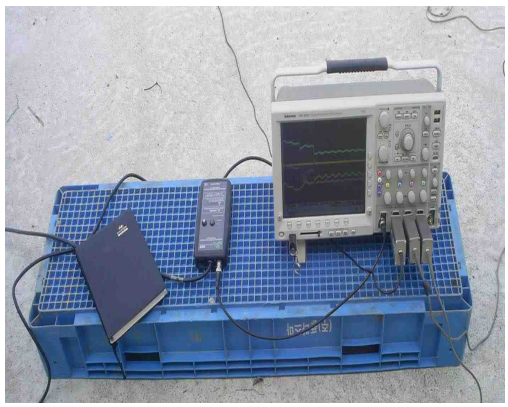
(a) 펄스파워 시스템 장비



(b) 펄스방전 케이블 및 방전 선단



(c) 압력챔버 및 방전 선단 장착

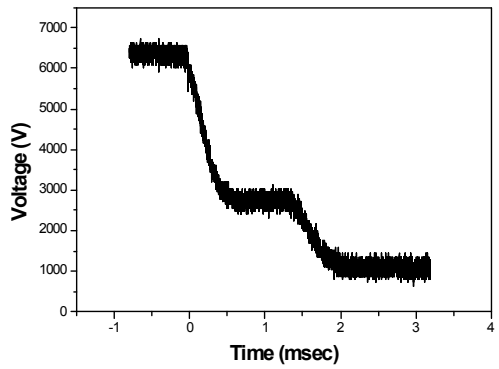


(d) 전압 및 전류 측정 장치

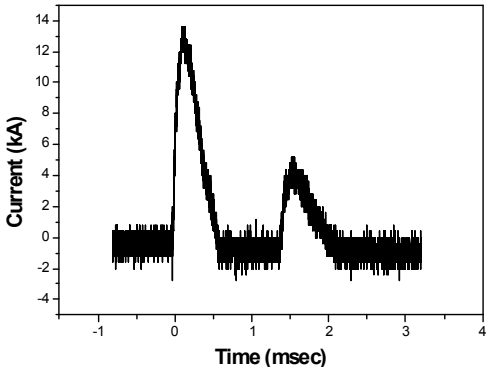
그림 3.1.36. 실내 방전 시험 장치

② 방전 시험 결과 및 분석

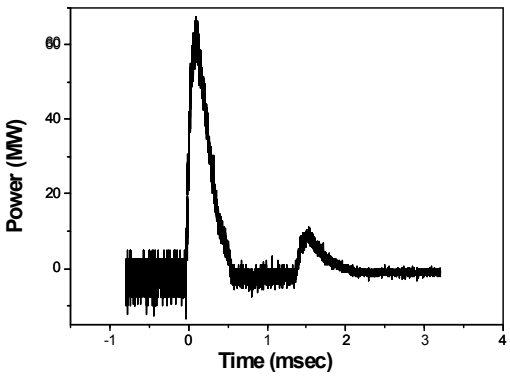
그림 3.1.37a 및 그림 3.1.37b는 6kV로 충전한 후 수행한 방전 시험 중 측정된 전류와 전압을 나타낸 것으로 6kV 및 12kA 크기의 고전압 및 전류가 발생하는 것으로 확인되었으며, 이에 대하여 식 (1-18)와 식 (1-19)를 적용하면 그림 3.1.37c 및 그림 3.1.37d와 같은 전력 및 전기 에너지 곡선을 구할 수 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 0.5msec의 짧은 시간동안 최대 70MW 크기의 매우 큰 크기의 펄스 파워와 약 20kJ의 전기에너지가 방전 선단에서 유발되었음을 알 수 있다. 그림 3.1.38은 실내 방전 시험으로부터 계측된 충격파 압력을 계측한 결과로써, 0.3msec 정도의 시간에 최대 약 5MPa 크기의 압력이 압력 챔버 내부에 가해지는 것으로 나타났으며 최대 압력이 나타난 이후 급격하게 압력이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 신병우 등 (2007)이 물에 대하여 펄스 방전을 수행한 결과와 유사한 것으로써 충격파 전달 매질이 시멘트 페이스트이더라도 물과 유사한 충격파 발생 거동이 일어나는 것으로 판단될 수 있다.



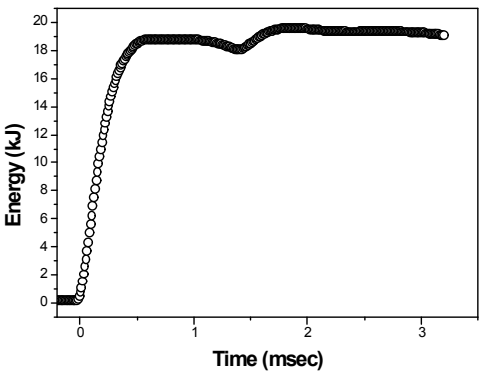
(a) 전류



(b) 전압



(c) 전력



(d) 방전 에너지

그림 3.1.37. 실내 방전 시험에서 측정된 전기적 특성

그림 3.1.38. 실내 방전 시험에서 측정된 충격파 압력

(나) 실내 방전 시험 시뮬레이션

① 모델링 및 해석 기법

그림 3.1.39는 250mm 직경을 갖는 나일론 소재의 챔버에 모르타르를 채운 실내시험에 대한 유한 요소망을 나타낸 것으로 축대칭 ACOUSTIC 요소 및 SOLID 요소를 이용하여 모르타르와 챔버를 모델링 하였으며 경계조건으로 챔버 하부 절점의 변위를 고정하였다. 방전에너지 20kJ에 해당하는 TNT 폭약 질량은 식 (1-20)에 따라 산정된 약 0.0044kg을 적용하였고, 그림 2-18의 충격파 압력 계측 결과를 참조로 폭발에 의한 기포하중 시뮬레이션 시간 $T_{duration}$은 0.3msec를 적용하였다. 입력 물성으로 시멘트 페이스트의 밀도는 20kN/m^3, 체적압축계수 K_f는 물과 동일한 1.92GPa로 가정하였으며 실험에 사용된 챔버를 구성하는 나일론의 밀도는 13kN/m^3, 탄성계수는 2GPa, 포아송비 0.35를 적용하였다. 해석 시 모르타르와 챔버의 임피던스(=재료의 밀도×재료의 음파속도)는 각각 1.96×10^6 및 2.04×10^6kg・m/(sec・m^3) 으로 유사한 범위를 갖고 있기에 경계면에서 충격파가 전달되는 것으로 고려한 방사(radiation)경계조건을 부여하였으며 cavitation 현상을 고려하기 위하여 임계 압력 값으로 일반적인 물과 같다고 가정하여 -80kPa을 적용하였다.

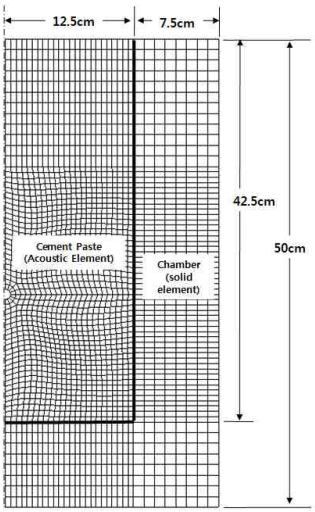


그림 3.1.39. 실내 방전 시험 시뮬레이션을 위한 유한 요소망

② 해석 결과 및 계측결과와의 비교・분석

그림 3.1.40은 3.5msec 동안 챔버의 벽면에 가해지는 radial 방향 압력을 계측결과와 비교한 것으로 수치해석이 최대 압력 (약 4.5MPa) 및 시간에 따른 충격파 압력의 변화를 합리적으로 예측하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 실내 방전 실험을 합리적으로 예측한 충격파 모델(기포하중모델의 시뮬레이션 시간 $T_{duration}$, 모

르타르의 단위중량, 체적압축계수 K_f, 임피던스를 고려한 유체-구조물 경계 거동)을 이용하여 지반 확공 현상을 예측하고자 하였다.

그림 3.1.40. 실내 방전시험 모델링 및 해석 결과

나. 수치해석을 통한 펄스 방전 시 지반 확공 모사

(1) 선행 연구 분석

펄스 방전 기술(PDT: Pulse Discharge Technology)은 전기 방전으로 인해 유발되는 매우 큰 파워를 이용하는 기술로써, 최근 들어 신기술로 지정되어 말뚝 및 앵커의 저항력 증대를 위해 말뚝 선단 및 앵커 정착장에 구근을 형성하는데 적용되고 있다 (김태훈 등, 2007; Kim과 Cha, 2008). 펄스 방전에 의한 천공된 지반의 확공은 펄스 방전 에너지에 의해 천공부를 채우고 있는 채움 재료에 형성된 버블의 팽창이 충격파(shockwave)를 유발하여 주변 지반을 변형시키는 것을 통해 이루어지게 된다.

Dzhantimirov 등 (2005)은 펄스 방전이 포화된 사질토 지반에 액상화를 유발하여 큰 변형을 유발하고 그 이후 간극수압의 소산 및 추가적인 버블 하중을 통해 지반을 다지는 반면에 점성토지반에 대해 펄스방전에 의한 하중은 지반의 탄성거동을 주로 유발하여 확공이 거의 유발하지 못하는 것으로 설명하였다. 실례로 Kim과 Cha (2008)는 펄스 방전 기술은 사질토에서 효과적인 확공 거동을 나타내고 점성토에서는 확공 정도가 매우 미비한 것을 현장실험으로부터 확인할 수 있었으며 확공 정도를 정량화하기 위하여 식 (1-27)의 확공 계수 (coefficient of expansion, E_c)를 제안하였다. 확공 계수 E_c는 그림 3.1.41과 같이 펄스 방전에 의해 시추공이 구형으로 확공된다는 가정 하에 제안된 계수로 그림 3.1.42의 실제 확공된 말뚝의 형태와 비교해 볼 때 합리적으로 확공 정도를 평가할 수 있는 계수임을 알 수 있다.

$$E_c = \frac{d_{final}}{d_0} \tag{1-27}$$

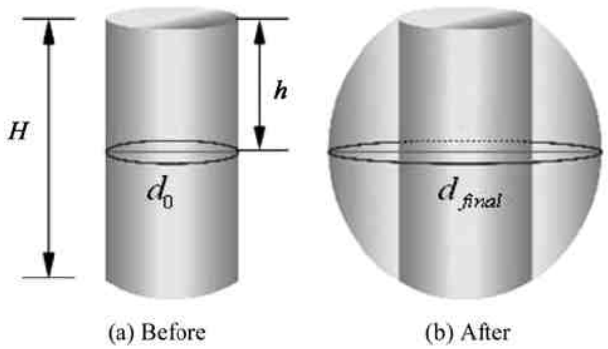


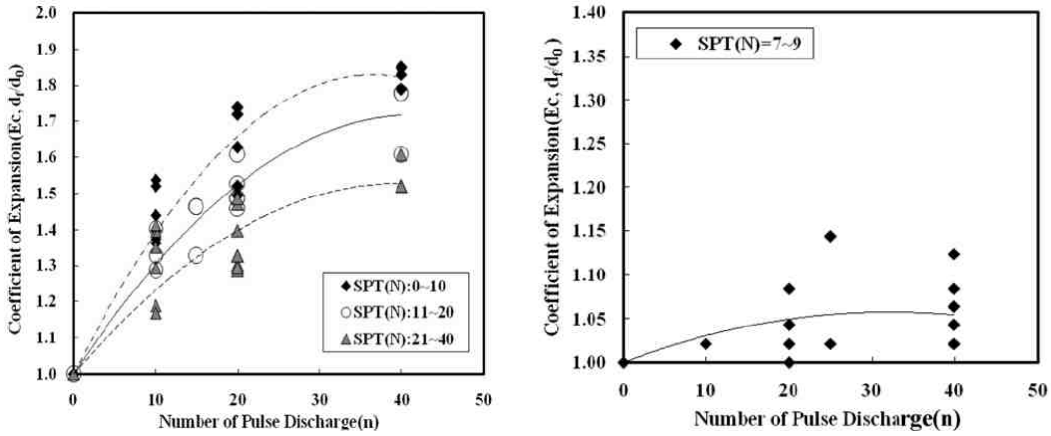
그림 3.1.41. 확공 계수 E_c 산정을 위한 구형 확공 가정 (Kim과 Cha, 2008)

그림 3.1.43a는 Kim과 Cha (2008)가 사질토 지반에서 수행한 지반 확공 시험 결과

로써 SPT N값에 의해 분류된 지반의 강성 및 강도 특성 별로 방전 횟수에 따른 확공계수 를 나타내고 있다. 250mm의 직경을 갖는 시추공에 대해 30~40회의 방전 시 구근의 직경은 초기 시추공의 직경의 1.5~2.0배로 증가함을 알 수 있으며 SPT N값이 작을수록 큰 확공 계수 E_c를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 한편 점성토의 경우 그림 3.1.43b와 같이 1.2 미만의 낮은 확공계수를 얻는 것으로 확인되었다.



그림 3.1.42. 펄스 방전에 의해 형성된 구근 형태 (Kim과 Cha, 2008)



(a) 사질토 (b) 점성토

그림 3.1.43. 지반특성에 따른 확공 계수 (Kim과 Cha, 2008)

(2) 확공 현상 시뮬레이션

(가) 충격파에 의한 지반 확공 시뮬레이션 기법

펄스 방전으로부터 발생한 충격파에 의한 지반의 거동을 예측하기 위해서는 충격파를 전달하는 유체와 지반의 상호 거동에 대한 모델링이 요구되며, 본 연구에서는 ABAQUS/Explicit UNDEX 모델을 통한 충격파 모델링과 더불어 유체-구조물 연성해석 (coupled acoustic-structural analysis)기법을 이용하였다. 본 기법은 유체를

압력만을 전달하는 음향요소 (acoustic element)로 고려하며, 음향요소와 연속체 요소 각각의 동적 평형 방정식으로부터 각각 경계에서의 가속도 및 압력을 계산하여 이를 요소 간 경계면에 traction으로 적용, 순차적으로 계산하는 staggered scheme을 사용한다. 이 때, 유체와 구조물의 경계면에서는 normal한 방향 압력만이 전달되고, 경계 조건으로 전반사, 자유방사 조건 및 임피던스를 고려한 경계 조건 등을 적용시킬 수 있으며 임피던스 경계조건은 유체와 구조물 경계에 스프링과 dashpot이 달려있는 것으로 모델링 할 수 있다(HKS, 2004).

한편, 유체와 구조물의 상호 거동 시 유체는 어느 수준 이상의 인장 압력을 받을 경우 기포로 변환되는 캐비테이션 현상을 겪게 된다. 캐비테이션 현상은 크게 구조물 주위에서 반사되어 형성되는 인장력에 의한 국부적 캐비테이션(local cavitation)과 자유수면 근방에서 유발되는 광역 캐비테이션 (bulk cavitation)으로 나뉠 수 있으며 깊은 심도에서 폭발 하중에 의한 유체와 구조물의 거동 시에는 광역 캐비테이션 현상은 고려되지 않아도 되는 것으로 알려진 반면 구조물과 유체의 상호 거동이 복잡하게 유발되는 경우에는 국부적 캐비테이션을 고려하여야 하는 것으로 알려져 있다 (Klenow와 Brown, 2007). ABAQUS에서는 유체의 인장응력이 캐비테이션 압력과 같아지면 유체의 압력을 캐비테이션 압력으로 고정하여 계산을 수행한다.

(나) 대상 문제

본 장에서는 유체-구조물 연성 해석을 통한 충격파에 의한 지반 확공 예측 해석의 적용성 및 적절성을 살펴보기 위하여 김태훈 등 (2007)과 Kim과 Cha (2008)의 현장 실험을 대상문제로 고려하였다. 김태훈 등 (2007)과 Kim과 Cha (2008)는 소구경의 연직 말뚝 확공을 위해 펄스 방전 기술을 적용하였고 이 때 시추공의 직경은 250~300mm로, 펄스 방전이 수행되는 깊이는 약 지표면으로부터 3~10m 범위에서 수행한 것으로 나타났다. 이를 참고하여 8m 깊이까지 천공된 250mm의 직경을 갖는 시추공의 확공에 대한 해석을 수행하기 위해 그림 3.1.44와 같이 축대칭 조건에 대한 유한 요소망을 작성하였다. 해석의 안정성을 고려하기 위하여 시추공 내부를 채우고 있는 유체요소 및 인접 지반 요소를 25mm × 25mm 크기로 세밀하게 분할하였으며, 방전 위치로부터 횡방향으로 약 2m 및 연직방향 10m 이후의 해석영역에는 infinite element를 사용하여 boundary effect를 최소화 하였다. 충격파 발생과 관련되는 입력 자료는 앞서 2장의 실내시험 시뮬레이션에서 사용한 입력변수를 동일하게 적용하였다.

(다) 지반 특성에 따른 입력 물성 도출

① 점성토

점성토의 경우, 매우 짧은 시간 동안 확공 거동이 이루어지는 것을 고려하여 확공 현상을 비배수 거동으로 가정하여 자중의 효과를 고려하지 않은 전응력 해석을 적용하였다. 전응력 해석을 위하여 지반의 구성관계는 비교적 단순한 모델인 선형탄성-von-Mises소성 모델을 적용하여 모사하도록 하였다.

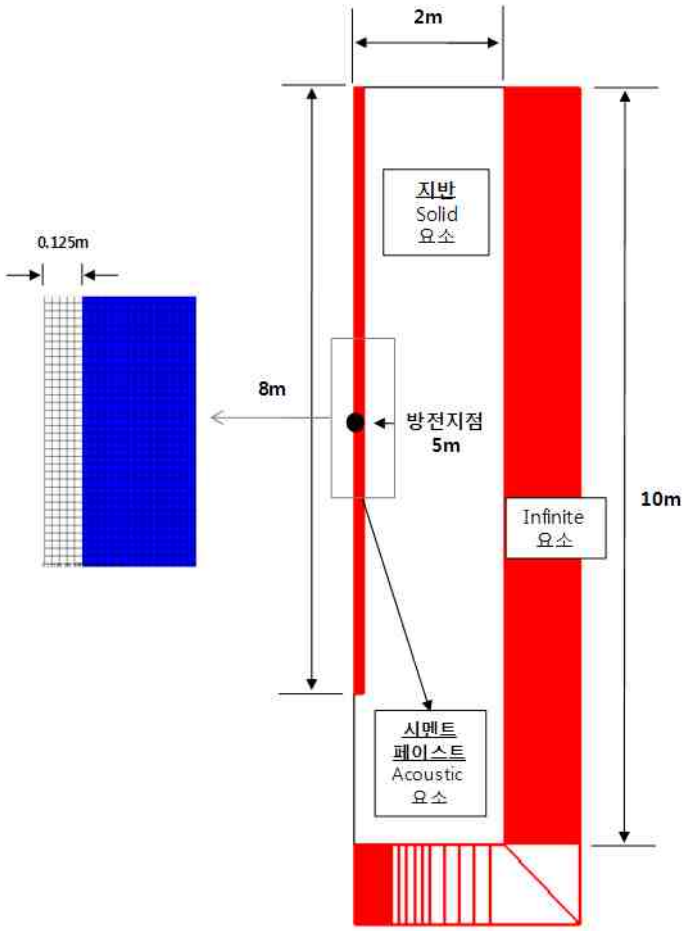


그림 3.1.44. 확공해석을 위한 유한요소망

위의 흙의 거동모델에 해당하는 입력을 물성은 펄스 방전에 의한 지반 확공에 대한 기존의 연구(Kim과 Cha, 2008)가 지반 분류 및 그에 따른 확공 정도를 SPT N값에 따라 표현하고 있음을 고려하여 SPT N값-일축압축강도관계 $q_u(kg/m^2) = N_{SPT}/6$ 및 식 (1-28)의 비배수전단강도-전단탄성계수 관계(Keaveny와 Mitchell, 1986)로부터 각각 비배수 전단강도와 전단 탄성계수를 산정하였다. 한편 비배수 거동을 나타내기 위한 지반의 체적탄성계수 B는 식 (1-29)의 근사식을 이용하여 간극율(n)이 0.5인 지반에 대해 산정하였으며, 앞서 SPT N값으로부터 산정한 전단탄성계수와의 일관성을 유지하기 위한 포아송 비는 식 (1-30)로부터 구할 수 있다.

$$G/s_u = \frac{\exp[\frac{137-PI}{23}]}{[1+\ln 1+\frac{(OCR-1)^{3.2}}{26}]^{0.8}} \quad (1\text{-}28)$$

$$B = B_{skeleton} + \frac{B_w}{n} \simeq \frac{B_w}{n} \quad (1\text{-}29)$$

$$\nu = \frac{3B_w - 2nG}{2nG + 6B_w} \quad (1\text{-}30)$$

여기서, G는 전단탄성계수, s_u는 비배수 전단강도, OCR은 과압밀비, B_w는 물의 체적압축계수, 그리고 $B_{skeleton}$은 건조된 흙 구조체의 체적압축계수이다.

② 사질토

사질토의 경우 충격파에 의해 발생하는 과잉간극수압의 빠른 소산을 고려하여 확공 거동이 완전히 건조된 지반에 대해 이루어지는 것으로 고려하였다. 사질토의 강성 및 강도는 응력에 의존적이므로 Janbu (1969)의 수식(1-31)을 이용하여 초기 지반 응력 상태로부터 탄성계수를 산정하여 적용하였고, 지반의 강도를 표현하기 위해 SPT N값과Mohr-Coulomb 강도 정수 (ϕ')에 대한 Ohsaki의 상관관계식(1-32)을 적용하였다.

$$E_t = K_h p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a}\right)^n \quad (1\text{-}31)$$

$$\phi' = \sqrt{20N_{SPT} + 15} \quad (1\text{-}32)$$

한편, 펄스 방전에 의한 확공 해석은 동적해석으로 변형률 속도(strain rate)가 중요하기 때문에 본 연구에서는 이를 고려할 수 있는 Drucker-Prager 항복 기준 식(1-33)을 적용하였으며 삼축 조건에 대한 Mohr-Coulomb 항복규준에 상응하는 Drucker -Prager을 만족하는 강도 정수 (α, k)는 식 (1-34) 및 식 (1-35)를 통해 산정하였다.

$$f = \sqrt{J_{2D}} - \alpha J_1 - k \quad (1\text{-}33)$$

$$\alpha = \frac{2\sin\phi'}{\sqrt{3}(3-\sin\phi')} \tag{1-34}$$

$$k = \frac{6c'\sin\phi'}{\sqrt{3}(3-\sin\phi')} \tag{1-35}$$

여기서, K_h는 탄성계수와 관련된 지반 상수, p_a는 대기압(=1atm=101.3kPa), σ_3는 평균유효응력, n은 탄성계수와 관련된 지반 상수, $\sqrt{J_{2D}}$는 the second invariant of the deviatoric stress tensor, J_1은 the first invariant of the stress tensor를 의미한다.

(라) 시뮬레이션 방안

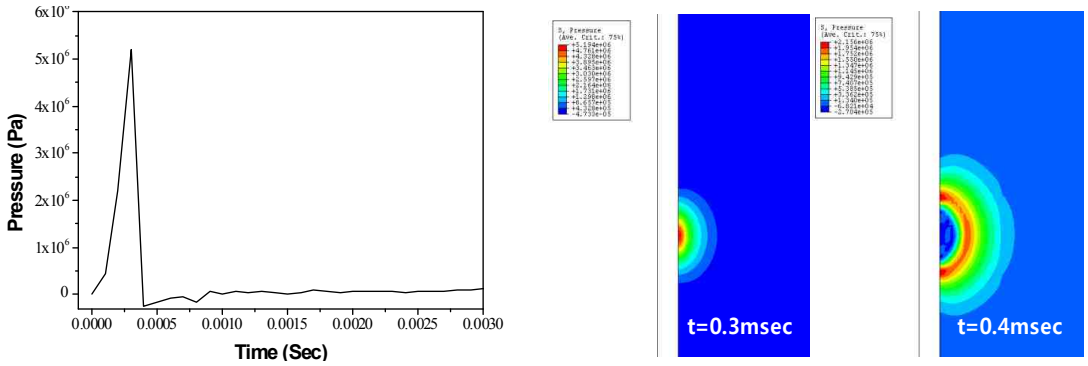
지반 물성 산정 및 적용에 있어 점성토와 사질토는 자중 고려 여부 및 강성과 강도의 응력 의존성을 다르게 고려하였기 때문에 시뮬레이션에 있어 다소 차이를 두었다. 점성토의 경우 일반적인 유체-구조물 해석과 동일하게 초기 조건으로 응력 및 유체의 압력을 0으로 한 후 충격파를 가하는 방식으로 시뮬레이션을 수행하였다.

사질토의 경우 초기 자중 조건을 고려하기 위하여 K_0 조건의 초기 조건(initial condition)에 대해 모든 절점의 자유도를 구속시킨 상태에서 지반의 자중을 부여하고, acoustic 요소의 자중은 해석에서 반영되지 않음을 고려하여 시추공 벽면에 시멘트 모르타르 자중에 의한 하중을 가하여 시추공 굴착 후 지반 응력 상태를 구현하였다. 이후 자유도 구속조건을 해제하여 충격파에 의한 변위가 유발되는 것을 시뮬레이션 하였다. 공통적인 경계조건으로, 시멘트 모르타르의 자유 수면에서 수압은 0이 되도록 하였고, 축대칭 조건을 고려하여 대칭축에서 횡방향 변위를 구속하였다.

(3) 펄스 방전 시 지반 거동 특성

(가) 점성토 지반

그림 3.1.45a는 N_{SPT}=6인 점성토 지반에서 1회 펄스 방전에 의해 시추공 벽면에 발생하는 충격파 압력을 예측한 결과를 나타낸 것으로 그림에서 볼 수 있듯이 최대 약 5MPa 압력이 가해지는 것을 확인할 수 있으며 이러한 충격파 압력은 그림 3.1.45b와 같이 구형파 형태로 지반에 전파되는 것으로 나타났다.



(a) 시추공 벽면에 가해지는 충격파 압력　　(b) 지반에서의 충격파의 전파형태

그림 3.1.45. 충격파 압력 및 전파 형태 (점성토)

그림 3.1.46은 펄스 방전 시 지반의 횡방향 변위를 나타낸 것으로 방전 직후 큰 변위가 발생하지만 충격파 압력이 감소함에 따라 변위가 회복되는 거동을 나타내고 있으며 다소의 진동이 있으나 시간이 지남에 따라 일정한 값으로 변위가 수렴함을 알 수 있다. 40회 방전 시뮬레이션 후 예측된 변형된 지반의 형상은 그림 3.1.47에 도시한 바와 같고, 방전 위치를 중심으로 구형 형태의 구근이 형성됨을 확인할 수 있으며 이는 Kim과 Cha (2008)가 현장시험을 통해 확인한 구형 구근 그림 3.1.42와 부합하는 것으로 판단된다. 그러나 점토의 비배수 특성으로 인하여 확공이 일어난 주위의 영역이 시추공 내부 영역으로 밀려나오는 것을 확인할 수 있으며 이는 김태훈 등(2007)이 시멘트 페이스트의 하강 깊이로 확공 계수를 추정한 것에 비추어 볼 때 본 해석결과가 다소 과다한 확공 계수를 추정할 수 있음을 의미한다.

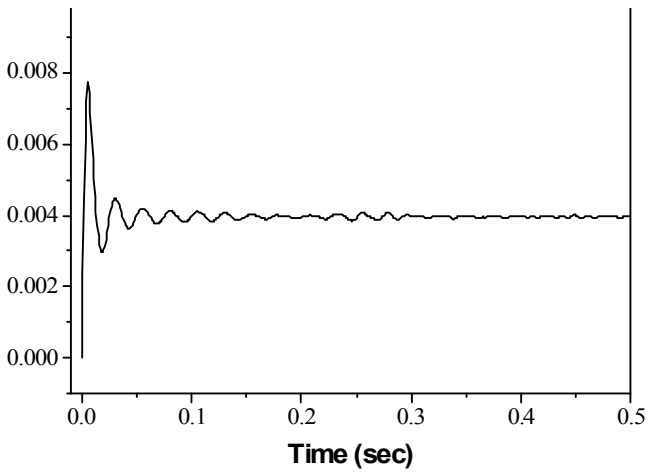


그림 3.1.46. 방전위치 깊이의 시추공 벽면에서의 횡방향 변위 (점성토)

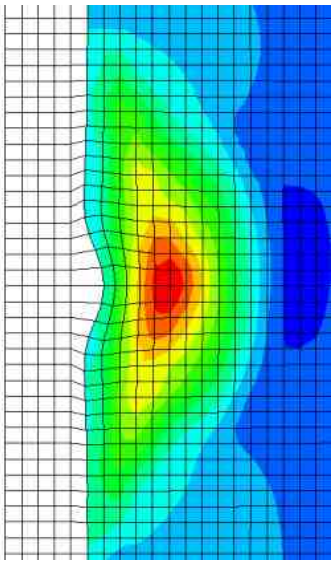
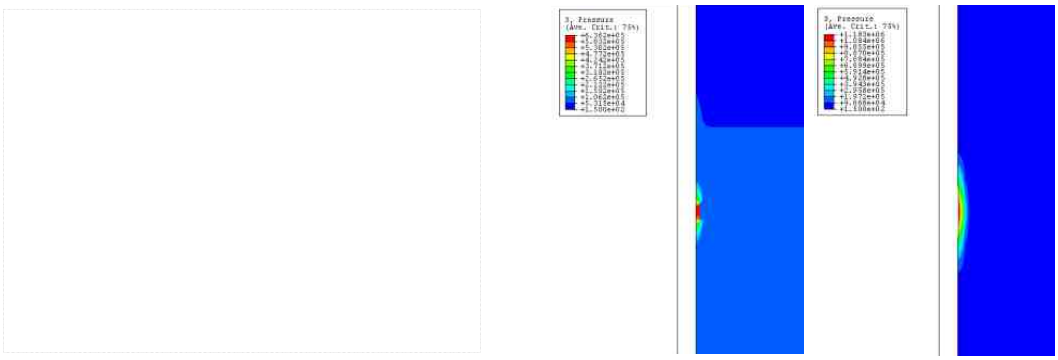


그림 3.1.47. 펄스 방전에 의한 지반 확공 형상 (점성토)

(나) 사질토 지반

그림 3.1.48a는 N_{SPT}=15인 사질토 지반에서 1회 펄스 방전에 의해 시추공 벽면에 발생하는 충격파 압력을 예측한 결과를 나타낸 것으로 점성토 사례와는 달리 최대 약 1.2MPa 압력이 가해지고 있으며 그림 3.1.48b에 나타난 바와 같이 충격파 압력이 완전한 구형형태로 전파되지 않는 형상을 확인할 수 있다. 이는 점성토가 시멘트 페이스트와 유사하거나 큰 임피던스 값을 갖는 반면 건조한 사질토는 시멘트 모르타르에 비해 낮은 임피던스 값을 갖기 때문에 지반으로 전달되는 충격파 압력이 감소하는 것으로 이해될 수 있다. 그림 3.1.49는 펄스 방전 시 지반의 횡방향 변위를 나타낸 것으로 점성토의 경우와 마찬가지로 방전 직후 큰 변위가 발생하지만 충격파 압력이 감소함에 따라 변위가 회복되는 거동을 나타내고 있으나 잔류 변위량은 훨씬 크게 나타남을 확인할 수 있다.



(a) 시추공 벽면에 가해지는 충격파 압력　　(b) 지반에서의 충격파의 전파형태

그림 3.1.48 충격파 압력 및 전파 형태 (사질토)

한편, 40회 방전 시뮬레이션 후 예측된 변형된 지반의 형상은 그림 3.1.50에서 볼 수 있듯이 방전 위치를 중심으로 완만한 포물선 형태로 나타나는 것으로 예측되었으며 이러한 결과는 Kim과 Cha(2008)의 구형 구근 확공 계수가 실제 최대 확공 직경을 고려한 확공 계수에 비해 큰 이유의 근거가 될 수 있을 것으로 판단된다.

그림 3.1.51은 방전 횟수에 따른 지반의 평균 유효 응력 증가량에 대한 contour를 나타낸 것으로, 방전 횟수가 증가함에 따라 방전 위치 주변 지반의 평균 유효 응력이 증가함을 확인할 수 있따. 사질토 등의 조립질 지반재료의 강성 및 강도가 평균 유효 응력과 비례적인 관계를 갖는 것을 고려해 볼 때, 위와 같은 거동은 펄스 방전에 의해 지반이 다져진다는 것을 의미한다. 또한, 그림 3.1.52에 도시된 체적변형량 contour 역시 확공 주변 지반의 체적이 압축되는 것을 나타내고 있으며 이는 지반 간극비의 감소를 의미한다.

그림 3.1.49. 방전위치 깊이의 시추공 벽면에서의 횡방향 변위 (사질토)

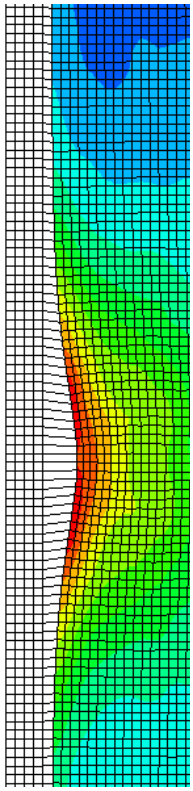
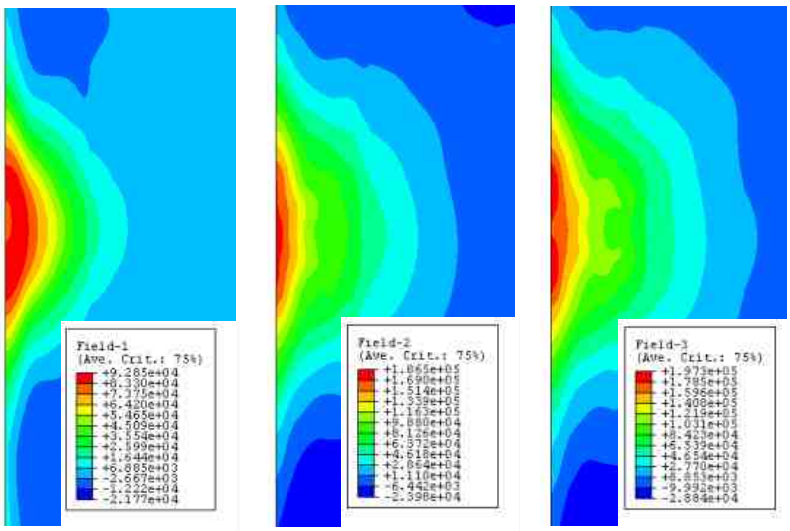
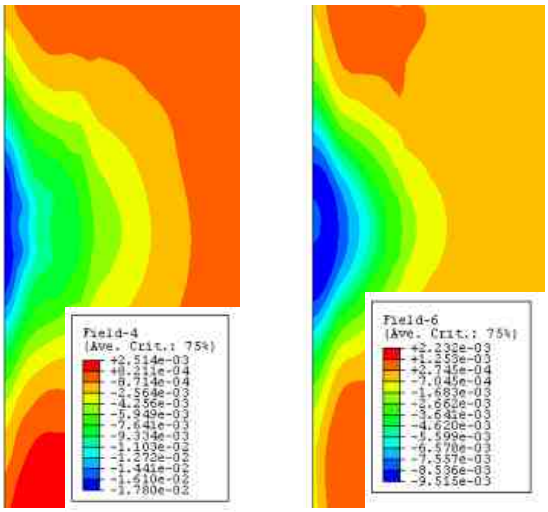


그림 3.1.50. 펄스 방전에 의한 지반 확공 형상 (사질토)



(a) 방전 1회 (b) 방전 10회 (c) 방전 40회

그림 3.1.51. 방전 횟수에 따른 지반의 평균 유효 응력 contour



(a) 방전 1회 (b) 방전 10회

그림 3.1.52. 방전 횟수에 따른 지반의 체적 변형률 contour

(4) 매개변수해석 및 현장 시험과의 비교 · 검증

(가) 점성토 지반

간극율(n)이 0.5이고 PI=30 정도의 정규압밀 점토지반에 대해 SPT N값과 지반 물성 간 상관관계를 바탕으로 SPT N값이 2, 4, 6, 및 8인 경우에 해당하는 지반에 대한 해석 물성을 표 3.1.5와 같이 작성하였으며 이를 이용하여 확공해석을 수행하였다.

표 3.1.5. N_{SPT}에 따른 확공해석을 위한 입력 물성 (점성토)

N_{SPT}	n	Density (kN/m^3)	s_u(kPa)	G (MPa)	E (MPa)	Poisson's ratio (ν)
4	0.5	18	33.3	3.49	10.47	0.4995638444
6			50	5.24	15.71	0.4993452073
8			66.6	6.98	20.92	0.4991279425
10			83.3	8.73	26.13	0.4989094324

해석 결과에서 얻어지는 확공계수 E_c를 Kim과 Cha (2008)가 SPT N값이 7과 9사이의 점성토 지반에서 수행한 현장 확공계수와 그림 3.1.53과 같이 비교해 보았다. 현장 시험 결과가 수치해석에서 N_{SPT}=6 이상의 지반에서 예측되는 확공 계수의 범위 내에 분포하고 있음을 알 수 있으며 지반이 상대적으로 연약한 경우 (N_{SPT}=4)에도 확공 계수는 1.3을 넘지 않음을 확인할 수 있다. 위의 해석 결과는 본 연구에

서 제안된 해석 모델 및 입력 물성 추정 방안이 펄스 방전에 의한 점성토 지반 확공 현상을 적절하게 모사할 수 있는 근거가 될 수 있을 것으로 사료된다.

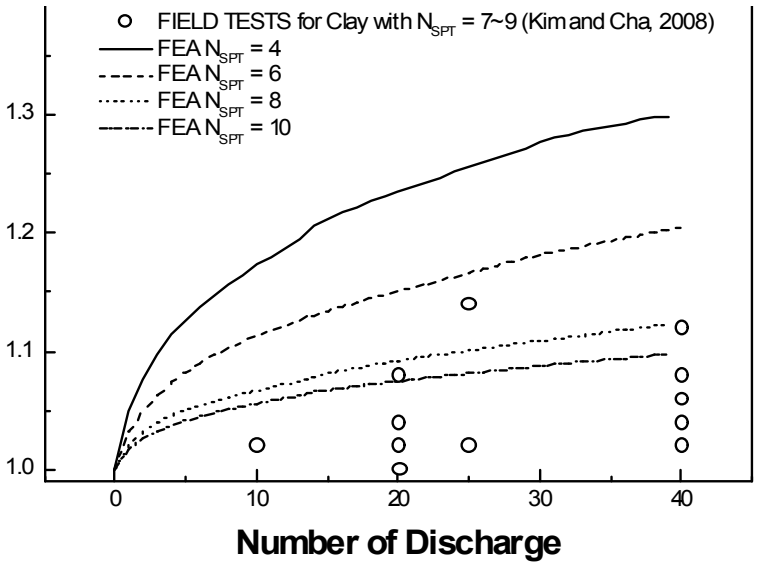


그림 3.1.53. 수치해석과 현장 실험에서 얻어진 확공 계수 비교 (점성토)

(나) 사질토 지반

수평 토압 계수 K_0가 0.5이고 단위중량이 18kN/m^{3}인 사질토 지반에 대해 SPT N값과 지반 물성 간 상관관계를 바탕으로 SPT N값이 5, 10, 15, 20, 25, 및 30인 경우에 해당하는 지반에 대한 해석 물성을 표3.1.6과 같이 작성하였으며 확공해석을 수행하였다.

표3.1.6. N_{SPT}에 따른 확공해석을 위한 입력 물성 (사질토)

N_{SPT}	Density (kN/m^3)	E (MPa)	ϕ' (MPa)	K_0	Poisson's ratio (ν)
5	18	9	25	0.5	0.3
15		14	29		
20		19	32		
25		24	35		
30		34	37		

해석 결과에서 얻어지는 확공계수 E_c를 Kim과 Cha (2008)가 SPT N값이 0~40사이의 점성토 지반에서 수행한 현장 확공계수와 그림 3.1.54와 같이 비교해 보았다. 현

장 시험 결과가 수치해석 결과와 잘 부합하고 있음을 알 수 있으며 지반이 상대적으로 연약한 경우 (N_{SPT}=5) 확공 계수는 20회 방전에도 1.8에 도달함을 확인할 수 있다. 본 연구에서 제안된 사질토 지반 확공 현상 시뮬레이션 기법이 실제 사질토 지반에서의 확공 현상을 적절하게 모사하고 있는 것으로 사료된다.

그림 3.1.54. 수치해석과 현장 실험에서 얻어진 확공 계수 비교 (사질토)

(다) 시추공 직경에 따른 확공 거동 차이

앞서 수행한 확공 해석은 250mm 직경을 갖는 시추공에 대한 것으로 일반적으로 사용되는 시추공 중 다소 큰 직경에 해당한다. 따라서 실제로 많이 사용되는 125mm 직경의 시추공을 고려한 해석을 추가적으로 수행하였으며 그림 3.1.55 및 3.1.56은 각각 점성토와 사질토 지반에 형성된 125mm 및 250mm 시추공에 대한 확공 해석을 수행하여 얻은 확공 계수를 비교 한 것이다.

위의 그림으로부터 125mm 직경의 시추공에서 250mm 시추공에 비해 더 큰 확공 계수가 예측되었음을 알 수 있으며 적은 수의 방전에도 확공 계수가 2.0을 상회하는 것으로 나타났다. 한편, 지반이 상대적으로 연약한 경우 곡선이 끝까지 연결되지 않은 것은 과도한 변형으로 인해 해석의 수렴이 되지 않은 경우를 나타낸다.

이는 앞서 언급한 바와 같이 펄스 방전 및 수중 폭발에 의한 충격파는 거리에 따라 반비례 관계로 감소하기 때문이며 따라서 시추공 직경이 1/2로 감소할 경우 근사적으로 충격파 압력이 2배로 증가하기 때문이다. 이를 종합해 볼 때 펄스 방전을 통한 확공은 일반적으로 사용되는 125mm 앵커에 대해 양호한 확공 효율을 나타내는

것으로 판단될 수 있으며 250mm 직경의 시추공에 대해서도 합리적인 확공 거동을 유발하는 것으로 사료된다.

그림 3.1.55. 시추공 직경에 따른 확공 계수 비교 (점성토)

그림 3.1.56. 시추공 직경에 따른 확공 계수 비교 (사질토)

4. 요약 및 결론

펄스압에 따른 확공특성을 규명하기 위하여 모형실험, 실대형실험 및 수치해석을 수행하였고, 그 결과는 다음과 같다.

1) 모형실험결과 그라우트액의 하강깊이는 상대밀도 40%의 경우 방전횟수 40회 이하에서 매 회당 91mm, 상대밀도 60%의 경우 매 회당 37mm를 나타내었다. 현장실대형실험의 경우 지반에 따라 편차가 크게 나타났으나, 평균적으로 매 회당 30mm 내외로 나타났다.

2) 확공계수는 실내실험결과 밀도 40%의 경우 5회방전시 2.37에서 40회 방전시 3.95정도의 값을 보이고 있으며, 상대밀도 60%의 경우 2.13에서 3.01의 값을 나타낸다. 방전횟수가 증가할수록 두 상대밀도간의 확공계수의 차이가 증가하는 것으로 나타났다. 실대형실험에서는 평균적으로 방전 10회일때 확공계수가 2.0 정도인 것으로 나타났다.

3) 펄스 방전에 의한 충격파 발생을 실험적으로 확인할 수 있었으며 수중 폭발에 의한 충격파 발생 거동과 유사한 특성을 갖고 있음을 알 수 있었다.

4) 펄스 방전 에너지를 등가의 폭약 질량으로 환산하여 수행한 수중폭발해석은 실내 펄스 방전 시험에서 계측되는 충격파 압력을 합리적으로 산정함을 확인할 수 있었다. 따라서, 펄스 방전 시 방전 선단에서 유발되는 전기적 에너지 특성을 획득할 수 있다면 펄스 파워를 이용한 확공 앵커 시공 시 시추공 벽면에 가해지는 충격파의 특성을 예측할 수 있다.

5) 수중 폭발 모델과 유체-구조물 연성해석을 이용하여 점성토 및 사질토 지반에 놓인 시추공에 대한 확공 해석을 수행하였다. SPT N값으로부터 경험적으로 유추된 지반 물성을 통한 해석 결과, 250mm 시추공에서 수행한 현장 확공 시험과 유사한 확공 거동을 확인할 수 있었다.

6) 일반적으로 사용되는 125mm 직경의 앵커의 경우 점성토 및 사질토에 관계없이 20~30회 방전을 통해 2배 정도의 확공 계수를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

7) 확공 해석 결과에 따르면 펄스 방전은 앵커 구근 주변부 지반의 구속압을 증가시키고 체적을 압축시키는 것으로 나타났으며 이는 곧 지반의 강성 및 강

도, 그리고 간극비의 감소를 유발하는 것으로 사료된다.

제 2 절 펄스확공앵커의 인발저항특성

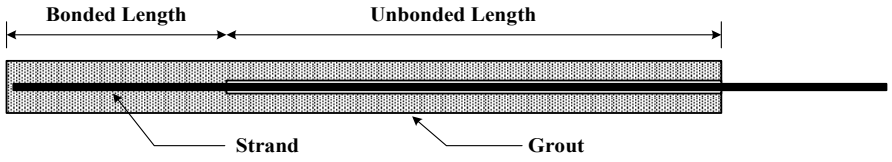
1. 이론연구

가. 그라운드 앵커의 종류

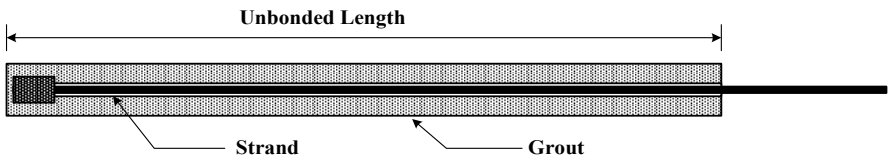
그라운드 앵커는 비교적 근래에 개발된 지반보강 재료로써 지반에 인장력을 가하는 용도로 사용되며 공사기간, 앵커의 용도 및 설계하중, 지반상태에 따라 여러 형태로 분류할 수 있다.

(1) 하중 전달방식에 따른 분류

그라운드 앵커의 하중 전달방식에 따른 분류에는 압축형 앵커와 인장형 앵커가 있는데, 인장형 앵커는 강선과 그라우트가 부착되어있는 정착장과 부착이 되지 않은 자유장으로 구성되어 있다. 정착장을 통해 발생한 인장력이 지반에 전달되는 방식이며, 비교적 시공이 간단하여 현장에서 널리 사용된다. 압축형 앵커는 인장형 앵커에 하중 재하시 정착장에서 발생하는 인장균열로 스며드는 지하수로 인한 강선부식을 보완하기 위하여 개발된 것으로, 앵커 전장이 자유장으로 구성되어 있다.그림 3.2.1. 압축형 앵커는 앵커 두부에서 가해진 하중이 자유장에 일정하게 분포하며 앵커선단에서부터 하중이 전달되는 특징이 있다.



(a) 인장형 앵커



(b) 압축형 앵커

그림 3.2.1. 인장형 및 압축형 앵커

(2) 지반종류에 따른 분류

그라운드 앵커의 종류는 지반 종류에 따라 직선 샤프트형, 단구근형, 복구근형 및 포스트 그라우트형 4가지로 나눌 수 있다. 지반 종류에 따른 분류의 기준은 앵커체의 형상, 크기, 시공시 사용되는 삽입장비나 그라우팅 기술 등이 있다. 단구근

형 및 복구근형 앵커는 점토질 지반에서 사용되는 반면에 그라우트에 압력을 주어 주입하는 앵커는 사질토 지반에서 사용된다.

그림 3.2.2 (a)는 직선 샤프트형 앵커로 가장 일반적으로 사용되는 앵커이다. 그라우팅은 저압 및 고압으로 사용할 수 있으며, 사질토, 점토 및 암반 등 모든 지반에서 사용되어진다. 그림 3.2.2 (b)는 단구근형 앵커로 비교적 연약한 암반 또는 모래 및 점토질 흙에서 사용되어지고 그라우트를 저압으로 주입하며 주입압은 천공면을 조밀하게 다지는 역할을 한다. 복구근형 앵커 그림 3.2.2 (c)는 특수한 장비를 사용하여 정착장에 종 형태의 구근을 형성하는 것으로 종의 크기는 보통 천공홀의 4배 이상이 되게 하고 천공 시 공벽이 유지될 수 있는 매우 단단한 점토층에서 사용된다. 그림 3.2.2 (d)는 포스트 그라우트 앵커로 그라우트 주입압을 2 MPa이상으로 하여 불규칙한 형상을 만들며 점토질 지반이나 상대밀도가 작은 지반에서 사용하는 앵커이다.

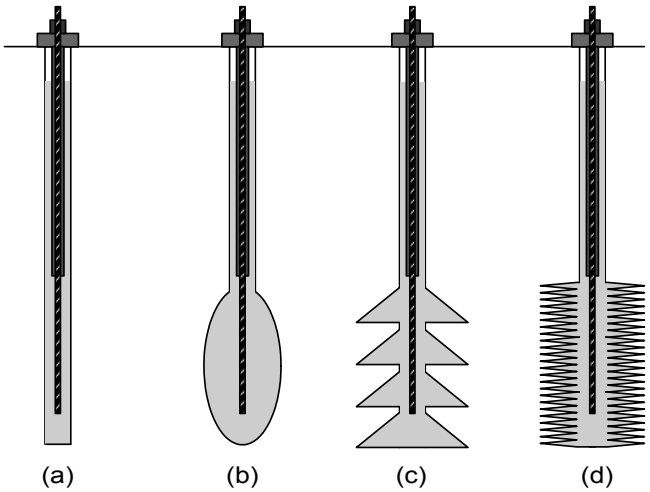


그림 3.2.2. 지반 종류에 따른 그라운드 앵커의 종류

나. 그라운드 앵커의 인발 시험

(1) Performance Test

앵커의 Performance Test는 AASHTO-AGC ARTBA Task force 27에 규정된 시험으로, 단기의 반복하중에 대한 앵커의 설계내력을 측정하여 확인하는 방법이다. 각 하중 단계는 설계하중 DL을 기준으로 하여 0.25DL, 0.5DL, 0.75DL, 1.0DL, 1.2DL, 1.33DL로 구성되어 있으며, 하중을 재하한 후 초기하중 AL(Alignment Load)로 돌아와서 다음 단계로 넘어가는 특징이 있다. 각 하중단계의 최대하중에서 10분 동안 하중유지를 하여 앵커 두부에서 1mm 이하의 변위가 발생할 경우 다음

하중단계를 재하하며, 1mm 이상의 변위가 발생할 경우, 50분 동안 추가로 하중유지를 하여 6~60분 사이의 변위가 2mm를 넘으면 앵커의 정착장길이나 직경을 늘리거나 설계하중을 줄여 앵커의 개수를 늘려야 한다(Weatherby, 1982). Performance Test의 일반적인 하중-변위 곡선은 그림 3.2.3과 같으며 시험 절차는 표 3.2.1과 같다.

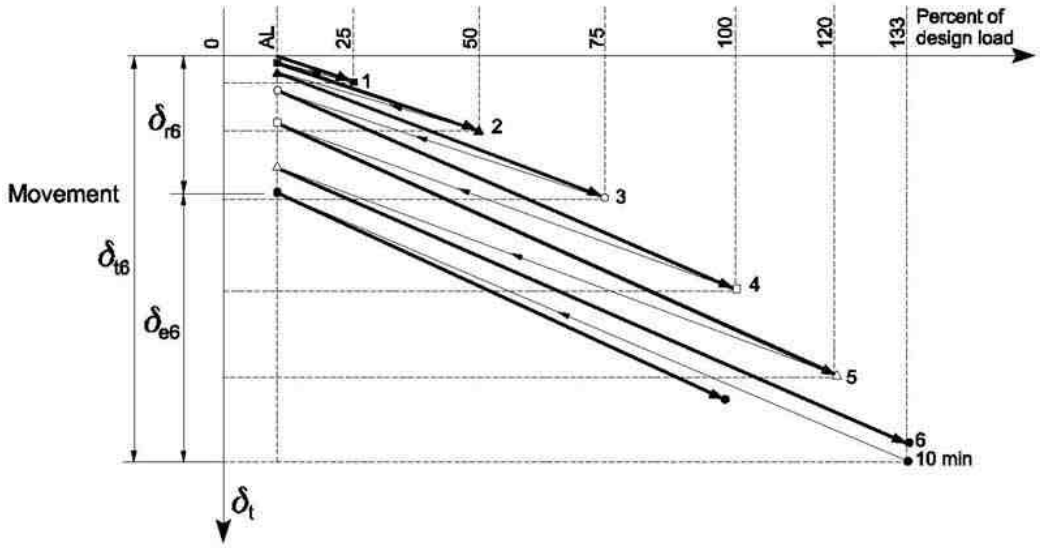


그림 3.2.3. Performance Test의 하중-변위곡선

표 3.2.1 Performance Test 절차

step	Loading	Applied Load	Record Plot Total Mopvement (δ_{ti})	Record and Plot Residual Movement (δ_{ri})	Calculate Elastic Movement (δ_{ei})
1	Apply alignment load (AL)				
2	Cycle 1	0.25DL	δ_{t1}		
		AL		δ_{r1}	$\delta_{t1}-\delta_{r1}=\delta_{e1}$
3	Cycle 2	0.25DL	δ_{2}		
		0.50DL	δ_{t2}		
		AL		δ_{r2}	$\delta_{t2}-\delta_{r2}=\delta_{e2}$
4	Cycle 3	0.25DL	δ_{3}		
		0.50DL	δ_{3}		
		0.75DL	δ_{t3}		
		AL		δ_{r3}	$\delta_{t3}-\delta_{r3}=\delta_{e3}$
5	Cycle 4	0.25DL	δ_{4}		
		0.50DL	δ_{4}		
		0.75DL	δ_{4}		
		1.00DL	δ_{t4}		
		AL		δ_{r4}	$\delta_{t4}-\delta_{r4}=\delta_{e4}$
6	Cycle 5	0.25DL	δ_{5}		
		0.50DL	δ_{5}		
		0.75DL	δ_{5}		
		1.00DL	δ_{5}		
		1.20DL	δ_{t5}		
		AL		δ_{r5}	$\delta_{t5}-\delta_{r5}=\delta_{e5}$
7	Cycle 6	0.25DL	δ_{6}		
		0.50DL	δ_{6}		
		0.75DL	δ_{6}		
		1.00DL	δ_{6}		
		1.20DL	δ_{6}		
		1.33DL	δ_{t6}, zero reading for creep test		
8	Hold load for 10 minutes while recording movement at specified times. If the total movement measured during the load hold exceeds the specified maximum value then the load hold should be extended to a total of 60 minutes.				
9	Cycle 6 cont'd	AL		δ_{r6}	Cycle6: $\delta_{t6}-\delta_{r6}=\delta_{e6}$
10	Adjust to lock-off load if test results satisfy acceptance criteria, otherwise see section 7.4.5.4				
Notes : AL = Alignment Load, DL= Design Load, δ_i=total movement at a load other than maximum for cycle, i=number of identifying a specific load cycle.					

(2) Extended Creep Test

크립시험(Extended Creep Test)은 시간변화에 따른 앵커의 장기 거동을 측정하기 위한 시험으로 시험 절차는 Performance Test와 동일하지만 각 하중 단계별 최종하중에서의 하중유지 시간이 더 길다. 크립시험 결과로부터 구할 수 있는 크립변형은 $\Delta t - \Delta t_1$로 표현되며 Δt는 하중유지 후 t분 후의 앵커 두부에서의 변형, Δt_1은 하중 유지 후 1분 후의 변형이다. 크립시험 결과 $\log t - \log t_1$에 대해 2mm 이상의 변형이 발생하면 설계를 변경해야 한다. 크립시험에서의 하중단계별 하중 유지 시간은 표 3.2.2와 같으며, 일반적인 시험결과는 그림 3.2.4와 같다.

표 3.2.2 Extended Creep Test 하중유시 시간

하중단계	최종하중	하중 유지 시간(min)	변위 기록 시간(min)
1	0.25DL	10	1,2,3,4,5,6,10
2	0.50DL	30	1,2,3,4,5,6,10,15,20,25,30
3	0.75DL	30	1,2,3,4,5,6,10,15,20,25,30
4	1.00DL	45	1,2,3,4,5,6,10,15,20,25,30,45
5	1.20DL	60	1,2,3,4,5,6,10,15,20,25,30,45,60
6	1.33DL	300	1,2,3,4,5,6,10,15,20,25,30,45,60,300

크립시험 결과로 그림 3.2.4와 같은 크립변형 곡선을 작성하여 크립계수(Creep rate, s)를 구할 수 있다. 크립계수는 각 하중단계별 크립변형 곡선의 기울기이며, 크립변형을 logt로 나누어 구할 수 있다(Briaud et al., 1998). 크립계수는 하중단계가 증가할수록 커지며, 앵커의 정착장이 길어질수록 같은 하중에서의 크립계수는 크게 나온다.

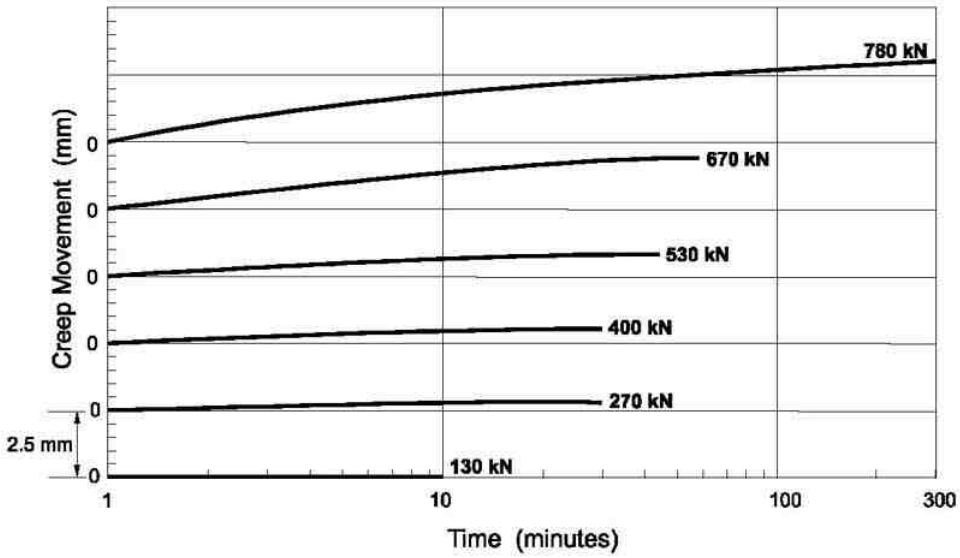


그림 3.2.4. 일반적인 크립시험의 결과

다. 그라운드 앵커의 극한 인발력

그라운드 앵커의 극한인발력은 Performance Test의 결과로부터 구할 수 있다. 하중재하시 앵커 두부에서 발생하는 총 변형(Total displacement, δ_t)은 앵커의 자유장에서 발생한 강선의 탄성변형(Elastic movement, δ_e)과 각 하중단계의 최종하중 재하 후 초기하중으로 돌아왔을 때 복구가 되지 않는 지반과 앵커 정착장 사이에 발생한 변형인 잔류변형(Residual movement, δ_r)으로 이루어져 있다. 앵커의 극한하중은 다음과 같이 산정할 수 있다(Briaud et al., 1998).

① $\delta_r = \dfrac{D}{10}$ 일 때의 하중

② $\delta_t = \dfrac{D}{10} + \dfrac{PL_s}{AE}$ 일 때의 하중

라. 앵커의 하중 전이 분포

(1) 인장형 앵커의 하중전이 분포

그라운드 앵커의 하중분포는 지반, 그라우트, 강선의 하중분포로 구성되어 있으며, 인장형앵커와 압축형앵커에서 다른 분포를 보인다. 인장형 앵커의 경우 지반, 강선, 그라우트의 하중분포는 그림 3.2.5와 같다.

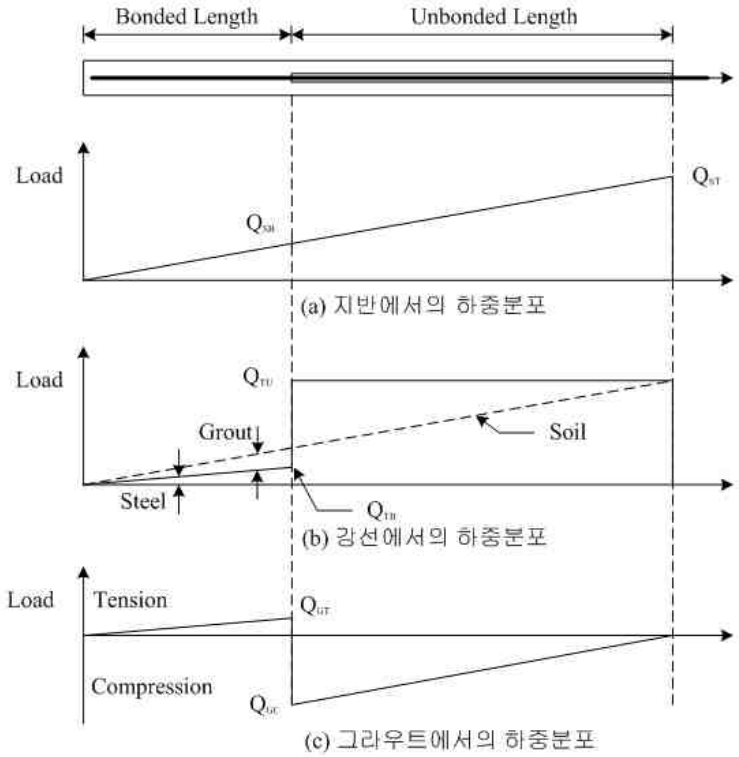


그림 3.2.5. 인장형 앵커에서의 하중분포

그림 3.2.5(a)는 지반에서의 하중분포로서 앵커선단에서 0이며 지표면에서 앵커의 극한하중과 같은 값이 된다. 그림 3.2.5(b)는 강선에서의 하중분포이며 정착장과 자유장의 경계면에서 강선에 가해지는 인장력이 급격히 증가하여 극한하중과 같은 값이 된다. 그 이유는 그림 3.2.5(c)와 같이 그라우트가 받는 하중이 인장력에서 압축력으로 바뀌기 때문이다. 그라우트의 하중은 강선의 하중이 그라우트로 전이한 값이다. 그러므로 지반이 받는 하중은 강선의 하중과 그라우트의 하중의 합으로 구할 수 있다.

극한하중에서 지반, 강선, 그라우트에 작용하는 하중은 다음의 과정을 통해 계산할 수 있다. 지반에 의해 저항되는 극한하중 Q_{ST}는 식 (2-1)과 같다.

$$Q_{ST} = f_u PL \qquad (2\text{-}1)$$

여기서, f_u = 극한 마찰응력, P = 윤변, L = 앵커길이

그라우트에 작용하는 최대 압축력 Q_{GC}는 정착장과 자유장 사이에서의 지반에 작용하는 저항력과 극한하중의 차로 계산할 수 있다.

$$Q_{SB} = f_u P L_b \tag{2-2}$$

$$Q_{GC} = Q_{ST} - Q_{SB} \tag{2-3}$$

여기서, L_b = 앵커의 정착장

지반의 전단저항 Q_{SB}는 강선의 하중 Q_{TB}와 그라우트에 작용하는 최대 인장력 Q_{GT}의 합이다.

$$Q_{SB} = Q_{GT} + Q_{TB} \tag{2-4}$$

강선과 그라우트의 단면적 A와 탄성계수 E, 변형률 ϵ을 측정하여 식 2-5~6을 이용하여 Q_{GT}와 Q_{TB}를 구할 수 있다.

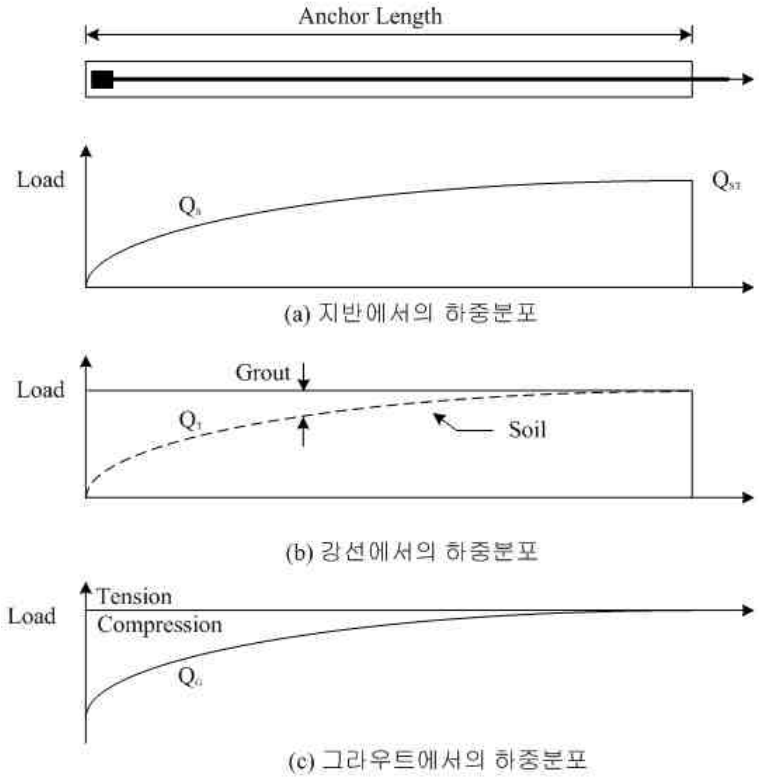
$$Q_{GT} = A_G E_G \epsilon_G \tag{2-5}$$

$$Q_{TB} = A_T E_T \epsilon_T \tag{2-6}$$

(2) 압축형 앵커의 하중전이 분포

압축형 앵커에서는 하중의 작용점이 앵커 선단이므로 그라우트 전체에 걸쳐서 압축력이 작용하게 된다. 그라우트에 작용하는 압축력은 지반으로 전이되어 그림 3.2.6(a)와 같은 형태로 지반에서의 하중이 분포하게 된다. 압축형 앵커에서는 강선 전체가 그라우트와 부착이 되어 있지 않기 때문에 균일한 인장력이 작용하게 된다. 그림 3.2.6 (a)는 지반에서의 하중이며 인장형과 마찬가지로 강선의 하중 Q_T와 그라우트의 하중 Q_C의 합으로 구할 수 있다.

$$Q_S = Q_T + Q_G \tag{2-7}$$



(a) 지반에서의 하중분포

(b) 강선에서의 하중분포

(c) 그라우트에서의 하중분포

그림 3.2.6. 압축형 앵커에서의 하중분포

마. 펄스 방전 확공형 앵커

(1) 기존 확공형 앵커의 한계

확공앵커는 연약한 지반에서 극한인발력을 증대시키거나 앵커의 수를 줄여 시공비용을 절감하는 용도로 개발되었다. 확공 수단에는 고압으로 그라우트를 주입하는 가압 그라우트법, 정착장 부분에 날을 달아서 굴착을 하여 천공홀을 확대하는 블레이드 앵커 공법이 있다. 그러나 가압 그라우트법의 경우는 연약지반에서 지반 내 침투를 할 수 있는 주입재의 강도가 크지 않으며, 고압의 그라우트 기술과 고압을 견딜 수 있는 팩커(Packer)가 필요하다. 천공홀을 굴착하는 경우 천공홀이 유지될 수 있는 단단한 점토지반에서만 적용이 가능하므로 연약한 점토지반이나 사질토 지반에서는 천공홀 붕괴에 따른 시공의 한계가 있다.

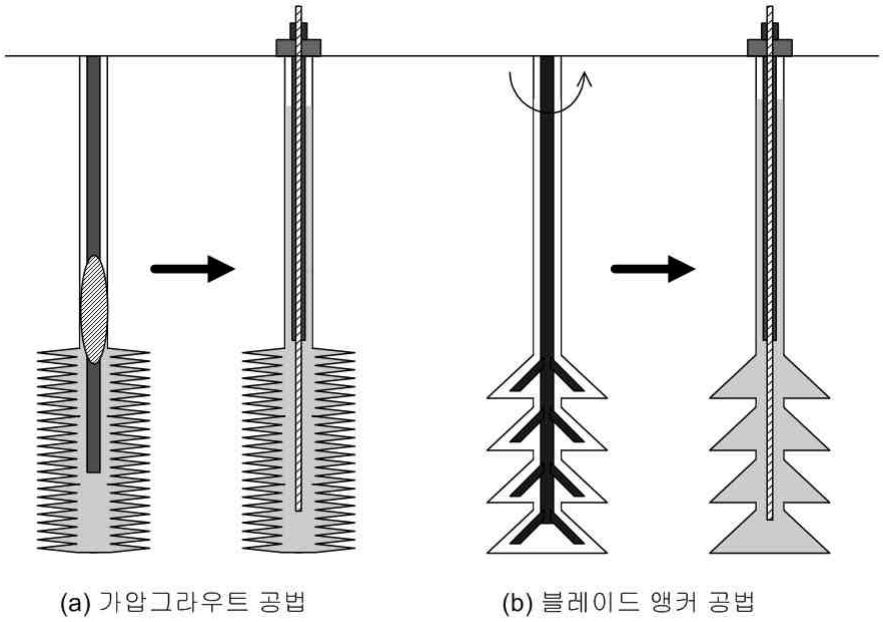


그림 3.2.7. 기존의 확공앵커 공법

(2) 펄스 방전 확공 앵커의 시공

그림 3.2.8은 펄스방전 앵커의 시공과정이다. 일반 앵커가 굴착, 앵커체 삽입, 그라우팅 케이싱 인발의 단계로 이루어진데 비해 펄스방전 앵커는 기존 앵커의 시공과정과는 달리 방전선단의 삽입 및 펄스방전 단계가 추가된다.

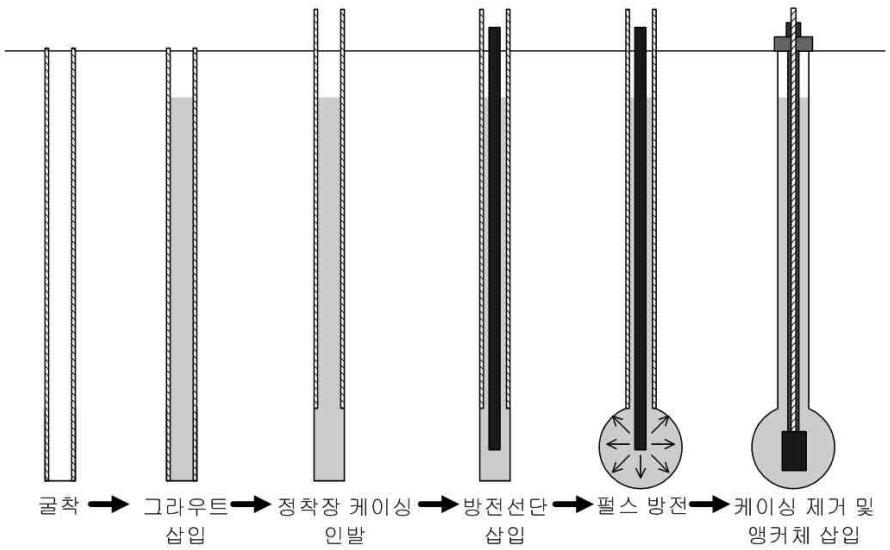


그림 3.2.8. 펄스방전 확공형 앵커의 시공 과정

2. 시험방법

가. 모형시험

(1) 차원 해석과 상사 법칙

차원해석이란 어떠한 현상은 그 현상에 관한 변수들의 무차원 방정식을 통해 묘사될 수 있다는 전제로부터 현상에 대한 정보를 추론하는 과정이다. 차원해석을 수행할 경우 해결하고자 하는 문제와 관련된 많은 변수들을 차원해석을 통하여 감소시킬 수 있으며 이를 통해 무차원 형태를 도입하지 않았을 경우에 수행해야하는 엄청난 양의 실험을 줄일 수 있으며 결론적으로 실험을 수행할 때 매우 유용함을 제공해 주는 중요한 수학적 원리이다.

(가) Buckingham's π-Theorem

Buckingham (1915)은 주어진 과정에 포함된 변수들의 상관관계를 규명하는 데 필요한 독립된 변수들의 무차원 집단(무차원 매개변수)의 수는 n-m과 같다는 것을 보였는데 이를 Buckingham's π-Theorem이라고 한다. 여기서 n은 변수의 수이고 m은 변수에 포함되어 있는 기본 차원의 수이다. 식 (2-8)과 같이 n개의 변수를 갖는 함수 f(x)는 Buckingham's π-Theorem을 통해 n-m개의 무차원 매개변수(dimensionless parameter)인 Π-parameter의 함수 g(π)로 나타낼 수 있다.

$$f\left(x_{1,}x_{2,}x_{3,}\ldots\ldots,x_{n}\right)=0 \tag{2-8}$$

$$g\left(\pi_{1,}\pi_{2,}\pi_{3,}\ldots\ldots,\pi_{n-m}\right)=0 \tag{2-9}$$

모형시험(model test)은 원형(prototype)을 축소시킨 모형(model)의 거동을 관찰함으로써 시험시공 시 소요되는 많은 시간과 비용을 절감할 수 있는 효과적인 연구방법이다. 이때 모형은 원형과 동일한 형상으로 축소되는데 이를 기하학적 상사(geometrically similar)라고 한다.

모형시험(model test)의 결과는 대상문제에서의 독립된 변수들에 의해 영향을 받으며 차원해석을 통해 얻은 독립변수 상호 간의 관계는 다음 식 (2-10)과 같이 표현될 수 있다.

$$\pi=f\left(\pi_{1,}\pi_{2,}\pi_{3,}\ldots\ldots,\pi_{p}\right) \tag{2-10}$$

여기서 $\pi_{1,}\pi_{2,}\pi_{3,}\ldots\ldots,\pi_{p}$ 는 무차원 매개변수들의 집합이다. $\pi_{1,}\pi_{2,}\pi_{3,}\ldots\ldots,\pi_{p}$ 값과 이에 대응하는 π값은 모형시험을 통해 얻을 수 있으며 각각의 π-parameter들은 모형과 원형에서 동일한 값을 가져야 한다. 원형과 모형이 이러한 조건을 만족하는 경우 완전상사(completely similar)라고 한다(Langhaar, 1951). 따라서 원형과 모형이 완전 상사 조건을 만족하기 위해서는 차원해석을 선행하여 원형과 모형이 동일한 π-parameter 값을 갖도록 설계를 실시해야 한다.

차원해석을 통해 무차원 매개변수를 구하는 방법에는 지수법과 행렬법 그리고 지배방정식으로부터 얻는 방법이 있다. 앵커 거동에 대하여 보-기둥 이론에 의한 모델링은 앵커를 강성을 가진 일차원 요소로 분할하고 지반을 스프링으로 모사하면 지배방정식은 식 (2-11)과 같이 세울 수 있다(Matlock et al., 1981).

$$\frac{d^2\omega}{dx^2}+\frac{pk}{AE_a}\omega=0 \qquad (2\text{-}11)$$

여기서 x(m)는 앵커의 길이방향 좌표이며 ω(m)는 변위, p(πD)는 앵커 둘레길이, k(t/m3)는 지반반력계수, A(m)는 앵커 단면적, Ea (t/m2)는 앵커 탄성계수, D(m)는 앵커의 직경이다.

식 2-11의 지배방정식으로부터 무차원 매개변수를 구하는 과정은 다음과 같다.
첫째 먼저 두개의 무차원 계수 π1, π2 를 식 (2-12)와 같이 선정한다.

$$\pi_1=\frac{\omega}{D},\ \pi_2=\frac{x}{L}\quad(\therefore\omega=\pi_1 D,\ x=\pi_2 L) \qquad (2\text{-}12)$$

여기서 x(m)는 앵커의 길이방향 좌표이며 ω(m)는 변위, D(m)는 앵커의 직경, L(m)은 앵커 정착장 중심 심도이다.

식 (2-12)에서 x, y 를 π1, π2 로 나타낸 뒤 지배방정식 식 (2-11)에 대입하여 식 (2-13)과 같이 π항으로 정리한다.

$$\frac{d^2(\pi_1 D)}{d(\pi_2 L)^2}+\frac{pk}{AE}(\pi_1 D)=0 \text{ 또는 } \frac{d^2(\pi_1 D)}{d(\pi_2 L)^2}+\frac{(\pi D)k}{\left(\frac{\pi}{4}D^2\right)E}(\pi_1 D)=0 \qquad (2\text{-}13)$$

식 (2-6)을 정리하면 식 (2-14)과 같다.

$$\frac{d^2\pi_1}{d\pi_2^2}+\frac{4kL^2}{DE}\pi_1=0 \tag{2-14}$$

따라서 식 (2-15)과 같은 무차원 계수 π3 를 유도할 수 있다.

$$\pi_3=\frac{kL^2}{DE} \tag{2-15}$$

마지막으로 경계조건을 적용하여 π_4를 얻는다(2-16).

$$x=0,\ P=EA\cdot\frac{d\omega}{dx} \tag{2-16}$$

여기서, ω(m)는 앵커의 변위, x(m)는 앵커의 길이 방향 위치, P(ton)는 앵커의 인발력(ton)이다.

식 (2-12)의 x, y 항을 식 (2-16)의 무차원 계수로 나타내면 식 2-17~19의 전개과정을 통해 식 (2-19)와 같은 새로운 무차원 계수를 유도할 수 있다.

$$P=EA\frac{d\omega}{dx}=EA\frac{d(\pi_1 D)}{d(\pi_2 L)} \tag{2-17}$$

$$P=E\times\frac{\pi}{4}D^2\times\frac{D\times d\pi_1}{L\times d\pi_2} \tag{2-18}$$

$$\frac{d\pi_1}{d\pi_2}=\frac{4PL}{\pi ED^3}=\pi_4 \tag{2-19}$$

따라서 앵커의 지배방정식으로부터 유도되는 무차원 계수는 최종적으로 식 (2-20)과 같다.

$$\pi_1=\frac{\omega}{D},\ \pi_2=\frac{x}{L},\ \pi_3=\frac{kL^2}{DE},\ \pi_4=\frac{PL}{ED^3} \tag{2-20}$$

(2) 모형앵커의 설계

Buckingham's π-Theorem에 따르면 원형과 모형 사이에 완전한 상사(completely similar)가 성립하기 위해서는 원형과 모형의 무차원 계수 값이 동일해야만 한다. 따라서 차원해석 결과를 이용하여 모형 각 부재의 단면을 계산하여야만 완전한 상사를 재현할 수 있다. 앵커의 지배방정식으로부터 유도된 무차원 계수는 식 (2-20)

과 같다.

(가) 모형앵커 직경 축소비 산정

모형 앵커의 축강성 축소비를 계산하기 위해 차원해석 결과에 의한 π3 항을 사용한다. 원형(prototype)과 모형(model)의 무차원 계수는 동일하므로 식 (2-21)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\pi_3 = \left(\frac{KL^2}{DE}\right)_p = \left(\frac{KL^2}{DE}\right)_m \tag{2-21}$$

여기서 k(t/m^3)는 지반반력계수, D(m)는 앵커 직경, L(m)은 앵커 정착장 중심 심도, E(t/m^2)는 앵커 탄성계수이다. π_3항으로부터 직경 축소율은 다음과 같다.

$$\therefore \frac{D_m}{D_p} = \frac{K_m}{K_p} \times \frac{E_p}{E_m} \times \left(\frac{L_m}{L_p}\right)^2 \tag{2-22}$$

실제 현장 지반의 내부마찰각을 30°, 점착력 9.8kN/m^2이라고 가정하고, 모형시험에 사용되는 표준사의 상대밀도를 50%(약 1.0m 높이에서 강사)로 할 경우 모형시험에서의 사질토 지반 내부마찰각은 32°이며 점착력은 0kN/m^2이다(Schmertmann, 1978). 지반발력계수는 Pfister et al(1982)이 제시한 차트로부터 현장 지반 및 표준사에서 모두 29430kN/m^3 이므로 모형의 지반반력계수 축소비는 K_m/K_p = 1 이며, 현장에서 수직으로 시공된 앵커의 천공 길이가 평균 8.0m, 정착장 길이 4.0m, 천공경은 150mm이므로 L_p 는 6.0m이고 모형앵커의 정착장 중심 심도를 1.0m 할 경우 심도에 대한 기하학적 축소비 L_m/L_p = 16 이다. 또 모형앵커로 아크릴을 사용할 경우 탄성계수 축소비 E_m/E_p = 2.1 x 107 kN/m2 / 3.1 x 106 kN/m2 =21.0/3.1 이므로 식 (2-22)로부터 계산되는 모형의 직경에 대한 축소비는 식 (2-23)과 같다.

$$\frac{D_m}{D_p} = \frac{K_m}{K_p} \times \frac{E_p}{E_m} \times \left(\frac{L_m}{L_p}\right)^2 \times 1 \times \frac{21.0}{3.1} \times \left(\frac{1}{6}\right)^2 = 0.1882 \tag{2-23}$$

(나) 모형앵커 직경 결정

모형의 직경의 축소비를 나타내는 식 (2-23)으로부터 아크릴 모형 부재의 직경은 식 (2-24)와 같이 유도 할 수 있다.

$$D_m = \left(\frac{D_m}{D_p}\right) \times D_p = 0.1882 \times 150(mm) = 28.23mm \fallingdotseq 30mm \qquad (2\text{-}24)$$

(다) 모형 앵커 극한하중 산정

모형시험에 사용되는 모래는 주문진 표준사로 지반-그라우트 사이 극한하중을 산정하기 위해 상대밀도 50%일 때의 지반을 가정하였으며, 앵커정착장 심도는 0.8m, 직경은 30mm, 앵커 직경의 2배(60mm)인 직경을 가지는 구근이 앵커 선단에 연결되어 있을 경우에 대해 극한하중을 산정하였다. 구근을 가지는 앵커의 지반-그라우트 사이에서 발생되는 극한하중은 정착장에서 지반-그라우트 사이 마찰저항력과 구근에서 저항하는 선단지지력의 합력으로 식 2-25과 같이 산정할 수 있다(Littlejohn, 1970a).

$$P_u = A\bar{\sigma}_{ov1}{}'\pi D L_a \tan\phi_e + B\bar{\sigma}_{ov2}{}'\pi/4(D_e^2 - D^2) \qquad (2\text{-}25)$$

$$P_u = 1 \times 0.8(m) \times 18.64kN/m^3 \times \pi \times 0.03(m) \times 0.3(m) \times \tan 32°$$
$$+ 25/1.4 \times 0.95(m) \times 18.64kN/m^3 \times \pi/4 \times (0.06^2 - 0.03^2) \ = 0.883kN$$

여기서, σ'_{ov1} = 앵커 정착장 중앙에서의 유효응력

σ'_{ov2} = 앵커 선단에서의 유효응력

A = 지반-그라우트 사이 마찰계수(1～2, Littlejohn, 1970a)

B = 지지력계수 Nq 와 비슷하지만 값이 더 작다. B = Nq/(1.3~1.4)
h/D≥25 (h는 앵커의 깊이)

(라) 모형 앵커 긴장재 단면 결정

모형시험에서 시험앵커체에 가해지는 하중은 앞에서 산정한 것과 같이 약 0.09kN이다. 모형시험의 많은 불확실성을 고려하여 모형앵커 극한하중에 안전율 2를 적용하고 항복강도가 $30000kPa$인 철(steel)을 이용하여 인장재 단면적을 산정하면 다음과 같다.

$$P_{us} = f_{us} \times A_s = f_{us} \times \pi\frac{D_s^2}{4} = FS \times P_u \qquad (2\text{-}26)$$

$$\therefore D_s = \sqrt{\frac{4 \times FS \times P_u}{\pi \times f_u}} = \sqrt{\frac{4 \times 2 \times 0.883kN}{\pi \times 3{,}0000kPa}} = 0.276cm$$

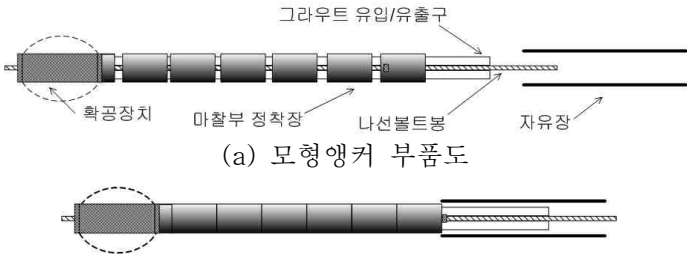
(3) 모형앵커 제작

실제 앵커는 지반에 삽입되어 있는 그라우트와 앵커 두부에 가해지는 하중을 그라우트로 전달시키기 위한 인장재로 구성되어진다. 앵커 그라우트 모형은 외경 30mm 아크릴로 제작되었으며 앵커 정착장 길이와 구근의 위치에 따라 여러 개의 아크릴을 조합할 수 있도록 길이 25mm 단위로 제작하였다. 또 지반과 아크릴 사이의 마찰력을 증대시키기 위해 아크릴 주면에 1.6mm의 피치를 만들었다(Hsu, 1998). 앵커 정착장에서만 발휘되는 하중을 측정하기 위해 앵커 자유장은 중공형 아크릴봉을 이용하여 강사된 모래와 접촉하지 않도록 하였다. 아크릴을 그라우트 모형으로 선정한 이유는 다음과 같다.

- 가공 및 모형 제작이 용이하다.
- 사용 후 재사용이 가능하다.
- 실험에 요구되는 강도를 갖는다.

모형 앵커 두부에 가해지는 하중을 모형 아크릴에 전달시키기 위한 긴장재는 아크릴의 조합을 용이하게 하고 임의의 지점에서 하중재하가 용이한 전산볼트를 사용하였다. 따라서 앵커 정착장은 전산볼트에 형성되어 있는 나선을 이용하여 그림 3.9과 같이 너트로 고정하였다.

확공을 모사하기 위하여 지반 조성 후 정착장 하단에 그라우트를 주입하여 확공하였으며, 그라우트 누수방지를 위해 멤브레인을 이용하여 감싸고, 광목천을 이용하여 일정한 확공비가 나오도록 조정하였다.



(a) 모형앵커 부품도

(b) 모형앵커 조립도

그림 3.2.9. 모형앵커 부품도 및 조립도

(4) 시험절차

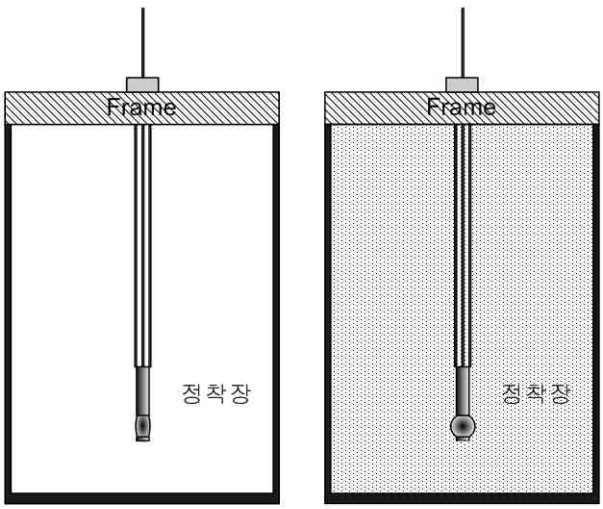
모형시험은 직경 1m, 높이 1m의 원형 토조에서 수행되었으며, 토조 위에 반력지지대를 설치하고 모형앵커 최대 심도가 950mm가 되도록 지지대에 고정시켰다. 모형앵커가 설치된 후 강사 높이를 1.0m를 유지하면서 표준사를 강사하였다. 강사가 완료되면 지지대에 고정되었던 앵커를 분리하고 로드셀(Load Cell)과 변위계

(LVDT)를 설치한 후 시험절차에 따라 시험을 수행하였다. 그림 3.2.10은 모형토조 및 확공 전후의 모형앵커이며 그림 3.2.11~15은 모형시험 순서를 개요도 및 사진으로 나타낸 것이다.



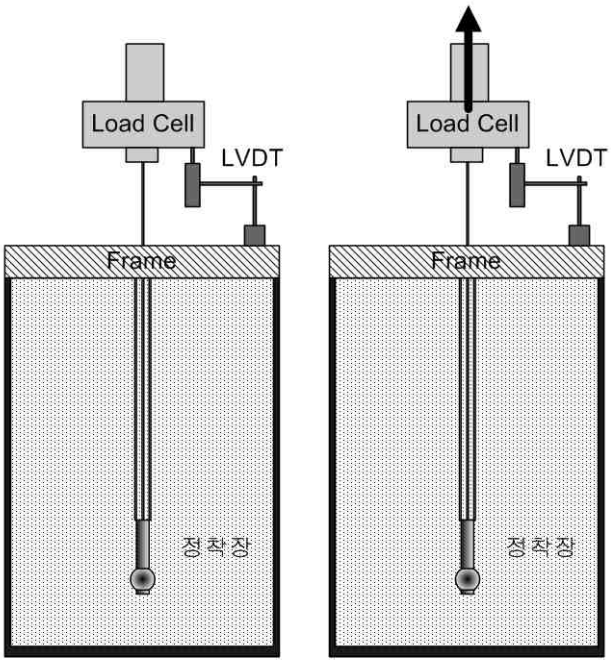
a) 모형 토조 b) 모형 앵커 (확공 전) c) 모형앵커 (확공 후)

그림 3.2.10. 토조 및 모형앵커



(a) 지지대 및 앵커거치 (b) 강사 및 정착장 확공

그림 3.2.11. 모형시험 순서



(c)로드셀, LVDT장착 (d) 인발시험 수행

그림 3.2.11. 모형시험 순서



그림 3.2.12. 자유장 및 앵커 설치

그림 3.2.12와 같이 모형앵커를 반력 지지대에 고정시켜 놓고 균일한 상대밀도로 지반을 조성하기 위해 수동으로 강사 높이를 일정하게 유지시키며 강사하였다(그림 3.2.13). 프레임 위에 하중재하장치 설치 후 LVDT를 고정하고 로드셀과 LVDT를

통해 하중 및 변위를 계측하였다(그림 3.2.14). 하중재하 방식은 변위제어로 유압 실린더를 통해 $1mm/\min$의 속도로 재하 하였다. 하중 재하시 앵커의 고정은 너트와 와셔를 이용하였다(그림 3.2.15)



그림 3.13 표준사 강사

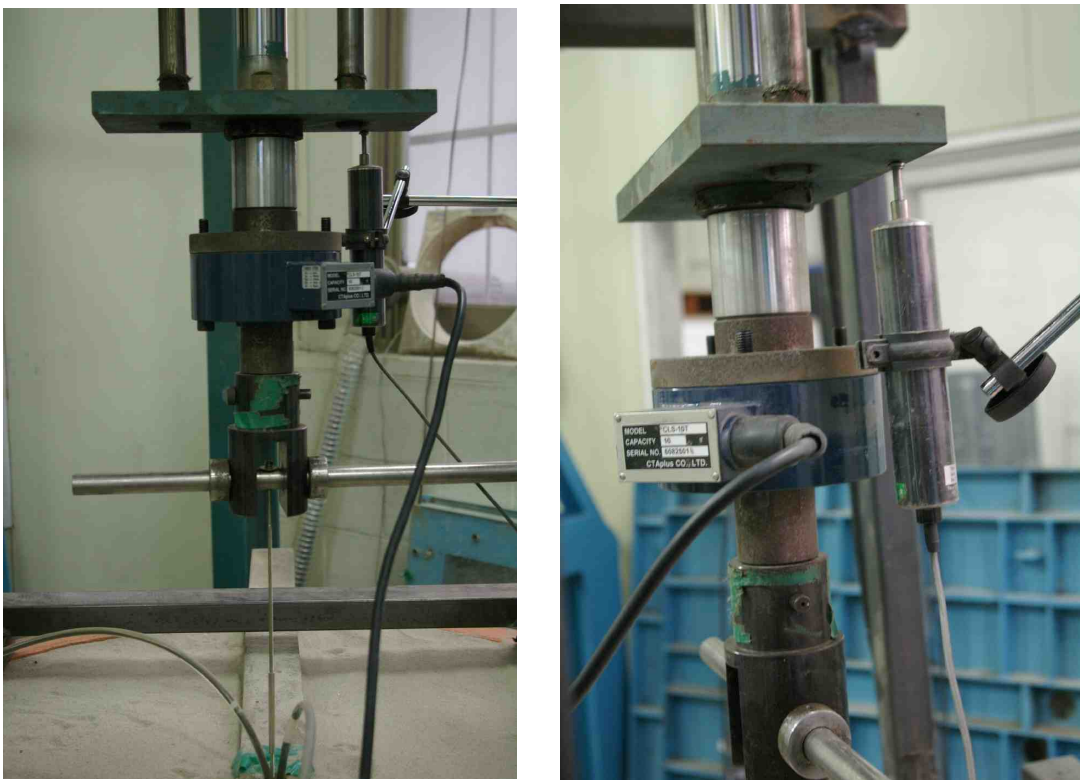


그림 3.2.14. 로드셀 및 LVDT 세팅 상태



그림 3.2.15. 앵커 고정 및 시험 전경

모형토조의 강사장치는 크레인을 이용하여 높이를 조정하여 강사를 할 수 있다. 모형앵커는 강사 전에 반력 지지대에 고정시켜 강사 시 움직이지 않도록 하였다. 확공형 앵커의 경우에는 앵커 선단에 직선 샤프트형 앵커 직경의 두 배인 60mm 직경으로 확공이 가능한 그라우트 주입식 선단 확공장치를 장착하였으며 정착장 확공을 위한 그라우트 주입관은 앵커 자유장으로 통과시켰다. 다음 표 3.2.3은 모형시험의 조건 별 Case를 나타낸 표이다.

표 3.2.3. 모형시험 조건 별 Case

Case No.	앵커 형태	상대밀도
1	직선 샤프트	40%
2	직선샤프트	60%
3	직선샤프트	80%
4	구근 1개	40%
5	구근 1개	60%
6	구근 1개	80%
7	구근 2개	60%
8	확공비1.5배	60%

(5) 앵커 모형시험 결과

(가) 상대밀도에 따른 극한인발력

확공형 앵커의 지반 조밀도에 따른 극한인발력과 확공에 의한 극한인발력 증대 효과를 계측하기 위하여 표준사의 상대밀도를 40%, 60%, 80%로 변화시켜 느슨한 지반, 중간조밀도 지반, 조밀한 지반을 모사하여 인발시험을 수행하였다. 그림 4.1은 상대밀도에 따른 확공형 앵커의 하중-변위곡선이다. 직선형 앵커는 정착장 주면에서의 마찰저항만 작용하므로 Peak점에서 마찰 파괴가 일어난 후 하중이 급격히 떨어지는 경향을 보였다. 반면에 확공형 앵커의 경우는 인발력이 Peak점을 지나서도 계속 증가하는데, 이는 구근이 형성됨으로서 마찰면적이 늘어나는 동시에 구근 상부에서 지지력이 발생하여 마찰파괴가 일어난 이후에도 지지력은 계속 발현되기 때문이다.

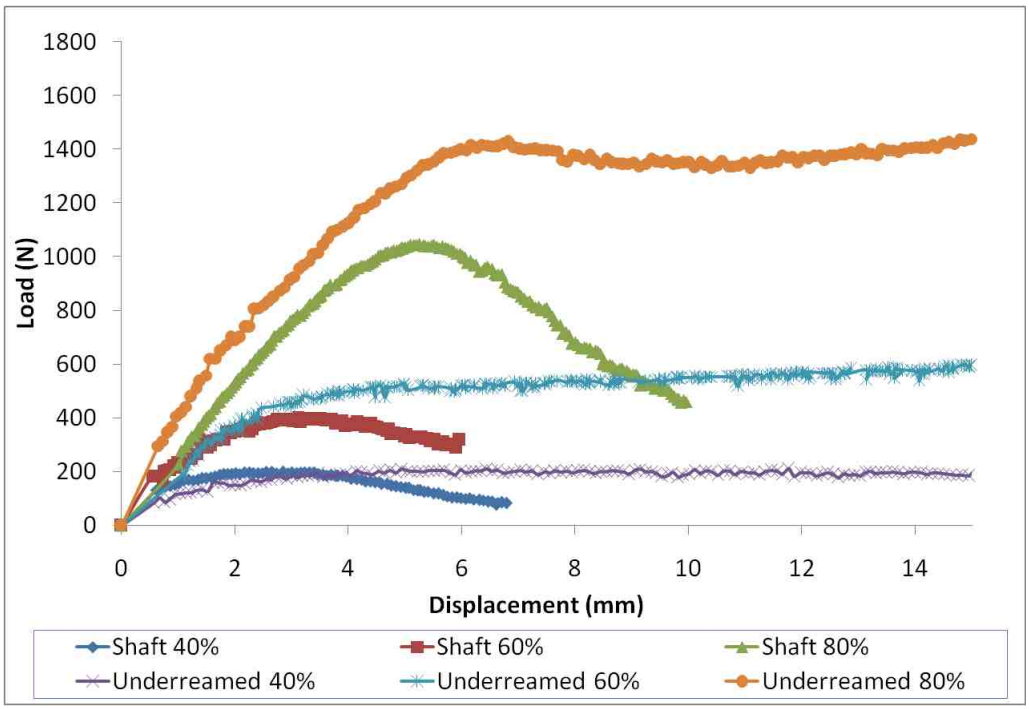


그림 3.2.16. 상대밀도에 따른 직선형 및 확공형 앵커의 하중-변위곡선

그림 3.2.17은 지반의 상대밀도에 따른 극한인발력의 변화를 나타낸 그래프이다. 지반의 상대밀도를 선형증가 시키면 앵커의 극한인발력은 더 큰 폭으로 증가함을 알 수 있다. 또한 상대밀도 40%의 느슨한 지반에서는 직선형 앵커와 확공형 앵커의 극한인발력이 큰 차이를 보이지 않는데 비해 지반이 조밀해질수록 확공에 의한 극한인발력 증가율이 커지는 것을 알 수 있다(표 3.2.4).

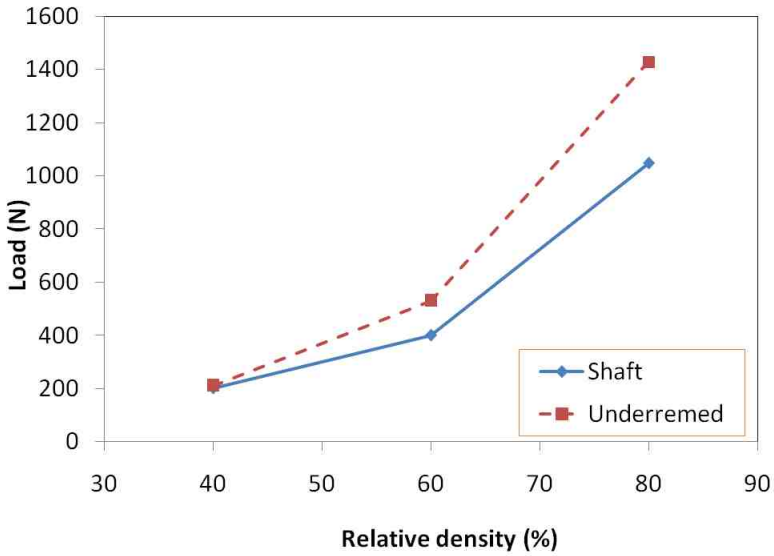


그림 3.2.17. 상대밀도에 따른 극한인발력

표 3.2.4. 지반의 상대밀도에 따른 확공에 의한 극한인발력 증대효과

상대밀도 (%)	극한인발력 (N)		극한인발력 증대효과 (%)
	직선형	확공형	
40	200.91	209.74	4.4
60	400.25	528.76	32.1
80	1046.73	1427.75	36.4

(나) 확공비에 따른 극한인발력

확공형 앵커에서 구근의 확공비와 극한인발력의 관계를 알아보기 위하여 상대밀도 60%의 지반에 구근의 확공비가 1.0, 1.5, 2.0인 앵커의 인발시험을 수행하였다. 그림 3.2.18은 확공비에 따른 하중-변위곡선이며 여기서 D는 확공 된 구근의 직경, d는 확공이 되지 않은 정착장의 직경이다. D/d가 1인 직선형 앵커의 경우 정착장 주면에서의 마찰저항에 의해 인발력이 발휘되므로 Peak점을 지나면 하중이 급격히 떨어진다. 확공에 의해 구근이 형성되면 구근 상부의 지지면적이 늘어나 마찰과 지지력의 복합거동을 보여 Peak점 이후에도 하중이 유지되는 것을 볼 수 있다. 구근의 확공비가 커짐에 따라 확공에 의한 극한인발력 증가량 또한 증가하는 경향을 보였다.

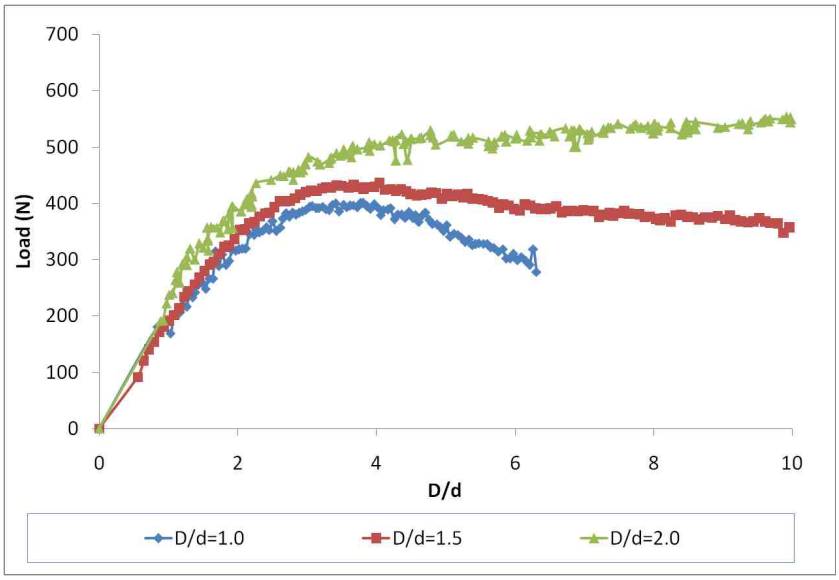


그림 3.2.18. 구근의 확공비에 따른 하중-변위곡선

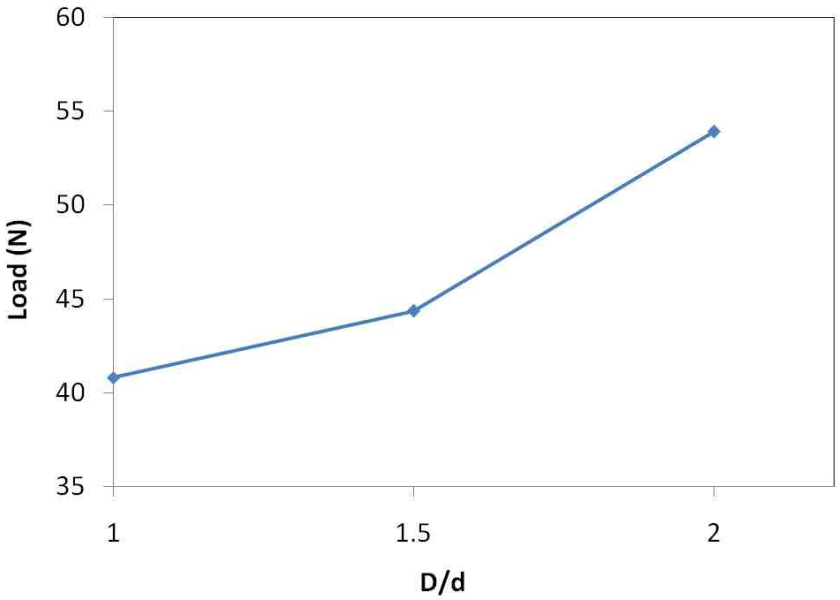


그림 3.2.19. 구근의 확공비에 따른 앵커의 극한인발력

표 3.2.5. 지반의 확공비에 따른 확공에 의한 극한인발력 증대효과

상대밀도 (%)	확공비	극한인발력 (N)	극한인발력 증대효과 (%)
60	1.0	400.248	0
60	1.5	435.1716	8.7
60	2.0	528.759	32.1

(다) 구근 개수에 따른 극한인발력

구근의 개수에 따른 극한인발력의 증대효과를 측정하기 위하여 구근이 없는 앵커와 확공형앵커, 구근을 2개 장착한 앵커의 극한인발력을 비교하였다. 지반의 상대밀도는 60%로 조성하였으며, 구근 개수에 따른 극한인발력의 변화를 명학하게 나타내기 위하여 확공비를 2.0으로 설정하여 시험을 수행하였다. 그림 3.2.20은 구근개수에 따른 하중-변위곡선이며 그림 3.2.21은 구근개수에 따른 극한인발력이다. 극한인발력 증대효과는 구근이 하나인 앵커가 32.1%인데 비해 구근이 2개인 앵커는 87.1%로 구근의 개수가 증가함에 따라 극한인발력은 급격하게 증가하였다(표 3.2.6).

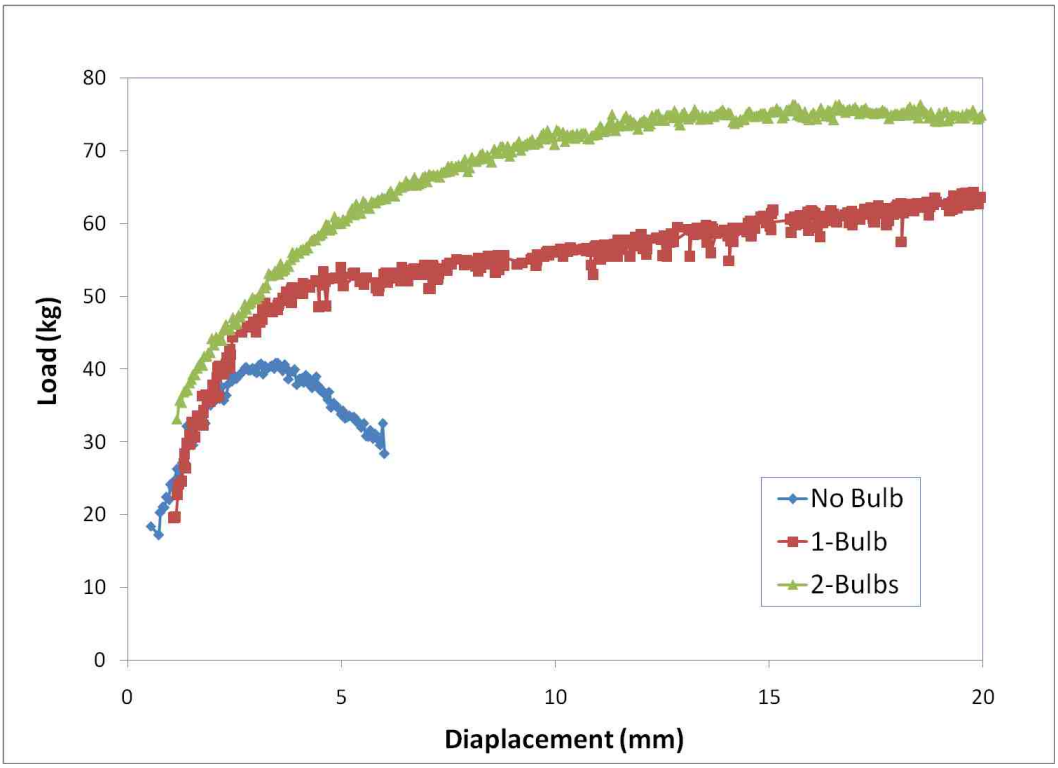


그림 3.2.20. 구근 개수에 따른 하중-변위곡선

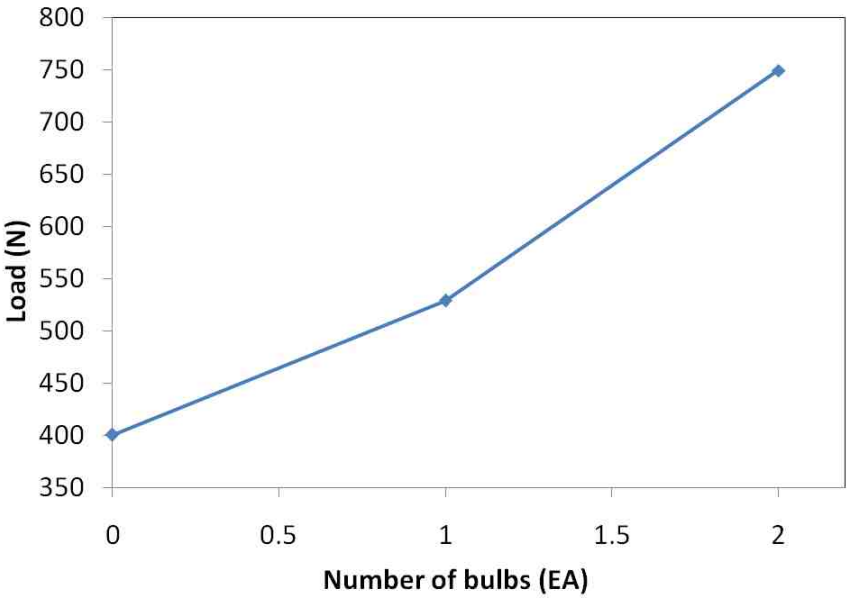


그림 3.2.21. 구근 개수에 따른 극한인발력

표 3.2.6. 지반의 확공비에 따른 확공에 의한 극한인발력 증대효과

상대밀도 (%)	구근 개수	극한인발력 (N)	극한인발력 증대효과 (%)
60	0	400.248	0
60	1	528.759	32.1
60	2	748.895	87.1

나. 실대형 시험

(1) 성균관대 지반시험장

(가) 실대형 시험 개요

본 시험은 펄스방전에 의한 확공형 앵커의 극한인발력과 하중분포를 계측하기 위한 시험으로, 성균관대학교 지반시험장에서 수행되었다. 앵커는 풍화토 지반과 Sandy Clay 지반에 설치되었으며, 펄스방전에 의한 확공효과를 측정하기 위하여 방전횟수를 달리하여 시험하였다. 앵커의 인발거동 특성을 알아보기 위하여 Performance Test와 Creep Test를 수행하였으며, 매설형 스트레인 게이지를 장착하여 하중전이를 계측하였다.

(나) 현장 위치 및 지반 특성

본 시험은 수원시 장안구 천천동에 위치한 성균관대학교 지반시험장에서 수행되었으며 시험장의 위치 및 표준관입시험 위치는 그림 3.2.22와 같다. 시험앵커는 그림 의 BH-2와 BH-3의 사이에 설치되었다. 시험장의 지층은 매립층(지표~4.5m), Sandy clay(4.5~8m), 풍화토층(8~15m), 풍화암(15~23m) 및 연암(23m 이하)으로 구성되어 있다. 지반 시험장의 주상도 및 표준관입시험 결과는 그림 3.2.23과 그림 3.2.24에 각각 나타나 있다.

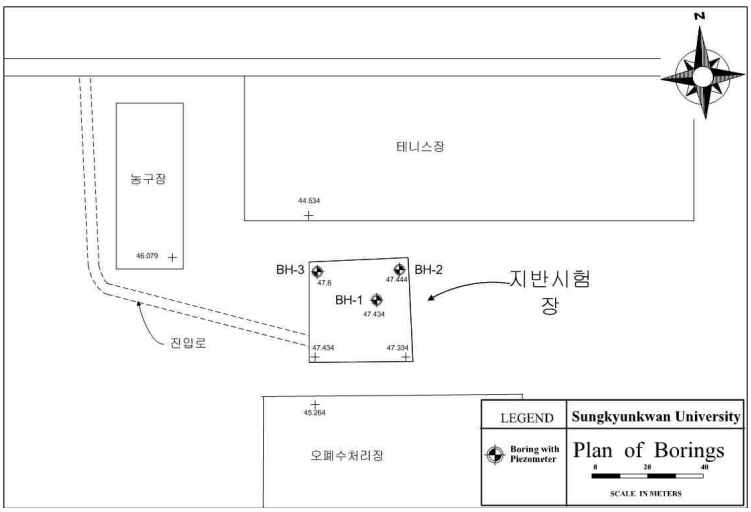


그림 3.2.22. 지반시험장 위치 및 표준관입시험 위치

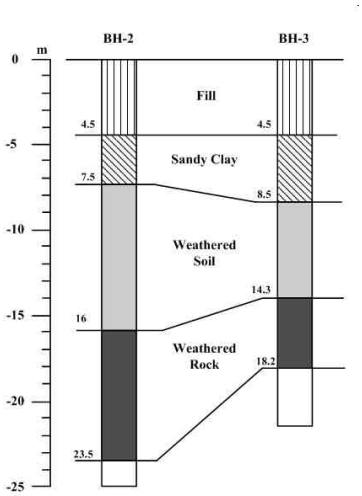


그림 3.2.23.
지반시험장의 지층 구조

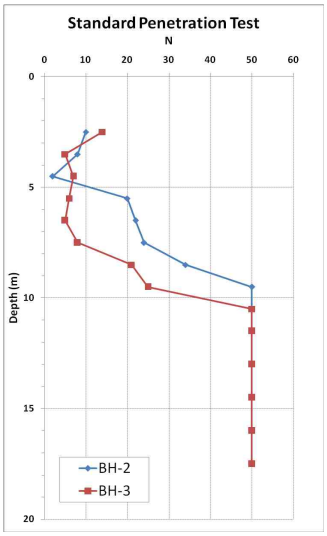


그림 3.2.24.
표준관입시험 결과

(다) 앵커 시공 절차 및 시공 위치

① 시공절차

시험 시공되는 앵커의 시공은 그림 3.2.25와 같은 순서로 수행되었다. 지반천공은 유압장비를 이용 하였으며, 그라우트의 물/시멘트(W/C)비는 현장에서 일반적으로 사용되는 50%로 하였다. 펄스방전을 하지 않는 일반 직선형 앵커의 경우 시공절차에서 정착장케이싱 인발과 펄스방전의 단계를 수행하지 않았다.

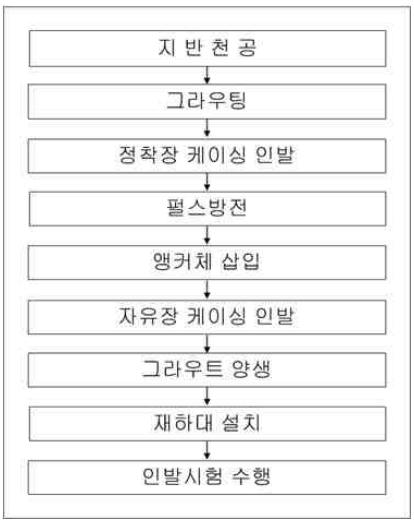


그림 3.2.25. 앵커 현장시험 절차

② 앵커 시공 위치

펄스방전 횟수에 따른 극한인발력의 변화를 계측하기 위하여 확공을 하지 않은 직선형앵커를 4공 시공하고 펄스방전 횟수를 5회, 10회, 20회, 40회로 조정하여 각 4공씩 시공하였다. 또한 구근의 개수에 따른 극한인발력이 변화를 계측하기 위하여 구근을 2개, 3개로 형성한 앵커를 각 2공씩 시공하였다. 방전횟수 및 구근 개수에 따른 앵커의 배치는 그림 3.2.26과 같다.

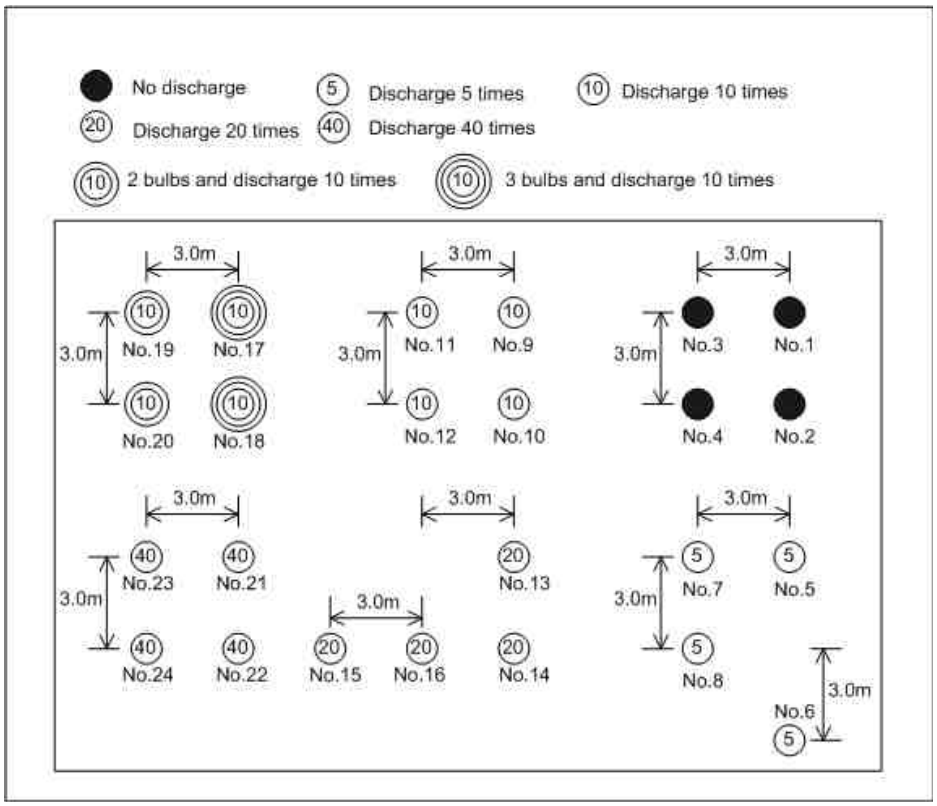


그림 3.2.26. 펄스방전 횟수 및 구근 개수에 따른 앵커 배치

확공형 앵커의 지반 종류에 따른 확공효과를 알아보기 위하여 앵커 설치 시 Sandy Clay층에 길이가 8m인 앵커를 14공, 풍화토층에 길이가 11m인 앵커를 10공 설치하였다. 앵커의 지반에 따른 배치는 그림 3.2.27과 같으며 각 앵커별 시공 조건은 표 3.2.7과 같다.

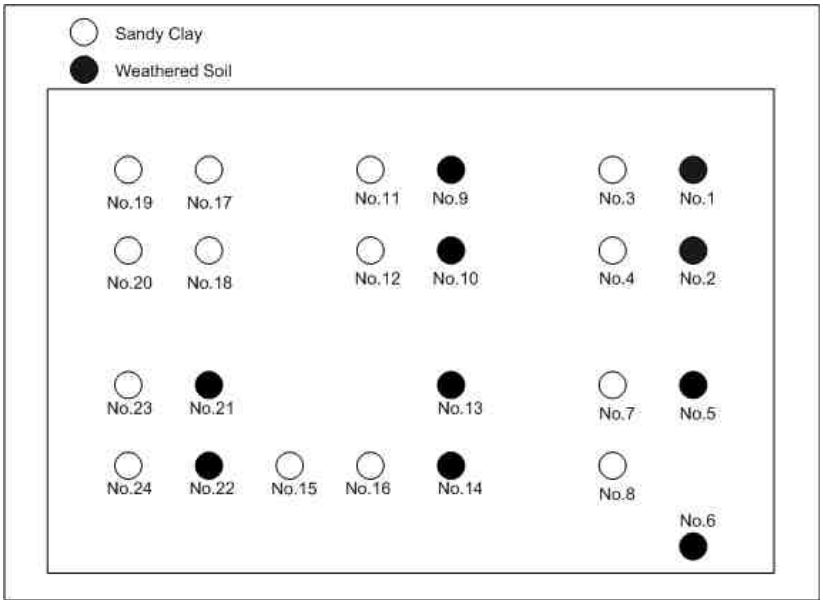


그림 3.2.27. 길이에 따른 앵커 배치

표 3.2.7. 앵커 별 시공 조건

No.	방전횟수	구근개수	천공 깊이(m)	지반종류
1	0	1	11.3	풍화토
2		1	11	풍화토
3		1	8	Sandy Clay
4		1	8	Sandy Clay
5	5	1	11	풍화토
6		1	11.3	풍화토
7		1	8.1	Sandy Clay
8		1	8	Sandy Clay
9	10	1	10.9	풍화토
10		1	11.23	풍화토
11		1	8.2	Sandy Clay
12		1	8.1	Sandy Clay
13	20	1	11.2	풍화토
14		1	11.2	풍화토
15		1	8.15	Sandy Clay
16		1	7.95	Sandy Clay
21	40	1	11.1	풍화토
22		1	11.15	풍화토
23		1	8.2	Sandy Clay
24		1	8.1	Sandy Clay
17	10	3	7.9	Sandy Clay
18			7.95	Sandy Clay
19		2	8.1	Sandy Clay
20			8.05	Sandy Clay

(라) 앵커 시험 및 계측계획

① 극한인발력 시험계획

인발시험은 AASHTO-AGC-ARTBA Task Force 27에서 규정하고 있는 Performance Test의 절차에 따라 20공을 시험하였으며, 4공에 대해 Creep Test를 수행하였다. 하중은 Load Cell로 측정하였으며, 앵커 두부에서의 변위는 레퍼런스빔에 LVDT를 장착하여 측정하였다. 또한 하중 재하 시 재하대 아래 땅이 침하되는 것을 보정하기 위하여 광파측정기로 절대변위를 측정하였다. 앵커시험 개요도는 그림 3.2.28과 같다.

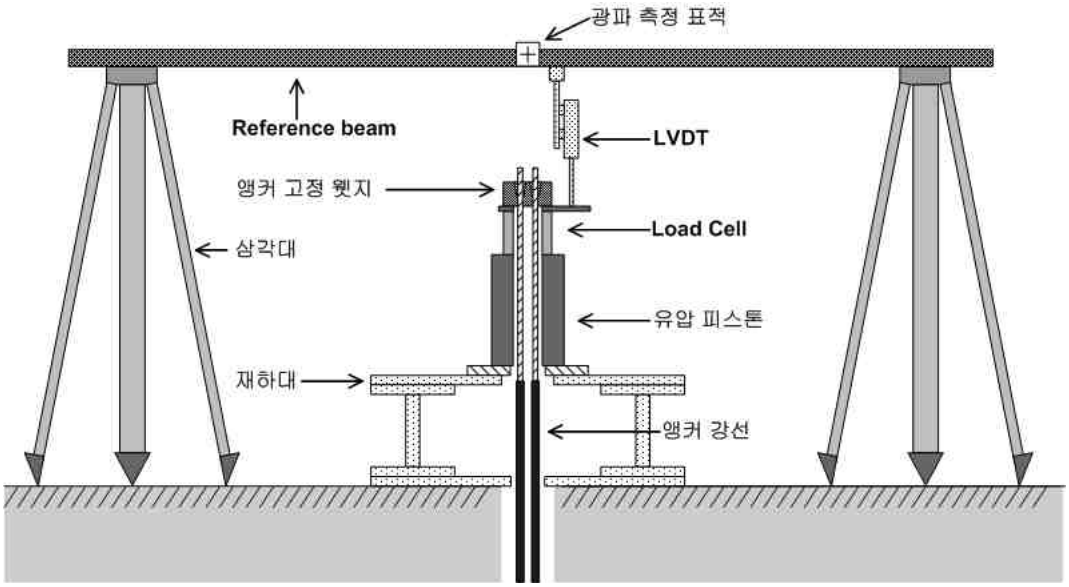


그림 3.2.28. 앵커 시험

② 하중전이 계측계획

하중재하시 그라우트의 하중분포를 계측하기 위하여 매설형 변형률계(Embedment Gage)를 설치하였다. 변형률계가 설치된 앵커는 총 12공이며, 하중단계마다 최종하중에서 기록하였다. 계측기 설치 위치는 그림 3.2.29과 같다.

현장시험에서는 AASHTO 기준에 따른 Performance Test를 20공, Creep Test를 4공 수행하였다. 시험 종류에 따른 배치도 및 계측기 설치앵커는 그림 3.2.30에 표시되어 있다.

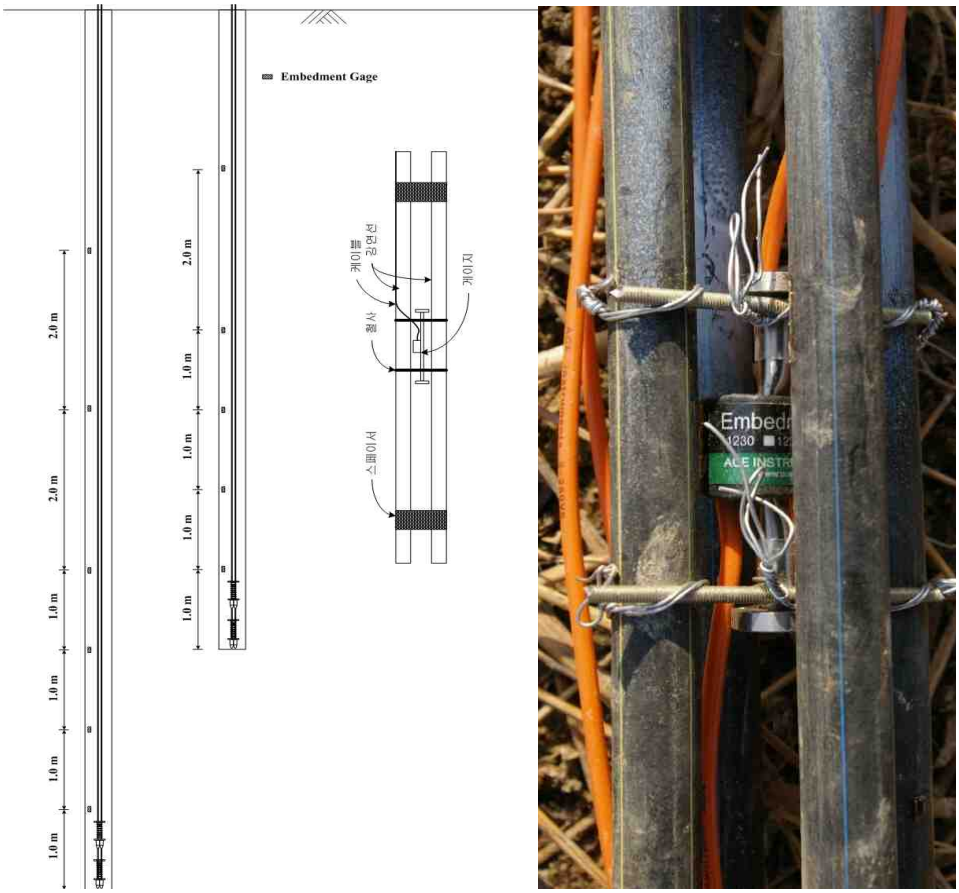


그림 3.2.29. 계측기 설치 위치 및 설치모습

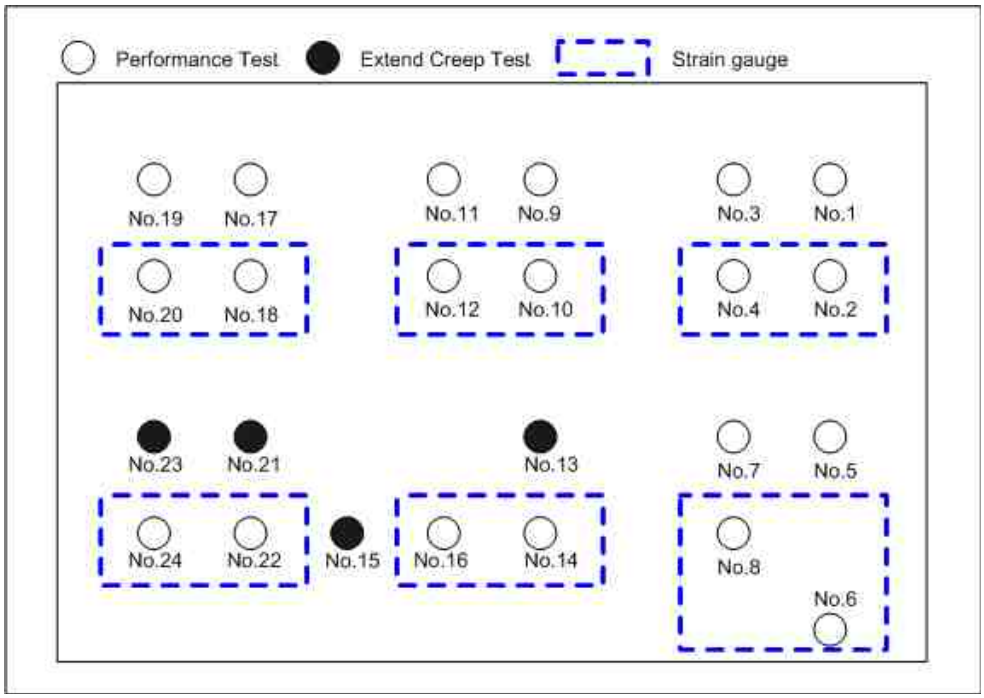


그림 3.2.30. 수행한 시험의 종류에 따른 앵커 배치

(마) 극한 설계력 산정

그라운드 앵커의 거동은 그라우트, 인장재, 지반의 복합거동으로써, 그라우트와 지반과의 마찰력, 강선의 인장강도, 그라우트의 압축강도를 고려하여 가장 작은 값을 극한 설계력으로 사용하였다.

① 그라우트와 지반과의 마찰력

시험에 사용되는 앵커는 정착장 하부까지의 길이가 11m인 것과 8m인 것으로 구분된다. 설계하중은 식 2.27~29를 이용하여 계산하였다.

$$Q_{uf} = \pi D L_a f_{\max} \quad (2\text{-}27)$$

$$f_{\max} = \alpha S_u \ (\text{clay}) \quad (2\text{-}28)$$

$$f_{\max} = K\sigma'_{ov} \ (\text{Sand}) \quad (2\text{-}29)$$

여기서 D : 앵커 직경, L_a : 앵커의 정착장의 길이

α : 점착계수, S_u : 비배수 전단강도

$K(=K_1\tan\phi)$: 마찰 계수. 사질지반의 저압그라우트 앵커의 마찰계수

K_1은 지반의 상대 밀도에 따라 1.4~2.3의 값을 가진다.

(Littlejohn,1980)

σ'_{ov} : 앵커 정착장 중심부까지의 유효 상재 하중

각 지층별 N치와 ϕ, S_u는 표 3.2.8, 3.2.9와 같다.

표 3.2.8. 시험지반의 ϕ값

지층	평균 N치	ϕ (°)		
		Dunham	Peck	결정값
Fill	9	30.39	29.7	30
Weathered Soil	25	37.32	34.50	36
Dunham : $\phi = \sqrt{12N}+20$ Peck : $\phi = 0.3N+27$				

표 3.2.9. 시험지반의 S_u값

지층	평균 N치	$S_u(kN/m^2)$
Sandy Clay	20	200

본 시험에 시공되는 앵커는 압축형 앵커로써 인장형 앵커에서의 정착장이 존재하지 않으므로 그림 3.2.31.과 같이 정착전이길이(L_a)를 $20D$로 가정하였다(Kim,2003). 풍화토층에서의 K값은 1.7을 사용하였다(Kim,2003). 앵커의 설계하중은 다음과 같다. 시험앵커가 가설앵커이므로 설계하중 계산 시 안전율은 2를 사용하였다.

<풍화토에서 직선형 앵커의 극한하중>

$$Q_D = \pi D L_a K \sigma_{ov} / F.S = \frac{\pi \times 0.127m \times 2.54m \times 1.7 \times 169.095kN/m^2}{2} = 145.66kN$$

<Sandy Clay에서 직선형 앵커의 극한하중>

$$Q_D = \pi D \alpha S_u L_a / 2 = \frac{\pi \times 0.127m \times 0.3 \times 200kN/m^2 \times 2.54m}{2} = 30.41kN$$

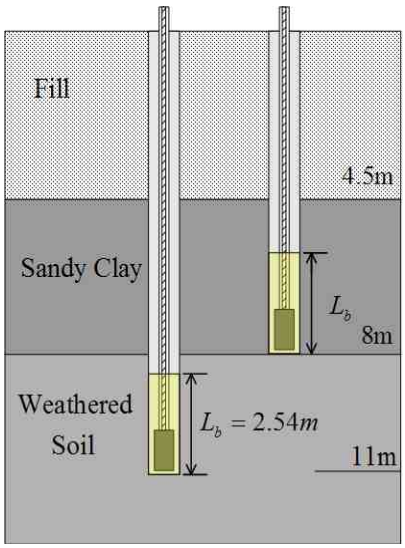


그림 3.2.31. 정착전이길이

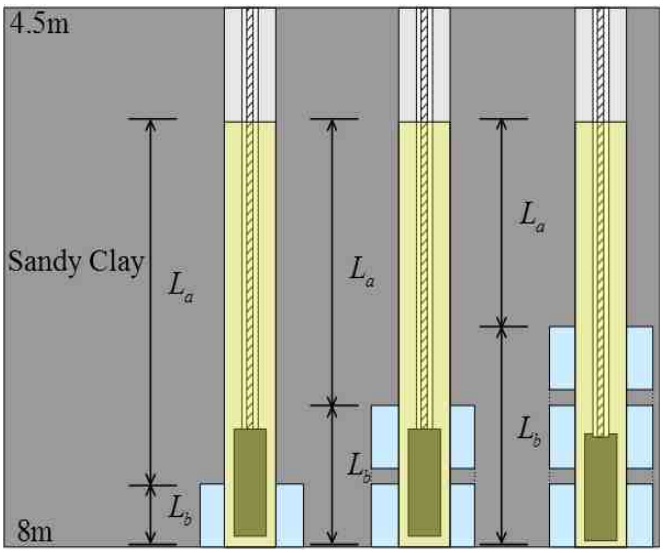


그림 3.2.32. 다구근 확공형 앵커에서의 정착장

확공형 앵커의 경우 그림 3.2.32와 같이 구근의 형상을 원통형으로 가정하고 높이를 0.5m, 구근의 확공비를 2배로 가정하여 다음의 식을 이용하여 극한 설계력을 산정하였다(Littlejohn,1970).

$$Q_{uf} = A\bar{\sigma}_{ov1}{}'\pi DL_a \tan\phi + B\sigma_{ov2}{}'\frac{\pi(D_e^2 - D^2)}{4} \quad (2\text{-}30)$$

여기서, ϕ =흙의 내부마찰각

A =지반-그라우트 사이의 마찰계수 (1~2, Littlejohn,1970)

$B = N_q/1.3 \sim 1.4$(Littlejohn,1970)

D_e =구근의 직경 D=정착장 직경

$\bar{\sigma}_{ov1}{}'$ =정착장 마찰부에서의 평균유효응력

$\sigma_{ov2}{}'$ =구근 상부에서의 유효응력

L_a =구근의 길이

다구근 앵커의 경우 구근 전체 길이를 L_b, 구근 상부 정착장 길이를 L_a로 하여 다음 식으로 극한설계력을 산정하였다. 풍화토의 경우 Littlejohn의 식에서는 고려하지 않았던 구근 상부 정착장에서의 마찰력과 구근 상부에서의 지지력, 구근에서의 마찰력을 고려하여 식을 변형시켰다. Sandy Clay에 설치되는 앵커의 설계하중은 Littlejohn(1970)의 식을 이용했다. 계산된 앵커의 확공 조건에 따른 설계하중은 표 3.2.10과 같다.

(Weathered Sand)

$$Q_{uf} = A\bar{\sigma}_{ov1}{}'\pi DL_a \tan\phi + B\sigma_{ov2}{}'\frac{\pi(D_e^2 - D^2)}{4} + A\bar{\sigma}_{ov3}{}'\pi D_e L_b \tan\phi \quad (2\text{-}31)$$

(Sandy Clay)

$$Q_{uf} = \alpha_s \pi DL_a S_u + \frac{\pi}{4}(D_e^2 - D^2)N_c S_u + \alpha_u \pi D_e L_b S_u \quad (2\text{-}32)$$

여기서 S_u = 점토의 평균 비배수 전단강도

α_u = 지반교란 영향 계수 (0.75~0.95)

N_c : 지지력 계수

α_s : 점착 계수 (0.3~0.33)

$\bar{\sigma}_{ov3}{}'$ =구근에서의 평균유효응력

표 3.2.10. 확공형 앵커의 설계하중

구근 개수(개)	확공비(배)	앵커 길이(m)	설계하중 (kN)
1	2	11	277.73
		8	77.59
2	2	8	89.19
3	2	8	99.48

② 강연선의 인장강도

$$Q_{us} = A_s f_{us} = 155.979kN \text{ (KSD7002)} \quad (2\text{-}33)$$

여기서, A_s는 강선의 단면적

f_{us}는 강선의 극한 인발응력

시험에 사용되는 앵커의 강선은 총 4개이므로 강선 4개의 인장강도는 623.92kN이다.

③ 그라우트의 압축강도

$$Q_{ug} = A_g f_{uc} \quad (2\text{-}34)$$

여기서, A_g = 설치된 앵커의 직경에서 강선의 단면적을 제외한 그라우트 단면적

f_{uc} = 그라우트의 압축강도

(바) 앵커 실대형시험 결과

① 하중-변위곡선

인발시험 결과 얻어진 하중과 변위 값을 이용하여 하중-변위 곡선을 작성하고 앵커의 극한인발력을 구하였다. 그림 3.2.33과 3.2.34는 각각 풍화토와 Sandy Clay에서 펄스방전을 40회 수행한 앵커의 Performance Test 결과 얻어진 하중-변위곡선이다. 하중-변위곡선 작성 후 3장 1절에서 설명한 바와 같이 앵커 두부에서의 변형을 탄성변형과 잔류변형으로 나누어 성분별 변형곡선을 작성하였다(그림 3.2.35~3.36).

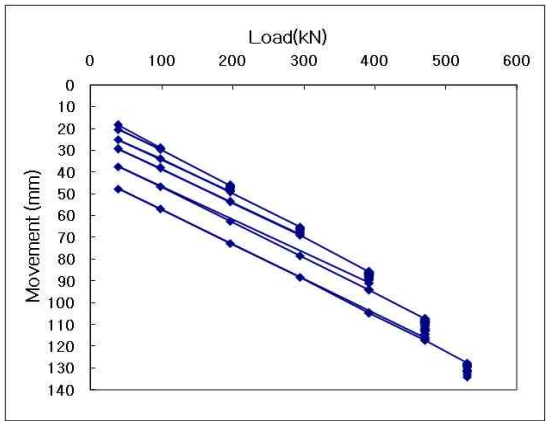


그림 3.2.33. 하중-변위곡선(풍화토, 방전40회)

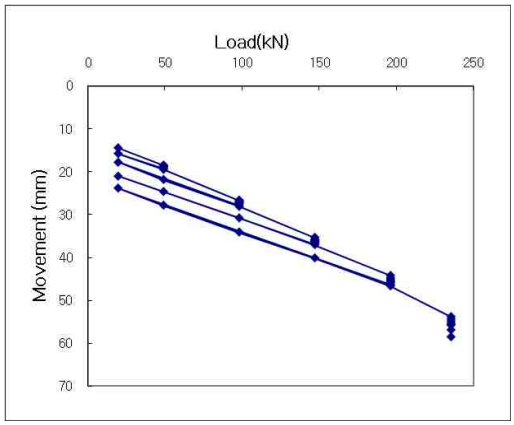


그림 3.2.34. 하중-변위곡선(Sandy Clay, 방전40회)

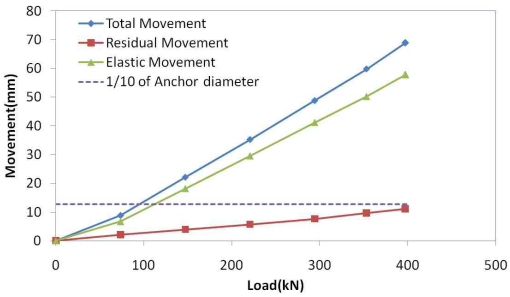


그림 3.2.35. 풍화토에서의 합성변형곡선

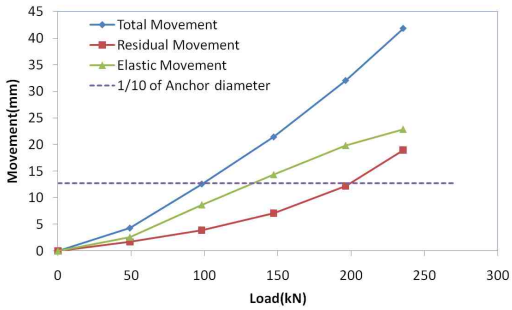


그림 3.2.36. Sandy Clay에서의 합성변형곡선

② 극한인발력

㉮ 방전횟수에 따른 극한인발력

풍화토와 Sandy Clay에서의 펄스방전 횟수에 따른 앵커의 극한인발력을 측정하기 위하여 방전횟수를 달리하여 지반별로 각각 10공씩 시공하였다. 하중과 변위는 로드셀과 LVDT를 이용하여 측정하였으며, AASHTO(AASHTO, 1990)기준에 따른 Performance Test를 실시하여 하중-변위그래프로부터 잔류변형을 구하여 극한인발력을 산정하였다(Briaud et al., 1998). 그림 3.2.37~38은 풍화토와 Sandy Clay 지반에 설치된 앵커의 방전 횟수별 극한인발력이며 표 3.2.11은 방전횟수에 따른 극한인발력과 그 증가율을 나타낸 것이다.

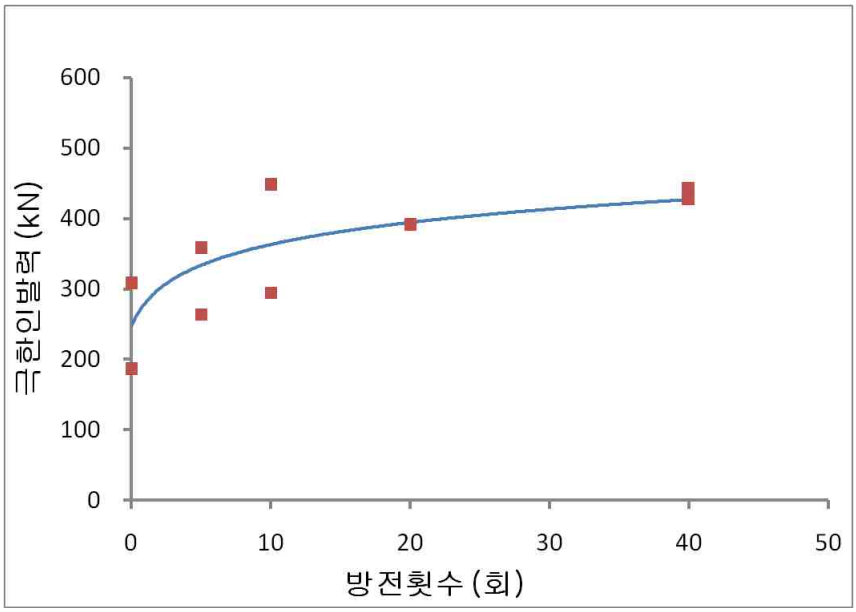


그림 3.2.37. 풍화토에서의 방전횟수에 따른 극한인발력

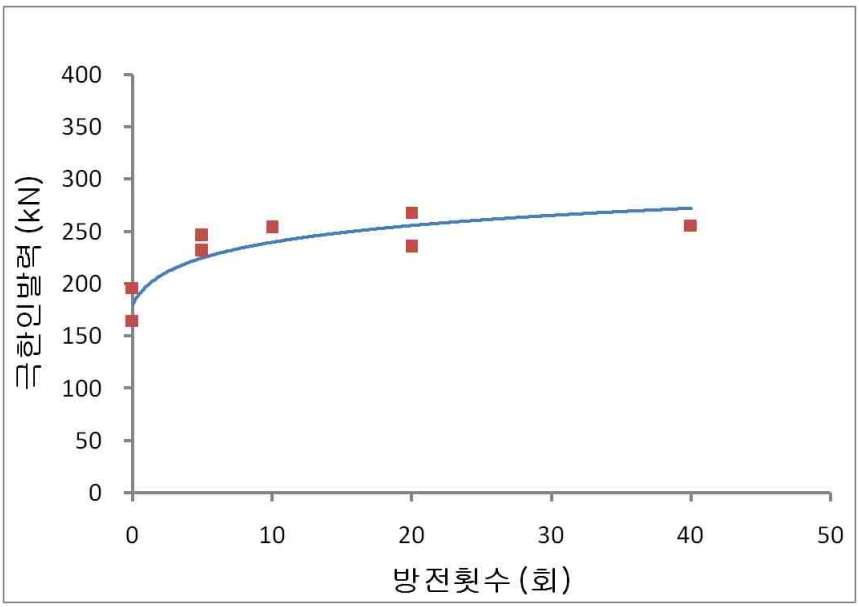


그림 3.2.38. Sandy Clay에서의 방전횟수에 따른 극한인발력

표 3.2.11. 방전 횟수에 따른 극한인발력과 증가율

지반 종류	방전 횟수 (회)	평균 극한인발력 (kN)	극한인발력 증가율 (%)	지반 종류	방전 횟수 (회)	평균 극한인발력 (kN)	극한인발력 증가율 (%)
풍화토	0	246.9	0	Sandy Clay	0	180.4	0
	5	310.7	25.84		5	239.0	32.48
	10	371.3	50.38		10	254.0	40.80
	20	390.5	58.16		20	251.7	39.52
	40	434.7	76.06		40	255.8	41.80

풍화토에 설치된 앵커에서는 펄스 방전 횟수가 증가함에 따라 극한인발력이 약 25% 증가하다가 방전횟수 20회 이상에서 증가율이 급격히 감소하는 경향을 보였다. 반면 Sandy Clay에서는 펄스방전 횟수에 따라 극한인발력이 32.5% 증가했다가 방전횟수 10회 이상에서는 극한인발력의 증가가 미미하게 나타났다. 방전횟수 5회일 때의 양쪽 지반에서의 극한인발력을 비교해 보았을 때 N치가 낮은 Sandy Clay에서 방전에 의한 확공 구근 형성이 더 크게 되어 극한인발력이 큰 폭으로 상승한 것으로 추측된다. 방전횟수가 증가하면 풍화토에서는 극한인발력 증가율에 비해 Sandy Clay에서의 증가율이 급격히 감소하여 10회 이상에서의 극한인발력 증대효과가 미미하게 나타났다. 이는 상대적으로 연약한 Sandy Clay 지반에서는 적은 펄스 방전 횟수에서 확공 및 지반의 다짐이 완료되어 방전에 의해 생성된 충격파가 공벽의 확공에 영향을 거의 미치지 못한 것으로 추측된다.

㉯ 구근 개수에 따른 극한인발력

구근의 개수에 따른 앵커의 극한인발력의 변화를 알아보기 위하여 Sandy Clay 지반에서 방전횟수가 구근당 10회이고 구근의 개수가 0, 1, 2, 3개인 앵커의 인발시험을 실시하였다. 구근의 개수가 늘어남에 따라 극한인발력은 증가를 하나 매우 적은 폭으로 증가하여 Sandy Clay 지반에서는 구근의 개수에 따른 극한인발력의 증가효과가 미미한 것으로 나타났다. 실내 모형시험에서는 구근의 개수에 따라 극한인발력이 급격히 증가하였으나 현장시험에서는 구근의 개수에 따른 극한인발력 증대효과가 미미하게 나타났다. 이는 모형시험과 현장시험에서의 지반의 차이로 추측된다. 그림 3.2.39는 구근의 개수에 따른 앵커의 극한인발력이다.

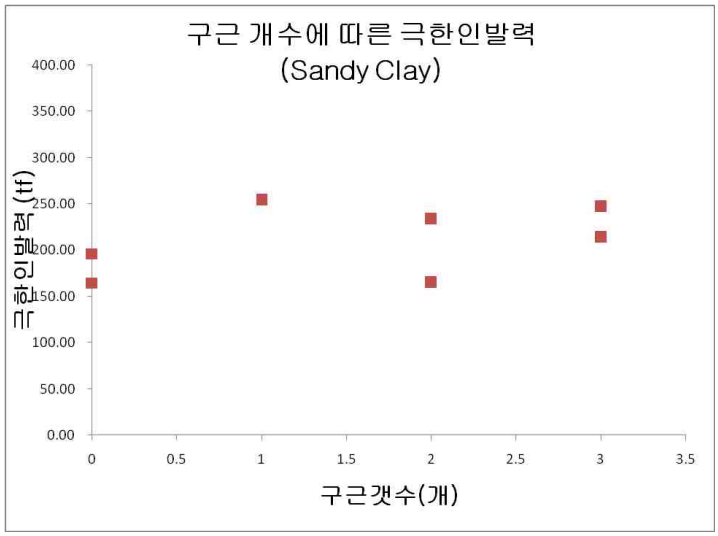


그림 3.2.39. 구근 개수에 따른 극한인발력

③ 앵커의 하중전이 분포

인발시험 수행 시 앵커에서의 하중분포를 측정하기 위하여 그라우트에 진동현식 변형률계를 설치하여 각 하중 단계마다 그라우트에 발생하는 변형률을 측정하였다. 계측기 위치는 그림 3.2.40과 같이 1~2m 간격으로 설치되었으며, 풍화토 지반에 시공된 앵커에 6개씩, Sandy Clay 지반에 시공된 앵커에 5개씩 설치하였다. 계측기로 측정한 변형률 값에 탄성계수와 단면적을 곱하여 각 앵커의 하중분포를 산정하였다. 시험앵커는 압축형 앵커이므로 앵커 두부에 가해진 하중이 강선 전장에 일정하게 분포한다. 따라서 그라우트의 하중분포에서 최대 압축력이 작용하는 지점은 선단이 되며, 앵커 두부 쪽으로 갈수록 하중은 감소하여 0이 된다. 그림 3.2.41~52는 시험앵커의 그라우트에서의 하중분포, 흙의 인발저항력 분포, 마찰력 분포를 하중단계별로 나타낸 것이다.

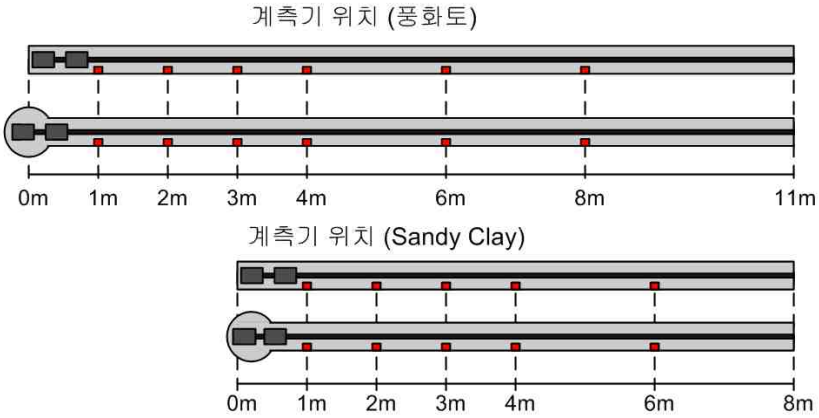


그림 3.2.40. 앵커별 계측기 매설 위치

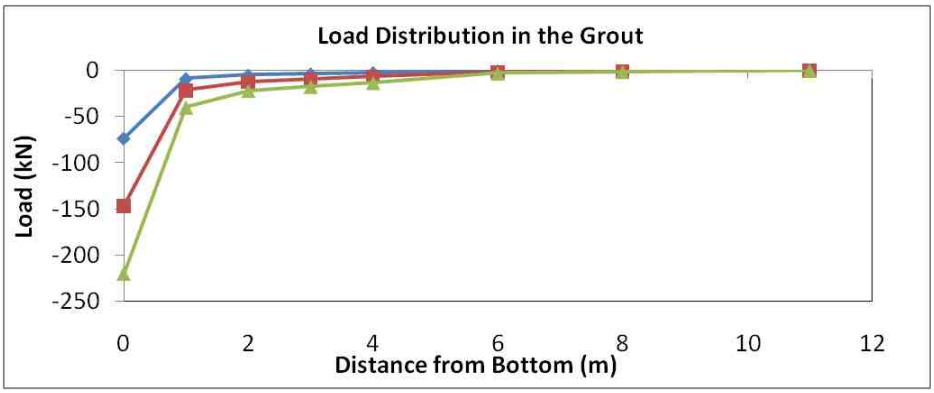


그림 3.2.41. 그라우트에서의 하중분포 (풍화토, 방전 0회)

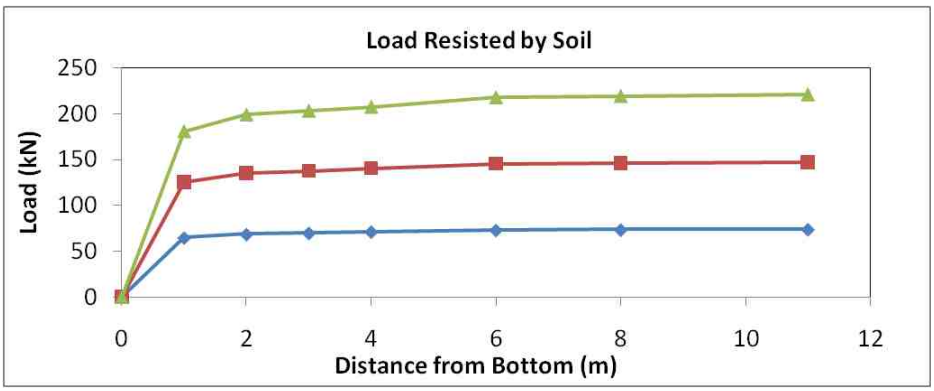


그림 3.2.42. 흙에서의 하중분포 (풍화토, 방전 0회)

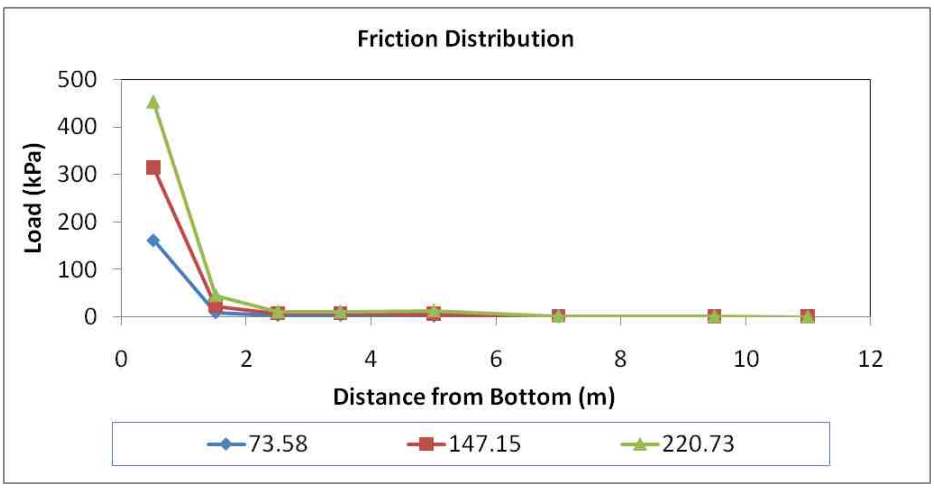


그림 3.2.43.마찰력 분포 (풍화토, 방전 0회)

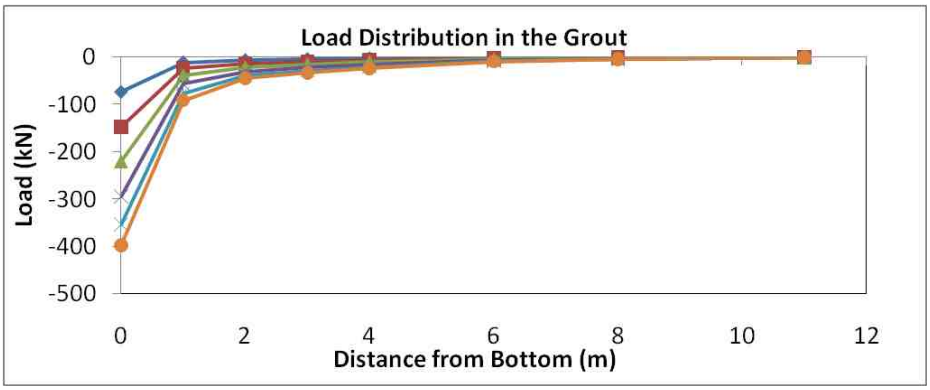


그림 3.2.44. 그라우트에서의 하중분포 (풍화토, 방전 40회)

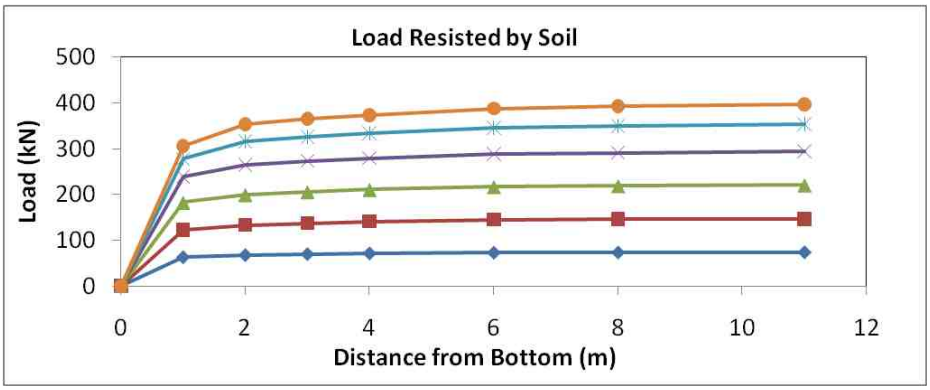


그림 3.2.45. 흙에서의 하중분포 (풍화토, 방전 40회)

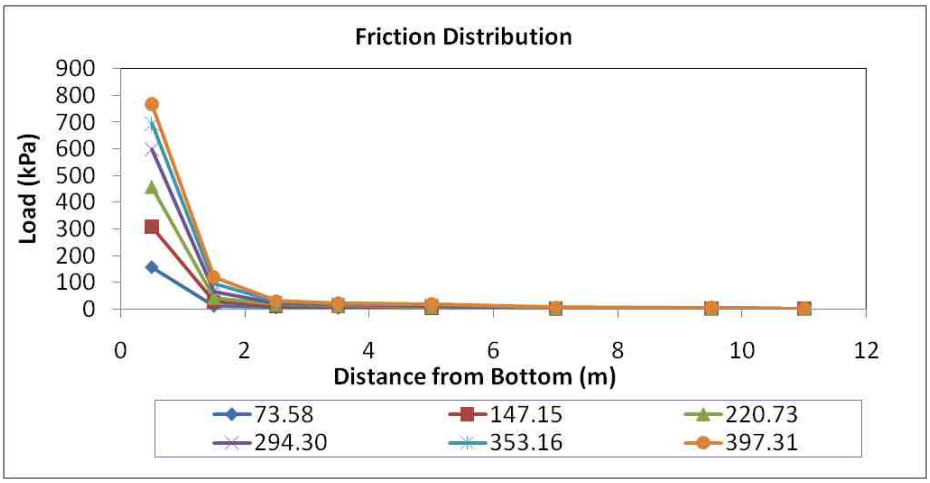


그림 3.2.46. 마찰력 분포 (풍화토, 방전 40회)

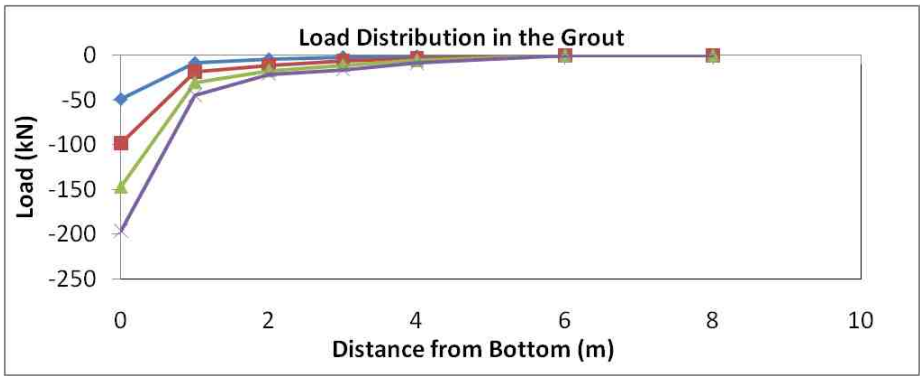


그림 3.2.47. 그라우트에서의 하중 분포 (Sandy Clay, 방전 0회)

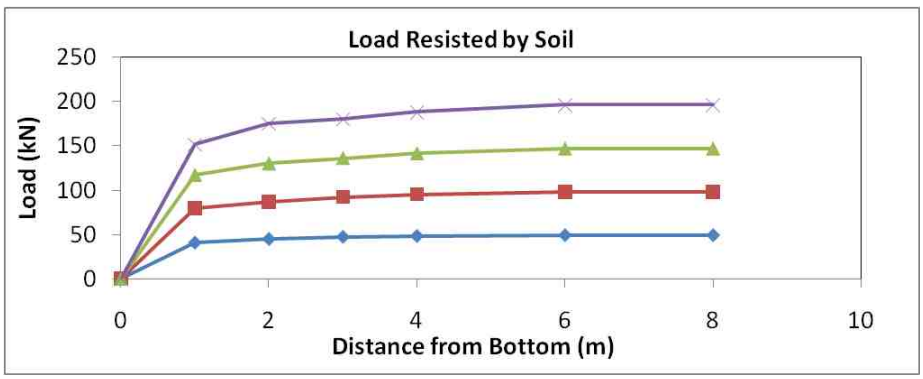


그림 3.2.48. 흙에서의 하중 분포 (Sandy Clay, 방전 0회)

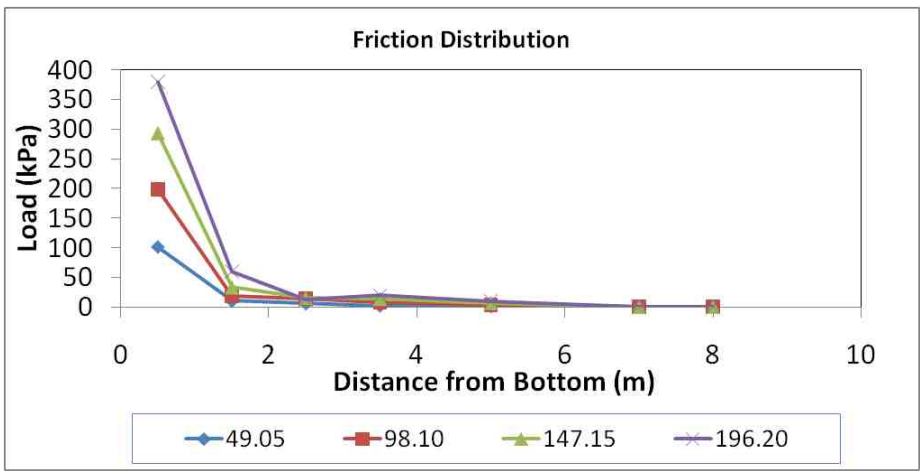


그림 3.2.49. 마찰력 분포 (Sandy Clay, 방전 0회)

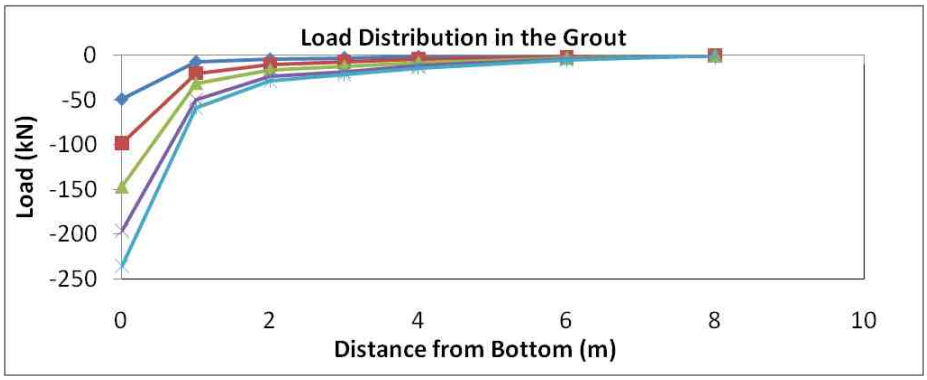


그림 3.2.50. 그라우트에서의 하중 분포 (Sandy Clay, 방전 20회)

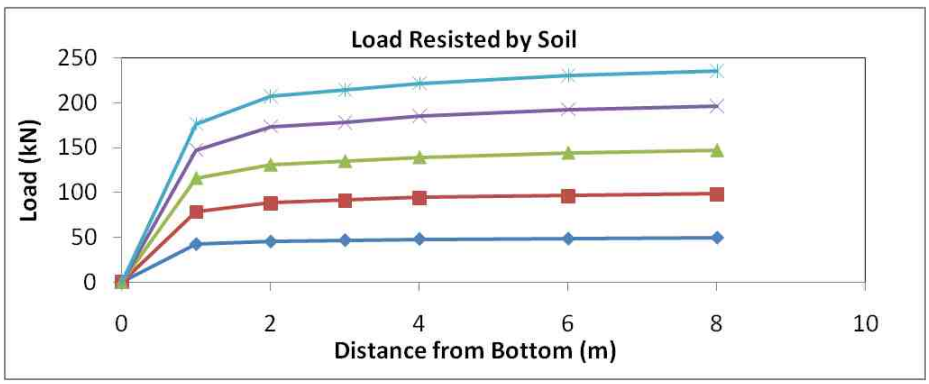


그림 3.2.51. 흙에서의 하중분포 (Sandy Clay, 방전 20회)

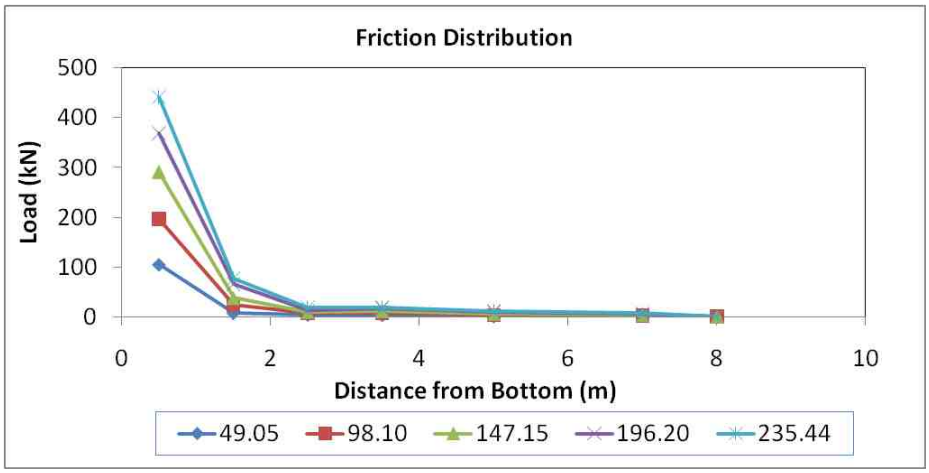


그림 3.2.52. 마찰력 분포 (Sandy Clay, 방전 20회)

(2) 앵커 실대형 시험(3차년도 김포)

(가) 실대형 시험 개요

본 시험은 연약지반에서의 펄스방전에 의한 확공형 앵커의 극한인발력 및 장기거동 특성을 파악하기 위한 시험으로 연약지반에 직선형 앵커 5공, 구근이 1개인 펄스방전 앵커를 방전횟수를 달리 하여 18공, 구근이 2개인 앵커 10공을 시공할 계획이다. 앵커체는 제거식 압축형 앵커체이며 모든 앵커에 매설형 스트레인 게이지를 장착하여 그라우트의 하중분포를 계측할 예정이다. 앵커의 극한인발력을 계측하기 위하여 AASHTO(1990)에 규정된 Performance Test를 21공, Extended Creep Test를 12공 수행하여 연약지반에서의 앵커의 인발거동특성과 하중전이분포를 계측할 계획이다. 시험 케이스는 표 3.2.12과 같다.

표 3.2.12 앵커 실대형 시험 케이스

Anchor No.	방전횟수	구근 개수	시험종류
1	0		Performance
2			Performance
3			Performance
4			Creep
5			Creep
6	5	1	Performance
7		1	Performance
8		1	Performance
9		1	Creep
10		1	Creep
11	10	1	Performance
12		1	Performance
13		1	Performance
14		1	Creep
15		1	Creep
16	20	1	Performance
17		1	Performance
18		1	Performance
19		1	Creep
20		1	Creep
21	20	2	Performance
22		2	Performance
23		2	Performance
24		2	Creep
25		2	Creep
26	10	2	Performance
27		2	Performance
28		2	Performance
29		2	Creep
30		2	Creep
31	40	1	Performance
32		1	Performance
33		1	Performance

(나) 지반 특성

본 시험장의 지층은 매립층(지표~1.2m), Silty Clay(1.2~16.2m), Silty Sand (16.2~19m), Gravelly Sand(19m 이하)로 구성되었다. 시험장의 주상도 및 표준관입 시험 결과는 그림 3.2.53과 그림 3.2.54에 각각 나타나 있다.

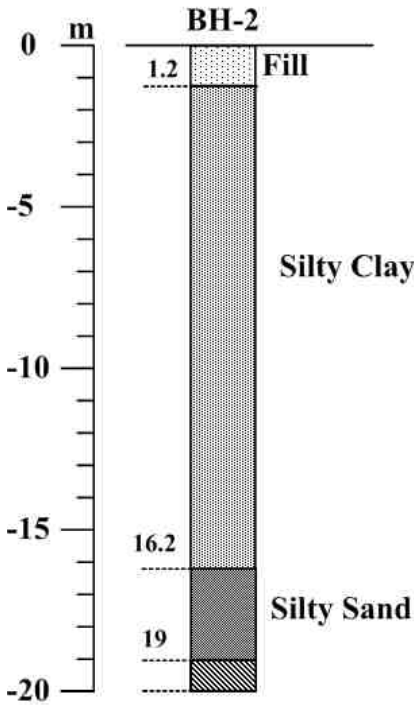


그림 3.2.53. 시험장의 지층 구조

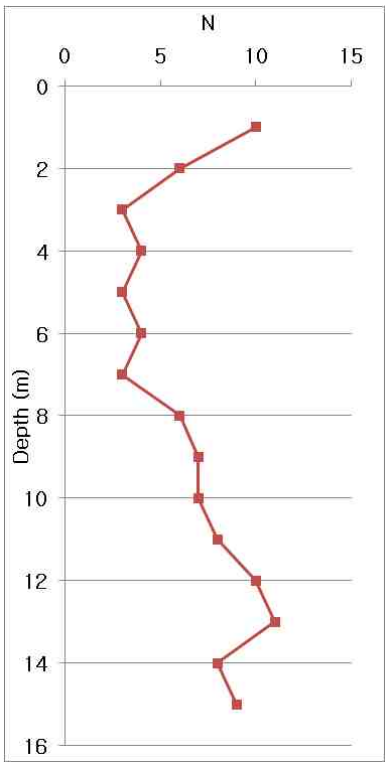


그림 3.2.54. 표준관입시험 결과

(다) 앵커 시공 절차 및 시공 위치

① 시공절차

앵커시공은 현장 선정 및 지반조사가 끝난 후 수행되며, 시공 후 그라우트를 7일간 양생시킨 후 인발시험을 수행한다. 시공절차는 그림 3.2.55와 같다. 앵커의 시공 지반이 연약지반이므로 재하대의 침하를 방지하기 위하여 그라우트 양생 후 재하판 혹은 지지대를 설치한다.

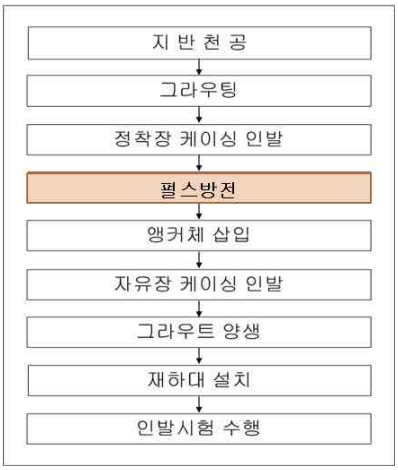


그림 3.2.55. 현장 시공 절차

② 앵커 시공위치

본 시험은 연약지반에서 펄스방전에 의한 확공형 앵커의 극한인발력 및 장기거동 특성을 파악하기 위한 시험을 연약지반에 직선형 앵커 5공, 구근이 1개인 펄스방전 앵커를 방전횟수를 달리 하여 18공, 구근이 2개인 앵커 10공을 그림 3.56과 같이 시공하였다.

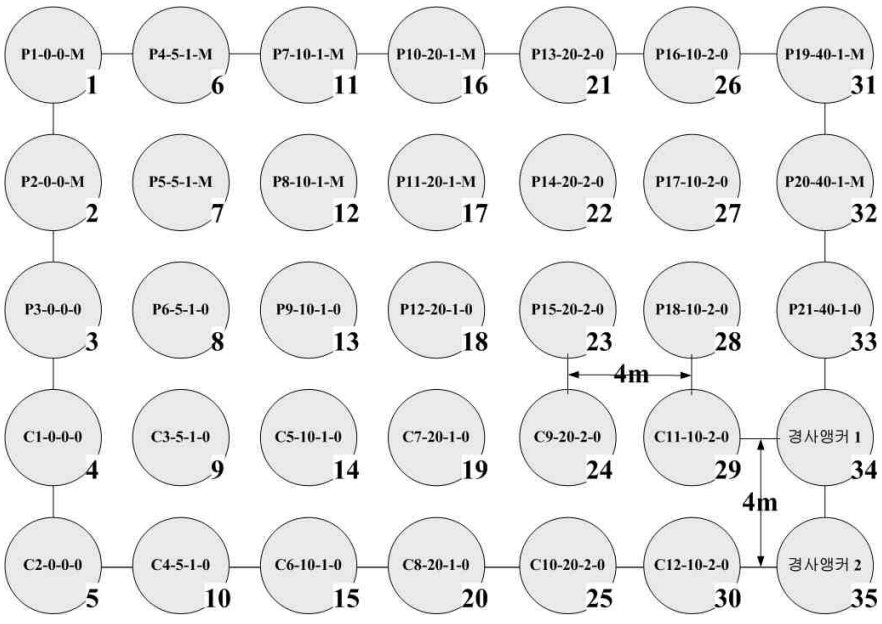


그림 3.2.56. 펄스방전 횟수 및 구근 개수에 따른 앵커 배치

(라) 앵커 시험 및 계측계획

① 극한인발력 계측계획

현장시험은 그림 3.2.57과 같이 수행할 예정이며 하중과 변위는 Load Cell 및 LVDT를 이용하여 측정하고 지반침하의 영향을 고려하기 위하여 유압잭에 광파표적을 부착하여 광파 측정기로 절대변위를 계측할 계획이다. 재하대 하부에는 침하를 방지하기 위하여 복공판을 설치하거나 콘크리트로 지지대를 설치할 계획이다.

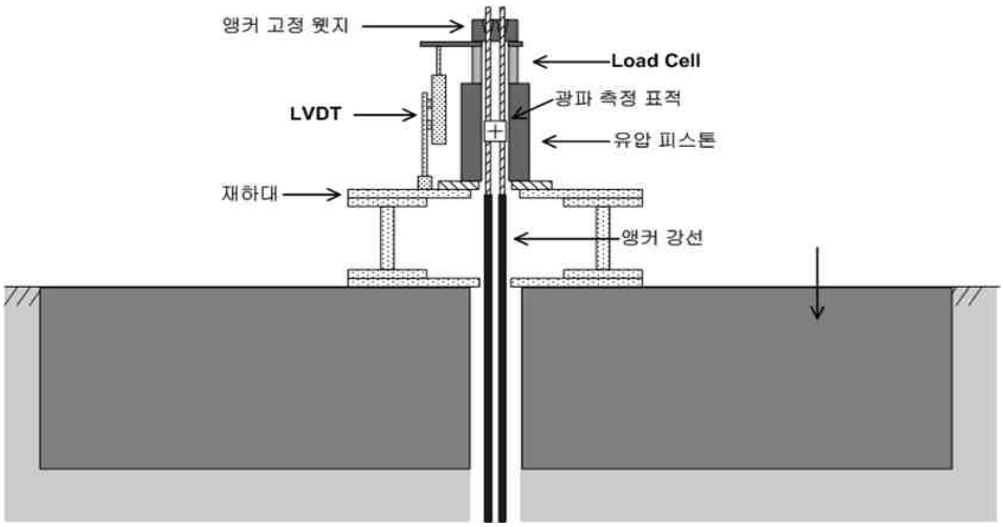


그림 3.2.57. 현장시험 계획도

시험절차는 AASHTO(1990)에서 규정하고 있는 Performance Test 21공, Extended Creep Test 12공을 수행할 예정이다. 각각의 시험 절차 및 하중유지시간은 표 3.2.13~14와 같다.

표 3.2.13. Performance Test 절차

Step	Loading	Applied Load	Record and Plot Total Movement (δ_{ti})	Record and Plot Residual Movement (δ_{ri})	Calculate Elastic Movement (δ_{ei})
1	Apply alignment load (AL)				
2	Cycle 1	0.25DL	δ_{t1}		
		AL		δ_{r1}	δ_{t1}- δ_{r1}= δ_{e1}
3	Cycle 2	0.25DL	δ_2		
		0.50DL	δ_{t2}		
		AL		δ_{r2}	δ_{t2}- δ_{r2}= δ_{e2}
4	Cycle 3	0.25DL	δ_3		
		0.50DL	δ_3		
		0.75DL	δ_{t3}		
		AL		δ_{r3}	δ_{t3}- δ_{r3}= δ_{e3}
5	Cycle 4	0.25DL	δ_4		
		0.50DL	δ_4		
		0.75DL	δ_4		
		1.00DL	δ_{t4}		
		AL		δ_{r4}	δ_{t4}- δ_{r4}= δ_{e4}
6	Cycle 5	0.25DL	δ_5		
		0.50DL	δ_5		
		0.75DL	δ_5		
		1.00DL	δ_5		
		1.2DL	δ_{t5}		
		AL		δ_{r5}	δ_{t5}- δ_{r5}= δ_{e5}
7	Cycle 6	0.25DL	δ_6		
		0.50DL	δ_6		
		0.75DL	δ_6		
		1.00DL	δ_6		
		1.2DL	δ_6		
		1.33DL	δ_{t6}, zero reading for creep test		
8	Hold load for 10 minutes while recording movement at specified times. If the total movement measured during the load hold exceeds the specified maximum value then the load hold should be extended to a total of 60 minutes.				
9	Cycle 6 cont'd.	AL		δ_{r6}	Cycle 6: δ_{tn}- δ_{r6}= δ_{e6}
10	Adjust to lock-off load if test results satisfy acceptance criteria, otherwise see section 7.4.5.4				
Notes: AL = Alignment Load, DL = Design Load, δ_i = total movement at a load other than maximum for cycle, i = number identifying a specific load cycle.					

표 3.2.14. Extended Creep Test 하중유지 시간

Loading Cycle	Maximum Cycle Load	Total Observation Period (min)	Movements measured at following times (min)
1	0.25DL	10	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10
2	0.50DL	30	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20, 25, 30
3	0.75DL	30	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20, 25, 30
4	1.00DL	45	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20, 25, 30, 45
5	1.20DL	60	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60
6	1.33DL	300	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60, 300

(마) 앵커 실대형 시험 결과(3차년도 김포)

① 하중-변위 곡선

인발시험 결과 얻어진 하중과 변위 값을 이용하여 하중-변위 곡선을 작성하고 앵커의 극한 인발력을 구하였다. 그림 3.58과 3.59는 각각 Silty Clay에서 펄스방전을 20회, 40회 수행한 앵커의 Performance Test 결과 얻어진 하중-변위 곡선이다. 하중-변위곡선 작성 후 앵커 두부에서의 변형을 탄성변형과 잔류변형으로 나누어 성분별 변형곡선을 작성하였다.(그림 3.2.60 ~ 61)

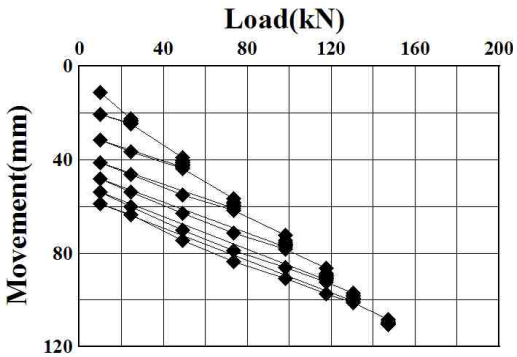


그림 3.2.58. 하중-변위곡선(Silty Clay,방전 20회)

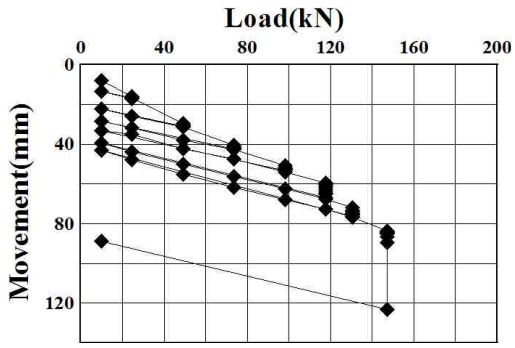


그림 3.2.59. 하중-변위곡선(Silty Clay,방전 40회)

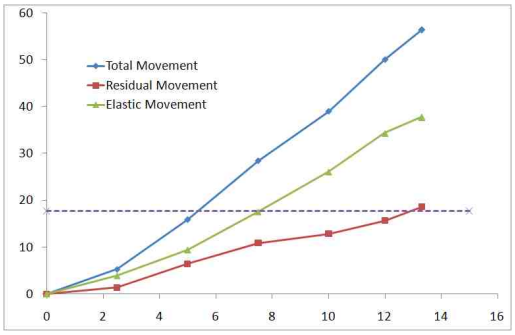


그림 3.2.60. 방전 20회일 때
합성변형곡선

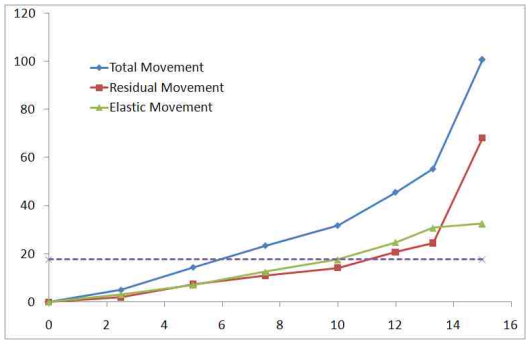


그림 3.2.61. 방전 40회일 때
합성변형곡선

② 극한인발력

㉮ 방전횟수에 따른 극한인발력

Silty Clay에 시공된 시험앵커의 펄스방전 횟수에 따른 극한인발력을 측정하기 위하여 방전횟수를 달리하여 방전횟수당 3공씩 시공하였다. 하중과 변위는 로드셀과 LVDT를 이용하여 측정하였으며, AASHTO(AASHTO, 1990)기준에 따른 Performance Test를 실시하여 하중-변위 그래프로부터 잔류변형을 구하여 극한인발력을 산정하였다(Briaud et al., 1998(). 그림 3.2.62~63는 각각 Silty Clay 지반에 설치된 앵커의 방전 횟수별 극한인발력과 평균 극한인발력이며 표3.15는 방전횟수에 따른 극한인발력과 그 증가율을 나타낸 것이다.

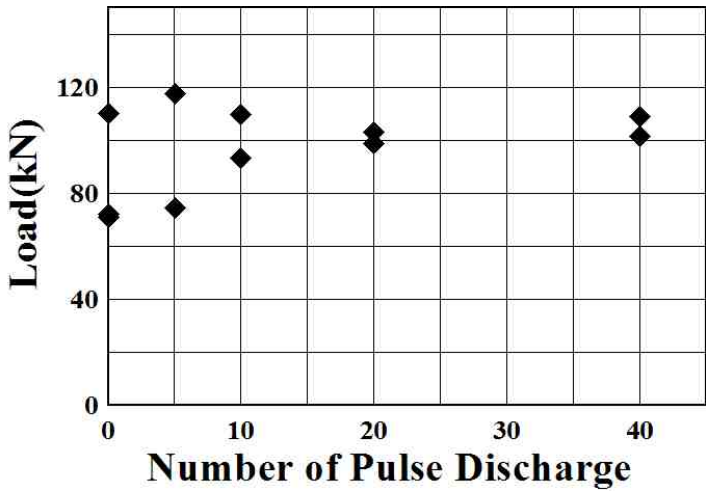


그림 3.2.62. Silty Clay에서의 방전횟수에 따른 극한인발력

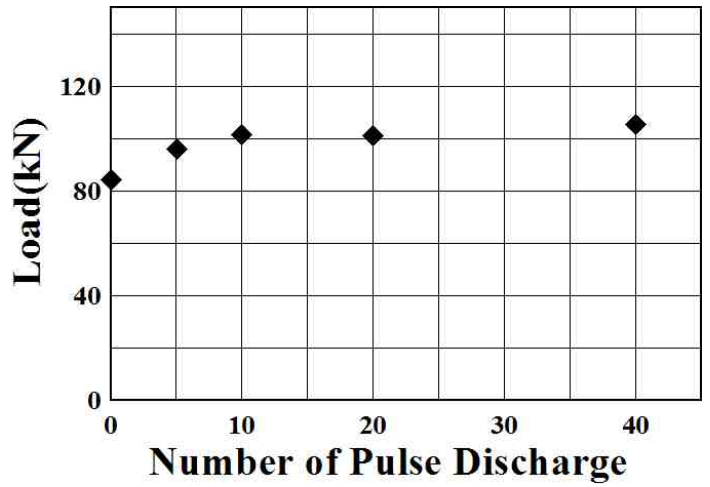


그림 3.2.63. Silty Clay에서의 방전횟수에 따른 평균 극한인발력

표 3.2.15. Silty Clay에서의 방전횟수에 따른 극한인발력 증가율

방전횟수 (회)	극한인발력 (kN)	극한인발력증가율 (%)
0	84.17	0
5	95.79	13.81
10	101.39	20.45
20	100.85	19.81
40	105.16	24.94

Silty Clay에 설치된 앵커에서 펄스 방전 횟수가 증가함에 따라 약 14%증가하다가 방전횟수 10회 이상에서는 증가율이 급격히 감소하는 경향을 보였다. 풍화토나 Sandy Caly에서 최종 증가율이 약 76%, 42%인것에 비해 Silty Clay에서의 증가율은 상당히 미미한 것으로 나타났다. 이는 매우 연약한 Silty Clay지반에서는 방전에

의해 생성된 충격파가 공벽의 확공에 영향을 거의 미치지 못한 것으로 추측된다.

㉯ 구근 개수에 따른 극한인발력

구근개수에 따른 극한인발력의 변화를 알아보기 위하여 Silty Clay 지반에 방전횟수가 10회, 20회이고 구근의 개수가 0, 1, 2개인 앵커의 인발시험을 실시하였다. 구근의 개수가 늘어남에 따라 극한인발력이 다소 증가하였으나 구근이 1개일때는 증가량이 거의 없었고, 구근이 2개일 때 극한인발력이 증가하는 모습을 나타내었다.

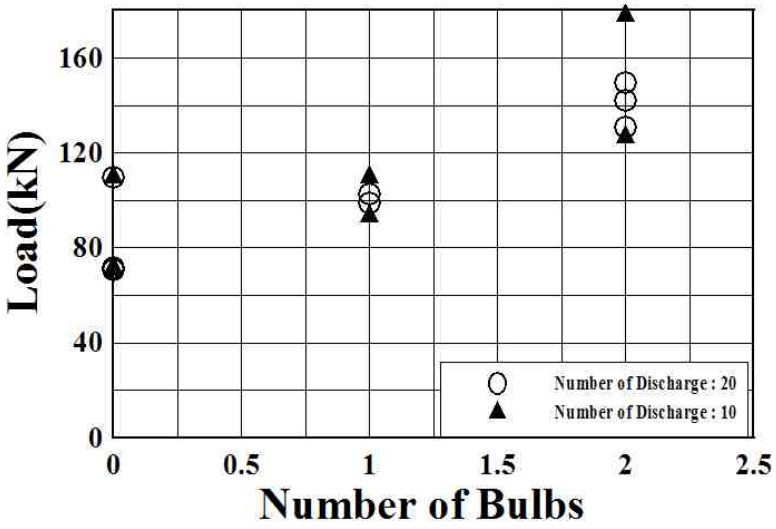


그림 3.2.64. 구근개수에 따른 극한인발력 증가율

(3) 앵커 실대형 시험(3차년도 부평)

(가) 실대형 시험 개요

본 시험은 연약지반에서의 펄스방전에 의한 확공형 앵커의 극한인발력 및 장기거동 특성을 파악하기 위한 시험으로 연약지반에 직선형 앵커 3공, 구근이 1개인 펄스방전 앵커를 방전횟수를 달리 하여 24공, 구근이 2개인 앵커 12공을 시공할 계획이다. 앵커체는 제거식 압축형 앵커체이며 13공의 앵커에 매설형 스트레인 게이지를 장착하여 그라우트의 하중분포를 계측할 예정이다. 앵커의 극한인발력을 계측하기 위하여 AASHTO(1990)에 규정된 Performance Test를 39공 수행하여 연약지반에서의 앵커의 인발거동특성과 하중전이분포를 계측할 계획이다. 시험 케이스는 표 3.2.16과 같다.

표 3.2.16. 앵커 현장시험 케이스

Anchor No.	방전횟수	구근 개수	시험종류
1	0	0	Performance
2	0	0	Performance
3	0	0	Performance
4	5	1	Performance
5	5	1	Performance
6	5	1	Performance
7	10	1	Performance
8	10	1	Performance
9	10	1	Performance
10	20	1	Performance
11	20	1	Performance
12	20	1	Performance
13	40	1	Performance
14	40	1	Performance
15	40	1	Performance
16	5	1	Performance
17	5	1	Performance
18	5	1	Performance
19	10	1	Performance
20	10	1	Performance
21	10	1	Performance
22	20	1	Performance
23	20	1	Performance
24	20	1	Performance
25	40	1	Performance
26	40	1	Performance
27	40	1	Performance
28	5	2	Performance
29	5	2	Performance
30	5	2	Performance
31	10	2	Performance
32	10	2	Performance
33	10	2	Performance
34	20	2	Performance
35	20	2	Performance
36	20	2	Performance
37	40	2	Performance
38	40	2	Performance
39	40	2	Performance

(나) 실대형 시험 위치 및 지반 특성

본 시험은 인천시 부평구 산곡동에 위치한 재개발 지역에서 시행되었으며 시험장의 위치는 그림 3.2.65과 같다. 시험장의 지층은 풍화토(지표~15m), 풍화암(15m이하)으로 구성되어 있었다. 지반 시험장의 주상도 및 표준관입시험 결과는 그림 3.2.66과 3.2.67에 각각 나타나 있다.

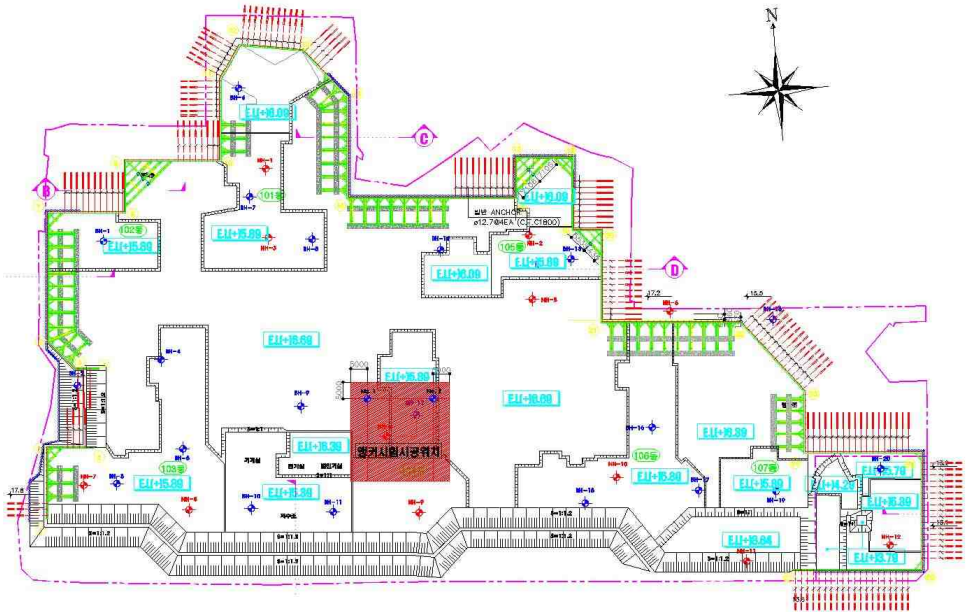


그림 3.2.65. 현장 시험 시험장 위치

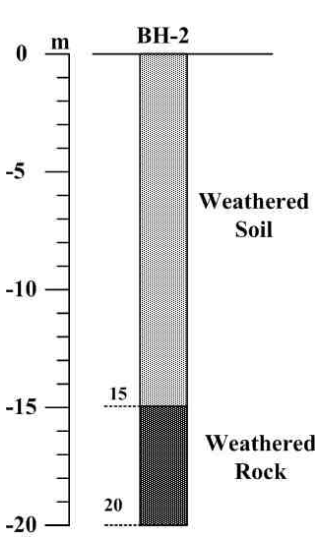


그림 3.2.66.
현장시험장 주상도

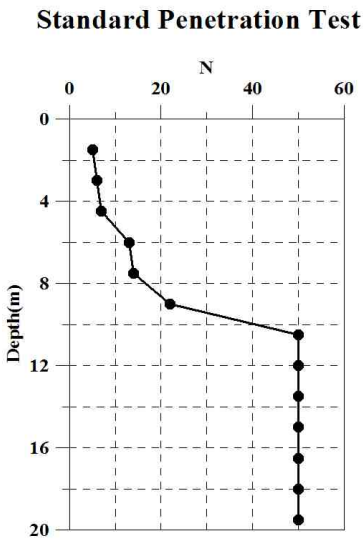


그림 3.2.67.
표준관입시험 결과

(다) 앵커 시공 절차 및 시공 위치

① 앵커 시공 절차

앵커시공은 현장 선정 및 지반조사가 끝난 후 수행되며, 시공 후 그라우트를 7일간 양생시킨 후 인발시험을 수행한다. 시공절차는 그림 3.2.68과 같다. 앵커의 시공지반이 연약지반이므로 재하대의 침하를 방지하기 위하여 그라우트 양생 후 재하판 혹은 지지대를 설치한다.

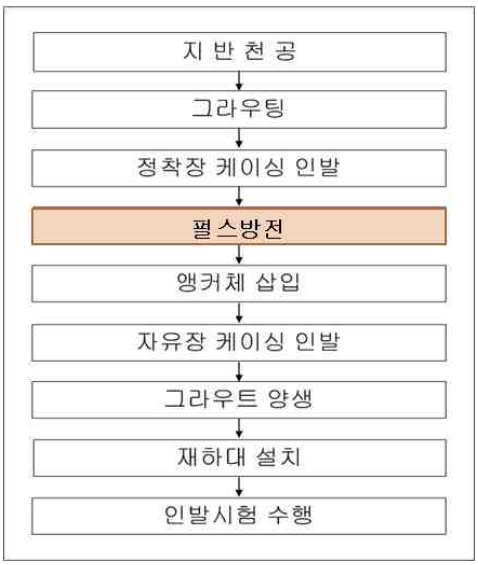


그림 3.2.68. 현장 시공 절차

② 앵커 시공위치

펄스방전 횟수에 따른 극한인발력의 변화를 계측하기 위하여 확공하지 않은 직선형 앵커를 4공 시공하고 방전횟수에 따라 각 3공씩 시공하였다. 또한 구근의 개수에 따른 극한인발력의 변화를 계측하기 위하여 구근 2개를 형성한 앵커를 방전횟수별로 3공씩 시공하였다. 또한 방전압에 따른 극한인발력의 변화를 확인하기 위하여 방전압을 5kV, 7kV로 하여 각 방전압마다 방전횟수별로 3공씩 시험하였다. 방전횟수 및 방전압, 구근 개수에 따른 앵커의 배치는 그림3.2.69와 같다.

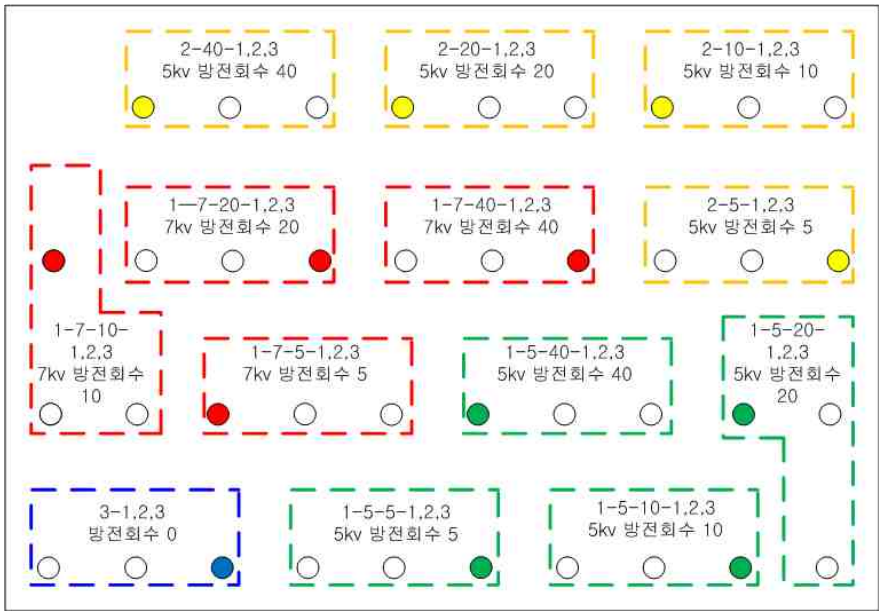


그림 3.2.69. 시험 앵커 배치도

(라) 앵커 시험 및 계측 계획

풍화토 지반에 설치된 직선형 및 펄스방전 확공형 앵커의 극한인발력을 산정하기 위하여 AASHTO(AASHOTO.1990)에서 규정한 Performance Test를 수행하였다. Performance Test는 시공된 앵커의 적합성을 판단하는 시험으로 하중재하 단계 및 절차는 표 3.2.13과 같다. 각 하중 단계별 최고하중에서 하중을 유지하며 잔류변형을 측정하여 기록한다. 하중 재하는 유압실린더를 사용하였으며 하중 및 변위계측은 각각 Load Cell 및 LVDT를 사용하였다. 앵커시공 단면도 및 앵커 시험 개요도는 그림 3.2.70과 3.2.71에 각각 나타나있다.

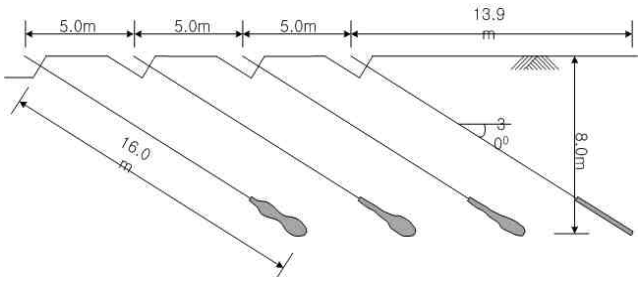


그림 3.2.70. 앵커 시공 단면도

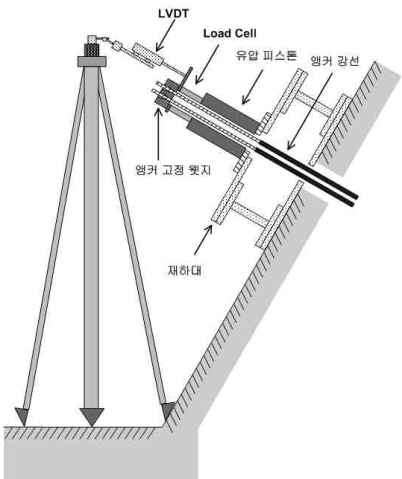


그림 3.2.71. 앵커 시험 개요도

또한 인발시험 시 하중재하에 따른 그라우트의 하중 분포를 계측하기 위하여 매립형 스트레인게이지를 설치하였다. 게이지는 진동현식이며 진동수와 온도를 측정하여 변형률로 변환하여 하중을 계측한다. 앵커길이는 16m, 게이지는 1~3m 간격으로 5개를 장착하여 앵커의 하중분포를 측정하였다.

(마) 실대형 시험 결과 (부평)

① 하중-변위 곡선

인발시험 결과 얻어진 하중과 변위 값을 이용하여 하중-변위 곡선을 작성하고 앵커의 극한 인발력을 구하였다. 그림 3.2.72는 방전압 7kV에서 펄스방전을 20회 수행한 앵커의 Performance Test 결과 얻어진 하중-변위 곡선이다. 하중-변위곡선 작성 후 앵커 두부에서의 변형을 탄성변형과 잔류변형으로 나누어 성분별 변형곡선을 작성하였다.(그림 3.2.73)

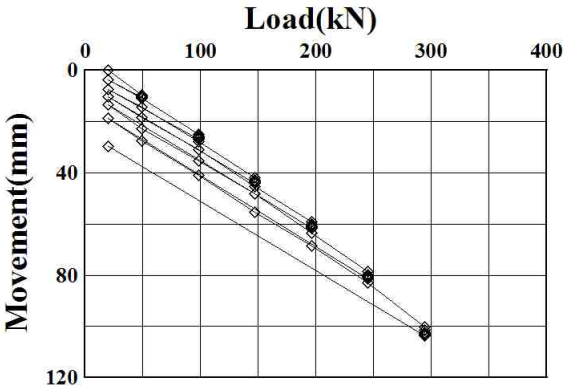


그림 3.2.72. 하중-변위 곡선

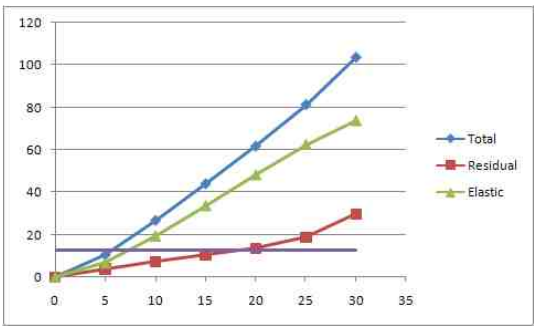


그림 3.2.73. 합성변형곡선

② 방전횟수에 따른 극한인발력

㉮ 방전압 5kV에서의 극한인발력

그림 3.2.74는 구근1개, 방전압 5kV일 때 방전 횟수에 따른 앵커의 극한인발력의 변화를 나타낸 것이다. 방전횟수 0회일 때 평균극한일발력 119.41kN에서 방전횟수가 증가함에 따라 극한인발력이 221.43kN으로 85.4%의 증가율을 보였다. 0회에서 20회까지는 다소 많은 증가량을 보이지만 20회 이 후부터는 증가량이 미미한 것을 볼 수 있다.

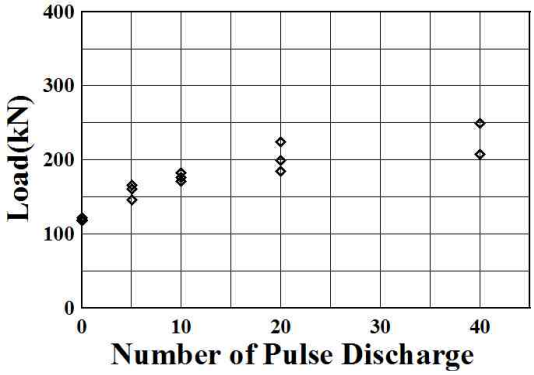


그림 3.2.74. 방전횟수에 따른 극한인발력 (5kV)

표 3.2.17. 방전횟수에 따른 극한인발력 증가율(5kV)

방전횟수	평균극한 인발력(kN)	극한인발력 증가율(%)
0	119.41	0
5	157.46	31.9
10	176.55	47.9
20	202.56	69.6
40	221.43	85.4

㉯ 방전압 7kV에서의 극한인발력

그림 3.2.75는 구근 1개, 방전압 7kV 일때 방전 횟수에 따른 앵커의 극한 인발력의 변화를 나타낸 것이다. 0회와 5회 사이에서는 212.38kN으로 77.86%의 급격한 극한인발력 증가를 보이고 5회부터 20회까지는 증가량이 점차 줄어들어 127.01%의 증가량을 보였고 20회 이후 40회에서는 156.95%까지 증가하는 경향을 보였다.

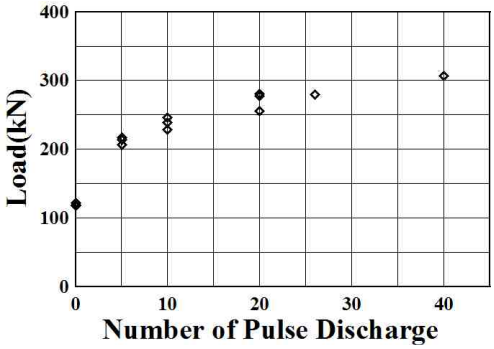


그림 3.2.75. 방전횟수에 따른 극한인발력 (7kV)

표 3.2.18. 방전횟수에 따른 극한인발력 증가율(7kV)

방전횟수	평균극한 인발력(kN)	극한인발력 증가율(%)
0	119.41	0
5	212.38	77.86
10	237.71	99.07
20	271.06	127.01
26	279.94	134.44
40	306.81	156.95

㉰ 방전압 5kV 구근2개에서의 극한인발력

그림 3.2.76은 구근 2개, 방전압 5kV일 때 방전횟수에 따른 극한인발력을 나타낸 것이다. 방전횟수는 구근당 방전횟수를 나타내고 있다. 총 방전횟수는 표시된 것의 두 배이다. 방전횟수10까지 296.23kN, 148.08%의 급격한 증가량을 확인 할 수 있었다. 방전횟수 10회 이 후부터 증가량이 점차 감소하여 20회일 때 325.68kN의 164.37%까지 증가하는 경향을 나타내는 것을 볼 수 있었다.

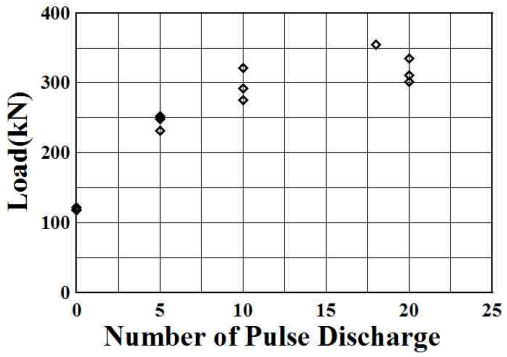


그림 3.2.76. 방전횟수에 따른 극한인발력 (구근2, 5kV)

표 3.2.19. 방전횟수에 따른 극한인발력 증가율(5kV, 구근2개)

방전횟수	평균극한 인발력(kN)	극한인발력 증가율(%)
0	119.41	0
5	244.21	104.52
10	296.23	148.08
18	355.18	197.45
20	315.68	164.37

③ 구근 개수에 따른 극한인발력

구근 개수에 따른 극한인발력의 변화를 확인하기 위하여 구근 개수를 1개, 2개로 하여 구근당 방전횟수별로 3공씩 시공하여 극한인발력을 비교하였다. 전체적으로 구근이 증가함에 따라 급격한 극한인발력의 증가를 볼 수 있었다. 구근 개수에 따른 방전횟수별 극한인발력은 그림 3.2.77과 같다.

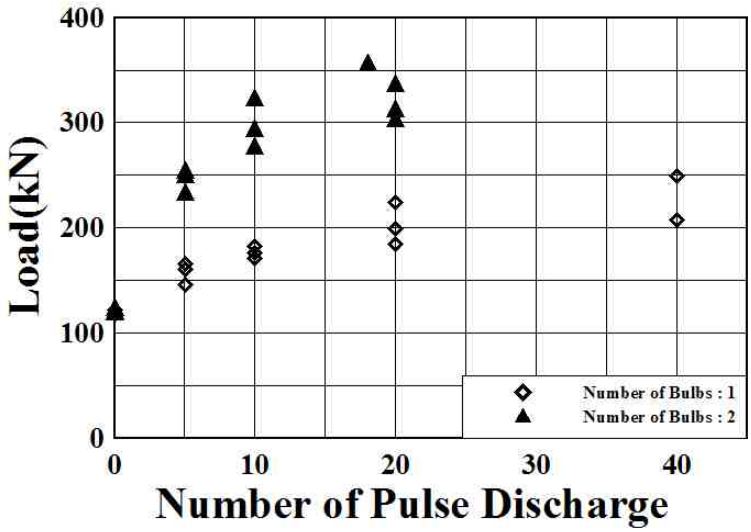


그림 3.2.77. 구근 개수에 따른 방전횟수별 극한인발력

④ 방전압에 따른 극한인발력

방전압에 따른 극한인발력의 변화를 계측하기 위하여 방전압을 5kV, 7kV로 하여 방전횟수별로 각 3공씩 시공하여 극한인발력을 비교하였다. 그림 3.2.78과 같이 방

전압이 증가함에 따라 극한인발력이 급격히 증가하는 것을 확인하였다.

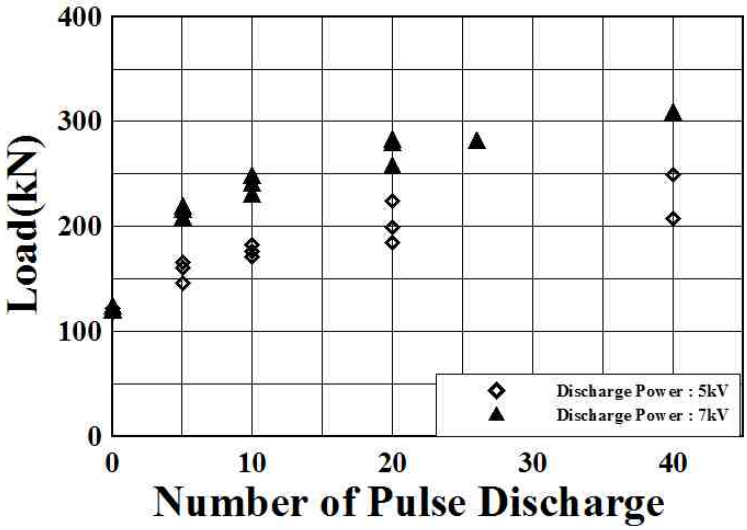


그림 3.2.78. 방전압에 따른 방전횟수별 극한인발력

⑤ 앵커의 하중전이 분포

인발시험 수행 시 앵커에서의 하중분포를 측정하기 위하여 그라우트에 진동현식 변형률계를 설치하여 각 하중 단계마다 그라우트에 발생하는 변형률을 측정하였다. 계측기 위치는 그림 3.2.79와 같이 1~3m 간격으로 설치되었으며, 풍화토 지반에 시공된 앵커에 5개씩 설치하였다. 그림 3.78~82는 방전압 5kV, 방전횟수 20회인 앵커의 그라우트에서의 하중분포, 흙의 인발저항력 분포, 마찰력 분포를 하중 단계별로 나타낸 것이다.

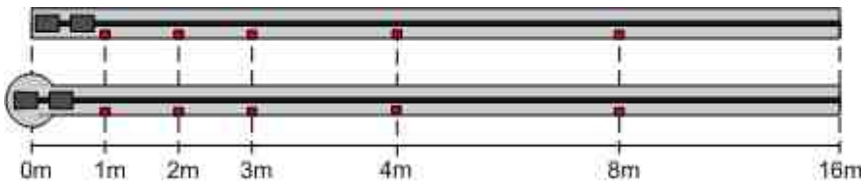


그림 3.2.79. 계측기 매설 위치

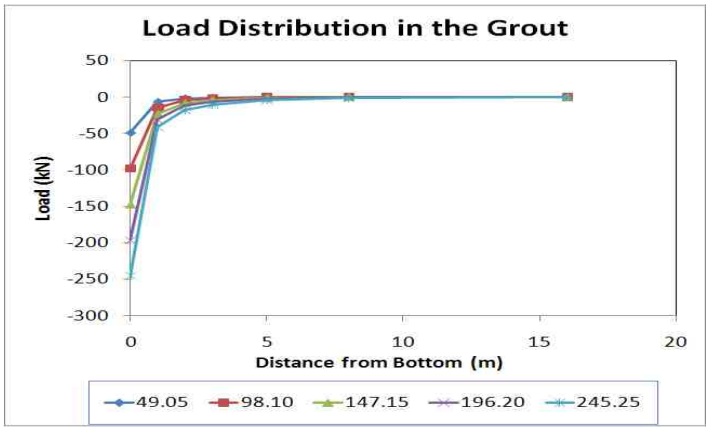


그림 3.2.80. 그라우트의 하중분포 (5kV, 20회 방전)

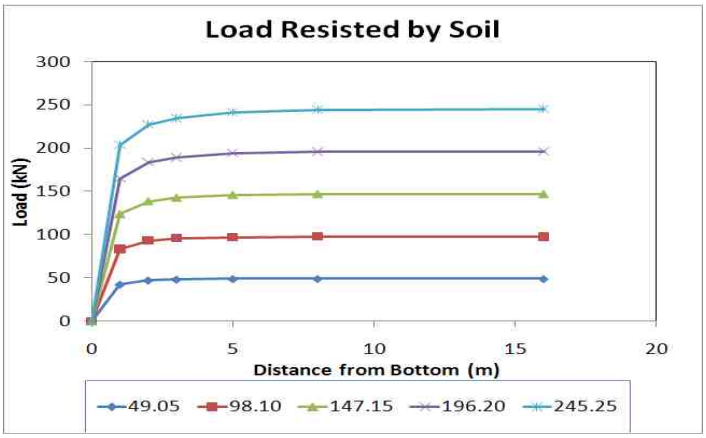


그림 3.2.81. 흙의 인발저항 분포 (5kV, 20회 방전)

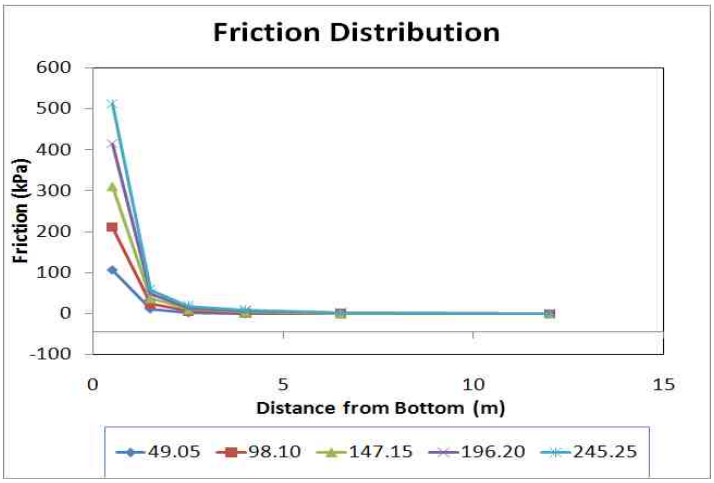


그림 3.2.82. 마찰력 분포 (5kV, 20회 방전)

3. 수치해석

가. 펄스 방전에 의해 확공된 앵커의 인발저항력 예측

(1) 선행 연구 분석

지반 앵커는 인발력에 저항하여 지반구조물을 지지하는 지반 보강재로써 저항 메커니즘에 따라 마찰력에 저항 하는 마찰형 앵커와 플레이트(plate) 또는 헬리컬(Hellical)에 의해 저항하는 지압형 앵커, 그리고 마찰과 지압 거동을 모두 발현하는 복합형 앵커로 나뉠 수 있다(임종철 등, 2000). 지압형 앵커의 경우, 시공 깊이의 한계 등의 문제로 인해 굴착 시공에 있어서의 이용범위는 제한적인 것으로 알려져 있고 많은 사례에서 마찰형 앵커가 주로 활용되고 있으며 이에 비해 마찰 및 지압 거동특성을 모두 갖고 있는 복합형 앵커는 높은 인발력을 얻기 위한 목적으로 적용이 되고 있다 (Littlejohn, 1970, 1980; Jones, 1997; 김준석 등, 2001). 그러나 지압 및 마찰형 앵커에 대해서는 거동 메커니즘 및 인발력 산정에 대해 많은 실험적, 해석적 연구가 이루어져 왔으나 복합형 앵커의 인발력 산정에 관한 연구는 그리 많이 수행되지는 않은 상황이다.

Jones(1997)는 현장시험으로부터 마찰형 앵커 저면을 2.5배 정도 확공하였을 경우 단순 마찰형 앵커에 비해 파괴시 인발저항력이 최소 50%이상 증가함을 확인하였고, 김준석 등(2001)은 실내 모형시험에서 앵커 저면을 2배 확공한 경우 인발 저항력이 2배 증가함을 확인하였다. 한편, 변혁희 등(1997)은 확공비 1.5, 2.0, 3.0인 경우에 대해 확공형 보강재의 상부 지반에서 수동파괴가 일어나고 인발저항력이 증가함을 확인하였다.

일반적으로 확공형 앵커의 인발 저항력을 산정하기 위하여 그림 4-1과 같은 확공형 앵커에 대해 Habib가 제안한 식 (2-35)[홍석우(1999)에서 재인용]를 사용하고 있으며 식 (2-35)는 마찰에 의한 인발저항력과 지압에 의해 저항하는 부분의 단순한 합을 나타낸다. 그러나 Habib의 식은 마찰 저항과 지압 저항의 극한값 발현 시점이 다른 것을 고려하지 않고 단순한 합으로 고려하기 때문에 실제에 비해 큰 인발저항력을 산정하는 것으로 알려져 있어 실제 적용시 세심한 주의가 요구되는 것으로 알려져 있다(한국지반공학회, 1992). Jeong 등 (2005)은 마찰 앵커 저면을 플레이트로 확공한 지반 보강재를 이용하여 사질토에 대한 실내시험을 수행하였고 시험 결과 Habib 식이 인발력을 상당부분 과대평가함을 확인하였고 플레이트와 마찰부분에서 저항력 감소를 확인하였으며 확공 정도가 증가함에 따라 플레이트부분은 저항력 감소 정도가 줄어드는 대신 마찰부에서는 저항력 감소정도가 증가하는 것을 확인하였다.

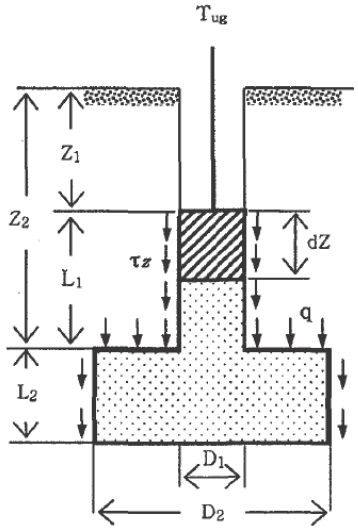


그림 3.2.83. 확공형 보강재의 인발 저항 메커니즘

$$T_{ug} = \pi \cdot D_1 \int_{Z_1}^{Z_1+L_1} \tau_z \cdot dz + \pi \cdot D_2 \int_{Z_2}^{Z_2+L_2} \tau_z \cdot dz + q \cdot A \qquad (2\text{-}35)$$

여기서, T_{ug}: 극한 인발 저항력 (kgf)
D_1: 앵커체의 직경(cm)
D_2: 확공부 앵커체의 직경(cm)
τ_z: 깊이 z인 곳의 단위 면적당 마찰저항 (kgf/cm^2)
q: 앵커체 확대 부분에서의 단위 면적당 지압저항 (kgf/cm^2)
A: 앵커체 확대 부분에서의 유요한 지압면적

마찰형 보강재 정착장의 위쪽 끝부분과 지반 사이의 지압 효과를 고려하는 마찰형 보강재의 극한 인발력 산정식에 대한 연구가 이루어지긴 하였으나 (Murphy, 1974; Hanna, 1982) 이러한 제안식들은 마찰에 의한 저항력과 지압에 의한 저항력의 최대치가 동시에 유발되지 않는 것을 고려하지 못하였으며 Su와 Fragaszy (1988)는 마찰형 보강재의 마찰부분과 상부의 지압부분의 저항력을 분리하여 측정한 결과를 바탕으로 변위특성을 고려한 인발저항력 산정식을 제안하였으나 계산과정의 복잡함으로 인해 제한적으로만 적용될 수 있다.

한편, 기존의 문헌에 따르면 많은 연구자들에 의하여 마찰형 그라우트 앵커 및 지압형 플레이트 앵커의 하중 전이 거동 및 극한 인발력 산정에 대하여 주로 유한요소해석 및 Beam-Columb해석 등의 방법으로 해석이 이루어져 왔다. 이러한 수치해석을 통한 인발력 예측 시 앵커의 얕은 파괴 및 깊은 파괴 거동을 결정하는 임계

근입 깊이(relative depth ratio H/D, H는 앵커의 설치 심도, D는 앵커 지압판의 직경), 앵커체의 직경 및 길이, 앵커와 지반의 경계면에서 마찰 거동 및 지반의 특성(모래의 경우 상대밀도, 내부마찰각, 단위중량, 그리고 점성토의 경우 전단강도와 단위중량)이 주요 영향 변수로 고려되어 왔다 (Merifield와 Sloan, 2006; Song 등, 2008).

또한 Hsu와 Liao (1998)는 사질토에 설치된 원통형 앵커의 인발거동에 대한 실내시험 및 수치해석을 통해 인발 중 앵커 저면부 주위 흙이 앵커 하부의 공극으로 유입되면서 발생하는 응력 이완 효과를 고려할 것을 제안하였다. 이에 반해, 앵커 선단부 저면이 확공된 복합형 앵커에 대한 수치해석적 연구는 많이 이루어지지는 않은 상황이며 Liao와 Hsu(2003)는 그림 3.2.84와 같이 실트질 모래지반에 설치된 underreamed 앵커의 인발 거동을 모델링하였고 이를 현장시험과 비교하여 해석의 적절성을 검증하였으며 underreamed 길이 및 각도에 따른 인발력 변화를 매개변수 해석을 통해 살펴보았다. 현장 실험 및 해석 결과 모두 0.5~1.7°정도의 작은 각도로 underreamed해도 마찰형 앵커에 비하여 매우 큰 인발저항력이 발현되는 것으로 나타났고 마찰형 앵커가 정착부의 길이와 정비례하여 증가하는것에 비해 underreamed 앵커의 경우 추가적인 인발저항력이 발현되는 것으로 확인되었으며 이는 앵커 주면 마찰부에 더 큰 연직응력이 가해지기 때문으로 분석되었다. 그러나 Liao와 Hsu(2003)의 연구는 굴착을 통해 형성한 상대적으로 정착장의 길이가 긴 underreamed 앵커를 대상으로 하였기 때문에 펄스 앵커와 같이 가압을 통해 구근을 형성하는 앵커와 거동 메커니즘이 상이할 것으로 사료된다.

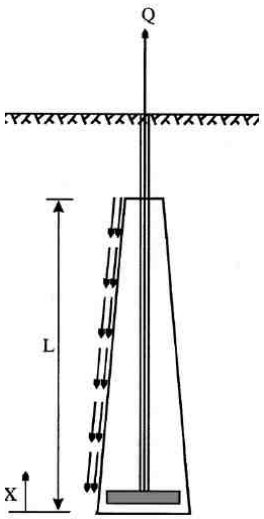


그림 3.2.84. Blade-underreamed 앵커 (Liao와 Hsu, 2003)

한편, 펄스 방전을 이용한 확공형 앵커의 인발력 산정과 관련하여 김낙경 등 (2009)

은 풍화토 및 모래질 점토지반에서 펄스 방전에 의해 확공된 압축형 앵커에 대해 인발시험을 수행하였다. 그림 3.2.85는 김낙경 등 (2009)의 시험 결과로써 풍화토에서는 확공 계수에 따라 인발력이 선형적으로 증가함을 확인할 수 있었던 반면에 모래질 점토지반에서는 확공계수 1.5 이상에서는 인발력 증가가 그리 크게 나타나지 않음을 확인할 수 있었다. 그러나 펄스 확공 및 인발 시험이 다양한 조건에서 수행되지 못하였기 때문에 현장실험 결과로부터 펄스 가압형 앵커의 인발 거동과 관련한 정량적인 분석은 수행되지 않았다.

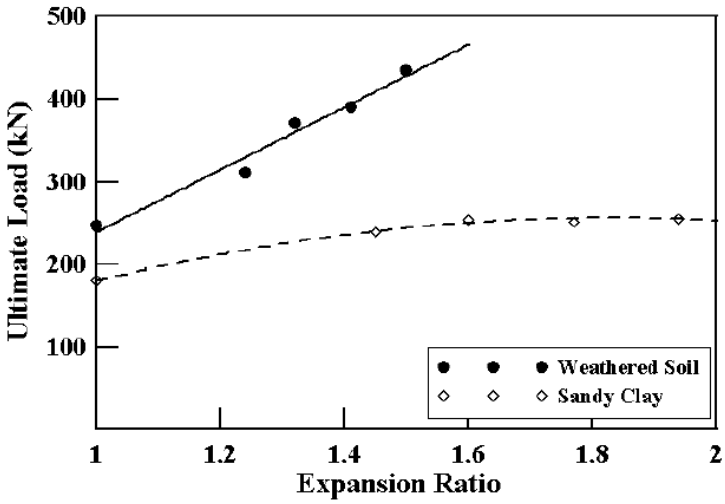


그림 3.2.85. 펄스 앵커 인발 시험 결과 (김낙경 등, 2009)

(2) 구형 확공 효과를 고려한 그라우트 앵커의 인발 해석

(가) 개요

펄스 앵커의 확공효과로 인한 인발력 증가 경향을 평가하기 위해서 기존의 많은 현장 실험에서 확인된 펄스 방전에 의한 구형 구근 형상을 고려한 확공형 그라우트 앵커의 인발해석을 수행하였다. 본 절에서는 김낙경 등 (2009)의 현장 시험을 대상 문제로 하였으며 풍화토와 모래질 점토 지반에 연직방향으로 설치된 확공형 앵커의 인발 거동 문제에 대해 유한요소해석 프로그램 ABAQUS/STANDARD(HKS, 2004)를 이용한 인발 해석이 적용되었다.

(나) 앵커 인발 모델링

① 유한 요소 모델

본 해석에 적용된 앵커의 형상은 그림 3.2.86에 도시된 바와 같이 펄스 방전에 의해 앵커 선단부에 구형 구근이 형성된 것으로 고려하였으며 지반 층상, 앵커 설치 깊이, 앵커 구근 직경, 그리고 정착장 길이 등의 실험 조건은 김낙경 등 (2009)의 논문을 참고하였다. 그림 3.2.85는 풍화토 및 모래질 점토에 설치된 앵커의 인발 해석을 위해 작성된 축대칭 유한요소망(확공계수 E_c=1.4)을 나타낸 것으로 Desai 등 (1986)의 연구결과를 참조하여 경계에 의한 해석 결과 영향을 최소화하기 위해 횡방향으로 10m, 앵커 설치 깊이 아래로 10m까지의 지반 영역을 고려하였다.

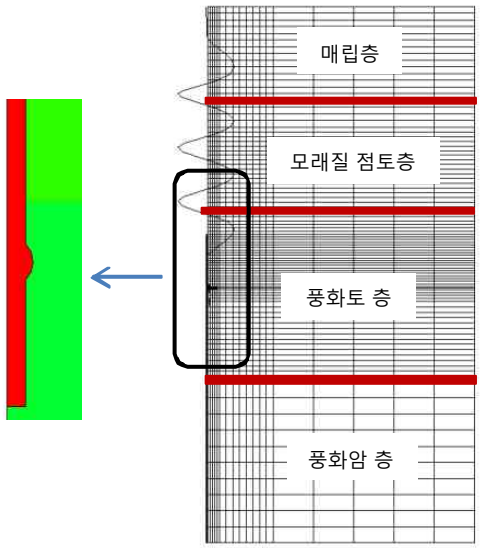


그림 3.2.86. 구형 확공 앵커 인발 해석을 위한 유한 요소망

대상 지반의 지하수위가 앵커 설치 심도 아래 위치하는 것을 고려하여 지반과 앵커의 정착장 그라우트 영역은 8절점 연속체 요소로 모델링 되었으며 강선을 모사하기 위해 1차원 스프링 요소를 적용하였다. 지반과 그라우트 간의 거동은 Kim 등 (2007)의 연구결과를 참조하여 ABAQUS에서 제공하는 Coulomb 마찰 거동(식 2-36)을 통해 모델링하였고 강선과 그라우트간 상호마찰거동은 고려하지 않았다.

$$\tau = \mu \cdot \sigma_n \tag{2-36}$$

여기서, τ는 지반요소와 그라우트 요소 사이에 발생하는 마찰 전단 응력, μ는 마찰계수, 그리고 σ_n은 지반요소와 그라우트 요소 사이에 발생하는 normal 응력을 의미한다.

앵커는 125mm직경을 갖는 압축형 앵커로써 정착장 길이는 2.54m이며, 본 해석에서는 압축형 앵커의 인발 거동을 모사하기 위하여 지표면에서 10.5m (풍화토), 7.5m (모래질 점토)에 위치한 펄스 방전 위치에 압축 선단이 놓여 것으로 고려하였고, 강

체거동을 하는 것으로 가정하였다.

② 입력 물성

해석 대상 지반은 Kim (2003)이 앵커 인발 시험을 수행한 지반과 동일한 지반으로써 지표면으로부터 약 4.5m 깊이까지 매립층, 약 8m까지 모래질 점토층, 그리고 약 14m까지 풍화토층으로 구성된 지반이며 지하수위는 지표면에서 12m 이하에 위치한다. Kim 등 (2007)은 해당 지반에서 수행된 마찰형 압축앵커에 대한 수치해석을 수행하였으며 본 연구에서는 Kim 등 (2007)이 적용한 지반 물성을 사용하였다. 지반 요소에 대해 각 층별로 선형탄성 및 non-associatative flow rule을 따르는 Mohr-Coulomb 소성모델을 적용하였고 Coulomb 마찰계수 μ는 Kim(2003)이 제안한 1.7을 사용하였으며 그라우트 및 강선의 물성은 Neville (1996)이 제안한 바를 참고하여 산정하였다. 입력물성은 표 3.2.20과 같다.

표 3.2.20. 해석에 적용된 입력 물성

재료	밀도 (kN/m^3)	E (MPa)	ν	ϕ'(°)	c' (kPa)	ψ	K_0
매립토	18.6	15,000		25	5	4	0.6
모래질 점토	17.6	20,000	0.3	30	10	4	0.5
풍화토	19.6	45,000		38	20	6	0.4
그라우트	압축강도 20MPa, 탄성계수 21GPa, 포아송비 ν=0.2						
강선	탄성계수 207GPa						

③ 해석 단계 및 극한인발력 결정

해석은 두 단계로 나누어 수행되었다. 첫 해석 단계에서는 지반을 K_0-응력상태로 초기화 하였고, 두 번째 해석 단계에서 지표면 높이에 위치한 앵커의 강선 절점에 인발하중을 선형적으로 증가시키며 부여하였다.

한편, 앵커의 인발력 산정과 관련하여 김낙경 등 (2009)은 Briaud 등 (1998)의 연구결과를 참조하여 소성 변위가 앵커 직경의 10%변위에서의 하중 값을 극한 인발력으로 고려하였으며 본 수치해석에서는 앵커 압축 선단절점의 변위가 12.5mm가 유발될 때의 하중을 극한 인발력으로 산정하였다.

(다) 해석 결과 및 분석

그림 3.2.86~87은 각각 풍화토와 모래질 점토 지반에 대해 수행된 인발 해석으로부터 예측된 하중-잔류변형 곡선과 극한인발력을 김낙경 등 (2009)이 수행한 현장시험과 비교하여 도시한 것이다. 수치해석이 일반 마찰형 샤프트 앵커의 인발력은 잘 예측하고 있으며 이는 본 해석에 적용된 지반, 그라우트 물성 및 마찰 거동 특성이 적절하다는 것을 의미한다. 그러나 구형으로 확공된 앵커에 대한 해석결과는 확공 계수 증가에 따른 극한 인발력 증가가 매우 미미하게 유발되는 것으로 예측하는 것으로 나타났으며 이는 현장 시험에서 확공 계수 증가에 따른 선형적인 극한 인발력 증가와는 큰 차이를 나타내고 있다. 이러한 결과는 펄스 방전에 의해 확공된 앵커의 인발 거동이 단면의 확공 효과만이 아님을 반증하는 것으로써 펄스 방전 기술이 확공 이외에 앵커의 인발 거동과 관련된 지반 재료의 물성, 지반 응력 상태, 그라우트-지반의 마찰 거동 등의 기타 요인에 영향을 미치게 됨을 유추할 수 있으며 따라서 펄스 방전 후 지반 상태를 고려한 인발 해석이 요구됨을 알 수 있다.

(a) 하중-잔류침하 곡선 (b) 확공계수에 따른 극한 인발력

그림 3.2.87. 구형 확공 앵커에 대한 인발 해석 결과 (풍화토)

(a) 하중-잔류침하 곡선 (b) 확공계수에 따른 극한 인발력

그림 3.2.88. 구형 확공 앵커에 대한 인발 해석 결과 (모래질 점토)

(3) 펄스 방전 효과를 고려한 펄스 앵커의 인발력 산정

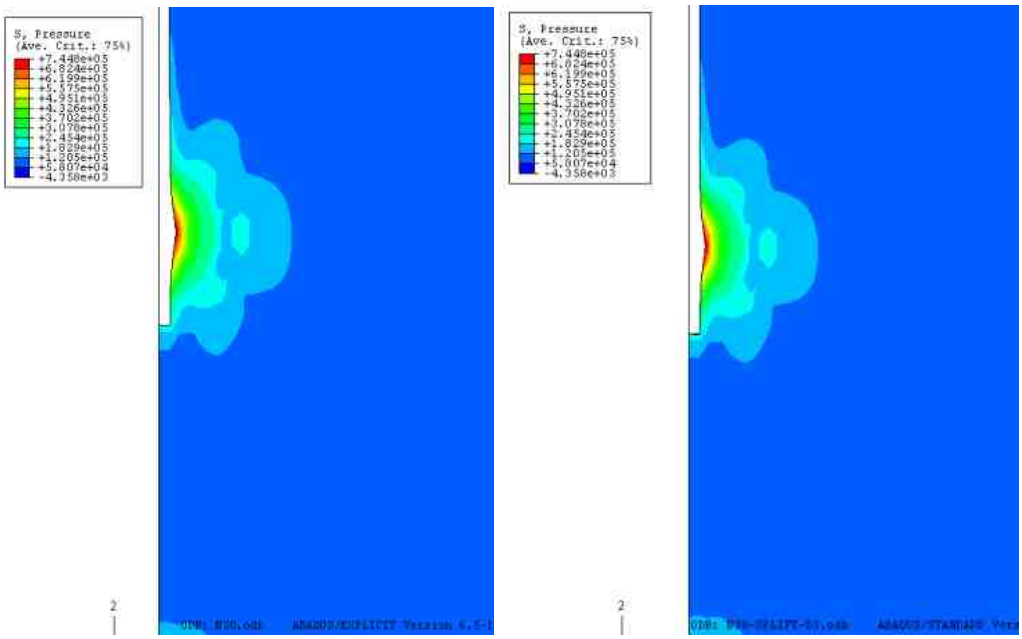
(가) 해석 기법 및 대상 문제

① 해석 기법

펄스 방전에 의해 확공된 지반의 상태를 고려한 인발해석을 수행하고자 확공 해석 결과를 수행하고 그 결과로 얻어진 지반 상태를 바탕으로 ABAQUS/Standard를 이용한 인발해석을 수행하였다. 확공에서 인발로 이어지는 연속적인 해석을 위하여 확공해석이 이루어진 ABAQUS/Explicit의 해석으로부터 얻어진 지반의 변형 및 응력 상태를 *IMPORT 옵션을 통해 ABAQUS/Standard로 transfer한 후 확공 해석 시 시멘트 페이스트를 모사하였던 acoustic 요소를 그라우트 앵커체로 치환하였다. 이후 앵커의 자중을 부여하고 인발해석을 수행하였다. 인발해석 시 지반의 물성은 확공 해석에 적용된 물성과 동일한 물성을 적용하였으며 그라우트 앵커의 물성은 앞서 수행한 구형 확공 해석에서 적용된 물성과 동일한 값을 사용하였다. 한편, 지반-그라우트 간 마찰계수는 식 (2-37)로부터 계산하였으며 여기서 ϕ는 지반의 마찰각을 의미한다.

$$\mu = \tan\phi \tag{2-37}$$

그림 3.2.89는 확공해석을 통해 얻어진 지반의 평균유효응력 상태와 ABAQUS/STANDARD로 *IMPORT 옵션을 통해 transfer된 평균유효응력 상태를 나타낸 것으로 인발 해석 시 펄스 방전에 의한 지반 응력 상태를 동일하게 표현하고 있음을 알 수 있다.



(a) 확공 해석 후 지반 응력 상태 (b) 인발 해석 초기 응력 상태

그림 3.2.89. IMPORT 옵션 적용 시 지반 응력 상태

② 대상 문제

본 절에서 고려한 대상 문제는 그림 3.2.90과 같이 시멘트 페이스트가 지표면 아래로 6~8m 사이에 놓인 125mm 시추공에 대해 ABAQUS/Explicit를 이용한 확공해석을 수행하고 이를 ABAQUS/Standard로 import하여 2m 길이의 정착장을 갖는 앵커에 대한 인발해석을 수행하였다. 이 때 적용된 UNDEX 모델변수, 지반, 그라우트 앵커 및 강선의 물성은 3장에 사용된 것과 거의 동일하나 사질토에 대한 인발 해석 시 지반의 팽창각을 마찰각의 1/3값으로 적용하여 해석의 수렴을 용이하게 하였다.

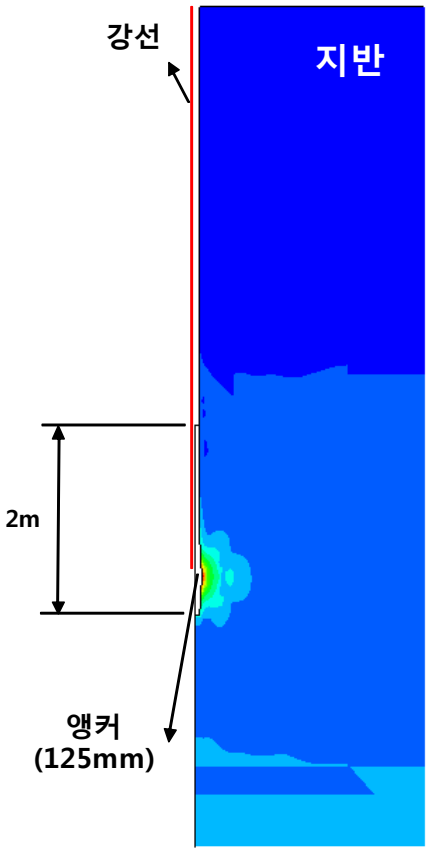


그림 3.2.90. 확공 효과를 고려한 인발 해석을 위한 유한요소 모델

(나) 해석 결과 및 분석

① 점성토

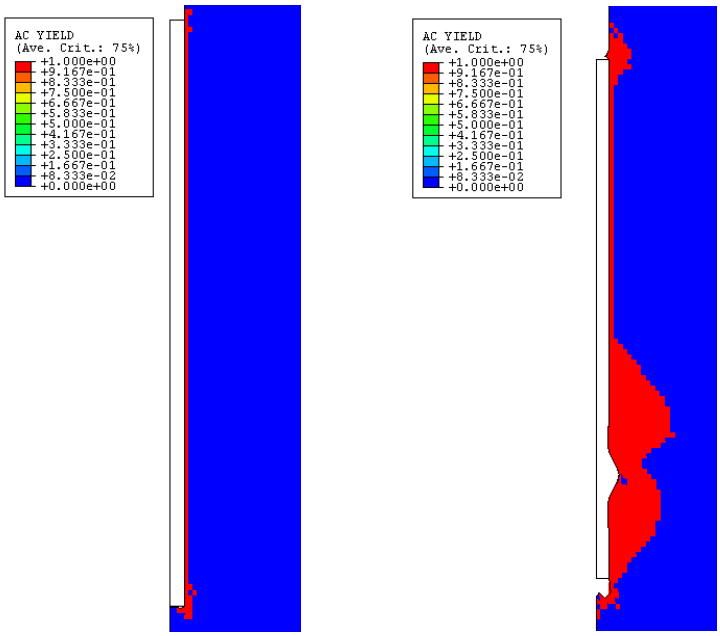
그림 3.2.91은 N_{SPT}=4, 6, 및 8 값을 갖는 점성토 지반에 대해 0~5회의 펄스 방전 확공 해석 결과를 바탕으로 수행된 인발 해석으로부터 예측된 인발하중-잔류변형 곡선을 나타낸 것이다. 펄스 방전이 수행 시 그렇지 않은 경우에 비해 stiff한 하중-변위 곡선을 확인할 수 있으나 1회 방전 이후에는 방전 횟수의 증가에 따른 인발력 증가가 적게 유발됨을 확인할 수 있다. 한편, 마찰형 앵커의 경우 하중-변위 곡선이 일정 수준 이상의 인발력에서 극한 상태에 도달하는 것을 보이는 반면, 펄스 방전이 수행된 경우에는 변위에 따른 인발 하중이 미소하게나마 증가함을 확인할 수 있다. 이는 일반 마찰형 앵커는 앵커에 접하고 있는 지반 요소에서만 항복이 유발되는 거동임에 비하여 확공된 앵커는 확공부 상부에 더 넓은 항복 영역이 유발되기 때문으로 이해될 수 있다. 그림 3.2.92는 N_{SPT}가 4인 지반에 대한 인발해석에서 얻어진 항복영역을 비교한 것으로 확공된 경우가 더 넓은 항복영역을 보이고 있으며 이는 지반 내 인발저항이 더 넓은 범위에서 발생하고 있음을 의미한다.

(a) N_{SPT}=4

(b) N_{SPT}=6

(c) N_{SPT}=8

그림 3.2.91. 펄스 확공을 고려한 인발 해석 결과 (점성토)



(a) 확공 되지 않은 경우 (b) 확공된 경우 (E_c=1.7)

그림 3.2.92. 펄스 확공을 고려한 인발 해석 시 예측되는 항복 영역 (점성토, N_{SPT}=6)

그림 3.2.93. 인발 해석 결과로부터 예측된 극한 인발력 (점성토)

그림 3.2.93은 그림 3.2.90의 인발하중-잔류변형 곡선에서 얻어진 극한 인발력을 비교한 것으로 N_{SPT}값에 상관없이 확공 계수에 따라 완만하게 극한인발력이 증가하

는 것으로 나타났으며 전체적으로 5회 펄스 방전 시 극한 인발력은 약 1.15배(N_{SPT}=8)에서 1.3 배(N_{SPT}=4) 범위로 증가하는 것을 알 수 있다. 한편, 김낙경 등(2009)이 수행한 모래질 점토에서의 인발시험과 비교하면 모래질 점토의 인발력이 본 해석에서 수행한 경우에 비해 크긴 하지만 확공되지 않은 경우에 비해 확공 계수에 따른 극한 인발력의 증가가 완만하게 유발되는 것은 본 해석의 결과와 유사한 경향을 나타낸다. 한편, 김낙경 등(2008)의 실험에서 확공 계수가 낮은 범위 시 극한 인발력이 크게 증가한 것은 본 해석에서 고려한 비배수 점토와는 다른 모래질 점토의 특성으로 사료된다.

② 사질토

그림 3.2.94는 N_{SPT}=20, 30, 및 40인 사질토 지반에 대해 0~5회의 펄스 방전 확공 해석 결과를 바탕으로 수행된 인발 해석으로부터 예측된 인발하중-잔류변형 곡선을 나타낸 것이다. 펄스 방전이 수행 시 그렇지 않은 경우에 비해 stiff한 하중-변위 곡선을 확인할 수 있으나 1회 방전 이후에는 방전 횟수의 증가에 따른 인발력 증가 경향이 감소하고 있음을 알 수 있다.

(a) N_{SPT}=20

그림 3.2.94. 펄스 확공을 고려한 인발 해석 결과 (사질토)

(b) N_{SPT}=30

(c) N_{SPT}=40

그림 3.2.94. 펄스 확공을 고려한 인발 해석 결과 (사질토)

그림 3.2.95은 그림 3.2.94의 인발하중-잔류변형 곡선에서 얻어진 극한 인발력을 비교한 것으로 확공 계수의 증가에 따라 극한 인발력이 증가함을 확인할 수 있으나 방전 횟수가 증가함에 따라 극한 인발력의 증가량이 감소하는 것으로 나타났으며 5회 펄스 방전 시 극한 인발력은 약 1.5배 정도 증가하는 것으로 나타났다. 한편 본 해석 결과를 김낙경 등(2009)이 풍화토 지반에서 수행한 현장 시험 결과와 비교해 본 결과 거의 유사한 확공 계수-극한 인발력 관계를 보임을 알 수 있다. 특히 김낙경 등(2009)이 현장시험을 수행한 풍화토지반의 N_{SPT}=30~40 정도임을 고려해 볼 때 본 연구에서 수행한 인발해석이 합리적으로 인발력을 예측하고 있는 것으로 판단된다.

그림 3.2.95. 인발 해석 결과로부터 예측된 극한 인발력 (사질토)

4. 극한인발력 산정식

가. 기존 산정식 분석

펄스확공형 앵커의 극한인발력 산정식을 구하기 위하여 기존의 이론식을 분석해 보았다. 식 2-38~39는 사질토와 점토지반에서 구근형 앵커의 극한인발력 계산식이다. 사질토에 설치된 앵커에 적용하는 식에서 극한인발력은 구근에서의 마찰력과 구근 상부에서의 지지력의 합으로 이루어져 있으며, 점토지반의 식에서는 구근 상부의 확공이 되지 않은 부분에서의 마찰력까지 고려한 것을 알 수 있다. 또한 각 항에 A, B, α_u, α_s 등의 계수를 두어 그 값을 제안하였다(Littlejohn, 1970a).

$$Q_u = A\bar{\sigma}_{ov1}{}'\pi DL_a\tan\phi + B\sigma_{ov2}{}'\frac{\pi(D_e^2 - D^2)}{4} \quad \text{(Sand)} \qquad (2\text{-}38)$$

$$Q_u = \alpha_s\pi DL_aS_u + \frac{\pi}{4}(D_e^2 - D^2)N_cS_u + \alpha_u\pi D_eL_bS_u \quad \text{(Clay)} \qquad (2\text{-}39)$$

여기서, A = 지반-그라우트 사이의 마찰계수 (1~2, Littlejohn,1970)

$B = N_q/1.3 \sim 1.4$ (Littlejohn,1970)

α_u = 지반교란 영향 계수 (0.75~0.95)

N_c : 지지력 계수

α_s : 점착 계수 (0.3~0.33)

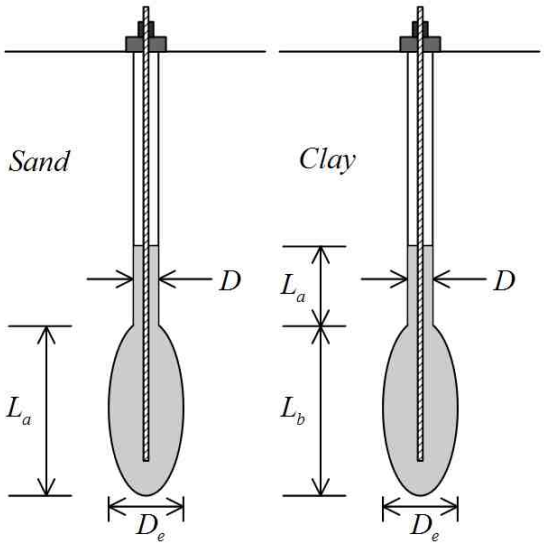


그림 3.2.96. 앵커의 극한인발력 (Littlejohn, 1970a)

식 2-38~39에서 앵커의 극한인발력은 구근에서의 마찰력과 구근 상부에서의 지지력의 합으로 이루어져 있음을 알 수 있다. 그러나 이 식은 인장형 앵커를 기준으로 만들어진 식이므로 압축형 앵커의 거동에 맞도록 정착장 길이 대신 유효정착길이 L_a를 사용하고, 유효정착길이 내에서의 구근 상부 직선부의 마찰도 고려하여야 한다.

나. 극한인발력 산정식 제안

현장 실대형 시험과 실내 모형시험을 통해 앵커의 극한인발력에 영향을 미치는 요소를 지반의 종류, 확공비로 결정하였다. 지반의 종류에 따른 마찰계수를 A, 구근 상부 지반에서의 지지력 관련계수를 B로 놓고, 기존 이론식을 압축형 앵커의 거동에 맞추어 구근 상부에서의 마찰 항을 추가하여 식 2-40~41을 유도하였다. Sandy Clay의 경우 기존 식에서는 구근 상부 정착장에서의 점착계수와 구근에서의 지반교란 영향계수가 구분되어 있으나, 본 식에서는 고려하지 않고 구근 확공에 의한 직경 변화만을 고려하였다.

$$Q_u = A\bar{\sigma}_{ov1}{}'\pi DL_a + B\sigma_{ov2}{}'\frac{\pi(D_e^2 - D^2)}{4} + A\bar{\sigma}_{ov3}{}'\pi D_e L_b \quad (\text{풍화토}) \qquad (2\text{-}40)$$

$$Q_u = AS_u\pi DL_a + BS_u\frac{\pi(D_e^2 - D^2)}{4} + AS_u\pi D_e L_b \quad (\text{Sandy Clay}) \qquad (2\text{-}41)$$

$$D_e = C \times D \quad (7\text{-}5)$$

여기서, A = 지반에 따른 마찰계수

B = 지반에 따른 지지력계수

C = 방전 횟수에 따른 계수 (D_e/D)

D = 확공 되지 않은 앵커의 직경

D_e = 확공 된 구근의 직경

L_a = 구근 상부의 정착전이길이

L_b = 구근의 길이

$\bar{\sigma}_{ov1}'$= 구근 상부 정착장에서의 평균 유효상재하중

σ_{ov2}'= 구근 상부에서의 유효상재하중

$\bar{\sigma}_{ov3}'$= 구근부 중앙에서의 평균유효상재 하중

S_u = 점토의 비배수전단강도

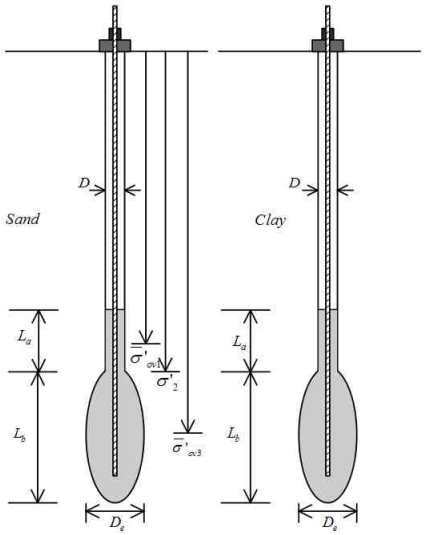


그림 3.2.97. 극한인발력 제안식

다.계수 제안

(1) 마찰계수 A

식에서 사용된 마찰에 관한 계수 A를 구하기 위하여 방전을 하지 않은 직선형 앵커의 극한인발력을 식 2-40~41에 대입하여 계산하였다. 풍화토의 정착전이길이는 5.5장에서 설명한 바와 같이 $20D$의 길이로 설정하였으며, Sandy Clay에서의 정착전이길이는 그림 3.85(Fujita et al., 1978)를 이용하여 지반의 N치에 해당하는 마찰저항을 구하여 식 2-42와 같이 구하였다.

$$Q_u = f_{\max}\pi DL_a\ ,\ 180.4kN = 168.14kPa \times \pi \times 0.128m \times L_a\ ,\ L_a = 2.68m \quad (2\text{-}42)$$

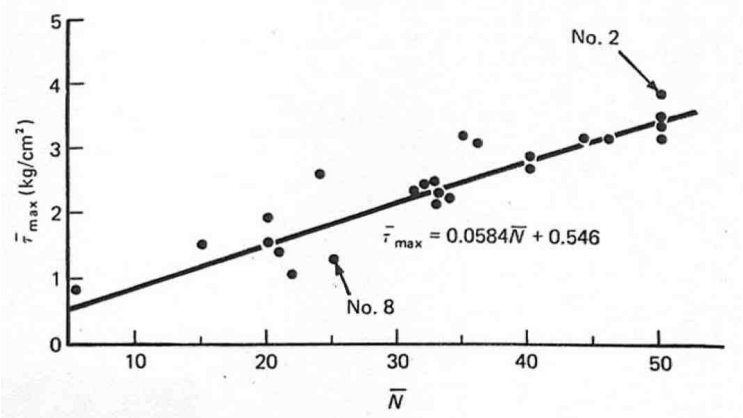


그림 3.2.98. N치와 최대마찰저항의 관계

직선형 앵커의 경우 D값과 D_e값이 같아서 지지력 관련항이 사라지므로 식 2-40~41에 극한인발력과 직경, 유효상재하중, 비배수전단강도 등을 대입하여 A값을 구할 수 있다. 마찰력계수 A는 N치 25인 풍화토에서 1.46, N치 20인 풍화토에서는 1.43, Sandy Clay에서 0.84로 계산되었다.

(2) 확공계수 C

풍화토에서의 확공비 C값은 그림 3.2.99와 같은 사질토의 N치에 따른 확공비 데이터(김태훈 등, 2007)를 최소자승법으로 Curve fitting하여 결정하였다. N치 21~40에 해당하는 곡선의 식은 식 2-43과 같으며, 계산에 사용된 C값은 표 7.1에 나타나 있다. 최소자승법으로 결정된 곡선에서 상관지수 R은 0.75이다.

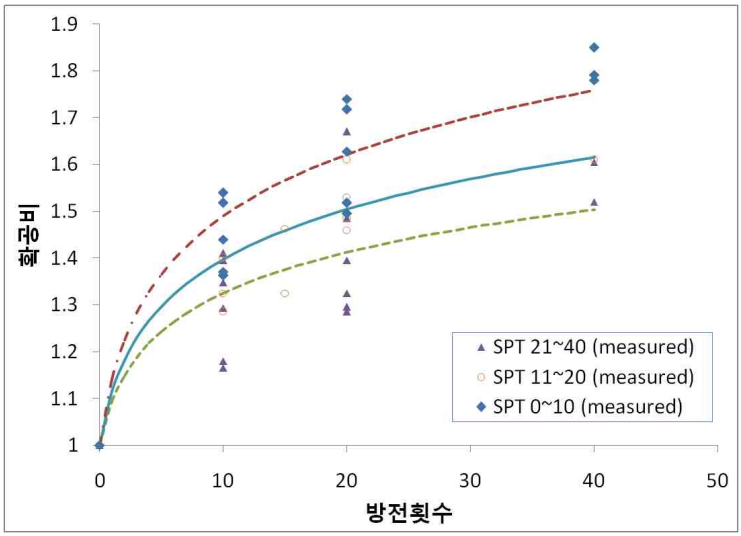


그림 3.2.99. 사질토의 펄스방전 횟수에 따른 확공비

$$C = 1 + \lambda_p \ln(N_p + 1) \tag{2-43}$$

여기서, N_p = 펄스방전 횟수, λ_p = 0.1355

표 3.2.21 펄스방전 횟수에 따른 앵커의 확공비

방전횟수	확공비		
	Sand		
	SPT 0~10	SPT 11~20	SPT 21~40
0	1	1	1
5	1.37	1.30	1.24
10	1.49	1.40	1.32
20	1.62	1.50	1.41
40	1.76	1.62	1.50

Sandy Clay의 확공계수 C는 방전횟수에 따른 확공비 데이터가 없으므로 지지력계수 B에 N_c값인 9를 대입하여 계수 C를 구하였다. Sandy Clay에서의 지지력계수 C는 그림 3.2.100과 같은 경향을 보이며 식은 식 2-44과 같다. 최소자승법으로 결정된 곡선에서 상관지수 R은 0.76이다.

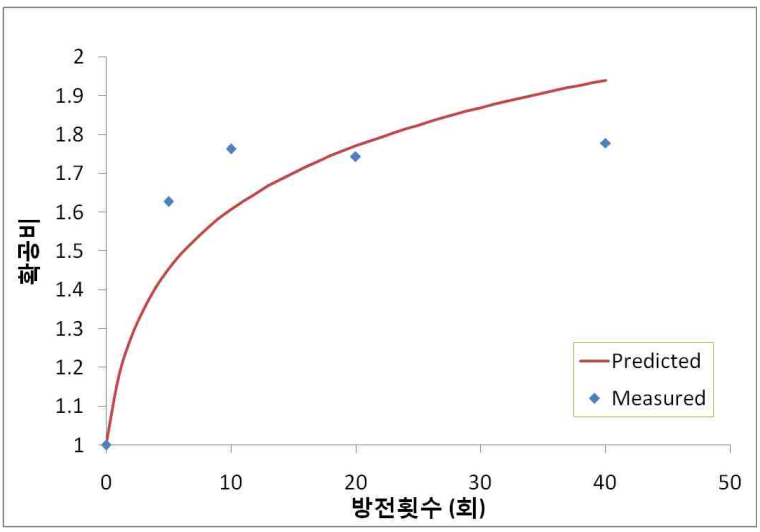


그림 3.2.100. Sandy Clay에서의 확공계수 C

$$C = 1 + \lambda_p \ln(N_p + 1) \tag{2-44}$$

여기서, N_p = 펄스방전 횟수, λ_p = 0.253

표 3.2.22 Sandy Clay에서의 방전횟수에 따른 확공계수

방전횟수	확공계수
	Sandy Clay
0	1
5	1.45
10	1.60
20	1.77
40	1.94

(3) 지지력계수 B

풍화토에서의 방전횟수에 따른 지지력계수 B를 구하기 위하여 식 2-40에 계수 A와 C를 대입하였다. 각 지반에서의 계수는 표 3.2.23과 같으며 최종적으로 펄스방전앵커의 극한인발력 산정식은 식 2-45~46과 같이 된다.

표 3.2.23 풍화토와 Sandy Clay 에서의 계수 A, B, C

	방전횟수 (회)	극한인발력 (kN)	정착전이길이 (m)	확공비 C	A	B
풍화토 (N=25)	0	246.9	2.54	1	1.46	-
	5	310.7	2.54	1.24	1.46	39.88
	10	371.3	2.54	1.32	1.46	60.70
	20	390.5	2.54	1.41	1.46	52.29
	40	434.7	2.54	1.50	1.46	54.72
풍화토 (N=20)	0	119.4	2.54	1	1.43	-
	5	157.5	2.54	1.27	1.43	45.99
	10	176.6	2.54	1.36	1.43	51.04
	20	202.6	2.54	1.46	1.43	57.05
	40	221.4	2.54	1.56	1.43	55.32
Sandy Clay	0	180.4	2.69	1	0.84	-
	5	239	2.69	1.45	0.84	9
	10	254	2.69	1.61	0.84	9
	20	251.7	2.69	1.77	0.84	9
	40	255.8	2.69	1.94	0.84	9

$$Q_u = A\bar{\sigma}_{ov1}'\pi DL_a + B\sigma_{ov2}'\frac{\pi((CD)^2 - D^2)}{4} + A\bar{\sigma}_{ov3}'\pi CDL_b \quad (\text{풍화토}) \qquad (2\text{-}45)$$

$$Q_u = AS_u\pi DL_a + BS_u\frac{\pi(CD^2 - D^2)}{4} + AS_u\pi CDL_b \quad (\text{Sandy Clay}) \qquad (2\text{-}46)$$

$$C = 1 + \lambda_p \ln(N_p + 1)$$

여기서, A = 지반에 따른 마찰계수 (풍화토 = 1.46, Sandy Clay = 0.84)

B = 지반에 따른 지지력계수 (풍화토 = N_q/0.9~1.3, Sandy Clay = 9)

C = 펄스방전에 의한 확공계수

λ_p = 지반에 따른 확공계수

N_p = 펄스방전 횟수

풍화토에서의 마찰력계수 A값은 기존에 실시한 앵커 인발시험에서 구해진 1.7보다 작은 1.46으로 계산되었는데 지반고의 변화와 앵커의 규격의 차이에 의한 것으로 추측된다. Sandy Clay에서는 0.84로 일반적인 점토에서의 점착계수 α의 값보다 큰 값으로 나타났다(그림 3.86). 풍화토의 지지력계수 B값은 Littlejohn(1970)이 모래지반에 대하여 제안한 N_q/1.3 1.4보다 다소 작은 값인 N_q/0.9~1.2의 값으로 나타났다. 그림 3.2.101~103은 실제 시험 데이터와 극한인발력 산정식을 이용하여 계산한 극한인발력을 비교한 것이다.

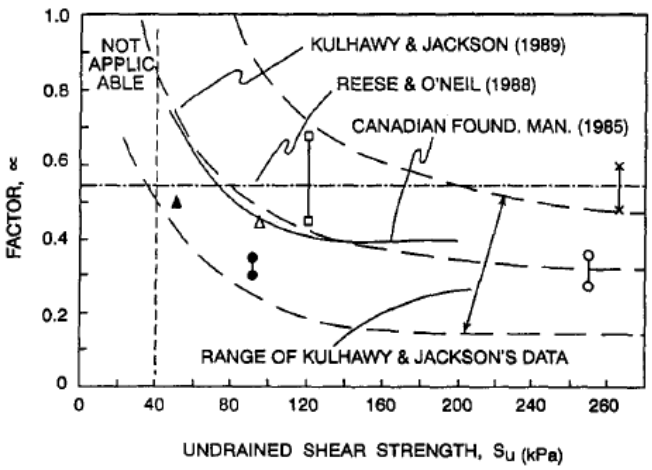


그림 3.2.101. Clay 에서의 α값

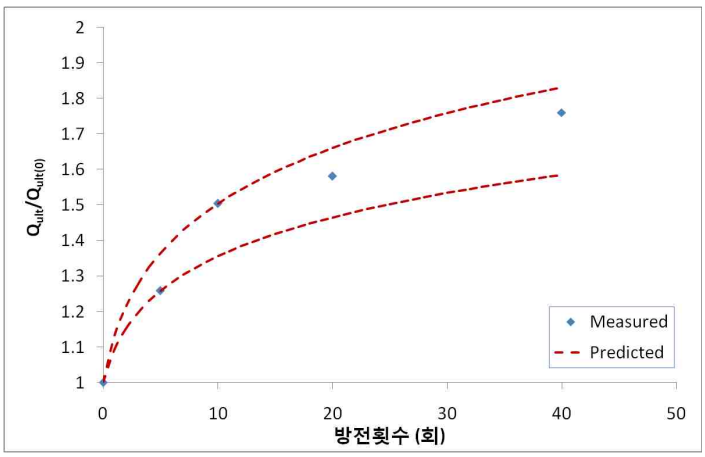


그림 3.2.102. 풍화토에서의 극한인발력 측정값과 계산값의 비교

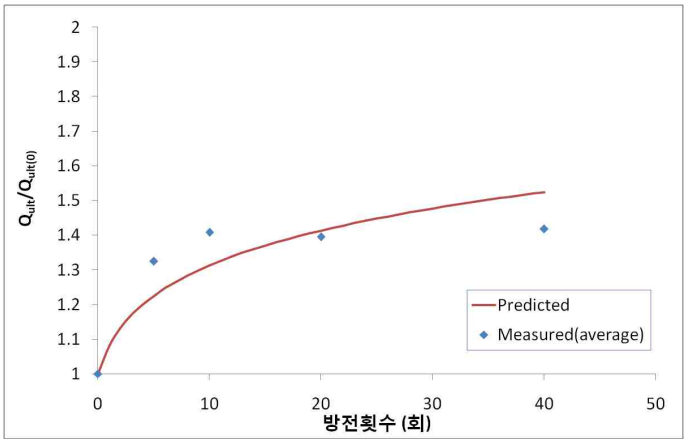


그림 3.2.103. Sandy Clay에서의 극한인발력 측정값과 계산값의 비교

5. 현장시험

가. 현장시험 개요

본 시험은 펄스방전앵커의 설계내력확인 및 비탈면에서의 경사시공시 시공성을 확인하기 위한 시험으로 무방전 앵커 3공, 방전압 5kV, 방전횟수10회인 확공형 앵커 42공을 시공하였다. 무방전 앵커의 앵커체 길이는 22m이고 확공형 앵커는 1단 18.5m 2단 16.5m로 시공하였으며, 확인시험 및 인장시험을 통하여 펄스앵커의 적용성을 확인할 계획이다.

나.현장시험 위치 및 지반특성

(1) 현장위치

현장시험은 경주에서 이루어졌으며, 평면도는 그림 3.2.104와 같다.

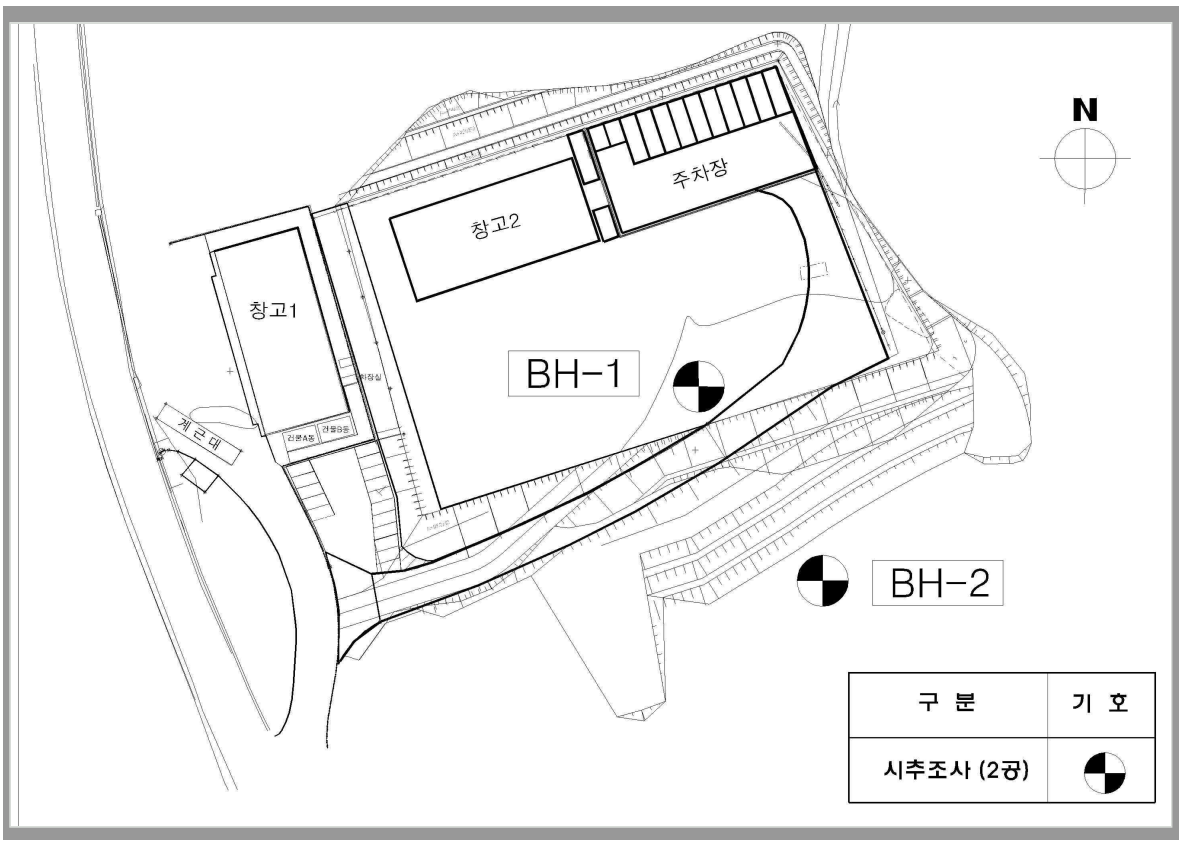


그림 3.2.104. 현장 평면도

(2) 지반특성

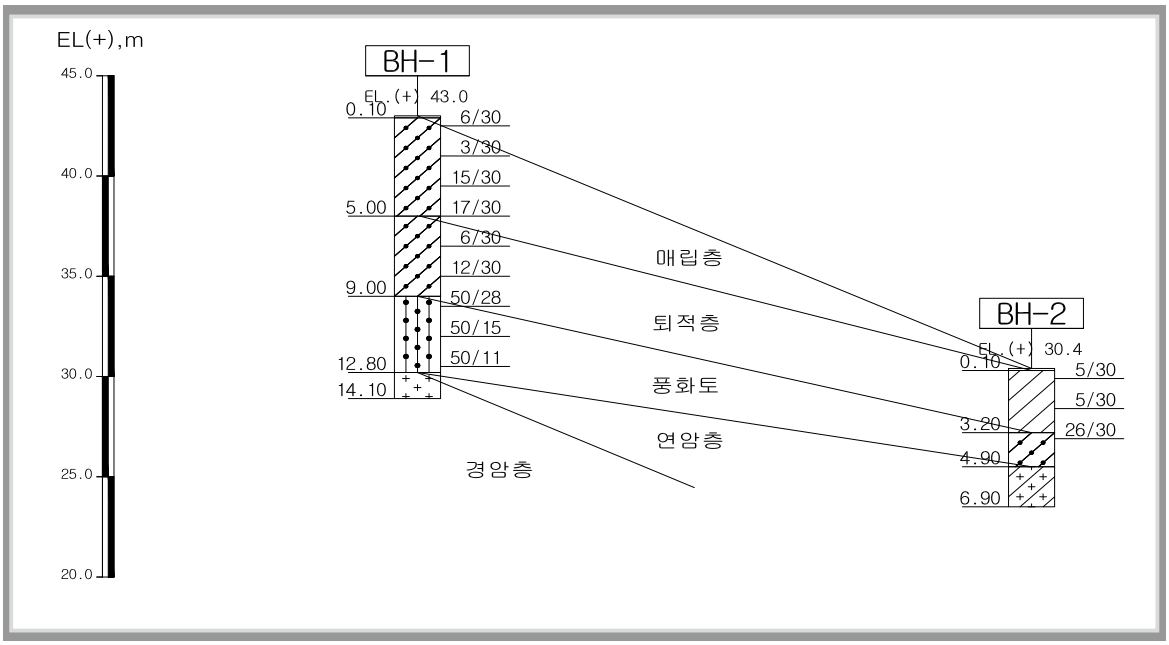


그림 3.2.105. 현장 지층주상도

다. 현장시험 앵커설계

(1) 기존 앵커의 설계

$$Q_D = \pi D L_a \tau_{\max} \qquad (2\text{-}47)$$

$$\therefore L_a = \frac{FS \times P}{\pi \times D \times \tau} = \frac{2.5 \times 27000}{3.14 \times 10.5 \times 2.3}$$

$$= 890cm = 8.9m$$

FS : 정착장설계안전율 = 2.5
P : 설계앵커력 = 27.0
D : 천공직경 = $10.5cm$
τ : 주면마찰응력 = $2.3kgf/cm^2$

표 3.2.24 지반 종류에 따른 지반-그라우트 사이 마찰력

지 반 종 류			주면마찰 저항력(kg/cm2)
암 반		경 암	15 ~ 25
		연 암	10 ~ 15
		풍화암	6 ~ 10
		이 암	6 ~ 12
사력	N치	10	1.0 ~ 2.0
		20	1.7 ~ 2.5
		30	2.5 ~ 3.5
		40	3.5 ~ 4.5
		50	4.5 ~ 7.0
모래	N치	10	1.0 ~ 1.4
		20	1.8 ~ 2.2
		30	2.3 ~ 2.7
		40	2.9 ~ 3.5
		50	3.0 ~ 4.0
점 성 토			1.0C

적용 정착장 길이 $L = 9m$

(2) 펄스방전 확공형 앵커의 설계

현장 적용 시험장의 지반은 표 3.2.25와 같다.

표 3.2.25 현장 적용 시험장의 지반 특성

No.	토층	γ (t)	깊이 H (m)	비고
1	매립토	1.7	5.8	
2	퇴적토	1.7	7.8	
3	풍화토	1.9	12.5	
4	풍화암	2.3	30	

Talren 프로그램해석결과 FS=1.2로 하였을 때 사면에 대한 필요 앵커 설계력은 27tf이다.

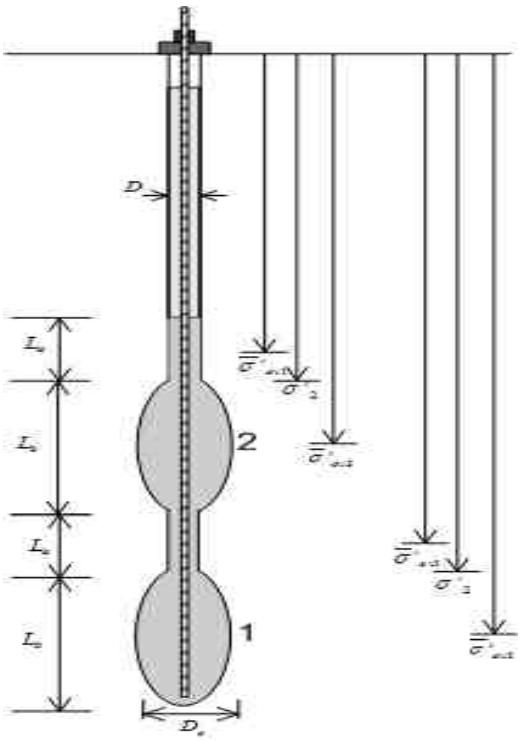


그림 3.2.106.현장 적용 앵커의 개요

확공형 앵커의 극한 앵커력 산정식은 다음과 같다.

$$Q_a = A\overline{\sigma_{ov1}}'\pi DL_a + B\sigma_{ov2}'\frac{\pi((CD)^2 - D^2)}{4} + A\overline{\sigma_{ov3}}'\pi CDL_b \qquad \text{(풍화토)} \qquad (2\text{-}48)$$

$$Q_a = Q_{a1} + Q_{a2}$$

표 3.2.26. 구근에 작용하는 유효응력

유효응력	1번 (tf/m^2)	2 (tf/m^2)
$\sigma_{ov1}{}'$	19.5	16.9
$\sigma_{ov2}{}'$	21.5	18
$\sigma_{ov3}{}'$	21.7	18.2

표 3.2.27 극한인발력 산정식 계수 결정

	1번	2번
가정 정착장 L_a	2.3m	2.2m
가정 정착장 L_b	0.5m	0.5m
확공비 C	1.32	
계수 A	1.46	
계수 B	60.7	

$Q_a = 14.75 + 12.61$
$= 27.36tf > 27tf \qquad OK$

적용 적착장 길이 $L = 5.5m$

라. 펄스앵커 시공

(1) 시공 위치평면도

확공형 펄스앵커가 시공 될 앵커의 단면은 그림 3.2.107과 같다.

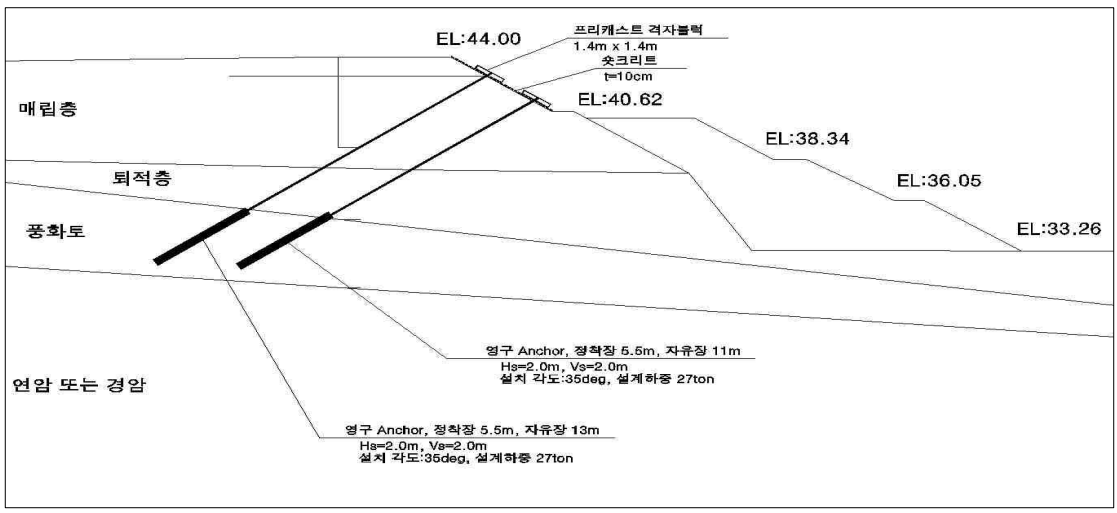


그림 3.2.107. 시험시공 단면도

(2) 앵커 시공 조건

표 3.2.28 펄스앵커 시공 조건

단 수	방전전압	방전횟수	자유장	정착장	시공공수	비 고
1	무방전	0	13M	9.0M	3	
	5kv	20	13M	5.5M	22	- 일반앵커설계시 정착장 9M ▶ 정착장 3.5M 길이 감소
2	5kv	20	11M	5.5M	20	- 일반앵커설계시 정착장 9M ▶ 정착장 3.5M 길이 감소

(3) 공사비 및 공사시간 비교(정착장 길이 3.5M감소)

(가) 일반앵커 대비 공사비 비교

표 3.2.29 공사비 비교 단위 : 원

구분	천공비	강선조립비	그라우팅	펄스방전비	자재	합계
일반앵커 대비 펄스앵커 절감액	8,068,442	2,718,785	753,688	-3,420,000	447,590	8,568,505
공당 절감 단가 (총 45공)	179,299	60,417	16,749	-76,000	9,946	46,205
m당 절감 단가 (3.5m)	51,228	17,262	4,785	-21,714	2,842	13,201

- 일반앵커 대비 펄스앵커 사용시 펄스방전비용이 발생하나 정착장 길이를 3.5m 줄이므로 이에 따른 천공, 강선, 그라우팅, 자재비용등이 절감되어 총공사비에 있어 약 10% 절감효과가 가능함.

(나) 공사시간 비교

표 3.2.30 공사시간 비교 단위 : 분

구분	천공	주입	앵커체삽입		재주입	인발	합계
기존공법 (20m/공)	40	4	2		2	13	61
구분	천공	주입	방전	앵커체삽입	재주입	인발	합계
펄스앵커 (16.5m/공)	33	4	12	2	2	11	64

◎ 토사 천공 : 2m/min, 인발시간 1.5m/min (작업공정별 현장시간 측정근거로 산출)

- 일반앵커 대비 펄스앵커 사용시 정착장 길이를 3.5m 줄이므로 이에 따른 천공시간 및 케이싱 인발시간 단축으로 방전소요시간과 비교시 거의 공사시간 차이는 없으므로 펄스방전 공정추가에 따른 공기지연은 없다고 볼수 있다.

마. 계측

현장시험은 설계서에 제시된 설계력을 기초로 다음과 같이 수행되었다.

(1) 인장시험

표 3.2.31 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)				

(2) 확인시험

인장시험에 사용한 앵커를 제외한 모든 앵커에 대해 실시하고 설계하중에 대한 앵커내력을 확인하기 위해 설계하중의 1.0배의 하중에 대한 단기적인 앵커내력에 대한 실증을 하고자 한다.

바. 현장시험 결과

(1) 인장시험

총 45공 시공앵커중 무방전 2공 펄스방전(5kv) 2공에 대한 인장시험을 실시하였다. 펄스방전 확공형 앵커의 적용성을 확인하기 위해 인장시험에서의 하중단계에 따른 변위가 허용범위 내에 들어오는지를 확인하여 판단하였다. 최대허용 변위는 각 하중에 따른 강선 늘음량의 110%이고 최소허용 변위는 강선 늘음량의 80%이다.

(가)하중-변위 곡선

인장시험의 결과에서 각 하중단계에서 변위를 측정하여 하중-변위 곡선을 구하였다. 그림 3.2.108은 무방전 앵커의 하중-변위 곡선이고, 그림 3.2.109는 10회방전 앵커의 하중-변위 곡선이다.

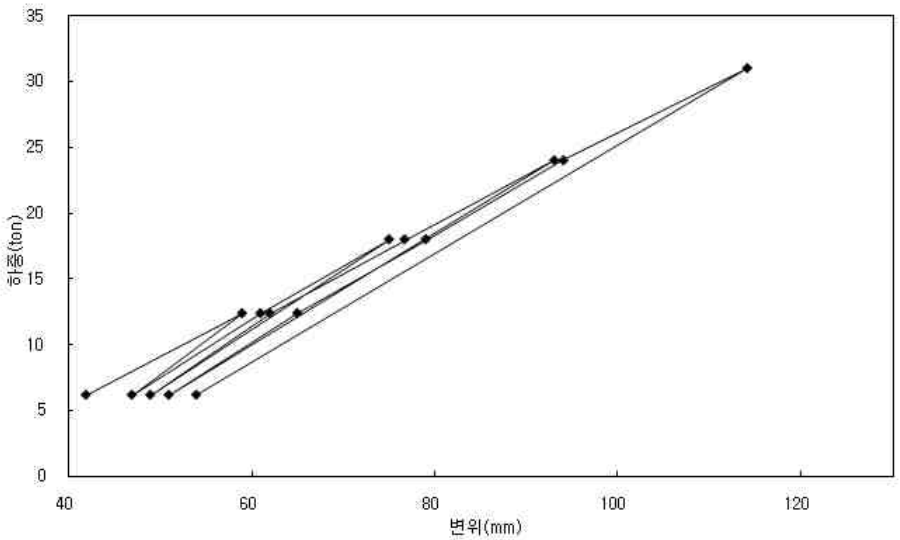


그림 3.2.108. 하중-변위 곡선(무방전)

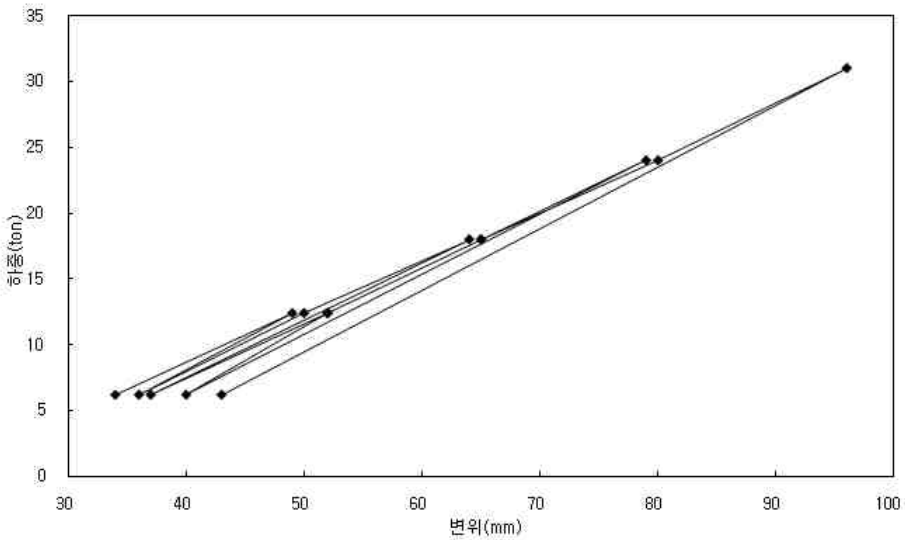


그림 3.2.109. 하중-변위 곡선(10회방전,18m)

(나)변위곡선

각 하중단계에서 변위가 허용범위내에 있는지를 그림 3.2.110~113 변위곡선(무방전, 21.5m)과 같이 나타내었다. 펄스방전 확공형 앵커에서 변위가 허용범위내에 있는 것을 확인할 수 있었다.

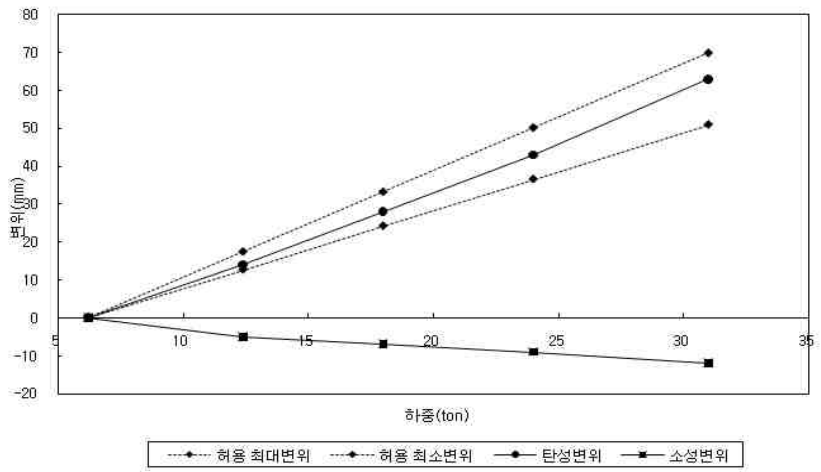


그림 3.2.110. 변위곡선(무방전, 21.5m)

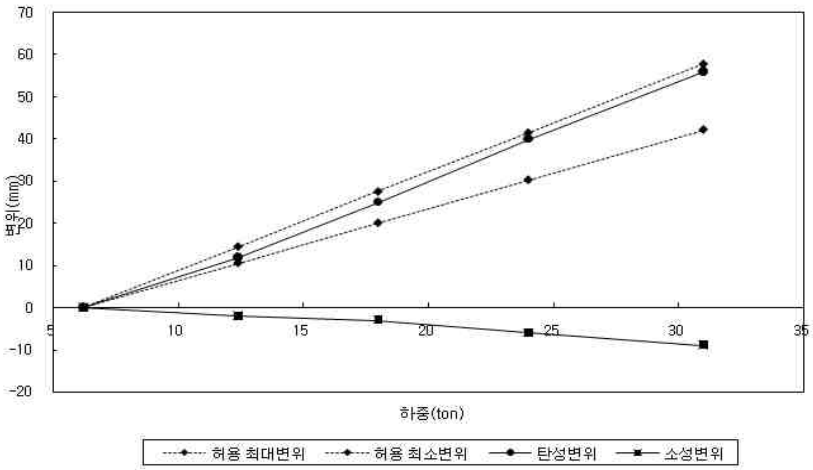


그림 3.2.111. 변위곡선(무방전, 18m)

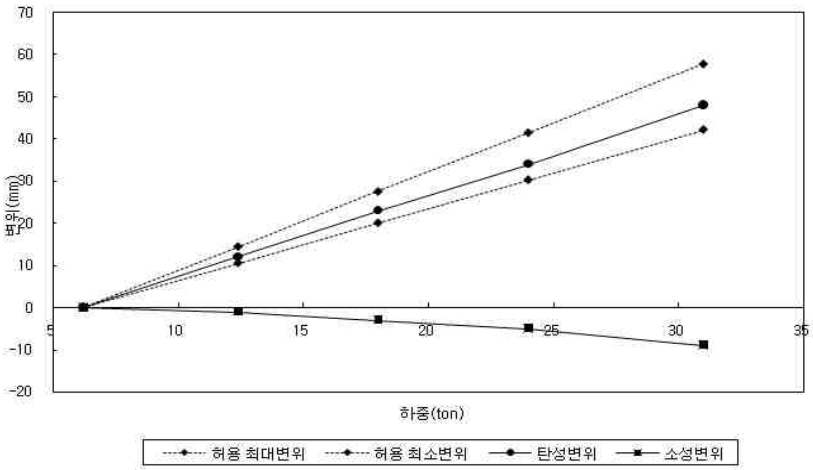


그림 3.2.112 변위곡선(10회방전, 18m)

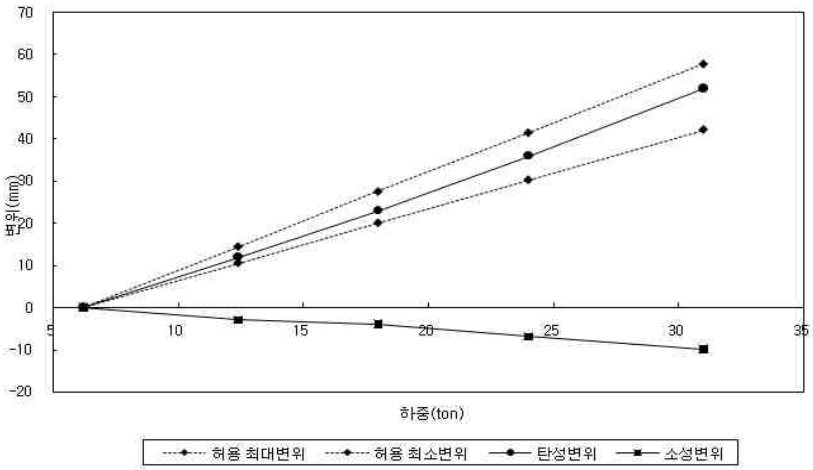


그림 3.2.113. 변위곡선(10회방전, 18m)

(2) 확인시험

인장시험을 제외한 나머지 시험앵커의 경우 확인시험을 실시하였으며,실시된 모든앵커의 경우 설계하중에 해당하는 앵커내력을 확보하고, 있음을 확인하였다,

(3) 시공성

(가) 선단장치개선후 기존방법 대비 시공성 비교

펄스앵커의 경우 일반앵커대비 펄스방전 단계가 추가로 소요가 된다. 시공시방전을 위한 단계는 롯트 체결 -> 펄스 방전 -> 롯트 해체 순으로 진행된다.
기존 시공시 케이블을 보호하기 위하여 2m 길이의 강철봉(Ø48.6)을 근입깊이만큼 사용하였다. 이 시스템은 선단장치의 삽입과 인발제거 시 작업자가 인력으로 일일이 조립과 해체를 해야함으로 시공시간의 불가피한 증가와 함께 작업성을 떨어트리는 주원인이었다.
기존의 강철봉을 일부 구간만 사용하고 남은 구간은 PE파이프를 이용하여 케이블을 보호하고 선단체로의 누수를 차단하는 시스템을 도입하여 약 16분정도의 시간적 경제성을 향상시키고 작업성을 크게 증대시켰다.

표 3.2.32 롯트개선 전후 비교 단위 : 분

단계	기존 방전 방법	개선 방전 방법	비고
롯트 체결	10분	1분	< 기준 > ◆ 지반굴착 : 18m ◆ 방전전압 : 5kv ◆ 방전횟수 : 20회
방전	10분	10분	
롯트 해체	8분	1분	



그림 3.2.114. 기존 선단장치와 개선된 선단장치의 시공 비교 사진

6. 요약 및 결론

1) 현장 인발 시험과 모형시험을 통해 사질토 지반에서의 하중-변형관계 및 확공에 의한 극한하중 증가 효과를 알 수 있었다. 현장시험에서 풍화토 지반에 설치된 앵커에서는 방전횟수가 증가하여 구근이 커짐에 따라 극한인발력이 증가하는 경향을 보인다. Sandy Clay에서도 유사한 경향을 보이나 풍화토 지반에 비해 상대적으로 확공효과는 적었다. 모형시험을 통해서도 사질토에서 상대밀도에 따른 확공효과를 알 수 있었다. 동일한확공비와 구근 개수를 가지는 앵커에서 사질토의 상대밀도가 증가할수록 앵커의 확공효과는 커지는 경향을 보인다.

2) 앵커의 확공비가 극한인발력에 미치는 영향을 알아보기 위해 현장시험에서 펄스방전의 횟수를 조정하여 시험을 수행하고 모형시험에서는 확공비를 변화시켜 시험을 수행하였다. 현장시험에서 앵커의 극한인발력을 가장 많이 증가시키는 요인은 확공비 였으며 확공비가 증가함에 따라 앵커의 극한인발력이 증가하는 것이 확인되었다.

3) 모형시험과 현장시험 결과 앵커 구근의 개수에 따라 극한인발력이 증가하였으나 현장시험에서는 구근 개수에 따른 인발력 증가 효과가 미미하였다. 이는 Sandy Clay 지반에서의 그라우트 누수 및 시공 오차에 의한 영향으로 판단된다.

4) 모형시험 결과를 이용하여 확공형 앵커의 극한인발력에 영향을 미치는 인자를 지반의 종류와 확공비로 설정하고 확공형 앵커의 극한인발력 산정식을 제안하였다. 이 중 확공비를 결정하는 계수 C와 펄스방전횟수의 관계를 추출한 구근을 통해 밝혀내었다. 또한 지반의 종류별로 마찰력계수A와 지지력계수B의 범위를 현장데이터를 통하여 산정하였다.

5) 실제 펄스 방전에 의해 확공된 지반 상태에 대해 앵커 인발 해석을 수행한 결과 사질토 지반에서 펄스 방전 기술은 앵커의 극한 인발력을 1.5배 수준으로 향상시킴을 확인할 수 있었으며 해석 결과는 현장에서 수행된 펄스 앵커 인발 시험과 부합하였다. 펄스 파워로 가압되지 않은 확공 앵커의 인발 거동과 비교해 볼때 펄스 앵커의 인발력 증진 요인은 펄스 방전 및 확공으로 인해 유발된 주변 지반 다짐에 의한 것으로 사료된다.

6) 현장시험시 펄스방전 공정을 통하여 소요되는 시간은 약 12분정도로 기존 일반앵커에 비하여 앵커의 길이가 짧아지는 특성상 천공깊이가 감소되어 약 15~25분정도의 천공시간이 줄어듦으로서 실제 시공 시 걸리는 시간은 펄스앵커가 일반앵커 대비 비슷하거나 시공성이 좋은 것으로 나타났다.

제 3 절 펄스확공 메커니즘 규명 및 펄스방전시스템 개발

1. 펄스확공 메커니즘 규명

가. 펄스확공 영향인자

(1) 모형시험장치

(가) 실험 장치

그림 3.3.1의 간략한 회로도 및 실험 개략도에 나타내어진 펄스전원은 상용입력 전원(교류 380 V)을 DC(직류)로 만들어 축전지에 전기에너지를 충전하는 충전부, 고밀도의 에너지를 저장할 수 있는 캐패시터 뱅크(Capacitor Bank), 저장된 에너지를 방전할 수 있는 대전력 스위치, 그리고 이들을 제어할 수 있는 제어부로 구성되어지며 대 전력 송전 케이블은 도체 단면적이 26mm^{2}의 동축케이블을 사용하여 인덕턴스 및 방전 시 발생하는 반발력을 감소하게 설계 되었다. 펄스전원의 자세한 사양은 표3.3.1에, 챔버와 전원 공급장치 그리고 선단장치를 장착한 케이블은 그림 3.3.2~4에 나타내었다.

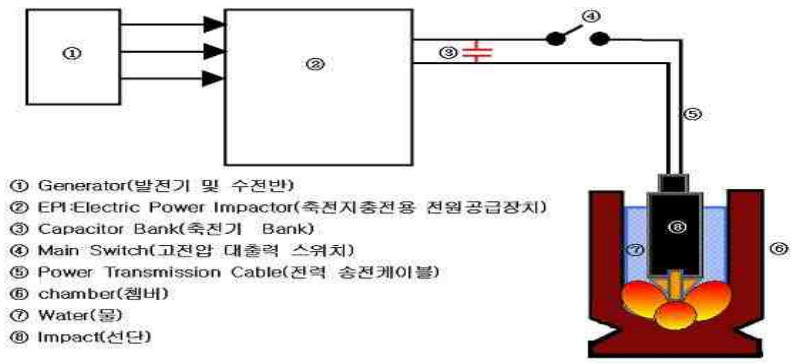


그림 3.3.1. 펄스방전 개략도

표 3.3.1. 펄스방전시스템사양

모델명	EPI 2001K
정격전압	9,000V
저장에너지	250kJ
충전방식	정 전류방식
충전시간	20초
캐패시턴스	6.6mF
제어방식	마이콤제어방식
총중량	1.8톤

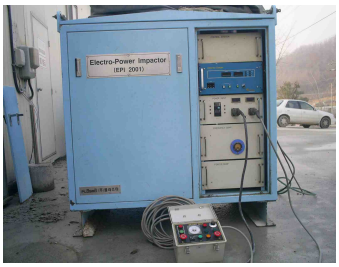


그림 3.3.2.
전원공급장치



그림 3.3.3.
실험 챔버



그림 3.3.4.
선단장치 및 케이블

(나) 계측장비

선로에 흐르는 전압, 전류, 저항의 크기를 측정하기 위해 사용된 계측장비 사양은 표 3.3.2에 나타내었으며, 장비의 사진을 나타내었다.

표 3.3.2. 계측장비사양

기기명	모델명	규격	비고
LCR meter	agilent4263b	-	저항값측정
절연테스트기	AVO Megger BM80-2	-	
오실로스코프	TDS3034	4CH,300MHz	전류,전압측정
오실로스코프	DPO4034	4ch350MHz	전류,전압측정
고전압프로브	P6015A-1	1000:1	전압측정
로고스키코일	CWT1500R	1000:1	전류측정
압력센서	M109C12	100k psi, 0.07mV/psi	압력측정



LCR meter



절연테스트기



고전압프로브



오실로스코프



압력센서



로고스키코일

그림 3.3.5. 계측장비

그림 3.3.6~7에서는 방전실험 모식도를 나타내었으며, 전압, 전류, 압력의 측정 위치를 표시하였다. 상용전원을 5kV로 충전하여 짧은 시간에 방전시키고 케이블에 흐르는 전류는 CWT600R, 전압은 P6015 High-Voltage Probe 를 DPO4034 오실로스코프에 연결하여 측정하였다. 방전 시 챔버 내부에서 발생하는 압력은 압력센서 Model M109C12를 이용하여 방전선단에서 45°지점 챔버 내부에 부착하여 측정하였다.

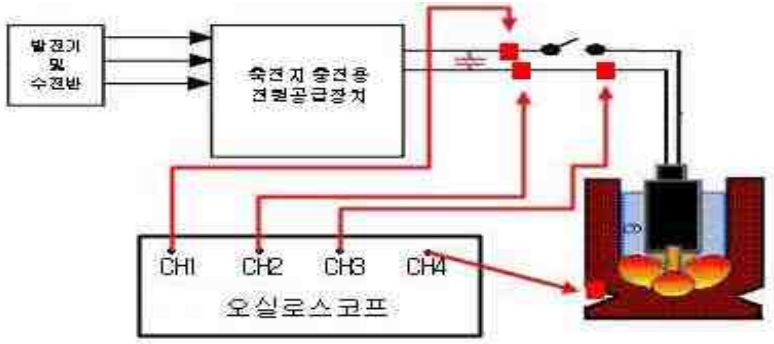


그림 3.3.6. 방전실험 모식도(압력측정)

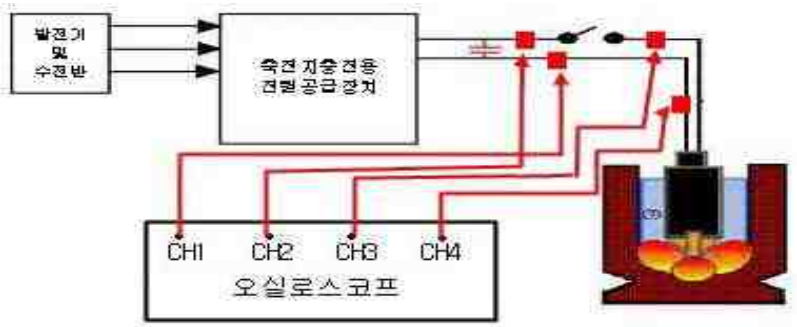


그림 3.3.7. 방전실험 모식도(전압강하측정)

(2) 펄스방전용 동축케이블의 주파수별 고유값 측정

LCR meter를 사용하여 두 개의 동축케이블의 적용 주파수별 측정값을 30회 측정한 결과 평균값을 아래 표와 같이 나타내었다.

•**Cable 1**(펄스방전용 동축케이블 길이 25.78m).

표 3.3.3. 동축케이블의 고유 값(120Hz)

적용주파수 : 120Hz					
구분	측정값	단위	구분	측정값	단위
R	116	mΩ	-	-	-
L_P	5.7	μHz	R_P	119	mΩ
L_S	0.0046	Mh	R_S	134	mΩ
C_S	-390	μF	R_S	130	mΩ
C_P	-	μF	R_P	-	mΩ

표 3.3.4. 동축케이블의 고유 값(1kHz)

적용주파수 : 1kHz					
구분	측정값	단위	구분	측정값	단위
R	119	mΩ	-	-	-
L_P	90	μHz	R_P	126	mΩ
L_S	4.28	Mh	R_S	155	mΩ
C_S	-5.91	μF	R_S	120	mΩ
C_P	-250	μF	R_P	134	mΩ

표 3.3.5. 동축케이블의 고유 값(10kHz)

적용주파수 : 10kHz					
구분	측정값	단위	구분	측정값	단위
R	124	mΩ	-	-	-
L_P	5.1	μHz	R_P	644	mΩ
L_S	4.13	Mh	R_S	132	mΩ
C_S	-61.05	μF	R_S	131	mΩ
C_P	-49	μF	R_P	633	mΩ

•Cable 2(펄스방전용 동축케이블 길이 24.36m)

표 3.3.6. 동축케이블의 고유 값(120Hz)

적용주파수 : 120Hz					
구분	측정값	단위	구분	측정값	단위
R	125	mΩ	-	-	-
L_P	6.2	μHz	R_P	126.5	mΩ
L_S	0.004	Mh	R_S	110	mΩ
C_S	-400	μF	R_S	118	mΩ
C_P	305	μF	R_P	123	mΩ

,

표 3.3.7. 동축케이블의 고유 값(10kHz)

적용주파수 : 10kHz					
구분	측정값	단위	구분	측정값	단위
R	125	mΩ	-	-	-
L_P	5.045	μH_Z	R_P	581.5	mΩ
L_S	3.772	Mh	R_S	117	mΩ
C_S	-67	μF	R_S	121	mΩ
C_P	-	μF	R_P	-	mΩ

Cable 1, Cable 2의 적용 주파수별 고유 저항값(R), 인덕턴스(L), 캐패시턴스(C), 즉 케이블의 고유 매개변수 값을 LCR meter 로 측정하여 나타내었다. 이러한 값들은 mΩ, μF, μH_Z 에서 볼 수 있듯이 아주 작은 값들이다. 이 값이 케이블의 매개변수 측정값에 중요한 것은 순간적으로 방전용 대전력이 케이블에 흐를 경우 전류의 흐름을 방해하고 방전시간을 지연시키는 요소들이기 때문이다. 실험에서 얻은 측정값을 이용하여 확공형 앵커 공법용 펄스방전 시공 장비의 개발 시 필요한 케이블의 매개변수를 찾아 내었다. 이를 통하여 펄스방전에 적합한 케이블의 특성을 파악할 수 있다.

(3) 특수실리콘 절연 후 선단장치의 절연특성 파악

펄스방전용 동축케이블의 안전성을 확인하기 위하여 절연정도 측정. 특수실리콘으로 절연 하는 경우와 절연하지 않는 경우를 비교 하는 것은 케이블 선단부(+),(-)의 표면 저항의 크기를 측정해보기 위함이다. 선단방전장치 전부를 노출한 상태와 특수 실리콘으로 절연했을 경우 전압별 절연정도를 절연 테스터기를 이용하여 측정하였다.

•Cable 1, 길이 25.78 m(펄스방전 선단장치 절연 전 측정값)

표 3.3.8. 절연 저항값

횟수 / 전압	1회	2회	3회	평균값
50v	447MΩ	452MΩ	302MΩ	400MΩ
100v	370MΩ	209MΩ	245MΩ	274MΩ
250v	240MΩ	170MΩ	178MΩ	169MΩ
500v	205MΩ	150MΩ	145MΩ	166MΩ
1kv	154MΩ	112MΩ	104MΩ	123MΩ

* 펄스방전 선단장치 특수실리콘 절연 후 측정 값

표 3.3.9. 절연 저항값

횟수 / 전압	1회	2회	3회
50v	10GΩ	-	-
100v	20GΩ	-	-
250v	50GΩ	-	-
500v	100GΩ	-	-
1kv	90GΩ	-	-

•**Cable 2, 길이 24.34 m**(펄스방전 선단장치 절연 전 측정값)

표 3.3.10. 절연 저항값

횟수 / 전압	1회	2회	3회	평균값
50v	300MΩ	506MΩ	434MΩ	413MΩ
100v	260MΩ	350MΩ	236MΩ	282MΩ
250v	230MΩ	270MΩ	198MΩ	232MΩ
500v	206MΩ	184MΩ	147MΩ	179MΩ
1kv	170MΩ	138MΩ	350MΩ	219MΩ

* 펄스방전 선단장치 특수실리콘 절연 후 측정값

표 3.3.11. 절연 저항값

횟수 / 전압	1회	2회	3회	평균값
50v	10GΩ	10GΩ	10GΩ	10GΩ
100v	20GΩ	20GΩ	20GΩ	20GΩ
250v	50GΩ	50GΩ	50GΩ	50GΩ
500v	100GΩ	50GΩ	60GΩ	70GΩ
1kv	60GΩ	45GΩ	45GΩ	50GΩ

실리콘 절연전과 후의 절연정도의 차이를 알 수 있었다. 이 차이 값이 선단의 표피저항 값이므로 선단에서의 펄스방전시 방전효율을 떨어뜨리는 작용을 함을 알 수 있다.

(4) 캐패시터 용량에 따른 발생 전력 및 발생 에너지 분석

캐패시터의 충전용량 산정은 지반의 성격에 따라 다른 특성의 에너지를 지반에 적용하여 효과적인 확공, 다짐의 효과를 발생시키는 에너지의 발생 양상을 알아보기 위하여 실험하였다. 지반에 작용하는 에너지 즉 방전 시 발생하는 에너지는 $E=\frac{1}{2}CV^2$ 의 식에 근거하여 전압(V)는 일정하게 하고 C 에 해당하는 캐패시터의 값만을 변화하면서 방전하였을 때 방전의 양상을 실험을 통해 알아보았다.

각 변수 당 30회 실험 후 발생 전력과 발생에너지의 평균 값을 분석하여 그림 3.3.8~9에 나타내었다. 그림 3.3.8~9는 적용전압을 7000 volt, 1차 연구결과 가장 이상적인 적용저항은 505mΩ으로 일정하게 하고 캐패시터의 용량을 조절하여 방전실험을 행한 것으로 캐패시터의 용량에 따른 방전양상을 나타낸 것이다.

캐패시터 하나의 용량은 약 0.800 ~ 0.830 mF 인 캐패시터로 하나에서 여덟 개까지를 병렬 연결하여 용량을 조절하였다.

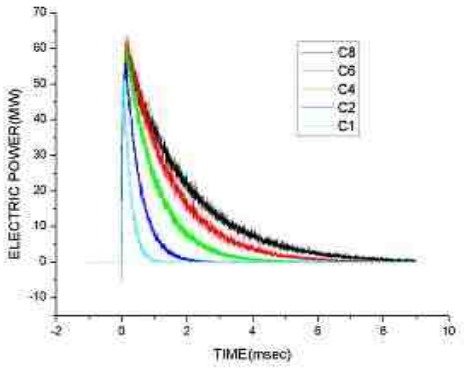


그림 3.3.8. 캐패시터의 용량에 따른 발생전력

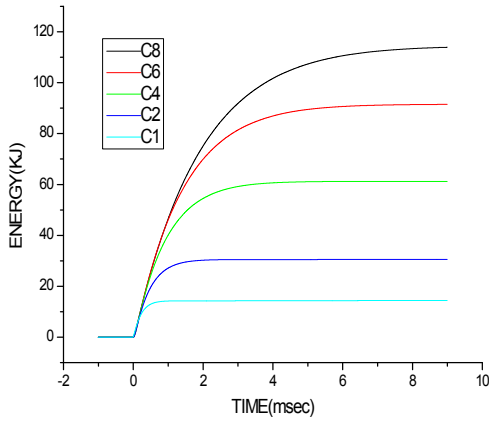


그림 3.3.9. 캐패시터 용량에 따른 발생에너지

그림 3.3.8에 나타내어져 있는 C1, C2 ~ C8은 캐패시터를 병렬연결 한 개수를 나타내는 것이며 가장 오른쪽이 C8(캐패시터 8개를 병렬연결 했을때 충전용량이 6.6mF인 경우 방전양상), 가장 왼쪽이 C1(캐패시터 한 개를 연결해서 방전했을 때 충전용량은 0.800 mF) 그래프이다.

실험에 의한 평균 값을 분석하면 알 수 있는 것은 발생전력이 C8일 때 63 MW, C4 일때 63 MW, C2일때 59 MW, C1일때 52 MW 이며 방전작용시간은 C8일때 10msec, C4일때 4.5msec, C1일때 1msec이다.

그림 3.3.9에 나타내어진 발생 에너지는 C1일 때 15KJ, C2 일 때 28KJ, C8일때 110KJ 로 선형적으로 증가 한다.

이러한 실험데이터의 분석결과 캐패시터의 충전용량에 따라 방전 시 Peak전력

의 크기는 차이가 크지 않으나 방전지속 시간은 캐패시터의 용량과 비례하는 것을 알 수 있으며 결과적으로 앵커 정착부 지반조건에 따라 확공 압력의 지속시간을 캐패시터의 용량 변화를 통하여 조절 할 수 있음을 알 수 있다.

이 실험 결과로 얻은 충전용량에 따른 상관관계를 이용하여 현장 적용 후 장비 제작시 필요한 캐페시터의 충전용량 산정 값에의해 캐페시터 개수를 결정하여 발생전력과 발생에너지를 결정하여 최상 최적의 효율적 장비를 제작할 수 있다.

나. 구경에 따른 펄스파워 방전양상 분석



그림 3.3.10. 압력측정용 M.C 챔버(Ø 250)



그림 3.3.11. 압력측정용 MC 챔버(Ø 110)



그림 3.3.12. 챔버내에 삽입된 펄스방전선단

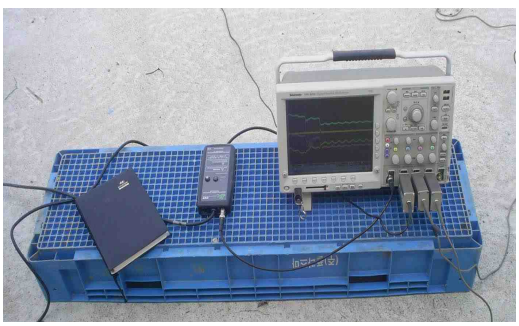


그림 3.3.13. 오실로스코프에 연결된 Current probe, High Voltage probe, 축전기

그림 3.3.10~11은 펄스방전 시 압력을 측정하기 위해 제작한 내부직경 250mm, 110mm 챔버이며 이번 실험에서 압력측정은 하단 부 45°, 90°각도에서 측정하였다. 방전 적용전압을 250mm 챔버에서는 5000volt 로 충전하여 방전실험을 하였으며 작은 구경인 110mm 챔버에서는 3500volt로 방전실험을 한 결과 챔버 벽에 작용하는 압력을 측정한 결과를 나타내었다. 그래프 분석에서 알 수 있는 사실은 펄스방전 시 챔버 내벽에 작용하는 압력의 크기와 양상을 알 수 있다. 이번 실험에서 작은 챔버에서 같은 전압으로 방전하지 못한 이유는 5000volt로 방전시 챔버가 파손되어 계측기가 압력측정을 하지 못하는 경우가 발생하여 작은 챔버에서는 안정적인 방전실험을 위한 최소한의 전압으로 방전실험을 하였다.

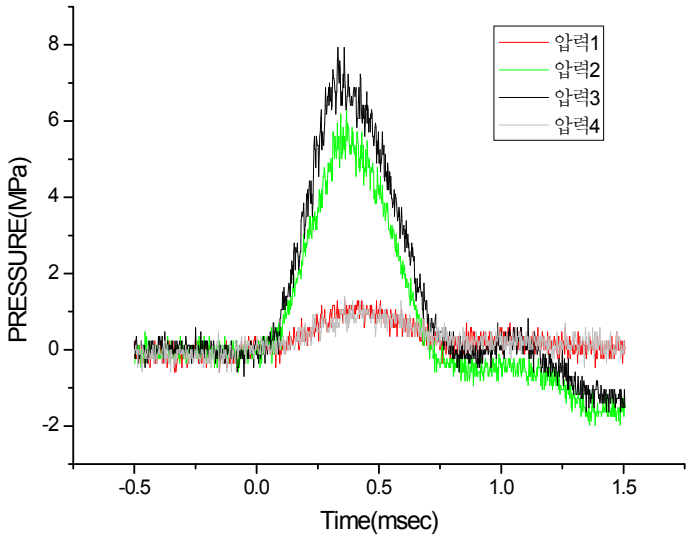


그림 3.3.14. 방전 시 압력의 양상
Ø 250mm 챔버 5000volt

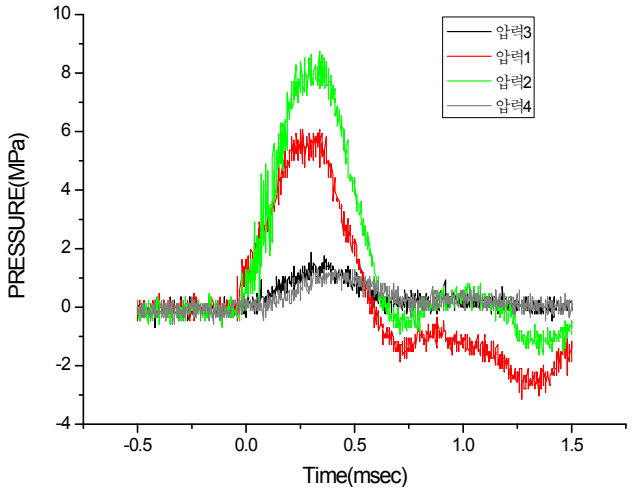


그림 3.3.15. 방전 시 압력의 양상
Ø 250mm 챔버 5000volt

(1) 큰 구경 챔버(250mm)에서의 방전실험결과

그림 3.3.14~15의 두 그림에서 우리는 방전의 양상과 압력이 미치는 범위를 대략적으로 예측할 수 있다. 압력측정 게이지가 45°, 90°에 각각 네 개가 장착된 챔버에서 측정된 압력 값이므로 펄스방전 시 방전이 되는 위치가 변화하면서 방전이 된다는 것과 방전의 영향 범위가 최소 90° 이상 180° 이하에 작용한다는 것을 알 수 있다. 이 실험을 통해 알 수 있는 것은 방전횟수를 여러 번 방전하면 원형의 구근을 형성하는 것이 가능하다는 것이다.

표 3.3.12. 펄스 방전 시 챔버 벽에 미치는 압력의 크기

시험측정값 (30회) : peak(MPa)값

시험 횟수 / 압력게이지 번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1.2	6.9	7.7	1.7	1.1	7.9	8.7	1.9	1.1	7.9	7.7	1.7	1.2	6.9	7.7
2	7.8	7.9	1.3	1.4	7.8	8.9	1.6	1.4	6.3	6.9	1.9	1.4	7.8	8.9	1.1
3	7.3	1.8	1.9	5.8	7.3	1.6	1.9	5.9	7.9	1.8	1.6	5.8	7.9	1.8	1.9
4	1.1	1.4	8.5	8.7	1.7	1.3	8.5	8.3	1.1	1.3	7.5	8.7	1.5	1.1	8.0

시험 횟수 / 압력게이지 번호	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	1.9	5.8	7.1	1.1	1.1	8.9	7.6	1.5	2.2	6.5	9.1	1.1	2.1	6.2	7.5
2	8.8	8.7	1.2	2.4	8.8	7.9	1.5	2.4	7.7	8.3	1.0	1.9	7.9	8.6	2.1
3	8.3	1.7	1.0	6.3	6.3	1.9	1.5	8.8	7.9	1.1	1.3	6.9	7.9	1.3	1.0
4	2.1	1.4	7.5	7.9	2.7	2.4	5.5	6.1	1.5	2.2	7.9	7.9	1.7	1.5	8.7

구 분	그림 C-4의 측정 peak 압력(MPa)값(No.9)	그림 C-5의 측정 peak 압력(MPa)값(No.17)
압력게이지 1	1.1	5.8
압력게이지 2	6.3	8.7
압력게이지 3	7.9	1.7
압력게이지 4	1.1	1.4

그림 3.3.14~15 에서 펄스방전 후 챔버에 압력이 미치는 시간을 살펴보면 압력의 방향이 처음 작용한 곳보다 늦게 반대방향의 계측기 쪽에 작용하는데 이것은 작용시간의 미세한 시간차로 보아 반사된 압력으로 생각할 수 있다.

표3.3.12 의 결과에서 펄스 방전 시 압력은 작용 위치가 방전 시 마다 변화하는 것을 알 수 있으며 방전되는 방향으로 압력 값이 크게 측정되어 지며 반대방향으로는 약하게 측정 되었다.

(2) 작은 구경의 챔버(110mm)에서 방전실험결과

큰 구경에서의 압력측정과 동일한 전압으로 방전하여 측정하였으며 챔버 구경은 110mm 이며 방전 시 압력의 양상과 크기는 아래그림 3.3.16~17과 표 3.3.13에 나타내었다.

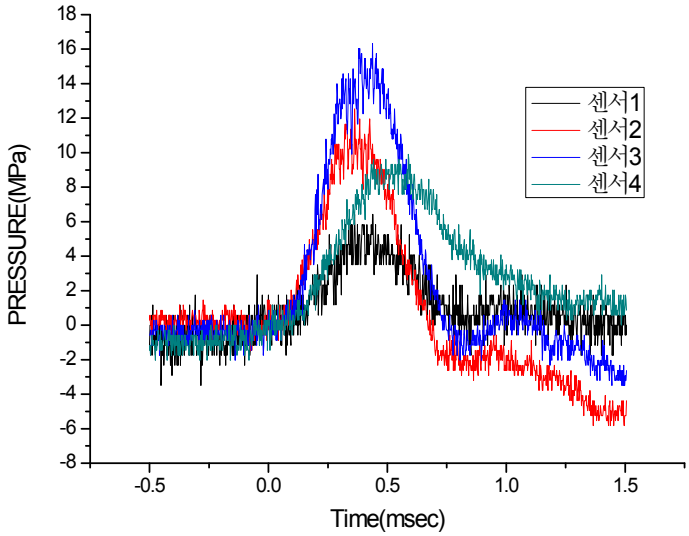


그림 3.3.16 방전 시 압력의 양상
Ø 110mm 챔버 3500volt

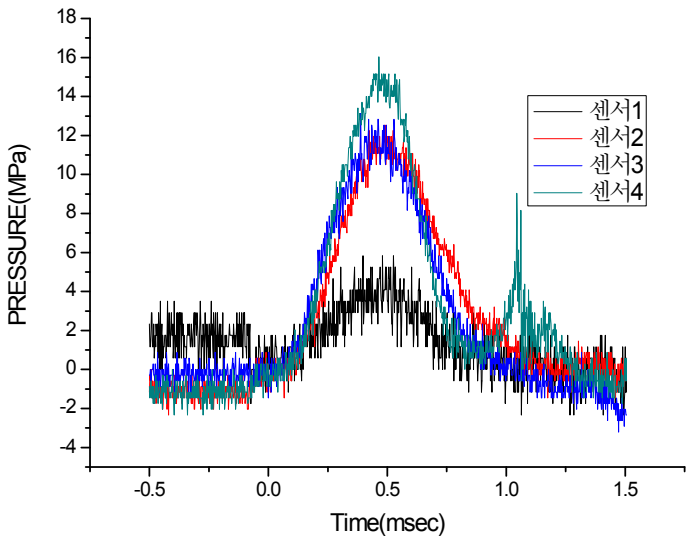


그림 3.3.17 방전 시 압력의 양상
Ø 110mm 챔버 3500volt

표 3.3.13. 펄스 방전 시 챔버 벽에 미치는 압력의 크기

시험측정값 (30회) : peak(MPa)

시험 횟수 / 압력게이지 번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	16.2	12.8	9.7	15.4	15,9	5.8	16.1	12.1	10.7	15.1	16.2	12.8	9.7	15.4	10.5
2	11.8	16.0	10.1	9.5	10.1	11.7	11.6	16.3	11.4	10.5	11.8	16.0	10.1	9.5	12.0
3	6.9	12.5	15.9	8.9	8.9	16.0	8.9	11.5	15.7	10.9	6.9	12.5	15.9	8.9	15.1
4	10.5	15.7	15.5	16.6	16.2	9.3	10.5	15.9	16.5	16.4	10.5	15.7	15.5	16.6	16.0

시험 횟수 / 압력게이지 번호	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	12.1	10.7	15.2	16.2	12.8	9.7	13.4	5.4	12.3	15.4	10.9	15.2	16.2	10.0	15.9
2	16.3	11.4	9.5	11.0	16.2	10.7	9.5	12.0	10.1	10.0	11.0	12.5	12.0	11.9	10.2
3	11.5	10.7	10.6	8.9	13.5	13.9	8.0	12.7	15.9	8.5	11.7	11.6	8.9	15.0	10.9
4	14.9	16.3	16.0	10.5	15.7	15.0	16.0	15.8	15.5	16.2	16.3	16.5	14.5	16.0	16.3

구 분	그림 C-6 측정 peak 압력(MPa)값(No.6)	그림 C-7 측정 peak 압력(MPa)값(No.23)
압력게이지 1	5.8	5.4
압력게이지 2	11.7	12.0
압력게이지 3	16.0	12.7
압력게이지 4	9.3	15.8

(3) 방전그래프 분석결과

펄스 방전 시 방전의 방향은 계속해서 변화한다는 것을 방전양상을 나타낸 그래프를 통해 알 수 있으며 이로 인해 앵커정착부에 생성될 구근이 원형의 형태를 형성할 것이라는 것을 예상할 수 있다.

실제 앵커구경인 직경 110 mm 챔버에서 펄스 방전실험을 한 결과 방전압력이 표 3.3.13에 나타내어진 peak 압력보다 큰 경우도 많이 있었지만 평균적으로 측정되어진 방전 peak 압력은 약 16 MPa 정도였다. 이것은 적용전압이 1500volt나 적음에도 불구하고 측정된 압력값으로 직경 250 mm에서 측정한 압력측정값의 두 배에 해당하는 압력의 크기이다. 이런 결과로 미루어 볼 때 전압이 동일하다면 발생에너지는 전압의 제곱에 비례하므로 더욱 클 것으로 예상된다.

2. 펄스방전시스템 개발

가. 펄스앵커 전용 케이블 개발

캐패시터에 저장된 충전에너지를 효과적으로 전달하여 선단에서 방전시키기 위해 에너지 전달 효율이 높고 시공성이 좋은 대 전력 케이블은 필수적이다.

기존 사용하던 펄스파워 케이블의 특성을 파악하고 보다 더 효율이 높고 안정성이 좋은 케이블을 개발하는 것이 목적이다. 기존 케이블은 직경이 19mm의 동축케이블로 m당 저항 값이 약 4.5mΩ이며 케이블 고유의 인덕턴스 성분과 케패시터 성분이 어느 정도의 개별 값을 가진다는 것은 동축케이블의 주파수별 고유값을 측정하여 분석하였다.<표3.3.3~7참조> 기존 케이블은 장시간 사용 시 발열의 문제점이 있어 원인을 분석한 결과 케이블 자체의 도체 저항이 커 열로 손실되는 에너지가 큰 때문이다.

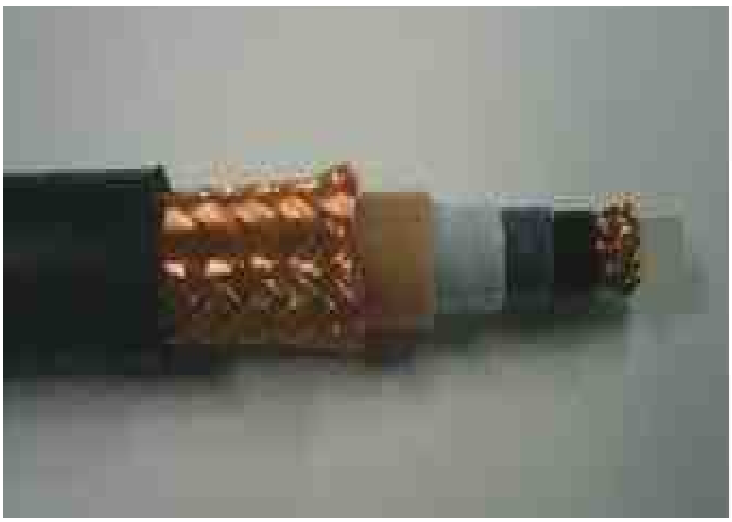


그림 3.3.18 기존 직경19mm 전용케이블



그림 3.3.19 직경 26mm 개발한 전용 케이블

표 3.3.14. 펄스전용케이블의 고유특성 값

케이블의 구조	기존 사용케이블	새로운 특성의 케이블
내부도체	외경 : 7.25 mm 도체단면적 : 6.785 mm^2	외경 : 5.9 mm 도체단면적 : 16 mm^2
내부 반 도전층	0.5mm	0.2 mm이상
절연층	두께 : 1.4 mm 외경 : 13.0 mm	두께 : 3.4 mm 외경 : 13.2 mm
외부도체 단면적	13.571 mm^2	16 mm^2
시스(외부 절연체)	2.5 mm	3.56 mm
케이블 외경	19.3 mm	26 mm

앞선 분석에 의해 특성을 개량한 케이블은 전체직경이 26mm이며 m당 저항 값이 기존 케이블의 36 % 정도이며 +부의 도체단면적을 기존 6.785mm^2 이던 것을 16mm^2 로 크게 하여 효율을 높였으며 현장적용 결과 연속 방전 시 열 발생이 미미한 것을 확인하였다. 또한 절연특성을 높이기 위해 여러 층의 절연물을 적용하였으며 현장여건이 열악한 곳이 많으므로 케이블 외곽부분을 기존케이블 보다 2배가량 두꺼운 재질의 외피를 사용하였다. 이 외에도 케이블 고유의 인덕턴스 성분과 캐패시터 성분 또한 50% 정도로 되게 설계하여 적용하였다.

나. 펄스방전 선단장치 제작 및 실험

(1) 고유 저항값에 따른 펄스방전의 특징

앵커용 선단장치를 개발하기 위해 먼저 방전선단의 저항역할을 하는 저항체인 유사부하를 제작하여 방전실험을 행하였다. 여기서 사용하는 유사부하의 저항의 범위는 160 mΩ ~ 3.4 Ω 이며 저항체는 이 범위 내에서 열두 개 구간으로 나뉘어져 저항 값을 다르게 하여 방전하여 방전특성을 알아보았다.

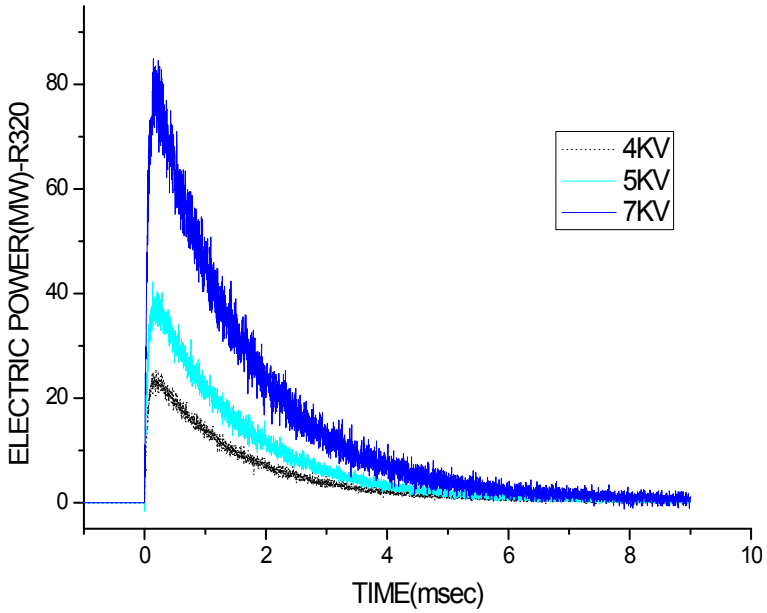


그림 3.3.20 저항 320mΩ 일 때 전압별 방전특성

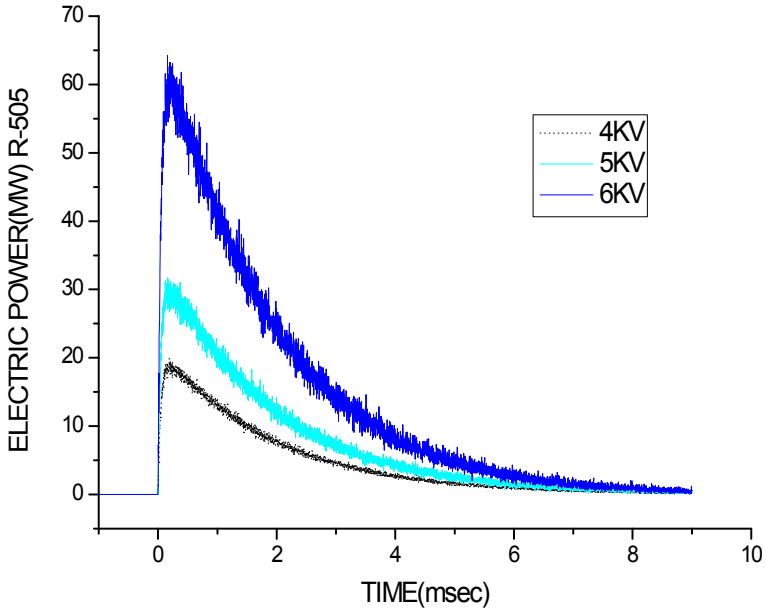


그림 3.3.21 저항 505mΩ 일 때 전압별 방전특성

그림 3.3.20~21 실험결과는 유사부하의 저항을 320 mΩ, 505 mΩ 으로 지정해 두고 전압을 달리하여 방전 실험을 하였을 때 방전특성을 나타낸 것으로 가장 큰 특징은 저항 값이 크면 발생전력은 떨어지지만 방전이 작용하는 시간은 길어지는 것을 확인할 수 있다. 저항 값의 차이가 얼마나지 않음에도 불구하고 이정도의 차이가 난다는 것은 재료를 달리하여 방전하면 지반에 작용하는 압력의 작용시간의 차이를 크게 할 수 있다는 것을 이번 실험을 통해 확인하게 되었다.

표 3.3.15 시험분석 평균값

저항값 / 전압	저항 320 mΩ	저항 505 mΩ	비고
	방전시간	방전시간	
4kv	5.2msec	7.3msec	
5kv	7.3msec	8.2msec	매우안정적
6kv	-	9.0msec	
7kv	9.0msec	-	

기존의 펄스 방전 팁은 아래의 그림 3.3.22에 나타나 있다. 기존 방전선단 팁은 지속적인 시공에서 방전 순간 발생하는 열로 인하여 조금씩 산화하는 문제점이 있으며 이는 견고한 지반에서 방전할 경우 현재 사용되어지던 에너지보다 더 큰 에너지로 방전해야 할 경우에 문제점으로 대두될 수 있다. 기존 방전선단을 장기간 사용하면 그림 3.3.23에서처럼 조금씩 녹다가 어느 순간 절연이 파괴되어 선단 절연체가 파괴되는 상황이 발생 하였다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 방전선단의 팁 부의 재질을 펄스방전순간 고온에 저항 할 수 있고 방전효율 또한 높이기 위해 고전압에서 고유 특성이 우수한 재료를 선택하여 방전실험을 하였으며 새로 제작한 고전압에서 우수한 특성을 가지는 선단을 그림 3.3.24~29 에 나타내었다.



그림 3.3.22 방전부 팁의 손상(육안확인)



그림 3.3.23 기존에 사용하던 방전 팁

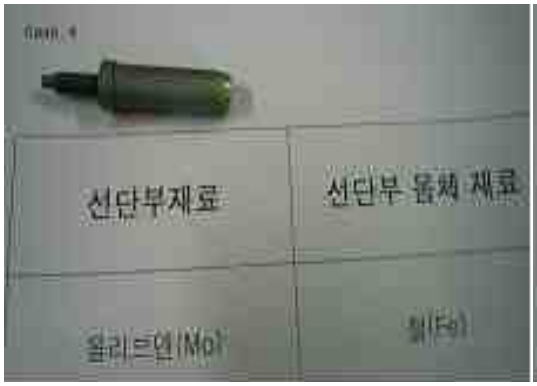


그림 3.3.24. 방전 팁 CASE-1



그림 3.3.25. 방전 팁 CASE-2



그림 3.3.26. 방전 팁 CASE-3



그림 3.3.27. 방전 팁 CASE-4

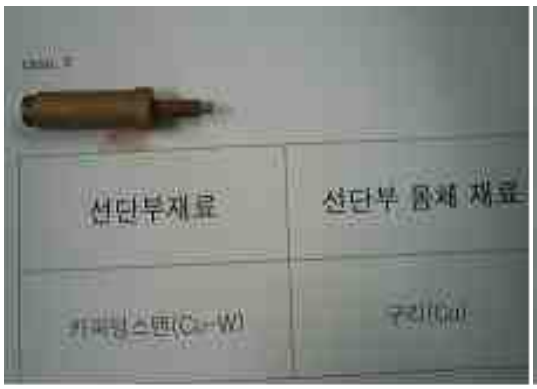


그림 3.3.28. 방전 팁 CASE-5



그림 3.3.29. 방전 팁 CASE-6

펄스 방전으로 인한 반복된 충격으로 인하여 방전선단 팁 부분과 절연체사이의 절연이 파괴되어 선단절연체가 파괴되는 문제를 안고 있어 이를 개선하고자 방전 선단 팁 부분을 감싸는 절연체의 재료를 에폭시로 변경하였으며 절연체와 누수차단용 실리콘 또한 특성이 우수한 400℃ 이상의 고열에서도 견디는 재료를 선정하여 실험하였다.

(2) 방전실험 결과

기존 사용하던 선단에 비해 새로 제작한 선단 중에 팁을 몰리브덴(Mo), 칸탈(Kantal)재질을 사용한 선단이 펄스방전 시 내구성면에서는 좋은 효율을 보였으며 에너지 효율면에서는 선단부 몸체를 구리로 하고 팁을 초경, 카파텅스텐을 사용한 것이 에너지 효율을 높았다. 그러나 선단부 몸체를 구리로 한 것은 반복하여 펄스 방전할 경우 내구성이 떨어져 쉽게 손상되었으며 카파텅스텐 팁은 반복방전 시 팁 자체가 갈라지는 현상을 나타내었다.

상기 연구결과로 방전선단은 몸체를 철재질로 하고 팁을 몰리브덴이나 칸탈 재질을 사용하여 제작한다. 또한 상기한 내용을 포함한 선단체에 관련하여 주관기관과 공동으로 특허('대전력시스템용 전극봉', 출원번호 : 10-2008-0039408)를 출원하였으며 등록 대기 중에 있다.

(3) 선단장치의 개선

신기술 512호로 지정된 펄스방전형 현장타설말뚝 시공시에는 케이블을 보호하기 위하여 2m 길이의 강철봉(Ø48.6)을 근입깊이만큼 사용하였다. 이 시스템은 선단장치의 삽입과 인발제거 시 작업자가 인력으로 일일이 조립과 해체를 해야함으로 시공시간의 불가피한 증가와 함께 작업성을 떨어트리는 주원인이었다.

하지만 본 연구에서는 말뚝에 비하여 시공시간이 짧은 앵커의 특성상 이 부분의 개선이 중대한 문제로 작용하여, 기존의 강철봉을 일부 구간만 사용하고 남은 구간은 PE파이프를 이용하여 케이블을 보호하고 선단체로의 누수를 차단하는 시스템을 도입하여 시간적 경제성을 향상시키고 작업성을 크게 증대시켰다.

그림 3.3.30에서와 같이 기존 강철봉만을 사용한 경우에는 2m마다 작업자가 조립과 해체를 반복했지만 본 펄스앵커용 선단장치에서는 선단장치를 삽입하고 방전 후 인발 제거만 하면 됨으로 종전 대비 공당 약 20분 정도의 시간적인 경제성을 향상시켰다.



그림 3.3.30 기존 선단장치와 개선된 선단장치의 시공 비교 사진

다. 확공형 앵커용 펄스발생 장치 제작

(1) 확공형 앵커용 펄스발생 장치 제작

펄스발생장치는 안정된 직류전압을 공급하는 전원 공급장치, 고밀도의 에너지를 저장할 수 있는 캐패시터 뱅크, 저장된 에너지를 방전할 수 있는 고전압 대 출력 스위치로이루어진다.

표 3.3.16. 앵커용 펄스발생장치 사양

구분	앵커용 펄스발생장치
전압	4~9kV
캐패시턴스	3.3mF
에너지	26.4~133.6kJ
규격	1500(l)×1320(w)×1500(h)
조작방식	로컬 및 유·무선리모콘
스위치	메카닉 스위치
보관방법	컨테이너 불필요



그림 3.3.31 펄스발생장치



그림 3.3.32 컨트롤 BOX



그림 3.3.33 유/무선 리모콘

본 장비는 현장에서 장비의 조작이 수월하도록 유선 및 무선으로 리모콘이 제작되었으며, 최대 100m 지점에서도 조작이 가능하다. 다양한 지반조건에 유동적인 적용이 가능하도록 하기 위하여 에어 갭 스위치를 메카닉 타입 스위치로 교체하였다.

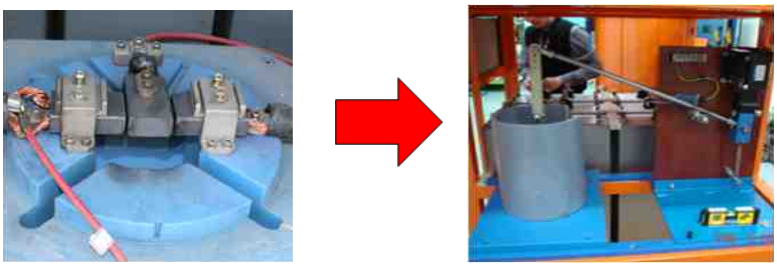


그림 3.3.34 에어 갭 스위치(좌)와 메카닉컬 스위치(우)

기존 에어 갭 스위치는 설정 전압에 따라 스위치간의 간격을 일일이 수동으로 조절해야 하고 그 또한 7kV이하의 전압에선 조정이 쉽지 않았다. 이를 개선하기 위하여 메카닉 타입의 스위치를 도입함으로써 다양한 전압에서 확실한 방전을 유도하여, 말뚝에 비하여 상대적 소구경인 앵커에 적용이 용이하도록 제작되었다.

(2) 실내 모의실험을 통한 장비의 성능 검증실험방법

계측장비는 전과 동일하고 선단은 고정 장치를 통해 일정한 위치를 지정에서 방전하였으며 고전압 케이블의 저항 값은 0.1Ω으로 유지하였다.

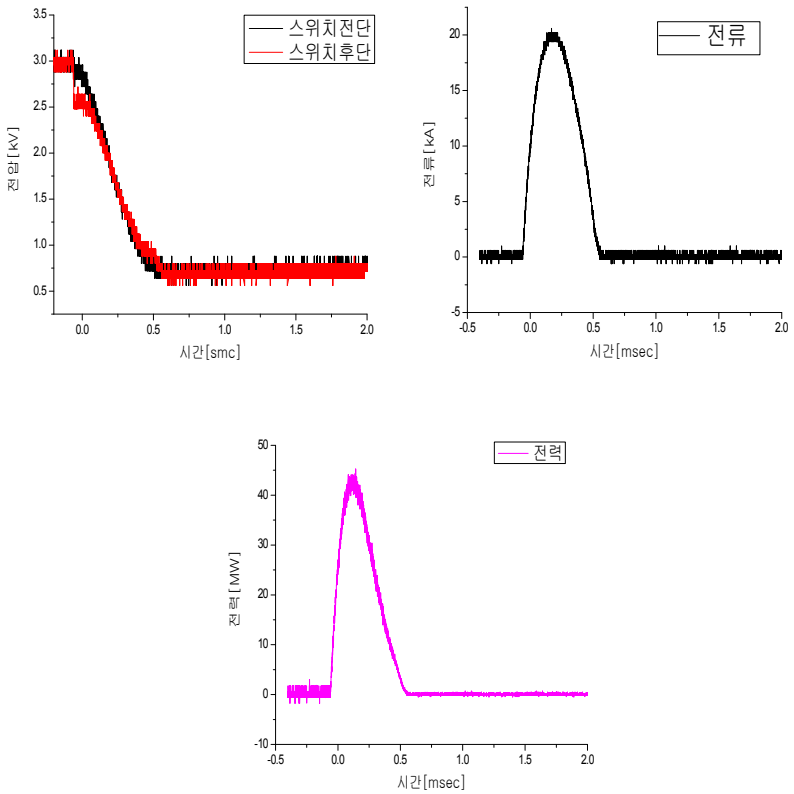
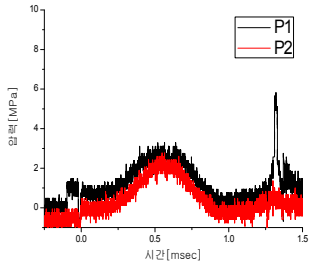
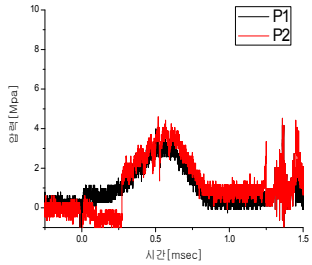


그림 3.3.35 3kV 방전 시 측정 압력, 전류 및 전력

그림 3.3.35 에서 설정전압은 3kV이고 충전된 전압 또한 3kV로 충전 된 전압의 손실은 거의 없으며, 방전 순간 스위치 전/후단의 전압 차이는 약 300V정도로 양호하다. 방전 후 잔류전압은 500V정도로 낮으며 이는 저항체를 통하여 모두 Dumping 된다. 이 때 발생된 전류의 최대치는 20kA이며, 전력의 최대 값은 43MW이다.





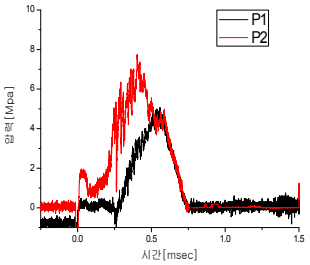


그림 3.3.36. 4kV 방전 압력 그림 3.3.37. 5kV 방전 압력 그림 3.3.38. 7kV 방전 압력

그림 3.3.36~38은 각각 4kV, 5kV, 7kV 방전 시 발생된 압력 값을 나타낸 그래프이고 방전에 걸리는 시간은 약 7~8msec 정도 이다.

표 3.3.17 충전 전압별 에너지와 압력의 최대 값

충전전압	4kV	5kV	7kV
이론 상에너지	26.4 kJ	41.2kJ	80.8kJ
압력 최대 값	3Mpa	4Mpa	8Mpa

에너지는 전압의 제곱에 비례하므로 충전전압이 커짐에 따라 에너지의 값은 커진다. 표 3.3.17에서 에너지가 커짐에 따라 방전으로 인해 발생하는 압력의 값도 비례하여 커짐을 볼 수 있다.

라. 펄스방전 확공형 앵커공법 전용 주입재 개발

이 공법에서의 핵심은 정착부에서의 펄스파워를 이용한 확공이며 그 확공의 정도는 지지력 결정에 큰 요인이 된다. 하지만 천공홀 내부의 변화를 직접적으로 확인하기는 사실상 불가능하므로 확공량을 간접적으로 확인하는 수단이 요구된다. 그 수단의 일환으로 확공이 얼마나 이루어졌는지를 현장에서 가장 빠르게 가늠할 수 있는 방법은 천공홀 내부에 충전된 그라우트가 펄스방전에 의해 하강되는 깊이이다. 펄스방전으로 인하여 발생한 압력이 천공홀 내부를 확공시키고 그 확공된 부피에 시멘트 그라우트가 채워지며 구근을 형성시킨다. 이에 따라 천공홀 내부의 그라우트는 생성된 구근의 부피만큼 깊이가 하강하게 되는 것이다. 하지만 연구를 진행함에 따라 형성된 구근의 부피만큼만 시멘트 그라우트의 하강이 이루어지지

않고, 지중에 지하수가 포화상태 일 때는 시멘트의 희석으로 일부 유실되고 일탈된 다는 것을 알 수 있었다. 따라서 지층하부에 지하수가 포화상태이고 유속이 있을 경우, 시멘트 그라우트의 하강 깊이에 의한 확공량 산정 및 주입재 품질의 신뢰도를 향상시키기 위하여 시멘트 희석을 억제함으로써 주입재의 유실 및 일탈이 최소화될 수 있도록 하는 펄스방전용 시멘트 그라우트를 연구하였다.

(1) 사용재료

시멘트는 국내 H사의 제 1종 보통 포틀랜드 시멘트(KS L 5201)를 사용하였다. 본 연구에서 사용되는 혼화재료는 모두 H사 제품으로 수중불분리성 혼화제, 고유동화제 및 소포제이다. 수중불분리성 혼화제는 메틸셀룰로오스계로서 강한 점착효과에 의하여 수중자유낙하나 유동과정에서 재료분리가 억제되는 성질이 있으며, 이는 수중에서도 안정된 강도를 발현하여 신뢰할 수 있는 콘크리트를 제작할 수 있도록 해준다. 주성분은 메틸 셀룰로오스이고 성상은 백색 미분말이며 표준 사용량은 1.5~2.5kg/m^3이다. 고유동화제는 멜라민계 고유동화제(poly mellamin sulfor formalin condensate)이고 성상은 백색 미분말이다. 그라우트를 제조함에 있어 그라우트에 유동성을 부여할 목적으로 사용된다.

(2) 실험 파라미터

혼화제와 시멘트와의 혼합비에 따른 수중에서 그라우트의 물성 변화를 확인하기 위하여 물-시멘트비(W/C)는 50%로 고정하였으며, 수중불분리성 혼화제, 유동화제 첨가량을 변화시켜 가며 실험을 수행하였다. 이 때 수중불분리성 혼화제와 유동화제의 혼합비는 1:1을 유지하였다.

표 3.3.18. 혼화재료의 규격사항

종류	제품명	판매/제조회사	표준사용량	주성분	성상
수중불분리성 혼화제	PMC50US	H사	1.5~2.5kg/m^3	메틸 셀룰로오스	백색 미분말
고유동화제	Mel-ment	H사	-	멜라민계	백색 미분말

(3) 실험항목 및 측정방법

(가) 그라우트의 희석 반응 시험

500㎖의 메스실린더에 물을 채우고 혼화제의 첨가비율을 시멘트와의 중량비 0.1~0.3%까지 0.1%단위로 그라우트를 제작하여 일반 시멘트 그라우트와의 수중에

서의 희석 정도를 육안으로 확인하였다. 이 때의 물-시멘트비(W/C)는 50%로 유지하였다.

(나) 압축강도 측정용 공시체 제작

5×5×5cm 의 큐빅형 몰드에 각각 펄스방전용 그라우트와 일반 시멘트 그라우트를 가만히 낙하시켜 몰드에 충전하였다. 몰드의 내벽과 그라우트의 경계면으로부터 누수가 없음을 확인한 후 윗면을 평평하게 한 후 수분 증발 방지를 위하여 비닐로 덮은 후 탈형 강도가 발현될 때까지 정치해 두었다. 그동안 계속 수분을 공급하여 표면이 마르는 경우가 없도록 하였고, 탈형 강도에 이를 때 탈영한 후 수온 20±3℃의 수조에 넣고 양생을 실시하였다.

(다) 그라우트 압축강도 시험

압축강도 시험은 재령 7일에 일반 시멘트 그라우트와 펄스방전용 그라우트 각 3개의 공시체를 기본으로 실시하였다.

(4) 실험결과 및 고찰

(가) 그라우트의 희석 반응 시험

표 3.3.19. 일반 시멘트 그라우트와 펄스방전용 그라우트와의 희석 반응 비교

구분 / W/C	일반 그라우트	펄스방전용 그라우트		
		시멘트의 0.1%	시멘트의 0.2%	시멘트의 0.3%
50%				
비고				시멘트희석 억제 효과발현

물-시멘트비(W/C)는 50%로 고정시키고 혼화제를 각각 시멘트의 중량비 0.1, 0.2, 0.3%를 첨가한 펄스방전용 그라우트 간의 희석 억제 반응 정도를 육안으로 확인하고 이를 일반 시멘트 그라우트와 비교해 보았다.

표 3.3.19 에서 혼화제 첨가율 0.2%까지는 일반 시멘트 그라우트와 별반 차이가 없이 수중에서 바로 희석이 되는 모습을 보이지만 혼화제 첨가율 0.3%에서는 희석이 억제되어 수중에서 시멘트 그라우트가 바로 침강하는 형태임을 확인할 수 있다.

(나) 그라우트 압축강도 시험그라우트에 혼화제를 첨가함으로써 가장 우려되는 점은 압축강도의 저하이다. 따라서 본 그라우트의 연구에서 혼화제를 첨가함으로써 기존 일반 시멘트 그라우트에 비하여 강도저하의 여부에 대해서 확인해보았다. 펄스방전용 그라우트와 일반 시멘트 그라우트 재령은 7일이고 각 3개의 공시체를 사용하였다.

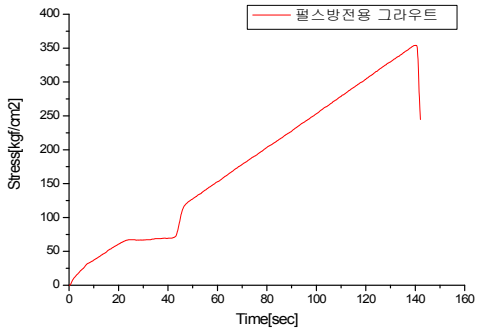


그림 3.3.39. 펄스방전용 그라우트 압축강도

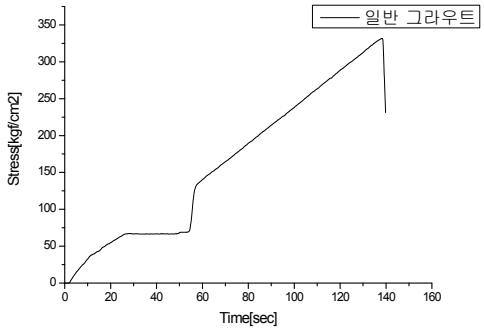


그림 3.3.40. 일반 시멘트 그라우트 압축강도

그림 3.3.39~40에는 각각 3개의 공시체의 평균 압축강도를 보여준다. 펄스방전용 그라우트의 평균 압축강도는 350kgf/cm^2가 조금 넘는 값이 나타나며, 일반 시멘트 그라우트의 평균 압축강도는 350kgf/cm^2에 조금 못 미치는 값을 나타낸다. 따라서 혼화제를 첨가로 인한 압축강도의 저하는 발생하지 않는다. 또한 본 연구개발의 결과로 주관기관과 공동으로 본 주입재에 관한 특허('펄스 방전용 시멘트 그라우트', 출원번호 : 10-2009-0030721)를 출원하였다.

3. 결론 및 요약

1) 캐패시터용량에 따른 방전시 Peak 전력 및 방전지속시간을 측정하였으며, Peak 전력은 용량에 따라 큰 차이가 없으나, 방전지속시간은 용량과 비례하는 것으로 나타났다.
2) 펄스방전에 의한 영향범위를 챔버를 이용하여 측정하였으며, 대략 90도 정도인 것으로 나타났다. 방전횟수가 증가함에 따라 모든 방향으로 비슷한 정도의 압력이 전달되는 것으로 나타나 구형의 구근을 형성할 것으로 판단된다.
3) 구경이 작은 챔버의 경우 큰 것에 비하여 훨씬더 큰 압력이 챔버에 작용하는 것으로 나타났으며 이는 거리에 따라 급격하게 에너지가 감쇠하는 것으로 판단된다.
4) 내부 도체 단면적을 2.5배 증가시켜 효율이 높은 펄스파워 케이블을 개발하였다.
5) 재료에 따른 선단장치의 성능을 평가하였으며, 그 결과 몰리브덴이나 칸탈재질이 적합한 것으로 나타났다.
6) 펄스발생장치의 충전전압별 발생 압력은 4kV에서 최대 3Mpa, 5kV에서 최대 4Mpa, 7kV에서 최대 8Mpa이다. 충전 전압에 비례하여 발생되는 압력이 증가한다. 따라서 다양한 지반 조건에 따라 적절한 압력을 설정하여 확공을 시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한 이는 직경 250mm의 챔버에서의 결과로 앵커의 직경은 이 보다 작아 보다 높은 압력이 천공홀 벽면에 작용한 것으로 판단된다
7) 펄스방전을 이용한 확공 공정 시 기존 케이블 보호를 위해 사용하던 로드파이프(∅48.6t, steel)를 제거함으로써 획기적인 시공 시간의 단축 효과를 볼 수 있었다. 하지만 방전 선단의 삽입 및 제거가 용이하지 못한 문제가 발생하였으나 PE파이프와 와이어를 이용하여 문제를 해결하였다. 그 결과 펄스방전 공정을 통하여 소요되는 시간은 약 10분정도로 기존 일반앵커에 비하여 앵커의 길이가 짧아지는 특성상 천공깊이가 감소되어 천공시간이 줄어듦으로써 실제 시공 시 걸리는 시간의 차이는 거의 없는 것으로 확인되었다.

제 4 절 앵커 설계, 시공 및 유지관리 지침 개발

1. 앵커 설계, 시공 및 유지관리 지침 도출을 위한 연구

가. 유지관리 중심의 지침안 연구

(1) 앵커시설물의 유지관리 실태 및 유지관리시 발생하는 주요 결함사항

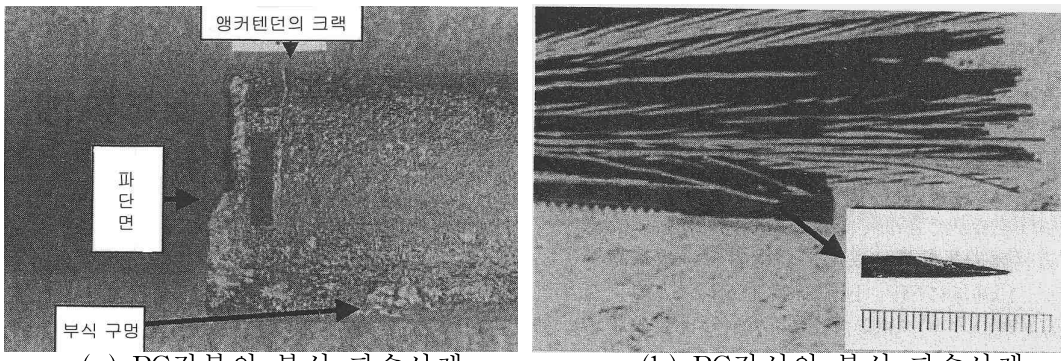
국내 앵커 시스템의 문제중 가장 큰 문제는 유지관리를 고려하지 않은 설계와 유지관리 시스템의 부재에 있다. 즉 유지관리를 고려하지 않은 설계라 함은 상기한 바와 같이 앵커의 경우 지반여건의 변화에 따라 용이하게 인장력을 증가시키거나 감소시킬 수 있는 시스템을 갖춘 앵커를 설계시 도입해야 하나 이러한 것을 강제할 체계가 마련되어 있지 않으며, 동시에 앵커의 인장력을 증·감시키거나 앵커를 추가하는 등의 필요성이 있다는 사실을 감지할만한 유지관리시스템조차 없다는 현실이다. 비탈면 및 교대 등 구조물에 설치된 앵커라 하는 것은 일단 설치되면 영원히 안전할 것이라고 생각하는 것도 문제라고 생각된다. 이러한 점을을 개선하기 위해서라도 그라운드 앵커의 적절한 유지관리를 위한 점검 및 보수·보강 체계의 구축이 필요하다고 판단된다.

앵커의 내구성을 평가하는 경우, 앵커의 기능을 유지한다는 관점에서 앵커를 구성하고 있는 재료의 건전성 및 잔존 인장력을 유지할 수 있어야 하며, 이러한 관점에서 다음과 같은 사항들을 요구하고 있다.

(가) PC강재의 부식

앵커에 사용되는 재료의 내구성 중 가장 중요한 점은 PC강재의 부식에 의한 것이다. 앵커에는 큰 하중이 인장력으로 상시 작용하고 있으므로 심한 부식환경상태(산성토양이나 폐갱 주변의 지하수 노출시 혹은 송전탑 주변 등)에서 방식(防蝕)기능이 저하하거나 구조적으로 방식이 불완전할 경우에는 PC강재의 부식에 따른 앵커의 파괴를 생각할 수 있다. 앵커 긴장재가 강봉의 형태 아닌 강선의 형태일 경우에는 부식에 의해 소선이 순서적으로 파손되므로 비록 급격한 앵커의 파괴는 발생하지 않는다 하더라도 앵커로서의 건전한 기능을 유지할 수 없게 되는 것은 마찬가지이다. 부식이 발생하는 주요부위로는 앵커두부의 배면 혹은 자유장과 정착장의 경계부근에서 주로 발생하는 것으로 분석되었다.

또한, 쐐기 정착식 앵커의 경우에는 앵커의 머리부분 특히 쐐기 주변에 부식이 발생할 경우 쐐기와 PC강재 사이에 미끄러짐이 발생하여 인장력을 유지할 수 없게 되는 문제점도 발생할 수 있다.



(a) PC강봉의 부식 파손사례 (b) PC강선의 부식 파손사례

그림 3.4.1. PC강재의 부식 사례

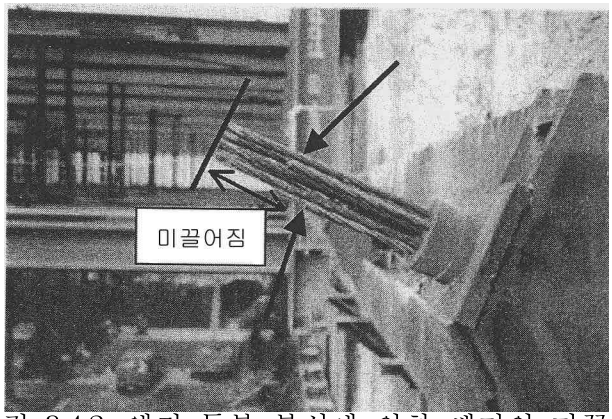


그림 3.4.2. 앵커 두부 부식에 의한 쐐기의 미끌어짐

(나) 인장력의 변화

앵커의 인장력은 주로 1주일 ~ 2개월이라고 하는 비교적 단기간국내외에서 사용되는 앵커재료에 대한 연구(앵커용 그라우트,텐돈, 정착구 등), 앵커의 시공 및 시공 후 시험등에 대한 연구에 저하하는 경향이 있다. 이는 배면지반의 앵커 정착부의 초기 creep 이나 PC 강재의 relaxation 등에 의한 것으로 설계·시공시 이를 반영하므로 앵커의 기능에 영향을 주는 것은 아니다. 그러나 장기적인 차원에서의 인장력 변화의 원인으로는 다양한 외적원인을 들 수 있다. 즉, 강우 및 동결 융해 등 계절적인 요인의 영향을 반복적으로 받아 인장력이 조금씩 저하되거나, 사면활동 등의 지반변위, 지하공동에서의 토압증가 등의 원인으로 인장력이 증가하는 경우가 있다. 즉, 앵커의 인장력이 항상 일정하다고 판단할 수 는 없으며 앵커의 유지관리를 위해서는 그 인장력이 어떠한 요인에 의해 항상 변할 수 있다는 사실을 명확히 하고 있다. 따라서, 인장력의 변화가 주위에 미치는 영향 즉 인장력이 저하될 경우 앵커 에 의해 지지되고 있는 구조물의 안정성에 문제가 되므로 재인장이 필요하거나, 반대로 외부요인에 의해 인장력이 과도하게 증가할 경우 앵커의 파손에 따라 역시 구조물의 안정성에 문제가 발생할 수 있으므로 인장력을 감소시킬 수 있는 구조를 요구하며, 감소된 인장력만큼 추가적인 앵커의 시공 등을 검토·시행하고 있다.

(2) 앵커공법의 점검을 통한 유지관리방법 및 유지관리시 착안사항에 대한 연구

(가) 그라운드 앵커의 점검을 통한 유지관리방법

그라운드 앵커 및 앵커로 보강된 시설물도 다른 시설물과 마찬가지로 정기적인 점검, 계측 등을 실시함으로써 이에 근거한 보수·보강 등을 통한 유지관리를 통해 시설물의 안전을 확보하는 한편 시설물의 내구연한을 증가시킴으로써 경제성을 확보할 수 있다.

점검 및 계측 등의 목적은 시공된 앵커 및 앵커로 보강되는 시설물이 사용기간 중 그 기능을 충분히 다하는지를 확인하고 필요한 조치에 대해 검토하는 것에 있다. 1986년의 FIP의 조사보고에 의하면 앵커 파손의 원인은 불완전한 방청처리에 의한 것이 많고, 파손개소에 대해서는 자유장 부분 특히, 두부 근처에 집중되어 있는 것으로 밝혀졌다. 이 때문에 사용하는 긴장재 등의 재료의 방식구조를 잘 이해한 후 재료에 손상을 주지 않도록 주의해 확실하게 시공을 하여야 한다. 또 시공이 완벽하게 되었더라도 앵커는 지반이나 지하수 등 주변환경에 영향을 받기 쉽기 때문에 정기적으로 점검, 관측, 계측을 하여 시간의 경과에 따른 변화를 파악하여야 한다. 더구나 폭우 등의 이상기상 또는 지진이 발생한 경우는 사면이나 앵커로 보강되는 구조물 등이 불안정해질 가능성이 있기 때문에 필요시 조속히 임시점검을 실시하고 앵커 또는 그 주변환경의 변화를 확인한다. 앵커가 그 기능을 충분히 다하고 있는지는 앵커의 두부나 앵커로 보강되는 구조물의 변형이나 변위를 정기적으로 점검하고, 주변지반의 거동을 관측·측정하며 잔존인장력의 변화를 측정하는 등에 의해 확인해야 한다.

(나) 점검 등의 항복 및 방법

앵커 또는 앵커로 보강되는 구조물 및 주변의 지반 점검, 관측, 계측은 다음의 항목 중 필요한 항목에 대해 실시한다. 필요한 항목 및 점검, 관측, 계측의 방법은 그라운드 앵커 및 앵커로 보강된 시설물의 관리주체가 적절히 정한다.

점검, 관측, 계측은 앵커 설치 상황 등을 고려하여 필요한 항목에 대하여 실시한다. 점검, 관측, 계측의 방법은 육안점검에 의한 방법과 시험이나 계측에 의한 방법이 있지만, 일반적으로 육안점검에 의해 이상이 발견된 경우나, 육안 점검으로는 불충분한 경우에 시험이나 계측을 한다.

지압판 배면의 긴장재의 상황은 관측공이 있으면 내시경 등에 의한 육안조사가 가능하지만, 일반적으로 앵커체부와 앵커 자유장부의 상태를 육안으로 확인하는 것은 어렵기 때문에 샘플링한 몇몇 개의 앵커에 대해 정기적으로 잔존인장력을 측정하여 앵커가 그 기능을 충분히 다하고 있는지를 확인한다. 이 방법에 의해 장기적인 크리이프의 특성에 대해서도 관측할 수가 있다.

육안에 의한 구조물 점검 항목과 빈도의 예를 아래 표에 나타내었다. 하중 및 변위 등의 계측지점은 앵커의 역할이나 배치, 수량 등을 고려하여 결정한다. 예를 들

면 비탈면 보호의 목적으로 시공한 경우는 비탈면의 안전성 평가를 위해 해당 비탈면을 대표한다고 생각되는 주요 단면에 설치하는 경우가 많고, 이 경우 유지관리용 사다리를 설치해두는 등 측정하기 쉬운 환경을 준비해 두면 좋다.

표 3.4.1. 육안에 의한 그라운드 앵커 시설물 정기점검과 그 항목

대상		점검항목	점검방법	점검빈도		
				일상 주1)	정기(A) 주2)	정기(B) 주3)
앵커두부	방호콘크리트	부상, 박리	육안, 타격음		○	◎
		파손, 낙하	육안	○	○	○
		열화	육안		○	○
	보호캡	파손, 낙하	육안	○	○	○
		열화	육안			◎
	긴장재 등 강재	녹, 부식	육안			○
	방청유	기름유출량	육안		○	◎
앵커로 보강되는 구조물		변형, 침하	육안, 측량		○	◎
		콘크리트 열화	육안		○	○
		균열, 깨짐	육안, 치수계측		○	◎
		파손	육안	○	○	○
그외	용수	배어나옴, 양	육안		○	◎
	주위지반	침하, 변위	육안, 측량		○	◎
	주위구조물	침하, 변위	육안, 측량		○	◎

공란 : 필요시 육안점검을 실시
○ : 육안점검만 실시
◎ : 육안점검에 추가하여 필요시 타격·측량·시험 등도 실시
주1) 일상의 점검업무에서 도로 등에서 육안으로 점검할 수 잇는 범위의 상황을 점검
주2) 대략 1~2년에 1회정도의 빈도로 점검대상에 접급하여 육안점검
주3) 대략 3~5년에 1회정도의 빈도로 점검대상에 접급하여 상세히 점검

앵커의 건전성을 평가하려고 하는 경우에는 필요에 따라 임의의 계측점을 두는 경우가 있는데 대상 시공면적이 넓은 경우에는 이를 보조하는 보조측선을 설치해 두는 것이 바람직하다.

관측기기의 종류나 설치 방법은 관측, 계측의 목적, 앵커나 앵커로 보강되는 구조물의 구조 및 주변지반의 상황 등을 고려하여 결정한다. 계측에 사용되는 변형게이지, 로드셀 등 계측기기도 계측이 장기에 걸치는 경우에는 정기적으로 점검을 하여야 한다.

또, 이들 관측기기가 다수인 경우에는 자동화하고 집중 관리할 수 있는 시스템으로 하는 것도 고려해 볼 만하다..

아래에 관측, 계측항목에 대한 유의할 점에 대해 주로 앵커가 비탈면에 설치되어진 경우를 가정하여 기술하였는데, 그 이외의 장소에 설치된 앵커에 대해서도 이를 준용하는 것으로 한다.

- 앵커두부의 변형 및 부식상황

앵커의 파손은 두부 부근에 가장 많다. 이것은 앵커의 두부가 직접적으로 외부에 노출되어 있기 때문에 낙석이나 공사용 차량 등에 의해 외적 손상을 받거나, 강우 등에 의해 부식 또는 열화되고 수분이 유입되어 긴장재나 정착부가 침식되는 것 등에 기인하는 것이라고 생각된다. 이 때문에 앵커의 두부는 주변환경의 영향을 가장 받기 쉬운 부분이라고 할 수 있으며, 육안점검이나 해머에 의한 개략 검사에 의해 두부 보호공 및 정착부의 파손, 두부방호콘크리트의 들뜸, 방청유 누출 등의 이상에 대해 정기적으로 점검을 하는 것이 필요하다. 육안이나 해머에 의한 타격음 검사에 의해 정기적으로 점검을 하는 것이 필요하다. 육안이나 해머에 의한 개략점검에 의해 앵커두부에 이상이 있다고 판단되는 경우나 변형의 상황이 불명확할 경우에는 필요시 상세조사를 실시한다.

※ 타격음에 의한 점검 : 주로 캡 콘크리트(Cap Concrete)의 들뜸이나 열화 정도를 진단한다. 캡콘크리트가 들뜨거나 열화될 경우 이를 통해 수분이 침투하고 두부가 부식되어 문제가 발생할 수 있으므로, 캡콘크리트의 건전성을 진단하기 의해 행해진다.



그림 3.4.3. 캡 콘크리트의 들뜸

※ 비파괴검사 : 초음파 탐상기 등을 이용하여 앵커 두부 배면의 PC강재의 손상 등을 진단하는 방법이나 초음파의 도달거리 및 반사파의 수신가능 거리 등의 제약으로 인해 파손이나 부식에 의한 단면결손을 확인할 수 있는 거리가 비교적 짧은 단점이 있다. 이외에 가속도 센서를 이용하는 방법, AE(Acoustic Emission) 센서를 이용하는 방법 등이 개발되어 있다.

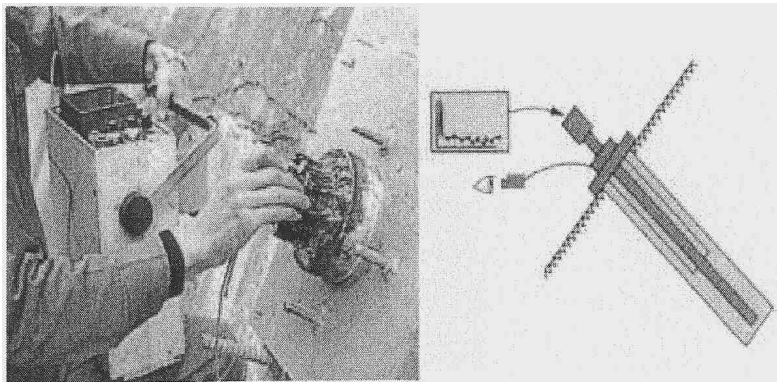


그림 3.4.4. 초음파 탐상 조사법

- 앵커로 보강되는 구조물의 변위, 변형 및 균열

인장력을 지반에 전달하는 역할을 하는 앵커로 보강되는 구조물의 변위, 변형은 앵커의 기능을 유지하는 데에 중대한 문제가 되는 경우가 있다. 또 앵커로 보강되는 구조물의 변위, 변형을 관찰하는 것은 사면 전체의 거동을 파악하는 데에 유효한 경우가 많다.

구조물이나 수압판의 균열, 깨짐, 파손 및 콘크리트의 열화 등에 대해서는 육안에 의해 정기적으로 점검한다. 또 변형, 침하에 대해서는 육안에 의한 정기점검 이외에 필요시 측량 등에 의해 점검한다.

- 주변지반의 변위 및 변형

지반 강도의 변화, 불안정한 사면 주위의 변화 등 사면전체의 움직임을 관측하는 것은 외력의 증가에 대한 대책을 검토하는 것으로 매우 중요한다.

주변지반의 변위 및 변형에 대해서는 육안점검에 의해 정기적으로 상황을 파악해야 하지만 시공 중에 변위가 인지된 경우에는 시공후에도 관측기기에 의한 계측을 계속하는 것이 바람직하다.

관측방법에는 지표면경사계. 공내경사계, 지중변위계 및 신축계 등의 계측기에 의한 방법, 트랜시트 및 광파측정기에 의한 측량방법 등이 있으며, 목적과 요구되는 정밀도에 따라 선정한다.

- 앵커에 발생하고 있는 하중 및 변위에 대해

앵커는 일반적으로 시공후 시간 경과에 따라 초기긴장력이 저하하고, 일정 기간후에 저하가 멈추는 거동을 보이지만, 정착 지반이나 앵커로 보강되는 구조물 배면의 지반이 크리이프하기 쉬운 성질을 가지고 있는 경우 초기긴장력은 계속 저하한다.

또, 지반강도의 저하에 의한 토압의 증대, 불안정한 구역의 확대, 지하수위의 상승, 동상, 응력개방 및 지반의 팽창 등에 의해 설계하중 이상의 잔존인장력이 작용하는 경우도 있다.

앵커의 잔존인장력에 대해서는 정착시 몇 개의 앵커에 미리 로드셀을 설치하고

지속적으로 계측하는 것이 바람직하다. 또 변위에 대해서도 정착시나 기설치된 앵커에 변형계를 설치하여 측정하는 것도 가능하지만 통상적으로 두부의 변위를 측정하여 조사하는 경우가 많다.

FIP에서는 하중조사를 하는 앵커의 개수에 대해 아래 표와 같이 정하고 있다.

앵커의 잔존인장력은 다음 방법을 사용하여 측정하는 것이 가능하다.

・당초 설치된 로드셀(변형게이지식, 차동트랜스식, 유압식)에 의한 방법 : 정착시에 설치한 로드셀에 의하여 잔존인장력을 측정한다. 정착시에, 잭에 의한 재긴장시의 하중-변위곡선에서 구한 잔존인장력과 로드셀의 값을 비교하여 로드셀의 값을 보정하여야 한다. 또, 온도의 변화에 영향을 받는 로드셀도 있기 때문에 그 경우는 온도 보정을 하여야 한다.

・리프트오프테스트를 하는 방법 : 정착구나 긴장재의 여유장에 잭 또는 리프트오프 전용 유압식 잭을 설치하여 재하는 방법으로 정착구가 지압판에서 떨어지기 시작할 때(0.1~1.0mm)의 하중을 측정하므로써 앵커에 걸려있는 하중을 구한다. 재하는 매단계의 하중증가량을 정하고 단순재로 한다. 리프트오프가 확인되지 않는 경우의 최대시험하중은 영구앵커의 경우 설계앵커력의 1.2배 정도로 하지만, 시험에 앞서 정착구의 점검에 의해 강재파단의 위험성 여부에 대해 충분히 검토할 필요가 있다. 특히, 강봉은 강연선과 비교할 때 돌발적으로 파단하기 때문에 긴장재가 튀어나오는 사고가 발생하지 않도록 주의해야 한다.

- 지하수위

예상치 않은 지하수위의 상승, 하강에 의해 구조물을 포함한 지전체가 불안정하게 되어 앵커에 과대한 외력이 작용하는 경우가 있다. 지하수위는 보링공을 이용한 수위 또는 수압 계측에 의해 조사한다.

- 기타

기타 그라운드 앵커에 악영향을 미치는 외적요인으로서 지표수 및 지하수의 수질, 대기오염 등의 영향이 있을 수 있다. 특히 수질은 긴장재, 그라우트 및 정착구의 부식에 대해 중대한 영향을 주므로 조사단계에서 상세한 검토가 필요하다. 그러나 인공적요인 등에 의해 수질은 시간이 경과함에 따라 변화할 가능성이 있기 때문에 pH, 비저항치 및 유해물질에 대해 정기적으로 조사하는 것이 바람직하다.

(다) 점검 등의 항복 및 방법

앵커는 지반이나 지하수 등의 영향을 받기 쉬우므로 점검, 관측, 계측은 앵커의 사용기간 중 계속해서 실시하는 것이 바람직하다. 빈도는 다음 조건을 검토한 후 책임기술자가 정한다. 또 공사 완공 직후는 빈번히 실시하고, 잔존인장력의 변화나 구조물 등의 변위, 변형이 없게 되면 빈도를 줄이는 것이 바람직하다.

- 그라운드 앵커의 종류(영구・가설)
- 가옥, 도로, 철도 등 주요시설물의 유무 및 시설물에 미치는 영향
- 앵커체가 설치된 지반의 강도 및 성상
- 지하수의 유무, 수질
- 앵커로 보강되는 구조물의 종류 및 중요도

상세조사, 잔존인장력 조사 및 변위 계측 등은 일반적으로 육안에 의한 점검이나 기설치된 로드셀, 지반에 설치된 관측기기 및 지하수위계 등에 의해 이상이 인지된 경우나 불명확한 경우에 시행하지만, 잔존인장력 및 변위에 대해서는 정기적으로 측정하는 것이 바람직하다.

또한 호우 등의 이상기상 또는 지진이 발생한 경우의 임시점검은 필요시 별도로 하여야 한다.

(라) 점검결과 평가 및 대책

점검 등에 의해 이상이 확인된 경우 그 원인에 의해 대책을 수립하기 위해 각 검사・관측・계측항목 별로 조사결과를 종합적으로 판단하고, 이상의 원인을 명확하게 밝힐 필요가 있다.

- 개별 앵커의 보수 : 긴장재가 파단하고 두부가 돌출하는 등의 위험성이 있는 경우는 그 원인을 명확히 하고 두부의 파손 또는 돌출방지를 목적으로 하는 보수 등의 조치를 검토한다.

- 잔존인장력의 증가・저하 대책 : 앵커에 발생하고 있는 잔존인장력에 뚜렷한 저하가 인지되는 경우에는 그 원인을 명확히 밝히고, 앵커의 설치목적이나 요구되는 기능 등을 고려하여 재긴장에 대해 검토한다. 앵커에 발생하고 있는 잔존인장력의 뚜렷한 증가가 인지되는 경우에는 그 원인을 명확히 밝히고, 앵커 추가 설치 등 외력의 증가에 대한 대책이나 긴장재의 파단을 방지하기 위해 긴장력 완화에 대해 검토한다.

- 지하수 대책 : 지하수위관측 결과 지반의 안정성에 막대한 영향을 미치는 수위변동 등의 이상현상이 인지되면 지하수배제공을 설치하는 등 ㅈ거절한 대책을 시행한다. 지하수의 화학분석의 결과, 앵커체, 인장부, 앵커두부 각각에 대해 악영향을 줄 우려가 있는 부식 환경이 명확하게 나타나는 경우에는 그 대책을 검토하고 적절하게 조치하여 한다.

(마) 기록

작업공정, 시공방법, 지반의 상황, 시험 결과 등의 공사기록은 앵커의 유지관리를 위해의 중요한 자료가 된다. 특히 앵커 설치 위치나 각도가 상세히 명시된 도서는 앵커 추가 설치 등 추후 그 부근에서 공사를 하는 경우에 앵커 긴장재나 주변에 주는 손상을 피하고 앵커로 보강되는 구조물을 보호하기 위한 대책을 강구할 때 중요한 역할을 한다. 유지관리상 필요한 공사기록항목은 아래 표와 같다. 유지관리기록

은 상기 표에 “점검 등의 항목 및 방법”에서 해설되어 있는 내용을 참고로 하여 정리하고 보존한다. 유지관리기록은 시설의 사용 중 필요하게 되므로 책임기술자가 앵커 공용기간 동안 보존하는 것을 원칙으로 한다.

표 3.4.2. 유지관리상 필요한 공사기록항목(예)

공사단계	항목	적요
준비단계	사용기계 리스트	
시공단계	작업일보, 회의록	
	기계점검 기록	
	재료품질 기록	· 긴장재, 주입재, 방식재료 등
	천공공사 기록	· 지질, 천공속도, 지하수 상황 등
	긴장재가공 기록	· 밀시트, 발청 상태 등
	중비공사 기록	· 주입량, 주입압력 등
	시험 기록	· 초기긴장력, 정착긴장력, 유효긴장력, 변위량 등
완료단계	시공보고서	· 두부정착공법, 시공도(당초설계도, 변경설계도, 준공도 등), 본수, 자유장, 정착장, 방식방법 등
기 타		

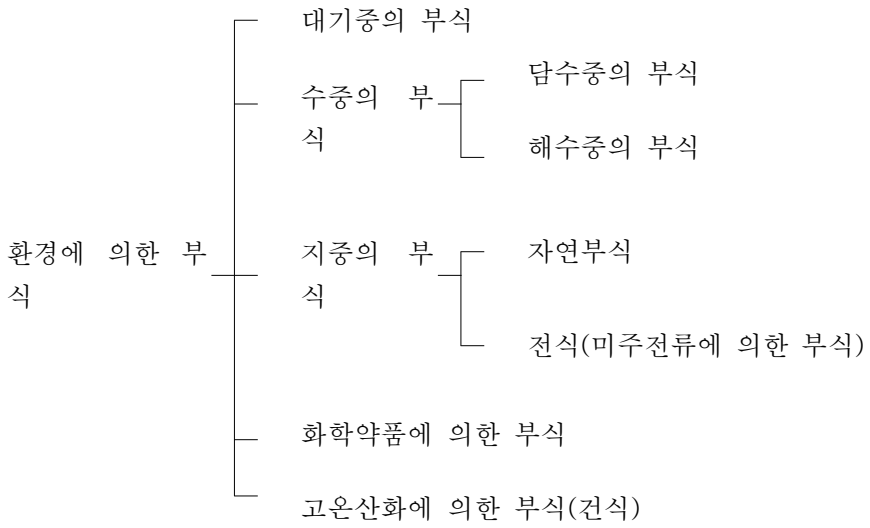
(3) 그라운드 앵커에 발생하는 부식 및 방식처리에 대한 연구

(가) 금속의 부식

금속은 통상 산화물 또는 황화물로서 자연계에 존재하는데, 우리들이 이용하는 금속은 이들의 광석을 제련해서 얻은 것이고, 화학적으로 불안정한 상태에 있으므로, 산화해서 안정한 상태에 되돌아 가려는 경향이 있다. 이와 같이 금속의 화학적 또는 전기화학적 반응에 의해서 표면에서 소모하는 현상을 부식이라 한다.

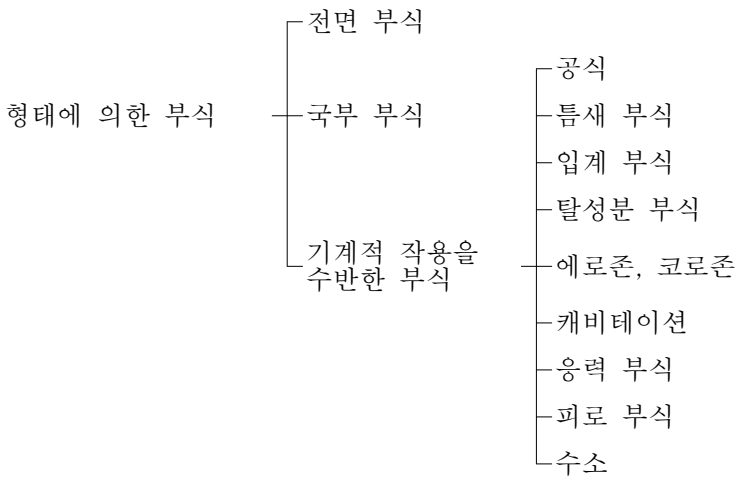
금속의 부식은 이와 같이 금속표면에 접하는 외계(환경)에 관련하는 현상으로 환경에 의한 부식을 분류하면 아래와 같다.

표 3.4.3. 환경에 의한 부식의 종류



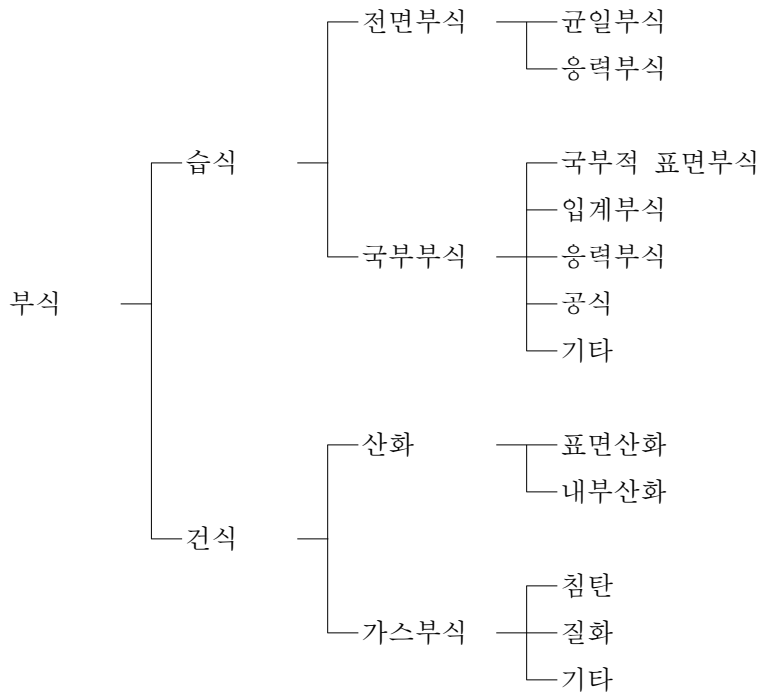
부식을 그 형태에 의해서 분류하면 다음과 같다.

표 3.4.4. 형태에 의한 부식의 종류



습식이냐 건식이냐로 분류하면 아래와 같다.

표 3.4.5. 건식/습식에 의한 분류



(나) 그라운드 앵커에 있어서 부식의 의미

그라운드 앵커에 있어서 부식의 의미은 건설재료로서기타 다른 강재에서 발생하는 부식과 달리 시설물의 안정성에 매우 큰 영향을 준다. 즉 시설물의 보강을 위해 항상 긴장력을 유지하고 있는 그라운드 앵커의 경우, 단면적이 감소되는 것 이상의 의미를 보유하고 있는데 부식에 따른 단면적 감소는 감소된 단면에 하중집중을 유발하고 집중된 하중에 의해 부식이 촉진되는 악순환 반복되게 된다. 특히 2년 이하의 사용기간을 갖는 가설 그라운드 앵커 보다는 50년 이상의 설계년수를 갖는 영구 그라운드 앵커의 부식이 갖는 의미 및 파급 효과는 극히 지대하다고 할 수 있다. 그라운드 앵커와 같이 토목, 건축시설물의 재료로 사용되는 금속에 발생하는 부식은 외관상으로 나타나는 현상에 의해 균일부식, 국부부식, 환경야기부식의 3가지로 크게 나눌 수 있다.

① 균일부식 : 균일부식은 그라운드 앵커의 재료가 수분(액체)과 접촉시 흔히 발생하는 부식현상으로, 부식환경에 노출된 금속표면 전체가 균일하게 침식당하는 부식이다.

부식의 요인으로는 액체의 Ph, 용존산소, 온도, 유속 등을 들 수 있으며, 부식에 의한 무게감량 및 파손되는 금속의 양은 타 부식에 비해 크나, 부식에 의한 유효수

명 예측, 방식방법이 비교적 용이한 특징이 있다.

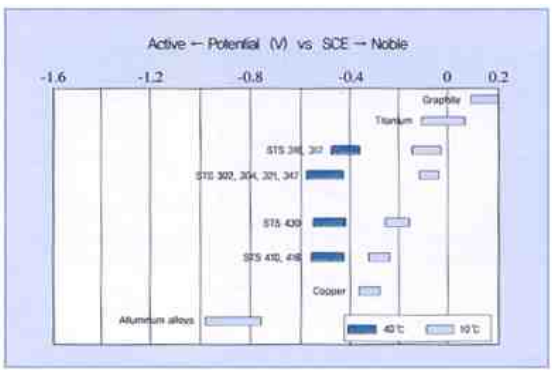
따라서, 적절한 재료의 선택, 각종 표면처리, 부식속도와 내구연한을 고려한 단면적 증가 등의 안전측 설계로 부식에 대한 대처가 가능하다.

② 국부부식(Localized Corrosion) : 국부부식은 구조물의 전반적인 부위는 내식성을 유지하더라도 단지 일부분이 심한 부식침해를 받음으로서 전체적으로 구조물 자체의 성능 및 안전성에 문제를 야기하는 부식의 형태로서 공학적으로 가장 중요한 부식형태다. 특히 부식성이 비교적 약한 분위기에 노출될 수 있는 된 구조물인 그라운드 앵커에서 소홀히 다루기 쉬우므로 주의를 요하며, 많은 경우 그라운드 앵커의 설계부터 생산공정 및 사용기준 등 전반적인 사항에 정밀하고도 주기적인 점검이 요구된다. 국부부식은 다음에 설명할 응력야기부식과 함께 공학적으로 가장 중요한 부식의 형태이다.

③ 갈바닉 부식(Galvanic Corrosion, 전지작용부식) : 갈바닉부식은 두개의 다른 금속 혹은 같은 금속이라 할지라도 부식환경 조건이 국부적으로 다름에 의하여 두 지점간 전위의 차이가 있을 때 전자의 이동에 의하여 산화-환원 반응계를 형성하여 금속이 부식되는 현상을 총칭한다. 갈바닉부식의 원리에서 알 수 있듯이 모든 금속부식 현상은 미세관점에서 본다면 갈바닉부식이라고 할 수 있다. 갈바닉부식은 2가지 형태에 의하여 진행되는데, 1) 두 개의 다른 금속이 부식환경내에서 접촉하고 있을때 발생하는 Galvanic Cell 형태의 부식과, 2) 같은 금속의 두 부위가 농도가 다른 부식용액에 접해 있을때 발생하는 농도전지 형태의 부식이 있다.

두 종류의 금속이 부식환경에서 접촉에 의하여 일어나는 갈바닉부식은 EMF Series(기전력 계열, 금속에 대한 표준산화-환원전위 순서)로도 예측이 가능하나 실제 부식환경은 전극반응이 평형상태가 아니기 때문에 Galvanic Series 는 EMF Series 와 꼭 일치하지 않는다.

표 3.4.6. 염수환경에서의 Galvanic Series



상기 표에서와 같이 표준 전위가 높은 금속을 Noble하다고 하며 상대적으로 낮은

쪽은 Active하게 된다. 화학적으로 Active한 금속이, 상대적으로 Noble한 금속과 이종 결합된 경우는 단독으로 존재할 때 보다 더욱 심각한 부식문제를 야기하게 된다. 즉, 이는 이종금속을 접촉시키는 경우 상대적으로 Noble한 금속이 Active한 금속을 희생 부식시키기 때문에 발생하는 문제이다. 발생 이종금속이 접촉할 때는 이런 표준 전위를 사전에 파악하여 이에 맞는 설계를 하는 것이 매우 중요하다.

따라서 두 종류 이상을 사용하여 그라운드 앵커를 제작할 경우, 특히 Noble한 금속의 접촉면이 Active한 금속의 면보다 클 경우는 그렇지 않을 때보다 더욱 부식을 가속화시키게 되므로 전지작용에 의한 부식을 방지하기 위해서는 Active금속의 면적은 넓게 Noble금속은 작게 설계를 하거나, 금속이 접촉하는 면을 부전도체 와셔나 캐스킷 등을 사용해 전기적으로 절연하는 것이 바람직하다.

④ 공식(孔蝕, Pitting) : 본 부식의 특징은 처음 부식이 발생되는데는 다소 시간이 걸리나 일단 공식이 발생하고나면, pit내부는 작은 양극(Active상태)이 되고, 외부 전체는 커다란 음극(Noble상태)이 되어 부식이 급가속으로 진행되어 수 일만에 관통하게 된다. 공식이 발생한 부분의 입구는 매우 적어 조그만 구멍이 뚫려 있는 형태이나 내부는 크게 확대되어 존재하므로 외부에 작은 결함이 존재할 경우도 수일내 파단이 발생할 가능성이 있기 때문에 즉시 보수를 하는 것이 좋다. 표면의 조건에 따라 많은 영향(매끈하게 잘 처리된 표면이 거친 표면보다 공식발생률이 훨씬 낮음)을 받는다.

※ 공식(孔蝕)의 발생기구(發生機構) : 부동태 피막파괴 → 부식pit형성 → pit내 용액정체 발생 → 용존산소 고갈 → 양이온과다 → 염소이온 끌어들임(전하평형을 위해)→HCI형성→부식가속화(공식과 동일한 원리)

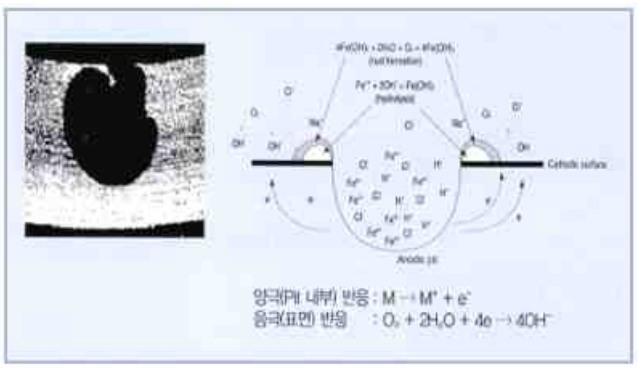


그림 3.4.4. 전형적인 공식발생부위의 단면형상

⑤ 틈새부식(Crevice Corrosion) : 부식의 발생기구는 공식과 동일하며 스테인리스강 위해 이물질이 부착한 경우나 구조상 생긴 틈새가 부식환경에 놓였을 때 집중 발생한다.

※ 틈새부식의 발생기구(發生機構) : 틈새형성 → 틈새부의 용액의 정체발생 →

틈새부에 용존산소 고갈 → 양이온과다 → 염소이온 끌어들임(전하평형을 위해)→ HCI형성→부식가속화(공식과 동일한 원리)

※ 부식발생특징

- 틈새가 있는 경우나 침전물이 있는 환경에서 다발 : Riverts, Bolts, Gaskets, 해조류 부착, 침전물 등
- 염화물 환경에 노출시 발생
- 처음 부식이 발생되는데는 다소 시간이 걸리나, 일단 부식이 발생하면 부식이 급가속
- 육안관찰이 어렵기 때문에 상당히 진행된 후에나 발견 가능

※ 틈새부식 방지방법

- 환경개선:염화물 환경 제거
- 내공식 합금사용:고Mo, N, Cr, Ni합금
- 틈새가 생기지 않도록 설계 : Riverts, Bolt로 체결보다는 용접으로
- 용액이 고이지 않고 완전히 배수되는 구조로 설계
- 틈새가 발생되었을 때는 충진물로 충진

⑥ 입계부식(intergranular Corrosion) : 입계부식이란 부식이 결정립계에 따라 진행하는 형태의 국부부식으로 이 부식은 내부로 깊게 진행되면서 결정립자가 떨어지게 된다. 용접가공시 열영향부, 부적정한 열처리과정, 고온에서의 노출시 주로 발생된다. 크롬은 탄소와 결합하기 쉬운 성질을 가지고 있으며 고온으로 가열되면 쉽게 결합하여 크롬탄화물을 형성하고, 이 물질은 전부 결정립계에 석출하게 되는데 크롬탄화물이 석출된 주변에는 크롬을 빼앗겨서 크롬고갈층이 존재하게 되고 이 부분이 내식성이 떨어져 우선적으로 부식을 일으키게 된다. 이렇게 크롬탄화물이 석출된 것을 예민화되었고 이런 예민화는 약 550~800℃ 온도구간에서 유지되거나 더 고온에서 유지 후 이 온도구간을 서서히 통과할 때 발생된다. 그라운드 앵커의 경우에는 발생의 여지가 적다.

⑦ 환경야기부식(Environmentally Induced Cracking) : 금속부품이 부식환경에 노출됨과 동시에 응력을 받게되면 상호상승작용 (Synergism) 에 의하여 부식이 가속되어 균열을 일으켜 파괴가 일어나는 현상을 환경야기균열이라 말한다. 정적하중을 받을때 일어나는 현상을 응력부식이라 하며, 반복하중을 받을때 일어나는 현상을 부식피로라고 한다. 또한 응력을 받고있는 금속부품의 표면에 수소가 침입하여 일어나는 경우를 수소취성균열이라고 한다. 환경야기균열이 일어나기 위하여는 앞에서 설명한 국부부식이 주요 요건으로서 작용할 수 있으며, 응력부식, 부식피로, 및 수소취성은 실제적으로는 복합적으로 일어나는 경우가 많다.

㉮ 응력부식균열(Stress Corrosion Cracking, SCC) : 부식환경에 노출된 부식 감수성이 있는 금속에 인장응력이 주어졌을 때,인장응력과 주변의 부식환경이 복합적

으로 작용하여 급속의 기계적 강도에 치명적인 영향을 끼쳐 급진적인 파괴를 유발하는 현상이다. 여기서 인장응력이란 열처리나 용접, 그라인더 등에 의한 강한 표면연삭, 성형 등 여러가지 부품 제작과정에서 비롯되는 잔류응력 혹은 외부에서 가해지는 응력을 모두 포함하는데, 그라운드 앵커의 경우, 긴장재의 제작과정에서 발생한 잔류응력과 긴장재에 가해지는 인장력이 그 예이다. 주로 인장응력의 90°방향으로 발생하고 균열의 전파가 입계, 입내 구분없이 무차별로 전파되는 것이 특징이다. 본 부식은 균열의 전파속도가 매우 빨라 부품의 파괴가 2~3일 혹은 수 시간내에 일어날 수도 있다.



그림 3.4.5. 전형적인 SCC가 발생된
부품의 단면조직

부식방지를 위해서는 응력부식을 유발하는 3가지 인자인 인장응력, 환경요인 및 소재선택을 적절히 하는 방법을 강구해야 하나, 그라운드 앵커의 특성상 인장응력 제거, 금속강도의 저하 및 조직을 변화시키는 방법은 적용하기 어려우므로, 응력부식성이 강한 금속으로 대체하는 방법을 고려할 수 있으나, 건설재료비를 함께 고려해야할 필요가 있다.

㈏ 수소취성균열(Hydrogen Enbrittlement Cracking) : 수소취성은 수소가 금속조직내부로 침투 및 확산하여 연성과 인장강도를 감소하는 현상을 말하며, 이로 인하여 수소취성균열이 야기된다. 수소취성은 금속에 용해된 수소가 전위나 미세공공(Microvoid) 주위에 모여서 Slip 을 방해하기 때문이라고 알려져 있다. 수소취성균열 현상은 인장응력하에서 취성균열을 일으킨다는 관점에서 응력부식균열과 유사성이 많다. 그러나 전기화학적으로 수소취성은 음극전위 영역에서 발생되는 반면, 응력부식은 양극전위 영역에서 발생된다. 수용액에 노출된 금속표면에서 수소원자는 다음반응에 의하여 생성된다.

$$H_2O + e^- \rightarrow H + OH^- \quad \text{(Neutral \& Alkali Solution)}$$
$$H^+ + e^- \rightarrow H \quad \text{(Acid Solution)}$$

원자상태로 생성된 수소가 금속내부로 침입하여 두개의 수소원자가 결합하여 분자상태의 수소가스로 될때 혹은 금속과 반응하여 수화물(Hydride)을 형성할 때 취성균열이 유발된다. 그러나 수용액의 환원반응에 의하여 새로이 생성된 수소원자가 분자로 결합하기까지는 일정한 시간이 필요한데, 금속의 표면에 S^{2-}, As^{3+} 등이 존재할 때는 분자로 합쳐지는 시간이 지연되어 금속내부로 침투하는 수소원자의 량이 증가한다. 특히 석유화학 공정에서 H_2S에 의하여 수소취성균열이 많이 발생되는 것이 이 경우에 해당된다. 특히 Sulfide 가 존재할 경우 균열이 발생하는 현상을 Sulfide Stress Cracking (SSC) 이라고 부른다. 미국부식학회(NACE) 에서는 이와 같은 SSC 가 일어나는 분위기에 사용할 수 있는 재료에 대하여 NACE Standard MR-01 -75에 지정하였다. 또한 수소취성균열은 음극방식이나 전기도금 등에 의하여 조장되는 경우가 많다.

그라운드 앵커의 경우, 응력부식을 억제하는 방법으로 음극방식도 사용할 수 있으나, 수소취성을 유발할 우려가 있기 때문에 사용시 주의를 요한다.

㉰ 부식피로 (Corrosion Fatigue) : 부식분위기에 노출된 금속재료가 반복응력을 받게되면 취화현상이 일어나 균열의 생성 및 전파로 인하여 파괴를 일으키는 현상을 부식피로균열이라 한다. 그라운드 앵커의 경우는 발생의 여지가 매우 적다.

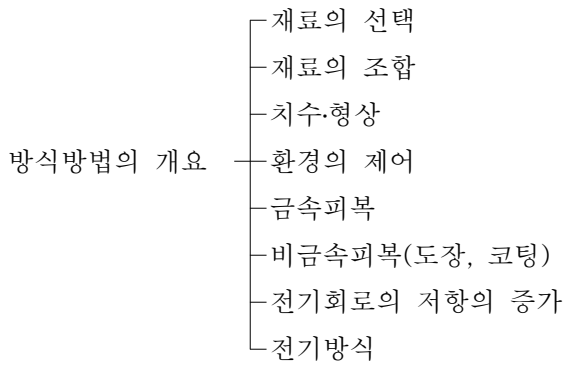
(다) 방식 개요

방식이란 부식을 방지하는(부식을 예방하는) 것이지만 넓은 의미로 생각해 보면 「구조물의 기대하는 수명기간 중에 부식에 의한 손실과 방식에 필요한 비용이 합을 최소한으로 관리하는 것」이라 말할 수 있다. 손실에는 사회적손실 및 부식 때문에 수선비를 포함하고 또 방식 비용에는 초기투자 외에 운전 방식비를 포함한다.

방식을 이와같은 넓은 뜻으로 생각할 때 과연 좁은 뜻의 방식을 하는 것이 유익한가를 당연히 고려해야 된다. 그것을 결정하는 요인은 구조물의 수명, 중요성, 부식이 일어났을 경우의 손실이나 영향의 크기, 방식에 요하는 비용, 경제성, 방식기술의 수준 등이다.

㉮ 방식법의 개요

표 3.4.7. 방식법의 개요



㈏ 방식의 원리

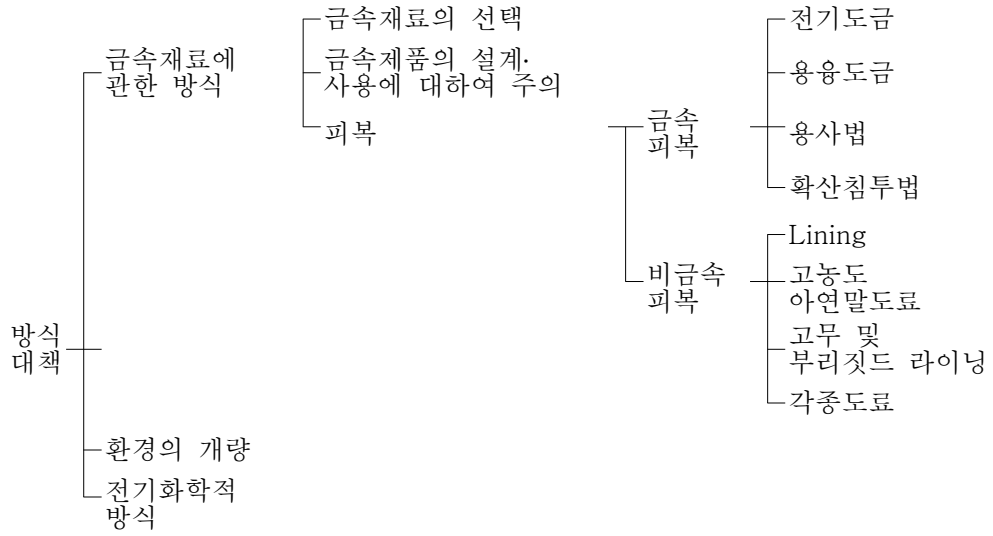
지중에 매설된 금속의 부식은 토양, 물등의 전해질의 존재하에서 양극반응과 응극반응이 접하여 발생하는 것이기 때문에

- 가스관 표면과 전해질을 차단한다(도장, 코팅)
- 양극반응의 진행을 저지한다(전기방식)
- 양극부와 음극부를 분리한다(절연)

등, 어느것이나 다 기본적인 방식법이 된다. 단지, ③은 Micro Cell 부식 방지에는 적용되지 않고 예외적이다.

(라) 방식대책

부식에 의한 소모를 억제하고, 파괴를 막고, 또는 연명시키는 것을 목적으로 한다. 이 목적을 이루기 위해서는 여러 가지 방법이 있어, 대별하면 다음과 같이 된다.

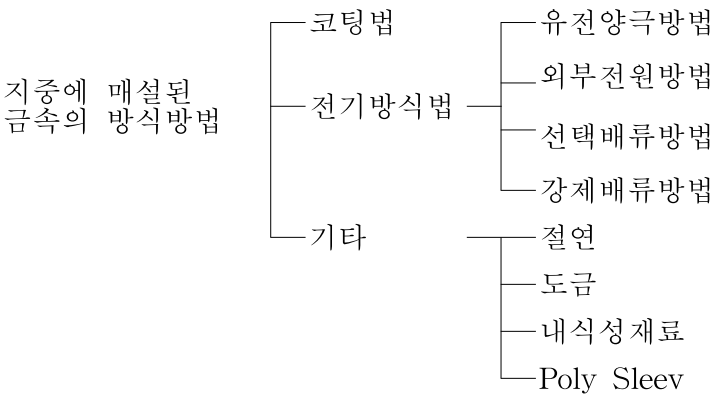


이와같이 다종다양하기 때문에, 채용함에 있어는 각각의 특징을 파악하고 시행할 필요가 있다.

① 방식방법의 분류

방식방법 채용에 있어서는 구조물이 수명, 중요성, 부식이 발생하는 경우의 손실과 영향의 크기, 방식에 필요한 비용, 경제성, 방식기술의 Level등을 감안하여 방식법을 결정할 필요가 있다. 특히, 전기적인 연속성이 많은 용접에 접하부위는 충분한 주의를 요한다. 지중에 매설된 금속의 방식방법의 분류를 아래 표에 나타낸다.

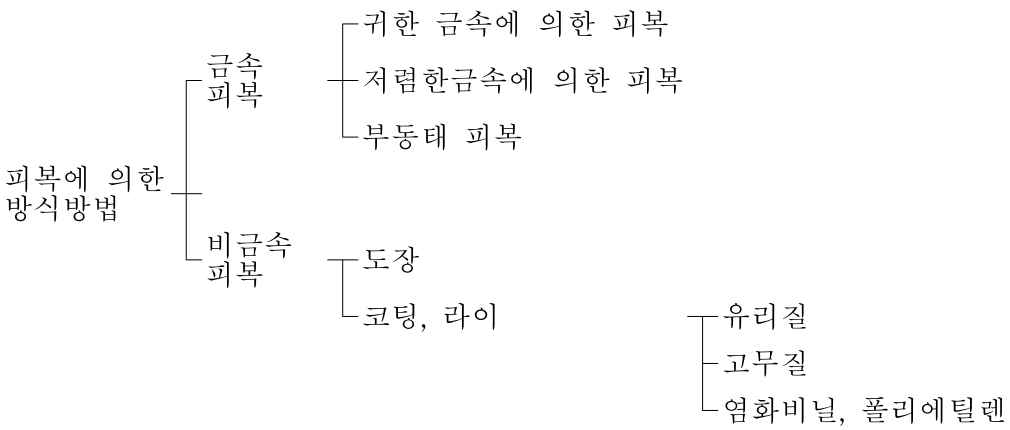
표 3.4.8. 지중에 매설된 금속의 방식방법



(마) 피복에 의한 방식

금속의 부식을 금속의 환경과의 전기화학적인 반응이기 때문에 그 표면을 줄여줌으로써 부식의 진행을 적게할 수가 있다. 아래표는 피복의 종류를 나타낸다.

표 3.4.9. 건식/습식에 의한 구분



표중 저전위 금속에 의한 피복으로서, 아연(Zn) 도금이 잘 사용된다. 아연에 의한 방식의 원리는 이미 진술한 바와 같이 전해용액 중에서 아연이 철보다도 저전위이기 때문에 아연이 용출하고 철이 방식되는 것에 있다. 코팅-라이닝에는 지금까지 여러 가지의 재료가 사용되었지만, 크게 나누어 역청질과 합성수지가 있다. 역청질의 것은 아스팔트계, 합성수지에서는 염화비닐 또는 폴리에틸렌이 많이 사용된다. 현장접합부에는 Putty 모양, 테이프 모양 또는 시트모양이 사용되고, 재료도 아스팔트계, 염화비닐, 폴리에칠렌, 합성고무 Petrolatum등과 같이 다양한 것이 사용된다.

코팅의 재료에는 그 목적이 토양과의 접촉을 끊고 금속표면의 전기화학적 반응을 접지시키려고 하는 것이기 때문에, 절연성이 높은 재료를 요하고 있다. 아래 표는 코팅재료의 절연 저항측성 결과를 제시한 것이다.

표 3.4.10. 코팅재료의 절연저항측정 결과

번호	피복재료	절연저항(Ω-㎡) 1 10 10^2 10^3 10^4 10^5 10^6
1	Asphalt jute 1회	△ ○
2	비닐론 크로스 2회	△○
3	Tar epoxy	△ ○
4	폴리에틸렌 테이프 두루마리	△ ○
5	비닐 테이프 두루마리	△ ○
6	폴리에칠틸 피복	○ △

단, 코팅의 재료는 절연성만 가지고 평가할 수는 없고, 밀착성, 시공의 용이성, 운

반, 취급시의 내손상성, 시공관리의 정도, 전기방식의 유무등도 포함하여 종합적으로 평가해야 한 포함최근개발된 폴리에틸렌의 코팅은 관과 피복과의 사이에 점착질의 층이 있어 적은핀홀은 이것이 방지하는 효과가 있으므로 높은 방식성능을 갖고 있다.

(바) 저접지물과의 절연

지중의 금속을 코팅으로 방식하려고 할 때, 뜻밖의 곳에서 타 금속체와 접촉하고 있어 마크로셀을 형성하는 경우가 있다. 또 지지금속이나 기기 등을 섞어서 타 금속과 접촉하는 것도 있다. 이러한 가능성이 있는 장소에서는 테이프로 감던지 절연피복한 재료를 사용하던지 하여 다른 금속과의 접촉을 되도록 피하는 것이 바람직하다. 특히 콘크리트의 철근은 토양중의 강에 비해서 꽤 높은 전위를 보이니까 주의해야 한다. 이러한 것은 코팅을 사용한 방식에서 뿐 만 아니라, 다음에 말하는 전기방식에 있어서도 중요한 일이다. 코팅을 사용한 방식을 할 때 유효한 수단의 하나로서 마크로셀을 구성하는 회로의 절연이 있다. 마크로셀은 주로 환경의 차에 의해서 일어나는 것이기 때문에 긴 앵커의 경우 전위차도 커지기 쉽다. 따라서 그라운드앵커의 금속부위를 적당하게(이상적으로는 환경의 차가 있는 곳에서) 절연함으로써 마크로셀의 형성을 방지하여 방식효과를 올릴 수가 있다.

(사) 그라운드 앵커의 방식

부식 우려가 있는 재료로 만들어진 앵커는 적절한 방식을 강구하여, 사용기간 중에 앵커의 기능이 저하되지 않도록 해야 한다. 재료 자체가 부식하지 않는 연속섬유보강재라든가, 강재의 표면에 확실한 방식층을 갖는 방청된 재료는 부식 우려가 없고 방식을 필요로 하지 않는 좋은 재료이다. 여기에서 말하는 강재표면의 확실한 방식층이란 외부의 부식 환경으로부터 장기간 안정적으로 차단될 수 있는 구조를 가진 것을 말한다. 차단 구조에는 예를 들면 강재표면에 합성수지를 피복하는 방법 등을 생각할 수 있다. 또한 확실한 방식층은 시공 중의 긴장재 조립가공, 휨가공 등에도 방식이 유지되는 것을 말한다. 또한, 방식층을 가짐으로써 다른 기능(예를 들면 그라우트와의 부착력)이 저하되는 일이 없도록 적절한 조치가 강구된 것을 말한다. 부식 우려가 있는 긴장재는 장기간 지하수 등의 부식 환경에 접하게 되면 하중과 부식의 상호작용에 의해 긴장재가 파단되고 앵커의 기능을 다하지 못하게 된다. 즉, 정적인 하중이 계속적으로 부하된 강재를 부식 환경 아래 두게 되면 어느 정도의 시간이 경과한 후 대부분 소성변형을 동반하지 않고 파괴되는 지연파괴라고 하는 현상이 발생하는 경우가 있다. 강재의 지연파괴는 일반적으로는 응력부식균열이라고 하며, 이 현상을 전기화학적 부식반응 측면에서 분류하면 다음과 같은 음극반응(캐소드반응)과 양극반응(아노드반응)으로 구분된다.

음극반응 : $2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H \rightarrow H_2$

$$O2+2H2O+4e^- \rightarrow 4OH^-$$

양극반응 : $Fe \rightarrow Fe2^{++} 2e^-$

즉, 음극반응에서는 원자 모양의 수소가 발생하고, 이것이 강재 내로 침입하여 강재의 어느 부분에 집적함으로써 균열이 발생된다고 생각되며, 이 음극반응에 의한 파괴를 수소취성균열이라고 일컫는다.

한편, 양극반응에서는 철의 용해에 의해 부식공이 형성되고, 이것이 응력집중원으로 되어서 강재의 축방향 인장응력과의 상승효과로 균열이 진전된다. 이 양극반응에 의한 파괴를 협의의 응력부식균열이라고 말한다.

이들 수소취성균열과 응력부식균열의 원리를 모식적으로 나타낸 것이 아래 그림이다.

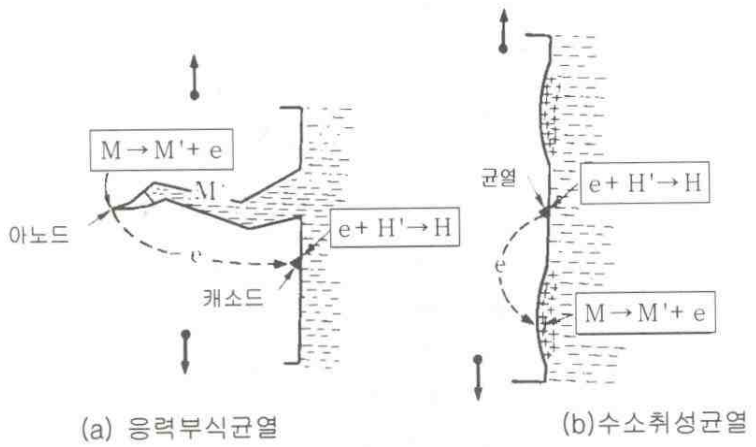


그림 3.4.6. 응력부식균열 및 수소취성균열의 원리를 나타내는 모식도

부식 환경 하에 놓은 PC강재의 지연파괴는 수소취성균열, 응력부식균열이 상호메카니즘의 작용에 의하여 발생하는 것이라고 생각된다.

① 부식 우려가 있는 재료를 사용하는 앵커 방식 방법을 선정할 경우는, 방식용 재료의 효과 등을 고려한 후 앵커체, 인장부, 앵커두부 각각에 대해 최적의 조치가 되도록 충분히 검토하여 결정하여야 한다. 영구앵커의 경우는 시공 시 및 완성 후의 부식 환경에 대해서도 충분히 고려하지 않으면 안 된다. 또, 필요시 앵커의 전체 사용기간 동안 가장 불리한 부식조건을 설정하여 방식대책을 강구해야 한다.

또한, 부식 정도는 아래의 환경조건에 따라서도 좌우되기 때문에 앵커가 처해진 환경조건을 충분히 조사, 파악하도록 한다.

㉮ pH 및 산도

- pH가 낮고 산성이 강하게 되면 부식속도는 증대하고, 강재의 경우 pH4 이하로 되면 부식이 심하게 된다.

- 흙 속에 황부산(Fumic Acid) 등의 유기산이 포함된 경우 pH치가 중성에 가까워도 산도(산성물질의 함유량)가 높기 때문에 부식되기 쉽다.

② 비저항치

철의 부식은 중성 또는 알칼리성 흙에서는 비저항치에 영향받기 쉽고, 산성토양의 경우 pH치에 영향받기 쉽다.

흙의 비저항치는 주로 토양 중의 함수량과 물의 전도도에 의해 결정되기 때문에, 철의 부식과 밀접한 관계가 있다. 일반적으로 수천 Ω·cm의 비저항치를 보이는 흙의 부식도는 작고, 100-300Ω·cm에서는 큰 영향이 있다.

③ 박테리아

혐기성의 유산염소 환원박테리아가 번식하고 있는 경우 박테리아의 복극작용 때문에 음극반응이 촉진되어 유화수소가 발생하고, 철과의 반응에 의해 부식이 진행되며 수소가 강재 내로 침입한다.

④ 흙 속의 용해성분

㉮ 지하수 중의 유리탄산

㉯ 화산온천지대나 공장지대 등에서의 아류산가스, 유화수소

㉰ 유기물의 부패로 발생하는 암모니아

㉱ 염화물, 유산염, 특히 염소이온

㉲ 유화물, 무기산이나 중금속 등의 유해물을 다량으로 함유한 광산의 폐기물, 석탄재, 공장폐수 등은 부식을 촉진시킨다.

⑤ 미주전류

누전이나 접지된 전기설비에 의해 지중에 전류가 흐르고 있는 경우가 있다. 이 전류를 미주전류라고 하며, 이것이 지중에서 앵커의 긴장재에까지 흐르게 되면, 강재와 다른 재료 사이에 전위차가 생기고, 이에 의해 전지가 형성되어, 이른 바 전식이라고 하는 부식이 발생하는 경우가 있다. 전식이 생길 우려가 있는 경우는 본장에서 보여주는 방식구조와는 별도로 긴장재에 전기가 흐르지 않도록 하는 대책을 강구할 필요가 있는데, 대책이 없을 경우는 앵커 사용을 피하도록 한다.

㉯ 영구앵커에 대해서는 앵커 사용기간 중에 부식에 의해 그 기능이 손상되지 않도록 긴장재, 정착구, 지압판, 내하체 및 센트럴라이저에 확실한 방식을 한다.

부식 우려가 있고 방식이 필요한 긴장재에 대해서는 전장에 걸쳐서 사용기간 중에 외부의 부식환경으로부터 차단 할 수 있는 재료를 사용하고 구조적으로 보호할 수 있도록 한다. 긴장재를 외부의 부식 환경으로부터 차단하는 방법으로는 강재를 내식성이 있는 2종류 이상의 재료로 보호하는 방법 등이 있다.

앵커두부에서 인장부에 걸쳐서는 FIP-1986에서 보고된 바와 같이 부식에 의한 파단사고가 많으므로 특히 주의를 요한다. 따라서 앵커두부와 그 배면, 또한, 인장부에서 부식 환경으로부터 차단하기 위해 사용되는 재료끼리의 접속부분에서는 방식구조가 불연속으로 되기 때문에 특히 이 부분의 지수구조를 확실하게 해야 한다.

표 3.4.11. 앵커 파단의 실태조사 결과

조사항목		비율(%)	
조사건수	영구앵커 가설앵커	69 31	
인장강재의 종류	PC강선 PC강봉 PC강연선	53 25 22	
앵커 사용기간	6개월 이내(최단 : 수일) 6개월~2년 2년 이상(최장 : 31년) 사용기간 알 수 없음	(영구) 11 6 49 3	(가설) 17 3 5 6
파단개소	앵커두부 부근(배면 1m이내) 인장부 앵커체	45 50 5	

FIP의 조사에 의한 세계 각국에서 보내온 35건의 파단 사례의 집계 개요(1986년)

㉰ 가설앵커는 일반적으로 사용기간이 짧아 간단한 방식만 해도 무방하지만, 사용조건에 따라서는 심각한 부식 환경에 처할 수 있기 때문에 사용기간, 환경조건, 사용방법 등을 충분히 고려하여 방식 방법을 결정한다. 또한, 사용기간이 짧더라도, 긴장재 기능의 저하가 예상되는 부식 환경조건의 경우는 영구앵커의 동일한 방식을 한다.

또, 사용기간이 아주 짧거나 부식 환경에 거의 노출되지 않는 경우는 방식을 생략하여도 된다.

⑥ 영구 그라운드 앵커의 앵커체의 방식

부식 우려가 있고 방식이 필요한 앵커체의 긴장재는 장기간 안정적으로 외부로부터의 부식 환경을 차단할 수 있는 내구성이 있는 시스 등으로 싸서 보호해야만 한다. 사용되는 시스는 부식 우려가 없고, 장기적인 내구성을 가지는 플라스틱제 시스를 사용하는 경우가 많지만, 강제시스를 쓸 경우에는 확실한 방식으로 부식 우려가 없는 것을 사용하는 것으로 한다. 또, 이들 시스가 지반에 힘을 전달하는 기능을 가질 경우에는 긴장재에 인장력을 가했을 때 파손되지 않을 충분한 강도와 두께를 갖는 것으로 한다. 시스와 긴장재 사이에 공간이 있으면 긴장재가 부식될 우려가 있으므로, 공간이 발생하지 않도록 시공한다. 앵커체의 그라우트는 알칼리성이어서 부식 우려가 있는 강재에 대해서는 방식기능이 기대되지만, 지하수나 지반의 산성도가 높을 때는 그라우트 자체에 열화가 생길 위험이 있으므로, 그라우트의 재질 변경을 검토한다. 긴장재에 시스를 끼울 때 긴장재의 선단부분의 방식구조가 불연속으로 되는 경우는 부식 환경을 차단할 수 있는 지수구조로 한다. 앵커체에 사용되는 내하체에 대해서도 부식 우려가 없고, 장기적으로 내구성을 갖는 것을 사용 한

다.

⑦ 영구 그라운드 앵커의 인장부의 방식

영구앵커의 인장부 방식 방법으로는 사전에 공장에서 긴장재에 시스를 씌워서, 긴장재와 시스 사이에 방식용 재료를 충전해 두는 방법이나 긴장재를 긴장한 후에 방식용 재료를 주입하여 충전하는 방법이 있다. 구체적으로는 언본드케이블과 시스의 조합에 의한 방식구조나 시스에 방청재 등의 방식용 재료를 충전하는 타입 등이 있다. 방식용 재료를 충전하는 타입은 재료가 일정 피복두께를 갖도록 완전하게 충전하고, 외부로 누출을 방지하며 공간이 발생하지 않도록 한다. 방식용 재료에 방청유를 사용하는 경우 재질은 오일계통의 체적변화가 적은 것으로 하고, 시공 시에 방청유가 시스 내에 완전히 충전되어 밀봉되게 한다. 공벽주위 지반의 느슨해짐을 억제하고, 자유장부의 방식기능 증가도 기대할 수 있으므로 앵커 자유장부의 공극은, 그라우트로 충전주입을 하도록 한다. 앵커의 인장부는 장기적으로 마찰저항이 발생하지 않는 구조로 하여야 한다. 그러므로 특히 긴장재의 신장을 구속하지 않는 방식용 재료를 선정한다. 충전되는 방식용 재료는 유해물질의 침입에 대해 충분한 방식기능을 가져야 하고 긴장재의 부식을 유발하지 않아야 한다. 또한 기타의 방법으로 방식을 할 때는 확실한 방식이 되게 한다. 방식을 위해 사용하는 시스는 사용기간 중 내구성을 가져야 하고, 방식용 재료의 주입압력에 충분히 견딜 수 있는 강도를 갖는 것을 선정하다. 재료로는 폴리에틸렌 등의 합성수지가 많이 사용된다. 또한, 시스에 필요한 성질로는

㉮ 소정의 곡률로 구부려도 변형, 변질하지 않는 강도와 형상을 가지고 있을 것.

㉯ 가공, 운반, 삽입 시에 파손되지 않는 내마모성과 강도를 가지고 잇을 것.

㉰ 브리징과 공기 정체가 없도록 부드럽고 확실하게 그라우트를 주입, 충전시킬 수 잇을 것.

㉱ 그라우트에서 지반으로 인장력을 유효하게 전달시킬 수 있는 형상과 강도를 가지고 있을 것.

㉲ 지하수나 유해한 물질을 통과시키지 않는 지수성과 장기간 침투되지 않는 내구성을 가지고 있을 것.

등이 있다.

인장부와 앵커체의 경계부는 긴장력이 전달되기 시작하는 부분이고 응력 집중에 의해 그라우트의 균열이나 방식용 재료의 차손 등이 발생 할 가능성이 있다. 따라서 방식에 대해서는 충분한 주의가 필요하고, 적절한 방식구조를 선정함은 물론 신중하게 시공해야 한다. 또, 인정부와 앵커두부의 경계부도 특히 부식의 위험성이 높기 때문에 신중하게 시공을 한다.

⑧ 영구 그라운드 앵커의 앵커두부의 방식

㉮ 영구앵커의 방식 방법으로는 앵커두부를 방식성이 있는 캡으로 보호하고, 캡 내에 방청유 등의 방식용 재료를 충전하는 방법이 일반적이다. 앵커두부 전체를 캡

을 씌우지 않고 직접 콘크리트로 피복하는 방법은, 웨지 정착방식에서는 웨지와 웨지 사이의 공극이나 앵커헤드와의 공극에 모르타르 또는 콘크리트가 침투할 위험성이 있다. 또, 지반침하 등에 의해 수압판과 피복 콘크리트 사이에 공간이 생겨서 우수가 침입할 위험성이 있다. 또, 영구앵커는 기본적으로 재긴장이 필요하기 때문에 콘크리트로 피복하면 재긴장을 하지 못하게 되므로 앵커두부 전체를 직접 콘크리트로 피복하는 방법은 기본적으로는 채택하지 않는 것으로 한다. 정착구의 배면과 두부의 캡 내에 충전하는 방식용 재료는 인장부에 사용하는 것과 동등 이상의 것을 쓰고, 직접 일광에 노출되어 고온이 되는 경우에는 적절한 융점을 갖는 것을 선정한다.

㈏ 정착구의 배면은 인장부와의 경계가 되기 때문에 방식 구조가 불연속으로 되기 쉽고, 부식의 위험성이 높다. 따라서 경계부분에 유해물질이 침입하지 않는 구조로하고, 정착구의 배면에는 그라우트나 방청유 등 방식용 재료로 완전히 충전단다. 더구나 충전된 재료가 누출, 증발, 침강하지 않는 구조와 재료를 사용하고, 추후 보충할 수 있는 구조로 한다.

앵커두부 부근에서 유해물질의 침입로는

- 지반과 대좌 사이의 공간
- 대좌와 지압판 사이의 공간
- 지압판과 정착구 사이의 공간 등이 있다.

정착구의 표면은 외부환경의 영향을 받기 쉽다. 따라서 이 부분도 부식의 위험성이 높으므로 부식 환경으로부터 차단될 수 있는 방식구조로 한다.

㈐ 앵커두부는 외부의 기상 조건에 직접 노출되고, 낙석, 기계의 충돌 등의 위험성도 있다. 앵커두부는 이들에 의한 손상에 저항할 수 있는 재료와 구조로 하거나 또는, 두부캡 위를 콘크리트로 피복하는 것으로 한다. 또, 두부캡 자체도 필요에 따라 방식을 실시한다.

㈑ 앵커는 점검이나 유지관리가 용이한 구조로 하는 것이 바람직하다. 재긴장을 고려한 앵커두부 방식은 재긴장을 방해 않는 방법으로 한다.

나. 시공 및 설계를 중심의 지침 연구

기타 시공 부실에 의한 문제점으로 앵커의 개념 및 역할을 제대로 이해하지 못하는 데서오는 문제점들이 있을 수 있다. 외국의 경우 이러한 점은 개별 시공사 및 기술자에 대한 지속적인 교육과 함께 그라운드 앵커를 시공할 수 있는 기술자격에 대한 검정 등을 통해 이를 개선하고 있으므로 이러한 제도는 우리나라도 도입을 검토해 볼 필요가 있다고 생각된다.



그림 3.4.7. 캡 콘크리트의 부실시공으로 두부가 노출된 앵커 사례

(1) 그라운드 앵커의 제작 및 시공상의 문제점

(가) 앵커 제작에 소요되는 재료 선정, 방식 기준이 없다.

(나) 제조사 나름대로의 방식처리방법을 채로의 는 있지만 제조원가의 상승 등을 이유로 일본 등 선진국의 기준과 비교할 때 부적절하거나 미흡한 실정이다.

(다) 특히 콘·웨지에 의한 두부 정착방식을 채용하는 앵커의 웨지 제작에 있어 재료 및 열처리가 불량한 제품을 사용하는 경우가 있다.(프리스트레스트 콘크리트에 사용하는 콘·웨지의 경우는 품질검사가 철저함)

(라) 마찰압축형앵커의 내하체 하부에 강연선을 콘·웨지로 정착하여 제조할 경우 웨지가 느슨하게 물려 앵커의 취급 또는 설치시 강연선이 이탈되는 경우가 있다.

(마) 천공 결과 설계시 예상한 정착지반과 상이할 경우 설계변경 없이 시공하는 경우가 있다.

(바) 천공 후 공벽 붕괴로 인하여 앵커 삽입이 곤란할 경우 설계된 깊이까지 재천공 후 삽입하여야 하나 천공공 바깥으로 돌출된 강연선을 절단하고 그대로 정착하는 경우가 있다.

(사) 격자블럭 등 수압판을 시공할 경우 격자블럭의 대좌면과 앵커 천공 방향이 직각을 이루지 못해 인장재의 구부러짐으로 인하여 각각의 강연선에 걸리는 인장력이 상이하게 되는 편심 현상이 발생하는 경우가 있다.

(아) 천공공 내의 지하수 침투 또는 피압지하수에 의한 그라우트 강도 저하

(자) 콘·웨지에 의한 두부 정착방식을 채용하는 앵커에서 3조각의 웨지피스가 정렬되지않아 인장시 강연선의 물림 정도가 상이하여 강연선이 파단되는 경우가 있다.

(차) 두부 정착을 위하여 강연선 피복을 벗겨낸 부분에 대한 방식처리 미흡한 경우가 있다.

(2) 국내외에서 사용되는 그라운드 앵커의 재료에 대한 연구

그라운드 앵커에 사용되는 재료는 앵커체, 인장부, 앵커두부의 각각에 설계, 시공 유지관리상 필요한 기능을 만족시키는 재료를 사용해야한다.

그라운드 앵커에 사용되는 재료는 그라우트, 긴장재, 정착구, 방식용재료, 기타 재료등으로 나눌 수 있는데, 이들 상호간에는 부탁이나 접촉이 있을 수밖에 없다. 특히, 인장재나 그라우트는 일반적으로 높은 응력상태에서 사용되기 때문에 그라운드 앵커의 사용기간중에 재료 상호간에 서로 악영향을 주지 않는 것이 확인된 것을 사용해야 한다. 특히 영구 그라운드 앵커의 경우는 방식이나 내구성 등을 고려해서 필요시 사용재료에 대한 시험을 실시하여 성능을 확인하는 것 뿐 만 아니라 재료상호간의 영향에 대한 검토와 시험을 병행하는 것이 좋다.

(가) 앵커용 그라우트에 사용되는 재료

① 시멘트계 그라우트

앵커에 사용하는 시멘트계 그라우트에는 시멘트페이스트 또는 모르터가 있다. 그라우트는 확실한 앵커체를 형성하여 긴장재를 부식으로부터 보호하며 앵커력을 설치 지반에 확실하게 전달하는 역할을 한다. 따라서 그라우트에 요구되는 품질은 아직 굳지 않은 그라우트는 양호한 유동성을 갖고 혼합에서 주입 완료시까지 유동성의 저하가 없어야 하며, 주입 후의 용적 변화가 작아야 한다. 또한, 굳어진 후의 그라우트는 충분한 강도를 갖어야하며, 밀실한 충전과 우수한 수밀성이 확보되야한다. 시멘트계 그라우트에 사용되는 재료에는 시멘트, 물, 세골재, 혼화재료가 있는데, 요구되는 품질을 만족시키기 위해서는 그라우트의 소요강도, 시공성, 지반 등을 충분히 고려한 후 선정해야한다.

㉮ 시멘트는 포틀랜드시멘트를 사용하는 것을 표준으로 하고, 통상적으로 보통 포틀랜드시멘트를 사용하는 것으로 하며, 특히, 공기 단축의 목적으로 초기에 고강도를 필요로 하는 경우에는 조강포틀랜드시멘트를 사용한다. 부식 환경조건에 따라서 내유산염시멘트를 사용하는 경우도 있지만 그 특성을 충분히 파악하여 사용한다. 상기 시멘트 외에 KS 규격에 적합한 시멘트로서는 고로시멘트, 실리카시멘트, 플라이애쉬시멘트가 있다. 이들 시멘트 사용시에는 강도특성, 내구성, 시공성 등에 대해 충분히 검토한다.

㉯ 용수는 수돗물을 쓰면 문제없지만 천연의 담수(지하수하천수, 호수수 등)을 사용하는 경우는 시멘트계 그라우트의 응결, 경화, 강도 등에 악영향을 미치지 않는 것인지 확인한다. 염화물이나 초산염, 유산염을 포함한 물을 쓰면 강제의 긴장재나 철근의 부식을 촉진할 우려가 있다. 특히, 긴장재는 상시 높은 응력상태로 사용되므로 부

식이 생기기 쉽다. 따라서 물의 성질에 대해 의심이 가는 경우에는 수질시험을 하여 용수로서의 사용가능 여부를 확인한다.

㉰ 잔골재로 사용하는 모래의 입경은 2mm 이하로 하고, 세립분의 양이 많지 않은 편이 좋고, 과도한 미립분을 포함한 것은 사용하지 않는 것으로 한다. DIN에서는 0.2mm 이하의 모래를 골재량의 30% 이하로 할 것을 규정하고 있다. 유해물 함유량의 한도는 콘크리트 표준시방서 등을 참고한다.

㉱ 혼화재료는 긴장재, 그라우트, 시스 등에 악영향을 미치지 않는 것을 사용한다. 일반적으로 혼화재료는 사용목적에 따라 효과가 클수록 그 부작용도 크다고 생각해야 하고 그 사용 실적이나 특성을 충분히 파악하고 사용한다.

② 합성수지계 그라우트의 재료로는 폴리에스테르계, 에폭시계, 폴리우레탄계 등의 수지계가 주로 사용되고 있는데 그 기능은 아래 조건을 만족시키는 것이 좋다.

㉮ 응력 전달에 필요한 충분한 강도를 가질 것
㉯ 주위의 지반과 반응을 일으키지 않을 것
㉰ 부식에 대해 효과적인 내산성을 가질 것
㉱ 장기간 안정할 것
㉲ 긴장재와 충분한 부착력을 가질 것
㉳ 긴장재의 신율 특성에 대응할 수 있을 것
㉴ 굳은 후의 수축이 작을 것
㉵ 공극을 완전히 충전할 수 있는 유동성을 가질 것
㉶ 크리이프량이 작을 것

합성수지계 그라우트도 영구앵커에 사용한 실적이 있으며, 특히, 심각한 부식 환경조건이나 고내력을 요구되는 경우 등에 사용되고 있다.

(나) 그라운드 앵커의 긴장재에 사용되는 재료

① 강재 : 그라운드 앵커의 긴장재를 구성하는 인장 재료로 강재를 사용하는 경우에는 일반적으로 PC강선, PC강연선 및 PC강봉, 세경이형 PC강봉이 사용되고 있다. 단, 세경이형 PC강봉은 프리스트레스트콘크리트파일에 사용되는 경우가 많고 앵커의 인장재로 사용되는 경우는 거의 없다.

② 연속섬유보강재 : 연속섬유보강재를 인장재로 사용할 때는 종래의 PC강재와 비교하여 인장재의 정착방법이나 파단까지의 신장 거동이 다르고, 앵커와 프리스트레스트콘크리트의 정착공법은 사

용 방법이 다른 점 등 앵커에 적합하지 않은 것도 규정되어 있으므로 사용 시에는 주의가 필요하다.

③ ①, ②항 이외에 KS에 규정되어져 있지는 않지만 콘크리트 표준시방서 등에 기재된 특정 부재 및 공법에 사용되고 있는 PC강재 등이 있다. 이들 재료는 콘크리트 보강재로서 인증된 재료와 동등한 절차에 의해 재질의 적합성을 조사하고 앵커로서 적용성을 검토한 후 시험에 의해 여러 가닥을 꼰 것을 다시 다중으로 꼰 것으로 품질이 확인, 보증된 것을 사용하도록 한다.

㉮ PC강연선을 여러 가닥으로 재차 꼬아 만든 블루잉(가공에 의한 잔류 비틀림을 제거하기 위한 저운 열처리를 한다)을 하지 않은 다중 PC강연선이 있다.

㉯ 열간압연 시에 나사 모양으로 된 마디를 강봉 전길이에 성형한 큰 규격의 전나사 이형PC강봉이 있다.

④ 긴장재는 앵커의 힘을 지반에 전달하는 중요한 기능을 가진 부재이고, 그라우트를 매개체로 그 기능이 발휘된다. 그래서 긴장재나 내하체 등이 앵커체의 중앙부에 위치하게 하여 그라우트와 충분한 부착력이나 구속력이 발휘되도록 하는 것이 중요하다. 따라서, 앵커체는 센트럴라이저 등 필요한 재료를 사용하여 긴장재가 공의 중앙에 위치하도록 조립한다.

(다) 그라운드 앵커의 정착구에 사용되는 재료

① 일반적으로 앵커용 정착구는 프리스트레스트콘크리트용의 정착구가 사용되고 있고, 각각의 타입에 맞춰 제작·품질보증된 것으로 관련학회 및 협회에서 인증된 정착구를 사용하도록 한다. 새로운 형식의 정착구나 정착구의 강도가 확인되지 않은 경우에는 시험을 통해 그 품질이나 안정성을 확인하여야 한다. 정착구는 초기긴장력 도입작업 시의 안정성을 고려하여 인장재의 규격 인장하중 또는 보증내력에 대해 안정한 구조와 강도를 갖는 것으로 한다. 정착구 설치 각도가 설계된 각도로 되지 않는 경우는 긴장재의 내력이 저하할 수 있으므로 실험 등으로 확인하도록 한다. 또, 정착구는 정적인 하중에 대해 안전하더라도 반복 하중에 대한 강도는 인장재의 피로강도보다 작게 되는 경우가 있으므로 변동하중을 받는 경우에는 검토를 요한다. 웨지 방식 정착시의 세트량은 긴장정착방법에 따라 달라지므로, 필요시 시험에 의해 이를 확인한다. 단, 기존의 데이터에 근거하여 관련학회 및 협회가 인증한 값이 잇는 경우는 그것을 채용해도 된다. 또, 정착구는 지압판 및 대좌와 일체의 구조로서 그 안전성에 대해 검토할 필요가 있고 필

② 앵커는 상황에 따라 재긴장 또는 긴장력 완화 등의 긴장력 조정이 필요할

경우에는 이에 대응할 수 있는 기능을 가진 정착구를 사용한다. 긴장력 조정을 필요로 하는지 여부는 사전에 계획 또는 설계단계에서 고려되어야 한다.

(라) 그라운드 앵커의 방식용 재료로 사용되는 재료

① 앵커에 사용하는 방식용 재료는 앵커 사용기간 중 유효하게 작용하고, 앵커의 기능을 저하시키지 않는 것을 사용한다. 사용 목적에 뜨라 필요한 특성이 다르지만 일반적으로 다음과 같은 특성을 가지고 있는 것으로 한다.

㉮ 적어도 앵커 사용기간 중 방식효과가 있어야 하며, 그라우트나 긴장재 등에 악영향을 미치지 않을 것.
㉯ 긴장재를 긴장시킬 때 마찰손실이 작고 동시에 인장재의 신장에 대응 가능할 것.
㉰ 사용기간 중 변화하는 온도범위에서 취성, 변질, 변형, 유출이 없을 것.
㉱ 충전하는 방식용 재료는 양호한 충전성을 가질 것
㉲ 긴장재 가공 조립시 및 방식처리 후의 운반 등 취급 시 충분히 견딜 수 있는 강도와 구조를 가지고 있을 것.

이상의 조건을 만족시키는 긴장재의 방식용 재료로는 충전재, 피복재, 코팅재 등이 있다.

㉮ 충전재로는 일반적으로 그리스류, 페트로락담류(반고형 왁스), 합성수지 등이 많이 사용된다. 충전재는 장기 안정성이 우수하고, 긴장재를 구성하는 인장재, 시스, 스페이서 등의 합성수지에 대한 성질을 조사한 후 악영향을 미치지 않는 성질을 가지고 있는 것을 사용한다. 그리스류, 페트로락담류는 일반적으로 언본드PC강재로 사용되는 것과 동등 이상의 특성을 가진 것이 좋지만 사용목적, 사용조건에 따라서 적절한 것을 선정한다. 이들 재료 사양의 사례를 참고로 하여 해설표-4.5, 해설표-4.6에 명시하였으며, 이와 동등의 것을 사용한다. 또, 합성수지에 대해서는 일반적으로 에폭시계. 폴리에틸렌계, 우레탄계 등이 사용되는데 사용목적, 사용조건에 따라 적절한 것을 선정한다.

㉯ 피복재로는 합성수지, 스테인레스, 강 등이 있다. 합성수지는 내식성, 강도 등을 고려하여 주로 고밀도폴에틸렌이나 폴리르로필렌이 사용된다. 그 시험방법과 특성치에 대한 사례가 해설표-4.7에 나타나있다.

㉰ 코팅재로는 아연도금, 방청페인트 등이 있다. 아연도금은 두부캡, 지압판등에 사용되는 경우가 많으며, 방청페인트는 취급 시에 박리될 가능성이 있으므로 제조, 운반·보관 시 일시적인 방식으로만 사용하는 것이 바람직 하다.

② 앵커체부의 방식용 재료는 앵커력을 지반으로 전달하는 기능을 갖는 경우에는 부식 등에 의해 강도 등의 특성이 저하하지 않는 것을 사용한다.

③ 앵커자유장부에 사용하는 방식용 재료는 앵커의 긴장, 정착 시, 재긴장 또는 긴장력 완화 등 긴장력 조정 시, 사용 중인 앵커의 잔존인장력의 변화시 등에 긴장재의 신장을 방해하지 않는 것으로 한다.

표 3.4.12. 방식재료의 기준 예

항목	시험방법	기준
적점(滴點)	ASTM D 566 JIS K 2261	〉 149℃
수용성 이온 (a) 염화물 (b) 초산염 (c) 황화물	ASTM D 512 ASTM D 992 ASTM D 1255 (APHA 4270)	〈10ppm 〈10ppm 〈10ppm
유지분 분리 시험일수 7일간 온도 40℃	DIN 51 817	〈중량으로 5% (다만 〈3%가 바람직하다.)
유리산	ASTM D 128 JIS K 2526	〈0.2%
유리알칼리	ASTM D 128 JIS K 2526	〈0.2%
부식	ASTM B 117	ASTM D 610에 근거하여 1000시간후 : Grade 7이상
	DIN 51 802	Grade 0
산화 안정성	ASTM D 942 JIS K 2569	〈100시간후에 0.06MPa
	DIN 51 808	〈1000시간후에 0.2MPa

★ 출전 FIP : Recommendation-Corrosion protection of prestressing steels-1996

표 3.4.13. 방식재의 기준 예

항목	시험방법	기준
적점 F(℃)	ASTM D 566 or JIS K 2265	〉 300(149)
유분분리 160F(71℃)	FIMS 791B	〈0.5%
수분	ASTM D 95	〈0.1%
인화점 F(℃)	ASTM D 92	〉 300(149)
부식시험 5%염수 분무 온도 100F(38℃) 두께 5밀(127미크론)	ASTM B 117	ASTM D 610에 근거하여 1000시간 후의 발청이 Grade 7이상
수용성 이온 (a) 염화물 (b) 초산염 (c) 황화물	 ASTM D 512 ASTM D 3867 ASTM 4500SE	 〈10ppm 〈10ppm 〈10ppm

★출전 PTI : Specification for Unbonded Single Strand Tendons-1993

표 3.4.14. 합성수지(폴리에틸렌)의 시험방법과 특성치 예

시험항목	시험 방법	단위	특성치예
밀 도	JIS K 6760	g/㎤	0.95
항복강도	JIS K 6760	MPa	33.3
파단시 신율	JIS K 6760	%	860
경 도	JIS K 7215	쇼어 D	60
연 화 점	JIS K 7206	℃	121
취화(臭化)온도	JIS K 6760	℃	≤-70

(마) 그라운드 앵커의 기타부분에 사용되는 재료

① 두부캡 : 두부캡은 앵커두부의 정착구를 보호하기 위해 사용된다. 따라서 공사용 기계나 낙석 등 외부로부터 예상되는 충격에 대해 필요한 강도를 갖고, 동시에 산 등에 의한 부식이나 자외선 등에 대해 내구성이 있는 재료를 사용한다. 일반적으로 폴리에틸렌, 폴리프로틸렌, 알루미늄합금, 크롬도금강 등이 사용된다.

② 지압판 : 지압판은 정착구의 하중을 대좌, 구조물에 전달하기 위해 설치하는 부재로 일반적으로 강판 등 고강도의 강성이 있는 재료가 사용된다. 대좌는 지압판과 구조물의 사이에 설치하는 부재로 긴장재 설치 방향이 지압판에 대해 직각으로 되게 하는 형상과 구조를 가지

고 있는 것으로 한다. 대좌에는 일반적으로 콘크리트, 강, 주철강 등이 사용된다.

③ 앵커체부 시스 : 앵커체부 시스는 앵커체부의 방식재료로 사용되는 것으로 원통의 파형플라스틱관이나 이형스틸파이프 등이 있다. 이를 시스 외측 그라우트에 균열이 발생할 경우에도 시스 내로 지하수 등의 침입을 방지하고, 긴장재로 사용되는 강재의 방식을 확보할 수 있어야 한다. 따라서 지반 중의 유해한 물질에 대한 내구성과 지수성을 가지고 있는 것으로 한다. 또, 긴장재의 인장력을 앵커체 그라우트에서 지반으로 확실하게 전달하기 위해 그라우트와의 부착성을 향상시킬 수 있는 형상과 필요한 강도를 가지고 있는 것으로 한다. 앵커 자유장부 시스는 긴장재 자유장부의 마찰 손실을 방지하고, 동시에 방식재료로서도 기능을 갖게 하기 위한 피복재료로 주로 폴리에틸렌제의 시스가 사용된다.

④ 내하체 : 내하체는 앵커체부의 긴장재인장재에 설치되어 긴장재의 인장력을 앵커체 그라우트에 전달하기 위해 사용된다. 그 재료는 소요의 기능을 필요로 하기 때문에 주철재나 비부식성강재 등이 사용된다.

⑤ 센트럴라이저(Centralizer) : 센트럴라이저는 긴장재를 공내 중앙부에 위치시킴으로써 그라우트의 소요 피복 두께를 확보하기 위해 사용되는 것으로 사용되는 재료로는 긴장재 자중에 의해 변형하지 않고, 그라우트의 충전성이 손상되지 않는 형상 등이 요구된다. 일반적으로 합성수지나 방청가공된 강재 등이 사용되고 있다.

(바) 제거식 앵커용 재료

제거식 앵커는 앵커의 사용기간 종료 후에 앵커의 전부 또는 긴장재를 구성하고 있는 인장재를 철거하는 것이 가능한 가설앵커로 사용된다. 인장재 철거가 가능한 제거식 앵커는 앵커 본래의 재료에 제거를 위한 부재가 부가하여 조합되어 있다. 제거를 위한 기능을 갖은 부재는 앵커의 성능을 저하시키지 않는 것이 바람직하고, 제거 시에 그 기능이 확실하게 발휘되는 것으로 한다.

(3) 그라운드 앵커 수압판의 설계에 연구

(가) 수압판의 설계

① 수압판의 정의 및 종류

그라운드 앵커 수압판(이하 수압판이라 함)은 그라운드 앵커(이하 앵커라고 함) 두부의 인장력을 지반에 분산하여 전달시키는 목적으로 사용되는 것으로, 수압판의 종류로서는 재료나 설계·시공 방법 등을 감안하여 철근 콘크리트제, 프리스트레스트 콘크리트제, 철제, 알루미늄 합금제 및 플라스틱 등의 신소재 제품 등으로 분류할 수가 있다.

수압판은 산사태 지역, 깎기 비탈면, 기 설치된 석축이나 옹벽 등의 안정에 사용되는 영구 앵커의 인장력을 장기간에 걸쳐 유지할 수 있을 수 있는 것이어야 한다. 수압판은 앵커의 기능을 충분히 발휘하기 위해 매우 중요한 구조물로서 수압판의 선정하기 위해서는 앵커의 설치목적, 성질과 상태, 규모나 비탈면의 상태, 시공환경을 고려해 적절한 것을 선택할 필요가 있다.

② 수압판에 필요한 성능

㉮ 수압판은 긴장재의 반력을 가능한한 균등하게 분산해, 지반에게 전하는 구조가 설계되어야 한다.

㉯ 콘크리트제 수압판은, 큰 균열 등의 발생 등이 발생하지 않도록 설계되어야 하며, 철제·알루미늄·합금제 수압판은 소성변형을 일으키는 일없이 설계 앵커력을 견딜 수 있도록 설계되어야 한다.

㉰ 수압판의 내력 등의 설계 방법은 허용응력법 또는 한계상태설계법에 따라 역학적으로 설계되어야 한다.

㉱ 수압판은 열악한 야외 환경하에 있어도, 장기간의 내하력을 유지할 수 있어야 하며, 염분이나 산성 가스에 노출될 경우에는 내부식성에 대해 특별히 고려해야한다..

㉲ 수압판은 원칙으로서 상하좌우로 앵커의 설치각도를 조정할 수 있어야 한다. 즉, 앵커축선과 수압판상의 지압판이 수직이 아닌 경우에는, 수압판 자체를 기울임으로써 각도를 조정하던지. 앵커의 부착부에 앵커축선과의 각도를 조절할 수 있는 성능을 갖는 수압판을 사용해야한다. 따라서 100° ~ 150° 이내의 각도 조절이 가능하도록 설계되어야 한다.

③ 수압판 설계를 위한 하중과 반력

㉮ 수압판의 설계 하중은 표 1-1과 같이 정한다. 즉, 수압판에 상시작용하는 하중은 설계앵커력이므로 설계앵커력을 상시하중으로 한다. 또한, 지진시 하중은 가장 클 때라 할지라도 긴장재의 항복하중보다

커서는 안된다.(그라운드 앵커의 설계하중은 긴장재 파단하중의 60%정도로 정해지며, 긴장재의 항복하중이 파단하중의 90%정도인 것을 감안하면 수압판에 참가하는 하중의 최대치는 설계앵커력의 1.5배로 가정하여 설계하면 충분하다고 판단된다.)

표 3.4.15 수압판의 설계하중

	상시하중	일시하중
영구 앵커력	설계앵커력	지진하중 또는 설계앵커력의 1.5배

㈏ 수압판의 설계상의 지반반력은 등분포하는 것으로 가정한다.(수압판에 생기는 지반반력의 분포는 지반의 강성이나 조건에 따라서 다르지만, 이를 모두 감안할 수는 없으며, 지반이 특정하게 불균일 할 경우는 이에 대한 대책을 강구하므로 일반적으로는 고르게분포(등분포)한 것으로 가정해 설계한다.)

㈐ 수압판의 자중은 공장제품의 수압판의 설계에서는 무시한다.(수압판에 작용하는 앵커력에 비해 자중에 의해 수압판에 생기는 응력은 무시할 만큼 작기 때문에, 수압판의 설계시 이를 생략한다.)

㈑ 수압판에 하중을 재하할 경우 수압판에 큰 잔류변형이 생기거나 지반의 허용지지력을 넘는 반력이 생기지 않도록 설계한다.(일시하중이 재하된다고 해서 수압판에 큰 소성변형이 생겨서는 안되며, 지반이 파괴될 정도의 큰 반력이 생기도록 작은 수압판을 사용해서는 안된다.

$$q_a \geqq \frac{T_d}{A}$$

여기서 q_a= 지반의 허용지지력, T_d=설계 앵커력, A=수압판의 수압면적

표 3,4,16, 지반의 종류와 허용 지지력

지지지반의 종류		허용 지지력 q_a(kN/㎡)	비고	
			일축압축강도 q_u(kN/㎡)	N치
암반	균열이 적은 균질한 경암	1,000	10,000이상	-
	균열이 많은 경암	600	10,000이상	-
	연암, 토단	300	1,000이상	-
역암층	조밀한 것	600	-	-
	조질하지 않은 것	300	-	-
사질지반	조밀한 것	300	-	30~50
	중간정도의 것	200	-	20~30
점성토지반	매우 딱딱한 것	200	200~400	15~30
	딱딱한 것	100	100~200	10~15
	중간정도의 것	50	50~100	4~8

④ 수압판의 성능 표시의 방법

설계도서나 수압판의 성능표시표, tag 등에 의해 수압판의 성능을 표시할경우에는, 수압판의 재료나 구조형식, 형상, 치수, 수압판의 설계하중, 수압면적, 중량 등이 알기 쉽게 표시해야 하며, 제품의 「통칭」이나 「품명」의 적는 것도 성능을 추정하기 쉬우므로 바람직하다.

표 3.4.17. 품질 표시의 방법(예)

항 목	표 시 방 법	비 고
구조형식	R:RC제, P:PC제, S:철제, A:알루미늄합금제, O:그 외의 것	
형상	b: 봉형 p:평판형	
설계하중	수압판의 허용 설계 앵커력(kN)	
수압면적	수압판의 수압면적(㎡)	
중량	수압판의 중량(kg)	
설치각	앵커설치각의 최대 조정 가능치(°)	

(나) 철근 콘크리트제(RC) 수압판

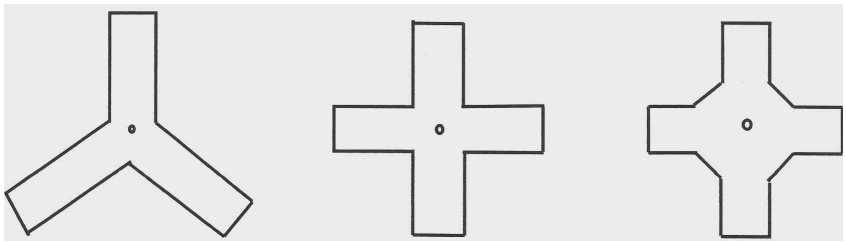
① RC수압판의 정의

㉮ 정의 : 철근 콘크리트제 수압판(이하, RC수압판이라고 한다)이란, 콘크리트와 철근을 주재료로 제작되어 철근콘크리트의 이론에 의해 설계되는 그라운드 앵커용의 수압판을 말한다. RC수압판은, 앵커의 두부와 비탈면의 사이에 설치하는 철근 콘크리트 구조의 블록으로, 적절한 콘크리트 강도와 합리적으로 배근된 철근에 의해, 앵커력에 의해 생기는 응력을 지지하는 구조로서, 콘크리트가 압축 응력을, 철근이 인장 응력을 맡아, 외력에 일체가 되어 저항하도록 만들어진

구조를 말한다.

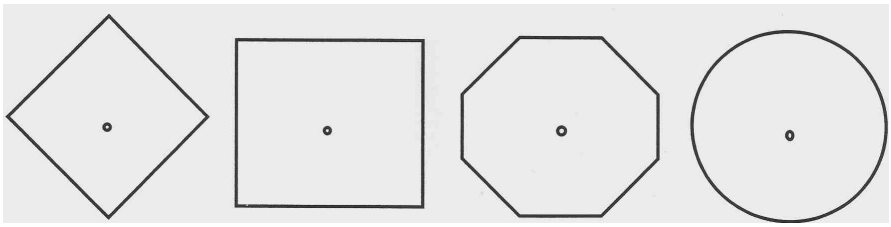
㉯ 재료 : RC수압판의 주요 재료는, 시멘트에는 KS L5201에 정해진 포틀랜드 시멘트 , KS L 5210에 정해진 고로슬래그시멘트 등을 사용하여 철근에는 KS D 3504에 정해진 컬근콘크리트용 봉강 혹은 동등 이상의 품질인 것이 확인된 철근을 사용한다. RC수압판은, 원칙적으로 KS에 규정되는 재료를 사용한다. 공장제품에는 통상 보통 포틀랜드 시멘트나 조강 포틀랜드 시멘트가 사용되지만, 제품의 필요한 성능이 만족된다면 다소 경화시간이 늦은 고로 슬래그 시멘트나 플라이애쉬 시멘트 등을 이용해도 된다.

㉰ 형상 : RC수압판의 형상은, 평면 형상에 의해 막대 모양과 평판 모양으로 크게 나뉘며, 설계 앵커하중이나 지반 지지력, 요구되는 경관 등에 따라 형상을 결정한다.



Y형 십자형 크로스형

그림 3.4.8. 막대모양 수압판의 예



WEB형 스퀘어형 세미 스퀘어형 다각형형

그림 3.4.9. 평판형 수압판의 예

㉱ 제작방법 : RC수압판은 제작방법에 따라 프리캐스트 콘크리트 혹은 부분 프리캐스트 콘크리트로 나눌 수 있다. 즉, 미리 공장에서 제작된 프리캐스트콘크리트 제품과 철근이나 거푸집 등을 공장에서 제작해 고유동(高流動) 콘크리트를 현장타설하는 제품이나 혹은 일부 속이 빈 프리캐스트콘크리트를 설치한 후 속이 빈 부분을 충전하는 제품으로 나눌 수 있다.

② RC수압판의 설계 방법

㉮ 일반사항

- 설계방법 : RC수압판은 그라운드 앵커 긴장재의 긴장력을 지반에 전달하는 수압판으로서 충분한 강성을 가지는 구조를 갖도록 한다. 부재의 설계는, 허용응력도 또는 한계상태설계법 중 한 가지를 선택할 수 있으나, 특별한 지시가 없을 경우에는 허용응력법에 따라 실시한다.
- 하중 : 하중은 (1) 수압판의 설계 중 ③ 수압판 설계를 위한 하중과 반력에 기술된 바에 따른다.
- 응력검토 : 허용응력법에 따르는 단면내력의 검토는 휨인장, 휨압축, 전단, 지압 등 각각 응력에 대해 검토한다.

㉯ 부재 단면의 설계

- 휨모멘트 및 전단력은 설계 앵커력과 동일한 등포지반반력이 작용하는 것으로 가정하여 검토한다. 이때, 수압판의 자중은 무시한다. 또한 지반반력을 고려할 때 앵커 설치각은 무시하고 수압판에 직각에 작용하는 것으로 가정하여 설계한다.

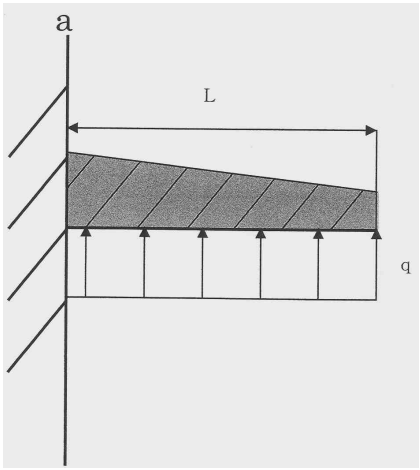


그림 3.4.10. 하중도

· 지반반력 Q, $Q=\frac{T_d}{A}$(N/㎟)

단, 여기서 T : 설계 앵커력(N), A : 수압판의 면적(㎟)

· 작용 등분포하중 q, $q=Q\times b$(N/㎜)

단, 여기서 b : 보의 설계 폭(mm)

· 바닥부(a선)에 있어서의 전단력 S, $S=q\times L$(N)

단, 여기서 L : 스팬(㎜)

· 바닥부(a선)에 있어서의 휨모멘트 M, $M=0.5\times q\times L^2$(N · ㎜)

· 스팬은 기초부로부터 첨단까지의 길이로 하며, 단면 검토 위치는 아래 그림과 같다.

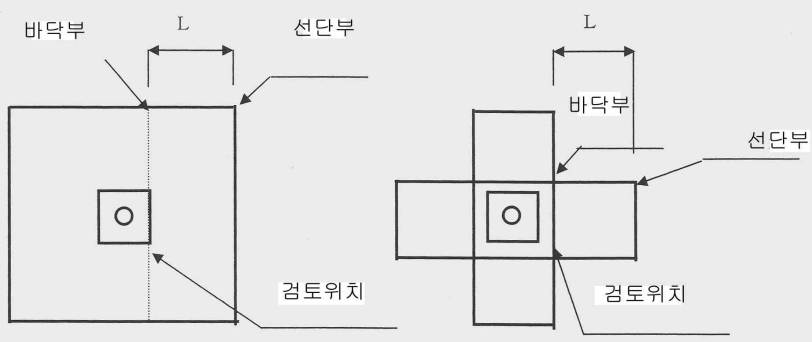


그림 3.4.11. 단면 검토 위치

- 수압판을 지지하는 압력 및 전단력은 앵커로부터 직접 작용하는 것으로서 검토한다.

· 수압판을 지지하는 응력을 산정하는 예를 들어보면,

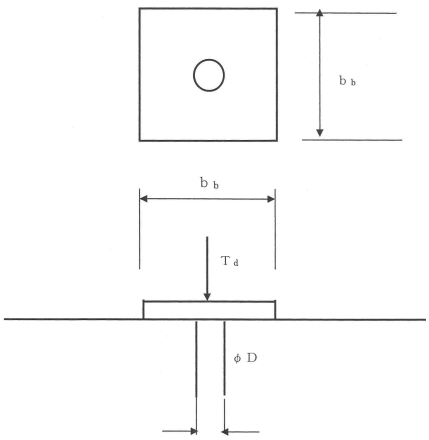


그림 3.4.12. 수압판을 지지하는 응력산정 예

$$\sigma'_c = \frac{T_d}{A_a}(\mathrm{N/mm^2})$$

단, 여기서 A_a : 지압판의 유효지압면적 = $b_b{}^2 - \pi \cdot D^2/4(\mathrm{mm^2})$

T_d : 설계앵커력(N), b_b : 수압판의 폭(mm)

D : 앵커공의 직경(mm)

· 전단응력τ_p는,

$$\tau_p = T_d \ / \ (U_p \times d)(\mathrm{N/mm^2})$$

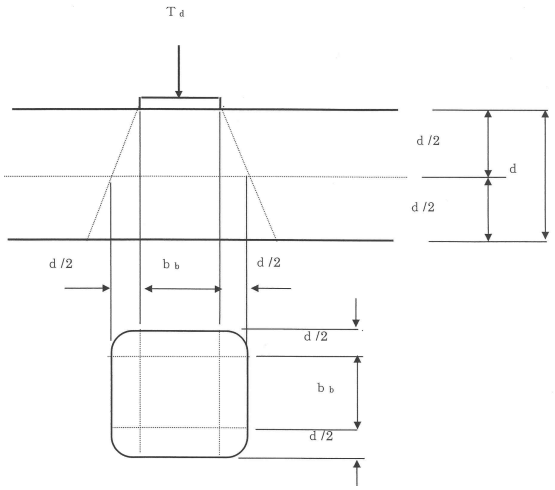


그림 3.4.13. 전단응력 산정 예

단, 여기서 U_p : 설계단면의 둘레길이 = $\pi \times d + 4 \times b_b$(㎜)

T_d : 설계앵커력(N), d : 유효높이(㎜)

㉰ 허용응력 : 콘크리트 및 철근의 허용응력은 다음과 같이 정의한다.

- 콘크리트의 허용휨압축응력은 다음 표에 기술한 값 이하로 한다.

표 3.4.18. 허용휨압축응력, σ_{ca} (N/㎟)

설계기준강도, f'_{ck}	24	30	40	50
허용휨압축응력, σ_{ca}	9	11	41	17

주1) 일시하중의 허용응력은 상기표에 나타난 값의 1.5배로 한다.

주2) 콘크리트의 허용휨압축응력도는 설계기준강도의 약 1/3로 했다.

- 콘크리트의 허용전단응력은 다음 표에 기술한 값 이하로 한다.

표 3.4.19. 허용전단응력, τ_{ca} (N/㎟)

설계기준강도, f'_{ck}	24	30	40	50
보의 경우 τ_{ca}	0.45	0.50	0.55	0.55
슬라브의 경우 τ_{ca}	0.9	1.0	1.1	1.1

주1) 전단허용응력은 슬라브의 경우와 동일하다.

주2) 일시하중의 허용응력은 상기 표에 나타난 값의 1.5배로 한다.

- 콘크리트의 허용지지압응력 : 국부적인 재하의 경우, 콘크리트면의 수압면적을 A, 지지력을 받는 면적을 A_a로 했을 때, 허용지압응력 σ'_{ca} 다음과 같이 구한다.

$\sigma'_{ca} \leqq (0.25 + 0.05\ A\ /\ A_a) \times f'_{ck}$

단, 여기서 $\sigma'_{ca} \leqq 0.5 f'_{ck}$

- 철근의 허용인장응력은 다음 표에 기술한 값 이하로 한다.

표 3.4.20. 철근의 허용인장응력, σ_{sa} (N/㎟)

철근의 종류	SD295	SD345
허용인장응력, σ_{sa}	176	196

주1) 일시하중의 허용응력은 상기표에 나타난 값의 1.5배로 한다.

- 강도나 내구성을 고려할 때, RC수압판 제작시 사용하는 콘크리트의 물시멘트비는,55%이하로 하는 것이 바람직하다.
- 레진 콘크리트, 섬유 콘크리트, 고강도 철근 등의 특수한 재료를 이용하는 경우에는, 시험에 의해 성능을 확인한 후 적절한 허용응력을 정해 사용할 필요가 있다.

㉮ 두부 : RC수압판의 두부의 최소치는 프리캐스트 제품의 경우 20 mm, 부분 프리캐스트 제품은 30mm로 한다.
즉, 공장에서 양산되는 프리캐스트콘크리트의 최소사양은 대기에 노출되거나, 흙이나 물에 직접 접하거나, 그 외 내구성을 고려할 필요가 있거나, 차후 교환이 곤란하거나 할경우는 20mm로 하고 있으며, RC수압판은 이 기준에 따라 최소사양을 20mm로 하고, 부분 프리캐스트에 대해서는 현장에서 타설되는 것을 고려해 30mm로 한다. 덧붙여 부식성 환경에서는 두부를 30mm(부분 프리캐스트 제품은 50mm)이상으로, 특히 심한 부식성 환경에서는 40mm(부분 프리캐스트 제품은 60mm) 이상으로 하는 것이 바람직하다.

(다) 프리스트레스 콘크리트 수압판

① PC 수압판의 정의

㉮ 정의 : 프리스트레스 콘크리트제 수압판(이하, PC수압판)이란, 프리스트레스 콘크리트 부재로서 설계·제조되는 그라운드 앵커용의 프리캐스트의 수압판을 말한다. PC수압판은 콘크리트를 주재료로 한 프리캐스트 제품이나, 균열을 억제하기 위해 가해지는 프레스트레스를 견디기 위한 단면을 작게하기 위해 고강도 콘크리트를 사용된다.

㉯ 재료 : PC수압판의 재료는, 원칙적으로서 KS L5201에 정해진 포틀랜드 시멘트 혹은 조강포틀랜드 시멘트를 사용한 고강도 콘크리트, 보강재

에는 KS D 3504에 정해진 이형철근 및 KS D 3505에 정해진 PS강봉 혹은 이것과 동등 이상의 성능인 것이 인정된 보강재를 사용한다.

㉰ 형상 : PC수압판의 평면 형상은, 막대 모양에서는 크로스 형, 평판 모양에서는 세미 스퀘어 형 및 스퀘어 형을 표준으로 하나, 다각형이나 원형 것 등도 있다. 단면 형상은 구형, 사다리꼴 및 이것을 조합한 단면으로 한다. 형상은 아래 그림에 표현된 것을 기본으로 하나, 운반 등을 고려해 최대 세로 3.0m 가로 3.0m 정도의 것이 알맞다.

㉱ 제작방법 : PC수압판은 고강도 콘크리트를 사용하여 공장제품으로 제작한다. 또한, 앵커설치각은, 적어도 ±100°의 범위내에서 자유롭게 조정이 가능할 수 있도록 제작하며, 설치각이 그 이상의 경우에는 지반이 불균일 할 때 사용하는 조정콘크리트 등으로 별도조절하도록 한다. 또한, PC수압판에 사용되는 콘크리트는 강도가 큰 만큼 균열억제를 위한 프레스트레스를 크게 도입할 수 있으므로, 콘크리트는 설계기준강도가 50N/㎟이상의 고강도 콘크리트를 사용하는 것을 표준으로 한다. PC수압판의 프레스트레스는 공장제작시 가해지므로 현장에서는 지반을 고르게 하는 조정작업과 앵커의 설치작업만을 시행하면 된다.

② PC수압판의 설계 방법

㉮ 설계방법 : PC수압판은 그라운드 앵커 긴장재 긴장력을 지반에 전달하는 수압판으로서 충분한 강성을 가지는 구조로 한다. 부재의 설계는 허용응력법 또는 한계상태설계법 중 한 가지를 선택할 수 있으나, 원칙적으로는 콘크리트 표준시방서(이하, 표준시방서라고 한다)의 한계상태설계법을 이용해 사용한계상태 즉, 종국한계상태에 대해 설계한다. PC수압판에 작용하는 하중은 설계앵커력에 의한 등분포하중(지반반력)이므로 수압판은 충분한 강성을 필요로 한다.

㉯ 하중 : 상시하중은 설계앵커력(T_d)을 사용해 사용한계상태 이하의 상태로 사용할 수 있도록 설계한다. 일시하중은 지진시 하중 혹은 설계 앵커력의 1. 5배 중 큰 쪽을 사용하여 종국 한계상태 이하의 상태로 사용할 수 있도록 설계한다.

㉰ 지반의 반력 분포 : 지반의 반력 분포는, 등분포 하중으로 한다.

㉱ 응력검토 : 검토항목은 콘크리트에 대해서는 굽힘 및 전단응력, 전단력과 조사위치를 검토하며, PC강재에 대해서는 인장력과 조사위치 등을 검토한다. 검토위치와 단면력은 앵커 긴장재의 정착부 근방을 강체라고 보고 크로스 형에서는 이것에 접속하고 있는 편지량(片持梁)으로, 세미 스퀘어 형 및 스퀘어 형에서는, 보와 저판(바닥판)을 일체

라고 생각하여 편지판(片持板)으로서 산출한다.

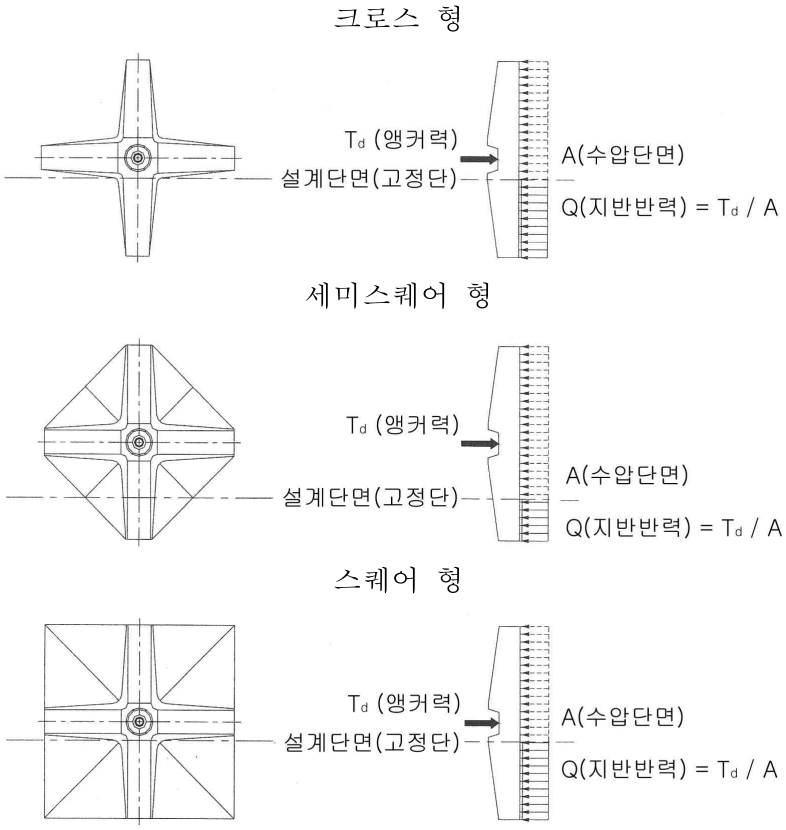


그림 3.4.14. 수압판에 가해지는 지반반력 및 검토위치

③ 안전계수 및 한계치 : PC수압판의 설계에 사용하는 안전계수 및 한계치는 콘크리트 표준시방서에 의한다.

㉮ 안전계수에 대해 콘크리트 표준시방서에서는 안전계수의 표준적인 값으로 해서 아래 표와 같은 값을 사용하고 있다.

종 별		종국한계상태	사용한계상태
재료 계수, γ_m	콘크리트	1.3	1.0
	강재	1.0 또는 1.05*	1.0
부재 계수, γ_b	휨	1.1	1.0
	전단	1.3 (콘크리트)	
		1.2 (철 근)	
	押抜	1.3	
구조해석계수, γ_a		1.0	1.0
하중 계수, γ_f		1.0 ~ 1.2	1.0
구조물 계수, γ_i		1.0 ~ 1.2	1.0

*철근, PC강재 이외의 강재는 1. 05

㉰ 한계치에 대해 콘크리트 표준시방서에 의하면 각 한계상태의 한계치에 대해서는 아래 표에 나타내는 식을 만족해야한다. 콘크리트의 압축 강도의 특성치가 f'_{ck} = 50N/㎟, 부재의 높이가 50 cm정도의 경우에 대해 계산한 예를 표 3−2의 마지막 열에 수치로 가리킨다. 덧붙여 균열에 대한 안전도를 높이기 위해서 충분한 프레스트레스를 주는 등 사용한계시에 있어서의 콘크리트의 압축응력에 여유를 갖게하여 콘크리트에 발생하는 인장응력을 저감시키거나 혹은 사용 한계상태를 적용하는 하중을 설계앵커력보다 높여 설계하는 등의 방법을 취한다.

부재의 상태	항 목	한계치의 식	계산예
사용 한계 상태	콘크리트의 인장응력	$\sigma_{ct1} = f_{tde}$	-2.3
	콘크리트의 휨압축응력	$\sigma_{cc1} = 0.4 \cdot f'_{ck}$	20.0
	콘크리트의 사인장응력	$\sigma_{t1} \geqq -0.75 \cdot f_{td}$	-2.3
	긴장재의 인장응력	$\sigma_{pt1} \leqq 0.7 \cdot f_{puk}$	756
종국 한계 상태	콘크리트의 설계압축강도	f_{cd}	38.5
	PC강재의 설계인장강도	f_{pud}	1,080
	철근의 설계인장강도	f_{syd}	295

여기서, f_{tde} : 부재높이를 고려한 콘크리트의 설계인장강도

f'_{ck} : 콘크리트의 압축강도 특성치

f_{td} : 콘크리트의 설계인장강도

f_{fuk} : PC 강봉의 인장강도 특성치

④ 두부 : PC수압판의 철근 및 PC강재의 최소규격은, 20 mm로 한다.

(라) 그라운드 앵커 수압판의 성능 시험법

① 시험의 목적 : 본 시험의 목적은 붕괴가 발생한 비탈면이나 산사태 억제공등에 사용하는 그라운드 앵커 수압판의 내력 등의 성능을 실내 재하시험에 의해 확인하기 위함이다.

즉, 큰 앵커력을 지반에 전달하는 중요한 구조물인 수압판은 많은 종류와 형상이 있기 때문에, 형상에 따라서는 설계시 고려했던 내력이 있을지 여부가 재하시험이 아니면 확인하기 곤란한 경우도 있다. 또한, 재하시험을 실시하는 경우에는 설계로 가정한 등분포의 반력을 정확하게 재현 할 수 있는 반력의 확인이 곤란한 경우가 많다. 따라서 간단하고 쉬운 방법으로 수압판의 내력을 객관적으로 파악할 수 있도록 어느 형

상의 수압판에도 적용할 수 있는 시험방법을 재하시험 방법으로 규정할 필요가 있다.

수압판의 재하시험은 그라운드 앵커의 내력 시험과 같은 방법으로 현지에서 실시하는 경우도 있으나, 수압판의 각 부분에 발생하는 응력의 분포가 수압판이 놓여진 장소의 지반의 변형조건에 의해 복잡하게 변화하므로, 이 방법은 수압판의 성능시험에는 적합하지 않다. 따라서, 여기에서는 지반조건에 좌우되지 않는 실내시험에 의한 수압판의 시험 방법을 규정하고자 한다.

② 시험의 적용 범위

㉮ 본 시험법은 RC수압판 및 PC수압판에 적용한다.

㉯ 본 시험법을 적용하는 수압판은 단독으로 그라운드 앵커 두부의 반력을 지반에게 전하는 것을 목적으로 하는 수압판에만 적용하며, 격자블록과 같이 연속한 구조물이 되는 형식의 수압판이나 수압판이 구조물의 기초를 겸하는 등 앵커하중 이외의 하중도 배려해야 하는 수압판의 시험에는 적용하지 않는다.

㉰ 여기서 규정하는 시험은 설계의 타당성을 확인하는 것을 목적으로 하는 시험에 사용하며, 생산자가 일상의 품질관리를 목적으로 시험을 하는 경우에는 본 시험 방법 이외에 보다 간단하고 쉬운 방법을 이용해도 된다.

③ 시험장치 : 본 시험법으로 이용하는 재하장치는 시험하는 수압판의 최대내력 이상의 능력이 있는 가압장치, 재하에 의한 변형이 거의없는 강제로 된 평면 또는 보형태의 반력상(反力床), 공시체에 상처를 가하지 않고 反力床에 가해지는 하중을 전달하는 지승 및 하중과 재하점의 변위의 관계를 계측할 수 있는 계측장치로 구성한다.

④ 지승

㉮ 지승의 위치 : 지승은 원칙으로서 지반반력면의 도심과 재하점을 연결하는 선에 직교하는 도심을 통과하는 점 또는 선(선지승)으로 한다.

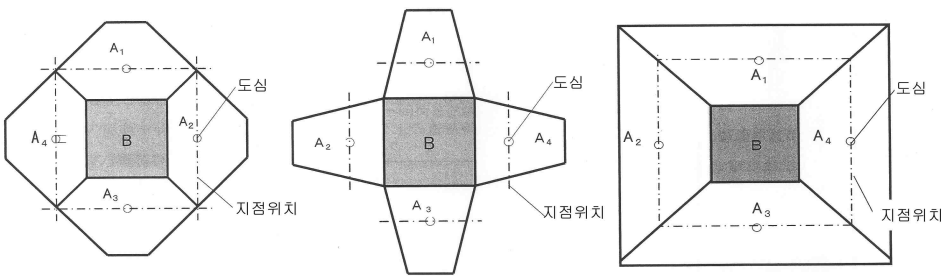


그림 3.4.15. 재하시험시 지승의 위치

㈏ 지승의 개수

- 막대 모양의 수압판의 경우는 막대의 수만큼 마련해 동시에 지지하지 않으면 안 된다.
- 평판 모양의 수압판의 경우는 저면을 몇 개의 보로 나누어 보의 수만큼 지승을 마련해 동시에 수압판을 지지하지 않으면 안 된다.
- 원형의 수압판은 환상의 선지승이 알맞다.

㈐ 지승의 스팬과 시험 하중의 보정

- 설계 단면이 맡는 지반반력면(설계단면의 외측)의 도심을 지승으로 하여 재하점의 중심 혹은 설계단면과 지승과의 거리를 스팬으로 한다.
- 다만, 설계단면이 수압판의 중심보다 밖에 있는 경우에는 설계단면 안쪽의 면적도 고려하여, 시험하중을 다음 식에 의해 보정한다.

$$\text{시험 하중} = \alpha \times \text{제품규격하중} \times (\Sigma A_i \,/\, (\Sigma A_i + B))$$

여기에, 시험 하중 : 실제로 공시체에 작용시키는 하중

α : 부식 등을 고려한 보정 계수($\alpha \geq 1.0$)

제품규격하중 : 수압판의 상시최대사용하중

ΣA_i : 설계 단면의 접수지지반반력면의 총면적

B : 설계단면에서 재하점측의 반력면의 총면적

다만, 설계단면이 재하점의 수압판이나 반력면의 가운데가 빈 채로 사용되는 경우 B=0으로 한다.

㈑ 지승의 구조 : 지승은 원칙으로서 점지승 또는 선지승으로 한다. 다만, 지승의 집중하중에 의해 공시체가 손상하는 일을 방지하기 위해서 강제 철판 등을 지승과 공시체의 사이에 배치해도 괜찮다.

㈒ 재하점의 구조 : 설계하고자 생각하고 있는 종류의 지압판을 배치하고 이것에 수직에 재하하는 것으로 한다.

⑤ 재하 방법 : 시험명과 그 내용은 아래와 같이 정의하며, 시험시의 재하는 시험목적을 만족하기위해 재하하는 것으로 한다.

㉮ 상시하중시험 : 수압판에 시험하중(상시하중)까지 재하해도 이상이 생기지 않는 것을 확인하는 시험.

㉯ 일시하중시험 : 수압판에 시험하중의 소정의 배수(통상은 상시하중의 1.5배, 이것을 일시하중이라고 함)까지 재하해도 파손 등을 일으키지 않고, 그 후의 사용(상시하중시험)에도 이상이 생기지 않는 것을 확인하는 시험.

㉰ 종국하중시험 : 수압판에 충분한 내력이 있는 것을 확인하거나 종국시의 성질과 상태를 확인하는 목적으로 수압판에 상시하중의 1.5배 이상의 재하를 실시하는 시험.

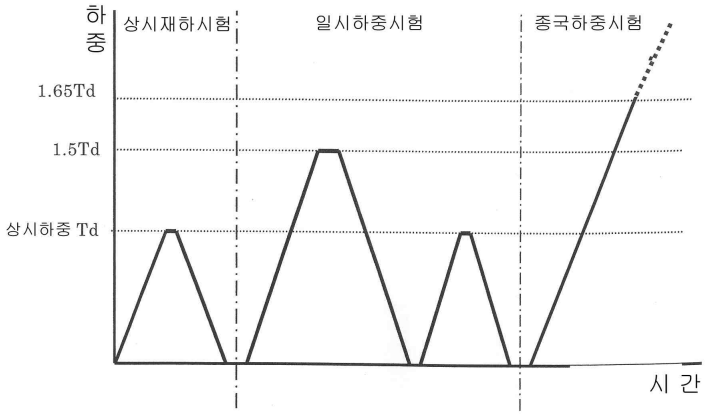


그림 3.4.16. 재하시험의 재하패턴

⑥ 시험의 판정 기준

㉮ 상시 하중 시험 : 수압판에 상시하중까지 재하해도 RC수압판에서는 유해한 균열(균열폭 0.2mm를 넘는 것)이 발생하지 않는 것. PC 수압판에서는 균열의 발생하지 않는 것을 확인할 수 있으면 합격으로 한다.

㉯ 일시하중시험 : 다음의 조건이 만족되면 합격으로 한다.

- 수압판에 시험하중의 소정의 배수(통상은 1·5배)까지 재하해도 콘크리트의 박리나 용접부의 균열 등에 의한 부분적인 파괴나, 큰 변형을 일으키지 않는 것.
- 일시하중재하의 뒤에 상시하중까지 재하해도 큰 소성변위가 생기지 않는 것.

㉰ 종국하중시험 : 종국내력은 그 제품의 최대내력이상인 것 및 부재항복 후의 변형량이 충분히 큰 값으로 수압판의 파괴에 의해 부재의 비산 등이 생기지 않는 것을 확인할 수 있으면 합격으로 한다.

표 3.4.21. 130 시험 일람표

시험 명칭	상시하중시험	일시하중시험	종국하중시험
시험하중명칭	상시 하중	일시 하중	종국 하중
시험 목적	공시체가 소정의 성능을 갖는 것을 확인	좌동	공시체 종국시의 상황의 확인
시험 방법	본 방법으로 정한 시험장치를 사용해 상시하중(제품규격하중)까지 재하· 제하한다.	본 방법으로 정한 시험장치를 사용해, 본 방법으로 정한 일시하중까지 재하·제하를 하고, 다음에 상시하중 시험을 실시.	본 방법으로 정한 시험장치를 사용해 본 방법으로 정한 최대하중을 넘을 때까지 재하·제하한다.
관찰 항목	① RC수압판은 균열이 발생=>압축부의 이상 균열폭 ≤ 0.2mm ② PC수압판에 균열의 발생, 압축부의 이상 ③ 시험결과 하중-변위 곡선의 그래프의 직선성의 확인 ④ 시험결과의 잔류폐해의 확인, 하중-변위 곡선 그래프의 잔류폐해량의 확인.	좌동	① 제품의 균열압괴, 봉이나 추가 힘에 의해 구부러짐에 의한 대변형시의 변상, 파괴상황의 확인. ② 하중-변위 곡선 그래프의 직선성으로부터 추정할 수 있는 제품의 항복강도확인. 상기 ①, ②로 부터 추정되는 종국하중을 이용하여 종국내력을 산정.
공시체의 조치	탄성범위내의 시험이므로, 이상이 보여지지 않는 한 저하중으로 사용.	좌동	종국하중까지 재하된 공시체는 파괴하고 있다고 생각해 파기.

(4) 일본에서 개발중인 그라운드 앵커의 점검, 건전도 조사, 보수 매뉴얼에 대한 검토 및 연구

일본의 경우 1957년 댐 건설 공사에서 최초의 그라운드 앵커가 사용된 이후 지난 50년 동안 적어도 30,000개의 공사현장에서 총연장 20,000km이상의 그라운드 앵커가 도로와 댐 건설을 위한 인공 혹은 자연 비탈면의 안정화와 구조적 안전성의 개량, 지하수에 의해 야기된 구조물의 부력통제 등 다양한 목적으로 사용이 되었다. 그러나, 앵커가 시공되기 시작한 초기에는 앵커시공 및 부식방지기술의 수준이 매우 낮았고, 이러한 원인 때문에 그중 몇몇 앵커들은 노후화로 인하여 그들의 기능을 상실했고, 그 결과 그라운드 앵커의 파단 및 비탈면 변형을 야기시키기도 했다.

만약 설계도서 및 유지관리자료를 활용할 수 있다면 불안정한 앵커를 쉽게 발견해

내고 보수할 수 있을 것이나, 그동안 그라운드앵커공법은 비탈면 안정을 위한 보조 방법으로 간주되었기 때문에 설계도서 및 유지관리 기록들이 저장되지 않았기 때문에 앵커의 종류 및 시공시기에 의존하여 앵커의 안전 및 불안전성을 파악할 수 밖에 없었다.

또한, 다양한 건전도 조사기술과 보수대책이 제안되었지만 시스템적으로 체계화된 것은 아니어서 검사 및 보수작업이 산발적으로 이루어졌고, 이러한 시스템과 데이터의 부족은 앵커 구조물의 효율적인 유지관리를 더욱 어렵게 만들었다. 그래서 2002년에 공공사업 연구위원회(Public Works Research Institute)는 일본 앵커 협회(Japan Anchor Association, JAA)와 함께 건전도 검사 및 보수대책에 대한 연구를 착수했다.

(가) 연구 배경

1977년 일본토질 및 기초공학회(지금의 일본지반공학회)는 “어스 앵커 설계와 시공 기준”을 제정하였고 1988년에 이 설계 및 시공지침을 “그라운드 앵커 설계와 시공 기준”으로 개정하였다. 개정된 지침은 영구 앵커를 위한 이중 방식을 포함하여 보다 강화된 부식방지대책을 강구하도록 했으며, 이 개정안을 통해서 각각의 앵커의 내부식성을 증진시키기 위한 기술의 발전이 이루어 졌다. 기존의 설계기준에 따라 설계・시공된 앵커들은 방식 대책이 불충분할 가능성이 많으나 설계・시공자료가 미흡하여 그 갯수가 잘 알려져 있지는 않지만 일본앵커협회의 조사에 따르면 약 14,000개로 추정하고 있으며 그 대부분이 고속도로건설시 사용된 것으로 알려져 있다.

또한, 기설앵커의 상태에 대해 알기위해 현장조사를 실시하여 그 주요 변형 및 피해에 대해 분류를 실시하였다.

(나) 그라운드 앵커의 검사, 건전도 조사 그리고 보수를 위한 매뉴얼개발의 목적

① 그라운드 앵커의 합리적이고 효율적인 유지관리를 위해 필요한 검사, 건전도 조사 및 보수대책을 체계적으로 확립하기 위함.

② 그라운드 앵커의 기능을 보전하기 위해 적절한 앵커 설계・ 시공・유지관리에 사항을 요약 및 기술하기 위함. 특히 공공사업/프로젝트의 소유권자에 대하여 앵커 유지관리의 필요성에 대한 이해를 돕기 위함.

③ 그라운드 앵커의 조사・설계・시공 및 유지관리 기술의 발전을 위해 그라운드 앵커의 공용중의 자료에 대한 기록・보존의 필요성을 강조하기 위함.

(3) 그라운드 앵커의 검사, 건전도 조사 그리고 보수를 위한 매뉴얼의 개략적 내용

매뉴얼의 1~2장에서는 그라운드 앵커의 유지관리를 위한 기본적 컨셉과 기본적인 성질에 대해 다루어 질 것이며, 유지관리의 중요성을 미쳐 이해하지 못하고 있는 발주처나 유지관리자료의 보존을 위한 예산의 체계적인 배정을 위해 도움이 되

도록 기술하고자 하고 있다. 3장에서는 고속도로의 관리주체가 스스로 앵커를 검사할 때 사용하도록 작성될 예정이다. 4, 5장에서는 건전도 조사와 보수대책 및 이러한 방법을 적절히 선택하기 위한 컨셉에 대해 기술할 예정이다. 일본에서는 각 앵커를 위한 설계매뉴얼이 편찬되었지만 앵커는 구조물의 안정화를 위한 보조요소로서 사용되므로, 앵커가 설치된 구조물을 위한 기술적 기준도 반드시 고려되어져야만 한다. 2장에서는 그라운드 앵커의 건전도 조사가 각 앵커에 대해서 실시될 뿐만 아니라 앵커와 앵커가 지지하는 구조물의 전체에 대해서도 조사가 이루어져야 된다고 기술하고 있으며, 매뉴얼에는 대강 다음과 같은 내용이 담길 예정이다.

① 앵커의 검사

앵커 검사는 일상점검의 일환으로 수행되는 정기적인 점검과 태풍, 지진 등의 재해 이후의 긴급점검으로 분류된다. 그러나 앵커의 건전성에 의시이 간다면 각각의 앵커에 대한 조사를 실시해야 한다.

② 예비 조사

예비조사의 경우 그라운드 앵커의 현장조사 수행을 하기 전에 참고자료를 토대로 조사를 실시하는 것이다. 예비 조사의 목적은 도면, 구조물 및 앵커의 설계명세서, 비탈면, 유지관리 기록, 주위의 지형학적 참고자료 등과 같은 앵커의 유지관리를 위한 필요한 데이터와 정보를 수집하기 위함이다.

예비 조사가 “오래된 형식의 앵커”에 대해 실시되어 질 때, 초기조사는 통상적인 조사를 시행하기 전에 앵커의 상태를 이해하기 위해 실시되어진다.

만약 앵커, 구조물 혹은 비탈면에서 어떤 변형이 발견된다면 초기조사는 “오래된 형식의 앵커” 뿐 만 아니라 다른 앵커에도 실시해야한다. 예비 조사는 참고자료를 토대로 조사를 실시하는 것을 포함하여 반드시 정해진 규정에 의거하여 모든 앵커에 대해 이루어져야 한다. 배치로인하여 앵커가 더 이상 필요하게되지 않을 경우에도 역시 초기점검은 실시해야한다.

③ 초기 점검(Initial inspection)

초기점검을 실시하는 동안에 앵커, 구조물 그리고 비탈면의 설계명세서, 앵커 두부 및 수압판의 상태에 대한 점검이 이루어져야 한다. 예를 들어, 부식방지조치에 대한 필요성 앵커가 설계・시공된지 일년 안에 판단되어져야 한다.

초기점검은 불충분한 정보와 참고자료를 보충하기 위해 수행되는 것이기 때문에 모든 앵커들에 대해 반드시 점검을 실시해야하며, 모든 점검기록들은 차후에 수행될 점검에 사용하기위해 보존해야 한다. 앵커의 건전도에 의문이 있을 경우에는 앵커의 수행능력을 평가하기 위하여 건전도 검사를 실시해야한다.

④ 일상점검(Ordinary inspection)

일일 및 정기적 그리고 긴급점검을 말하는 것으로 일일점검은 앵커와 앵커 두부 그리고 수압판 그리고 구조물의 변형에 대한 육안점검을 포함한다. 일일점검은 순찰을 하는 시설물 관리자에 의하여 시행되어지는데, 예를 들어 일반국도의 경우 일

일점검은 차량에 의해 이루어지며 만약 연 1회 혹은 연 2회의 정기점검과 결합하여 실시한다면 보다 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

정기점검은 원칙적으로 육안점검으로 실시하는데 필요시에는 타격검사(hammering)과 측정(measuring)에 의한 상세한 점검도 포함한다. 육안점검은 원칙적으로 모든 앵커에 의해서 시행되어지지만 상세한 점검 경우는 전체 앵커 중 모든 10% 혹은 3개 이상의 앵커를 선정하여 시행한다. 매년 서로 다른 앵커들을 선정하여 점검을 해야하며 이러한 여러번에 걸침 점검을 통해 비탈면의 상태가 평가되어야 한다.

긴급점검은 관리주체가 판단에 의해 시행되거나, 태풍과 지진과 같은 재해 이후에 즉시 시행이 된다. 긴급점검시에는 시급히 안정성을 평가해야하며 모든 앵커에 대한 육안점검이 실시되어야 한다. 일일 혹은 정기 점검기간 동안 미소한 변형이 발견된 앵커의 경우에는 반드시 특별하고 정밀한 점검을 실시해야한다.

점검을 하는 동안에 건전도에 영향을 미칠 수 있는 어떤 이상이라도 발견된다면, 이상이 발견된 앵커에 대해서는 반드시 건전도 조사를 실시해야한다. 또한 모든 점검결과는 반드시 대장에 기록·보존되어야 한다.

⑤ 앵커의 건전도 조사

점검결과에 따라서 건전도 조사를 시행할지에 대한 여부를 결정해야한다. 각각의 앵커에 대해서 위 기술한 바와 같이 점검을 실시해야하며 또한 구조물을 구성하고 있는 앵커의 그룹으로 평가해야한다. 본 매뉴얼은 이점에 있어서 특별히 이해하기 쉽게 기술할 예정이다.

그러나 각각의 앵커에서는 이상이 발견되지 않아 앵커에 대한 건전도 조사가 불필요한 경우에도, 전체 구조물 혹은 비탈면에서 이상이 발견되었을 경우 혹은 앵커의 이상이 너무 작아서 건전도 조사는 필요없지만 이 작은 이상이 더 큰 지역으로 번질 수 있거나 유사한 현상을 일으킬 수 잇을 경우에는 건전도 검사를 실시하는 것이 좋다.

㉮ 앵커 두부에 대한 상세조사

앵커 두부에 대한 상세조사는 육안조사 및 타격조사(hammering)와 같은 개략적인 조사 뿐만 아니라 인장재와 앵커체의 부식정도, 배면에서의 지하수 흐름, 긴장재의 여유장, 방청오일의 변질상태에 대한 조사를 포함하고 있다. 본 매뉴얼에서는 이 방법에 대해 자세히 기술할 예정이다.

㉯ 초음파 검사

초음파 검사는 초음파를 방사한 후 반사되는 초음파를 모니터링함으로써 인장재의 손상을 파악하는 것으로 인발시험, 능력검정시험(capacity test), 재인장 이전에 안전성을 평가하기위해 예비조사로도 이용된다. 본 매뉴얼에서는 이에 대해 자세히 기술할 예정이다.

㉰ 인발시험(lift-off test)

인발시험은 잔류하중을 측정하는 것으로, 측정된 하중-변위 특성들은 육안으로

보이는 앵커의 자유장을 조사하고 이상을 파악하기 위해 사용된다. 데이터 또한 앵커두부의 배면에 대한 조사와 유지관리테스트 그리고 재인장에 대한 필요성을 판단하기 위해 사용된다. 따라서 인발시험은 건전도 조사가 실시되어지는 모든 앵커에 대해서 실시하는 것이 바람직하다. 본 매뉴얼에서는 자세히 이에 대해 기술할 예정이다.

㉲ 앵커 두부 배면에 대한 조사

앵커 두부 배면에 대한 조사는 인장력을 해방시켜 두부금속을 제거할 수 있는 앵커에 대해인장재의 부식, 충전재와 부식방지재의 열화, 부식방지구조체의 상태, 지하수위 등을 점검하기위함 목적으로 실시하는데 본 매뉴얼에서는 이에 대해 자세히 기술할 예정이다..

㉳ 수행능력 유지관리 테스트

수행능력 유지관리 테스트는 앵커의 인장력을 느슨하게 하는 것과 앵커 정착부의 locking force와 하중-변위특성에 따른 인장재의 자유장 및 인장강도를 조사하기 위해 실시하며, 테스트로부터 얻어진 자료는 건전도 조사를 위한 참고자료로서 사용되어진다.

㉴ 방청오일의 테스트(Test of rust-preventive oil)

방청오일의 테스트는 오일의 유출, 열화를 체크하는 것으로 헤드캠을 제거하고, 필요할 경우는 수압판을 제거하고 앵커의 긴장력을 완화시킨 후 오일을 채취하여 오일 유출, 열과 산화에 따른 오일의 열화에 기인하는 공기와 수질오염에 대한 화학적 조사를 수행하는 것으로 본 매뉴얼에서는 이에 대해 기술할 예정이다..

㉵ 잔류 하중에 대한 모니터링

앵커의 건전도 지수(index of anchor integrity)인 잔류 하중에 대한 모니터링은 인발시험(lift-off test), 수행능력 유지관리 테스트(performance maintenance test)를 통해 실시되며, 때때로 지속적인 모니터링을 위하여 축압계(axial load meters)를 설치하기도 한다.

㉶ 추가 조사(supplementary investigations)

추가 조사는 앵커의 건전도가 주변지반과 지하수의 화학적 특성으로 인하여 취약해질 때에 시행하는 것으로 pH, 산도(acidity), 혐기성황한원세균의 증식 등에 대한 검사를 실시하는데 이에 대해 기술할 예정이다.

㉷ 보수방법

다양한 보수방법을 위하여 이 매뉴얼은 참고서로 활용할 수 있도록 보수기술에 대해 체계적으로 기술할 예정이다. 특히, 본 매뉴얼은 조사를 하는 동안 요구되는 수준이하의 수행능력을 보였거나 보일 가능성이 있는 앵커에 대하여 보수를 실시함으로서 그들의 설계수명 동안 앵커의 수행능력을 보장해야한다는 필요성을 강조할 예정이다. 앵커에 대한 보수를 실시하기 전에 전체 비탈면에서 문제가 발견된다면 그 원인부터을 제거해야하며, 만약 그것이 불가능하다면 공용중인 앵커에 대한 적절성이 검사해야만 하는데 이에 대해 기술할 예정이다. 앵커의 긴장력을 포함한 앵

커의 수행능력의 저하 그리고 앵커의 보수로 인한 개선사항 등은 유용한 보수였다는 것을 체계적으로 보여주기 위하여 개략적으로 정리되어야만 한다.

일반적으로, 시간이 경과함에 따라 앵커의 수행능력을 떨어지며, 그 전형적인 예가 바로 앵커 정착부의 인장력이다. 앵커는 반드시 그들의 설계수명동안 요구되어진 수행능력을 유지해야만 하며 앵커에 대한 보수는 조사를 통해 앵커가 요구수준을 만족하지 못하거나 혹은 몇 년 이내에 수행능력이 감소될 것으로 예상되어질 때에는 실시되어야 한다. 이러한 앵커들은 조사시점과 남아있는 설계수명기간에서의 그들의 수행능력에 근거한 보수(내구성, 보수, 강화, 교체)을 실시하는데 다음과 같은 보수 방법에 대해 기술할 예정이다..

- 내구성 개선

조사시점에서 수행능력이 만족되나, 설계수명으로 판단했을 경우 수행능력이 요구되는 수준 아래로 떨어질 것으로 예측되는 앵커의 경우에는 내구성 개선이 필요한데 여기에는 두 가지 방법이 있다. 그 첫째는 원인을 제거하여 수행능력이 감소되는 속도를 늦추는 것이며 두 번째로는 남아있는 시설물 수명을 연장하기 위하여 앵커의 수행능력을 개선하는 것이다..

- 보수 및 보강

시설물을 위하여 수행능력이 적절치 못한 수준으로 떨어질 때에 앵커의 수행능력을 개선시키기 위하여 앵커에 보수 및 보강을 실시한다. 이러한 조치들은 시설물의 설계수명기간동안에 몇 번에 걸쳐서 이루어지는 것을 “보수”라고 하며, 오직 한번만 수행되는 경우를 “보강”이라하는데 이방법에 대해 기술할 예정이다..

- 교체(renewing)

앵커 수행능력이 내구성 개선, 보수 혹은 보강을 통해서라도 보장되기 어려울 경우에 새로운 앵커가 설치를 설치하는데 이것을 “교체”라고 한다.

- 수명연장

적절한 시기의 점검을 통해 건전한 상태로 앵커서비스를 연장하는 것을 수명연장이라고 한다. 이러한 조치로 수행능력의 저하속도를 감소시키고 내구성을 개선함으로써 수행능력을 증진할 수 있다는 점을 역술할 예정이다..

- 일시적인 보수 및 긴급보수

일시적 보수는 앵커의 수행능력이 요구수준에 크게 못 미칠 경우나 경제적인 요인으로 인해 전체 규모의 보수를 수행할 수 없을 때에 즉각적으로 앵커의 수행능력을 보존하기 위하여 시행되어지는 조치이다. 본 매뉴얼은 일반적 보수와는 다른 일시적 보수에 대해 설명하고 있는데 이러한 일시적 보수는 반드시 경제적 측면 및 효율적 측면을 고려한 검토를 전제로 하여 시행되어져야 한다. 또한 일시적인 보수 이후에 일시적인 보수는 말그대로 일시적이기 때무에 반드시 전반적인 보수가 필요하다는 사실을 관리주체에게 알려야만 한다. 조치들은 구조물 피해에 대한 제3자의 안전을 위해서 그리고 “긴급보수”라고 불리는 조치들이 시행되는 동안에 노동자들의 안전을 위하여 시행되어져야 한다는 점을 기술할 예정이다..

- 유지관리분야에 대한 기술자의 양성

JAA(the Japan Anchor Association)는 앵커 작업과 유지를 위해 발달된 기술을 사용하는 기술자 양성을 위하여 지반 앵커 기술자들에게 자격증을 발부하고 있다. 현재까지, 3,038명의 그라운드 앵커 기술자들이 자격증을 받았고 이들은 앵커의 유지관리에 힘쓰고 있다. 앵커의 보다나은 유지관리를 위해서는 높은 능력을 지닌 기술자들을 지속적으로 양성하는 것 뿐 만 아니라 이를 위한 매뉴얼을 제정할 필요를 강조할 예정이다.

2. 앵커의 설계, 시공, 유지관리 지침 개발

가. 일본 그라운드 앵커 유지관리 매뉴얼

(1) 총 칙

그라운드 앵커 유지관리 매뉴얼은 그라운드 앵커 기능을 장기간 확보함과 동시에 비탈면 및 구조물의 안정과 안전을 유지하기 위해서 앵커의 유지관리 방법을 나타낸 것이다.

이 매뉴얼은 앵커를 비탈면 및 구조물의 안정향상에 이용하거나 장기간 사용하는 구조물에 적용하는 경우, 앵커의 내구성에 문제가 발생하기 전에 적절한 대응을 하기 위하여 앵커의 점검, 안전성 조사, 대책에 관하여 정리한 것이다. 또, 앞으로 시공되는 앵커에 유지관리 기술개발의 방향에 관한 제안도 기술하고 있다.

이 매뉴얼의 적용범위는 앵커의 점검 및 안정성 조사, 대책에 대하여 적용한다.

(2) 앵커 유지관리의 기본

그라운드 앵커는 많은 시공실적을 가지고 있지만 내구성에 문제가 있거나 본래의 기능을 충분히 발휘하지 못하는 것들도 발견된다. 따라서 적절한 유지관리를 해서 기능을 유지하고 구조물사고와 인명피해가 생기지 않도록 해야한다.

앵커의 유지관리를 하기 위해서는 앵커의 손상발생요인과 그 영향을 파악하고, 변형의 조기발견을 위해 노력하여야 하며, 현장에서 관찰되는 주된 변형은 앵커두부의 변형 및 손상, 앵커두부 주변지형의 변형, 반력구조물의 성능저하 및 변형 등이 있다.

앵커의 유지관리는 기본적으로 공용기간 중에 앵커의 역할을 유지하고 앵커의 공용기간을 더 늘리기 위해서 본 매뉴얼에 따라 점검, 안정성조사, 대책 등의 유지관리를 하는 것으로 한다. 새롭게 시공하는 가설용도 이외의 앵커는 유지관리에 필요한 데이터, 자료 등을 정비함과 함께 이러한 데이터에 근거한 일련의 유지관리를 하는 것이 바람직하다. 또한, 앵커의 점검 및 안정성 조사의 빈도는 앵커의 목적, 중요도, 주변 환경 등을 고려하여 결정한다.

앵커의 각 단계의 기록은 유지관리의 단계에서 이용이 쉽게 정리하여 보존하는 것이 바람직하고, 기록은 가능한 한 전산데이터로 정리, 보존하는 것이 바람직하다.

(3) 앵커의 점검

앵커의 점검흐름은 일상점검, 정기점검, 긴급점검으로 이루어진다. 예비조사의 결과에 근거하여 안정성의 문제가 있다고 판단되는 앵커나 비탈면, 구조물은 점검에 앞서 초기점검을 실시하고, 초기점검의 결과나 구조물의 중요도, 변형 시의 영향을

고려하여 점검의 빈도, 범위, 방법 등 점검계획을 미리 정한다. 평상시에는 적절한 빈도로 일상점검 및 정기점검을 하는 것으로 하고, 호우나 지진 등 긴급상황에서는 긴급점검을 한다. 점검결과는 점검기록표를 작성하여 보존한다.

원칙적으로 모든 구형앵커 및 변형 이력이 있는 앵커나 비탈면 및 구조물 등은 점검에 앞서 초기점검을 실시한다. 초기점검에서는 앵커 및 앵커두부의 상태, 수압판의 상태, 비탈면이나 구조물 상태에 대한 조사를 한다. 초지검검의 결과, 안정성에 문제가 있을 경우에는 정밀안전진단을 하여 안정성 평가를 해야한다.

일상점검은 원칙적으로 육안점검에 의하여 앵커 및 앵커두부, 수압구조물 상태에 대한 이상유무를 확인한다. 점검빈도는 관리시설의 일반적인 빈도를 고려하여 절절히 설정하는 것으로 한다. 또한, 앵커와 비탈면 및 구조물 등에 변형 및 손상이 발견되었을 때는 정밀안전진단의 필요성을 판단하여 안정성에 문제가 있는 경우, 비탈면 및 구조물 등의 안정성이나 중요도, 인명피해의 가능성 등을 고려하여 긴급대책의 필요성을 검토한다.

정기점검은 육안점검으로 실시하지만 근접이 가능한 경우 타음, 계측 등으로 상세한 점검을 한다. 정기점검의 결과에 근거하여 앵커 및 비탈면, 구조물 등의 안정성 판단을 하고 문제가 있을 때는 긴급대책의 필요성을 검토하여야 한다.

긴급점검은 집중호우나 지진 등의 긴급상황에 긴급점검을 한다.

모든 점검의 점검결과는 점검기록부에 기록하여 보존하고, 가능한 한 전산화하여 보존하는 것이 바람직하다.

(4) 앵커의 정밀안전진단

앵커의 점검결과에 따라 정밀안전진단이 필요한 앵커를 대상으로 정밀안전진단을 하여 보다 상세하게 앵커 상태를 확인하여 안정성을 평가한다. 앵커를 사전조사하여 정밀안전진단의 계획에 필요한 자료를 수집한다. 사전조사 결과에 따라 정밀안전진단의 계획을 세우고, 앵커의 상태나 현장조건을 고려하여 적절한 방법을 선정한다.

정밀안전진단의 종류에는 사전조사, 앵커 두부상세조사, 리프트오프시험, 두부배면조사, 유지성능확인시험, 방청유의 시험, 잔존긴장력의 모니터링, 초음파 탐상시험 등이 있다.

(5) 앵커의 대책공

안정성조사 결과, 대책이 필요한 앵커는 그 정도에 맞추어 각종 대책을 선정하고, 대책을 강구하는 것으로 한다. 대책공의 목적은 내구성 향상 대책, 보수, 보강, 교체, 긴급대책, 응급대책 등이 있다. 대책공은 방식기능의 유지, 향상을 위한 조치, 재긴장 및 긴장력을 완화시키는 조치, 또는 교체를 하는 방법이 있다.

긴급대책 및 응급대책은 본격적인 대책을 실시하기 전에 시간이나 비용을 필요로 하는 경우에 합리적이고 효율적으로 유지관리를 실시하기 위한 목적으로 실시하는 것이다.

나. 그라운드 앵커의 설계·시공 및 유지관리 지침 [별첨자료 1]

(1) 총 칙

각종 구조물 보강 및 비탈면 안정성 확보 등을 목적으로 사용되는 그라운드 앵커에 대한 설계, 시공, 유지관리의 일반적인 기준과 방법제시를 위해 지침을 작성하였고, 지침의 적용범위는 흙막이, 각종 구조물의 보강, 비탈면의 붕괴방지 및 안정화 등을 목적으로 하는 그라운드 앵커에 대하여 적용한다.

이 지침은 여러 가지 목적으로 사용되는 영구 및 가설앵커에 대한 설계, 시공 및 유지관리에 관한 계획, 조사, 점검과 조치 등에 필요한 일반적 기준과 방법에 대한 기본적인 사항을 제시하였고, 건설공사시 그라운드 앵커의 설계, 시공, 유지관리 업무가 설계자 또는 시공자별로 상이한 기준을 적용하고 있고, 기준이 미비하여 설계자나 시공자의 판단에 의존하는 어려움이 있어왔다. 이 지침은 통합된 설계, 시공, 유지관리 방법을 제시하여 설계자나 시공자가 임의로 판단하거나 국외 기준을 무분별하게 도입하는 등의 문제점을 최소화시키기 위한 목적으로 제정되었다.

(2) 설계

앵커의 설계는 앵커의 특성을 충분히 검토하여 앵커 및 주변 구조물에 대한 안전성, 경제성, 시공성 및 그 목적에 적합하도록 계획한다. 앵커의 분류는 사용목적, 정착형식, 설치각도, 그라우트제의 주입가압방식, 긴장재의 종류, 긴장정착방식 등에 따라 분류할 수 있다. 사용목적에 따라서는 가설앵커와 영구앵커로 나뉘며, 정착형식에서는 마찰형, 지압형, 복합형으로 분류된다. 앵커의 각도에 대한 분류는 수직앵커와 경사앵커로 분류되고, 주입가압력에 따라서는 무가압 주입앵커와 저압주입앵커, 고압주입앵커로 분류된다. 인장재의 종류에 의한 분류는 pc강연선, pc강선, pc강봉, 연속섬유보강재 등으로 분류되며, 긴장정착방식에 의한 분류는 쐐기 정착방식, 너트정착방식, 쐐기 너트병용방식으로 분류할 수 있다.

설계를 위한 조사는 일반조사, 지반조사로 이루어진다. 일반조사에서는 앵커의 설계, 시공에 필요한 기초자료를 얻기 위한 사항에 대해 조사를 실시한다. 지반조사는 앵커와 앵커로 보강된 구조물에 의해 영향을 받는 범위의 지질학적 구성과 공학적 특성, 지하수의 상황 등에 대해 실시한다.

앵커는 정착지반과 앵커 구조물을 포함한 주변지반의 전체적인 안정, 인접구조물의 영향을 고려하여 설치목적을 효과적으로 달성할 수 있도록 배치하고, 앵커에 작용하는

하중은 공용기간 중의 안정성을 충분히 확부할 수 있도록 앵커의 사용목적이나 용도를 고려하여 결정한다. 설계앵커력은 앵커의 배치, 앵커에 작용하는 하중 등을 고려하여 1본의 앵커가 부담해야 할 하중의 크기를 나타내는 것으로 허용앵커력을 초과해서는 안된다. 유효긴장력은 설계앵커력을 함께 앵커 및 앵커로 보강된 구조물의 변형량, 응력상태를 고려해서 결정한다. 앵커체 정착 그라우트의 허용부착응력은 그라우트의 강도가 크다면 문제가 되지 않지만 특수한 경우에는 압축강도시험을 하여 강도확인을 하여야 한다. 주면마찰저항과 지압저항 값은 앵커의 설계 및 시공을 위해 실시하는 시험 중 기본조사시험에 포함되는 인발시험으로 앵커의 극한인발력 및 그 거동을 파악하여 결정한다.

긴장재의 선정은 설계하중에 대한 안정성이 확보된 긴장재를 선정하고, PC강연선을 사용하여 긴장재를 구성하는 경우에는 2본 이상을 1케이블로 한다. 앵커의 길이 중 앵커자유길이는 최소 4m이상으로 하고 긴장재 자유길이는 소요긴장력을 확보할 수 있어야 한다. 앵커 정착길이는 3m~10m로 한다.

앵커의 안전율은 가설앵커의 경우 1.5, 영구앵커의 경우 2.5로 정한다.

앵커두부의 설계는 허용앵커력에 대한 강도를 가지며 유해한 변형을 일으키지 않는 구조로 하고, 재긴장 또는 재하의 필요성이 있는 경우에는 긴장재의 여유길이 및 재긴장이 가능한 정착구를 사용하여야 한다. 앵커두부는 부식에 대한 손상을 받지 않도록 부식에 대한 내구성이 있는 재료를 사용하여야 하며, 방청유를 공극이 없도록 충전하여 방청유가 새어나오지 않는 구조로 설계하여야 한다.

(3) 시공

시공은 시공계획서를 먼저 작성하여야 한다. 시공계획서는 공사전체의 규모나 내용 및 시공조건을 파악하고 앵커의 기능을 충분히 발휘하기 위한 시공방법 및 관리방법, 공사의 안전관리방법 등을 충분히 검토하여, 발주자나 관계기관이 승인한 것으로 공사담당자는 물론 각 시공담당자에게도 주지시키기 위해 사전에 입안·작성하여야 하며 가능한 상세하게 작성해야 한다.

앵커의 시공을 위해서 전력설비, 급수설비, 폐수처리설비, 플랜트설비 등 제반 설비를 준비하여야 하며 각 설비의 설치 공간, 천공을 위한 작업 공간, 긴장재의 가공·보관 공간 등에 필요한 부지를 확보하여야 한다. 이들 가설비나 작업공간은 공법이나 공사규모, 사용장비의 종류나 시공조건 등에 의해 달라지므로 이를 고려하여 적절한 계획이 될 수 있도록 하여야 한다.

앵커시공과 시공관리는 시공계획서를 기준으로 신중하고 확실하게 실시한고, 앵커시공 중 계획 시 가정한 조건과 다른 상황이 발생하는 경우에는 그 원인을 신속하게 파악하고 적절한 대책을 강구한다.

앵커 시공 시 안전대책은 관련 법규 및 규정, 지침을 준수하여 마련한다.

앵커의 천공은 주변지반을 교란하지 않고 설계도에 표시된 천공지름·심도·위치·

방향 등 시방을 만족할 수 있는 방법으로 시공하여야 한다. 또 천공의 품질이 시공된 앵커의 품질에 미치는 영향이 크기 때문에 천공 방법에 대해서는 충분한 검토를 통한 검토를할 필요가 있다. 비계는 천공기계나 재료 등 적재중량을 고려하여 충분히 안전한 구조로 설치심도·위치·방향 요한 천공장비에는 천공기·천공비트·천공용 펌프 등이 있·방향천공장비 선정을 위해서는 천공지반의 종류나 지하수의 유무 등 조건에 대한 충분한 검토를 하는 것이 중요하다. 앵커의 천공 시 시공하는 앵커가 다른 앵커나 인접구조물 등에 영향을 미치지 않도록 천공정밀도를 확보해야 한다.

앵커 재료는 습기를 피해서 건조상태로 보관한다. 또한, 유해한 녹이나 물질이 부착되지 않도록 보관하여 사용 시에 문제가 없도록 하여야 한다. 긴장재는 설계 조건을 기준으로 그 기능이 손상되지 않도록 조립 가공하고, 긴장재 설치 시 그라우트의 피복두께를 확보하고 공의 중앙부의 위치하도록 조립 가공한다. 긴장재의 절단 시 재료적 특성을 유지할 수 있도록 주의하여야 하고, 긴장재는 사용목적을 충분히 만족할 수 있도록 가공하되 그 기능을 공용기간 중 발휘할 수 있어야 한다.

긴장재의 삽입은 공내 세정 후 혹은 주입재 주입 후 신속하게 실시한다. 이때 공내 장해물 등이 없는 것을 확인하여 긴장재 및 부속품에 유해한 손상·변형을 주지 않도록 하는 방법으로 삽입하고 고정한다.

그라우트 주입을 통하여 긴장재 두부에 작용하는 긴장력을 정착지반으로 전달시킬 수 있도록 앵커체를 형성 하는 동시에 부수적으로 방청기능의 향상과 앵커체 부근의 정착지반이 개량 강화효과를 기대할 수 있다.

그라우트 주입은 치환주입 또는 가압주입에 의해 실시되는데, 모두 앵커체를 조성하기 위한 중요한 작업이며 앵커체가 소정의 위치에 형성되도록 실시한다. 또한 천공에서 주입까지의 작업은 연속적으로 신속하게 실시한다.

주입재의 혼합은 시공계획에 준해서 믹서를 사용해서 균일한 품질을 얻을 때까지 실시하며 혼합후의 주입재는 즉시 사용한다. 앵커체는 주입재가 경화되어 소정의 강도를 나타내고 다시 긴장정착이 완료할 때까지 충분히 양생한다. 주입재에 의해 지하수 오염의 우려가 있는 경우에는 적절한 대책을 강구해야 한다.

앵커 긴장, 정착은 앵커체가 설계 강도에 도달한 후에 실시한다. 또한, 앵커두부 정착작업은 긴장력 손실이 일어난 후에 최종적으로 앵커에 잔존하는 유효긴장력이 설계긴장력 이상이 될 수 있도록 실시한다. 앵커긴장재에 긴장력을 도입하는 시기는 주입재가 소정의 강도에 도달하는 시기로 결정된다. 또한 정착부 수압판의 구조적 강도도 충분하여야 한다. 긴장 작업은 앵커 공법에 적합한 긴장용 잭에 의해 긴장하여야 한다. 또 정착은 신뢰성이 높은 앵커긴장재의 극한강도이상의 정착내력이 있는 정착구를 사용하여 확실한 정착을 하여야 한다.

앵커두부 시공시에는 방청유를 보충하거나 재주입할 수 있는 구조로 설치하여야 한다. 긴장관리는 모든 앵커에 대하여 실시하여 건전성을 확인한다. 또 이때의 시험기록 및 사진기록은 보존해 두어야 하고, 충진주입은 앵커체를 조성한 후에 앵커

자유길이부 주면이나 앵커두부 배면의 공극충전과 보호를 위해 실시하는 것이며, 앵커의 기능이 손상되지 않도록 실시한다. 가설앵커에서는 필요시 충전주입을 한다.

앵커의 시험은 목적에 따라서 인발시험, 인장시험, 확인시험, 리프트오프시험을 실시할 수 있다.

시험은 책임기술자와 감독원의 입회하에 실시하여야 한다. 또한, 도급자는 시험에 앞서 시험방법과 시험종류에 대한 계획서를 작성하여 감독원에게 제출하고 승인을 받아 시행한다.

(4) 유지관리

시설물과 부대시설의 기능을 보존하고 이용자의 편익과 안전을 도모하기 위하여 일시적으로 또는 정기적으로 시설물의 상태를 조사하고 손상부에 대한 조치를 취하는 일련의 행위를 유지관리라 한다. 유지관리 업무는 앵커로 보강된 구조물 및 지반은 관리주체가 정기적으로 점검, 관측 및 계측을 실시하고 이상 발생 시 적절한 대책을 강구하여 시설이 제 기능을 발휘할 수 있도록 해야 한다.

앵커시설의 점검에는 초기점검, 정기점검, 정밀점검, 긴급점검이 있다. 평상시에는 정기적으로 정기점검 및 정밀점검을 실시하며 호우나 지진시, 중대한 손상이나 변형 발생시에 긴급점검을 실시한다. 앵커구조물의 점검은 앵커두부, 정착부 지반변형 등의 외관상태와 비탈면 안정에 큰 영향을 미치는 긴장력 변화에 유의하여 실시한다.

초기점검은 관리주체가 시설물의 유지관리를 하는데 필요한 초기치와 기초자료를 얻기 위하여 정밀점검에 준하여 실시하는 점검이다. 초기점검은 신설되거나 구조변경된 시설물에 대하여 준공 또는 사용승인(임시사용 포함) 후 6개월 이내에 실시하는 최초의 정밀점검이며 시설물의 전 부재에 대한 조사·관찰로 현재 발생한 결함 및 장래 발생하기 쉬운 결함을 조사하여 유지관리의 기초자료로 활용한다. 초기점검 시에는 사전에 설계도서를 상세히 검토하고, 추후 유지관리에 특별한 주의를 필요로 하는 사항을 제시하여야 하며, 시설물의 예방적 유지관리 체계의 구성이 필요하다.

정기점검은 경험과 기술을 갖춘 자가 앵커구조물 등 시설물의 손상이나 결함을 조기에 발견하고 시설물의 기능적 상태를 판단하며 시설물이 현재의 사용요건을 계속 만족시키고 있는지 확인하기 위하여 실시하는 세심한 육안검사 수준의 점검이다. 원칙적으로 앵커구조물 등은 준공일 또는 사용승인일 다음 반기부터 반기별 1회 이상 실시하는 것으로 한다. 다만 정밀점검, 긴급점검 및 정밀안전진단의 현장조사 기간과 중복되는 반기에는 생략할 수 있다. 정기점검은 대상으로 하는 기점검은 대상으해 근접 조사하는 것이 바람직하나 타음검사 등 근접 조사는 표본조사로 실시하며 현장여건상 도보로 접근이 어려운 앵커는 원거리에서 간접적인 조사를 실시한다. 점검방법은 육안조사나 타음을 주로 이용하며 점검 결과는 점검기록부에 기

록한다. 앵커 긴장력이나 비탈면 및 구조물의 변형을 계측하는 경우에는 계측 데이터를 확인하여 이상유무를 확인하여야 한다. 정기점검결과 심각한 변형·손상이 확인되었을 때는 긴급점검을 실시한다. 정기점검 결과는 점검기록부에 기록하고 점검보고서를 작성하여 제출한다.

정밀점검은 원칙적으로 육안점검으로 하며 점검 결과 필요시 시험이나 계측을 실시한다. 정밀점검은 실시 시기에 따라 초기점검과 정기적 정밀점검으로 나뉜다. 초기점검은 신설되거나 구조변경된 시설물에 대하여 준공 또는 사용승인(임시사용 포함) 후 6개월 이내에 실시하는 최초의 정밀점검을 말하며 정기적 정밀점검은 일반적으로 정밀점검이라 칭하며 최초시공 5년 이후 1회 점검을 실시하고, 그 이후에는 3년에 1회 정밀점검을 실시한다. 육안점검 및 타음에 의해 인장재의 파단, 각종부재의 부식, 수압구조물의 파단 등 이상 징후를 전수조사하고 관측공이 있는 경우에는 내시경 조사를 실시한다. 정밀점검의 결과에 근거하여 앵커 및 비탈면·구조물 등의 안정성 판단을 하고 문제가 있을 때는 비탈면·구조물 등의 안정성·중요도・인명피해의 가능성 등을 고려하여 긴급 대책의 필요성을 검토한다. 또한, 정밀점검으로 판단하기 어려운 경우에는 정밀안전진단의 실시할 수 있도록 방안을 제시 한다. 정밀점검 결과는 점검기록부에 기록하고 점검보고서를 작성하여 제출한다.

긴급점검은 중대한 손상이나 변형 발생 시, 또는 집중호우나 지진 등의 긴급 상황에는 긴급점검을 실시한다. 원칙적으로 육안점검으로 실시하고 앵커와 비탈면 및 구조물 등의 이상 유무를 확인한다. 긴급점검을 하여 앵커 및 비탈면·구조물 등에 변형·손상이 발견되었을 때는 비탈면이나 구조물 등의 안정성, 중요도, 주변구조물 및 인명피해 가능성 등을 고려하여 정밀안전진단 또는 긴급대책의 필요성에 대해 검토한다. 손상점검은 재해나 사고에 의하여 비롯된 구조적 손상 등에 대하여 긴급히 시행하는 점검으로 점검자는 시설물의 손상 정도에 따라 사용제한, 사용금지가 필요한 경우에는 즉시 관리주체에 보고하여야 하며, 관리주체는 필요한 조치를 취하여야 한다. 특별점검은 구조물의 안전에 심각한 영향을 미치는 중대한 결함이 의심되는 경우나, 사용제한 중인 시설물의 사용여부 등을 판단하기 위해 실시하는 점검으로서 점검 시기는 결함의 심각성을 고려하여 결정한다.

모든 점검의 결과는 점검기록부에 기록하거나 점검보고서로 제출한다. 또한, 점검결과는 가능한 한 전산화하여 기록·보존하는 것이 바람직하다.

정밀안전진단은 안전점검결과 재해 및 재난 예방과 안전성 확보 등을 위해 필요하다고 인정하는 경우에 앵커구조물의 내구성 및 안정성 파악을 위해 실시하며, 정밀육안조사와 장비조사 및 현장시험을 통하여 조사, 측정, 평가한다. 정밀안전진단 계획은 사전조사에서 수집한 자료를 기본으로 적용할 시험의 종류나 방법을 검토하고, 그 실시방법이나 각 조사, 시험 단계에서의 시공관리방법을 상세하게 정한 것으로 현장 및 그 주변의 안전과 환경보전을 고려하여 정한다. 정밀안전진단이 끝나면 유지성능확인시험을 실시한다. 긴장력을 해체한 앵커의 인장시험을 하여 긴장재의 인장강도나 앵커의 인발력, 부착력이 설계 앵커력 이상으로 확보되고 있는지를 확

인한다. 시험의 개수는 두부배면에 대한 조사를 한 앵커 모두를 대상으로 실시한다.

앵커에 걸리는 긴장력이 일정한 기준을 넘게되면 긴장재가 파단하거나 앵커돌출로 이어져 비탈면 붕괴, 구조물 파괴, 한층 더 나아가 인명피해 등으로 발전할 위험성이 있으므로 잔존긴장력을 측정하여 위험성이 있는 경우에는 조기에 대책을 세울 필요가 있다. 잔존긴장력의 측정방법으로는 앵커 긴장 시에 하중계를 설치하는 방법과 리프트오프시험에 의해 확인하는 방법이 있다.

모든 안정성 조사 결과로부터 대책이 필요하다고 판단된 앵커에는 각종 대책을 선별하여 대책을 세운다.

다. 펄스파워를 이용한 확공형 앵커의 설계·시공 지침[별첨자료 2]

(1) 총 칙

이 지침은 각종 구조물 보강 및 비탈면안정성 확보 등을 목적으로 사용되는 펄스파워를 이용한 확공형 그라운드 앵커(이하 펄스앵커)에 대한 설계, 시공의 일반적인 기준과 방법 제시를 목적으로 하고, 흙막이, 각종 구조물의 보강, 비탈면의 붕괴 방지 및 안정화 등을 목적으로 하는 펄스앵커에 대하여 적용함을 원칙으로 한다.

(2) 설 계

펄스앵커의 설계는 일반적인 앵커와 마찬가지로 앵커의 특성을 충분히 고려하여 앵커 및 주변구조물에 대한 안전성, 경제성, 시공성 및 그 목적에 적합하도록 계획한다. 먼저 설계 및 시공을 위한 조사는 가설 토류벽이나 지반 등의 일시적인 보강공법, 비탈면의 붕괴방지 및 안정공법, 옹벽의 보강 및 구조물의 기초 등으로 앵커를 계획하는 경우는 앵커가 시공될 지반의 조건, 주변지역의 지상·지하구조물이나 주변환경 등 그 목적에 따라서 상세한 사전조사를 실시하여 설계계획, 안전관리계획 및 유지관리계획 등을 검토하여야 한다.

일반적인 앵커 설계, 시공을 위한 조사에서는 주로 지형이나 토지이용상황, 근접구조물이나 매설물, 주변환경 및 그 밖의 시공조건에 관한 사항에 대해 조사를 실시한다. 또한, 지반조사는 앵커와 앵커로 보강된 구조물에 의해 영향을 받는 범위에 대해 그 지질학적 구성과 공학적 특성, 지하수의 상황 등에 대해 실시한다.

펄스앵커의 설계는 일반적인 그라운드 앵커와 마찬가지로 가설 토류벽이나 지반 등의 일시적인 보강공법, 비탈면의 붕괴방지 및 안정 공법, 구조물의 안정 등을 위해 다양한 용도로 사용되며, 단기간에 사용되는 가설앵커 및 장기간 사용되는 영구앵커의 경우도 있다. 따라서 앵커 자체의 안정이나 앵커로 보강되는 구조물의 안정을 확보하는 것뿐만 아니라 경제성, 시공성 및 주위환경에 미치는 영향도 역시 고려해야 한다. 또한 공사완료 후의 최종적인 안전뿐 만 아니라 시공 중의 안정과 함께 내구성이나 내부식성 등 재료적으로도 안전하도록 검토하여 설계하여야 한다. 펄스앵커의 배치는 일반앵커와 마찬가지로 정착지반이나 앵커 구조물을 포함한 주변지반의 전체적인 안정, 인접구조물의 영향 등을 고려하여 설치목적을 효과적으로

달성할 수 있도록 배치한다. 펄스앵커를 포함한 모든 앵커는 앵커의 사용목적이나 용도를 고려하여 곡용기간 동안 앵커에 작용하는 하중에 대하여 안정성을 충분히 확보할 수 있도록 하여야 한다.

설계앵커력은 앵커의 배치, 앵커에 작용하는 하중 등을 고려하여 1본의 앵커가 부담해야할 하중의 크기를 나타내는 것으로 허용앵커력을 초과해서는 안되며, 유효인장력은 설계 앵커력을 함께 앵커 및 앵커로 보강된 구조물의 변형량, 응력상태를 고려해서 결정한다. 인장재와 그라우트의 부착력은 그라우트의 강도가 크다면 문제가 되지 않지만, 특수한 경우에는 압축강도시험을 하여 강도확인을 하여야 한다. 펄스파워에 의한 확공비는 원래의 천공직경에 대한 확공후 직경의 비를 말하는데 펄스방전회수 및 방전전압에 비례하여 증가하며 증가효과는 지반이 연약할수록 커진다. 확공형 앵커체의 극한인발력은 지반종류 및 방전회수에 따른 값으로 주면마찰저항과 지압저항 값을 설계시에는 정확히게 계산하기 어려운 관계로 개략적으로 가정하여 앵커의 본수 및 간격 등을 결정한 후 시공 전에 인발시험을 통하여 앵커의 극한인발력 및 그 거동을 파악하여 확정한다.

앵커자유장은 최소 4m이상으로 하고, 인장재자유장은 변형을 고려하고 소요 인장력을 확보할 수 있도록 한다. 앵커정착장은 3m이상, 10m이하로 한다.

펄스앵커는 일반앵커로 보강된 구조물의 안정해석에 작용하는 안전율을 그대로 적용하며 가설앵커의 경우 1.5, 영구앵커의 경우 2.9로 정한다. 전체계의 안정은 일반적인 그라운드 앵커를 설계할때와 동일하다.

펄스앵커의 두부의 설계는 일반앵커의 두부설계와 같으며 허용앵커력에 대한 강도를 가지며 유해한 변형을 일으키지 않는 구조로 하고, 재인장 또는 재하의 필요성이 있는 경우에는 인장재의 여유장 및 재인장이 가능한 정착구를 사용하여야 한다. 앵커두부는 부식에 대한 손상을 받지 않도록 부식에 대한 내구성이 있는 재료를 사용하여야 하며, 방청유를 공극이 없도록 충전하여 방청유가 새어나오지 않는 구조로 설계하여야 한다.

펄스앵커의 수압판 인장재의 반력을 지반에 균등하게 전달하여야 하고, 허용응력설계법 또는 강도설계법으로 설계하여야 한다. 수압판에 작용하는 하중은 상시하중과 일시하중으로 구분할 수 있는데 상시하중으로는 설계앵커력이 작용하며 일시적으로 크게 작용하는 지진하중이나 초기인장력은 일시하중으로서 설계앵커력의 1.5배를 초과해서는 안된다. 철근콘크리트 수압판 또는 프리스트레스트 콘크리트 수압

판 설계시 일시하중에 대해서 극한강도를 만족하여야 하며 상시하중에 대해서 사용성을 만족하여야 한다. 또한, 현장타설콘크리트 격자형태의 수압판 설계시 십자형 수압판에 준하여 설계한다. 이외의 앵커 설계의 재료는 일반적인 그라운드 앵커 설계와 동일하다.

(3) 시 공

펄스파워를 이용한 확공형 앵커의 시공 시 먼저 시공계획서를 작성해야 한다. 시공계획서는 공사전체의 규모나 내용 및 시공조건을 파악하고 앵커의 기능을 충분히 발휘하기 위한 시공방법 및 관리방법, 공사의 안전관리방법 등을 충분히 검토하여, 발주자나 관계기관이 승인한 것으로 공사담당자는 물론 각 시공담당자에게도 주지시키기 위해 사전에 입안·작성하여야 하며 가능한 상세하게 작성해야 한다.

앵커의 시공을 위해서는 전력설비, 급수설비, 폐수처리설비, 플랜트설비 등 제반 설비를 준비하여야 하며 각 설비의 설치 공간, 천공을 위한 작업 공간, 인장재의 가공·보관 공간 등에 필요한 부지를 확보하여야 한다. 이들 가설비나 작업공간은 공법이나 공사규모, 사용장비의 종류나 시공조건 등에 의해 달라지므로 이를 고려하여 적절한 계획이 될 수 있도록 하여야 한다. 특히 펄스앵커장비는 책임자를 선임하여 안전시공이 되도록 한다. 앵커시공과 시공관리는 시공계획서를 기준으로 신중하고 확실하게 실시해야하고, 앵커 시공 중 계획 시 가정한 조건과 다른 상황이 발생하는 경우에는 그 원인을 신속하게 파악하고 적절한 대책을 강구한다.

앵커의 천공은 주변지반을 교란하지 않고 설계도에 표시된 천공지름·심도·위치·방향 등 시방을 만족할 수 있는 방법으로 시공하여야 한다. 또 천공의 품질이 시공된 앵커의 품질에 미치는 영향이 크기 때문에 천공 방법에 대해서는 충분한 검토를 통하여 결정할 필요가 있다. 비계는 천공기계나 재료 등 적재중량을 고려하여 충분히 안전한 구조로 설치하여야 한다. 주요한 천공장비에는 천공기·천공비트·천공용 펌프 등이 있다. 천공장비 선정을 위해서는 천공지반의 종류나 지하수의 유무 등 조건에 대한 충분한 검토를 하는 것이 중요하다. 또한, 앵커의 천공 시 시공하는 앵커가 다른 앵커나 인접구조물 등에 영향을 미치지 않도록 천공정밀도를 확보해야 한다. 천공시 앵커체에 주입재가 유출되면 필요한 설계앵커력을 얻지 못하므로 누수의 정도를 확인하고 필요한 대책을 마련하여야 한다. 누수수밀성시험은 수위재하시험 또는 팩커(packer) 가압시험 등이 있다. 이 시험 결과에 따라 누수대

책을 새워야 하며, 암반에서 수밀성이 유지되지 못하는 경우 또는 물의 침투성이 매우 높은 경우에 대책사항으로는 콘솔리데이션그라우트(consolidation grout)를 할 필요가 있다.

앵커 재료는 습기를 피해서 건조상태로 보관한다. 또한, 유해한 녹이나 물질이 부착되지 않도록 보관하여 사용 시에 문제가 없도록 하여야 한다. 인장재는 설계 조건을 기준으로 그 기능이 손상되지 않도록 조립 가공한다. 인장재 설치 시 그라우트의 피복두께를 확보하고 공의 중앙부의 위치하도록 조립 가공한다. 인장재의 절단 시 재료적 특성을 유지할 수 있도록 주의하여야 한다. 인장재는 사용목적을 충분히 만족할 수 있도록 가공하되 그 기능을 공용기간 중 발휘할 수 있어야 한다.

인장재의 삽입은 1차 그라우트 주입 후 곧바로 선단장치를 삽입하여 확공을 실시한 후 인장재를 삽입한다. 이때, 선단장치에 연결되어있는 동축케이블은 안전을 위하여 PE파이프로 보호해야 한다. 이때 공내 장해물 등이 없는 것을 확인하여 인장재 및 부속품에 유해한 손상・변형을 주지 않도록 하는 방법으로 삽입하고 고정한다.

펄스앵커장비는 발전기로부터 전원(380V, 3상)을 공급받아 전원공급장치를 통하여 캐패시터에 소정에 전압을 충전시킨 후 선단장치를 통하여 순식간에 방전을 실시함으로써 지중에서 압력을 발생시켜 천공홀을 확공시키는 장비이어야 한다. 캐패시터에 충전시키는 전압은 최대 9kV로 이때의 충전된 전압의 에너지는 133kJ이며, 충전 소요 시간은 최대 25초이어야 한다. 선단장치는 선단체, 선단파이프, 펄스방전용 동축케이블로 구성된다. 펄스방전용 동축케이블은 PE파이프 등을 이용하여 천공깊이 만큼의 길이에 걸쳐 보강되어 현장에서 발생하는 이물질 등으로부터 보호되어야 한다. 시공 시에는 펄스앵커장비로부터 반경 1.5m 지점에 안전선을 설치하여 관계자 이외의 접근 및 접촉을 제한한다. 또한, 펄스앵커장비의 운전은 숙련된 운전공이 펄스앵커장비의 매뉴얼에 의하여 실시한다.

그라우트 주입을 통하여 인장재 두부에 작용하는 인장력을 정착지반으로 전달시킬 수 있도록 앵커체를 형성 하는 동시에 부수적으로 방청기능의 향상과 앵커체 부근의 정착지반이 개량 강화효과를 기대할 수 있다. 주입 시 그라우트 배합은 지반특성에 적합하고 작업성이 좋은 배합으로 한다. 그라우트 주입은 치환주입 또는 가압주입에 의해 실시되는데, 모두 그라우트를 조성하기 위한 중요한 작업이며 그라우트가 소정의 위치에 형성되도록 실시한다. 또한 천공에서 주입까지의 작업은 연

속적으로 신속하게 실시한다. 주입재의 혼합은 시공계획에 준해서 믹서를 사용해서 균일한 품질을 얻을 때까지 실시하며 혼합후의 주입재는 즉시 사용한다. 그라우트는 주입재가 경화되어 소정의 강도를 나타내고 다시 긴장정착이 완료할 때까지 충분히 양생한다. 또한, 주입재에 의해 지하수 오염의 우려가 있는 경우에는 적절한 대책을 강구해야 한다.

앵커 긴장, 정착은 앵커체가 설계 강도에 도달한 후에 실시한다. 또한, 앵커두부 정착작업은 인장력 손실이 일어난 후에 최종적으로 앵커에 잔존하는 유효인장력이 설계인장력 이상이 될 수 있도록 실시한다. 앵커인장재에 인장력을 도입하는 시기는 주입재가 소정의 강도에 도달하는 시기로 결정된다. 또한 정착부 수압판의 구조적 강도도 충분하여야 한다. 긴장 작업은 앵커 공법에 적합한 긴장용 잭에 의해 긴장하여야 한다. 또 정착은 신뢰성이 높은 앵커인장재의 극한강도이상의 정착내력이 있는 정착구를 사용하여 확실한 정착을 하여야 한다.

앵커두부 시공시에는 방청유를 보충하거나 재주입할 수 있는 구조로 설치하여야 한다. 긴장관리는 모든 앵커에 대하여 실시하여 건전성을 확인한다. 또 이때의 시험기록 및 사진기록은 보존해 두어야 하고, 충진주입은 앵커체를 조성한 후에 앵커 자유길이부 주면이나 앵커두부 배면의 공극충전과 보호를 위해 실시하는 것이며, 앵커의 기능이 손상되지 않도록 실시한다. 가설앵커에서는 필요시 충전주입을 한다.

앵커의 시험은 목적에 따라서 인발시험, 긴장시험, 확인시험, 리프트오프시험을 실시할 수 있다.

시험은 책임기술자와 감독원의 입회하에 실시하여야 한다. 또한, 도급자는 시험에 앞서 시험방법과 시험종류에 대한 계획서를 작성하여 감독원에게 제출하고 승인을 받아 시행한다.

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구개발목표 달성도

목 표	달성도 (%)	내 용
펄스압에 따른 지반별 확공률 규명	100	◆ 펄스압에 따른 지반변형에 대한 문헌연구 ◆ 펄스압에 따른 지반확공 영향인자 연구 ◆ 모형시험 및 실대형시험을 통한 확공형상 및 확공율 분석
수치해석을 통한 지반확공 특성 분석	100	• 펄스 방전에 의한 충격파의 정량적 예측 • 실내 펄스 방전 실험에 대한 시뮬레이션 및 해석 모델의 적절성 검토 • 유체-구조물 연동 해석을 기반으로 한 지반 확공 현상 시뮬레이션 • 점성토와 사질토의 거동 특성을 고려한 시뮬레이션 방안 도출 • 매개변수 해석 수행 및 현장 시험과의 비교/검토 수행
인발파괴 메커니즘 규명을 위한문헌연구 및 예비실내모형실험	100	• 문헌연구를 통해 다양한 앵커의 극한인발력 산정식 조사 • 다구근 확공형 앵커 극한인발력에 영향을 주는 인자 조사 • 실내 모형 시험을 통해 중간조밀의 사질토 지반에서 직선 샤프트형 모형앵커와 확공형 모형앵커의 극한인발력을 비교(예비시험)
모형 및 실대형시험을 통한 확공형 앵커의 인발거동특성 분석 및 설계식 제안	100	• 모형실험을 통해 직선 샤프트형 앵커 및 다구근 확공형 앵커 극한인발력 증대 효과 규명 • 모형실험을 통해 확공형 앵커의 확공비, 확공개수 및 확공형상 등에 따른 극한인발력 효과 비교분석 • 모형시험 및 실대형 시험결과로부터 확공형 앵커의 극한인발력 산정식 제안
수치해석 통한 펄스앵커의 인발저항력 예측	100	• 앵커 인발시험 규정에 따라 현장시험을 수행하고 앵커 위치별 하중 전이분포 및 극한인발력 계측 • 펄스 방전 후 지반상태를 고려한 앵커 인발 해석 • 점성토 및 사질토에 대한 매개변수 해석

현장인발시험을 통한 극한하중산정 설계식 완성	100	• 확공 형상을 고려한 앵커 인발 해석 • 현장시험결과로부터 확공형 앵커의 극한인발력 산정식 개발 • 각 지반에서 앵커의 크리프 특성 파악 • 각 지반에서 앵커의 장기거동 특성 파악
펄스방전 메커니즘 규명	100	• 펄스압에 관한 영향인자 이론연구 • 모형실험을 통한 펄스방전, 펄스파, 매질 등에 따른 펄스압 규명 • 모형실험을 통한 위치 위치와 거리에 따른 펄스압력 및 전기적 성질을 측정 통한 공법 효율성 파악
펄스방전 시스템 개발	100	• 전기적 에너지의 손실을 최소화하는 펄스방전전용 동축케이블 개발 • 시공선 개선을 위한 선단장치 개발 • 펄스발생장치 개발 • 그라우트 주입재료 개발
앵커 설계, 시공 및 유지관리 지침 도출을 위한 연구	100	• 유지관리 중심의 지침안 연구 • 설계 중심의 지침안 연구 • 시공 중심의 지침안 연구 • 국내외 앵커보강 시설물의 유지관리 실태 및 주요 결함 사항 도출
앵커의 설계, 시공, 유지관리 지침 개발	100	• 일본 그라운드 앵커 유지관리 매뉴얼 • 그라운드 앵커 설계, 시공, 유기관리 지침(안) • 펄스앵커공법의 설계, 시공 지침(안)

제 2 절 관련분야에의 기여도

1. 기술적 측면

기대성과 및 파급효과	내 용
특허 및 신기술 출원	• **펄스방전장치 및 충전시스템개발** • **펄스방전에 따른 앵커시공 기술 개발**
현장적용	• **흙막이 굴착분야에 적용** • 사면보강 분야에 적용
설계기준 및 시방서 제정 및 개정	• 확공앵커 **설계 및 시공 지침**서 개발 • 앵커구조물의 **유지관리 지침** 개발
기술이전	• 참여기업에 대하여 확공앵커 설계 및 시공기술 전수 • **펄스방전기술 및 장치개발기술의 보급**
기술경쟁력확보	• 토사지반 및 연약지반에 대한 앵커시공능력 향상

2. 사회·경제적 측면

기대성과 및 파급효과	내 용
시장창출 및 확대효과	• 적용가능한 앵커분야는 전체 앵커시공분야 중 20%에 해당하므로 년간 약 200억의 시장창출가능
참여기업 매출증대	• **신공법의 개발로 인하여 신규시장 선점효과발생**
산업규모 변화	• 매립지반에 대한 대규모 굴착 흙막이 공사 증가 예상 • 향후 새로운 공법의 적용이 확대 예상되므로 점차 **앵커시장이 확대될 전망**
관련산업 파급효과	• 펄스방전장치 개발, 주입재, 앵커체분야에서 발전이 이루어질 전망 • 앵커분야에서 확대되어 지반공학분야에서의 적용성이 증대될 것으로 전망

제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

.

제1절 연구성과의 활용방안

활용방안	내 용
현장적용 방안	● 적용 대상지반 - 토사지반. 특히 비교적 느슨하거나 연약한 지반 - 도심지 굴착공사에서 부지확보가 어려운 지반 - 국내 앵커시공 현장 중 지반이 불량하거나 부지확보가 어려워서 앵커시공이 힘든 현장의 비율이 약 10~20%에 해당함. ● 적용 방안 - 매립지반에서의 시공성 극대화 - 기존의 공법적용이 힘든 현장에 적용함으로써 기존의 앵커공의 시장과는 차별화된 시장 형성
실용화•제품화 방안	● 펄스방전장치 및 충전장치의 소형화 및 고출력화 및 실용화 도모 ● 지반개량 및 파쇄 목적으로 활용가능토록 후속모델 개발
미래원천기술확보	● 펄스방전장치에 대한 원리 및 해석기술을 보유 ● 지압+마찰형의 복합형 앵커에 대한 해석 및 시공기술 보유
신산업 창출	● 지반굴착·보강분야에서 블루오션 영역 창출 (본 공법은 토사지반 대상 공법) ● 펄스방전장치를 다른 지반분야나 다른 토목분야에 활용
사업화	● 펄스방전장치 및 펄스충전시스템을 생산하는 전문 회사 창업
기술이전	● 참여기업을 대상으로 확공형 앵커의 설계, 시공기법 전수
후속연구	● 대구근 형성 앵커공법 개발 ● 펄스방전기술을 이용한 연약지반 개량공법 개발 연구

제2절 타 산업에의 응용

개발기술	타 산업에 응용
펄스파워에 의한 확공형 앵커공법 개발	• 조경분야 - 비탈면 조경식재를 위한 사면보강 • 지반보강분야 - 토사 성토사면이나 자연사면 및 옹벽구조물 등에서 배면지반을 보강 • 지반개량분야 - 느슨한 사질토지반이나, 연약점성토지반 개량 • 환경산업분야 - 지질분야에서 암발파 혹은 재건축분야에서 노후건물 발파 등에 활용가능 - 핵연료 폐기물 용기의 원격 밀봉작업에 이용

제3절 관련 후속연구개발의 전망

후속연구	내 용
펄스파워에 의한 연약지반 개량공법 개발	• 현 문제점 : 연약지반 개량공법은 고가이며, 조속한 시일 3내 효과를 내기가 힘듦 • 목 적 : 펄스방전에 의한 고압 및 고온에 의해 주변지반을 압축 및 탈수시킴으로써 급속다짐효과 발현
펄스파워에 의한 사면구조물 보강공법	• 현 문제점 : 기존의 토사 절토 및 성토사면에 대한 보강공법은 고가임 • 목 적 : 지반개량에 의해 짧은 천공으로도 큰 인발저항력을 낼 수 있는 사면구조물 보강공법 개발

제 6 장 연구개발 과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. グウソドアソ力-工法 工事例集 그라우트 앵커-공법 공사례집
2. グラウソドアソ力 - 設計·施工例 그라우트 앵커-설계시공예
3. 技術者に必要な岩盤の知識(Hibino Satoshi) 기술자에 필요한 암반의 지식
4. 技術者に必要な岩盤の知識(Takaya Seiji) 기술자에 필요한 암반의 지식
5. 切土のり面の設計·施工のポイソト 절토비탈면의 설계· 시공의 분류
6. 写真と図で見るのり面工の施工ノウハウ 사진과 그림이 있는 비탈공의 시공 노하우
7. 切土斜面の安定と対策 절토사면의 안정과 대책
8. 道路土工-のり面工.斜面安定工指針 도로 토공-비탈면. 경사면 안정공 지침
9. 地質 · 土木技術者のための地質構造解析20講 (New field science series (1)) 지질·토목 기술자를 위한 지질 구조 해석 20강
10. 岩盤斜面の安定解析と計測 암반 경사면의 안정 해석과 계측
11. Excel による擁壁設計 엑셀에 의한 옹벽설계
12. 新 · 斜面崩壊防止工事の設計と実例 사면붕괴방지공사와 설계 실 례
13. 擁壁設計Q&A —誰も教えてくれなかった疑問に答える 옹벽 설계 Q&A—아무도 가르쳐 주지 않았던 의문에 답하는 105 문답
14. 新しい補強土擁壁のすべて—盛土から地山まで 새로운 보강흙옹벽의 모든 것
15. 擁壁の設計と施工計画—解説と実務計算例 옹벽의 설계와 시공 계획-해설과 실무 계산예
16. 崩壊の場所 — 大規模崩壊の発生場所予測 붕괴의 장소-대규모 붕괴의 발생 장소 예측
17. 道路土工-擁壁工指針 도로 토공-옹벽공 지침
18. 写真と図で見るのり面工の施工ノウハウ 사진과 그림이 있는 비탈공의 시공 노하우
19. 斜面安定工法設計施工指針 사면안정공법 설계시공지침

제 7 장 참고문헌

1. 고동희(2004), “매입형 앵커 인발로 인한 혼합모드 파괴거동 시뮬레이션”, 연세대학교 대학원 토목공학과
2. 권오균, 이상덕, 이영생(194), “수직앵커판의 거동에 관한 실험적 연구”, 대한토목학회 1994년도 학술발표회 논문집(I), pp. 597~600
3. 권오균, 이영생(1998), “극한해석법을 이용한 수직앵커판의 인발저항력 산정에 관한 연구”, 대한토목학회논문집, Vol.18 No.Ⅲ-2, pp. 251~259
4. 권오균, 임장민, “경사진 앵커판의 실험적 연구”, pp. 335~338
5. 권정열, 김성호, 배종순(1999), “사면에 매설된 판앵커의 인발저항력 특성”, 대한토목학회 1999년도 학술발표회 논문집(Ⅱ), pp. 41~44
6. 권호진, “어스앵커공법의 원리와 특성”, 광주대학교 토목환경공학부
7. 김경모(1994), “사질토에서 다중 디스크 앵커형 보강재의 인장저항력에 대한 연구”, 동국대학교 대학원 토목공학과
8. 김기웅, 원진오, 백영식(2000), “앵커식 널말뚝벽의 설계용 도표와 간편식”, 한국지반공학회논문집, Vol.16 No.1, pp. 19~30
9. 김낙경, 김성규(2001), “압축형 제거 앵커의 개발 및 성능 평가”, 한국지반공학회 2001 봄 학술발표회 논문집, pp. 339~346
10. 김낙경(2000), “점토지반에 설치된 앵커의 하중전이에 관한 연구”, 한국지반공학회논문집, Vol.16 No.3, pp.145~156
11. 김낙경(2001), “Load Transfer of Tension and Compression Anchors in Weathered Soil”, 한국지반공학회지논문집, 제17권, 3호. pp. 59-68.
12. 김낙경(2000),“앵커 토류벽의 연직방향 거동에 관한 연구”, 대한토목학회논문집, Vol.20 No.3-C, pp. 219~227
13. 김낙경(2001), “앵커로 지지되는 흙막이 벽의 겉보기 토압”, 한국지반공학회 2001 봄 학술발표회 논문집, pp. 387~394
14. 김낙경(2001), “인장형 앵커와 압축형 앵커의 하중전이에 관한 연구”, 한국지반공학회논문집, Vol.17 No.3, pp. 59~68
15. 김낙경(2001), “풍화토 지반에 설치된 앵커의 인발특성”, pp. 231~239
16. 김낙경, 박완서(2000). “Load Transfer of Ground Anchors in Clay” , 한국지반공학회논문집, VOL.16, No.3, pp. 145-155
17. 김낙경, 박완서, 박종식(2005), “영구 그라운드 앵커의 부식 특성 평가”, 대한토목학회논문집, Vol.25 No.3C, pp. 171~179
18. 김낙경, 김성규, 주용선, 서효균, 김선주 (2009), “펄스방전 그라우트 앵커의 확공특성 및 극한 인발력에 관한 연구”, 한국지반공학회 논문집, Vol. 25, No. 5, pp. 5~10.

19. 김대홍, 김우범(2000), “수직인발력을 받는 단일 락 앵커의 거동특성 연구”, 대한토목학회 2000년도 학술발표회 논문집(II), pp. 541~544
20. 김대홍, 이대수, “암반내 그라우트 앵커의 파괴메커니즘”,한국전력공사전력연구원
21. 김덕수, “Earth Anchor 신시공법”
22. 김래현, 이기환, 이우진, 김대규, 김낙경(2002), “현장시험에 의한 그라운드 앵커 시스템의 크리프 및 단기거동 특성연구”, 대한토목학회논문집, Vol.22 No.6-C, pp. 585~594
23. 김서성, 이상덕, 구자갑, 전몽각, 유건선(1994), “Plate Anchor의 인발거동에 관한 모형실험”, 대한토목학회논문집, Vol.14 No.5, pp.1219~1227
24. 김서성, 이상덕, 전몽각(1993), “Plate Anchor의 인발저항력에 관한 모델실험“, 대한토목학회 1993년도 학술발표회 개요집(I), pp. 611~614
25. 김성규(2001), “압축형 그라운드 앵커의 하중 전이에 관한 연구”, 성균관대학교 대학원 석사학위논문.
26. 김성규, 김낙경, 김정렬(2003), “일반 가설앵커의 문제점과 개선방향”, 한국지반공학회 2003 봄 학술발표회 논문집, pp. 545~552
27. 김성규, 김정렬, 석영철(2003), “제거앵커 현장인발시험 적용 사례”, 한국지반공학회 2003 지반굴착/정보화시공위원회 학술발표회, pp. 93~100
28. 김성모(1999), “어스앵커의 현장적용에 대한 고찰”, 경상대학교 산업대학원 생산기술공학과 농공학전공
29. 김성용, 김규석(2003), “익스팬션 앵커의 콘크리트 콘 파괴강도 평가”, 한국강구조학회논문집, Vol.15 No.6, pp. 649~660
30. 김성용(2003), “앵커간격 및 하중방향에 따른 앵커의 전단내력”, 한국도시방재학회논문집“, Vol.3 No.3, pp. 133~141
31. 김성용, 한덕전, 신창훈(2005), “앵커볼트의 내력평가에 관한 실험적 연구”, 한국방재학회논문집, Vol.5 No.1, pp. 69~76
32 김성욱, 한병원(2004), “시공중 계측을 통한 어스앵커 축력변화 특성사례 연구”, 한국지반공학회 2004 봄 학술발표회 초록집, pp. 31~31
33. 김수삼, 정승용, 안상로(1998), “Creep변형을 고려한 압밀해석 프로그램의개발과 적용성 분석”, 한국지반공학회지, Vol.14 No.5, pp.129~142
34. 김수일(1994), “모형실험을 통한 어스앵커로 지지된 토류벽의 굴착단계별 거동분석”, KOSEF 971-1201-002-2
35. 김영만, 조규완, 김웅규, 김현모(2004), “압축형 앵커의 하중분산 및 인발특성에 관한 연구”, 대한토목학회 2004년도 정기 학술대회 논문집, pp. 4216~4221
36. 김익현, 김길희, 천성철, 이성재, 이왕희, 최완철(2006), “앵커의 설계기준(ACI318-05)”, 한국콘크리트학회 전문위원회 연구발표집, pp. 53~63
37. 김재현 (2007), “ALE기법을 이용한 수중함의 수중폭발 충격응답 해석에 대한

연구", 한국해양환경공학회지, Vol. 10, No. 4, pp. 218-226
38. 김재현, 신형철 (2008), "Application of the ALE technicque for underwater explosion analysis of a submarine liquified oxygen tank", Ocean Engineering, Vol. 35, pp. 812-822.
39. 김준석, 이상덕, 이승래 (2001) "앵카형태의 지반네일로 보강된 흙 구조물의 보강효과에 관한 실험적 연구", 한국지반공학회 논문집, Vol. 17, No. 2, pp. 103-111
40. 김태훈, 채수근, 정규점(2005), "펄스파워를 이용한 현장타설말뚝의 지지력 특성", 한국지반공학회 2005 공동 학술발표회 논문 및 초록집, pp. 521-527
41. 김태훈, 채수근, 박재명(2005), "PDT(Pulse Discharge Technology) 말뚝의 적용성 연구", 대한 토목학회
42. 김태훈, 차경섭, 김선주, 김유석, 김경오, 고부현 (2007), "펄스압에 의한 지반의 확공특성", 한국지반공학회 가을학술발표회 논문집, pp. 842-851.
43. 김학문(2003), "풍화암에서 어스앵커의 마찰특성", 신소재연구논집, Vol.12 No1, pp. 45~54
44. 김형배, 이승호(2002), "신뢰성에 근거한 앵커 널말뚝의 설계방안 연구", 한국지반공학회논문집, Vol.18 No.3, pp. 95~104
45. 김홍택, 권영호, 박사원, 최영하(2000), "포화토내 나선형 앵커의 무리효과에 관한 실험적 고찰", 한국지반공학회 2000 봄 학술발표회 논문집, pp. 387~394
46. 김홍택, 조용권, 유한규(1999), "네일-앵커 복합지지시스템의 안정성 평가에 관한 연구", pp. 41~70
47. 남홍기(2002), "GROUND ANCHOR 공법"
48. 대원토질주식회사(2004), "FRP 사면보강 그라우팅공사 시방서"
49. 대한주택공사(2004), "41030 H-FILE 옹벽", 대한주택공사 시방서
50. 박성재, 조경태, 정재형(1999), "압밀크리프시험에 의한 점토의 응력-변형률의 시간의존성", 대한토목학회논문집, Vol.19 No.1, pp. 117~127
51. 박성화(2004), "마찰형 앵커의 종류와 비교", 삼성건설 기술정보, pp. 111~113
52. 박시삼, 이형규(2005), "나선형 앵커의 실내인발시험을 이용한 무리효과 평가기법", 한국지반공학회논문집, Vol.21 No.10, pp. 123~131
53. 박완서(2000), "풍화토 지반에 설치된 그라운드 앵커의 거동에 관한 연구", 성균관대학교 대학원 석사학위논문.
54. 박종호, 한현희, 김진한, 이대인, 홍성수(2004), "사면안정에 적용된 FRP 보강 그라우팅공법의 시공사례분석", 한국지반공학회 봄 학술발표회 논문집, pp. 1~8
55. 박희문, 박성완(2004), "영구 지반앵커에 대한 부식의 영향 평가", 한국지반공학회논문집,Vol.20 No.2, pp. 27~36
56. 배종순, 권정열, 김성호(2000), "斜面에 埋設된 板앵커의 引抗抵抗力 特性",대한토목학회논문집, Vol.20 No.3-C, pp. 243~250

57. 배종순, 김영인(1996), “圓形板 앵커의 引扶抵抗力”, 생산기술연구소논문집, Vol.12, pp. 167~172
58. 변혁희, 김용설, 최석, 이상덕(1997), “확공앵커의 인발특성에 관한 연구”, 한국지반공학회 FALL '97 National Conference, pp.197~202
59. 사단법인 일본지반공학회(1999), “그라운드 앵커공법의 조사,설계,시공”,구미서관
60. SAMWOOGEOTECH(2000),“영구앵커 인장시험 보고서-도봉동 동아아파트 신축현장”
61. 서동수, 김낙경(1999), “앵커 토류벽의 연직방향 거동에 관한 연구”, 대한토목학회 1999년도 학술발표회 논문집(Ⅱ), pp. 135~138
62. 서울대학교공학연구소, 한국도로공사연구소(2002), “FRP 보강 그라우팅 공법의 설계기법 연구 최종보고서”
63. 석영철(1998), “영구앵커의 인발특성에 관한 연구”,한양대학교 산업대학원 토목공학전공
64. 송영우(1992), “모래지반에서 말뚝의 모양과 설치방법이 q형말뚝의 극한상양지대력에 미치는영향”, 한국지반공학회지, Vol.8 No.3, pp. 5~12
65. 송일준, 김가야, 홍석우(2003), “앵커 형식별 인발거동과 설계법 개발”, 한국해양공학회지, Vol.17 No.4, pp. 43~51
66. 송정락, 여유현(1993), “Grouted Earth Anchor의 設計法에 관한 考察”,대우엔지니어링기술보, Vol.10 No.1, pp. 3~21
67. 송형수, 이진용, 윤동용, 민창식, 최동욱(2005), “앵커로 보수한 콘크리트 계면 거동의 고찰”, 콘크리트학회 논문집, Vol.17 No.6, pp. 885~892
68. 신기술신공법(2005), “제거식 압축앵커 공법”, 한국지반공학회논문집, Vol.21 No.7, pp. 52~56
69. 신방웅, 이봉직, 신동주, 이종규(1996), “점토 지반내 헬리컬 앵커의 인발 특성”, 대한토목학회 1996년도 학술발표회 논문집(Ⅲ), pp. 437~440
70. 신방웅, 이종규, 김기홍, 김정호(1997), “사질지반에서 헬리컬앵커의 인발력”, 대한토목학회 1997년도 학술발표회 논문집(Ⅲ), pp. 383~386
71. 신방웅, 신은철, 이준대, Das, B.M.(1994), “점성토에 근입된 앵커들의 상향 인발시 흡입효과”, 대한토목학회논문집, Vol.14 No.6, pp. 1433~1438
72. 신방웅, 이봉직, 오세욱, 이종규(1998), “지반특성에 따른 헬리컬 앵커의 극한인발력에 관한 연구”, 대한토목학회논문집, Vol.18 No.6, pp. 911~920
73. 신방웅, 이준대, 이봉직, 이종규(1995), “점토에 근입된 앵커의 장기변위 특성″, 대한토목학회 1995년도 학술발표회 논문집(Ⅲ), pp. 423~426
74. 신방웅, 이중대, 이봉직(1995), “2층 점토지반에 근입된 앵커의 인발특성”, 대한토목학회논문집, Vol.15 No.6, pp. 1795~1802
75. 신병우, 윤수동, 김철영, 김태훈, 허억준 (2007), “인발력 증대를 위한 앵커 정착부 확공장치 연구”, 한국구조물진단학회 학술발표회 논문집, pp. 305-310.

76. 신은철(1996), “Creep Effect of Shallow Plate Anchor in Soft Clay", 한국지반공학회논문집, Vol.12 No.3, pp. 63~72
77. 양영호(2003),“모래에 근입된 앵커의 인발 특성”,경상대학교 산업대학원 건설공학과 농공학전공
78. 양재현(1995),“흙막이벽을 지지하는 앵커의 거동”, 중앙대학교 건설대학원 건설공학과 지반공학전공
79. 연약지반 All Packer 앵커공법 <황지-장성간 도로현장에 적용한 신공법사례
80. 오정배(1999), “흙막이벽을 지지하는 앵커의 인발특성에 관한 연구”,건국대학교 산업대학원 토목공학과
81. 원상연, 조남준, 황성일(2001), “그라우트 락앵커의 응력분포”, 대한토목학회논문집, Vol.21 No.3-C, pp. 257~266
82. 원상연, 조남준, 황성일(2001), “반복하중을 받는 락앵커의 거동에 대한 기초적 연구”, 한국지반공학회논문집, Vol.17 No.1, pp. 25~34
83. 원상연, 조남준, 황성일(2001), “반복하중을 받는 락앵커의 거동에 대한 기초적 연구”, 한국지반공학회논문집, Vol.17 No.1, pp. 25~34
84. 유철호(2001), “앵커의 최근 시공기술”, 롯데건설기술보, pp. 143~153
85. 이광수(1999),“지반개량앵커가 적용된 가시실벽체의 안정성에 관한 연구”,한양대학교 산업대학원 토목공학전공
86. 이길재(1993),“앵커지지 흙막이구조물의 거동에 따른 관리기준 설계에 관한 연구”,고려대학교 산업대학원 토목공학전공
87. 이상돈, 이영생, 이상덕, 권오균(1995), ”수직판앵커의 하중-변위에 관한 실험적 연구“, 한국지반공학회 Fall '95 National Conference, pp. 1~12
88. 이상덕(1997), “토질시험-원리와 방법-”, 새론, pp. 476-487
89. 이영생, 권오균(1998), “모래지반에서 수평하중이 작용하는 수직판 앵커의 거동에 관한 연구”, 대한토목학회논문집, Vol.18 No.Ⅲ-1, pp. 141~149
90. 이재수(1998), “가설 흙막이 구조물의 어스앵커 인장력 손실에 관한 연구”,서울시립대학교 산업대학원 토목공학과
91. 이종규, 정인준(1981), “粘土의 Creep 擧動에 관한 流變學的 硏究”, 대한토목학회논문집, Vol.1 No.1, pp. 53~68
92. 이준대(2001), “벤토나이트에 근입된 앵커의 흡입력에 관한 실험적 연구”, 한국산업안전학회지, Vol.16 No.2, pp. 97~102
93. 양우식(2004), “수위차를 고려한 사질토지반에서 앵커식 자유지지 널말뚝벽의 설계용 도표”, 대한토목학회 논문집, Vol.24 No.3C, pp. 161~165
94. 유남재, 이명욱, 박찬덕, 김진황(2001), “풍화암에 근입된 영구 앵커의 극한인발력”, 대한토목학회 2001년 학술발표회 논문집, pp. 1~4
95. 이송, 이성원, 박상국, 김사동(2004), “Auto back 인장장치를 이용한 제거식 앵커의 적용성”, 구조물진단학회논문집, Vol.8 No.4, pp. 223~230

96. 이승환, 황의석, 이봉열, 김학문(2002), “풍화암 지반에 정착된 앵커의 인발저항 특성 ”, 한국지반공학회 2002 가을 학술발표회 논문집, pp. 435~442
97. 임경필, 조남준, 황서일(1999), “정적 인발하중을 받는 암반 앵커의 거동 ; 텐던-그라우트 경계면의 전단응력 분포”, 한국지반공학회논문집, Vol.15 No.6, pp. 143~154
98. 임성순, 이재수(1999), “지하굴착시 암반지반속에 정착된 어스앵커의 초기인장력 결정”, 대한토목학회 논문집, Vol.19 No.Ⅲ-1, pp. 177~187
99. 임유진(1998), “사질토 지반에서의 타이백 앵커 벽체의 거동 분석”, 한국지반공학회 Fall '98 National Conference, pp. 249~256
100. 임유진(1999), “타이백 억지토류벽에서 앵커 자유장 및 앵커하중의 크기와 벽체 변위와의 상관성”, 한국지반공학회논문집, Vol.15 No.6, pp. 187~200
101. 임유진(2000), “Mass Movement가 타이백 앵커 벽체의 거동에 미치는 영향평가”, 한국지반공학회논문집, Vol.16 No.5, pp. 83~92
102. 임종철, 강낙안, 홍석우(1995), “ 압축형 앵커(SSC 앵커)의 개발”, 한국지반공학회 Fall '95 National Conference, pp. 31~35
103. 임종철, 전종배, 양태철, 이경준, 홍석우(1992), “SI 앵커의 인발저항 기구 (2) - 인발시험 결과 및 고찰”,대한토목학회 1992년도 학술발표회 개요집(I), pp. 643~646
104. 임종철, 이태형, 홍석우(2000), “압축형 앵커의 선단정착부 그라우트 보강에 따른 압축저항력 산정에 관한 연구”, 한국지반공학회논문집, Vol.16 No.5, pp. 213~226
105. 임종철, 홍석우, 이태형, 이외득(1988), “압축성 앵커(SSC앵커)의 인발저항 기구”, 대한토목학회논문집, Vol.18 No.3-6, pp. 883~898
106. 임종철, 홍석우, 이태형, 이외득(1999), “압축형앵커의 설계법 계발”, pp. 63~78
107. 장정범, 서용표, 이종림(2003), “직매형 앵커기초의 설계기준 개선에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집, Vol.23 No.6A, pp. 1331~1338
108. 정철호(2003),“지반실무적용”
109. 정형식, 류재일, 안상로(1989),“土質堤體의 Piping 파괴에 대한 實驗的 硏究”, 대한토질공학회지, Vol.5 No.4, pp. 17~26
110. 조병식, 강인성(1989),“앵커의 傾斜가 널말뚝 擧動의 에 미치는 影響”, 대한토목학회논문집, Vol.9 No.1, pp. 79~87
112. 조성한, 조성하, 정상섬, 김수일(1996), “영구 암반앵커의 거동 분석”, Fall '96 National Conference, pp. 81~90
113. 조용선 권오엽(1997), “단일 나선형 앵커의 인발저항력에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집, Vol.17 No.Ⅲ-3, pp. 275~283
114. (주)삼우기초기술(2001), “SW-RCD Anchor System Manual", (주)삼우기초기술
115. 천병식, 강인성(1988), “앵커로 지지된 널말뚝의 유연성에 관한 연구”, 대한토목학회논문집, Vol.8 No.2, pp. 197~204

116. 천병식, 강인성(1989), “앵커의 경사가 널말뚝의 거동에 미치는 영향”, 대한토목학회 논문집, Vol.9 No.1, pp. 79~87
117. 천병식, 강인성(1990), “느슨한 모래地盤에서 앵커로 支持도니 널말뚝의 背面地盤沈下”, 대한토목학회논문집, Vol.10 No.1, pp. 145~153
118. 천병식, 여유현(2005), “인장재 고정구조가 개선된 ISL 영구앵커”, 한국지반공학회논문집, Vol.21 No.9, pp. 6~14
119. 최영하(2000), “모형실험을 통한 나선형앵커의 인발저항력 평가기법에 관한 연구”, 홍익대학교 대학원 토목공학과 토질,기초전공
120. 토질공학연구회(2003),“실무-어스앵커공법”,건설정보사
121. 편집부(2001), “그라운드 앵커설계와 시공예”,기술경영사
122. 한국건설교통기술평가원, 건설교통부(2001), “활동억제시스템으로 보강된 사면의 설계법 및 안정해석 프로그램 개발 연구보고서”, 2001년 산학연공동연구개발사업 제2차년도 최종보고서
123. 한국과학재단(1988), “도심 지하굴착으로 인한 주변지반의 거동 예측기법 개발”, KOSEF 961-1201-002-2
124. 한국도로공사도로연구소(1995), “1995년도 실용화 연구보고서”
125. 한국산업규격(1995), “PC 강선 및 PC강연선, KS D 7002″, 한국산업표준협회
126. 한국지반공학회((1992), “굴착 및 흙막이공법”, 한국지반공학회, pp. 266-276
127. 한국토지공사(1997), “學術硏究用役結果에 관한 講演會”
128. 한석희, 한경제, 고문수(1998), “굳은 점토에 정착된 앵커의 거동 특성 고찰″, 한국지반공학회, pp. 3~15
129. 한희수, 전성곤, 장동훈, 장서용(2006), “해성점토지반에 관입된 앵커 및 닻줄의 변형해석”, 한국지반공학회 논문집, Vol.22 No.3, pp. 37~43
130. 홍석우, 임종철, 김상윤(1993), “SI앵커의 인발에 따른 주면마찰응력의 변화”, 대한토목학회 1993년도 학술발표회 개요집(I), pp. 603~606
131. 홍석우, 임종철(1996), “SSC 앵커의 역학적 특성”, 대한토목학회 1996년도 학술발표회 논문집(II), pp. 399~402
132. 홍석우, 임종철, 전종배, 양태철, 주인곤, “SI앵커의 인발저항기구(I)″, pp. 639~646
133. 홍원표, 송영석, 이재학(2003), “사면에 설치된 앵커의 활동억지효과에 관한 실험적 연구”, 대한토목학회 2003년 도 정기 학술대회 논문집, pp. 3931~3936
134. 홍원표, 신도순, 윤중만(1993), “앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압과 수평변위”, 대한토목학회 1993년도 학술발표회 개요집(I), pp. 615~618
135. 홍원표, 윤중만, 최정희, 강인섭(1994), “앵커지지 흙막이벽의 안정성에 관한 연구”, 대한토목학회 1994년도 학술발표회 논문집(I), pp. 627~630
136. 홍원표, 윤중만(1995), “지하굴착시 앵커지지 흙막이벽 안정성에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집, Vol.15 No.4, pp. 991~1002

137. 홍원표, 송영석, 김동욱(2004), “연약지반에 설치된 앵커지지 강널말뚝 흙막이 벽의 거동”, 한국지반공학회논문집, Vol.20 No.4, pp. 65~74
138. 홍원표, 윤종만, 송영석(2004), “절개사면에 설치된 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압산정”, 대한토목학회논문집, Vol.24 No.2C, pp. 125~133
139. 홍원표, 한중근(2004), “절개사면에 설치된 합벽의 변형거동 및 사면안정효과”, 한국지반공학회논문집, Vol.20 No.9, pp. 57~64
140. 황철비(2002), “그라운드앵커의 단기거동 분석을 통한 새로운 메커니즘의 앵커 제안”,고려대학교 산업정보 대학원 토목공학과
141.AASHTO (1990), “Permanent Ground Anchor Specification In-situ Soil Improvement Technique” AASHTO-AGC-ARTBA TF27 Rep., AASHTO,Washington, D.C.
142. AASHTO (1990). "Tieback specifications", AASHTO-AGC-ARTBA Task Force 27, pp. 137~155
143. Arsentev, V. V. (1965), "On the theory of pulse discharge in a liquid", Zhurnal Prikladnoi Mekhaniki I Tekhnicheskoi Fiziki, Vol. 5, No.1, pp. 81-57.
144. Ashraf, M.G.(1997), "Plate Anchor Groups Pulled Vertically in Sand", Journal of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering , pp. 1176~1177
145. Ashraf, M.G.(1998), "Pullout Performance of Inclined Helical Screw Anchors in Sand", Journal of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering , pp. 617~627
146. Briaud, J. L., Powers, W. F., Weatherby, D. E. (1998). "Should Grouted Anchors Have Short Tendon Bond Length?", ASCE, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 124, No. 2, pp. 110-119
147. British Standatds Institution, 1996, "DD81: Code of Practice for Ground Anchorages : Draft for Development"
148. Buckingham, E., 1915, "Model Experiments and The Forms of Empirical Equations.", ASME, Washington, D.C.
149. Buogo Silvano and Cannelli B. Giovanni (2002), "Implosion of an underwater spark-generated bubble and acoustic energy evaluation using the Rayleigh model", Journal of Acoustic Society of America, Vol. 111, No. 6, pp. 2594-2600
150. Civil Engineering Department Hong Kong(1989), "Model Specification for Prestressed Ground Anchors"

151. CLAYTON, C.R.I, MILITITSKY, J., WOODS, R.I. "Earth Pressure And Earth-Retaining Structures(Second Edition)", BLACKIE ACADEMIC & PROFESSIONAL AN IMPRINT CHAPMAN & HALL
152. Coles, J. S., Christian, E. A., Slifko, J. P., Niffennegger, C. R., and Rogers, M. A. (1946), "Shock-wave parameters from spherical TNT charges detonated underwater, Underwater Explosion Research Office of Naval Research, Washington, D.C., 1950, Vol. 1, pp. 1085-1105.
153. DAS, B.M.(1990), "Developments In Geotechnical Engineering 50 - Earth Anchors", ELSEVIER
154. Desai, C. S. (1986). "Interaction Analysis of Anchor-Soil Systems", ASCE, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 112, No. 5, pp. 537~553
155. Desai C. S., Zaman M. M., Lightner J. F. and Siriwardane H. J. (1984). "Thin-layer element for interfaces and joints", Int. Jnl. Num. Anal. Meth. Gemech., Vol. 8, pp. 19~43
156. Dzhantimirov, Kh. A., Krastelev, E. G., Kryuchkov, S. A., Nistratov, V. M., and Smirnov, P. V. (2005), "Geotechnical techonology based on electrochemical explosion and equipment for its implementation, Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 42, No. 5, pp. 172-177
157. Fujita, K., Ueda, K., Kasabuka, M., 1978, "A method to predict the load displacement relationship of ground anchors", Revue Francaise de Geotechnique No.3, pp.58-62.
158. FHWA(1999), "Ground Anchors And Anchord Systems", FHWA-IF-99-015
159. Geers, T. L. and Hunter, K. S. (2002), "An integrated wave-effects model for an underwater explosion bubble", Journal of Acoustic Society of America, Vol. 111, No. 4, pp. 1584-1601.
160. Goertner, J. F. (1980), "Scaling underwater explosion shock waves for differences in ambient sound speed and density", NSWC TR 80-491.
161. Grinenko, A., Gurovich, V. Tz., Saypin, A., Efimov, S., and Krasik, Ya. E. (2005), "Strongly coupled copper plasma generated by underwater electric wire explosion", Physical review letter E 72, 066401, pp. 1-7
162. Grinenko, A.. Efimov, S., Fedotov, A., Krasik, Ya. E., and Schnitzer, I. (2006), "Efficiency of the shock wave generation caused by underwater electrical wire explosion", Journal of Applied Physics, Vol. 100, 113509
163. Guman, W. J., and Hymprey, B. G. (1968), "Studies on an Electric Discharge Underwater Sound Source" Technical Report NR-185-706, Office of Naval Research.

164. Gurovich, V. Ts., Grinenko, A., Krasik, Ya. E., and Felsteiner, J. (2004), "Simplified model of underwater electrical discharge", Physical review letter E, Vol. 69, 03402
165. Ghaly, A.M., Clemence, S.P.(1998), "Pullout performance of inclined helical screw anchors in sand", JR. of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol.124 No.7
166. Hanna, T. H. (1982), "Foundation in tension-ground anchors", McGraw-Hill Book Company, New York, N. Y.
167. HKS (2004), Abaqus User Manual Version 6.5
168. Hsu, S. T. and Liao, H. J. (1999), "Uplift behavior of cylindrical anchors in sand: Reply", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 36, pp. 575-577
168. Ioffe, A.I., and Naugol'nykh, K. A. (1968), "Formation of shock waves by electric discharge in water", Zhurnal Prikladnoi Mekhaniki I Tekhnicheskoi Fiziki, Vol. 9, No. 1, pp. 134-137.
169. Jeong, S. Y., Choi, H. Y., and Lee, S. R. (2007), "Uplift Behavior of an Underreamed Anchor in a Sand Bed", IJOPE, Vol. 17, No. 4, pp. 317-319
170. Ilamparuthi, K., Dickin, E.A., Muthukrisnaiah, K. (2002), "Expermental Investigation of the Uplift Behaviour of Circular Plate Anchors Embedded in Sand", Canadian Geotechnical journal, Vol.39, pp. 648~664
171. Jones, D. L. (1997), "Full scale trials for straight shafted and underreamed anchorages in cemented sands", Proc. of conference on ground engineering, Institute of Civil Engineers, U.K., pp. 140-147
172. Keaveny, J. M. and Mitchell, J. K. (1986), "Strength of fine-grained soils using the piezocone", Proceedings of the ASCE Specialty Conference In Situ '86: Use of In situ Tests in Geotechnical Engineering, Blacksburg, pp. 668-685

173. Kim, N.K.(2000), "Load Transfer on Ground Anchors in Weathered Soil", Ground International Conf. On Improvement Technique, Singapore, pp. 217~226.
174. Kim, N.K.(2003), "Performance of tension and compression anchors in weathered soil", Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering , Vol.129 No.12, pp. 1138~1150
175. Kumar, J.(2002), "Seismic horizontal pullout capacity of vertical anchors in sands",Canadian Geotechnical Journal, Vol.39 No.4
176. Kumar, J.(2003), "Uplift resistance of strip and circular anchors in a two layered sand", Soils & Foundations, Vol.43 No.1, pp. 101~107
177. Langhaar, H. L., 1951, "Dimensional analysis and theory of models", New

York, John Wiley & Sons, Inc., Journal of the Franklin Institute ,v.253 no.1 ,pp.84

178. Liao, H.J., Hsu, S.T.(2003), "Uplift Behavior of blade-underreamed anchors in silty sand", Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol.129 No.6, pp. 560~568
179. Littlejohn, G. S. (1970). "Soil Anchors", ICE Conf. on Ground Engineering, London.
180. Littlejohn, G. S. (1973). "Ground Anchors today-a foreword", Ground Engineering, Vol.6, pp. 20-23.
181. Lotze, D., Klingner, R.E., Graves, H.L.(2001), "Static behavior of anchors under combinations of tension and shear loading", ACI Structural Journal , Vol.98 No.4
182. Lo, K.Y., SHANG, J.Q.(1994), "Effects of intervening media on dielectrophoretic strengthening of soft clays", Canadian Geotechnical journal, Vol.34, pp. 607~613
183. Lo, K.Y., SHANG, J.Q.,INCULET, I.I.(1994), "Electrical strengthening of clays by dielectrophoresis", Canadian Geotechnical journal, Vol.34, pp. 192~203
184. Matlock, H., and Reese, L. C. 1962, "Generalized solutions for laterally loaded piles." Transactions, ASCE, Vol. 127, pp. 1220-1268.
185. Merifield, R.S., Lyamin, A.V., Sloan, S.W., Yu, H.S.(2003), "Three-dimensional lower bound solutions for stability of plate anchors in clay", Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol.129 No.3, pp. 243~253
186. Merifield, R.S., Sloan, S.W., Yu, H.S.(2001), " Stability of plate anchors in undrained clay", Geotechnique, Vol.51
187. Murphy, J. S. (1974), "Earth anchors: a review", workshop notes, ASCE Geotechical Division Specialty Conference Workshop on Analysis and Design of Flexible Retaining Structures, Austic, Tex., pp. 25-31
188. Neville, A. M. (1996), "Properties of concrete 4th edition", Harlow (UK): Addition Wesley Longman Ltd.
189. Ostermayer, H. and Scheele, F. (1977). "Research on ground anchors in non-cohesive soils", Speciality Session No. 4, 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, pp. 92~97
190. PETROS, P.X.(1990),"Ground Anchors And Anchored Structures", JOHN WILLEY & SONS INC.
191. Pfister, P., Ever, G., Guillaud, M. and Davison, R., 1982, "Permanent Ground Anchors, Soletanche Design Criteria", FHWA/RD-81/150, Federal Highway Adm., Washington, D.C.
192. Pozdeev, V. A., and Semko, A. N. (1987), "On the motion of a fluid under electrical discharge in a cylindrical volume", Aerogazodin Nestats Prots, pp.

121-124.
193. Price, R. S. (1979), "Similitude equations for explosives fired underwater", Technical Report NSWC TR 80-299, NSWC.
194. PTI(1996). Recommendations for Prestressed Rock and Soil Anchors 3rd ed. Post tensioning Institute, Rhoenix, Arizona.
195. RICHARD, WIDMANN.(1995), "Anchors In Theory And Practice"
196. Rowe, R.K.; Davis, E.H.(1992), "The Behavior of Anchor Plates in Sand", Geotechnique, v.32, n.1, pp.25-41
197. Sayapin, A., Grinenko, A., Efimov, S., Krasik, Ya. E. (2006), "Comparison of different methods of measurement of pressure of underwater shock waves generated by electrical discharge", Shock Waves, Vol. 15, No. 2, pp. 73-80.
198. Schmertmann, J. H., 1978, "Measurement of insitu shear strength - Proc Conference on In-situ Measurement of Soil Properties.", International journal of rock mechanics and mining sciences & geomechanics abstracts ,v.15 no.3 ,1978 ,pp.67
199. Semko, A. N. (1997), "Fluid dynamics of an underwater electric discharge on the axis of a shell immersed in a fluid", Journal of Mathematical Science, Vol. 84, No. 6, pp. 1548-1551.
200. Serrano, A., Olalla, C.(1999), "Tensile resistance of rock anchors", International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences & Geomechanics Abstracts

201. SHANG, J.Q., Dunlap, W.A.(1996), "Improvement of soft clays by high voltage electrokinetics", Journal of Geotechnical Engineering, pp. 274~280
202. SHANG, J.Q., Dunlap, W.A.(1998), "Pullout resistance of high-voltage strengthened ground anchors", Journal of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering, pp. 840~845
203. Song, Z., and Hu, Y., and Randolph, M. F. (2008), "Numerical Simulation of Vertical Pullout of Plate Anchors in Clay", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 134, No. 6, pp. 866-875
204. Su, W., and Fragaszy, R. J. (1988), "Uplift testing of model anchors", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 114, No. 9, pp. 961-983
205. Thiel, M. A. (1961), "Revised similitude equations for underwater shock wave performance of pentolite and HBX-1," Technical Report 7380, NAVWEPS.
206. Toshinori, Sakai., Tadatsugu, Tanaka.(1998), "Scale Effect of a Shallow Circular Anchor in Dense Sand", SOILS AND FOUNDATIONS, Vol.38 No.2,

pp. 93~99
207. Wakeland, P., Kincy, M., and Garde, J. (2003), "Hydrodynamic loading of structural components due to electric discharge in fluids", 14th IEEE International Pulsed Power Conference, pp. 925-928
208. Weatherby, D.E., (1982), "*Tiebacks*", Report FHWA/RD-82/047, U.S. Dept. of Transportation, Fed. Hwy. Admin., Washington, D.C.
209. Weatherby, D. E.(1998). "Summary Report of Research on Permanent Ground Anchor Walls Conclusions and Recommendations". Report FhWA-RD-98-066, FHWA, McLeam, VA.
210. Zhang, A. M., Yao, X. L., and Li, J. (2008), "The interaction of an underwater explosion bubble and an elastic-plastic structure", Applied Ocean Research, Elsevier Online (http://www.sciencedirect.com)
211. 星野 和彦(2000), "最近のグラウンドアン力一工法 : グラウンドアン力一設計・施工基準の改正について", pp. 2~4
212. 吉松 弘行, 小林(2000), "最近のグラウンドアン力一工法 : アン力一工法の公的機関による認定", pp. 5~7
213. 三上 泰洁, 佐藤 大悟(2000), "最近のグラウンドアン力一工法 : 新素材を用いたアン力一工法について", pp. 16~21
214. 佐藤 武, 田中 良一(2000) ,"最近のグラウンドアン力一工法 : アン力一の最近の施工技術", pp. 26~30
215. 菊地 孝明, 辻 直樹(2000), "最近のグラウンドアン力一工法 : 軟弱地盤における型アン力一の品質保証に関する一", pp. 31~33
216. 浦川 信行, 山崎 淳一(2000), "最近のグラウンドアン力一工法 : 大深度トンネル工事におけるアン力一の施工", pp. 34~36
217. 田村 伊正, 古川 幸則, 高木 浩司(2000), "最近のグラウンドアン力一工法 :トンネル掘削地點の法面補强工事での永久アン力一の施工", pp. 52~54
218. 東 康治(2000), "最近のグラウンドアン力一工法 : 實大實驗 による定着長部の摩擦抵抗について" , pp. 64~66
219. 牧田正治,阿部憲義, 大木 正(1999), "送電用銑塔基礎へのグラウンドアン力一工法の適用", 電力土木 No.288, pp. 37~41
220. 斉藤 蕃一, 石垣 洋, 松島 學, 関 博,(2000) "深礎基礎に里め込まれたアン力一の定着耐力に関する研究", 土木學會論文集, Vol.47 No.648, .pp. 33~42
221. 菅野 孝美(2004), "基礎の設計やさしい設計のポイント", pp.73~77
222. 長尾和之(2005), "グラウンドアン力一の維特管理と補修", 土木技術,Vol.60 No.8, pp. 25~31
223. 小野寺 誠一,奥野 稔 , 岡西靖仁(2005), "アン力一の健全性調査",土木技術, Vol.60 No.8, pp. 32~37

224. 山崎 淳一(2005), “永久アン力一の耐久性向上“, 土木技術, Vol.60No.8, pp. 38~42
225. 山田 浩(2005), “グラウンドアン力一た關する 基準の國際標準化の動向“, 土木技術, Vol.60 No.8, pp. 43~48
226. 森島啓行, 猿谷賢三, 岡西靖仁(2005), “アン力一による災害復旧事例”, 土木技術, Vol.60 No.8, pp. 56~65
227. 末吉達郎(2005), “溫泉地帶におげるグラウンドアン力一の施工例 (高腐食環境下におげるアン力一の施工)”, 土木技術, Vol.60 No.8, pp. 66~69
228. 上杉 吉史,末吉 達郎,熊本 勇浩, 秀島 康史, “最近の建築地盤アン力一工法:繰返し注入可能な除去式アン力一”, pp. 62~64
229. 木村 真,”最近の建築地盤アン力一工法: 山留めに用いられる除去式アン力一の緊 張よ 菅稷”, pp. 68~70
230. 新井 傭夫(2001) ”最近の建築地盤アン力一工法 :定着長の長い除去式アン力一“, pp. 59~61
231. 菅 浩一, 外崎 亘(2001) , ”最近の建築地盤アン力一工法 : 機械式拡孔アン力一 工法 [スブリツツアン力一工法], pp. 49~51
232. 奥野 稔, 井上 武 (2001), ”最近の建築地盤アン力一工法 :バルーン型アン力一工法の設計●施工例“, pp. 45~48
233. 菅 浩一, 清木 雅路(2001), “最近の建築地盤アン力一工法 : 狹小空間での耐震補強に用いた本設地盤アン力一(SHSアン力一)”, pp. 35~38
234. 妹尾 博明(2001), “最近の建築地盤アン力一工法 : 除去式地盤アン力一工法の留意点と課題”, pp. 19~21
235. 桂豊(2001),“最近の建築地盤アン力一工法 : 建築における 仮設地盤アン力一工法適用上の留意点と課題”,pp. 10~14
236. 平成16年(2004년) 12月, グラウンドアンカー受壓板設計 · 試驗マニュアル,
237. 平成11年(1999년), 橋本 功 橋本 彬, グラウンドアンカーの腐食と對策, 基礎工 Vol.25 No.7 (通券.288)
238. 2003, 山田浩, グラウンドアンカーの耐久性と維持管理, 基礎工 Vol.31 No.6 (通券.359)
239. 平成11年(1999년) 3月, 地盤工學會,「グラウンドアンカー設計 · 施工基準」,
240. 平成12年(2000년) 3月, 地盤工學會,「グラウンドアンカー設計 · 施工基準, 同解說」,
241. 平成12年(2000년) 10月. 萬德昌昭, アンカーの維持管理について, 基礎工
242. (社)日本アンカー協會(2008), グラウンドアンカー維持管理マニュアル, 鹿島出版會
243. 淸州大學校 敎援 尹志善 譯(1992), 그라운드앵커 工法, 區美書舘, pp.303~318

그라운드 앵커의 설계·시공 및 유지관리 지침 [별첨자료 1]

제 1 장 총 칙

1.1 목적

이 지침은 각종 구조물 보강 및 비탈면안정성 확보 등을 목적으로 사용되는 그라운드 앵커에 대한 설계, 시공, 유지관리의 일반적인 기준과 방법 제시를 목적으로 한다.

[해설]

이 지침은 흙막이, 각종 구조물의 보강, 비탈면의 붕괴 방지 및 안정화 등 여러 가지 목적으로 사용되는 영구 및 가설앵커에 대한 설계, 시공 및 유지관리에 관한 계획, 조사, 점검과 조치 등에 필요한 일반적 기준과 방법에 대한 기본적인 사항을 제시하였다.

건설공사시 그라운드 앵커의 설계, 시공, 유지관리 업무가 설계자 또는 시공자별로 상이한 기준을 적용하고 있고, 기준이 미비하여 설계자나 시공자의 판단에 의존하는 등 어려움이 있어왔다. 이 지침은 통합된 설계, 시공, 유지관리 방법을 제시하여 설계자나 시공자가 임의로 판단하거나 국외 기준을 무분별하게 도입하는 등의 문제점을 최소화시키기 위한 목적으로 제정되었다.

또한, 그라운드 앵커 구조물의 설계, 시공, 유지관리와 연관된 업무를 수행하는 관계자는 누구나 쉽게 이해할 수 있어 설계, 시공, 유지관리 업무를 원활히 수행할 수 있도록 작성하였다.

그라운드 앵커의 설계는 작용하중, 유효인장력, 초기인장력, 전체시스템의 안정을 고려하여 설계하고, 시공은 시공계획에 따라 지반을 천공한 후 앵커를 삽입하고, 그라우팅을 실시한 다음 앵커체를 긴장하여 실시한다. 또한, 유지관리업무는 초기점검, 정기점검, 정밀점검, 긴급점검 등의 안전점검을 실시하여 사전에 유해요인을 파악하고, 조기에 손상된 부분을 발견하여 보수·보강함으로써 당초 시공된 상태를 유지함과 동시에 경과시간에 따라 요구되는 시설물의 개선과 추가시설을 설치하여 이용자의 편의와 안전을 도모하기 위하여 시행한다.

1.2 적용범위

이 지침은 흙막이, 각종 구조물의 보강, 비탈면의 붕괴 방지 및 안정화 등을 목적으로 하는 그라운드 앵커에 대하여 적용함을 원칙으로 한다.

[해설]

이 지침에서 그라운드 앵커란 구조물 또는 지반의 과도한 변위 및 붕괴를 방지하기 위한 목적으로 pc강재 등을 인장재로서 사용하고 지반에 시멘트풀을 주입하여 정착시킴으로써 인장력을 전달시키는 지반구조물을 말한다. 각종 구조물의 보강, 흙막이, 비탈면의 붕괴방지 및 안정화, 수압을 받는 지하구조물의 부상방지, 송전탑의 전도방지 등 여러 가지 목적으로 사용되는 영구 및 가설 앵커에 적용한다.

앵커공사를 위해서는 전문적인 지식이나 경험과 숙련된 시공기술이 요구된다. 그러나 본 지침에 앵커공사에 수반되는 모든 know-how에 대하여 기술할 수는 없으므로, 실제로 앵커공사를 실시할 경우에는 우수한 전문지식을 갖는 기술자들이 각각의 앵커 및 앵커로 보강된 구조물에 대하여 현장여건에 적합한 대책을 세우고, 처리가 이루어지도록 하는 일이 중요하다.

또한, 이 지침과 관련하여 관련법령 및 규정이 별도로 정해진 경우 또는 비탈면 붕괴 등 피해의 긴급성 등으로 이 지침을 따르는 것이 곤란하거나 부적당한 경우에는 관련 전문기술자의 기술검토 후 그 결과에 따른다. 이 지침의 발간시점에 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대해서는 발주기관의 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있던 관련 기준을 그대로 사용할 수 있다.

1.3 용어 정의

이 지침에 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

[해설]

본 절에서는 이 지침을 활용하는데 있어 필수적인 용어를 중심으로 하여 설명하였으며, 용어가 갖는 의미가 문맥에 따라 여러 가지로 해설될 수 있는 광의(廣義)적인 용어에 대해서는 본문에서 상세히 서술하여 본 절에서는 생략하였다.

이 지침을 활용하는데 있어 필요한 용어의 정의는 다음과 같다.

(1) 가설앵커 : 가설적인 목적을 갖고 2년이하로 사용되는 앵커를 말하며, 시공 중에 가설구조물 등에 가해지는 인장력을 지반에 전달하여 변위, 변형량을 억제하기 위해 사용하는 앵커를 말함.

(2) 가압주입 : 정착지반과 주입재와의 부착력을 확실하게 향상시킬 목적으로 압력을 가하면서 주입 하는 것을 말함

(3) 그라운드 앵커 : 선단부를 양질의 지반에 정착시키고, 이를 반력으로 하여 흙막이벽 등의 구조물을 지지하기 위한 구조체로서 그라우팅으로 조성되는 앵커체, 인장부, 앵커두부로 구성된다. 어스 앵커(Earth anchor)라고도 하며 영구앵커와 가설(임시) 앵커로 구분되는 구조체를 말함

(4) 극한앵커력 : 앵커의 파괴가 발생하는 하중을 말하며, 인장재의 극한인장력과 앵커의 극한인발력 중 작은 값으로서 앵커의 파괴가 발생하는 극한상태에서 앵커에 작용하는 하중을 말함 하는 것을 말함

(5) 인장력(Prestress) : 앵커두부에 프리스트레스를 가했을 때 인장재 내부에 가해져 있는 힘을 말함

(6) 인장재(Tendon) : 일반적으로 PS강선, PS강연선, PS강봉 등을 사용하며 인장력을 전달하는 인장을 받는 부재를 말함

(7) 인장재길이 : 인장재 부착장, 인장재 자유장, 여유장으로 구성되어 있으며 앵커에 실제로 사용되고 있는 인장재의 전체길이를 말함

(8) 인장재단면적 : 인장재로 사용하는 강재의 공칭단면적을 일컬음을 말함

(9) 인장재부착장 : 주입재와 인장재와의 부착저항에 필요한 길이를 말함

(10) 인장재자유장 : 앵커두부의 긴장·정착되어 있는 위치로부터 앵커체 정착부의 부

착부분까지의 구간으로 인장재가 자유롭게 신축되는 부분의 길이를 일컬음을 말함

(11) 인장재지름 : 인장재에 사용하는 강재의 공칭지름을 일컬음을 말함

(12) 인장재의 극한구속력 : 인장재 또는 인장재에 부착된 내하체와 앵커체의 그라우트 사이에 발생하는 부착, 마찰 또는 지압에 의한 최종한계상태에서 파괴가 발생하는 힘을 말함

(13) 인장재의 극한인장력 : 앵커에서 인장재로 사용되는 강재의 극한인장력으로서 KS 규격 또는 공인인증기관의 시험성적서로 확인하는 인장력을 말함

(14) 인장재의 허용구속력 : 인장재의 극한구속력을 안전율로 나눈 값을 말함

(15) 리프트오프시험(Lift Off Load Test) : 이미 긴장·정착되어 있는 앵커의 인장력을 확인하기 위해 실시되는 시험으로 인장재의 하중～신장곡선의 관계에서 신장량의 증가비율이 인장재자유장에 대한 탄성신장량과 같아진다는 전제하에 잔존인장력을 구하는 시험을 말함

(16) 릴렉세이션(Relaxation) : 인장재에 인장력을 주어 변형률을 일정하게 하였을 때 시간의 경과와 함께 일어나는 응력의 감소를 말함

(17) 부식방지재 : 방식용 재료는 앵커에 사용되는 강재의 녹 또는 부식을 방지하기 위해 사용하는 재료를 말함

(18) 방청·방식 : 방청이란 강재 제조 시 녹을 제거하거나 녹이 발생하지 않도록 공장에서 처리하는 것을 말하며, 방식이란 강재의 부식이 진행되지 않도록 처리하는 것을 말함

(19) 세트량 : 인장재를 정착구에 정착할 때 인장재가 끌려 들어가는 길이를 말함

(20) 시멘테이션(Cementation) : 공벽의 붕괴나 용수가 예상되는 경우에 순환수에 시멘트를 섞어서 이것을 방지하는 일을 말함

(21) 설계앵커력 : 설계에서 사용하는 앵커력을 말하며, 허용앵커력을 넘지 않는 한도에서 앵커에 도입한 인장력을 말함

(22) 앵커체 : 그라우트 주입으로 지중에 조성되는 앵커부재로서 인장력을 지반과의 마찰저항 또는 지압저항에 의해 지반에 전달하는 저항체를 말함

(23) 인장부 : 앵커두부의 인장력을 앵커체에 전달하기 위해 지반과의 마찰이 없도록

설치하는 인장재의 일부분을 말함

(24) 앵커두부 : 가해진 인장력을 효과적으로 수압판에 전달하기 위한 부분을 말하며 정착구와 지압판으로 구성되는 앵커의 머리부분을 말함

(25) 앵커길이 : 앵커체의 길이(앵커정착장) 및 인장부의 길이(앵커자유장)의 합을 말함

(26) 앵커체 정착장 : 지반에 힘을 전달하는 앵커체의 길이를 말함

(27) 앵커자유장 : 앵커자유장은 인장재가 자유롭게 움직이는 상태에 있고 구조물 및 지반에 대하여 프리스트레스를 유효하게 줄 수 있도록 가공된 인장재의 일부로 주변지반과의 마찰저항에 의해 지반에 전달하는 저항체를 말함

(28) 앵커각 : 앵커각에는 앵커경사각과 앵커수평각이 있으며 정해진 기준면에 대한 앵커의 설치각도를 말함

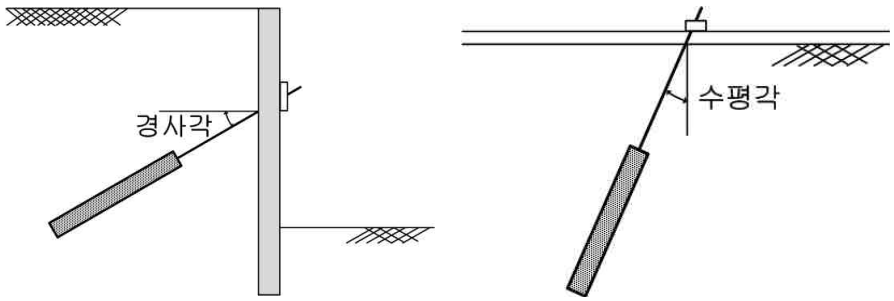


그림 1.1 앵커의 경사각·수평각

(29) 영구앵커 : 영구적으로 사용할 것을 목적으로 갖고 사용되는 앵커를 말하며 일반적으로 2년 이상 사용하는 앵커를 말함

(30) 유효인장력 : 유효인장력은 구조물에서 가정한 하중조건이나 허용변위량 등에 따라서 결정해야 하며 앵커케이블에 초기인장력이 주어진 다음 어떤 시간 경과 후에 있어서 인장재의 릴랙세이션, 앵커체 정착장부의 크리프 및 지반의 압밀침하 등이 어느 정도 진행된 다음의 인장재에 유효하게 작용하고 있는 인장력을 말함.

(31) 유효지름 : 인장재를 묶어서 앵커케이블을 구성한 경우 앵커케이블과 주입재와의 부착이 유효하게 기대할 수 있는 케이블의 직경을 말함.

(32) 앵커체지름 : 앵커체의 유효한 직경을 말함.

(33) 인발시험 : 실제 시공에 앞서 설계조건에서 제시한 지반조건, 사용재료, 안전율 등에

대한 앵커의 품질, 설계의 정확성 등을 조사·증명을 하기 위한 시험을 말함

(34) 인장시험 : 실제 시공조건과 동등한 조건에서 시공된 앵커를 대상으로 실시하며, 설계상 명기된 하중까지 재하하여 앵커의 설계·시공의 안전성, 합리성 등을 판정하는 자료를 얻기 위해 실시하는 시험을 말함

(35) 잔존인장력 : 앵커의 사용기간 중에 작용하는 인장재의 인장력을 말함

(36) 정착 : 프리스트레스력을 장기적으로 유지하기 위해 앵커케이블에 도입된 쐐기나 너트 등 정착구로 구조물에 고정하는것을 말함

(37) 정착시 인장력 : 앵커두부의 긴장·정착작업이 완료됐을 때 인장재에 가해지는 인장력을 말함

(38) 주입재 : 앵커체의 조성 또는 자유장부의 보호를 목적으로 해서 지반내에 주입되는 재료를 말함

(39) 주입 : 지반내에 주입재를 충전시키는 일을 말함

(40) 지압판 : 앵커의 하중을 비탈면 표면반력으로 저항하는 부분을 말하며, 앵커의 인장력과 동일한 하중을 받는 부재를 말함

(41) 재천공 : 콘솔리데이션 그라우팅을 실시한 후 다시 천공하는 것을 말함

(42) 제거식앵커 : 가설앵커 중 앵커 또는 인장재 등 그 일부를 철거할 수 있는 형식의 앵커를 말함

(43) 천공 : 천공은 앵커를 제작하기 위하여 지반에 구멍을 뚫는 것을 말함

(44) 초기인장력 : 앵커를 정착할 때 초기에 인장재에 가해지는 인장력을 말하며, 그 후 인장재의 릴렉세이션, 크리프와 콘크리트와 건조수축, 지반의 변형 등의 조건에 따라서 손실되어 감소 될 수 있는 인장력을 말함

(45) 크리프 : 크리프는 앵커케이블에 인장력을 더해 일정하게 유지했을 때의 앵커체 및 그 주변지반에 발생하는 시간의 경과에 따른 장기적인 변형을 일컬음을 말함

(46) 콘솔리데이션(Consolidation) 그라우팅 : 콘솔리데이션 그라우팅은 균열이 많은 암반에 앵커를 타설할 경우에 주입재의 어긋남을 막거나 정착지반의 강화를 목적으로 해서 실시하는 주입을 하는 것을 말함

(47) 확인시험 : 확인시험은 인장시험으로 확인된 변형특성을 기초로 시공된 앵커가 설계

앵커력에 대하여 안전하다는 것을 확인하기 위해 실시하는 시험을 말함

(48) 항복인장력 : 앵커의 제체가 항복하는 데 필요한 힘을 말함

(49) 항복인발력 : 앵커체가 지반으로부터 인발되는데 필요한 힘을 말함

(50) 항복앵커력 : 항복앵커력은 앵커의 하중과 변형의 관계에서 항복조건을 설정했을 때 앵커가 항복할 때의 힘을 말하는 것으로, 항복인발력과 항복인장력 가운데 작은 쪽의 힘을 일컬음을 말함

(51) 허용앵커력 : 허용앵커력은 극한앵커력 또는 항복앵커력을 어떤 안전율로 나눈 값을 말함. 즉, 허용인발력과 허용인장력 가운데 작은 쪽에서 결정되는 힘을 말함

(52) 확공지름 : 확공지름은 천공지름을 부분적으로 확대하려고 할 경우 실제로 확공하는 직경을 말하고 통상 공칭 확공지름을 말함

1. 제 2 장 설계

2.1 설계일반

2.1.1 기본계획

앵커의 설계는 앵커의 특성을 충분히 검토하여 앵커 및 주변구조물에 대한 안전성, 경제성, 시공성 및 그 목적에 적합하도록 계획한다.

[해설]

앵커의 설계 시에는 다음과 같은 앵커의 특성에 대해 충분히 이해한 후에 앵커의 목적, 앵커의 중요도, 앵커의 공용기간 등을 고려하여 계획한다.

① 프리스트레스력 등 인장력 도입에 의해 지반이나 앵커로 보강되는 구조물이 변형하여 앵커 주변에 영향을 주는 경우가 있다.

② 앵커는 고응력 상태로 사용되므로 예상했던 것 이상의 부가적인 외력에 의해 급격히 파괴되는 경우가 있다. 즉, 부식의 영향 등으로 인장재가 파단될 경우에는 두부나 인장재가 돌출하여 주변 지반이나 구조물에 영향을 미치는 경우가 있다.

③ 앵커 공용기간 중에는 고응력 상태로 옥외에서 사용되며, 지하수의 영향을 많이 받으므로 부식에 대해 안전한 방식구조로 설계되어야 하며, 부식이 되지 않는 재료로 제작하여야 한다.

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.

⑤ 앵커를 시공하기 위한 천공 및 그라우트는 지중에서 시행되며 또 앵커의 주요부는 지중에 설치되므로 앵커를 시공한 후에는 그라우트나 인장재 등의 주요한 구조체의 품질을 직접 확인할 수 없다.

⑥ 앵커는 시공된 후 시간의 경과에 따라 발생하는 잔존인장력의 감소, 부식의 진행 등에 대응하기 위해 적절한 유지관리를 필요로 하는 구조체이다.

앵커는 그 사용 목적에 따라 계획단계에서부터 충분한 검토와 필요한 조사를 거친 후 설계, 시공되어야 하는 구조체이다. 또한 앵커는 지중에 설치되고 앵커의 품질이나 시공성 등은 지반상태에 따라 큰 영향을 받으며, 앵커를 설치함으로 인해 주변에 영향을 미치게 되므로 앵커를 합리적이고 적정하게 계획하고 설계, 시공, 유지관리하기 위해서는 주변환경, 지반상황, 지하수 현황 등에 대한 조사가 중요하다. 특히, 앵커체를 불균일하고 불균질한 자연지반에 설치하여 큰 인발력을 기대하는 구조체이므로 설치지반에 대한 상세한 조사는 매우 중요하다.

앵커의 설치를 계획할 때에는 다음 사항에 대한 기술적 검토가 반드시 필요하다.

① 앵커의 사용목적에 따른 형식

② 앵커에 작용하는 인장력에 의해 발생하는 구조체, 주변지반, 인접구조물 등의 변위와 안정

③ 앵커의 사용목적, 공용기간과 환경조건에 따른 방식구조

④ 앵커의 사용목적, 규모 등 제반조건에 따른 시험방법과 실시시기

⑤ 영구앵커를 설치한 지반의 장기적인 안정성

⑥ 영구앵커의 유지관리 방법

또한, 앵커의 길이가 긴 경우, 설계앵커력이 큰 경우, 높은 피압지하수의 영향이 예상되는 경우 그리고 제거식 앵커인 경우 등 설계조건이나 시공조건이 까다로운 앵커에 대해서는 계획단계에서부터 충분한 검토가 필요하다.

(1) 앵커의 길이가 긴 앵커

앵커의 길이가 길어지면 시공시 천공된 구멍을 일직선으로 유지하기 힘들고 중력에 의해 아래 방향으로 휘어지거나, 공벽의 성능저하가 발생하여 부정확한 위치에 앵커체가 설치되거나, 주면마찰저항의 감소가 일어나기 쉽다. 특히 기울어진 앵커의 경우는 이러한 영향이 매우 크며, 그라우트를 확실하게 주입하거나 인장재 가공에서 방식의 정밀도를 유지하는데에도 문제가 생길 가능성이 많아진다. 따라서 앵커의 길이가 30m를 넘는 경우에는 위에 언급한 사항에 대해 충분한 검토가 필요하다.

(2) 설계앵커력이 큰 앵커

설계앵커력이 2000kN 이상되는 가설앵커나 1000kN 이상 되는 영구앵커 등 설계앵커력이 매우 큰 앵커의 경우는 천공된 구멍내에 삽입하는 인장재 등의 단면적이 커지고, 방식용 재료나 그라우트 파이프 등의 단면적이 합해져 천공된 구멍의 단면 중 삽입재의 비율이 커지기 쉽다. 이 경우, 그라우트의 유동저항이 커져 앵커체를 삽입할 때 가압작업 뿐만 아니라 충전이 불충분하게 되는 경우가 있으며, 앵커체를 삽입한 후 드릴파이프를 인장할 때 인장재가 함께 올라오는 경우도 있다. 앵커를 설치한 지반의 상태, 천공된 구멍의 크기와 길이, 시공성 등의 사이에는 상호 밀접한 관련이 있으므로 계획 단계에서 이들 관계에 대한 충분한 검토가 필요하다. 제거식 앵커에 있어서도 삽입자재의 단면적이 커지기 쉬우므로 동일한 검토를 하는 것이 바람직하다.

(3) 지하수위가 높은 지반이나 투수성이 큰 지반에 설치되는 앵커

지하수위가 높은 경우에는 그 수압에 의해 그라우트가 인장재의 주위에 뜻대로 충전되지 않거나 그라우트의 농도가 엷게되어 소요강도가 얻어지지 않는 경우가 있다. 또, 용출수압에 의해 공벽이 무너지는 경우도 있다. 또한, 지반의 투수성이 크고 지하수위가 낮은 경우에도 그라우트의 유실에 의해 인장재의 주위에 그라우트가 충분히 충전되지 않는 경우가 있다. 이와 같이 지하수위가 높은 지반이나 투수성이 큰 지반에 앵커를 설치하는 경우에는 시공에 중대한 문제가 발생할 수도 있으므로 초기에 지하수나 지반의 투

수성에 대한 철저한 조사를 통해 지반상황에 따른 천공방법, 그라우트 선정, 주입압력 또는 사전주입의 필요성 등 시공방법 전반에 대한 검토를 실시해야 한다.

(4) 앵커 또는 그 일부를 철거하는 앵커

가설 토류벽의 보강을 위한 가설구조물로서 앵커를 설치하는 경우, 공용기간이 종료된 후에 앵커 또는 그 일부를 철거하는 제거식 앵커가 사용되는 경우가 많다. 따라서 제거식 앵커는 충분히 견고하면서도 쉽고 확실하게 제거될 수 있는 기능을 가져야 하는 이율배반적인 기능이 필요하며, 철거시에 주변에 그 영향이 미치지 않아야 하므로 초기단계에 충분한 검토가 이루어져야한다.

2.1.2 앵커의 구성

일반적으로 그라운드 앵커 공법은 토목이나 건축 구조물을 지반에 정착시키기 위하여 고강도의 강재로 연결하고 그 강재에 높은 인장력을 도입함으로써 구조물에 횡방향 또는 연직방향의 구속력 또는 선행하중을 가할 수 있는 효과적인 공법으로 앵커체, 인장부 및 앵커두부의 구조로 구성된다.

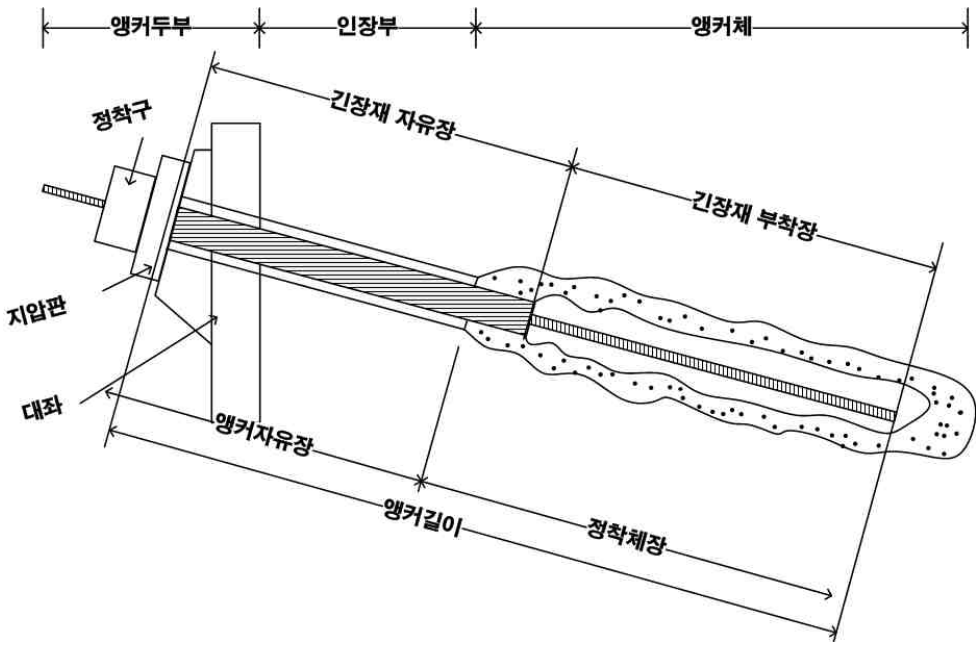


그림 2.1 앵커의 구성

2.1.3 앵커의 분류

그라운드 앵커 공법은 사용목적, 정착형식, 설치각도, 그라우트제의 주입가압방식, 인장

재의 종류, 긴장정착방식 등에 따라 분류 할 수 있다.

[해설]

(1) 사용목적에 따라 가설앵커와 영구앵커로 분류할 수 있다.

① 가설앵커

가설 토류벽이나 지반 등을 일시적으로 보강하기 위한 목적으로 사용되는 앵커로서, 짧은기간(일반적으로 2년 미만의 기간) 동안 사용하기 때문에 공용기간 중 재료에 대한 부식의 진행이 적어 방식·방청이 필요없거나 간단한 방식·방청으로도 문제가 없는 앵커를 말한다. 단, 가설앵커 중 장기간에 걸쳐 사용되는 앵커의 경우나 부식환경에 있게 되는 앵커의 설계·시공은 영구앵커에 준해야 한다. 가설앵커는 다시 제거형과 매설형으로 나눌 수 있는데, 제거형 앵커는 공사종료 후 앵커 또는 그 일부를 제거할 수 있는 앵커를 말하는데 일반적인 제거형 앵커의 경우 앵커 정착부의 주입재 및 내하체에 해당하는 부분이나 시스(sheath) 등은 지중에 남게된다. 제거식 앵커의 경우 제거하는 시점에 인장강재가 부식될 경우 제거할 수 없게 되는 경우가 많으므로 이를 방지하기 위한 최소한의 방식·방청이 필요하다. 이외에 매설형 앵커는 공용기간이 만료되어도 지중에 매설된 채로 방치하여 제거하지 않는 앵커를 말한다.

② 영구앵커

비탈면의 안정 혹은 영구구조물의 전도 및 부상 방지 등을 꾀할 목적으로 사용되는 앵커로써 구조물의 장기적인 공용기간 동안 기능을 유지해야 한다. 따라서 영구앵커의 경우는 그 구조, 사용재료, 방식방법, 유지관리를 위한 특별관리가 필요하다. 특히 인장재로 강재를 사용하는 경우에는 확실한 방식 또는 방청을 위해서 특별히 관리되어야 한다.

(2) 정착형식에 의해서는 마찰형, 지압형, 복합형으로 분류할 수 있다.

① 마찰형 앵커

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 인장력, 자유장에는 압축력이 작용하게 된다. 압축형 앵커의 경우에는 인장재 전장이 시스(sheath)관에 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.

② 지압형 앵커

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

③ 복합형 앵커

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

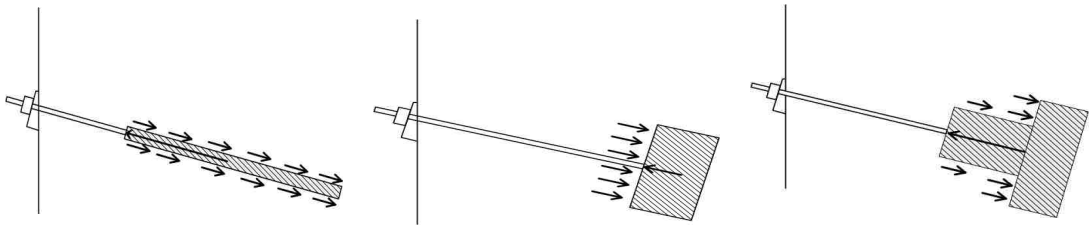


그림 2.2 정착형식에 따른 분류

(3) 앵커의 각도에 의한 분류

앵커각에 의해 수평면으로부터 타설되는 각도에 따라 수직앵커와 경사앵커로 분류할 수 있다. 수직앵커는 수평면으로부터 거의 90° 의 각도로 타설되는 앵커를 말하며, 경사앵커는 수평면으로부터 10° ~45° 의 각도로 타설되는 앵커를 말한다.

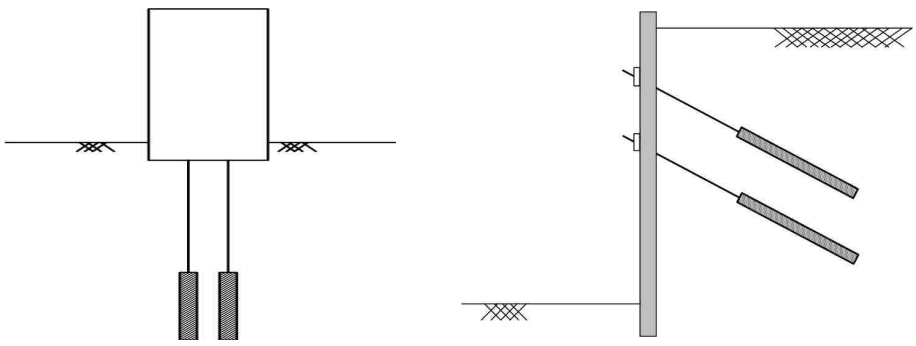


그림 2.3 앵커각에 의한 분류

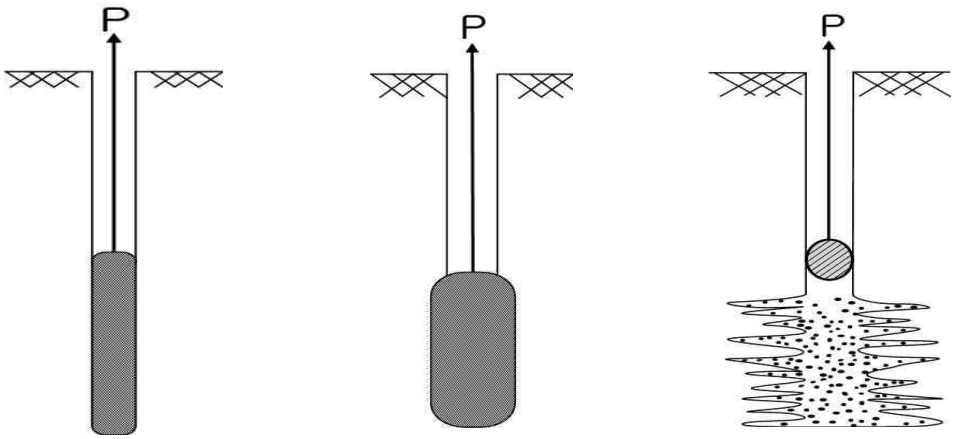
(4) 주입가압력에 의한 분류

주입가압력의 크기에 따라 무가압주입앵커와 저압주입앵커, 고압주입앵커로 분류할 수 있다.

· 무가압주입앵커 : 인위적으로 가압하지 않고 주로 그라우트의 자중만이 작용하는 앵커이다.

· 저압주입앵커 : 인위적으로 1MPa 이하의 작은 압력으로 가압주입하는 앵커이다.

· 고압주입앵커 : 인위적으로 2MPa 이상의 큰 압력으로 가압주입하는 앵커이다.



(a)무압주입 (b)저압주입 (c)고압주입

그림 2.4 주입가압력에 의한 분류

(5) 인장재의 종류에 의한 분류

인장재의 종류에 따라 PC강연선, PC강선, PC강봉, 연속섬유보강재 등으로 분류할 수 있다.

(6) 긴장정착방식에 의한 분류

앵커 공사에 사용되고 있는 긴장정착방식에 따라 쐐기정착방식, 너트정착방식, 쐐기너트 병용방식 등으로 분류할 수 있다.

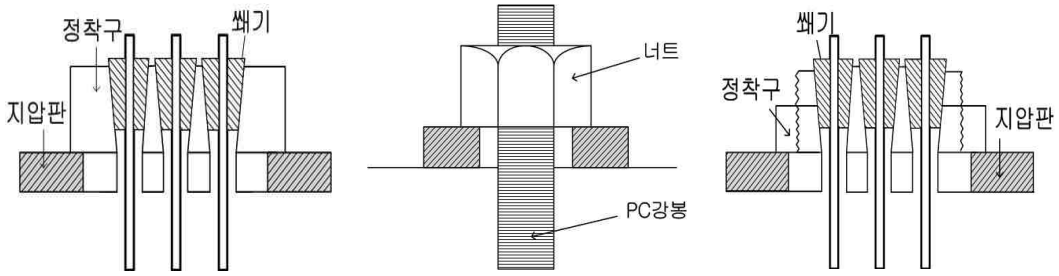


그림 2.5 긴장정착방식에 따른 분류

2.2 설계·시공을 위한 조사 및 계획

2.2.1 일반사항

가설 토류벽이나 지반 등의 일시적인 보강공법, 비탈면의 붕괴방지 및 안정공법, 옹벽의 보강 및 구조물의 기초 등으로 앵커를 계획하는 경우는 앵커가 시공될 지반의 조건, 주변지역의 지상·지하구조물이나 주변환경 등 그 목적에 따라서 상세한 사전조사를 실시하여 설계계획, 안전관리계획 및 유지관리계획 등을 검토하여야 한다.

[해설]

앵커를 설계·시공하기 위해서는 앵커의 특성을 충분히 고려하는 동시에 앵커의 사용목적 및 앵커로 보강되는 구조물의 설치위치, 중요도나 내용년수 등 앵커에 요구되는 공학적인 요건들을 충분히 이해한 후 적절한 계획을 수립하는 것이 바람직하다. 특히 앵커가 설치된 지반이나 지하수의 상황 등에 의해 일반적인 조건과 현저하게 다른 상황이 발생할 경우에는 앵커의 기능을 충분히 확보할 수 없는 경우도 발생할 수 있으므로 철저한 조사를 통해 계획을 세우는 것이 중요하다.

2.2.2 일반조사

일반조사에서는 앵커의 설계·시공에 필요한 기초자료를 얻기 위해 주로 지형이나 토지이용상황, 근접구조물이나 매설물, 주변환경 및 그 밖의 시공조건에 관한 사항에 대해 조사를 실시한다.

[해설]

일반조사는 앵커가 시공될 대상구역 및 그 주변에 대한 전반적인 자료를 수집하고, 앵커를 설계·시공 유지관리하기 위해 전반적으로 필요한 사항에 대한 조사를 실시하는 것이다.

앵커를 계획·설계·시공하기 위해 실시하는 조사 중 지반조사 이외의 조사를 일반조사라고 하며, 문헌 및 현장답사를 위주로 인근의 시공사례나 설계·시공조건이 유사한 사례 참고하여 다음의 조사항목에 대해 실시한다.

- 시공예정현장의 지형 및 비탈면 붕괴, 절성토, 매립 등의 여부 등
- 근접구조물이나 매설물의 형상, 구조 및 기초 형식 등
- 지역주민의 생활환경, 지하수 이용, 가축사육 및 어류양식여부 등
- 주변의 토지이용현황, 장비의 반출입을 위한 도로 및 교통상황, 급배수설비, 전력설비 등의 시공여건
- 온천지대 등 부식환경, 석회암지대로 공동부존 여부 등 지질환경

2.2.3 지반조사

지반조사는 앵커와 앵커로 보강된 구조물에 의해 영향을 받는 범위에 대해 그 지질학적 구성과 공학적 특성, 지하수의 상황 등에 대해 실시한다.

[해설]

지반조사는 앵커의 설치목적이나 공사의 규모에 따라 앵커의 설치위치, 설계앵커력, 극한인발력, 대좌설계, 시공성, 지하수 및 부식환경 등을 검토하기 위해 실시한다.

지반조사항목으로는 지표조사, 물리탐사, 사운딩, 조사천공, 원위치시험, 실내시험 등 여러 가지 조사 항목 속에서 계획되는 앵커에 필요로 되는 것을 선정하여 실시할 필요가 있으며, 특정조건에 해당될 때에는 시험시공 등을 통해 적절한 시험을 추가할 수 있다. 지반조사결과는 일반조사결과와 함께 종합적으로 검토해야 하며, 시공시에 참고할 수 있도록 정리·보존한다. 특히, 앵커체를 설치할 위치의 지질변화에 대해서는 시공 및 안전관리 등을 위해 확인하기 쉽도록 표시해두는 것이 바람직하다. 주요 기재사항으로는 조사목적, 조사개요, 조사·시험결과의 고찰, 시험자료, 설계·시공상의 문제점 및 중요성 등을 들 수 있다.

(1) 앵커의 설치위치를 검토하기 위한 조사

앵커의 설치위치는 앵커 및 앵커로 보강되는 구조물의 공용기간 중 안정되어 있는 지반이어야 하며, 지반의 상태와 특성에 대해서는 일반적으로 문헌조사와 시추조사 등을 통해 파악한다. 몇 공의 시추조사만으로 넓은 범위의 지반상태를 추정하는 것은 지반상태 등에 따라 매우 고도의 기술력을 필요로 하며 불확실 할 수도 있다. 따라서 지반의 상태와 특성에 따라서 밀도가 높은 조사를 실시하여 앵커의 설치위치를 결정해야 함과 동시에, 천공자료와 지반조사결과를 대비하여 앵커를 설치할 지반으로서 적절한지 여부를 확인하는 것이 중요하다.

(2) 설계앵커력을 검토하기 위한 조사

설계앵커력의 대상이 되는 외력으로서는 토압, 지하수의 양압력, 지진력, 풍하중 등이 있다. 이들 중 토압을 구하기 위해서는 지반의 구조와 지반을 구성하는 각 지층의 강도정수나 지하수위, 간극수압, 투수성 등 지하수에 대한 정보를 활용한다. 조사방법으로는 지표조사나 시추조사 등이 있으며, 각종 물리탐사, 시추공을 이용한 물리검층 등의 방법도 사용할 수 있다. 또한, 지반조성 당시의 퇴적환경이나 지질연대 구분 등을 고려한 지질구조적 판단으로부터 지반전체의 상태와 특성을 판단할 수 있다. 비탈면의 안정화를 위해 앵커를 사용하는 경우에는 비탈면의 거동이력이나 비탈면에 대한 앵커의 설치위치 등이 설계앵커력에 영향을 미칠 수 있으므로 비탈면의 개괄적인 지형을 파악해야할 필요도 있다.

(3) 극한인발력을 검토하기 위한 조사

극한인발력은 공사 현장의 조건과 가장 유사한 조건으로 인발시험을 하여 구하는 것이 바람직하다. 또 극한인발력 산정에 사용되는 주면마찰저항에 대한 표준관입시험, 실내토질시험, 공내수평재하시험 등의 수치를 바탕으로 과거의 인장시험 결과를 이용하여 개략치를 추정할 수도 있다. 이와 같은 조사의 경험치에서 주면마찰저항을 추정하는 경우에는 시공방법, 지하수, 앵커체 위치의 지중응력의 영향 등을 검토해야 한다.

(4) 대좌설계를 위한 조사

앵커를 지반에 고정하고 앵커력을 지반에 전달하는 격자블럭, 수압판 등의 대좌는 변형이나 침하가 발생하지 않도록 설계해야 한다. 설계를 위해 필요한 배면지반(대좌에 접하는)의 지반반력계수는 N값으로부터 환산하거나 평판재하시험이나 공내수평재하시험 등에 의해 구한다.

(5) 시공성에 대한 조사

시공성은 앵커 및 앵커로 보강되는 구조물에 의해 영향을 받는 지반의 지질이나 지하수의 상황, 지형, 작업공간, 소음진동 등의 주변환경에 따른 제약 이외에도 천공된 구멍의 깊이와 크기, 공사기간 등의 조건에 의한 영향을 받는다. 특히, 지질과 지하수의 상황은 앵커의 품질에도 관련되므로 충분한 조사가 필요하다.

(6) 지하수 조사

지하수위가 높거나 피압지하수가 있는 경우, 또는 투수성이 크고 누출수가 있는 지반의 경우는 그라우트가 충분히 충전되지 않거나 예상외의 많은 양이 주입될 수 있으므로, 사전주입이나 특수한 그라우트를 사용하는 등의 조치가 필요할 경우가 있다. 투수성이 클 것으로 예상되는 경우나 용수가 있는 경우에는 시추공을 이용하여 투수성, 지하수위, 공벽의 강도 등에 대한 조사를 실시한다. 또, 지하수는 앵커의 시공성이나 극한인발력 등에 영향을 미칠 뿐 만 아니라 설계앵커력 산정에 있어서도 중요한 요소이므로 수압의 분포, 투수성, 동수경사 등의 조사에도 유의해야 한다. 피압지하수가 존재하여 천공된 구멍의 입구까지 용출하는 경우는 시공뿐만 아니라 앵커의 두부 부근에 지하수가

침투하는 등 방식에도 영향을 주는 경우가 있다.

(7) 부식에 관한 조사

주변환경 조사나 시추조사에 의해 인장재나 그라우트의 부식이 촉진될 수 있다고 판단되는 경우는 앵커의 채택여부와 앵커에 사용되는 각 재료에 대해 필요한 방식대책을 검토하기위해 부식에 관한 조사를 실시한다. 부식을 촉진시키는 환경으로서는 온천, 광산 폐기물 처리장, 석탄재 사토장, 공장 폐기물 처리장, 철도변의 전류 흐름 등을 들 수 있다. 이와 같은 환경에서는 일반적으로 pH, 비저항치, 혐기성 유산염 환원 박테리아 번식도 등이 보통의 환경에 비하여 정상이 아닌 값을 보여주고 있는 경우가 많으므로, 부식작용의 정도는 이들에 대한 제반 수치를 측정하여 추정할 수도 있다. 이러한 조건의 지반 이외에도 강재나 시멘트계 그라우트 품질을 손상할 가능성이 있는 것으로는 유리탄산, 암모니아 등을 많이 함유하는 지반이 있다.

2.3 그라운드앵커의 설계

그라운드 앵커는 가설 토류벽이나 지반 등의 일시적인 보강공법, 비탈면의 붕괴방지 및 안정 공법, 구조물의 안정 등을 위해 다양한 용도로 사용되며, 단기간에 사용되는 가설앵커 및 장기간 사용되는 영구앵커의 경우도 있다. 따라서 앵커 자체의 안정이나 앵커로 보강되는 구조물의 안정을 확보하는 것뿐만 아니라 경제성, 시공성 및 주위환경에 미치는 영향도 역시 고려해야 한다. 또한 공사완료 후의 최종적인 안전뿐 만 아니라 시공 중의 안정과 함께 내구성이나 내부식성 등 재료적으로도 안전하도록 검토하여 설계하여야 한다.

2.3.1 앵커의 배치

앵커는 정착지반이나 앵커 구조물을 포함한 주변지반의 전체적인 안정, 인접구조물의 영향 등을 고려하여 설치목적을 효과적으로 달성할 수 있도록 배치한다.

[해설]

앵커의 계획이 부적절한 경우에는 비경제적인 설계가 되거나 시공단계에서 문제가 발생하는 경우가 있으므로 앵커체의 설치위치 및 앵커의 방향이나 간격은 설계단계의 초기에 미리 산정하여야 한다.

앵커의 간격 및 길이는, 앵커는 앵커로 보강되는 구조물 및 앵커설치지반에 대해 구조물 전체의 안정을 고려하여 결정한다.

(1) 인접구조물의 영향

앵커를 배치할 때에는 인접구조물에 대한 영향을 우선적으로 고려하여 결정해야한다. 즉, 앵커를 설치할 대상지반 중의 매설물, 구조물, 말뚝 등에 대해서 앵커를 계획하기 전에 충분히 조사할 필요가 있다. 이러한 조사결과를 토대로 천공된 구멍이 이루는 곡선 등을 고려하여, 앵커의 경사, 앵커의 방향 등에 대해서도 충분히 검토한 후 설계하여

야 한다. (앵커의 타설방향에 지중매설물, 구조물, 말뚝 등이 있는 경우에는 앵커의 설치위치나 앵커각을 바꿔줄 필요가 있으며, 앵커의 시공으로 인하여 앵커 및 앵커로 보강된 구조물이 인접되는 구조물에 영향을 미치지 않게끔 주의해야 한다.) 또한, 기존 구조물의 시공시 발생한 지반의 교란 및 되메우기 불량 등에 따른 앵커체가 설치될 부위의 느슨해짐 등 앵커자체에 대한 영향과 함께 구조물과 앵커의 설치위치에 따라서는 앵커천공기에 의해 시공할 수 없는 경우도 있으므로 이에 대한 충분한 검토가 필요하다.

참고로 영국의 설계기준(British Standard Institution : British Standard Code of Prctice for Ground Anchorages, 1989)에서는 앵커와 인접하는 기초, 지하구조물과는 수평거리로 3.0m 이상이 되도록 규정하고 있으므로 3.0m 이내로 하는 경우 인접구조물 등의 안전성에 대한 특별한 검토가 필요하다.

(2) 앵커의 설치각도

앵커에 가해지는 힘의 작용선의 방향은 앵커의 축방향과 일치시키는 것이 가장 유리하지만 앵커를 설치하는 지반 혹은 앵커로 지지되는 구조물의 형상 및 설치위치 등에 따라 반드시 일치시키기는 매우 어렵다. 또, 앵커의 경사(α), 앵커의 수평각(θ)이 커질 경우 앵커분력이 발생하기 때문에 분력에 대한 검토도 필요하다. 따라서 앵커를 계획할 때 그 설치각도는 단지 역학적 측면만을 고려할 것이 아니라 다양한 조건을 고려하여 결정하여야 한다. 앵커의 설치각도인 α는 일반적으로 $\alpha \leq 45°$의 조건을 만족하도록 설계하는데 이 경우 앵커의 경사를 $-5° \sim +5°$의 범위로 하면 시공할 때 그라우트의 경화에 따라 발생하는 잔류 슬라임 및 블리딩이 앵커 내하력에 크게 영향이 미칠 가능성이 있으므로 이 범위는 피해야 한다.

(3) 앵커체 설치간격

앵커체 설치간격은 설계앵커력, 앵커체의 굵기, 앵커의 정착장 등 앵커제원에 의해 결정되는데, 앵커의 설치간격이 너무 좁을 경우, 인접한 앵커에 대해 영향을 주거나 그룹효과에 의해 인발저항력을 저하시키는 등 영향을 줄 수도 있다. 앵커의 그룹효과에 의한 영향은 앵커체 설치간격, 앵커정착장, 앵커체의 굵기, 지반과의 관계에 의해 좌우되는데, 기존의 경험으로부터 앵커체의 설치간격이 앵커체 직경의 4배 이상 혹은 1.5m이상이 확보되면 일반적인 경우 그룹효과를 고려하지 않는다.

(4) 앵커체 토사피복

앵커체에 대한 토사피복 두께는 구조계 전체의 안정도 고려하여 결정해야 하지만 그라우트 주입 중 그라우트재의 누출방지와 앵커의 허용내하력을 얻기 위해 상재압의 확보를 위해서도 필요하므로 일반적인 경우 5m를 앵커체의 최소토사피복 두께로 한다.

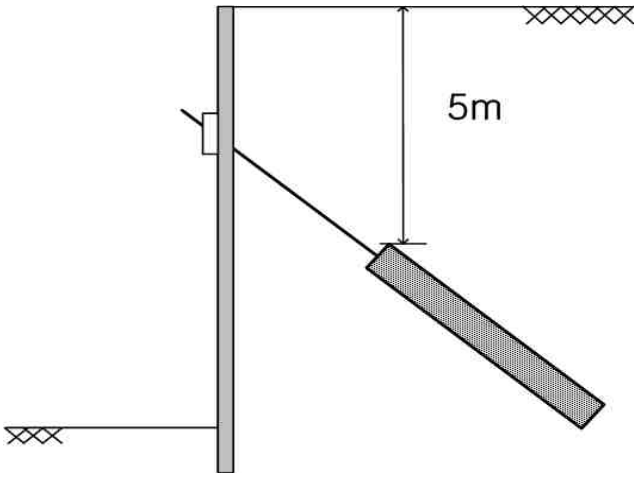


그림 2.6 앵커체 최소 토사피복 두께

(5) 외력의 크기, 작용방향

앵커 1본당 기대할 수 있는 하중(외력)에 따라서 단위면적당의 앵커의 본수가 결정되며, 하중의 작용방향에 맞춰 앵커를 타설하는 것이 효율측면에서는 유리하나 정착체가 위치할 지반의 지층·위치에 따라서 앵커의 길이가 길어지는 경우도 있으므로 이를 고려하여 검토할 필요가 있다.

(6) 앵커정착부의 위치

어떤 지반에 혹은 어느 위치에 정착시킬 것인지에 따라 앵커 1본당의 기대할 수 있는 하중이나 앵커의 길이가 달라지므로 앵커의 시공성, 공사의 경제성 등을 고려해서 예상활동면의 바깥쪽에 앵커체정착부가 위치하도록 한다.

2.3.2 작용하중, 필요억지력 산정

앵커에 작용하는 하중은 공용기간중의 안정성을 충분히 확보할 수 있도록 앵커의 사용목적이나 용도를 고려하여 결정하여야 한다.

[해설]

가설 토류벽이나 지반 등의 일시적인 보강공법, 비탈면의 붕괴방지 및 안정 공법, 옹벽의 보강 및 구조물의 기초 등으로 앵커를 계획하는 경우 앵커자체의 설계에 앞서 앵커로 보강하고자하는 대상의 안정을 위해서 어느 정도의 앵커력이 필요한 가를 먼저 결정한다.

토압은 주동토압, 수동토압, 정지토압으로 분류된다. 구조체 및 흙의 상태가 동일조건이라면 변위와 토압의 관계는 주동토압이 가장 작고, 정지토압, 수동토압이 최대가 되는 관계가 된다. 흙막이 벽체, 비탈면의 붕괴막이를 위한 벽체 등에 작용하는 토압이나 수압은 일반적으로 측압으로서 주어지는데 측압의 계산은 Coulomb이나 Rankine 등의 토압식을 기본으로 해서 사용한다.

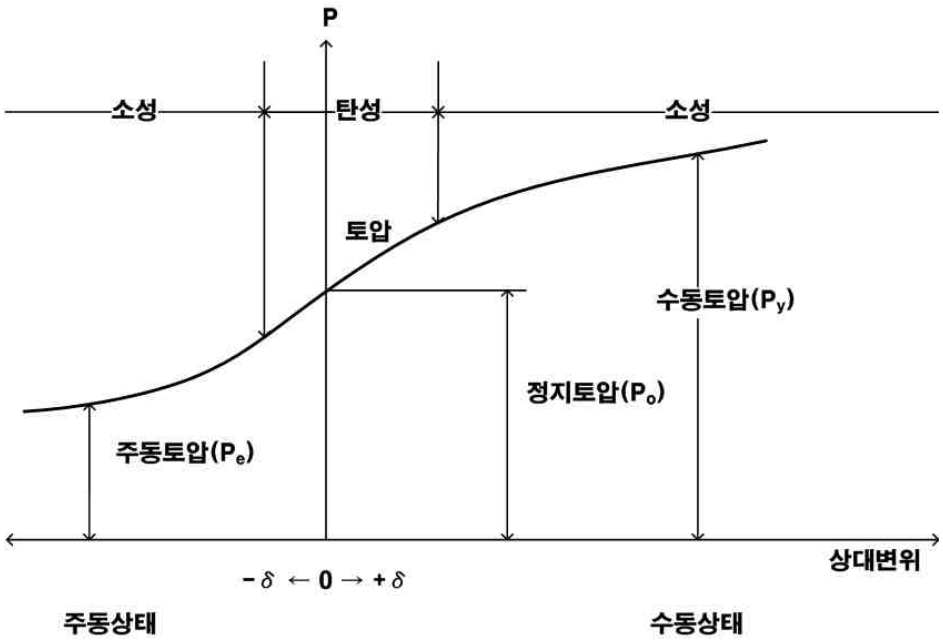


그림 2.7 변위와 토압의 관계

(1) 비탈면의 붕괴방지 및 안정화를 위해 사용할 경우

비탈면의 붕괴방지 및 안정화에 대한 대책으로 앵커를 사용하는 경우 대상으로 하는 비탈면의 지질, 지반 조건 등을 충분히 파악하고 안정해석을 통해 설계안전율을 만족하도록 필요억지력을 구한다. 비탈면의 안정해석방법 시에는 예상활동면상에서 저항력과 활동력과의 비로 안전율을 결정하는데, 이 경우 앵커를 사용하는 이유는 붕괴에 저항하려는 힘을 증가시키는 방법으로 현재의 안전율을 설계안전율까지 높이고자하는 것이다.

$$Fs = \frac{\text{붕괴에 저항하는 힘}}{\text{붕괴 하려는 힘}}$$

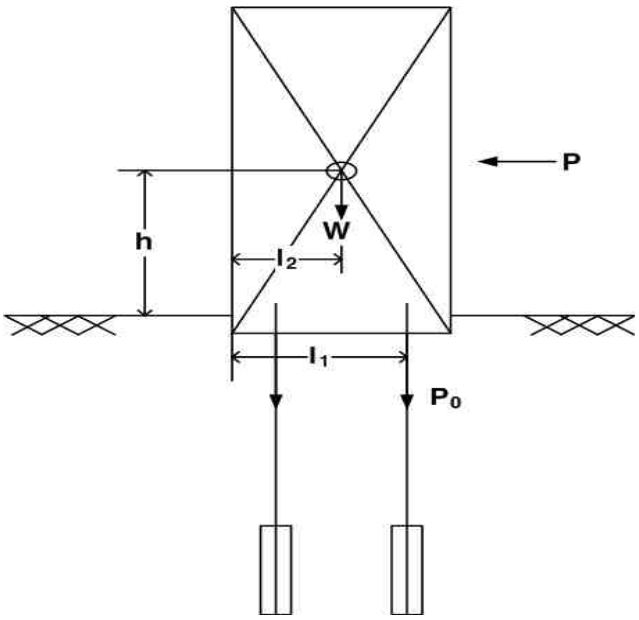
(2) 부력에 저항하기위해 사용할 경우

지하수위가 높은 장소에 구조물이 구축되는 경우에는 부력에 의해 구조물이 부상할 가능성 있다. 이에 대한 대책으로는 매스콘크리트의 중량에 의해 저항시키는 방법이 있으나, 이 방법은 콘크리트의 타설량이 증대하기 위해 굴착토량이 증대하고 굴착깊이도 커져 공사기간과 공사비가 모두 커지는 단점이 있다. 이러한 경우, 그라운드 앵커공법을 적용함으로써 지반의 굴착량이나 콘크리트 타설량은 대폭으로 감소시켜 공사기간이나 공사비 등을 줄 일 수 있으므로 주목되고 있다.

부력에 저항하기위해 사용되는 앵커의 설계에 필요한 하중은 부력에서 구조물의 자중을 제한 것으로 부력은 최고지하수위(즉, 부력이 가장 커지는 지하수위)에 대해서 검토한다.

(3) 지진, 풍하중에 대한 전도대책을 위해 사용할 경우

송전탑, 송신탑 등 탑상의 구조물의 지진, 풍하중에 의한 전도 방지를 위해 앵커를 사용하는 경우의 작용하중은 구조물을 그림 2.8에 나타낸 것처럼 강체로 생각하여 모멘트의 균형을 고려하여 계산한다.



$$P \times h = W \times l_2 + P_0 \times l_1$$

P : 지진 또는 풍하중에 의한 수평력
W : 구조물의 자중
h : 수평력 작용점까지 거리
P_o : 설계앵커력
l_1 : 설계앵커력 작용점까지 거리

그림 2.8 수평력을 받는 구조물의 전도대책

2.3.3 설계앵커력 산정

설계앵커력은 앵커의 배치, 앵커에 작용하는 하중 등을 고려하여 1본의 앵커가 부담해야할 하중의 크기를 나타내는 것으로 허용앵커력을 초과해서는 안된다.

[해설]

앵커가 최종한계상태의 파괴를 일으킬 때에 발생하는 앵커력을 극한앵커력이라고 하며, 앵커의 파괴는 (1) 인장재의 파괴 (2) 인장재가 앵커체로부터 뽑히는 것에 의한 파괴 (3) 앵커체가 지반으로부터 뽑히는 것에 의한 파괴로 나눌 수 있으며, 이중 파괴에 견디는 힘이 가장 작은 경우에 도달했을 때를 최종한계상태의 파괴라고 한다.

(1) 인장재의 파괴

앵커에 걸리는 하중에 의해 인장재가 파단되는 경우로 인장재의 극한인장력이 극한앵커력이 된다.

(2) 인장재가 앵커체로부터 뽑히는 것에 의한 파괴

인장재와 그라우트와의 부착이 깨지거나, 내하체와 그라우트와의 구속력이 부족한 경우에 발생한다. 이때 극한앵커력을 인장재의 극한구속력이라 하는데 인장재와 그라우트의 부착저항에 기대되는 앵커에서는 그 부착력이 극한구속력으로 되며, 내하체에 의한 그라우트부착, 마찰, 지압저항 또는 복합된 경우에는 저항력이 극한구속력이 된다.

(3) 앵커체가 지반으로부터 뽑히는 것에 의한 파괴

앵커체의 주면마찰저항으로 지지되는 앵커에는 지반과 앵커체의 마찰력의 부족으로 뽑힘에 의한 파괴가 발생하고, 지압저항으로 지지되는 앵커는 지반이 지압파괴, 전단파괴에 이르게 되어 뽑힘에 의한 파괴가 발생하는데 이때 발생하는 극한앵커력을 극한인발력이라고 한다. 즉, 마찰저항에 의존하는 앵커는 앵커체와 지반의 주면마찰력이 극한인발력이 되고, 지압저항에 우선적으로 의존하는 앵커는 앵커체 설치지반의 지압력이 극한앵커력이 되지만 앵커체가 설치된 지반의 토사피복이 얇을 경우에는 그 상부의 지반에서 전단파괴하는 경우가 있으므로 주의하여야 한다.

2.3.4 유효인장력의 결정

유효인장력은 설계 앵커력을 함께 앵커 및 앵커로 보강된 구조물의 변형량, 응력상태를 고려해서 결정된다.

[해설]

유효인장력은 앵커체에 초기인장력이 주어진 다음 일정한 시간이 경과한 후에 인장력이 어느 정도 감소하여 인장재에 유효하게 작용하고 있는 인장력을 말하는 것이다. 앵커의 인장력은 세트량, 인장재의 릴렉세이션, 주입재와 지반의 크리프 등의 요인으로 시간에 따라 어느 정도로 감소하다가 일정한 값에 머무른다. 그러므로 초기에 주어진 인장력이 어느 정도로 감소하는 지를 설계시점에서 상정하고 시공할 때에는 이것을 가능한 한 보정하여야 한다.

유효인장력은 값을 정하기에는 무리가 따르므로 시공시나 시공 후의 관리시에 보정하도록 한다. 또한, 릴렉세이션이나 크리프 값은 일정한 값을 두지 않고 시공 후의 관리를 통해 보정해 나가야 한다.

앵커를 정착할 때의 하중 감소량을 예상하여 초기 도입력을 결정하는 경우에 인장력의 감소량이 크다면, 유효인장력이 설계하중시의 허용인장력보다 작은 값일 가능성이 크므로 앵커를 시공할 때에 재긴장 등으로 허용인장력을 끌어올리는 것이 경제적인 시공이다.

비탈면보강을 위한 경우에는 프리스트레스 값이 중요하므로 설계앵커력을 부여하여야 한다. 만약, 프리스트레스 값이 주어지지 않는 경우에는 역산한 비탈면의 안전율이 최소한 1.05 이상이 되어야 한다.

인장력 감소에는 다음과 같은 요인이 있다.

① 세트량

세트량이란 앵커를 정착할 때 인장재와 정착장치 사이의 미끄러짐(활동)으로 인한 인장재의 되돌림량을 말한다. 정착장치의 세트량은 정착장치의 종류에 따라 달라지며 쐐기식 정착장치에서 세트량은 3~6mm 정도로서 설계시 안전 측으로 6mm를 적용하는 것이 일반적이며, 지압식 정착장치에서의 세트량은 1mm 정도이다.

② 앵커인장재의 릴렉세이션

인장재의 릴렉세이션은 앵커 인장재의 종류와 인장재에 가해지는 하중의 크기에 따라 좌우된다. 따라서 작용하중 수준이나 시험을 통한 결과값을 고려하여 릴렉세이션 값을 결정하여야 한다.

표 2.1 PC강재의 릴렉세이션에 의한 감소율

PC강재의 종류	릴렉세이션에 의한 감소율(%)
PC강선	5
PC강연선	5
PC강봉	3

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.

④ 앵커로 보강된 구조물의 변형

비탈면 보강공에 사용되는 앵커는 비탈면 상에 설치된 철근콘크리트보, 콘크리트 블록 등의 반력으로 인해 긴장정착이 된다. 그러므로 지반과의 관계에서 철근콘크리트보나 콘크리트 블록의 강성이 지나치게 작거나 설치면적이 좁으면 보가 지반 중에 함몰하거나 큰 변형을 발생시키므로 철근콘크리트보의 단면적이나 콘크리트 블록의 설치면적을 필요한 만큼 확보하여야 한다. 또 콘크리트의 건조수축, 크리프는 수직하중을 받는 것이 아니고 수평방향의 하중을 받는 것이므로 그 두께에 대한 수축량이 극히 적기 때문에 무시할 수 있다.

2.3.5 앵커체 정착 그라우트의 허용부착응력

인장재와 그라우트의 부착력은 그라우트의 강도가 크다면 문제가 되지 않지만, 특수한 경우에는 압축강도시험을 하여 강도확인을 하여야 한다.

[해설]

앵커에 사용하는 허용부착응력도는 대한토목학회의 콘크리트 표준시방서 및 건설공사 비탈면 설계기준을 참고로 한다. 인장재와 그라우트의 부착력은 그라우트의 강도가 크다면 문제가 되는 경우가 적지만, 특수한 경우에는 압축강도시험을 하여 강도확인을 하여야 한다.

표 2.2 인장재와 그라우트의 허용부착응력(kN/m^2)

그라우트 설계압축강도 (kN/m^2) / 인장재 종류		15000	18000	24000	30000	40000이상
가설앵커	PS강선	800	1000	1200	1350	1500
	PS강연선					
	이형PS강봉	1200	1400	1600	1800	2000
영구앵커	PS강선	-	-	800	900	1000
	PS강연선					
	이형PS강봉	-	-	1600	1800	2000

표 2.3 시험으로 측정된 허용부착응력(kN/m^2)

인장재의 종류	가설 앵커		영구 앵커	
	그라우트의 압축강도 (σ_{28})		그라우트의 압축강도 (σ_{28})	
	15000이상 25000미만	25000이상	20000이상 35000미만	35000이상
PS강선 PS강봉	500	700	500	700
PS강연선	800	1100	800	1000
이형PS강봉	1100	1500	1000	1200

2.3.6 앵커체의 주면마찰저항과 지압저항

주면마찰저항과 지압저항 값은 앵커의 설계 및 시공을 위해 실시하는 시험 중 기본조사시험에 포함되는 인발시험으로 앵커의 극한인발력 및 그 거동을 파악하여 결정한다.

[해설]

주면마찰저항이나 지압저항의 크기는 지반조사 결과에 따른 지반의 종류 및 물리적·역학적 성질, 유효응력 이외에 앵커체의 구조, 형상, 길이, 앵커의 시공방법, 천공 등에 따라 다르게 나타난다. 따라서 인발시험은 가능한 실제 사용되는 앵커와 동일한 조건, 즉 앵커의 제원, 설치지반, 시공방법을 동일하게 실시하는 것이 바람직하다.

앵커의 극한인발력을 앵커체의 주면마찰저항에 의해 판단된 앵커의 경우에는 설계앵커 값에 걸맞는 앵커정착장과 앵커체의 굵기를 사전에 정하여야 하고, 인발시험을 해야 한다. 그러므로 적절한 단위면적 당 주면마찰저항을 가정할 필요가 있다.

표 2.4 앵커의 극한주면마찰저항값은 가압 주입한 그라우트에 의해서 얻어진 경험값이므로 중력식(무압) 주입일 경우에는 감하여 사용하여야 한다.

표 2.4 앵커의 극한주면마찰저항

지반의 종류			극한주면마찰저항(τ_u, kN/㎡)
암반	경 암		1500 ~ 2500
	연 암		1000 ~ 1500
	풍화암		600 ~ 1000
	파쇄대		600 ~ 1200
모래자갈	N값	10	100 ~ 200
		20	170 ~ 250
		30	250 ~ 350
		40	350 ~ 450
		50	450 ~ 700
모래	N값	10	100 ~ 140
		20	180 ~ 220
		30	230 ~ 270
		40	290 ~ 350
		50	300 ~ 400
점성토			1.0c (c는 점착력)

현장상황에 따라서는 기본조사시험을 설계 전에 실시하는 것이 곤란하여 본 공사가 착수된 후에 시험을 실시하기도 한다. 또한 가설앵커로서 설치지반의 토질정수가 파악된 경우나, 암반, 단단한 점성토, 다져진 사질토 지반 및 기본조사시험을 생략할 수 있는 경우에는 앵커의 극한주면마찰저항값을 사용하여 앵커를 설계한다.

앵커체의 현상이 일정하지 않은 경우 즉, 직경대 길이비가 일정하지 않은 지압형 또는 복합형 앵커의 경우는 앞서 주면마찰저항과 더불어 지압저항의 효과로 설계에 반영하도록 해야 한다.

앵커체의 단위면적 당 지압저항의 크기는 앵커체로부터 하중을 받는 설치지반 중의 지압면의 지반강도가 지압저항에 영향을 미치고, 균일하지 않은 지층을 분류한다는 것은 어려움이 있기 때문에 지반의 종류나 지층의 구분으로부터 지압저항의 크기를 결정하기는 어렵다. 그러므로 마찰저항과 지압저항을 동시에 받는 지압형 또는 복합형 앵커의 경우는 인발시험을 통해 설계앵커력을 확인해야 한다.

2.3.7 인장재의 선정

(1) 설계하중에 대한 안정성이 확보된 인장재를 선정한다.
(2) PC강연선을 사용하여 인장재를 구성하는 경우에는 2본 이상을 1케이블로 한다.

[해설]

(1) 앵커두부에 작용하는 인장력은 인장재, 주입재를 거쳐서 주변지반으로 전달된다. 따라서 인장재와 주입재, 주입재와 지반의 제각기 경계면에 있어서 충분히 안전성이 발휘되는 동시에 인장재에 작용하는 하중이 인장재의 허용인장력을 상회하지 않도록 설계해야한다.

설계의 앵커축력(T_D)와 인장재의 극한 하중(T_{us}), 항복하중(T_{ys})와의 관계는 다음과 같다.

긴장 중	$T_D = 0.8T_{us}$, $T_D = 0.94T_{ys}$ 중 작은 값
긴장 직후	$T_D = 0.7T_{us}$

단, 설계하중 작용시는 프리스트레스 도입후 시간이 경과함에 따라 하중이 안정된 상태일 때를 말하며, 공용기간이 2년 미만인 가설앵커의 경우는 다음과 같다.

$$T_D = 0.65T_{us},\quad T_D = 0.8T_{ys}$$

이것은 국내의 '콘크리트 구조설계기준(2007, 국토해양부)' 및 '건설공사 비탈면 설계기준(2006, 국토해양부)'에 따른 허용인장력 값이다.

프리스트레스 콘크리트부재에 있어서는 인장력 도입 이후 콘크리트의 건조수축, 크리프나 인장재의 릴랙세이션에 의한 도입인장력은 시간의 경과와 함께 감소하고 어떤 시간이 경과한 다음에는 정상상태가 된다. 즉 긴장직후에 $0.7T_{us}$였던 인장력이 최종적으로 $0.6T_{us}$로 안정된다고 상정한 것으로 공용년수가 2년 이하의 가설앵커에서는 인장력의 감소과정에 있다는 것으로 $0.65T_{us}$를 허용하중으로 하고 있다.

(2) 인장재를 구성하는 인장재는 PC강연선을 여러개 묶어서 가공 조립되는 경우가 많다. 단 1본으로 구성하는 싱글강선방식은 피하는 것이 좋다.

표 2.5 앵커의 허용인장력

앵커의 종류		공용기간	인장재 극한하중(T_{us})에 대하여	인장재 항복하중(T_{ys})에 대하여
가설앵커		2년 미만	$0.65\,T_{us}$	$0.80\,T_{ys}$
영구앵커	평상시	2년 이상	$0.60\,T_{us}$	$0.75\,T_{ys}$
	지진시	2년 이상	$0.75\,T_{us}$	$0.90\,T_{ys}$

2.3.8 앵커의 길이

(1) 앵커자유장은 최소 4m이상으로 한다.
(2) 인장재자유장은 변형을 고려하고 소요 인장력을 확보할 수 있도록 한다.
(3) 앵커정착장은 3m이상, 10m이하로 한다.

[해설]

(1) 앵커자유장

앵커 자유장부는 앵커두부로부터 인장재에 도입된 인장력을 감소시키지 않고 앵커체에 전달하는 부분이고, 앵커체에서 지반을 통하여 앵커로 보강되는 구조물에 영향을 미치지 않는 간격을 확보하는 역할을 한다.

앵커의 자유장은 토층의 파괴면을 그 층의 내부마찰각에 따라 45+ϕ/2로 가정한 다음 앵커의 자유장이 파괴면 밖에 위치하는지를 검토한다. 여기서 계산상의 여유장은 굴착깊이를 H라 하면 0.15×H로 하며 최소 1.5m 이상이어야 한다. 즉, '설계자유장 > (앵커지점에서 파괴면까지의 거리 + 0.15H)' 로 하며 이 때 토사지반에서 최소 설계자유장은 4.0m이상을 확보해야 한다. 또한, 연약지반 상 흙막이벽 또는 비탈면활동이 예상되는 경우에는 한계평형해석에 의한 임계원(critical circle)을 기준으로 자유장을 결정한다.

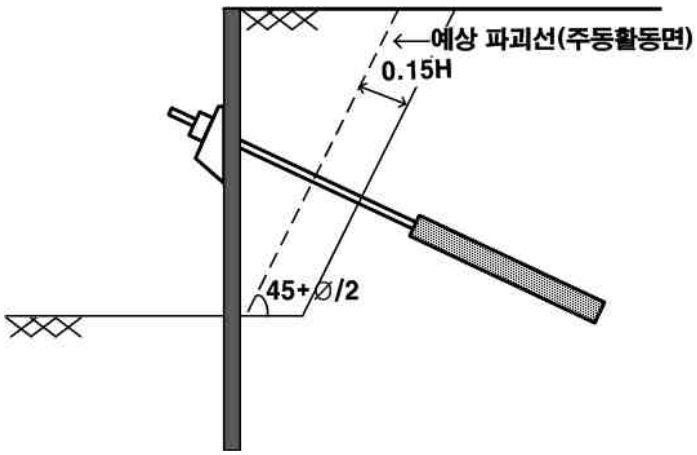


그림 2.9 앵커 자유장 결정을 위한 예상파괴선

일반적으로 흙막이, 옹벽 등과 같이 토압을 받는 구조물에서는 적어도 예상파괴면(주동활동면) 아래 깊이에 앵커체가 위치하도록 자유장을 결정해야 한다. 또한, 비탈면 붕괴방지를 위해 앵커를 사용하는 경우, 예상파괴면(주동활동면)보다 깊은 지반에 앵커체가 설치되어야 하며, 앵커체의 외측을 통과하는 활동에 대해 소정의 안전율을 얻을 수 있도록 자유장을 설정하지 않으면 안된다. 흙막이 벽체에 앵커를 사용하는 경우 앵커체는 예상파괴면(주동활동면)의 외측에 있더라도 흙막이 벽체의 변형에 동반하여 주변지반과 함께 변위를 일으키는 경우가 있다. 특히 양질의 지반에서 앵커자유장이 짧은 경우에는 더욱 주의가 필요하다.

(2) 인장재자유장

인장재의 자유장은 변형을 고려하고 소요 인장력을 확보할 수 있도록 정해야 한다.

인장재 자유장이 긴 경우는 앵커로 보강된 구조물에 변위가 생기더라도 잔존인장력의 영향은 작고, 앵커체 설치지반이 크리프 변위를 일으킨 경우에도 잔존인장력의 변화가 작다. 이와 같이 인장재 자유장은 앵커정착 후에 변위가 생기더라도 잔존인장력을 유지하는 완충재로서의 기능이 있다.

(3) 앵커정착장

앵커의 정착장은 설계인장력을 확보하는 길이 이상으로서, 앵커체 저항길이와 부착저항길이 중 큰 값으로 한다. 설계앵커력이 작은 경우에는 앵커정착장을 짧게 할 수 있지만 너무 짧게하는 경우에는 지반조건이 조금만 변화해도 극

한인발력에 큰 영향을 줄 수 있으므로 토사층인 경우 최소 정착장은 토사층일 경우는 4.5m이상으로 한다. 반면, 앵커정착장을 길게 하더라도 극한인발력이 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, $L_{bond} = MAX(L_{bf}, L_{bs})$

마찰정착장, $L_{bf} = \frac{T_{Design} \times F.S}{\pi \cdot D \cdot \tau_f}$, $L_{bf} = \frac{T_{Design} \times F.S - q_a \cdot A}{\pi \cdot D \cdot \tau_f}$

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

여기서, T_{Design} : 앵커의 설계축력
$F.S$: 설계 안전율
D : 앵커의 천공 직경
τ_f : 주변토층의 마찰력
τ_a : 인장재의 부착력

2.3.9 앵커의 안전율

앵커로 보강된 구조물의 안정해석에 작용하는 안전율은 가설앵커의 경우 1.5, 영구앵커의 경우 2.5로 정한다.

[해설]
앵커로 보강된 구조물의 안정해석에 적용하는 안전율 기준은 다음과 같다.

표 2.6 앵커내하력의 안전율 Fs

앵커의 종류		공용기간	극한인발력에 대한 안전율
가설앵커		2년 미만	1.5
영구앵커	평상시	2년 이상	2.5
	지진시	2년 이상	1.5~2.0

※ 흙막이 구조물의 경우에는 '구조물기초설계기준(2009,국토해양부)'를 따를 수 있다.

2.3.10 전체계의 안정

앵커를 설계할 때에는 전체계의 안정을 만족하고 있는지를 검토해야 한다.

[해설]

(1) 깊은 굴착의 흙막이

흙막이 벽체의 안정에 관한 검토는 다음과 같다.

① 흙막이 벽체의 지지력

흙막이 벽체의 지지력 검토는 흙막이 벽체의 자중, 재하중 및 앵커의 수직분력에 대하여 실시하며, 흙막이 벽체의 근입깊이부가 충분한 지지력을 갖고 있어야 한다. 흙막이 앵커는 하향방향으로 타설되므로 수직성분에 대한 인장력의 지지력이 부족하면 흙막이 벽체는 침하하여 앵커의 인장력이 감소하고 흙막이 벽체가 밀려나올 가능성이 있다. 이에 대한 대책으로는 흙막이 벽체의 근입깊이를 늘리거나 또는 앵커 경사각을 여유있게 하는 방법이 있다. 흙막이 벽체의 지지력의 검토는 말뚝의 지지력 공식을 사용한다.

② 터파기 밑면의 안정

터파기 밑면의 안정검토는 근입부의 측압의 균형, 히빙, 보일링에 대하여 실시한다.

히빙은 연약한 점성토 지반을 터파기한 경우에 흙막이벽 배면에 위치한 흙의 중량에 의해서 터파기한 밑면의 흙이 전단파괴를 일으키고, 굴착내측에 흙이 들어가 쌓인 현상을 말한다.

보일링에 대한 검토방법으로는 Terzaghi의 방법이 사용되고 있다. 보일링에 대한 안정성을 확보하기 위해서는 흙막이 벽체의 근입깊이 길이를 길게 하는 방법, 앵커 위치를 터파기면에 인접시키는 방법, 앵커단수를 늘리는 방법이 있으며, 이외에도 지반의 전단저항을 늘리는 방법이 있다.

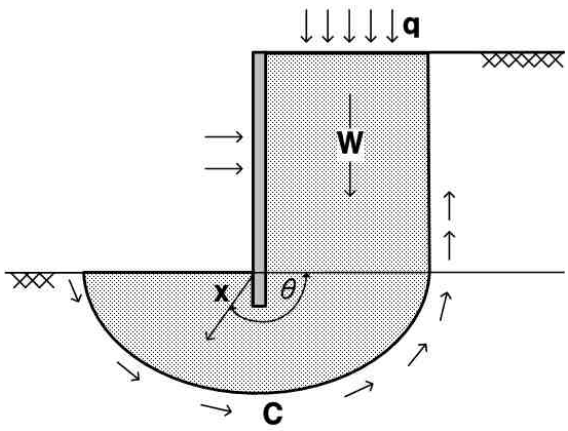


그림 2.10 히빙의 검토

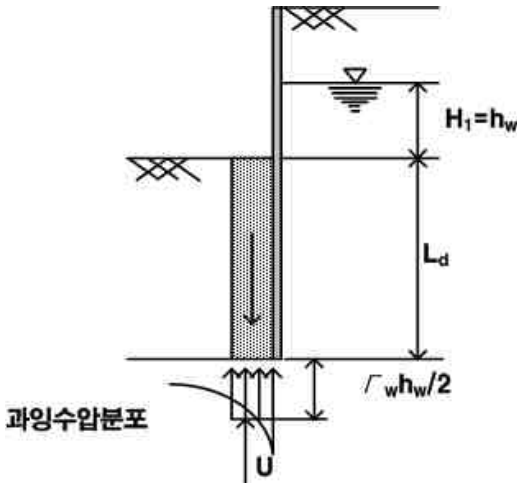


그림 2.11 보일링의 검토

③ 배면지반의 안정

배면지반의 안정은 앵커를 포함한 흙막이 배면의 흙덩어리 전체의 안정에 대하여 검토한다. 이 검토는 일반적으로 내적안정과 외적안정에 대하여 검토되는데 이중 내적안정의 검토방법은 일반적으로 kranz의 방법이 사용된다.

외적안정은 앵커체와 구조물을 포함한 지반전체의 붕괴에 대한 안정을 말한다. 외적안정에 대한 계산방법으로는 앵커선단근처 및 바닥 붙임면 깊이를 지나는 원호붕괴에 대한 안정성 검토를 하는 것이 일반적이다.

(2) 비탈면의 안정

비탈면의 안정에 대한 구조계의 안정검토는 앵커로 보강된 구조물 및 지반을 포함한 앵커선단을 지나는 활동면에 대해서 실시한고, 지질, 지하수, 붕괴형태를 고려하여 실시해야 한다.

비탈면의 붕괴형태는 일반적으로 지질형태에 따라 다르고 비탈면의 안정해석에 있어서는 붕괴형태 외에 외력조건을 생각해서 적절한 해석법을 선택하는 일이 중요하다. 안정해석은 앵커로 보강된 구간의 내부와 외부로 발생하는 모든 파괴형태에 대하여 안정하도록 앵커의 길이와 간격을 조절하면서 반복적으로 수행한다. 해석의 토질정수로 점착력(c), 내부마찰각(∅), 단위중량(ɣ)이 일반적으로 사용되고 있다. 일반적으로 비탈면안정에 사용하는 앵커는 계획안전율에 대한 부족저항력을 보강하도록 계획된다.

(3) 부력 등 수직하중을 받는 구조물의 안정

부력 등 수직방향의 하중을 받는 구조물의 안정에 관한 검토는 지금까지 설명한 흙막이 비탈면안정의 경우와 달리 앵커 주위에 위치한 지반의 하중(즉, 흙하중)을 고려한다. 이 흙하중의 형상을 원추상의 흙덩어리를 가정하여 인발하중과의 관계를 조사한다.

(4) 내적안정의 계산

내적안정계산이란 그라운드 앵커와 흙막이벽 관입부분 가상지점 사이의 깊은 활동면의 안정계산을 뜻한다. 가장 일반적인 내적안정 계산방법으로는 Kranz의 간이계산법이 사용된다.

Kranz의 방법은 앵커체의 중앙점과 흙막이벽의 가상지점을 연결한 직선(BE)을 깊은 활동면이라고 가정하였을 때 지반(ABED)의 내부에 주동활동면(BC)이 발생하면 흙막이벽(AB)에 주동토압이 발생하여 앵커지점에 반력(R)이 발생한다. 이 반력(R)은 E점에서 앵커를 통해 지반으로 힘을 전달한다. 이때 반력(R)이 지반(CBED)로 저항한다는 가정하에 지반(CBED)의 한계저항력을 구하고 그 수평력과 앵커의 설계력과의 비를 안전율로 하는 것이다.

한계저항력의 수평분력(R_{hmax})은 다음 식으로 구할 수 있다. (사질지반의 경우 c=0으로 한다.)

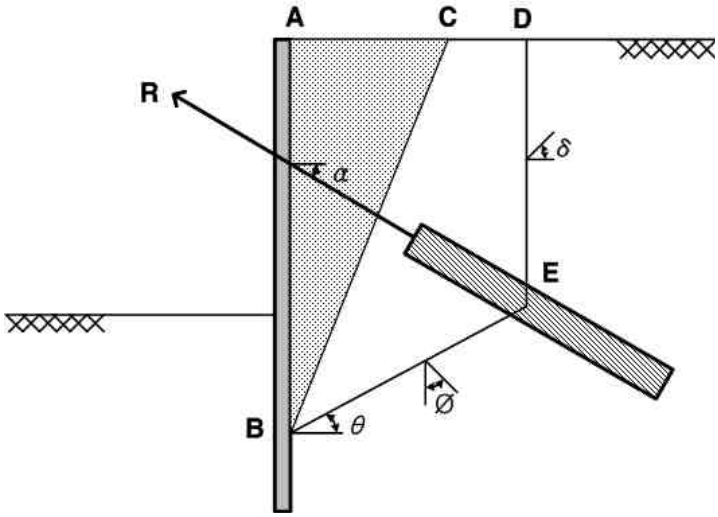


그림 2.12 kranz의 내적안정 검토법

$$E_{rh} = [W - (E_{ah} - E_{1h})\tan\delta]\tan(\phi - \theta)$$

$$R_{hmax} = f_A(E_{ah} - E_{1h} + E_{rh})$$

$$f_A = \frac{1}{1 + \tan\alpha \cdot \tan(\phi - \theta)}$$

여기서, W : 깊은 활동선에 작용하는 토괴의 중량(kN/m)

E_a : 흙막이벽의 상단에서 가상지점까지의 흙막이벽에 작용하는 주동토압(kN/m)

E_1 : 가상 앵커 정착면에 작용하는 주동토압(kN/m)

ϕ : 흙의 내부마찰각(°)

δ : 벽의 마찰각(°)

θ : 깊은 활동선의 경사각(°)

α : 앵커의 경사각(°)

(5) 외적안정의 계산

외적안정의 구체적인 계산방법은 원호활동법으로 수행하는 것이 일반적이다. 즉, 원의 중심을 중심에서부터 앵커선단 바깥쪽으로 바꾸어 가면서 안전율을 구한 뒤 그 중 최소값을 외적안정계산의 원호활동에 대한 안전율로 한다. 일반적인 안전율의 값은 1.2~1.5을 사용하지만, 독일표준협회(DIN 4084)의 규정에 따르면 1.4이상으로 하고 있다.

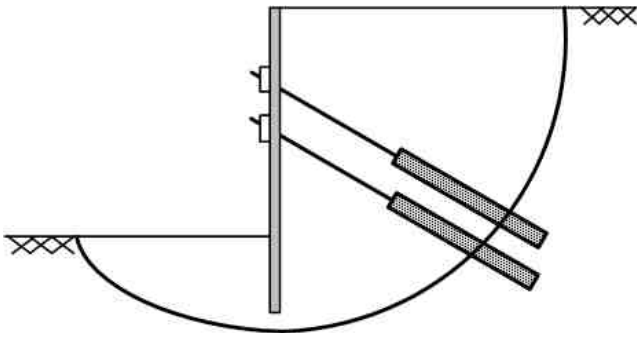


그림 2.13 원호활동법에 의한 외적안정의 검토

2.4 그라운드앵커 두부의 설계

(1) 앵커두부는 허용앵커력에 대한 강도를 가지며 유해한 변형을 일으키지 않는 구조로 한다.
(2) 재긴장 또는 재하의 필요성이 있는 경우에는 인장재의 여유장 및 재긴장이 가능한 정착구를 사용하여야 한다.
(3) 앵커두부는 부식에 대한 손상을 받지 않도록 부식에 대한 내구성이 있는 재료를 사용하여야 하며, 방청유를 공극이 없도록 충전하여 방청유가 새어나오지 않는 구조로 설계하여야 한다.

[해설]

(1) 앵커두부는 정착구와 지압판으로 구성된다. 구조물에 작용하는 힘을 인장력으로 인장부에 전달하기 위한 부분으로 변형 · 손상을 일으키지 않고 앵커로 보강된 구조물에 하중을 무리없이 전달할 수 있어야 한다. 또한, 앵커 공용기간 중에 앵커의 인장력을 유지하는데 무리가 없도록 방청처리가 된 것을 사용하여야 한다.

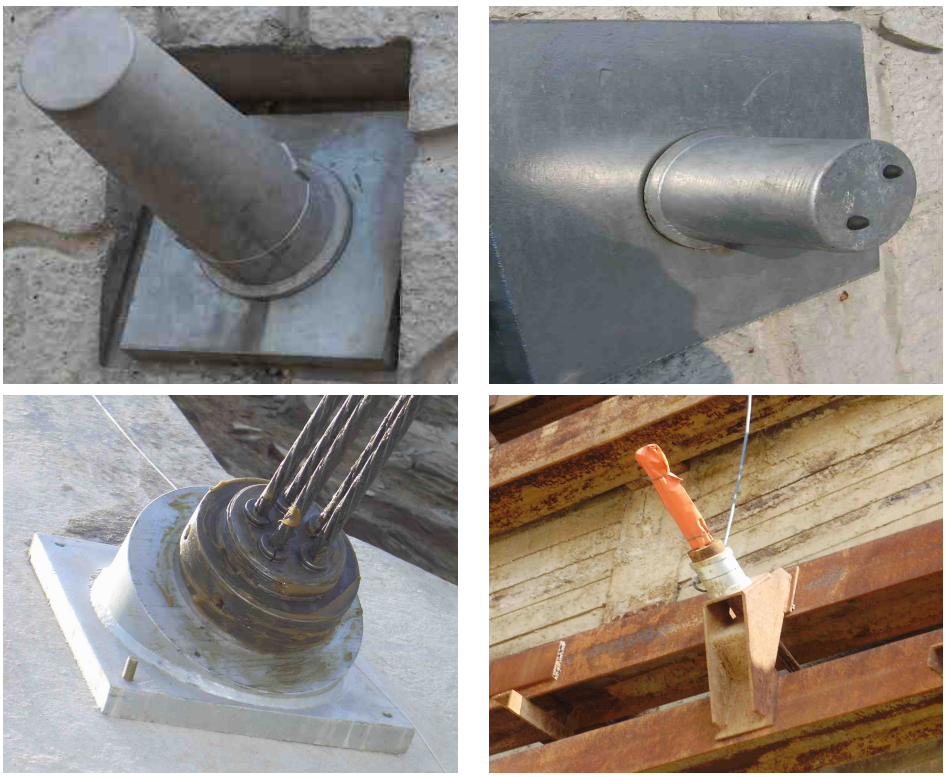


그림 2.14 구조물의 상황에 따른 앵커두부

(2) 앵커 인장재의 릴렉세이션이 발생하거나 지반에 크리프가 발생하면, 시간

이 경과함에 따라 앵커의 프리스트레스력이 감소하는데, 이 같은 경우는 앵커 인장재를 재긴장을 해주어야 한다. 또한 로드셀을 교환하거나 설계앵커력 이상의 하중이 작용하는 경우에도 재긴장이 필요한 경우이다. 재긴장이 필요한 경우에는 인장재의 여유장을 남기고 절단하거나, 재긴장을 할 수 있는 정착구를 사용하여야 한다.

이런 가능성에 대하여 충분한 검토를 하여 설계단계에서 정착구의 구조를 결정해야 하며, 재하나 재긴장 시에 인장력을 풀어주는 상황에 대비한 인장재 자유장을 결정하여야 한다.

(3) 앵커두부를 보호하는 방법에 대해서는 앵커가 설치되는 환경조건을 충분히 검토한 후 결정한다. 앵커의 두부를 보호하기 위해서는 일반적으로는 두부에 캡을 씌우는 방법을 사용한다. 또한, 현장상황을 감안할 때 두부캡의 파손 등이 예상되는 경우에는 두부캡을 콘크리트로 피복하는 등의 대책을 마련하여 시행한다. 두부캡은 인장재나 정착구를 부식시키는 물이나 산 등의 물질을 침투시키지 않는 구조이어야 하며, 두부캡의 재료는 외부의 충격에 대해 충분한 강도를 가지고 산 등에 대한 내구성이 있는 것을 사용해야 하는데 일반적으로 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 알루미늄합금 및 크롬도금강 등이 사용되고 있다. 또한, 두부캡은 방청유가 흘러나오지 않으면서도 증발 등에 의해 방청유의 감소가 우려되는 경우에는 보충할 수 있는 구조를 갖추어야 한다. 두부캡의 내부는 공극이 없도록 방청유로 완벽하게 충전해야하고 방청유는 장기내구성과 안전성을 가지며 기온의 변화에 의해 변질되거나, 유출되지 않는 품질을 갖추고 있어야 한다. 즉, 앵커두부 보호공 내부는 고온인 경우가 많으므로, 고온에서도 유동성을 유지하고 변질되지 않는 장기안정성을 가진 방청유를 사용해야 한다.

2.5 그라운드앵커 수압판의 설계

2.5.1 수압판 설계 일반

(1) 수압판은 앵커 두부의 인장력을 지반에 분산, 전달시키는 목적으로 사용된다.
(2) 인장재의 반력을 지반에 균등하게 전달하여야 하고, 허용응력설계법 또는 강도설계법으로 설계하여야 한다.
(3) 수압판에 작용하는 하중은 상시하중과 일시하중으로 구분할 수 있는데 상시하중으로는 설계앵커력이 작용하며 일시적으로 크게 작용하는 지진하중이나 초기인장력은 일시하중으로서 설계앵커력의 1.5배를 초과해서는 안된다.
(4) 철근콘크리트 수압판 또는 프리스트레스트 콘크리트 수압판설계시 일시하중에 대해서 극한강도를 만족하여야 하며 상시하중에 대해서 사용성을 만족하여야 한다.
(5) 현장타설콘크리트 격자형태의 수압판 설계시 십자형 수압판에 준하여 설계한다.

[해설]

(1) 수압판의 정의 및 종류

① 그라운드 앵커에 사용되는 수압판은 앵커 두부의 인장력을 지반에 분산 전달시키는 목적으로 사용되는 것으로 콘크리트와 강철 보강재 혹은 철, 알루미늄 합금 등을 주재료로서 제작되는 블록형태의 구조물을 말한다.

② 수압판은 비탈면 지역, 깎기비탈면, 기 설치된 석축이나 옹벽 등의 안정에 사용되는 영구앵커의 인장력을 장기에 걸쳐 보존·유지할 수 있어야 한다.

수압판은 앵커의 인장력을 보존하고 유지하는 특성을 갖는다. 자연비탈면, 깎기비탈면, 기 설치된 석축이나 옹벽의 안정 등 수압판이 이용되는 곳은 여러 곳이지만, 어느 경우에도 앵커를 지반에 정착시키려면 앵커의 인장력을 보존·유지할 수가 있는 반력 구조물을 사용하는 것이 필요하다. 수압판은 앵커의 기능을 충분히 발휘하기 위해 매우 중요한 구조물로서 수압판을 선정하기 위해서는 앵커의 목적, 성질과 상태, 규모나 비탈면의 상태, 시공환경을 고려하여 적절한 것을 선택할 필요가 있다.

(2) 수압판에 필요한 성능

① 수압판은 인장재의 반력을 가능한 균등하게 분산하여 지반에 전달하는 구조이다.

② 콘크리트제 수압판은 큰 균열 등이 발생하지 않도록 또 철제·알루미늄 합금제수압판은 소성변형을 일으키지 않도록 설계 앵커력을 결정하여야 한다.

③ 수압판의 내하력설계 방법은 허용응력설계법 또는 강도설계법에 따라 역학적으로 설계하여야 한다.

④ 수압판은 가혹한 환경에 있어도 장기간의 내하력을 유지할 수 있어야 한다. 따라서, 염분이나 산성 가스가 있는 환경의 경우는 내식성에 대해 특별히 고려하여야 한다.

⑤ 수압판은 원칙적으로 상하 좌우로 앵커의 설치 각도의 조정이 가능한 것으로 한다. 앵커축선과 수압판상의 지압판이 수직이 아닌 경우에는 수압판 자체를 기울여서 각

도를 조정하거나 앵커의 부착부와 앵커 축선과의 각도 조절이 가능한 수압판을 사용할 수도 있다.

(3) 설계상의 하중과 반력

① 수압판의 설계 하중은 다음과 같다.

수압판에 지속적으로 작용하는 하중은 설계 앵커력이므로 설계 앵커력을 상시하중으로 한다. 지진시 하중, 또는 통상 설계 앵커력의 1.5배 이내인 일시 하중인 경우에도 그 크기가 인장재의 항복하중의 90%보다 크게 하면 안 된다.

② 수압판의 설계상 지반반력은 등분포에 분포하는 것으로 한다.

수압판에 생기는 지반반력의 분포는 지반의 조건에 따라서 다르지만, 일반적으로는 등분포로 분포하는 것으로 가정하여 설계한다.

③ 수압판에 작용하는 앵커력에 비해 자중에 의한 수압판 응력도는 무시할 만큼 작기 때문에 크리프와 콘크리트 설계에서는 수압판 및 앵커두부의 자중은 무시할 수 있다.

④ 수압판에 하중을 재하하였을 때 수압판에 큰 잔류변형이 생기거나 지반의 허용지지력을 넘는 반력이 생겨서는 안된다. 즉, 지반 반력을 충분히 견딜 수 있을 정도로 수압판의 면적을 충분히 크게 하여야 한다.

표 2.7 수압판의 설계 하중

	상시하중	일시하중
영구 앵커	설계 앵커력	지진하중 또는 초기인장력으로 설계앵커력의 1.5배 이내

지반의 허용 지지력은 표 2.8을 참고한다.

$$q_a \geq \frac{T_d}{A}$$

여기서, q_a : 지반의 허용 지지력

T_d : 설계 앵커력

A : 수압판의 수압면적

표 2.8 지반의 종류와 허용 지지력

지지 지반의 종류		허용 지지력 $q_a(kN/m^2)$	비고	
			일축압축강도 $q_u(kN/m^2)$	N치
암반	균열의 적은 균등한 경암	1,000	10,000이상	-
	균열이 많은 경암	600	10,000이상	-
	연암·이암	300	1,000이상	-
역층	조밀한 것	600	-	-
	조밀하지 않은 것	300	-	-
사질토 지반	조밀한 것	300	-	30~50
	중위인 것	200	-	20~30
점성토 지반	매우 딱딱한 것	200	200~400	15~30
	딱딱한 것	100	100~200	10~15
	중간정도의 것	50	50~100	4~8

(4) 수압판 설계시 주의사항

① 수압판이 설치되는 지반 표면의 굴곡이 심하여 집중응력이 발생하지 않도록 표면을 버림콘크리트, 숏크리트 또는 모르타르 등으로 평탄화하여 수압판을 설치하여야 한다.

② 수압판 주변 지반이 강우시 세굴되지 않도록 조치하여야 한다.

2.5.2 철근 콘크리트 수압판

철근 콘크리트제 수압판(이하 RC수압판이라고 한다)이란 콘크리트와 철근을 주요 재료로 제작되어 철근 콘크리트의 이론에 의해 설계되는 앵커용 수압판이다. RC수압판은 앵커 인장재의 인장력을 지반에 전달하는 수압판으로 충분한 강성을 가지는 구조로 하여야한다. 부재의 설계 방법은 강도설계법에 따른다.

[해설]

(1) RC수압판은 앵커 두부와 지반 사이에 있는 철근 콘크리트 구조의 블록으로 앵커력을 지반에 전달하는 역할을 한다. 철근 콘크리트는 콘크리트가 압축응력을 철근이 인장응력을 부담하는 일체화된 구조로서 외력에 저항하도록 만들어진 것을 말한다.

(2) RC수압판의 주요 재료는 정해진 품질 기준을 만족하여야 하므로 일반적으로 시멘트는 KS L5201에 정해진 포틀랜드시멘트, KS L5210에 정해진 고로시멘트 등을 사용하고 철근은 KS D3504 환강, 이형봉강 혹은 동등 이상의 품질인 것이 확인된 제품을 사용한다. 공장 제품에는 일반적으로 보통 포틀랜트 시멘트나 조강 포틀랜트 시멘트가 사용되지만 제품의 필요한 성능이 만족된다면 다소 경화 시간은 늦지만 용광로 시멘트나 플라이에쉬 시멘트를 이용해도 좋다. RC수압판은 원칙적으로 KS에 규정된 재료를 사용하지만 KS에 규정된 것 이외의 재료를 사용하는 경우에는 충분한 실적이 있거나 시험을 통하여 안전성이 확인된 것을 사용해야 한다.

(3) RC수압판의 형태는 평면 형태로 막대 모양과 평판 모양으로 나뉘고, 설계 앵커 하중이나 지반 지지력, 미관 등을 고려하여 형태를 선정한다. 그림 2.15 ~그림 2.18은 일반적으로 사용되는 RC수압판의 형태를 예시한 것이다.



그림 2.15 십자형수압판 (예1)



그림 2.16 십자형 수압판 (예2)



그림 2.17 복합형수압판 (예)



그림2.18 사각평판수압판(예)

(4) RC수압판에는 프리캐스트 콘크리트, 현장타설 콘크리트 또는 부분 프리캐

스트 콘크리트를 적용할 수 있다. 즉, 미리 공장에서 제작된 프리캐스트 콘크리트 제품과 철근과 보강재를 조립한 거푸집에 고유동 콘크리트를 현장타설하는 현장타설 콘크리트 제품으로 크게 구분할 수 있으며, 주요 구조부분을 미리 공장에서 제작하여 중앙의 속이 빈 부분에 현장타설 콘크리트를 충전하는 부분 프리캐스트 콘크리트 제품도 있다.

(5) RC 수압판은 강도설계법으로 설계하는데 강도설계법은 극한강도설계법이라고도 하며 부재의 극한강도에 강도감소계수를 적용하여 설계강도를 구하고 이를 소요강도와 비교하여 단면을 결정하는 방법이다. 소요강도는 하중계수를 적용한 단면력의 조합을 통하여 계산한 계수하중이며 설계하중과 같다. 본 지침에서 규정하지 않은 내용은 철근콘크리트구조설계기준 등 관련기준을 준용한다.

(6) 수압판에는 상시에 설계앵커력이 작용하며 일시적으로 작용하는 최대하중(초기인장력이나 지진시 하중)의 경우에도 설계앵커력의 1.5배를 초과해서는 안된다. RC수압판은 상시하중에 대하여 균열에 대한 사용성을 만족해야하며 일시하중에 대하여 극한강도를 만족해야한다.

(7) 강도설계법에 의한 단면의 안전성 검토는 '콘크리트구조설계기준(2007, 국토해양부)' 을 따라 휨, 전단, 지압에 대해 실시한다. 다만, 수압판 두부에 절삭부 등 단면이 줄어드는 부위가 있는 경우에는 불리한 단면에 대해 펀칭전단에 대한 안전성 검토를 실시하는 것으로 한다. 수압판을 보로 가정하여 검토하는 경우에도 수압판 두부에 절삭부가 있는 경우는 절삭부 단면에서 펀칭전단 검토를 실시하는 것으로 한다. 이 경우의 펀칭두께는 앵커 두부 수압판 저면의 두께로 한다.

(8) 부재 단면의 설계

휨모멘트 및 전단력은 설계 앵커력과 동일한 지반반력이 작용하는 것으로 검토한다. 이때, 수압판의 자중은 무시한다. 수압판과 지반이 밀착되어 있는 것을 전제로 설계 앵커력은 등분포 지반반력으로 유지되고 있는 것으로 설계한다. 또한, 앵커 설치각이 있지만 이것을 무시하여 수압판에 직각으로 지반반력이 작용하는 것으로서 설계한다. 안전성 검토를 위한 해석 모델은 기본적으로는 캔틸레버보로 계산한다. 그러나 보의 높이가 지간에 비해 높은 경우에는 정밀도가 떨어지므로 깊은보 설계법이나 스트럿-타이 모델을 적용할 수 있다.

2.5.3 프리스트레스트 콘크리트 수압판

프리스트레스트 콘크리트 수압판이란 프리스트레스트 콘크리트 부재로서 설계·제조되는 수압판이다. PC수압판은 그라운드 앵커 인장재의 인장력을 지반에 전달하는 수압판으로 충분한 강성을 가지는 구조로 한다. 부재의 설계 방법은 허용응력설계법 및 강도설계법에 따른다.

[해설]

(1) PC수압판은 콘크리트를 주재료로 한 프리캐스트 제품이고 균열을 억제하기 위하여 프리스트레스를 도입한 것으로 RC수압판에 비하여 고강도 콘크리트가 사용된다.

(2) 재료

PC수압판의 재료는 원칙적으로 KS L5201에 정해진 보통 포틀랜트 시멘트 혹은 조강 포틀랜트 시멘트를 사용한 고강도 콘크리트, 보강재에는 KS D3505에 정해진 이형철근 및 KS D7002에 정해진 PC강봉 혹은 이것과 동등 이상의 성능인 것이 인정된 보강재를 사용한다.

PC수압판은 시멘트나 강재 등 주요한 재료에는 KS에 규정된 재료 혹은 그것 이상의 성능인 재료를 사용한다.

프리스트레스를 조기에 도입할 때는 보통 포틀랜트 시멘트 혹은 조강 포틀랜트 시멘트가 사용되고 있다.

(3) 형태

PC수압판의 평면 형태는 막대 모양에서는 십자형, 평판 모양에서는 복합형 및 사각형이 일반적이나, 다각형, 원형 등 여러 가지 형태가 사용되기도 한다. 구조 치수는 운반을 고려하여 최대 3.0m×3.0m의 크기가 적당하다.

(4) 제조 방법

PC수압판은 대부분 고강도 콘크리트를 사용한 공장 제품이다.

PC수압판에 사용되는 콘크리트는 프리스트레스를 도입할 수 있도록 설계기준강도가 $50N/mm^2$정도 이상의 고강도 콘크리트를 사용하는 것이 일반적이다. 앵커 설치각을 ±10° 까지 조절 가능하도록 제조하되, 설치각이 그 이상인 경우에는 별도의 장치를 통하여 조절 가능하도록 제조한다.

(5) 설계 방침

PC수압판은 그라운드 앵커의 인장재 인장력을 지반에 전달하는 수압판으로 충분한 강성을 가지는 구조로 한다.

부재의 설계는 원칙적으로 콘크리트 구조설계기준(2007, 한국콘크리트학회)의 '제 9 장 프리스트레스트 콘크리트' 편을 참고하여 강도설계법과 허용응력 설계법으로 부재를 설계하고 균열발생 등 사용성을 검증한다.

(6) 하중

① 상시 하중인 설계 앵커력(T_d)에 대하여 사용성을 만족할 수 있도록 설계한다.

사용성이란 일반적인 사용 상태 및 내구성에 관한 것으로 이론상 균열이 발생하지 않도록 설계한다.

즉, PC수압판은 상시 하중, 즉 설계 앵커력에 대해서 사용성이 만족하도록 설계하고 이 하중을 제품규격하중으로 한다.

② 일시하중은 지진시 하중 혹은 초기인장력으로서 그 크기는 설계 앵커력의 1.5배 이다. 강도설계법으로 설계하는 경우 일시하중에 의한 단면력이 극한 강도를 만족할 수 있도록 설계한다.

(7) 지반의 반력분포

지반의 반력분포는 등분포 하중으로 한다.

(8) 안전성 검토 항목

안전성 검토는 휨, 전단 및 펀칭 전단, PC강재 인장력에 대해서 실시한다.

검토위치의 단면력 산정 시 앵커두부를 강체로 보고 지반반력에 대하여 위험단면에 대한 단면력을 계산한다.

십자형에서는 검토부재가 캔틸레버보로 거동하므로 앵커두부 인접 단면에 대하여 단면력을 산정하고, 복합형 및 사각형에서는 보와 저판을 일체로 생각하여 캔틸레버보로 보아 위험단면에 대하여 단면력을 산출한다.

PC수압판의 지반반력은 다른 종류의 수압판과 같게 등분포가 되는 것으로 설계한다.

2.6 앵커 설계의 재료

2.6.1 재료일반

(1) 앵커공사에 사용되는 재료는 서로 영향을 주지 않는 것으로 사용한다.
(2) 앵커의 재료는 각각의 목적에 적합한 품질과 성능을 만족하는지 확인된 것을 사용한다.

[해설]

(1) 앵커의 재료는 필요한 기능을 발휘할 수 있어야 하며, 앵커의 재료로 동시에 2종류 이상의 것을 사용하는 경우에는 각 재료가 서로 악영향을 주지 않는 것으로 사용한다.

(2) 앵커공사에 사용되는 재료는 앵커공법 특유의 시공성, 소요의 품질 및 성능을 충분히 만족할 수 있는 것이라야 한다. 따라서 인장력을 부여함으로써 유해한 변형이나 파손이 발생하지 않는 것은 물론 가공, 운반, 삽입 및 주입 시에 있어서도 파손이 발생하지 않는 사양을 가지고 있어야 한다.

앵커공법의 주요부재로는 인장재, 주입재, 두부정착구 및 영구인장재 구성용 부재 등이 있다. 인장재를 구성하는 인장재는 대단히 큰 인장력이 작용하므로 자유장부, 정착장부 및 앵커두부에 있어서 앵커로서의 성능이 충분히 만족할 수 있는 부재의 치수나 재질이 요구된다. 재료를 사용할 때는 KS규격 등 관련 기준 혹은 재료시험 등에 의해 그 품질이나 성능이 확인된 것을 사용한다. 또, 사용되는 모든 재료는 서로 나쁜 영향을 미칠 가능성이 있는 재료여서는 안된다. 앵커에 사용되는 재료는 케이블 가공이나 주입 등에 의해 다른 재질이나 재료의 접촉이 있으므로, 서로 해를 끼칠 가능성이 있는가를 사용하기 전에 검토하여 필요에 따라서는 현장시험을 해서 확인하는 것이 좋다.

특히, 사용실적이 없는 영구앵커공법에 있어서는 그 사용목적에 맞는 현장시험을 통한 확인이 필요하다. 국내에서 연구개발 또는 국외에서 개발된 영구앵커는 바로 영구앵커로서 채용하는 것이 아니고 가설흙막이 공사 등 단기간 사용하는 가설 앵커에 시험적으로 채용해서 시공성이나 내하력에 문제가 있는지를 충분히 실제 현장에서 검증 확인한 다음 영구앵커 공법으로 채택할 필요가 있다. 앵커공법은 다른 공사종류와는 많은 점에서 차이가 있으므로 기존 공법의 특징을 잘 살피고, 충분한 안정성과 신뢰성을 확보할 수 있도록 시공하는 것이 바람직하다.

2.6.2 인장재

앵커공사에 사용하는 인장재는 PC강선, PS강연선, 이형PS강연선을 사용한다. 이들은 KS D7002의 규격을 따라야 하며, PS강봉, 이형PS강봉은 KS D3505의 규격을 따른다. 각각 적합한 품질을 갖는 것으로 유해한 흠이 없는 것이여야 한다. 또 PS강재는 고강도이므로 그 재료특성을 충분히 파악한 다음 사용한다.

[해설]

앵커공사에 사용하는 인장재는 일반적으로 고강도의 PS강재를 사용하는 것이 인장재의 단면적을 줄일 수 있고 천공지름이 작아지므로 경제적이다. 고강도 PS강재는 앵커 및 앵커 구조물에 큰 프리스트레스력을 가할 수 있는 장점이 있지만 특성으로 다음 사항을 만족하는 재료를 사용하여야 한다.

① 파단시 신장이 클 것

② 작은 반경으로 만곡시켜도 꺾이지 않을 것

③ 시공상 직선성이 좋을 것

④ 릴랙세이션이 작을 것

⑤ 피로에 대하여 강할 것

⑥ 재질이 안정되어 있을 것

천공 길이나 설계하중의 변화에 대해서도 현장에서 절단, 조립을 할 수 있는 PS강봉은 커플러로 연결할 수 있지만 커플러 부분의 단면이 크기 때문에 접촉부분이 많아지면 시공성이 저하하는 단점이 있다. 또 PS강선이나 PS강연선은 휨에 대하여 비교적 영향을 적게 받지만 PS강봉은 휨으로 인한 강도저하 등 영향을 크게 받는다. 즉, 수압판 대좌의 각도가 당초부터 인장재 설치각도와 상이한 경우, 정착장치 조임 후에 결과적으로 경사정착이 되는 경우 등 PS강봉이 휨을 받게 되면 그 강도는 현저하게 저하한다.

2.6.3 정착구

인장재의 정착구는 설계인장강도를 견딜 수 있어야 하고, 정착구의 변형을 일으키지 않는 구조로 한다.

[해설]

정착방식은 쐐기정착방식과 너트정착방식의 두 가지로 대별되고 제각기의 인장부의 종류, 쐐기의 형태, 정착잭 등의 차이에 따라 세분화 된다. 또한, 앵커에 사용하는 정착구는 프리스트레스트 콘크리트에 사용되는 정착구와 동등 이상의 품질을 가져야 한다.

쐐기는 앵커용 PS강선 및 PS강연선의 긴장으로 파손되거나 미끄러지지 않고, 장기간 그 기능이 확보되는 제품이어야 한다.

그림 2.18은 정착구의 예시를 나타내었고, 그림 2.19는 쐐기의 예시를 나타내었다.

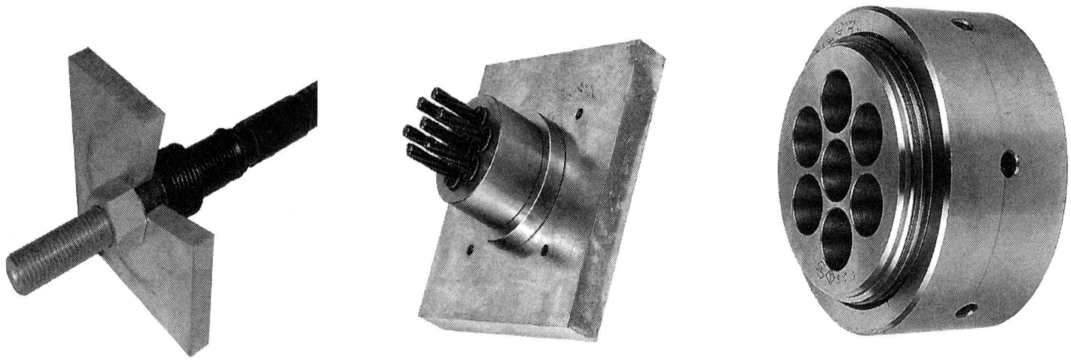


그림 2.19 정착구 (예)



그림 2.20 쐐기 (예)

2.6.4 주입재

앵커체를 형성하는 주입재는 주로 시멘트페이스트 및 시멘트모르타르를 사용한다.

[해설]

앵커에 있어서 주입재는 일반적으로 시멘트페이스트 및 시멘트모르타르를 사용한다. 그러나 시멘트모르타르는 모래의 함수량과 강도의 영향을 받기 쉽고 작업성이 좋지 않으므로 현장에서의 품질관리 면에서 문제가 많아 현재에는 거의 사용되지 않는다. 시멘트페이스트의 블리딩을 줄이기 위해서는 고품질 그라우트를 사용해야 한다.

(1) 시멘트

시멘트는 원칙적으로 KS L5201에 규정하는 보통포틀랜드시멘트 및 조강포틀랜드시멘트를 사용한다. 또 영구용 앵커의 주입재로서 내황산염 시멘트를 사용하는 경우는 충분히 검토한 다음 KS L5201에 규정하는 내황산염 포틀랜드 시멘트를 사용하도록 한다.

(2) 물

주입재에 사용하는 물은 그라우트의 응결강화, 강도의 발현, 체적변화, 워커빌리티 등의 품질에 나쁜 영향을 미치거나 강재를 녹슬게 하는 물질을 허용 함류량 초과하지 않아야 한다.

표 2.9 상수돗물 이외의 물의 품질

항목	품질
현탁물질의 양	2 g/l
용해성 증발잔유물의 양	1 g/l
염소이온량	150 ppm 이하
시멘트 응결시간의 차	초결은 30분 이내, 종결은 60분 이내
모르타르의 압축강도	재경 7일 및 재령 28일에서 90 이상

(3) 골재

주입재에 골재를 사용하는 경우 골재는 품질, 시공성을 고려해서 선정하고 또한, 품질의 저하가 우려되는 것은 사용해서는 안된다.

(4) 혼화재료

혼화재료는 현장상황에 따라 사용하고 충분한 조사나 시험을 통해 검증된 것을 사용해야 한다.

2.6.5 방청용재료

인장재는 앵커두부에서 앵커체까지의 앵커전장에 걸쳐서 방청 처리해야 한다. 여기에 사용하는 방청재는 내구성, 유연성 등 품질을 충분히 만족할 수 있는 것이라야 한다.

[해설]

방식재료의 조건으로는 앵커의 공용기간 이상 견딜 수 있는 내구성과 가공, 조립, 삽입 등 취급 중에 파손이 안되는 충분한 강도를 가지고 있어야 한다는 점, 인장부의 변형에 의해 손상되지 않을 수 있는 유연성, 인장재나 그라우트에 악영향을 미치지 않아야 한다는 점 등이 있다.

방식재료로서는 시멘트그라우트, 콘크리트커버 등 시멘트계 피복, 폴리에틸렌, 염화비닐, 폴리프로필렌 등 합성수지계 피복, 그리스, 페트롤레이텀(petrolatum) 등 방청유, 우레탄, 에폭시 등 도료류, 아연도금, 스테인리스강재, 주석도금, 크롬도금 등 도금류 등이 있다.

방식용재료는 방식의 기능이 장기간 지속되고, 인장재와 시스의 재료특성에 악영향을 주지 않으며, 인장부와 앵커체의 탄성변형을 구속하지 않는 것으로 하여야 한다.

정착구의 배면은 부식의 위험성이 가장 높기 때문에 방식에 충분히 주의할 필요가 있다. 또 앵커두부는 재긴장의 필요성에 따라서 적절한 방식방법을 선정할 필요가 있다.

앵커두부는 프리스트레스력을 유지하기 위한 주요한 부분이고 형상도 복잡하므로 방식은 신

중하게 할 필요가 있다. 정착구 배면은 인장부와 앵커두부가 경계가 되므로 방식공이 앵커지압판 등에 의해 불연속이 되고 부식의 위험성이 높다. 따라서 정착구의 배면과 인장부와의 경계부분에서 유해물질이 침입하지 않는 구조로 하는 동시에 정착구 배면에서는 그라우트와 방청유 등 방식재료가 확실히 충전되어야 한다. 또 정착구 전면에 대해서도 부식환경의 영향을 받기 쉽기 때문에 부식환경에서 보호될 필요가 있다. 부식방법으로서는 앵커두부를 오일캡 등으로 덮어 캡내에 방청유 등을 충전하는 방법이나 앵커두부전체를 콘크리트커버로 피복하는 방법 등이 있다. 더욱이 쐐기정착방식에서는 쐐기부분에서는 방청유를 충전해두고 시멘트페이스트, 모르타르 등이 쐐기와 쐐기사이로 유입하지 않도록 조치하는 것이 절대로 필요하다. 이물질 유입에 주의하지 않으면 쐐기효과가 없어지므로 특히 중요하다. 이물질 유입의 영향은 인장력을 PC강재의 극한강도의 60%이하, 특히 20~30% 정도의 비교적 약한 인장력을 도입하는 경우에 커진다.

2. 제 3 장 시공

3.1 시공계획

시공계획서는 공사전체의 규모나 내용 및 시공조건을 파악하고 앵커의 기능을 충분히 발휘하기 위한 시공방법 및 관리방법, 공사의 안전관리방법 등을 충분히 검토하여, 발주자나 관계기관이 승인한 것으로 공사담당자는 물론 각 시공담당자에게도 주지시키기 위해 사전에 입안·작성하여야 하며 가능한 상세하게 작성해야 한다.

[해설]

(1) 시공계획의 입안

시공계획서는 앵커공사 천공 전에 사전조사를 하여 충분한 검토를 한 다음 입안·작성한다. 시공계획서에 기재하는 대표적인 항목은 다음 4가지 항목으로 대별한다.

① 공사개요

공사전반에 관계되는 전체의 개요로 사전조사결과나 계획·설계를 위한 조건 및 공사에 대한 일반사항의 개요에 대하여 작성한다.

② 시공계획

각 시공관리 책임자나 시공담당자 및 안전관리자 등 전체 시공관리조직, 전체공정 및 가설비계획이나 사용기기재 등에 대하여 작성한다.

③ 시공요령

시공요령이나 시공흐름도 및 이들에 관한 상세한 설명이나 순서, 시공관리항목이나 관리방법 및 시공기록의 상세나 안전관리의 방법에 대하여 작성한다.

④ 기본시험·적합시험

조성된 앵커의 실인발내력이나 거동 특성을 파악하기 위한 시험내용이나 방법에 대하여 작성한다.

시공계획의 작성상 필요한 항목과 그 기재내용에 대한 예를 다음에 나타낸다.

표 3.1 시공계획서 항목일람

항 목	내 용
공사개요	- 일반사항 (공사명칭, 공사현장 및 지도, 발주처, 설계자, 종합시공자, 앵커시공자, 공사기간, 공사규모 등) - 부지조사 (부지의 치수, 면적, 지형, 수준 등) - 지반조사 (조사항목, 지하수위, 수질, 주변 사례의 자료 등) - 전체개요 (공사목적, 공사수량, 앵커배치도, 주상도 예 및 앵커단면도 등) - 계획·설계조건
시공계획	- 시공관리조직도 (안전관리체제·조직도 포함) - 공정계획표 (전체공정, 1회 반복의 개별공정 등) - 사용기기 및 재료 (명칭, 시방, 수량, 급배수용량, 전기설비용량 등)
시공요령	- 사용기기 및 재료의 검수와 보관 (천공기, 사용시멘트, 물, 혼화재료 등) - 사용기기, 자재의 반입반출 계획 (천공기, 그라우트 믹서, 크레인) - 천공요령 (순서, 방법, 천공위치선정, 설치정밀도관리, 천공여유장, 슬라임처리, 천공기록 등) - 앵커체의 조립과 삽입 (순서, 방법, 정밀도의 관리, 제작기록) - 주입재의 타설 (순서, 방법, 주입재의 비율, 시험반죽, 반죽, 시공기록, 가압순서, 방법 등) - 긴장 및 정착과 두부시공 (순서, 방법 등) - 환경보전대책 및 안전위생관리 (소음, 진동, 공해대책, 안전대책 등) - 시공관리기록 (기록시트의 작성, 기록사진 등)
확인시험	- 시험계획 (목적, 항목, 순서, 방법, 시험위치, 가력 및 측정장치의 종류와 검수, 반력장치 등) - 시험내용 (최대하중, 초기하중, 하중반복수, 증가하중, 하중속도, 하중유지시간, 측점수, 가력방법 등) - 시험결과 (기록시트의 작성, 기록사진, 결과의 판정 등) - 안전관리 (안전대책 등)

(2) 사전조사

앵커공사에 앞서 시공계획의 입안이나 시공방법의 상세를 결정하기 위해서는 사전조사가 필요하다. 사전조사의 목적은 앵커의 상세계획이나 설계된 조건을 만족하면서 안전하고 능률적인 시공을 위해 사전조사가 필요하다.

① 현지조사

부지의 상황은 임시설계계획이나 시공계획에 직접 영향을 끼치므로 부지형태, 부지의 경계, 부지의 면적, 형상, 부지내의 크기나 위치 등을 사전에 조사한다. 또한, 전력, 통신 등의 고가선 및 지주, 수목, 인접구조물, 도로설치물, 전력· 통신케이블, 가스관, 상·하수도관 등의 지하매설물, 구조물의 기초, 지하실, 우물 등 조사결과 지장물이 확실한 경우에는 지장물의 종류, 규모, 위치, 사용 현황 등을 확인하여 철거, 이설, 보호 조치 등에 대한 검토를 하고, 관리자와 협의하여 적절한 조치를 취한다.

② 환경조사

부지주변의 상황이나 각종규제 등은 공해방지대책이나 공정계획에 중요한 영향을 미치므로 교통상황(주변도로의 폭, 교통량, 교통규제 등), 인접건물(구조, 기초, 규모, 부지경계까지의 거리 등), 각종 규제(소음, 진동, 수질오탁 등의 공해에 대한 규제 등), 사토처분(사토운반의 경로 및 사토장의 확인과 산업폐기물 처리의 자격이나 규제 등)을 조사하여 건설공해 방지를 위해 노력한다.

(3) 지반조사

① 시추조사

시공위치의 지질은 천공장비의 선정이나 굴착능률 및 굴착정밀도 등 시공에 직접 영향을 미친다. 따라서 시추조사는 사전에 지층의 경사정도나 자갈지름 등 각 지층의 구성 상태나 각 지층의 물리적 성질, 역학적 성질을 정확히 파악할 목적으로 실시한다.

-조사항목 : 표준관입시험에 의한 N치, 지층구성상태나 전석의 유무, 지반의 투수계수, 물리시험에 의한 시료의 입도, 함수비, 단위체적중량, 자갈지름 등, 역학시험에 의한 점착력, 내부마찰각 및 일축압축강도

② 지하수조사

지하수의 성상은 앵커의 시공성, 품질 및 내구성에 큰 영향을 미친다.

- 지하수 조사항목 : 자연수위 및 그 변동사항, 피압수의 유무와 수두, 복류수의 유무와 그 유속, pH값, 황산이온, 염산이온, 유기물의 함유상황

3.1.1 가설비

앵커의 시공을 위해서 전력설비, 급수설비, 폐수처리설비, 플랜트설비 등 제반 설비를 준비하여야 하며 각 설비의 설치 공간, 천공을 위한 작업 공간, 인장재의 가공·보관 공간 등에 필요한 부지를 확보하여야 한다. 이들 가설비나 작업공간은 공법이나 공사규모, 사용장비의 종류나 시공조건 등에 의해 달라지므로 이를 고려하여 적절한 계획이 될 수 있도록 하여야 한다.

[해설]

(1) 플랜트 설비

플랜트설비는 믹서, 송수펌프, 그라우트펌프, 시멘트 저장하는 곳, 저수용 탱크 등으로 구성된다. 플랜트 설비에 필요한 부지는 약 50～100㎡가 필요하다. 단, 공기압에 의해 천공하는 경우에는 별도 콤프레서의 설치를 위해 3m×5m=15㎡ 정도의 공간이 추가로 필요하다. 한편, 앵커의 시공면적이 넓은 경우 플랜트로부터 앵커 시공위치까지의 거리가 길어져 주입호스의 설치 등 여러 가지로 불리하다. 또한 주입재의 압송거리가 길어져 압송 중 주입재가 변질될 염려가 있다. 따라서 플랜트설비의 설치위치는 가능한 앵커시공위치에 가깝게 설치하는 것이 바람직하다.

(2) 급배수설비공

앵커공사에 대한 급배수설비로는 천공용수, 공내세정용수, 혼합용수 등의 취수·급수·배수의 설비이다. 급배수설비는 플랜트설치와 같이 설치되는 경우가 많지만 현장의 환경을 충분히 고려해서 현장조건에 맞는 설치계획을 입안한다. 특히 폐수의 배수에 대해서는 공해 등을 충분히 고려한 설비를 하여야 한다. 소요급수 능력은 천공시의 제반 조건에 의해 달라지나 일반적으로 천공기 1대에 대해 150～250ℓ/min 정도이다. 용수는 수돗물을 사용하는 것이 일반적이나 수돗물을 이용할 수 없는 경우에는 하천수나 지하수를 사용한다. 그 경우에는 주입재의 품질이나 인장재의 부식에 대하여 악영향을 미치지 않는지 사전에 수질을 조사·확인해둘 필요가 있다.

천공수는 슬라임을 공밖으로 운반하여 배출시키는 역할을 한다. 그러므로 천공수는 천공 중에 생긴 토사와 섞여 운반·배출된다. 따라서 운반·배출된 폐수는 일시집수장이나 탱크에 모아 일반적인 공사 폐수와 같이 저류조(침사지)를 거치도록 하는 등 적절한 처리를 하여야 한다. 천공수의 입수가 곤란한 경우에는 사이클론 등의 설비로 물을 재활용하기도 한다.

(3) 전력설비공

전력설비란 앵커시공에 관한 시공기계를 위한 동력으로 전기를 공급하기 위한 설비이다. 이 전력설비는 현장환경이나 공사규모 등에 의해 크게 달라지므로 현장상황이나 사용기계 등을 고려한 다음 적절한 동력설비계획을 입안하여야 한다. 여기서 앵커의 시공에 필요한 전력은 천공기·송수펌프·믹서·주입펌프 등의 소비전력이고, 대략 40～100㎾/set 정도이다. 일반적으로 산업용 전력망을 통하여 전력을 공급하도록 설비를 계획하나 이것이 불가능한 경우에는 발전기를 사용하도록 한다.

전력설비계획에서 주의하여야 할 점은 캡타이어 코드의 처리이다. 전력은 송전선이나 발전기로부터 각 시공기계까지 캡타이어코드로 공급되나, 시공현장 내를 캡타이어코드를 늘어뜨린 상태로 끌고 다닌다던지 길게 연결하여 사용하면 누전이나 중기 등에 의한 절단의 위험이 수반된다. 따라서 캡타이어코드는 가능한 근거리에서 사용하는 것으로 계획하는 것이 바람직하다.

(4) 천공기설치

천공기는 천공위치의 계획고에 맞게 정리된 작업대위에 설치 및 고정한다. 또 타설 각도는 각도계를 사용하여 소정의 각도로 세팅한다.

그림 3.1은 천공장비 중 크롤러를 나타내었다.



그림 3.1 천공장비(크롤러)

(5) 인장재 보관과 가공장

인장재 보관장과 가공장은 앵커시공에 지장이 없는 장소에 설치한다. 면적은 폭 2.5～3m정도, 길이는 설계앵커길이 +5.0m정도가 필요하다. 인장재는 대

략 2.0t 전후로 직경 약 1.2m의 드럼감기 또는 세이풀로 반입하여 설계길이에 맞추어 강선커터로 절단·조립한다. 조립은 비계를 사용한 조립대 혹은 비계판을 깐 가공대 위에서 실시한다.

그림 3.2는 인장재를 디스펜서(dispenser)로 보관하는 것을 나타내었다.

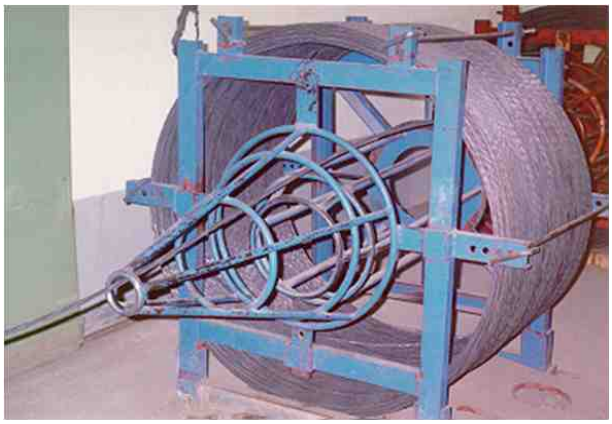


그림 3.2 디스펜서(dispenser)에 거치된 강연선

(6) 기타

운반공에는 앵커공사 시공기계류, 가설기재, 재료 등의 현장으로의 반입이나 반송 및 현장내의 소운반 등이 있다. 이들에 대한 필요 차량 대수나 종류 등에 대한 계획은 현장의 지형 조건이나 공사규모 등을 고려하여 현장에 적합하도록 수립한다.

3.1.2 시공 및 시공관리

(1) 앵커시공과 시공관리는 시공계획서를 기준으로 신중하고 확실하게 실시한다.
(2) 앵커 시공 중 계획 시 가정한 조건과 다른 상황이 발생하는 경우에는 그 원인을 신속하게 파악하고 적절한 대책을 강구한다.

[해설]

(1) 앵커시공은 시공계획서를 기준으로 행해지는 것으로서 책임기술자는 그 내용을 충분히 이해하여야 하며 특히 아래 항목은 확실히 숙지하여야 한다.

① 공사의 목적, 규모, 시공조건, 주변환경, 설계조건 등

② 지반조건, 인접구조물, 주변환경조건 등 시공에서 특히 주의를 요하는 사항의 유무

와 그 내용

또한, 시공관리는 작업순서의 각 작업항목마다 관리항목을 정하여 실시하고, 만일 관리기준치를 벗어난 경우에는 적절한 조치를 강구한다.

(2) 앵커시공에서 계획 시 예상할 수 없는 문제가 발생한 사례는 대부분 지반조건, 지하수 그리고 지중장애물에 의한 것이다.

- 지반조건에 의한 사례로 지층의 불규칙함이나 단층의 영향 등 지층구성의 복잡성에 기인하여 발생하는 것을 들 수 있다. 이 경우 문제점으로는 소정의 앵커체 설치지반을 확보할 수 없는 점, 지반조건과 천공기계의 부적합성에 의해 시공능력이 현저히 저하되는 점, 투수성이 큰 지반이나 균열, 공동이 존재하는 암반 등에서 천공수 또는 그라우트가 유실해버리는 점 등이 있다.
- 지하수에 의한 사례로는 고압의 피압수에 의해 천공입구에서 지하수나 토사가 분출하여 시공이 불가능해지는 경우, 지하수의 빠른 유속의 영향으로 그라우트가 주변지반에 유출되어 소정의 앵커체를 형성할 수 없는 경우 등이 있다.
- 지중장애물은 주로 도시지역의 흙막이 앵커공사에서 발생하는 경우가 있으므로 기존의 지하구조물이나 지하매설물에 대한 사전조사를 충분히 실시하고, 앵커시공시 천공정밀도를 확보하는 것이 중요하다.

앵커 시공 시 예상하지 못한 상황이 발생한 경우에는 그 원인을 조속히 조사하여 적절한 대책을 강구한다.

표 3.2 시공관리항목 일람 예

작업항목		관리항목
천공	기계반입	시공기계검수
	천공기 설치	설치 정밀도
	천공	천공장 검측
		앵커체 설치지반
	공내세정	세정수 농도
인장재조립 가공	재료반입	재료품질
	재료보관	재료보관 상태
	조립가공	인장재 본 수
		인장재 배열
		인장재 전장
		인장재 자유장
		인장재 구속장
		인장재 가공 상태
		인장재 보관 상태
인장재 삽입	삽입	손상·오염
		긴장여유장
그라우트 주입	재료반입	재료 품질
	혼합	재료 계량
		수온
		유동성
		굳기 시작하는 시간
	치환주입	주입량
		그라우트 강도
		배출 그라우트 농도
	가압주입	가압력·가압시간
	케이싱인발	인장재가 따라 올라옴
긴장·정착	긴장장치 반입	긴장장치 검수
	정착구 반입	정착구 검수
	정착구 보관	정착구 보관상태
	양생	그라우트 강도
	대좌설치	수압판 구조물의 강도
		두부배면 처리 상태
		대좌설치 상태
	정착구 세팅	세팅 정밀도
	긴장	인장력
		하중-변위 관계
	정착	정착시 인장력
두부처리	배면처리	방식처리 상태
	두부처리	방식처리 상태

3.1.3 안전대책

앵커 시공 시 공사에 따른 건설재해 및 환경오염을 방지하기 위해 관련 법규 및 규정, 지침을 준수하여야 한다.

[해설]

(1) 건설재해의 방지

앵커의 시공에 있어서도 다른 건설공사와 마찬가지로 안전사고를 방지하기 위해서는 산업안전보건법 등 관련 법규, 규정, 지침에 준해서 안전 설비를 갖추고 안전교육을 실시하는 등 안전 확보를 위해 노력해야 한다.

- 건설재해의 종류는 다음과 같다.
  ① 중기재해(굴착기, 크레인 등)
  ② 차량재해(덤프트럭, 생콘차, 자료운반트럭 등)
  ③ 비산・낙하재해(고소작업 등)
  ④ 감전재해(장내가설배선, 용접기, 수중펌프 등)

- 안전관련 법규 및 규칙은 다음과 같다.
  ① 근로기준법
  ② 건설기술관리법
  ③ 산업안전보건법
  ④ 산업안전기준에 관한규칙
  ⑤ 산업보건기준에 관한규칙
  ⑥ 유해・위험작업의 취업제한에 관한규칙

- 환경관련 법규는 다음과 같다.
  ① 환경정책기본법
  ② 환경영향평가법
  ③ 수질환경보전법
  ④ 대기환경보전법
  ⑤ 소음・진동규제법
  ⑥ 폐기물관리법

(2) 환경오염의 방지

-앵커시공 시 발생 가능한 환경오염의 종류는 다음과 같다.

① 천공 장비, 크레인, 플랜트 가동에 의한 소음, 진동

② 덤프트럭, 폐기, 운반차 등에 의한 주변도로의 오염

③ 토사 및 오니가 섞인 폐수 배출에 의한 도로 배수시설, 하수관 등의 매설, 폐쇄

④ 그라우트의 비산에 의한 주변의 오염

소음, 진동은 기준치를 초과하지 않도록 대책을 강구해야 하는 동시에 작업시간 내에 작업을 끝낼 수 있도록 하는 것이 중요하다.

3.2 천공

3.2.1 일반사항

앵커의 천공은 주변지반을 교란하지 않고 설계도에 표시된 천공지름·심도·위치·방향 등 시방을 만족할 수 있는 방법으로 시공하여야 한다. 또 천공의 품질이 시공된 앵커의 품질에 미치는 영향이 크기 때문에 천공 방법에 대해서는 충분한 검토를 통하여 결정할 필요가 있다.

[해설]

천공장비 및 천공시스템은 시공조건·지반조건·시공규모·기계특성·경제성 등을 고려하여 정밀시공이 가능하면서 주변 지반에 대한 영향이 없는 것으로 선정한다.

앵커는 시공되는 지반을 고려한 정착장을 확보하도록 시공하여야 하고, 앵커의 천공 시 지지층의 상태는 천공 시의 천공 능률이나 슬라임 상태 등으로 간접적인 확인은 할 수 있으나, 지지층의 확인이 어려운 경우가 많으므로 사전에 시추조사 등으로 지반 상황을 파악해 두어야 한다. 또 천공 시 함수비의 변화나 공벽의 붕괴를 최소한으로 줄이도록 주의하여야 한다.

천공 후, 공내의 슬라임 제거를 위한 수세를 할 경우, 배출수가 맑은 물에 가까운 상태가 될 때까지 실시해야 한다. 그러나 배출되지 않은 이물질이 있으므로 이물질이 모이는 부분의 크기만큼은 여분파기를 해야한다. 구멍이 수평에 가까워지면 여분파기는 길어지고, 경사가 급한 경우에는 짧아지는 것이 일반적이다. 또한, 천공 후에는 인장재의 삽입과 정착재의 주입작업을 신속하게 실시하여야 한다. 과입밀토·풍화암·점성토·연암 등 지반에서는 천공 후에 방치하게 되면 열화 붕괴가 일어나기 쉽기 때문에 주의해야 한다.

천공 시에는 오염되지 않은 깨끗한 물을 사용해야하고, 인장재에 녹이 발생하지 않도록 해야하며 정착그라우트의 품질에 영향을 미치는 물질을 포함해서는 안된다. 또 앵커의 내하력을 감소시킬 가능성이 있는 벤토나이트 현택액의 사용도 피하도록 한다.

겨울철에 한랭지에서 시공하는 경우에는 천공수가 동결할 수도 있으므로 온수를 사용하는 경우도 있다.

(1) 앵커 천공 시 유의사항

① 천공방법은 공벽의 붕괴를 방지하고, 인장재의 삽입이나 그라우트의 주입을 확실히 할 수 있는 방법을 채택하여야 한다. 일반적으로 케이싱 천공이 많이 적용되고 있다.

② 천공정밀도는 구조물의 중요도나 사용목적을 고려하여 정하며, 앵커가 다른 기존 구조물에 악영향을 주지 않도록 하고, 인접하는 앵커 상호간 간섭하지 않도록 충분한 정밀도를 확보해야한다.

③ 천공 중에 배출되는 슬라임의 상태와 천공속도 등으로 앵커체 설치지반의 위치별 지층 두께를 파악하여 시추 등 사전 지반조사의 타당성을 확인하는데 참고한다.

④ 물을 사용하여 천공을 하는 경우에는 천공수로 깨끗한 물을 사용하고 그라우트의 품질에 악영향을 미치는 물질이 포함하지 않게 한다.

⑤ 소요 천공길이보다 약 0.5m 내외의 깊이로 여유있게 천공하여 천공면으로부터 교란된 이물질이 낙하되어도 소요 천공깊이에 지장이 없도록 한다.

⑥ 천공 작업 후, 앵커체 삽입, 그라우팅은 천공 완료 후에 즉각 실시하는 것을 원칙으로 한다.

⑦ 책임기술자는 토층, 천공장, 천공경, 각도, 천공시간을 확인하여 기록하여야 하며, 매 천공시 보고서를 작성하여 설계 주상도와 항시 비교하여 정착장의 신뢰도를 확인한 후 시공하여야 한다.

⑧ 천공은 설계도서에 표시된 위치, 방향 및 길이를 만족해야 하고 또, 슬라임(slime)과 순환수에 의해 지층 및 용수(누수)의 유무를 판정하면서 공벽이 크게 손상되지 않도록 신중히 실시해야 한다.

⑨ 천공 후 지하수가 용출될 때 고압력 주입으로 선행주입 후 재천공하여 지하수의 용출을 방지한다.

⑩ 천공 작업 중 지하수위의 위치변화, 천공속도, 공내 세척시간, 용수, 지반상황 등을 기록, 보관해야 한다.

⑪ 공내청소

- 천공 후 바로 앵커체의 공내를 청소하여 슬라임을 제거하여야 한다.
- 공내청소는 공내에 청수 등을 보내어 슬라임을 배제하며, 슬라임의 배출이 안정될 때까지 반복하여야 한다.
- 공내 청소 시에는 인장부와 앵커체를 포함한 전체 천공부의 공벽을 보호하여야 한다.

그림 3.3은 시공 상황별 천공을 나타내었다.



그림 3.3 천공

3.2.2 비계공

비계는 천공기계나 재료 등 적재중량을 고려하여 충분히 안전한 구조로 설치하여야 한다.

[해설]

흙막이공사나 비탈면을 절취하면서 앵커를 타설하는 경우에는 굴착 지반이 앵커의 작업대가 된다. 비탈면붕괴 대책 등으로 기존 비탈면에 시공할 경우에는 비탈면에 단관파이프나 크램프 및 잭베이스 등으로 비계를 조립해야한다. 이 경우 시공 시에 비계의 침하나 변형 등 문제가 발생하지 않도록 단관비계의 간격이나 베이스의 지지력에 대하여 충분히 검토해야한다. 또 바닥에는 합판 또는 알루미늄 등으로 발판을 설치하여야 하며 골짜기 측 및 상하류단에는 추락방지를 위한 난간을 설치하여야 한다.

3.2.3 천공기기

주요한 천공장비에는 천공기·천공비트·천공용 펌프 등이 있다. 천공장비 선정을 위해서는 천공지반의 종류나 지하수의 유무 등 조건에 대한 충분한 검토를 하는 것이 중요하다.

[해설]

(1) 천공기

천공방법에는 단관식과 이중관식이 있다. 단관식은 관(케이싱파이프 혹은 드릴파이프)내에서 송수하여 관외로 배수하는 통칭 '외송방식'의 천공방식이고, 이중관식은 중관(이너로드)을 통해서 송수하여 외관(케이싱파이프)의 내측에서 배수하는 통칭 '내송방식'의 천공방식으로 외관·중관의 양쪽에 비트가 부착된 이중비트로 천공한다.

통상 사용되고 있는 천공기에는 케이싱파이프에 회전과 압입력을 주어 천공하는 로터리식(rotary) 천공기와 케이싱파이프에 회전과 공기압이나 유압에 의한 타격을 가해서 천공하는 로터리퍼커션식(rotaty percussion) 천공기가 있다. 또한 공기압으로 구동하는 다운저홀 해머를 로터리식(rotary) 천공기에 설치해서 실시하는 퍼커션식(percussion)의 천공방법도 있다.

천공기에는 자주식의 크롤러타입과 장치식의 스키드타입이 있다. 크롤러타입은 기동성이 있지만 좁은 부지나 경사지에서는 콤팩트한 크롤러타입이 적합한 경우도 있다.

로터리식(rotary) 천공기는 통상 스키드타입의 베이스에 탑재되어 비교적 경량으로 배대부지나 경사지에서의 시공에 적합하다. 또 소음·진동도 작다. 대상지반은 모든 종류의 지반에 적용되지만 호박돌이 섞인 모래자갈층이나 벼랑층·모래자갈·균열이 많은 풍화암에서는 능률이 상당히 저하된다. 또한, 피압지하수두가 높은 지반 등에는 부적당하다. 천공기의 형상에는 스핀들 타입과 롱피드 타입이 있다. 다운저홀해머를 사용하는 경우에는 롱피드타입의 천공기가 사용된다.

로터리퍼커션식(rotaty percussion) 천공기는 로터리(rotary)식으로서도 사용될 수 있는데 베이스머신에는 크롤러 타입과 스키드 타입의 양편의 결합이 가능하고 로드·천공비트 등을 추가시 사용 범위가 넓은 천공기가 된다. 따라서 모든 형태의 지반에 적용되고 호박돌이 섞인 모래자갈층이나 벼랑층·모래자갈·균열이 많은 풍화암에서도 그다지 능률이 저하하지 않고 천공이 가능하다. 또한, 피압지하수두의 높은 지반 등 조건이 좋지 않은 경우에도 대응하기 쉽다. 구동방식으로서는 전유압, 공기, 유압·공기병용이 있고 회전과 타격에 의해 굴착한

다.

(2) 천공비트

천공비트에는 로터리(rotary)식 천공기에 사용되는 메탈크라운비트, 로터리 퍼커션식(rotary percussion) 천공기에 사용되는 링비트, 크로넨비트, 링비트와 이너비트를 결합시킨 이중비트 등이 있다.

① 메탈크라운비트

앵커 착공용으로서 주로 토사지반을 대상으로 사용되며, 종류도 많다. 로터리(rotary)식 착공기에 많이 사용된다. 호박돌층을 제외한 모든 지반에 적용되나 경질지반 및 대심도의 굴착에는 능률이 저하된다.

② 링비트

로터리퍼커션(rotary percussion)식 착공기의 착공비트로 사용되고 모든 지반에 적용된다. 주로 모래자갈, 호박돌, 암반 착공용으로 사용된다.

③ 크로스비트

이너비트의 선단에 부착된 비트로 모래자갈, 호박돌, 암반을 회전타격으로 착공하는데에 사용된다.

④ 이중비트

링비트와 이너비트를 결합시켜 이중관착공시에 사용된다. 이중비트는 착공능력이 높기 때문에 풍화암, 연암, 호박돌, 벼랑층에 적합하다. 또 배수가 내송방식이므로 붕괴하기 쉬운 지반에 적합하다.

⑤ 크로넨비트

로터리퍼커션식(rotary percussion)식 착공기에 사용되고 있는 비트로 착공드릴파이프의 끝에 끼워져 토사에 박아 넣으면서 착공을 한다. 착공 완료 후에는 비트를 지중에 내려보내 주입을 한다. 비트에는 사질토, 모래자갈, 암반용이 있다. 역지벨브부착 크로넨비트는 피압수압에 의해 주입한 주입재가 역류되는 경우에 사용된다.

⑥ 다운저홀비트

다운저홀해머는 타격피스톤을 로터리(rotary)식 착공기의 선단로드에 설치, 암반 및 자갈을 파쇄해서 착공한다. 주로 연암이나 중경암 지반에 이용되나 붕괴성이 있는 지반에서는 외관케이싱과 함께 삽입하여 굴착한다. 피스톤 구동에는 공기를 사용한다.

그림 3.4는 천공비트 예를 나타내었다.



그림 3.4 천공비트

(3) 천공용 펌프

천공 시 일반적으로 천공수에 의해 슬라임이 배출된다. 천공기계나 투울시스템 뿐 아니라 천공용 펌프에 의해서도 시공 품질이 좌우되는 경우도 있으므로 천공용 펌프의 선정에도 충분한 검토가 필요하다. 또한 안전사고 방지를 위하여 이상 수압에 대하여 비상정지 기능이 있는 것이 좋다.

① 이중관식 천공시스템

착공에 수반해서 토사나 슬라임을 케이싱과 로드의 간극에서 배출하므로 케이싱외주에 고압, 다량의 물이 들어오는 경우는 드물다. 단, 슬라임을 확실히 배출하지 않으면 착공에 시간이 걸릴 뿐 아니라 고장의 원인이 된다. 따라서 대용량 펌프를 사용 유속을 상승시켜서 슬라임을 확실히 배출하는 것이 바람직하다.

② 단관식 천공시스템

링비트, 크라운비트 등을 이용하는 착공선단이 개방된 착공방식에서는 케이싱파이프 내에 토사가 들어오지 않을 만큼의 수량이 필요하다. 비점성토의 경우 수량이 필요이상으로 많아지면 토사의 이상배출의 원인이 되므로 주의가 필요하다. 점성토의 경우는 정착부분의 공벽을 정상적으로 유지하기 위해 충분한 세정수량이 필요하다.

표 3.3 천공에 필요한 수량(표준) 단위:*l/mm*

조건 / 기종	착공지름(mm)	비점성토	점성토
단관식	∅ 100~125 ∅ 130~160	100~180 150~220	150~250 200~300
이중관식	∅ 100~125 ∅ 137	130~250 180~300	180~300 250~400

3.2.4 천공정밀도

앵커의 천공 시 시공하는 앵커가 다른 앵커나 인접구조물 등에 영향을 미치지 않도록 천공정밀도를 확보해야 한다.

[해설]

천공정밀도는 구조물의 사용목적이나 다른 앵커와의 간격을 고려하여 정할 필요가 있다.
천공정밀도를 확보하기 위한 유의사항은 아래와 같다.

① 천공 단면의 변화나 국부적인 휨은 인장재의 삽입에 지장을 초래하든지 긴장시의 마찰손실의 원인도 되므로 최대한 억제시켜야 한다.

② 하방 경사의 천공시 공의 단부에는 제거할 수 없는 암석 부스러기, 이물질 등이 모이므로 이러한 부분에 앵커체가 설치되는 것을 방지하기 위하여 소요천공깊이 보다 깊게 여분파기를 할 필요가 있다. 여분파기는 0.5m 이상으로 하여 천공면으로부터 교란된 이물질이 가라앉아 소요 천공깊이에 지장이 없도록 한다.

③ 확공굴착기계를 사용하는 경우 확공부의 한계경사각을 초과하여 확공부 상단에 공기가 잔류할 수 있는 경우에는 공기를 배출시켜 앵커체 시공 시 상부에 공극을 남기지 않도록 할 필요가 있다. (그림 3.5)

④ 하향의 각도를 갖는 천공 시 천공종료 후 흙부스러기가 떨어지지 않도록 앵커공 입구를 마개로 막아줄 필요가 있다.

⑤ 천공지름은 규정된 치수이하가 되어서는 안된다.(사용하는 천공비트는 설계된 천공지름을 만족시키는 것으로 한다.)

⑥ 천공위치의 오차는 가능한 작게 한다. 천공위치 허용오차는 100mm 이내로 하는 것이 바람직하다.

⑦ 천공된 구멍의 축과 설계상의 축과의 허용오차는 앵커체부에서 접촉이 일어날 만큼 접근하지 않는 한 원칙적으로 ±2.5° 이내로 한다. (그림 3.6)

⑧ 천공 시 구멍 휨은 최대한 억제시켜야 한다.

⑨ 확공 굴착기계를 사용하는 경우는 확공확인장치를 구비한 것을 사용하여 확공 지름을 확인 하여야 한다.

⑩ 천공지름은 도면에 표시된 지름을 표준으로 하고, 앵커 지름보다 최소 40mm 이상 커야 하며 천공 후 일정시간(앵커 삽입 및 주입시간)이내 토사붕괴가 우려되는 구간에는 케이싱을 삽입하여 천공 내부의 토사교란 및 무너짐을 방지해야 한다.

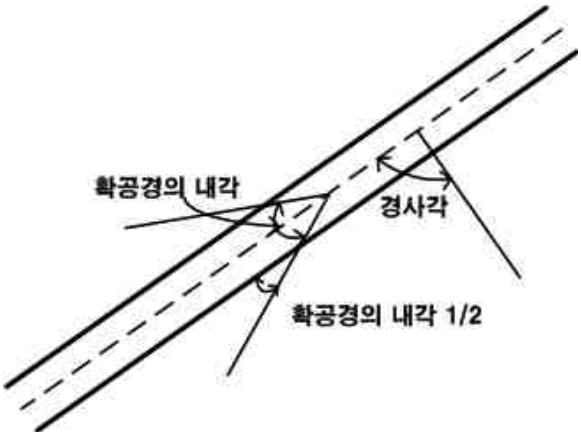


그림 3.5 확폭앵커의 한계경사각

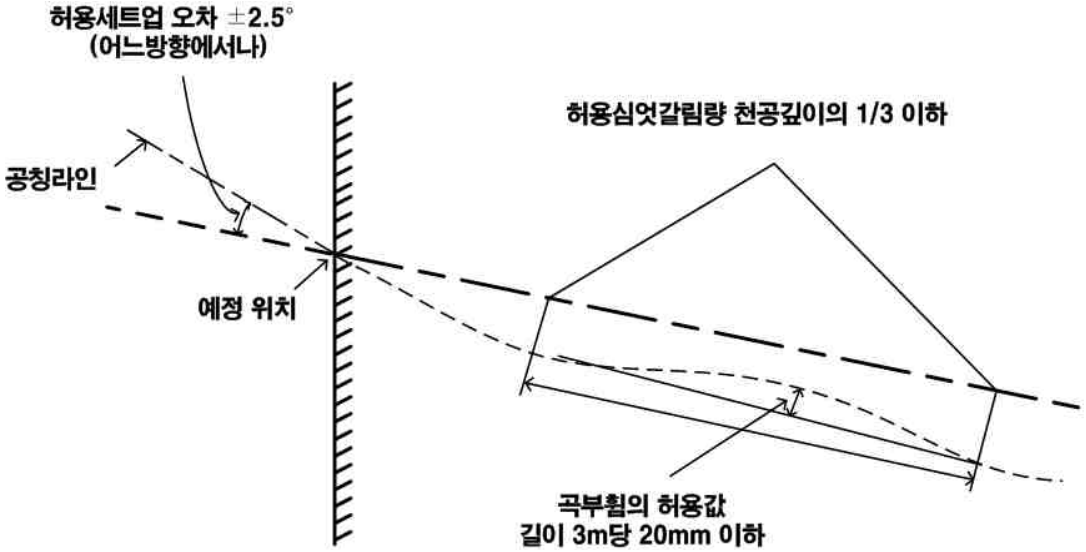


그림 3.6 구멍 휨

3.2.5 천공 시 용수대책

(1) 지반내의 지하수위가 공입구 위치보다 높아서 지반의 교란이 생기거나 앵커체의 그라우트 품질 확보에 지장을 초래하는 상황이 예상될 경우에는 천공 직후부터 앵커체가 완성될 때까지 이를 방지할 수 있는 적절한 조치를 한다.
(2) 자갈지반이나 애추(talus) 지반 또는 균열이 많은 암반인 경우에는 필요시 앵커체 공벽의 수밀성 시험을 실시한다. 앵커체의 그라우트가 지반 내로 유실 될 우려가 있는 경우에는 사전주입 등을 실시한다.

[해설]

(1) 지하수위가 공 입구 위치보다 높고 피압 상태로 앵커를 시공하는 경우, 천공 시 지하수나 토사의 유출 문제뿐만 아니라 인장재 삽입, 앵커체 주입, 케이싱파이프 인발 시에 지하수나 토사의 유출, 그라우트 역류 등 현상이 발생하여 앵커의 품질확보에 지장을 초래할 수 있다. 이러한 현상은 수압의 크기뿐만 아니라 지반의 종류에 의해서 크게 영향을 받는다. 예를 들면 느슨한 사질지반의 경우 지하수뿐만 아니라 토사의 유출이 심하고 배면 지반의 함몰 등 큰 사고로 이어질 우려가 있다.

따라서 피압 상태에서 앵커를 시공하는 경우 천공 직후부터 앵커체가 완성될 때까지 적절한 방법을 사용하여 수압에 의한 지하수나 토사의 유출 및 그라우트의 역류를 막아야 한다. 이에 대한 대책으로는 입구관을 사용하여 공벽붕괴를 막는 방법과 그라우트 역류 방지장치 사용, 팩커(packer)를 인장재에 정착하는 방법 등이 있다. 시공 시에는 지반의 종류와 피압 정도에 따라서 앵커의 각 작업과정에서 필요한 지수대책을 적절히 조합하여 조치한다.

(2) 자갈지반이나 애추(talus)지반 또는 균열이 많은 암반에서는 그라우트가 지반 내로 유실되어 건전한 앵커체를 형성할 수 없게 되어 소정의 설계앵커력을 확보하지 못하는 경우가 있다. 수밀성시험은 이와 같은 지반 또는 암반의 투수성을 확인하기 위한 시험이고 앵커조성 시 그라우트가 유실될 위험성이 있는 지반이나 암반에 대하여 필요시 실시한다. 시험방법으로는 보통 루전(Lugeon)시험이 사용되고 있고, 수위저하시험과 팩커(packer)가압시험이 있으므로 현장의 지반조건에 따라 적절한 방법으로 시행하여야 한다.

루전(Lugeon)시험은 소정의 공내 압력을 유지하지 못할 경우에 사용하는 간편법으로 저압에서 환산 루전(Lugeon)값을 구한다. 사전 주입의 필요성 판단은 앵커체장 5m 마다 100kN/m^2의 환산압력으로 매분 10L이상의 누수가 있는 경우가

우선적인 기준으로 되어 있고 이 조건의 루전(Lugeon)값은 20이상이 된다.

수밀성시험에 의해 과다한 누수가 확인되는 경우에는 앵커체부 그라우트의 유실이 생겨 품질이 좋은 앵커체가 형성되지 않을 가능성이 높기 때문에 주입방법을 검토한 후 시멘트계 그라우트 등에 의한 사전주입을 한다.

사전주입은 앵커체 설치부의 드릴파이프를 끌어올리면서 그라우트를 공내에 채우는 방법이다. 그라우트로는 시멘트 모르타르나 급결계의 모르타르 등이 사용되며, 유실의 정도에 따라 구분해 사용한다. 재천공은 보통 6시간 이상 양생한 후에 시행하고 재천공 종료 후에는 재수밀성실험을 하여 시험결과가 양호하지 않을 경우에는 다시 반복하여야 한다.

3.2.6 천공 시의 누수대책과 수밀성 평가

(1) 앵커체에 주입재가 유출되면 필요한 설계앵커력을 얻지 못하므로 누수의 정도를 확인하고 필요한 대책을 마련하여야 한다.
(2) 수밀성시험은 수위재하시험 또는 팩커(packer) 가압시험 등이 있다.
(3) 암반에 있어서는 수밀성이 유지되지 못하는 경우 또는 물의 침투성이 매우 높은 경우는 콘솔리데이션그라우트(consolidation grout)를 할 필요가 있다.

[해설]

(1) 누수대책

암반에 앵커체를 조성하는 경우 암반에 균열이 발달하고 있으면 주입재가 유출해서 건전한 앵커체를 형성할 수 없고 설계내력을 얻지 못하는 경우가 있다. 따라서 사전에 수밀성시험에 의해 누수의 정도를 확인하고 필요한 대책을 강구해야 한다.

지반 중에 공동이나 균열이 있는 경우에는 천공수가 누수할 경우, 누수에 대한 영향은 다음과 같다.

① 주변지반의 이완, 강도저하, 수압의 증대 등에 대한 비탈면붕괴, 비탈면 붕괴유발
② 주입재의 양이 계획 주입량과 비교해 많이 필요한 경우
③ 천공수나 주입재에 의한 하천, 연못, 우물의 오탁에 의해 음료수, 관개용수, 양식, 어업권까지 피해를 미치는 경우

누수의 유무는 천공 중의 리턴수량에 의해 확인할 수 있다. 그 비율은 수밀성시험으로 구할 수 있으며 누수가 심한 경우에는 콘솔리데이션(Consolidation) 그라우트를 해서 재천공을 해야 한다. 그렇지만 콘솔리데이션

(Consolidation) 그라우트는 지수를 목적으로 하는 것으로 안정지반을 개량하고 마찰저항력을 향상시키는 목적으로 하는 것은 적당하지 않다.

누수가 있는 경우의 대처방법은 댐의 커튼그라우트와 마찬가지로 처음에는 물시멘트비가 큰 시멘트 밀크를 주입하여 점차 물시멘트비를 줄이고 구멍내의 충전이 되면 그대로 최소 6시간이상 방치, 보양하여 재천공을 한다. 재천공후 다시 수밀성시험을 할 경우도 있다.

(2) 수밀성평가

① 앵커체 정착부에 있어서 주입재가 일탈하는 경우는 주입작업이 만족스럽지 못하고, 결과로서 앵커의 하중전달이나 내부식성에 중대한 영향이 나타나는 경우가 있다.

② 투수성시험은 수위 저하시험 또는 팩커(packer) 가압시험 등에 의한다. 팩커(packer) 가압시험은 팩커(packer)를 앵커체 정착부와 앵커자유장 부분의 경계에 정착시키면 앵커체 정착부에 대한 결과가 얻어진다.

③ 투수성 시험을 실시하는 경우, 큰 가압을 주면 역으로 균열이 넓어질 위험이 있기 때문에 가압력은 지반 상태를 충분히 파악해서 결정하는 것이 바람직하다.

그림 3.7은 수밀성 시험장치의 예를 나타내었다.

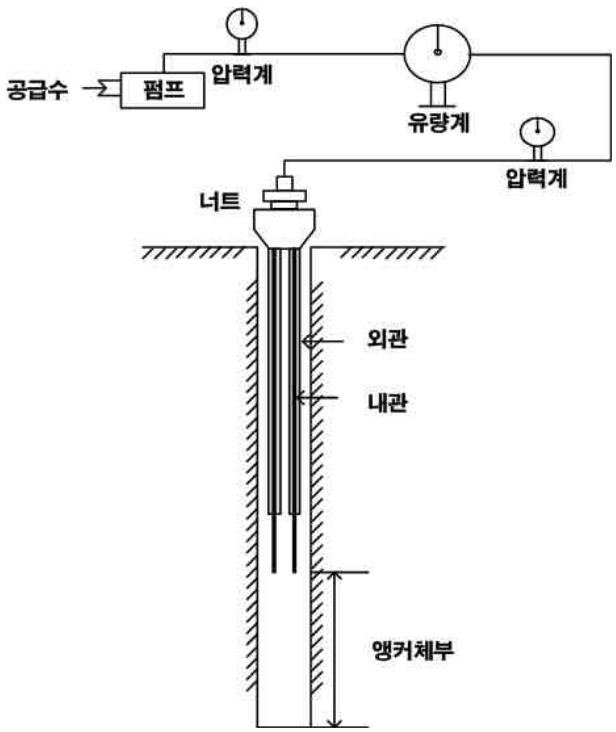


그림 3.7 수밀성시험장치의 예

(3) 콘솔리데이션그라우트(consolidation grout)

① 암반의 경우 콘솔리데이션그라우트(consolidation grout)는 시멘트계 주입재에 의하여 충전하는 방법으로 실시되며, 일반적으로 6시간 후에 재천공(reboring) 하는 것으로 한다.

② 주입재에는 약액을 사용하지 않는 것을 원칙으로 한다. 만일, 사용한다면 약액이 앵커체에 유해하지 않다는 것을 확인해야 한다.

③ 다량의 주입재가 주입되는 경우, B.S에 의하면 주변앵커에서의 실적을 고려하든지, 특히 중요한 영구앵커에 대해서는 유량계를 사용해서 관리한다.

④ 천공내에 지하수가 침투해서 주입제를 희석시키는 경우에는 주입을 하기 전에 콘솔리데이션그라우팅(consolidation grouting)을 하고 지수해야 한다.

3.3 앵커체 제작

3.3.1 재료 보관

앵커 재료는 습기를 피해서 건조상태로 보관한다. 또한, 유해한 녹이나 물질이 부착되지 않도록 보관하여 사용 시에 문제가 없도록 하여야 한다.

[해설]

① PC강연선·복합연선 등 인장재는 사용할 때에 감김으로 인한 휨 등 문제가 발생하지 않도록 호일로 보관한다.

② PC강봉은 휘어지지 않도록 직선 상태로 보관한다. 또 대량으로 겹쳐쌓거나 장척에서의 보관은 굽힘이나 나사부의 파손이 생길 우려가 있으므로 주의를 요한다.

③ 인장재는 기계적인 흠집이나 용접불꽃에서 완전히 보호된 상태로 보관이 되어야 한다.

④ 앵커재료를 옥외에 임시로 둘 때는 지반에서 띄워서 오염을 막고 방수시트 등을 덮어서 보관한다.

⑤ 보관된 앵커재료는 반입된 날짜와 사용 날짜를 기록하여 보관해둘 필요가 있다. 또한, 앵커재료는 저장 기간을 고려하여 사용하는 것이 바람직하다.

인장재는 상처를 입히거나 예리하게 구부리거나 표면의 방식용 재료를 파손하는 일이 없도록 주의하여 취급하여야 한다. 앵커체의 그라우트와 부착되는 부분에 이물질이 묻어있는 경우 부착강도가 저하될 수 있으므로 이물질이 묻지 않도록 주의한다.
인장재는 앵커의 중요한 부재이므로 손상되지 않도록 한다. 인장재는 제조시에 샘플 조사를

하여 규격을 만족하는지 확인한 후에 출하하고, 이후 현장에서 삽입작업 완료시까지 상처 등 손상이나 과도한 구부러짐이 없도록 주의해야 한다. 또한 언본드 가공된 강재는 시스(sheath)나 방청제 등 방식용 재료가 손상되지 않도록 취급한다. 인장재는 그라우트와의 부착에 영향을 주는 유해한 기름, 먼지, 흙 등이 부착하지 않도록 주의해 취급하고, 가공 후의 인장재는 지표면에 직접 닿지 않도록 충분한 보호조치를 강구한다.

3.3.2 앵커의 조립·가공

(1) 인장재는 설계 조건을 기준으로 그 기능이 손상되지 않도록 조립 가공한다.
(2) 인장재 설치 시 그라우트의 피복두께를 확보하고 공의 중앙부의 위치하도록 조립 가공한다.
(3) 인장재의 절단 시 재료적 특성을 유지할 수 있도록 주의하여야 한다.
(4) 인장재는 사용목적을 충분히 만족할 수 있도록 가공하되 그 기능을 공용기간 중 발휘할 수 있어야 한다.

[해설]

인장재의 가공 및 조립은 다음과 같이 한다.

(1) 인장재는 앵커두부에 가해진 인발하중을 앵커체에 전달하는 중요한 역할을 하는 부재이므로 가공 및 조립 시 설계도서에 명시된 재료를 사용하여 그 기능이 손상되지 않는 방법으로 하여야 한다. 또, 조립가공은 시스(sheath)나 센트럴라이져 등 부품을 사용하여 실시하는 것이므로 그 부품의 취급에 대해서도 주의한다. 인장재에는 유해한 기름이나 흙 등이 부착되지 않도록 주의해 취급한다. 만일 부착된 경우는 이들을 완전히 제거하고 난 후 조립가공을 한다. 또한, 연속섬유보강재는 현장에서 조립가공이 곤란하므로 공장조립가공을 원칙으로 한다.

(2) 인장재를 부식환경으로 부터 차단하기 위해서 인장재가 공벽과 직접 접하지 않도록 한다. 또, 인장재의 인발저항력을 발휘시키기 위해 앵커체를 형성하는 그라우트 피복이 필요하다. 따라서 그라우트 피복으로 시스(sheath)를 사용하지 않는 경우에는 인장재와 공벽사이에 피복이 필요하며 피복시스를 사용하는 경우에는 인장재와 시스(sheath)사이 및 시스(sheath)와 공벽사이의 피복이 필요하다. 조립가공에 있어서는 센트럴라이져 등 부품을 사용하여 적절한 그라우트의 피복이 확보될 수 있게 한다. 시스(sheath)는 앵커의 내구성을 확보하는 중요한 부재이므로 상처나 구멍 등 손상을 주지 않도록 취급한다.

그라우트 유실방지대책으로는 앵커체부 또는 인장재의 전체를 직물포대 등으로 감싸서 앵커체를 조성하는 방법이 있지만 이 경우 직물포대가 손상되지 않도록 하고 조정부에서 그라우트의 누출이 없도록 한다.

(3) 가스절단 등 열을 가하는 방법으로 인장재를 절단하면 재질이 변화하는 원인이 되므로 절단은 인장재의 특성이 손상되지 않는 디스크컷터 등 적절한 방법으로 하여야 한다. 각 인장재의 전장에 대하여 방청을 실시하고, 시스나 이에 준하는 방수재로 피복한다. 방청재의 주입은 원칙적으로 조립·가공 시에 행하며, 불가피한 경우가 아니면 삽입 후에 주입해서는 안된다. 또, 절단길이는 설계길이(인장부+앵커체)에 긴장 및 정착을 위한 여유장을 고려하여야 한다.

(4) 인장재의 조립·가공과 내구성

그라운드앵커는 사용목적·공용기간에 의해 다음 3종류로 분류된다.

① 단기가설앵커(2년 미만 공용)

② 장기가설앵커(2년 이상 공용)

③ 영구앵커

영구앵커는 공용기간에 관계없이 앵커로 보강된 구조물이 공용되는 기간 동안은 기능을 충분히 다할 수 있도록 고려하여야 한다. 특히 화학적으로 유해한 물질을 포함한 지반이나 지하수나 해수의 영향을 받는 지반에서 사용하는 경우에는 부식에 대해서 충분히 안전이 확보되어야 한다. 가설앵커는 단기가설앵커(2년 미만)에 있어서 부식환경이 없는 경우는 간편한 방식타입의 인장재의 구조로 해도 좋으나 장기가설앵커(2년 이상)에 있어서는 주변의 환경이나 앵커로 보강된 구조물의 중요도에 따라 인장재의 구조를 결정한다. 인장재는 원칙적으로 설계자가 결정하는 것이며 설계하는 시점에서 사용기간이나 주변환경 및 구조물의 중요도를 고려하여 인장재의 타입을 선정하고 재료의 종류와 인장재의 가공방법을 결정하여야 한다.

(5) 인장재의 조립·가공순서

일반적인 인장재의 조립·가공순서를 아래에 나타낸다.

① 인장재는 필요본수를 소정길이에 디스크커터로 절단하여 그라우트주입용 호스와 같이 겹쳐서 자유장부 시스(sheath)내에 삽입한다. 이때 그라우트주입용 호스는 그라우트펌프와 접촉을 고려해 인장재의 길이보다 1.5~2.0m정도 길어지게끔 절단한다.

② 정착장 부분의 인장재에 스페이서를 소정간격을 두고 긴결 가공한다. 자유장부는 인장재 및 그라우트주입용 호스가 교차하지 않도록 주의한다.

③ 인장재의 자유장부 및 정착장부에 각각 시스(sheath)를 사용하는 경우에 시스

(sheath)의 경계부 처리는 자유장부 시스(sheath)를 정착체 시스(sheath)의 내부에 30cm이상 끼워넣어 열수축튜브에 의해 고정하여 지수를 확실히 하도록 한다.

④ 인장재의 선단에 선단캡을 설치, 캡내부에 지수・고정재를 주입・충전한다.

⑤ 주입・고정재나 접합부 등은 소정의 강도를 나타낼 때까지 양생한다.

(6) 인장재 조립·가공 시 주의사항

① 인장재의 정착장 부분이 그리스 등으로 피복된 PC강연선이나 PC강선인 경우, 또는 기름 등 오염이 있을 때에는 피복을 증기나 용제를 사용해서 완전히 제거시켜야 한다. 이때 고압가열은 하지 않고 또 사용하는 용제 등이 강재나 강재와 주입재와의 부착성능에 나쁜 영향을 미치지 않도록 주의해야 한다.

② 인장재를 공내에 정밀하게 배치하려는 목적으로 외부 스페이서를 사용하는 경우에는 삽입시에 엇갈리지 않도록 확실하게 인장재에 고정시켜야 한다.

③ PC강재 등 인장재를 절단 하는 경우에는 원칙적으로 디스크커터를 사용한다. 아크가스 등에 의한 절단은 열에 의해 재질이 변화하든지 절단면이 불규칙하게 되고 긴장・정착시의 쐐기설치가 안될 염려가 있으므로 피해야 한다.

④ 공장 출하 후에는 인장재의 재질을 변화시킬 수 있는 가공을 해서는 안된다.

최근에는 앵커공사현장에서 인장재 가공 시 인장재의 가공장소의 확보의 어려움, 노동력부족, 숙련된 기능공의 부족에 따라 제품으로서 신뢰성 제고가 어렵고 시공능률이 저하되는 문제점이 있어 인장재를 공장에서 가공하여 현장까지 운반하여 사용하는 경우가 증가하고 있다.

그림 3.8~3.11은 앵커체의 조립작업의 예를 나타내었다.



그림 3.8 앵커 조립 완성



그림 3.9 앵커체 조립작업(주입호수 등)

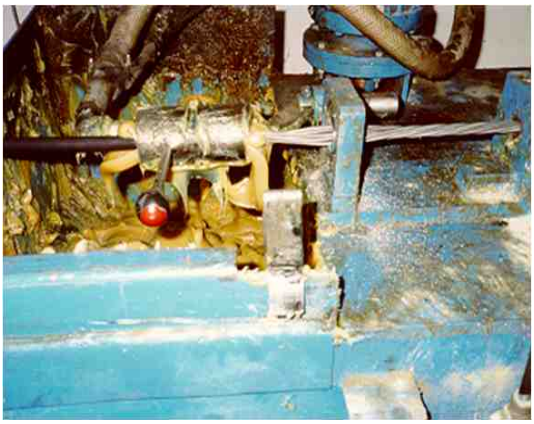


그림 3.10 앵커 자유장부에 부실방지를 위한 그리징(greasing) 처리



그림 3.11 정착장부분의 녹방지 처리

3.3.3 앵커의 삽입·고정

인장재의 삽입은 공내 세정 후 혹은 주입재 주입 후 신속하게 실시한다. 이때 공내 장해물 등이 없는 것을 확인하여 인장재 및 부속품에 유해한 손상·변형을 주지 않도록 하는 방법으로 삽입하고 고정한다.

[해설]

① 인장재의 삽입은 각 구성부재나 이음부에 유해한 손상이나 변형이 없다는 것을 확인한 후 신속히 실시한다.

② 인장재의 삽입 시 인장재가 비틀린다든지 구성부재나 방청재가 손상되지 않도록 한다.

③ 삽입은 일정 속도로 실시하여 선단캡 부분에 충격을 주지 않도록 한다.

④ 삽입된 인장재는 정착재를 양생하고 긴장 정착을 완료할 때까지 변형이나 충격을 주지 않도록 적절한 방법으로 고정 지지한다.

⑤ 앵커는 삽입 작업대 또는 크레인 등의 장비를 사용하여 삽입하여야 한다.

⑥ 앵커 삽입 시 앵커가 천공 구멍의 중앙에 위치하도록 앵커에 센트럴라이져를 부착하여야 하며 공벽의 붕괴우려가 있으면 케이싱을 인발하지 않고 삽입한다.

⑦ 소요길이까지 삽입 후 지지대를 설치하여 앵커를 공내에 고정시킨다.

그림 3.12는 시공 상황별 앵커체 삽입 예를 나타내었다.



그림 3.12 앵커체 삽입 (예)

3.4 그라우팅

3.4.1 일반사항

주입을 통하여 인장재 두부에 작용하는 인장력을 정착지반으로 전달시킬 수 있도록 앵커체를 형성 하는 동시에 부수적으로 방청기능의 향상과 앵커체 부근의 정착지반이 개량 강화효과를 기대할 수 있다.

[해설]

① 그라우트 배합은 설계도서에 표시된 대로 한다. 단, 그라우트가 모르타르인 경우는 모래의 표면수에 따라 사용수량을 보정하여야 한다.

② 혼합된 그라우트는 90분 이내에 주입하는 것으로 하며, 이보다 경과한 그라우트는 사용해서는 안된다.

③ 주입은 건전한 앵커체의 조성을 통하여 인장재로부터 정착지반으로 인장력의 확실한 전달이 가능하게 한다.

④ 주입은 영구앵커에 있어서는 외·내주입용 호스 등을 사용해서 실시하고 공내·앵커체내의 주입재의 충전을 확실히 실시한다.

⑤ 앵커 그라우트재의 피복이 1~2cm정도로 기타 지중구조물에 비하여 작으나 주입에 의해 주변지반의 균열이나 취약부를 강화하고 지수재로서 기능하므로 앵커인장재의 방청효과를 향상시키는 동시에 인발내력의 증대를 기대할 수 있다.

⑥ 앵커체를 형성하는 주입재에는 주로 시멘트페이스트를 사용한다.

⑦ 그라우팅 전에 시험그라우팅을 실시하고 주입압력, 겔타임, 주변 지반에 대한 영향

및 손실량 등을 파악한 후에 시공해야 한다.

⑧ 그라우트의 혼합은 그라우트 믹서에 의하며 소정의 시간동안 혼합하는 것으로 하며 이전의 그라우트가 완전히 배출한 후가 아니면 재료를 주입하여서는 안된다.

⑨ 그라우팅은 주입펌프에 의해 연속으로 행하여야 한다.

⑩ 인장형 앵커에서 인장부와 앵커체로 분리되는 지점에 패커를 밀실하게 설치해야 하며 그라우트의 주입은 천공구멍의 끝 부분부터 시작하여 공 내부의 공기와 지하수가 바깥으로 유출 될 수 있도록 해야한다. 또 그라우팅 시 패커 바깥으로 그라우트가 누출되지 않고 원지반이 파괴되지 않도록 적정 주입압력을 유지해야 한다.

⑪ 동절기의 주입은 그라우트 온도를 10~25℃이하로 유지하고, 주입 후는 공구를 적당히 피복재로 덮고, 그라우트의 동결을 방지하여야 한다.

⑫ 하절기에 그라우팅을 할 때는 그라우트 온도의 상승과 조기경화가 발생하지 않도록 적절한 조치를 취하여야 한다.

⑬ 그라우트 주입에 사용하는 장비는 다음에 적합해야 한다.

- 믹서는 혼합과 배합을 동시에 할 수 있어야 하며 그라우팅이 종료될 때까지 연속적으로 주입이 가능하고 검측용 압력계기가 부착되어 있어야 한다.
- 주입펌프는 최소 주입압력이 0.5MPa이고 주입호스 및 연결구는 최대 2MPa의 압력을 견딜 수 있는 자재를 사용해야 한다.
- 급수계량기는 그라우트 혼합에 사용된 수량을 2L/m^3 까지 측정할 수 있어야 한다.
- 주입공 연결부에 설치하는 차단밸브는 주입이 완료된 후에도 그라우트가 응결할 때까지 필요한 압력을 유지할 수 있어야 한다.

⑭ 앵커체 부근의 암반이 균열의 발달 등으로 충분한 강도와 내구성을 갖는 앵커를 조성하는 것이 곤란하다고 확인될 때는 감독자(또는 감리자)와 합의하여 콘솔리데이션 그라우팅(consolidation grouting)을 실시하여야 한다.

그림 3.13은 그라우트 믹서기의 예이고, 그림 3.14는 1차 그라우팅, 그림 3.15는 2차 그라우팅의 예를 나타내었다.



그림 3.13 그라우트 믹서기 (예)



그림 3.14 1차 그라우팅



그림 3.15 2차 그라우팅

3.4.2 주입재의 배합

지반특성에 적합하고 작업성이 좋은 배합으로 한다.

[해설]

(1) 주입을 시작하여 완료할 때까지 양호한 유동성 및 침투성을 유지하는 배합이라야 한다.

(2) 물-시멘트 비는 시공 가능한 유동성(consistency)을 얻을 수 있는 범위 내에서 될수록 작게 한다. 이를 위해서는 감수제를 사용하는 것이 좋다.

(3) 주변지반, 인장재와의 확실한 부착력을 얻기 위하여 소정의 강도를 발현해야 한다.

(4) 시공 전, 시험반죽을 하고 성상을 확인할 필요가 있다.

3.4.3 주입

그라우트 주입은 치환주입 또는 가압주입에 의해 실시되는데, 모두 앵커체를 조성하기 위한 중요한 작업이며 앵커체가 소정의 위치에 형성되도록 실시한다. 또한 천공에서 주입까지의 작업은 연속적으로 신속하게 실시한다.

[해설]

(1) 치환주입

치환주입은 공내의 배수나 배기를 원활하게 하기 위해 앵커의 최저부 부터 그라우트가 채워지도록 하며, 작업은 주입한 그라우트의 상태와 공 입구로 배출되는 그라우트의 상태가 동등한 것을 확인할 때까지 중단하지 않고 연속해서 실시한다. 즉, 그라우트 치환주입은 천공내의 배수나 배기를 확실하게 하기 위해 그라우트가 공 입구에서 배출될 때까지 중단하지 않고 연속적으로 시행하고, 공 입구에서 배출되는 그라우트는 주입된 것과 동등한 정도의 컨시스턴시를 가지고 있는 지를 확인하여야 한다. 치환주입은 공내에 있는 물에 의해 그라우트가 희석되거나 공동이 발생하지 않도록 천천히 주의 깊게 실시한다.

(2) 가압주입

가압주입은 인장재가 공내에 삽입된 상태에서 앵커체에 대하여 실시하는 것으로 앵커체 주변의 지반조건에 따라 적절한 방법으로 실시한다.

그라우트 혼합은 이지데이터 믹서를 사용하는 것을 원칙으로 하며, 주입작업 중에 일정한 컨시스턴스를 확보할 수 있도록 하여야 한다. 그라우트용 재료 투입순서는 사용믹서나 혼화제의 종류, 물-시멘트비 등에 의해 적절히 정하되 한정된 시간 내에 무리없이 혼합되어 원하는 시간에 사용할 수 있도록 한다. 또한, 첫번째 배치의 그라우트 혼합이 완전히 종료된 후 이지데이터로 이동시키고 다음 배치의 혼합을 실시한다. 그라우트는 소정의 품질이 얻어지도록 플로우 값 측정이나 압축강도 시험에 의한 품질관리를 시험한다.

가압주입의 방법에는 케이싱 가압방법과 팩커(packer)가압방법이 있으며, 통상적으로 케이싱 가압방식이 많이 사용되지만, 피압수의 시공조건이나 상향으로 설치된 앵커에서는 팩커(packer)가압방식이 채택되고 있다. 또한, 그라우트 주입은 그라우트 펌프에 의해 시행하고 일반적으로 피스톤식이 사용되고 있지만 고농도의 그라우트의 경우에는 스퀴즈 식 또는 스테이크 식 펌프 등이 사용된다.

주입작업은 인장재 삽입 후 되도록 빠르게 실시하고 도중에 중단해서는 안된다. 인장형 영구앵커의 주입작업에서는 내부그라우트주입은 적절한 압력으로

내주입용호스를 사용하여 주입재의 리턴을 확인한다.

외부그라우트주입은 외주입용 호스에서 실시해 공내의 공기와 물을 확실히 배출, 치환하여 건전한 앵커체를 조성한다.

① 1차주입은 공내의 물과 공기를 주입재로 확실히 치환, 배출한 후에 정착부를 가압주입하는 것을 원칙으로 하고 있다. 이러한 과정을 통하여 마찰저항형 앵커와 정착지반 사이에 마찰저항을 높이게 된다.

2차주입은 천공 간극의 충전에 의해 자유장부의 방식기능의 향상을 목적으로 하고 있다. 따라서 일반적으로 가설앵커에서는 실시되지 않는다. 또 영구앵커의 자유장부에 있어서 인장재가 시스(sheath)와 그 속에 충전된 방청재에 의해 방호되고 있는 경우에는 방식을 목적으로 한 2차주입은 필요없다.

2차주입을 할 때는 자유장부분이 탄성적 기능을 손상하지 않도록 적절한 주입재 및 주입방법을 선정하여야 한다.

② 주입은 전 공정에 이어서 신속하게 실시하는 동시에 도중에서 중단되지 않아야 하고 되도록 저압으로 한다. 특히 영구앵커로 인장형의 정착부 시스(sheath)내에 내부그라우트주입을 할 경우 압력이 과대하면 재질에 따라서는 시스(sheath)재가 파열할 때가 있다.

③ 주입은 주입용 호스 또는 주입관을 공의 선단까지 삽입해서 한다. 인장재의 삽입을 먼저 하는 시공방법에서는 사전에 주입용 호스를 인장재에 장치해 둔다. 또 주입전에는 주입호스에 물을 흘려보냄으로써 통기를 확인한 다음 소정의 품질의 주입재를 압송한다.

④ 주입은 리턴재가 혼합시의 주입재와 거의 같은 정도의 콘시스턴스가 될 때까지 계속해야 한다. 콘시스턴스의 확인은 기구를 사용해서 비중이나 플로우 값을 측정해서 실시한다.

⑤ 주입량은 지반조건에 의해 크게 다르고 사전산정이 곤란한 경우가 있다. 통상의 지반에서는 천공체적의 1.5~3.5배 정도의 주입량이고 균열이 많은 지반이나 자갈모래지반에서는 5배 이상 주입되는 경우도 있다.

리턴재가 확인할 수 없다든지 소정의 콘시스턴스가 얻어지지 않는 경우에는 공벽의 붕괴나 지하수의 유입에 의한 주입재의 희석이 고려되므로 원인을 조사하여 대책을 강구한다. 또 동일조건에서 시공된 앵커의 평균적인 주입량에 비해 대폭으로 다른 경우도 원인과 대책을 검토할 필요가 있다.

⑥ 가압은 설계도 혹은 시공계획도에 기입되는 압력·시간으로 한다. 이때 압력관리는 펌프의 압력계만 의지하지 않고 주입호스의 입구부근에 다른 압력계를 설치해서 한

다. 일반적인 지반에서의 가압시간은 2분 정도, 정착지반이 느슨한 사질지반의 경우에는 3분 이상 가압하는 것이 바람직하다. 지하수가 역류하는 지반에서는 더욱 장시간 가압할 필요가 있다.

⑦ 일반적으로 그라운드 앵커의 시공은 케이싱내부를 통해서 가압하는 케이싱가압이 실시된다. 케이싱가압은 케이싱을 정착체 상단까지 끌어올려 가압하는데 정착체장이 긴 경우에는 케이싱을 1~3m정도씩 끌어올려 가압을 수회로 나누어하는 것이 바람직하다. 지하수압에서 주입재가 억류하는 경우에는 정착체의 상부에 팩커(packer)를 설치해서 가압하는 팩커가압을 실시한다. 정착체가 긴 경우에는 케이싱가압으로 수회로 나눠 가압하고 마지막으로 팩커(packer)를 설치하여 가압한다. 단, 파괴하기 쉬운 사질토지반에 팩커(packer)를 설치하면 팩커(packer)와 공벽사이에 틈이 생기고 팩커(packer)의 효과가 저하할 때가 있으므로 단단한 점성토지반에 설치하는 것이 바람직하다.

3.4.4 혼합

주입재의 혼합은 시공계획에 준해서 믹서를 사용해서 균일한 품질을 얻을 때까지 실시하며 혼합후의 주입재는 즉시 사용한다.

[해설]

① 재료는 일반적으로 물, 혼화제, 시멘트의 순으로 투입하여 배합한다. 재료의 분리를 막고 일정한 콘시스턴스를 확보하기 위해 배합된 주입재는 주입이 완료할 때까지 교반을 할 필요가 있다.

② 믹서는 주입재가 소정의 품질을 얻을 수 있는 고속믹서(700rpm이상이 바람직 함)를 사용한다. 또한 혼합량은 사용하는 믹서의 규정용량 이하로 하되 주입작업 중에 부족하지 않도록 충분한 양이 되도록 한다.

③ 일단 배합을 완료한 주입재를 모두 사용할 때까지는 추가로 재료를 믹서에 투입해서는 안된다.

3.4.5 양생

앵커체는 주입재가 경화되어 소정의 강도를 나타내고 다시 긴장정착이 완료할 때까지 충분히 양생한다.

[해설]

앵커시공 후에는 입구 지수 등 필요한 처치를 실시한 다음으로 주입재가 소정의 강도에 달할 때까지 고정 보양하여 다시 유해한 하중이나 진동을 주지 않도록 한다. 또한 긴장 정착할 때까지 삽입한 이장재의 두부가 빗물에 노출되지 않도록 캡을 하고, 또 작업 기계 등이 접촉하지 않도록 충분히 주의한다.
그라우트 주입 후 앵커는 그라우트의 경화 중에 유해한 진동, 충격을 주지 않도록 보호하여야 한다.

3.4.6 지하수 오염

주입재에 의해 지하수 오염의 우려가 있는 경우에는 적절한 대책을 강구해야 한다.

[해설]
지하수의 흐름에 의해 주입재가 씻겨 내려가는 경우 등 주입재가 주변지반으로의 침투하는 경우 주변의 지하수 pH가 커지고 주변의 우물 등에 영향을 미치는 일이 예상된다. 따라서 사전에 주변의 지하수의 이용 상황을 조사하여 경우에 따라서는 순결 타입의 약액 주입 등을 이용하는 등 주입재의 확산을 방지할 필요가 있다. 지하수 오염에 대해서는 유사한 공종인 지반주입보강공사를 참고로 하여 적절한 대책을 강구해야 한다.

3.5 긴장・정착

3.5.1 일반사항

(1) 앵커 긴장, 정착은 앵커체가 설계 강도에 도달한 후에 실시한다. (2) 앵커두부 정착작업은 인장력 손실이 일어난 후에 최종적으로 앵커에 잔존하는 유효인장력이 설계인장력 이상이 될 수 있도록 실시한다.

[해설]

(1) 앵커에는 그라우트가 설계 강도에 도달한 후 인발시험에 의해 시험하중이나 변위특성을 확인하고, 요구되는 잔존인장력이 얻어지도록 초기인장력을 도입한다.

그라우트의 강도확인은 일반적으로 공시체를 사용하여 압축강도시험으로 실시한다.

(2) 앵커두부 정착작업은 설계 시에 상정한 초기 인장력을 도입하여 손실 발생 후에도 설계인장력 이상이 되도록 실시한다.

앵커두부의 지압판, 앵커헤드, 웨지(wedge) 등 정착구는 건조한 상태로 보관하고, 사용직전에 꺼내서 이물질이나 먼지 등이 부착되지 않은 품질이 양호한 것을 사용한다. 인장재의 긴장여유장 부분에 그라우트 등이 부착되어 있거나, 유해한 부식이 확인될 경우에는 이를 제거하여 청정한 상태로 사용한다. 긴장·정착 시에 앵커두부에 미세한 편심이 발생할 경우는 구형 대좌나 테이퍼 플레이트 등으로 보정한다.

(3) 초기인장력은 세트량이 있을 경우는 이를 고려하여 결정한다.

인장재 정착시 세트량이 있는 경우에는 세트량에 의한 인장력의 감소를 고려하여야 한다. 특히 웨지(wedge) 정착방식에서는 비교적 큰 세트량이 발생하므로 정착시 세트량을 미리 조사하여 그 값을 가정하여 인장재의 인장력 감소량을 검토한다. 세트량이란 인장재를 정착할 때 인장재가 정착부에서 끌려들어가는 길이를 말한다. 세트량은 앵커의 정착방식에 따라 다르기 때문에 시공하는 정착방식에 대해 검토하여야 한다.

또 1개의 정착구로 복수의 인장재를 정착하는 경우에는 각 인장재에 균등한 인장력이 전달되게 하는 방법으로 긴장·정착을 한다.

초기인장력은 위험방지를 위해 어떠한 경우에 있어서도 인장재의 종류에 따른 한계인장력을 넘어서는 안된다. 또한, 한계 인장력이란 강재의 경우 항복점의 90%, 연속섬유보강재의 경우는 보증내력의 70%를 말한다. 긴장·정착 시에는 만일 인장재가 파단하면 위험하기 때문에 안전대책으로 긴장장치의 배면에 서 있거나 통행해서는 안된다.

(4) 긴장장치는 검교정한 것을 사용한다.

긴장장치에 달려있는 하중계는 그 장치 내부마찰 또는 인장재와 정착장치의 사이의 마찰 등에 의해 인장재에 작용하는 실제 인장력을 보여 주지 않는 경우가 있기 때문에 이것들의 마찰손실에 대해서는 사전에 검교정하여 인장재에 작용되는 인장력을 하중계에서 바르게 읽도록 해야 한다. 긴장장치 검교정은 긴장작업의 기본이므로 필요에 따라 반입시 또는 작업 중 반듯이 확인해야 한다. 그림 3.16에 긴장장치의 예를 나타내었다.

(5) 이론늘음량(δ)은 다음 식에 의해 산정하며 현장 늘음량 범위는 이론늘음량의 이상으로 하며 150%를 넘지 않아야 한다.

$$\delta = (T_t - T_o) \times L_s / E_s \times A_s$$

여기서,

L_s = 앵커 자유장 + 앵커 정착장

E_s = 강선의 탄성계수

A_s = 강연선의 단면적(cm^2)

(6) 긴장시의 하중과 변위량은 기록해둔다.



그림 3.16 앵커체 긴장작업

3.5.2 긴장·정착의 시기

앵커인장재에 인장력을 도입하는 시기는 주입재가 소정의 강도에 도달하는 시기로 결정된다. 또한 정착부 수압판의 구조적 강도도 충분하여야 한다.

[해설]

① 가설앵커에는 주입재의 압축강도가 10MPa 정도라도 문제없이 시공된 앵커가 다수 있지만, 안전성을 고려하여 압축강도를 15MPa로 한다. 또한 주입재의 압축강도가 10MPa 이하에서는 어떠한 경우에도 인장력을 주어서는 안된다. 영구앵커의 경우에는 앵커체 정착부의 장기내력을 기대하고 있기 때문에 약재령의 주입제에 커다란 응력을 주면 앵커체 정착부에 크랙을 크게 발생시키는 동시에 크리프파괴의 위험성도 있어서 압축강도가 30MPa 이상 되었을 때 긴장이 필요하다.

② 앵커로 보강된 구조물 및 배면지반은 프리스트레스 도입 시 혹은 도입 후에 유해한 변형이나 파괴를 발생시키는 내력이나 구조이면 안된다. 구조물의 내력이나 지반의 지내력을 인발시험과 조사천공을 실시하여 파악해두어야 한다.

3.5.3 긴장·정착의 방법

긴장 작업은 앵커 공법에 적합한 긴장용 잭에 의해 긴장하여야 한다. 또 정착은 신뢰성이 높은 앵커인장재의 극한강도이상의 정착내력이 있는 정착구를 사용하여 확실한 정착을 하여야 한다.

[해설]

긴장 및 정착방식은 각종 공법이 실용화되고 있으며 공법의 선정은 사용 재료, 구조물의 형상, 자유장부의 길이, 향후 재긴장계획 등을 고려해 실시한다.

3.5.4 재긴장

앵커의 초기 긴장 작업 이후에 시간의 경과에 따른 릴렉세이션 등이 발견되었을 시에 인장력을 보정하여야 한다.

[해설]

(1) 초기 긴장 작업 시에 앵커헤드와 재인장용 커플링의 하단부위에 높이를 맞춘 후에 실시하여야 하고, 앵커 헤드와 재인장용 커플링의 나사부위에 이물질이 들어가지 않도록 유의하여야 한다. 또한, 앵커헤드와 재긴장 커플링의 부식방지를 위해 방청작업을 충분히 하여야 한다.

(2) 재긴장은 상세한 계획을 작성하여 감독원의 승인을 받고 시행하여야 하며 재인장하중, 재인장 앵커의 위치, 재인장 작업 공정, 재인장 작업결과기록 등의 사항을 충분히 검토하여야 한다. 또한, 재인장 작업자는 작업 중 발생하는 요인에 대해서는 검토서를 제출하여 감독원의 승인을 받아야 한다.

(3) 재인장 장비는 초기인장력 이상을 낼 수 있는 잭을 사용하여야 하며, 장비의 구성은 앵커헤드와 연결을 위한 커플러 및 로드와 고정용 너트, 긴장 잭, 유압 펌프, 램 체어로 한다.

(4) 재긴장 후 앵커번호 표시도, 재인장 작업 보고서 및 판정서를 감독원에게 제출하여야 한다.

3.5.5 방청유의 주입

앵커두부는 방청유를 보충하거나 재주입할 수 있는 구조로 설치하여야 한다.

[해설]

앵커두부는 재긴장을 실시한 경우 앵커헤드가 들어올려져 정착된다. 이때 앵커헤드직하로 공극부가 생길 염려가 있는 경우는 여기에 방청유를 충전할 수 있는 구조를 해둘 필요가 있다.

3.5.6 인장력

(1) 초기인장력은 앵커를 긴장·정착하기 위해 인장재에 초기에 가해지는 최대인장력을 말한다. (2) 유효인장력은 초기인장력을 도입한 후 PC강재의 릴랙세이션, 앵커체정착부의 크리프, 지반압밀침하 등에 의해 인장력이 저하한 다음에도 인장재에 작용하고 있는 장기적으로 유효한 인장력을 말한다.

[해설]

(1) 초기인장력

앵커공법은 프리스트레스 도입을 통하여 정착부의 크리프. 앵커구조물 배면지반의 변형계수 등을 크게 개선하는 것이 기대되지만 초기인장력이 과다한 경우 앵커정착부의 크리프나 앵커된 배면지반의 변형 등에 의해 앵커두부가 구조물에서 밀려나와 지압판이나 구조물과의 사이에 틈이 생기는 등 문제가 될 때가 있으므로 앵커정착지반을 파괴시키거나 악영향을 미치지 않는 한도 내에서 앵커의 초기인장력이 결정되는 경우가 있다.

초기인장력에서는 정착후의 강재의 릴랙세이션·지반의 크리프·정착시의 세트량 등 각종조건에 의해 잃게 되는 인장력을 포함하고 있고 이들을 고려한 다음 유효인장력으로서 설계하중의 100%를 도입할 수 있도록 초기인장력을 결정해야 한다.

(2) 유효인장력

설계유효 인장력은 구조물에 있어서 상정한 하중조건이나 구조물의 허용변위량·강재의 릴랙세이션·지반특성·세트량 등을 충분히 고려한 다음 결정해야 한다.

관측결과에 의하면 10년이상 경과후도 인장력이 변화한 것의 보고도 있지만 일반적으로 큰 변화는 1개월 이내이고 그 후의 변화는 작다. 단 변화가 클 경우는 재긴장 등 처치를 강구하는 일이 필요해지고 그 경우에는 재긴장에 충분히 대응할 수 있는 시스템을 갖는 기구라야 한다.

3.5.7 긴장관리

긴장관리는 모든 앵커에 대하여 실시하여 건전성을 확인한다. 또 이때의 시험기록 및 사진기록은 보존해 두어야 한다.

[해설]

(1) 긴장관리는 시공하는 모든 앵커에 대하여 소정의 방법으로 실시하여야 한다.

(2) 긴장·정착 혹은 시간경과에 의해 앵커의 이상이 발생한 경우는 원인을 규명하여 필요한 대책을 강구해야 한다.

3.5.8 충전주입

충전주입은 앵커체를 조성한 후에 앵커 자유장부 주면이나 앵커두부 배면의 공극충전과 보호를 위해 실시하는 것이며, 앵커의 기능이 손상되지 않도록 실시한다. 가설앵커에서는 필요시 충전주입을 한다.

[해설]

충전주입의 주된 목적은 앵커의 자유장부 시스(sheath)의 외측과 지반사이의 공극을 그라우트로 채워서 자유장 부분의 방식기능을 증가시키기 위한 것이며, 공벽 주위지반이 느슨해짐을 억제하기 위한 것이므로 적절한 방법을 사용하여 실시한다. 또 영구앵커에서는 반듯이 충전주입을 실시해야 하며, 가설앵커에서는 그 필요성이 있을 경우에만 실시한다.

3.5.9 앵커제거

앵커제거는 각종 제거식 앵커공법 별로 적합한 방법으로 인장재에 작용하는 인장력을 완전제거한 후에 실시한다.

[해설]

제거식 앵커는 가설앵커에서 그 사용기간 종료 후에 인장재를 제거할 수 있는 구조를 가진

것을 말하며 그 원리 구조는 공법에 따라 다르며, 공법별 자체의 품질기준, 설계, 시공방법을 가지고 있다. 따라서 공법별로 인장재 철거 방법도 다르기 때문에 앵커 제거 작업은 각각의 공법에 맞는 안전한 방법을 사용하여야 한다. 제거식 앵커를 철거하는 경우는 그 작업 직전까지 앵커가 사용 상태로 있었기 때문에 최초로 인장재에 도입되어 있는 인장력을 제거하여야 한다. 인장력 제거는 일반적으로 정착구 배면의 인장재를 가스절단하는 방법이 사용된다. 흙막이 벽체에 앵커두부가 정착되어 있는 경우에는 가스절단 공간을 확보하기 위해 정착작업 시에 정착구 배면에 제하용 대좌를 설치해 둘 필요가 있다.

3.6 시험

3.6.1 일반사항

앵커의 시험은 목적에 따라서 다음 3종류의 시험을 실시할 수 있다.
시험은 책임기술자와 감독원의 입회하에 실시하여야 한다. 또한, 도급자는 시험에 앞서 시험방법과 시험종류에 대한 계획서를 작성하여 감독원에게 제출하고 승인을 받아 시행한다.

[해설]

(1) 인발시험

인발시험은 실제의 앵커시공에 앞서 설계조건으로 표시한 지반조건, 사용재료, 안전율 등에 의한 앵커의 품질, 설계의 정확성 등을 조사·증명하기 위해 실시한다. 이 시험은 인장시험보다도 엄격하게 실시되어야 한다.

본래 설계와 같은 시방의 앵커로 완전히 인발할 수 있을 때까지 시험을 하는 것이 이상적이지만 실제로는 설계값이 소정의 안전율을 가지고 있는지 아닌지를 확인하기 위한 시험으로 시험결과 앵커체를 빼내지 못할 경우가 있는데 이러한 경우 단면적이 큰 인장강재를 사용하는 등 조치를 취하여야 한다.

(2) 인장시험

인장시험은 실제로 시공되는 앵커와 동등 조건으로 타설한 앵커에 대해서 실시하여 실제와 같은 하중으로 긴장 재하한다. 시험기간(시간)은 앵커인장파괴나 크리프파괴에 대하여 허용되는 범위내에서 충분히 안정되어 있다는 것을 증명할 수 있을 때까지 한다. 이 시험은 실제로 타설되는 앵커를 사용하여 실시된다.

(3) 확인시험

확인시험은 실제로 시공되는 인장시험에 사용한 앵커를 제외한 모든 앵커에

대해 실시하고 설계하중에 대한 앵커내력을 확인하기 위해 실시하는 시험으로 통상설계하중의 1.0배의 하중에 대한 단기적인 앵커내력을 실증할 수 있도록 한다.

이들의 확인시험의 결과와 인장시험결과를 대비하여 시공된 앵커의 장기적 거동으로 지표를 주는 것이다. 실제로는 이들의 시험 외에 장기적인 앵커인장력의 변화를 조사하는 시험이나 앵커를 구성하는 부재의 재료시험, 앵커긴장시에 인장재에 발생하는 변형이나 응력분포를 조사하는 시험 등이 있다. 이들은 제각기 실시할 때도 있지만 인발시험이나 인장시험을 일괄해서 실시할 때도 있다. 어떤 경우라도 설계도에 준해서 실시되어야 한다.

3.6.2 인발시험

인발시험은 실제의 앵커 시공에 앞서 설계조건에서 제시한 지반조건, 사용재료 등에 의한 앵커의 품질, 설계의 정확성 등을 조사, 증명하기 위한 시험으로 설계와 동일한 지반에 시행하여야 한다.

[해설]

(1) 인발시험의 목적

인발시험은 앵커의 타설이 계획되어 있는 지반 혹은 그와 동등한 지반에 실제의 시공에 앞서 시험용 앵커를 별도 타설하여 실시하는 것이다.

이 시험목적은 앵커가 인장·인발과정에 있어서 설계시방서에 표시한 성능을 가지고 주어진 조건을 만족하는지 아닌지를 조사·실증하는데 있다. 이 시험결과는 설계에 피드백되어 불합리한 점이 있다면 설계조건을 수정할 때도 있다. 이 시험에서는 실제의 시공에서 사용하는 앵커재료시험을 포함할 때도 있고 시공환경을 고려한 천공, 지수, 인장재의 삽입·주입 등 시험을 포함할 때도 있다. 어느 정도까지의 시험을 할 것인가는 설계시방서에 표시되어 있는 경우가 있지만 일반적으로는 시공규모·내용기간(영구, 가설), 중요도에 따라 다르다.

(2) 시험의 수량

인발시험앵커의 최저수량은 앵커의 내용기간에 의해 달라진다.

인발시험에 제공하는 시험앵커수량은 앵커의 배치형상, 타설지반의 지질이나 지층의 종류, 인장재 등이 다를 때마다 최저시험수량에 준해서 결정하는 것이 바람직하다.

또한 과거와 같은 지반에 대해서 앵커인발시험의 정보·기록이 얻어지는 경우에는 시험수량을 적절히 줄이든지 인발시험을 생략할 수 있다.가설앵커에 있어

서는 부근에 같은 지반의 주면마찰저항 τ값의 자료가 있는 경우나 τ값으로 쉽게 판정되는 경우 및 τ값의 작은 값을 채용해서 안전율을 3.0으로 하는 경우에는 인발시험을 생략할 수 있다.

정착층의 대상지반이 동일한 경우에는 경사앵커에 대치해서 수직앵커로 시험을 할 수 있다. 단, 흙덮기는 통상 최저 5m필요하다고 하나 7m정도가 바람직하다.

충적지반과 같이 지질상태가 급격히 변화하는 곳에서는 시험용 앵커의 정착층을 어디에 잡을 것인가는 중요한 검토사항이 된다.

시험앵커의 정착장은 되도록 단일층으로 잡는 것이 바람직하고 2층 이상이 되면 인발에 이르는 사이에 복잡한 하중·변위거동을 나타낼 때가 있으므로 시험결과 판단시 주의를 해야한다.

(3) 계획최대시험하중

인발시험의 최대시험하중(P_m)은 안전대책상의 이유로 인장재의 규격항복강도(P_y)의 90%혹은 규격인장강도(P_u)의 80% 가운데 작은 쪽의 값을 한도로 하여 재하한다. 또 최대시험하중은 원칙으로서 인장재의 비례한계강도(P_p) 이하로 한다.

인발시험은 그 목적에서 앵커가 최종적인 파괴를 일으켜 빠져나갈 때까지 실시해야 하나 안전대책상 인장재의 규격항복강도의 90% 혹은 규격파단강도의 80% 가운데 작은 쪽의 값을 한도로 한다. 만약 앵커가 빠지기 전에 인장재나 부재의 부분적인 파괴가 생긴다면 그 원인은 조사되어야 한다. 또 시험앵커는 앵커정착층의 인발저항력을 구하기 위해 인장재의 단면적을 늘리는 등 인장재의 인장하중에 대한 용량을 증가시키든지 정착장을 짧게 하든지 해서 인장한도내에서 앵커가 빠지도록 해야 한다. 특히 동일조건하에서 2본 이상의 인발시험을 할 경우에 이와 같은 계획을 세워 지반과 주입재의 경계면에서의 부착이 파괴될 때까지 엄격하게 시험을 해야 한다.

PC강재를 인장재로 하는 앵커에서는 항복강도의 90% 혹은 파단강도의 80%가 그 비례한계강도를 초과할 때가 있다. 이 비례한계강도를 초과한 높은 인장하중 내에서는 앵커의 외관상 인장하중-신장곡선은 통상곡율이 커져 있다. 이것은 정착지반의 소성변형이나 잭의 특성 등이 주요한 원인이지만, 여기에 인장재의 비례한계강도를 초과한 변형이 더해지면 시험결과의 해석은 복잡하게 된다. 소성변형이 급격하게 증가하거나 탄성변형에 의거한 계산유효자유장이 증가할 때도 있으며, 대개의 경우 이것이 정착지반의 국부적인 항복이나 파괴로

판단될 때가 있다. 따라서 되도록 정확한 정착지반에 관한 정보를 얻기 위해서는 판단을 복잡하게 할 요인을 조금이라도 줄일 필요가 있고 최대시험하중을 인장재의 비례한도내에 설정하는 일은 불확정요소를 제거하여야 한다.

(4) 시험시기

인발시험은 앵커타설 후 주입재의 압축강도(σ_c)가 설계기준강도를 상회한 시점에서 실시한다.

인발시험은 앵커타설 시에 채취한 주입재의 공시체 압축강도가 설계기준강도를 상회한 시점에서 실시한다. 설계기준강도는 보통 포틀랜드시멘트를 사용한 경우 재령 28일, 조강시멘트를 사용한 경우 재령7일을 기준으로 하나, 일반적으로는 가설앵커의 경우 σ_c =15MPa 이상, 영구앵커에서는 σ_c=24MPa 이상으로 실시된다. 또한 본 항목은 인장시험 및 확인시험에서도 마찬가지로 적용된다.

(5) 시험장치

인발시험에 사용하는 표준적인 시험장치 및 구비해야 할 성능은 다음과 같다.

① 가력장치: 계획최대시험하중에 대하여 120%이상의 용량을 갖는다.

인발시험에 쓰이는 잭은 계획최대시험하중에 대하여 120%이상의 용량을 갖는 것으로 잭스트로크가 예상되는 신장량에 대하여 충분히 여유가 있는 것을 사용한다.

② 반력장치: 계획최대시험하중에 대하여 강도・변위・변형・모두 충분히 허용된다.

반력장치는 콘크리트나 강재 혹은 침목 등에 의해 작성되나 계획최대시험하중 밑에서도 파손하지 않고 또한 시험정밀도에 영향을 미칠 것 같은 변위나 변형을 일으키지 않는 것을 사용한다.

③ 계측장치: 인장하중, 앵커 및 반력장치 변위량, 시간이 충분한 정밀도로 계측할 수 있다.

인장하중의 계측은 잭펌프에 붙어있는 블던관 혹은 로드셀을 사용해서 한다. 이들의 장치는 캐리브레이션되어 정밀도가 보증된 것을 사용한다. 앵커두부의 신장량은 통상 0.1~0.5mm 정밀도의 변위계를 사용하고 부동점을 기준으로해서 계측한다. 또 반력장치의 변위도 같은 변위계를 사용해서 부동점에서 계측한다. 시간도 초침이 있는 시계나 스톱워치 등을 사용한다.

3.6.3 인장시험

인장시험은 실시앵커와 같은 조건하에서 타설한 앵커를 사용해서 실시하고 시험결과는 실시공 앵커의 특성을 판단하는 기초자료가 된다.

[해설]

(1) 인장시험의 목적

인장시험은 실제로 계획 시공되는 앵커와 동일조건하의 앵커에 대해 실시하므로 통상 앵커시공개시를 빠르게 한다. 시험에 사용하는 앵커는 실제로 사용하는 앵커 중에서 고르든지 이들과는 따로 추가한 것으로도 된다. 이 시험결과를 실시공 앵커에 대하여 실시할 확인시험결과로 추정하고 판단하는 기초자료로 사용할 수 있다.

(2) 시험의 수량

인장시험의 최저수량은 앵커의 내용기간에 의해 다르다. 이것은 계획앵커의 배치형상, 타설 지반타입이 다를 때 마다 적용된다.

(3) 계획최대시험하중

계획최대시험하중은 설계하중의 1.2배 이상, 인장재의 항복하중의 0.9배 이하로 한다. 초기하중은 계획 최대시험하중의 0.1배로 하되 시험하중이 적은 경우에는 미소한 하중의 측정이 곤란하므로 최소 50kN 이상의 초기 하중을 유지하도록 한다.

가압장치는 계획 최대시험하중의 1.2배 이상의 공칭용량을 가지며, 계획하중 단계에 따른 하중의 증감이 가능한 것으로 한다. 재하는 초기하중에서 계획최대시험하중과의 사이를 5등분씩, 하중제어에 의해 높은 주기로 실시함을 원칙으로 한다. 각 주기의 재하는 다음 표에 표시한 시간에서 하중을 일정하게 유지한다. 단, 변위가 안정되지 않는 경우에는 다음 표에 기준하여 하중을 유지한다.

표 3.4 인장시험 최소하중재하시간

정착층 / 하중단계	점성토	사질토	암반
초기하중 시	15분 이상의 일정시간	10분 이상의 일정시간	5분 이상의 일정시간
이력하중 시	3분 이상의 일정시간	2분 이상의 일정시간	1분 이상의 일정시간

각 하중단계에서의 측정항목은 하중-변위량과 시간으로 하고, 변위량은 2개의 다이얼 게이지 측정치의 평균치에 의한다.

하중의 증가속도 및 제하속도는 각각 매 분당의 계획 최대시험하중의 0.1배 내지 0.2배로 한다. 시험결과는 앵커두부에 있어서 하중-변위량 곡선, 하중-탄성변위량 곡선, 시간-하중곡선을 각각 그림으로 표시해 지압판 지지지반 파괴상태, 앵커인장부의 길이, 앵커의 인발유무를 판정한다.

(4) 시험시기

인장시험의 시험시기는 인발시험의 시험시기와 동일하다.



그림 3.17 인장시험

3.6.4 확인시험

확인시험은 원칙적으로 시공한 모든 앵커를 대상으로 그 성능의 적합 여부를 실증하고 평가하기 위해 실시된다.

[해설]

(1) 확인시험의 목적

확인시험은 시공한 모든 앵커에 대하여 실시하고 이들 성능이 시공 목적에 적합한 것임을 실증하고 평가하기 위해 실시된다.

확인시험은 실제로 시공된 모든 앵커에 대해서 실시한다. 이 시험결과는 단독 또는 인장시험 결과와 비교해서 판단된다.

(2) 시험의 수량

인장시험에 사용된 앵커를 제외하고 실시공에 사용되는 앵커의 전체에 대하여 실시한다.

실시공에 사용되는 앵커는 설계하중에 대하여 충분한 내력과 성능을 가지고 있어야 한다. 따라서 모든 앵커에 대하여 설계하중까지 확인해 둘 필요가 있다.

(3) 계획최대시험하중

확인시험의 계획최대 시험하중(P_m)은 내용기간에 의해 달라지나 원칙적으로 다음과 같다.

$$\text{가설 } P_m = 1.0 \sim 1.1 P_d$$
$$\text{영구 } P_m = 1.0 \sim 1.2 P_d$$

확인시험의 계획최대시험하중은 인장시험의 계획하중에서 약간 낮춘 것으로 한다. 기본적으로는 설계하중을 프리스트레스로 하여 부여하는 경우 여기에 견딜 수 있는 앵커인 것이 확인할 수 있어야 하고, 앵커의 신장이 안정되어 있다는 것이 확인되어야 한다. 확인시험하중의 크기에 의해 안전율을 고를 수 있기 때문에 확인시험하중이 설계하중의 1.0배($P_d \times 1.0$)의 경우에는 설계인발내력의 안전율은 F_s=3.0으로 1.2배($P_d \times 1.2$)에서는 F_s=2.5로 할 수 있다.

수압판의 종류나 지반조건에 의해서는 설계하중의 1.2배나 하중을 주는 경

우 수압판 자체에도 허용하중이상의 큰 하중이 작용할 때가 있다. 즉, 앵커인장력 P=1.2d는 구조물의 허용균열응력을 초과하는 경우도 있다. 이와 같은 경우에는 확인시험하중을 설계하중의 1.0배(P_d ×1.0)로 하여 인발시험결과를 기초해서 설계인발내력의 안전율 F_s=3.0으로 하는 것이 일반적으로 좋다. 가설앵커에서도 공공성이 높은 앵커에서는 F_s=2.0을 채용할 필요가 있다고 한다. 또한 가설앵커의 확인시험은 설계하중의 1.0배로 좋다고 한다. 또, 이때 인장재의 인장강도, 인장재와 그라우트의 부착강도, 지반과 그라우트의 주면마찰저항에 대해서도 소정의 안전율을 지니고 있는지를 확인해 둘 필요가 있다.

(4) 시험장치

확인시험에 사용하는 표준적인 시험장치 및 갖추어야 할 성능·정밀도는 다음과 같다.

① 가력장치: 계획 최대하중에 대하여 120% 이상의 용량을 가진다.

확인시험에 사용하는 jack은 확인시험 계획 최대하중에 대해서 120% 이상의 용량을 가지는 것으로 하고 jack stroke도 예상되는 신장량에 대하여 충분히 여유있는 것을 사용한다.

② 계측장치: 인장하중, 앵커 신장량, 시간을 충분한 정밀도로 계측할 수 있도록 한다.

3.6.5 리프트오프 시험

리프트오프 시험은 이미 정착되어 있는 그라운드앵커의 인장력을 확인하기 위해 실시한다. 시험결과는 인장력의 유지관리를 위한 자료가 된다.

[해설]

(1) 일반적으로 지반에 타설한 앵커는 시간과 함께 그 인장력이 저하된다. 그 저하율은 지반의 종류나 타설조건에 의해 달라지고 강도나 변형계수가 작은 점성토지반이나 느슨한 모래지반 등에서는 크고, 신선한 암반 등에서는 작다. 또 비탈면붕괴나 비탈면붕괴방지를 위한 앵커에서는 인장력이 초기인장력보다 커지는 경우도 있으므로 인장력의 변화를 조사하여야 하며, 방재 측면에서도 중요하다.

(2) 시험수량

인장력을 확인할 필요가 있는 경우 리프트오프 시험을 한다. 시험에 쓰이는 앵커의 수량은 시공규모, 타설지반의 종류, 앵커계획대상의 중요도 등을 고려해서 책임기술자가 결정한다.

인장력의 확인은 시공대상영역 전체에 대하여 널리 실시할 필요가 있으므로 그 중요도, 시공규모 등에 따라서 수량을 결정한다. 일반적으로는 앵커 50~100본에 한곳의 비율로 리프트오프 시험을 한다.

(3) 최대시험하중

최대시험하중(P_m)은 공사보고서로부터 앵커의 사양을 확인할 수 있는 경우는 설계앵커력의 1.5배로 한다. 리프트오프시험은 이미 정착되어 있는 그라우트앵커를 다시한번 인장, 앵커두부의 하중~변위관계로부터 변위량이 증가비율이 인장재의 탄성신장량과 같아진다고 인정되는 하중을 구하는 시험이다. 하중-변위관계는 앵커가 가지고 있는 인장력 부근에서 변곡점을 갖기 때문에 예상되는 인장력에서 10% 정도 크게 한 하중을 최대시험하중으로 할 필요가 있다. 단, 하중을 증가해도 변곡점이 구해지지 않는 경우에는 하중의 증가는 인장재의 항복하중(P_y)의 90% 또는 비례한계하중(P_p)정도까지로 한다.

(4) 시험시기

리프트오프 시험의 시기는 앵커 정착 후 잔존 인장력을 확인할 필요가 생길 때 혹은 인장력의 유지관리계획으로 결정되어 있는 시기 등에 실시한다.

일반적으로 인장력의 저하량은 앵커정착후가 가장 크고 시간이 지나면서 작아지므로 리프트오프 시험의 시간간격은 정착 후 초기는 좁게, 시간이 지나고 나서는 크게 잡을 때가 많다. 통상 시험의 시간간격은 앵커의 공용기간이나 중요도 등을 고려하여 결정한다.

(5) 시험장치

리프트오프 시험에 쓰이는 시험장치 및 구비해야 할 성능은 다음과 같다.

① 가력장치 : 최대시험하중에 대하여 120% 이상의 용량을 갖는 것

리프트오프 시험은 앵커에 잭을 세트하여 여기에 가력함으로써 행하는 비교적 간단한 시험법으로 임의의 앵커에 대하여 시험을 할 수 있다. 또한 이 시험에서는 로드셀이나 반압계는 필요로 하지 않는다.

② 계측장치 : 앵커의 변위량이 충분한 정밀도로 계측할 수 있는 것

앵커두부의 신장량계측은 정밀도 0.1~0.5mm정도의 변위계를 사용하여 실시할 때

가 많다.

(6) 리프트오프 시험 방법

리프트오프 시험은 단계재하에 의해 실시하고 인장력~앵커두부변위량 관계를 측정한다.

① 초기하중(P_i)은 $P_i=(0.05\sim0.1)P_d$로 한다.

② 단계적 하중증분은 잔존인장력(P_d)의 85% 정도까지는 $\Delta P=(0.02\sim0.05)P_d$로 한다.

③ 하중유지시간은 특별히 필요하지 않다.

④ 재하속도는 인장시험에 준한다.

(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 잔존인장력보다 커지면 앵커자유장부의 인장재의 탄성적인 하중~변위곡선의 구배와 거의 같아진다. 따라서 리프트오프 시험에 대한 하중~변위량곡선의 변곡점(구배변화점)은 잭의 하중과 앵커의 인장력이 균형을 이룬 점으로 생각된다. 일반적으로 이때의 하중을 리프트오프 하중으로 한다.

② 리프트오프하중(P_l)과 도입인장력(P_d)의 대소를 비교함으로써 앵커의 성능을 판단한다.

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

4.1 점검을 통한 앵커의 유지관리

4.1.1 유지관리의 정의

시설물과 부대시설의 기능을 보존하고 이용자의 편익과 안전을 도모하기 위하여 일시적으로 또는 정기적으로 시설물의 상태를 조사하고 손상부에 대한 조치를 취하는 일련의 행위를 유지관리라 한다.

4.1.2 유지관리 업무

앵커로 보강된 구조물 및 지반은 관리주체가 정기적으로 점검, 관측 및 계측을 실시하고 이상 발생 시 적절한 대책을 강구하여 시설이 제 기능을 발휘할 수 있도록 해야 한다.

[해설]

앵커 또는 앵커로 보강되는 구조물 및 주변지반은 관리주체가 정기적으로 점검, 관측 및 계측을 실시한다. 또한, 태풍, 폭우 등의 이상기후 또는 지진이 발생한 경우는 필요에 따라 신속히 점검을 실시한다.

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 인장력 완화 등에 대해 적절한 대책을 강구한다.

점검, 관측 및 계측의 목적은 시공된 앵커 및 앵커로 보강된 구조물이 사용기간 중 그 기능을 충분히 다하는지 여부를 확인하고 필요한 조치에 대해 검토하는데 있다.

앵커는 지반이나 지하수 등 주변 환경에 영향을 받기 쉬우며, 불완전한 방청 처리에 의한 파손이 발생할 수 있고, 파손개소는 인장부, 앵커두부에 집중되어 발생한다. 따라서 유지관리 점검에 있어 이러한 사항을 고려하여 조사하도록 한다. 또한, 폭우 등의 이상기후 또는 지진이 발생한 경우 조속히 임시점검을 실시하고 앵커 및 주변환경의 변화를 확인하여야 한다.

앵커시설의 유지관리 효율성을 극대화하기 위해서는 앵커두부나 앵커로 보강되는 구조물의 변형을 정기적으로 점검하고, 주변지반의 거동을 관측·측정하며 앵커의 잔존인장력의 변화추이에 대한 점검 등을 실시할 필요가 있다.

앵커의 유지관리와 관련한 안전관리 업무의 흐름은 그림 4.1과 같다.

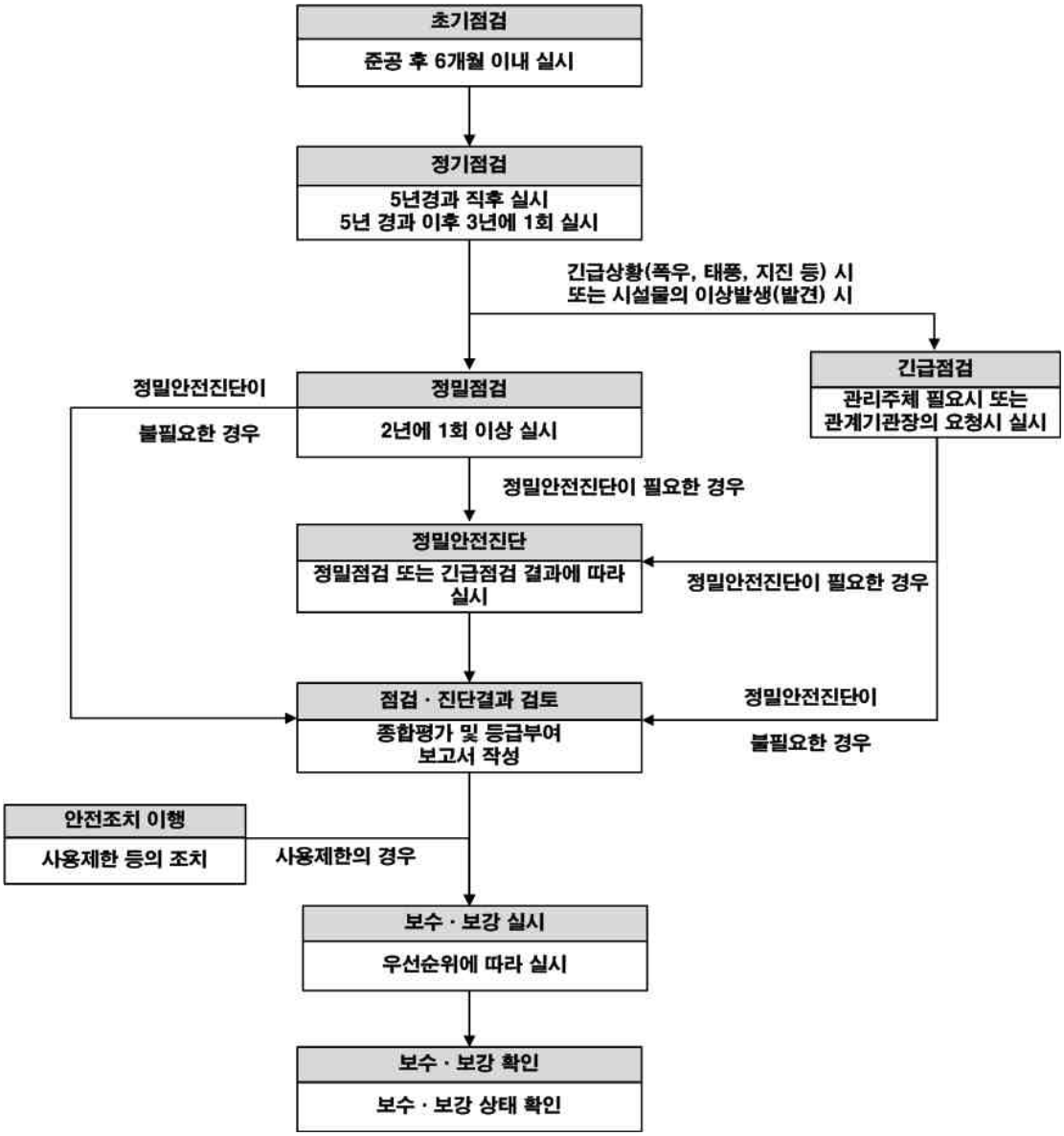


그림 4.1 안전관리 업무의 흐름도

4.2 안전점검

4.2.1 일반사항

앵커시설의 점검에는 초기점검, 정기점검, 정밀점검, 긴급점검이 있다. 평상시에는 정기적으로 정기점검 및 정밀점검을 실시하며 호우나 지진시, 중대한 손상이나 변형 발생시에 긴급점검을 실시한다. 앵커구조물의 점검은 앵커두부, 정착부 지반변형 등의 외관상태와 비탈면 안정에 큰 영향을 미치는 인장력 변화에 유의하여 실시한다.

[해설]

앵커시설의 점검은 앵커의 설치상황 등을 고려하여 필요한 항목에 대하여 실시한다. 앵커시설의 점검방법으로는 육안점검에 의한 방법과 각종 시험이나 계측에 의한 방법이 있지만, 일반적으로 육안점검에 의해 인장재의 파단, 각종부재의 부식, 수압구조물의 파단 등 이상징후를 조사하고, 육안점검으로는 불충분한 경우에 시험이나 계측을 실시하도록 한다. 지압판 배면의 인장재(PS강선, PS강봉, PS강연선 등)의 상태는 관측공이 있는 경우는 내시경 등에 의한 육안조사가 가능하나 관측공이 없는 경우가 많아 앵커체 및 인장부의 상태를 육안으로 확인하는 것은 어렵다. 따라서 샘플링 한 앵커에 대해 정기적으로 잔존인장력을 측정(Lift Off Load Tests)하여 앵커가 그 기능을 충분히 다하고 있는지 여부를 확인한다. 이 방법에 의해 장기적인 크리프 영향에 대해서도 관측할 수 가 있다.

하중 및 변위 등의 계측 지점은 앵커의 역할이나 배치, 수량 등을 고려하여 결정한다. 예를 들면, 비탈면 보호 목적으로 시공한 경우는 비탈면의 안정성 평가를 위해 대표 단면에 설치하는 경우가 많고, 이 경우 점검 계단 혹은 사다리 등을 설치하여 측정하기 쉬운 환경을 준비하는 것이 필요하다. 또 앵커의 건전성을 평가하려고 하는 경우에는 필요에 따라 임의의 계측점을 선정한다. 또한, 대상 시공면적이 넓은 경우에는 이를 보조하는 보조측선을 설치해 두는 것이 바람직하다.

표 4.1 앵커의 하중 증감 허용범위

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

그림 4.2는 앵커 인발력을 측정하는 예를 나타냈다.



그림 4.2 앵커 인발력 하중계 계측

4.2.2 측정항목

앵커 및 앵커된 구조물은 정기적으로 다음 항목에 대하여 관측, 측정을 한다.
(1) 구조물 및 주변지반의 변위
(2) 앵커두부의 변상 및 부식상황
(3) 앵커에 생기는 하중 및 변위
(4) 지하수위

[해설]

(1) 구조물 및 주변지반의 변위

구조물의 변위 및 변형은 앵커로 보강된 구조물이나 주변지반 상황의 육안점검이나 계측기를 사용한 조사로 파악할 수가 있다. 육안점검은 구조물에 발생한 균열의 상황을 조사한다. 한편, 계측에 의한 조사방법은 지표경사계, 공내경사계, 지중변위계, 신축계 등 계측기에 의한 방법과 트랜시트 및 광파측거의 등 측량에 의한 방법이 있다. 또 비탈면안정을 위해 앵커의 경우에는 비탈면 전체의 조사를 하는 것이 안전하다.

(2) 앵커두부의 변상 및 부식상황

앵커의 두부보호 및 정착구의 파손, 인장재의 부식 등의 이상은 육안점검에 의한 앵커두부진단으로 추정할 수 가 있다. 정착구 또는 지압판배면의 인장재 상황은 앵커공 내의 공극이 생기면 파이버스콥(fiberscope) 등에 의한 육안점검이 가능하다. 이상이 발생한 앵커의 두부변상 및 두부상황의 조사는 비파괴검사나 금속 검사 등에 의해 조사한다.

앵커두부는 낙석이나 공사용 차량 등에 의한 외적손상과 강우 등에 의한 부식으로부터 정착구를 보호하기 위해서는 두부캡으로 피복한다. 앵커두부처리가 적절하지 못한 경우에는 지하수나 유해물질이 침투해서 앵커 인장재나 두부재료가 침식되어 인장재의 파단으로 이어질 수 있으므로 고도의 품질관리와 시공을 하여야 한다.

강봉형 앵커는 인장재의 부식에 의하여 파단 할 때 한순간에 인장력이 해방되기 때문 에 두부 및 파단한 자유장부 앵커가 순간적으로 돌출되며, 경우에 따라서는 수십 m에까지 달하기도 한다. 특히, 강봉형의 구형앵커는 인장재의 부식에 의하여 인장재가 파단될 가능성이 크다고 판단되기 때문에, 특별히 유의하여 점검을 하는 것이 바람직하다. 또, 원지반의 변형으로 강연선에 과대한 하중이 작용하여 순간적으로 강연선이 파단하여 앵커가 튀어 나온 사례도 보고되고 있으므로, 원지반이나 구조물 등의 변형에도 유의가 필요하다.

(3) 앵커에 생기는 하중 및 변위

앵커는 일반적으로 시공 후 시간의 경과에 따라 정착지반이나 앵커로 보강된 구조물 배면의 지반 크리프 등에 의해 인장력이 감소하고 일정기간 경과 후에는 감소가 멈출 것 같은 거동을 나타낸다. 크리프의 정도에 대해서는 지반조사나 시험 등으로 추정할 수 있지만 정량적인 파악은 어렵고, 크리프에 의한 하중감소가 예상되는 경우에는 설계 시 재긴장에 대해 검토해두어야 한다.

(4) 지하수위

예기치 않은 지하수위의 상승이나 하강하게 되면 구조물 및 주변의 지반전체가 불안정해지고 앵커에 과대한 하중이 작용하게 된다. 지하수위의 계측은 천공공을 이용한 수위관측 혹은 간극 수압계에 의한 수압의 계측에 의해 실시된다. 지하수위계측에서 이상 수위의 변동이 예측되는 경우에는 배수천공을 하는 등 적절한 처치를 취하여야 한다.

4.2.3 초기점검

(1) 초기점검은 관리주체가 시설물의 유지관리를 하는데 필요한 초기치와 기초자료를 얻기 위하여 정밀점검에 준하여 실시하는 점검이다.
(2) 초기점검은 신설되거나 구조변경된 시설물에 대하여 준공 또는 사용승인(임시사용 포함) 후 6개월 이내에 실시하는 최초의 정밀점검이며 시설물의 전 부재에 대한 조사·관찰로 현재 발생한 결함 및 장래 발생하기 쉬운 결함을 조사하여 유지관리의 기초자료로 활용한다.
(3) 초기점검 시에는 사전에 설계도서를 상세히 검토하고, 추후 유지관리에 특별한 주의를 필요로 하는 사항을 제시하여야 하며, 시설물의 예방적 유지관리 체계의 구성이 필요하다.

[해설]

(1) 초기점검은 정밀점검 수준으로 실시하며 초기치를 얻기 위하여 결함부위 등 주요부위에 대한 외관망도 작성 등 조사결과를 도면으로 기록하여야 한다. 또한, 초기점검은 정밀점검 및 긴급점검을 실시할 수 있는 책임기술자의 자격을 갖춘 사람이 수행하여야 한다.

(2) 본 지침에서의 초기점검은 '건설기술관리법'에 의하여 준공전에 실시하는 정기점검 수준의 초기점검과는 다르며 '시설물안전관리에 관한 특별법'에 근거하여 준공 후 최초로 실시하는 정밀점검을 의미한다.

(3) 초기점검의 성과물인 초기점검보고서의 기록사항 및 양식은 '안전점검 및 정밀안전진단 세부지침'에 있는 '시설물의 예방적 유지관리를 위한 보고서 체계'에 준한다.

4.2.4 정기점검

(1) 정기점검은 경험과 기술을 갖춘 자가 앵커구조물 등 시설물의 손상이나 결함을 조기에 발견하고 시설물의 기능적 상태를 판단하며 시설물이 현재의 사용요건을 계속 만족시키고 있는지 확인하기 위하여 실시하는 세심한 육안검사 수준의 점검이다.
(2) 원칙적으로 앵커구조물 등은 준공일 또는 사용승인일 다음 반기부터 반기별 1회 이상 실시하는 것으로 한다. 다만 정밀점검, 긴급점검 및 정밀안전진단의 현장조사 기간과 중복되는 반기에는 생략할 수 있다.
(3) 정기점검은 대상으로 하는 모든 앵커에 대해 근접 조사하는 것이 바람직하나 타음검사 등 근접 조사는 표본조사로 실시하며 현장여건상 도보로 접근이 어려운 앵커는 원거리에서 간접적인 조사를 실시한다.
(4) 점검방법은 육안조사나 타음을 주로 이용하며 점검 결과는 점검기록부에 기록한다.
(5) 앵커 인장력이나 비탈면 및 구조물의 변형을 계측하는 경우에는 계측 자료를 확인하여 이상유무를 확인하여야 한다.
(6) 정기점검결과 심각한 변형·손상이 확인되었을 때는 긴급점검을 실시한다.
(7) 정기점검 결과는 점검기록부에 기록하고 점검보고서를 작성하여 제출한다.

[해설]

(1) 점검자의 자격기준은 '시설물안전관리에 관한 특별법' 등 관련 법규를 따른다.

(2) 비탈면의 피해가 많이 발생하는 해빙기와 우기에는 정기점검 실시와 별도로 수시 점검을 실시하는 것이 바람직하다. 또, 적설지에 있어서는 적설 하중이나, 제설 시의 기계에 의해서 두부 보호 캡이 파손 · 변형되는 경우가 있다. 이 때문에 이러한 지역에서는 눈이 녹은 후에 점검을 실시하는 것이 바람직하다.

(3) 정기점검은 정밀점검에 앞서 앵커 구조물의 이상 유무를 개략적으로 파악하는 것이 목적이고, 모든 앵커에 대해 근접조사를 실시하는 것이 바람직하다. 그렇지만 현장조건에 따라서 앵커에 근접하여 조사하는 것이 곤란한 경우에는 도보로 접근 가능한 앵커를 대상으로 표본을 추출하여 근접조사를 실시하고 접근이 불가능한 앵커에 대해서는 망원경 등을 이용하여 간접적인 조사를 실시한다. 도보로 접근이 불가능한 부분에 대하여 고소작업차, 등반장비 등 접근장비

를 사용하는 것은 정기점검 시에는 예산이나 시간의 제약으로 어려움이 있으므로 정밀점검이나 정밀안전진단 시 접근장비를 사용하는 것으로 한다.

(4) 점검방법은 주로 육안점검과 타음을 이용하여 실시하지만 현장조건에 의해 앵커에 근접하여 조사를 하는 것이 곤란한 경우에는 망원경 등을 이용해서 가능한 한 많은 항목에 대해 조사를 실시하며 점검 결과는 점검 기록부를 작성 기록한다. 즉, 변형 · 손상이 확인되었을 때는 그 상황과 확인된 일시 등을 정확하게 기록하여야 한다.

표 4.2 앵커구조물의 정기점검시 조사수량

목적	대상 앵커 수
부식에 의한 파손 발견	100개 미만인 경우: 10% 혹은 3개 이상 100개 이상인 경우: 최소 5% 추가
지반 변동 영향유무 확인	5% 혹은 3개 이상(단, 지반이 균질한 경우)

(5) 육안점검 외의 앵커 인장력이나 비탈면 및 구조물의 변형을 계측하는 경우에는 계측 자료를 확인하여 이상 유무를 확인하여야 한다.

(6) 정기점검결과 심각한 변형 · 손상이 확인되었을 때는 긴급점검을 실시하여 정밀안전진단의 실시 여부를 판단한다. 긴급점검 결과 수립된 보수 · 보강대책은 위험도, 주변구조물 사고 및 인명피해의 가능성을 고려하여 가능한 신속하게 실행한다. 또한, 정밀안전진단의 실시가 필요한 것으로 판단되는 경우 정밀안전진단을 통하여 보다 상세하게 앵커 및 비탈면 · 구조물 등의 안정성에 대해 조사를 하고 보수 · 보강 등 적절한 대책을 실시할 필요가 있다.

(7) 정기점검의 결과는 점검기록부에 기록하여 이를 포함한 점검보고서를 제출하는 것으로 한다.

그림 4.3은 앵커의 파단으로 인한 앵커두부 돌출의 예를 나타냈다.



그림 4.3 앵커의 돌출 (예)

표 4.3 정기점검 항목

항목		주요한 사항	비고
앵커의 상황	앵커의 돌출	앵커의 돌출유무	육안점검으로 확인
	앵커의 인장력	-	하중계 등에 의한 계측인 경우
앵커두부의 상황	두부 콘크리트의 상황	파손 · 낙하	-
	두부 캡	파손 · 변형 · 낙하	-
수압구조물	파손 · 낙하	-	-
그 외	지반전체의 변형된 상태	변위량, 침하량 등	계측기 등에 의한 계측중인 경우
	주변구조물의 변형된 상태	침하, 변위 등	

4.2.5 정밀점검

(1) 정밀점검은 원칙적으로 육안점검으로 하며 점검 결과 필요시 시험이나 계측을 실시한다.
(2) 정밀점검은 실시 시기에 따라 초기점검과 정기적 정밀점검으로 나뉜다. 초기점검은 신설되거나 구조변경된 시설물에 대하여 준공 또는 사용승인(임시사용 포함) 후 6개월 이내에 실시하는 최초의 정밀점검을 말하며 정기적 정밀점검은 일반적으로 정밀점검이라 칭하며 최초시공 5년 이후 1회 점검을 실시하고, 그 이후에는 3년에 1회 정밀점검을 실시한다.
(3) 육안점검 및 타음에 의해 인장재의 파단, 각종부재의 부식, 수압구조물의 파단 등 이상 징후를 전수조사하고 관측공이 있는 경우에는 내시경 조사를 실시한다.
(4) 정밀점검의 결과에 근거하여 앵커 및 비탈면·구조물 등의 안정성 판단을 하고 문제가 있을 때는 비탈면·구조물 등의 안정성·중요도·인명피해의 가능성 등을 고려하여 긴급 대책의 필요성을 검토한다. 또한, 정밀점검으로 판단하기 어려운 경우에는 정밀안전진단의 실시할 수 있도록 방안을 제시 한다.
(5) 정밀점검 결과는 점검기록부에 기록하고 점검보고서를 작성하여 제출한다.

[해설]

(1) 정밀점검은 전반적인 외관 상태를 관찰하여 앵커 및 비탈면 · 구조물 등의 안정성을 평가하는 것이다. 정밀점검은 정기점검에 비하여 더욱 상세한 점검을 하는 데 의미가 있다. 정밀점검은 관련법규에 의한 자격을 갖춘 시설물 관리자가 실시할 수도 있지만 전문기술자를 보유한 안전진단전문기관에 의뢰하여 점검을 실시하는 것이 바람직하다.

(2) 시설물 안전관리에 관한 특별법 제7조 별표 2의 규정에 따른 내용으로서 초기점검은 시설물의 유지관리에 필요한 초기치를 획득하는데 목적이 있다.

(3) 지압판 배면의 인장재의 상태는 관측공이 있는 경우는 내시경 등에 의한 육안조사가 가능하나 관측공이 없는 경우가 많아 앵커체 및 인장부의 상태를 육안으로 확인하는 것은 어렵다. 따라서 잔존인장력을 측정(Lift Off Load Tests)하여 앵커가 그 기능을 충분히 다하고 있는지 여부를 확인하여야 하는데 정밀점검에서 이를 실시하기 보다는 정밀안전진단시 잔존인장력 시험 등 앵커의 안전성 평가를 위한 시험을 실시하는 것으로 한다.

(4) 정밀점검의 결과에 근거하여 앵커 및 비탈면 · 구조물 등의 보수 · 보강의 필요성을 판단한다. 점검결과 안정성에 문제가 있다고 판단되었을 때, 위험도

나 주변구조물 및 인명피해 가능성을 고려하여 긴급대책의 필요성을 검토하고 필요한 경우에는 적절한 대책을 실시한다. 또한, 보다 정밀한 조사가 필요하다고 판단되는 경우 정밀안전진단을 제안할 필요가 있다.

(5) 정밀점검의 결과는 점검 기록부에 기록하여 이를 포함한 점검보고서를 제출하는 것으로 한다.

표 4.4 정밀점검시 점검 항목

항목		주요한 사항	점검방법
앵커	앵커의 돌출	앵커의 돌출유무	육안점검
	앵커 인장력		하중계의 계측자료
앵커두부	두부콘크리트	돌출 · 박리	육안점검, 돌출된 양의 계측, 타음 등
		파손 · 낙하	육안점검
		성능저하 · 균열	육안점검, 균열폭의 계측 등
		유리석회	육안점검
		용수 유무	육안점검
	두부캡	파손 · 변형 · 낙하	육안점검
		재료성능저하	육안점검
		고정방법 · 고정상황	육안점검
		씰부 성능저하	육안점검
		용수 유무	육안점검
	방청유	기름누출	육안점검
	지압판	돌출	육안점검, 타음 등
		용수 유무	육안점검
수압판 · 수압구조물	변형 · 침하	이음부의 벌어짐, 어긋남 등	육안점검, 변형량의 계측, 스케치 등
	콘크리트 성능저하		육안점검
	유리석회		육안점검
	파손 · 낙하		육안점검
	균열 · 균열		육안점검, 균열 폭의 계측 등
	배면지반으로부터의 돌출		육안점검, 들뜬 양의 계측 등
그 외	용수	용수량, 용수개소 등	육안점검, 용수량의 계측 등
	지반전체의 변형된 상태	변위량, 침하량, 천단, 외벽과 바깥쪽 도랑사이의 균열 등	육안점검, 측량, 스케치, 균열 폭의 계측, 계측자료의 정리 등
	주변구조물의 변형된 상태	침하, 변위 등	육안점검, 측량, 스케치, 균열 폭의 계측, 계측자료의 정리 등

4.2.6 긴급점검

(1) 중대한 손상이나 변형 발생 시, 또는 집중호우나 지진 등의 긴급 상황에는 긴급점검을 실시한다.
(2) 긴급점검은 원칙적으로 육안점검으로 실시하고 앵커와 비탈면 및 구조물 등의 이상 유무를 확인한다.
(3) 긴급점검을 하여 앵커 및 비탈면·구조물 등에 변형·손상이 발견되었을 때는 비탈면이나 구조물 등의 안정성, 중요도, 주변구조물 및 인명피해 가능성 등을 고려하여 정밀안전진단 또는 긴급대책의 필요성에 대해 검토한다.
(4) 손상점검은 재해나 사고에 의하여 비롯된 구조적 손상 등에 대하여 긴급히 시행하는 점검으로 점검자는 시설물의 손상 정도에 따라 사용제한, 사용금지가 필요한 경우에는 즉시 관리주체에 보고하여야 하며, 관리주체는 필요한 조치를 취하여야 한다.
(5) 특별점검은 구조물의 안전에 심각한 영향을 미치는 중대한 결함이 의심되는 경우나, 사용제한 중인 시설물의 사용여부 등을 판단하기 위해 실시하는 점검으로서 점검 시기는 결함의 심각성을 고려하여 결정한다.
(6) 점검 결과는 점검기록부를 작성하는 것이 바람직하다.

[해설]

(1) 긴급상황에 긴급점검을 하는 경우, 강우량이나 지진의 진도 등의 판단기준은 시설관리자가 사전에 결정한다. 또, 호우나 지진 등의 긴급 상황 이외에도 시설이용자 등으로부터 앵커나 비탈면 · 구조물 등의 중대한 변형이나 손상 발생 등 이상 징후에 대한 신고가 있을 때에는 긴급점검을 실시할 필요가 있다.

(2) 긴급점검의 목적은 앵커나 비탈면 · 구조물 등의 이상 유무를 확인하고 변형 및 손상에 대한 대책을 수립하는 것이다. 따라서 가능한 한 모든 앵커에 대한 점검을 신속하게 수행할 필요가 있으므로 육안에 의한 점검을 위주로 한다.

(3) 긴급 점검의 결과 분명한 변형 · 손상이 확인되었을 때는 그 규모, 안정도, 중요도, 주변구조물 및 인명피해의 가능성 등을 고려하여 피해를 막기 위한 필요한 긴급대책을 시급하게 실시해야 한다. 안정성에 문제가 있을 때에는 즉시 정밀안전진단을 실시하여 대책을 수립할 필요가 있다.

(4) 손상의 정도에 따라 판단하여야 할 사항은 다음과 같다.

- 긴급한 사용의 제한 또는 사용금지의 여부

- 보수·보강의 긴급성, 보수·보강 작업의 규모 및 작업량 등을 결정

점검서식은 정밀점검 서식에 준하여 작성하되 점검의 범위·내용 및 특성에 따라 조정하여 적용할 수 있다. 또한, 손상점검은 정밀점검을 할 수 있는 책임기술자의 자격을 갖춘 사람이 수행한다.

(5) 특별점검은 문제점 발생부위 및 붕괴유발요인 등 중점 유지관리 사항을 파악하고 향후 안전점검 및 정밀안전진단 시 안전성평가의 기초자료를 구하는 것이 목적이다. 점검서식은 정밀점검 서식에 준하여 작성하되 점검의 범위·내용 및 특성에 따라 조정하여 적용할 수 있다. 또한, 특별점검은 정밀점검을 할 수 있는 책임기술자의 자격을 갖춘 사람이 수행한다.

(6) 점검 결과는 점검기록부를 작성하는 것이 바람직하다.

표 4.5 변형·손상 발생시 긴급점검사항

항목		주요한 사항
비탈면전체	붕괴	붕괴유무, 범위, 붕괴량 등
	변형상태	변형상태의 유무, 균열, 단차, 박리, 범위 등
	주변구조물	변형된 상태, 침하, 균열 등
	용수	유무, 용수량, 용수개소 등
앵커의 상황	앵커의 돌출	앵커 돌출의 유무, 본수, 개소
	앵커 인장력	
앵커두부의 상황	두부콘크리트의 상황	돌출· 박리
		파손·낙하
		용수의 유무
	두부캡	파손·변형·낙하
		용수의 유무
	지압판	용수의 유무
수압판·수압구조물	변형·침하	이음부 벌어짐, 어긋남 등
	파손·낙하	낙하량, 파손개소
	균열	낙하량, 파손개소

4.2.7 점검기록

(1) 점검 결과는 점검기록부에 기록하거나 점검보고서로 제출한다.
(2) 점검 결과는 가능한 한 전산화하여 기록·보존하는 것이 바람직하다.

[해설]

(1) 점검 결과는 점검기록부로 기록하여 보존한다. 점검보고서를 작성하여 제출하는 경우 그 내용에 점검기록부를 포함하도록 하며 보고서 양식은 시설물별 '안전점검 및 정밀안전진단 세부지침'을 따른다.

(2) 점검 결과는 이후의 장기간에 걸친 자료의 보존, 갱신을 쉽게 하기 위해 가능한 한 전산화하여 보존하는 것이 바람직하다. 또, 자료의 보관은 예기치 못한 자료의 소멸 등에 대비해 반드시 백업을 할 필요가 있다.

4.3 정밀안전진단

4.3.1 일반사항

정밀안전진단은 안전점검결과 재해 및 재난 예방과 안전성 확보 등을 위해 필요하다고 인정하는 경우에 앵커구조물의 내구성 및 안정성 파악을 위해 실시하며, 정밀육안조사와 장비조사 및 현장시험을 통하여 조사, 측정, 평가하여 보수·보강 등의 방법을 제시한다.

[해설]

정밀안전진단은 안전점검으로 쉽게 발견할 수 없는 결함부위를 발견하기 위해 정밀한 근접 육안검사를 실시한다. 또한, 앵커구조물의 상태평가에 필요한 자료를 얻기 위하여 각종 측정, 시험장비에 의한 검사를 실시하고 자료를 토대로 구조적 안정성 및 결함의 원인 등을 검토, 분석, 평가함과 더불어 보수·보강방법을 제시하기 위한 검사로 한국시설안전공단 또는 안전진단전문기관에 의해 실시한다.

4.3.2 정밀안전진단 방법

앵커의 점검결과에 따라 정밀진단이 필요한 앵커를 대상으로 정밀안전진단을 하여 보다 상세하게 앵커 상태를 확인해 안정성을 평가한다.

(1) 앵커의 정밀안전진단에 앞서 사전조사를 하여 정밀안전진단의 계획에 필요한 자료를 수집한다.

(2) 사전조사 결과나 점검 결과를 기본으로 정밀안전진단 계획을 세워 계획적, 효율적으로 조사를 한다.

(3) 정밀안전진단에서는 대상이 되는 앵커의 상태나 현장 조건 등을 고려하여 적절한 방법을 선정한다.

(4) 앵커의 정밀안전진단 결과를 기본으로 앵커 정착구조물의 안정성을 평가한다.

(5) 정밀안전진단의 내용과 결과는 정밀안전진단 보고서를 작성하여 제출한다.

[해설]

앵커의 정밀안전진단은 점검결과 안정성에 문제가 있는 것으로 의심되는 경우 보다 상세한 조사를 통하여 앵커구조물의 안전성을 판정하기 위하여 실시하는 것이다.

(1) 정밀안전진단 시 조사의 종류나 방법은 앵커의 제원, 현장 조건, 주변 환경에 따라 다르므로 적용할 수 있는 조사 · 시험의 종류나 방법을 결정하기 위해

서 사전조사를 한다.

(2) 정밀안전진단 계획의 수립

정밀안전진단 계획서는 사전조사에서 수집한 자료를 기본으로 하여 시험의 종류나 방법을 검토하고, 그 실시 방법이나 각 조사 · 시험 단계의 시공관리방법을 상세하게 정하여야 하고 현장 및 그 주변의 안전과 환경보전을 배려하여야 한다. 정밀안전진단은 조사가 필요한 모든 앵커를 대상으로 실시한다. 다만, 어느 조사를 실시할 지는 조사자가 판단하는 것으로 하고 반드시 모든 조사를 모든 앵커에 대해서 할 필요는 없다. 정밀안전진단 시 조사 및 시험이 필요한 앵커가 많으면, 원인이 비슷한 앵커들로 표본조사를 하여 그 결과를 모든 앵커에 적용하여 대책을 실시하여도 된다. 점검결과 변형 · 손상이 발견되지 않아도 정밀안전진단에 의해 안정성에 문제가 있다고 판단된 앵커는 주변의 앵커에 대하여 추가조사를 하거나, 경우에 따라서는 전체조사를 하여 비탈면 · 구조물 등 전체의 안정성을 파악할 필요가 있다. 정밀안전진단의 결과는 대책 마련을 위한 기초 자료가 되기 때문에 대책이 필요하다고 판단되었으면 대책을 실시하기 위한 조사도 추가한다.

(3) 정밀안전진단 결과의 평가

정밀안전진단 결과는 앵커 개개의 안정성을 평가하는 것이기 때문에 시험결과를 기본으로 앵커 정착체구조물의 설계기준을 고려하여 안정성을 종합적으로 평가하는 것으로 한다. 정밀안전진단의 결과, 긴급대책을 세우지 않으면 구조물사고 및 인명피해를 미칠 가능성이 있으면 대책의 검토에 앞서 긴급대책을 실시해야 한다. 대책의 검토 및 그 실시는 긴급대책 실시 후에 구조물사고 및 인명피해의 위험성이 낮아진 단계에서 실시하는 것으로 한다.

(4) 기록의 보존

안정성 판단의 결과는 진단 결과와 함께 정밀안전진단 보고서에 기록하여 제출하는 것으로 한다.

4.3.3 정밀안전진단 계획

정밀안전진단 계획은 사전조사에서 수집한 자료를 기본으로 적용할 시험의 종류나 방법을 검토하고, 그 실시 방법이나 각 조사·시험 단계에서의 시공관리방법을 상세하게 정한 것으로 현장 및 그 주변의 안전과 환경보전을 고려하여 정한다.

[해설]

사전조사에서 얻은 앵커의 제원, 현장 조건, 주변 환경에 관한 자료를 검토하여 물리적으로 시험의 실시가 가능한지를 알아보고 안정성이나 경제성 등을 고려하여 실시 가능한 시험을 선택하여 그 방법을 검토하고 나서 안정성조사 계획을 수립한다.

그림 4.4는 정밀안전진단의 흐름도를 나타내었다.

표 4.6의 항목은 일반적인 사례이며 조사를 하는 현장의 조건에 맞추어 적절히 추가·삭제하여 최적의 계획을 선택한다.

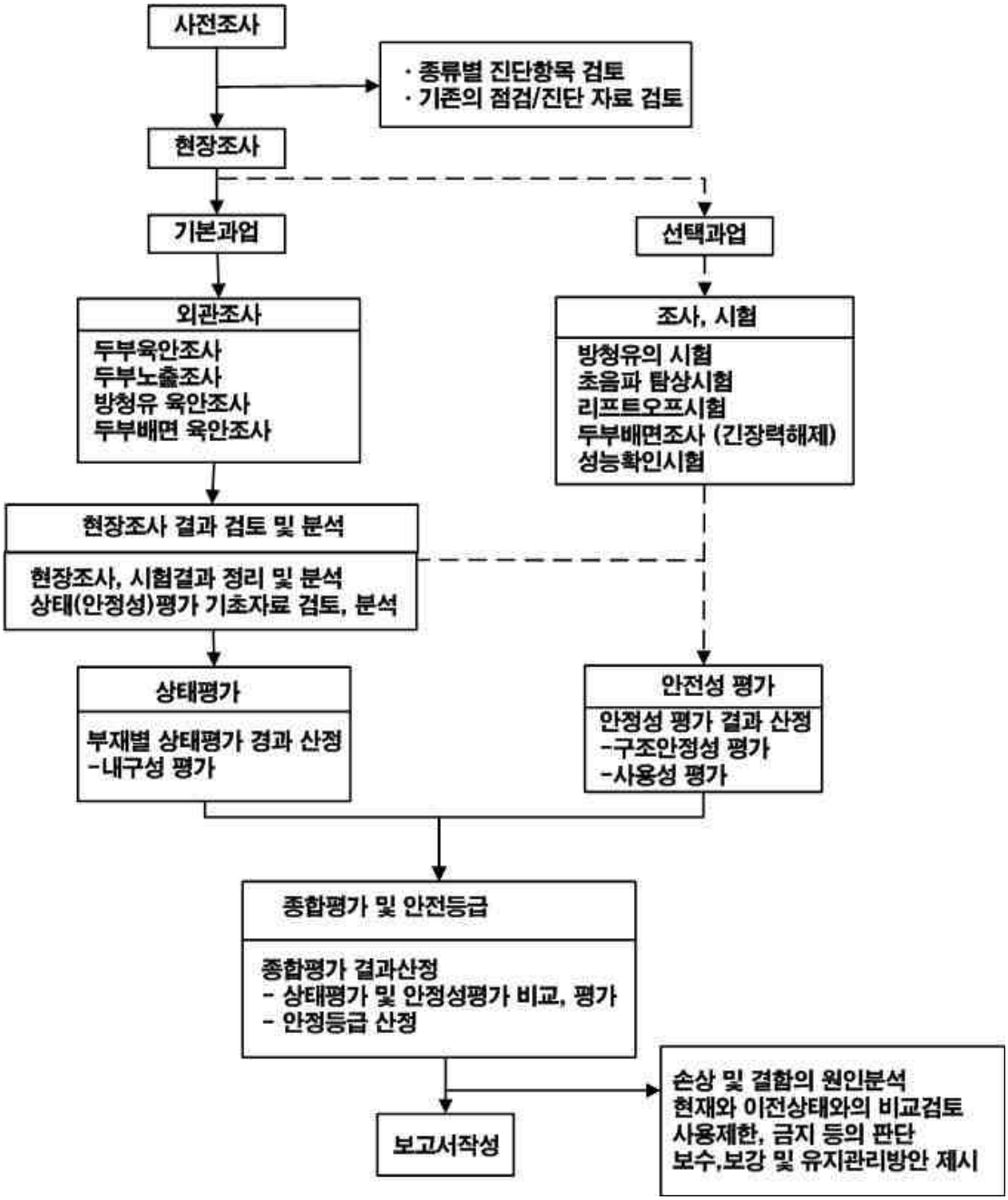


그림 4.4 정밀안전진단 흐름도

표 4.6 정밀안전진단계획의 내용(예)

항목	주요 기재사항
1. 조사대상현장의 개요	· 공사 건명 · 공사 장소(소재지, 안내도, 위치도) · 사용목적(비탈면안정, 산사태 대책, 부력대책, 토류벽 등) · 앵커의 시공시기 · 그 외
2. 지반조건	· 지질주상도 · 지층단면도
3. 정밀안전진단의 목적	· 앵커 정밀안전진단을 실시하는 목적
4. 정밀안전진단의 실시체제	· 관리자(책임기술자) · 안전관리체제
5. 조사의 실시위치	· 앵커 정밀안전진단을 실시하는 위치 · 조사위치선정의 이유
6. 정밀안전진단 항목	· 앵커 정밀안전진단의 종류 · 정밀안전진단 항목 및 선정이유
7. 조사앵커의 제원	· 공법 및 타입 · 인장재의 강도, 특성 · 앵커체장, 앵커자유장 · 설계앵커력 · 정착시 인장력 · 그 외
8. 조사방법	· 일반사항 · 조사순서(흐름도) · 작업순서 · 품질관리계획 · 가설계획 · 사용기계 · 사용재료 · 그 외
9. 조사후의 복구	· 복구계획 · 사용재료

각 조사·시험을 할 때 사용기기에 따라 전력이 필요하다. 앵커가 배치된 지형에 따라 작업 발판, 안전 통로 등 안전 설비 설치의 검토가 필요하다. 각 조사·시험의 사용기기 및 계획의 요점 등을 표 4.7에 나타내었다.

표 4.7 각 조사 · 시험의 사용기구(예)

조사 · 시험 명칭	조사방법	조사항목	주요한 방법
두부상세조사	두부육안조사	돌출, 파손상황, 유리석회	해머
	두부노출조사	강재, 정착구의 부식상황 방청유의 충전 · 변질상황	전동피크 스패너 등
방청유의 시험	육안조사 전문시험장	방청유의 색상과 물성	색상샘플 각종시험장치
초음파탐상시험		인장재의 탐상	초음파탐상기 탐촉자, 컴퓨터 디스크그라인드
리프트오프 시험 (Lift Off Load Tests)		잔존인장력 변위특성	센터홀잭키 또는 특별잭키, 변위량 측정 장치
두부배면조사	인장력해제	-	전력설비 인장재 등 비산방지
	육안조사	인장재의 부식상황 지압판 배면조사 방청유의 충전 상황	
성능확인 시험	인장력해제 후 수회 반복 확인시험	앵커의 내력 변위특성	전력설비 인장재 등 비산방지

정밀안전진단 계획 시 각 조사·시험의 실시 수량을 결정해 두는 것이 바람직하다.
정밀안전진단의 실시 수량은 설치된 앵커의 중요도나 설치 개수에 의해 달라진다. 표 4.8은 정밀안전진단을 위한 수량 결정의 기준을 나타낸 것이다.

표 4.8 조사 · 시험수량과 빈도의 기준

조사 · 시험 종류별	조사 · 시험실시 본수의 기준
두부상세조사 육안조사	사전조사에 의해 결정
두부상세조사 노출조사	안정성판정으로 정밀안전진단이 필요한 앵커와 그 주위(상하 · 좌우) 및 그것을 뺀 본수의 20% 또는 5본 이상
리프트오프시험 (Lift Off Load Tests)	안정성판정으로 정밀안전진단이 필요한 앵커와 그 주위(상하 · 좌우) 및 그것을 뺀 본수의 10% 또는 3본 이상
두부배면조사	안정성판정으로 정밀안전진단이 필요한 앵커와 그 주위(상하 · 좌우) 및 그것을 뺀 본수의 5% 또는 3본 이상
성능확인시험	두부배면조사를 실시한 앵커 전 본수
방청유의 시험	육안조사에 의해 이상이 나타난 부분
모니터링	모니터링용의 계측장치가 설치된 앵커
초음파탐상시험	필요성, 실시 가능성에 대응하여 실시
앵커정착구조물과 주변 환경의 조사	부식 환경과 지반의 이동 등에 의해 앵커의 안정성에 문제가 있는 경우에 실시

4.3.4 정밀안전진단 시 조사 및 시험 종류

정밀안전진단의 종류에는 사전조사, 앵커 두부상세조사, 리프트오프시험(Lift Off Load Tests), 두부배면조사, 유지성능확인 시험, 방청유의 시험, 잔존인장력의 모니터링, 초음파탐상시험 등이 있다.

4.3.5 사전조사

사전조사는 정밀안전진단의 각종 조사·시험의 실시가 가능한지 판단할 수 있는 자료를 얻기 위해 한다. 사전조사는 기존 자료조사, 현지답사, 초기 예비조사 및 보완조사로 나눌 수 있다.

[해설]

(1) 기존 자료조사

앵커의 유지관리에 있어서 사전조사(유지관리용 양식 등), 일상점검, 정기점검, 긴급점검 등 기존 자료로부터 앵커의 제원, 앵커의 상황, 앵커 두부의 상황, 수압판 그 외의 변형 · 손상 유무를 조사하여 정밀안전진단 및 시험계획의 참고자료로 한다.

(2) 현지답사

앵커 정착 비탈면 · 구조물의 외관을 조사하여 사전에 입수한 도면과 현지의 상황을 비교해 앵커의 타설위치 등을 확인한다. 게다가 정밀안전진단에서 필요한 기기의 준비나 제작에 필요한 조사(치수 계측), 작업 발판 · 통로의 확보, 기자재의 운반 · 이동 방법이나 전력 공급 방법 등을 검토하기 위한 조사를 한다.

(3) 초기 예비조사

각 앵커의 두부 및 주변 상황에 대한 개별적으로 외관 조사를 한다.

① 두부보호 상태

두부캡의 성능저하나 파손여부 및 고정상태를 확인한다. 두부를 콘크리트로 피복하고 있는 경우는 콘크리트의 성능저하나 파손, 유리석회 및 돌출의 여부를 확인한다. 그림 4.5는 두부캡이 유실된 예를 나타냈다.



그림 4.5 두부캡의 유실 (예)

② 비탈면·구조물, 주변 상황의 조사

앵커 정착체 비탈면·구조물 상태를 조사하여 균열 여부나 전체의 변동 여부를 확인한다. 또, 앵커 타설 위치 주변에서 용수 유무를 확인하여 필요에 따라서는 수질검사를 한다.

그림 4.6은 앵커로 보강된 구조물이 앵커의 파단으로 인해 변형이 일어난 예를 나타내었다.



그림 4.6 앵커보강구조물의 실패 (예)

(4) 보완조사

부식 환경이나 지반의 이동 등에 의하여 앵커의 안정성에 문제가 발생했을 경우에는 필요한 조사를 한다.

① 부식에 관한 조사

강산성을 나타내는 지반·온천지·광산폐기물 처리장·석탄폐기물 처리장·공장 폐기물 처리장의 누설전류가 존재하는 곳 등, 인장재·강재의 부식이나 그라우트의 성능저하에 의해 안정성에 문제가 발생했다고 예측되는 경우는 부식에 관한 조사를 한다. 부식환경에는 지반이나 지하수의 pH ·산도·비저항치·협기성유산염 환원 박테리아의 번식도·유리탄산·암모니아 등 조사를 한다. 이상치를 나타낼 때에는 이들 수치를 측정해서 부식작용의 정도를 추정할 수 있다.

② 지반의 이동에 관한 조사

지반의 이동이나 앵커시공 후의 지반형상 변경에 의한 토압변화로 앵커의 안정성에 문제가 발생했다고 판단되는 경우에는 지표답사, 이동량 관측, 지하수위 관측 등의 지반 조사를 하여 앵커의 안정성과의 관계를 조사한다. 지반의 균열·단차·침하·융기

등은 앵커의 기능을 충분히 발휘할 수 없고, 앵커의 안정성이 급격하게 저하할 가능성이 있다는 것을 시사한다. 이러면 앵커에 특별한 변형이 없을지라도 앵커의 안정성조사를 하는 것이 필요하다.

③ 수압구조물·주변 구조물의 조사

앵커 수압구조물(프리캐스트수압판, 비탈면 보호블록 등)의 변형·파손·균열뿐 아니라, 주변 구조물에 대해서도 조사하는 것으로 한다. 조사대상 구조물은 대상비탈면 상부의 구조물, 비탈면의 보호블록·수로·비탈면 말단부의 옹벽류·수로 등으로 평면도·전개도 등에 변형의 규모·성질과 상태·수량 등을 조사하여 보존한다. 변형의 진행성을 확인할 수 있도록 균열을 사이에 두고 말뚝 등을 설치해서 정기적인 관측이나 변형·손상 시의 관측을 할 수 있도록 한다.

4.3.6 두부 상세조사

(1) 앵커 두부의 분류

앵커의 두부보호를 위해서는 두부 콘크리트(모르타르)에 의한 직접 피복, 두부캡, 그 외의 방법 등이 사용된다.

앵커 두부의 조사 방법은 두부보호의 종류에 따라 크게 다르다. 특히 두부 콘크리트의 경우는 긴장의 작업이 필요하다. 따라서 두부 보호의 분류에 맞추어 사전에 계획을 세울 필요가 있다.

① 두부 콘크리트(모르타르)에 의한 피복

앵커두부에 거푸집을 설치하여 콘크리트(모르타르) 타설로 보호하는 방법이다. 구형앵커에 많이 사용되나, 차후 유지관리를 위해서는 정착도구에 직접 모르타르를 타설하는 방식은 문제가 많다. 다만, 직접 피복이 아니고, 두부캡이나 오일 테이프 등으로 보호한 후에 콘크리트를 타설 한 것도 있어 외관관찰만으로 판단은 곤란하다.

② 두부캡에 의한 두부보호

앵커 두부에 캡을 씌워 방청유를 충전하는 방법이다. 이 형태는 나사로 고정되어 있기 때문에, 간단하게 두부를 노출해서 조사가 가능하다. 구형앵커에도 두부캡이 사용된 적이 있어, 캡의 종류만으로 구형앵커를 판별하는 것은 곤란하다. 판단의 기준으로서 그리스니플(greese nipple)의 여부가 있으며, 없는 것은 구형앵커일 가능성이 크다. 또, 두부캡 내에 충전되고 있는 방청유는 일반적으로 고융점(高融点) 형태가 사용되고 있다. 덧붙여 연속섬유 보강재를 사용한 앵커에서는 두부캡에 방청유가 충전되어 있지 않은 것도 있다.

③ 간이 두부보호

구형 앵커나 로드 셀 등의 설치에 의해서 두부콘크리트나 두부캡을 사용할 수 없는

경우에 사용되고 있는 것이 많다. 두부보호 방법으로서는 염화비닐 파이프나 호스 등을 가공한 것, 오일 테이프나 비닐 테이프를 감아 둔 것이 있다. 이것들은 쉽게 두부가 노출될 수 있으므로 부식되고 있을 가능성이 크다.

④ 두부보호 없음

가설구조물 등에서 앵커의 두부가 두부보호 없이 장기간 방치된 경우가 있는데, 이 경우 두부가 노출되어 있기 때문에 부식의 발생하여 인장재나 정착도구의 강도저하가 일어나는 경우가 있으므로 조사를 할 때는 두부돌출 등 위험성을 감안하여 신중하게 할 필요가 있다.

그림 4.7은 두부보호 없는 앵커의 예를 나타내었다.



그림 4.7 두부캡이 없는 앵커 (예)

(2) 외관에 의한 조사

앵커에 변형 · 손상이 발생하였다면, 앵커 두부에 다양한 형태의 변형이 발생하는 것이 일반적이다. 앵커의 일상점검으로 육안점검 조사가 가장 중요하며, 변형된 상황으로부터 앵커 내부를 추정하는 것이 가능하다.

① 두부 콘크리트(모르타르)의 변형·손상

두부 콘크리트에 의한 직접 피복의 경우, 두부의 돌출·낙하·파손이 가장 많은 변형 형태라고 볼 수가 있다. 다만, 돌출의 원인을 외관만으로 판단하는 것은 어렵고, 판단할 수 없는 경우는 두부를 노출시켜 조사를 한다.

주된 변형의 원인을 다음과 같이 나타내었다.

가. 인장재의 파단

인장재가 파단 했을 때, 그 반동으로 두부가 돌출되는 일이 있다. 특히 PC강봉을 사용한 구형앵커에서 발생하기 쉽다. 돌출의 정도는 파단의 발생부분과 파단하중에

의해 달라지는데 파단 시의 하중이 크고, 심부(深部)에서 파단이 발생할수록 변형·손상이 커진다. 인장재의 파단에 의한 돌출은 수 cm로부터 1m 정도로 크고, 두부 콘크리트의 파괴를 동반하는 경우가 많다.

나. 수압구조물(비탈면 보호블록・ 수압판 등)의 침하나 성능저하

앵커에 대한 긴장을 실시했을 경우, 인장재의 늘음량 이상으로 수압구조물이 침하하게 되면 두부 콘크리트가 돌출된 것처럼 보이는 경우가 있다. 이 현상은 특히 설계 앵커력이 작고, 앵커 자유장이 짧은 경우에 발생하기 쉽다. 수압구조물의 침하나 성능저하에 의한 돌출은 일반적으로 수 mm 정도이다.

그림 4.8은 수압구조물이 지반침하에 의해 변형이 일어난 예를 나타내었다.



그림 4.8 수압구조물의 변형 (예)

다. 낙석 등 외력

비탈면 상부로부터 낙석이나 시공 중의 건설기계의 충돌, 공용 후의 자동차의 충돌 등에 의하여 두부 콘크리트의 파손이나 낙하가 일어나는 경우가 있다.

라. 동상, 설하중

한랭지에서는 동상에 의한 두부 콘크리트의 돌출이 발생하는 경우가 있다. 동상으로 인한 돌출의 양은 통상 수 cm 정도이다.

마. 담수면에서 유목 등의 접촉

하천이나 호수, 호안 등에 앵커를 사용하는 경우, 유목 등의 충돌때문에 두부 콘크리트의 파손, 돌출 현상이 일어난다.

바. 부착력의 부족

두부 콘크리트를 설치하는 경우에 비탈면 보호블록과 접착면의 치핑(chipping) 등 조치가 필요하지만, 충분한 면적을 가지지 않은 것도 있다. 이럴 때 비탈면 보호블록

이 노후화되어 접착면이 분리되어 최종적으로 낙하할 우려가 있다.

사. 기타



그림 4.9 앵커 파괴 (자유장 심부(深部)에서의 인장재의 파단) (예)

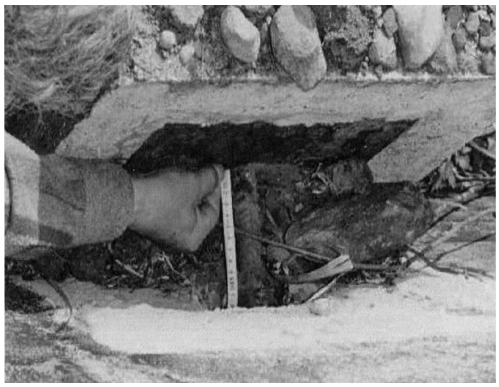


그림 4.10 앵커 파괴 (두부배면에서의 인장재의 파괴) (예)



그림 4.11 배면의 침하로 인한 두부콘크리트의 돌출 (예)



그림 4.12 낙석으로 인한 두부콘크리트의 파괴 (예)



그림 4.13 동상으로 인한 두부콘크리트의 낙하 (예)



그림 4.14 홍수시 접촉에 의한 두부콘크리트의 파손 (예)

② 두부캡의 변형·손상

두부캡에 대하여 내적, 외적 요인에 의한 파손 등의 변형이 발생하는 경우를 볼 수

있다.

가. 인장재의 파단

인장재가 파단 하였을 경우, 그 반동에 의해 두부캡이 파손되는 예가 있다. 특히 PC강봉을 사용한 구형앵커에 발생하기 쉽고 파손 정도는 파단의 발생위치와 파단될 때의 하중, 두부캡의 재질에 따라 다르다. 특히, 파단시의 하중이 크고 심부(深部)에서 파단이 발생했을 때는 두부캡이 파손될 가능성이 크다.

나. 낙석 등의 외력

비탈면 상부로부터의 낙석이나 시공 중의 건설기계의 충돌, 공용 후의 자동차의 충돌 등에 의해 두부캡의 파손이나 변형이 일어나는 예가 있다.

다. 설하중

적설이 많은 지역에서는 설하중에 의해 두부캡이 파손되는 예가 있다. (그림 4.16)

라. 유목 등의 충돌

하천이나 호수, 호안 등에 앵커를 사용하는 경우, 유목 등의 충돌 때문에 두부캡의 파손이 발생하는 예가 있다. (그림 4.15)

마. 기타



그림 4.15 유목 등의 충돌에 의한 두부캡의 파손(예)

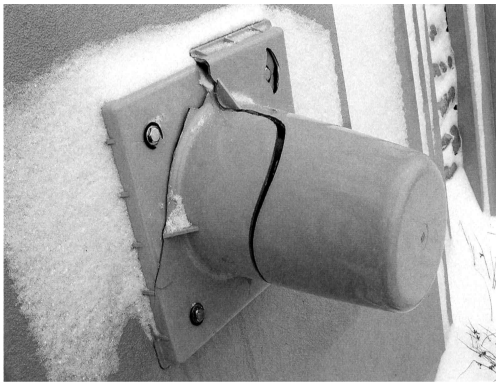


그림 4.16 설하중에 의한 두부캡의
파손(예)

③ 물의 영향

앵커 두부 배면에 있어서는 지하수의 영향에 의한 유리석회(Free CaO)의 부착이나 잡초가 군락하는 경우가 있다. 유리석회(Free CaO)란 콘크리트나 콘크리트 주변의 가용성 물질이 수분과 접촉하여 균열을 따라 콘크리트 표면으로 이동하여 수분의 증발이나 공기 중의 탄산가스와 반응하여 석출된 것이다. 따라서 유리석회(Free CaO)가 두부 주변에 보이는 경우 배면으로부터의 수분의 이동이 있었다고 생각할 수 있다. 또한, 잡초가 군락 하는 경우도 유리석회(Free CaO)와 마찬가지로 수분의 공급이 있다는 증거가 된다. 따라서 두부배면 처리가 되지 않은 구형앵커에는 물의 영향에 의해 인장재 부식의 가능성이 있다. (그림 4.17~18)



그림 4.17 앵커두부의 유리석회(Free CaO) (예)



그림 4.18 앵커두부의 용수 및 잡초의 식생 (예)

④ 방청유의 유출

두부캡에 의한 두부보호가 실시된 앵커에는 방청유의 유출을 볼 수 있는 경우가 있다. (그림 4.19)



그림 4.19 방청유 유출(예)

유출의 원인은 다음과 같다.

가. 씰(Seal)재·오일링의 성능저하

방청유의 유출 방지에는 씰(Seal)재나 오일링이 일반적으로 사용되고 있다. 시간의 경과에 따른 성능저하로 방청유가 유출할 수가 있다.

나. 방청유의 융해

일반적으로 두부캡 내부는 고온이기 때문에 고융점 타입의 방청유가 사용되고 있다. 이러한 방청유를 사용했을 때, 여름에도 융점(融点)에 도달하는 일이 없어서 씰(Seal)재나 오일링의 성능저하가 없다면 유출이 발생하는 경우는 거의 없다. 그러나 일반적인 방청유를 사용했을 경우는 여름에 융점(融点)에 도달하기 때문에 씰(Seal)

재나 오일링의 조그마한 성능저하에 의해서도 다량으로 유출되는 일이 있다. 그림 4.19는 두부캡으로부터 방청유가 유출한 예를 나타낸 것이다.

다. 방청유의 변질

방청유가 지하수의 침수에 의해 유화했을 경우, 품질도 저하되고 더불어 점성도 작아져서 유출되기 쉬워진다.

(3) 두부 노출 조사

변형원인을 확인하기 위해서 두부를 노출하여 조사를 한다. 두부를 노출시킨 조사는 두부캡의 경우, 나사로 고정되어 있게 때문에 노출이 쉽고, 쉽게 조사할 수 있지만, 두부 콘크리트는 콘크리트를 깨내는 작업이 필요하기 때문에 조사 후 두부 보호 대책을 미리 세울 필요가 있다.

조사개수는 원칙적으로 조사가 필요하다고 판단된 앵커 또는 그것을 제외한 개수의 20% 또는 5개 이상으로 한다. 다만, 육안점검에 의한 조사에서 전 개수의 20% 이상으로 변형을 볼 수 있는 경우는 시험 개수를 늘리는 것이 바람직하다.

조사 항목을 이하에 나타내었다.

① 두부캡

두부캡은 파손, 변형이나 재료의 성능저하가 없는 것, 확실히 고정된 것을 육안점검에 의해 확인한다. 두부캡의 경우, 주변부의 씰(Seal)이나 오일링의 성능저하 상황을 확인하고 필요하면 교환을 한다. 두부캡 주변으로부터의 용수가 있는 경우나 두부캡을 보수한 이력을 확인할 수 있는 경우는 기록한다.

그림 4.20은 두부캡 주변에 용수가 일어난 예를 나타냈다.



그림 4.20 두부캡 주변의 용수 (예)

② 방청유(두부캡의 경우)

두부캡을 떼어내기 전에 주변부에 기름 누출의 여부를 확인한다. 두부캡내의 방청유의 잔량을 확인하여 감소한 것을 확인하였을 경우는 원인을 규명한다. 방청유의 변질이 인정되었을 경우는 방청유의 성능시험을 실시한다. 성능시험은 4.3.6 방청유의 시험에 따라 한다. 다만, 개수가 적고 시험을 하는 것보다 교환하는 것이 비용이 저렴하면 시험 없이 방청유를 교환해도 된다.

③ 재긴장 여유장

콘크리트나 방청유를 제거한 후에 재긴장 여유장부분의 인장재 부식상황을 확인한다. 인장재에 부식에 의한 단면 결손이 보이는 경우, 샘플을 채취하여 단면 결손율을 측정한다. 또, 재긴장 여유장 부위가 배면으로 끌려들어 가지 않았는지, 여유장이 일정한가를 확인한다. 재긴장 여유장은 배면 육안점검 조사를 하는 경우의 쐐기 제거 방법을 선정하기 위해서 필요한 것으로부터 쐐기 위치에서 가장 짧은 강선의 선단까지를 측정해서 기록한다.

④ 정착구의 부식 상황

콘크리트나 방청유를 완전하게 제거하고 나서 정착구의 부식 상황을 확인한다. 쐐기와 앵커 헤드사이에 콘크리트가 충전되어 쐐기의 이동을 방해하는 것들을 제거한다. 너트 정착의 경우, 나사부의 콘크리트를 제거해 재긴장, 인장력 완화를 할 수 있도록 한다.

그림 4.21는 지압판 부식의 예를 나타내었다.



그림 4.21 용수로 인한 지압판 부식 (예)

⑤ 지압판

지압판의 들뜸을 육안점검이나 타음으로 확인하고, 동시에 부식상황을 조사한다.

또, 지압판 배면으로부터의 용수 여부도 확인한다.



그림 4.22 쐐기 형식 앵커 두부의 노출 (예)



그림 4.23 너트식 앵커 두부의 노출 (예)

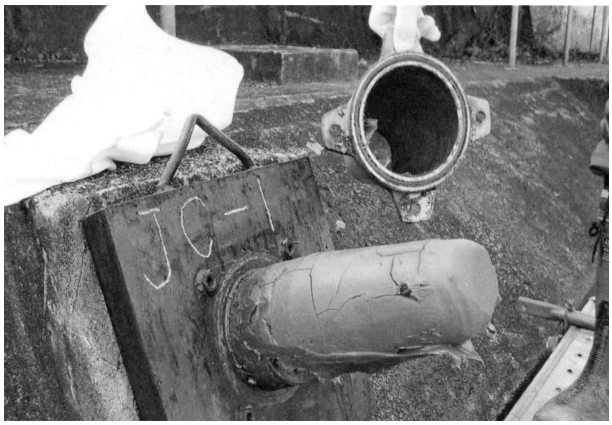


그림 4.24 방청유의 충전상태(예)



그림 4.25 재긴장 여유장이 고르지 않음 (예)



그림 4.26 재긴장 여유장 없음 (예)



그림 4.27 정착구(앵커 헤드, 쐐기, 지압판)의부식 (예)



그림 4.28 도장이 벗겨진 지압판의 부식(예)

(4) 방청유의 조사

두부보호를 위해 사용되는 방청유는 장기간의 사용에 의해 성능저하나 충전부족이 발생한 경우가 있다. 방청유의 성능저하는 물이나 공기의 혼입, 온도변화 등의 환경변화에 의해 발생한다. 방청유의 유출은 두부 배면으로의 유출과 두부캡 주변부로부터의 유출이 있다. 두부 배면으로의 유출은 두부 배면 처리를 하지 않은 구형앵커에서 특징적으로 볼 수 있고, 쐐기와 앵커헤드의 틈으로부터 유출되는 것이다. 두부캡 주변부로부터의 유출은 두부캡의 오일링, 또는 주변 씰(Seal)재의 성능저하에 의해 발생한다. 조사를 하여 성능저하나 충전부족이 확인되었을 때 방청유 유출의 원인을 제거하고 보충 또는 교환한다.

(5) 조사 후의 보호

두부를 드러낸 조사를 한 후에는 인장재이나 정착도구의 부식이 더는 진행하지 않게 충분한 두부보호를 한다. 두부보호는 두부캡으로 보호한다. 다만, 두부캡의 부착이 곤란하거나 설치환경이 적절하지 않은 경우는 쐐기나 너트부가 콘크리트로 고착되지 않도록 대책을 마련하고 나서 두부 콘크리트를 타설한다.

4.3.7 리프트오프시험(Lift Off Load Tests)

앵커의 잔존인장력은 지반의 크리프, 인장재의 릴렉세이션의 영향에 의해 시간의 경과와 함께 조금씩 감소하지만, 외력의 변화나 침하에 의한 지반의 변위 영향을 받았으면 크게 변화한다. 이러면, 앵커는 기대한 기능을 발휘할 수 없게 되거나 인장재의 파단 등 위험한 상태가 된다. 리프트오프시험(Lift Off Load Tests)에 의해 앵커의 잔존인장력을 측정하여, 앵커가 안정한 상태에 있는지 확인하는 것은 유지관리에 있어 매우 중요하다.

리프트오프시험(Lift Off Load Tests)의 개수는 점검시의 안정성 판단으로 안정성조사가 필요해진 앵커와 그 주위(상하·좌우) 및 그것을 제외한 개수의 10%나 3개 이상을 기준으로서 설정한다.

[해설]

(1) 시험 방법

리프트오프시험(Lift Off Load Tests)의 준비에서 실시까지의 흐름도를 그림 4.31에 나타내었다.

시험하기 전에 인장재의 재긴장 여유장이 충분한지 판단이 필요하다. 재긴장 여유장은 긴장 잭을 세트하는데 필요한 길이 이상으로 요구되지만, 일반적으로 PC 강연선의 경우는 10㎝ 이상, 너트 타입의 인장재의 경우는 커플러를 연결하는 등 여분의 길이가 필요하다. 충분한 재긴장 여유장을 가지지 않았을 때 특수장비로 정착도구를 직접 붙잡을 수 있는 것이 필요하기 때문에 시험을 계획하는 시점에서 확인이 필요하다.







그림 4.29 리프트오프시험 상황 (예)

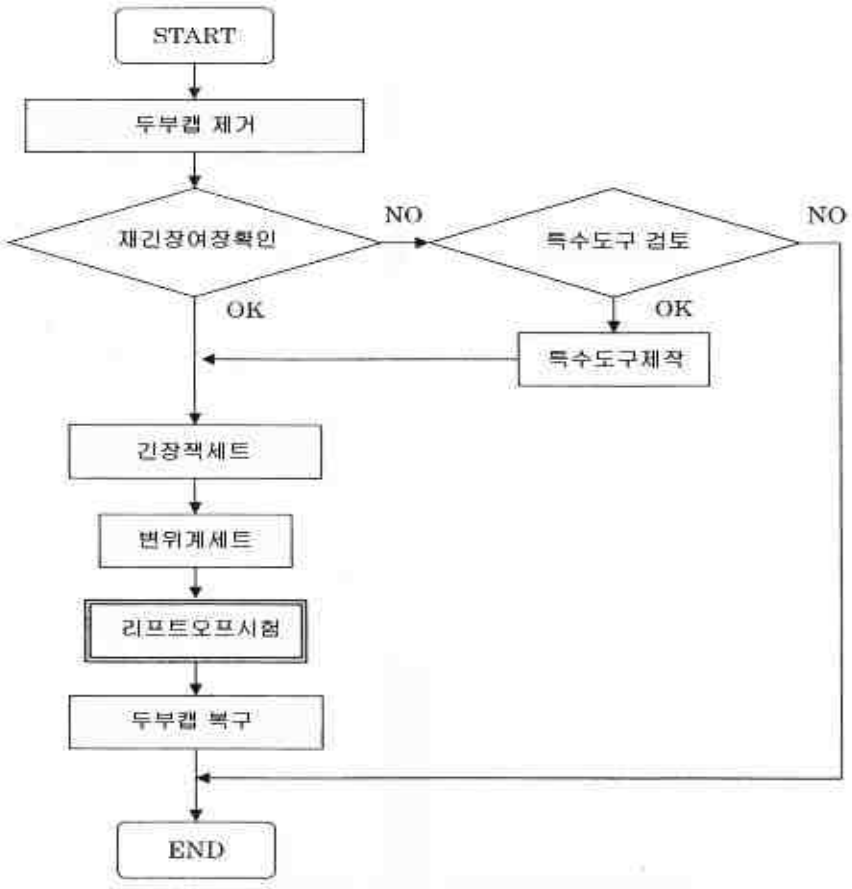


그림 4.30 리프트오프시험(Lift Off Load Tests) 흐름도

(2) 재하방법과 측정항목

계획 최대 하중은 공사 보고서로부터 앵커의 사양을 확인할 수 있는 경우는 설계 앵커력의 1.5배, 인장재의 항복 인장력의 90% 하중 이하로 한다. 사양을 확인할 수 없는 경우에는 인장재의 항복 인장력의 90%를 상한으로 하지만 불확실한 요소에 의한 저감을 고려하여 전문 기술자의 신중한 판단에 의해 결정한다.

초기하중은 잔존인장력이 정착시 인장력보다 크게 저하하는 경우도 있으므

로 긴장 잭이나 측정기기가 정상적으로 작동하는 범위에서 약간 낮게 설정한다. 재하시의 측정간격은 작게 설정하는 것이 좋지만, 일반적으로는 10～20kN 간격으로 측정하는 경우가 많다. 재하방법을 계획할 때 앵커상태에 따라 시험중에 인장재가 파단 될 위험이 있는 것을 염두에 두고, 신중하고 안전하게 계획할 필요가 있다.

시험시의 측정 항목은 하중 및 인장재의 두부 변위량으로 한다. 일정 속도로 재하 한 후에 하중이 안정된 상태에서 두부 변위량의 계측을 한다.

시험 중에 리프트오프(Lift Off)가 확인되었을 때는 그 후 3단계 정도의 재하·측정을 한다.

(3) 시험 결과의 정리와 판단

측정 결과로부터 하중-변위량 곡선도를 작성한다. 작성한 그래프의 변곡점의 하중이 리프트오프(Lift Off) 하중 즉, 잔존인장력이 된다. 이 잔존인장력과 정착시 인장력, 설계 앵커력을 비교하여 안정성의 판단을 한다. 또, 리프트오프(Lift Off) 하중 이상의 하중-변위량 곡선으로부터 앵커의 외관의 자유장나 앵커에 변형·손상이 있는지 없는지를 확인하기 위한 자료를 얻을 수 있다.

PC 강연선 형식의 앵커는 각각의 강선에 작용하는 하중이 불규칙한 경우에는 명확한 변곡점을 얻지 못하고 올바른 잔존인장력을 얻을 수 없으므로 판단에 충분한 주의가 필요하다.

계획최대하중까지 재하하여 리프트오프(Lift Off)를 확인할 수 없는 경우는 잔존인장력이 허용인장력을 넘어 위험한 영역에 이르고 있기 때문에 긴급대책의 검토가 필요해진다. 또, 시험중 앵커의 돌출이 확인된 경우에는 잔존인장력을 구하는 것은 불가능하다.

(4) 시험 결과의 평가

앵커는 일반적으로 긴장정착 후 1주간부터 2개월 정도의 비교적 짧은 기간에 지반이나 앵커체의 초기적인 크리프, PC강재의 릴렉세이션의 영향 등에 의해 잔존인장력이 10% 정도 저하하는 것이 알려졌다. 또, 외력의 영향에 의해 잔존인장력이 매우 감소하거나 증가하는 경우도 있다. 따라서 잔존인장력이 정착시 인장력에 대해서 80% 이상이면서 설계 앵커력 이하이면 안정한 상태에 있다고 판단한다.

(5) 시험시의 안전 대책

시험 중에는 긴장 잭의 긴장방향으로 들어가지 않도록 한다. 또, 인장재의 파단에 의한 비산 · 접촉 사고가 일어나지 않도록 잭의 긴장방향 및 영향범위의 방호나 출입 금지 처치를 취한다.

4.3.8 두부 배면조사

앵커의 인장력을 해제시켜 정착장치를 교체 또는 제거할 수 있는 앵커에 대해 두부 배면에 대한 조사를 한다.

[해설]

앵커의 정착방식이 너트정착인 경우 비교적 쉽게 인장력을 해제할 수 있지만, 쐐기정착에서는 재긴장 여유장에 의해 인장력 해제여부가 정해진다. 재긴장 여유장에 대해서는 특수한 해제장치를 이용하는 것으로 수 cm 정도에서도 인장력의 해제할 수 있지만, 해제 후 복원량이 큰 경우, 조사 후의 재긴장이 곤란해져 복구할 수 없게 된다. 따라서 해제 후의 복원량을 인장재 자유장 및 잔존인장력으로부터 예측하여 복구할 수 있는지를 판단한다. 또, 잔존인장력이 설계 앵커력보다 큰 경우도 인장력 해제가 불가능하므로 주의가 필요하다.
조사 개수는 점검시의 안정성 판단으로 정밀안전진단이 필요하다고 판정된 앵커와 그 주위(상하·좌우) 및 그것을 제외한 개수의 5%나 3개 이상을 기준으로서 설정한다.

조사 항목을 이하에 나타내었다.

① 앵커의 두부 배면 구조의 조사

두부 배면부에 있어서 인장재가 시스(sheath) 및 그 외의 재료에서 적절한 방식이 이루어지는 경우에는 손상(긁힘) 여부, 방수효과를 확인하고 방식 시스템의 기능이 발휘되재료에는지 조사한다.

② 인장재의 부식 상황

두부 배면부의 인장재의 부식상황을 확인해 녹이 발생하는 경우는 녹의 진행상태를 점검한다.

③ 배면부 방수재의 충전 상황

두부 배면부에 방청유를 이용하는 앵커는 방청유의 질, 양 등을 확인한다.

④ 지하수 등의 침투 상황

인장재가 침수되어 있지 않은지, 진흙 등 이물질 혼입의 여부 상황을 확인한다.

⑤ 지압판 배면부의 변형

지압판 배면부의 변형, 콘크리트의 경우에는 유리 석회의 유무에 대해 조사를 한다. 지압판 배면부에 균열이 발생하는 경우에는 균열측정기 등으로 계측을 하고 발생 상

황에 대한 스케치를 한다.

4.3.9 유지성능확인시험

(1) 인장력을 해제한 앵커의 인장시험을 하여 인장재의 인장강도나 앵커의 인발력, 부착력이 설계 앵커력 이상으로 확보되고 있는지를 확인한다.
(2) 시험의 개수는 두부배면에 대한 조사를 한 앵커 모두에 대해서 하는 것으로 한다.

[해설]

앵커의 안정성은 외관 조사나 두부 상세조사, 리프트오프시험(Lift Off Load Tests) 등에서 변형의 여부나 부식의 진행상태 및 하중의 변화 등의 현상을 확인한다. 그러나 외적 요인으로 잔존인장력이 감소한 앵커 등 그것만으로는 안정성에 문제가 있는 앵커라고 판단할 수 없을 수가 있다. 유지성능확인시험은 앵커가 설계 앵커력에 대해서 앞으로도 유지 가능한지를 판단하는 품질보증 차원에서 하는 시험이다.

유지성능확인시험은 수회 반복 확인 시험을 표준으로 한다. 잔존인장력보다 큰 인장력을 재하하는 경우 부식의 진행 상태에 따라 인장재가 파단 하여 현재 기능하고 있는 앵커가 파괴될 가능성도 있으므로 계획 최대 하중의 설정 등 시험의 계획에는 충분한 주의가 필요하다.

① 재하방법과 측정 항목

계획 최대 하중은 수회 반복 확인 시험을 하여 상시의 설계 앵커력의 1.5배 또는 지진시의 설계 앵커력의 1.0배의 하중을 넘지 않는 범위로 하고 인장재의 항복 인장력의 90% 이하로 설정한다. 또 기록이 없는 경우 등, 설계 앵커력이 불분명한 경우는 인장재의 항복 인장력의 90% 이하로 설정한다. 인장재의 부식에 의 앵커인장력이 저하하는 위험성이 있기 때문에 인장재 상태를 충분히 고려하여 전문기술자가 정하는 것으로 한다. 초기하중은 계획 최대 하중의 약 0.1배를 표준으로 한다. 다만, 계획최대하중이 작은 경우는 긴장 잭 및 측정기기가 안정되는 하중 이상으로 할 필요가 있다.

하중단계는 품질 보증 시험의 수회 반복 확인 시험에 따라 초기하중으로부터 계획최대하중까지 5단계로 나누어 하중 제어에 의한 수회 반복 방식으로 재하 한다.

표 4.9에 하중재하방법, 표 4.10에 계측시기를 나타내었다.

각 하중 단계에 있어서의 계측은 하중, 변위량, 시간에 대해서 실시한다.

표 4.9 하중재하방법

하중 단계수	5단계	
반복수	5회 반복	
초기하중	계획최대하중의 약 0.1배	
하중속도(기준)	증하중시 : 계획최대하중/분당 10~20 kN의 일정속도	
	감하중시 : 증하중시의 2배정도	
하중유지시간(기준)	신규하중단계	10분 이상의 일정시간
	이력내의 하중단계	점성토 : 2분 이상의 일정시간 암반 · 사질토 : 2분 이상의 일정시간

표 4.10 계측시간

신규하중단계	0, 1, 2, 5, 10 분 후
이력내의 하중단계	점성토 : 0, 1, 2 분 후 암반 · 사질토 : 0, 1 분 후

② 시험결과의 정리와 판단

하중-변위량 측정결과는 하중-변위량 곡선, 탄소성 변위량 곡선을 작성한다.

작성한 그래프의 하중-변위특성보다 외관의 자유장나 설계 앵커력에 대한 안정성을 확인한다. 또, 필요에 따라서 일정하중단계에서의 유지 시간, 크리프 계수를 산정하여 장기 안정성 등을 판단한다.

③ 시험시의 안전대책

시험 중에는 리프트오프시험(Lift Off Load Tests)시와 마찬가지로 잭의 긴장 방향으로 들어가지 않게 한다. 또, 인장재의 파단에 의한 사고가 일어나지 않게 잭의 긴장방향 및 영향범위의 방호를 강구한다. 가능한 한 영향범위에 대해 출입을 금지하는 것이 바람직하다.

4.3.10 방청유의 시험

방청유의 물성시험을 통하여 성능저하가 확인되었을 경우는 성능저하 원인을 제거한 후 새로운 방청유로 교환한다.

[해설]

방청유는 주로 인장재의 방수를 목적으로 두부, 두부배면, 앵커 자유정착장 등에 사용되고 있다. 방청유는 금속 표면에 기유(基油,Base oil)와 첨가제의 효과로 유막을 형성하여 산화를 늦추는 효과가 있다.

두부 상세조사나 두부배면에 대한 조사 결과, 방청유의 색상의 변화가 확인되었을 경우 조사를 실시한다. 시험은 KS에 정해진 방법으로 물성 시험을 실시한다. 방청유의 성능저하가 확인되었을 경우는 성능저하 원인을 제거한 후 새로운 방청유로 교환한다.

(1) 방청유의 타입

방청유는 윤활유류와 페트롤레이텀(petrolatum)류로 나누어진다. 표 4.11은 방청유 각각에 대한 특징을 나타낸 것이다. 윤활유류는 융점(融点)이 높은 곳에서 두부나 두부 배면 등 열의 영향을 받기 쉬운 곳으로 사용하는 것이 많고 페트롤레이텀(petrolatum)류는 비교적 온도 변화가 작은 앵커 자유정착장에 사용되는 것이 많다.

표 4.11 방청유 재료의 구성과 특징

구성 재료	특징	
	그리스(greese)류	페트롤레이텀(petrolatum)류
기유(基油,Base oil)	방식기능	방식기능
유동성증가제	기유(基油)의 유지기능	-
페트롤레이텀(petrolatum)	-	유막조정제
첨가제	기유(基油)의 성능향상기능 녹 정지제 산화방지제 금속불활성제 등	기유(基油)의 성능향상기능 녹 정지제 산화방지제 금속불활성제 등
주용도	두부 두부배면부	앵커 자유장부
융점(融点)	150℃ 이상	60℃ 이상

(2) 방청유 성능저하의 원인

육안점검 조사에서 확인할 수 있는 방청유의 상당수는 윤활유류이다. 윤활유류의 성능저하 원인을 다음에 나타내었다.

① 열 : 앵커 두부는 직사광선을 받는 것이 많아서 여름철에는 두부캡 속이 고온이 된다. 이 경우, 기름성분 중 유동성증가제의 분리에 의해 성능저하가 생기기 쉽다.

② 이물의 혼입 : 티끌이 혼입하면 윤활유의 산화가 촉진되어 성능저하가 생기기 쉽다.

③ 물·공기 : 방청유의 구조 파괴, 녹이나 부식의 발생에 의해 성능저하가 생기기 쉽다.

(3) 시험 실시의 판단

방청유 시험의 필요성은 두부 상세조사나 두부 배면에 대한 조사 시 육안점검 조사로 판단한다. 육안점검 조사를 실시하는 경우, 사용되고 있는 방청유의 색상 샘플을 준비하여 조사 개소의 방청유와 비교한다. 표 4.12는 방청유의 색상과 변질의 원인을 나타낸 것이다. 육안점검 조사 시 색상 샘플과 크게 다른 경우는 시험을 실시한다. 다만, 유백색이나 흑색, 적갈색의 변색이 있는 경우는 원칙적으로 교환을 하여야한다. 시공 개수가 적고, 시험을 실시하는 것보다 교환하는 편이 경제적인 경우는 물성시험을 생략 하는 경우도 있다.

표 4.12 방청유의 색상과 변질의 원인

색상	상황	원인
탁한 하얀색	연화	수분의 투입에 의해 유화현상 공기의 혼입
적갈색		녹의 발생
적갈색 · 흑색	고화	열에 의해 성능저하물 생성

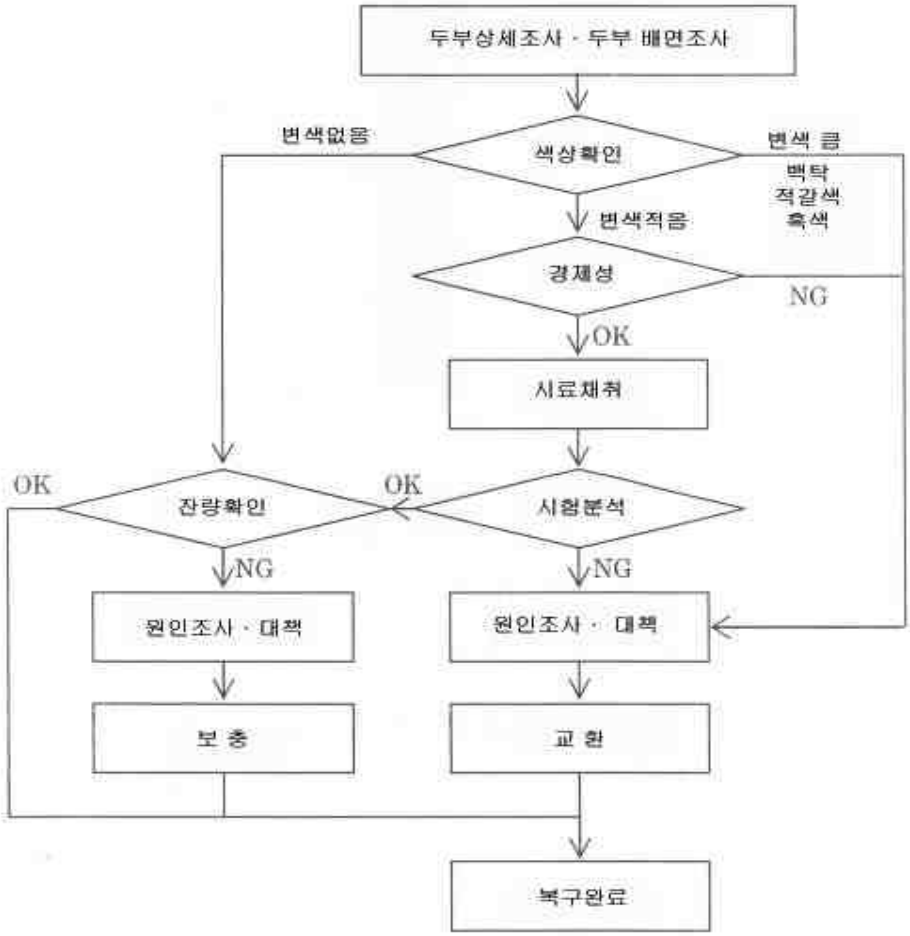


그림 4.31 방청유 조사의 흐름

(4) 방청유의 시료 채취

방청유의 시료 채취는 육안점검으로 나타난 변형 · 손상부위를 중심으로 실시한다. 표 4.13에 물성 시험에 필요한 채취량의 기준을 나타내었다.

표 4.13 물성시험에 따르는 채취량의 기준 (예)

시 험 항 목		시험방법	채취량의 기준 (g)
그리스(greese) 류	주도(Penetration) (@25℃ 60W)	KS M ISO 2137	500
	적 점(適点) ℃	KS M ISO 6299	100
	산화 안정도 (99℃, 100hkPa)	KS M 2021	50
	이유도(離油度) (100℃, 24h)	KS M 2050	50
	동판부식 (100℃, 24h)	KS M 2018	20
	습윤 시험	KS M 2109	50
	적외선 흡수 스펙터 (IR)	JIS K 2246	100
페 트 롤 레 이 텀 (petrolatum)	주도(Penetration) (@25℃ 불혼합)	KS M ISO 2137	500
	융점(融点) ℃	KS M 2740	100
	염수분무	KS M 2109	50
	적외선 흡수 스펙터 (IR)	JIS K 2246	100

(5) 시험 결과의 판단

윤활유류의 산화 · 성능저하는 물의 침투나 온도 변화에 영향을 받으므로 육안점검에 의한 색상 검사와 습윤 시험으로 교환여부를 결정할 수 있다고 한다. 두부나 두부 배면에 사용되고 있는 방청유에 대해 시험을 실시하는 경우, 습윤 시험을 필수항목으로 하고 다른 시험은 필요에 따라서 실시한다.

표 4.14는 시험을 실시한 항목과 품질 저하의 영향을 나타낸 것이다. 시험 결과는 방식효과에 따라 전문가의 자문을 거쳐 종합적으로 판단한다. 충전된 방청유의 방식 효과가 저하되고 있다고 판단되었을 경우, 원인을 파악하여 신속하게 교환한다.

표 4.14 방청유의 선정기준・시험항목・시험의 목적・품질저하의 영향

시험항목	시험의 목적	품질저하의 영향(1)	품질저하의 영향(2)
주도 (Penetration)	기유(基油,Base oil)의 분리 유분의 증발	경화	부착력 저하 막 두께의 감소
적점(適点)	산화악화 기후 (한난차) 조건	적하 시의 온도저하	누설
융점(融点)	산화악화 지열 (한난차) 조건	표면 용출온도의 저하	누설
산화안정도	산화악화 산화생성물의 생성	증조제의 산화 기유(基油,Base oil)의 산화	그물눈 구조의 파괴 연화, 누설
이유도(離油度)	경년변화 고온 (장기)	유분의 증가	누설
동판부식	부식성 물질의 혼입 산화악화	악화진행	부식촉진
습윤 시험	산화악화 첨가제의 소모	색상의 변색	방식효과의 감소
염수분무	산화악화 첨가제의 소모	색상의 변색	방식효과의 감소
적외선흡입 스펙터	경년변화	악화진행	복합적인 요인으로 방식효과 감소

4.3.11 잔존인장력의 모니터링

(1) 앵커에 걸리는 인장력이 일정한 기준을 넘게 되면 인장재가 파단, 앵커돌출로 이어져 비탈면 붕괴, 구조물 파괴, 한층 더 나아가 인명피해 등으로 발전할 위험성이 있으므로 잔존인장력을 측정하여 위험성이 있는 경우, 조기에 대책을 세울 필요가 있다.
(2) 잔존인장력의 측정 방법으로서는 앵커 긴장 시에 하중계를 설치하는 방법과 리프트오프시험(Lift Off Load Tests)에 의해 확인하는 방법이 있다.

[해설]

앵커의 잔존인장력은 초기인장력 도입 후 시간의 경과에 따라 저하하고 몇 주 안에 저하된 인장력은 수렴된다. 그러나 앵커체를 설치한 지반이나 앵커 정착체구조물의 배면지반이 크리프(creep)되기 쉬운 성질을 가지고 있는 경우, 인장력은 계속 저하한다. 반대로, 지반 강도의 저하에 의한 토압의 증대, 비탈면의 활동, 지하수 상승, 동토, 응력 해방 및 지반의 팽창 등에 의해 설계 앵커력 이상의 잔존인장력이 작용하는 경우도 있다.
잔존인장력의 측정 방법으로서는 앵커 긴장 시에 하중계를 설치하는 방법과 리프트오프시험

(Lift Off Load Tests)에 의해 확인하는 방법이 있다. 각 방법의 특징을 다음과 같이 나타내었다.

① 하중계에 의한 잔존인장력 계측

-하중계 설치 후 쉽게 계측이 가능

-잔존인장력의 경시 변화가 측정 가능

-기상 조건에 의한 영향이 추측 가능

-유선, 무선 등을 이용해 집중관리가 가능

사용연수가 넘은 하중계는 교환이 필요

② 리프트오프시험(Lift Off Load Tests)에 의한 잔존인장력 측정

-정해진 일시의 앵커 잔존인장력이 계측 가능

-임의의 장소에서 측정이 가능

-측정에 시간이 필요

-두부 처리의 종류나 앵커 타입에 따라서는 계측이 불가능한 경우가 있다.

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. 표 4.15는 하중계의 분류와 개요를 나타낸 것이다.

표 4.15 하중계의 분류와 개요

계측형식	① 변형률 게이지식 하중계	② 차동 트랜스식 하중계	③ 유압 디스크식 하중계
계측원리	원통형의 기왜부에 설치한 변형률 게이지를 매개로하여 전압으로 변환 계측한다.	1차코일과 2차코일 및 그 중심부에 있는 자성체로 구성된 트랜스이다. 그 양자의 유도전압의 차를 계측함으로써 축력을 계측한다.	디스크의 구조는 금속박판 2장을 용접하여 그 안에 작동유를 충전한 것이다. 디스크 내의 유압력으로 부터 축력을 계측한다.
성 능	적용하중 : ~5,000kN 온도제한 : -10~+60℃	적용하중 : ~2,000kN 온도제한 : -30~+80℃	적용하중 : ~1,600kN 온도제한 : -30~+60℃

① 변형률 게이지식 하중계

앵커의 하중 계측기로는 가장 일반적으로 사용되는 것으로 신뢰성이 높은 방식이다. 이 계측기는 실내 시험에 사용하던 것으로 처음에는 현장 적용시 내구성에 문제가 있었으나, 변형률 게이지의 내장 방법의 변경이나 방수 구조를 달리함으로서 내구성이 향상되어 현재에 이르고 있다. 또, 앵커를 정착하는 경우 실내시험과 달리 편심하중이 가해지는 문제가 있으나 어느 정도의 편심하중이 가해져도 안정된 계측 결

과를 얻을 수 있고 측정오차는 변형게이지의 설치개수의 증가나 상하에 강성이 높은 플랜지를 붙이는 등의 개량을 하여야한다.

② 차동 트랜스식 하중계

차동 트랜스식 하중계는 습도에 거의 영향을 받지 않는 특성을 가지고 있다. 그 때문에 앵커의 축력 측정과 같은 장기간에 걸친 현장 측정에 적합하다. 또한, 차동 트랜스식 하중계는 비교적 온도 변화에 의한 영향을 받지 않아 계절이나 시간의 영향을 받지 않고 안정된 측정 결과를 얻을 수 있다.

③ 유압 디스크식 하중계

유압 디스크식 하중계가 다른 계측기와 크게 다른 점은 계측기의 두께가 다른 것에 비해 얇고, 비교적 가격이 싸다는 것이다. 계측기가 얇으므로 두부나 두부 배면의 처리에 특수한 부재를 필요로 하지 않는다. 계측기 본체에 내구성이나 내후성의 문제는 없지만 표시부분은 약간 내구성이 뒤떨어진다. 그 때문에 필요에 따라서 교환할 필요가 있다. 유압 디스크식 하중계는 변형률 게이지식 하중계나 차동 트랜스식 하중계에 비해 온도 변화의 영향을 받기 쉽기 때문에 계측 정밀도는 떨어진다.

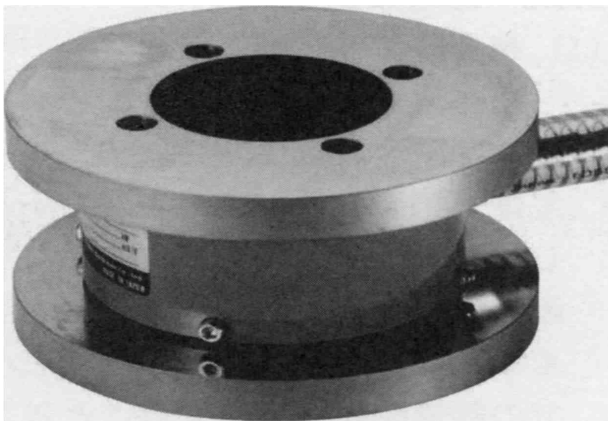


그림 4.32 변형률 게이지식 하중계 (예)

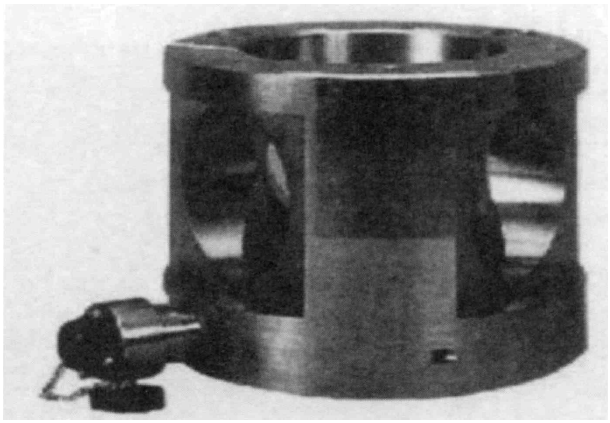


그림 4.33 차동 트랜스식 하중계 (예)

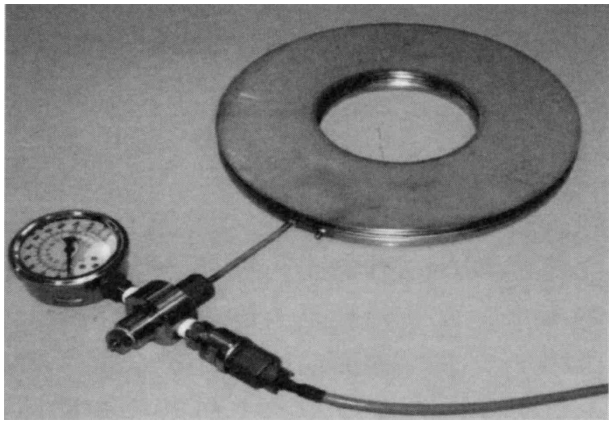


그림 4.34 유압 디스크식 하중계 (예)

4.3.12 초음파 탐상 시험

(1) 초음파 탐상시험은 앵커 두부에서 앵커의 연장 방향의 인장재 상태를 조사하는 방법으로서 초음파 탐촉자를 앵커 두부의 인장재 단면에 맞대어 인장재의 연장 방향으로 초음파 펄스를 발신하여 인장재에 발생한 균열이나 파단을 검출하는 방법이다.

(2) 초음파 탐상 시험의 결과만으로 앵커의 안정성을 평가하는 것은 어려우며 앵커의 부식 환경이나 상태, 리프트오프시험(Lift Off Load Tests), 유지 성능 확인 시험 결과 등과 함께 종합적 판단을 하는 것이 바람직하다.

[해설]

(1) 초음파 탐상 시험의 원리

초음파 탐상 시험은 인간의 귀에는 들리지 않는 범위의 고주파의 소리, 이른바 “초음파" (일반적으로는 주파수 20kHz 이상의 음파)를 시험 체내에 발사해서 그 반사파로 결함을 찾는 방법이다. 시험체의 표면(탐상면)에 탐촉자를 접촉하여 탐촉자내의 진동자에 의해 발생한 초음파 펄스가 탐상면과 수직으로 시험 체내를 전파하여 초음파 펄스가 시험 체내의 손상부나 단면에 부딪치면 반사파가 돌아온다. 또, 탐상면으로 부터 초음파 펄스를 보낸 순간부터 발사된 초음파 펄스를 수신한 순간까지의 경과시간을 측정하는 것으로써 결함이나 어떤 반사면까지의 거리를 알 수 있다.

앵커는 그 구조의 대부분이 지중에 매설되어 외부로부터 확인할 수 있는 것은 앵커두부 뿐이다. 이 때문에 앵커 두부에서 앵커의 연장 방향의 인장재 상태를 조사하는 방법으로는 초음파 탐촉자를 앵커 두부의 인장재 단면에 맞대어

인장재의 연장 방향으로 초음파 펄스를 발신하여 인장재에 발생한 균열이나 파단을 탐상하는 것이다.

앵커의 인장재로서 일반적으로 PC강봉, PC강연선이 이용되지만 이것들이 장기간 지하수 등의 부식 환경에 노출되면 인장재에 부하 되고 있는 하중과 부식의 상호작용으로 인장재가 파단에 이르는 일이 있다. 즉, 정적인 하중이 계속적으로 부하되는 강재가 부식 환경에 놓이면 일정시간이 경과 후 거의 소성변형을 수반하지 않고 파괴되는 지연파괴 현상을 일으키는 일이 있다. 일반적으로 강재가 지연파괴를 일으키는 과정에 있어서 강재의 어떤 부분에 균열이나 부식구멍이 형성된다고 한다. 이러한 인장재에 발생하는 미세한 균열을 사전에 확인함으로써 인장재의 파단 가능성을 판단하고 파단 방지 또는 파단에 의한 피해 방지를 위한 대책을 세울 수 있다. 이러한 균열을 사전에 확인하는 방법으로 초음파 탐상 시험을 활용하는 것이다.

(2) 초음파 탐상 시험의 평가

앵커의 초음파 탐상 시험은 측정 방법이나 앵커의 각종 요인에 의해 시험결과와 범위에 크게 영향을 준다. 이 때문에 초음파 탐상 시험의 결과만으로 앵커의 안정성을 평가하는 것이 어려운 경우가 많다. 앵커의 부식 환경이나 상태, 리프트오프시험(Lift Off Load Tests)나 유지 성능 확인 시험 결과 등으로 종합적 판단을 하는 것이 바람직하다.

4.4 보수・보강 및 대체・신설

4.4.1 대책공 개요

안전성 조사 결과로부터 대책이 필요하다고 판단된 앵커에는 각종 대책을 선별하여 대책을 세운다. 대책공의 목적은 내구성 향상 대책, 보수 보강, 갱신 긴급 대책 응급 대책 등이 있다.

[해설]

앵커 설치 시, 설계 공용 기간을 통해 필요한 성능을 확보 하지만 조사 시점에 이미 공용상 필요한 수준 이하까지 성능이 저하하고 있는 앵커나 성능이 저하하는 우려가 있는 앵커에는 대책을 강구하여 설계 공용 기간 내에서의 성능을 확보해야한다. 조사 시점이나 설계 공용 기간 내에 성능을 확보할 수 있다고 판단했을 경우에서도 공용 기간을 연장할 필요가 있을 때는 조치를 취해야 한다.

새롭게 대책공을 설계하는 경우에는 당초 설계시의 조건보다 최근의 정보나 현상의 거동을 평가해 적절한 방법을 선정한다. 선정하는 공법은 앵커의 현상 복구에 관계없이 다른 적절한 공법에 대해서도 고려한다. 특히, 안전성에 문제가 있다고 판단되어 대책을 세울 경우는 앵커공을 선정한 것 자체에 문제가 있을 가능성도 있으므로 앵커공의 적부에 대해서도 충분히 검토한다. 앵커의 안전성 조사는 앵커 1개마다 안전성을 평가하지만 대책공을 검토하려면 복수의 공통된 요인이 있는 경우나 앵커 구조물이 열화 했을 경우에는 복수의 앵커에 대해 군으로서 대책공을 검토할 필요가 있다. 앵커의 대책을 실시할 때에 비탈면 전체에 문제가 있는 경우에는 우선 그 원인을 제거한다. 원인을 제거할 수 없는 경우는 앵커의 적용의 여부에 대해서도 검토한다.

표 4.16은 방식기능의 유지, 향상 일람표에 대하여 나타내었고, 그림 4.35는 두부보호와 방청유의 대책공 선정에 대하여 나타내었다.

앵커의 대책공은 5종류의 대책을 나타냈다.

① 내구성 향상 대책

내구성 향상 대책은 설계 공용 기간을 통해서 필요한 성능을 확보하지만 조사 시점에서 봤을 때, 앞으로 제 역할을 다 하기 어려울 것이라고 예상되는 앵커에 대하여 그 성능을 설계 공용 기간까지 유지하기 위해서 취하는 처치이다. 또한, 내구성 향상 대책은 공용 개시 직후부터 성능이 현저하게 저하하여 설계 공용 기간 내에 공용상 필요한 수준을 밑도는 경우에 그 성능 자체는 향상되지 않지만 성능의 장수명화를 꾀할 수 있는 조치이다.

② 보수·보강

조사 시점에 이미 공용상 필요한 수준에 미치지 못한 경우, 공용상 필요한 수준까지 성능을 향상시키는 조치이다.

③ 갱신

조사 시점에 앵커가 이미 공용상 필요한 수준에 미치지 못한 경우, 보수·보강을 통해 그 자체의 기능 회복을 시키는 것이 어렵고, 비용과 공사기간 등을 고려하였을 때 어려움이 있을 경우, 새로운 앵커를 타설 하는 것으로써 성능을 회복시킨다.

④ 긴급 대책

점검을 하여 앵커나 앵커가 설치된 구조물·비탈면이 공용상 필요한 수준에 미치지 못하고 곧 파단할 것이 분명한 경우에 피해를 막는 목적으로 긴급하게 실시하는 처치이다. 허용 한계 수준을 밑도는 앵커에 대하여 허용 수준을 웃도는 정도까지 신속한 대책을 강구하는 대책이다.

⑤ 응급 대책

조사 시점에 공용상 허용 되는 수준이 허용치보다 이하인 상태라 보수·보강, 갱신 등 대책이 필요하지만 본격적인 대책을 실시할 때는 비용 등을 고려하여 당초의 기능 확보나 기능의 저하 방지를 위해 실시하는 처치이다. 본격적인 대책을 하기 앞서 필요한 시간을 확보하기 위해 현시점에서의 성능 수준을 유지하는 대책을 말한다.

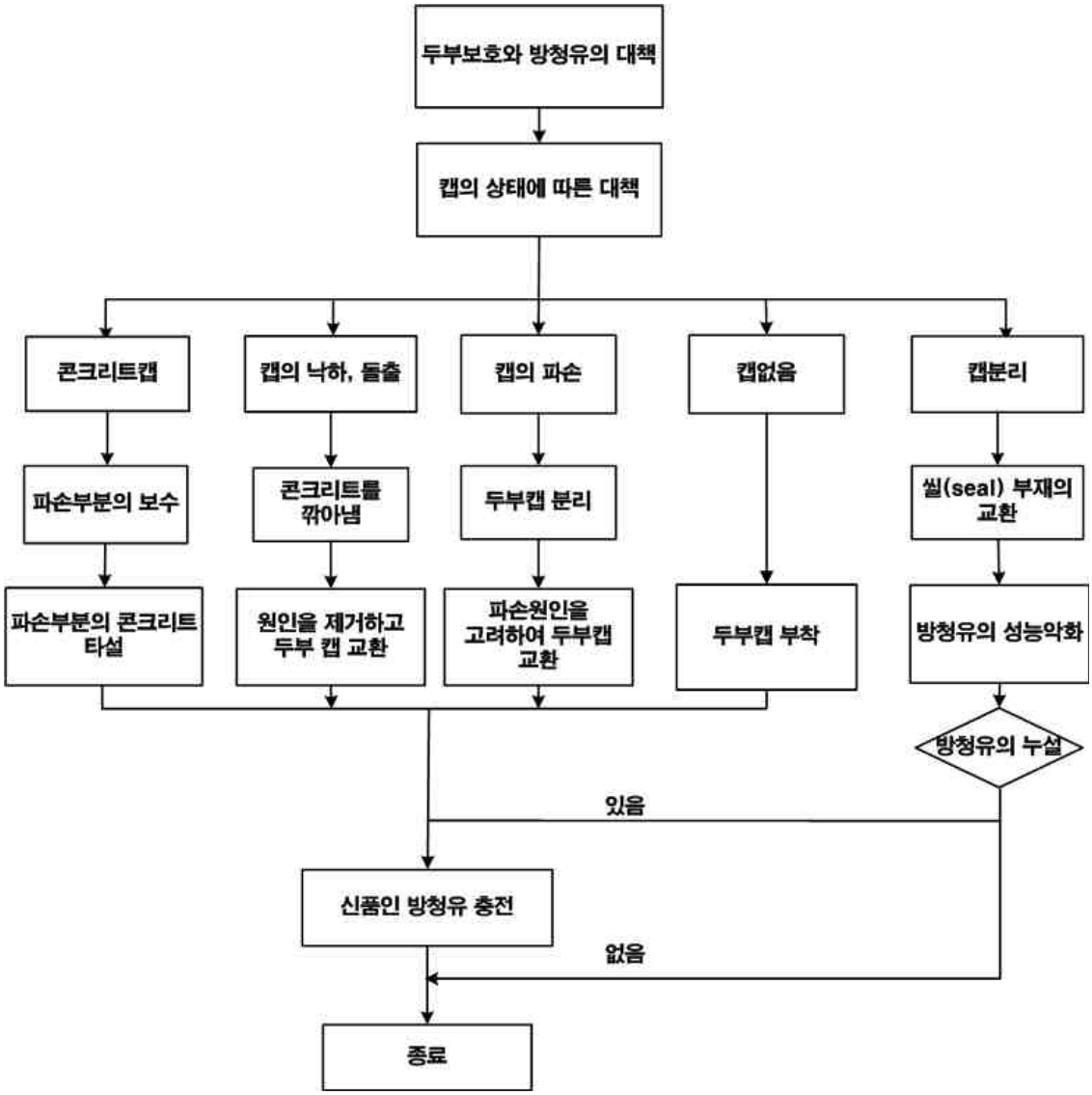


그림 4.35 두부보호와 방청유의 대책공 선정

표 4.16 방식기능의 유지・향상 일람표

대 상 물	상 황	대 책 방 법
콘크리트 캡	두부 콘크리트의 일부 파손	불량부분을 제거하고 새롭게 타설
	두부 콘크리트의 돌출, 낙하, 파손	원인을 제거하고, 두부캡으로 교환
두부캡	방청유의 누설	오일링 교환
	두부캡의 파손	파손의 원인을 파악하여 적합한 두부캡으로 교환
	두부 보호가 실시되고 있지 않다	오일캡 부착
방청유	누설	방청유를 보충
	성능저하	성능이 떨어진 방청유를 제거하고 새로운 방청유를 충전
인장재	경미한 녹 재	녹 제거와 녹 방지 조치
지압판	경미한 녹	녹 제거와 녹 방지 조치
	녹 발생 또는 부식	환경에 맞는 방청처리를 한 지압판으로 교환
		성능저하의 원인을 없애고 환경에 맞는 방수 조치를 실시한 지압판으로 교환
정착구	경미한 녹	녹 제거와 녹 방지 조치
	녹 발생 또는 부식	앵커헤드나 쐐기를 교환
두부 배면부	방식 접합부의 씰 파손	씰부(Seal材)나 팩킹의 교환
	두부 배면처리가 되어 있지 않다	두부 배면 방식부재의 부착
	두부 배면 방식부재의 녹, 부식	원인을 파악하고 환경에 맞는 방청처리를 한 두부 배면 방식부재로 교환
	방청유의 누설	방수성이 좋은 두부캡으로 교환하고 방청유를 충전

4.4.2 대책공

앵커의 대책공 선정은 목적에 따라 각종 대책을 선정해서 대책을 강구하는 것으로 한다.

[해설]

대책을 강구하는 경우에는 안전성에 문제가 생긴 원인을 충분히 검토하여 필요한 처치를 실시한다. 앵커의 대책공은 대책의 목적과 대책의 목표 성능을 설정하여 현재의 성능 수준으로부터 목표 성능 수준으로 향상시키기 위해서 필요한 대책의 내용을 선정하는 것으로 한다. 특히 앵커의 성능에 문제가 생겼을 경우, 대책을 강구하려면 문제가 생긴 원인을 충분히 검토하여 저하한 앵커의 성능을 향상시킬 뿐만 아니라 성능 저하의 원인을 없애는 것이 필요하다. 또, 대책을 강구하는 과정에 다른 대책을 병용 하는 것은 단독으로 실시하는 경우에 비해 경제성이나 시공성을 큰 폭으로 경감하고 성능을 향상시킬 수 있다.

방식 기능의 유지·향상은 두부 보호와 방청유에 대한 대책과 인장재, 정착도구, 지압판 및 두부 배면에 대한 대책의 2가지로 크게 나눌 수가 있다.

(1) 두부 보호

① 콘크리트 캡

두부보호 콘크리트 캡은 인장재의 파단, 수압구조물의 침하, 낙석에 의한 외력, 동상이나 눈의 하중, 담수면이나 하천에서의 유목, 콘크리트의 부착력 부족 등으로 인해 콘크리트 캡이 파손·변형이 되는 경우가 있다. 이 상태로 앵커를 방치하게 될 경우에는 두부보호의 기능이 저하되므로 향후의 유지관리를 고려하여 두부캡을 설치하여야 한다. 설치하거나, 향후 유지관리를 고려하여 두부캡을 설치하여야 한다. 두부를 콘크리트로 보호하는 경우는 인장재의 인장력을 확보하지 못했을 최악의 상황이 아니라면 두부콘크리트 캡을 사용하는 것은 자제해야 한다. 그림 4.36은 두부콘크리트의 예를 나타내었다.



그림 4.36 두부콘크리트 (예)

② 두부 캡

두부 캡이 인장재의 파단에 의해 파손했을 경우는 인장재의 파단 원인을 파악하여 현재의 앵커의 성능을 재확인한다. 향후 나머지의 인장재가 파단할 가능성이 있는 경우에는 파단시의 충격력에 대항할 수 있는 강도를 가진 캡으로 교환한다. 또, 낙석이나 적설 등 외력에 의해 파손했을 경우도 그 원인에 적절한 고강도의 캡으로 교환한다. 두부 캡이 파손하면 내부의 방청유가 유출하여 인장재나 정착도구 또는 지압판이 물이나 공기에 접촉하여 부식한다. 또, 방청유가 물이나 공기에 접촉하면 방청유 자체도 성능이 저하된다. 따라서 파손을 확인한 경우에는 기능 저하가 진행되지 않게 긴급조치를 취하는 것이 중요하다.

두부 캡을 다는 방법은 그 현장에 적절한 방법을 검토하여 실시한다. 또한, 두부 캡은 방청유를 가압 충전하는 것이 가능한 그리스니플(grease nipple)을 사용한다.

그림 4.37은 앵커두부의 보수 전과 후에 대하여 나타냈다.



보수 전 보수 후

그림 4.37 앵커 두부보수 (예)

(2) 방청유

시간의 경과와 함께 두부캡내에 충전된 방청유가 외부에 누출 되는 경우가 있다.

누출의 주요 원인으로는 두부캡의 오일링의 성능저하를 들 수 있다. 또, 두부 배면 지수 부재 중 씰부(Seal部)의 성능저하에 의해 방청유가 앵커 내부로 누설되는 경우도 있다. 누설이 계속되면 인장재나 정착구에 성능이 저하되므로 오일링이나 두부 배면 지수 부재의 씰부(Seal材)를 교환하고 방청유를 보충한다. 방청유를 충전하는 경우에는 공극이 남지 않게 압력을 가하면서 충전하는 해야한다.

방청유가 물이나 공기에 접촉해 성능저하 되면 인장재나 정착구의 내구성

은 저하된다. 방청유가 성능저하 되어 새로운 방청유로 교환하여 충전하는 경우에도 상기와 마찬가지로 한다. 무엇보다 방청유가 성능저하 된 원인을 파악하여 그 원인을 없애는 것이 우선되어야 한다.

(3) 인장재

인장재에 녹이 생기는 원인은 처음부터 방식처리를 하지 않은 것이거나 두부나 두부 배면의 방식 기능이 저하했기 때문이다. 따라서 우선 원인이 되는 두부나 두부 배면부의 방식을 확실히 실시하고 나서 인장재에 대한 조치를 취한다.

인장재 여유장 부분에 경미한 녹이 생겼을 경우에는 녹을 제거한다. 또, 인장재 여유장 부분에 녹이 많을 경우에는 유지 성능 확인이나 리프트오프시험(Lift Off Load Tests)을 실시하여 그 결과로부터 현재의 앵커 성능을 파악하여 대책을 강구할 필요가 있다. 이러한 경우 앵커의 성능 저하를 감수한 채 공용하는 방법, 또는 앵커를 증설 교체하는 방법이 있다. 두부 배면부의 인장재에는 인장력이 상시 도입되고 있으므로 이 부분에 녹이 생겼을 경우에는 인장재의 파단 등 중대한 사고로 연결될 우려가 있다. 두부 배면부의 인장재에 녹이 발생하였을 경우에는 유지 성능 확인 시험을 실시하여 그 결과로부터 대책을 강구할 필요가 있다. 대책 방법으로는 인장재 여유장 부분에 녹이 발생한 경우와 같이 성능저하를 인정하고 앵커의 설계인장력을 낮춘 채 공용하거나 증설 또는 교체하는 방법이 있다.

(4) 지압판, 정착도구

지압판, 정착도구에 녹이 발생하는 원인으로는 원래 방식 대책이 되어있지 않거나 방식이 되어있지만 시간의 경과에 따라 기능이 저하한 경우이다. 공용기간내에 소정의 성능을 유지하는 것이 곤란하다고 판단한 경우에는 새롭게 방청제 처치를 실시한다. 이 처치를 부재 전반에 실시하려면 인장력을 해제하지 않으면 실시할 수 없다. 인장력을 해제할 수 없는 경우에는 각 부재의 외측 부분에만 대책을 실시한다.

경미한 녹의 발생 상황에는 그 현장의 환경에 따라 정기적으로 점검을 하여야 한다. 또, 지압판이나 정착도구가 허용 성능을 밑돌고 있다고 판단했을 경우에는 각 부재를 교환하는 방법을 검토한다. 교환할 때 지압판이나 정착도구가 부식한 원인을 파악하여 그 원인에 대한 대책에 따라 적절한 부재로 교환하는 것이 중요하다.

각 부재의 교환은 인장력을 해제하지 않으면 실시할 수 없기 때문에 인장력을 해제할 수 없는 경우에는 앵커의 성능을 조절하여 사용하는 등 별도로 대책을 세워야 한다. 주변 환경에 의해 부식했을 경우에는 그 원인을 없애는 일도 중요하다. 게다가 강산성 지반이나 온천지 또는 해변 등 부식 환경하의 경우는 방식 성능이 뛰어난 부재로 교환하는 것이 필요하게 된다. 그림 4.38은 앵커두부 및 지압판 부식의 예를 나타내었고, 그림 4.39는 두부캡이 없는 앵커의 부식 예를 나타냈다.



그림 4.38 앵커두부 및 지압판의 부식 (예)



그림 4.39 두부캡이 없는 앵커의 부식 (예)

(5) 두부 배면부

앵커의 부식 조사에 의하면 이 두부 배면부의 부식이 가장 많다고 보고되고 있다. 그러므로 두부 배면 처리를 하지 않은 앵커는 두부 배면 처리를 실시하는 것이 바람직하다. 다만 두부 배면 처리를 실시하기 위해서는 앵커의 인장력을 해제할 수 있어야 하는 것이 조건이 된다. 인장력을 해제할 수 없는 경우에는 별도 검토가 필요하다. 두부 배면 방식 부재를 설치하는 방법은 현장 마다 다른 경우가 많기 때문에 그때마다 검토하는 것으로 한다.

참고문헌

1. 그라운드앵커기술협회 (1997), 그라운드앵커공법 설계시공지침
2. 그라운드앵커기술협회 (1992), 그라운드앵커 공법
3. 국토해양부(2003), 콘크리트표준시방서 해설
4. 국토해양부(2006), 콘크리트구조설계기준
5. 신현목 저(2008), 프리스트레스트 콘크리트
6. 토목발전연구회 (2009), 실무토목기초 설계와 시공
7. (주)코리아에스이 기술연구소 (2000), 그라운드앵커 설계·시공기준, 동해설
8. 한국시설안전공단 (2006), 건설공사 비탈면 표준시방서, 건설교통부
9. 한국시설안전공단 (2006), 건설공사 비탈면 유지관리지침, 건설교통부
10. 한국시설안전공단 (2006), 건설공사 비탈면 설계기준, 건설교통부
11. 한국시설안전공단 역(2009), 그라운드앵커 유지관리 매뉴얼
12. 한국지반공학회 (2003), 구조물기초설계기준 해설, 건설교통부
13. 한국시설안전공단 (2009), 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(절토사면)
14. (社)日本アンカー協会 (2008), グラウンドアンカー維持管理マニュアル, 鹿島出版会
15. Stuart Littlejohn (2007), "International Conference on Ground Anchores and Anchored Structures in Service 2007"

참여진

■ 국토해양부	기술안전정책관	이 영 근
	건설안전과장	박 준 권
	시 설 사 무 관	서 대 열
	담 당	박 유 서

■ 연 구 진	연 구 책 임 자	장 범 수 (한국시설안전공단, 부 장)
	연 구 수 행 자	정 수 형 (한국시설안전공단, 부 장)
		유 동 우 (한국시설안전공단, 부 장)
		최 욱 (한국시설안전공단, 차 장)
		이 종 우 (한국시설안전공단, 차 장)
		손 해 성 (한국시설안전공단, 차 장)
		김 보 헌 (한국시설안전공단, 차 장)
		차 아 름 (한국시설안전공단, 사 원)

■ 자 문 위 원	백 용 (한국건설기술연구원, 책임연구원)
	이 규 필 (한국건설기술연구원, 연구원)
	이 홍 규 (두산건설(주), 부장)
	유 병 옥 (한국도로공사 도로교통기술원, 팀장)
	황 재 홍 (한국건설기술연구원, 연구원)

펄스파워를 이용한 확공형 앵커의 설계·시공 지침[별첨자료 2]

제 1 장 총 칙

1.1 목적

이 지침은 각종 구조물 보강 및 비탈면안정성 확보 등을 목적으로 사용되는 펄스파워를 이용한 확공형 그라운드 앵커(이하 펄스앵커)에 대한 설계, 시공의 일반적인 기준과 방법 제시를 목적으로 한다.

[해설]

이 지침은 흙막이, 각종 구조물의 보강, 비탈면의 붕괴 방지 및 안정화 등 여러 가지 목적으로 사용되는 펄스앵커에 대한 설계, 시공에 관한 계획, 조사, 점검과 조치 등에 필요한 일반적 기준과 방법에 대한 기본적인 사항을 제시하였다.

1.2 적용범위

이 지침은 흙막이, 각종 구조물의 보강, 비탈면의 붕괴 방지 및 안정화 등을 목적으로 하는 펄스앵커에 대하여 적용함을 원칙으로 한다.

[해설]

이 지침에서 펄스 앵커란 앵커의 극한인발력을 증가시킬 목적으로 천공 직경을 펄스방전기술을 이용하여 확공함으로서 앵커체를 구근모양으로 확공시켜 설치하는 앵커를 말하며 일반적인 그라운드앵커와 마찬가지로 구조물 또는 지반의 과도한 변위 및 붕괴를 방지하기 위한 목적으로 pc강재 등을 인장재로서 사용하고 지반에 시멘트풀을 주입하여 정착시킴으로써 인장력을 전달시키는 지반구조물을 말한다. 각종 구조물의 보강, 흙막이, 비탈면의 붕괴방지 및 안정화, 수압을 받는 지하구조물의 부상방지, 송전탑의 전도방지 등 여러 가지 목적으로 사용되는 영구 및 가설 앵커에 적용한다.

펄스방전 원리는 그림 1에서와 같이 1J(joule)의 에너지를 1s(초) 동안에 방출하면 1W(watt)의 파워가되지만 1μs(10^{-6}초)의 짧은 시간에 방출 하면 단위 시간당의 에너지변화량이 아주 큰 1MW(10^{6}watt)에 이르는 큰 파워를 가지게 되는 에너지 보존 법칙의 원리에 의한 것으로 에너지 저장장치를 통하여 전력변환 혹은 에너지 압축을 이용하는 기술이다. 다시 말하면, 절연 매질 내부에 있는 양 전극 사이에 수십 μs내에 고전압을 가하면 양극 사이에 큰 에너지가 발생하고 이 에너지로 인해 높은 온도의 열에너지가 생성되게 된다.

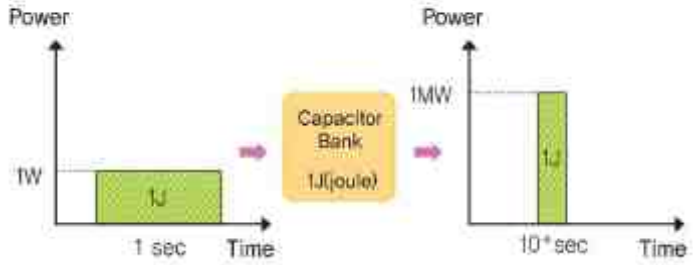


그림 1.1 펄스파워 발생 개념

차가운 매질을 만나면서 저항을 받게 되며, 이러한 저항으로 인해 고온의 매질과 저온의 매질 경계에서 높은 압력차가 발생하게 된다. 마지막으로 이러한 높은 압력차는 충격파(Shock wave)로 변환되어 주위 매질을 매개체로 전달되게 된다. 펄스파워 에너지 변환단계 모식도는 그림 2와 같다



그림 1.2 에너지 변환단계 모식도

앵커공사를 위해서는 전문적인 지식이나 경험과 숙련된 시공기술이 요구된다. 그러나 본 지침에 앵커공사에 수반되는 모든 know-how에 대하여 기술할 수는 없으므로, 실제로 앵커공사를 실시할 경우에는 우수한 전문지식을 갖는 기술자들이 각각의 앵커 및 앵커로 보강된 구조물에 대하여 현장여건에 적합한 대책을 세우고, 처리가 이루어지도록 하는 일이 중요하다. 또한, 이 지침과 관련하여 관련법령 및 규정이 별도로 정해진 경우 또는 비탈면 붕괴 등 피해의 긴급성 등으로 이 지침을 따르는 것이 곤란하거나 부적당한 경우에는 관련 전문기술자의 기술검토 후 그 결과에 따른다. 이 지침의 발간시점에 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대해서는 발주기관의 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있던 관련 기준을 그대로 사용할 수 있다.

1.3 용어 정의

이 지침에 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

[해설]

본 절에서는 이 지침을 활용하는데 있어 필수적인 용어를 중심으로 하여 설명하였으며, 용어가 갖는 의미가 문맥에 따라 여러 가지로 해설될 수 있는 광의(廣義)적인 용어에 대해서는 본문에서 상세히 서술하여 본 절에서는 생략하였다.

이 지침을 활용하는데 있어 필요한 용어의 정의는 다음과 같다.

(1) 가설앵커 : 가설적인 목적을 갖고 2년이하로 사용되는 앵커를 말하며, 시공 중에 가설구조물 등에 가해지는 인장력을 지반에 전달하여 변위, 변형량을 억제하기 위해 사용하는 앵커를 말함.

(2) 가압주입 : 정착지반과 주입재와의 부착력을 확실하게 향상시킬 목적으로 압력을 가하면서 주입 하는 것을 말함

(3) 그라운드 앵커 : 선단부를 양질의 지반에 정착시키고, 이를 반력으로 하여 흙막이벽 등의 구조물을 지지하기 위한 구조체로서 그라우팅으로 조성되는 앵커체, 인장부, 앵커두부로 구성된다. 어스 앵커(Earth anchor)라고도 하며 영구앵커와 가설(임시) 앵커로 구분되는 구조체를 말함

(4) 펄스앵커 : 선단부에 형성되는 앵커체의 직경을 펄스방전기술을 이용하여 인위적으로 확공하여 표면적의 증가에 따른 지반의 마찰저항력 증가와 확공단면적으로 인한 지압저항력의 발생을 이용하여 극한인발력을 증가시킨 개선된 그라운드앵커를 말함.

(5) 펄스방전기술 : 절연 매질 내부에 있는 양 전극 사이에 수십 μs내에 고전압을 가하면 양극 사이에 큰 에너지가 발생하고 이 에너지가 높은 온도의 열에너지로 변환됨에 따라 매질의 순간적인 부피팽창을 유발하여 최종적으로 매질 주변으로 운동에너지를 충격파의 형태로 전달하게 되는데 펄스방전기술이란 이와같이 순간적인 고전압의 전류를 방전하여 충격파 형태의 운동에너지를 얻는 기술을 말함.

(6) 펄스파워 : 펄스방전시 발생하는 에너지로서 지반의 확공을 일으키는 힘을 말함.

(7) 극한앵커력 : 앵커의 파괴가 발생하는 하중을 말하며, 인장재의 극한인장력과 앵커의 극한인발력 중 작은 값으로서 앵커의 파괴가 발생하는 극한상태에서 앵커에 작용하는 하중을 말함 하는 것을 말함

(8) 인장력(Prestress) : 앵커두부에 프리스트레스를 가했을 때 인장재 내부에 가해져

있는 힘을 말함

(9) 인장재(Tendon) : 일반적으로 PS강선, PS강연선, PS강봉 등을 사용하며 인장력을 전달하는 인장을 받는 부재를 말함

(10) 인장재길이 : 인장재 부착장, 인장재 자유장, 여유장으로 구성되어 있으며 앵커에 실제로 사용되고 있는 인장재의 전체길이를 말함

(11) 인장재단면적 : 인장재로 사용하는 강재의 공칭단면적을 일컬음을 말함

(12) 인장재부착장 : 주입재와 인장재와의 부착저항에 필요한 길이를 말함

(13) 인장재자유장 : 앵커두부의 인장·정착되어 있는 위치로부터 앵커체 정착부의 부착부분까지의 구간으로 인장재가 자유롭게 신축되는 부분의 길이를 일컬음을 말함

(14) 인장재지름 : 인장재에 사용하는 강재의 공칭지름을 일컬음을 말함

(15) 인장재의 극한구속력 : 인장재 또는 인장재에 부착된 내하체와 앵커체의 그라우트 사이에 발생하는 부착, 마찰 또는 지압에 의한 최종한계상태에서 파괴가 발생하는 힘을 말함

(16) 인장재의 극한인장력 : 앵커에서 인장재로 사용되는 강재의 극한인장력으로서 KS 규격 또는 공인인증기관의 시험성적서로 확인하는 인장력을 말함

(17) 인장재의 허용구속력 : 인장재의 극한구속력을 안전율로 나눈 값을 말함

(18) 리프트오프시험(Lift Off Load Test) : 이미 인장·정착되어 있는 앵커의 인장력을 확인하기 위해 실시되는 시험으로 인장재의 하중~신장곡선의 관계에서 신장량의 증가비율이 인장재자유장에 대한 탄성신장량과 같아진다는 전제하에 잔존인장력을 구하는 시험을 말함

(19) 릴렉세이션(Relaxation) : 인장재에 인장력을 주어 변형률을 일정하게 하였을 때 시간의 경과와 함께 일어나는 응력의 감소를 말함

(20) 부식방지재 : 방식용 재료는 앵커에 사용되는 강재의 녹 또는 부식을 방지하기 위해 사용하는 재료를 말함

(21) 방청·방식 : 방청이란 강재 제조 시 녹을 제거하거나 녹이 발생하지 않도록 공장에서 처리하는 것을 말하며, 방식이란 강재의 부식이 진행되지 않도록 처리하는 것을 말함

(22) 세트량 : 인장재를 정착구에 정착할 때 인장재가 끌려 들어가는 길이를 말함

(23) 시멘테이션(Cementation) : 공벽의 붕괴나 용수가 예상되는 경우에 순환수에 시멘트를 섞어서 이것을 방지하는 일을 말함

(24) 설계앵커력 : 설계에서 사용하는 앵커력을 말하며, 허용앵커력을 넘지 않는 한도에서 앵커에 도입한 인장력을 말함

(25) 앵커체 : 그라우트 주입으로 지중에 조성되는 앵커부재로서 인장력을 지반과의 마찰저항 또는 지압저항에 의해 지반에 전달하는 저항체를 말함

(26) 인장부 : 앵커두부의 인장력을 앵커체에 전달하기 위해 지반과의 마찰이 없도록 설치하는 인장재의 일부분을 말함

(27) 앵커두부 : 가해진 인장력을 효과적으로 수압판에 전달하기 위한 부분을 말하며 정착구와 지압판으로 구성되는 앵커의 머리부분을 말함

(28) 앵커길이 : 앵커체의 길이(앵커정착장) 및 인장부의 길이(앵커자유장)의 합을 말함

(29) 앵커체 정착장 : 지반에 힘을 전달하는 앵커체의 길이를 말함

(30) 앵커자유장 : 앵커자유장은 인장재가 자유롭게 움직이는 상태에 있고 구조물 및 지반에 대하여 프리스트레스를 유효하게 줄 수 있도록 가공된 인장재의 일부로 주변지반과의 마찰저항에 의해 지반에 전달하는 저항체를 말함

(31) 앵커각 : 앵커각에는 앵커경사각과 앵커수평각이 있으며 정해진 기준면에 대한 앵커의 설치각도를 말함

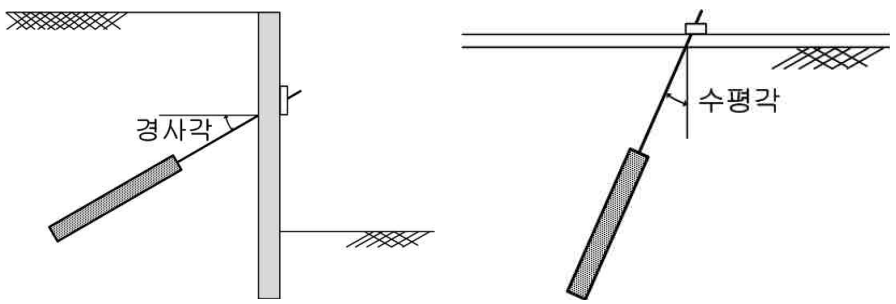


그림 1.3 앵커의 경사각·수평각

(32) 영구앵커 : 영구적으로 사용할 것을 목적으로 갖고 사용되는 앵커를 말하며 일반

적으로 2년 이상 사용하는 앵커를 말함

(33) 유효인장력 : 유효인장력은 구조물에서 가정한 하중조건이나 허용변위량 등에 따라서 결정해야 하며 앵커케이블에 초기인장력이 주어진 다음 어떤 시간 경과 후에 있어서 인장재의 릴랙세이션, 앵커체 정착장부의 크리프 및 지반의 압밀침하 등이 어느 정도 진행된 다음의 인장재에 유효하게 작용하고 있는 인장력을 말함.

(34) 유효지름 : 인장재를 묶어서 앵커케이블을 구성한 경우 앵커케이블과 주입재와의 부착이 유효하게 기대할 수 있는 케이블의 직경을 말함.

(35) 앵커체지름 : 앵커체의 유효한 직경을 말함.

(36) 인발시험 : 실제 시공에 앞서 설계조건에서 제시한 지반조건, 사용재료, 안전율 등에 대한 앵커의 품질, 설계의 정확성 등을 조사·증명을 하기 위한 시험을 말함

(37) 인장시험 : 실제 시공조건과 동등한 조건에서 시공된 앵커를 대상으로 실시하며, 설계상 명기된 하중까지 재하하여 앵커의 설계·시공의 안전성, 합리성 등을 판정하는 자료를 얻기 위해 실시하는 시험을 말함

(38) 잔존인장력 : 앵커의 사용기간 중에 작용하는 인장재의 인장력을 말함

(39) 정착 : 프리스트레스력을 장기적으로 유지하기 위해 앵커케이블에 도입된 쐐기나 너트 등 정착구로 구조물에 고정하는것을 말함

(40) 정착시 인장력 : 앵커두부의 인장·정착작업이 완료됐을 때 인장재에 가해지는 인장력을 말함

(41) 주입재 : 앵커체의 조성 또는 자유장부의 보호를 목적으로 해서 지반내에 주입되는 재료를 말함

(42) 주입 : 지반내에 주입재를 충전시키는 일을 말함

(43) 지압판 : 앵커의 하중을 비탈면 표면반력으로 저항하는 부분을 말하며, 앵커의 인장력과 동일한 하중을 받는 부재를 말함

(44) 재천공 : 콘솔리데이션 그라우팅을 실시한 후 다시 천공하는 것을 말함

(45) 제거식앵커 : 가설앵커 중 앵커 또는 인장재 등 그 일부를 철거할 수 있는 형식의 앵커를 말함

(46) 천공 : 천공은 앵커를 제작하기 위하여 지반에 구멍을 뚫는 것을 말함

(47) 초기인장력 : 앵커를 정착할 때 초기에 인장재에 가해지는 인장력을 말하며, 그 후 인장재의 릴렉세이션, 크리프와 콘크리트와 건조수축, 지반의 변형 등의 조건에 따라서 손실되어 감소 될 수 있는 인장력을 말함

(48) 크리프 : 크리프는 앵커케이블에 인장력을 더해 일정하게 유지했을 때의 앵커체 및 그 주변지반에 발생하는 시간의 경과에 따른 장기적인 변형을 일컬음을 말함

(49) 콘솔리데이션(Consolidation) 그라우팅 : 콘솔리데이션 그라우팅은 균열이 많은 암반에 앵커를 타설할 경우에 주입재의 어긋남을 막거나 정착지반의 강화를 목적으로 해서 실시하는 주입을 하는 것을 말함

(50) 확인시험 : 확인시험은 인장시험으로 확인된 변형특성을 기초로 시공된 앵커가 설계앵커력에 대하여 안전하다는 것을 확인하기 위해 실시하는 시험을 말함

(51) 항복인장력 : 앵커의 제체가 항복하는 데 필요한 힘을 말함

(52) 항복인발력 : 앵커체가 지반으로부터 인발되는데 필요한 힘을 말함

(53) 항복앵커력 : 항복앵커력은 앵커의 하중과 변형의 관계에서 항복조건을 설정했을 때 앵커가 항복할 때의 힘을 말하는 것으로, 항복인발력과 항복인장력 가운데 작은 쪽의 힘을 일컬음을 말함

(54) 허용앵커력 : 허용앵커력은 극한앵커력 또는 항복앵커력을 어떤 안전율로 나눈 값을 말함. 즉, 허용인발력과 허용인장력 가운데 작은 쪽에서 결정되는 힘을 말함

(55) 확공지름 : 확공지름은 천공지름을 부분적으로 확대하려고 할 경우 실제로 확공하는 직경을 말하고 통상 공칭 확공지름을 말함

2.1 설계일반

2.1.1 기본계획

펄스앵커의 설계는 일반적인 앵커와 마찬가지로 앵커의 특성을 충분히 고려하여 앵커 및 주변구조물에 대한 안전성, 경제성, 시공성 및 그 목적에 적합하도록 계획한다.

[해설]

펄스앵커의 설계 시에는 다음과 같은 앵커의 일반적인 특성 및 확공형 앵커의 특성에 대해 충분히 이해한 후에 앵커의 목적, 앵커의 중요도, 앵커의 공용기간 등을 고려하여 계획한다.

① 프리스트레스력 등 인장력 도입에 의해 지반이나 앵커로 보강되는 구조물이 변형하여 앵커 주변에 영향을 주는 경우가 있다.

② 앵커는 고응력 상태로 사용되므로 예상했던 것 이상의 부가적인 외력에 의해 급격히 파괴되는 경우가 있다. 즉, 부식의 영향 등으로 인장재가 파단될 경우에는 두부나 인장재가 돌출하여 주변 지반이나 구조물에 영향을 미치는 경우가 있다.

③ 앵커 공용기간 중에는 고응력 상태로 옥외에서 사용되며, 지하수의 영향을 많이 받으므로 부식에 대해 안전한 방식구조로 설계되어야 하며, 부식이 되지 않는 재료로 제작하여야 한다.

④ 펄스앵커는 천공된 구멍의 주면마찰저항과 지반의 확공으로 인한 지압저항에 의해 앵커의 인발력을 증가시키는 것이므로, 동일형상의 앵커라고 해도 지반조건이나 시공방법이 달라짐에 따라 극한인발력 등에 큰 차이가 발생할 수 있다.

⑤ 앵커를 시공하기 위한 천공 및 확공, 그라우트는 지중에서 시행되며 또 앵커의 주요부는 지중에 설치되므로 앵커를 확공한 후에는 확공단면의 크기를 직접 확인하기 어렵고 그라우트나 인장재 등의 주요한 구조체의 품질을 직접 확인할 수 없다.

⑥ 펄스앵커는 일반적으로 표준관입시험에 의한 N치가 10~30인 풍화토 지반과 N치 10 정도인 점토질 지반에서 경제성 및 시공성을 가진다.

앵커는 그 사용 목적에 따라 계획단계에서부터 충분한 검토와 필요한 조사를 거친 후 설계, 시공되어야 하는 구조체이다. 또한 앵커는 지중에 설치되고 앵커의 품질이나 시공성 등은 지반상태에 따라 큰 영향을 받으며, 앵커를 설치함으로 인해 주변에 영향을 미치게 되므로 앵커를 합리적이고 적정하게 계획하고 설계, 시공, 유지관리하기 위해서는 주변환경, 지반상황, 지하수 현황 등에 대한 조사가 중요하다. 특히, 앵커체를 불균일하고 불균질한 자연지반에 설치하여 큰 인발력을 기대하는 구조체이므로 설치지반에 대한 상세한 조사는 매우 중요하다.

펄스앵커의 설치를 계획할 때에는 다음 사항에 대한 기술적 검토가 반드시 필요하다.

① 앵커의 사용목적에 따른 형식

② 앵커에 작용하는 인장력에 의해 발생하는 구조체, 주변지반, 인접구조물 등의 변위와 안정

③ 앵커의 사용목적, 공용기간과 환경조건에 따른 방식구조

④ 앵커의 사용목적, 규모 등 제반조건에 따른 시험방법과 실시시기

⑤ 영구앵커를 설치한 지반의 장기적인 안정성

⑥ 영구앵커의 유지관리 방법

또한, 앵커의 길이가 긴 경우, 설계앵커력이 큰 경우, 높은 피압지하수의 영향이 예상되는 경우 그리고 제거식 앵커인 경우 등 설계조건이나 시공조건이 까다로운 앵커에 대해서는 계획단계에서부터 충분한 검토가 필요하다.

(1) 앵커의 길이가 긴 앵커

앵커의 길이가 길어지면 시공시 천공된 구멍을 일직선으로 유지하기 힘들고 중력에 의해 아래 방향으로 휘어지거나, 공벽의 성능저하가 발생하여 부정확한 위치에 앵커체가 설치되거나, 주면마찰저항의 감소가 일어나기 쉽다. 특히 기울어진 앵커의 경우는 이러한 영향이 매우 크며, 그라우트를 확실하게 주입하거나 인장재 가공에서 방식의 정밀도를 유지하는데에도 문제가 생길 가능성이 많아진다. 따라서 앵커의 길이가 30m를 넘는 경우에는 위에 언급한 사항에 대해 충분한 검토가 필요하다.

(2) 설계앵커력이 큰 앵커

설계앵커력이 2000kN 이상되는 가설앵커나 1000kN 이상 되는 영구앵커 등 설계앵커력이 매우 큰 앵커의 경우는 천공된 구멍내에 삽입하는 인장재 등의 단면적이 커지고, 방식용 재료나 그라우트 파이프 등의 단면적이 합해져 천공된 구멍의 단면 중 삽입재의 비율이 커지기 쉽다. 이 경우, 그라우트의 유동저항이 커져 앵커체를 삽입할 때 가압작업 뿐만 아니라 충전이 불충분하게 되는 경우가 있으며, 앵커체를 삽입한 후 드릴파이프를 인장할 때 인장재가 함께 올라오는 경우도 있다. 앵커를 설치한 지반의 상태, 천공된 구멍의 크기와 길이, 시공성 등의 사이에는 상호 밀접한 관련이 있으므로 계획 단계에서 이들 관계에 대한 충분한 검토가 필요하다. 제거식 앵커에 있어서도 삽입자재의 단면적이 커지기 쉬우므로 동일한 검토를 하는 것이 바람직하다.

(3) 지하수위가 높은 지반이나 투수성이 큰 지반에 설치되는 앵커

지하수위가 높은 경우에는 그 수압에 의해 그라우트가 인장재의 주위에 뜻대로 충전되지 않거나 그라우트의 농도가 엷게되어 소요강도가 얻어지지 않는 경우가 있다. 또, 용출수압에 의해 공벽이 무너지는 경우도 있다. 또한, 지반의 투수성이 크고 지하수위가 낮은 경우에도 그라우트의 유실에 의해 인장재의 주위에 그라우트가 충분히 충전되지 않는 경우가 있다. 이와 같이 지하수위가 높은 지반이나 투수성이 큰 지반에 앵커를 설치하는 경우에는 시공에 중대한 문제가 발생할 수도 있으므로 초기에 지하수나 지반의 투

수성에 대한 철저한 조사를 통해 지반상황에 따른 천공방법, 그라우트 선정, 주입압력 또는 사전주입의 필요성 등 시공방법 전반에 대한 검토를 실시해야 한다.

(4) 앵커 또는 그 일부를 철거하는 앵커

가설 토류벽의 보강을 위한 가설구조물로서 앵커를 설치하는 경우, 공용기간이 종료된 후에 앵커 또는 그 일부를 철거하는 제거식 앵커가 사용되는 경우가 많다. 따라서 제거식 앵커는 충분히 견고하면서도 쉽고 확실하게 제거될 수 있는 기능을 가져야 하는 이율배반적인 기능이 필요하며, 철거시에 주변에 그 영향이 미치지 않아야 하므로 초기단계에 충분한 검토가 이루어져야한다.

2.2 설계·시공을 위한 조사 및 계획

2.2.1 일반사항

가설 토류벽이나 지반 등의 일시적인 보강공법, 비탈면의 붕괴방지 및 안정공법, 옹벽의 보강 및 구조물의 기초 등으로 앵커를 계획하는 경우는 앵커가 시공될 지반의 조건, 주변지역의 지상·지하구조물이나 주변환경 등 그 목적에 따라서 상세한 사전조사를 실시하여 설계계획, 안전관리계획 및 유지관리계획 등을 검토하여야 한다.

[해설]

앵커를 설계·시공하기 위해서는 앵커의 특성을 충분히 고려하는 동시에 앵커의 사용목적 및 앵커로 보강되는 구조물의 설치위치, 중요도나 내용년수 등 앵커에 요구되는 공학적인 요건들을 충분히 이해한 후 적절한 계획을 수립하는 것이 바람직하다. 특히 앵커가 설치된 지반이나 지하수의 상황 등에 의해 일반적인 조건과 현저하게 다른 상황이 발생할 경우에는 앵커의 기능을 충분히 확보할 수 없는 경우도 발생할 수 있으므로 철저한 조사를 통해 계획을 세우는 것이 중요하다.

2.2.2 일반조사

일반조사에서는 앵커의 설계·시공에 필요한 기초자료를 얻기 위해 주로 지형이나 토지이용상황, 근접구조물이나 매설물, 주변환경 및 그 밖의 시공조건에 관한 사항에 대해 조사를 실시한다.

[해설]

일반조사는 앵커가 시공될 대상구역 및 그 주변에 대한 전반적인 자료를 수집하고, 앵커를 설계·시공 유지관리하기 위해 전반적으로 필요한 사항에 대한 조사를 실시하는 것이다.
앵커를 계획·설계·시공하기 위해 실시하는 조사 중 지반조사 이외의 조사를 일반조사라고

하며, 문헌 및 현장답사를 위주로 인근의 시공사례나 설계·시공조건이 유사한 사례 참고하여 다음의 조사항목에 대해 실시한다.

- 시공예정현장의 지형 및 비탈면 붕괴, 절성토, 매립 등의 여부 등
- 근접구조물이나 매설물의 형상, 구조 및 기초 형식 등
- 지역주민의 생활환경, 지하수 이용, 가축사육 및 어류양식여부 등
- 주변의 토지이용현황, 장비의 반출입을 위한 도로 및 교통상황, 급배수설비, 전력설비 등의 시공여건
- 온천지대 등 부식환경, 석회암지대로 공동부존 여부 등 지질환경

2.2.3 지반조사

지반조사는 앵커와 앵커로 보강된 구조물에 의해 영향을 받는 범위에 대해 그 지질학적 구성과 공학적 특성, 지하수의 상황 등에 대해 실시한다.

[해설]

지반조사는 앵커의 설치목적이나 공사의 규모에 따라 앵커의 설치위치, 설계앵커력, 극한인발력, 대좌설계, 시공성, 지하수 및 부식환경 등을 검토하기 위해 실시한다.

지반조사항목으로는 지표조사, 물리탐사, 사운딩, 조사천공, 원위치시험, 실내시험 등 여러 가지 조사 항목 속에서 계획되는 앵커에 필요로 되는 것을 선정하여 실시할 필요가 있으며, 특정조건에 해당될 때에는 시험시공 등을 통해 적절한 시험을 추가할 수 있다. 지반조사결과는 일반조사결과와 함께 종합적으로 검토해야 하며, 시공시에 참고할 수 있도록 정리·보존한다. 특히, 앵커체를 설치할 위치의 지질변화에 대해서는 시공 및 안전관리 등을 위해 확인하기 쉽도록 표시해두는 것이 바람직하다. 주요 기재사항으로는 조사목적, 조사개요, 조사·시험결과의 고찰, 시험자료, 설계·시공상의 문제점 및 중요성 등을 들 수 있다.

(1) 앵커의 설치위치를 검토하기 위한 조사

앵커의 설치위치는 앵커 및 앵커로 보강되는 구조물의 공용기간 중 안정되어 있는 지반이어야 하며, 지반의 상태와 특성에 대해서는 일반적으로 문헌조사와 시추조사 등을 통해 파악한다. 몇 공의 시추조사만으로 넓은 범위의 지반상태를 추정하는 것은 지반상태 등에 따라 매우 고도의 기술력을 필요로 하며 불확실 할 수도 있다. 따라서 지반의 상태와 특성에 따라서 밀도가 높은 상태를 추정하여 앵커의 설치위치를 결정해야 함과 동시에, 천공자료와 지반조사결과를 대비하여 앵커를 설치할 지반으로서 적절한지 여부를 확인하는 것이 중요하다.

(2) 설계앵커력을 검토하기 위한 조사

설계앵커력의 대상이 되는 외력으로서는 토압, 지하수의 양압력, 지진력, 풍하중 등이 있다. 이들 중 토압을 구하기 위해서는 지반의 구조와 지반을 구성하는 각 지층의 강

도정수나 지하수위, 간극수압, 투수성 등 지하수에 대한 정보를 활용한다. 조사방법으로는 지표조사나 시추조사 등이 있으며, 각종 물리탐사, 시추공을 이용한 물리검층 등의 방법도 사용할 수 있다. 또한, 지반조성 당시의 퇴적환경이나 지질연대 구분 등을 고려한 지질구조적 판단으로부터 지반전체의 상태와 특성을 판단할 수 있다. 비탈면의 안정화를 위해 앵커를 사용하는 경우에는 비탈면의 거동이력이나 비탈면에 대한 앵커의 설치위치 등이 설계앵커력에 영향을 미칠 수 있으므로 비탈면의 개괄적인 지형을 파악해야할 필요도 있다.

(3) 극한인발력을 검토하기 위한 조사

극한인발력은 공사 현장의 조건과 가장 유사한 조건으로 인발시험을 하여 구하는 것이 바람직하다. 또 극한인발력 산정에 사용되는 주면마찰저항에 대한 표준관입시험, 실내토질시험, 공내수평재하시험 등의 수치를 바탕으로 과거의 인장시험 결과를 이용하여 개략치를 추정할 수도 있다. 이와 같은 조사의 경험치에서 주면마찰저항을 추정하는 경우에는 시공방법, 지하수, 앵커체 위치의 지중응력의 영향 등을 검토해야 한다.

(4) 대좌설계를 위한 조사

앵커를 지반에 고정하고 앵커력을 지반에 전달하는 격자블럭, 수압판 등의 대좌는 변형이나 침하가 발생하지 않도록 설계해야 한다. 설계를 위해 필요한 배면지반(대좌에 접하는)의 지반반력계수는 N값으로부터 환산하거나 평판재하시험이나 공내수평재하시험 등에 의해 구한다.

(5) 시공성에 대한 조사

시공성은 앵커 및 앵커로 보강되는 구조물에 의해 영향을 받는 지반의 지질이나 지하수의 상황, 지형, 작업공간, 소음진동 등의 주변환경에 따른 제약 이외에도 천공된 구멍의 깊이와 크기, 공사기간 등의 조건에 의한 영향을 받는다. 특히, 지질과 지하수의 상황은 앵커의 품질에도 관련되므로 충분한 조사가 필요하다.

(6) 지하수 조사

지하수위가 높거나 피압지하수가 있는 경우, 또는 투수성이 크고 누출수가 있는 지반의 경우는 그라우트가 충분히 충전되지 않거나 예상외의 많은 양이 주입될 수 있으므로, 사전주입이나 특수한 그라우트를 사용하는 등의 조치가 필요할 경우가 있다. 투수성이 클 것으로 예상되는 경우나 용수가 있는 경우에는 시추공을 이용하여 투수성, 지하수위, 공벽의 강도 등에 대한 조사를 실시한다. 또, 지하수는 앵커의 시공성이나 극한인발력 등에 영향을 미칠 뿐 만 아니라 설계앵커력 산정에 있어서도 중요한 요소이므로 수압의 분포, 투수성, 동수경사 등의 조사에도 유의해야 한다. 피압지하수가 존재하여 천공된 구멍의 입구까지 용출하는 경우는 시공뿐만 아니라 앵커의 두부 부근에 지하수가 침투하는 등 방식에도 영향을 주는 경우가 있다.

(7) 부식에 관한 조사

주변환경 조사나 시추조사에 의해 인장재나 그라우트의 부식이 촉진될 수 있다고 판단되는 경우는 앵커의 채택여부와 앵커에 사용되는 각 재료에 대해 필요한 방식대책

을 검토하기위해 부식에 관한 조사를 실시한다. 부식을 촉진시키는 환경으로서는 온천, 광산 폐기물 처리장, 석탄재 사토장, 공장 폐기물 처리장, 철도변의 전류 흐름 등을 들 수 있다. 이와 같은 환경에서는 일반적으로 pH, 비저항치, 혐기성 유산염 환원 박테리아 번식도 등이 보통의 환경에 비하여 정상이 아닌 값을 보여주고 있는 경우가 많으므로, 부식작용의 정도는 이들에 대한 제반 수치를 측정하여 추정할 수도 있다. 이러한 조건의 지반 이외에도 강재나 시멘트계 그라우트 품질을 손상할 가능성이 있는 것으로는 유리탄산, 암모니아 등을 많이 함유하는 지반이 있다.

2.3 펄스앵커의 설계

펄스앵커는 일반적인 그라운드앵커와 마찬가지로 가설 토류벽이나 지반 등의 일시적인 보강공법, 비탈면의 붕괴방지 및 안정 공법, 구조물의 안정 등을 위해 다양한 용도로 사용되며, 단기간에 사용되는 가설앵커 및 장기간 사용되는 영구앵커의 경우도 있다. 따라서 앵커 자체의 안정이나 앵커로 보강되는 구조물의 안정을 확보하는 것뿐만 아니라 경제성, 시공성 및 주위환경에 미치는 영향도 역시 고려해야 한다. 또한 공사완료 후의 최종적인 안전뿐 만 아니라 시공 중의 안정과 함께 내구성이나 내부식성 등 재료적으로도 안전하도록 검토하여 설계하여야 한다.

2.3.1 펄스앵커의 배치

펄스앵커는 일반앵커와 마찬가지로 정착지반이나 앵커 구조물을 포함한 주변지반의 전체적인 안정, 인접구조물의 영향 등을 고려하여 설치목적을 효과적으로 달성할 수 있도록 배치한다.

[해설]

앵커의 계획이 부적절한 경우에는 비경제적인 설계가 되거나 시공단계에서 문제가 발생하는 경우가 있으므로 앵커체의 설치위치 및 앵커의 방향이나 간격은 설계단계의 초기에 미리 산정하여야 한다.

앵커의 간격 및 길이는, 앵커는 앵커로 보강되는 구조물 및 앵커설치지반에 대해 구조물 전체의 안정을 고려하여 결정한다.

(1) 인접구조물의 영향

앵커를 배치할 때에는 인접구조물에 대한 영향을 우선적으로 고려하여 결정해야한다. 즉, 앵커를 설치할 대상지반 중의 매설물, 구조물, 말뚝 등에 대해서 앵커를 계획하기 전에 충분히 조사할 필요가 있다. 이러한 조사결과를 토대로 천공된 구멍이 이루는 곡선 등을 고려하여, 앵커의 경사, 앵커의 방향 등에 대해서도 충분히 검토한 후 설계하여야 한다. (앵커의 타설방향에 지중매설물, 구조물, 말뚝 등이 있는 경우에는 앵커의 설치위치나 앵커각을 바꿔줄 필요가 있으며, 앵커의 시공으로 인하여 앵커 및 앵커로 보강된 구조물이 인접되는 구조물에 영향을 미치지 않게끔 주의해야 한다.) 또한, 기존 구조물의 시공시 발생한 지반의 교란 및 되메우기 불량 등에 따른 앵커체가 설치될 부위의 느슨해짐 등 앵커자체에 대한 영향과 함께 구조물과 앵커의 설치위치에 따라서

는 앵커천공기에 의해 시공할 수 없는 경우도 있으므로 이에 대한 충분한 검토가 필요하다.

참고로 영국의 설계기준(British Standard Institution : British Standard Code of Prctice for Ground Anchorages, 1989)에서는 앵커와 인접하는 기초, 지하구조물과는 수평거리로 3.0m 이상이 되도록 규정하고 있으므로 3.0m 이내로 하는 경우 인접 구조물 등의 안전성에 대한 특별한 검토가 필요하다.

(2) 앵커의 설치각도

앵커에 가해지는 힘의 작용선의 방향은 앵커의 축방향과 일치시키는 것이 가장 유리하지만 앵커를 설치하는 지반 혹은 앵커로 지지되는 구조물의 형상 및 설치위치 등에 따라 반드시 일치시키기는 매우 어렵다. 또, 앵커의 경사(α), 앵커의 수평각(θ)이 커질 경우 앵커분력이 발생하기 때문에 분력에 대한 검토도 필요하다. 따라서 앵커를 계획할 때 그 설치각도는 단지 역학적 측면만을 고려할 것이 아니라 다양한 조건을 고려하여 결정하여야 한다. 앵커의 설치각도인 α 다양한적으로 $\alpha \leq 45°$의 조건을 만족하도록 설계하는데 이 경우 앵커의 경사를 $-5° \sim +5°$의 범위로 하면 시공할 때 그라우트의 경화에 따라 발생하는 잔류 슬라임 및 블리딩이 앵커 내하력에 크게 영향이 미칠 가능성이 있으므로 이 범위는 피해야 한다.

(3) 앵커체 설치간격

앵커체 설치간격은 설계앵커력, 앵커체의 굵기, 앵커의 정착장 등 앵커제원에 의해 결정되는데, 앵커의 설치간격이 너무 좁을 경우, 인접한 앵커에 대해 영향을 주거나 그룹효과에 의해 인발저항력을 저하시키는 등 영향을 줄 수도 있다. 앵커의 그룹효과에 의한 영향은 앵커체 설치간격, 앵커정착장, 앵커체의 굵기, 지반과의 관계에 의해 좌우되는데, 기존의 경험으로부터 앵커체의 설치간격이 앵커체 직경의 4배 이상 혹은 1.5m이상이 확보되면 일반적인 경우 그룹효과를 고려하지 않는다.

(4) 앵커체 토사피복

앵커체에 대한 토사피복 두께는 구조계 전체의 안정도 고려하여 결정해야 하지만 그라우트 주입 중 그라우트재의 누출방지와 앵커의 허용내하력을 얻기 위해 상재압의 확보를 위해서도 필요하므로 일반적인 경우 5m를 앵커체의 최소토사피복 두께로 한다.

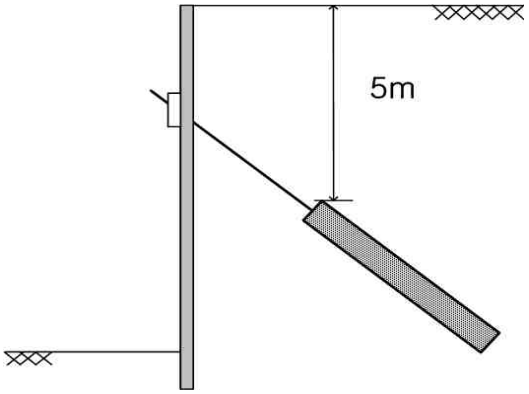


그림 2.1 앵커체 최소 토사피복 두께

(5) 외력의 크기, 작용방향

앵커 1본당 기대할 수 있는 하중(외력)에 따라서 단위면적당의 앵커의 본수가 결정되며, 하중의 작용방향에 맞춰 앵커를 타설하는 것이 효율측면에서는 유리하나 정착체가 위치할 지반의 지층·위치에 따라서 앵커의 길이가 길어지는 경우도 있으므로 이를 고려하여 검토할 필요가 있다.

(6) 앵커정착부의 위치

어떤 지반에 혹은 어느 위치에 정착시킬 것인지에 따라 앵커 1본당의 기대할 수 있는 하중이나 앵커의 길이가 달라지므로 앵커의 시공성, 공사의 경제성 등을 고려해서 예상 활동면의 바깥쪽에 앵커체정착부가 위치하도록 한다.

2.3.2 작용하중, 필요억지력 산정

펄스앵커를 포함한 모든 앵커는 앵커의 사용목적이나 용도를 고려하여 곡용기간 동안 앵커에 작용하는 하중에 대하여 안정성을 충분히 확보할 수 있도록 하여야 한다.

[해설]

가설 토류벽이나 지반 등의 일시적인 보강공법, 비탈면의 붕괴방지 및 안정 공법, 옹벽의 보강 및 구조물의 기초 등으로 앵커를 계획하는 경우 앵커자체의 설계에 앞서 앵커로 보강하고자하는 대상의 안정을 위해서 어느 정도의 앵커력이 필요한 가를 먼저 결정한다.

토압은 주동토압, 수동토압, 정지토압으로 분류된다. 구조체 및 흙의 상태가 동일조건이라면 변위와 토압의 관계는 주동토압이 가장 작고, 정지토압, 수동토압이 최대가 되는 관계가 된다. 흙막이 벽체, 비탈면의 붕괴막이를 위한 벽체 등에 작용하는 토압이나 수압은 일반적으로 측압으로서 주어지는데 측압의 계산은 Coulomb이나 Rankine 등의 토압식을 기본으로 해서 사용한다.

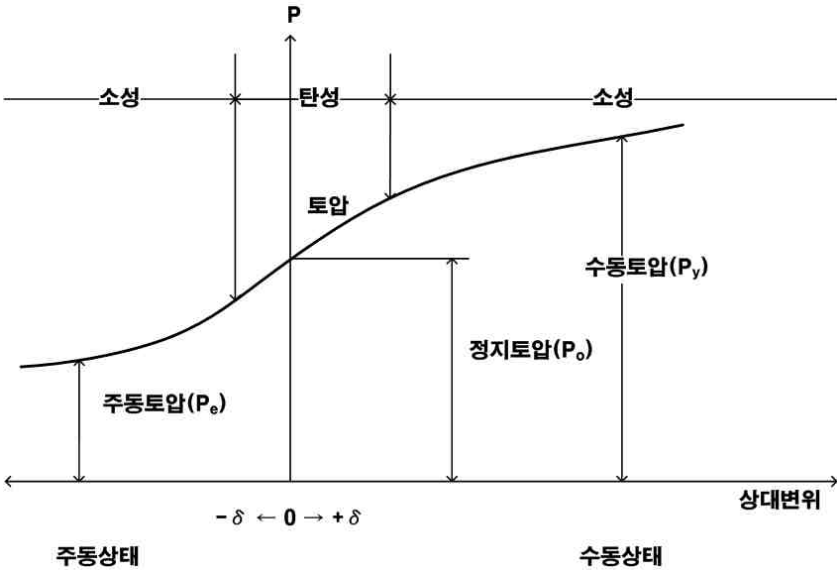


그림 2.2 변위와 토압의 관계

(1) 비탈면의 붕괴방지 및 안정화를 위해 사용할 경우

비탈면의 붕괴방지 및 안정화에 대한 대책으로 앵커를 사용하는 경우 대상으로 하는 비탈면의 지질, 지반 조건 등을 충분히 파악하고 안정해석을 통해 설계안전율을 만족하도록 필요억지력을 구한다. 비탈면의 안정해석방법 시에는 예상활동면상에서 저항력과 활동력과의 비로 안전율을 결정하는데, 이 경우 앵커를 사용하는 이유는 붕괴에 저항하려는 힘을 증가시키는 방법으로 현재의 안전율을 설계안전율까지 높이고자하는 것이다.

$$Fs = \frac{\text{붕괴에 저항하는 힘}}{\text{붕괴 하려는 힘}}$$

(2) 부력에 저항하기위해 사용할 경우

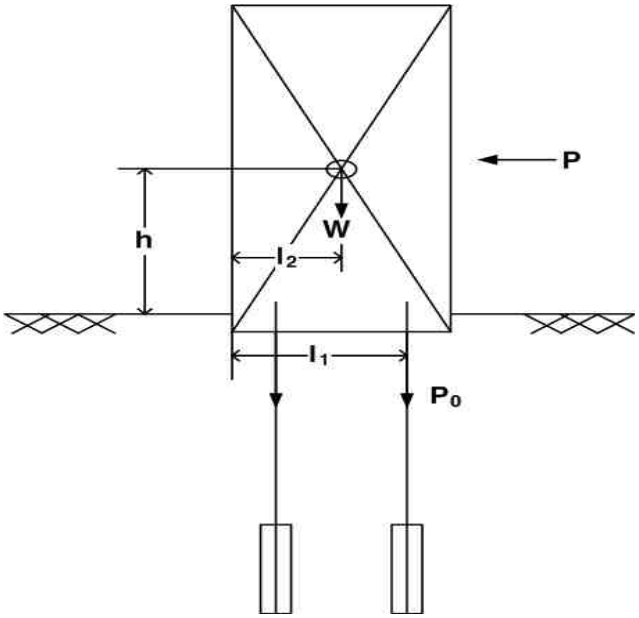
지하수위가 높은 장소에 구조물이 구축되는 경우에는 부력에 의해 구조물이 부상할 가능성 있다. 이에 대한 대책으로는 매스콘크리트의 중량에 의해 저항시키는 방법이 있으나, 이 방법은 콘크리트의 타설량이 증대하기 위해 굴착토량이 증대하고 굴착깊이도 커져 공사기간과 공사비가 모두 커지는 단점이 있다. 이러한 경우, 그라운드 앵커공법을 적용함으로써 지반의 굴착량이나 콘크리트 타설량은 대폭으로 감소시켜 공사기간이나 공사비 등을 줄 일 수 있으므로 주목되고 있다.

부력에 저항하기위해 사용되는 앵커의 설계에 필요한 하중은 부력에서 구조물의 자중을 제한 것으로 부력은 최고지하수위(즉, 부력이 가장 커지는 지하수위)에 대해서 검토한다.

(3) 지진, 풍하중에 대한 전도대책을 위해 사용할 경우

송전탑, 송신탑 등 탑상의 구조물의 지진, 풍하중에 의한 전도 방지를 위해 앵커를 사용하는 경우의 작용하중은 구조물을 그림 2.3에 나타낸 것처럼 강체로 생각하여 모멘트의

균형을 고려하여 계산한다.



$$P \times h = W \times l_2 + P_0 \times l_1$$

P : 지진 또는 풍하중에 의한 수평력
W : 구조물의 자중
h : 수평력 작용점까지 거리
P_o : 설계앵커력
l_1 : 설계앵커력 작용점까지 거리

그림 2.3 수평력을 받는 구조물의 전도대책

2.3.3 설계앵커력 산정

설계앵커력은 앵커의 배치, 앵커에 작용하는 하중 등을 고려하여 1본의 앵커가 부담해야할 하중의 크기를 나타내는 것으로 허용앵커력을 초과해서는 안된다.

[해설]

앵커가 최종한계상태의 파괴를 일으킬 때에 발생하는 앵커력을 극한앵커력이라고 하며, 앵커의 파괴는 (1) 인장재의 파괴 (2) 인장재가 앵커체로부터 뽑히는 것에 의한 파괴 (3) 앵커체가 지반으로부터 뽑히는 것에 의한 파괴로 나눌 수 있으며, 이중 파괴에 견디는 힘이 가장 작은 경우에 도달했을 때를 최종한계상태의 파괴라고 한다.

(1) 인장재의 파괴

앵커에 걸리는 하중에 의해 인장재가 파단되는 경우로 인장재의 극한인장력이 극한앵커력이 된다.

(2) 인장재가 앵커체로부터 뽑히는 것에 의한 파괴

인장재와 그라우트와의 부착이 깨지거나, 내하체와 그라우트와의 구속력이 부족한 경우에 발생한다. 이때 극한앵커력을 인장재의 극한구속력이라 하는데 인장재와 그라우트의 부착저항에 기대되는 앵커에서는 그 부착력이 극한구속력으로 되며, 내하체에 의한 그라우트부착, 마찰, 지압저항 또는 복합된 경우에는 저항력이 극한구속력이 된다.

(3) 앵커체가 지반으로부터 뽑히는 것에 의한 파괴

앵커체의 주면마찰저항으로 지지되는 앵커에는 지반과 앵커체의 마찰력의 부족으로 뽑힘에 의한 파괴가 발생하고, 지압저항으로 지지되는 앵커는 지반이 지압파괴, 전단파괴에 이르게 되어 뽑힘에 의한 파괴가 발생하는데 이때 발생하는 극한앵커력을 극한인발력이라고 한다. 즉, 마찰저항에 의존하는 앵커는 앵커체와 지반의 주면마찰력이 극한인발력이 되고, 지압저항에 우선적으로 의존하는 앵커는 앵커체 설치지반의 지압력이 극한앵커력이 되지만 앵커체가 설치된 지반의 토사피복이 얇을 경우에는 그 상부의 지반에서 전단파괴하는 경우가 있으므로 주의하여야 한다.

2.3.4 유효인장력의 결정

유효인장력은 설계 앵커력을 함께 앵커 및 앵커로 보강된 구조물의 변형량, 응력상태를 고려해서 결정된다.

[해설]

유효인장력은 앵커체에 초기인장력이 주어진 다음 일정한 시간이 경과한 후에 인장력이 어느 정도 감소하여 인장재에 유효하게 작용하고 있는 인장력을 말하는 것이다. 앵커의 인장력은 세트량, 인장재의 릴렉세이션, 주입재와 지반의 크리프 등의 요인으로 시간에 따라 어느 정도로 감소하다가 일정한 값에 머무른다. 그러므로 초기에 주어진 인장력이 어느 정도로 감소하는 지를 설계시점에서 상정하고 시공할 때에는 이것을 가능한 한 보정하여야 한다.

유효인장력은 값을 정하기에는 무리가 따르므로 시공시나 시공 후의 관리시에 보정하도록 한다. 또한, 릴렉세이션이나 크리프 값은 일정한 값을 두지 않고 시공 후의 관리를 통해 보정해 나가야 한다.

앵커를 정착할 때의 하중 감소량을 예상하여 초기 도입력을 결정하는 경우에 인장력의 감소량이 크다면, 유효인장력이 설계하중시의 허용인장력보다 작은 값일 가능성이 크므로 앵커를 시공할 때에 재인장 등으로 허용인장력을 끌어올리는 것이 경제적인 시공이다.

비탈면보강을 위한 경우에는 프리스트레스 값이 중요하므로 설계앵커력을 부여하여야 한다. 만약, 프리스트레스 값이 주어지지 않는 경우에는 역산한 비탈면의 안전율이 최소한 1.05 이상이 되어야 한다.

인장력 감소에는 다음과 같은 요인이 있다.

① 세트량

세트량이란 앵커를 정착할 때 인장재와 정착장치 사이의 미끄러짐(활동)으로 인한 인장재의 되돌림량을 말한다. 정착장치의 세트량은 정착장치의 종류에 따라 달라지며 쐐기식 정착장치에서 세트량은 3~6mm 정도로서 설계시 안전 측으로 6mm를 적용하는 것이 일반적이며, 지압식 정착장치에서의 세트량은 1mm 정도이다.

② 앵커인장재의 릴렉세이션

인장재의 릴렉세이션은 앵커 인장재의 종류와 인장재에 가해지는 하중의 크기에 따라 좌우된다. 따라서 작용하중 수준이나 시험을 통한 결과값을 고려하여 릴렉세이션 값을 결정하여야 한다.

표 2.1 PC강재의 릴렉세이션에 의한 감소율

PC강재의 종류	릴렉세이션에 의한 감소율(%)
PC강선	5
PC강연선	5
PC강봉	3

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.

④ 앵커로 보강된 구조물의 변형

비탈면 보강공에 사용되는 앵커는 비탈면 상에 설치된 철근콘크리트보, 콘크리트 블록 등의 반력으로 인해 인장정착이 된다. 그러므로 지반과의 관계에서 철근콘크리트보나 콘크리트 블록의 강성이 지나치게 작거나 설치면적이 좁으면 보가 지반 중에 함몰하거나 큰 변형을 발생시키므로 철근콘크리트보의 단면적이나 콘크리트 블록의 설치면적을 필요한 만큼 확보하여야 한다. 또 콘크리트의 건조수축, 크리프는 수직하중을 받는 것이 아니고 수평방향의 하중을 받는 것이므로 그 두께에 대한 수축량이 극히 적기 때문에 무시할 수 있다.

2.3.5 앵커체 정착 그라우트의 허용부착응력

인장재와 그라우트의 부착력은 그라우트의 강도가 크다면 문제가 되지 않지만, 특수한 경우에는 압축강도시험을 하여 강도확인을 하여야 한다.

[해설]

앵커에 사용하는 허용부착응력도는 대한토목학회의 콘크리트 표준시방서 및 건설공사 비탈면 설계기준을 참고로 한다. 인장재와 그라우트의 부착력은 그라우트의 강도가 크다면 문제가 되는 경우가 적지만, 특수한 경우에는 압축강도시험을 하여 강도확인을 하여야 한다.

표 2.2 인장재와 그라우트의 허용부착응력(kN/m^2)

그라우트 설계압축강도 (kN/m^2) / 인장재 종류		15000	18000	24000	30000	40000이상
가설앵커	PS강선	800	1000	1200	1350	1500
	PS강연선					
	이형PS강봉	1200	1400	1600	1800	2000
영구앵커	PS강선	-	-	800	900	1000
	PS강연선					
	이형PS강봉	-	-	1600	1800	2000

표 2.3 시험으로 측정된 허용부착응력(kN/m^2)

인장재의 종류	가설 앵커		영구 앵커	
	그라우트의 압축강도 (σ_{28})		그라우트의 압축강도 (σ_{28})	
	15000이상 25000미만	25000이상	20000이상 35000미만	35000이상
PS강선 PS강봉	500	700	500	700
PS강연선	800	1100	800	1000
이형PS강봉	1100	1500	1000	1200

2.3.6 펄스파워에 의한 확공 특성

펄스파워에 의한 확공계수(Ec)는 원래의 천공직경에 대한 확공후 직경의 비를 말하는데 펄스방전회수 및 방전전압에 비례하여 증가하며 증가효과는 지반이 연약할수록 커진다.

[해설] 사질토에서의 확공계수(Ec) 값은 그림 2.4와 같이 N치에 따른 확공계수비 데이터로부터 구할 수 있다. 그림에서 보다시피 확공계수(Ec) 는 방전횟수가 커질수로 그리고 표준관입저항치 (N)값이 작을수록 커지는 경향이 있다.

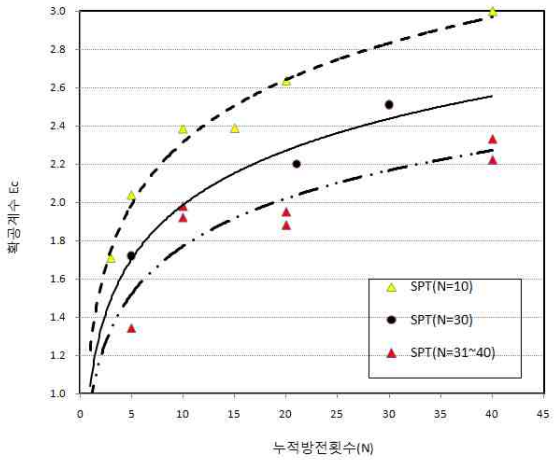


그림 2.4 확공계수 vs 누적방전횟수

표 2.4는 사질토에서 방전회수 및 지반조건에 따른 평균 확공계수(Ec) 값을 보여준다.

표 2.4 펄스방전 횟수에 따른 앵커의 확공계수

방전횟수	확공계수(Ec)			
	사질토			
	SPT (N=10)	SPT (N=20)	SPT (N=30)	SPT (N<35)
0	1.00	1.00	1.00	1.00
5	2.06	1.87	1.79	1.51
10	2.32	2.10	2.00	1.77
15	2.49	2.24	2.14	1.93
20	2.62	2.35	2.24	2.03

점성토(Sandy Clay)에서의 그림 2.5와 같은 경향을 보이며 평균 확공계수(Ec) 값은 표 2.5와 같다.

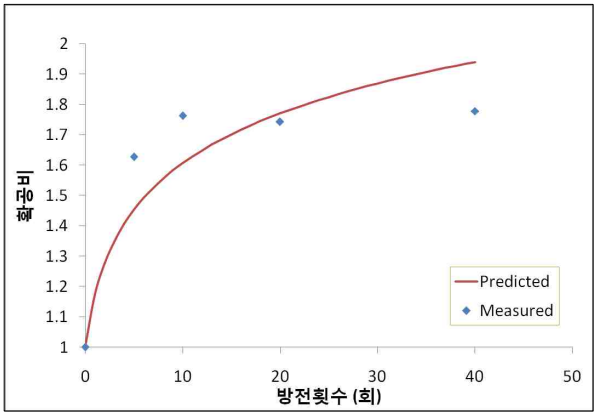


그림 2.5 점성토(Sandy Clay)

표 2.5 점성토(Sandy Clay)에서의 방전횟수에 따른 확공계수

방전횟수	확공계수(Ec)
	Sandy Clay
0	1
5	1.45
10	1.60
20	1.77

2.3.7 확공형 앵커체의 극한인발력

확공형 앵커체의 극한인발력은 지반종류 및 방전회수에 따른 값으로 주면마찰저항과 지압저항 값을 설계시에는 정확하게 계산하기 어려운 관계로 개략적으로 가정하여 앵커의 본수 및 간격 등을 결정한 후 시공 전에 인발시험을 통하여 앵커의 극한인발력 및 그 거동을 파악하여 확정한다.

[해설]

주면마찰저항이나 지압저항의 크기는 지반조사 결과에 따른 지반의 종류 및 물리적·역학적 성질, 유효응력 이외에 앵커체의 구조, 형상, 길이, 앵커의 시공방법, 천공 등에 따라 다르게 나타난다. 따라서 인발시험은 가능한 실제 사용되는 앵커와 동일한 조건, 즉 앵커의 제원, 설치지반, 시공방법을 동일하게 실시하는 것이 바람직하다.

앵커체의 현상이 일정하지 않은 경우 즉, 직경대 길이비가 일정하지 않은 지압형 또는 복합형 앵커의 경우는 주면마찰저항과 더불어 지압저항의 효과로 설계에 반영하도록 해야 한다. 앵커체의 단위면적 당 지압저항의 크기는 앵커체로부터 하중을 받는 설치지반 중의 지압면의 지반강도가 지압저항에 영향을 미치고, 균일하지 않은 지층을 분류한다는 것은 어려움이 있기 때문에 지반의 종류나 지층의 구분으로부터 지압저항의 크기를 결정하기는 어렵다. 그러므로 펄스앵커와 같이 마찰저항과 지압저항을 동시에 받는 지압형 또는 복합형 앵커의 경우는 인발시험을 통해 설계앵커력을 확인해야 한다. 그러나 펄스앵커의 설계시에 앵커의 본수나 설치간격 등을 정하기 위해서는 개략적이나마 앵커의 극한인발력의 계산이 필요하며 그 방법은 다음과 같다.

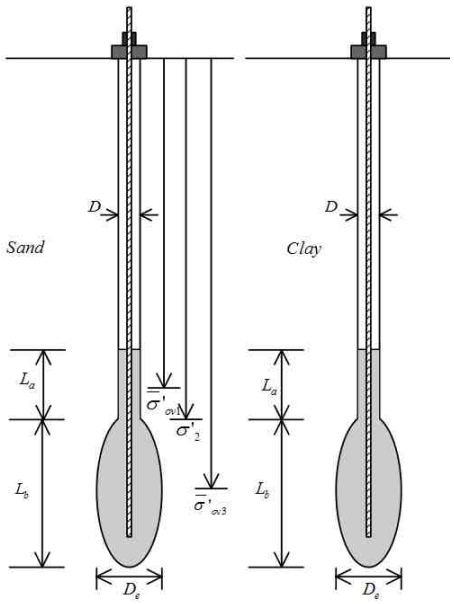


그림 2.6 펄스방전 확공형 앵커 개요도

(1) 극한인발력 산정식

$$Q_u = A\overline{\sigma_{ov1}}'\pi DL_a + B\sigma_{ov2}'\frac{\pi(D_e^2 - D^2)}{4} + A\overline{\sigma_{ov3}}'\pi D_e L_b \qquad \text{(사질토)}$$

$$Q_u = AS_u\pi DL_a + BS_u\frac{\pi(D_e^2 - D^2)}{4} + AS_u\pi D_e L_b \qquad \text{(Sandy Clay)}$$

$$D_e = E_c \times D$$

여기서, A = 지반에 따른 마찰계수, B = 지반에 따른 지지력계수
E_c = 방전횟수에 따른 계수 (D_e/D), D = 확공 되지 않은 앵커의 직경
D_e = 확공 된 구근의 직경, L_a = 구근 상부의 정착전이길이
L_b = 구근의 길이(≒ $2D_e$)
$\overline{\sigma}_{ov1}'$= 구근 상부 정착장에서의 평균 유효상재하중
σ_{ov2}'= 구근 상부에서의 유효상재하중
$\overline{\sigma}_{ov3}'$= 구근부 중앙에서의 평균유효상재 하중
S_u = 점토의 비배수 전단강도

(2) 계수값 요약

표 2.7 풍화토와 Sandy Clay 에서의 계수 A, B, C

	방전횟수 (회)	확공계수 (Ec)	A	B
사질토 (N=20)	0	1.00	1.40	-
	5	1.87	1.40	14.20
	10	2.10	1.40	15.42
	15	2.24	1.40	20.14
	20	2.35	1.40	22.32
사질토 (N=30)	0	1.00	1.46	-
	5	1.79	1.46	7.25
	10	2.00	1.46	11.43
	15	2.14	1.46	10.33
	20	2.24	1.46	12.81
Clay (N=10이하)	0	1.00	1.63	9
	5	1.24	1.63	9
	10	1.35	1.63	9
	20	1.42	1.63	9

2.3.7 인장재의 선정

(1) 설계하중에 대한 안정성이 확보된 인장재를 선정한다.
(2) PC강연선을 사용하여 인장재를 구성하는 경우에는 2본 이상을 1케이블로 한다.

[해설]

(1) 앵커두부에 작용하는 인장력은 인장재, 주입재를 거쳐서 주변지반으로 전달된다. 따라서 인장재와 주입재, 주입재와 지반의 제각기 경계면에 있어서 충분히 안전성이 발휘되는 동시에 인장재에 작용하는 하중이 인장재의 허용인장력을 상회하지 않도록 설계해야한다.

설계의 앵커축력(T_D)와 인장재의 극한 하중(T_{us}), 항복하중(T_{ys})와의 관계는 다음과 같다.

인장 중	$T_D = 0.8T_{us}$, $T_D = 0.94T_{ys}$ 중 작은 값
인장 직후	$T_D = 0.7T_{us}$

단, 설계하중 작용시는 프리스트레스 도입후 시간이 경과함에 따라 하중이 안정된 상태일 때를 말하며, 공용기간이 2년 미만인 가설앵커의 경우는 다음과 같다.

$$T_D = 0.65T_{us},\quad T_D = 0.8T_{ys}$$

이것은 국내의 '콘크리트 구조설계기준(2007, 국토해양부)' 및 '건설공사 비탈면 설계기준(2006, 국토해양부)'에 따른 허용인장력 값이다.

프리스트레스 콘크리트부재에 있어서는 인장력 도입 이후 콘크리트의 건조수축, 크리프나 인장재의 릴랙세이션에 의한 도입인장력은 시간의 경과와 함께 감소하고 어떤 시간이 경과한 다음에는 정상상태가 된다. 즉 인장직후에 $0.7T_{us}$였던 인장력이 최종적으로 $0.6T_{us}$로 안정된다고 상정한 것으로 공용년수가 2년 이하의 가설앵커에서는 인장력의 감소과정에 있다는 것으로 $0.65T_{us}$를 허용하중으로 하고 있다.

(2) 인장재를 구성하는 인장재는 PC강연선을 여러개 묶어서 가공 조립되는 경우가 많다. 단 1본으로 구성하는 싱글강선방식은 피하는 것이 좋다.

표 2.8 앵커의 허용인장력

앵커의 종류		공용기간	인장재 극한하중(T_{us})에 대하여	인장재 항복하중(T_{ys})에 대하여
가설앵커		2년 미만	$0.65\,T_{us}$	$0.80\,T_{ys}$
영구앵커	평상시	2년 이상	$0.60\,T_{us}$	$0.75\,T_{ys}$
	지진시	2년 이상	$0.75\,T_{us}$	$0.90\,T_{ys}$

2.3.8 펄스앵커의 길이

(1) 앵커자유장은 최소 4m이상으로 한다.
(2) 인장재자유장은 변형을 고려하고 소요 인장력을 확보할 수 있도록 한다.
(3) 앵커정착장은 3m이상, 10m이하로 한다.

[해설]

(1) 앵커자유장

앵커 자유장부는 앵커두부로부터 인장재에 도입된 인장력을 감소시키지 않고 앵커체에 전달하는 부분이고, 앵커체에서 지반을 통하여 앵커로 보강되는 구조물에 영향을 미치지 않는 간격을 확보하는 역할을 한다.

앵커의 자유장은 토층의 파괴면을 그 층의 내부마찰각에 따라 45+ϕ/2로 가정한 다음 앵커의 자유장이 파괴면 밖에 위치하는지를 검토한다. 여기서 계산상의 여유장은 굴착깊이를 H라 하면 0.15×H로 하며 최소 1.5m 이상이어야 한다. 즉, '설계자유장 > (앵커지점에서 파괴면까지의 거리 + 0.15H)' 로 하며 이 때 토사지반에서 최소 설계자유장은 4.0m이상을 확보해야 한다. 또한, 연약지반 상 흙막이벽 또는 비탈면활동이 예상되는 경우에는 한계평형해석에 의한 임계원(critical circle)을 기준으로 자유장을 결정한다.

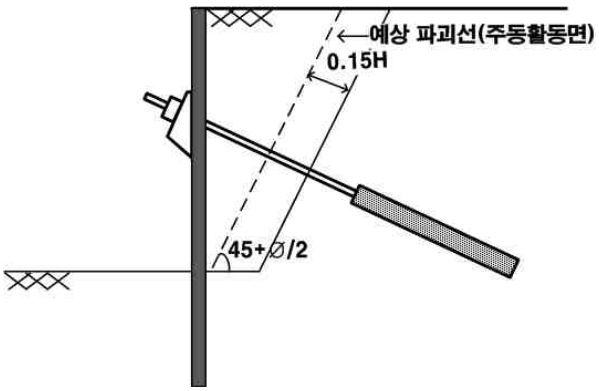


그림 2.7 앵커 자유장 결정을 위한 예상파괴선

일반적으로 흙막이, 옹벽 등과 같이 토압을 받는 구조물에서는 적어도 예상파괴면(주동활동면) 아래 깊이에 앵커체가 위치하도록 자유장을 결정해야 한다. 또한, 비탈면 붕괴방지를 위해 앵커를 사용하는 경우, 예상파괴면(주동활동면)보다 깊은 지반에 앵커체가 설치되어야 하며, 앵커체의 외측을 통과하는 활동에 대해 소정의 안전율을 얻을 수 있도록 자유장을 설정하지 않으면 안된다. 흙막이 벽체에 앵커를 사용하는 경우 앵커체는 예상파괴면(주동활동면)의 외측에 있더라도 흙막이 벽체의 변형에 동반하여 주변지반과 함께 변위를 일으키는 경우가 있다. 특히 양질의 지반에서 앵커자유장이 짧은 경우에는 더욱 주의가 필요하다.

(2) 인장재자유장

인장재의 자유장은 변형을 고려하고 소요 인장력을 확보할 수 있도록 정해야 한다.

인장재 자유장이 긴 경우는 앵커로 보강된 구조물에 변위가 생기더라도 잔존인장력의 영향은 작고, 앵커체 설치지반이 크리프 변위를 일으킨 경우에도 잔존인장력의 변화가 작다. 이와 같이 인장재 자유장은 앵커정착 후에 변위가 생기더라도 잔존인장력을 유지하는 완충재로서의 기능이 있다.

(3) 앵커정착장

앵커의 정착장은 설계인장력을 확보하는 길이 이상으로서, 앵커체 저항길이와 부착저항길이 중 큰 값으로 한다. 설계앵커력이 작은 경우에는 앵커정착장을 짧게 할 수 있지만 너무 짧게하는 경우에는 지반조건이 조금만 변화해도 극한인발력에 큰 영향을 줄 수 있으므로 토사층인 경우 최소 정착장은 토사층일 경우는 4.5m이상으로 한다. 반면, 앵커정착장을 길게 하더라도 극한인발력이 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, $L_{bond} = MAX(L_{bf}, L_{bs})$

마찰정착장, $L_{bf} = \frac{T_{Design} \times F.S}{\pi \cdot D \cdot \tau_f}$, $L_{bf} = \frac{T_{Design} \times F.S - q_a \cdot A}{\pi \cdot D \cdot \tau_f}$

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

여기서, T_{Design} : 앵커의 설계축력
$F.S$: 설계 안전율
D : 앵커의 천공 직경
τ_f : 주변토층의 마찰력
τ_a : 인장재의 부착력

2.3.9 펄스앵커의 안전율

펄스앵커는 일반앵커로 보강된 구조물의 안정해석에 작용하는 안전율을 그대로 적용하며 가설앵커의 경우 1.5, 영구앵커의 경우 2.9로 정한다.

[해설]
앵커로 보강된 구조물의 안정해석에 적용하는 안전율 기준은 다음과 같다.

표 2.9 앵커내하력의 안전율 Fs

앵커의 종류		공용기간	극한인발력에 대한 안전율
가설앵커		2년 미만	1.5
영구앵커	평상시	2년 이상	2.5
	지진시	2년 이상	1.5~2.0

※ 흙막이 구조물의 경우에는 '구조물기초설계기준(2009,국토해양부)'를 따를 수 있다.

2.3.10 전체계의 안정

앵커를 설계할 때에는 전체계의 안정을 만족하고 있는지를 검토해야 한다.

[해설]
(1) 깊은 굴착의 흙막이
흙막이 벽체의 안정에 관한 검토는 다음과 같다.
① 흙막이 벽체의 지지력
흙막이 벽체의 지지력 검토는 흙막이 벽체의 자중, 재하중 및 앵커의 수직분력에 대하여 실시하며, 흙막이 벽체의 근입깊이부가 충분한 지지력을 갖고 있어야 한다. 흙막이 앵커는 하향방향으로 타설되므로 수직성분에 대한 인장력의 지지력이 부족하면 흙막이 벽체는 침하하여 앵커의 인장력이 감소하고 흙막이 벽체가 밀려나올 가능

성이 있다. 이에 대한 대책으로는 흙막이 벽체의 근입깊이를 늘리거나 또는 앵커 경사각을 여유있게 하는 방법이 있다. 흙막이 벽체의 지지력의 검토는 말뚝의 지지력 공식을 사용한다.

② 터파기 밑면의 안정

터파기 밑면의 안정검토는 근입부의 측압의 균형, 히빙, 보일링에 대하여 실시한다.

히빙은 연약한 점성토 지반을 터파기한 경우에 흙막이벽 배면에 위치한 흙의 중량에 의해서 터파기한 밑면의 흙이 전단파괴를 일으키고, 굴착내측에 흙이 들어가 쌓인 현상을 말한다.

보일링에 대한 검토방법으로는 Terzaghi의 방법이 사용되고 있다. 보일링에 대한 안정성을 확보하기 위해서는 흙막이 벽체의 근입깊이 길이를 길게 하는 방법, 앵커 위치를 터파기면에 인접시키는 방법, 앵커단수를 늘리는 방법이 있으며, 이외에도 지반의 전단저항을 늘리는 방법이 있다.

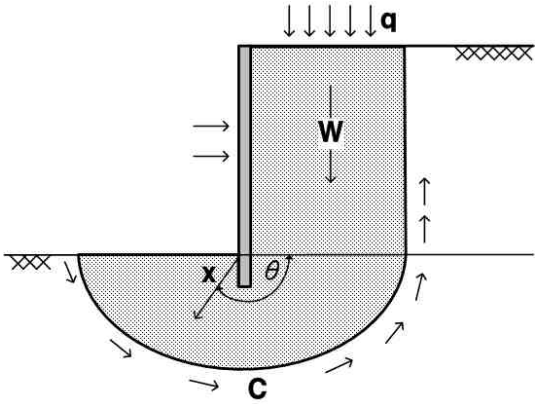


그림 2.8 히빙의 검토

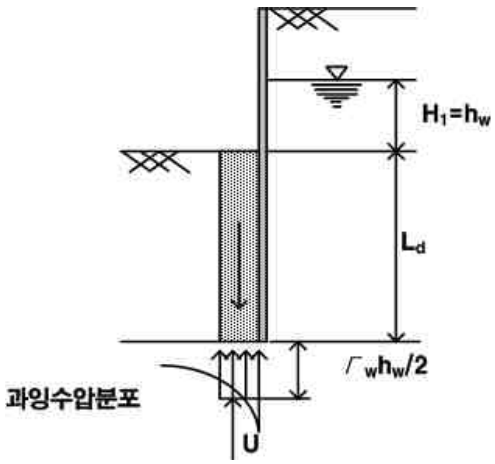


그림 2.9 보일링의 검토

③ 배면지반의 안정

배면지반의 안정은 앵커를 포함한 흙막이 배면의 흙덩어리 전체의 안정에 대하여 검토한다. 이 검토는 일반적으로 내적안정과 외적안정에 대하여 검토되는데 이중 내적안정의 검토방법은 일반적으로 kranz의 방법이 사용된다.

외적안정은 앵커체와 구조물을 포함한 지반전체의 붕괴에 대한 안정을 말한다. 외적안정에 대한 계산방법으로는 앵커선단근처 및 바닥 붙임면 깊이를 지나는 원호붕괴에 대한 안정성 검토를 하는 것이 일반적이다.

(2) 비탈면의 안정

비탈면의 안정에 대한 구조계의 안정검토는 앵커로 보강된 구조물 및 지반을 포함한 앵커선단을 지나는 활동면에 대해서 실시한고, 지질, 지하수, 붕괴형태를 고려하여 실시해야 한다.

비탈면의 붕괴형태는 일반적으로 지질형태에 따라 다르고 비탈면의 안정해석에 있어서는 붕괴형태 외에 외력조건을 생각해서 적절한 해석법을 선택하는 일이 중요하다. 안정해석은 앵커로 보강된 구간의 내부와 외부로 발생하는 모든 파괴형태에 대하여 안정하도록 앵커의 길이와 간격을 조절하면서 반복적으로 수행한다. 해석의 토질정수로 점착력(c), 내부마찰각(∅), 단위중량(γ)이 일반적으로 사용되고 있다. 일반적으로 비탈면안정에 사용하는 앵커는 계획안전율에 대한 부족저항력을 보강하도록 계획된다.

(3) 부력 등 수직하중을 받는 구조물의 안정

부력 등 수직방향의 하중을 받는 구조물의 안정에 관한 검토는 지금까지 설명한 흙막이 비탈면안정의 경우와 달리 앵커 주위에 위치한 지반의 하중(즉, 흙하중)을 고려한다. 이 흙하중의 형상을 원추상의 흙덩어리를 가정하여 인발하중과의 관계를 조사한다.

(4) 내적안정의 계산

내적안정계산이란 그라운드 앵커와 흙막이벽 관입부분 가상지점 사이의 깊은 활동면의 안정계산을 뜻한다. 가장 일반적인 내적안정 계산방법으로는 Kranz의 간이계산법이 사용된다.

Kranz의 방법은 앵커체의 중앙점과 흙막이벽의 가상지점을 연결한 직선(BE)을 깊은 활동면이라고 가정하였을 때 지반(ABED)의 내부에 주동활동면(BC)이

발생하면 흙막이벽(AB)에 주동토압이 발생하여 앵커지점에 반력(R)이 발생한다. 이 반력(R)은 E점에서 앵커를 통해 지반으로 힘을 전달한다. 이때 반력(R)이 지반(CBED)로 저항한다는 가정하에 지반(CBED)의 한계저항력을 구하고 그 수평력과 앵커의 설계력과의 비를 안전율로 하는 것이다.

한계저항력의 수평분력(R_{hmax})은 다음 식으로 구할 수 있다. (사질지반의 경우 c=0으로 한다.)

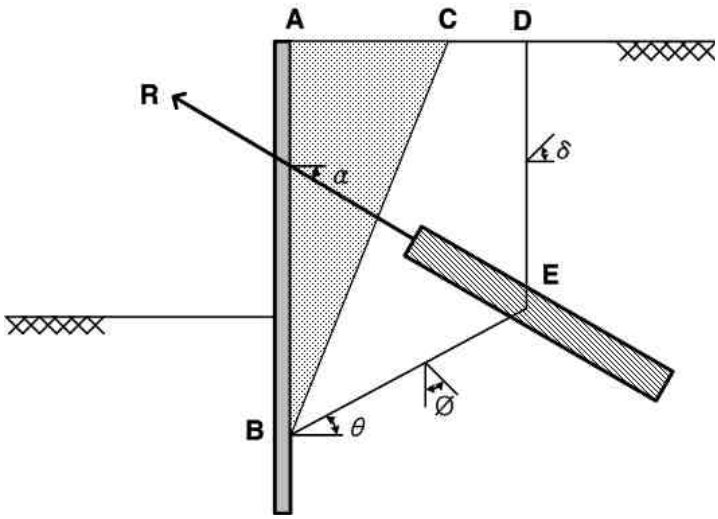


그림 2.10 kranz의 내적안정 검토법

$$E_{rh} = [W - (E_{ah} - E_{1h})\tan\delta]\tan(\phi - \theta)$$

$$R_{hmax} = f_A(E_{ah} - E_{1h} + E_{rh})$$

$$f_A = \frac{1}{1 + \tan\alpha \cdot \tan(\phi - \theta)}$$

여기서, W : 깊은 활동선에 작용하는 토괴의 중량(kN/m)
E_a : 흙막이벽의 상단에서 가상지점까지의 흙막이벽에 작용하는 주동토압(kN/m)
E_1 : 가상 앵커 정착면에 작용하는 주동토압(kN/m)
ϕ : 흙의 내부마찰각(°)
δ : 벽의 마찰각(°)
θ : 깊은 활동선의 경사각(°)
α : 앵커의 경사각(°)

(5) 외적안정의 계산

외적안정의 구체적인 계산방법은 원호활동법으로 수행하는 것이 일반적이다. 즉, 원의 중심을 중심에서부터 앵커선단 바깥쪽으로 바꾸어 가면서 안전율

을 구한 뒤 그 중 최소값을 외적안정계산의 원호활동에 대한 안전율로 한다. 일반적인 안전율의 값은 1.2~1.5을 사용하지만, 독일표준협회(DIN 4084)의 규정에 따르면 1.4이상으로 하고 있다.

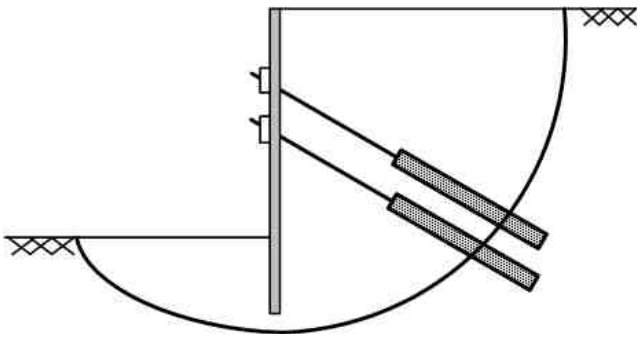


그림 2.11 원호활동법에 의한 외적안정의 검토

2.4 펄스앵커 두부의 설계

(1) 펄스앵커의 두부의 설계는 일반앵커의 두부설계와 같으며 허용앵커력에 대한 강도를 가지며 유해한 변형을 일으키지 않는 구조로 한다.
(2) 재인장 또는 재하의 필요성이 있는 경우에는 인장재의 여유장 및 재인장이 가능한 정착구를 사용하여야 한다.
(3) 앵커두부는 부식에 대한 손상을 받지 않도록 부식에 대한 내구성이 있는 재료를 사용하여야 하며, 방청유를 공극이 없도록 충전하여 방청유가 새어나오지 않는 구조로 설계하여야 한다.

[해설]

(1) 앵커두부는 정착구와 지압판으로 구성된다. 구조물에 작용하는 힘을 인장력으로 인장부에 전달하기 위한 부분으로 변형 · 손상을 일으키지 않고 앵커로 보강된 구조물에 하중을 무리없이 전달할 수 있어야 한다. 또한, 앵커 공용기간 중에 앵커의 인장력을 유지하는데 무리가 없도록 방청처리가 된 것을 사용하여야 한다.

(2) 앵커 인장재의 릴렉세이션이 발생하거나 지반에 크리프가 발생하면, 시간이 경과함에 따라 앵커의 프리스트레스력이 감소하는데, 이 같은 경우는 앵커 인장재를 재인장을 해주어야 한다. 또한 로드셀을 교환하거나 설계앵커력 이상의 하중이 작용하는 경우에도 재인장이 필요한 경우이다. 재인장이 필요

한 경우에는 인장재의 여유장을 남기고 절단하거나, 재인장을 할 수 있는 정착구를 사용하여야 한다.

이런 가능성에 대하여 충분한 검토를 하여 설계단계에서 정착구의 구조를 결정해야 하며, 재하나 재인장 시에 인장력을 풀어주는 상황에 대비한 인장재 자유장을 결정하여야 한다.

(3) 앵커두부를 보호하는 방법에 대해서는 앵커가 설치되는 환경조건을 충분히 검토한 후 결정한다. 앵커의 두부를 보호하기 위해서는 일반적으로는 두부에 캡을 씌우는 방법을 사용한다. 또한, 현장상황을 감안할 때 두부캡의 파손 등이 예상되는 경우에는 두부캡을 콘크리트로 피복하는 등의 대책을 마련하여 시행한다. 두부캡은 인장재나 정착구를 부식시키는 물이나 산 등의 물질을 침투시키지 않는 구조이어야 하며, 두부캡의 재료는 외부의 충격에 대해 충분한 강도를 가지고 산 등에 대한 내구성이 있는 것을 사용해야 하는데 일반적으로 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 알루미늄합금 및 크롬도금강 등이 사용되고 있다. 또한, 두부캡은 방청유가 흘러나오지 않으면서도 증발 등에 의해 방청유의 감소가 우려되는 경우에는 보충할 수 있는 구조를 갖추어야 한다. 두부캡의 내부는 공극이 없도록 방청유로 완벽하게 충전해야하고 방청유는 장기내구성과 안전성을 가지며 기온의 변화에 의해 변질되거나, 유출되지 않는 품질을 갖추고 있어야 한다. 즉, 앵커두부 보호공 내부는 고온인 경우가 많으므로, 고온에서도 유동성을 유지하고 변질되지 않는 장기안정성을 가진 방청유를 사용해야 한다.

2.5 펄스앵커 수압판의 설계

(1) 펄스앵커의 수압판은 일반적인 그라운드앵커의 수압판과 다르지 않으며 앵커 두부의 인장력을 지반에 분산, 전달시키는 목적으로 사용된다.
(2) 인장재의 반력을 지반에 균등하게 전달하여야 하고, 허용응력설계법 또는 강도설계법으로 설계하여야 한다.
(3) 수압판에 작용하는 하중은 상시하중과 일시하중으로 구분할 수 있는데 상시하중으로는 설계앵커력이 작용하며 일시적으로 크게 작용하는 지진하중이나 초기인장력은 일시하중으로서 설계앵커력의 1.5배를 초과해서는 안된다.
(4) 철근콘크리트 수압판 또는 프리스트레스트 콘크리트 수압판 설계시 일시하중에 대해서 극한강도를 만족하여야 하며 상시하중에 대해서 사용성을 만족하여야 한다.
(5) 현장타설콘크리트 격자형태의 수압판 설계시 십자형 수압판에 준하여 설계한다.

[해설]

펄스앵커의 수압판 설계는 일반적인 그라운드 앵커의 수압판 설계에 준하여 실시한다.

① 수압판은 앵커 두부의 인장력을 지반에 분산 전달시키는 목적으로 사용되는 것으로 콘크리트와 강철 보강재 혹은 철, 알루미늄 합금 등을 주재료로서 제작되는 블록형태의 구조물을 말한다.

② 수압판은 비탈면 지역, 깎기비탈면, 기 설치된 석축이나 옹벽 등의 안정에 사용되는 영구앵커의 인장력을 장기에 걸쳐 보존·유지할 수 있어야 한다.

수압판은 앵커의 인장력을 보존하고 유지하는 특성을 갖는다. 자연비탈면, 깎기비탈면, 기 설치된 석축이나 옹벽의 안정 등 수압판이 이용되는 곳은 여러 곳이지만, 어느 경우에도 앵커를 지반에 정착시키려면 앵커의 인장력을 보존・유지할 수가 있는 반력 구조물을 사용하는 것이 필요하다. 수압판은 앵커의 기능을 충분히 발휘하기 위해 매우 중요한 구조물로서 수압판을 선정하기 위해서는 앵커의 목적, 성질과 상태, 규모나 비탈면의 상태, 시공환경을 고려하여 적절한 것을 선택할 필요가 있다.

(2) 수압판에 필요한 성능

① 수압판은 인장재의 반력을 가능한 균등하게 분산하여 지반에 전달하는 구조이다.

② 콘크리트제 수압판은 큰 균열 등이 발생하지 않도록 또 철제·알루미늄 합금제수압판은 소성변형을 일으키지 않도록 설계 앵커력을 결정하여야 한다.

③ 수압판의 내하력설계 방법은 허용응력설계법 또는 강도설계법에 따라 역학적으로 설계하여야 한다.

④ 수압판은 가혹한 환경에 있어도 장기간의 내하력을 유지할 수 있어야 한다. 따라서, 염분이나 산성 가스가 있는 환경의 경우는 내식성에 대해 특별히 고려하여야 한다.

⑤ 수압판은 원칙적으로 상하 좌우로 앵커의 설치 각도의 조정이 가능한 것으로 한다. 앵커축선과 수압판상의 지압판이 수직이 아닌 경우에는 수압판 자체를 기울여서 각도를 조정하거나 앵커의 부착부와 앵커 축선과의 각도 조절이 가능한 수압판을 사용할 수도 있다.

(3) 설계상의 하중과 반력

① 수압판의 설계 하중은 다음과 같다.

수압판에 지속적으로 작용하는 하중은 설계 앵커력이므로 설계 앵커력을 상시하중으로 한다. 지진시 하중, 또는 통상 설계 앵커력의 1.5배 이내인 일시 하중인 경우에도 그 크기가 인장재의 항복하중의 90%보다 크게 하면 안 된다.

② 수압판의 설계상 지반반력은 등분포에 분포하는 것으로 한다.
수압판에 생기는 지반반력의 분포는 지반의 조건에 따라서 다르지만, 일반적으로는 등분포로 분포하는 것으로 가정하여 설계한다.

③ 수압판에 작용하는 앵커력에 비해 자중에 의한 수압판 응력도는 무시할 만큼 작기 때문에 크리프와 콘크리트 설계에서는 수압판 및 앵커두부의 자중은 무시할 수 있다.

④ 수압판에 하중을 재하하였을 때 수압판에 큰 잔류변형이 생기거나 지반의 허용지지력을 넘는 반력이 생겨서는 안된다. 즉, 지반 반력을 충분히 견딜 수 있을 정도로 수압판의 면적을 충분히 크게 하여야 한다.

표 2.10 수압판의 설계 하중

	상시하중	일시하중
영구 앵커	설계 앵커력	지진하중 또는 초기인장력으로 설계앵커력의 1.5배 이내

지반의 허용 지지력은 표 2.8을 참고한다.

$$q_a \geq \frac{T_d}{A}$$

여기서, q_a : 지반의 허용 지지력

T_d :설계 앵커력

A :수압판의 수압면적

표 2.11 지반의 종류와 허용 지지력

지지 지반의 종류		허용 지지력 $q_a(kN/m^2)$	비고	
			일축압축강도 $q_u(kN/m^2)$	N치
암반	균열의 적은 균등한 경암	1,000	10,000이상	-
	균열이 많은 경암	600	10,000이상	-
	연암·이암	300	1,000이상	-
역층	조밀한 것	600	-	-
	조밀하지 않은 것	300	-	-
사질토 지반	조밀한 것	300	-	30~50
	중위인 것	200	-	20~30
점성토 지반	매우 딱딱한 것	200	200~400	15~30
	딱딱한 것	100	100~200	10~15
	중간정도의 것	50	50~100	4~8

(4) 수압판 설계시 주의사항

① 수압판이 설치되는 지반 표면의 굴곡이 심하여 집중응력이 발생하지 않도록 표면을 버림콘크리트, 숏크리트 또는 모르타르 등으로 평탄화하여 수압판을 설치하여야 한다.

② 수압판 주변 지반이 강우시 세굴되지 않도록 조치하여야 한다.

2.5.2 철근 콘크리트 수압판

철근 콘크리트제 수압판(이하 RC수압판이라고 한다)이란 콘크리트와 철근을 주요 재료로 제작되어 철근 콘크리트의 이론에 의해 설계되는 앵커용 수압판이다. RC수압판은 앵커 인장재의 인장력을 지반에 전달하는 수압판으로 충분한 강성을 가지는 구조로 하여야한다. 부재의 설계 방법은 강도설계법에 따른다.

[해설]

(1) RC수압판은 앵커 두부와 지반 사이에 있는 철근 콘크리트 구조의 블록으로 앵커력을 지반에 전달하는 역할을 한다. 철근 콘크리트는 콘크리트가 압축응력을 철근이 인장응력을 부담하는 일체화된 구조로서 외력에 저항하도록 만들어진 것을 말한다.

(2) RC수압판의 주요 재료는 정해진 품질 기준을 만족하여야 하므로 일반적으로 시멘트는 KS L5201에 정해진 포틀랜드시멘트, KS L5210에 정해진 고로시멘트 등을 사용하고 철근은 KS D3504 환강, 이형봉강 혹은 동등 이상의 품질인 것이 확인된 제품을 사용한다. 공장 제품에는 일반적으로 보통 포틀랜트 시멘트나 조강 포틀랜트 시멘트가 사용되지만 제품의 필요한 성능이 만족된다면 다소 경화 시간은 늦지만 용광로 시멘트나 플라이에쉬 시멘트를 이용해도 좋다. RC수압판은 원칙적으로 KS에 규정된 재료를 사용하지만 KS에 규정된 것 이외의 재료를 사용하는 경우에는 충분한 실적이 있거나 시험을 통하여 안전성이 확인된 것을 사용해야 한다.

(3) RC수압판의 형태는 평면 형태로 막대 모양과 평판 모양으로 나뉘고, 설계앵커 하중이나 지반 지지력, 미관 등을 고려하여 형태를 선정한다.

(4) RC수압판에는 프리캐스트 콘크리트, 현장타설 콘크리트 또는 부분 프리캐스트 콘크리트를 적용할 수 있다. 즉, 미리 공장에서 제작된 프리캐스트 콘크리트 제품과 철근과 보강재를 조립한 거푸집에 고유동 콘크리트를 현장타설하는 현장타설 콘크리트 제품으로 크게 구분할 수 있으며, 주요 구조부분을 미리 공장에서 제작하여 중앙의 속이 빈 부분에 현장타설 콘크리트를 충전하는 부분 프리캐스트 콘크리트 제품도 있다.

(5) RC 수압판은 강도설계법으로 설계하는데 강도설계법은 극한강도설계법이라고도 하며 부재의 극한강도에 강도감소계수를 적용하여 설계강도를 구하고 이를 소요강도와 비교하여 단면을 결정하는 방법이다. 소요강도는 하중계수를 적용한 단면력의 조합을 통하여 계산한 계수하중이며 설계하중과 같다. 본 지침에서 규정하지 않은 내용은 철근콘크리트구조설계기준 등 관련기준을 준용한다.

(6) 수압판에는 상시에 설계앵커력이 작용하며 일시적으로 작용하는 최대하중(초기인장력이나 지진시 하중)의 경우에도 설계앵커력의 1.5배를 초과해서는 안된다. RC수압판은 상시하중에 대하여 균열에 대한 사용성을 만족해야하며 일시하중에 대하여 극한강도를 만족해야한다.

(7) 강도설계법에 의한 단면의 안전성 검토는 ‘콘크리트구조설계기준(2007,

국토해양부)’ 을 따라 휨, 전단, 지압에 대해 실시한다. 다만, 수압판 두부에 절삭부 등 단면이 줄어드는 부위가 있는 경우에는 불리한 단면에 대해 펀칭전단에 대한 안전성 검토를 실시하는 것으로 한다. 수압판을 보로 가정하여 검토하는 경우에도 수압판 두부에 절삭부가 있는 경우는 절삭부 단면에서 펀칭전단 검토를 실시하는 것으로 한다. 이 경우의 펀칭두께는 앵커 두부 수압판 저면의 두께로 한다.

(8) 부재 단면의 설계

휨모멘트 및 전단력은 설계 앵커력과 동일한 지반반력이 작용하는 것으로 검토한다. 이때, 수압판의 자중은 무시한다. 수압판과 지반이 밀착되어 있는 것을 전제로 설계 앵커력은 등분포 지반반력으로 유지되고 있는 것으로 설계한다. 또한, 앵커 설치각이 있지만 이것을 무시하여 수압판에 직각으로 지반반력이 작용하는 것으로서 설계한다. 안전성 검토를 위한 해석 모델은 기본적으로는 캔틸레버보로 계산한다. 그러나 보의 높이가 지간에 비해 높은 경우에는 정밀도가 떨어지므로 깊은보 설계법이나 스트럿-타이 모델을 적용할 수 있다.

2.5.3 프리스트레스트 콘크리트 수압판

프리스트레스트 콘크리트 수압판이란 프리스트레스트 콘크리트 부재로서 설계·제조되는 수압판이다. PC수압판은 그라운드 앵커 인장재의 인장력을 지반에 전달하는 수압판으로 충분한 강성을 가지는 구조로 한다. 부재의 설계 방법은 허용응력설계법 및 강도설계법에 따른다.

[해설]

(1) PC수압판은 콘크리트를 주재료로 한 프리캐스트 제품이고 균열을 억제하기 위하여 프리스트레스를 도입한 것으로 RC수압판에 비하여 고강도 콘크리트가 사용된다.

(2) 재료

PC수압판의 재료는 원칙적으로 KS L5201에 정해진 보통 포틀랜트 시멘트 혹은 조강 포틀랜트 시멘트를 사용한 고강도 콘크리트, 보강재에는 KS D3505에 정해진 이형철근 및 KS D7002에 정해진 PC강봉 혹은 이것과 동등 이상의 성능인 것이 인정된 보강재를 사용한다.

PC수압판은 시멘트나 강재 등 주요한 재료에는 KS에 규정된 재료 혹은 그것

이상의 성능인 재료를 사용한다.

프리스트레스를 조기에 도입할 때는 보통 포틀랜트 시멘트 혹은 조강 포틀랜트 시멘트가 사용되고 있다.

(3) 형태

PC수압판의 평면 형태는 막대 모양에서는 십자형, 평판 모양에서는 복합형 및 사각형이 일반적이나, 다각형, 원형 등 여러 가지 형태가 사용되기도 한다. 구조 치수는 운반을 고려하여 최대 3.0m×3.0m의 크기가 적당하다.

(4) 제조 방법

PC수압판은 대부분 고강도 콘크리트를 사용한 공장 제품이다.

PC수압판에 사용되는 콘크리트는 프리스트레스를 도입할 수 있도록 설계기준강도가 $50N/mm^2$정도 이상의 고강도 콘크리트를 사용하는 것이 일반적이다. 앵커 설치각을 ±10° 까지 조절 가능하도록 제조하되, 설치각이 그 이상인 경우에는 별도의 장치를 통하여 조절 가능하도록 제조한다.

(5) 설계 방침

PC수압판은 그라운드 앵커의 인장재 인장력을 지반에 전달하는 수압판으로 충분한 강성을 가지는 구조로 한다.

부재의 설계는 원칙적으로 콘크리트 구조설계기준(2007, 한국콘크리트학회)의 ‘제 9 장 프리스트레스트 콘크리트’ 편을 참고하여 강도설계법과 허용응력 설계법으로 부재를 설계하고 균열발생 등 사용성을 검증한다.

(6) 하중

① 상시 하중인 설계 앵커력(T_d)에 대하여 사용성을 만족할 수 있도록 설계한다.

사용성이란 일반적인 사용 상태 및 내구성에 관한 것으로 이론상 균열이 발생하지 않도록 설계한다.

즉, PC수압판은 상시 하중, 즉 설계 앵커력에 대해서 사용성이 만족하도록 설계하고 이 하중을 제품규격하중으로 한다.

② 일시하중은 지진시 하중 혹은 초기인장력으로서 그 크기는 설계 앵커력의 1.5배 이다. 강도설계법으로 설계하는 경우 일시하중에 의한 단면력이 극한 강도를 만족할 수 있도록 설계한다.

(7) 지반의 반력분포

지반의 반력분포는 등분포 하중으로 한다.

(8) 안전성 검토 항목

안전성 검토는 휨, 전단 및 펀칭 전단, PC강재 인장력에 대해서 실시한다.

검토위치의 단면력 산정 시 앵커두부를 강체로 보고 지반반력에 대하여 위험단면에 대한 단면력을 계산한다.

십자형에서는 검토부재가 캔틸레버보로 거동하므로 앵커두부 인접 단면에 대하여 단면력을 산정하고, 복합형 및 사각형에서는 보와 저판을 일체로 생각하여 캔틸레버보로 보아 위험단면에 대하여 단면력을 산출한다.

PC수압판의 지반반력은 다른 종류의 수압판과 같게 등분포가 되는 것으로 설계한다.

2.6 앵커 설계의 재료

2.6.1 재료일반

(1) 앵커공사에 사용되는 재료는 서로 영향을 주지 않는 것으로 사용한다.
(2) 앵커의 재료는 각각의 목적에 적합한 품질과 성능을 만족하는지 확인된 것을 사용한다.

[해설]

(1) 앵커의 재료는 필요한 기능을 발휘할 수 있어야 하며, 앵커의 재료로 동시에 2종류 이상의 것을 사용하는 경우에는 각 재료가 서로 악영향을 주지 않는 것으로 사용한다.

(2) 앵커공사에 사용되는 재료는 앵커공법 특유의 시공성, 소요의 품질 및 성능을 충분히 만족할 수 있는 것이라야 한다. 따라서 인장력을 부여함으로써 유해한 변형이나 파손이 발생하지 않는 것은 물론 가공, 운반, 삽입 및 주입 시에 있어서도 파손이 발생하지 않는 사양을 가지고 있어야 한다.

앵커공법의 주요부재로는 인장재, 주입재, 두부정착구 및 영구인장재 구성용 부재 등이 있다. 인장재를 구성하는 인장재는 대단히 큰 인장력이 작용하므로 자유장부, 정착장부 및 앵커두부에 있어서 앵커로서의 성능이 충분히 만족할 수 있는 부재의 치수나 재질이 요구된다. 재료를 사용할 때는 KS규격 등 관

련 기준 혹은 재료시험 등에 의해 그 품질이나 성능이 확인된 것을 사용한다. 또, 사용되는 모든 재료는 서로 나쁜 영향을 미칠 가능성이 있는 재료여서는 안된다. 앵커에 사용되는 재료는 케이블 가공이나 주입 등에 의해 다른 재질이나 재료의 접촉이 있으므로, 서로 해를 끼칠 가능성이 있는가를 사용하기 전에 검토하여 필요에 따라서는 현장시험을 해서 확인하는 것이 좋다.

특히, 사용실적이 없는 영구앵커공법에 있어서는 그 사용목적에 맞는 현장시험을 통한 확인이 필요하다. 국내에서 연구개발 또는 국외에서 개발된 영구앵커는 바로 영구앵커로서 채용하는 것이 아니고 가설흙막이 공사 등 단기간 사용하는 가설 앵커에 시험적으로 채용해서 시공성이나 내하력에 문제가 있는지를 충분히 실제 현장에서 검증 확인한 다음 영구앵커 공법으로 채택할 필요가 있다. 앵커공법은 다른 공사종류와는 많은 점에서 차이가 있으므로 기존 공법의 특징을 잘 살피고, 충분한 안정성과 신뢰성을 확보할 수 있도록 시공하는 것이 바람직하다.

2.6.2 인장재

앵커공사에 사용하는 인장재는 PC강선, PS강연선, 이형PS강연선을 사용한다. 이들은 KS D7002의 규격을 따라야 하며, PS강봉, 이형PS강봉은 KS D3505의 규격을 따른다. 각각 적합한 품질을 갖는 것으로 유해한 흠이 없는 것이여야 한다. 또 PS강재는 고강도이므로 그 재료특성을 충분히 파악한 다음 사용한다.

[해설]

앵커공사에 사용하는 인장재는 일반적으로 고강도의 PS강재를 사용하는 것이 인장재의 단면적을 줄일 수 있고 천공지름이 작아지므로 경제적이다. 고강도 PS강재는 앵커 및 앵커 구조물에 큰 프리스트레스력을 가할 수 있는 장점이 있지만 특성으로 다음 사항을 만족하는 재료를 사용하여야 한다.

① 파단시 신장이 클 것

② 작은 반경으로 만곡시켜도 꺾이지 않을 것

③ 시공상 직선성이 좋을 것

④ 릴랙세이션이 작을 것

⑤ 피로에 대하여 강할 것

⑥ 재질이 안정되어 있을 것

천공 길이나 설계하중의 변화에 대해서도 현장에서 절단, 조립을 할 수 있는 PS강봉은 커플러로 연결할 수 있지만 커플러 부분의 단면이 크기 때문에 접촉부분이 많아지면 시공성

이 저하하는 단점이 있다. 또 PS강선이나 PS강연선은 휨에 대하여 비교적 영향을 적게 받지만 PS강봉은 휨으로 인한 강도저하 등 영향을 크게 받는다. 즉, 수압판 대좌의 각도가 당초부터 인장재 설치각도와 상이한 경우, 정착장치 조임 후에 결과적으로 경사정착이 되는 경우 등 PS강봉이 휨을 받게 되면 그 강도는 현저하게 저하한다.

2.6.3 정착구

인장재의 정착구는 설계인장강도를 견딜 수 있어야 하고, 정착구의 변형을 일으키지 않는 구조로 한다.

[해설]

정착방식은 쐐기정착방식과 너트정착방식의 두 가지로 대별되고 제각기의 인장부의 종류, 쐐기의 형태, 정착잭 등의 차이에 따라 세분화 된다. 또한, 앵커에 사용하는 정착구는 프리스트레스트 콘크리트에 사용되는 정착구와 동등 이상의 품질을 가져야 한다.

쐐기는 앵커용 PS강선 및 PS강연선의 인장으로 파손되거나 미끄러지지 않고, 장기간 그 기능이 확보되는 제품이어야 한다.

그림 2.12은 정착구의 예시를 나타내었고, 그림 2.13는 쐐기의 예시를 나타내었다.

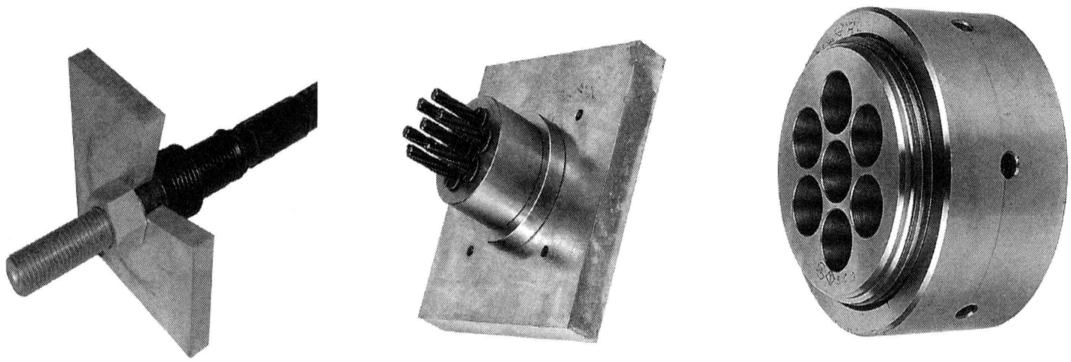


그림 2.12 정착구 (예)



그림 2.13 쐐기 (예)

2.6.4 주입재

앵커체를 형성하는 주입재는 주로 시멘트페이스트 및 시멘트모르타르를 사용한다.

[해설]

앵커에 있어서 주입재는 일반적으로 시멘트페이스트 및 시멘트모르타르를 사용한다. 그러나 시멘트모르타르는 모래의 함수량과 강도의 영향을 받기 쉽고 작업성이 좋지 않으므로 현장에서의 품질관리 면에서 문제가 많아 현재에는 거의 사용되지 않는다. 시멘트페이스트의 블리딩을 줄이기 위해서는 고품질 그라우트를 사용해야 한다.

(1) 시멘트

시멘트는 원칙적으로 KS L5201에 규정하는 보통포틀랜드시멘트 및 조강포틀랜드시멘트를 사용한다. 또 영구용 앵커의 주입재로서 내황산염 시멘트를 사용하는 경우는 충분히 검토한 다음 KS L5201에 규정하는 내황산염 포틀랜드 시멘트를 사용하도록 한다.

(2) 물

주입재에 사용하는 물은 그라우트의 응결강화, 강도의 발현, 체적변화, 워커빌리티 등의 품질에 나쁜 영향을 미치거나 강재를 녹슬게 하는 물질을 허용함류량 초과하지 않아야 한다.

표 2.12 상수도물 이외의 물의 품질

항목	품질
현탁물질의 양	2 g/l
용해성 증발잔유물의 양	1 g/l
염소이온량	150 ppm 이하
시멘트 응결시간의 차	초결은 30분 이내, 종결은 60분 이내
모르타르의 압축강도	재경 7일 및 재령 28일에서 90 이상

(3) 골재

주입재에 골재를 사용하는 경우 골재는 품질, 시공성을 고려해서 선정하고 또한, 품질의 저하가 우려되는 것은 사용해서는 안된다.

(4) 혼화재료

혼화재료는 현장상황에 따라 사용하고 충분한 조사나 시험을 통해 검증된 것을 사용해야 한다.

2.6.5 방청용재료

인장재는 앵커두부에서 앵커체까지의 앵커전장에 걸쳐서 방청 처리해야 한다. 여기에 사용하는 방청재는 내구성, 유연성 등 품질을 충분히 만족할 수 있는 것이라야 한다.

[해설]

방식재료의 조건으로는 앵커의 공용기간 이상 견딜 수 있는 내구성과 가공, 조립, 삽입 등 취급 중에 파손이 안되는 충분한 강도를 가지고 있어야 한다는 점, 인장부의 변형에 의해 손상되지 않을 수 있는 유연성, 인장재나 그라우트에 악영향을 미치지 않아야 한다는 점 등이 있다.

방식재료로서는 시멘트그라우트, 콘크리트커버 등 시멘트계 피복, 폴리에틸렌, 염화비닐, 폴리프로필렌 등 합성수지계 피복, 그리스, 페트롤레이텀(petrolatum) 등 방청유, 우레탄, 에폭시 등 도료류, 아연도금, 스테인리스강재, 주석도금, 크롬도금 등 도금류 등이 있다.

방식용재료는 방식의 기능이 장기간 지속되고, 인장재와 시스의 재료특성에 악영향을 주지 않으며, 인장부와 앵커체의 탄성변형을 구속하지 않는 것으로 하여야 한다.

정착구의 배면은 부식의 위험성이 가장 높기 때문에 방식에 충분히 주의할 필요가 있다. 또 앵커두부는 재인장의 필요성에 따라서 적절한 방식방법을 선정할 필요가 있다.

앵커두부는 프리스트레스력을 유지하기 위한 주요한 부분이고 형상도 복잡하므로 방식은 신중하게 할 필요가 있다. 정착구 배면은 인장부와 앵커두부가 경계가 되므로 방식공이 앵커지압판 등에 의해 불연속이 되고 부식의 위험성이 높다. 따라서 정착구의 배면과 인장부와의 경계부분에서 유해물질이 침입하지 않는 구조로 하는 동시에 정착구 배면에서는 그라우트와 방청유 등 방식재료가 확실히 충전되어야 한다. 또 정착구 전면에 대해서도 부식환경의 영향을 받기 쉽기 때문에 부식환경에서 보호될 필요가 있다. 부식방법으로서는 앵커두부를 오일캡 등으로 덮어 캡내에 방청유 등을 충전하는 방법이나 앵커두부전체를 콘크리트커버로 피복하는 방법 등이 있다. 더욱이 쐐기정착방식에서는 쐐기부분에서는 방청유를 충전해두고 시멘트페이스트, 모르타르 등이 쐐기와 쐐기사이로 유입하지 않도록 조치하는 것이 절대로 필요하다. 이물질 유입에 주의하지 않으면 쐐기효과가 없어지므로 특히 중요하다. 이물질 유입의 영향은 인장력을 PC강재의 극한강도의 60%이하, 특히 20~30% 정도의 비교적 약한 인장력을 도입하는 경우에 커진다.

5. 제 3 장 시공

3.1 시공계획

시공계획서는 공사전체의 규모나 내용 및 시공조건을 파악하고 앵커의 기능을 충분히 발휘하기 위한 시공방법 및 관리방법, 공사의 안전관리방법 등을 충분히 검토하여, 발주자나 관계기관이 승인한 것으로 공사담당자는 물론 각 시공담당자에게도 주지시키기 위해 사전에 입안·작성하여야 하며 가능한 상세하게 작성해야 한다.

[해설]

(1) 시공계획의 입안

시공계획서는 앵커공사 천공 전에 사전조사를 하여 충분한 검토를 한 다음 입안·작성한다. 시공계획서에 기재하는 대표적인 항목은 다음 4가지 항목으로 대별한다.

① 공사개요

공사전반에 관계되는 전체의 개요로 사전조사결과나 계획·설계를 위한 조건 및 공사에 대한 일반사항의 개요에 대하여 작성한다.

② 시공계획

각 시공관리 책임자나 시공담당자 및 안전관리자 등 전체 시공관리조직, 전체공정 및 가설비계획이나 사용기기재 등에 대하여 작성한다.

③ 시공요령

시공요령이나 시공흐름도 및 이들에 관한 상세한 설명이나 순서, 시공관리항목이나 관리방법 및 시공기록의 상세나 안전관리의 방법에 대하여 작성한다.

④ 기본시험·적성시험

조성된 앵커의 실인발내력이나 거동 특성을 파악하기 위한 실험내용이나 방법에 대하여 작성한다.

시공계획의 작성상 필요한 항목과 그 기재내용에 대한 예를 다음에 나타낸다.

표 3.1 시공계획서 항목일람

항 목	내 용
공사개요	- 일반사항 (공사명칭, 공사현장 및 지도, 발주처, 설계자, 종합시공자, 앵커시공자, 공사기간, 공사규모 등) - 부지조사 (부지의 치수, 면적, 지형, 레벨 등) - 지반조사 (조사항목, 지하수위, 수질, 주변사례의 자료 등) - 전체개요 (공사목적, 공사수량, 앵커배치도, 주상도 예 및 앵커단면도 등) - 계획·설계조건
시공계획	- 시공관리조직도 (안전관리체제·조직도 포함) - 공정계획표 (전체공정, 1사이클의 개별공정 등) - 사용기기 및 재료 (명칭, 시방, 수량, 급배수용량, 전기설비용량 등)
시공요령	- 사용기기 및 재료의 검수와 보관 (천공기, 사용시멘트, 물, 혼화재 등) - 사용기기, 자재의 반입반출 계획 (천공기, 그라우트 믹서, 크레인) - 천공요령 (순서, 방법, 천공위치선정, 설치정밀도관리, 천공여유길이, 슬라임처리, 천공기록 등) - 앵커체의 조립과 삽입 (순서, 방법, 정밀도의 관리, 제작기록) - 주입재의 타설 (순서, 방법, 주입재의 비율, 시험반죽, 반죽, 시공기록, 가압순서, 방법 등) - 인장 및 정착과 두부시공 (순서, 방법 등) - 환경보전대책 및 안전위생관리 (소음, 진동, 공해대책, 안전대책 등) - 시공관리기록 (기록시트의 작성, 기록사진 등)
확인시험	- 시험계획 (목적, 항목, 순서, 방법, 시험위치, 가력 및 측정장치의 종류와 검수, 반력장치 등) - 시험내용 (최대하중, 초기하중, 하중사이클수, 증가하중, 하중속도, 하중유지시간, 측점수, 가력방법 등) - 시험결과 (기록시트의 작성, 기록사진, 결과의 판정 등) - 안전관리 (안전대책 등)

(2) 사전조사

앵커공사에 앞서 시공계획의 입안이나 시공방법의 상세를 결정하기 위해서는 사전조사가 필요하다. 사전조사의 목적은 앵커의 상세계획이나 설계된 조건을 만족하면서 안전하고 능률적인 시공을 위해 사전조사가 필요하다.

① 현지조사

부지의 상황은 임시설계계획이나 시공계획에 직접영향을 끼치므로 부지형태, 부지의 경계, 부지의 면적, 형상, 부지내의 크기나 위치 등을 사전에 조사한다. 또한, 전력, 통신 등의 고가선 및 지주, 수목, 인접구조물, 도로설치물, 전력· 통신케이블, 가스관, 상·하수도관 등의 지하매설물, 구조물의 기초, 지하실, 우물 등 조사결과 지장물이 확실한 경우에는 지장물의 종류, 규모, 위치, 사용 현황 등을 확인하여 철거, 이설, 보호 조치 등에 대한 검토를 하고, 관리자와 협의하여 적절한 조치를 취한다.

② 환경조사

부지주변의 상황이나 각종규제 등은 공해방지대책이나 공정계획에 중요한 영향을 미치므로 교통상황(주변도로의 폭, 교통량, 교통규제 등), 인접건물(구조, 기초, 규모, 부지경계까지의 거리 등), 각종 규제(소음, 진동, 수질오탁 등의 공해에 대한 규제 등), 사토처분(사토운반의 경로 및 사토장의 확인과 산업폐기물 처리의 자격이나 규제 등)을 조사하여 건설공해 방지를 위해 노력한다.

(2) 지반조사

① 지질조사

시공위치의 지질은 천공장비의 선정이나 굴착능률 및 굴착정밀도 등 시공에 직접 영향을 미친다. 따라서 지질조사는 사전에 지층의 경사정도나 자갈지름 등 각 지층의 구성 상태나 각 지층의 물리적 성질, 역학적 성질을 정확히 파악할 목적으로 실시한다.

-조사항목 : 표준관입시험에 의한 N치, 지층구성상태나 전석의 유무, 지반의 투수계수, 물리시험에 의한 시료의 입도, 함수비, 단위체적중량, 자갈지름 등, 역학시험에 의한 점착력, 내부마찰각 및 일축압축강도

② 지하수조사

지하수의 성상은 앵커의 시공성, 품질 및 내구성에 큰 영향을 미친다.

- 지하수 조사항목 : 자연수위 및 그 변동사항, 피압수의 유무와 수두, 복류수의 유무와 그 유속, pH값, 황산이온, 염산이온, 유기물의 함유상황

3.1.1 가설비

앵커의 시공을 위해서 전력설비, 급수설비, 폐수처리설비, 플랜트설비 등 제반 설비를 준비하여야 하며 각 설비의 설치 공간, 천공을 위한 작업 공간, 인장재의 가공·보관 공간 등에 필요한 부지를 확보하여야 한다. 이들 가설비나 작업공간은 공법이나 공사규모, 사용장비의 종류나 시공조건 등에 의해 달라지므로 이를 고려하여 적절한 계획이 될 수 있도록 하여야 한다. 특히 펄스앵커장비는 책임자를 선임하여 안전시공이 되도록 한다.

[해설]

(1) 플랜트 설비

플랜트설비는 믹서, 송수펌프, 그라우트펌프, 시멘트 저장하는 곳, 저수용 탱크 등으로 구성된다. 플랜트 설비에 필요한 부지는 약 50~100㎡가 필요하다. 단, 공기압에 의해 천공하는 경우에는 별도 콤프레서의 설치를 위해 3m×5m=15㎡ 정도의 공간이 추가로 필요하다. 한편, 앵커의 시공면적이 넓은 경우 플랜트로부터 앵커 시공위치까지의 거리가 길어져 주입호스의 설치 등 여러 가지로 불리하다. 또한 주입재의 압송거리가 길어져 압송 중 주입재가 변질될 염려가 있다. 따라서 플랜트설비의 설치위치는 가능한 앵커시공위치에 가깝게 설치하는 것이 바람직하다.

(2) 급배수설비공

앵커공사에 대한 급배수설비로는 천공용수, 공내세정용수, 혼합용수 등의 취수·급수·배수의 설비이다. 급배수설비는 플랜트설치와 같이 설치되는 경우가 많지만 현장의 환경을 충분히 고려해서 현장조건에 맞는 설치계획을 입안한다. 특히 폐수의 배수에 대해서는 공해 등을 충분히 고려한 설비를 하여야 한다. 소요급수 능력은 천공시의 제반 조건에 의해 달라지나 일반적으로 천공기 1대에 대해 150~250ℓ/min 정도이다. 용수로 수돗물을 사용하는 것이 일반적이나 수돗물을 이용할 수 없는 경우에는 하천수나 지하수를 사용한다. 그 경우에는 주입재의 품질이나 인장재의 부식에 대하여 악영향을 미치지 않는지 사전에 수질을 조사·확인해둘 필요가 있다.

천공수는 슬라임을 공밖으로 운반하여 배출시키는 역할을 한다. 그러므로 천공수는 천공 중에 생긴 토사와 섞여 운반·배출된다. 따라서 운반·배출된 폐수는 일시집수장이나 탱크에 모아 일반적인 공사 폐수와 같이 저류조(침사지)를 거치도록 하는 등 적절한 처리를 하여야 한다. 천공수의 입수가 곤란한 경우에

는 사이클론 등의 설비로 물을 재활용하기도 한다.

(3) 전력설비공

전력설비란 앵커시공에 관한 시공기계를 위한 동력으로 전기를 공급하기 위한 설비이다. 이 전력설비는 현장환경이나 공사규모 등에 의해 크게 달라지므로 현장상황이나 사용기계 등을 고려한 다음 적절한 동력설비계획을 입안하여야 한다. 여기서 앵커의 시공에 필요한 전력은 천공기·송수펌프·믹서·주입펌프 등의 소비전력이고, 대략 40~100㎾/set 정도이다. 일반적으로 산업용 전력망을 통하여 전력을 공급하도록 설비를 계획하나 이것이 불가능한 경우에는 발전기를 사용하도록 한다.

전력설비계획에서 주의하여야 할 점은 캡타이어 코드의 처리이다. 전력은 송전선이나 발전기로부터 각 시공기계까지 캡타이어코드로 공급되나, 시공현장 내를 캡타이어코드를 늘어뜨린 상태로 끌고 다닌다던지 길게 연결하여 사용하면 누전이나 중기 등에 의한 절단의 위험이 수반된다. 따라서 캡타이어코드는 가능한 근거리에서 사용하는 것으로 계획하는 것이 바람직하다.

(4) 천공기설치

천공기는 천공위치의 계획고에 맞게 정리된 작업대위에 설치 및 고정한다. 또 타설 각도는 각도계를 사용하여 소정의 각도로 세팅한다.

(5) 펄스앵커장비

가) 펄스앵커장비는 발전기로부터 전원(380V, 3상)을 공급받아 전원공급장치를 통하여 캐패시터에 소정에 전압을 충전시킨 후 선단장치를 통하여 순식간에 방전을 실시함으로써 지중에서 압력을 발생시켜 천공홀을 확공시키는 장비이어야 한다.

나) 캐패시터에 충전시키는 전압은 최대 9㎸로 이때의 충전된 전압의 에너지는 133㎏J이며, 충전 소요 시간은 최대 25초이어야 한다.

다) 선단장치는 선단체, 선단파이프, 펄스방전용 동축케이블로 구성된다.

라) 펄스방전용 동축케이블은 PE파이프 등을 이용하여 천공깊이만큼의 길이에 걸쳐 보강되어 현장에서 발생하는 이물질 등으로부터 보호되어야 한다.

마) 펄스앵커장비로부터 반경 1.5m 지점에 안전선을 설치하여 관계자 이외의 접근 및 접촉을 제한한다.

바) 펄스앵커장비의 운전은 숙련된 운전공이 펄스앵커장비의 매뉴얼에 의하여

실시한다.

표 3.2 펄스앵커공법에 필요한 장비현황 (1Set당)

장 비	규격	수량
● 천공장비	유압식	1대
● 플랜트 (mixer, pump, 유량계)		1조
● 펄스앵커장비 (Pulse Discharge Anchor)	4~9kV	1대
● 발전기	최소 100kw	1대
● 인장잭		1대

(6) 인장재 보관과 가공장

인장재 보관장과 가공장은 앵커시공에 지장이 없는 장소에 설치한다. 면적은 폭 2.5~3m정도, 길이는 설계앵커길이 +5.0m정도가 필요하다. 인장재는 대략 2.0t 전후로 직경 약 1.2m의 드럼감기 또는 세이풀로 반입하여 설계길이에 맞추어 강선커터로 절단·조립한다. 조립은 비계를 사용한 조립대 혹은 비계판을 깐 가공대 위에서 실시한다.

(7) 기타

운반공에는 앵커공사 시공기계류, 가설기재, 재료 등의 현장으로의 반입이나 반송 및 현장내의 소운반 등이 있다. 이들에 대한 필요 차량 대수나 종류 등에 대한 계획은 현장의 지형 조건이나 공사규모 등을 고려하여 현장에 적합하도록 수립한다.

3.1.2 시공 및 시공관리

(1) 앵커시공과 시공관리는 시공계획서를 기준으로 신중하고 확실하게 실시한다.
(2) 앵커 시공 중 계획 시 가정한 조건과 다른 상황이 발생하는 경우에는 그 원인을 신속하게 파악하고 적절한 대책을 강구한다.

[해설]

(1) 앵커시공은 시공계획서를 기준으로 행해지는 것으로서 책임기술자는 그 내용을 충분히 이해하여야 하며 특히 아래 항목은 확실히 숙지하여야 한다.

① 공사의 목적, 규모, 시공조건, 주변환경, 설계조건 등

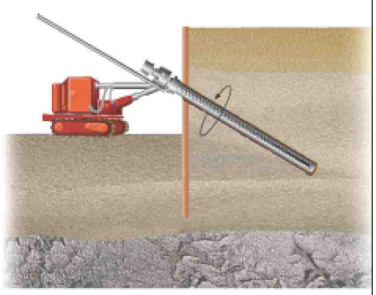
② 지반조건, 인접구조물, 주변환경조건 등 시공에서 특히 주의를 요하는 사항의 유무와 그 내용

또한, 시공관리는 작업순서의 각 작업항목마다 관리항목을 정하여 실시하고, 만일 관리기준치를 벗어난 경우에는 적절한 조치를 강구한다.

(2) 앵커시공에서 계획 시 예상할 수 없는 문제가 발생한 사례는 대부분 지반조건, 지하수 그리고 지중장애물에 의한 것이다.

- 지반조건에 의한 사례로 지층의 불규칙함이나 단층의 영향 등 지층구성의 복잡성에 기인하여 발생하는 것을 들 수 있다. 이 경우 문제점으로는 소정의 앵커체 설치지반을 확보할 수 없는 점, 지반조건과 천공기계의 부적합성에 의해 시공능력이 현저히 저하되는 점, 투수성이 큰 지반이나 균열, 공동이 존재하는 암반 등에서 천공수 또는 그라우트가 유실해버리는 점 등이 있다.
- 지하수에 의한 사례로는 고압의 피압수에 의해 천공입구에서 지하수나 토사가 분출하여 시공이 불가능해지는 경우, 지하수의 빠른 유속의 영향으로 그라우트가 주변지반에 유출되어 소정의 앵커체를 형성할 수 없는 경우 등이 있다.
- 지중장애물은 주로 도시지역의 흙막이 앵커공사에서 발생하는 경우가 있으므로 기존의 지하구조물이나 지하매설물에 대한 사전조사를 충분히 실시하고, 앵커시공시 천공정밀도를 확보하는 것이 중요하다.

앵커 시공 시 예상하지 못한 상황이 발생한 경우에는 그 원인을 조속히 조사하여 적절한 대책을 강구한다.

		
① 케이싱 천공	② 케이싱 일부 인발 ③ 1차 그라우트 주입	④ 선단장치 삽입 ⑤ 펄스방전 및 확공

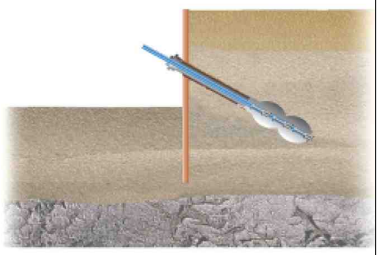
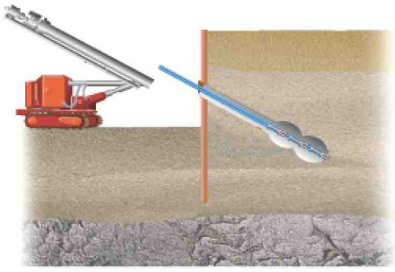
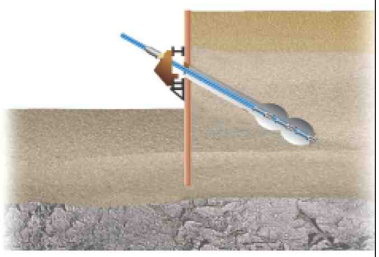
		
⑥ 앵커체 삽입	⑦ 2차 그라우트 주입 ⑧ 케이싱 인발 제거	⑨ 양생 및 인장

그림 3.1 시공순서도

표 3.3 시공관리항목 일람 예

작업항목		관리항목
천공	기계반입	시공기계검수
	천공기 설치	설치 정밀도
	천공	천공장 검측
		앵커체 설치지반
	공내세정	세정수 농도
인장재조립 가공	재료반입	재료품질
	재료보관	재료보관 상태
	조립가공	인장재 본 수
		인장재 배열
		인장재 전장
		인장재 자유길이
		인장재 구속장
		인장재 가공 상태
		인장재 보관 상태
인장재 삽입	삽입	손상·오염
		인장여유장
앵커체 주입	재료반입	재료 품질
	혼합	재료 계량
		수온
		유동성
		굳기 시작하는 시간
	치환주입	주입량
		그라우트 강도
		배출 그라우트 농도
	가압주입	가압력·가압시간
	케이싱인발	인장재가 따라 올라옴
인장·정착	인장장치 반입	인장장치 검수
	정착구 반입	정착구 검수
	정착구 보관	정착구 보관상태
	양생	그라우트 강도
	대좌설치	수압판 구조물의 강도
		두부배면 처리 상태
		대좌설치 상태
	정착구 세팅	세팅 정밀도
	인장	인장력
		하중-변위 관계
	정착	정착시 인장력
두부처리	배면처리	방식처리 상태
	두부처리	방식처리 상태

3.2 천공

3.2.1 일반사항

앵커의 천공은 주변지반을 교란하지 않고 설계도에 표시된 천공지름·심도·위치·방향 등 시방을 만족할 수 있는 방법으로 시공하여야 한다. 또 천공의 품질이 시공된 앵커의 품질에 미치는 영향이 크기 때문에 천공 방법에 대해서는 충분한 검토를 통하여 결정할 필요가 있다.

[해설]

천공장비 및 천공시스템은 시공조건·지반조건·시공규모·기계특성·경제성 등을 고려하여 정밀시공이 가능하면서 주변 지반에 대한 영향이 없는 것으로 선정한다.

앵커는 시공되는 지반을 고려한 정착길이를 확보하도록 시공하여야 하고, 앵커의 천공 시 지지층의 상태는 천공 시의 천공 능률이나 슬라임 상태 등으로 간접적인 확인은 할 수 있으나, 지지층의 확인이 어려운 경우가 많으므로 사전에 보링조사 등으로 지반 상황을 파악해 두어야 한다. 또 천공 시 함수비의 변화나 공벽의 붕괴를 최소한으로 줄이도록 주의하여야 한다.

천공 후, 공내의 슬라임 제거를 위한 수세를 할 경우, 배출수가 맑은 물에 가까운 상태가 될 때까지 실시해야 한다. 그러나 배출되지 않은 이물질이 있으므로 이물질이 모이는 부분의 크기만큼은 여분파기를 해야한다. 구멍이 수평에 가까워지면 여분파기는 길어지고, 경사가 급한 경우에는 짧아지는 것이 일반적이다. 또한, 천공 후에는 인장재의 삽입과 정착재의 주입작업을 신속하게 실시하여야 한다. 과입밀토·풍화암·점성토·연암 등 지반에서는 천공 후에 방치하게 되면 열화 붕괴가 일어나기 쉽기 때문에 주의해야 한다.

천공 시에는 오염되지 않은 깨끗한 물을 사용해야하고, 인장재에 녹이 발생하지 않도록 해야하며 정착그라우트의 품질에 영향을 미치는 물질을 포함해서는 안된다. 또 앵커의 내하력을 감소시킬 가능성이 있는 벤토나이트 현택액의 사용도 피하도록 한다.

겨울철에 한랭지에서 시공하는 경우에는 천공수가 동결할 수도 있으므로 온수를 사용하는 경우도 있다.

(1) 앵커 천공 시 유의사항

① 천공방법은 공벽의 붕괴를 방지하고, 인장재의 삽입이나 그라우트의 주입을 확실히 할 수 있는 방법을 채택하여야 한다. 일반적으로 케이싱 천공이 많이 적용되고 있다.

② 천공정밀도는 구조물의 중요도나 사용목적을 고려하여 정하며, 앵커가 다른 기존 구조물에 악영향을 주지 않도록 하고, 인접하는 앵커 상호간 간섭하지 않도록 충분한 정밀도를 확보해야한다.

③ 천공 중에 배출되는 슬라임의 상태와 천공속도 등으로 앵커체 설치지반의 위치별 지층 두께를 파악하여 보링 등 사전 지반조사의 타당성을 확인하는데 참고한다.

④ 물을 사용하여 천공을 하는 경우에는 천공수로 깨끗한 물을 사용하고 그라우트의 품질에 악영향을 미치는 물질이 포함하지 않게 한다.

⑤ 소요 천공길이보다 약 0.5m 내외의 깊이로 여유 천공하여 천공면으로부터 교란된 이물질이 낙하되어도 소요 천공깊이에 지장이 없도록 한다.

⑥ 천공 작업 후, 앵커체 삽입, 그라우팅은 천공 완료 후에 즉각 실시하는 것을 원칙으로 한다.

⑦ 책임기술자는 토층, 천공길이, 천공경, 각도, 천공시간을 확인하여 기록하여야 하며, 매 천공시 보고서를 작성하여 설계 주상도와 항시 비교하여 정착장의 신뢰도를 확인한 후 시공하여야 한다.

⑧ 천공은 설계도서에 표시된 위치, 방향 및 길이를 만족해야 하고 또, 슬라임(slime)과 순환수에 의해 지층 및 용수(누수)의 유무를 판정하면서 공벽이 크게 손상되지 않도록 신중히 실시해야 한다.

⑨ 천공 후 지하수가 용출될 때 고압력 주입으로 선행주입 후 재천공하여 지하수의 용출을 방지한다.

⑩ 천공 작업 중 지하수위의 위치변화, 천공속도, 공내 세척시간, 용수, 지반상황 등을 기록, 보관해야 한다.

3.2.2 비계공

비계는 천공기계나 재료 등 적재중량을 고려하여 충분히 안전한 구조로 설치하여야 한다.

[해설]

흙막이공사나 비탈면의 절취를 하면서 앵커를 타설하는 경우에는 굴착 지반이 앵커의 작업대가 된다. 비탈면붕괴 대책 등으로 기존 비탈면에 시공할 경우에는 비탈면에 단관파이프나 크램프 및 잭베이스 등으로 비계를 조립해야한다. 이 경우 시공 시에 비계의 침하나 변형 등 문제가 발생하지 않도록 단관비계의 간격이나 베이스의 지지력에 대하여 충분히 검토해야한다. 또 바닥에는 합판 또는 알루미늄 등으로 발판을 설치하여야 하며 골짜기 측 및 상하류단에는 추락방지를 위한 난간을 설치하여야 한다.

3.2.3 천공기기

주요한 천공장비에는 천공기·천공비트·천공용 펌프 등이 있다. 천공장비 선정을 위해서는 천공지반의 종류나 지하수의 유무 등 조건에 대한 충분한 검토를 하는 것이 중요하다.

[해설]

(1) 천공기

천공방법에는 단관식과 이중관식이 있다. 단관식은 관(케이싱파이프 혹은 드릴파이프)내에서 송수하여 관외로 배수하는 통칭 '외송방식'의 천공방식이고, 이중관식은 중관(이너로드)을 통해서 송수하여 외관(케이싱파이프)의 내측에서 배수하는 통칭 '내송방식'의 천공방식으로 외관·중관의 양쪽에 비트가 부착된 이중비트로 천공한다.

통상 사용되고 있는 천공기에는 케이싱파이프에 회전과 압입력을 주어 천공하는 로터리식(rotary) 천공기와 케이싱파이프에 회전과 공기압이나 유압에 의한 타격을 가해서 천공하는 로터리퍼커션식(rotaty percussion) 천공기가 있다. 또한 공기압으로 구동하는 다운저홀 해머를 로터리식(rotary) 천공기에 설치해서 실시하는 퍼커션식(percussion)의 천공방법도 있다.

천공기에는 자주식의 크롤러타입과 정치식의 스키드타입이 있다. 크롤러타입은 기동성이 있지만 좁은 부지나 경사지에서는 콤팩트한 크롤러타입이 적합한 경우도 있다.

로터리식(rotary) 천공기는 통상 스키드타입의 베이스에 탑재되어 비교적 경량으로 배대부지나 경사지에서의 시공에 적합하다. 또 소음·진동도 작다. 대상지반은 모든 종류의 지반에 적용되지만 호박돌이 섞인 모래자갈층이나 벼랑층·모래자갈·균열이 많은 풍화암에서는 능률이 상당히 저하된다. 또한, 피압지하수두가 높은 지반 등에는 부적당하다. 천공기의 형상에는 스핀들타입과 롱피드 타입이 있다. 다운저홀해버를 사용하는 경우에는 롱피드타입의 천공기가 사용된다.

로터리퍼커션식(rotaty percussion) 천공기는 로터리(rotary)식으로서도 사용될 수 있는데 베이스머신에는 크롤러 타입과 스키드 타입의 양편의 결합이 가능하고 로드·천공비트 등을 추가시 사용 범위가 넓은 천공기가 된다. 따라서 모든 타입의 지반에 적용되고 호박돌이 섞인 모래자갈층이나 벼랑층·모래자갈·균열이 많은 풍화암에서도 그다지 능률이 저하하지 않고 천공이 가능하다. 또한, 피압지하수두의 높은 지반 등 조건이 좋지 않은 경우에도 대응하기 쉽다. 구동방식으로서는 전유압, 공기, 유압·공기병용이 있고 회전과 타격에 의해 굴착한다.

(2) 천공비트

천공비트에는 로터리(rotary)식 천공기에 사용되는 메탈크라운비트, 로터리

퍼커션식(Rotary percussion) 천공기에 사용되는 링비트, 크로넨비트, 링비트와 이너비트를 결합시킨 이중비트 등이 있다.

① 메탈크라운비트

앵커 착공용으로서 주로 토사지반을 대상으로 사용되며, 종류도 많다. 로터리(rotary)식 착공기에 많이 사용된다. 호박돌층을 제외한 모든 지반에 적용되나 경질지반 및 대심도의 굴착에는 능률이 저하된다.

② 링비트

로터리퍼커션(rotary percussion)식 착공기의 착공비트로 사용되고 모든 지반에 적용된다. 주로 모래자갈, 호박돌, 암반 착공용으로 사용된다.

③ 크로스비트

이너비트의 선단에 부착된 비트로 모래자갈, 호박돌, 암반을 회전타격으로 착공하는데에 사용된다.

④ 이중비트

링비트와 이너비트를 결합시켜 이중관착공시에 사용된다. 이중비트는 착공능력이 높기 때문에 풍화암, 연암, 호박돌, 벼랑층에 적합하다. 또 배수가 내송방식이므로 붕괴하기 쉬운 지반에 적합하다.

⑤ 크로넨비트

로터리퍼커션식(rotary percussion)식 착공기에 사용되고 있는 비트로 착공드릴파이프의 끝에 끼워져 토사에 박아 넣으면서 착공을 한다. 착공 완료 후에는 비트를 지중에 내려보내 주입을 한다. 비트에는 사질토, 모래자갈, 암반용이 있다. 역지벨브부착 크로넨비트는 피압수압에 의해 주입한 주입재가 역류되는 경우에 사용된다.

⑥ 다운저홀비트

다운저홀해머는 타격피스톤을 로터리(rotary)식 착공기의 선단로드에 설치, 암반 및 자갈을 파쇄해서 착공한다. 주로 연암이나 중경암 지반에 이용되나 붕괴성이 있는 지반에서는 외관케이싱과 함께 삽입하여 굴착한다. 피스톤 구동에는 공기를 사용한다.

(3) 천공용 펌프

천공 시 일반적으로 천공수에 의해 슬라임이 배출된다. 천공기계나 투울시스템 뿐 아니라 천공용 펌프에 의해서도 시공 품질이 좌우되는 경우도 있으므로 천공용 펌프의 선정에도 충분한 검토가 필요하다. 또한 안전사고 방지를 위하여 이상 수압에 대하여 비상정지 기능이 있는 것이 좋다.

① 이중관식 천공시스템

착공에 수반해서 토사나 슬라임을 케이싱과 로드의 간극에서 배출하므로 케이싱외주에 고압, 다량의 물이 들어오는 경우는 드물다. 단, 슬라임을 확실히 배출하지 않으면 착공에 시간이 걸릴 뿐 아니라 고장의 원인이 된다. 따라서 대용량 펌프를 사용 유속을 상승시켜서 슬라임을 확실히 배출하는 것이 바람직하다.

② 단관식 천공시스템

링비트, 크라운비트 등을 이용하는 착공선단이 개방된 착공방식에서는 케이싱파이프 내에 토사가 들어오지 않을 만큼의 수량이 필요하다. 비점성토의 경우 수량이 필요이상으로 많아지면 토사의 이상배출의 원인이 되므로 주의가 필요하다. 점성토의 경우는 정착부분의 공벽을 정상적으로 유지하기 위해 충분한 세정수량이 필요하다.

표 3.3 천공에 필요한 수량(표준) 단위:*l/mm*

조건 / 기종	착공지름(mm)	비점성토	점성토
단관식	∅ 100~125	100~180	150~250
	∅ 130~160	150~220	200~300
이중관식	∅ 100~125	130~250	180~300
	∅ 137	180~300	250~400

3.2.4 천공정밀도

앵커의 천공 시 시공하는 앵커가 다른 앵커나 인접구조물 등에 영향을 미치지 않도록 천공정밀도를 확보해야 한다.

[해설]

천공정밀도는 구조물의 사용목적이나 다른 앵커와의 간격을 고려하여 정할 필요가 있다.
천공정밀도를 확보하기 위한 유의 사항은 아래와 같다.

① 천공 단면의 변화나 국부적인 휨은 인장재의 삽입에 지장을 초래하든지 인장시의 마찰손실의 원인도 되므로 최대한 억제시켜야 한다.

② 하방 경사의 천공시 공의 단부에는 제거할 수 없는 암석 부스러기, 이물질 등이 모이므로 이러한 부분에 앵커체가 설치되는 것을 방지하기 위하여 소요천공깊이 보다 깊게 여분파기를 할 필요가 있다. 여분파기는 일반적으로 0.3~0.7m이다.

③ 확공굴착기계를 사용하는 경우 확공부의 한계경사각을 초과하여 확공부 상단에 공기가 잔류할 수 있는 경우에는 공기를 배출시켜 앵커체 시공 시 상부에 공극을 남기지 않도록 할 필요가 있다. (그림 3.5)

④ 하향의 각도를 갖는 천공 시 천공종료 후 흙부스러기가 떨어지지 않도록 앵커공 입

구를 마개로 막아줄 필요가 있다.

⑤ 천공지름은 규정된 치수이하가 되어서는 안된다.(사용하는 천공비트는 설계된 천공지름을 만족시키는 것으로 한다.)

⑥ 천공위치의 오차는 가능한 작게 한다. 천공위치 허용오차는 100mm 이내로 하는 것이 바람직하다.

⑦ 천공된 구멍의 축과 설계상의 축과의 허용오차는 앵커체부에서 접촉이 일어날 만큼 접근하지 않는 한 원칙적으로 ±2.5° 이내로 한다. (그림 3.6)

⑧ 천공 시 구멍 휨은 최대한 억제시켜야 한다.

⑨ 확공 굴착기계를 사용하는 경우는 확공확인장치를 구비한 것을 사용하여 확공 지름을 확인 하여야 한다.

⑩ 천공지름은 도면에 표시된 지름을 표준으로 하고, 앵커 지름보다 최소 40mm 이상 커야 하며 천공 후 일정시간(앵커 삽입 및 주입시간)이내 토사붕괴가 우려되는 구간에는 케이싱을 삽입하여 천공 내부의 토사교란 및 무너짐을 방지해야 한다.

3.2.5 천공 시 용수대책

(1) 지반내의 지하수위가 공입구 위치보다 높아서 지반의 교란이 생기거나 앵커체의 그라우트 품질 확보에 지장을 초래하는 상황이 예상될 경우에는 천공 직후부터 앵커체가 완성될 때까지 이를 방지할 수 있는 적절한 조치를 한다.

(2) 자갈지반이나 애추(talus) 지반 또는 균열이 많은 암반인 경우에는 필요시 앵커체 공벽의 수밀성 시험을 실시한다. 앵커체의 그라우트가 지반 내로 유실 될 우려가 있는 경우에는 사전주입 등을 실시한다.

[해설]

(1) 지하수위가 공 입구 위치보다 높고 피압 상태로 앵커를 시공하는 경우, 천공 시 지하수나 토사의 유출 문제뿐만 아니라 인장재 삽입, 앵커체 주입, 케이싱파이프 인발 시에 지하수나 토사의 유출, 그라우트 역류 등 현상이 발생하여 앵커의 품질확보에 지장을 초래할 수 있다. 이러한 현상은 수압의 크기뿐만 아니라 지반의 종류에 의해서 크게 영향을 받는다. 예를 들면 느슨한 사질지반의 경우 지하수뿐만 아니라 토사의 유출이 심하고 배면 지반의 함몰 등 큰 사고로 이어질 우려가 있다.

따라서 피압 상태에서 앵커를 시공하는 경우 천공 직후부터 앵커체가 완성될 때까지 적절한 방법을 사용하여 수압에 의한 지하수나 토사의 유출 및 그라우트의 역류를 막아야 한다. 이에 대한 대책으로는 입구관을 사용하여 공벽붕괴

를 막는 방법과 그라우트 역류 방지장치 사용, 팩커(packer)를 인장재에 정착하는 방법 등이 있다. 시공 시에는 지반의 종류와 피압 정도에 따라서 앵커의 각 작업과정에서 필요한 지수대책을 적절히 조합하여 조치한다.

(2) 자갈지반이나 애추(talus)지반 또는 균열이 많은 암반에서는 그라우트가 지반 내로 유실되어 건전한 앵커체를 형성할 수 없게 되어 소정의 설계앵커력을 확보하지 못하는 경우가 있다. 수밀성시험은 이와 같은 지반 또는 암반의 투수성을 확인하기 위한 시험이고 앵커조성 시 그라우트가 유실될 위험성이 있는 지반이나 암반에 대하여 필요시 실시한다. 시험방법으로는 보통 루전(Lugeon)시험이 사용되고 있고, 수위저하시험과 팩커(packer)가압시험이 있으므로 현장의 지반조건에 따라 적절한 방법으로 시행하여야 한다.

루전(Lugeon)시험은 소정의 공내 압력을 유지하지 못할 경우에 사용하는 간편법으로 저압에서 환산 루전(Lugeon)값을 구한다. 사전 주입의 필요성 판단은 앵커체 길이 5m 마다 100kN/m2의 환산압력으로 매분 10L이상의 누수가 있는 경우가 우선적인 기준으로 되어 있고 이 조건의 루전(Lugeon)값은 20이상이 된다.

수밀성시험에 의해 과다한 누수가 확인되는 경우에는 앵커체부 그라우트의 유실이 생겨 품질이 좋은 앵커체가 형성되지 않을 가능성이 높기 때문에 주입방법을 검토한 후 시멘트계 그라우트 등에 의한 사전주입을 한다.

사전주입은 앵커체 설치부의 드릴파이프를 끌어올리면서 그라우트를 공내에 채우는 방법이다. 그라우트로는 시멘트 모르타르나 급결계의 모르타르 등이 사용되며, 유실의 정도에 따라 구분해 사용한다. 재천공은 보통 6시간 이상 양생한 후에 시행하고 재천공 종료 후에는 재수밀성실험을 하여 시험결과가 양호하지 않을 경우에는 다시 반복하여야 한다.

3.2.6 천공 시의 누수대책과 수밀성 평가

(1) 앵커체에 주입재가 유출되면 필요한 설계앵커력을 얻지 못하므로 누수의 정도를 확인하고 필요한 대책을 마련하여야 한다.
(2) 수밀성시험은 수위재하시험 또는 팩커(packer) 가압시험 등이 있다.
(3) 수밀성이 유지되지 못하는 지반의 경우 또는 물의 침투성이 매우 높은 경우는 콘솔리데이션그라우트(consolidation grout)를 할 필요가 있다.

[해설]

(1) 누수대책

누수가 발생하는 경우 주입재가 유출해서 건전한 앵커체를 형성할 수 없고 설계내력을 얻지 못하는 경우가 있다. 따라서 사전에 수밀성시험에 의해 누수의 정도를 확인하고 필요한 대책을 강구해야 한다.

지반 중에 공동이나 균열이 있는 경우에는 천공수가 누수할 경우, 누수에 대한 영향은 다음과 같다.

① 주변지반의 이완, 강도저하, 수압의 증대 등에 대한 비탈면붕괴, 비탈면 붕괴유발
② 주입재의 양이 계획 주입량과 비교해 많이 필요함
③ 천공수나 주입재에 의한 하천, 연못, 우물의 오탁에 의해 음료수, 관개용수, 양식, 어업권까지 피해를 미침

누수의 유무는 천공중의 리턴수량에 의해 확인할 수 있다. 그 비율은 수밀성시험으로 구할 수 있으며 누수가 심한 경우에는 콘솔리데이션(Consolidation) 그라우트를 해서 재천공을 해야 한다. 그렇지만 콘솔리데이션(Consolidation) 그라우트는 지수를 목적으로 하는 것으로 안정지반을 개량하고 마찰저항력을 향상시키는 목적으로 하는 것은 적당하지 않다.

누수가 있는 경우의 대처방법은 댐의 커튼그라우트와 마찬가지로 처음에는 물시멘트비가 큰 시멘트 밀크를 주입하여 점차 물시멘트비를 줄이고 구멍내의 충전이 되면 그대로 최소 6시간이상 방치, 보양하여 재천공을 한다. 재천공후 다시 수밀성시험을 할 경우도 있다.

(2) 수밀성평가

① 앵커체 정착부에 있어서 주입재가 일탈하는 경우는 주입작업이 만족스럽지 못하고, 결과로서 앵커의 하중전달이나 내부식성에 중대한 영향이 나타나는 경우가 있다.
② 투수성시험은 수위 저하시험 또는 팩커(packer) 가압시험 등에 의한다. 팩커(packer) 가압시험은 팩커(packer)를 앵커체 정착부와 앵커자유길이 부분의 경계에 정착시키면 앵커체 정착부에 대한 결과가 얻어진다.

③ 투수성 시험을 실시하는 경우, 큰 가압을 주면, 역으로 균열이 넓어질 위험이 있기 때문에 가압력은 지반 상태를 충분히 파악해서 결정하는 것이 바람직하다.

(3) 콘솔리데이션그라우트(consolidation grout)

① 콘솔리데이션그라우트(consolidation grout)는 시멘트계 주입재에 의하여 충전하는 방법으로 실시되며, 일반적으로 6시간 후에 재천공(reboring) 하는 것으로 한다.

② 주입재에는 약액을 사용하지 않는 것을 원칙으로 한다. 만일, 사용한다면 약액이 앵커체에 유해하지 않다는 것을 확인해야 한다.

③ 다량의 주입재가 주입되는 경우, B.S에 의하면 주변앵커에서의 실적을 고려하든지, 특히 중요한 영구앵커에 대해서는 유량계를 사용해서 관리한다.

④ 천공내에 지하수가 침투해서 주입제를 희석시키는 경우에는 주입을 하기 전에 콘솔리데이션그라우팅(consolidation grouting)을 하고 지수해야 한다.

3.3 앵커체 제작

3.3.1 재료 보관

앵커 재료는 습기를 피해서 건조상태로 보관한다. 또한, 유해한 녹이나 물질이 부착되지 않도록 보관하여 사용 시에 문제가 없도록 하여야 한다.

[해설]

① PC강연선・복합연선 등 인장재는 사용할 때에 감김으로 인한 휨 등 문제가 발생하지 않도록 호일로 보관한다.

② PC강봉은 휘어지지 않도록 직선 상태로 보관한다. 또 대량으로 겹쳐쌓거나 장척에서의 보관은 굽힘이나 나사부의 파손이 생길 우려가 있으므로 주의를 요한다.

③ 인장재는 기계적인 흠집이나 용접불꽃에서 완전히 보호된 상태로 보관이 되어야 한다.

④ 앵커재료를 옥외에 임시로 둘 때는 지반에서 띄워서 오염을 막고 방수시트 등을 덮어서 보관한다.

⑤ 보관된 앵커재료는 반입된 날짜와 사용 날짜를 기록하여 보관해둘 필요가 있다. 또한, 앵커재료는 저장 기간을 고려하여 사용하는 것이 바람직하다.

인장재는 상처를 입히거나 예리하게 구부리거나 표면의 방식용 재료를 파손하는 일이 없도

록 주의하여 취급하여야 한다. 앵커체의 그라우트와 부착되는 부분에 이물질이 묻어있는 경우 부착강도가 저하될 수 있으므로 이물질이 묻지 않도록 주의한다.
인장재는 앵커의 중요한 부재이므로 손상되지 않도록 한다. 인장재는 제조시에 샘플 조사를 하여 규격을 만족하는지 확인한 후에 출하하고, 이후 현장에서 삽입작업 완료시까지 상처 등 손상이나 과도한 구부러짐이 없도록 주의해야 한다. 또한 언본드 가공된 강재는 시스(sheath)나 방청제 등 방식용 재료가 손상되지 않도록 취급한다. 인장재는 그라우트와의 부착에 영향을 주는 유해한 기름, 먼지, 흙 등이 부착하지 않도록 주의해 취급하고, 가공 후의 인장재는 지표면에 직접 닿지 않도록 충분한 보호조치를 강구한다.

3.3.2 앵커의 조립·가공

(1) 인장재는 설계 조건을 기준으로 그 기능이 손상되지 않도록 조립 가공한다.
(2) 인장재 설치 시 그라우트의 피복두께를 확보하고 공의 중앙부의 위치하도록 조립 가공한다.
(3) 인장재의 절단 시 재료적 특성을 유지할 수 있도록 주의하여야 한다.
(4) 인장재는 사용목적을 충분히 만족할 수 있도록 가공하되 그 기능을 공용기간 중 발휘할 수 있어야 한다.

[해설]

인장재의 가공 및 조립은 다음과 같이 한다.

(1) 인장재는 앵커두부에 가해진 인발하중을 앵커체에 전달하는 중요한 역할을 하는 부재이므로 가공 및 조립 시 설계도서에 명시된 재료를 사용하여 그 기능이 손상되지 않는 방법으로 하여야 한다. 또, 조립가공은 시스(sheath)나 센트럴라이져 등 부품을 사용하여 실시하는 것이므로 그 부품의 취급에 대해서도 주의한다. 인장재에는 유해한 기름이나 흙 등이 부착되지 않도록 주의해 취급한다. 만일 부착된 경우는 이들을 완전히 제거하고 난 후 조립가공을 한다. 또한, 연속섬유보강재는 현장에서 조립가공이 곤란하므로 공장조립가공을 원칙으로 한다.

(2) 인장재를 부식환경으로 부터 차단하기 위해서 인장재가 공벽과 직접 접하지 않도록 한다. 또, 인장재의 인발저항력을 발휘시키기 위해 앵커체를 형성하는 그라우트 피복이 필요하다. 따라서 그라우트 피복으로 시스(sheath)를 사용하지 않는 경우에는 인장재와 공벽사이에 피복이 필요하며 피복시스를 사용하는 경우에는 인장재와 시스(sheath)사이 및 시스(sheath)와 공벽사이의 피복이 필요하다. 조립가공에 있어서는 센트럴라이져 등 부품을 사용하여 적절한 그라우트의 피복이 확보될 수 있게 한다. 시스(sheath)는 앵커의 내구성을 확보하

는 중요한 부재이므로 상처나 구멍 등 손상을 주지 않도록 취급한다.

그라우트 유실방지대책으로는 앵커체부 또는 인장재의 전체를 직물포대 등으로 감싸서 앵커체를 조성하는 방법이 있지만 이 경우 직물포대가 손상되지 않도록 하고 조정부에서 그라우트의 누출이 없도록 한다.

(3) 가스절단 등 열을 가하는 방법으로 인장재를 절단하면 재질이 변화하는 원인이 되므로 절단은 인장재의 특성이 손상되지 않는 디스크컷터 등 적절한 방법으로 하여야 한다.

(4) 인장재의 조립·가공과 내구성

그라운드앵커는 사용목적·공용기간에 의해 다음 3종류로 분류된다.

① 단기가설앵커(2년 미만 공용)

② 장기가설앵커(2년 이상 공용)

③ 영구앵커

영구앵커는 공용기간에 관계없이 앵커로 보강된 구조물이 공용되는 기간 동안은 기능을 충분히 다할 수 있도록 고려하여야 한다. 특히 화학적으로 유해한 물질을 포함한 지반이나 지하수나 해수의 영향을 받는 지반에서 사용하는 경우에는 부식에 대해서 충분히 안전이 확보되어야 한다. 가설앵커는 단기가설앵커(2년 미만)에 있어서 부식환경이 없는 경우는 간편한 방식타입의 인장재의 구조로 해도 좋으나 장기가설앵커(2년 이상)에 있어서는 주변의 환경이나 앵커로 보강된 구조물의 중요도에 따라 인장재의 구조를 결정한다. 인장재는 원칙적으로 설계자가 결정하는 것이며 설계하는 시점에서 사용기간이나 주변환경 및 구조물의 중요도를 고려하여 인장재의 타입을 선정하고 재료의 종류와 인장재의 가공방법을 결정하여야 한다.

(5) 인장재의 조립·가공순서

일반적인 인장재의 조립·가공순서를 아래에 나타낸다.

① 인장재는 필요본수를 소정길이에 디스크커터로 절단하여 그라우트주입용 호스와 같이 겹쳐서 자유길이부 시스(sheath)내에 삽입한다. 이때 그라우트주입용 호스는 그라우트펌프와 접속을 고려해 인장재의 길이보다 1.5~2.0m정도 길어지게끔 절단한다.

② 정착길이 부분의 인장재에 스페이서를 소정간격을 두고 긴결 가공한다. 자유길이부는 인장재 및 그라우트주입용 호스가 교차하지 않도록 주의한다.

③ 인장재의 자유길이부 및 정착길이부에 각각 시스(sheath)를 사용하는 경우 시스(sheath)의 경계부 처리는 자유길이부 시스(sheath)를 정착체 시스(sheath)의 내부에 30cm이상 끼워넣어 열수축튜브에 의해 고정하여 지수를 확실히 하도록 한다.

④ 인장재의 선단에 선단캡을 설치, 캡내부에 지수・고정재를 주입・충전한다.

⑤ 주입・고정재나 접합부 등은 소정의 강도를 나타낼 때까지 양생한다.

(6) 인장재 조립·가공 시 주의사항

① 인장재의 정착길이 부분이 그리스 등으로 피복된 PC강연선이나 PC강선인 경우, 또는 기름 등 오염이 있을 때에는 피복을 증기나 용제를 사용해서 완전히 제거시켜야 한다. 이때 고압가열은 하지 않고 또 사용하는 용제 등이 강재나 강재와 주입재와의 부착성능에 나쁜 영향을 미치지 않도록 주의해야 한다.

② 인장재를 공내에 정밀하게 배치하려는 목적으로 외부 스페이서를 사용하는 경우에는 삽입시에 엇갈리지 않도록 확실하게 인장재에 고정시켜야 한다.

③ PC강재 등 인장재를 절단 하는 경우 원칙적으로 디스크커터를 사용한다. 아크가스 등에 의한 절단은 열에 의해 재질이 변화하든지 절단면이 불규칙하게 되고 인장・정착시의 쐐기설치가 안될 염려가 있으므로 피해야 한다.

④ 공장 출하 후에는 인장재의 재질을 변화시킬 수 있는 가공을 해서는 안된다.

최근에는 앵커공사현장에서 인장재 가공 시 인장재의 가공장소의 확보의 어려움, 노동력부족, 숙련된 기능공의 부족에 따라 제품으로서 신뢰성 제고가 어렵고 시공능률이 저하되는 문제점이 있어 인장재를 공장에서 가공하여 현장까지 운반하여 사용하는 경우가 증가하고 있다.

3.3.3 앵커의 삽입·고정

인장재의 삽입은 1차 그라우트 주입 후 곧바로 선단장치를 삽입한다. 선단장치에 연결되어있는 동축케이블은 안전을 위하여 PE파이프로 보호해야 한다. 이때 공내 장해물 등이 없는 것을 확인하여 인장재 및 부속품에 유해한 손상·변형을 주지 않도록 하는 방법으로 삽입하고 고정한다.

[해설]

① 인장재의 삽입은 각 구성부재나 이음부에 유해한 손상이나 변형이 없다는 것을 확인한 후 신속히 실시한다.

② 인장재의 삽입 시 인장재가 비틀린다든지 구성부재나 방청재가 손상되지 않도록 한다.

③ 삽입은 일정속도로 실시하여 선단캡 부분에 충격을 주지 않도록 한다.

④ 삽입된 인장재는 정착재를 양생하고 인장 정착을 완료할 때까지 변형이나 충격을 주지 않도록 적절한 방법으로 고정 지지한다.

⑤ 앵커는 삽입 작업대 또는 크레인 등의 장비를 사용하여 삽입하여야 한다.

⑥ 앵커 삽입 시 앵커가 천공 구멍의 중앙에 위치하도록 앵커에 센트럴라이져를 부착하여야 하며 공벽의 붕괴우려가 있으면 케이싱을 인발하지 않고 삽입한다.

⑦ 소요길이까지 삽입 후 지지대를 설치하여 앵커를 공내에 고정시킨다.

3.4 그라우팅

3.4.1 일반사항

주입을 통하여 인장재 두부에 작용하는 인장력을 정착지반으로 전달시킬 수 있도록 앵커체를 형성 하는 동시에 부수적으로 방청기능의 향상과 앵커체 부근의 정착지반이 개량 강화효과를 기대할 수 있다.

[해설]

① 그라우트 배합은 설계도서에 표시된 대로 한다. 단, 그라우트가 모르타르인 경우는 모래의 표면수에 따라 사용수량을 보정하여야 한다.

② 혼합된 그라우트는 90분 이내에 주입하는 것으로 하며, 이것을 경과한 그라우트는 사용해서는 안된다.

③ 주입은 건전한 앵커체의 조성을 통하여 인장재로부터 정착지반으로 인장력의 확실한 전달이 가능하게 한다.

④ 주입은 영구앵커에 있어서는 외·내주입용 호스 등을 사용해서 실시하고 공내·앵커체내의 주입재의 충전을 확실히 실시한다.

⑤ 앵커 그라우트재의 피복이 1~2cm정도로 기타 지중구조물에 비하여 작으나 주입에 의해 주변지반의 크랙이나 취약부를 강화하고 지수재로서 기능하므로 앵커인장재의 방청효과를 향상시키는 동시에 인발내력의 증대를 기대할 수 있다.

⑥ 앵커체를 형성하는 주입재에는 주로 시멘트페이스트를 사용한다.

⑦ 그라우팅 전에 시험그라우팅을 실시하고 주입압력, 겔타임, 주변 지반에 대한 영향 및 손실량 등을 파악한 후에 시공해야 한다.

⑧ 그라우트의 혼합은 그라우트 믹서에 의하며 소정의 시간동안 혼합하는 것으로 하며 이전의 그라우트가 완전히 배출한 후가 아니면 재료를 주입하여서는 안된다.

⑨ 그라우팅은 주입펌프에 의해 연속으로 행하여야 한다.

⑩ 인장형 앵커에서 인장부와 앵커체로 분리되는 지점에 패커를 밀실하게 설치해야 하며 그라우트의 주입은 천공구멍의 끝 부분부터 시작하여 공 내부의 공기와 지하수가 바깥으로 유출 될 수 있도록 해야한다. 또 그라우팅 시 패커 바깥으로 그라우트가 누출되지 않고 원지반이 파괴되지 않도록 적정 주입압력을 유지해야 한다.

⑪ 동절기의 주입은 그라우트 온도를 10~25℃이하로 유지하고, 주입 후는 공구를 적당히 피복재로 덮고, 그라우트의 동결을 방지하여야 한다.

⑫ 하절기에 그라우팅을 할 때는 그라우트 온도의 상승과 조기경화가 발생하지 않도록 적절한 조치를 취하여야 한다.

⑬ 그라우트 주입에 사용하는 장비는 다음에 적합해야 한다.

· 믹서는 혼합과 배합을 동시에 할 수 있어야 하며 그라우팅이 종료될 때까지 연속적으로 주입이 가능하고 검측용 압력계기가 부착되어 있어야 한다.

· 주입펌프는 최소 주입압력이 0.5MPa이고 주입호스 및 연결구는 최대 2MPa의 압력을 견딜 수 있는 자재를 사용해야 한다.

· 급수계량기는 그라우트 혼합에 사용된 수량을 2L/m^3 까지 측정할 수 있어야 한다.

· 주입공 연결부에 설치하는 차단밸브는 주입이 완료된 후에도 그라우트가 응결할 때까지 필요한 압력을 유지할 수 있어야 한다.

⑭ 앵커체 부근의 암반이 균열의 발달 등으로 충분한 강도와 내구성을 갖는 앵커를 조성하는 것이 곤란하다고 확인될 때는 감독자(또는 감리자)와 합의하여 콘솔리데이션 그라우팅(consolidation grouting)을 실시하여야 한다.

3.4.2 주입재의 배합

지반특성에 적합하고 작업성이 좋은 배합으로 한다.

[해설]

(1) 주입을 시작하여 완료할 때까지 양호한 유동성 및 침투성을 유지하는 배합이라야 한다.

(2) 물 시멘트 비는 시공 가능한 유동성(consistency)을 얻을 수 있는 범위 내에서 될수록 작게 한다. 이를 위해서는 감수제를 사용하는 것이 좋다.

(3) 주변지반, 인장재와의 확실한 부착력을 얻기 위하여 소정의 강도를 발현해야 한다.

(4) 시공전 시험반죽을 하고 성상을 확인할 필요가 있다.

(5) 그라우트 재료는 시멘트, 물, 팽창제로 구성되며 배합비는 설계서에 제시한 기준에 따르고 그 표준 배합은 아래와 같다.

표 3.4 그라우트 표준 배합비 (㎥)

항 목	시멘트	물	팽장체	W/C
규 정	1402kg	631kg	21kg	45~50%

(6) 팽창제를 많이 사용할 경우, 강도저하가 우려되므로 가급적 적은 양을 사용하되, 배합비율은 제조회사의 시방에 따른다.

(7) 현장 토질조건 및 그라우트 시험에 의거 상기 (6)의 배합을 감독관의 승인하에 조정할 수 있으나 7일 압축 강도는 최소 170kg/㎠ 이상 28일 압축강도는 250kg/㎠ 이상이어야 한다.

3.4.3 주입

앵커체 주입은 치환주입 또는 가압주입에 의해 실시되는데, 모두 앵커체를 조성하기 위한 중요한 작업이며 앵커체가 소정의 위치에 형성되도록 실시한다. 또한 천공에서 주입까지의 작업은 연속적으로 신속하게 실시한다.

[해설]

(1) 치환주입

치환주입은 공내의 배수나 배기를 원활하게 하기 위해 앵커의 최저부 부터 그라우트가 채워지도록 하며, 작업은 주입한 그라우트의 상태와 공 입구로 배출되는 그라우트의 상태가 동등한 것을 확인할 때까지 중단하지 않고 연속해서 실시한다. 즉, 그라우트 치환주입은 천공내의 배수나 배기를 확실하게 하기 위해 그라우트가 공 입구에서 배출될 때까지 중단하지 않고 연속적으로 시행하고, 공 입구에서 배출되는 그라우트는 주입된 것과 동등한 정도의 컨시스턴시를 가지고 있는 지를 확인하여야 한다. 치환주입은 공내에 있는 물에 의해 그라우트가 희석되거나 공동이 발생하지 않도록 천천히 주의 깊게 실시한다.

(2) 가압주입

가압주입은 인장재가 공내에 삽입된 상태에서 앵커체에 대하여 실시하는 것으로 앵커체 주변의 지반조건에 따라 적절한 방법으로 실시한다.

그라우트 혼합은 이지데이터 믹서를 사용하는 것을 원칙으로 하며, 주입작업 중에 일정한 컨시스턴스를 확보할 수 있도록 하여야 한다. 그라우트용 재료 투입순서는 사용믹서나 혼화제의 종류, 물시멘트비 등에 의해 적절히 정하되 한정된 시간 내에 무리없이 혼합되어 원하는 시간에 사용할 수 있도록 한다. 또한, 첫번째 배치의 그라우트 혼합이 완전히 종료된 후 이지데이터로 이동시키고 다음 배치의 혼합을 실시한다. 그라우트는 소정의 품질이 얻어지도록 플로우 값 측정이나 압축강도 시험에 의한 품질관리를 시험한다.

가압주입의 방법에는 케이싱 가압방법과 팩커(packer)가압방법이 있으며, 통상적으로 케이싱 가압방식이 많이 사용되지만, 피압수의 시공조건이나 상향으로 설치된 앵커에서는 팩커(packer)가압방식이 채택되고 있다. 또한, 앵커체 주입은 그라우트 펌프에 의해 시행하고 일반적으로 피스톤식이 사용되고 있지만 고농도의 그라우트의 경우에는 스퀴즈 식 또는 스테이크 식 펌프 등이 사용된다.

주입작업은 인장재 삽입 후 되도록 빠르게 실시하고 도중에 중단해서는 안된다. 인장형 영구앵커의 주입작업에서는 내부그라우트주입은 적절한 압력으로 내주입용호스를 사용하여 주입재의 리턴을 확인한다.

외부그라우트주입은 외주입용 호스에서 실시해 공내의 공기와 물을 확실히 배출, 치환하여 건전한 앵커체를 조성한다.

① 1차주입은 천공이 완료되면 주입관을 사용하여 정착부부터 그라우트를 주입한다. 또한, 그라우트 주입시 공기와 이물질, 지하수 또는 천공수와 치환하기 위하여 공의 선단부터 시작하여 그라우팅이 바깥으로 배출 될 때까지 실시한다. 1차 주입량은 천공깊이만큼 실시하여 펄스방전시 발생하는 압력이 지반에 충분히 전달될 수 있도록 한다.

② 주입은 전 공정에 이어서 신속하게 실시하는 동시에 도중에서 중단되지 않아야 하고 되도록 저압으로 한다. 특히 영구앵커로 인장형의 정착부 시스(sheath)내에 내부그라우트주입을 할 경우 압력이 과대하면 재질에 따라서는 시스(sheath)재가 파열할 때가 있다.

③ 주입은 주입용 호스 또는 주입관을 공의 선단까지 삽입해서 한다. 인장재의 삽입을 먼저 하는 시공방법에서는 사전에 주입용 호스를 인장재에 장치해 둔다. 또 주입전에는 주입호스에 물을 흘려보냄으로써 통기를 확인한 다음 소정의 품질의 주입재를 압송한다.

④ 주입은 리턴재가 혼합시의 주입재와 거의 같은 정도의 콘시스턴스가 될 때까지 계속해야 한다. 콘시스턴스의 확인은 기구를 사용해서 비중이나 플로우 값을 측정해서 실시한다.

⑤ 주입량은 지반조건에 의해 크게 다르고 사전산정이 곤란한 경우가 있다. 통상의 지반에서는 천공체적의 1.5~3.5배 정도의 주입량이고 균열이 많은 지반이나 자갈모래지반에서는 5배 이상 주입되는 경우도 있다.

레턴재가 확인할 수 없다든지 소정의 콘시스턴스가 할 수지 않는 경우에는 공벽의 붕괴나 지하수의 유입 않는 경주입재의 희석이 고려되므로 원인을 조사하여 대책을 강구한다. 또 동일조건에서 시공된 앵커의 평균적인 주입량 않비해 대폭으로 다른 경우도 원인과 대책을 검토할 필요가 있다.

⑥ 가압은 설계도 혹은 시공계획도에 기입되는 압력·시간으로 한다. 이때 압력관리는 펌프의 압력계만 의지하지 않고 주입호스의 입구부근에 다른 압력계를 설치해서 한다. 일반적인 지반에서의 가압시간은 2분 정도, 정착지반이 느슨한 사질지반의 경우

에는 3분 이상 가압하는 것이 바람직하다. 지하수가 역류하는 지반에서는 더욱 장시간 가압할 필요가 있다.

⑦ 일반적으로 그라운드 앵커의 시공은 케이싱내부를 통해서 가압하는 케이싱가압이 실시된다. 케이싱가압은 케이싱을 정착체 상단까지 끌어올려 가압하는데 정착제길이가 긴 경우에는 케이싱을 1~3m정도씩 끌어올려 가압을 수회로 나누어하는 것이 바람직하다. 지하수압에서 주입재가 억류하는 경우에는 정착체의 상부에 팩커(packer)를 설치해서 가압하는 팩커가압을 실시한다. 정착체가 긴 경우에는 케이싱가압으로 수회로 나눠 가압하고 마지막으로 팩커(packer)를 설치하여 가압한다. 단 파괴하기 쉬운 사질토지반에 팩커(packer)를 설치하면 팩커(packer)와 공벽사이에 틈이 생기고 팩커(packer)의 효과가 저하할 때가 있으므로 단단한 점성토지반에 설치하는 것이 바람직하다.

3.4.4 혼합

주입재의 혼합은 시공계획에 준해서 믹서를 사용해서 균일한 품질을 얻을 때까지 실시하며 혼합후의 주입재는 즉시 사용한다.

[해설]

① 재료는 일반적으로 물, 혼화제, 시멘트의 순으로 투입하여 배합한다. 재료의 분리를 막고 일정한 콘시스턴스를 확보하기 위해 배합된 주입재는 주입이 완료할 때까지 교반을 할 필요가 있다.

② 믹서는 주입재가 소정의 품질을 얻을 수 있는 고속믹서(700rpm이상이 바람직 함)를 사용한다. 또한 혼합량은 사용하는 믹서의 규정용량 이하로 하되 주입작업 중에 부족하지 않도록 충분한 양이 되도록 한다.

③ 일단 배합을 완료한 주입재를 모두 사용할 때까지는 추가로 재료를 믹서에 투입해서는 안된다.

3.4.5 양생

앵커체는 주입재가 경화되어 소정의 강도를 나타내고 다시 인장정착이 완료할 때까지 충분히 양생한다.

[해설]

앵커시공 후에는 입구 지수 등 필요한 처치를 실시한 다음으로 주입재가 소정의 강도에 달할 때까지 고정 보양하여 다시 유해한 하중이나 진동을 주지 않도록 한다. 또한 인장 정착할 때까지 삽입한 이장재의 두부가 빗물에 노출되지 않도록 캡을 하고, 또 작업 기계 등이 접촉하지 않도록 충분히 주의한다.

그라우트 주입 후 앵커는 그라우트의 경화 중에 유해한 진동, 충격을 주지 않도록 보호하여야 한다.

3.4.6 지하수 오염

주입재에 의해 지하수 오염의 우려가 있는 경우에는 적절한 대책을 강구해야 한다.

[해설]

지하수의 흐름에 의해 주입재가 씻겨 내려가는 경우 등 주입재가 주변지반으로의 침투하는 경우 주변의 지하수 pH가 커지고 주변의 우물 등에 영향을 미치는 일이 예상된다. 따라서 사전에 주변의 지하수의 이용 상황을 조사하여 경우에 따라서는 순결 타입의 약액 주입 등을 이용하는 등 주입재의 확산을 방지할 필요가 있다. 지하수 오염에 대해서는 유사한 공종인 지반주입보강공사를 참고로 하여 적절한 대책을 강구해야 한다.

3.5 인장·정착

3.5.1 일반사항

(1) 앵커 인장, 정착은 앵커체가 설계 강도에 도달한 후에 실시한다.

(2) 앵커두부 정착작업은 인장력 손실이 일어난 후에 최종적으로 앵커에 잔존하는 유효인장력이 설계인장력 이상이 될 수 있도록 실시한다.

[해설]

(1) 앵커에는 그라우트가 설계 강도에 도달한 후 품질보증시험에 의해 시험하중이나 변위특성을 확인하고, 요구되는 잔존인장력이 얻어지도록 초기인장력을 도입한다.

그라우트의 강도확인은 일반적으로 공시체를 사용하여 압축강도시험으로 실시한다.

(2) 앵커두부 정착작업은 설계 시에 상정한 초기 인장력을 도입하여 손실 발생 후에도 설계인장력 이상이 되도록 실시한다.

앵커두부의 지압판, 앵커헤드, 웨지 등 정착구는 건조한 상태로 보관하고, 사용직전에 꺼내서 이물이나 먼지 등이 부착되지 않은 품질이 양호한 것을 사용한다. 인장재의 인장여유길이 부분에 그라우트 등이 부착되어 있거나, 유해한 부식이 확인될 경우에는 이를 제거하여 청정한 상태로 사용된다. 인장·정착시에 앵커두부에 미세한 편심이 발생할 경우는 구형 대좌나 테이퍼 플레이트 등으로 보정한다.

(3) 초기인장력은 세트량이 있을 경우는 이를 고려하여 결정한다.

인장재 정착시 세트량이 있는 경우에는 세트량에 의한 인장력의 감소를 고려하여야 한다. 특히 웨지 정착방식에서는 비교적 큰 세트량이 발생하므로 정착시 세트량을 미리 조사하여 그 값을 가정하여 인장재의 인장력 감소량을 검토한다. 세트량이란 인장재를 정착할 때 인장재가 정착부에서 끌려들어가는 길이를 말한다. 세트량은 앵커의 정착방식에 따라 다르기 때문에 시공하는 정착방식에 대해 검토하여야 한다.

또 1개의 정착구로 복수의 인장재를 정착하는 경우에는 각 인장재에 균등한 인장력이 전달되게 하는 방법으로 인장·정착을 한다.

초기인장력은 위험방지를 위해 어떠한 경우에 있어서도 인장재의 종류에 따

른 한계인장력을 넘어서는 안된다. 또한, 한계 인장력이란 강재의 경우 항복점의 90%, 연속섬유보강재의 경우는 보증내력의 70%를 말한다. 인장 · 정착 시에는 만일 인장재가 파단하면 위험하기 때문에 안전대책으로 인장장치의 배면에 서 있거나 통행해서는 안된다.

(4) 인장장치는 검교정한 것을 사용한다.

인장장치에 달려있는 하중계는 그 장치 내부마찰 또는 인장재와 정착장치의 사이의 마찰 등에 의해 인장재에 작용하는 실제 인장력을 보여 주지 않는 경우가 있기 때문에 이것들의 마찰손실에 대해서는 사전에 검교정하여 인장재에 작용되는 인장력을 하중계에서 바르게 읽도록 해야 한다. 인장장치 검교정은 인장작업의 기본이므로 필요에 따라 반입시 또는 작업 중 반듯이 확인해야 한다. 그림 3.16에 인장장치의 예를 나타내었다.

(5) 이론늘음량(δ)은 다음 식에 의해 산정하며 현장 늘음량 범위는 이론늘음량의 이상으로 하며 150%를 넘지 않아야 한다.

$\delta = (T_t - T_o) \times L_s / E_s \times A_s$

여기서,

Ls = 앵커 자유길이 + 앵커 정착길이

Es = 강선의 탄성계수

As = 강연선의 단면적(cm2)

(6) 인장시의 하중과 변위량은 기록해둔다.

3.5.2 인장·정착의 시기

PS강선의 인장시기는 그라우트를 완료하고 인발강도가 발휘된 후 인장하여야 한다.

[해설]

① 가설앵커에는 주입재의 압축강도가 100kg/cm2 정도라도 문제없이 시공된 앵커가 다수 있지만, 안전성을 고려하여 압축강도를 150kg/cm2로 한다. 또한 주입재의 압축강도가 100kgf/cm2 이하에서는 어떠한 경우에도 인장력을 주어서는 안된다. 영구앵커의 경우에는 앵커체 정착부의 장기내력을 기대하고 있기 때문에 약재령의 주입제

에 커다란 응력을 주면 앵커체 정착부에 크랙을 크게 발생시키는 동시에 크리프파괴의 위험성도 있어서 압축강도가 300kg/cm2 이상 되었을 때 인장이 필요하다.

② 앵커로 보강된 구조물 및 배면지반은 프리스트레스 도입 시 혹은 도입 후에 유해한 변형이나 파괴를 발생시키는 내력이나 구조이면 안된다. 구조물의 내력이나 지반의 지내력을 인발시험과 조사천공을 실시하여 파악해두어야 한다.

3.5.3 인장·정착의 방법

인장 작업은 앵커 공법에 적합한 인장용 잭에 의해 인장하여야 한다. 또 정착은 신뢰성이 높은 앵커인장재의 극한강도이상의 정착내력이 있는 정착구를 사용하여 확실한 정착을 하여야 한다.

[해설]

인장 및 정착방식은 각종 공법이 실용화되고 있으며 공법의 선정은 사용 재료, 구조물의 형상, 자유길이부의 길이, 향후 재인장계획 등을 고려해 실시한다.

3.5.4 재인장

앵커의 초기 인장 작업 이후에 시간의 경과에 따른 릴렉세이션 등이 발견되었을 시에 인장력을 보정하여야 한다.

[해설]

(1) 초기 인장 작업 시에 앵커헤드와 재인장용 커플링의 하단부위에 높이를 맞춘 후에 실시하여야 하고, 앵커 헤드와 재인장용 커플링의 나사부위에 이물질이 들어가지 않도록 유의하여야 한다. 또한, 앵커헤드와 재인장 커플링의 부식방지를 위해 방청작업을 충분히 하여야 한다.

(2) 재인장은 상세한 계획을 작성하여 감독원의 승인을 받고 시행하여야 하며 재인장하중, 재인장 앵커의 위치, 재인장 작업 공정, 재인장 작업결과기록 등의 사항을 충분히 검토하여야 한다. 또한, 재인장 작업자는 작업 중 발생하는 요인에 대해서는 검토서를 제출하여 감독원의 승인을 받아야 한다.

(3) 재인장 장비는 초기인장력 이상을 낼 수 있는 잭을 사용하여야 하며, 장비의 구성은 앵커헤드와 연결을 위한 커플러 및 로드와 고정용 너트, 인장 잭, 유압 펌프, 램 체어로 한다.

(4) 재인장 후 앵커번호 표시도, 재인장 작업 보고서 및 판정서를 감독원에게 제출하여야 한다.

3.5.5 방청유의 주입

앵커두부는 방청유를 보충하거나 재주입할 수 있는 구조로 설치하여야 한다.

[해설]

앵커두부는 재인장을 실시한 경우 앵커헤드가 들어올려져 정착된다. 이때 앵커헤드직하로 공극부가 생길 염려가 있는 경우는 여기에 방청유를 충전할 수 있는 구조를 해둘 필요가 있다.

3.5.6 인장력

(1) 초기인장력은 앵커를 인장·정착하기 위해 인장재에 초기에 가해지는 최대인장력을 말한다. (2) 유효인장력은 초기인장력을 도입한 후 PC강재의 릴랙세이션, 앵커체정착부의 크리프, 지반압밀침하 등에 의해 인장력이 저하한 다음에도 인장재에 작용하고 있는 장기적으로 유효한 인장력을 말한다.

[해설]

(1) 초기인장력

앵커공법은 프리스트레스 도입을 통하여 정착부의 크리프. 앵커구조물 배면지반의 변형계수 등을 크게 개선하는 것이 기대되지만 초기인장력이 과다한 경우 앵커정착부의 크리프나 앵커된 배면지반의 변형 등에 의해 앵커두부가 구조물에서 밀려나와 지압판이나 구조물과의 사이에 틈이 생기는 등 문제가 될 때가 있으므로 앵커정착지반을 파괴시키거나 악영향을 미치지 않는 한도 내에서 앵커의 초기인장력이 결정되는 경우가 있다.

초기인장력에서는 정착후의 강재의 릴랙세이션·지반의 크리프·정착시의 세트량 등 각종조건에 의해 잃게 되는 인장력을 포함하고 있고 이들을 고려한 다음 유효인장력으로서 설계하중의 100%를 도입할 수 있도록 초기인장력을 결정해야 한다.

(2) 유효인장력

설계유효 인장력은 구조물에 있어서 상정한 하중조건이나 구조물의 허용변위량·강재의 릴랙세이션·지반특성·세트량 등을 충분히 고려한 다음 결정해야 한다.

관측결과에 의하면 10년이상 경과후도 인장력이 변화한 것의 보고도 있지만 일반적으로 큰 변화는 1개월 이내이고 그 후의 변화는 작다. 단 변화가 클 경우는 재인장 등 처치를 강구하는 일이 필요해지고 그 경우에는 재인장에 충분히 대응할 수 있는 시스템을 갖는 기구라야 한다.

3.5.7 인장관리

인장관리는 모든 앵커에 대하여 실시하여 건전성을 확인한다. 또 이때의 시험기록 및 사진기록은 보존해 두어야 한다.

[해설]

(1) 인장관리는 시공하는 모든 앵커에 대하여 소정의 방법으로 실시하여야 한다.

(2) 인장·정착 혹은 시간경과에 의해 앵커의 이상이 발생한 경우는 원인을 규명하여 필요한 대책을 강구해야 한다.

3.5.8 충진주입

충진주입은 앵커체를 조성한 후에 앵커 자유길이부 주면이나 앵커두부 배면의 공극충전과 보호를 위해 실시하는 것이며, 앵커의 기능이 손상되지 않도록 실시한다. 가설앵커에서는 필요시 충전주입을 한다.

[해설]

충진주입의 주된 목적은 앵커의 자유길이부 시스(sheath)의 외측과 지반사이의 공극을 그라우트로 채워서 자유길이 부분의 방식기능을 증가시키기 위한 것이며, 공벽 주위지반이 느슨해짐을 억제하기 위한 것이므로 적절한 방법을 사용하여 실시한다. 또 영구앵커에서는 반듯이 충진주입을 실시해야 하며, 가설앵커에서는 그 필요성이 있을 경우에만 실시한다.

3.5.9 앵커제거

앵커제거는 각종 제거식 앵커공법 별로 적합한 방법으로 인장재에 작용하는 인장력을 완전히 제거한 후에 실시한다.

[해설]

제거식 앵커는 가설앵커에서 그 사용기간 종료 후에 인장재를 제거할 수 있는 구조를 가진 것을 말하며 그 원리 구조는 공법에 따라 다르며, 공법별 자체의 품질기준, 설계, 시공방법을 가지고 있다. 따라서 공법별로 인장재 철거 방법도 다르기 때문에 앵커 제거 작업은 각각의 공법에 맞는 안전한 방법을 사용하여야 한다. 제거식 앵커를 철거하는 경우는 그 작업 직전까지 앵커가 사용 상태로 있었기 때문에 최초로 인장재에 도입되어 있는 인장력을 제거하여야 한다. 인장력 제거는 일반적으로 정착구 배면의 인장재를 가스절단하는 방법이 사용된다. 흙막이 벽체에 앵커두부가 정착되어 있는 경우에는 가스절단 공간을 확보하기 위해 정착작업 시에 정착구 배면에 제하용 대좌를 설치해 둘 필요가 있다.

3.6 시험

3.6.1 일반사항

앵커의 시험은 목적에 따라서 다음 3종류의 시험을 실시할 수 있다.
시험은 책임기술자와 감독원의 입회하에 실시하여야 한다. 또한, 도급자는 시험에 앞서 시험방법과 시험종류에 대한 계획서를 작성하여 감독원에게 제출하고 승인을 받아 시행한다.

[해설]

(1) 인발시험

인발시험은 실제의 앵커시공에 앞서 설계조건으로 표시한 지반조건, 사용재료, 안전율 등에 의한 앵커의 품질, 설계의 정확성 등을 조사·증명하기 위해 실시한다. 이 시험은 인장시험보다도 엄격하게 실시되어야 한다.

본래 설계와 같은 시방의 앵커로 완전히 인발할 수 있을 때까지 시험을 하는 것이 이상적이지만 실제로는 설계값이 소정의 안전율을 가지고 있는지 아닌지를 확인하기 위한 시험으로 시험결과 앵커체를 빼내지 못할 경우가 있는데 이러한 경우 단면적이 큰 인장강재를 사용하는 등 조치를 취하여야 한다.

(2) 인장시험

인장시험은 실제로 시공되는 앵커와 동등 조건으로 타설한 앵커에 대해서

실시하여 실제와 같은 하중으로 인장 재하한다. 시험기간(시간)은 앵커인장파괴나 크리프파괴에 대하여 허용되는 범위내에서 충분히 안정되어 있다는 것을 증명할 수 있을 때까지 한다. 이 시험은 실제로 타설되는 앵커를 사용하여 실시된다.

(3) 확인시험

확인시험은 실제로 시공되는 인장시험에 사용한 앵커를 제외한 모든 앵커에 대해 실시하고 설계하중에 대한 앵커내력을 확인하기 위해 실시하는 시험으로 통상설계하중의 1.0배의 하중에 대한 단기적인 앵커내력을 실증할 수 있도록 한다.

이들의 확인시험의 결과와 인장시험결과를 대비하여 시공된 앵커의 장기적 거동으로 지표를 주는 것이다. 실제로는 이들의 시험 외에 장기적인 앵커인장력의 변화를 조사하는 시험이나 앵커를 구성하는 부재의 재료시험, 앵커인장시에 인장재에 발생하는 변형이나 응력분포를 조사하는 시험 등이 있다. 이들은 제각기 실시할 때도 있지만 인발시험이나 인장시험을 일괄해서 실시할 때도 있다. 어떤 경우라도 설계도에 준해서 실시되어야 한다.

3.6.2 인발시험

인발시험은 실제의 앵커 시공에 앞서 설계조건에서 제시한 지반조건, 사용재료 등에 의한 앵커의 품질, 설계의 정확성 등을 조사, 증명하기 위한 시험으로 설계와 동일한 지반에 시행하여야 한다.

[해설]

(1) 인발시험의 목적

인발시험은 앵커의 타설이 계획되어 있는 지반 혹은 그와 동등한 지반에 실제의 시공에 앞서 시험용 앵커를 별도 타설하여 실시하는 것이다.

이 시험목적은 앵커가 인장·인발과정에 있어서 설계시방서에 표시한 성능을 가지고 주어진 조건을 만족하는지 아닌지를 조사·실증하는데 있다. 이 시험결과는 설계에 피드백되어 불합리한 점이 있다면 설계조건을 수정할 때도 있다. 이 시험에서는 실제의 시공에서 사용하는 앵커재료시험을 포함할 때도 있고 시공환경을 고려한 천공, 지수, 인장재의 삽입·주입 등 시험을 포함할 때도 있다. 어느 정도까지의 시험을 할 것인가는 설계시방서에 표시되어 있는 경우가 있지만 일반적으로는 시공규모·내용기간(영구, 가설), 중요도에 따라 다르다.

(2) 시험의 수량

인발시험앵커의 최저수량은 앵커의 내용기간에 의해 달라진다.

인발시험에 제공하는 시험앵커수량은 앵커의 배치형상, 타설지반의 지질이나 지층의 종류, 인장재 등이 다를 때마다 최저시험수량에 준해서 결정하는 것이 바람직하다.

또한 과거와 같은 지반에 대해서 앵커인발시험의 정보·기록이 얻어지는 경우에는 시험수량을 적절히 줄이든지 인발시험을 생략할 수 있다.가설앵커에 있어서는 부근에 같은 지반의 주면마찰저항 τ값의 데이터가 있는 경우나 τ값으로 쉽게 판정되는 경우 및 τ값의 작은 값을 채용해서 안전율을 3.0으로 하는 경우에는 인발시험을 생략할 수 있다.

정착층의 대상지반이 동일한 경우에는 경사앵커에 대치해서 수직앵커로 시험을 할 수 있다. 단, 흙덮기는 통상 최저 5m필요하다고 하나 7m정도가 바람직하다.

충적지반과 같이 지질상태가 급격히 변화하는 곳에서는 시험용 앵커의 정착층을 어디에 잡을 것인가는 중요한 검토사항이 된다.

시험앵커의 정착길이는 되도록 단일층으로 잡는 것이 바람직하고 2층 이상이 되면 인발에 이르는 사이에 복잡한 하중·변위거동을 나타낼 때가 있으므로 시험결과 판단시 주의를 해야한다.

(3) 계획최대시험하중

인발시험의 최대시험하중(Pm)은 안전대책상의 이유로 인장재의 규격항복강도(Py)의 90%혹은 규격인장강도(Pu)의 80% 가운데 작은 쪽의 값을 한도로 하여 재하한다. 또 최대시험하중은 원칙으로서 인장재의 비례한계강도(Pp) 이하로 한다.

인발시험은 그 목적에서 앵커가 최종적인 파괴를 일으켜 빠져나갈 때까지 실시해야 하나 안전대책상 인장재의 규격항복강도의 90% 혹은 규격파단강도의 80% 가운데 작은 쪽의 값을 한도로 한다. 만약 앵커가 빠지기 전에 인장재나 부재의 부분적인 파괴가 생긴다면 그 원인은 조사되어야 한다. 또 시험앵커는 앵커정착층의 인발저항력을 구하기 위해 인장재의 단면적을 늘리는 등 인장재의 인장하중에 대한 용량을 증가시키든지 정착길이를 짧게 하든지 해서 인장한도 내에서 앵커가 빠지도록 해야 한다. 특히 동일조건하에서 2본 이상의 인발시험을 할 경우에 이와 같은 계획을 세워 지반과 주입재의 경계면에서의 부착이 파괴될 때까지 엄격하게 시험을 해야 한다.

PC강재를 인장재로 하는 앵커에서는 항복강도의 90% 혹은 파단강도의 80%가 그 비례한계강도를 초과할 때가 있다. 이 비례한계강도를 초과한 높은 인장하중 내에서는 앵커의 외관상 인장하중-신장곡선은 통상곡율이 커져 있다. 이것은 정착지반의 소성변형이나 잭의 특성 등이 주요한 원인이지만, 여기에 인장재의 비례한계강도를 초과한 변형이 더해지면 시험결과의 해석은 복잡하게 된다. 소성변형이 급격하게 증가하거나 턴성변형에 의거한 계산유효자유길이가 증가할 때도 있으며, 대개의 경우 이것이 정착지반의 국부적인 항복이나 파괴로 판단될 때가 있다. 따라서 되도록 정확한 정착지반에 관한 정보를 얻기 위해서는 판단을 복잡하게 할 요인을 조금이라도 줄일 필요가 있고 최대시험하중을 인장재의 비례한도내에 설정하는 일은 불확정요소를 제거하여야 한다.

(4) 시험시기

인발시험은 앵커타설 후 주입재의 압축강도(σc)가 설계기준강도를 상회한 시점에서 실시한다.

인발시험은 앵커타설 시에 채취한 주입재의 공시체 압축강도가 설계기준강도를 상회한 시점에서 실시한다. 설계기준강도는 보통 포틀랜드시멘트를 사용한 경우 재령 28일, 조강시멘트를 사용한 경우 재령7일을 기준으로 하나, 일반적으로는 가설앵커의 경우 σc =150kgf/cm2 이상, 영구앵커에서는 σc =240 kgf/cm2 이상으로 실시된다. 또한 본 항목은 인장시험 및 확인시험에서도 마찬가지로 적용된다.

(5) 시험장치

인발시험에 사용하는 표준적인 시험장치 및 구비해야 할 성능은 다음과 같다.

① 가력장치: 계획최대시험하중에 대하여 120%이상의 용량을 갖는다.
인발시험에 쓰이는 잭은 계획최대시험하중에 대하여 120%이상의 용량을 갖는 것으로 잭스트로크가 예상되는 신장량에 대하여 충분히 여유가 있는 것을 사용한다.

② 반력장치: 계획최대시험하중에 대하여 강도・변위・변형・모두 충분히 허용된다.
반력장치는 콘크리트나 강재 혹은 침목 등에 의해 작성되나 계획최대시험하중 밑에서도 파손하지 않고 또한 시험정밀도에 영향을 미칠 것 같은 변위나 변형을 일으키지 않는 것을 사용한다.

③ 계측장치: 인장하중, 앵커 및 반력장치 변위량, 시간이 충분한 정밀도로 계측할 수 있다.

인장하중의 계측은 잭펌프에 붙어있는 블던관 혹은 로드셀을 사용해서 한다. 이들의 장치는 캐리브레이션되어 정밀도가 보증된 것을 사용한다. 앵커두부의 신장량은 통상 0.1~0.5mm정밀도의 변위계를 사용하고 부동점을 기준으로해서 계측한다. 또 반력장치의 변위도 같은 변위계를 사용해서 부동점에서 계측한다. 시간도 초침이 있는 시계나 스톱워치 등을 사용한다.

3.6.3 인장시험

인장시험은 실시공 앵커와 같은 조건하에서 타설한 앵커를 사용해서 실시하고 시험결과는 실시공 앵커의 특성을 판단하는 기초자료가 된다.

[해설]

(1) 인장시험의 목적

인장시험은 실제로 계획 시공되는 앵커와 동일조건하의 앵커에 대해 실시하므로 통상 앵커시공개시를 빠르게 한다. 시험에 사용하는 앵커는 실제로 사용하는 앵커 중에서 고르든지 이들과는 따로 추가한 것으로도 된다. 이 시험결과를 실시공 앵커에 대하여 실시할 확인시험결과로 추정하고 판단하는 기초자료로 사용할 수 있다.

(2) 시험의 수량

인장시험의 최저수량은 앵커의 내용기간에 의해 다르다. 이것은 계획앵커의 배치형상, 타설 지반타입이 다를 때 마다 적용된다.

(3) 계획최대시험하중

계획최대시험하중은 설계하중의 1.2배 이상, 인장재의 항복하중의 0.9배 이하로 한다. 초기하중은 계획 최대시험하중의 0.1배로 하되 시험하중이 적은 경우에는 미소한 하중의 측정이 곤란하므로 최소 50kN 이상의 초기 하중을 유지하도록 한다.

가압장치는 계획 최대시험하중의 1.2배 이상의 공칭용량을 가지며, 계획하중 단계에 따른 하중의 증감이 가능한 것으로 한다. 재하는 초기하중에서 계획최대시험하중과의 사이를 5등분씩, 하중제어에 의해 높은 주기로 실시함을 원칙으로 한다. 각 주기의 재하는 다음 표에 표시한 시간에서 하중을 일정하게 유지한다. 단, 변위가 안정되지 않는 경우에는 다음 표에 기준하여 하중을 유

지한다.

표 3.5 인장시험 최소하중재하시간

정착층 / 하중단계	점성토	사질토	암반
초기하중 시	15분 이상의 일정시간	10분 이상의 일정시간	5분 이상의 일정시간
이력하중 시	3분 이상의 일정시간	2분 이상의 일정시간	1분 이상의 일정시간

각 하중단계에서의 측정항목은 하중-변위량과 시간으로 하고, 변위량은 2개의 다이얼 게이지 측정치의 평균치에 의한다.

하중의 증가속도 및 제하속도는 각각 매 분당의 계획 최대시험하중의 0.1배 내지 0.2배로 한다. 시험결과는 앵커두부에 있어서 하중-변위량 곡선, 하중-탄성변위량 곡선, 시간-하중곡선을 각각 그림으로 표시해 지압판 지지지반 파괴상태, 앵커인장부의 길이, 앵커의 인발유무를 판정한다.

(4) 시험시기

인장시험의 시험시기는 인발시험의 시험시기와 동일하다.

3.6.4 확인시험

확인시험은 원칙적으로 시공한 모든 앵커를 대상으로 그 성능의 적합 여부를 실증하고 평가하기 위해 실시된다.

[해설]

(1) 확인시험의 목적

확인시험은 시공한 모든 앵커에 대하여 실시하고 이들 성능이 시공 목적에 적합한 것임을 실증하고 평가하기 위해 실시된다.

확인시험은 실제로 시공된 모든 앵커에 대해서 실시한다. 이 시험결과는 단독 또는 인장시험 결과와 비교해서 판단된다.

(2) 시험의 수량

인장시험에 사용된 앵커를 제외하고 실시공에 사용되는 앵커의 전체에 대하

여 실시한다.

실시공에 사용되는 앵커는 설계하중에 대하여 충분한 내력과 성능을 가지고 있어야 한다. 따라서 모든 앵커에 대하여 설계하중까지 확인해 둘 필요가 있다.

(3) 계획최대시험하중

확인시험의 계획최대 시험하중(Pm)은 내용기간에 의해 달라지나 원칙적으로 다음과 같다.

가설 Pm = 1.0~1.1Pd

영구 Pm = 1.0~1.2Pd

확인시험의 계획최대시험하중은 인장시험의 계획하중에서 약간 낮춘 것으로 한다. 기본적으로는 설계하중을 프리스트레스로 하여 부여하는 경우 여기에 견딜 수 있는 앵커인 것이 확인할 수 있어야 하고, 앵커의 신장이 안정되어 있다는 것이 확인되어야 한다. 확인시험하중의 크기에 의해 안전율을 고를 수 있기 때문에 확인시험하중이 설계하중의 1.0배(Pd ×1.0)의 경우에는 설계인발내력의 안전율은 Fs=3.0으로 1.2배(Pd ×1.2)에서는 Ps=2.5로 할 수 있다.

수압판의 종류나 지반조건에 의해서는 설계하중의 1.2배나 하중을 주는 경우 수압판 자체에도 허용하중이상의 큰 하중이 작용할 때가 있다. 즉, 앵커인장력 P=1.2d는 구조물의 허용균열응력을 초과하는 경우도 있다. 이와 같은 경우에는 확인시험하중을 설계하중의 1.0배(Pd ×1.0)로 하여 인발시험결과를 기초해서 설계인발내력의 안전율 Fs=3.0으로 하는 것이 일반적으로 좋다. 가설앵커에서도 공공성이 높은 앵커에서는 Fs=2.0을 채용할 필요가 있다고 한다. 또한 가설앵커의 확인시험은 설계하중의 1.0배로 좋다고 한다. 또, 이때 인장재의 인장강도, 인장재와 그라우트의 부착강도, 지반과 그라우트의 주면마찰저항에 대해서도 소정의 안전율을 지니고 있는지를 확인해 둘 필요가 있다.

(4) 시험장치

확인시험에 사용하는 표준적인 시험장치 및 갖추어야 할 성능· 정밀도는 다음과 같다.

① 가력장치: 계획 최대하중에 대하여 120% 이상의 용량을 가진다.

확인시험에 사용하는 jack은 확인시험 계획 최대하중에 대해서 120% 이상의 용량을 가지는 것으로 하고 jack stroke도 예상되는 신장량에 대하여 충분히 여유있는 것을 사용한다.

② 계측장치: 인장하중, 앵커 신장량, 시간을 충분한 정밀도로 계측할 수 있도록 한다.

참고문헌

1. 그라운드앵커기술협회 (1997), 그라운드앵커공법 설계시공지침
2. 그라운드앵커기술협회 (1992), 그라운드앵커 공법
3. 국토해양부(2003), 콘크리트표준시방서 해설
4. 국토해양부(2006), 콘크리트구조설계기준
5. 신현묵 (2008), 프리스트레스트 콘크리트
6. 토목발전연구회 (2009), 실무토목기초 설계와 시공
7. (주)코리아에스이 기술연구소 (2000), 그라운드앵커 설계·시공기준, 동해설
8. 한국시설안전공단 (2006), 건설공사 비탈면 표준시방서, 건설교통부
9. 한국시설안전공단 (2006), 건설공사 비탈면 유지관리지침, 건설교통부
10. 한국시설안전공단 (2006), 건설공사 비탈면 설계기준, 건설교통부
11. 한국시설안전공단 역(2009), 그라운드앵커 유지관리 매뉴얼
12. 한국지반공학회 (2003), 구조물기초설계기준 해설, 건설교통부
13. 한국시설안전공단 (2009), 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(절토사면)
14. (社)日本アンカー協会 (2008), グラウンドアンカー維持管理マニュアル, 鹿島出版会
15. Stuart Littlejohn (2007), "International Conference on Ground Anchores and Anchored Structures in Service 2007"

주 의 사 항

1. 본 보고서는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업의 중간 연구보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업임을 밝혀야 합니다.
3. 국가보안 차원에서 필요하다고 인정되는 내용은 대외적으로 발표 및 공개하여서는 아니됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ 문의처 :

한국건설교통기술평가원	TEL	031)381-6311
(주)대우건설	TEL	031)250-1111
한국시설안전기술공단	TEL	031)910-4154
(주)세원리타	TEL	02)3142-8181
한국과학기술원	TEL	042)869-3617
성균관대학교	TEL	031)290-7521

R&D / 06건설핵심 C12

펄스파워를 이용한 확공형 앵커공법 개발

■ 발행일 / 2010. 3. 2.

■ 발행처 / (주)대우건설

경기도 수원시 장안구 송죽동 60번지

TEL : 031-250-1111

■ 인쇄처 / RNB기획