

KR C-03010

Rev.4, 11. February 2025

측량 및 지반조사

2025. 02. 11



국가철도공단

경 과 조 치

이 “철도설계지침 및 편람” 이전에 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 “철도설계지침 및 편람”을 그대로 사용할 수 있습니다.

일 러 두 기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 “철도설계지침” 및 “편람”을 국제적인 방식에 맞게 체계를 코드별로 변경하였습니다.
또한, 코드에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 코드별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 “철도설계지침 및 편람”은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별로 수정되어 공단 EPMS, CPMS에 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- “철도설계지침 및 편람”에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(이전 편람) 부분은 설계용역 업무수행의 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서입니다. 여기서, 제목 부분의 편람은 각 코드에서의 해설을 총칭한 것입니다.



목 차

1. 일반사항	1
1.1 목적	1
1.2 적용 범위	1
1.3 참고기준	1
1.4 용어의 정의	1
1.5 기호의 정의	4
2. 조사 및 계획	5
2.1 측량일반	5
2.2 철도기준점측량	6
2.3 노반 및 기타공사의 설계를 위한 측량	11
2.4 노반 및 기타공사 시공측량 및 시설물 유지관리 측량	17
2.5 지반조사	27
3. 재료	32
4. 설계	32
해설 1. 예비조사	33
1. 개요	33
2. 자료조사	34
3. 현장답사	34
4. 시추 및 시굴 등에 의한 조사	36
해설 2. 본조사	38
1. 개요	38
2. 지표지질조사	41
3. 시추조사, 시굴조사와 시험트렌치	41
3.1 시추조사	41
3.2 시굴조사	47
3.3 시험트렌치	47
4. 시료채취	48
5. 지하수위 측정	50
해설 3. 추가조사	53
해설 4. 현장실험	54
1. 개요	54

2. 역학시험	54
2.1 표준관입시험	54
2.2 콘관입시험	55
2.3 현장베인전단시험	57
2.4 현장베인전단시험딜라토미터시험	58
2.5 공내재하시험	59
2.6 공내전단시험	60
3. 수리시험	61
3.1 현장투수시험	61
3.2 현장수압시험	62
3.3 양수시험	63
3.4 순간충격시험(수위변화시험)	63
4. 물리탐사	64
4.1 일반사항	65
4.2 전기비저항탐사	65
4.3 전자탐사	64
4.4 굴절법탄성파탐사	64
4.5 표면파탐사	67
4.6 GPR 탐사	68
4.7 토모그래피탐사	69
4.8 시추공간 탄성파탐사	71
4.9 하향식 탄성파탐사	71
4.10 전기검층	72
4.11 음파검층	72
4.12 밀도검층	73
4.13 시추공영상촬영	74
4.14 초음파주사검층	74
해설 5. 실내시험	76
1. 실내토질시험	76
1.1 일반사항	76
1.2 물성시험	87
1.3 다짐시험	91
1.4 노상토 지지력(CBR) 시험	91
1.5 일축압축시험	92
1.6 삼축압축시험	92
1.7 동적특성시험	94
1.8 압밀시험	96
1.9 투수시험	101



1.10 직접전단시험	103
2. 실내암석시험	103
2.1 일반사항	103
2.2 물성시험	104
2.3 일축압축시험	104
2.4 삼축압축시험	104
2.5 인장강도시험	105
2.6 절리면전단시험	105
해설참조 1. 특수지반 지반조사 사례	106
1. 석회암 분포지역 지반조사 사례	106
1.1 석회암의 정의 및 물리역학적 특성	106
1.2 석회암 분포지역의 공학적 위험요인	107
1.3 석회암 분포지역의 지반조사 방법	107
1.4 석회암 분포지역의 지반조사 사례	108
2. 탄층 분포지역 지반조사 사례	109
2.1 탄층의 정의 및 물리적 특성	109
2.2 탄층 분포지역 지반조사 흐름	110
2.3 탄층 분포지역 지반조사 사례	110
3. 연안 해수침투 지역 지반조사 사례	112
3.1 연안 해수침투지역 특성	112
3.2 연안 해수침투 지역 지반조사 사례	112
4. 하상구간 지반조사 사례	114
4.1 하상구간 특성	114
4.2 하상구간 지반조사 사례	115
[별표] 측량 기입 양식	116
RECORD HISTORY	134

1. 일반사항

1.1 목적

KDS 47 10 20 측량 및 지반조사 (1.1)을 따른다.

1.2 적용 범위

KDS 47 10 20 측량 및 지반조사 (1.2)를 따른다.

1.3 참고 기준

내용 없음

1.4 용어의 정의

- (1) 측량 : 공간상에 존재하는 일정한 점들의 위치를 측정하고 그 특성을 조사하여 도면 및 수치로 표현하거나 도면상 위치를 현장에 재현하는 것을 말하며, 측량용 사진촬영, 지도제작 및 각종 건설사업에서 요구하는 도면작성 등을 포함
- (2) 감독자 : 공사 및 용역관리를 위하여 국가철도공단(이하 “공단”이라 한다)의 직원 또는 감리용역회사에서 고용한 감리원
- (3) 수급인 : 공단과 공사 및 용역 계약을 체결한 회사
- (4) 측량기술자 : 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」 제39조 제2항의 규정에 해당하는 자
- (5) 답사 : 도상계획에서 선정된 여러 비교노선이 현장에 적용될 수 있는지, 수집된 자료가 현장에 잘 부합되고 있는지 등 노선을 비교 검토할 자료를 얻기 위하여 현장을 조사하는 것을 말한다.
- (6) 예측 : 답사 결과를 토대로 유력한 2~3개의 노선이 결정되면 이들 비교노선이 통과하는 지역을 따라 임시 절선으로 중심선을 설정하고 건설비를 개산하여 비교노선의 우열을 판정하는 일련의 작업
- (7) 실측 : 예측결과로 선정된 노선을 따라 선로중심선을 지상에 설치하고 설계에 필요한 자료와 정확한 공사비 및 공사량 등을 얻기 위한 측량을 말한다.
- (8) 철도기준점측량 : 철도의 설계, 건설, 유지관리의 위치기준이 되는 철도기준점을 현장에 설치하고 그 성과를 획득하기 위한 측량
- (9) 항공사진측량 : 대공표지설치, 항공사진촬영, 지상기준점측량, 사진기준점측량, 세부도화 등을 포함하여 수치지형도 제작용 도화원도 및 도화파일 제작 등의 작업
- (10) 항공레이저(Lidar)측량 : 항공기에 탑재된 항공레이저시스템(Lidar)으로 대상지에 대한 3차원 지형공간정보를 획득하는 측량



- (11) 중심선측량 : 선로의 주요점 및 중심점을 현지에 설치하고, 선형지형도를 작성하는 작업
- (12) 종단측량 : 선로의 중심말뚝 등의 표고를 측정하고, 종단면도를 작성하는 작업
- (13) 횡단측량 : 선로의 중심말뚝 등을 기준으로 중심선의 직각방향 단면상 지형변화점 등의 위치를 측정하고, 횡단면도를 작성하는 작업
- (14) 용지측량 : 철도건설에 필요한 토지 및 경계 등에 대하여 조사하고, 용지취득 등에 필요한 자료 및 용지도 등을 작성하는 작업
- (15) 시공측량 : 철도건설 또는 개량사업 등의 시공에 관계되는 측량
- (16) 시설물유지관리측량 : 시설물의 보수, 보완, 확장, 이전 등에 수반되는 측량 및 변위점 측량
- (17) 변위점 : 연약지반, 교량, 터널, 각종 시설물 등의 침하 및 변형여부를 조사하고 변위량을 측량하기 위해 표시된 지점
- (18) 도하(해)수준점측량 : 해협 또는 하천에 의하여 격리된 양안의 두 지점의 고저차를 레벨 및 표척 또는 측각기 및 측표 등을 사용하여 규정된 정확도로 구하는 측량
- (19) 중간점(TP) : 측량작업의 신속성 및 편의성을 제공하기 위하여 철도기준점사이 구간에 설치하는 측량지점으로서, 측량의 목적에 따라 기지점으로 활용할 수 있음
- (20) 정확도관리표 : 감독자가 「공공측량 작업규정」 제10조 제1항에 따라 측량의 정확도를 확보하기 위하여 정확도 관리를 하여, 그 결과를 기록하는 표
- (21) GNSS(Global Navigation Satellite System) : 측점에 설치한 GNSS(GPS포함) 수신기로 GNSS위성신호를 수신하여 측점의 측지학적 위치(지구중심 3차원 직각좌표, 경위도좌표, 평면직각좌표 및 표고)를 결정하는 범지구위성측위체계에 의한 측량
- (22) 네트워크 RTK측량 : 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」 제7조 및 같은 법시행령 제8조에 의한 국가기준점 중 위성기준점(GPS상시관측소)을 이용하여 국토지리정보원에서 운영하고 있는 실시간 정밀 GNSS측량 방법으로 공공기준점 및 각종 현황을 측량하는 작업
- (23) 세션(Session) : 당해 측량을 위하여 일정한 관측간격을 두고 2대 이상의 수신기를 동시에 사용하여 GNSS측량을 실시하는 단위작업
기타 측량에 관계되는 용어의 정의는 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」 제2조에 따른다.
- (24) 시공측량 : 설계확인측량 및 시공관리측량으로 구분하며 건설사업을 추진하기 위한 시공에 관계되는 모든 측량을 말한다.
- (24) 기초지반 : 구조물이 축조되고 그 안정성과 기능을 유지하는데 필요한 지표면 아래의 지반.
- (25) 다짐도 : 실내다짐시험으로 얻은 최대 건조밀도에 대한 현장 건조밀도의 비.
- (26) 딜라토미터(dilatometer)시험 : 지반의 전단강도와 변형특성 등을 파악하기 위해 납작한 판형 시험

기구를 지중에 삽입하고 시험기구 속으로 압력을 가하여 강막(steel membrane)을 팽창시켜 지반의 공학적 특성을 측정하는 시험.

- (27) 배수강도정수 : 과잉간극수압이 영인 상태를 유지하며 지반이나 시험편을 압축, 인장 및 전단하였을 때 얻어지는 강도정수.
- (28) 배수조건 : 지반의 응력이 변화할 때 지반의 투수성과 응력변화 속도에 따라 발생하는 지반 내부의 지하수 상태를 나타내는 것으로 과잉간극수압이 발생하면 비배수조건, 과잉간극수압이 발생하지 않으면 배수조건으로 구분.
- (29) 불연속면 : 절리(joint), 벽개(cleavage), 엽리(foliation), 층리(bedding), 단층(fault), 파쇄대(fracture zone) 등 암반 내에 특정한 기하학적 특징을 갖고 발달한 면구조(surface structure).
- (30) 비배수전단강도 : 투수성이 낮은 지반에 재하 하였을 경우, 발생하는 과잉간극수압을 배수를 통하여 저감시키지 않는 상태에서의 지반의 전단강도.
- (31) 상대밀도 : 사질토의 다짐 정도를 나타내는 값.
- (32) 슬라임 : 시추, 현장타설말뚝, 지중연속벽 등의 시공을 위한 지반굴착 시 지상으로 배출되지 않고 공내수에 부유해 있거나 굴착저면에 침전된 굴착 찌꺼기.
- (33) 실내시험 : 원지반에서 채취한 불교란 혹은 교란시료에 대해 실험실에서 수행하는 일련의 시험.
- (34) 암반 : 균열 없는 견고한 암석과 불연속면을 포함한 암체.
- (35) 암석 : 광물의 단단한 결합체를 의미하며 생성요인에 따라 화성암, 퇴적암, 변성암으로 구분됨.
- (36) 압밀 : 점성토 지반의 간극수가 장기간에 걸쳐 배수되면서 점진적인 체적변화로 압축되는 현상.
- (37) 액상화 : 포화된 느슨한 모래나 실트층이 충격이나 진동을 받아 순간적으로 발생한 과잉간극수압에 의해 전단강도를 잃고 액체처럼 거동하는 현상.
- (38) 예비조사 : 본조사 수행 전 철도가 계획된 지역을 포함하여 광역적으로 지형, 지질 특성 등을 파악하는 지반조사.
- (39) 오거보링 : 주로 토사 지반에서 오거를 이용하여 시추하는 방법.
- (40) 일축압축강도 : 일축압축시험에서 구한 공시체의 최대 압축저항력을 말하며 포화 점토에서는 비배수전단강도의 2배가 됨.
- (41) 절리 : 암석 자체에 의한 것과 외력에 의해 암반에 생성되는 비교적 일정한 방향성을 갖는 불연속면으로 상대적 변위가 단층에 비하여 크지 않거나 거의 없는 것
- (42) 지구물리탐사(물리탐사) : 탄성과 탐사, 전기 탐사, 중력 탐사, 자기 탐사, 방사능 탐사 등 지반의 물리적 특성을 측정함으로써 지반의 층상 구조 및 각 지층의 공학적 특성을 조사하는 방법.
- (43) 액상화 : 포화된 느슨한 모래나 실트층이 충격이나 진동을 받아 순간적으로 발생한



과잉간극수압에 의해 전단강도를 잃고 액체처럼 거동하는 현상.

- (44) 예비조사 : 본조사 수행 전 철도가 계획된 지역을 포함하여 광역적으로 지형, 지질 특성 등을 파악하는 지반조사.
- (45) 오거보링 : 주로 토사 지반에서 오거를 이용하여 시추하는 방법.
- (46) 일축압축강도 : 일축압축시험에서 구한 공시체의 최대 압축저항력을 말하며 포화 점토에서는 비배수전단강도의 2배가 됨.
- (47) 지반조사 : 지반상에 건설되는 구조물 설계에 필요한 지반정보를 획득하기 위하여 수행하는 일련의 지표조사, 시추, 관입저항측정시험, 시료채취, 원위치시험, 실내시험, 물리탐사 등을 총칭.
- (48) 층리 : 퇴적암이 생성될 때 퇴적조건의 변화에 따라 퇴적물속에 생기는 층을 이루는 구조
- (49) 투수계수(수리전도도) : 흙, 암반 또는 기타의 다공성 매체에 대한 물의 투과 특성을 속도의 단위로 표시한 값.
- (50) 팽창(팽윤) : 점토광물의 결정 층 사이로 물이 침투되어 체적이 증가하는 현상.
- (51) 표준관입시험(SPT) : 무게 623N(63.5kgf) 해머로 자유낙하고 760mm에서 외경 51mm, 내경 35mm, 길이 810mm의 분리형 샘플러를 타격하여 300mm 관입하는데 소요되는 타격횟수(N값)를 구하는 시험.
- (52) 피압수(피압 지하수) : 지하수면 없이 대기압 이상의 압력을 받고 있는 불투수층 사이에 존재하는 대수층의 물.
- (53) 현장시험 : 현장지반의 공학적 특성을 파악하기 위하여 현장에서 대상 지반을 상대로 시행하는 시험.
- (54) 층리 : 퇴적암을 이루는 퇴적물의 겹쳐진 상태
- (55) 클리노미터 : 경사 측정기구, 경사계 또는 경사의라고도 함
- (56) RQD : 암질의 상태를 나타내는 용어로서, NX 또는 NQ 규격의 시추코아 중 10cm 이상 되는 코아편 길이의 합을 전체 시추 길이로 나누어 백분율로 표시한 값
- (57) TCR : 전체 시추길이에 대하여 회수된 코아의 길이 비를 백분율로 표시한 값
- (58) RMR 분류 : 암석강도, RQD, 불연속면 간격, 불연속면 상태, 지하수 상태, 굴진방향과 불연속면의 상대적 방향 등을 반영하여 암반 상태를 분류하는 정량적인 암반 분류방법
- (59) Q-시스템 : RQD, 절리군수, 불연속면의 거칠기, 불연속면 변화 정도, 지하수에 의한 감소계수, 응력감소계수 등을 반영하여 암반을 분류하는 방법

1.5 기호의 정의

내용 없음

2. 조사 및 계획

2.1 측량일반

2.1.1 기준의 적용

KDS 47 10 20 측량 및 지반조사 (2.1.1 (1))을 따른다.

2.1.2 측량기준 및 표시

KDS 47 10 20 측량 및 지반조사 (2.1.1 (2))를 따른다.

2.1.3 측량단위 및 표시

KDS 47 10 20 측량 및 지반조사 (2.1.1 (3))을 따른다.

2.1.4 공공측량 협의 및 심사

KDS 47 10 20 측량 및 지반조사 (2.1.1 (4))를 따른다.

2.1.5 측량작업 계획 및 공정관리

KDS 47 10 20 측량 및 지반조사 (2.1.1 (5))를 따른다.

2.1.6 측량기기의 사용

KDS 47 10 20 측량 및 지반조사 (2.1.1 (6))을 따른다.

2.1.7 감독자의 의무

- (1) 감독자는 「2.1.5」에 따라 수급인이 제출한 작업계획서를 검토하여 승인하며, 미비점이 있을 시 보완을 요구할 수 있다.
- (2) 감독자는 측량업무 수행기간 중 현장에 상주하여 검측용 장비를 직접 갖추고 구조물위치 및 규격확인, 공사측량의 정확도관리 등을 해야 한다.
- (3) 감독자는 철도기준점측량, 설계확인측량, 시공측량 및 준공측량 등과 같은 주요측량에 대하여 확인해야 한다.
- (4) 감독자는 수급인으로부터 제출받은 모든 측량성과품에 대하여 이 지침 준수여부를 확인하고 정확도관리표를 작성한 후 그 결과에 따라 보완 또는 승인여부를 결정해야 한다.

2.1.8 측량의 정확도관리

- (1) 감독자는 측량의 정확도를 확보하기 위하여 「2.1.7의 (2)」에 따라 확인측량을 수행하여 정확도관리표(별지 제9호 서식~별지 제16호 서식)를 작성해야 한다.
- (2) 수급인은 각 공정별 작업착수부터 종료까지 기간 중 적절한 시기에 주요시설물 위치를 측량하여 그 결과를 감독자에게 제출하여야 하고, 감독자는 이를 확인하여 측량의 정확도를 관리한다.

2.1.9 측량성과 등의 제출

- (1) 수급인은 측량의 성과 및 측량기록 등을 감독자에게 제출해야 한다.



(2) 「(1)」항의 성과품에는 공중별 참여측량기술자가 서명해야 한다.

(3) 「2.4.1 (2)의 ③, ⑥」의 설계확인측량과 준공측량성과품에는 측량기술자의 기술검토서가 첨부되어야 한다.

2.1.10 측량성과 등의 검사

(1) 감독자는 「2.1.9」에 의하여 제출된 성과품을 이 지침에 따라 검사해야 한다.

(2) 감독자는 「(1)항」에 따라 검사한 내용 중 측량허용오차를 초과하거나 미비사항에 대하여는 수급인에게 보완 및 재측량을 지시해야 한다.

2.1.10 공공기준점 성과심사

(1) 철도 공공기준점(이하 “철도기준점”이라 한다) 측량은 「2.3.4 실시설계를 위한 측량」의 첫 단계에 시행한다. 단, 사업특성상 철도기준점측량에 앞서 다른 측량을 수행하고자 할 때에는 감독자의 승인을 얻어야 하며, 철도기준점측량이 완료되면 이에 기준하여 앞서 수행한 성과표 등을 재작성해야 한다.

(2) 철도기준점측량은 「2.2」에 따라 국토교통부장관의 승인을 얻은 후 수행하고, 그 성과품은 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」 제18조 제4항에 의거 관계심사기관의 심사를 거쳐 공공기준점성으로 고시되어야 한다.

2.2 철도기준점측량

2.2.1 철도기준점측량 일반사항

(1) 수급인은 「2.1.5」에 따라 작업착수 전에 다음 각 호의 사항을 고려한 작업계획서를 작성하여 감독자에게 제출해야 한다.

① 기준점배치도, 기준점망도는 과업내용과 현지여건을 고려하여 작성한다.

② GNSS위성의 최신정보를 수집하여 작성한다.

③ 철도설계기준에서 정한 철도기준점의 평면 및 표고 정확도를 확보할 수 있는 방법을 선정해야 한다.

(2) 이외에 철도기준점측량 일반사항은 KDS 47 10 20 측량 및 지반조사 (2.1.2 (1)의 ①, ②)를 따른다.

(3) 철도기준점은 다음 각 호의 사항과 같이 설치해야 한다.

① 철도기준점 설치장소는 지반이 변위할 우려가 없어야 하고 후속 측량을 위하여 상공시계 및 인접 점간의 시통이 양호하여야 하며 GNSS수신기 등을 사용하기 위하여 전파수신 장애가 없는 곳을 선정해야 한다.

② 철도기준점은 실시설계시 확정된 노선을 따라 약 500m 간격으로 설치하는 것을 원칙으로 하며 산악지, 도심지 등에서 일정간격으로 설치할 수 없는 경우 감독자와 협의하여 기준점설치 간격을 조정할 수 있다.

③ 철도기준점의 재료 및 설치규격은 「공간정보의 구축 및 지적에 관한 법률 시행규칙」 제3조에 의한 [별표 3]과 같다.

- (5) 신설 철도노선 건설시 측량오차를 최소화하기 위하여 신설노선 전체에 대한 철도기준점을 우선 구성해야 하며, 이후 설계구간별로 실시설계를 위한 중간점, 중심선 측량 등을 시행해야 한다.

2.2.2 철도기준점 평면위치측량

- (1) GNSS관측을 위한 도형의 세기 및 표고결정 방법 등을 고려하여 다음 각 호의 사항과 같이 관측계획도를 작성해야 한다.
- ① 위성기준점, 통합기준점, 삼각점, 철도기준점, 수준점등으로 관측망을 구성한다.
 - ② 관측망은 삼각형, 사각형 또는 이를 혼합하여 구성한다.
 - ③ 표고 기지점(고정점)은 수준점 및 「2.2.3 철도기준점의 표고측량」에 따라 표고가 결정된 철도기준점으로 하며, 표고 기지점의 배점밀도는 약 2km에 1점 이상으로 한다.
 - ④ 이외에 관측계획도 작성 관련사항은 KDS 47 10 20 측량조사 (2.1.2 (2)의 ①)을 따른다.
- (2) GNSS관측에 사용하는 수신기는 다음에 표시한 성능이상의 것이어야 한다.
- ① 수신주파수 : L1, L2(2주파수)
 - ② 수신가능 채널 수 : 12채널 이상
 - ③ 정밀도 : $\pm(5\text{mm}+1\text{ppm}\times D)$ 다만, D: 거리(km)
- (3) GNSS관측은 다음 각 호의 사항을 준수하여 실시해야 한다.
- ① GNSS관측은 세션 모두 정적간섭측위방법으로 실시한다.
 - ② GNSS관측에 사용하는 위성은 다음과 같다.
가. 고도각은 원칙적으로 15° 이상일 것
나. 위성의 작동 상태가 정상일 것
다. 동일 체계 GNSS 위성이 4개 이상 동시에 수신될 것
라. 관측시 GDOP 이 6 이하일 것
 - ③ GNSS관측 전에 GNSS위성의 최신 운행정보·위성배치 및 사용하는 위성기준점의 운용상황을 확인하고 적정한 조건에서 실시되도록 관측계획표를 작성하고, 이에 따라 관측해야 한다.
 - ④ GNSS관측의 입력단위 및 자릿수는 <표 1>과 같다.

항목	단위	자릿수	비고
경·위도	도·분·초(WGS-84)	0.0001	자동입력 기능이 있는 기종은 자동입력
표 고	m(WGS-84)	0.001	
안테나	m	0.001	

표 1. GNSS관측의 입력단위 및 자릿수



- ⑤ GNSS관측은 세션단위로 실시하며, 세션 당 관측시간 등은 다음 <표 2>를 표준으로 한다.

표 2. GNSS관측 표준

구 분	기지점과 신점간 관측거리	
	10km 초과	10km 이하
세션관측시간	4시간 이상	2시간 이상
데이터 취득간격	30초	30초
세션간의 중복 점수	2점 이상	2점 이상

- ⑥ GNSS측량에 있어 다음 사항을 주의해야 한다.

가. 안테나는 정해진 방향을 북으로 향하게 설치한다.

나. 안테나의 주위 10m이내에는 자동차 등의 접근을 피해야 한다.

다. 관측 중에는 무전기, 기타 주파수 발진장치의 사용을 금한다. 다만, 부득이한 경우에는 안테나로부터 100m 이상의 거리에서 사용한다.

- ⑦ GNSS측량중의 상황(천후, 상공의 시통, 주위상황 및 기타 필요하다고 인정하는 것) 등을 GNSS관측수부에 기록한다.

- (4) GNSS관측이 종료되면 기선해석, 점검계산, 평균계산 등을 다음과 같이 실시하며, 이외의 사항은 「삼각점측량 작업규정(국토지리정보원)」에 준한다. 계산의 단위 및 자릿수는 <표 3>과 같다.

표 3. 기선해석 계산단위 및 자릿수

구분	단위	자릿수
거리	m	0.001
기선벡터	m	0.001
표고	m	0.001

- ① 기선해석

가. GNSS위성의 궤도요소는 정밀력 또는 방송력에 의한다.

나. 당해 관측지역과 가장 가까운 위성기준점, 통합기준점 및 삼각점 2점 이상을 기지로 하여 실시한다. 그 다음의 기선해석은 바로 전의 기선해석에서 구하여진 GRS80 좌표값을 사용하여 순차 해석 한다.

다. 기선해석의 방법은 세션마다의 단일기선해석에 의한다.

라. 기선해석은 세션도에 있는 전 기선벡터를 산출한다.

마. 사이클슬립의 편집은 원칙적으로 기선해석프로그램에 의하여 자동편집이나 수동편집을 할 수도 있다. 또한 수동으로 편집한 경우는 GNSS관측기록부에 기재한다.

바. 기선해석의 결과는 FIX해(고정해)에 의한다.

아. 기선해석의 결과를 기초로 GNSS관측기록부(별지 제7호 서식)를 작성한다.

② 점검계산 및 재측

가. 관측 종료 후에는 신속하게 정해진 점검계산을 해야 한다. 점검계산은 단위 삼각망의 환폐합차 및 중복 관측된 기선벡터의 교차를 구하며, 허용범위는 <표 4>에 의한다.

표 4. 철도기준점 평면위치측량의 허용범위

대상	점검사항	허용범위	비고
단위삼각망	기선해석에 의한 ΔX , ΔY , ΔZ , 각 성분의 폐합차	$2\text{PPM} \times \sum D$	D : 사거리(km)
중복관측변	기선해석에 의한 ΔX , ΔY , ΔZ , 각 성분의 교차	20mm	

- PPM(Part Per Million) : 백만분율(10⁻⁶)

나. 점검계산결과 <표 4>의 허용범위를 초과한 경우에는 재측해야 한다.

③ 평균계산은 다음 각 호와 같이 실시한다.

가. 점검계산 등 종료 후에는 평균계산에 의하여 지구중심 3차원 직각좌표, 측지경위도, 평면직각좌표 및 표고를 결정해야 한다.

나. 전체관측지역에 대한 망평균계산으로 위성기준점, 통합기준점, 삼각점, 기존 철도 기준점의 평면위치, 수준점과 「2.2.3 철도기준점 표고측량」에 따라 표고가 결정된 철도기준점의 표고를 고정하여 실시한다.

(5) 철도기준점의 평면위치측량의 성과품은 다음 각 호와 같다.

① 데이터 수록 파일(GNSS측량)

가. 라이넥스 포맷 데이터(Rinex Format Data) 1식

나. 기선해석결과 데이터 1식

다. 망평균계산결과 데이터 1식

② 관측기록부(편집관측 및 수준측량)

가. 수평각, 연직각, 변장관측기록부(별지 제6호 서식)

나. 수준측량 관측기록부(별지 제5호 서식 또는 전자레벨 고유서식)

③ 계산부

가. 관측상황도(GNSS측량)

나. 기선해석결과표

다. 기선해석도

라. GNSS 정확도 관리표(별지 제1호 서식)

마. GNSS 관측 기록부(별지 제7호 서식)

바. 평균계산부



사. 수준측량계산부(별지 제3호 서식)

아. 편심보정계산부(GNSS측량에서 편심관측시)

④ 성과표(별지 제2호 서식)

가. 철도기준점 성과표

나. 삼각점 성과표

⑤ 철도기준점 점의조서(별지 제4호 서식)

⑥ 국가기준점 조사서

⑦ 보고서 : 보고서에 기재되어야 할 사항(「3.3 철도기준점 표고측량」에도 준용한다.)

가. 과업의 내용

나. 측량방법

다. 측량시 발생한 문제점 및 처리내용

라. 철도기준점의 점의조서와 성과(X, Y, H)

마. 기타 감독자가 요구한 사항

⑧ 기타 감독자가 정한 성과품

⑨ 위 각호의 모든 성과품이 수록된 전자매체 파일

2.2.3 철도기준점의 표고측량

(1) 철도기준점의 표고측량은 다음 방법에 의하여 실시해야 한다. 다만, 이 지침에서 정한 이외의 사항은 「공공측량 작업규정」 중 2급 공공수준점에 관한 규정을 준용하여 실시한다.

① 1·2등 수준점, 1·2급 공공수준점, 철도기준점을 연결하는 수준노선을 선정하여 실시한다.

② 1·2등 수준점, 1·2급 공공수준점, 또는 표고가 결정된 철도기준점을 시발점으로 하여 다른 기지점에 결합하는 것을 원칙으로 한다.

(2) 관측시에는 다음 사항을 준수해야 한다.

① 관측은 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률 시행규칙」 제102조에 의한 1급레벨(전자레벨) 이상의 성능을 가진 측량기와 인바합금 또는 전자레벨용 바코드 표척을 사용한다.

② 왕복관측을 원칙으로 하고 최대 시준거리는 60m 이내로 하며 읽음은 1mm(전자레벨의 경우 0.1mm) 단위로 한다.

③ 수준점간 관측정확도를 점검하기 위하여 약 10측점마다 견고한 지점에 고정점을 설치하고 왕복관측에서 공동으로 사용한다.

④ 전·후시 표척거리는 스타디아선에 의하여 m 단위로 측정하고 관측기록부(별지 제5호 서식)에 기록한다.

(3) 점검계산 및 재측은 다음 사항을 준수해야 한다.

① 철도기준점의 수준측량에서 왕복 관측값에 대한 교차 및 폐합차의 허용범위는 <표 5>와 같다.

표 5. 철도기준점 평면위치측량의 허용범위

대상	점검 사항	허용 범위	비고
수준노선	왕복차	$5\text{mm} \sqrt{S}$	S : 편도거리(km)
	기지점간 결함오차	$15\text{mm} \sqrt{S}$	
수준환	환폐합차	$5\text{mm} \sqrt{S}$	

- ② 점검계산결과 왕복관측값의 교차, 기지점간 결함오차 및 환폐합차가 <표 5>의 허용범위를 초과한 경우에는 재측해야 한다.
- (4) 철도기준점의 표고는 수준망평균계산을 시행하여 결정하여야 하며 그 최종성과는 mm 단위까지 구해야 한다. 다만, 철도기준점의 설치위치가 산지 또는 건물옥상 등으로 직접수준측량이 불가능할 경우에는 GNSS측량으로 표고를 구할 수 있으나 이때 결정된 표고는 후속측량시 표고의 기지점 성과로 사용할 수 없다.
- (5) 직접수준측량이 불가능한 하천, 바다 등의 수준노선연결은 도하(해)수준측량을 실시하여야 하며 측량방법은 「국가삼각점측량 작업규정」의 2등 수준측량에서 정하는 방법에 따른다.
- (6) 철도기준점의 표고측량 성과품은 다음 각 호와 같다.
- ① 관측망도(1/50,000~1/25,000)
 - ② 관측기록부(별지 제5호 서식 또는 전자레벨 고유서식)
 - ③ 수준측량계산부(별지 제3호 서식)
 - ④ 수준점 조사서
 - ⑤ 위 호의 모든 성과품이 수록된 전자매체 파일

2.3 노반 및 기타공사의 설계를 위한 측량

2.3.1 노반설계측량 일반

노반 설계를 위한 측량과정은 <그림 1>과 같다. 단, 실측단계에서 사업특성상 철도 기준점측량에 앞서 항공사진측량에 의한 지형도 작성 이 필요한 경우는 감독자의 승인을 얻어 순서를 조정할 수 있다.

2.3.2 답사

KDS 47 10 20 측량 및 지반조사 (2.1.3 (1))을 따른다.

2.3.3 예측

KDS 47 10 20 측량 및 지반조사 (2.1.3 (2))를 따른다.

2.3.4 실시설계를 위한 측량



- (1) 당해 설계측량이 공공측량에 해당될 때에는 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」 제17조 제2항의 규정에 따른 공공측량작업규정을 작성하여 국토교통부장관의 승인을 받은 후 작업을 실시하고, 완성된 측량성과품은 「같은 법률」 제18조에 따라 소정의 공공측량성과 심사를 받아야 한다.
- (2) 수급인은 「2.1.5」에 의한 설계측량을 위한 작업계획서를 작성하여 감독자에게 제출하여 승인을 받은 후 작업을 수행하여야 하고, 설계측량과 관련된 모든 성과품에는 작업을 수행한 측량기술자가 서명·날인해야 한다.
- (3) 감독자는 기준점, 중심선 및 중·횡단측량 결과를 항공사진측량 등에 의하여 작성된 지형현황도에 투영하여 성과품을 상호 비교·검토하여야 하며, 허용정확도에 미치지 못하는 성과품에 대하여는 수급인으로 하여금 보완 또는 재작업을 하도록 해야 한다.
- (4) 설계측량의 기준제공, 공사 및 유지관리 등을 위한 철도기준점은 「2.2.2 및 2.2.3」에 따라 설치한다.

(5) 지형현황측량

KDS 47 10 20 측량 및 지반조사 (2.1.4 (3))을 따른다.

(6) 중간점(TP)설치는 다음 각 호의 사항을 준수해야 한다.

- ① 설계측량을 원활히 수행하기 위하여 철도기준점 사이의 구간에 중간점을 설치할 수 있다.
- ② 중간점에는 규격품(45mm×45mm×50mm)의 목재 또는 플라스틱재 표지를 견고하게 설치해야 한다. 다만, 지형여건에 따라 감독자의 승인을 받은 후 금속재표지를 매설할 수 있다.

(7) 중간점측량은 다음 사항을 준수해야 한다.

- ① 철도기준점을 기지점(고정점)으로 하여 중간점측량을 실시해야 한다.
- ② 중간점측량에 사용되는 기기는 다음 성능 이상의 것이어야 한다.

가. 거리측량기 : $\pm(2\text{mm}+2\text{ppm}\times D)$ 다만, D: 관측거리(km)

나. 각 측량기 : 최소 독취값 1초

다. GNSS수신기 : L1, L2(2주파수)

라. 레벨 : 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」 제102조의 규정에 의한 3급레벨

③ 중간점의 측량방법은 다음과 같다.

가. 트래버스측량(Traverse Surveying)

KDS 47 10 20 측량 및 지반조사 (2.1.4 (2) ②의 가.)를 따른다.

나. GNSS측량

KDS 47 10 20 측량 및 지반조사 (2.1.4 (2) ③의 가.)를 따른다.

다. 수준측량

㉠ 수준측량은 「공공측량 작업규정」의 3급 공공수준점에 관한 규정을 준용하여 실

시한다.

- ㉔ 이외에 수준측량 방법 및 허용범위 관련 내용은 KDS 47 10 20 측량 및 지반조사 (2.1.4 (2) ④)를 따른다.

(8) 중심선측량은 다음 각 호의 사항을 준수해야 한다.

- ① 설계내용에 따른 노선을 따라 현지측량을 실시하고, 이때 중심선 말뚝을 현장에 측설해야 한다.
- ② 중심선측설 간격은 20m로 하고 지형상 종·횡단 변화가 심한 지점, 구조물 설치점, 곡선부의 시·종점 등에는 중간말뚝을 설치해야 한다.
- ③ 중심선에는 적색의 규격품(30mm×30mm×450mm)의 목재 또는 플라스틱재 표지를 견고하게 설치해야 한다. 다만, 지형여건에 따라 감독자의 승인을 받은 후 금속재표지를 매설할 수 있다.
- ④ 하천, 해안, 도심지 등 장애물이 많은 지역에서는 사전 감독자의 승인을 얻어 중심선 측설간격을 20m 이상으로 할 수 있다.
- ⑤ 중심선측설을 위한 측량시 철도기준점 또는 중간점을 기지점으로 사용해야 한다.
- ⑥ 중심선측설을 위한 측량은 다음과 같이 실시한다

가. 중심선은 「2.3.4의 (7) ②」의 기기를 사용하여 측설해야 한다.

나. 네트워크 RTK 관측방법으로 중심선을 측설할 경우에는 먼저 기지점간 기선벡터를 확인하고 작업을 수행하며 기지점으로부터 구하는 측점간 거리는 500m 이내로 한다.

다. TS를 이용하여 트래버스측량법 또는 좌표법에 의한 중심선 측설시 거리관측 데이터는 기상보정, 구면보정, 좌표계에 의한 평면거리보정을 한 후 좌표계산을 위한 거리로 사용해야 한다. 다만, 측정거리가 200m 이내일 때는 기상보정이외의 거리보정은 생략할 수 있다.

라. 한 기지점에서 여러 지점(중심선 및 주요구조물)을 관측할 경우에는 1개 지점 이상은 다른 기지점에서 중복관측을 수행하여 그 위치의 교차를 확인해야 한다.

마. 설계측량시 중심선측량의 목표 정확도는 30mm 이내로 한다.

바. 점검측량은 인접하는 중심점간의 설계도서상 거리와 현장 측정값과의 교차를 구하며, 교차의 허용범위는 중심점간의 설계도서상 거리를 s 라 할 때, 평지에서 $s/3,000$, 산지에서 $s/2,000$ 이다.

(9) 종단측량은 현지에 측설된 중심선의 표고를 측량하는 작업으로서 철도기준점 및 중간점을 기지점으로 하여 다음 각 호의 사항을 준수해야 한다.

- ① 종단측량은 철도기준점 또는 중간점으로부터 폐합 또는 결합수준측량 방식에 의하여 실시하되 최대 시준거리는 70m 이내로 하고 표척은 1mm 단위까지 읽는다.
- ② 종단측량(수준측량)의 오차제한은 <표 7>과 같다.
- ③ 종단측량은 지형 및 기타 주변여건에 따라 직접수준측량이 불가능한 산림지, 도심지



- 등의 경우에는 사전 감독자의 승인을 얻어 TS, GNSS 등에 의한 간접수준측량을 할 수 있다.
- ④ 종단표고는 「2.3.3 철도기준점의 표고측량」에 따라 구하여진 결과에 100m를 더하여 사용하며, 기존 철도와 연결할 때에는 시공면 관계를 철저히 확인해야 한다. 이때 수준표고 차이가 있을 때에는 기존철도에 수준과정을 설정하고 보고서와 관련도면에 이를 명기한다.
 - ⑤ 종단도면은 「철도분야 전자도면 작성표준」에 따라 제1종 선로종단면도(가로 1/1,000, 세로 1/400) 등을 작성한다. 다만, 축척을 변경할 때에는 감독자의 승인을 얻어야 한다.
 - ⑥ 선로중심선이 하천, 저수지 및 홍수 시 범람지구를 경유할 경우에는 평수위와 과거 최대홍수위 및 발생연월일을 조사해야 하고, 해안에 근접할 경우에는 약 최고고조면 및 평균해면을 조사해야 한다.
- (10) 횡단측량은 중심말뚝이 설치된 지점에서 중심말뚝을 기준으로 하여 중심선의 직각방향 좌·우 지반고가 변화하고 있는 지점의 표고와 거리를 측정하는 작업으로서 다음 각 호의 사항을 준수해야 한다.
- ① 횡단면의 표고 및 거리측량은 TS 및 GNSS에 의한 3차원 측량으로 실시함을 원칙으로 한다.
 - ② 횡단측량의 폭(범위) 등은 설계조건과 작업지역의 지형여건에 따라 시설물의 설치에 지장없는 용지폭 이상으로 하고, 횡단면의 경계변화가 심한 곳에서는 중심선측설 간격과 관계없이 횡단측량을 한다.
 - ③ 횡단측량시 지하시설물을 포함한 지상구조물은 재질, 형태, 명칭, 용도와 지하시설물의 경우 지하시설물탐사장비 등에 의해 측정된 지하심도 등을 별도로 기록해야 한다. 다만, 지하시설물도의 입수가 가능한 경우에는 감독자의 허락을 받아 이를 횡단면도 작성에 사용할 수 있다.
 - ④ 중심선이 하천 또는 해안에 근접 또는 통과할 때에 그 지역의 하상형태와 평수위, 홍수위 등을 측량·조사해야 한다.
 - ⑤ 횡단도면은 도면제작프로그램 등의 컴퓨터 소프트웨어에 의하여 작성하되 축척은 1/100로 하며, 축척을 변경할 때에는 감독자의 승인을 얻어야 한다.
- (11) 용지경계표 설치측량 관련 내용은 [KDS 12 20 05 도로 및 철도 설계측량 \(4.1.7 \(2\)\)](#)를 따른다.
- (12) 중심 및 종·횡단측량의 계산결과 및 수량은 다음과 같이 표시·산출한다.
- ① 중심 및 종·횡단측량의 계산결과는 <표 6>과 같이 표시한다.

표 6. 측량좌표 등의 계산결과표시

측량	구분	방위각 (방향각)	거리	표고	좌표값	
					경위도(BL)	X, Y
	단위	초	m	m	초	m
중심선 측량	자릿수	0.1	0.001	0.001	0.001	0.001
중 · 횡단 측량	자릿수	1	0.01	0.01	0.01	0.01

② 토공량 등의 수량은 중 · 횡단측량데이터를 기초로 하여 양단면 평균법 등에 의해 산출한다.

(13) 수급인은 설계측량을 수행하고 다음 각 호의 성과품을 감독자에 제출해야 한다.

① 철도기준점측량

「2.2.2의 (5) 및 2.2.3의 (6)」에 의한 철도기준점의 평면위치 및 표고측량성과품

② 지형현황측량

공공측량 작업규정에 의한 「항공사진측량 작업 및 성과에 관한 규정」 성과품 또는 TS 등에 의한 현황측량성과품

③ 트래버스측량

가. 관측망도

나. 관측기록부(별지 제6호 서식)

다. 트래버스좌표계산부(별지 제8호 서식)

라. 성과표(별지 제2호 서식)

④ 수준측량

가. 관측망도

나. 수준측량 관측기록부

다. 수준측량계산부(별지 제3호 서식)

라. 성과표(별지 제2호 서식)

⑤ GNSS측량

가. 데이터가 수록된 파일(라이넥스 포맷 데이터, 기선해석결과데이터, 망평균결과데이터)

나. 관측망도

다. GNSS관측기록부(별지 제7호 서식)

라. 관측상황도

마. 기선해석결과표(GNSS 제조사 고유 양식)

바. 정도관리표(별지 제1호 서식)

사. 망평균계산부(GNSS 제조사 고유 양식)

아. 성과표(별지 제2호 서식)

⑥ 중심 및 중 · 횡단측량



가. 관측기록부(중·횡단측량)

나. 중·횡단도면(도면과 도면제작프로그램 등에 수록된 파일)

⑦ 사진첩

각 공종별 작업광경 및 작업지역의 특이사항 등을 디지털카메라로 촬영한 사진첩

⑧ 보고서

보고서에 기재되어야 할 사항은 다음과 같다.

가. 과업의 목적 및 내용

나. 측량방법

다. 측량시 발생한 문제점 및 처리내용

라. 철도기준점의 점의조서와 성과표

마. 중심선성과표(선형계산부)

바. 중·횡단도면

사. 기타 감독자가 정한 성과품

자. 위 각 목의 모든 내용과 성과품이 수록된 파일

(14) 용지 및 지장물조사는 다음 각 호의 사항을 준수해야 한다.

① 조사에 따른 성과품은 「공익사업을 위한 토지 등의 취득 및 보상에 관한 법률」에 의한 보상자료로 실제 활용될 수 있어야 한다.

② 이 지침에 명시되지 않는 사항은 「부동산 가격공시에 관한 법률」·「공익사업을 위한 토지 등의 취득 및 보상에 관한 법률」및 기타 관계법령과 규정에 따라 조사·작성하여야 하며, 조사기준 등은 다음과 같다.

가. 수급인은 조사계획서를 작성하여 감독자의 승인을 얻어야 하며, 조사계획서에는 조사기간 및 작업인원, 범위, 세부사항, 작성서식 등이 포함되어야 한다.

나. 토지조사는 지적도와 당해 측량에서 작성된 용지도를 참조하여 등기부등본 및 지적도(임야도) 등을 해당 시, 군, 구에서 발부받아 공부조사를 실시하고, 이를 기초로 현장조사를 실시하여 토지에 대한 일반사항(면적, 지목 등)과 권리관계(소유자 및 관계인)를 조사한다.

다. 과업지역에 편입되어 조사를 요하는 지장물에 대하여는 공부조사와 현장조사 및 측량을 실시해야 한다.

라. 지형도 지적도가 중첩된 용지도는 축척 1/1,000로 작성한다. 용지도상에는 대상구역 경계선, 행정구역명, 지번, 지목, 중요물건(가옥, 분묘, 전주, 지하매설물 등), 토지의 실제이용사항 등을 표시한다.

③ 이외 사항은 KDS 47 10 20 측량 및 지반조사 (2.1.6)을 따른다.

(15) 수급인은 용지 및 지장물 조사가 완료된 후 다음의 관련 성과품을 감독자에게 제출해야 한다.

① 용지도(지형·지적합성)

- ② 용지 및 지장물현황조서(파일포함)
- ③ 성과품작성 근거자료 : 토지대장(임야대장), 지적도(임야도), 건축물관리대장, 등기부 등본(토지 및 건물), 기타 근거자료
- ④ 각종 사진첩
- ⑤ 감독자가 별도로 요구한 자료
- ⑥ 위 각 호의 모든 성과품이 수록된 파일

2.4 노반 및 기타공사 시공측량 및 시설물 유지관리 측량

2.4.1 노반 및 기타공사 시공측량

- (1) 노반 및 기타공사 시공측량(이하 “시공측량”이라 한다)은 이 지침에 따라 실시해야 한다.
- (2) 수급인은 다음 각 호의 사항을 준수해야 한다.
 - ① 시공측량의 원활한 추진을 위하여 측량기술자를 포함한 소정의 인원을 현장에 배치해야 한다.
 - ② 시공측량을 시작하기 전에 측량계획을 수립하여 감독자의 승인을 받아야 한다. 시공측량 작업계획서는 「2.1.5 측량작업 계획 및 공정관리」에 따라 작성하여 감독자에게 제출해야 한다.
 - ③ 공사 착공 후 60일 이내에 당해 공사에 대한 설계확인측량(철도기준점, 중심선, 종·횡단, 용지경계, 수량산출 등)을 실시하여 설계도서 등과의 상이점을 확인하고 그 결과를 감독자에게 보고해야 한다.
 - ④ 공사 시공 시 측량성과에 관련된 모든 성과품은 측량기술자가 서명 날인 후 감독자에게 제출해야 한다.
 - ⑤ 감독자는 중간점, 임시수준점, 중심선 및 종·횡단 측량지점, 용지폭말뚝설치지점, 경계지점, 주요시설물설치지점 등에 대하여 작업의 진행 또는 완료시점에 검수지점을 선정하여 직접 확인측량에 의한 정확도 관리표를 작성해야 한다.
 - ⑥ 공사 준공 시 측량기술자가 실측한 준공도서 및 측량결과를 감독자에게 보고해야 한다.
 - ⑦ 공사 준공 후 시설물 등의 이전, 보수, 변위측정 등을 위하여 영구보존이 가능한 곳에 유지관리기준점을 설치하고 관련 성과품을 감독자에게 제출해야 한다.
- (3) 수급인은 측량의 능률, 편이성, 정확도 확보 등을 위하여 적절한 위치에 다음 각 호와 같이 임시표지기준점을 설치해야 한다.
 - ① 지반이 견고하고 측점상호간을 포함한 후속측량 지역과의 시통이 양호한 위치에 설치한다. 특히 터널 및 교량 등의 주요시설물공사 구간의 시·종점 부근에는 반드시 설치해야 한다.
 - ② 철도기준점이 훼손 또는 변위된 경우에는 설치된 지점 또는 주변에 임시표지기준점으로 복원해야 한다.



- ③ 설치위치와 재료는 「2.2.1의 (3)」의 규정에 의한 철도기준점의 설치 규격과 동일해야 한다.
- ④ 임시표지기준점은 3개월 이상 사용할 수 없다. 다만, 재확인 측량을 실시하여 이상 유무를 확인하고 그 결과에 따라 감독자가 승인하는 경우에는 계속 사용할 수 있다.
- (4) 임시표지기준점측량은 다음 각 호의 사항을 준수해야 한다.
 - ① 임시표지기준점측량은 「2.2.2 및 2.2.3」에 의하여 설치된 철도기준 점의 성과를 기초로 하여 실시해야 한다.
 - ② 임시표지기준점측량은 「2.2.2 및 2.2.3」에 의한 방법에 의하여 실시한다.
- (5) 중간점(TP)의 설치는 다음 사항을 준수해야 한다.
 - ① 노선중심선측설, 터널과 교량 및 주요 구조물 등의 정위치측량을 원활히 수행하기 위하여 철도기준점 또는 임시표지기준점 사이의 구간에 중간점을 설치할 수 있다.
 - ② 중간점은 년1회 이상 기지점으로부터 결합측량을 수행하여 변위여부를 확인해야 한다.
 - ③ 중간점에는 적색의 규격품(45mm×45mm×500mm)의 목재 또는 플라스틱재 표지를 견고하게 설치해야 한다. 다만, 지형여건에 따라 감독자의 승인을 받은 후 금속재표지를 매설할 수 있다.
- (6) 중간점측량은 다음 각 호의 사항을 준수해야 한다.
 - ① 중간점측량은 철도기준점 또는 임시표지기준점을 기지점으로 하여 실시한다.
 - ② 중간점측량에 관한 사항은 「2.3.4의 (7)」을 준용한다.
- (7) 중심선측량은 다음 각 호의 사항을 준수해야 한다.
 - ① 실시설계 내용에 따라 현지측량을 실시하고, 이때 중심선 말뚝을 현장에 측설해야 한다.
 - ② 중심선측설 간격은 20m로 하고 지형상 중·횡 단변화가 심한 지점, 구조물설치지점, 곡선부의 시·종점 등의 지점에는 중간말뚝을 설치해야 한다.
 - ③ 중심선에는 적색의 규격품(30mm×30mm×450mm)의 목재 또는 플라스틱재 표지를 견고하게 설치해야 한다. 다만, 지형여건에 따라 감독자의 승인을 받은 후 금속재표지를 매설할 수 있다.
 - ④ 하천, 해안, 도심지 등과 같은 장애물이 많은 지역에서는 사전 감독자의 승인을 얻어 중심선측설 간격을 20m 이상으로 할 수 있다.
 - ⑤ 중심선측설시 철도기준점, 임시표지기준점, 중간점을 측량기지점으로 사용한다.
 - ⑥ 중심선측설시 관측장비는 「2.3.4의 (7) ②」의 장비와 동등 또는 그 이상의 성능을 가진 것이어야 한다. 다만, 관측거리가 50m 이내일 경우 강철줄자를 사용할 수 있으며 이때 줄자의 처짐, 경사 등에 주의를 해야 한다.
 - ⑦ 곡선구간의 선로중심선은 교량, 터널, 정거장 등의 구조물 중심선과 일치하지 않으므로 다음 사항을 고려해야 한다.
 - 가. 곡선구간에 위치하는 직각교형 교량 구조물중심선(직선)은 선로중심선(곡선)과 2

개 지점에서 교차할 뿐 그 이외 지점에서는 불일치하며, 그 이동량은 교량의 공간에 따라 다르므로, 설계도를 검토 확인하여 구조물중심선을 별도로 측량해야 한다.

나. 곡선구간에 위치하는 터널 및 지하 구조물 중심선은 선로중심선 내측에 위치하며, 그 이동량은 선로의 곡선반경에 따라 다르므로, 설계도를 검토 확인하여 구조물중심선을 별도로 측량해야 한다.

⑧ 중심선측설을 위한 측량은 다음과 같이 실시한다.

가. 네트워크 RTK 측량방법으로 중심선을 측설할 경우에는 먼저 기지점간 기선벡터를 확인하고 작업을 수행하며 기지점으로부터 구하는 측점간 거리는 500m 이내로 한다.

나. TS를 이용하여 중심선측설시 거리관측 데이터는 기상보정, 구면보정, 좌표계에 의한 평면거리 보정을 한 후 좌표계산을 위한 거리로 사용해야 한다. 다만, 측정거리가 200m 이내일 때는 기상보정 이외의 거리보정은 생략할 수 있다.

다. 한 기지점에서 여러 지점(중심선 및 주요 구조물)의 관측을 수행할 경우 1개 지점 이상은 다른 기지점에서 중복관측을 수행하여 그 위치의 정확도를 확인해야 한다.

(8) 표고측량의 효율성을 높이기 위하여 공사구간 내 견고한 구조물 등에 페인트 또는 금속재료 등으로 표시한 임시수준점(TBM)을 설치할 수 있다. 이때 수준측량방법은 「2.3.4의 (7) ③」에 의한 중간점측량의 수준측량방법과 같다.

(9) 공사관리측량 등은 다음 사항을 준수해야 한다.

① 수급인은 모든 구조물의 설치좌표를 설계도면으로부터 계산하고 이를 감독자에 보고하여 검토승인을 받아야 한다.

② 구조물의 정위치결정 및 공사관리측량 등은 철도기준점, 임시표지기준점, 중간점(TP), 임시수준점을 기지점으로 하여 실시해야 한다.

③ 측량장비의 선정과 위치결정을 위한 측량방법 등은 「2.3.4의 (7) ② 및 ③」을 준용한다. 다만, 토공작업 시에는 네트워크 RTK 관측방법을 사용할 수 있으며, 이때 관측 시작 전과 종료 후에는 반드시 기지점간 기선벡터 확인관측을 실시하여야 하고 관측범위는 기지점으로부터 300m 이내로 한다.

④ 터널, 교량 등의 주요시설물위치지점을 측량할 때에는 2개소 이상의 서로 다른 지점에서 측량을 실시하여 그 위치의 정확성을 비교·확인해야 한다.

⑤ 관측기록부, 계산부, 성과표는 감독자에 제출하여 확인을 받아야 한다.

⑥ 수급자는 공사가 진행 중인 터널, 교량 등의 주요시설물에 대하여 일정기간 또는 수시로 그 위치를 재확인하기 위한 측량을 실시한 후 시공오차, 침하, 변위 등을 확인·점검해야 한다. 이때 감독자는 직접 확인측량에 의한 정확도관리표를 작성(별지 제9호 서식)해야 한다.

(10) 용지경계표지 설치측량은 중심점 등으로부터 중심선에 대하여 직각방향의 용지경



계지점에 다음 각 호와 같이 용지경계표지를 설치하고 측량한다.

- ① 실시설계 당시 설치된 용지경계표지(지적용 표석 및 플라스틱재 표지)지점을 확인 하여야 하며 표지가 훼손된 경우에는 이를 복원·설치해야 한다. 단, 용지경계점의 위치가 실시설계 당시와 경계점 좌표등록부 시행지역에서 100mm이상 차이가 있거나 그 밖의 지역에서 3M/10(M은 지적도면 축척분모) 이상 차이가 있을 때에는 감독자에게 보고하여 검토·승인을 얻은 후 당해표지를 이전·설치해야 한다.
 - ② 용지경계표지에는 분할측량, 지장물조사시 또는 노반 및 기타공사시에 당해 표지를 쉽게 식별할 수 있도록 별도의 **적색 깃발**을 설치해야 한다.
 - ③ 용지경계선상에 있는 구조물 및 지장물 등은 경계측량에 의하여 **페인트칠 또는 스프레이**로 경계구분 표지를 한다.
 - ④ 용지경계표지(구분지상권 설정구간을 제외) 설치구간은 평지구간은 200m 이내, 곡선구간은 **50m** 이내, 산지부 및 **기울기** 심한 곳에서는 거리와 관계없이 **변곡점에 표지를 설치하여 철도 용지와 부속시설물의 용지경계가 명확하도록 하여야 한다.**
 - ⑤ 용지경계측량은 철도기준점, 임시표지기준점, 중간점 및 중심점의 측량성과를 기초로 하여 실시한다.
 - ⑥ 공사 준공시 용지경계가 변경된 부분 및 당초 용지경계표지가 망실된 곳은 용지경계표지를 재설치해야 한다.
 - ⑦ 용지도의 축척은 1/1,000을 표준으로 한다.
- (11) 터널측량은 터널외부측량과 터널내부측량으로 구분하고 작업방법은 다음 각 호와 같다.

① 터널외부측량

가. 터널외부측량은 철도기준점, 임시표지기준점을 기지점으로 하여 중간점설치와 중심선측설 순서로 측량해야 한다. 특히 터널측량에 사용될 기지점은 터널노반공사가 완료될 때까지 변위·훼손될 우려가 없어야 하며, 변위여부를 수시로 확인·검측해야 한다.

나. 터널의 입구 및 터널가설계획시 필요한 지형현황측량은 1/1,000 이상으로 상세하게 TS 또는 GNSS측량에 의한 수치현황측량방법으로 실시하여야 하며, 측량범위와 축척결정은 지형여건에 따라 감독자가 결정한다.

② 터널내부측량

가. 터널내부측량시 모든 측량성과는 터널외부 기지점으로부터 터널수직작업구 또는 작업터널을 통하여 결정되어야 한다.

나. 터널내부에 설치되는 중간점은 공사진행 상황에 따라 금속표지, 콘크리트 등으로 견고하게 설치하여 시공 중에 변위·훼손될 우려가 없어야 한다.

다. 곡선터널내부에서는 구조물중심선과 선로중심선을 구분하여 측량해야 한다.

라. 굴진방향 및 중심선위치 등의 결정을 위하여 터널 내에 설치되는 중간점의 검측은

터널굴진의 속도에 따라 적당한 빈도로 터널외부 기지점으로 부터 확인측량을 실시하여야 하며, 동 확인측량은 최소 1개월에 1회 이상 실시해야 한다. 다만, 감독자의 요구가 있을 때에는 수시로 실시할 수 있다.

마. 측량작업시에는 관측에 지장이 없도록 조명, 환기 및 타 작업공정간의 마찰이 적은 시간대 측정 등의 필요한 조치를 강구하여야 하며, 특히 측량 중에는 굴착, 발파, 수송 등의 진동을 수반하는 작업을 중지해야 한다.

바. 터널이 관통되면 터널시점 부근의 외부기준점과 터널내부의 중간점들을 트래버스 및 수준망으로 연결하여 터널종점 부근의 외부기준점에 결합하는 트래버스측량을 실시하여 허용정확도 확인 및 오차배분을 하여 중간점의 좌표(X, Y, H)를 재결정하고 이들을 기준으로 하여 중심선의 위치를 확인·측설해야 한다. 이때 트래버스망의 방향각 결합차는 $7'' + 8'' \sqrt{n}$ (n: 측각수) 이내로 하며, 평면위치의 결합비(정확도)는 1/40,000 이하이어야 하고, 그 평면위치의 결합차는 50mm 이내이어야 한다. 또한, 수준망의 폐합차의 제한은 $15\text{mm} \sqrt{S}$ 이내로 한다. 다만, S: 관측거리(편도, km 단위)

사. 내공단면 및 선형관리를 위하여 터널 굴착시 20m 이내의 간격으로 관련된 측량을 실시하여야 하며, 이때 터널 내공단면 위치와 형태는 무타켓 기능을 가진 TS 또는 전자관측 장비를 사용하여 측량해야 한다. 이 때 내공단면측량 오차의 허용 범위는 30mm 이내로 하며, 단면측정시 단위 단면의 측정 간격은 500mm 이내로 한다.

(12) 수급인은 「2.4.1의 (2) ③」에 의한 유지관리기준점을 다음 각 호와 같이 측량·설치하고 그 성과품을 감독자에게 제출해야 한다.

- ① 유지관리기준점의 표지의 재료 및 설치는 「2.2.1의 (4) ③」에 의한다. 다만, 터널·교량구간 등은 감독자와 협의하여 적당한 위치에 설치한다.
- ② 유지관리기준점은 지반변위가 없고 시통이 양호한 시공노반주변에 약 500m의 간격으로 견고하게 설치해야 한다. 다만, 기 설치된 철도기준점이 유지관리에 적합한 경우에는 감독자와 협의하여 유지관리기준점으로 활용할 수 있다.
- ③ 유지관리기준점측량의 평면위치(X, Y)는 「2.2.3」 또는 「2.3.4의 (7) ③」에 의한 측량을 실시하여 결정해야 한다. 다만, 트래버스망의 관측변은 8변(터널은 18변) 이내로 한다. 표고는 「2.2.4」의 규정에 의한 측량을 실시하여 결정해야 한다.
- ④ 설치된 유지관리기준점에 대하여는 약도, 좌표, 주소 등을 상세하게 기록한 점의조서를 별지 제4호 서식에 의하여 작성해야 한다.

(13) 시공측량 성과의 계산결과는 [별표 1]의 측량 최소단위까지 표시한다.

(14) 준공검사는 다음 각 호의 사항을 준수해야 한다.

- ① 감독자는 「(2)의 ⑥ 및 ⑦」에 의한 준공측량의 성과품에 대하여 준공검사를 수행해야 한다.



② 다음 지점에 대하여는 감독자가 유지관리기준점 또는 철도기준점을 기지점으로 확인측량을 실시하고 정확도관리표를 작성해야 한다.

가. 준공검사시 감독자의 확인측량을 위하여 직선구간 200m, 곡선구간 100m 간격으로 중심선의 위치를 현지 노반면에 설치(표시)한 지점

나. 교량의 교각 중심

다. 기타 감독자가 지정한 중심점 및 주요 구조물

(15) 수급인은 「(2)의 ③」에 의한 설계확인측량을 실시하고 다음 각 호의 측량성과품을 감독자에게 제출해야 한다.

① 데이터가 수록된 전자기억매체(GNSS측량)

가. 라이넥스 포맷 데이터 파일 1식

나. 기선해석결과 데이터 파일 1식

다. 3차원 망평균계산결과 데이터 파일 1식

② 관측수부(트래버스측량 및 각, 거리관측, 수준측량)

가. 수평각, 연직각, 변장관측기록부(별지 제6호 서식)

나. 철도기준점의 수준측량 관측기록부(별지 제5호 서식 또는 전자레벨 고유서식)

다. 중·횡단 및 수준측량 야장 또는 전자야장

③ 계산부

가. 관측상황도(GNSS측량)

나. 기선해석결과표

다. 기선해석도

라. GNSS정확도관리표

마. GNSS관측기록부(별지 제7호 서식)

바. 거리계산부(트래버스측량)

사. 다각측량좌표계산부(별지 제8호 서식)

아. 3차원망평균계산부

자. 수준측량계산부(별지 제3호 서식)

차. 편심보정계산부(GNSS측량에서 편심관측시)

카. 수량산출계산부(토적표 등)

④ 성과표(별지 제2호 서식)

가. 철도기준점성과표

나. 임시표지기준점성과표

다. 중간점 성과표(임시수준점 및 인조점 포함)

라. 기준점성과 비교표

⑤ 점의조서(임시표지기준점, 임시수준점, 인조점)(별지 제4호 서식)

⑥ 보고서

보고서에 기재되어야 할 사항은 다음과 같다.

가. 과업의 내용

나. 측량방법

다. 측량시 발생한 문제점 및 처리내용

라. 측량기술자가 서명한 기술검토서

마. 임시표지기준점의 점의조서와 성과(X, Y, H)

바. 성과표 및 비교표

사. 기타 감독자가 요구한 사항

⑦ 종·횡단 도면 : 도면과 도면제작프로그램 등에 수록된 파일

⑧ 기타 감독자가 정한 성과품

⑨ 위 각호의 내용과 성과품이 수록된 파일

(16) 수급인은 「(2)의 ④」 와 「(9)의 ④ 및 ⑤」에 의하여 공사기간 중 수시 또는 공사진척에 따라 정기적으로 실시하는 공사관리측량의 종류 및 관측방법에 따른 「(15)」에 의한 성과품을 감독자에게 제출해야 한다.

(17) 수급인은 다음 각 호의 준공측량 성과품을 감독자에게 제출해야 한다.

① 관측망도

② 기준점성과표(철도기준점, 임시표지기준점, 중간점)

③ 관측기록부(별지 제5호 서식, 별지 제6호 서식, 별지 제7호 서식 참조), 계산부, 성과표, 관측야장(수준, 종·횡단) 등

④ 준공현황도

가. 준공현황도에는 실측된 지형현황 및 구조물 등이 도시되어야 한다.

나. 도식규정 및 도면축척과 허용정확도 등은 실시설계서의 현황도면작성 규정에 의한다.

다. 현황도면은 수치지형 데이터로 작성한다.

⑤ 종·횡단도면

가. 준공된 철도노반, 터널, 주요구조물 현황 등이 실측에 의하여 정확하게 작성되어야 한다.

나. 도식규정 및 도면축척은 실시설계서의 종·횡단 도면 작성규정에 의한다.

다. 종·횡단도면 작성은 도면제작프로그램 등에 의한 수치데이터로 작성한다.

라. 터널 내공단면도는 TS 또는 3D레이저스캐너 등 활용하여 mm 단위로 관측한 후 도면제작프로그램 등에 의한 수치데이터로 작성한다.

⑥ 기타 감독자가 지정한 성과품

⑦ 유지관리기준점

가. 관측망도



나. 관측기록부

다. 계산부(좌표 및 표고)

라. 성과표(별지 제2호 서식)

마. 점의조서(별지 제4호 서식)

⑧ 보고서 : 보고서에 기재되어야 할 사항

가. 과업의 내용

나. 측량방법

다. 측량시 발생한 문제점 및 처리내용

라. 측량기술자가 서명한 기술 검토서

마. 임시표지기준점의 점의조서와 성과(X, Y, H)

바. 성과표 및 비교표

사. 기타 감독자가 요구한 사항

⑨ 위 각 호의 모든 성과품이 수록된 파일

2.4.2 시설물유지관리측량

(1) 시설물유지관리측량은 유지관리측량 및 변위점측량으로 구분하여 실시하며 같은 측량에 관하여 이 지침에서 정한 이외의 사항은 「공공측량작업규정」에서 정하는 바에 따른다.

(2) 시설물유지관리측량은 다음 사항을 준수하여 실시해야 한다.

① 시설물유지관리측량에 종사하는 자는 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」 제39조 제2항의 규정에 의한 측량기술자이어야 한다.

② 시설물유지관리측량의 수급인은 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」 제44조의 규정에 의한 측량업의 등록을 한 자이어야 한다.

③ 수급인은 시설물유지관리측량을 착수하기 전에 「2.1.6」에 의한 작업계획서를 감독자에 제출하여 승인을 얻어야 한다.

④ 시설물유지관리측량과 관련된 모든 성과품에는 「(2)의 ①」항의 측량기술자가 서명·날인을 한 후 감독자에 제출해야 한다.

(3) 시설물유지관리측량의 기준은 다음 사항을 준수해야 한다.

① 유지관리측량은 노반 및 기타공사 준공 시 설치된 유지관리기준점의 측량성과를 기초로 하여 실시해야 한다.

② 변위점측량에서는 지반변위의 우려가 없는 곳에 설치된 가상기준점을 기준으로 할 수 있다. 다만, 사전 감독자의 승인을 얻은 경우에 한한다.

(4) 유지관리기준점이 훼손, 변형 및 이전 등의 사항이 발생하였을 때에는 즉시 복원하여야 하며 복원시의 설치 및 측량방법은 「2.4.1의 (14)」를 준용한다.

(5) 유지관리측량은 다음 사항을 준수해야 한다.

① 시설물의 보수, 보완, 확장, 이전 등에 수반되는 유지관리측량은 「2.3.4의 (7)」을

준용하여 실시하여야 하고 성과품은 「2.3.4의 (13)」에 의한 성과품으로 한다.

- ② 기존 지형현황도의 수정·보완은 TS 또는 GNSS 등에 의한 수치지형측량방법에 의한다.

(6) 변위점측량은 다음 사항을 준수해야 한다.

- ① 변위의 우려가 있는 연약지반, 교량, 터널, 기타 주요 시설물 등에 변위점(금속표식 및 페인트)을 설치하고 수시 또는 정기적으로 변위점측량을 실시하여 침하 및 변위 여부를 확인·점검 및 예측해야 한다.
- ② 변위점측량에서 침하 및 변위가 확인된 때에는 즉시 감독자에게 보고해야 한다.
- ③ 변위측량은 GNSS측량, TS에 의한 측량 및 수준측량으로 구분하며 측량방법은 다음과 같다. 다만, 정확도 확보 등을 위하여 필요하다고 인정될 때에는 감독자의 승인을 얻어 측량방법을 변경할 수 있다.

가. GNSS측량

2주파수(L1, L2)용 GNSS수신기를 사용하여 다음과 같이 측량을 실시하며 견고한 고정점(유지관리기준점 또는 가상기준점)에서 변위점간의 벡터값($\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z$)을 구하여 변위방향과 크기를 산출한다.

- ㉠ 고정점은 2점 이상으로 하고 변위점과의 GNSS연속관측시간은 1시간 이상, 데이터 취득간격은 30초로 한다.
- ㉡ 계산은 후처리 방식으로 한다.

나. TS에 의한 측량

최소 독취값이 1초이고 $\pm(2\text{mm}+1\text{ppm} \times D\text{km})$ 이상의 거리측정정확도 확보가 가능한 기기를 사용하여 다음과 같이 측량을 실시하여 고정점 2점과 변위점간의 방향과 거리를 측량한 후 좌표차를 계산하여 변위량을 산출한다.

- ㉠ 수평각관측은 3대회($0^\circ \cdot 60^\circ \cdot 90^\circ$)를 관측하고 대회간 교차는 3초 이내로 제한하여 평균한다.
- ㉡ 연직각관측은 3대회 관측값을 평균하며 대회간 교차는 3초 이내로 한다.
- ㉢ 거리관측은 (mm 단위 이상 관측) 1시준 3읽음을 1단위로 하고 1단위 관측 후 10분 이상의 간격으로 3단위 관측한다. 각 단위간 교차는 2mm 이내로 한다.

다. 수준측량

고정점을 기준으로 하여 변위점간의 관측값에 의한 고저차를 결정하는 표고(H)측량은 「2.2.2」에 의한 측량방법을 준용한다. 다만, 폐합 및 결합오차조정은 하지 아니한다.

- ④ GNSS측량이 불가능한 터널변위측량은 TS를 활용하여 고정점으로부터 중심선 및 내공형태단면을 mm 단위로 측정하여야 하고, 특히 터널천정중심과 연직된 바닥면까지의 고저차는 전자거리측정장비를 사용하여 측량해야 한다. 이때 터널변위측량오차의 허용범위는 3mm 이내로 한다.



- ⑤ 노반주변에 설치된 전기시설 등의 직접측량이 불가능한 시설물의 변위측량은 사전 감독자의 승인을 얻어 고정점을 기준, 3차원 레이저스캐너(3D Laser Scanner)기능이 부착된 측량장비 등을 사용하여 관측할 수 있다.
- (7) 궤도의 간격, 경사, 중심, 침하, 변위 등의 궤도 유지관리측량에는 사전 감독자의 승인을 얻은 경우에 한하여 성능이 인정된 디지털 관측장비 및 시스템을 사용할 수 있다.
- (8) 변위점측량을 수행한 수급인은 다음 각 호의 성과품을 감독자에 제출하여 승인을 받아야 한다.
 - ① GNSS 측량
 - 가. 관측데이터가 수록된 파일
 - 나. 관측기록부
 - 다. 기선해석결과표
 - 라. 좌표계산부
 - 마. 점의조서(별지 제4호 서식)
 - 바. 성과표(고정점성과표, 변위점성과표, 고정점과 변위점간의 방향 및 좌표차)
 - ② TS에 의한 측량
 - 가. 3차원 좌표 관측 기록부
 - 나. 점의조서(별지 제4호 서식)
 - 다. 성과표(고정점성과표, 변위점성과표, 고정점과 변위점간의 방향 및 좌표차)
 - ③ 수준측량
 - 가. 관측망도
 - 나. 관측기록부
 - 다. 수준측량계산부(별지 제3호 서식)
 - 라. 점의조서(별지 제4호 서식)
 - 마. 성과표(고정점성과표, 변위점성과표, 고정점과 변위점간의 고저차, 인접 변위점간의 고저차)
 - ④ 기타
 - 가. 작업광경사진
 - 나. 터널 내공단면 측량데이터 및 수치가 기록된 단면도
 - 다. 레이저장비 사용시 출력데이터
 - ⑤ 기타 감독자가 요구한 성과품
 - ⑥ 위 각 호의 모든 성과품이 수록된 파일

2.5 지반조사

2.5.1 지반조사 개요

- (1) 지반조사는 예비조사, 본조사, 추가조사 및 시공중 조사의 단계로 구분하여 시행한다.
- (2) 예비조사는 본 설계의 계획에 필요한 자료를 얻기 위하여 공사계획 단계에서 부지나 노선 또는 구조물의 위치선정 및 본조사 위치 및 수량 등의 결정을 위하여 실시하는 조사로서 예비설계, 본 설계의 계획에 필요한 자료를 얻기 위하여 하는 것으로 넓은 범위를 대상으로 시행하며 기존자료조사, 현장답사, 사례분석을 실시하여 개략적인 지반특성을 파악할 수 있도록 시행하며 필요할 경우 현장조사(시추조사, 핸드 오거보링, 시험굴조사 등)를 시행한다.
- (3) 본조사는 광역조사와 정밀조사로 구분하며, 실시설계나 시공에 필요한 지반의 상세한 정보를 얻기 위하여 시행하는 것으로서 지층의 분포, 지질구조, 공학적인 특성 등 설계정수를 파악하기 위하여 지표지질조사, 물리탐사, 시추조사, 물리검층, 현장시험, 암석시험, 재하시험, 실내시험, 시료채취, 지표수 및 지하수조사, 환경조사(유해가스, 산소결핍 등의 조사), 특수한 조건에서의 지반조사 등을 포함해야 하며, 공사의 목적이나 구조물의 종류에 따라 조사 및 시험의 진행방법이나 중점 조사사항을 다르게 할 수 있다.
- (4) 추가조사는 본조사 이후 설계변경이나 지반특성의 추가확인을 목적으로 실시할 수 있다.
- (5) 시공중 조사는 설계단계에서 조사가 시행되지 못한 경우 또는 시공 중 지반변화가 예상되어 추가 조사가 필요할 경우에 실시한다.
- (6) 소규모 공사의 경우에는 기존 조사자료를 활용하여 조사단계의 일부를 생략할 수 있으며 장대터널, 도심지터널 공사 및 기타 대규모 공사에서는 보다 자세한 지반조사 계획을 수립하여 실시하여야 한다.
- (7) 이외에 지반조사 계획 관련사항은 KDS 11 10 10 지반조사 (2.1)을 따른다.

2.5.2 단계별 상세 지반조사

(1) 예비조사

① 기존자료조사

가. 기존자료 조사는 대상이 되는 지역의 지반 개략상황을 인공위성 및 항공사진, 기존의 지반조사 자료와 지형도, 지질도, 지하매설물도, 기존구조물 도면, 지하수현황, 폐광 및 지반공동현황, 기타 자료를 이용하여 파악한다.

나. 지반의 자료수집, 기록, 분석은 주의 깊게 수행하며, 지질구조, 지형구조, 지진활동, 수문학적 정보, 대상지역의 과거기록, 기타 주요 사항을 포함해야 한다. 지반의 변화가 심할 것으로 판단되면 이를 반드시 기록, 보고해야 한다.

다. 지반조사로부터 시공현장과 그 주변의 지반 및 지하수 상태와 관련된 자료를 얻을 수 있어야 한다.



라. 기존자료 조사는 현장답사에 우선하여 시행한다.

② 현장답사

가. 현장답사는 야외조사를 통하여 지형이나 지질 및 지반상태를 확인하거나 지역 주민들의 청문을 통하여 과거의 지형변화 등에 대한 정보를 입수하여 조사자료에서 나타난 사항을 확인하고 도상계획에 참고할 수 있도록 하며, 조사수행에 영향을 줄 수 있는 제반 현장여건을 확인하여 원활한 본조사계획을 수립할 수 있도록 한다.

나. 현장답사의 결과는 정리하여 계획 및 설계에 반영할 수 있도록 하며 이미 계획된 사항에 대해서는 문제점을 파악하여 변경하거나 보완할 수 있도록 한다.

다. 현장답사에서 조사해야 할 주요 내용은 지형변화, 대규모 지질구조, 지표수 및 지하수, 인근구조물 유지상태, 지하 매설물, 수송통로 및 기타사항이 있다.

라. 조사구역 인근에 구조물이 있을 때에는 그 기초의 형식, 규모, 그 구조물의 침하나 경사 등의 유무와 그 정도를 조사한다.

마. 현장답사 시 현장 및 인접 부지를 촬영하여 지형 및 주변 보안건물 등 시공에 영향을 줄 수 있는 제반 현장여건 파악에 드론을 활용할 수 있다.

바. 현장답사 시 주요 구조물 또는 주변 건축물 등과의 이격거리 측정이 필요할 경우 위성사진 또는 거리 측정기를 활용할 수 있다.

③ 현장조사

가. 현장답사 시 필요할 경우 삽 또는 핸드오거 등의 간단한 조사장비를 이용하여 지역전반에 대한 개략적인 현장조사(핸드오거보링, 시험굴조사 등)를 실시하며, 경우에 따라 소규모의 시추조사도 시행하여 본조사의 시추조사계획에 반영한다.

나. 시추조사는 지반의 성층상태, 지하수의 유무 및 기타 지반상태와 관련된 사항을 살핌과 동시에 표준관입시험이나 기타 원위치시험을 병용해서 지지층을 선정한다.

다. 얻어진 시료로써 각종시험을 하여 압밀층의 유무나 지층의 투수성을 비롯한 지반의 공학적 특성을 추정한다.

(2) 본 조사

① 본 조사

본조사는 광역조사와 정밀조사로 구분하여 수행하며, 조사결과의 활용도를 높이기 위하여 광역조사 결과를 근거로 정밀조사의 위치, 수량 등을 결정하여 정밀조사 계획을 수립한 후 시행하며 필요한 경우 정밀조사 단계에서도 광역조사를 추가로 시행할 수 있다.

② 광역조사

광역조사는 항공(위성)사진 분석, 지표지질조사, 물리탐사 등이 있으며 정밀조사는

시추조사, 물리검층, 현장시험, 시료채취, 지표수 및 지하수조사, 환경조사, 실내시험 등이 있다.

③ 본 조사 항목 및 수량

효율적인 지반조사를 위하여 본조사 항목 및 수량 등은 대상 지역의 지반 상태, 지형 조건, 설계 구조물의 규모 등을 종합적으로 고려하여 결정하여야 한다.

④ 항공(위성)사진 분석

가. 항공(위성)사진 분석은 지형상태를 조사, 분석하고 지질경계, 선구조, 파괴지형, 식생, 수계 등의 분포상태를 파악하여 시추, 골재원, 토취장, 채석장 등의 조사에 활용하고 시추위치, 시추장비의 진입가능성 및 시추용수의 취득 가능성 등을 파악하기 위하여 실시한다.

나. 항공(위성)사진은 분석 목적, 사업대상지역의 특성 등에 맞도록 축척을 결정하여 사용한다.

⑤ 지표지질조사

가. 지표지질조사는 현장 정밀조사 이전에 지형, 토질, 지질구조, 암상과 지층, 지하수 등의 종류, 분포, 상태 및 기타 주요 지질조건을 개괄적으로 파악하여 정밀조사를 실시할 때에 기본 자료로 활용하고 정밀조사의 경제적 및 시간적 효율을 높이기 위하여 실시한다.

나. 지표지질조사를 통하여 단층, 습곡, 절리 등이 표시된 지질구조도 및 암종이 표시된 지질도를 작성하고 지질재해의 가능성 등을 검토해야 한다.

다. 지표지질조사 시에는 표층지반, 암질, 지질구조, 지하공동, 암반거동, 지표수 및 지하수를 조사하여 그 결과를 응용지질도(engineering geologic map)로 표시한다.

⑥ 물리탐사

가. 정부 제정 전문분야별 설계기준을 준용하되, 필요시 항목 및 수량을 증감할 수 있다.

나. 물리탐사로 측정되는 각종 측정값은 지반의 역학적, 공학적 성질을 그대로 나타낸 것이 아니고 전체의 지반상태를 나타내는 것이다.

다. 다른 조사를 병용해서 그 해석에 틀림이 없도록 한다.

라. 터널지반조사에서의 물리탐사는 다음 사항을 고려한다.

- 탄성과 탐사를 수행할 경우에는 전파속도로부터 지층의 두께, 종류, 상대적인 지반강도, 연약대 및 파쇄대 등에 관한 정보를 얻을 수 있도록 한다.
- 전기탐사를 수행할 경우에는 지층의 특성 및 지하수의 영향 등을 고려하여 해석한다.
- 지표 탐사에 비해 조사 심도가 깊고 분해능력을 높이기 위해서 터널설계에 필요하다고 판단되는 경우 시추공 내에 송신원 또는 수신기를 삽입하여 실시하는 시추공 물리탐사 기법을 적용한다.



- 산악터널의 경우에는 제반여건을 감안하여 전기비저항 탐사와 탄성파탐사를 시행해야 하며 토피고가 클 경우 가탐심도를 고려하여 전자탐사를 수행할 수 있다.
- 갱구부, 저토피 계곡부와 같이 심도가 50m 이내인 구간에는 탄성파탐사를 시추조사와 병행 실시할 수 있다.
- 갱구부와 저토피 구간은 상세한 지층확인을 위하여 종방향 및 횡방향 측선을 설정하여 물리탐사를 수행한다.

⑦ 시추조사

가. 공사 구간내의 지반에 대한 지층의 구성과 지하수위를 파악하고 교란시료 또는 비교란 시료를 채취하며, 시추공을 이용한 현장시험을 수행하기 위하여 실시하는데, 구조물별 시추조사의 간격 및 심도는 KDS 11 10 10 지반조사 <표 2.2-1> 및 <표 2.2-2>를 따른다.

나. 시추는 NX규격의 이중 코어배럴을 사용하여 실시하며, 풍화대나 파쇄대, 기타 연약대에서는 코어의 회수율을 높이고 원상태의 시료를 채취하기 위하여 삼중 코어배럴이나 D-3 샘플러 등을 사용할 수 있다. 특히 터널구간에 대심도 시추 시에는 NQ 규격도 사용할 수 있다.

다. 시추는 수직시추 뿐만 아니라 조사목적과 현장조건을 고려하여 경사시추를 할 수 있다.

라. 단층이나 파쇄대와 같이 공사에 장애가 되는 구간이나 지층이 불규칙할 경우 또는 특수한 주변여건 때문에 지반상태를 확인할 필요가 있는 경우에는 시추간격을 축소 조정해야 한다.

마. 시추공의 지하수위 측정은 시추종료 후 24, 48, 72시간 경과 시 마다 지하수위를 측정해야 한다.

바. 시추공은 지하수법에 의거하여 폐공처리 해야 한다.

사. 터널 입출구부 및 저토피 터널구간에서는 적어도 터널설계기준을 준용한 물리탐사를 시행하여 지층변화를 상세히 파악한 후 시추조사 위치를 선정하고 시행해야 한다.

아. 시추조사는 단층파쇄대, 기 붕괴지역, 연약지반, 계곡부 등과 같이 불안정한 지반 특성을 보이는 지점에서 필히 수행하여야 한다.

자. 시추가 완료된 시추공은 지하수법 제9조의4에 따라 모르타르 등으로 적합하게 폐쇄하여 지하수가 오염되지 않도록 하여야 한다.

⑧ 물리검층

KDS 11 10 10 지반조사 (2.2.2 (6))을 따른다.

⑨ 현장시험

KDS 11 10 10 지반조사 (2.2.2 (4))를 따른다.

⑩ 실내시험

KDS 11 10 10 지반조사 (2.2.2 (7))을 따른다.

⑪ 지반동적특성 조사

가. 내진 설계에 필요한 지반의 대표적 동적 물성치는 전단파속도, 전단탄성계수, 감쇠비 등이 있다.

나. 대상부지의 지진응답특성 평가를 위해 시추조사, 물리탐사, 검층 및 실내시험을 시행하여 지층별 동적물성을 정량화한다.

다. 현장조사 및 현장시험, 실내시험 등이 여의치 않은 경우에 한하여 기존자료를 이용한다.

⑫ 특수한 조건에서의 지반조사

KDS 11 10 10 지반조사 (2.2.2 (9))를 따른다.

(3) 추가조사

① 추가조사는 본조사 실시 후, 현장여건의 변화, 설계변경 등 부득이한 사유가 발생하였을 경우 실시한다.

② 추가조사 항목 및 수량은 본조사 결과와 현장여건을 종합적으로 고려하여 결정하여야 한다.

(4) 시공중 조사

① 시공중 조사는 예비조사와 본조사 단계에서 민원, 인허가, 기타 부득이한 사유나 기술적 한계로 인하여 조사가 시행되지 못한 경우 또는 시공 중 지반 변화가 예상되어 추가조사가 필요한 경우에 실시해야 하며, 현장 여건을 고려하여 필요한 지반정보가 얻어질 수 있도록 조사항목과 조사수량을 계획해야 한다.

② 시공중 조사의 목적은 교량기초 지지층의 출현심도 재확인, 깎기 비탈면 구간 지반상태 파악, 터널 굴진면 전방과 주변 지반상태 파악 등이며, 시공 중 관찰되는 노출된 지반상태를 분석하여 예기치 않았던 지반 변화나 시공중의 예측결과가 이상치를 보일 경우 반드시 필요한 추가 조사 및 시험을 실시해야 한다.

③ 깎기비탈면과 터널의 경우 시공 중 굴착면과 굴진면에 대한 불연속면조사 (geological face mapping)는 맵핑(mapping)과 분석 능력을 갖춘 작 매 굴착면마다 수행하여야 하며, 필요한 경우 감지공 천공(feeler hole), 수평시추 및 터널 내 물리탐사 등을 통하여 막장면 전방에 대한 지질특성을 조사할 수 있다. 터널의 록볼트를 포함한 지보패턴 변경은 지질매핑 등 시공 중 추가조사결과에 근거해야 하며, 필요시 굴진면 전방조사를 통하여 보조공법 적용 여부를 판단하는 등 사전에 공사를 준비하는데 필요한 자료를 제공해야 한다.

④ Face mapping 자료는 지속적인 관리가 이뤄져야하며 시공중 암판정의 근거 자료 등 최종적인 분석 결과가 제시되어야 한다.



- ⑤ 연약지반의 경우 개량효과를 확인하기 위한 시추조사 및 현장시험을 실시해야 한다.

(5) 지반조사 성과의 정리

① 성과분석사항

- 가. 지반조사 특성 자료의 획득, 기록, 분석은 지반분야 책임기술자의 판단에 의해 주의 깊게 수행해야 하며, 성과분석 자료에는 지층단면, 지질평면 및 단면, 시추주상도, 지형구조, 지진활동, 수문학적 정보, 대상지역의 과거 붕괴이력, 설계정수 등을 포함해야 한다. 지층변화가 심하거나 지반상태가 불량할 것으로 판단되면 이를 반드시 기록, 보고해야 하며 필요한 경우, 시공중 조사계획을 수립하여야 한다.
- 나. 시료 채취, 운반 그리고 보관은 국내 또는 국제적인 공인 절차에 따라 수행하여 지반조사가 완료된 이후에도 관찰할 수 있도록 해야 한다.
- 다. 설계정수는 시험값 뿐만 아니라 유사 지반조건에서 실시한 시험값, 적용사례, 연구논문 및 기술보고 등의 문헌자료를 면밀히 검토하여 평가해야 한다.
- 라. 퇴적토층, 풍화토층을 비롯한 토사층은 「흙의 통일분류법(USCS : Unified Soil Classification System)」에 따라 세분해야 한다.
- 마. 가능한 현장 시추자료에 대해 각각 암반분류를 수행하여 RMR과 Q값을 산정한 후 그 값들의 상관관계를 적용해야 한다. 다만 자료가 부족할 경우를 대비하여 Bieniawski가 1976년 제시한 「 $RMR=9\ln Q + 44$ 」와 Barton이 1995년에 제시한 「 $RMR=15\log Q + 50$ 」을 활용하여 상호 보완할 수 있다.
- 바. 조사와 시험으로부터 수집된 제반정보를 종합적으로 분석하여 설계 및 공사목적에 부합하게 지층을 분류한다.

3. 재료

내용 없음

4. 설계

내용 없음

해설 1. 예비조사

1. 개요

- (1) 예비조사는 「2.5.2 (1)항」을 따른다.
- (2) 철도구조물이 계획된 노선의 조사 중 시공 전 조사는 예비조사, 본조사 및 추가조사로 나누는데, 본 절에서는 이 중 예비조사에 관해서 기술한다.
- (3) 예비조사는 전체 공사계획을 입안하기 위하여 본 설계에 필요한 자료 수집을 목적으로 수행된다. 계획노선의 예비조사는 대상으로 하는 철도구조물의 입지조건, 지반구성 등의 전체 개요를 파악하고, 철도구조물의 안정성에 대한 개략적인 검토와 공사계획에 관한 문제점 등을 점검한다. 또한, 예비조사 후에 행하는 본조사의 필요성 유무와 본조사 위치 및 수량 등을 결정하기 위한 자료 확보를 목적으로 한다.
- (4) 조사방법으로는 기존자료를 수집하여 해석하는 자료조사, 현장답사 및 현장조사로 나눈다. 예비조사 시 가능한 많은 자료를 획득하고, 이후 본조사가 효과적으로 시행될 수 있도록 계획하는 것이 필요하다. 또한, 예비조사와 본조사에서 조사항목이 명확하게 구분되지 않는 경우도 있기 때문에, 동일한 항목을 예비조사와 본조사에서 모두 실시하는 경우도 있다. 이러한 경우에는 조사밀도에 차이가 있도록 한다. 계획노선이 험난한 산지를 통과하는 경우에는 사전에 상세한 조사를 수행하였다 하더라도 복잡한 산지조건을 상세히 파악하지 못하는 경우가 있다. 이러한 경우에는 예비조사를 가능한 범위 이내로 실시하고, 시공 중 표면조건이 좋은 굴착면 등을 조사하여 당초의 조사결과를 수정해 가는 것도 필요하다.
- (5) 예비조사를 수행하여야 할 지역으로는 공사중과 공용중에 지형 변화가 발생하는 지역, 방재상 문제가 되는 지역, 공사가 규제된 지역 등을 포함하여야 하며 다음의 사항에 대한 고려가 필요하다.
 - ① 흙쌓기 구간에서는 연약지반, 자연제방 배후의 습지, 산골짜기, 삼각주 등을 주로 살펴보아야 한다.
 - ② 땅꺼짐, 터널, 교량 구간에서는 단층파쇄대, 기반암특성(예, 엽리(변성암), 층리(퇴적암), 용식성(석회암, 돌로마이트)) 등을 주로 살펴보아야 한다.
 - ③ 불안정한 지반의 경우에는 비탈면 등의 경사지, 급경사 계곡, 비탈면 활동지대, 하천 수침부 등을 조사대상에 포함하여야 한다.
 - ④ 방재상 문제가 되는 지역의 경우에는 비탈면재해(붕괴, 낙석, 비탈면활동, 토석류 등), 홍수, 설해 등이 발생할 우려가 있는 곳을 조사하여야 한다.

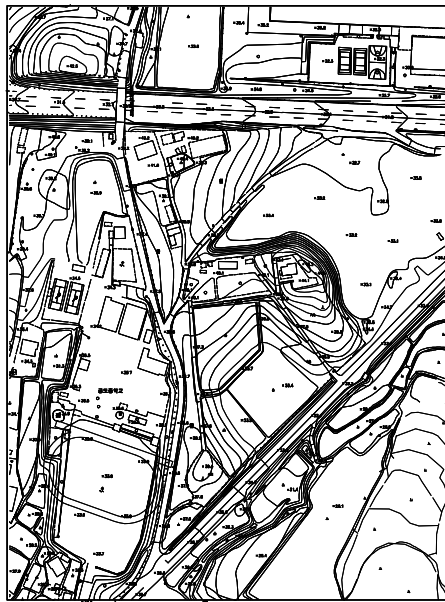


2. 자료조사

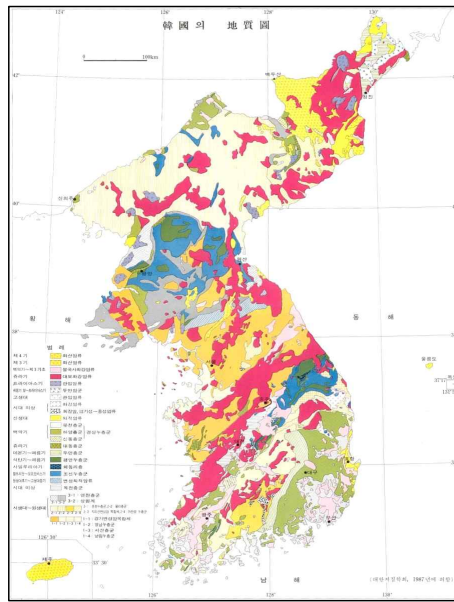
- (1) 본조사에 착수하기 전에 현지의 개략상황을 알고 문제점을 파악해서 이후의 조사를 효과적으로 추진하기 위해 자료조사를 선행한다.
- (2) 자료조사의 목적은 기존의 관련 자료를 수집해서 노선주변의 광범위한 지형, 지질, 암질, 토질을 파악하고, 환경, 기상, 수리, 문화재, 폐터널 등의 관련 사항을 조사하여, 건설과 보수에 관한 문제점을 파악하고자 하는 것이다.
- (3) 자료수집은 계획노선에 인접한 범위에 한정하지 않고, 광범위한 지역에 걸친 자료를 수집하는 것이 중요하다. 자료에는 지형도, 지질도 등 공개된 자료와 토질조사기록, 공사기록 등 비공개 자료를 들 수 있으며, 지형도와 지질도를 판독하는 것만으로도 현장 부근의 지질 및 토질 상황을 추정하는 것이 가능하다. 또한 지형도에 의해 계획노선 지역의 특성을 파악할 수 있고, 지질도 정보를 이용하여 계획노선 지역의 지질특성 등을 추정할 수도 있다. 비공개 자료는 조사에 직접 도움이 되는 자료가 많기 때문에 관계기관 등에서 입수할 수 있도록 최대한 노력하는 것이 바람직하다.
- (4) 수집된 자료 및 검토결과 등은 정리·보관해 두고, 구조물 사용개시 후의 유지관리와 다른 공사에 자료로서 이용할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.
- (5) 아래 기재된 자료를 수집하여야 한다.
 - ① 지형, 지질자료 : <그림 1>에 예시된 지형도, 지질도, 시추주상도, 인공위성사진, 항공사진, 음영기복도 등과 한국지질자원연구원에서 발간된 1/50,000 축척의 지질도폭 등
 - ② 조사, 관측자료 : 과거 토질조사기록, 지하매설물 현황이 포함된 지장물자료, 토목건축공사의 설계자료, 시공기록 및 시설의 보수에 관한 자료, 하천, 호수, 바다 등에 관한 자료, 비탈면활동, 붕괴, 토석류, 낙석 등 비탈면재해에 관한 자료, 지하수 또는 관정에 관한 자료, 풍수해, 설해 등에 관한 자료, 기상관측기록, 문화재, 천연기념물, 광업권에 관한 자료, 환경보전에 관한 법령 등

3. 현장답사

- (1) 현장답사는 현지지형, 지질, 암질, 토질, 환경조건 등을 확인하고, 철도구조물의 설계, 시공, 방재상의 문제점을 파악함과 동시에, 본조사의 항목, 위치 등을 검토할 목적으로 실시한다. 이때, 자료조사에 의해 입수하고 확보한 현장정보 및 자료가 실제 현장과 일치하는지를 확인하는 것이 중요하다. 또한 철도구조물 계획노선에서 인근 지표상태의 국부적 경향 및 환경상태를 가능한 상세하게 조사할 필요가 있다.
- (2) 계획지역의 지질구성을 확인하기 위해서는 지층을 직접 관찰할 수 있는 양호한 노두, 즉 지표에 노출된 지층구조를 살펴보는 것이 필요하다. 노두가 없는 경우에는 필요에 따라 굴착하는 것도 요구된다.



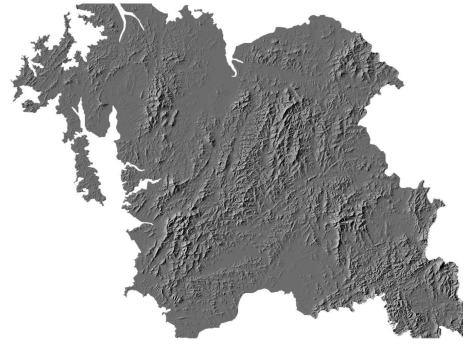
(a) 지형도



(b) 지질도



(c) 항공사진



(d) 음영기복도

그림 1. 지형도, 지질도, 항공사진, 음영기복도의 예

- (3) 표층의 지형변화나 계절에 따라 변하는 항목에 있어서는 조사항목만으로 검토하는 것이 어렵기 때문에 해당 지역 주민들의 의견을 참고할 수 있다. 답사결과는 종합하여 평면도나 단면도에 포함하는 것이 일반적이다.
- (4) 현장답사에 있어 사용하는 주요 장비는 아래와 같다.
 - ① 자료조사에서 수집한 자료(지형도, 지질도, 항공사진, 각종 기록 등)
 - ② 암석용 해머, 클리노미터, 핸드오거, 휴대용 삼, GPS
 - ③ 휴대용 콘관입시험기, 휴대용 레벨, 폴, 줄자, 사진기, 쌍안경 등
- (5) 현장답사 지점이 산간지나 넓은 대지인 경우 다음 사항에 유의할 필요가 있다.
 - ① 지반을 구성하고 있는 지층을 직접 관찰할 수 있는 양호한 노두를 조사하고, 이로부터 개략적인 지층을 판단하여야 한다.



- ② 산간부와 같이 지형과 지질이 문제되는 지역에 있어서는 클리노미터와 GPS 등 간 이측량기구 등을 이용한 정밀조사를 실시하여야 한다.
- ③ 노두가 작아서 조사에 어려움이 있는 경우에는 필요에 따라서 굴착을 하는 것도 바람직하다.
- ④ 토석류, 낙석, 비탈면활동, 붕괴, 눈사태 등의 재해발생 가능성에 대해서는 조사할 필요가 있다. 특히 산사태 등과 같이 활동 흔적이 있는 지역에서는 활동이 발생한 영역과 범위를 파악하여 관리해야 하며, 표층이 불안정한 비탈면은 간단한 관입시험기에 의해 표층토의 두께와 강도를 파악하여 두는 것도 필요하다.
- (6) 현장답사 지점이 충적평야인 경우, 연약지반 여부의 판정이 중요하다. 계곡이나 습곡의 경우에는 지형도에 의한 판단도 가능하며, 고지형도에서 개울이나 호수, 하천 등을 조사하여 판정할 수도 있다. 확인을 위해서는 휴대용 콘관입시험기에 의한 관입시험을 통해 표층의 강도를 구하는 것이 필요하다.
- (7) 도심지의 경우에는 건설 중에 혹은 열차주행에 의한 소음, 진동영향 및 구조물에 의한 일조저해 등과 같은 환경영향의 유무에 대한 여부를 확인하기 위한 조사도 필요하다.
- (8) 일반적인 현장답사에서 주의해야 할 사항으로는 다음과 같은 것들이 있다.
 - ① 물에 관한 사항으로는 용수, 지하수위의 계절변동, 피압지하수의 유무, 호우시의 침수, 배수상태 등이 있다.
 - ② 인근 구조물의 유지상태에 관한 사항으로는 구조물의 침하, 균열, 경사, 휨 등이 있다.
 - ③ 도심지의 지하구조물에 관한 것으로서는 상하수도, 가스관, 통신관계 매설관, 지하철, 지하도 등이 있다.
- (9) 현장 답사결과 요구되는 사항은 다음과 같다.
 - ① 공사의 난이도
 - ② 산사태 지역, 연약지반 등 문제 지역의 유무와 규모
 - ③ 쌓기재료의 적합여부
 - ④ 주위 자연환경에 미치는 영향
 - ⑤ 본조사의 필요유무와 본조사의 필요가 인정되는 경우에는 본조사의 항목이나 실시지점

4. 시추 및 시굴 등에 의한 조사

- (1) 기본계획 수립 단계 등의 예비조사 시 깎기, 쌓기, 터널, 교량 공사의 공사비, 공기 등에 지대한 영향을 미치는 개소에 대해서는 표본조사를 실시한다.

- (2) 사업시행계획에 따라 본조사가 늦어질 경우, 총사업 규모 설정에 영향을 미칠 우려가 있는 중요한 개소에 대해서는 표본조사를 실시한다.
- (3) 예비조사 시 시추 및 시굴 등의 현장조사를 실시하는 위치와 수량은 입안 중인 구조물 계획을 면밀히 검토하여 선정하여야 한다.



해설 2. 본조사

1. 개요

- (1) 본조사는 「2.5.2 (2)」을 따른다.
- (2) 본조사는 상세설계시 필요한 설계정수의 결정에 필요한 자료를 획득하는 조사이다.
- (3) 본조사에서는 지층의 성층 구조와 지층의 강도, 암의 경도나 풍화진행상황, 균열 발달상황, 토층과 암반의 구분, 지하수 및 지표수의 상태 등을 종합하여 나타내는 주상도를 작성한다.
- (4) 복잡한 지질로 구성된 지반 또는 암반의 경우 철도구조물의 안정성에 영향을 주는 인자가 다수 존재하고, 각 영향인자의 영향 범위도 매우 광범위하므로 조사단계에서 지반을 명확하게 파악하는 데는 한계가 있다. 따라서 시공 대상 구조물을 고려하여 본조사의 정밀도를 결정하는 것이 보다 경제적이다.
- (5) 목적에 따라 필요한 지반조사 방법들과 각 방법으로부터 획득 가능한 지반정보는 <표 7>에 예시한 바와 같다.
- (6) <표 7>에 제시된 일반적인 지반정보 이외에 인공적 혹은 자연적 공동이 예상되는 지역의 경우 토모그래피탐사나 중력탐사 등 공동 특성을 파악할 수 있는 조사를 수행하여야 한다. 또한 「실내공기질관리법」에 토사, 암반, 지하수 등 원지반기원의 폐암유발 방사능가스인 라돈이 포함되므로 지하정거장 건설예정지역 등에 대해서는 관련 특성을 파악할 수 있는 조사를 수행하여야 한다.
- (7) 도심지나 주택가 밀집지역 하부 통과구간 등 지반조사가 불가능한 구간에 대해서는 인접 조사결과를 면밀히 분석하여 해당 구간 지반특성을 평가한 후 설계에 반영토록 하여야 하며, 지반조사를 수행하지 못한 근거 등의 자료를 작성, 보존하여야 한다.

표 7. 지반조사 시험방법에 따라 획득 가능한 지반정보

시험방법(종류)	획득가능한 지반정보
지층 구조를 확인하기 위한 조사방법	
탄성과탐사 기타물리탐사 물리검층 시추조사와 N값 기타관입시험	탄성과 주시곡선(지층별 탄성과속도 측정으로 지층구성 추정) 표면파탐사,음파탐사,전기탐사,전자탐사,자력탐사,중력탐사,토 모그래피탐사 속도검층(P파 속도로 지층 추정), 불연속면 기하학적 특성 등 전형적 조사 방법으로 N값과 시료의 육안 관찰에 의한 포터블 콘, 더치 콘 등 (강도 추정)
지반의 물리 특성을 구하기 위한 실내시험	
입도분석시험 자연함수비시험 액성한계, 소성한계 기타물리시험 비중 및 흡수율 탄성계수, 포아송비 탄성과속도 및 일축강도	입도분포곡선, 평균 입경 균등계수 등 함수비 (강도, 압축성 등을 추정) 액성한계, 소성한계, 소성지수 (압축성이나 강도의 추정) 토립자의 비중, 수축 한계 등 기반암의 단위중량, 흡수율 기반암의 탄성계수(영률)와 포아송비 기반암의 P파 및 S파 속도와 일축압축강도
변형(침하)해석을 위한 조사 방법	
압밀시험 공내횡방향재하시험 평판재하시험 일축,삼축압축시험 표준관입시험	압밀 항복 압력, 압축 지수, 최적 압축율, 압밀계수 변형계수 항복압력 항복압력 스프링 정수 (변형계수) 변형계수 E_{50} (모래지반 등에서는 N값에서 직접 침하량을 추정한다)



표 7. 지반조사 시험방법에 따라 획득 가능한 지반정보(계속)

시험방법(종류)	획득 가능한 지반정보
지지력 해석을 위한 조사 방법	
표준관입시험 N값 콘관입시험 배인시험 공내횡방향재하시험 평판재하시험 일축압축시험 삼축압축시험	N값 (내부마찰각이나 지지력을 추정) 관입저항 전단 강도 초기압, 항복압, 극한압, 정적탄성계수 항복압, 파괴압 점착력 점착력, 내부마찰각, 압밀에 의한 강도 증가율
지중응력	
단위중량측정 밀도검층 간극수압측정 수평토압측정 수압파쇄시험 AE/DRA시험	비교란 시료를 채취하여 실측 감마선 산란강도로 공벽 주변의 원지반 단위중량 추정 통상 전기 변환기 등으로 측정하여 유효 응력. 수직 및 수평 유효압력 정지 토압 계수 K_0 . 기반암 내 현지응력을 측정하여 심도별 측압계수 추정 미소파괴음과 축차응력을 측정하여 현지응력 추정
지진시 안정해석을 위한 조사방법	
검층, 표면파 탐사 공진주 시험 진동삼축시험 상대밀도(D_r) 평상시미동측정	탄성과속도 주상도 (전단 탄성계수, 포아송비) 지진응답해석을 위한 전단탄성계수 및 감쇠비 응력비와 액상화 평가하는데 필요한 반복 전단 횟수 순수한 시료에서 e실측, e_{max} , e_{min} 시험→ D_r 지반의 탁월 주기와 증폭률
지하수에 대한 해석을 위한 조사방법	
투수 및 수압시험 양수시험 기타	토사층과 풍화암 투수계수(투수시험), 기반암 투수계수(수압시험) 투수계수, 저류계수 수문조사, 지하수유향 및 유속 등
기타	
부식성 조사 수질 조사 투기성 등 공해측정	부식 사운드링 등으로 강재의 부식을 pH시험, 유해물 함유 분석 투기계수, 산소 농도 진동 공해 측정, 소음 공해 측정

2. 지표지질조사

- (1) 지표지질조사는 대상 지반의 지질구조를 파악하여 계획노선 위치에 존재하는 파쇄대, 절리, 단층 등의 불연속면에 대한 정량적, 정성적인 평가를 수행하여 다음과 같은 구조물 설계에 반영한다.
 - ① 터널 구간의 지보패턴 선정
 - ② 깎기 비탈면에 대한 안정성 평가
 - ③ 불연속 지질구조가 터널, 땅깎기 비탈면, 교량 기초부의 안정성에 미치는 영향 분석
- (2) 지표지질조사는 광역지표지질조사와 상세지표지질조사로 구분된다.
- (3) 광역지표지질조사에서는 다음과 같은 사항을 포함한다.
 - ① 인공위성 사진, 음영기복도, 항공사진 등을 활용하여 선구조 분석을 한다.
 - ② 계획노선의 불연속면특성과 직접적으로 연관이 있는 지역의 노두를 관찰한다.
 - ③ 노두관찰에서는 암반 불연속면의 방향성, 거칠기, 강도 등을 파악하여 암종분포와 노두의 풍화상태를 조사한다.
- (4) 상세지표지질조사는 다음과 같은 사항을 포함한다.
 - ① 지질공학적 불연속면의 특성을 파악한다.
 - ② 조사하여야 하는 불연속면 특성으로는 불연속면의 방향, 간격, 연속성, 굴곡, 강도, 간극, 충전물질, 지하수의 용출상태, 불연속면군 수, 암괴의 크기 등을 포함한다.
 - ③ 불연속면의 조사와 분석은 국제암반역학회(ISRM)에서 제시한 불연속면 조사법을 따른다.
 - ④ 용식공동이 존재할 우려가 있는 석회암, 돌로마이트, 석회규산염암 등 석회질암, 풍화저항성이 낮은 셰일, 이암, 응회암 등 철도구조물의 안정성에 영향을 미칠 수 있는 암종이 분포할 것으로 예상되는 지역에 대해서는 암종분포 특성을 정확히 파악하여야 한다.

3. 시추조사, 시굴조사와 시험트렌치

3.1 시추조사

- (1) 지반의 시추는 현장에서 지반조사를 위하여 기본적으로 수행하여야 하는 작업으로, 시추방법, 시추계획 및 시추심도는 아래 사항을 참고하여 결정하여야 한다.
 - ① 현장에 적합한 시추방법의 결정은 <표 8>에 기술한 적용성을 참고로 하여 결정한다.
 - ② 예비시추 및 최종시추의 시추계획은 구조물의 종류와 조사하여야 할 내용을 고려하여 결정되어야 하며, 철도설계기준과 국토교통부 제정 각종 설계기준을 준수하여야 한다. 또한 제 설계기준은 최소한의 준수요건이므로 지반상태와 조사목적에 따라



<표 9>의 내용을 참고하여 시추간격과 시추심도를 조정하여야 한다. 또한, 시추계획에 있어서 지층단면과 중요지층 등 현장 지질상태도 반영하여야 한다.

가. 지층단면 : 구조물 설계의 측면에서 최적 위치에 대한 지층단면도가 결정될 수 있도록 시추위치를 선정한다. 비탈면 활동지역의 안정성 해석을 위해 지반조사를 하는 경우에는 해석에 필요한 전체 지층단면을 알 수 있도록 시추위치가 적절히 선정되어야 한다.

나. 중요지층 : 침하량 계산, 안정성 해석 또는 지하수 해석 등을 상세하게 수행할 필요가 있는 경우는 최소 두 개소의 시추공에서 중요지층의 비교란 시료를 채취할 필요가 있다. 비교란 시료 채취를 위한 시추는 가장 대표적인 위치로 결정되어야 하며, 이를 위해 예비시추를 수행하여야 한다.

③ 시추심도는 철도설계기준과 국토교통부 제정 각종 설계기준을 준수하되 <표 10>을 참고하여 지층재료의 특성이나 연속성, 구조물의 형태와 크기를 고려하여 최종 결정하여야 한다.

가. 부적합한 기초지층 : 불량 쌓기재, 이탄, 유기물, 연약한 세립토, 그리고 느슨한 조립토 등과 같이 기초지층으로 부적합한 토층이 있는 지반에서는 부적합한 지층을 관통하여 지지력을 확보할 수 있는 지층까지 시추하여야 한다.

나. 세립토층 : 압축성이 큰 두꺼운 세립토층은 상재하중으로 인한 응력증가분이 압밀 침하량에 영향을 미치지 않는 깊이까지 시추하여야 한다.

다. 경질 토층 : 얇은 심도에 경질 토층이 있고 그 하부에 연약한 지층이 있는 경우, 상재하중이 하부 연약층의 안정성과 침하에 영향을 미치지 않는 심도까지 시추를 수행한다.

표 8. 시추의 방법과 적용성 「NAVFAC, 1982」

시추방법	이용 방법	적용
오거시추	주기적으로 시료를 채취할 수 있으며 수동이나 동력으로 작동되고, 시료회수가 필요한 경우 연속오거를 사용하며 지반의 변화는 채취되는 시료를 조사하여 판별, 케이싱을 사용하지 않음	일반적으로 부분 포화된 모래와 실트, 연약내지 단단한 점성토의 지하수위 부근 얕은 심도조사로 배출된 시료들 사이의 구멍을 말끔히 하기 위해 사용하고 동력회전시 매우 빠르며 대구경 버켓오거는 시추공 검사가 가능하고 연약토질이나 지하수위 하부 토질에서는 시추공이 붕괴될 수 있음
비교란시료나 건조시료 채취를 위한 수세식시추	순환하는 천공수와 함께 작은 비트가 굴착, 비틀림, 분출작용으로 구멍으로부터 절단된 것을 제거. 지반구성의 변화는 굴진속도, 로드 의 작용, 회수되는 천공수검사로 판단가능. 공벽의 붕괴가능성이 있는 곳에서 사용	모래층, 호박돌이 함유되지 않은 모래, 자갈층, 연약하거나 단단한 점착성 토질에 사용되는 가장 일반적인 방법으로 일반적으로 물, 흙, 비탈면이나 건물 내부와 같이 접근이 곤란한 장소에 적용되고, 비교란 시료채취는 어려움
로터리시추	천공수를 순환시켜 동력회전의 비트구멍에서 지반굴착으로 인한 슬러리를 제거하고, 진행속도, 천공도구의 작용, 그리고 천공슬러리를 검사하여 지층변화를 조사할 수 있으며, 일반적으로 지표 근처 외에는 케이싱이 필요하지 않음	큰 자갈, 조약돌, 그리고 호박돌을 포함한 흙을 제외한 모든 토질에 적용 가능하나 일부 토질의 경우 변화를 정확히 결정하기가 곤란하며, 장비중량으로 접근이 곤란한 장소에서는 실용적이지 못하지만 천공하는데 가장 빠른 방법이므로 적용성이 크고, 토질샘플과 암석코어는 대개 150~240mm로 제한됨



표 8. 시추의 방법과 적용성 「NAVFAC, 1982」 (계속)

시추방법	이용 방법	적 용
중공축오거	동력으로 작동되며, 중공축은 케이싱과 같은 역할을 함.	교란 또는 비교란 시료채취나 중공축을 통한 코어채취가 가능하고, 사질토 지반에서 마개를 장착한 채로 사용할 수 없으며, 모래와 실트지반의 불교란 시료채취에는 부적합
퍼커션시추	시추 구멍하단에 약간의 물을 가지고 동력으로 타격하면서 굴진하는 방법으로 물이 슬러리가 되면 펌프나 샌드펌프에 의해 주기적으로 제거되고, 진행속도, 천공도구의 작용, 제거된 슬러리의 구성물에 의해 지반변화를 조사할 수 있고, 견고한 암석을 제외하고는 케이싱이 필요함	지층의 변화를 결정하기 곤란하며 굴진 시 타격으로 인해 지층의 교란, 접근의 곤란하고 대개 비싸기 때문에 일반적인 조사나 비교란 시료가 요구되는 곳에는 선택하지 않으며, 거친 자갈, 호박돌 및 암석층을 관입하기 위해 오거나 수세식시추를 조합하여 사용하는데, 천공속도의 변화로 탐침구멍 및 연약한 암석층까지 시추할 수 있음
암석코어시추	동력회전에 의한 천공수에 의해 코어배럴이 암석을 지표상으로 배출하는 방법으로 천공수는 코어배럴비트의 냉각수로도 사용함	풍화암, 기반암 및 호박돌 층을 천공하기 위해 단독이나 시추형태로 조합하여 사용됨
와이어시추	코어채취가 필수적인 곳에 사용되며 회전굴착방법으로 천공로트와이어의 주요부분이 케이싱으로서의 역할을 하고 코어샘플은 코어배럴의 일부인 천공로드로부터 조립된 내부배럴이 이동함으로서 획득되는데, 내부배럴은 드릴링로드를 통한 와이어로 내려지는 코어회수기에 의해 풀리게 됨	육상과 해상에서 30m 이상 깊이의 코어채취 및 시료채취에 효율적임

표 9. 시추계획시 필요한 고려사항 「NAVFAC, 1982」

조사 대상	시추간격과 시추공의 배치
광범위한 현장	예비조사의 시추간격은 약 60~300m로 4개의 시추지점을 잇는 부분의 면적이 현장전체 면적의 약 10%가 되도록 한다. 상세조사는 가장 효율적인 방향으로 지층단면도가 작성되도록 추가한다.
연약지반에서의 부지개발	예상되는 건물 위치에서의 시추간격은 30~60m로 하고 건물의 위치가 결정되면 중간지점의 시추를 추가한다.
간격이 좁은 독립기초를 갖는 대규모 구조물	시추는 예상되는 기초외벽, 기계실, 엘리베이터실 등에서 각 방향으로 15m간격으로 실시하며, 가장 유효한 방향을 따라서 지층단면도가 작성될 수 있도록 배치한다.
면적이 넓은 경량구조물	지층단면을 작성할 수 있도록 건물의 코너와 기초내부의 중간 시추를 합하여 최소 4개의 시추를 한다.
면적 230~920m ² 인 독립된 강성기초	주변을 따라 최소 3개의 시추를 한다. 그 결과에 따라 특이한 곳에는 시추를 추가한다.
면적 230m ² 이하의 독립된 강성기초	양쪽 모서리에 최소 2개의 시추를 실시하고 특이한 곳에는 추가시추를 한다.
긴 격벽 또는 방파제	예비조사는 벽을 따라 60m간격으로 실시한다. 중간점에 시추를 추가할 때는 15m로 줄여서 실시한다. 벽체 전면의 세굴을 받는 부분 및 배면 주동토압이 작용하는 영역에 대해서는 적절히 시추를 추가한다.
비탈면안정, 깊은 땅꺼짐, 높은 제방	해석에 필요한 토층단면을 알기 위해서는 문제가 되는 방향을 따라 직선상에 3~5개소의 시추를 실시한다. 안정문제의 규모에 따라서 그 수는 증가한다. 활동비탈면에서 상향경사의 활동심도에는 최소 한개의 시추를 추가로 실시한다.
포장구조물	깊은 땅꺼짐이나 높은 흙쌓기의 안정해석 등이 필요한 경우에는 위의 규정을 적용한다.



표 10. 조사대상별 시추심도 「NAVFAC, 1982」

조사대상	시추심도
간격이 좁은 독립기초를 갖는 대형구조물	구조물에 의한 연직응력의 증가가 유효상재응력의 10% 이하로 분포하는 깊이까지 조사한다. 만약 얇은 깊이에서 암반이 나타나지 않는 경우 일반적으로 시추는 기초 최하단에서 10m 이상의 깊이까지 실시한다.
독립된 강성기초	연직응력이 점층응력의 10% 이하로 분포하는 깊이까지 조사한다. 일반적으로 시추는 기초 최하단에서 10m 이상의 깊이까지 실시한다. 만약 이보다 얇은 깊이에 암반이 존재하는 경우는 예외로 한다.
긴 격벽	준설깊이 아래까지, 벽 높이의 0.75~1.5배 깊이까지 조사한다. 활동면이 깊게 일어날 수 있는 토층으로 형성된 지반인 경우에는 특별히 단단한 지반층까지 실시할 필요가 있다.
비탈면 안정	활동면 또는 활동가능 파괴면 이하의 단단한 지층까지 조사한다. 또한 횡단면 형상 때문에 파괴가 일어나지 않을 것 같은 깊이까지 조사한다.
깊은 터파기	터파기 저폭의 0.75~1.0배 깊이까지 조사한다. 안정성이 있는 토층의 지하수위 상부에서 터파기 할 때에는 저면에서 1.2~2.4m 깊이 이상이어야 한다. 터파기가 지하수위 아래에서 실시될 때에는 그 아래의 불투수층을 확인한다.
높은 흩쌓기 구간	비교적 균질한 지반은 비탈면부분 수평길이의 0.5~1.25배 깊이까지 실시한다. 연약층이 있거나 또는 토층이 불규칙한 경우에는 단단한 층까지 조사한다.

라. 기반암 표면: 기반암면이 노출되어 암반의 분포와 암석의 특성이 파악되는 경우, 신선하고 풍화되지 않은 암반에 대해 심도 3m까지 시추한다. 그러나 암반의 분포와 암석의 특성이 파악되어 있지 않은 경우나 전석 또는 불규칙한 풍화대가 존재하는 경우에는, 그 면적을 파악할 수 있도록 시추공의 숫자를 증가시켜야 한다. 공동이 예상되는 석회암지역의 경우에는 지하수 흐름이 예상되는 지층을 관통하도록 시추심도를 정한다.

(2) 대상지반의 지층구조가 잘 알려지지 않은 경우, 깊은 심도 지층의 특이사항 존재여부를 판단하기 위해서 안정해석이 필요한 지역 하부까지 시추심도를 연장한다.

- (3) 대상지반에서 시추작업이 지하수위 아래에서 이루어지는 경우나 피압수가 있는 경우에 지속적인 지하수위 관측을 위해 사용되지 않으면 충진물을 채워 넣거나 그라우팅을 해야 한다.
- (4) 지하수위 관측을 위한 시추공은 공벽에 꼭 맞는 케이싱을 사용하거나 케이싱 주위를 모래와 자갈로 채운다.
- (5) 공동이 의심되는 석회암 지대의 경우, 구조물 기초가 설치될 지역을 면밀히 조사하여야 한다.
 - ① 구조물이 작은 경우에는 계획된 기초 위치에서만 시추를 수행한다.
 - ② 대형 구조물의 경우에는 기초 위치나 구조물 중심에 가까운 위치에서의 시추뿐만 아니라 항공촬영, 물리탐사와 같은 간접적인 방법을 추가적으로 수행한다.
- 가. 항공사진은 관련 기술자의 경험이나 과거 사진과 비교에 의해 지반 함몰의 발견이나 공동발달 상황을 파악하는데 유용하게 사용할 수 있다.
- 나. 물리탐사법은 지반 하부구조의 전기비저항, 중력, 자기장 또는 탄성과 속도가 정상인지의 여부를 탐지하고 공동의 존재와 관련된 이상 현상을 조사하기 위해 사용할 수 있다.
- (6) 시추완료 후 지하수오염 등이 없도록 「지하수법 제15조」에 의거 폐공 등의 조치를 취하여야 한다.

3.2 시굴조사

- (1) 시굴은 대상현장에서 시료를 채취하거나, 지반 하부상태를 직접 조사하고, 지하수위나 표토의 두께를 결정하기 위해 사용된다.
- (2) 얇은 심도의 시굴은 인력으로 시행하며, 깊은 심도는 기계굴착을 이용한다. 예민비가 큰 점토나 파쇄되기 쉽고 풍화가 심한 암석, 벌집구조를 가진 경우에는 직접 수작업으로 시료를 채취하도록 한다.
- (3) 시굴조사의 사용가능성 및 한계에 대해서는 <표 11>을 참조한다.

3.3 시험트렌치

- (1) 시험트렌치는 시추의 의미가 없거나 실시 불가능한 곳에서 수행하는 것으로, 쇄석층과 같은 이방성 퇴적층에 대한 조사 시 필요하다.
- (2) 지진활동 조사 시 단층조사에 유용하게 사용된다.
- (3) 시험트렌치 사용가능성 및 한계에 대해서는 <표 11>을 참조한다.



표 11. 시굴과 시험트렌치의 사용가능성 및 한계 「NAVFAC, 1982」

탐사방법	일반사용	가능범위	한계
인력굴착 시험굴 및 환기공 (수갱)	블럭샘플링, 현장시험, 육안조사	주변지반의 교란이 적 으며 접근이 곤란한 지 역의 자료를 얻을 수 있다.	비용이 비싸고 많은 시간 을 요하며 지하수위 위의 심도에서는 샘플링의 한계 가 있다.
백호 굴착시굴 및 트렌치	블록샘플링, 현장시험, 육안조사, 굴착속도, 기반압과 지하수의 심 도조사	신속하고 경제적이며, 일반적으로 5m이하에서 사용하며 10m까지 사용 할 수 있다.	장비의 접근은 일반적으로 지하수위 상부 깊이까지로 제한되며, 비교란 시료를 채취할 수 없다.
수직공 굴착	말뚝, 수갱, 비탈면활 동조사, 배수관정을 위한 선행굴착	신속하고 인력굴착보다 경제적이며 최소 760mm에서 최대 1.8m 지름까지 가능하다.	장비의 투입으로 비교란 시료의 채취는 곤란하고, 케이싱 때문에 시각적 조 사가 방해된다.
불도저 깎기	기반암의 특성 및 심 도, 지하수위 등의 파 악. 다른 탐사장비를 위한 지반고르기	비교적 저가로 지질도 제작을 위해 지반을 노 출시킬 때 사용한다.	조사는 지하수위 상부에서 만 가능하다.
단층 조사용 트렌치	단층의 존재와 활동평 가, 산사태 형상의 평 가	단층의 위치와 10m까지 의 지층관찰에 신뢰성 이 있다.	고가이며, 시간을 요하고, 버팀목이 필요하고 생성연 도를 추정할 수 있는 재료 가 존재하는 곳에만 사용 되고 지하수위 상부까지 실시할 수 있다.

4. 시료채취

- (1) 현장에서 지반조사를 수행하는 것 이외에 현장을 대표할 수 있는 시료를 채취하여야 하며, 채취하는 시료는 교란상태 또는 비교란 상태로 채취할 수 있다. 교란 시료는 흙의 공학적 분류를 위해 사용하며, 비교란 시료는 지반의 강도, 압축성 등을 평가하기 위해 사용한다.
- (2) 시료채취의 일반적인 요구사항은 다음과 같다.
 - ① 교란시료인 경우에는 심도 1.0m 간격, 또는 지층이 변화할 때마다 교란시료를 채취하여야 한다.
 - ② 비교란시료의 개수와 채취 간격은 대상 구조물의 설계와 필요한 시험방법에 따라 좌우되며, 비교란 시료의 채취에 있어서 다음과 같은 기준을 고려하여야 한다.
가. 지층이 불규칙적이거나 시료가 연약해진 경우에는 배제되어야 한다.

- 나. 회수율(비교란 시료의 회수된 길이를 시료 채취를 위해 압입한 길이로 나눈 비율)은 95% 이상되어야 하며, 면적비(샘플러의 순수 면적을 샘플러의 바깥 지름의 전체 면적으로 나눈 비율)가 15%보다 작은 샘플러를 사용하여야 한다.
- 다. 점착력이 있는 지층의 경우 3m 깊이마다 최소한 1개의 비교란 시료를 채취하여야 한다.
- 라. 만약 공벽의 붕괴위험이 있다면, 케이싱을 사용하거나 시추공에 점성이 있는 슬러리를 사용하여 굴진한다. 이 때 만약 지하수위 측정계획이 있다면, 슬러리의 사용은 피하여야 한다.
- 마. 시료 채취가 지하수위 상부에서 이루어질 때, 시추공은 가능한 건조한 상태를 유지한다.
- 바. 지하수위 하부지점에서 시료채취를 할 경우, 공내 청소, 시료 채취 및 회수, 청소기구를 제거하기 위하여 시추공은 물이나 천공수로 가득 채워져야 한다. 연속적인 시료채취가 필요한 곳에서 케이싱은 천공 및 시료채취가 진행되는 동안 계속해서 잔류하여야 한다.
- 사. 단단하게 다짐된 지층 하부에 연약하고 느슨한 지층이 있는 경우, 한 개의 튜브를 이용한 시료채취는 피해야 한다. 시료채취용 튜브를 관입할 때 관입저항이 갑자기 감소하면 일시에 연약지층에 튜브가 관입되어 시료의 불연속성을 초래할 수 있기 때문이다.
- (3) 수작업으로 채취하는 시료는 시굴된 곳이나, 지층이 노출된 곳에서 채취하기 때문에, 채취된 시료의 교란정도는 다른 방법에 의한 시료들보다 작게 된다. 이와 같이 채취된 비교란 시료는 시료상자와 같거나 다소 작은 크기로 깎은 후에, 왁스를 바른 시료상자에 넣고 봉인하여 운반한다.
- (4) 암석 코어는 텅스텐이나 다이아몬드 코어 배럴을 사용하여 채취한다. 이 때 풍화·연약·파쇄된 암반의 코어 회수율 증가를 위하여 이중관 또는 삼중관 코어배럴을 사용한다. 그리고 코어회수율은 암의 풍화도나 신선도의 정도를 나타내는 것으로, 회수율이 낮은 경우에는 코어 단면을 세심하게 조사할 필요가 있다.
- (5) 풍화도가 다른 다양한 암석시료의 채취는 <표 12>에 제시된 방법을 따른다.



표 12. 풍화된 암 지역의 시료채취 「NAVFAC, 1982」

흙 또는 암	시료채취 방법
봉적층 (느슨하게 뭉치고, 입도분포가 불량한 흙)	항타샘플러나 삼중관 코어배럴을 사용하며, 표석(表石)이 존재하는 경우에는 이중관 배럴을 사용한다. 만약 표석이 존재하지 않는 경우에는 데니스 샘플러도 사용할 수 있다.
구조가 호트리진 잔류토 (암의 구조적 특징이 관찰되지 않음)	항타샘플러나 삼중관 코어배럴을 사용하며, 데니스 샘플러도 사용할 수 있다.
주위의 지반보다 매우 단단한 등근 전석을 포함한 풍화암	항타샘플러나 삼중관 배럴을 사용하며, 전석 채취 시 이중관 배럴을 사용한다.
부스러지기 쉬운 흙의 얇은 층에 의해서 나누어진 모난 전석을 포함한 풍화암	약한 층의 경우 삼중관 배럴과 더불어 이중관 코어배럴을 사용한다.
약간 풍화된 암	이중관 코어배럴을 사용한다.

5. 지하수위 측정

- (1) 지하수위 측정은 시추 종료 후 지하수위가 회복된 상태에서 측정하여야 한다. 안정 지하수위를 파악하기 위해 시추 종료 후 24시간, 48시간, 72시간 경과 시 마다 측정한다. 필요에 따라서는 지하수위 안정화를 위해 시추공에 유공 케이싱을 설치하고 기다려야 한다. 공사 현장의 지하수위는 계절적 변동이 심하므로, 시추공에 스탠드 파이프 피에조미터를 설치하여 장기적으로 측정할 필요가 있다.
- (2) 지하수위 또는 간극수압 측정에 일반적으로 사용되는 피에조미터 형식은 <표 8>과 같으며, 이 중에서 압축식이나 전기식 피에조미터를 사용하는 것이 바람직하다.
 - ① 개방식 관정 : 피에조미터 중에서 가장 단순한 형식으로 지반 내에 개방공을 설치하고, 그 개방공 안에서의 수위를 측정하는 방식이다. 다층지반에서는 지층별로 서로 다른 정수압을 가질 수 있기 때문에 개방식 관정으로 측정된 지하수위는 부정확하고, 잘못된 측정결과를 도출할 수 있는 단점을 가지고 있다. 따라서 개방식 관정에 의한 지하수위 측정은 균일한 퇴적층에서만 사용된다. 개방식 관정의 주요 단점은 스탠드파이프 피에조미터를 시추공 내에 설치함으로써 보완할 수 있으며, 스탠드파이프 피에조미터 방식은 측정하려는 토층을 격리시키는데도 유용하다.
 - ② 다공질 피에조미터 : 다공질 피에조미터의 파이프 끝에는 다공질체를 연결하고, 파이프의 지름은 수위 평형에 소요되는 시간을 단축하기 위해 작은 구경으로 한다.

공질 피에조미터에 가장 많이 사용되는 슈로는 비금속 세라믹 스톤(casagrande type)이지만, 세라믹슈는 손상받기 쉽기 때문에 최근에는 다공질 금속 슈나, 같은 규격의 다른 슈를 사용하기도 한다. 다공질 매체의 간극크기는 약 50 μ m이기 때문에 세립토에도 직접 사용할 수 있다.

③ 기타

가. 특수한 조사 환경에서는 다른 형식의 피에조미터를 사용하기도 하며, 여기에는 전기식, 압축 공기식, 유압식 그리고 수압식 등이 있다.

나. 하나의 시추공 내에는 다수의 피에조미터를 설치할 수 있으며, 이 경우에는 불투수성 재료로 각 피에조미터사이를 봉인시켜 측정하는 구간을 격리시킨다. 그러나 측정점의 수직 간격이 3m 이하인 경우에는 다른 시추공을 이용하여 설치하는 것이 바람직하다.

다. 수위를 측정하기 위해서는 금속자를 사용하거나, 추, 천 등을 사용하지만, 작은 구경의 관은 전기식 감지기를 사용하여 10mm 이내의 정밀 측정을 실시한다. 지하수위 측정에 있어서 오차의 주된 원인은 관내의 기포가 측정관을 막는 경우이다. 이러한 오차를 줄이기 위해서는 적절한 피에조미터를 선택, 설치하고 관내의 기포를 제거해야 한다.

표 13. 지하수위 또는 간극수압 측정 장치 「NAVFAC, 1982」

측정 장치	장점	단점
스탠드파이프, 웰포인트	간단하고 신뢰성이 큼 정교한 슈 불필요	측정시간이 느림 동해가 가능성 있음
압축식 피에조미터	종착점의 표고와 침단표고가 독립적 측정이 빠름	튜브에 습한 공기가 들어가면 안 되므로 관리가 어려움
전기식 피에조미터	측정이 빠르고 고감도. 자동측정에 적합	영점조절에 따른 오차 존재 비싸고 온도 보정 필요

(3) 현장투수시험으로부터 현장상태 재료의 투수계수를 측정할 수 있다. 투수계수는 단위 면적당유출량을 동수경사(흐름을 유발하는 총수두 차이를 유선의 길이로 나눈 값)로 나눈 값으로 정의된다. 투수계수는 지반공학에서 사용되는 어떤 토질 물성보다 가장 변화폭이 크다. 즉, 투수계수는 시험방법과 재료에 따라 10배 또는 그 이상의 크기로 오차가 분포됨이 보고된 바 있다. 또한 투수계수의 측정은 자연조건과 시험조건에 의해 매우 민감하게 영향을 받는다. 이와 같은 현장투수시험의 어려움 때문에 오차원인을 최소화하여 정확한 결과를 얻기 위해서는 이상적인 시험조건과의 차이를 줄이기 위해 많은 주의를 기울여야 한다.



① 다음과 같은 5가지의 물리적 특성이 투수 시험의 수행과 적용에 영향을 미친다.

가. 지하수위의 위치

나. 지반의 종류

다. 시험지역의 깊이

라. 시험지역의 투수성

마. 시험지역의 균질성과 이방성

② 투수시험 방식은 많은 종류가 있으며 지반공학적 조사로는 평형 시험방법이 가장 일반적이다. 이 방법에는 정수위 또는 변수위 시험과 단일 시추공에서 수행되는 팩커(packer)시험이 포함된다. 그 외 특정 목적의 지반공학적 조사나 일반적인 수자원 또는 환경 분야에서는 비평형 시험법인 대수층 시험 및 양수시험이 수행된다.

가. 정수위시험 : 가장 일반적으로 사용되는 투수시험이지만, 매질의 투수계수가 클 때는 수위를 유지하는 것이 어렵고, 투수계수가 작을 때는 유량을 측정하는 것이 어려워 현장시험이 곤란할 때가 많다.

나. 수위상승시험 : 큰 투수계수를 가지는 포화된 지역에서는 이 방법이 정수위 시험이나 수위하강시험보다 더 정확하다. 미립자나 기포에 의한 간극의 막힘도 가장 적게 일어난다. 하지만, 불포화 지역에 대한 수위상승시험의 적용은 불가능하다.

다. 수위하강시험 : 유량이 매우 많거나 매우 적은 구간에서 본 시험은 정수위시험에 비하여 더 정확하다.

라. 수압시험 : 기반암 층을 대상으로 일정 구간에 팩커를 설치하고 0.1MPa부터 11MPa의 압력범위에서 5~7단계 주입압력단계별로 물을 주입하면서 주입량을 측정하는 시험으로 팩커가 설치된 기반암층 구간의 투수계수와 투전값을 측정한다. 시추 중에 공저와 팩커 1개를 이용하는 싱글 팩커식과 시추 완료 후 팩커 2개를 이용하는 더블 팩커식으로 수행할 수 있다.

마. 순간충격시험(slug test) : 자유면 대수층의 경우 단일공에서 순간적으로 물을 주입하거나 양수하여 지하수위의 변화를 일으킨 후 회복되는 시간을 측정하여 대수층의 투수계수를 측정하는 시험이다.

바. 양수시험(pumping test) : 대규모 침투수 조사 시 대수층시험 또는 양수시험은 비용이 비싸지만 다른 어떤 시험보다 유용한 자료를 제공하기 때문에 선호된다. 양수 시험은 시험 우물과 양수장비 및 장시간의 시험시간을 요하며 양수정 외에 1개 이상의 관측정이 필요하다.

해설 3. 추가조사

- (1) 추가조사는 본조사 이후 현장여건의 변화, 설계변경 등 부득이한 사유가 발생하였을 경우에 수행하는 조사로 세부항목에 있어서는 본조사와 동일하며 수행항목과 위치에 대해서는 변경 예정 구조물 특성과 추가 확인하여야 할 지반특성 규명에 적합하도록 계획하여야 한다.



해설 4. 현장시험

1. 개요

- (1) 현장시험은 철도구조물이 계획된 노선 상 지반의 공학적 특성을 원위치에서 바로 측정하는 시험을 의미하며 본 절에서는 시추공에 특정 시험기를 삽입하여 공벽 주변 지반의 공학적 특성을 측정하는 현장시험과 물리검층, 지표에 센서를 설치하여 2차원적인 지반의 물리적 특성단면을 획득하는 물리탐사의 원리와 방법 등에 대해 기술하였다.
- (2) 현장시험은 다시 토사층의 관입저항치, 연약지반의 비배수전단강도, 지층별 변형계수 및 탄성계수 등 지지력과 침하량 등 철도구조물의 역학적 안정해석에 이용되는 지반특성을 획득하는 역학시험 범주와 투수계수를 측정하는 수리시험으로 구분하여 기술하였다.
- (3) 본 절에 기술된 현장시험 이외에도 특수한 목적으로 수행되는 시험들이 있으며 구조물의 설계 목적과 현장 여건에 부합하는 시험을 선별하여 수행하는 것이 중요하다.

2. 역학시험

2.1 표준관입시험

- (1) 표준관입시험은 호박돌을 제외한 대부분의 토질에 대하여 지반 특성을 파악하기 위해 N값을 구하는 현장시험으로 가장 널리 보급되고, 사용되고 있다.
- (2) 표준관입시험은 KS F 2307에 의거 무게 $63.5 \pm 0.5\text{kg}$ 인 햄머를 $76 \pm 1\text{cm}$ 높이에서 자유낙하시켜 표준외경 50.8mm 의 시험용 샘플러를 300mm 관입시키는데 필요한 타격횟수를 말한다.
- (3) 소요 깊이까지 시추공을 천공하고 공저의 슬라임을 제거한 후 샘플러를 로드에서 접속하여 공저로 내린 후 햄머의 타격에 의해서 150mm 예비타, 300mm 본타를 실행하면서 타격횟수를 기록한다. 타격수는 50회로 제한하고 50회의 타격수가 되면 그 때의 관입량을 측정한다.
- (4) 표준관입시험의 채취시료를 관찰하여 지층구성의 정성적 강도, 변형, 함수량, 혼합물 등의 정보와 N값의 심도 분포에서 지반의 연경도나 구성 상태 등을 알 수 있으며, 지지층의 평가, 압밀층이나 액상화층 등을 판단할 수 있고, 지하수위나 투수성, 대수층 등에 대한 정보를 얻을 수 있다.
- (5) 특히 세립의 입상토층 등에서의 상대밀도, 개략적인 비배수 전단강도 등을 추정할 수 있지만 각각의 역학시험에서 확인된 경우를 제외하고는 추정치로만 사용하여야 한다.

(6) <표 13>~<표 14>는 N값과 여러 물성치와의 관계 및 모래의 상대밀도와 N값과의 관계를 나타낸 것이다.

표 13. 모래의 상대밀도와 N값과의 관계

N 값	모래의 상대밀도
0~4	매우 느슨
4~10	느슨
10~30	보통 조밀
30~50	조밀
50 이상	매우 조밀

표 14. N값과 여러 물성치과의 관계

물성치	N값과의 상관관계	관계식
사질토의 내부 마찰각	토립자가 둥글고 균일한 입경 : $\phi = \sqrt{12N} + 15$	Dunham(1954)
	토립자가 둥글고 입도가 양호 : $\phi = \sqrt{12N} + 20$	
	토립자가 모나고 균일한 입경 : $\phi = \sqrt{12N} + 20$	
	토립자가 모나고 입도가 양호 : $\phi = \sqrt{12N} + 25$	
	$\phi = 27.1 + 0.3N_{60} - 0.00054N_{60}^2$ 여기서, N_{60} : 보정한 N값	Peck-Hanson -Thornburn (1974)
점성토의 비배수 전단강도	$S_u = kN$ 여기서, k : 상수 3.5~6.5kPa, 평균 4.4kPa	Stroud(1974)
	$S_u = 29N^{0.72}(\text{kPa})$	Hara 등(1971)

2.2 콘관입시험

(1) 콘관입시험은 콘을 강제로 이루어진 룯드 하단에 연결하여 유압식 관입기에 의해 지중에 관입시키면서 지반심도에 따라 연속적으로 지반의 저항력을 측정하는 시험법으로 주로 연약점성토나 실트층, 또는 세립의 사질토 지반에 주로 사용된다.

(2) 콘관입시험은 크게 기계식과 전기식으로 구분한다.

- ① 기계식 콘 : 일반적으로 마찰 맨틀콘으로 불리며 원추와 마찰슬리브가 이중관으로 분리되어 있다. 기계식 콘은 경제적인 점에서는 유리하지만 단속적으로 측정이 되고, 내부관의 마찰 등으로 시험 시 오차 유발요인이 많다.



- ② 전기식 콘 : 연속적으로 자동측정이 가능하고 측정 오차를 최소화할 수 있으며 간극수압을 측정할 수 있는 장점이 있어 현재 가장 널리 사용되고 있다.
- (3) 전기식 콘은 콘 내부에 원추관입 저항력과 주면마찰력, 간극수압 등을 측정할 수 있는 로드셀 및 트랜스듀서를 설치하고, 이들과 연결되어 있는 데이터 처리 시스템을 통해 콘의 관입에 따라 측정치를 연속적으로 얻을 수 있는 장비이다. 또한 간극수압을 측정할 수 있으므로 피에조콘으로 불리기도 한다.
- (4) 피에조콘은 원추관입 저항력과 주면마찰력, 그리고 콘의 관입 시 발생하는 간극수압을 측정하며, 선단각이 60° , 원추 저면적이 10cm^2 , 주면의 표면적이 150cm^2 인 콘을 표준형으로 채택하고 있다.
- (5) 간극수압을 측정하기 위한 필터의 위치는 피에조콘의 선단면, 선단 위, 또는 주면에 위치하고 필터가 콘의 선단 직상부에 위치하는 콘이 가장 일반적으로 사용된다.
- (6) 피에조콘 관입시험은 간극수압을 측정하는 센서 및 이를 둘러싼 다공질 필터를 완전히 포화시킨 후 피에조콘을 로드와 연결하고, 유압식 관입 시스템에 의해 $2\sim 3\text{cm/sec}$ 속도로 관입시키면서 원추관입 저항력과 주면마찰력, 간극수압을 연속된 시간 간격으로 얻는다.
- (7) 지반의 압밀계수 또는 투수계수를 얻고자 할 경우 원하는 심도에서 관입을 멈춘 후 발생된 과잉간극수압이 소산되는 변화를 시간에 따라 측정하며, 보통 발생 과잉간극수압이 $1/2$ 이상 감소될 때 까지 수행한다.
- (8) 피에조콘 관입시험에서는 다음과 같은 결과를 산정할 수 있다.

- ① 피에조콘 선단에서의 저항력인 원추 관입 저항력(q_c), 마찰슬리브에서의 저항력인 주면마찰력(f_s), 콘이 관입할 때의 간극수압을 측정하며, 시험기 내부로 관입된 필터의 사용으로 인하여 원추 관입 저항력이 영향을 받기 때문에 <식 (1)>을 이용하여 보정한 원추 관입 저항력(q_T)를 산정한다. a 는 부등 단면적 비로 로드의 단면적을 원추 저면적으로 나눈 값이며, 일반적으로 $0.15\sim 0.30$ 의 값을 갖는다. 단 필터가 없는 일반 콘의 경우 a 가 1이므로 q_T 는 측정치 q_c 와 같다.

$$q_T = q_c + (1-a)u_{vT} \quad (1)$$

- ② 흙의 분류는 원추 관입 저항력에 대한 마찰률(R_f) 또는 간극수압계수(B_q)의 상관관계 도표를 이용하여 이루어진다. 마찰률은 <식 (2)>와 같이 원추 관입 저항력에 대한 주면마찰력의 백분율로 정의된다.

$$R_f(\%) = \frac{f_s}{q_T} \times 100 \quad (2)$$

간극수압(B_q)는 (식 3)과 같이 정의된다.

$$B_q = \frac{u_{bT} - u_0}{q_T - \sigma_{v0}} \quad (3)$$

여기서, σ_{v0} : 연직 전응력, u_0 : 정수압

- ③ 피에조콘 관입시험을 통해 비배수 전단강도를 산정하는 하는 방법 중 가장 일반적인 방법은 Schmertmann(1978)이 제시한 피에조콘계수를 토대로 한 방법이며 <식 (4)>로 정의된다.

$$S_u = (q_T - \sigma_{v0}) / N_{kT} \quad (4)$$

- ④ 내부마찰각은 Robertson과 Campanella(1983)가 제시한 <식 (5)>로 정의된다.

$$\phi' = \tan^{-1} [0.1 + 0.38 \log(\frac{q_T}{\sigma'_{v0}})] \quad (5)$$

- ⑤ 시간에 따른 과잉간극수압의 변화로부터 간극수압 소산곡선을 얻을 수 있으며 이로 부터 점성토 지반의 압밀계수를 산정할 수 있는데, Torstensson(1975), Baligh & Levadoux(1986), The & Houlsby(1991) 등 각각의 연구자들이 제시한 시간계수를 이용하여 평가할 수 있다.

- (3) 콘관입시험 결과는 이외에도 과압밀비, 변형계수, 점성토의 예민비를 구하는데 사용할 수 있으며, 액상화 가능성이나 얇은 기초, 깊은 기초의 지지력을 구하는데도 이용할 수 있다.

2.3 현장베인전단시험

- (1) 현장베인전단시험은 연약하고 포화된 점성토 지반의 비배수 전단강도를 추정하기 위해 실시하는 현장시험이다.
- (2) 4개의 날개가 있는 베인을 자연 지반에 관입시킨 후 표면으로부터 회전시키면서 베인에 의한 원주형 표면에 전단 파괴가 일어나도록 하며, 이때 소요되는 회전력을 측정한다. 이 힘은 원주형 표면의 단위 전단 저항으로 환산되며 이 값이 측정된 비배수 전단강도이다.
- (3) 베인은 4개의 날개로 이루어져 있으며 두께는 약 1.6~3.2mm이다. 각 날개는 일반적으로 직사각형이며, 높이는 지름의 2배이다.
- (4) 시험은 먼저 회전 룯드에 의해 연결된 베인을 요구되는 심도까지 삽입한다. 이때 요구되는 깊이는 베인 쉬스(Sheath) 지름 또는 시추공 지름의 5배 이상이며, 회전력은 분당 약 6도의 속도로 기어를 통해 가해진다.
- (5) 현장베인전단시험을 통한 비배수 전단강도는 <식 (6)>을 통해 산정한다.

$$S_u = \frac{T}{K} \quad (6)$$

여기서 T : 측정된 회전력, K : 베인상수



배인상수(K)는 배인시험 시 전단응력이 원통 파괴면 단부와 주변에 균등하게 분포된다는 가정을 근거로 <식 (7)>을 통해 구해진다.

$$K = \frac{\pi}{10^6} \times \frac{D^2 H}{2} \times \left(1 + \frac{D}{3H}\right) \quad (7)$$

여기서, D : 배인의 지름(cm), H : 배인의 높이(cm)

2.4 현장배인전단시험딜라토미터시험

- (1) 딜라토미터시험은 시험기를 지반에 관입 또는 타입한 후 특정 깊이에서 스테인레스 스틸로 만들어진 중앙의 원형 멤브레인을 가스압력을 이용하여 수평방향으로 팽창 및 수축시키고 특정 팽창과 수축 변위에서의 압력으로부터 지반의 특성을 추정하는 현장시험법이다.
- (2) 딜라토미터시험은 1970년 대 말에 이탈리아의 Silvano Marchetti에 의해 개발된 현장 시험 기구로서 상업적으로 이용된 것은 1979년 경이다. 이 기구를 이용한 현장시험은 근래에 시작되었지만 실험의 간편성, 내구성, 경제성 등으로 인해 점차 사용이 증가하고 있다.
- (3) 딜라토미터는 한쪽 면의 중앙에 60mm 지름을 가진 스테인레스 스틸 원형판 멤브레인이 위치하고 있는 15mm의 두께와, 96mm 너비, 220mm 길이의 시험기이다. 이 원형판은 균등하게 팽창할 수 있도록 얇은 고무에 의해 둘러싸여 있다.
- (4) 시험을 통해 측정하는 값은 멤브레인이 0.05mm, 1.10mm 팽창 시, 그리고 다시 0.05mm로 수축 시 압력 A , B , C 이며 이를 이용하여 지반의 여러 가지 공학적 성질을 추정한다.
- (5) 측정된 압력값은 <식 (8)>~<식 (10)>을 이용하여 0.05mm, 1.10mm로 팽창했을 때의 압력 p_0 , p_1 , 그리고 0.05mm로 수축했을 때의 압력 p_2 를 보정한다.

$$p_0 = 1.05(A - Z_m + \Delta A) - 0.05(B - Z_m - \Delta B) \quad (8)$$

$$p_1 = (B - Z_m - \Delta B) \quad (9)$$

$$p_2 = (C - Z_m + \Delta A) \quad (10)$$

여기서, Z_m : 대기압 상태에서 압력계의 값(초기값)

- (6) 이 값들은 딜라토미터 계수들을 활용하여 지반물성치를 결정하는데 활용하며, 주요한 딜라토미터 계수는 다음과 같다.

① 딜라토미터 계수(Dilatometer Modulus)

$$E_D = 34.7(p_1 - p_0) \quad (11)$$

② 수평응력지수(Horizontal Index)

$$K_D = \frac{p_0 - u_0}{\sigma'_{v0}} \quad (12)$$

③ 지반지수(Material Index)

$$I_D = \frac{p_1 - p_0}{p_0 - u_0} \quad (13)$$

④ 간극수압지수(Pore pressure Index)

$$U_D = \frac{p_2 - u_0}{p_0 - u_0} \quad (14)$$

여기서 σ'_{vo} : 연직유효응력, u_0 : 블레이드 삽입 전 정수압

(7) 딜라토미터시험에서는 다음과 같은 결과를 산정할 수 있다.

① 비배수전단강도(Marchetti, 1980)

$$S_u = 0.22\sigma'_{vo}(0.5K_D)^{1.25} \quad (15)$$

② 정지토압계수(Marchetti, 1980)

$$K_0 = \left(\frac{K_D}{1.5} \right)^{0.47} - 0.67 \quad (16)$$

③ 탄성계수

$$E_s = (1 - \nu^2)E_D \quad (17)$$

(8) 딜라토미터시험 결과를 이용하여 점성토의 과압밀비, 압밀계수 등을 결정할 수 있으며 체적압축계수, 모래의 마찰각 및 상대밀도, 현장 정수압, 액상화 가능성, 단위중량 등을 평가하는데 이용할 수 있다.

2.5 공내재하시험

(1) 공내재하시험은 토사지반과 암반을 대상으로 굴착공벽에 수평방향으로 하중을 가할 때 일어나는 변위를 측정하여 원지반 응력-변형특성을 직접 파악할 수 있는 현장시험법이다.

(2) 공내재하시험을 통하여 수평지반의 반력계수, 변형계수, 탄성계수, 정지토압계수의 파악이 가능하며 기초 및 토류벽 변형해석 등에 이용된다.

(3) 공내재하시험은 시추공 굴착 후 프루브를 삽입하고 시험 시작 시 프루브와 공벽을 밀착시키기 위하여 압력을 가하며, 가압방법은 등분포재하시험과 등변위재하시험으로 구분된다.

① 등분포 재하시험

가. 시험공 내에 고무튜브로 된 프루브를 삽입하고 가압액을 주입함으로서 공벽에 등분포하중을 가하는 방식이다.

나. 시험공 공벽에 동등한 하중이 가해지기 때문에 응력분포가 축대칭이 되고 이론적인 취급이 용이하다.



다. 불균질 지반이나 이방성 지반의 경우에 얻어지는 변형계수는 시험지점 공벽 전 들레의 평균값이다.

② 등변위 재하시험

가. 시험공 내에 소형의 특수 잭(jack)으로 된 프루브를 삽입하고 강체 재하판으로 공벽의 일정 부분에 등변위 하중을 주는 방식이다.

나. 시험시의 지반 내 응력 분포가 복잡하지만 등분포 재하법과 비교해 큰 하중을 작용시킬 수 있는 장점이 있다.

다. 불균질 지반이나 이방성 지반의 경우 재하 방향에 따라 시험값이 다른 경우가 있기 때문에 재하 방향을 명확히 할 필요가 있다.

(4) 시험이 완료되면 압력-변형곡선을 작성하여 변형계수 및 탄성계수를 산출한다. 변형계수는 압력-변형곡선의 탄성영역 내의 직선의 기울기로 평균 변형계수로 나타낸다. 탄성계수는 압력-변형곡선의 반복재하에 따른 탄성영역의 직선의 기울기이다.

(5) 공내재하시험을 통해 산출된 변형계수는 기초의 침하 및 횡방향 변형해석이 이용된다.

2.6 공내전단시험

(1) 공내전단시험은 풍화대층의 강도정수를 파악하기 위한 시험법으로, 공내전단시험을 통해 점착력과 내부마찰각을 산정하고 이를 구조물 안정성 검토에 이용한다.

(2) 시험은 시험심도 구간 선정 후 프루브를 삽입하고 지상에 핸드펌프를 이용하여 프루브가 공벽에 밀착되도록 수평압력을 가한다. 이후 프루브와 연결된 로드를 지상에서 유압잭으로 전단압력을 가하여 전단압력이 최대가 될 때의 수평압력과 전단압력을 측정한다.

(3) 수평압력을 단계적으로 3~5회 증가시키며 측정하여 각 단계별 수평압력과 전단압력을 X, Y 축에 표시하고 이들 점들에 대한 선형회귀분석을 통해 점착력과 내부마찰각을 산정한다.

(4) <그림 2>은 선형회귀분석을 통한 강도정수 산정 예이다.

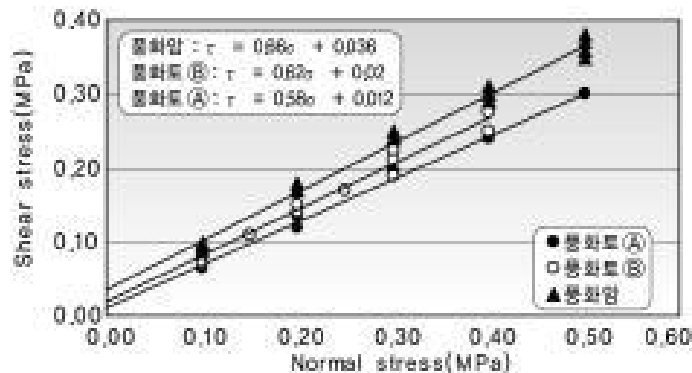


그림 2. 공내전단시험을 통한 강도정수 산정

3. 수리시험

3.1 현장투수시험

- (1) 현장투수시험은 현장조건상에서 토사지반의 투수계수를 산정하는 시험법으로 가시설 설계 시 차수공법 검토 및 침투류 해석 시 입력 자료로 활용한다.
- (2) 현장투수시험은 시험 방법에 따라 정수위법과 변수위법으로 구분되며 각각의 모식도는 <그림 3>에 도시하였다.

① 정수위법(Constant Head Test)

- 지하수위면 하부 :

$$K = \frac{Q}{2\pi L(HG + HW)} \ln \left[\frac{L}{2R} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{2R} \right)^2} \right] \quad (18)$$

- 지하수위면 상부 :

$$K = \frac{Q}{2\pi L(HD + HW)} \ln \left[\frac{L}{2R} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{2R} \right)^2} \right] \quad (19)$$

여기서, K : 투수계수(cm/sec)

L : 시험구간(cm),

HG : 지표로부터 지하수위(cm)

HW : 지표로부터 케이싱 내 수두높이(cm)

HD : 지표하 케이싱 침도(cm)

R : 케이싱 반경(cm), Q : 유입량(cm³)

② 변수위법(Falling Head Test)

$$K = \frac{R^2}{2L(T_2 - T_1)} \ln \left(\frac{L}{R} \right) \ln \left(\frac{H_1}{H_2} \right) \quad (20)$$

여기서, K : 투수계수(cm/sec)

L : 시험구간(cm), R : 공의 반경(cm)

H_1 : T_1 의 공내수위와 지하수위의 차이(cm)

H_2 : T_2 의 공내수위와 지하수위의 차이(cm)

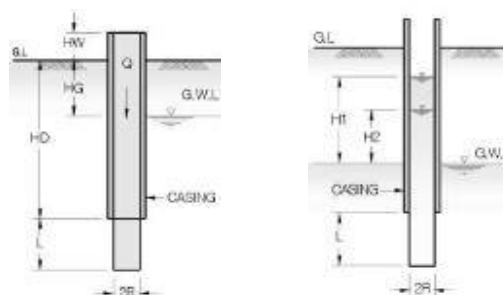


그림 3. 현장투수시험 모식도(좌 : 정수위법, 우 : 변수위법)



3.2 현장수압시험

- (1) 현장수압시험은 수압을 이용하여 절리를 포함한 암반의 투수성을 파악하는 시험법으로 주입압력에 따른 주입량곡선을 작성함으로써 암반의 투수성 및 루전값을 산출한다.
- (2) 공경 76mm의 시추공에 압력 1MPa/min으로 주수한 경우 주입길이 1m 당 주입량을 리터 단위로 나타낸 것이 루전(Lugeon)이다.
- (3) 시험은 시추공 내에 팩커를 설치한 후 압력의 증감은 5~9단계로 나누어 주입압력별로 약 5~10분간의 가압시간을 유지하여 정확한 투수계수를 산정한다. <그림 4>은 수압시험의 모식도를 도시한 것이다.
- (4) 투수계수는 <식 (2.5.21)>을 통해 산출한다.

$$K = \frac{2.3Q}{2\pi HL} \ln\left(\frac{L}{R}\right) \quad (21)$$

여기서, K : 투수계수(cm/sec)

L : 시험구간(cm)

Q : 주입유량(cm^3/sec),

H : 총수두(cm), R : 공반경(cm)

- (5) 루전값은 (식 2.5.22)를 통해 산출된다.

$$L_u = \frac{10Q}{PL} \quad (22)$$

여기서, L_u : 루전값

Q : 주입유량(ℓ/min)

L : 시험구간(m)

P : 주입압력(kg/cm^2)

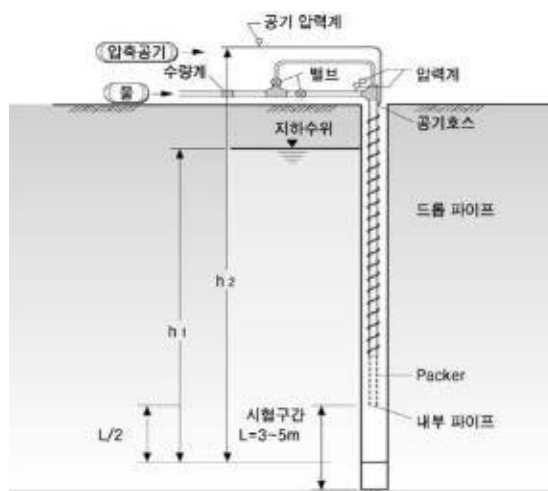


그림 4. 수압시험(single packer) 모식도

3.3 양수시험

- (1) 양수시험은 굴착에 따른 지하수 유입량의 시간적 변화를 분석하여 투수량계수, 투수계수, 저류계수 등을 산정하는 시험법으로, 굴착지역에서 발생할 수 있는 지하수위 변화 및 유동을 예측하는 기초 자료로 이용된다.
- (2) 양수시험(Pumping Test) 시 양수량은 안정수위가 형성될 때까지 일정하게 유지하여야 하며 양수량은 적산유량계를 이용하여 측정한다.
- (3) 수위회복시험(Recovery Test)은 양수시험을 종료한 즉시 실시하여야 하며 최초 자연수위의 80%까지 회복될 때까지 실시한다.
- (4) 수위강하량과 수위회복량은 자동수위측정기를 이용하여 측정하며 일반적으로 측정간격은 1분, 수위변화량은 1mm 단위까지 측정한다. <그림 5>는 자유면 대수층에서 양수시험에 의한 지하수면의 변화를 도시한 것이다.
- (5) 시험결과는 Theis법(1935), Cooper-Jacob법(1963) 등을 이용하여 분석하며, 수위회복 시험의 경우 Theis Recovery법을 이용하여 해석한다.

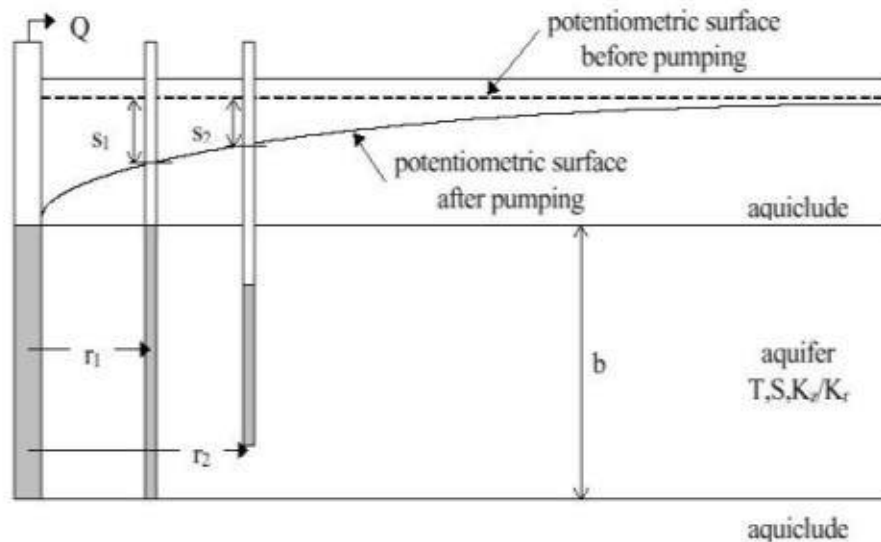


그림 5. 자유면 대수층에서 양수시험에 의한 지하수면의 변화

3.4 순간충격시험(수위변화시험)

- (1) 순간충격시험은 지반의 투수성을 파악하기 위해 베일러를 순간적으로 투입하여 지하수위를 변동시킴으로써 시간에 따른 수위 회복 양상을 관측하는 시험법이다.
- (2) 순간충격시험은 베일러 투입을 통한 갑작스런 부피의 변화에 의해 지하수위의 상승이 발생하고 점차 수위가 원래의 자연수위로 회복하는 변화를 측정하는데, 시험은 굴착이 종료된 이후 24시간 이상 경과한 상태에서 안정수위를 유지한 후 실시한다.
- (3) 수위변화량은 일반적으로 1~5초 간격으로 1mm 단위까지 측정한다.



- (4) 시험결과는 Hvorslev법(1951)과 Bouver-Rice법(1976)을 통해 분석하는데, Hvorslev법은 자유면 대수층이 수평과 수직으로 무한히 펼쳐져 있다고 가정하기 때문에 대수층의 두께를 알고 있는 경우 Bouver-Rice법으로 분석하여야 한다.

4. 물리탐사

4.1 일반사항

- (1) 물리탐사는 지하매질의 물리적 특성을 측정하여 지하의 지질구조 및 지반의 특성 등을 지표 또는 시추공 내에서 직접 또는 간접적으로 측정하는 지반조사 방법의 일종으로 관측하는 물리현상은 밀도, 탄성계수, 전기전도도, 방사능 함량 등이다.
- (2) 조사대상 지역의 지질구조의 종류 및 특성에 따라 측정대상이 되는 물리적 특성이 달라지게 되므로 물리탐사 설계단계에서 기본적으로 결정되어야 하는 것은 조사대상 지반의 지질특성이며, 이는 결과적으로 물리적 특성으로 귀결된다.
- (3) 지반조사에 적용되는 물리탐사 방법들은 탐사장소에 따라 크게 지표탐사와 시추공탐사로 분류할 수 있으며, 이를 탐사 시 이용하는 지하매질의 대비물성에 따라 정리하면 다음과 같다.
 - ① 탄성과 속도 : 굴절법탄성파탐사, 반사법탄성파탐사, 표면파탐사, 하향식 탄성파탐사(Downhole test), 시추공간 탄성파탐사(Crosshole test), 탄성과 토모그래피, 음파검층, 초음파주사검층 등
 - ② 전기비저항 및 전기전도도 : 전기비저항탐사, 전자탐사, 전기비저항 토모그래피, 전기검층 등
 - ③ 유전율 : 레이더(GPR) 탐사, 레이더 반사법탐사, 레이더 토모그래피탐사 등
- (4) 물리탐사를 활용되는 분야에 따라 정리하면 다음과 같다.
 - ① 탐사대상 지역 지반의 지층 층서구조 및 단층, 파쇄대 등의 지질구조 파악 : 굴절법 탄성파탐사, 전기비저항탐사, 전자탐사 등
 - ② 현지 암반의 동적물성치 산출 : 하향식 탄성파탐사, 시추공간 탄성파탐사, 표면파탐사, 음파검층, 밀도검층 등
 - ③ 단층, 파쇄대, 절리 등과 같은 불연속면의 발달상태 파악 : 시추공 영상촬영, 초음파 주사검층 등
 - ④ 특정 대상 지반을 정밀하게 파악 : 탄성과 토모그래피, 전기비저항 토모그래피, 레이더 토모그래피, 3차원 전기비저항탐사, 반사법탄성파탐사 등
- (5) 물리탐사는 탐사 대상 지반의 물리적 특성, 탐사목적, 탐사결과의 활용 방안 등에 대한 폭넓은 이해가 선행되었을 때 보다 효율적으로 활용이 가능하다.

- (6) 또한 각각의 물리탐사는 기본원리 및 가정, 해석적인 한계가 분명히 존재하므로 탐사 목적에 부합하는 결과 도출을 위해서는 다수의 탐사 기법을 복합 적용하고, 시추조사 및 지표지질조사 등과의 연계 분석을 통해 해석의 정밀도를 향상시킬 필요가 있다.
- (7) 본 편람의 물리탐사에 대한 설명은 각각의 물리탐사의 원리, 탐사의 종류, 가탐심도, 탐사결과와의 활용, 탐사 시 유의사항 순으로 기술하였다.

4.2 전기비저항탐사

- (1) 전기비저항탐사는 지하에 전류를 흘려보낸 후 지하의 전기비저항 분포와 지형에 따라 분포하는 전위를 분석하여 지하의 전기비저항 분포를 파악하는 탐사법이다.
- (2) 탐사 방법은 1차원 탐사, 2차원 탐사, 3차원 탐사로 구분되며 이들 탐사 방법은 조사 장소의 상황이나 조사 목적에 따라서 달리 사용되지만 최근에는 2차원 탐사를 이용하는 것이 일반적이다.
 - ① 1차원 탐사(수직 및 수평탐사) : 지하의 수직 및 수평의 층서구조 파악
 - ② 2차원 탐사 : 측선 하부의 2차원적 영상을 획득
 - ③ 3차원 탐사 : 탐사지역 하부 지반의 3차원적 영상을 획득
- (3) 탐사 심도는 전극 간격 및 측선 길이와 밀접한 관계가 있으며, 탐사기기의 성능과 지층의 전기비저항값에도 좌우되지만 일반적인 탐사심도는 다음과 같다.
 - ① 1차원 탐사 : 평탄한 지대에서는 200~300m 정도까지는 가능하며 이 경우 최대 전극 간격은 400~600m 정도이다. 일반적으로 100 m 이내의 얕은 곳을 대상으로 한다.
 - ② 2차원, 3차원 탐사 : 지하 하부 300m 정도까지 탐사가 가능하나 탐사 심도가 깊어지면 분해능이나 해석 정밀도가 떨어진다. 탐사 심도가 이보다 큰 경우에는 전자탐사 등 다른 탐사 방법을 이용하는 것이 효율적이다.
- (4) 탐사 결과는 대수층이나 지층의 분포, 단층 파쇄대, 열수 변질대나 풍화대의 분포 파악에 활용되며, 2차원 탐사에서는 저비저항대의 경사로부터 단층 파쇄대나 열수 변질대의 경사를 추정할 수 있다.
- (5) 탐사 적용 시 유의사항은 다음과 같다.
 - ① 1차원 및 2차원 탐사는 지형·지하구조가 측선에 수직인 방향으로는 변화가 없다는 것을 전제로 하므로 측선 방향으로 지형·지하구조가 현저하게 변하는 경우에는 보조 측선을 설정하여 양자의 결과를 비교·검토하거나 3차원 탐사를 수행할 필요가 있다.
 - ② 측선 가까이 송전선, 철도, 철강 구조물 등이 있으면 잡음이나 이상 측정의 원인이 되기 때문에, 이들과 근접하지 않도록 측선을 계획한다.
 - ③ 2차원 탐사에서는 해석 단면의 밑부분, 측선의 양 끝부분에서는 해석 정밀도가 저하되므로 탐사 범위를 목적 대상보다 넓게 설정할 필요가 있다.



4.3 전자탐사

- (1) 전자탐사는 전자기파가 지하 매질을 전파하다가 전자기적 물성이 다른 이상체를 만나게 되면, 이상체 내에는 산란전류가 유도되며, 유도전류에 의하여 발생하는 2차장의 강도 및 위상을 측정하여 지하 이상체 및 지질 구조에 대한 정보를 얻어내는 탐사법이다.
- (2) 탐사 방법은 측정 방법에 따라 CSAMT법(Controlled Source Audio-frequency Magneto-Telluric method) 또는 CSMT법 (Controlled Source Magneto-Telluric method), 시간영역 전자탐사법(TEM; Transient EM 또는 TDEM; Time Domain EM), 소형루프 전자탐사법(Small loop EM), VLF 전자탐사법(VLF-EM), 항공 전자탐사법(AEM; Airborne EM 또는 HEM; Helicopter borne EM) 등으로 구분된다.
- (3) 탐사 심도는 탐사 방법에 따라 차이가 있으며 전기비저항탐사와 같이 가탐심도가 깊어지면 분해능 및 해석 결과의 정밀도가 떨어진다.
 - ① CSAMT 또는 CSMT법 : 약 30~1,000m
 - ② TEM 법 : 전기 양극자(bipole) 송신원의 경우 약 200~1,500m, 루프 송신원의 경우 약 10~500m
 - ③ 소형루프 전자탐사법 : 약 50m
 - ④ 항공 전자탐사법 : 약 10~100m
- (4) 탐사 결과는 다음과 같이 활용된다.
 - ① CSAMT법이나 TEM법 : 깊이 수십 내지 수백 m 내에 있는 단층, 파쇄대, 변질대 및 대수층의 위치나 규모 파악
 - ② 소형루프 전자탐사법 : 심도 약 50m 이내의 표토층 두께, 단층 파쇄대의 위치 파악
 - ③ 항공 전자탐사법 : 심도 약 10m 이내의 천부 지하수 분포 및 표토층, 사면층 규모나 두께 파악
- (5) 탐사 적용 시 유의사항은 다음과 같다.
 - ① 고압선, 발전소, 무선 중계소, 전력선, 전화선, 공장 등에서 발생한 각종 전자기 잡음의 영향을 받기 쉬우므로 잡음원이 많은 도심지역에서는 측정 정밀도가 떨어진다.
 - ② 화강암 지대와 같이 천부에서부터 치밀하고 높은 전기비저항의 암체가 분포한 경우 천부층에 관한 해석은 가능하지만 그 이상의 해석은 불가능하다.

4.4 굴절법탄성파탐사

- (1) 굴절법탄성파탐사는 지표 부근에서 발파 등으로 탄성파(P파, S파)를 발생시켜 속도가 다른 지층 경계에서 굴절되어 돌아오는 굴절파를 지표에 설치한 측정 장치로 기록하여 지하의 속도구조를 알아내는 탐사법이다.
- (2) 탐사 방법은 P파 초동을 이용한 측정 방법이 일반적으로 사용되며, 토질지반을 대상으로 비교적 천부의 속도구조를 구하는 경우 S파 분석 방법이 일부 사용된다.

- (3) 탐사 심도는 발생원으로 다이내마이트를 사용하는 경우 100~200m, 비폭약 발생원을 사용하는 경우 수 m~30m 이다.
- (4) 탐사 결과는 지반의 속도분포를 분석하고, 획득된 속도 분포와 시추 결과 및 기존의 지질 자료 등을 서로 대비시켜 종합적으로 해석함으로써 다음과 같은 내용을 파악할 수 있다.
 - ① 지층 분포 특성
 - ② 단층 파쇄대 등 지질이상대 파악
 - ③ 탄성과 속도를 이용한 굴착난이도 산정
- (5) 탐사 적용 시 유의사항은 다음과 같다.
 - ① 굴절법탄성파탐사는 심부로 갈수록 탄성과 속도가 커진다는 층서구조를 가정하여 탄성과 속도가 역전된 지층에 대해서는 해석이 어렵다.
 - ② 하부로 갈수록 탄성과 속도가 증가하는 층서구조인 경우에도 하부가 얇은 층(thin layer)인 경우에는 숨은층(blind layer)이 되어 굴절파가 초동으로 나타나지 않음으로써 얇은 층이 규명되지 않는 경우가 있다.
 - ③ 측선에 평행 또는 예각으로 고속도층이 분포하는 경우 측선에 직교하는 측선을 추가하여 해석의 정밀도를 높일 필요가 있다.

4.5 표면파탐사

- (1) 표면파탐사는 지표를 따라 전파하는 표면파의 분산특성을 이용하여 지하 매질의 탄성과 속도 구조를 규명하는 탐사법이다.
- (2) 탐사 방법은 수진기의 배열 및 해석방법에 따라 SASW(Spectral analysis of Surface Waves)와 MASW(Multi-channel Analysis of Surface Waves), HWA(Wavelet Analysis of Wave) 등으로 구분된다.
 - ① SASW : 측선 진행 방향과 교차하여 수진기를 위치시키며 획득된 표면파를 분석하여 측정 지점의 전단파 속도 주상도를 파악한다.
 - ② MASW : 측선 진행 방향과 평행하게 다수의 수진기를 위치시키며 파장에 따른 표면파의 전파속도를 분석하여 전단파 속도단면을 획득한다.
 - ③ HWA : 획득된 탄성과 신호에 대해 Harmonic Wavelet 이론을 적용한 기법으로 측정 지점의 전단파 속도 주상도를 파악한다.
- (3) 탐사 심도는 최대 파장의 1/2 정도이며 탐사 시 사용되는 수진기의 주파수 성분이 5~30Hz 임을 감안할 때 통상 30m 내외이다.
- (4) 탐사 결과는 S파 속도 분포를 분석하여 개략적인 지층 분포 파악과, 지반의 동적물성치 산정을 통해 내진해석, 연약지반 개량 평가, 구조물의 안전진단 및 강성도 평가에 활용된다.



(5) 탐사 적용 시 유의사항은 다음과 같다.

- ① 지형 기복이 심한 경우 레일리파의 분산 등의 영향으로 적용성이 떨어진다.
- ② 통상적인 탐사 심도가 30m 내외로 탐사 심도를 증대시키기 위한 연구가 필요하다.

4.6 GPR 탐사

(1) 레이다탐사는 송신 안테나에서 발생시킨 전자기파가 지하의 불균질대에서 반사되거나 혹은 투과되어 수신안테나에 감지된 전자기파의 도달 주시를 이용하여 지반 구조, 지하 매설물 등을 영상화하는 탐사법이다.

(2) 탐사 종류는 지표에서 안테나를 설치하고 탐사하는 지표 레이다탐사(Ground Penetrating Radar, GPR)와 시추공에 안테나를 삽입하여 측정하는 시추공 레이다탐사로 나눌 수 있다.

① 지표 레이다탐사 : 송수신 안테나를 지표에 위치시키고 지하에서 반사된 전자기파를 이용하여 지하를 영상화하는 방법으로, 각종 레이다탐사 중 가장 많이 사용되며 특별한 언급 없이 레이다탐사라 할 경우에는 GPR 탐사를 의미한다.

② 시추공 레이다탐사 : 시추공 내에 송수신 안테나를 위치시켜 시추공간을 영상화시키는 방법으로 GPR 탐사와 같이 레이다 반사파를 이용하여 지하를 영상화하는 반사법 레이다탐사와 지하의 불균질대를 투과한 전자기파를 이용하는 레이다 토모그래피탐사로 구분된다.

(3) 탐사심도는 송신 안테나의 주파수 대역에 따라 차이는 있으나 수 m~수십 m까지 측정이 가능하다. 지표 하부 수 m 이내의 지표 천부 매설물이나 공동을 탐사하기 위한 경우에는 수 백 MHz 이상의 높은 중심 주파수를 갖는 안테나가 사용된다. 수 m 이상의 심도에 대한 탐사가 필요한 경우에는 100MHz 이하의 낮은 중심 주파수를 갖는 안테나를 사용하지만, 전자기파의 감쇠 현상 때문에 10m 이상의 심도까지 탐사가 가능한 경우는 암반이 지표에 노출되어 있는 지역을 제외하고는 드물다.

(4) 탐사결과는 레이다 반사파 단면도에서 나타나는 반사 양상으로부터 지하 매설물의 위치, 심도, 규모, 형상 파악하는데 활용된다.

- ① 매설관로, 폐기물 등의 매설물 파악
- ② 공동(특히 포장도로 하부 또는 터널 배면 공동)·갱도·지하실 등의 지하 공동 탐사
- ③ 매물 유적 탐사
- ④ 단층, 파쇄대 등 지질이상대
- ⑤ 기반암 경계면, 지층 경계면, 강 바닥, 호수 바닥 퇴적물 분포 특성

(5) 탐사 적용 시 유의사항은 다음과 같다.

- ① 레이다탐사는 고주파수 전자기파를 이용하기 때문에 심한 감쇠 현상이 발생하는데 전자기파의 감쇠 정도는 지하 매질의 전기비저항에 반비례하며, 사용 안테나의 주파수에 비례한다.

- ② 점토 함량이 높은 토양층과 같이 저비저항을 갖는 지반에서는 심한 감쇠 현상 때문에 GPR탐사의 가탐심도가 낮아지며 수신된 전자기파의 세기가 약하므로 상대적으로 주변 전자기파 잡음의 영향이 커져 해석 정밀도 또한 저하된다.
- ③ 수상에서 탐사를 할 경우, 강 또는 호수의 바닥은 대단히 강한 반사면을 형성하여 대부분의 전자기파 에너지는 물 바닥면에서 반사되고, 일부 에너지만이 지하로 전파되므로 지하로의 가탐심도는 낮아지게 된다.
- ④ 구조물을 대상으로 탐사할 경우, 구조물 철망이나 철근이 전자기파 차폐막의 역할을 할 수 있으므로 이에 의한 영향이 매우 크다.

4.7 토모그래피탐사

- (1) 토모그래피탐사는 의료용 CT(Computerized Tomography) 촬영기법의 근본원리를 물리탐사에 도입하여 연구 개발된 정밀 탐사 기술이다.
- (2) 토모그래피탐사는 적용한 탐사 방법에 따라 전기비저항 토모그래피탐사, 탄성파토모그래피탐사, 레이더 토모그래피탐사로 구분된다.

① 전기비저항 토모그래피탐사

- 가. 전기비저항 토모그래피탐사는 지표와 시추공을 이용하여 탐사 대상 영역을 둘러싸도록 전극을 설치하고, 지하에 전류를 흘려 발생한 전위를 측정하는 탐사법으로, 측정한 전류와 전위의 관계로부터 지하의 전기비저항 구조를 해석한다.
- 나. 측정 및 해석의 기본 개념은 지표에서의 2차원 전기비저항탐사와 동일하지만, 전극을 시추공 내에 설치하여 탐사 대상에 근접시킨다는 점과 탐사 영역을 전극으로 둘러싼다는 점에서 2차원 전기비저항탐사에 비하여 해석 정밀도 또는 분해능의 향상을 기대할 수 있다.
- 다. 탐사범위는 전극으로 둘러싼 영역이며, 탐사 범위 내의 분해능은 전극 부근이 가장 높고, 전극으로부터 멀어짐에 따라 분해능이 저하된다. 따라서 시추공과 지표를 이용하여 전극을 “ π ”자 형으로 설치한 경우, 전극이 존재하지 않는 밑면의 분해능이 가장 낮다고 할 수 있다.
- 라. 탐사결과는 지층의 분포, 단층, 파쇄대 및 변질대의 분포, 공동의 분포 등의 파악과, 반복 측정을 통해 전기비저항의 변화량 또는 변화한 부분을 분석함으로써 지반의 상태 변화를 일으킨 원인을 파악하는데 활용된다.
- 마. 탐사 적용 시 유의사항은 2차원 전기비저항탐사와 마찬가지로 조사 지역 부근에 송전선, 철도, 철 구조물 등이 있는 경우에는 이들이 잡음의 원인이 된다. 또한 시추공에 케이싱이 존재하는 경우에는 이들 케이싱이 전류의 흐름에 장애를 가져옴에 따라 탐사 자료를 획득하기 어려우므로 자료획득 단계에서 케이싱의 영향이 최소화 되도록 가능한 한 케이싱을 피하여 전극을 설치함이 바람직하다.



② 탄성과 토모그래피탐사

- 가. 탄성과 토모그래피탐사는 지표, 시추공 및 수평 갱도 등을 이용하여 탐사 대상 영역을 둘러싸도록 발파점과 수신점들을 설치하고, 발파점에서 생성된 탄성파를 많은 수신점에서 측정하여 초동 주시를 이용하는 탐사법이다.
- 나. 지표 굴절법탄성과탐사와 비교하여 대상 지반 단면에 대한 속도 분포 해석에 높은 정밀도를 기대할 수 있다.
- 다. 탐사범위는 발파점이나 수신점으로 둘러싸인 영역이며, 일반적으로 대상 영역 내의 분해능은 발파점이나 수신점을 배치한 부근이 가장 높고, 그것들로부터 멀어짐에 따라 분해능이 저하된다.
- 라. 탐사결과는 지층의 분포, 단층 파쇄대나 변질대의 분포, 공동의 분포 등을 파악하는데 활용되며, 시간을 두고 반복 측정하는 경우에는 탄성과 속도의 변화량의 크기나 변화된 부분을 분석하여 지반 상태의 변화를 일으킨 지질공학적 및 지반공학적인 원인 등을 파악한다.
- 마. 탐사 적용 시 유의사항은 발생원-수진기 배열에 제한이 있거나 탐사 대상 단면의 내부에 큰 속도차가 있는 경우, 또는 대상 단면이 너무 커서 단면의 외부를 통과한 파선을 이용하여 해석하는 경우에는 결과 단면에 왜곡이 발생될 가능성이 높다.

③ 레이더 토모그래피탐사

- 가. 레이더 토모그래피탐사는 시추공 등을 이용하여 지하 암반 내에 송수진기를 위치시키고 암반 내를 통과한 레이더파의 진폭 및 주시를 분석하여 지반 내의 불연속면을 영상화하는 탐사법이다.
- 나. 레이더 토모그래피는 초기 도달파의 진폭을 이용하여 지하의 감쇠율 분포영상을 얻는 진폭 토모그래피와, 초기 도달파의 도달시각을 이용하여 지하의 속도 분포를 영상화하는 주시 토모그래피로 구분된다.
- 다. 탐사범위는 송신 안테나와 수신안테나로 둘러싸인 영역이며, 고주파수의 전자기파를 송신원으로 사용하기 때문에 전기전도도가 높은 지역의 경우 송수신 안테나의 거리가 멀어짐에 따라 분해능이 저하된다.
- 라. 탐사결과는 불균질대의 영상화를 통해 단층파쇄대, 변질대, 공동의 분포를 파악하거나, 금속광상, 암염광상 등 지하자원 조사 등에 활용된다.
- 마. 탐사 적용 시 유의사항은 다른 레이더탐사와 같이 전기전도도가 매우 높은 지반에서는 전자기파의 감쇠가 심해 적용이 어렵고 탐사 범위가 다른 토모그래피 기법에 비해 좁다.

4.8 시추공간 탄성파탐사

- (1) 시추공간 탄성파탐사는 두 개의 시추공을 이용하여 시추공 사이를 전파하는 탄성파(P파, S파) 전파시간으로부터 시추공과 시추공사이의 평균속도를 심도별로 측정하는 탐사법으로 송신공에서 발생시킨 탄성파 신호를 수신에서 측정한다.
- (2) 탐사범위는 송신에너지에 따라 차이는 있으나 통상 10m 내외이다.
- (3) 탐사결과는 각종 토목 시공에 있어서의 지반의 안정성 평가를 위한 지반의 동적 특성에 분석에 활용된다. 특히 동적물성치는 지진과 같은 외부의 진동이 지반이나 구조물에 미치는 반응특성을 예측할 수 있는 지표이며 굴절법탄성파탐사나 반사법탄성파탐사의 경우 S파 속도 측정이 어려우므로 정확한 S파의 측정이 가능한 시추공간 탄성파탐사의 활용성은 매우 크다.
- (4) 탐사 적용 시 유의사항은 다음과 같다.
 - ① 시추공간의 수평적인 속도변화를 측정할 수 있다는 장점이 있는 반면 반드시 인접한 2개의 시추공이 필요하며 송신원의 작동 메커니즘이 복잡하고 에너지의 크기가 약해 탐사 범위에 한계가 있다.
 - ② 시추공의 심도가 10m를 넘는 경우 송신원과 수신기 간의 정확한 거리 측정을 위해 시추공의 편향도를 측정하는 공곡측정이 반드시 수행되어야 한다.

4.9 하향식 탄성파탐사

- (1) 하향식 탄성파탐사는 지표에서 발생하는 탄성파 신호를 시추공 내의 수신기가 측정하여 시추공 인근의 탄성파(P파, S파) 속도 주상도를 획득하는 탐사법으로 장비 및 탐사방법이 비교적 간단하고 시추공간 탄성파탐사에서 반드시 수행해야 하는 공곡 측정이 불필요하며, 1개의 시추공만으로도 자료의 획득이 가능하여 가장 일반적으로 사용되고 있는 탐사법이다.
- (2) 탐사심도는 송신에너지에 따라 차이는 있으나 송신에너지를 stacking 함으로써 50~100m 내외의 심도까지도 적용이 가능하다.
- (3) 탐사결과는 시추공간 탄성파탐사와 같이 각종 토목 시공에 있어서의 지반의 안정성 평가를 위한 지반의 동적 특성에 분석에 활용되며, 특히 탄성파속도와 밀도로부터 산출된 동적물성치는 지진응답해석의 입력 지반 정수로서 활용된다.
- (4) 탐사 적용 시 유의사항은 다음과 같다.
 - ① S파를 발생시키기 위한 별도의 플레이트가 필요하며 지표면과의 커플링을 높이기 위해 플레이트를 지면에 고정시키기 위한 조치가 필요하다.
 - ② 초기 도달속도를 기록하는 P파와는 달리 S파는 위상변화, 진폭, 주파수 성분 등을 고려하여 신중하게 결정되어야 한다.



4.10 전기검층

- (1) 전기검층은 시추공을 이용하여 시추공 주변 지층의 겉보기 비저항이나 시추공 내에서 발생하는 자연전위를 측정하는 검층법으로 지표에서 수행하는 전기탐사법과 유사하다. 즉, 여러 개의 전극을 내장한 손데(sonde)를 시추공 안에 넣고 전류를 발생시킨 후, 전위전극에서 측정된 전위를 이용하여 지층의 전기비저항을 측정한다.
- (2) 탐사종류는 시추공에 집어넣는 전극의 수와 배열에 따라서 다음과 같은 세 가지 종류가 있으며 주로 노말 전기검층이 대표적으로 사용되고 있다.
 - ① 2극법(노말법) : 전류전극과 전위전극을 각 1개씩 시추공에 위치
 - ② 3극법(레터럴법) : 전류전극 1개와 전위전극인 2개를 시추공에 위치
 - ③ 4극법 : 전류전극과 전위전극 각 2개씩 시추공에 위치
- (3) 탐사범위는 공내수의 전기전도도나 지층의 전기비저항에 따라서 변하나 일반적으로 전위와 전류전극 간격의 약 2배 정도이다
- (4) 탐사결과는 대수층이나 지하수의 유출과 유입 구간 추정, 지층 층서 확인과 대비, 파쇄대나 풍화대의 존재와 위치 확인 등에 활용된다.
- (5) 전기검층은 전류를 이용하는 검층법이므로 다음과 같은 시추공 조건에서는 정상적인 자료 획득이 어렵다.
 - ① 시추공 내에 공내수가 존재하지 않는 구간
 - ② 시추공 내에 PVC나 철 케이싱이 설치된 구간
 - ③ 시추공 굴착 시 전도성의 폴리머계 이수를 이용한 경우
 - ④ 변전소, 발전소, 고압선, 공장 등으로부터 발생하는 전기잡음을 고려해야 하는 곳
 - ⑤ 공내수 전기전도도가 매우 높아 측정 자료가 시추공 효과의 영향을 받는 해안 지대

4.11 음파검층

- (1) 음파검층은 시추공 내에 손데(sonde)를 넣어 시추공 주변 지층을 전파하는 탄성파의 속도를 구하는 방법으로 탄성과 탐사와 유사하게 수신기에 기록되는 파형을 측정하고 속도분석 과정을 통하여 지층의 P파와 S파 속도를 측정한다.
- (2) 탐사 종류는 송신원과 수신기의 배열이나 측정방식에 따라 다음과 같이 분류한다.
 - ① 시추공 보상형 음파검층 (Borehole Compensated Sonic Log) : 두 개의 음원과 한 개의 수신기로 구성되며 시추공 지름의 변화나 손데의 기울어짐 등을 보정할 수 있고 수신기에서 파형 전체를 기록하는 것이 아니라 초동만을 측정하여 시추공 주변 지층의 P파 속도만을 측정하는 것이 일반적이다.
 - ② 완전파형 음파검층 (Full Waveform Sonic Log) : 한 개의 음원과 여러 개의 수신기로 구성되며 수신기에서는 파형 전체를 시계열로 기록한다. 지층의 탄성과 속도는 실 내에서 속도분석 과정 등의 전산 처리를 수행하여 P파와 S파 속도를 산출한다.

음원은 축대칭(또는 단극) 음원과 축비대칭(또는 쌍극자) 음원으로 구분하며 전자는 시추공 주변 지반의 S파 속도가 약 1,500m/s 이상인 경우에 주로 이용되며 후자의 경우, 연약 지반에서도 S파의 속도 측정이 가능한 장점이 있다.

- ③ 부유식 음파검층(Suspension Sonic Log 또는 Suspension PS Log) : 한 개의 음원과 두 개의 수신기로 구성되며, 기존의 음파검층과는 달리 송수진기를 공벽에 밀착시키지 않는 비압착식 방법으로 공내수를 매개체로 도달한 탄성과 신호를 2개의 수신기에서 감지하여 수신기에 도달하는 신호의 시간차를 측정함으로써 P파와 S파의 속도를 측정한다. 하향식 탄성과탐사나 시추공간 탄성과탐사의 적용이 어려운 하상, 해상, 험준한 산악지역에서 일반적으로 적용된다.
- (3) 탐사 범위는 지층의 탄성과 속도와 음원의 주파수에 따라서 차이는 있으나 일반적으로 음원의 주 파장의 약 3배 정도이다.
- (4) 탐사 결과는 시추공간 탄성과탐사, 하향식 탄성과탐사 등과 같이 각종 토목 시공에 있어서의 지반의 안정성 평가를 위한 지반의 동적 특성에 분석에 활용되며 탄성과속도와 밀도로부터 산출된 동적물성치는 지진응답해석의 입력 지반 정수로서 활용된다.
- (5) 탐사 적용 시 유의사항은 다음과 같다.
 - ① 시추공에 철재 또는 PVC 케이싱이 설치된 경우, 케이싱과 지반의 밀착 상태가 불량한 경우 케이싱의 지반이 아닌 케이싱의 탄성과 속도를 측정할 수 있다.
 - ② 음파의 전파 매질로 공내수를 사용하므로 지하수위 상부의 정보는 획득이 어렵다 (인위적인 지하수위 상승이 필요함).

4.12 밀도검층

- (1) 밀도검층은 방사선의 일종인 감마선은 물질에 방사되면 콤프톤산란이나 광전효과 등을 통해 에너지가 감쇠하는데 콤프톤산란 현상의 경우 에너지의 감쇠가 물질의 밀도에 비례한다는 점을 이용하여 지층의 밀도를 구하는 검층법이다. 즉, 손데(sonde)에 장착된 방사성 동위원소로부터 시추공 주변의 공벽으로 방출된 감마선이 지반에 의해 산란, 감쇠하면서 검출기에 들어온다. 이때 산란된 감마선의 세기(계수율 : 1초당 횟수로 CPS(Count Per Second)로 표시한다)를 연속 측정하고 측정된 계수율은 밀도검출기 교정 과정을 통해 작성된 교정곡선을 이용하여 지층밀도를 산출한다.
- (2) 탐사 종류는 방사능 선원의 종류에 따라 Gamma-Gamma Density Log와 Small Source Density Log로 구분된다.
 - ① Gamma-Gamma Density Log : 방사능 선원으로 ^{137}Cs 를 이용하며 선원의 관리에 있어 방사능 규제를 받는다.
 - ② Small Source Density Log : 방사능 선원으로 ^{60}Co 를 이용하며 선원의 관리에 있어 별도의 규제가 없으므로 토목분야에서 주로 활용된다.



- (3) 탐사 범위는 방사능 선원과 감마선 검출기와의 거리, 지층의 밀도 등에 따라 차이는 있으나, 일반적으로 시추공에서 약 200~300mm 정도이다.
- (4) 탐사 결과는 심도의 따른 지층의 밀도 분포 산출에 활용되며, 밀도와 함수량과의 관계에서 지층의 건조밀도, 간극비, 포화도 등의 산출이 가능하다. 특히 밀도값과 하향식 탄성과탐사, 음파검층 등을 통해 획득한 탄성과속도를 이용하여 동적물성치를 산출하고, 이는 지진응답해석의 입력 지반 정수로서 활용된다.
- (5) 탐사 적용 시 유의사항은 다음과 같다.
 - ① 공경이 100~120mm 이상이거나 이중 케이싱 구간, 케이싱과 공벽의 간격이 큰 경우에는 양질의 자료를 얻을 수 없으므로 주의해야 한다.
 - ② 방사성 동위원소의 취급에는 주의가 필요한데, 특히 3.7MBq를 넘는 강도를 가진 감마선원을 사용할 경우에는 관할 기관(한국원자력안전기술원)에 신고해야 하는 등 방사성 동위원소 사용에 관련된 법령을 준수해야 한다.


4.13 시추공영상촬영

- (1) 시추공 영상촬영은 가시광선을 이용하여 공벽을 디지털 촬영하는 검층법으로 시추공 벽의 연속적인 천연색 영상을 획득한다.
- (2) 촬영된 자료는 불연속면 특성 규명의 기본 데이터로 활용되며 천연색 영상이 제공되므로 지층분포 특성에 대한 육안관찰이 가능하다.
- (3) 탐사 범위는 빛을 이용한 디지털 촬영인 만큼 시추공 내벽으로 한정된다.
- (4) 탐사 결과는 불연속면의 발달상태 (경사방향, 간격, 거칠기 등), 단층파쇄대의 위치 및 규모, 지하 공동의 분포 특성 등을 파악하여 터널, 지하 저장시설, 각종 구조물 및 비탈면의 안정성 해석에 활용된다.
- (5) 탐사 적용 시 유의사항은 다음과 같다.
 - ① 공벽의 디지털 촬영이므로 시추공이 나공 상태를 유지하여야 한다.
 - ② 지하수의 유무와 상관없이 자료의 획득이 가능하나 혼탁한 시추공에서는 영상의 분해능이 저하되므로 침전제를 이용한다.

4.14 초음파주사검층

- (1) 초음파주사검층은 초음파를 시추공 내벽에 주사하여 그로부터 얻게 되는 반사파의 진폭 및 주기를 분석함으로써 절리 및 단층의 크기, 방향 및 경사, 암질의 변화 및 암석의 역학 상태를 명확히 규명할 수 있는 검층법이다.
- (2) 초음파주사검층은 공벽을 디지털 촬영하는 시추공영상촬영과는 달리 측정 데이터로부터 배출되는 진폭이미지를 통해 암반의 상대강도 산출이 가능하다.
- (3) 탐사 범위는 시추공 내에서 반사되는 초음파를 이용하는 만큼 시추공 내벽으로 한정된다.

- (4) 탐사 결과는 시추공 영상촬영과 같이 불연속면의 발달상태 (경사방향, 간격, 거칠기 등), 단층파쇄대의 위치 및 규모, 지하 공동의 분포 특성 등을 파악하여 터널, 지하 저장시설, 각종 구조물 및 사면의 안정성 해석에 활용된다.
- (5) 탐사 적용 시 유의사항은 다음과 같다.
- ① 공벽에서 반사되는 초음파를 이용하므로 시추공이 나공 상태를 유지하여야 한다.
 - ② 공내수를 통해 초음파가 진행하므로 지하수위 하부에 대해서만 자료 획득이 가능하다.



해설 5. 실내시험

1. 실내토질시험

1.1 일반사항

- (1) 본 해설에서는 실내토질시험 방법, 각 시험법의 일반적인 특성, 설계와 시공 시 시험 결과의 적용에 대한 내용을 기술하였다.
- (2) 실내토질시험은 한국산업규격(KS F)에 제시된 시험방법에 따라서 수행하여야 하며, 다만 KS F에 명시되지 않은 시험은 국제적으로 인정되는 ASTM, AASHTO 시험 방법 등을 준용할 수 있다(<표 18>~<표 21>).
- (3) 실내토질시험의 종류, 검사항목과 시험항목, 흙의 성질·토질상수와 시험법에 대하여 <표 15>, <표 16>에 요약하였다.
- (4) 각 시험법으로부터 결정되는 토질정수는 설계시 이 값들의 적용 분야와 밀접한 관계가 있어야 한다(<표 21>).
- (5) 시험에 이용되는 시료는 다음 사항을 고려하여 선정하여야 한다.
 - ① 시험대상 시료는 대표성이 있어야 한다. 즉 채취된 시료는 대상지반의 전체적인 특성과 유사하거나 평균적인 특성을 나타내야 한다. 만약 지층의 변화 때문에 이러한 특성을 나타내기가 어렵다면 시료채취, 시험 및 설계목적을 위해서 지층을 세분화할 필요가 있다.
 - ② 일반적으로 혼합된 점토나 층이 진 시료에 대한 시험은 이러한 시료에 대한 시험결과들이 재료의 특성을 대표하지는 않기 때문에 피해야 한다. 그러므로 설계를 위해 적절한 자료를 구하기 위해서는 특성이 다른 재료들을 각각 분리하여 시험해야 한다.
 - ③ 역학적 특성시험에 사용되는 비교란시료는 교란되지 않도록 주의해서 다루어야 한다. 시험 전에 비교란시료가 교란되었다면 시험을 해서는 안 된다. 특히 유기질토는 교란에 매우 민감하다.
 - ④ 원지반에서 습윤상태로 채취된 세립질의 점착성 시료는 건조 시 시료 상태가 크게 변화되므로 시험 전에 건조되지 않도록 주의해야 한다.

표 15. 검사항목과 시험항목 「철도구조물 설계표준 및 동해설 토구조물편, 2000」

시험항목	안정검토	침하검토	액상화	비고
밀도시험	◎	◎	○	-
함수비시험	◎	◎	○	KS F 2306
액성한계 · 소성한계시험	◎	◎		KS F 2304, 2305
입도시험	◎	◎	◎	KS F 2302
세립분 함유율시험	○	○	◎	KS F 2302
모래의 최대 · 최소밀도시험			◎	KS F 2345
습윤밀도시험	◎	◎	◎	-
일축압축시험	◎	◎		KS F 2314
직접전단시험	◎	◎		KS F 2343
삼축압축시험	◎			KS F 2346
진동삼축압축시험			△	Silver, 1976 ASTM D 3999
압밀시험		◎		KS F 2316

주) : ◎ : 가장 자주 이용, ○ : 자주 이용, △ : 필요에 따라서 이용



표 16. 흙의 성질 · 토질상수와 시험법

성질		토질상수	시험법	
물리적 성질	고유특성	토립자 비중(G_s)	물리시험	토립자의 비중시험
		입도분포곡선		입도분포시험
		균등계수(C_u)		
		액성한계(w_L)		액터버그 한계시험
		소성한계(w_p)		
		소성지수(I_p)		
		수축한계(w_s)		
	상태특성	단위체적중량(γ_t)		단위체적중량시험
		함수비(w)		함수비시험
		간극비(e)		
		포화도(S_r)		
		상대밀도(D_r)		
역학적 성질	강도특성	전단강도(s_u, s_d)	역학시험	직접전단시험, 일축압축시험, 삼축압축시험,
		점착력(c_u, c_d)		
		전단저항각(ϕ_u, ϕ_d)		
		강도증가율(c_u/P)		
	동적특성	전단탄성계수(G)		공진주시험, 비틀전단시험, 반복단순전단시험
		감쇠비(D)		
		공진주기(f)		
	변형특성	탄성계수(E)		일축압축시험, 삼축압축시험, 압밀시험
		파괴변형(ϵ_f)		
		선행압밀압력(p_c)		
		압축지수(C_c)		
		체적팽창계수(m_v)		
		압밀계수(c_v)		
다짐특성	다짐	최대건조밀도($\gamma_{d,max}$)		다짐시험
		최적함수비(w_{opt})		
	지지력	CBR		CBR시험
	투수성	투수계수(k)		투수시험

표 17. 물성시험 규정 및 시험방법 「NAVFAC, 1982」

시험종류	표준시험방법	특기사항	시료의 크기 및 무게
함수비	KS F 2306	없음(시험 시 함수비변화가 없어야 함)	시험가능한 범위 내에서 충분히 커야함
이탄의 수분, 회분, 유기분	ASTM D 2974	-	-
건조단위중량	-	총중량과 함수비로 결정(비교란시료 필요)	시험가능한 범위 내에서 충분히 커야함
비중	KS F 2308	플라스크 또는 스톱퍼가 있는 병으로 측정	플라스크 사용시 25g, 스톱퍼가 있는 병 사용시 10g
애터버그 한계 액성한계(LL) 소성한계(PL) 수축한계(SL)	KS F 2303 KS F 2303 KS F 2305	0.425mm를 통과하는 시료를 사용 : 시료는 시험전에 건조되어서는 안됨 - - 특수한 경우 재성형된 시료 대신 트리밍한 비교란 시료 사용	100g 15g 30g



표 17. 물성시험 규정 및 시험방법 「NAVFAC, 1982」(계속)

시험종류	표준시험방법	특기사항	시료의 크기 및 무게
체분석	KS F 2302	사용하는 체는 시료의 입경 크기에 따라 선택	최대10mm 입경시료 : 500g
비중계분석	KS F 2302	시료입자는 0.075mm를 통과한 것으로 점성토는 그대로 사용할 수 있는 경우가 많으며, 모든 시료는 2.0mm를 통과한 시료를 사용	최대76mm 입경시료 : 5,000g 점성토 : 65g 사질토 : 115g
부식성 측정 황산함유량 염소함유량	(AGA, 1965) (AGA, 1965)	여러 가지 방법이 있음 여러 가지 방법이 있음	시료-물 용액 필요 시료-물 용액 필요
pH	KS F 2103	대부분의 고체재료는 증류수를 이용해 용해시키고 침투성시험을 한다.	
전기저항측정 (실내) 전기저항측정 (현장)	없음 Wenner 방법을 사용	명문화된 규정은 없고 시험기구 제조회사의 지침에 따라 시행함	

- 주) 1. 시험시료는 교란된 것이거나 비교란시료에 대한 것으로 모든 시료는 대표적인 것이어야 함.
2. 시험시료의 중량은 필요 최소중량임.

표 18. 역학시험 규정 및 시험방법 「NAVFAC, 1982」

시험종류	표준시험방법	특기사항	비고
투수계수			
보통 정도 투수성 흙의 정수위시험	(Lambe, 1951)	-	시료의 크기는 최대입경 크기에 좌우 실트와 가는 모래의 경우 지름 40mm, 높이 350mm 임
변수위시험	KS F 2322	일반적으로 세립토에 적용	정수위시험시료크기와 유 사
조립토의 정수위시험	KS F 2322	0.075mm 통과율이 10%이하인 흙에 제한하며, 깨끗한 모래질의 경우 정 수위시험법 선호	시료의 지름은 최대토립 자 크기의 10배 이상이어 야 함
모관상승고	(Lambe, 1951)	세립토에 대한 모관상승고는 간접 적으로 결정할 수 있음	건조시료 200~250g
압밀			
압밀시험	KS F 2316	압밀특성을 알기 위해 각 하중에서 시간-침하량을 24시간 이상 측정	-
팽창시험	ASTM D 4546	-	-
전단강도			
직접전단시험	KS F 2343	점성이 없는 흙 또는 세립의 압 밀전단시험에 적용	최소두께 12.5mm, 최소지름 50mm
일축압축시험	KS F 2314	-	삼축압축과 같음
삼축압축시험 - 비압밀비배수 - 압밀비배수 - 압밀배수	KS F 2346 ASTM D 4767 (Lambe, 1951)	압밀비배수시험은 설계목적에 따 라 간극수압을 측정하거나 측정 치 않음	높이/지름 비는 2~3, 최 소지름 35mm 성토재로 사용되는 자갈 질 흙의 경우 시료크기가 큰 것이 바람직함
Vane 전단시험	ASTM D4648	-	베인의 크기보다 최소 3 배이상인 비교란시료



표 19. 동적시험에 대한 규정 및 시험방법 「NAVFAC, 1982」

시험종류	표준시험방법	특기사항	비고
반복하중시험			
삼축압축시험	(Silver, 1976)	-	일반적인 삼축압축시험과 같음
단순전단시험	(Silver, 1976)	-	-
비틀전단시험	(Woods, 1978)	중공(hollow)시료 사용	-
공진주시험	ASTM D 4015	중공(hollow)시료 사용	일반적인 삼축압축시험과 같으며, 길이는 다소 길다
초음파펄스시험			
토질	(Stephenson, 1978)	-	일반적인 삼축압축시험과 같음
암석	ASTM D 2845	-	길이가 횡방향 크기의 5배 이내인 프리즘. 횡방향 크기는 최소 압축파의 5배

표 20. 다짐시료에 대한 규정 및 시험방법「NAVFAC, 1982」

시험종류	표준시험방법	특기사항	비고
함수비-밀도관계			
A, B 다짐 햄머무게 2.5kg 낙하고 300mm	KS F 2312	좋은 시험결과를 얻기 위해 시료를 재사용하지 않는 것이 바람직함	최대입자 19mm 시료 : 20kg
C, D, E 다짐 햄머무게 4.5kg 낙하고 450mm	KS F 2312	상동	최대입자 37.5mm 시료 : 30kg
비점성토의 최대밀도 및 최소밀도	KS F 2345	-	
CBR	KS F 2320	-	20kg
R값	ASTM D 2844	-	입도에 따라 5~7kg
팽창압력	ASTM D 2844	-	입도에 따라 5~7kg

표 21. 분석 및 설계를 위한 토질정수

토질정수	기호	단위	시험방법	이용
체적-중량특성				
함수비	w	D	직접시험	분류, 체적-중량관계
단위중량	γ	FL^{-3}	직접시험 또는 체적-중량관계로부터 구함	분류, 응력계산
간극률	n	D	체적-중량관계에서 구함	흙의 고체부분 체적에 대한 간극체적의 관계를 나타내는 물성치
간극비	e	D	체적-중량관계에서 구함	
비중	G_s	D	직접시험	체적계산시 이용
소성특성				
액성한계	w_L	D	직접시험	분류, 토성치 상관성
소성한계	w_p	D	직접시험	-
소성지수	I_p	D	$w_L - w_p$	-
수축한계	w_s	D	직접시험	분류, 팽창계산
활성도	A	D	$\frac{I_p}{2\mu\text{이하의 중량백분율}}$	점토광물 확인
액성지수	I_L	D	$\frac{w_n - w_p}{I_p}$	선행압밀정도 및 흙의 연경도 판정
입도특성				
유효입경	D_{10}	L	입도분포곡선	-
입도분포 백분율	D_{30}	L	입도분포곡선	분류, 투수성과 단위중량측정, 필터설계, 그라우팅재료선택, 동상 및 액상화 가능성 판단
	D_{60}	L	-	
	D_{85}	L	-	
균등계수	C_u	D	$\frac{D_{60}}{D_{10}}$	-
곡률계수	C_g	D	$\frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$	-
점토입자	-	D	입도분포곡선	-



표 21. 분석 및 설계를 위한 토질정수(계속)

토질정수	기호	단위	시험방법	이용
배수특성				
투수계수	k	LT^{-1}	직접시험 또는 압밀시험에서 계산	배수, 침투 및 압밀계산
모관상승고	h_c	L	직접시험	배수 및 수위저하 분석
유효간극률	n_e	D	배수되는 물의 체적을 직접추정	-
압밀특성				
압축계수	a_v	$L^2 F^{-1}$	$e - p$ 곡선에서 구함	압밀 침하 또는 팽창계산
체적 팽창계수	m_v	$L^2 F^{-1}$	$\frac{a_v}{1+e}$	-
압축지수	C_c	D	$e - \log p$ 곡선에서 구함	압밀 침하 또는 팽창계산
재압축지수	C_r	D		
팽창지수	C_s	D		
2차 압밀계수	C_α	D		
압밀계수	c_v	$L^2 T^{-1}$	-	압밀 침하시간 계산
선형 압밀압력	p_c	FL^{-2}	$e - \log p$ 곡선에서 구함	침하량계산
과압밀비	OCR	D	$\frac{p_c}{p_0}$	점토의 거동 판단
전단강도특성				
겉보기 전단저항	ϕ	A	전응력에 의한 전단시험의 Mohr원	-
겉보기 점착력	c	FL^{-2}	-	-
유효 전단저항각	ϕ'	A	유효응력에 의한 전단시험의 Mohr원(간극수압을 측정하는 배수조건 시험)	ϕ'
유효점착력	c'	FL^{-2}	-	-

표 21. 분석 및 설계를 위한 토질정수(계속)

토질정수	기호	단위	시험방법	이용
일축 압축강도	q_u	FL^{-2}	직접시험	비탈면안정, 기초의 지지력, 횡방향 토압
비배수 전단강도	s_u	FL^{-2}	-	-
예민비	S_t	D	교란시료의 강도 비교란시료의 강도	-
탄성계수	E	FL^{-2}	응력-변형률곡선 또는 동적시험	탄성침하, 회복(rebound)량 계산
다짐특성				
최대밀도	γ_{\max}	FL^{-3}	함수비-건조단위중량관계곡선	-
최적함수비	w_{opt}	D	함수비-건조단위중량관계곡선	-
최대건조 단위중량	$\gamma_{d,\max}$	FL^{-3}	직접시험	다짐기준
최소건조 단위중량	$\gamma_{d,\min}$	FL^{-3}	-	상대밀도
다짐시료특성				
다짐도	-	D	$\frac{\gamma}{\gamma_{\max}}$	다짐관리, 다짐시 함수비 관리
침입도저항	P_r	FL^{-2}	직접시험	-
상대밀도	D_r	D	최대, 최소 건조단위중량시험	다짐관리, 토성치 상관성, 액상화 검토
캘리포니아 지지력비	CBR	D	직접시험	포장설계, 다짐관리
동적특성				
전단 탄성계수	G	FL^{-2}	공진주시험, 반복단순전단시험, 초음파펄스시험, 반복삼축시험	-
재료감쇠비			공진주시험, 반복삼축시험, 반복단순전단시험	진동하중 하에서의 기초와 지반거동 분석
- 종방향	D_L	D		
- 전단방향	D_T	D		
공진주기				
- 종방향	f_L	T^{-1}		
- 전단방향	f_T	T^{-1}		

주) F: 힘, L:길이, T:시간, A:각, D:무차원



(6) 물성시험에서는 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.

- ① 물리적 성질은 흙을 분류하고, 주요 지층으로 흙을 구분하며, 역학적 성질을 개략적으로 추정하는데 활용할 수 있다.
- ② 흙의 물성시험 과정은 대부분 표준화되어 있으며, 흙시료는 대표적인 교란시료 또는 비교란시료가 사용된다. 이 때 시추조사 자료와 채취된 시료에 대한 육안관찰을 한 후 시험방법을 정하게 된다.
- ③ 4~6개소의 시추조사를 하는 소규모 공사의 경우 두께 1.5~4.5m인 지층에 대해 최소 3회의 시험을 해야 하고 지층이 복잡하거나 두꺼운 경우, 또 4~6개소 이상의 시추조사를 하는 경우에는 추가로 시험을 실시해야 한다.
- ④ 일반적으로 세립토의 시료에 대해서는 함수비시험을 세립토 종류별로 통계분석이 가능한 수량만큼 수행해야 한다. 이 때 해당 지역의 전 범위에 대하여 흙의 특성 값들과 변화가 적절하게 나타날 수 있도록 시험계획을 수립해야 한다.

(7) 부식성 시험에서는 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.

- ① 기초나 기초구조물(콘크리트와 철근요소)에 영향을 미치는 흙은 <표 13>에 기술된 시험결과로 예측할 수 있다. 이러한 시험은 문제가 되는 기초나 구조물에 접해있는 흙시료에 대해 수행된다. 그러므로 일반적으로는 지표면 근처의 흙에 대해 시험을 수행한다.
- ② 지반조건이 균일한 간단한 공사의 경우 3개소 이상 수행하여야 하되, 화학시험은 화학이온들이 있다고 의심되는 경우에만 실시한다.

(8) 역학시험에서는 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.

- ① 역학시험은 설계목적에 따라 계획되어야 하며 경직된 시험계획의 표준화는 적합지 못하다.
- ② 본 시험은 비교란 시료 또는 표준시험방법에 의한 다짐시료에 대해 실시한다. 교란의 영향을 알기 위한 경우는 완전히 재성형된 시료를 사용한다.
- ③ 엄선된 대표적 비교란 시료의 시험수량은 제한된 지역에서 토질이 단순한 경우 설계적용값을 선택하기 위해서는 적어도 3개의 시험값이 필요하며 넓거나 복잡한 토질조건인 경우 상기 시험수량의 여러 배가 필요하다.
- ④ 흙의 즉시침하(변형) 특성이 파악되어야 하는 경우에는, 의문시되는 지반의 층구성을 명확하게 파악하여야 한다.

(9) 다짐시험에서는 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.

- ① 토취장 재료에 대하여 물성시험 또는 다짐시험이 필요하며 토취량 또는 채취된 시료의 수에 따라 실시한다.
- ② 역학시험은 물성과 다짐특성에 따라 토질이 분류된 다음 실시하며 주요 토질군(group)과 다짐 조건에 따른 시료를 준비한다.

- ③ 입도나 소성 등을 고려할 때 토질이 다른 경우 다짐시험 또는 상대밀도 시험을 최소 1회 실시하며 그 외 다른 시험은 필요에 따라 실시한다.
- (10) 동적특성시험에서는 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.
- ① 흙 및 암석의 동적시험은 3가지가 있으며, 저주기(보통 10Hz 이하) 반복시험, 고주기의 공진주시험과 초음파펄스시험이다.
 - ② 동적시험은 진동기계, 교통, 지진, 액상화와 같이 반복되는 하중을 받는 기초 및 지반 동적지지특성을 판단하기 위해 실시한다. 탄성계수(E_s), 동적 전단탄성계수(G)와 감쇠성은 반복삼축압축시험, 단순전단시험, 공진주시험을 통하여 구할 수 있다.
 - ③ 동적하중을 받는 기초의 응답(반응)특성과 기초 주변에 대한 파에너지의 영향은 동적시험을 통해 추정할 수 있다. 이 때 초음파펄스시험으로도 E_s , G , ν 를 구할 수 있으며 흙보다는 암석의 경우 신뢰도가 크다.
- (11) 대표적인 물성치의 사용에 있어서 다음 사항을 고려하여야 한다.
- ① 물성과 역학적 성질과의 여러 가지 관계는 시험값의 범위와 물성치의 관계를 밝히는데 이용된다. 역학적 특성을 위한 시험의 상호관계는 물성시험만 실시된 유사지반의 역학특성을 추정하는데 이용할 수 있다.
 - ② 상호관계는 평균적인 표준편차에 따라 상관정도가 다르다. 이와 같은 관계는 예비적인 검토에는 유용할 수 있으나 역학시험의 결과에 의해 보완되어야 한다. 해당 지반에 대한 역학시험의 검증 없이 상세 검토에 적용해서는 안 된다.

1.2 물성시험

- (1) 함수비, 단위중량, 비중 등의 물성시험은 흙의 체적과 중량을 계산하는데 이용된다 (<표 17>참조).
- ① 일반적으로 대표시료(교란시료나 비교란시료 등)에 대하여 시험을 실시하며, 시험방법은 <표 13>을 참조하여 시행한다.
 - ② 비포화시료의 경우, 체적-중량의 관계를 알기 위해 시료의 함수비, 단위중량, 비중, 체적을 측정한다.
 - ③ 포화시료의 경우, 함수비와 건조중량을 알 경우 모든 체적-중량과 관계된 값은 비중을 가정하면 구할 수 있다. 따라서 지하수위 아래에 있는 세립토의 체적-중량과 관계된 값은 포화되어 있다고 가정함으로써 상당히 정확하게 구할 수 있다.
- (2) 흙을 분류하는 것 외에 입도분포특성은 침투와 배수문제, 필터와 그라우팅 설계 및 동상을 판단하는데 이용될 수 있으며 시험방법은 <표 13>을 참조한다.
- ① 입도분포 특성을 나타내는 계수로 균등계수(C_u)와 곡률계수(C_g)는 입경가적곡선에서 60%, 30% 및 10%에 해당하는 입경인 D_{60} , D_{30} 및 D_{10} 으로부터 계산된다. C_u 와 C_g 값은 입도분포의 상태를 상대적으로 나타내며, D_{10} 은 조립토에서 간극의 개략적



크기를 나타낸다. C_u 와 C_g 는 <식 (23)>과 같이 정의되며, C_u 와 C_g 값의 범위에 따라 입도 양호를 평가한다.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}, \quad C_g = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (23)$$

$C_u \geq 10, 1 > C_g \geq \sqrt{C_u}$: 입도 양호

$C_u < 10$: 균등입도, 입도 불량

$C_u \geq 10, C_g \leq 1$ 또는 $C_g > \sqrt{C_u}$: 계단입도, 입도불량

사질토의 경우에는 입도특성에 따라서 흙의 기본적 성질이 크게 좌우된다. 입도시험결과가 이용되는 예로서는 액상화 가능성의 판정, 토공재료의 선정, 투수계수 추정 등을 들 수 있다.

② 시험계획: 토질을 분류하기 위해 너무 많은 수의 입도시험은 필요치 않으며 주요 지층에 대하여 입도시험 전에 육안으로 토질을 분류한 후, 시료를 그룹(group)화하여 진행할 수 있다.

(3) 애터버그 한계를 이용하여 세립토를 분류하는 것은 <그림 6>을 참조한다. 토질을 분류하는 것 외에 애터버그 한계는 역학적 특성을 나타내는 한 인자이다.

① 애터버그 한계는 정확하게 시험되어야 하며 지층의 구성을 파악한 후 대표적 시료에 대하여 시험을 수행한다. 각 압밀시험시료와 삼축압축시험시료에 대해서는 애터버그 한계시험을 병행하여 수행하며 주요한 시추공에 대해서는 애터버그 한계와 자연함수비의 상태를 파악하기 위해 심도에 따라 등간격으로 시험한다. 시험방법은 <표 17>에 나타나 있다.

② 연경도(consistency) 특성은 점성토의 역학적 특성과 밀접한 관계가 있다. Skempton은 비교관시료의 압축지수(C_c)를 액성한계(w_L)로부터 추정하는 <식 (24)>를 제안하였다.

$$C_c = 0.009(w_L - 10) \quad (24)$$

③ Skempton은 점토의 강도증가율(c_u/p)를 소성지수(I_p)로부터 추정하는 <식 (25)>을 제안하였다.

$$c_u/p = 0.11 + 0.0073I_p \quad (24)$$

(4) 토립자의 비중은 일정 온도에서 토립자가 공기 중에서 나타내는 중량과 동일 온도에서 토립자와 같은 체적의 증류수가 공기중에서 나타내는 중량과의 비다. 이 시험에 의해 얻어진 비중은 포화도, 간극비 등의 계산에 이용된다. 통상적으로 흙에서는 2.65~2.70이지만 경우에 따라서는 3.0을 넘는 것도 있으며, 고유기질토에서는 1.0~2.0으로 작아서 특수토의 판별에도 이용된다.

(5) 흙의 함수량은 온도 110℃의 노건조할 때 습윤토로부터 제거되는 물의 양으로 정의된다.

- ① 일반적으로 흙의 함수량은 노건조토의 중량과의 비에 대한 중량 백분율인 함수비로 표현된다. 자연함수비는 일반적으로 사질토의 경우 20%보다 적고 점성토의 경우 50%보다 큰 경우가 많다. 특히 고유기질토에서는 함수비가 200%를 넘는 경우도 많다.

표 22. 흙의 기본공식「NAVFAC, 1982」

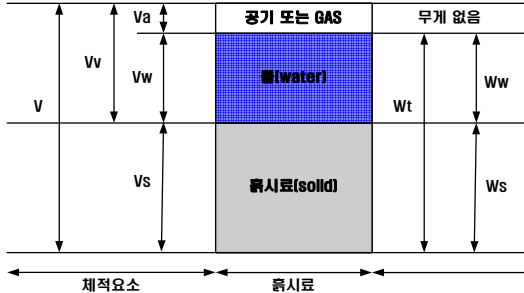
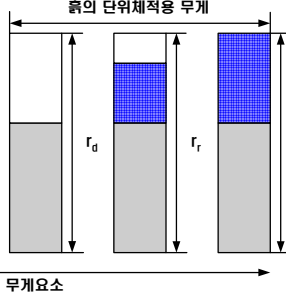
					
성질		포화시료 (W_s, W_w, G_s 알고 있음)	불포화시료 (W_s, W_w, G_s, V 알고 있음)	측정 및 계산요소들에 의해 유도된 공식	
체 적 요 소	V_s	$\frac{W_s}{G_s \gamma_w}$		$V - (V_a + V_w)$	$V(1 - n)$
	V_w	$\frac{W_w}{\gamma_w}$		$V_v - V_a$	$S_r V_v$
	V_a	0	$V - (V_s + V_w)$	$V_v - V_w$	$(1 - S_r) V_v$
	V_v	$\frac{W_w}{\gamma_w}$	$V - \frac{W_s}{G_s \gamma_w}$	$V - V_s$	$\frac{V_s n}{1 - n}$
	V	$V_s + V_w$	측정	$V_s + V_a + V_w$	$\frac{V_s}{1 - n}$
	n	V_v / V		$1 - \frac{V_s}{V}$	$1 - \frac{W_s}{G_s V \gamma_w}$
	e	V_v / V_s		$\frac{V}{V_s} - 1$	$\frac{G_s V \gamma_w}{W_s} - 1$
시 료 무 게	W_s	측정		$\frac{W_t}{1 + W}$	$G_s V \gamma_w (1 - n)$
	W_w	측정		$w W_s$	$S_r \gamma_w V_v$
	W_t	$W_s + W_w$		$W_s (1 + w)$	



표 22. 흙의 기본공식「NAVFAC, 1982」(계속)

성질		포화시료 (W_s, W_w, G_s 알고 있음)	불포화시료 (W_s, W_w, G_s, V 알고 있음)	측정 및 계산요소들에 의해 유도된 공식	
단위체 적당 시료무 게	γ_d	$W_s / (V_s + V_w)$	W_s / V	$\frac{W_t}{V(1+w)}$	$\frac{G_s \gamma_w}{1+e}$
	γ_t	$\frac{W_s + W_w}{V_s + V_w}$	$(W_s + W_w) / V$	$\frac{W_t}{V}$	$\frac{(G_s + S_r e) \gamma_w}{1+e}$
	γ_{sat}	$\frac{W_s + W_w}{V_s + V_w}$	$(W_s + V_v \gamma_w) / V$	$\frac{W_s}{V} + \left(\frac{e}{1+e} \right) \gamma_w$	$\frac{(G_s + e) \gamma_w}{1+e}$
	γ_{sub}	$\gamma_{sat} - \gamma_t$		$\frac{W_s}{V} - \left(\frac{1}{1+e} \right) \gamma_w$	$\left(\frac{G_s + e}{1+e} - 1 \right) \gamma_w$
복합공 식	w	$\frac{W_w}{W_s}$		$\frac{W_t}{W_s} - 1$	$\frac{S_r e}{G_s}$
	S_r	1.00	$\frac{V_w}{V_v}$	$\frac{W_w}{V_v \gamma_w}$	$\frac{w G_s}{e}$
	G_s	$\frac{W_s}{V_s \gamma_w}$		$\frac{S_r e}{w}$	

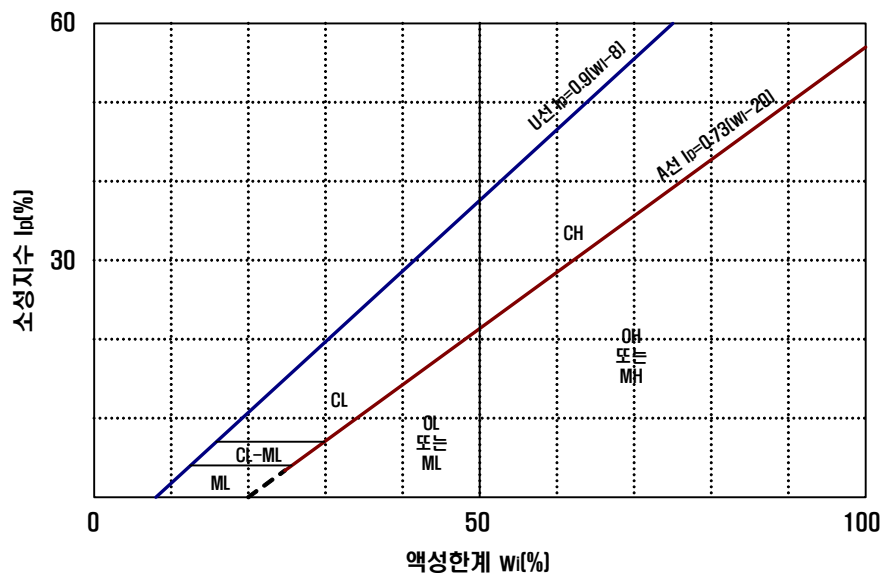


그림 6. 세립토의 분류를 위한 소성도

- ② 포화점성토의 경우 자연함수비의 값은 간극의 대소와 밀접한 관계가 있으므로 이 값으로부터 지반의 압축성, 강도 등 역학적인 특성을 추정할 수 있다.
- ③ 또한 흙을 다짐 재료로 사용하는 경우 최적함수비와의 비교에 의해 다짐함수상태로서의 적부판단, 또는 함수량 조절을 요하는 경우의 자료로서 이용된다.

- (6) 흙의 단위중량은 흙의 단위체적당 무게를 말한다. 토립자의 중량과 간극수의 중량을 같이 고려하는 경우를 습윤단위중량 γ_t , 토립자의 무게만을 고려할 때를 건조단위중량 γ_d 라 한다. 습윤단위중량은 지반의 지지력 계산, 침하계산, 비탈면안정계산, 토압 계산 등에서 매우 중요한상수이며 건조단위중량은 주로 흙의 다짐특성을 표현할 때 사용된다.

1.3 다짐시험

- (1) 다짐시험은 실제 공사 시 어느 정도의 함수비로 어느 정도 다짐하면 어느 정도의 상태가 되는가를 파악하기 위해 실시하게 된다.
- (2) 토구조물은 그 재료인 흙을 다져 안정성을 높일 수 있다. 그러나 토질, 함수비, 다짐 방법의 차이에 따라 흙을 다짐하는 방법은 달라지는데 쌓기 시 흙의 밀도를 증진시키고 앞으로 생길 침하를 최소화하며 전단강도를 증가 시킬 수 있다.
- (3) 다짐특성은 함수비-밀도시험으로 알 수 있고 지지능력은 다져진 흙에 대해 강도시험을 하여 판단할 수 있다.
- (4) 다짐시험은 표준다짐시험과 수정다짐시험으로 구분된다.
 - ① 표준다짐시험: 일반적인 제방의 다짐규정을 위해서는 표준다짐시험을 이용한다. 관리지침을 만들기 위해서는 주요한 흙쌓기 재료를 대표하는 여러 개의 다짐곡선을 구한다.
 - ② 수정다짐시험: 과도하게 다짐된 기초지반이나 비행장 포장에 위한 노반 그리고 대단위 토공작업에 적용할 수 있다.
- (5) 다짐시험은 배수가 자유로운 비점성토의 관리에 종종 어려움이 있으며 다짐곡선이 산만하거나 현장에서 보통의 다짐 시에 얻는 단위중량보다 적은 값이 얻어질 수 있다.
- (6) 일반적으로 토질에 대한 최대건조밀도는 다음과 같은 경향이 있다.
 - ① w_{opt} 가 낮은 흙일수록 $\gamma_{d,max}$ 가 크다.
 - ② 입도분포가 좋은 흙일수록 $\gamma_{d,max}$ 가 크다.
 - ③ 사질토는 점성토에 비해 $\gamma_{d,max}$ 가 크지만 입도분포가 불량한 것은 $\gamma_{d,max}$ 가 작은 경우도 있다.
- (7) 다짐토의 투수계수는 간극률이 최소인 $\gamma_{d,max}$, w_{opt} 에서 거의 최소가 된다. 그러나 엄밀히 투수계수의 최소값은 w_{opt} 보다 조금 습윤쪽에 위치하며, 그 차이는 세립분이 많고 $\gamma_{d,max}$ 가 작은 흙일수록 크다.

1.4 노상토 지지력(CBR) 시험

- (1) 노상도 지지력(CBR) 시험은 도로, 활주로의 포장설계를 위해 노상, 보조기층과 기



층재에 대한 평가에 적용되며 지름 50mm인 원주형의 피스톤을 다져진 흙에 관입 시킬 때 저항을 측정한다. 피스톤이 2.5mm 또는 5.0mm 관입에 필요한 하중과 표준 쇄석의 하중과 비교해서 지지력비를 구한다.

- (2) CBR 시험은 KS F 2320에 규정되어 있는데 실내시험과 현장시험이 있다. CBR 값은 일반적으로 <식 (26)>로 구해진다.

$$CBR = \frac{\text{관입량 2.5mm일 때의 하중(N)}}{\text{표준하중 1.370(N)}} \times 100 \quad (26)$$

- (3) 아스팔트 포장의 두께 혹은 콘크리트 포장의 노반두께를 결정하기 위해 KS F 2320에 나타난 방법에 준하여 자연함수비로 다질 때, 노반의 기울임을 설계 CBR이라 한다. 입상노반재료의 강도를 나타내기 위해 KS F 2320에 표시한 방법에 준하여 3층으로 나누어 각 층 92회 다졌을 때의 최대건조밀도에 대하여 그 장소에서 요하는 다짐도에 상당하는 수침 CBR을 수정CBR이라 한다. 실제 사용방법은 별도로 각 기관에 정해져 있는 지침서, 설계기준 등을 참조하기 바란다.

1.5 일축압축시험

- (1) 일축압축시험은 점성토의 일축압축강도(q_u)를 파악하기 위해 수행되는 간편한 시험 방법이다. 시험은 원통형의 시료에 연직방향으로 압축하중을 가하면서 하중-변위관계를 측정하는 방식으로 수행된다.
- (2) 하중재하는 응력조절 또는 변형률 조절방식으로 이루어지며, 간극수압은 측정하지 않는다.
- (3) 일축압축강도는 최대 압축하중을 단면적으로 나눈 값으로 계산되며, 비배수 전단강도(c_u)는 일축압축강도의 1/2로 본다, 그러나 일축압축시험의 초기상태는 실제 현장 상태와는 상당한 차이가 있으므로 평가된 비배수 전단강도는 근사적인 값으로서만 의미를 가진다.
- (4) 일축압축시험은 비교란 시료와 재성형 시료의 일축압축강도 비로 정의되는 점성토의 예민비 평가에도 널리 활용된다.

1.6 삼축압축시험

- (1) 삼축압축시험은 점성토의 비배수 전단강도를 구하기 위한 시험으로 비압밀-비배수 시험과 압밀-비배수시험이 있다.
- (2) 비압밀-비배수시험과 압밀-비배수시험은 다음과 같다.
 - ① 비압밀-비배수시험(UU시험)(KS F 2346, ASTM D 2850 참조)

가. 비압밀-비배수시험은 일축압축시험과 마찬가지로 주로 점성토의 비배수 전단강도를 파악하기 위해 수행된다. 시험은 멤브레인으로 둘러싸인 원통형의 시료에 비배수 상태에서 등방적인 구속압을 가한 후 연직방향의 축차응력을 증가시켜 하중-변

위관계를 측정하는 방식으로 수행된다.

- 나. 비배수 전단강도는 최대축차응력의 1/2로 계산되며, 간극수압은 일반적으로 측정하지 않는다. 따라서 얻어진 결과는 전응력 해석에 활용할 수 있다.
- 다. 비배수조건에서 포화시료에 가해지는 등방적인 구속압은 시료의 유효응력상태에 전혀 영향을 미치지 못한다. 따라서 비압밀-비배수시험에서 평가되는 비배수 전단강도는 이론적으로 등방 구속압의 크기에 관계없이 일정하게 나타난다. 단 부분포화시료의 경우 구속압의 일부가 유효응력으로 전달되므로 구속압 증가에 따라 강도가 비선형적으로 증가한다.
- 라. 일축압축시험과 마찬가지로 비압밀-비배수시험의 초기 상태 역시 실제 현장상태와는 상당한 차이가 있다. 따라서 비압밀-비배수시험에서 평가된 비배수 전단강도 역시 근사적인 값으로서만 의미를 가진다.

② 압밀-비배수시험(CU시험)(ASTM D 4767 참조)

- 가. 압밀-비배수시험은 주로 점성토의 비배수 전단강도와 응력-변형률 관계를 파악하기 위해 수행되며, 간극수압의 측정을 통해 유효응력개념의 강도정수를 평가할 수 있다. 즉 압밀-비배수시험의 결과는 전응력해석과 유효응력해석에 모두 활용될 수 있다.
- 나. 시험은 배수상태에서 구속압을 가하여 시료를 압밀시킨 후, 비배수상태에서 축차응력을 증가시키면서 하중-변위 관계와 간극수압을 측정하는 방식으로 이루어진다.
- 다. 압밀-비배수시험에서는 압밀과정에 앞서 시료의 포화상태를 구현하기 위해 배압포화과정을 적용한다. 배압포화과정은 시료 내부에 가해지는 배압을 서서히 증가시키면서 외부에 가해지는 압력을 동시에 증가시키는 방식으로 수행된다. 이때 시료 외부에 가해지는 압력은 시료의 평창이 발생하지 않도록 배압에 비해 약간 크게 유지한다.
- 라. 시료의 포화도는 비배수 상태에서 등방압을 가했을 때 발생하는 간극수압의 비율 즉 간극수압계수를 측정하여 확인한다.
- 마. 압밀과정은 일반적으로 연직방향과 수평방향으로 동일한 크기의 압밀압을 가하는 등방압밀방식으로 수행된다.
- 바. 압밀-비배수시험을 통해 현장상태의 비배수 전단강도를 평가하고자 할 경우에는 일반적으로 현장의 초기 유효응력상태로 시료를 압밀하여 1회의 시험을 수행한다. 이 경우 현장의 비배수 전단강도는 전단과정에서 측정된 최대 축차응력의 1/2로 계산된다.
- 사. 동일한 응력이력을 가지는 점성토 지반의 비배수 전단강도는 유효구속압에 비례하는 것으로 알려져 있으므로, 과압밀비가 동일한 경우에는 하나의 압밀-비배수 시



험만으로도 다양한 초기 유효구속압에 해당하는 비배수 전단강도를 예측할 수 있다.

아. 압밀-비배수시험에서는 간극수압의 측정을 통해 유효응력 개념의 강도정수를 평가할 수 있으며 이를 위해서는 초기 유효구속압을 달리하여 최소 3회 이상의 시험을 수행해야 한다.

자. 강도정수는 각 시험에서 파악된 파괴상태의 유효응력 Mohr원들을 $\sigma' - \tau'$ 평면상에 도시한 후 접선을 구해 평가할 수 있다.

1.7 동적특성시험

- (1) 동적시험은 지진지대의 느슨한 사질토지반과 연약하고 예민한 점토지반, 기계 기초 설계 및 충격하중에 대한 문제해결을 위해 필요하다. 본 절은 개략적인 시험에 대하여 기술하였고 자세한 것은 Woods(1978)와 Drnevich 등(1978)을 참고한다.
- (2) 흙에 대한 동적시험으로부터 구할 수 있는 것과 구조물-지반거동에 따른 적용성을 <표 23>과 <그림 7>에 예시하였다.

표 23. 동적시험「NAVFAC, 1982」

시험 종류	대표시험	시험결과	주요적용대상
액상화 시험	반복삼축시험, 단순 전단시험	시료의 액상화 강도 R_I (R_I : 액상화를 유발하는 전단 응력/초기유효구속압)	모래지반의 액상화에 대 한 강도 규명으로 액상화 가능성 평가를 위한 지반 강도 정보 획득
동적 변형 특성 시험	공진주시험 비틀전단시험 반복삼축시험	$G-\gamma$, $E-\gamma$, $D-\gamma$ 등의 관계 G : 전단탄성계수, E : 탄성계수, D : 감쇠계수, γ : 전단변형	흙의 비선형거동특성 파 악, 지진 시 지반응답거 동특성 분석
동적 강도 시험	반복삼축시험	반복재하에 대한 강도 반복재하에 의한 강도저하	지진 시 비탈면 안정성분석

그림 7. 동적시험 방법들의 적용성[Woods, 1978]

- (3) 공진주시험(resonant column test)은 속이 채워진 원형시료나 중공(hollow) 원형시료의 자유단에 대해 조화진동을 주어서 시험한다. 저변형률에서 고변형률에 이르기까지의 전단변형률에 대한 탄성계수와 재료감쇠비의 특성을 평가하기 위해 수행하는 시험이다.
- ① 시료의 자유단에 압축과 또는 전단파를 가하여 재료의 고유주파수를 측정하고 이로부터 탄성계수를 측정한다.
 - ② 재료감쇠비(damping ratio)는 매질의 에너지 감쇠정도를 측정함으로써 구할 수 있으며, 하프-파워 대역법 (half-power bandwidth method), 자유진동감쇠법 (free-vibration decay method), 주파수-위상각법 (frequency-phase method)에 의해 구한다.
- (4) 영탄성계수, 전단탄성계수, 감쇠계수, 조립토의 액상화 가능성을 판단하기 위해 가장 많이 사용되는 동적(반복)시험은 다음과 같다.
- ① 반복삼축압축시험: 포화된 시료에 대해 축압을 일정하게 유지하고 축하중을 반복적으로 변화하면서 시험한다.
 - ② 반복단순전단시험: 단순전단의 비균일 응력조건을 가하여, 현장에서 파괴를 일으키는 응력보다 낮은 응력으로 파괴시킨다.
 - ③ 비틀전단시험: 중공시료를 만들기는 힘들지만 중공형태의 원형시료에 대한 비틀전단시험을 수행하면 횡방향 구속압을 측정할 수 있고 시료에 발생하는 응력이 균일하게 된다. 또한, 지름의 변화가 있는 테이퍼드(tapered) 중공시료도 사용된다.



(5) 다음에 소개되는 경험적인 값은 하나의 예비적 자료로만 사용될 수 있으며 최종 설계에 사용되어서는 안 된다. 그리고 동적특성에 대한 설계는 경험이 풍부한 전문기술자에 의해 진행되어야 한다.

- ① 전단탄성계수: 동적시험이 실시되지 않은 경우 전단탄성계수(G)의 예비적인 판단은 Hardin and Drnevich(1972)와 Seed and Idriss(1970)를 참고한다.
- ② 포아송비: 포아송비를 정확히 측정하기는 쉬운 일이 아니므로 대부분의 경우 포아송비를 측정하는데 많은 노력을 해야 하지만 이에 비해서 구조물에 미치는 영향은 적다.
- ③ 조립토에 대한 액상화 가능성 판단: 보통 D_{10} 의 범위가 0.01~0.25mm, C_u 는 2~10, 표준관입시험 N값이 25이하인 비교적 균질한 흙에서 발생된다. 액상화는 큰 가속도보다 큰 속도에 의해 더 민감하게 발생하는 경향이 있으며 이러한 특성은 동적시험의 필요성을 결정하기 위한 판단자료가 된다. 이 때 진동과 피해강도에 대한 지역적인 흙의 조건(층깊이, 지하수위심도, 단위중량의 변화 등)에 대한 액상화 가능성을 주의 깊게 고려해야 한다.

1.8 압밀시험

- (1) 점성토지반이 임의의 하중을 받아 압밀침하를 일으키는 경우 그 침하량 및 침하에 소요되는 시간을 산정하기 위한 토질상수를 구하기 위해 압밀시험을 수행한다. 이때 횡방향으로 완전히 구속된 1차원 압밀시험을 통해 흙으로부터 간극수를 배출시킴으로써 유발되는 세립토의 임의하중에 대한 압밀량과 점진적인 체적감소에 소요되는 압밀침하시간을 측정한다. 압밀시험결과 얻어지는 $e-p$ 곡선, $e-\log p$ 곡선, $s-\log t$ 곡선의 예를 <그림 8>에 도시하였다.

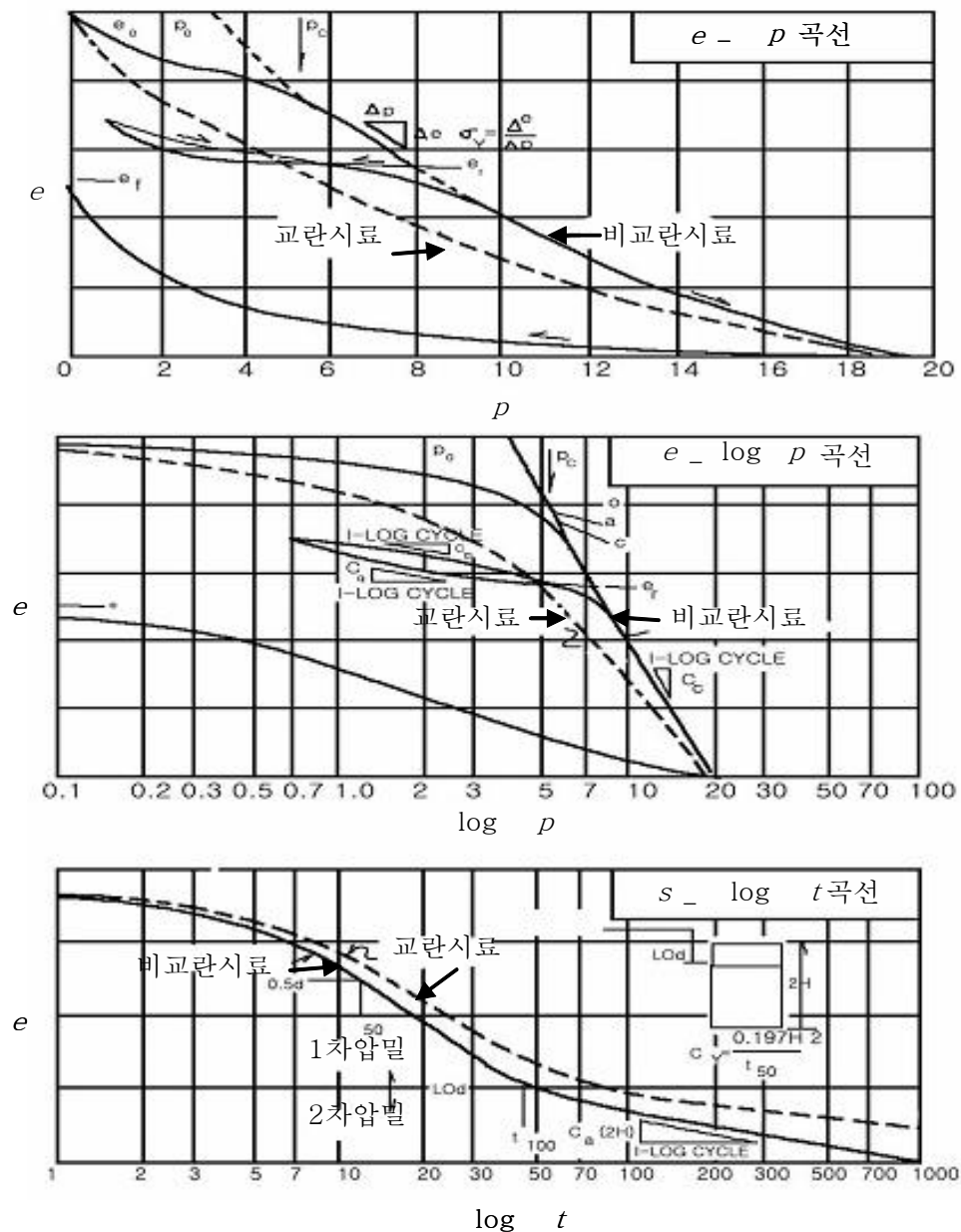


그림 8. 압밀시험결과 모식도「NAVFAC, 1982」

(2) 압밀시험을 수행하기 위해서는 시료의 상태가 매우 좋은 비교란시료가 필요하며 압밀가능성이 있는 지반에서 대표적 시료를 선정한다. 지층이 복잡한 경우 해당 지층의 압밀특성을 파악하기 위해서는 지층의 복잡성에 따라 2개에서 약 8개의 시험이 필요하다. 이 때 작용하중은 예상되는 현장재하조건을 고려해서 정한다.

(3) 압밀시험은 다음의 방법에 의해 수행될 수 있다.

- ① 응력조절에 따른 하중증가방법(incremental loading(IL) with stress control): 보통 하중은 24.5kN/m²를 초기하중으로 해서 2배씩 증가시켜 49, 98, 196, 392,



784kN/m² 등으로 한다. 팽창성이 있는 흙의 경우에는 초기팽창을 알기 위해 24.5kN/m²이거나 더 큰 하중(대개, 현장의 유효응력까지)까지 빨리 재하할 필요가 있다. 그러나 연약한 정규압밀점토의 경우에는 4.9kN/m² 또는 2.45kN/m²을 시작하중으로 해서 2배씩 증가시키며 재하한다. 또한 재압축지수(C_r) 및 팽창지수(C_s)를 구하기 위해서는 선행압밀하중이 지난 후 제하-재재하의 반복과정이 필요하다. 제하는 현재재하하중의 1/8까지(이보다 적을수록 좋음)하고 재재하는 초기하중재하와 같은 방법으로 한다.

② 일정 변형률속도 방법(constant rate of strain, CRS): 시료의 변형률이 일정하게 유지되도록 일정하게 변화하는 하중을 받게 된다. 적용된 변형률 속도에서 1차 압밀이 완료되는지를 확인하기 위하여 간극수압을 계속적으로 측정한다. 이 방법은 하중증가방법보다 시간이 덜 소요되며 비교적 정확한 선행압밀하중(p_c)을 구할 수 있다. 압밀계수(c_v)는 하중증가를 매우 적게 함으로써 구할 수 있으나 시험장치가 복잡하므로 변형률과 p_c 의 추정치 시험전에 판단되어야 한다. 자세한 것은 Wissa(1971) 등을 참고할 수 있다.

③ 동수경사 조절방법(gradient controlled test, GC): 간극수압을 시료 밑에 있는 다공판에서 측정하며 시료 위의 다공판을 통해 배수를 허용한다. 과잉간극수압이 시료의 바닥에서 일정하게 유지되도록 하중조절장치를 통해 하중적용을 조절한다. CRS 방법과 같이 이 방법은 IL 방법보다 시간이 덜 소요되며 미리 적용 변형률을 추정할 필요는 없으나 CRS 방법의 시험장치보다 훨씬 복잡하다. 자세한 것은 Lowe(1975)를 참고할 수 있다.

(4) 선행압밀하중은 재압밀과 처녀압밀의 경계를 이루며 토층이 과거 상재하중에 의해 압밀을 받은 최대연직유효응력에 상응한다. 건조에 의해서도 이와 유사한 현상이 생기므로 선행압밀하중을 정확히 결정할 수는 없지만 정교한 비교란시료에 대한 압밀 시험으로부터 개략적으로 알 수 있다.

① 도해적 방법: 선행압밀하중은 <그림 8>의 중간에 있는 $e - \log p$ 곡선으로부터 구할 수 있다. 또 다른 방법은 Leonards(1962)와 Schmertmann(1955)에 의해서도 소개되어 있다. 압밀시험시 최종 하중은 처녀압밀곡선의 기울기가 나타나도록 선행압밀하중보다 커야 하며 보통 선행압밀하중보다 큰 하중단계가 3개 이상 필요하다.

② 개략적인 값: 선행압밀하중과 액성지수의 관계는 <그림 9>에 도시되어 있으며 자연 함수비가 액성한계인 경우(즉, 액성지수=1)의 선행압밀하중은 예민 정도에 따라 9.8~78.4kN/m²의 범위에 있다. 그리고 자연함수비가 소성한계인 경우(즉, 액성지수=0), 선행압밀하중은 1,176~2,450kN/m²의 범위를 갖는다.

다른 방법으로 $p_c = (q_u/2)/(0.11 + 0.00371I_p)$ 다음 식으로부터 구할 수 있으며, 여기서 q_u 는 일축압축강도, I_p 는 소성지수이다.

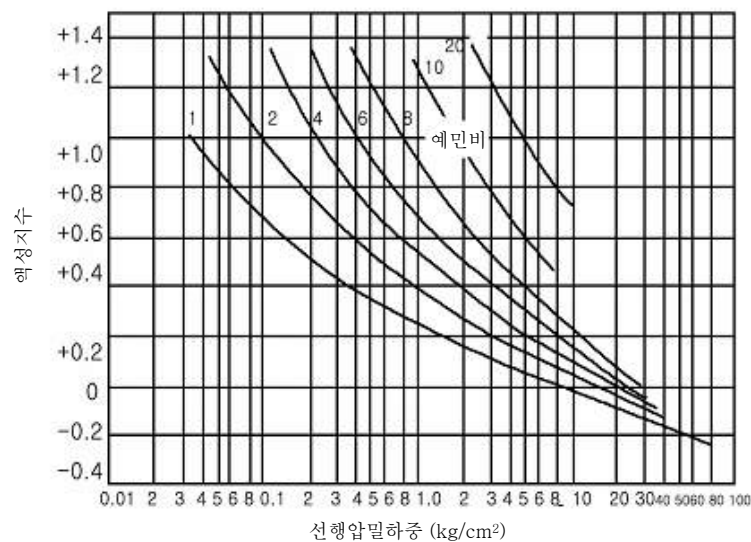


그림 9. 액성지수와 선행압밀하중「NAVFAC, 1982」

(5) 처녀압축은 대상 지반이 과거에 받아 보았던 하중보다 큰 하중에 의해 유발되는 변형이다. 이때의 변형은 압축지수를 이용하여 구할 수 있다.

- ① 압축지수: 정규압밀구간에서 $e - \log p$ 곡선은 직선 모양의 형태를 나타내며 직선의 기울기를 압축지수(C_c)라 한다.(<그림 8> 참조)
- ② 개략적인 값: 실트, 점토 및 유기질토의 압축지수는 자연함수비, 초기간극비 및 액성 한계와 관계가 있으며 개략 상관성은 다음과 같다.

$$C_c = 0.009(w_L - 10) : \text{예민비 4 이하인 무기질 점토}$$

$$C_c = 0.0115w_n : \text{유기질토, Peat}$$

$$C_c = 1.15(e_0 - 0.35) : \text{모든 점토}$$

$$C_c = (1 + e_0)[0.1 + (w_n - 25) \times 0.006] : \text{호상점토(varved clay)}$$

균일한 모래의 경우에는 C_c 는 98~392kN/m²의 응력범위에서 느슨한 상태일 때 0.05~0.06, 조밀한 상태일 때 0.02~0.03 정도이다.

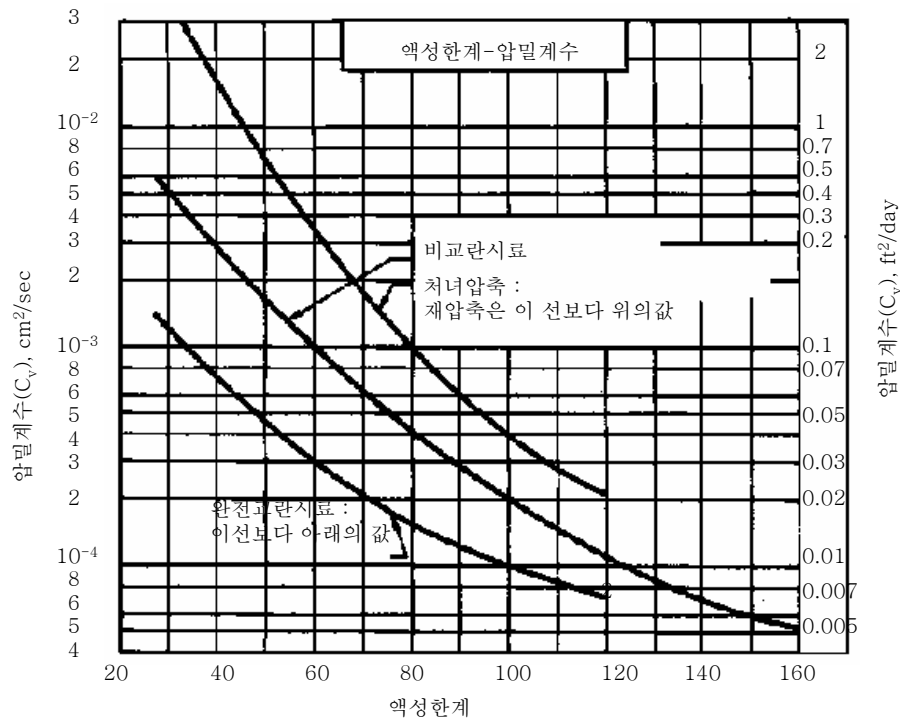
(6) 현장에서 유발되는 하중은 선행압밀하중의 크기에 따라 부분적이거나 전체적으로 재압밀 범위에 있을 수 있다. 그리고 굴착 등에 의해 하중이 제거되면 선행압밀하중보다 작은 응력범위에서 세립토는 체적팽창이 생기게 된다. 이 때 유발되는 변위는 팽창지수 또는 재압축지수를 이용하여 산정할 수 있다.

- ① 팽창지수: $e - \log p$ 곡선에서 회복(rebound)을 나타내는 직선의 기울기를 팽창지수(C_s)라 한다(<그림 8>).
- ② 재압축 지수: $e - \log p$ 곡선에서 재압축 범위의 직선기울기를 재압축지수(C_r)라 하며 C_r 은 팽창지수와 거의 같거나 약간 작다(<그림 8>).

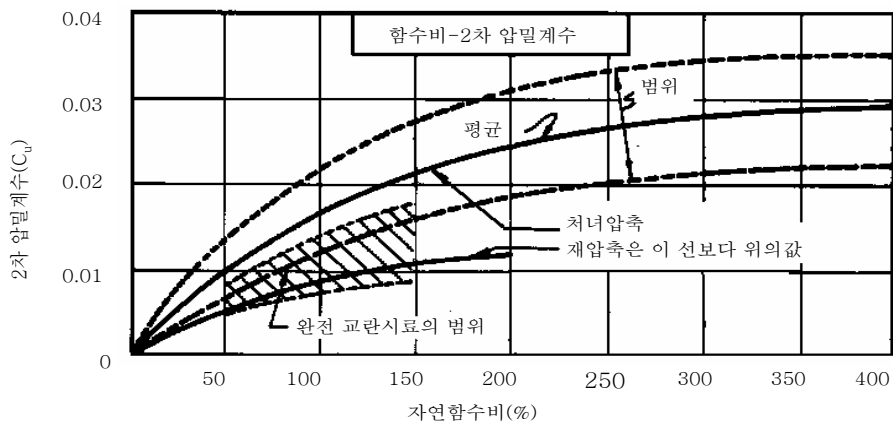


(7) 압밀되는 과정에서 간극수의 배출속도와 관련되는 설계변수는 압밀계수이다.

- ① 구하는 방법: 각 하중단계에 대한 $\log t-s$ 곡선에서 c_v 를 산정할 수 있다(<그림 8>).
- ② 개략적인 c_v 의 값을 <그림 10>에 제시하였다.



(a) 액성한계-압밀계수의 관계



(b) 자연함수비-압밀계수의 관계

그림 10. 개략적인 액성한계-압밀계수 및
자연함수비-2차압밀계수 상관성 「NAVFAC, 1982」

- (8) $\log t-s$ 곡선에서 주어진 하중에 대해 1차 압밀이 완료된 후에도 직선적으로 침하가 계속되며 이를 2차 압밀이라 한다.(<그림 8>) 이 때는 압밀의 속도가 간극수가 빠져 나가는 속도와 무관하며 잔류하는 과잉간극수압은 없다.
- ① 유기질토 : 유기질토는 $\log t-s$ 곡선에서 2차 압밀이 지배적일 수 있으며 전체 압밀량의 1/2를 넘거나 1차압밀과 2차 압밀의 구분이 모호한 경우도 있다.
 - ② 개략적인 값 : 2차 압밀계수 C_α 는 초기시료 두께에 대한 \log 눈금의 1 사이클 (cycle)에 해당되는 시료의 두께 감소비이며 개략적인 값은 <그림 8(b)>에 제시되어 있다.
- (9) 시료교란은 <그림 8>과 같이 시험결과에 미치는 영향이 크다.
- ① 간극비 : 시료교란으로 인해 임의의 하중에 대한 간극비가 작게되고 선행압밀하중의 위치가 불명확하게 된다.
 - ② 선행압밀하중 : 시료교란의 영향으로 인해 압축지수와 선행압밀하중은 일반적으로 작게 나타나는 경향이 있다.
 - ③ 재압축 및 팽창 : 시료교란은 재압축지수와 팽창지수를 크게 산정하는 원인이 된다.
 - ④ 압밀계수 : 시료교란으로 압밀계수는 재압축과 처녀압축의 양구간에서 모두 작게 나타나며 비교란시료의 경우에는 c_v 가 보통 선행압밀하중 근처에서 갑자기 감소되지만 교란이 심한 시료는 이러한 경향이 나타나지 않는다.
 - ⑤ 2차 압밀계수 : 처녀압축 구간에서 2차압밀계수는 교란으로 인해 작게 나타나는 경향이 있다.

1.9 투수시험

- (1) 투수계수는 배수 및 침투해석 시 흙을 통해 흐르게 되는 수량과 속도를 계산하는데 이용된다. 이를 위해 세립토의 비교란시료와 댐, 필터 또는 배수시설에 사용되는 다져진 재료에 대해서는 실내시험이 수행된다. 투수계수 측정시 특별히 유의할 사항은 다음과 같다.
- ① 비교란시료 또는 다져진 세립토의 투수성은 압밀시험으로부터 구할 수 있고 압밀 또는 삼축압축시료에 대해 직접적으로 구하기도 한다. 특히 투수계수가 10-8m/sec 보다 작은 흙에서는 시료와 그 주변의 시험기벽 사이를 밀폐시켜야 한다.
 - ② 샌드드레인 설계 시 대상 지반의 연직 및 수평 방향의 투수계수를 포함한 대상 토질에 대해 투수성과 관련된 자료가 필요하다.
 - ③ 성층상태(stratification)와 균열 등의 현장지반의 구조는 투수성에 큰 영향을 미친다. 따라서 실내시험결과에 대하여 이런 점이 고려되어야 하고 필요한 경우에는 현장투수시험을 수행해야 한다.



- (2) 투수계수는 시료의 교란에 매우 민감하며 지반의 구조적 특성에 따라 값의 범위가 크게 나타난다. 토질에 따른 투수성과 개략적인 투수계수의 값이 <표 24>~<표 25>에 제시되어 있다.

표 24. Creager에 의한 D_{20} 과 투수계수 상관관계

「구조물기초설계기준 및 해설, 1997」

D_{20}	$k(\text{m/sec})$	토질분류	D_{20}	$k(\text{m/sec})$	토질분류
0.005	3.00×10^{-8}	점토	0.08	6.85×10^{-5}	가는모래
0.01	1.05×10^{-7}	세립실트	0.50	8.90×10^{-5}	
			0.25	1.40×10^{-4}	
0.2	4.00×10^{-7}	조립실트	0.30	2.20×10^{-4}	중간모래
0.03	8.50×10^{-7}		0.35	3.20×10^{-4}	
0.04	1.75×10^{-6}		0.40	4.50×10^{-4}	
0.05	2.80×10^{-6}		0.45	5.80×10^{-4}	
			0.50	7.50×10^{-4}	
0.06	4.60×10^{-6}	아주 가는 모래	0.60	1.10×10^{-3}	굵은모래
0.074	6.50×10^{-6}		0.70	1.60×10^{-3}	
0.08	9.00×10^{-6}		0.80	2.15×10^{-3}	
0.09	1.40×10^{-5}		0.90	2.80×10^{-3}	
0.10	1.75×10^{-5}		1.00	3.60×10^{-3}	
0.12	2.60×10^{-5}	가는모래	2.00	1.80×10^{-2}	잔자갈
0.14	3.80×10^{-5}				
0.16	5.10×10^{-5}				

표 25. 투수계수의 일반적인 값들

「구조물기초설계기준 및 해설, 2003」

흙 종류	$k(\times 10^{-4} \text{ cm/s})$
느슨한 모래	3,000 ~ 5,000
중간 모래	1,000
가는 모래	50 ~ 150
모래질 실트	1 ~ 20
실트	0.1 ~ 1
점토질 실트	0.01 ~ 1
실트질 점토	0.001 ~ 0.01
점토	0.0001 ~ 0.001
콜로이드성 점토	0.00001 ~ 0.00001

1.10 직접전단시험

- (1) 직접전단시험은 지반의 강도특성을 파악하기 위해 수행되는 비교적 간편한 시험방법이다.
- (2) 직접전단시험은 3개로 분리된 전단상자에 시료를 넣고 연직하중을 가한 후 수평하중을 증가시켜 시료를 전단시키는 방식으로 수행된다. 전단 시에는 수평하중과 수평변위 및 연직변위를 측정한다.
- (3) 시험(KS F 2343 참조)은 포화된 점성토의 배수강도정수를 평가하고자 하는 경우에는 연직하중을 재하한 후 시간에 따른 연직방향 변위를 측정하여 압밀이 완료되었음을 확인해야 하며, 전단과정에서는 시료 내부에 과잉간극수압이 발생하지 않도록 전단속도를 느리게 유지해야 한다.
- (4) 배수강도정수를 구하기 위해서는 연직하중을 달리하여 최소 3회 이상 수행한다. 각 시험으로부터 파괴시의 연직응력과 수평전단응력을 평가하며, 이를 선형회귀하여 강도정수를 평가한다. 다만 직접전단시험에서는 전단이 진행됨에 따라 전단면의 면적이 감소하므로 이에 대한 적절한 보정이 필요하다.
- (5) 직접전단시험에서는 시료 내의 가장 취약한 부분이 아니라 미리 정해진 파괴면을 따라 파괴가 유발될 뿐 아니라 파괴면에서의 응력분포 역시 균일하지 않다. 따라서 평가된 강도에는 다소간의 오차가 포함될 가능성이 높다.

2. 실내암석시험

2.1 일반사항

- (1) 실내암석시험은 시추조사 시 채취된 암석코어에 대하여 지층을 대표할 수 있는 시료를 선정한 후 암의 공학적 성질을 파악하기 위해 수행하며, 암석시험의 성형에서부터 제작, 시험방법은 한국산업규격(KS F)을 준용하여야 한다. 다만 KS F 규격에 명시되지 않은 시험의 경우 국제적으로 공인받은 ASTM, ISRM(국제암반역학회), KSARM(한국암반공학회) 등에서 권장하는 방법을 준용하여야 한다.
- (2) 실내암석시험을 통해 얻어진 물성치간의 상관관계를 분석하여 자료의 신뢰성을 판단한 후 설계 및 시공 시 활용한다.
- (3) 역학시험을 위한 실내시험방법은 단지 깨끗하고 결함이 없는 암석(intact rock)을 이용한다.
- (4) 층리, 절리, 불연속면에 약한 물질이 포함된 현장 암반의 거동을 신선한(intact)암석에 대한 시험결과로부터 파악하기는 대단히 어렵다. 그러므로 절리의 강도와 압축성 시험은 현장시험이 더 적절하다.



2.2 물성시험

- (1) 물성시험은 암석의 물리적 특성을 파악하기 위한 시험이다.
- (2) 시험의 종류는 비중시험, 밀도시험, 흡수율시험, 탄성파속도 등으로 구분되며 각각 시험에 대한 특성은 <표 26>과 같다.

표 26. 물성시험의 구분 및 표준시험 규정

시험명칭	시험결과치	시험결과의 이용	표준방법
비중시험	비중	비중, 흡수율, 함수비, 포화도, 간극비	KS F 2518
밀도시험	건조밀도, 습윤밀도	지반내의 응력산정, 지압발생 예측지표	KS F 2518
흡수율시험	공극율, 흡수율	암석의 투수성	-
탄성파속도시험	탄성과 전파속도	암반의 균열도 파악, 암반분류	ASTM D 2845

2.3 일축압축시험

- (1) 일축압축시험은 시험편의 축방향으로 압축력을 가하고 파괴될 때의 하중을 측정하여 암석의 강도를 구하는 시험이다. 또한 시험편의 변형률을 측정하여 탄성계수와 포아송비를 구할 수 있다.
- (2) 시험편의 형태는 KS F 2519에서는 각주 또는 원주형으로 되어 있으나 ASTM에서는 원주형만을 권하고 있다.
- (3) 크기의 경우 국내에서는 지름에 대한 높이의 비를 1.0으로 하고 있으나 일본의 규정 (JIS M 0302)에서는 2.0, ASTM 또는 ISRM에서는 2.0~3.0을 규정하고 있어 비교시 주의하여야 한다.
- (4) 일축압축강도는 <식 (27)>에 의하여 구한다.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (27)$$

여기서, σ_c : 일축압축강도, P : 파괴하중, A : 시험편 단면적

2.4 삼축압축시험

- (1) 삼축압축시험은 지하암반 내 응력상태와 같이 원주형 시험편을 삼축압축챔버에 넣고 유압으로 주위에 일정한 축압을 가한 후 일축압축시험에서와 같이 수직으로 하중을 가하여 파괴강도를 얻는다.
- (2) 시험편의 형태는 원주형이며 지름에 대한 높이의 비는 2.0~3.0이고, 시험편의 지름은 NX 코어크기를 적용하여야 하며 암석의 최대 입자 크기의 10배 이상이 되어야 한다.

- (3) 삼축압축시험으로 얻어지는 축압조건과 이에 대한 삼축압축강도 결과는 일축압축강도 및 인장강도 측정결과와 함께 암석의 중요한 역학적 특성인 점착력과 내부마찰각을 구하는데 이용된다. 이들 강도치를 이용해 Mohr 응력원을 작도하고 파괴포락선을 결정하면 법선응력이 0인 상태 즉, 전단응력축과 파괴포락선의 교점이 점착력이 되고 파괴포락선의 기울기가 내부마찰각이 된다.

2.5 인장강도시험

- (1) 인장강도시험은 시험편에 인장력을 가하여 파괴시 강도를 측정하는 방법으로 일축인장시험, 4점휨시험, 압열인장시험 등이 있다.
- ① 일축인장시험 : 인장력을 원주형 시험편의 축방향으로 가하는 방식
 - ② 4점휨시험 : 시험편을 보처럼 놓고 짐하중을 가하여 휨 모멘트에 의한 인장파괴를 시키는 시험
 - ③ 압열인장시험 : 하중을 원반 시험편의 지름방향으로 재하하여 인장파괴를 시키는 시험
- (2) 압열인장시험편의 형태는 원주형이며, 지름에 대한 높이의 비는 0.5~1.0이고, 지름은 20~100mm이다.
- (3) 압열인장시험 시 인장강도 σ_t 는 <식 (28)>에 의하여 구한다.

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi Dt} \quad (28)$$

여기서, σ_t : 인장강도, P : 파괴하중

D : 시험편의 지름, t : 시험편의 두께

2.6 절리면전단시험

- (1) 절리면전단시험은 암반 내에 존재하는 단층이나 절리가 터널과 같은 암반구조물의 안정성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 절리면을 포함한 시험편에 대해 직접 전단시험을 실시하여 최대전단강도, 잔류전단강도, 전단강성, 팽창특성 등을 알아보는 시험이다.
- (2) 절리면 시험은 절리면이 포함된 블록을 채취하거나 절리가 있는 시추코어를 채취하여 시험장치의 전단박스에 맞게 몰당하여 제작한다.
- (3) 시험은 수직응력 수준을 몇 단계로 설정하여 각 수직응력 단계에 대하여 전단시험을 실시한다. 시험결과를 Coulomb의 직선파괴식을 사용하여 회귀분석하여 절리면의 마찰각과 점착력을 구한다.



해설참조1. 특수지반 지반조사 사례

1. 석회암 분포지역 지반조사 사례

1.1 석회암의 정의 및 물리역학적 특성

1.1.1 석회암의 정의

- (1) 탄산칼슘(CaCO_3)을 주성분으로 하는 퇴적암을 총칭하며 보통 세립, 괴상의 무구조 암석으로 순백 또는 회백색이지만 불순물이 섞인 것은 암회색이나 흑색을 띠
- (2) 석회암은 생물의 유해가 침전되어 형성된 유기적 석회암과 물에 용해된 탄산칼슘이 화학작용에 의해 다시 침전되어 형성된 화학적 석회암으로 분류

1.1.2 석회암의 분포

- (1) 한반도에서 석회암은 전체 면적의 약 7%를 차지하며, 그중 남한은 5%를 차지함
- (2) 주로 선캄브리아기의 편암 내에 협재하거나 하부고생대의 조선누층군에서 집중하여 산출
- (3) 선캄브리아기 석회암은 경기편마암복합체 내 춘성층군과 서산층군에 비교적 넓게 분포
- (4) 하부고생대 조선누층군 석회암은 옥천대의 북동부인 태백산을 중심으로 한 강원도와 그 서남 인근에 주로 분포

1.1.3 석회암의 지질공학적 특성

- (1) 석회암은 주로 방해석과 돌로마이트 등으로 구성됨
- (2) 석회암의 주 구성성분인 방해석은 이산화탄소 및 물과 반응하여 용해되는 특성을 나타냄
- (3) 방해석의 용해특성에 의해 석회암공동을 형성하며 공동의 상부가 함몰된 구조를 갖는 돌리네, 썩크홀 등이 관찰됨

1.1.4 석회암의 물리역학적 특성

- (1) 국내 지역의 석회암에 대한 물리적 특성을 <표 27>에 기술함

표 27. 석회암의 물리적 특성

밀도(g/cm^3)	흡수율	공극율	탄성파속도(m/sec)	
			P파	S파
2.73 ± 0.1	0.28 ± 0.14	0.88 ± 0.3	$5,030 \pm 870$	$2,710 \pm 510$

- (2) 국내 지역의 석회암에 대한 역학적 특성을 <표 28>에 기술함

표 28. 석회암의 역학적 특성

일축압축강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	포아송비	점착력 (MPa)	내부 마찰각(°)
103±48	7±2	5.55±0.95	0.24±0.03	23±8	46.1±8.0

1.2 석회암 분포지역의 공학적 위험요인

- (1) 석회암은 화학적 풍화에 취약하여 지하수에 용해 작용으로 단층면, 파쇄대, 층리면등의 지질구조선을 따라 용식작용을 일으켜 작은 틈을 만들고, 점점 확대되어 지하에 불규칙한 석회암공동을 생성한다.
- (2) 석회암공동은 토목공사 시 구조물 기초의 지지력 약화, 터널 굴착 시 막장붕괴를 초래하며, 사면 안정 문제, 지반 함몰 등의 문제를 내포한다.
- (3) 석회암 분포지역의 안정적인 설계를 위해서는 사전조사, 개략조사, 정밀조사, 확인조사 등의 체계적인 조사를 통해 석회암공동의 분포 특성 파악이 선결되어야 한다.

1.3 석회암 분포지역의 지반조사 방법

- (1) 효과적인 설계 및 석회암공동에 대책 마련을 위해 석회암공동의 분포특성을 고려한 합리적인 조사 설계를 수행한다. <표 29>는 석회암분포지역에서의 지반조사 방법을 기술한 것이다.

표 29. 석회암분포지역에서의 지반조사 방법

구 분	목적	지질조사 및 현장시험	물리탐사
사전조사	<ul style="list-style-type: none"> · 광역 지질의 인지 · 용해성 암석의 분포 확인 · 선구조분석 · 카르스트 지형의 분석 	<ul style="list-style-type: none"> · 지질도 및 문헌조사 · 항공사진 분석 	-
개략조사	<ul style="list-style-type: none"> · 주변 지질도의 작성 · 단층대 등 주구조의 분석 · 공동/연약대의 분포 파악 	<ul style="list-style-type: none"> · 지표지질조사 · 시추조사 	<ul style="list-style-type: none"> · 전기비저항탐사 · GPR탐사 · 탄성파탐사
정밀조사	<ul style="list-style-type: none"> · 상세 지질(단면)도의 작성 · 공학적 지질 특성 분석 · 구조물 인근 공동 분포 상태 파악 	<ul style="list-style-type: none"> · 상세 지표지질조사 · 시추조사 · 물성시험 	<ul style="list-style-type: none"> · 탄성과 토모그래피 · 비저항 토모그래피 · 레이더 토모그래피
확인조사	<ul style="list-style-type: none"> · 지질분포 및 구조 확인 · 지반보강효과의 검증 · 구조물 안정성 검토 	-	<ul style="list-style-type: none"> · 각종 토모그래피



1.4 석회암 분포지역의 지반조사 사례

1.4.1 조사지역 특징

- (1) 충청북도 문경 일대로 석회암이 광범위하게 분포하고 있으며 문경대단층 등의 지질 구조작용과 지하수 등에 의해 석회암공동이 지표 및 시추조사를 통해 다수 관찰
- (2) 석회암공동의 분포특성 파악을 위해 정밀지표지질조사, 시추조사, 3차원 전기비저항 탐사, 각종 토모그래피탐사, 물리검층 등을 수행

1.4.2 조사결과

- (1) 3차원 전기비저항탐사 결과 저비저항이상대의 수직 수평적인 방향성 파악이 가능하였으며 <그림 11>에 탐사 결과를 도시함

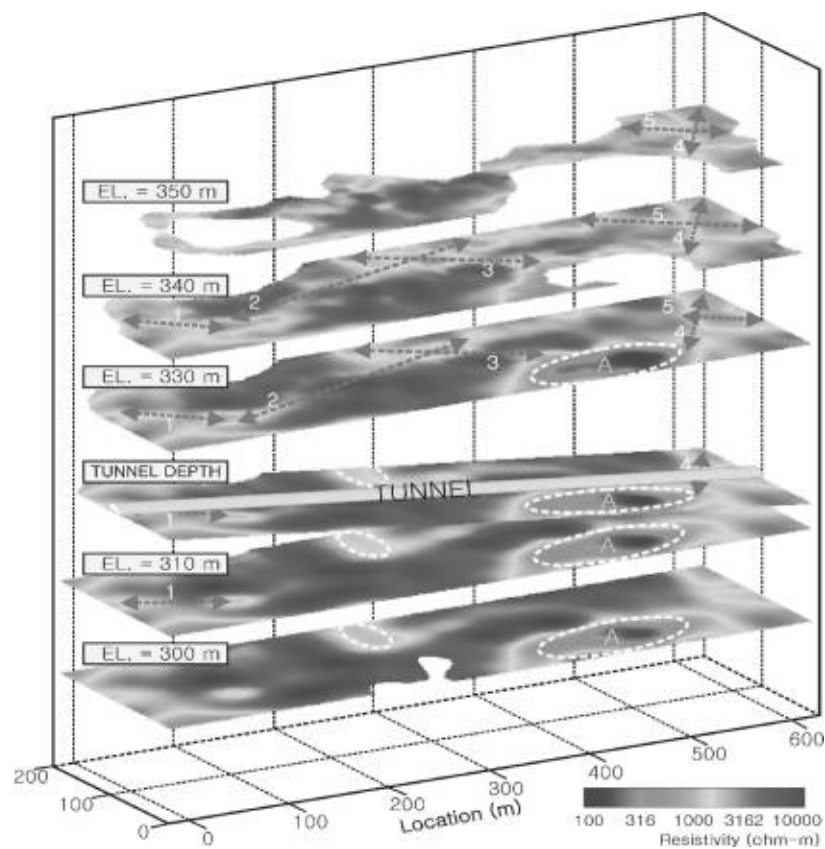
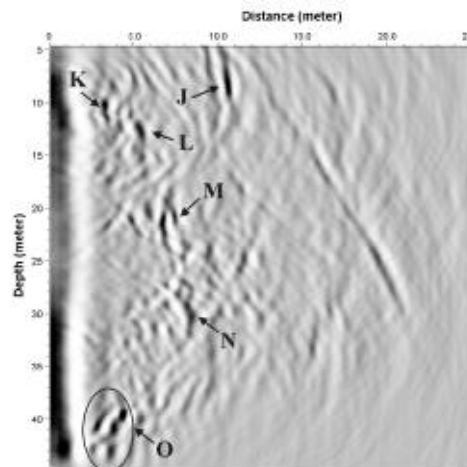
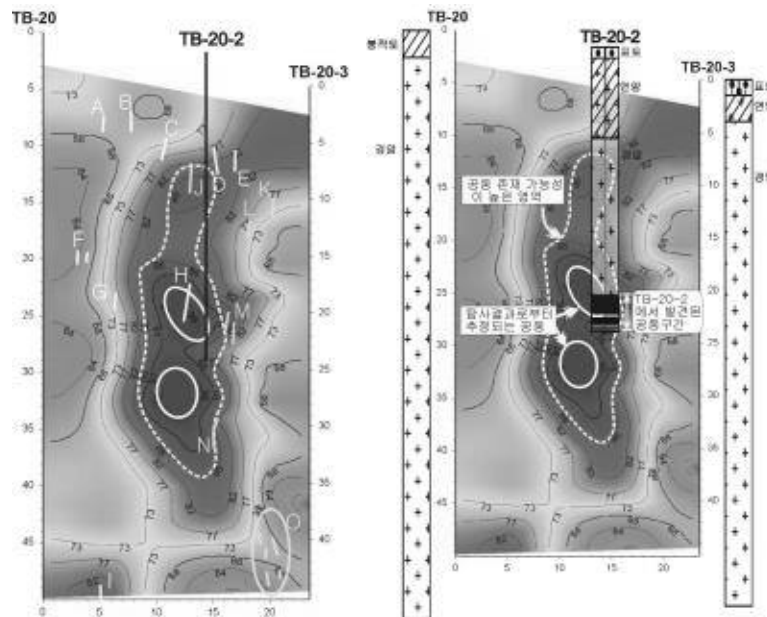


그림 11. 3차원 전기비저항탐사 결과

- (2) 저비저항이상대 관찰 구간에 대한 정밀 조사를 위해 확인 시추를 수행하였고 레이더 반사법 및 토모그래피탐사를 수행한 결과 <그림 12>와 같이 공동의 규모 및 방향성을 파악함
- (3) 공동 확인 구간에 대한 통과 방안 및 보강 공법 선정에 활용



(a)



(b)

그림 12. 시추공 정밀탐사

(a : 레이다 반사법탐사, b : 레이다 토모그래피탐사) 수행결과

2. 탄층 분포지역 지반조사 사례

2.1 탄층의 정의 및 물리적 특성

- (1) 탄층은 암층 사이에 층상으로 존재하는 석탄의 층으로 지질학적으로는 탄층을 사이에 둔 일련의 지층을 의미한다.
- (2) 탄층은 평균 1.8g/cm³의 밀도와 수~수십 ohm-m의 전기비저항을 나타내며, 2,000m/sec 이하의 탄성파속도를 갖는다.

- (3) 탄층은 연약대 및 지하수 유동 통로로 거동하며 강도가 약하고 변형정도가 커 구조물의 안정에 위험 요인으로 작용하므로 체계적인 지반조사를 통해 탄층의 분포 및 공학적 특성 파악이 필요하다.

2.2 탄층 분포지역 지반조사 흐름

- (1) 탄층 분포지역 지반조사 흐름은 <그림 13>과 같다.

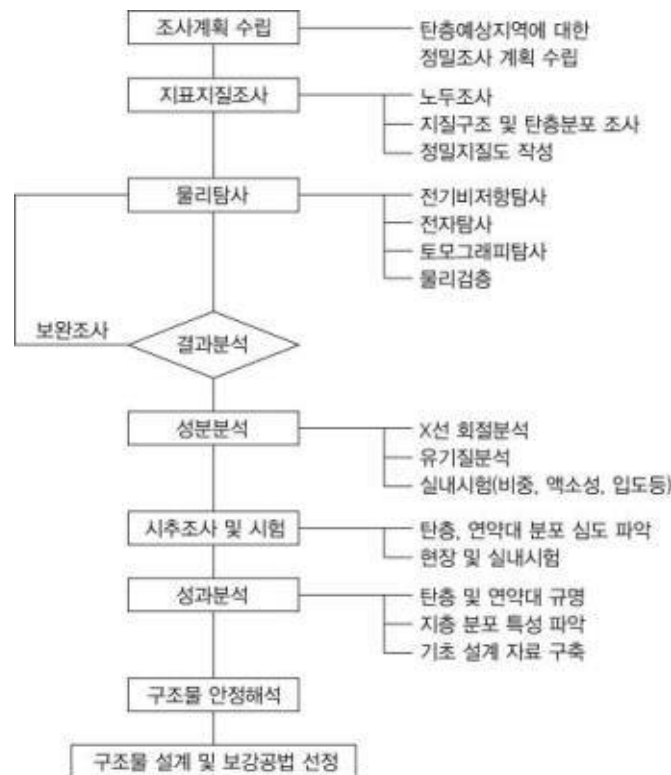


그림 13. 탄층 분포지역 지반조사 흐름도

2.3 탄층 분포지역 지반조사 사례

2.3.1 조사지역 특징

- (1) 강원도 태백의 해발고도 1,100m에 달하는 산악지역으로 주위에 탄전이 광범위하게 분포하는 지역으로 <그림 14>~<그림 15>에 조사 위치도와 탄층 분포 전경을 나타냄



그림 14. 조사지역 위치도

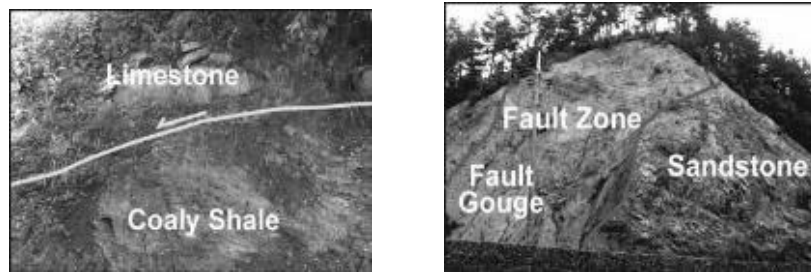


그림 15. 탄층 및 단층파쇄대 분포 전경

- (2) 탄층의 전기비저항이 수~수십 ohm-m 임을 감안하여 탄층의 수평 및 수직적인 분포 특성 규명을 위해 전기비저항탐사, 전자탐사, 전기비저항 토모그래피탐사, 물리검층 등의 물리탐사를 적용함

2.3.2 조사 결과

- (1) 전기비저항탐사 및 전자탐사 결과 탄층의 전기비저항은 10~100ohm-m의 분포를 나타내었으며, <그림 16>에서와 같이 탄층구간으로 판단되는 저비저항이상대가 최대 200m 내외의 두께까지 분포함
- (2) 저비저항이상대 구간에 대한 정밀 조사를 위해 확인 시추를 수행하였고 전기비저항 토모그래피탐사, 전기비저항검층, 자연감마검층, 밀도검층, 초음파주사검층 등의 물리검층을 수행함

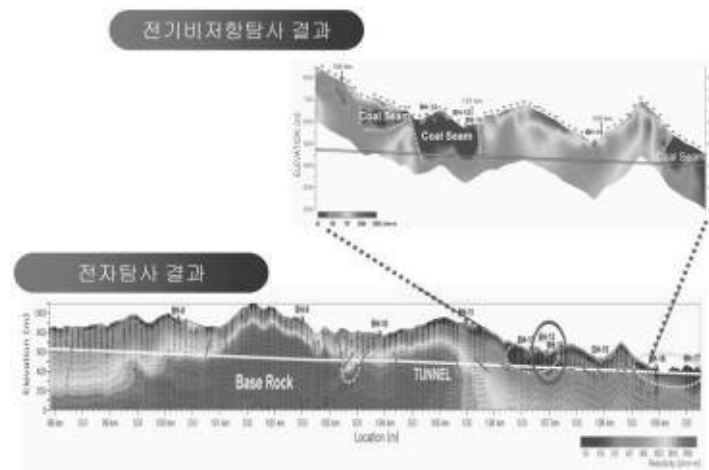


그림 16. 전기비저항탐사 및 전자탐사 결과

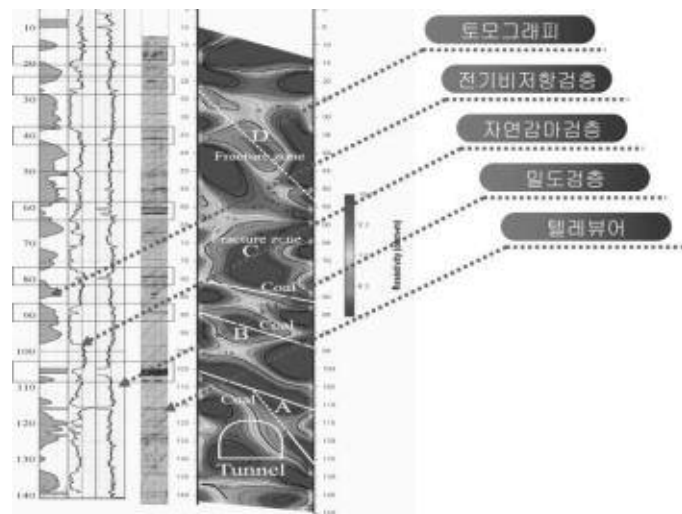


그림 17. 각종 물리검층 수행 결과

- (3) <그림 17>에서와 같이 전기비저항 토모그래피 탐사 결과 0.1~10ohm-m의 저비저항이상대가 A~D 등 4개소에 관찰되었고, 이는 단층파쇄대 및 탄층의 복합적인 요인에 의한 것으로 파악됨
- (4) 단층파쇄대 및 탄층 구간은 안정적인 터널 굴착을 위해 암반등급에 따른 터널 구간별 지보패턴 선정시 1단계 낮은 지보패턴을 적용함

3. 연안 해수침투 지역 지반조사 사례

3.1 연안 해수침투지역 특성

- (1) 연안 지역의 지층은 지역에 따라 차이는 있으나 점토, 모래, 자갈층이 교호하는 양상을 나타냄
- (2) 해수침투는 지하수 및 지표수를 오염시키며 농작물에 염해를 야기하며 각종 토목 구조물의 안정성 저해 요인으로 작용
- (3) 해수에 의해 충전된 층의 저비저항값은 수~수십ohm-m의 분포를 나타내어 저비저항 특성을 이용한 물리탐사법 적용 시 효과적임

3.2 연안 해수침투 지역 지반조사 사례

3.2.1 조사지역 특성

- (1) <그림 18>과 같이 조사지역은 경상남도 하동군 일원으로 연약지반의 심도가 최대 32m까지 관찰됨
- (2) 지층은 점토와 모래층이 교호하는 양상을 보이며 일부 구간 자갈층이 관찰됨
- (3) 과거 섬진강의 범람과 함께 하안매립의 이력이 존재하며 과거 침투한 해수의 잔류염분과 조수간만에 의한 해수 침투 등이 상존



그림 18. 조사지역 위치도

- (4) 해수침투 구간의 저비저항값이 수~수십ohm-m의 분포를 나타내므로 해수침투 영역의 파악을 위해 다중주파수 전자탐사, 수직전기비저항탐사, 2차원 전기비저항탐사, 물리검층을 적용함

3.2.2 조사결과

- (1)다중주파수전자탐사를 통해 비교적 천부의 심도별 저비저항 변화양상을 파악하였고 <그림 19>와 같이 사질토층에 침투한 해수의 영향범위를 파악함

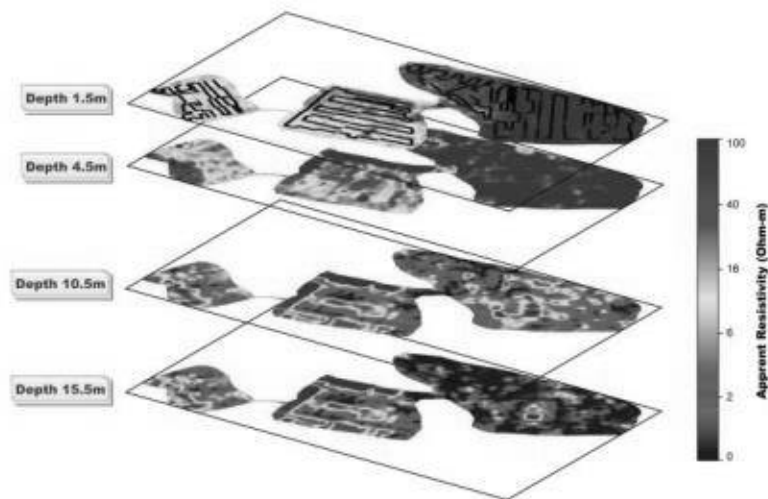


그림 19. 다중주파수전자탐사 결과

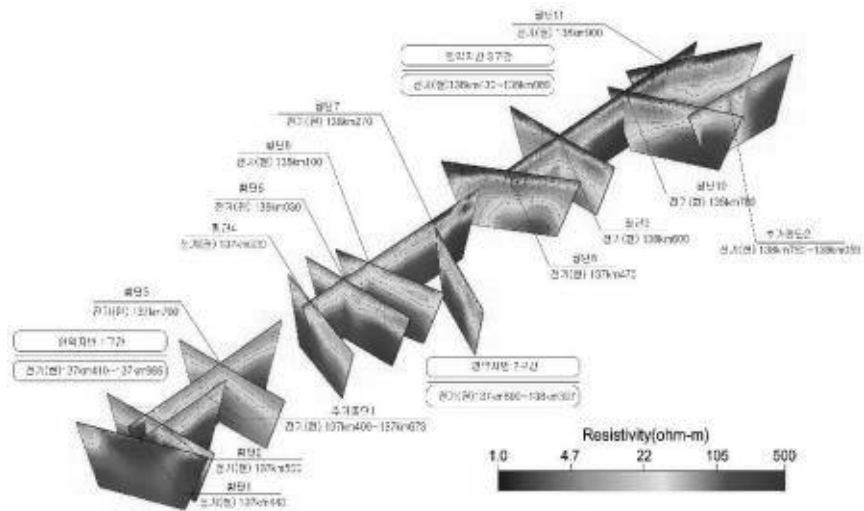


그림 20. 2차원 전기비저항탐사 결과

- (2) <그림 20>의 전기비저항탐사 결과에서와 같이 100ohm-m 이하의 저비저항이상대는 40m 이내 심도에서 관찰되며 점토층과 해수침투한 사질토층의 영향으로 분석됨
- (3) 해수 침투 영역의 수리전도도가 양호한 사질토층으로 한정되므로 시추조사를 통해 확인된 사질토층의 전기비저항과 토양공극수의 염분농도 분포의 상관성 분석을 수행하여 <그림 21>과 같은 등가염분농도 분포도 작성

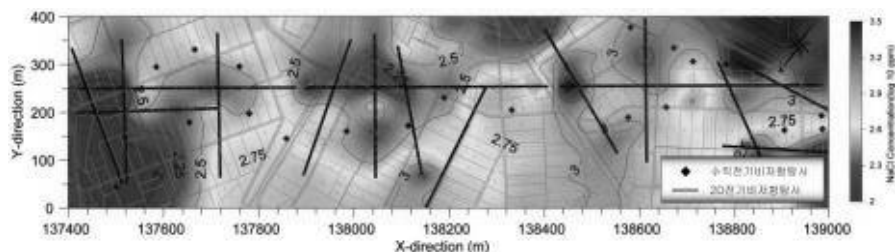


그림 21. 해수침투지역의 등가 염분농도분포도

- (4) 조사지역 전반에 대한 염분농도분포도를 통해 해수 침투영역을 파악하고 구조물의 염해방지 대책 수립에 반영

4. 하상구간 지반조사 사례

4.1 하상구간 특성

- (1) 교량 구조물 기초의 간격, 위치, 종류의 선정을 위해서는 지층분포 특성 및 지질이상대의 파악이 선결되어야 한다.
- (2) 그러나 하상구간의 경우 노두조사를 통한 연약대의 파악이 불가하며 현장 여건 및 비용적인 측면에 의해 다수의 시추조사가 어렵다.

- (3) 교량 건설 예정 지역 전반의 지층 및 지질이상대 파악을 위해 전기비저항탐사를 적용하고 관찰된 저비저항이상대에 대한 확인 시추를 통해 효율적인 교량 설계가 가능하다.

4.2 하상구간 지반조사 사례

4.2.1 조사지역 특성

- (1) 길이 약 175km의 조구조 규모의 경강단층대가 북한강을 따라 발달할 것으로 추정되며, 주향은 N30E, 경사는 80~90° 정도로 노선과는 70~90° 정도의 각도로 교차할 것으로 예상됨
- (2) 강폭은 650m, 수심은 강가를 제외하고 8~12m를 나타냄
- (3) <그림 22>와 같이 노선과 평행하며 서로 30m씩 이격된 3개의 종단측선과 횡단 1개 측선에 전기비저항탐사를 수행하여 지질이상대의 분포특성 파악

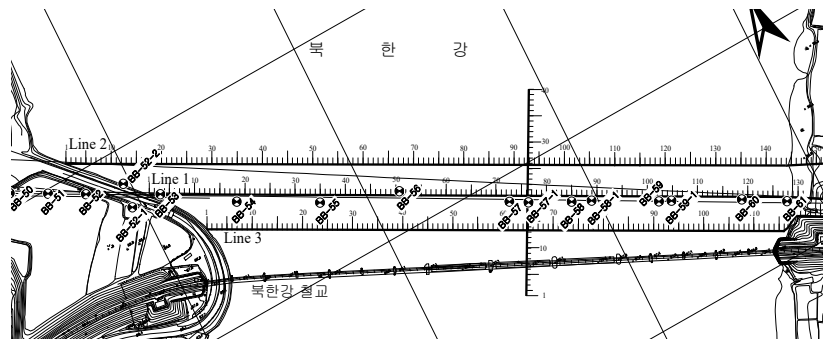


그림 22. 전기비저항탐사 측선도

4.2.2 조사결과

- (1) <그림 23>과 같이 하상 전기비저항탐사를 분석하여 방향성이 관찰된 B, C, D 이상대에 대한 확인시추 결과 단층각력 및 단층점토로 구성된 단층과쇄대 확인

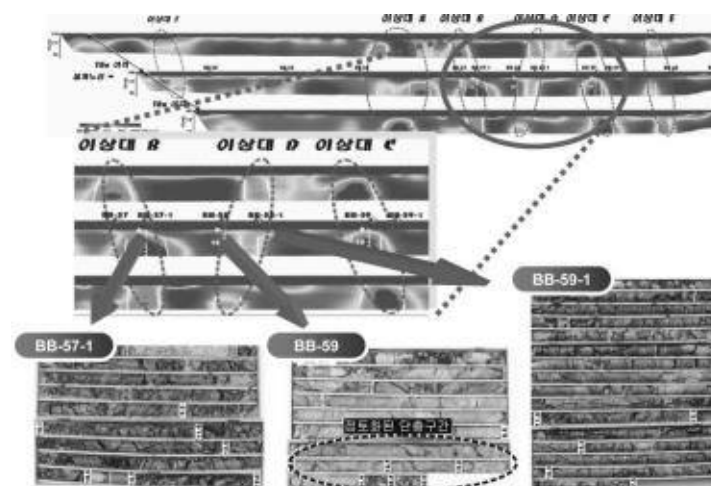


그림 23. 저비저항이상대에 대한 확인시추 결과



[별표] 측량 기입 양식
[별표 1]

측량의 단위 및 최소단위

구 분			단위 칭호	최소단위 칭호			비 고
				실시설계 및 공사측량	예측	답사	
선로의 거리			km	mm	m	100m	
철도 기준점 측량	방위각(방향각)		도 분 초	0.1초	초		
	거리		m	mm	mm		
	좌표(경·위도)		도 분 초	0.001초	0.01초		
	좌표(X, Y)		m	mm	mm		
평판측량	거리측정		m	mm	m		
수준 측량	수준점측량		m	mm	mm		
	중형단측량		m	mm	100mm		
삼각측량 및 다각측량	기선측정		m	mm	mm		
	각측정		도(°)	초	초		
	좌표 및 표고		m	mm	mm		
중심 측량	측점의 거리측정		km	mm	m		
	곡선 측량	각 측정	도(°)	초	분		
		교점이정	km	mm	m		
		접선장	mm	mm	m		
		시종점이정	km	mm	m		
		측점좌표	mm	mm	m		
용지경계 측정			m	mm	mm		
각종한계 측정			mm	mm	100mm		

[별표 2]
말뚝종별 치수 및 글자 기입법

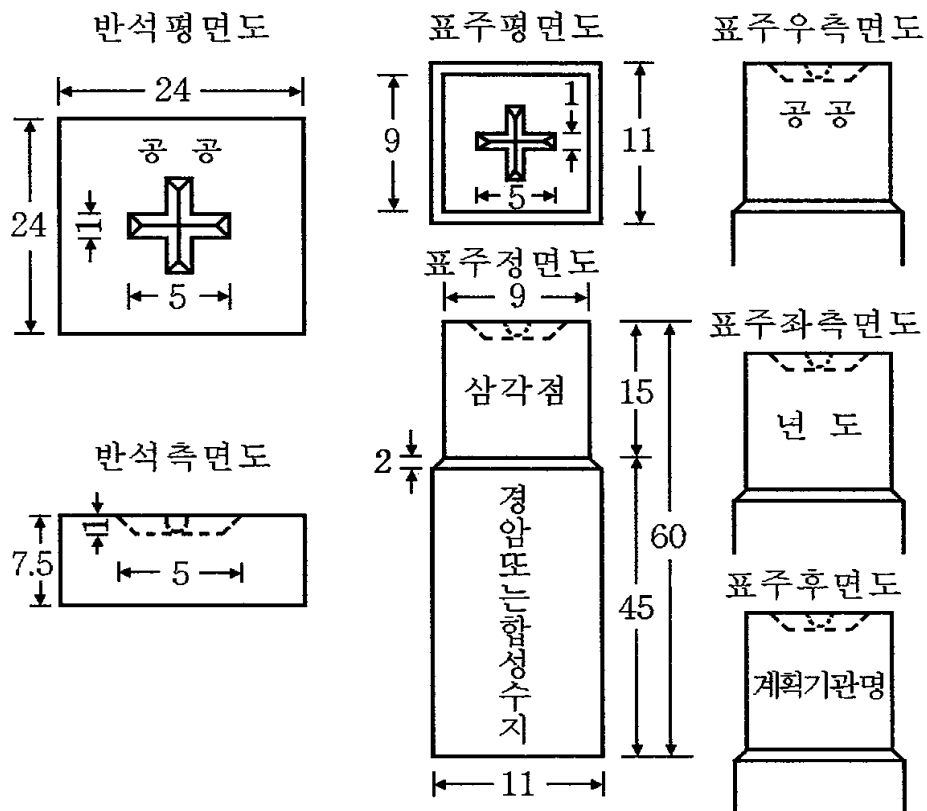
말뚝종별	말뚝치수		글자 기입법		보호말뚝		종별
	단면 mm×mm	길이 mm			본수	글자 기입법	
중심말뚝	30×30	450	○km○○				
TP말뚝	45×45	500	TP				
곡선교점 (IP)	70×70	750			5	R=400 IA=27°45' TL=264m15 IP=6km043.15	
곡선시· 중점말뚝	70×70	750	완 화 곡 선	시점SP	2		
				중점PC			
				시점CP			
				중점PS			
			원 곡 선	시점BC			
				중점EC			
인조말뚝	45×45	500	TP 혹은 IP기타		2		
비 고	가. 곡선교점(交點)의 보호말뚝에는 키로징을 기입한다. 나. 곡선, 시중점 말뚝의 보호말뚝에는 키로징을 기입하고, 그중 SP, PS 및 BC, EC의 보호말뚝에는 곡선반지름, IA, TL, CL을 기입한다. 다. 완화곡선중의 P점 및 H점에는 중말뚝을 사용한다.						



[별표 3]

철도기준점 표지 매설도

(단위: cm)

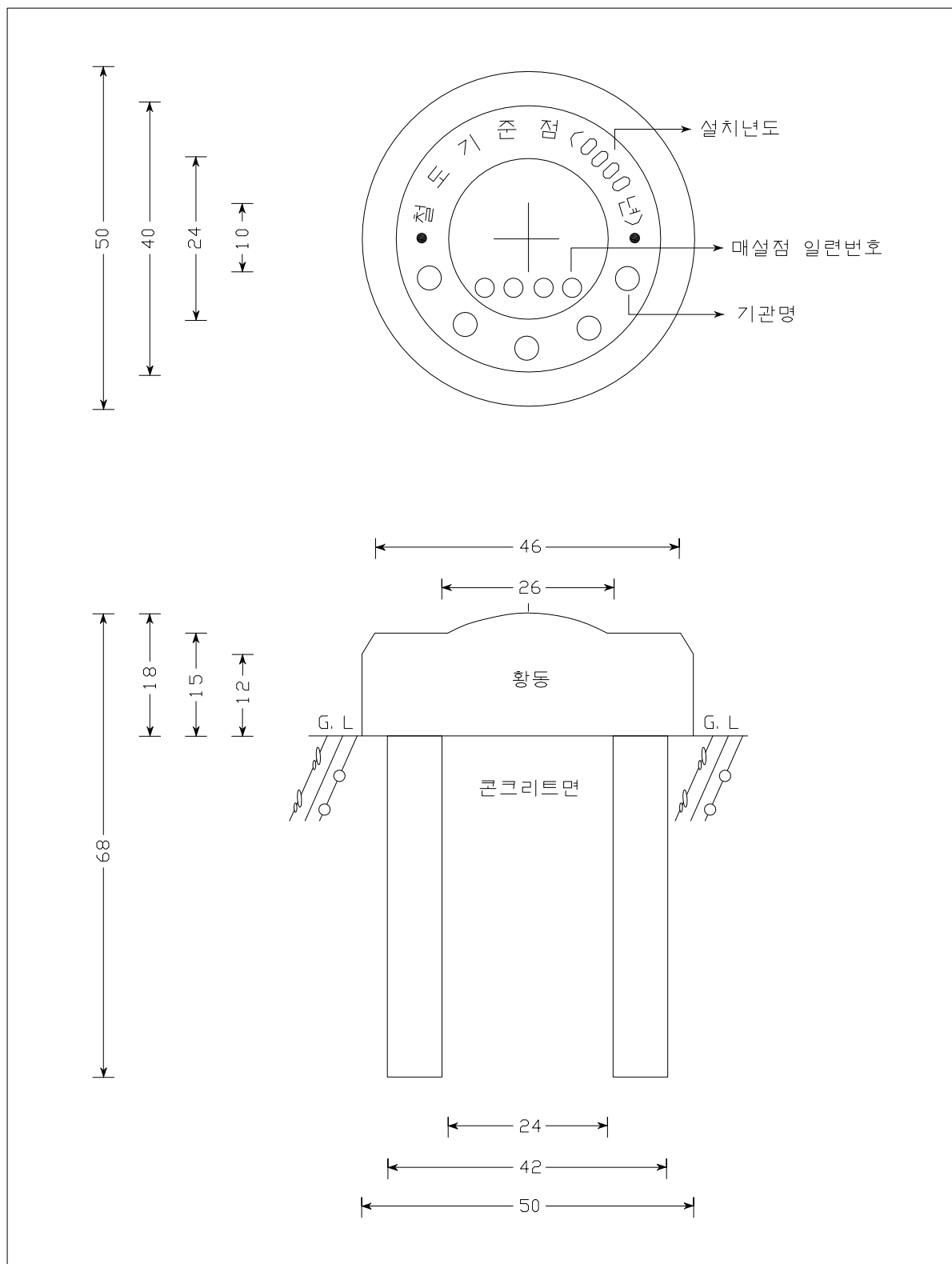


※ 1개의 표주와 반석으로 구성한다.

[별표 4]

철도기준점 표지(황동) 및 매설도

(단위 : mm)





[별지 제1호 서식 : A4 종]

GNSS정확도 관리표

(단위 : m)

Session명	기선명	기 선 성 분			기선장	해석 종류	비 고
		dx	dy	dz			
	→						
	→						
	→						
		$\sqrt{(\sum dx^2 + \sum dy^2 + \sum dz^2)} \leq PPM \times \sqrt{\text{기선장(km)}}$ $\leq \therefore \text{pass}$					
	→						
	→						
	→						
		$\sqrt{(\sum dx^2 + \sum dy^2 + \sum dz^2)} \leq PPM \times \sqrt{\text{기선장(km)}}$ $\leq \therefore \text{pass}$					

[별지 제2호 서식 : A4 종]

성 과 표

점의 종류 :

점명 및 번호	X	Y	H	비 고

[별지 제3호 서식 : A4 종}

수준측량계산부

측점	거리 (km)	고 저 차		평 균	표 고	조정량	결정표고	비고
		왕	복					

[별지 제4호 서식 : A4 종]

점 의 조 서

점 의 명칭			도엽명(1/50,000)		
점의소재지					
계획 기관			작업기관		
설치년월일			설 치 자		
관측년월일			관 측 자		
GRS80 좌표계	B		X		표석상황
	L		Y		화강암
	H				
Bessel 좌표계	B		X(N)		좌표원점
	L		Y(E)		동 부
	H				
경 로					
약 도					
사 진 대 지			부 근 상 세 도		



[별지 제5호 서식 : A4 중]

1·2등 수준측량 관측기록부

구 간 :		관측자 :																									
기계명 및 번호 :		기록자 :																									
번 호	거 리	방 향	원 쪽 눈 금												오 른 쪽 눈 금												비 고
			읽 음 값						×읽음값 보수						읽 음 값						×읽음값 보수						
			×읽음값 보수						읽 음 값						×읽음값 보수						읽 음 값						
		후시	m						m						m						m						
		전시 후시	·						·						·						·						
		전시 후시	·						·						·						·						
		전시	·						·						·						·						
		전시	·						·						·						·						
계		후시																									
		전시							점검												점검						

자 No. 지 No. () = T= ℃

[별지 제6호 서식 : A4 형]

수평각, 연직각, 거리관측 기록부

측점	기계고				관측 년월일		관측자		Page								
대회	시준점	D/R	수평각		평균	“0” 수정	대회결과	대회 평균	관측 거리(m)		관측 거리(m)						
1		D							측점	측점							
		R								1	1						
		D								2	2						
		R								3	3						
		D							평균	평균							
		R															
		D								온도 (℃)	기압 mmh g		온도 (℃)	기압 mmh g			
R																	
2		D							측점	측점							
		R								1	1						
		D								2	2						
		R								3	3						
		D							평균	평균							
		R															
		D								온도 (℃)	기압 mmh g		온도 (℃)	기압 mmh g			
R																	
연						직						각					
→		T H	정·반 평균	대회평균 연직각		→		TH	정·반 평균	대회평균 연직각		→		TH	정·반 평균	대회평균 연직각	
D							D							D			
R							R							R			
→			정·반 평균				→			정·반 평균				→			정·반 평균
D							D							D			
R				R				R									
→		T H	정·반 평균	대회평균 연직각		→		TH	정·반 평균	대회평균 연직각		→		TH	정·반 평균	대회평균 연직각	
D							D							D			
R							R							R			
→			정·반 평균				→			정·반 평균				→			정·반 평균
D							D							D			
R				R				R									



[별지 제9호 서식 : A4 형]

TP점 및 공사관리 측량정확도 관리표

공 사 명 (구간)		계 획 기관			작업 기관		
성과표 측량일자			소속			소속	
정 확도 관 리 측량일자		성과표 측량자	성명	(인)	정 확도 관 리측량자	성명	(인)

측 점	성 과 표			정 확 도 관 리 측 량			비 고
	X	Y	H	X	Y	H	

[별지 제10호 서식 : A4 형]

임시수준점(TBM) 측량정확도 관리표

공 사 (구간)		계 획 기 관			작업기관		
TP점 및 TBM 측량일자		TP점 및 TBM 측량자	소속		정 확 도 관 리 측 량 자	소속	
정확도관리 측량일자			성명	(인)		성명	(인)

측 점	성 과 표			정 확 도 관 리 측 량			비 고
	X	Y	H	X	Y	H	



[별지 제11호 서식 : A4 형)

중심선 측량정확도 관리표

공사명 (구간)		계획 기관			작업 기관		
중심선 측량일자			소속			소속	
정확도관리 측량일자		중심선 측량자	성명	(인)	정확도 관리 측량자	성명	(인)

측 점	성 과 표 (설 계 좌 표)			정 확 도 관 리 측 량			비 고
	X	Y	H	X	Y	H	

[별지 제12호 서식 : A4 중]

시설물 등의 공사관리 측량정확도 관리표

공사명 (구간)		계획기관		작업기관	
공사위치 측량일자		공사위치 결정 측량자	소속	정확도관리 측량자	소속
정확도관리 측량일자			성명 (인)		성명 (인)

측 점	성 과 표 (설 계 좌 표)			정 확 도 관 리 측 량			비 고
	X	Y	H	X	Y	H	



[별지 제13호 서식 : A4 형]

중단측량 정확도 관리표

공사명 (구간)		계 획 기 관			작업기관		
중단 측량일자		중단 성과표 측량자	소속		정확도 관리 측량자	소속	
정확도관리 측량일자			성명	(인)		성명	(인)

측 점	설 계 값	중단측량값	점검값	차 이	비 고



[별지 제15호 서식 : A4 형]

용지폭 말뚝설치 측량정확도 관리표

공사명 (구간)		계 획 기 관			작업 기 관		
용지폭 측량일자		용지폭 측량자	소속		정확도관리 측량자	소속	
정확도관 리 측량일자			성명	(인)		성명	(인)

측 점	중심선 기준 좌측거리			중심선 기준 우측거리			비 고
	계 산 값	점 검 값	차 이	계 산 값	점 검 값	차 이	

[별지 제16호 서식 : A4 형]

경계지점 측량정확도 관리표

공사명 (구간)		계획기관		작업기관	
경계지점 측량일자		경계지점 측량자	소속	정확도 관리 측량자	소속
정확도관리 측량일자			성명 (인)		성명 (인)

측 점	중심선 기준 좌측거리			중심선 기준 우측거리			비 고
	계산값	점검값	차이	계산값	점검값	차이	



RECORD HISTORY

Rev.0('12.12.5) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둬.

Rev.1('14.01.10) 철도설계기준(국토교통부고시제2013-757호, '13.12.5)이 개정 고시됨에 따라 개정내용을 반영

Rev.2('20.06.10) “철도 터널설계 선진화 용역” 성과를 반영하여 갱구부와 저토피 구간에 종방향 및 횡방향 축선을 설정하여 물리탐사 시행 및 저토피구간 시추조사 간격 축소 등

Rev.3('24.06.04) 상위기준(KDS 등)과 체계일치, 현행화 등 시행을 위한 건설기준 고도화 용역 검토사항 등을 반영한 KR CODE 체계 개편 및 개정(심사기준처-715호, '24.06.04)

KR CODE 개편사항		
당 초		개 정
KR C-03010 측량	⇒ (코드 간 통합)	KR C-03010 측량 및 지반조사
KR C-03020 지반조사		

Rev.4('25.02.11) 직전 개정 시 단순누락·오류 사항 정정(심사기준처-137, '25.01.13, 심사기준처-510, '25.02.11)