1.4
시추조사

박인식

1.4
시추조사

박인식

목 차

1.4.1 서 언 1

1.4.2 시추조사 계획 1
1. 절토부 1
2. 교량 3
3. 터널 5
4. 구조물 기초 6
5. 댐 및 저수지 8
6. 호안 및 방파제 9
7. 노반 및 석산 10

1.4.3 시추작업 12
1. 장비 및 기구 12
2. 시추공법 15

1.4.4 시추 주상도 작성 21
1. 암반주상도 작성방법 22
2. 코어 상태 기재 및 분류 기준 23
3. 토층주상도 작성 29
4. 토층의 기재 31
5. 외국 암반기재방법의 예 35

1.4
시추조사

1.4.1 서 언

시추조사는 지반상태를 파악하기 위한 조사 중에서 가장 기본적이며 구체적인 조사방법이다. 원하는 심도의 시료를 채취하여 지층을 직접 확인할 수 있고, 이 시료를 가지고 각 종 시험을 할 수 있기 때문이다. 더구나 시추공에서 시험할 수 있는 각종 정밀한 장비들이 개발되면서 시추공시험으로써 많은 지하정보를 얻을 수 있게 되었다. 이 정보들은 현장의 정보이기 때문에 실내시험에서 얻는 정보보다는 훨씬 가치가 있으므로 시추조사의 목적은 시료채취보다는 공내시험에 더 비중을 두게 되었다. 시추공 시험은 1.6에 편집되었지만 시추조사와 연계시켜 이용하는 것이 편리하다.

시추조사는 정보수집의 신뢰도는 높지만 경비와 시간이 많이 소요되므로 효율적으로 계획하여야 한다. 시추심도와 시추간격을 결정하는 기준은 지반엔지니어링의 목적과 지질, 지형에 따라 가변적이지만 어느 정도의 기준은 정할 수 있다. 시추계획에 대해서는 적용편에서 다시 설명하기로 한다. 시추작업은 보통 코아링(coring)방법을 가장 많이 사용하지만 시간과 경비를 줄일 수 있는 타격식 시추방법도 조사에 많이 활용할 필요가 있다.

시추조사 결과를 기재하면서 암반, 토층의 각종 분류를 활용하는데 이들 중 상당부분은 분류라기보다는 암반, 토층의 특징을 설명하는 기재학상의 구분으로 보아야 한다. 암석코아의 기재사항 중 가장 중요한 것은 R.Q.D와 풍화도이다.

1.4.2 시추조사 계획

시추조사는 지반상태를 규명하기 위해 실시하는 조사 중 가장 직접적인 조사방법이다. 그러나 시추조사 계획을 수립하는 기준이 뚜렷하게 정립되어 있지 않아 조사계획을 수립할 때마다 혼선을 겪는 경우가 많다. 조사대상이 변화의 폭이 큰 자연이므로 모든 조사에서 통용될 수 있는 일정한 조사기준을 제시한다는 것은 현실적으로 쉬운 일이 아니다. 국내외에서 통용되는 조사기준을 검토하여 지반엔지니어링 목적별로 적절한 시추간격과 시추심도에 대한 제안을 하기로 한다.

1. 절토부

가. 기존 기준

도로공사, 토지공사, 건설기술연구원이 기준으로 삼고 있는 내용을 표 1.4-1로 정리한다.

표 1.4-1 절토부 시추조사 기준

구 분	시 추 간 격	시 추 심 도
한국도로공사	• 개소당 1공 • 양쪽절취 2공 • 한쪽절취 2공 • 등사면노출 2공	• 양쪽절취, 한쪽절취, 등사면 노출의 경우 1공은 계획고하 1m 확인, 1공은 경암 1m 확인
한국토지공사	• 개략조사 200~300m • 상세조사 50~100m	• 경암 1m 확인
한국 건설기술연구원	• 100~200m • 필요시 횡방향 조사	• 계획고 하 1m 확인
BS British Standard		• 사면안정성을 평가할 수 있는 심도까지 조사

* '경암'보다는 '신선암석이 더 정확한 표현임.

나. 검토 결과

절토부 조사는 일반적으로 절토고가 20m 이상인 대절토 사면에만 한정하여 실시해왔으나 사면안정은 절토고보다는 암반에 발달한 불연속면의 상태에 더 크게 영향을 받으므로 대절토사면에 국한하여 시추조사를 실시하는 것은 적절하지 않다.

한국토지공사에서는 200~300m 간격으로 시추공을 배치하도록 규정하고 있으며, 한국도로공사에서는 개소당 1공을 규정하고 있고 연장에 따라 공수를 할증하도록 규정하고 있다.

암반 사면의 경우, 사면 안정성은 불연속면을 충분히 확인할 수 있는 심도까지 조사하는 것이 타당하다.

절토 계획고 하 1m까지 확인하면 사면으로 노출(daylight)되는 모든 불연속면을 확인할 수 있으므로 사면 안정성을 평가하는데 필요한 불연속면에 대한 자료를 얻을 수 있다. 이런 측면에서 경암 1m 확인으로 일률적인 사면 기울기를 결정하는 것은 경암의 심도가 얕은 경우 계획고까지의 지반정보는 확인되지 않으므로 매우 위험한 일이 아닐 수 없다.

다. 조사기준 제시안

절토고에 상관없이 다음과 같은 경우 시추조사를 실시한다.

- 충적층 및 붕적층 지반인 경우
- 붕괴 이력이 있고 지반이 불안정한 경우
- 지하수위가 높고 용출수가 많은 경우
- 붕괴 시 주변 구조물에 영향을 미칠 것으로 예상되는 경우

한국토지공사에서 제시한 바와 같이 개략조사 단계에서는 절토부 연장 200~300m 간격, 상세조

사 단계에서는 50~100m 간격으로 시추조사를 실시한다. 다만 지표지질조사나 기타 탐사 결과에 따라 이를 조정할 수 있다.

횡 방향 지층상태 확인이 필요할 경우 횡 방향 조사를 할 수 있도록 규정하고 있으나, 양쪽 사면을 동시에 절취할 경우 이를 두 개 사면으로 분리하여 평가하여야 하므로 횡 방향에 대한 조사는 별도로 규정하지 않고 단순히 절토부 연장에 따라 결정한다.

전술한 바와 같이 조사 심도를 경암 1m 확인하는 것으로 제한할 경우 사면안정성을 제대로 평가할 수 없는 문제가 발생한다. 따라서 사면안정에 영향을 미치는 모든 불연속면을 파악하기 위하여 계획고 하 1m까지 조사한다. 이 기준은 사면안정성을 평가할 수 있는 심도까지로 기준을 제시하고 있는 BS(British Standard)와도 일치한다.

시추계획에 대하 추가설명은 2.2 사면에서 보충한다.

2. 교량

가. 기존 기준

도로공사, 토목학회 등에서 이용하고 있는 기준을 표 1.4-2로 나타낸다.

나. 검토 결과

전체적으로 매 교각 및 교대에서 조사를 실시하는 것으로 규정하고 있다.

한국수자원공사 및 일본 지반조사위원회에서는 토층 상태에 따라 10~30m 간격으로 조사하는 것을 기준으로 하고 있으나, 대체로 교각 및 교대 위치가 결정된 이후 조사를 실시하기 때문에 매 교각 및 교대에서 조사를 실시하는 것을 기준으로 하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

교량 폭이 크거나 특수교량인 경우 횡단방향으로 조사를 실시할 수 있는 것으로 규정하고 있으나, 현실적으로 지층이 특별히 불규칙할 것으로 예상되는 경우가 아니면 매 교각 및 교대에서 1공씩 조사하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

심도에 대한 기준은 대한토목학회 도로교 설계기준 해설에 가장 잘 나타나있으며, 이에 대한 구체적인 기준으로 한국도로공사에서 '경암 1m, 연암 3m, 풍화암 7m 중에서 택일'하는 것으로 제시하고 있다.

교각이나 교대가 평지나 계곡부에 위치할 경우에는 위의 기준이 적절하지만 사면에 위치할 경우에는 이와 별도로 사면안정을 고려할 수 있는 깊이까지 조사하는 것이 바람직하다.

다. 조사기준 제시안

각 교각 및 교대에서 1공씩 조사한다. 상하행선이 분리된 경우에는 별도 교량으로 취급하여 기준을 적용한다.

지층상태가 불규칙할 것으로 예상되는 경우에는 횡단방향으로 조사한다.

기초의 지지력, 활동, 침하 등에 영향을 주는 범위를 모두 포함할 수 있도록 조사한다.

지지층 밑에 압밀침하가 발생하는 지층이 없다고 예상되는 경우에는 양질의 지지층이 기초 저면

표 1.4-2 교량의 시추조사 기준

구 분	시 추 간 격	시 추 심 도
건설교통부	• 구조물당 1공 이상	
한국도로공사	• 각 교각, 교대에 1공 이상 • 상하행선 분리시 모든 교각, 교대에서 실시	• 경암 1m, 연암 3m, 풍화암 7m 중에서 택일 • 필요한 경우 증감
대한토목학회	• 각 교각, 교대에서 실시 • 지층변화가 복잡하거나 단순한 경우 조사물량 증감 • 교량 폭이 큰 경우 횡단방향으로 실시	• 기초 지지력, 활동, 침하에 영향을 주는 범위 포함 • 양질의 지지층이 기초 최소폭의 2-4배까지 연속하여 존재하는 것을 확인 • 암반을 지지층으로 할 경우 신선한 암반층 2m • 석회암지역에서는 유로가 의심되는 층을 관통 • 전석층에서는 경암 2m
한국수자원공사	• 토층 보통 30m • 토층 불규칙 10m	• 기초폭 최소 변장 3배, 또는 6m 이상 • 연약층에서는 지지층을 지나 5m
한국토지공사	• 각 교각, 교대에서 실시	• 연암 1m
한국 건설기술연구원	• 각 교각, 교대에서 실시 • 지층변화가 복잡하거나 단순한 경우 조사물량 증감 • 교량 폭이 크거나 특수교량의 경우 횡단방향으로 실시	• 기초 지지력, 침하, 활동에 영향을 미치는 심도 • 일반적으로 지지 기반암층 2m
일본 지반조사위원회	• 토층 보통 30m • 토층 불규칙 10m	• 기초폭 최소 변장 3배, 또는 6m 이상 • 연약층에서는 지지층을 지나 5m까지

으로부터 기초 최소 폭의 2~4배 깊이까지 연속해서 존재하는지 확인한다.

암반을 지지층으로 하는 경우는 신선암반까지 조사한다.

암반 정보가 알려져 있을지라도 시추공 중 일부는 풍화되지 않은 신선한 암반 2m를 확인한다.

암반 위치와 특성이 알려져 있지 않을 경우 호박돌 분포지 또는 불규칙한 풍화대가 예상되는 경우에는 신선암반까지 시추하는 공수를 증가시킨다.

공동(cavity)이 있을 수 있는 석회암지역에서는 유로가 있다고 의심되는 층을 관통하는 깊이까지 조사한다.

교량은 단층선과 직교하여 계획되는 경우가 종종 있으므로 지반정보가 잘 알려지지 않은 지역에서는 최소한 1공은 충분한 깊이까지 조사하여 예상치 못한 연약대나 파쇄대 등이 존재하지 않음을 확인한다.

3. 터널

가. 기존 기준

건교부, 지하철건설본부에서 기준으로 삼고 있는 내용들을 표 1.4-3으로 나타낸다.

표 1.4-3 터널의 시추조사 기준

구 분	시 추 간 격	시 추 심 도
건설교통부	• 노선방향으로 50~200m • 지층이 불규칙하거나 주변 여건이 불리할 경우 간격 축소 조정 • 산악터널로 심도가 상당히 증가할 경우 각 갱구부에 2공씩 실시	
지하철건설본부	• 노선방향으로 200m • 지질구조적으로 취약한 경우 간격 축소 조정	• 계획고 하 터널 직경까지 • 개착터널의 경우 계획심도의 120%까지 조사하되, 계획심도 이내에서 견고한 지반이 나타날 경우 3m 확인 후 종료
한국도로공사	• 개소당 3공 이상 • 300m 당 1공 이상 • 터널 상하 입출구부에 각 1공 실시	• 계획고 하 2m
한국토지공사	• 개소당 최소 3공	• 계획고까지
한국 건설기술연구원	• 입출구부에 각 2공 • 100~300m 당 1공 • 지질구조대가 발생할 경우 간격 축소 조정	• 계획고 하 2m • 연약층, 팽창성지반, 광산지역에서는 터널 직경 1~2D 범위
BS British Standard		• 터널 종단이 변경될 수 있고, 지반상태에 따라 터널의 영향범위가 터널 하부 상당한 심도까지 미칠 수 있으므로 예상 종단에서 충분한 하부까지

나. 검토 결과

터널은 성격상 크게 산악터널과 지하철로 대표되는 도심지 터널로 구분할 수 있다.

도심지 터널의 대표적인 사례인 지하철은 기본설계 과정에서는 노선을 따라 200m 간격으로, 실시설계 과정에서는 100m 간격으로 조사하는 것을 원칙으로 하고 있으며, 지질 조건이 불규칙할

경우 간격을 더 좁혀 조사하기도 한다.

산악터널은 토피(overburden)가 크고 접근이 어려워 도심지 터널처럼 노선을 따라 일정 간격으로 조사하기 어려우므로 대체로 터널 입출구부에 각 2공씩 조사하며, 상하행선이 분리되어 있을 경우는 별도 터널로 취급하는 것을 기준으로 하고 있다.

최근 턴키 설계 및 대안 설계 방식이 도입되면서 산악터널 역시 일정 간격으로 조사를 실시하는 경우가 늘어나고 있다. 그러나 지형이 험하여 접근이 어렵고 운반로 개설에 필요한 산림훼손 허가, 또는 민원 등으로 인하여 조사 범위가 제한될 수밖에 없다.

일반 터널의 경우 계획고 하 2m 확인을 기준으로 하고 있으며, 터널 하부에 연약지반이나 팽창성 지반, 또는 광산이 분포할 경우 터널 직경의 2배정도 하부까지 조사하는 것을 기준으로 하고 있다. 개착 터널의 경우 계획 심도의 120%까지 조사하거나, 계획심도 이내에서 견고한 지반이 나타날 경우 3m 확인 후 종료하는 것을 기준으로 하고 있다.

터널 조사는 대체로 종단이 결정된 상태에서 이루어지기는 하지만 종단 변경 가능성은 언제나 남아 있다. 또한 터널 안정성 해석을 실시할 때 대체로 해석영역을 계획고 하 터널직경 심도만큼 추가하여 설정한다. 이런 점을 고려할 때 계획고 하 2m 확인은 부족한 느낌이 있다. 따라서 조사심도는 계획고 하 터널직경의 1/2 심도까지 조사하는 것이 바람직하다.

터널 입출구부에서 이 심도까지 조사한다 하더라도 신선암반에 도달하지 못할 수 있다. 이 경우 터널 구간의 대부분을 차지하고 있는 신선한 기반암에 대한 자료를 얻지 못하게 된다. 따라서 이런 경우에는 최소한 신선암반의 물리적, 역학적 특성을 파악할 수 있는 심도까지 조사하는 것이 바람직하다.

다. 조사기준 제시안

지하철과 같은 도심지 터널은 기본설계 과정에서는 노선을 따라 200m 간격으로, 실시설계 과정에서는 100m 간격으로 조사한다.

산악터널은 토피(overburden)가 두껍고 접근이 어려워 도심지 터널처럼 노선을 따라 일정 간격으로 조사하기 어려우므로 터널 입출구부에 각 2공씩 조사하며, 상하행선이 분리되어 있을 경우는 별도 터널로 취급한다.

터널 조사는 대체로 종단이 결정된 상태에서 이루어지기는 하지만 종단 변경 가능성은 언제나 남아 있다. 또한 터널 안정성 해석을 실시할 때 대체로 해석영역을 계획고 하 1D 정도까지 설정한다. 이런 점을 고려하여 일반 터널은 계획고 하 1D 까지 조사한다.

개착 터널은 계획 심도의 120%까지 조사하거나, 계획심도 이내에서 견고한 지반이 나타날 경우 3m 확인 후 종료한다.

터널 입출구부에서 계획고 하 1D 까지 조사하여도 신선한 기반암에 도달하지 못할 경우에는 최소한 신선한 기반암의 물리적, 역학적 특성을 규명할 수 있는 심도까지 조사한다.

지반조사외의 인문사회와 자연환경조사 사항은 2.1 터널에서 설명한다.

4. 구조물 기초

가. 기존 기준

구조물기초 조사에 시추계획에 대한 자료로는 수자원공사 등의 기준이 있으며 이를 표 1.4-4로 나타낸다.

표 1.4-4 구조물 기초의 시추조사 기준

구 분	시 추 간 격	시 추 심 도
한국도로공사		• 경암 1m
한국수자원공사, 미국해군공병단 (NAVFAC)	• 대규모 구조물 15m • 면적이 크고 하중이 작은 구조물은 네 모서리에 한 공씩 • 면적 225~900m2 독립강성기초는 주변을 따라 최소 3공 • 면적 225m2 이하 독립강성기초는 반대쪽 모서리에 최소 2공	• 연직응력이 접촉응력의 10% 보다 적게 분포하는 깊이까지 • 기초 최하부에서 최소한 9m를 조사하되 그 이전에 암반이 나타나면 종료
한국수자원공사, 일본 지반조사위원회	• 토층 균일 50m • 토층 보통 30m • 토층 불규칙 15m	• 보통토층에서는 기초 폭 최소변장의 3배 (6m 이상) • 연약토층에서는 지지층을 지나 5m까지
한국토지공사	• 건축물 15~60m • 기타 구조물 30~60m	• 기초 하 1m, 또는 지지층
한국 건설기술연구원	• 2개소 이상 • 각 방향으로 15~30m • 가장 적절한 방향을 따라서 지층단면도를 작성할 수 있도록	• 지지층 및 터파기 심도 하부 5m • 기반암이 출현하지 않는 경우 일부 시추공에서 기반암 2m
일본건축학회	• 지반추정 가능 : 구조물당 1공 이상, 건축면적 300~500m2마다 1공 • 지반추정 불가능 : 구조물당 2공 이상, 건축면적 100~300m2 마다 1공	• 건축물 기초를 확인하기 위해 최소한 1공 이상 N>50 지층 확인
BS British Standard	• 10~30m • 면적이 작은 구조물은 개소당 3공 • 구조물이 인접해 있을 경우 구조물당 1공	• 하중이 작용하는 구조물 폭의 최소한 1.5배 깊이까지 • 신설구조물이 지반이나 지하수에 영향을 미치거나, 지반이나 지하수가 신설구조물에 영향을 미치는 깊이까지 • 신설구조물로 침하가 일어날 수 있는 압축성 토층은 응력이 더 이상 증가하지 않는 깊이까지

나. 검토 결과

지층상태의 예측 가능성과 건물 특성 및 규격에 따라 기준이 다를 수 있으나 대체로 시추간격은 15~30m 정도가 적절한 것으로 판단된다.

기초지반은 구조물로 인한 응력이 더 이상 증가하지 않는 깊이까지 조사하는 것이 이상적이나 일반적으로는 경제성을 고려하여 연직응력이 접지응력의 10% 정도 분포하는 깊이까지 조사하고 있고, 이 깊이 이내에서 기반암이 확인될 경우 조사를 종료하는 것이 일반적인 통례이다.

암반이 나타날 경우 지질상태를 충분히 파악하고 있지 않는 한 기반암인지 호박돌인지 판단할 수 있도록 최소한 3m 이상은 확인하는 것이 바람직하다.

대체로 구조물 계획이 수립된 상태에서 지반조사를 실시하지만, 설계 목적 상 또는 지반상태가 예상과 달라지므로 인하여 구조물 배치계획을 변경하는 경우가 많다. 따라서 배치계획의 변경이 이루어지지 않을 것이 확실하지 않는 이상 배치계획 변경을 대비하여 구조물 배치 대상지역의 전체 지층상태를 파악할 수 있도록 여유 있는 조사계획을 수립하는 것이 2중의 조사를 피하는 방법이다.

다. 조사기준 제시안

구조물 내에서 15~30m 간격으로 조사하되, 구조물 당 최소한 1공은 조사한다.

지지층 및 터파기 계획고 하 5m 이상 확인하는 것을 기준으로 하나, 일부 조사공에서 기반암 분포를 확인한다.

5. 댐 및 저수지

가. 기존 기준

수자원공사에서 이용하는 기준 등 표 1.4-5로 정리한다.

표 1.4-5 댐 및 저수지의 시추조사 기준

구 분	시 추 간 격	시 추 심 도
한국수자원공사, 미국해군공병단 (NAVFAC)	• 예비조사 60m • 추가시 30m로 조정 • 교대, 여수로, 방수로 등의 중요 구조물	• 흙 댐, 균질한 지반 저폭의 0.5배 • 콘크리트 댐, 높이의 1~1.5배 • 단단한 지층, 또는 불투수층까지
한국수자원공사 지반조사위원회	• 흙 댐, 토층 보통 100m 이내	• 개략조사시 댐 높이와 같은 깊이
BS		• 전단파괴 및 침하 예상 깊이 • 파이핑 및 누수 예상 깊이
한국 건설기술연구원	• 30~50m • 교대, 여수로, 배수공 등의 중요 구조물	• 흙 댐, 균질한 지반 저폭의 0.5배 • 콘크리트 댐, 높이의 1~1.5배 • 단단한 지층, 또는 불투수층까지

나. 검토 결과

• 댐은 건설재료 및 구조에 따라 중력식 콘크리트 댐, 아치식 콘크리트 댐, 흙 댐으로 구분한다. 콘크리트 댐은 주로 신선, 균질하고 견고한 암반에 건설하며, 흙 댐은 콘크리트 댐에 비하여 댐 하중을 보다 넓은 지역에 전달하므로 기초지반 강도가 비교적 작아도 댐 기초로서 지지력을 충분히 기대할 수 있다.

• 흙 댐의 사면 기울기가 대체로 1:2 정도, CFRD(Concrete Faced Rock-fill Dam)는 1:1.4 정도인 점을 감안할 때 댐 저폭의 0.5배는 댐 높이의 1.4~2배에 해당한다.

다. 조사기준 제시안

• 댐축 지점의 경우 20~30m 간격으로 조사한다.

• 교대, 여수로, 배수공 등의 중요 구조물은 별도 조사한다.

• 흙 댐에서는 지반 저폭의 0.5배 깊이까지, 콘크리트 댐에서는 높이의 1~1.5배 깊이까지 조사한다.

• 전단파괴, 침하, 파이핑, 누수가 예상되는 깊이까지 조사한다.

• 조사계획에 대한 전반적인 내용은 2.3 댐에서 설명한다.

6. 호안 및 방파제

가. 기존 기준

건설기술연구원이 제안한 시추간격과 심도를 표 1.4-6으로 정리한다.

표 1.4-6 호안 및 방파제의 시추조사 기준

구 분	시 추 간 격	시 추 심 도
한국수자원공사 미국해군공병단 (NAVFAC)	• 60m • 중간에 조사를 추가할 때는 15m • 벽 전면 세굴을 받는 부분이나 배면 주동토압 작용부분에 대해 조사 추가	• 준설 깊이 아래까지, 또는 높이의 0.75~1.5배 깊이까지
한국 건설기술연구원	• 계획선을 따라 100~200m • 연약지반은 별도 기준 적용	• 기반암 확인

나. 검토 결과

• 호안이나 방파제와 같은 항만구조물을 건설하는 지역은 육상에 비해 지층구조가 단순하기는 하나 충적점토나 사질토가 두껍게 퇴적되어 있다. 점토가 두껍게 퇴적되어 있을 경우 침하로 인한 문제가 구조물 사면안정에 직접적인 영향을 미치기 때문에 침하량을 충분히 예측할 수 있는 깊이까지 조사하는 것이 바람직하다. 따라서 신선암반 확인 깊이까지 조사하는 것이 적절할 것으로 판

단된다.

• 연약지반이 분포할 경우 별도 기준에 따른다.

다. 조사기준 제시안

• 계획선을 따라 100~200m 간격으로 조사한다. 연약지반의 경우 구조물의 2배 이상의 지역에 대하여 조사한다.

• 기반암 분포를 확인한다.

7. 노반 및 석산

가. 기존 기준

도로 및 철도, 비행장 노반에 대하여 통용되는 시추기준은 분명치 않다. 건설기술연구원이 제시한 것 등을 표 1.4-7로 나타낸다.

나. 조사기준

• 도로, 철도, 활주로 등의 노반에 대한 조사는 절토부와 성토부에 따라 다르며 특히 연약지반의 분포와 침하특성 파악이 중요하므로 이를 고려한다.

• 석산 및 토취장 조사의 목적은 재료의 적합성과 매장량 파악에 있다. 석산의 경우 불연속면 조사와 용출수에 대한 조사가 중요하다.

다. 조사기준 제시안

• 노반의 절토부 조사계획은 사면조사에 해당되며 성토부의 경우는 100~200m 간격으로 견고한 지지층 3m 이상으로 하되 연약지반인 경우 지층두께와 분포에 따라 조사수량과 심도를 정한다.

• 석산 및 토취장 조사는 수자원공사 기준을 추천한다.

표 1.4-7 노반, 석산의 시추조사 기준

형 태	구 분	시 추 간 격	시 추 심 도
연약지반	한국 건설기술연구원	• 개략조사 300~500m • 상세조사 100~200m	• 견고한 지지층 3m 이상 • 풍화암까지
도로 및 철도	한국수자원공사		• 흙 깎기, 낮은 흙 쌓기는 포장표면이나 원 지반면에서 1.8m까지
	한국 건설기술연구원	• 절토부 개소당 1공 이상 • 100~200m	• 계획고 하 2m
	일본 지반조사위원회	• 토층 균일 500m • 토층 보통 200m • 토층 불규칙 50m	• 절토부 포장노상에서 2m • 성토부 지반면에서 성토 높이만큼
	BS		• 지반강도, 동해에 대한 민감성, 배수조건을 확인할 수 있는 심도까지
비행장	한국수자원공사		• 흙 깎기, 낮은 흙 쌓기는 포장표면이나 원 지반면에서 3m까지
	BS		• 지반강도, 동해에 대한 민감성, 배수조건을 확인할 수 있는 심도까지
석산 및 토취장	한국도로공사	• 개소당 2공 이상	
	한국수자원공사	• 토층 균일 150~300m • 토층 보통 50~150m • 토층 불규칙 15~50m	• 10m

1.4.3 시추작업

지하암반을 천공하여 지층분포와 각 지층의 물리적 성질을 직접 확인하기 위하여 시추작업을 실시하는데 이에 대하여는 ASTM D 2113-83 등에 상세하게 규정되어 있다.

1. 장비 및 기구

가. 시추기

• 조사 심도와 목적을 고려하여 선정하며, 유압회전식 사용을 원칙으로 한다.

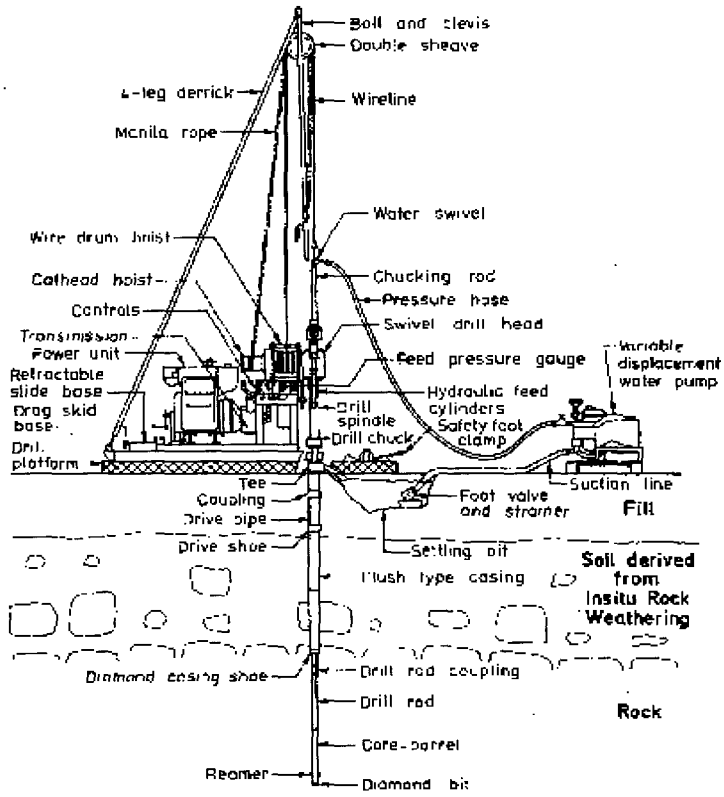

그림 1.4-1 유압식 시추기

나. 펌프

• 시추작업에 필요한 충분한 순환수를 공급할 수 있는 용량이어야 한다.

• 장비 크기와 종류, 청수와 이수의 비중 및 점도, 시추 심도, 공경 등을 고려하여 펌프 용량, 유속, 수량 및 수압을 충분히 유지할 수 있어야 한다.

다. 비트(bit)

- 지층상태를 고려해 메탈크라운 비트나 다이아몬드 비트 중 적절한 것을 선택하여 사용한다.
- 기반암이 시작되면 반드시 다이아몬드 비트를 사용하여 천공한다.
- 다이아몬드 코어 비트 규격(inch)(표 1.4-8)

표 1.4-8 다이아몬드 코어 비트 규격

규 격	외 경		내 경	
	inch	mm	inch	mm
EWG	1.47	37.3	0.845	21.4
AWG	1.88	47.6	1.185	30.0
BWG	2.35	59.5	1.655	42.0
NWG	2.97	75.3	2.155	54.7
HWG	3.89	98.8	3.000	76.2

라. 코어 배럴(core barrel)

- 암석 코어 회수율을 최대로 높이기 위하여 지층에 따라 코어배럴을 선정하는데 통상 더블 코어 배럴을 사용한다.
- 암반이 심하게 파쇄되어 더블코어바렐로 코아를 원상태로 회수하고 유지하기 어려울 경우 D-3 코어 배럴이나 트리플 코어 배럴을 사용한다.
- 심하게 파쇄된 암반에서는 코어가 코어 배럴 안에 머무는 시간을 단축하여 코어가 교란되는 것을 최소화하여야 한다. 이를 위해 길이가 1.5m 이내인 것을 사용한다.
- 코어 배럴 상부에 roller bearing swivel을 부착하여 outer tube가 회전하는 동안 inner tube는 정지상태로 코어가 교란되는 것을 방지할 수 있어야 한다.
- 연약하거나 부서지기 쉬운 지층에서 코어를 보호할 수 있도록 inner tube에 코어 리프터를 부착한다.

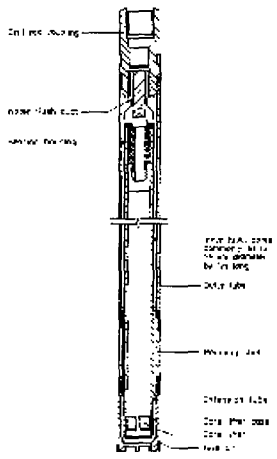

그림 1.4-2 더블 코어 배럴

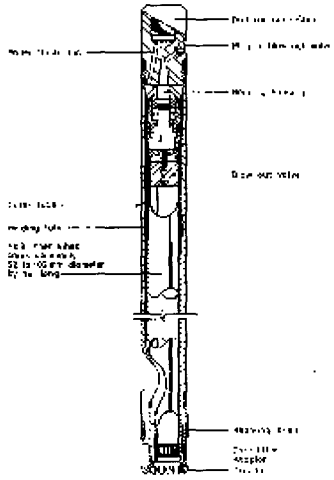

그림 1.4-3 트리플 코어 배럴

• 코어는 지상으로 인양한 후 교란되기 전에 관찰하고 이를 원상태로 보관한다.
• D-3 코어 배럴을 사용하여 코어를 회수하여 코어 상자에 옮길 때에는 코어가 교란되지 않도록 유의한다.

마. 로드(rod)

• 시추과정에서 발생하는 굴진 슬라임(slime)이 굴진 용수를 따라 공 밖으로 흘러나오는데 영향을 미치지 않아야 한다.
• 연결부(coupling)를 빼어 로드 두께가 1.5mm 이상 마모되었거나, 나사부분이 마모되었거나, 구부러진 로드는 사용하지 않는다.
• 두께가 얇아지면 로드가 파열되기 쉬우므로 1.5mm 이상 마모되지 않았더라도 마모 상태가 불량한 것은 사용하지 않는다.
• 로드의 내경이 줄어든 것은 제외한다.
• 로드를 지상에 던지거나 손상시키는 일이 없도록 하고, 지상에 놓을 때에는 받침목 위에 놓는다.
• 나사 부분이 상하지 않도록 로드를 세울 때에는 커플링 쪽을 아래로 향하도록 하고 두께 2~3cm 판자 위에 놓는다.
• 나사 부분은 항상 깨끗하게 보존한다.
• 로드 규격(표 1.4-9)

바. 케이싱 비트(casing bit)

• 토층이나 파쇄암반, 또는 공동 구간 등에서 시출할 때 공벽이 붕괴되지 않도록 케이싱을 설치하기 위하여 케이싱 비트를 사용하여 굴진한다.

표 1.4-9 로드 규격

규 격	외 경		내 경		연 결 부		
	inch	mm	inch	mm	inch	mm	나사수/in
EW	1.38	34.9	1.00	25.4	0.44	11.1	3
AW	1.72	43.6	1.34	34.1	0.63	15.8	3
BW	2.13	53.9	1.75	44.4	0.75	19.0	3
NW	2.63	66.6	2.25	57.1	1.38	34.9	3
HW	3.50	88.9	3.06	77.7	2.38	60.3	3

사. 케이싱(casing)

- 코어배럴 외경보다 한 단계 더 큰 구경의 케이싱을 설치한다.
- 시추공벽 보호, 지하수유입 차단, 로드와 공벽 사이 마찰저항 감소 등의 목적으로 설치한다.
- 시추 종료 후 케이싱 회수가 용이하고 목적 심도까지 굴착이 용이하도록 재질이나 나사 정밀도 등을 결정한다.
- 케이싱 규격(표1.4-10)

표 1.4-10 케이싱 규격

규 격	외 경		내 경		나사수/inch
	inch	mm	inch	mm	
EW	1.81	46.0	1.50	38.1	4
AW	2.25	57.1	1.91	48.4	4
BW	2.88	73.0	2.30	60.3	4
NW	3.50	88.9	3.00	76.2	4
HW	4.50	114.3	4.00	101.6	4

아. 코어 상자

- 목재 또는 기타 내구성 자재로 제작하며 현장(용역)명, 시추년도, 시추공 번호 등을 기재한 후 시료를 보관한다.
- 뚜껑을 달아 코어 훼손 및 망실을 방지하도록 하며 여닫을 수 있도록 한다.
- 코어 상자 보관 기간은 사업특성에 맞게 결정할 일이나 최소한 건설이 종료되기 전까지 보관하는 것을 원칙으로 한다.

2. 시추공법

가. 굴진

- 토양시료 채취방법으로 시료채취가 불가능할 경우 coring 방법을 사용한다.
- ASTM D 2113-83에서는 표준관입시험 과정에서 50회 타격에 관입 깊이가 1 인치(25.4mm) 이

내일 경우 coring을 시작하도록 규정하고 있다.

• 최대 굴진장은 코어 배럴에 의해 결정되기 때문에 D-3 코어 배럴 등 특수배럴 이상을 사용하는 현장에서는 어떤 경우에도 굴진장은 1.5m 이상을 넘기지 않는다.

• 파쇄대 또는 단열대에 도달하였을 경우 코어 회수율을 높일 수 있도록 노력한다. 회수율을 높이기 위하여 시추기술자가 독자적으로 벤토나이트, 점토, 화공약품 등의 첨가 여부를 결정할 수 있다. 단, 공내시험 공으로 사전에 선정한 공은 코어 회수율을 높이거나 공벽을 유지시키기 위해 사용하는 제반 공법을 사전에 준비한다.

• 굴진 도중 암편이 토출될 경우에는 즉시 코어 배럴을 인양한다.

• 코어를 코어 상자에 넣을 때 상단부터 채워서 내려오며, 코어를 상자에 넣은 후 굴진구간 코어 말미에 굴진 심도를 기록한 말목을 끼워 넣는다.

• 코어 상자에 넣기가 곤란한 코어나 마른 상태가 되면 변질될 수 있는 코어는 비닐로 감싼다.

• 암석의 구조, 박층, 균열, 공동, 파쇄대 등은 매우 중요한 자료이므로 주의 깊게 관찰하여 이러한 지층상태들을 기재한다.

• 파쇄대나 공동으로 굴진이 곤란한 경우에는, 공벽을 시멘트로 경화하거나, 확공 후 케이싱을 삽입하거나, 케이싱 삽입 후 한 단계 작은 코어 배럴을 사용하여 굴진한다. 순환수가 누수되는 균열을 만날 경우도 같은 방법을 취하며, 조사 성격상 순환수의 누수를 알아야 하거나 지하수의 유동이 중요한 경우 케이싱 삽입 후 한 단계 작은 코어 배럴을 사용하여 굴진한다. 이러한 방법은 연암, 박층 등에서도 사용한다.

나. 보호공 설치

• 시추작업이 끝난 시추공 중 지속적인 관찰이 필요한 시추공은 최대한 깨끗한 상태를 유지한다. 최근 들어 시추로 인한 지하수 오염을 방지하기 위하여 시추공 폐쇄의 중요성이 강화되고 있으므로 특별히 이에 유의한다.

• 굴진 완료된 시추공 중 보호공을 설치하지 않는 공은 시추공을 시멘트 등으로 폐쇄한다.

• 각 시추지점별로 현장 전경을 촬영한 천연색 사진과 각 시추공 보호 및 공 폐쇄 사진을 촬영한다.

다. 지하수위 측정

• 시추작업이 진행중인 시추공에서는 매일 작업시작 전에 공내 지하수위를 측정하여 측정시간과 함께 기록한다.

• 시추작업을 완료한 시추공에서는 안정 지하수위가 측정될 때까지 매일 일정시각에 수위측정기를 사용하여 cm 단위로 공내 수위를 측정하여 기록한다.

라. 성과 정리

• 시추작업과 병행하여 작업 상태를 자세히 기록한 야장과 주상도를 작성한다.

• 시추작업 중 표준관입시험으로 채취한 시료는 사업명, 시추공번, 채취심도, 채취일자, 관입저항치를 기재한 라벨을 부착한 시료병에 넣어 코어 상자에 보관한다.

• 모든 코어는 회수 즉시 가능한 원 상태로 코어 상자에 옮겨 담는다. 이 때 코어가 움직이지 않도록 상자의 빈 공간을 나무토막 등으로 채운다.
• 코어 상자 겉면과 옆면에 사업명, 시추공번, 굴진 심도 및 코어 상자 일련번호를 기재하며 뚜껑 안쪽에는 사업명, 시추공번, 코어 상자 일련번호, 굴진차수, 굴진 구간, 회수율, RQD 등을 지워지지 않도록 유성 펜으로 기재한다.
• 코어는 젖은 상태로 촬영한다.
• 코어 상자는 수직한 방향에서 상자 뚜껑 안쪽에 기재한 사항과 코어를 동시에 촬영하되 사진으로 코어 상태를 확인할 수 있도록 사진 전체에 가득 차게 촬영한다.
• 코어 상자에 축척 표시를 위해 10cm 단위로 표시한 자를 넣어 함께 촬영한다.
• 시료를 코어 상자에 옮길 때에는 원형이 최대한 보존될 수 있도록 가능한 모든 방법을 동원한다.
• 코어 상자는 가능한 충격을 받지 않고 온도의 차이가 심하지 않으며 비바람을 피할 수 있는 곳에 보관한다.

마. 곡공

굴진과정에 시추공이 휘어지는 현상이 일어나는데, 이는 기계적인 조건과 지질조건이 복합되어 일어나므로 어느 정도 제어할 수는 있지만 이를 완벽하게 방지할 수는 없다.

1) 기계적인 조건에 의한 곡공
• 시추기의 회전, 피드 방식이 부적절한 경우
• 공경에 비하여 직경이 현저하게 작은 로드나, 짧은 코어 배럴을 사용한 경우
• 굽거나 마모된 로드, 두께가 얇은 로드를 사용한 경우
• 비트 선택, 하중과 회전수 조합, 급수량 등이 부적절한 경우
• 굴진 과정에서 진동이 발생한 경우

2) 지질조건에 의한 곡공
• 층리, 편리, 절리가 발달한 지층
• 암석강도 차이가 현저한 호층
• 붕괴층, 파쇄대, 동굴

3) 곡공 방지대책
• 비트 회전수, 하중을 적정하게 유지하고 무리하지 않게 굴진한다.
• 마모가 작은 비트를 사용한다.
• 직경이 공경과 크게 차이나지 않는 로드, 코어 배럴을 사용한다.
• 코어 배럴은 가능한 긴 것을 사용한다.

• stabilizer나 drill collar를 적절하게 이용한다.
• 순환수의 양을 늘려 슬라임을 원활하게 재거한다.

4) 곡공 측정

• 시추조사로 확인한 제반 지질구조의 정확한 위치를 파악하고, 공내시험의 정확한 위치를 확인하기 위하여 곡공측정을 실시한다.
• 곡공측정은 한 번에 측정하는 곡공 측정회수에 따라 single shot과 multi shot으로 구분하며, 측정방식에 따라 필름방식과 디지털방식으로 구분한다.
• 예전에는 곡공측정을 목적으로 만든 곡공측정기로 곡공을 측정하였으나, 최근에는 공내검층과 병행하여 곡공을 측정하기도 한다.

라. 이수 사용

1) 이수 사용 목적

• 슬라임을 더욱 효율적으로 제거한다.
• 로드 회전저항을 감소시킨다.
• 이벽을 조성하여 지층 붕괴를 방지한다.
• 순환수가 정지되어 있을 때 슬라임이 침전되어 코어 튜브를 억류하는 것을 방지한다.
• 공내 지하수 용출을 억제한다.

2) 이수 사용에 유의할 점

• 토층시추에는 로드와 시추공 직경이 크게 차이나기 때문에 점성이 약간 높은 이수를 사용하는 것이 좋으며, 특히 모래층과 자갈층의 경우는 공벽보호를 위하여 높은 이수를 사용한다.
• 암반시추에는 점성이 낮고 벽을 잘 형성하는 이수를 사용하는 것이 좋다.
• 이수 속에 시멘트를 사용하면 시멘트 강도는 극단적으로 떨어지고 시멘트가 풀려 섞이면 공내 상황이 악화된다. 따라서 이수 속에서는 시멘트를 사용하지 않는 것이 좋다.
• 시멘트를 사용하여야 할 때는 시멘트 슬러리 주입 전과 후에 청수로 공내를 씻어내던가, 이수 전체를 바꾼다.

3) 이수의 종류

• 벤토나이트 이수

물에 벤토나이트를 7%내지 10% 혼합한 것으로, 슬라임 침강을 방지하고 이벽형성 효과를 얻는다. 일반적으로 이수라고 하면 벤토나이트 이수를 말한다. 이벽 형성효과를 개선하기 위하여 CMC를, 비중을 증가시키기 위하여 CMC나 바라이트를 첨가하여 사용한다.

• 리보나이트 이수

이수에 리보나이트를 첨가하고 카세이소다 또는 소다회로 pH를 9.5내지 10.0으로 조정한 이수이

다. 공벽 붕괴방지능력이 우수하고 염분이나 시멘트, 기타 오염물질에 대한 저항력이 높다. 고온에도 안정적이다.

• 계면활성제 혼합 이수

이수에 텔크린, 아스텍스, 스피터 등의 윤활제를 0.2%내지 2.0% 첨가한 것이다. 이수의 윤활성을 증가시켜 부착을 방지하며, 코어 튜브와 로드 억류를 방지하는 효과가 있다.

• K-폴리머 이수

물에 텔나이트KA와 텔나이트KB를 첨가하여 pH를 10.0내지 10.5로 조정한 이수이다. 수화팽윤을 억제하며, 점성을 증가시켜 수화붕괴성 이질암을 안정시킨다.

• 텔코드(특수 고분자 폴리머)

물에 텔코드L을 0.2%내지 0.5% 첨가한 이수로, 연약하거나 붕괴되기 쉬운 지층에 보호 피막을 형성하여 팽윤을 억제하고 시추공을 안정시키는 효과가 우수하다.

마. 공내사고 및 복구

1) 비트사고

• 굳은 암석을 굴진할 때 비트에 압력을 지나치게 가하면 비트 잇날은 암석 중으로 깊이 파고들어 가지만 암석을 자유롭게 뚫지 못하기 때문에 비트가 회전할 때 로드가 상하로 진동하여 비트에 충격이 가해진다. 이 충격으로 비트가 파손되며 비트에서 팁이 빠져나오기도 한다.

• 시추공 바닥에 비트에서 이탈한 팁이나 파손된 조각이 남아있으면 굴진작업에 크게 방해가 된다. 그러므로 팁이나 파손된 조각 주변을 시멘트로 경화하여 굳힌 후 시멘트를 굴진하여 이를 회수하거나, 로드 끝에 포집기를 달아 이를 회수하도록 한다.

2) 낙하사고

• 로드 홀더에서 로드가 미끄러져 시추공 내로 낙하하는 경우가 많다.

• 로드가 낙하할 경우 로드 중량과 코어 튜브 연결 여부에 따라 낙하 후 상황이 달라진다.

• 로드와 시추공 직경이 크게 차이나지 않고 코어 튜브를 연결했을 경우에는 낙하속도가 낮아 거의 피해를 받지 않고 바닥으로 떨어진다. 그러나 로드만 낙하할 경우에는 낙하속도가 높아 낙하충격이 증가하므로 로드가 휘거나 심한 경우 로드가 절단되기도 한다.

• 낙하로 인해 로드가 크게 훼손되지 않았을 경우 아웃사이드 탭을 사용하여 이를 회수한다.

• 인사이드 탭은 와이어라인을 사용하는 경우에는 사용할 수 있으나 그 밖에는 가능하면 사용하지 않는 것이 좋다.

• 로드가 미끄러져 낙하하는 사고는 주로 로드 홀더가 불량하여 일어나므로 로드 홀더의 팁이나 샤프트 마모정도를 잘 관찰하여 사고를 방지한다.

3) 절단사고

• 굴진 중에 로드나 코어 배럴이 절단되는 사고는 주로 과다사용으로 일어난다. 것이 많다. 로드

의 나사부분이 마모로 인해 두께가 얇아져서 절단되는 것이기 때문에 나사부분의 마모정도에 유의한다.

• 로드가 절단된 때에는 절단부분이 시추공의 케이싱 내부 또는 나공부에 따라 대책이 달라진다. 나공부라면 공경이 확대될 수 있는 구간인지 판단하고, 절단된 로드 두부 상황을 관찰하여 인사이드 탭을 사용할 것인지 아웃사이드 탭을 사용할 것인지 결정한다.

• 이러한 사고는 시간이 흐를수록 복구하기 어렵기 때문에 가능한 빨리 조치한다.

• 싱글 코어 배럴은 인사이드 탭을 사용하여 비교적 간단히 회수할 수 있으나 더블 코어 배럴이나 와이어라인 코어 배럴은 inner tube와 장치부분이 복잡하여 회수하기 어렵다.

4) 케이싱 사고

• 케이싱 사고는 삽입하는 중에 일어나는 억류사고와 케이싱 하부의 이완사고가 있다.

• 케이싱 억류는 주로 순환수를 따라 슬라임이 올라오거나, 연약지층이 붕괴되거나 압축되어 일어나며, 케이싱이 억류되면 이를 복구하기 어려우므로 케이싱을 설치하기 전에 공내를 잘 정리하여야 한다.

• 굴진 도중 하부 케이싱이 이완된 것을 알지 못할 수 있지만, 케이싱이 떨어져 나가 로드 인양이 불가능해 지고 사고로 이어질 수 있으므로 케이싱 끝 부분은 견고한 지반에 지지되도록 한다.

5) 붕괴 사고

• 흡수에 의한 팽창 붕괴

강도가 낮은 이암이나 응회암 등은 흡수 팽창하는 성질이 있지만 팽창성 점토광물을 함유한 암석을 제외하면 그 정도가 미약하므로 급격한 붕괴현상이 일어나지는 않는다. 일반적으로 이수를 사용하면 이를 방지할 수 있다.

• 점착성이 없어 일어나는 자연 붕괴

점토성분을 함유하지 않아 붕괴되기 쉬운 모래층, 자갈층이나 경암 파쇄대 부분은 이수를 사용하여 어느 정도 붕괴를 막을 수 있지만, 경우에 따라 붕괴가 대규모로 확산되기도 한다. 더욱이 용수가 발생할 경우에는 붕괴가 가속되며 이를 막기 어려운 경우가 많다. 이때에는 이수의 비중을 높여 해결한다.

• 기계적 원인에 의한 공벽 파괴

코어 배럴이나 로드가 오르내리거나 회전하는 과정에서 시추공에 충격을 주어 붕괴가 일어날 수 있다. 일반적으로 코어 배럴에서 30m 이상 벗어나면 코어 배럴에 의한 붕괴는 거의 일어나지 않으므로 지층이 불량한 구간에서는 굴진속도를 높여서 코어 배럴과 이격거리를 늘리는 것이 좋다. 일반적으로 굴진 속도가 낮거나 하중이 적은 쪽이 붕괴가 적게 일어난다. 또한 붕괴로 인해 공경이 넓어진 상태에서 굴진을 계속하면 로드에 의한 좌굴이 늘어나고, 이른바 로드의 줄넘기 현상이 일어나서 굴진에 장애를 일으킬 때가 많다. 그러므로 지층 붕괴구간을 통과할 때 씨멘트로 공벽을 경화하여 붕괴구간을 보호하고, 동시에 공경을 원래 크기로 회복시킨다.

6) 억류 사고

• 코어 배럴, 로드, 케이싱 등이 공내에 꽉 끼어 움직이지 않는 억류사고는 공저에 슬라임 양이 증가하거나, 혹은 로드 회전을 정지시킨 상태로 방치할 경우 일어난다.
• 그리 자주 일어나는 사고는 아니지만, 일단 일어나면 피해가 크다.
• 굴진 도중 억류사고가 일어날 때 회전을 정지하면 치명적인 사고로 이어질 수 있으므로 어떤 경우에도 회전이 정지되지 않도록 로드를 상하로 움직이며 계속 회전시킨다.
• 억류 사고는 펌프 순환은 가능하나 회전 및 상하운동이 불가능한 경우와 펌프 순환조차 이루어지지 않는 경우로 나뉘며, 그에 따라 적절한 대책을 강구한다.

7) 일수 사고

• 시추 용수의 일부 또는 전부가 단열을 통해 지층 속으로 흘러들어가고 시추용수가 순환되지 않는 일수 사고는 얕은 심도에서 일어나는 사고와 심부에서 일어나는 사고로 구분한다.
• 일수상태에서 굴진을 계속하게 되면 과열에 의한 억류사고가 발생할 수 있다.
• 일수가 일어난다고 해서 그 때마다 일수를 처리하면서 굴진할 수는 없다. 따라서 일반적으로 이수로 굴진한다.
• 그러나 심부에서는 전량이 일수되고 이에 따라 공내수위가 급격하게 저하되기도 한다. 이 때 상승하던 슬라임이 일시에 침전되면서 코어 배럴이 억류되기도 하고, 또는 공내압력이 급격하게 떨어져서 공벽이 무너지고 이에 따라 억류가 일어나기도 한다.
• 이 때에는 굴진을 일시 중지하고 코어 배럴을 위로 들어 놓을 필요가 있다. 일반적으로는 송수량의 몇 할 정도가 일수되는 경우가 많다.
• 일수가 발생할 때에는 청수로 굴진하는 경우 이수로 바꾸며, 이수로 굴진하는 경우에는 첨가제를 사용하여 일수를 감소시킨다.

8) 용출수 사고

• 시추공이 피압대수층을 관통할 경우 공내로 지하수가 과다하게 유입되는 용출수 사고가 일어난다. 심부일 경우 이수에 CMC를 첨가하여 점속을 높이고, 바라이트를 첨가하여 비중을 높이는 방법으로 이를 해결한다.
• 이와 같은 방법으로 해결할 수 없을 경우에는 케이싱을 설치하거나 그라우팅을 실시한다.

1.4.4 시추 주상도 작성

시추조사 과정에서 채취한 토층과 암석 코어를 육안으로 관찰하여 지층명, 지층상태, 색, 구조, 풍화정도, 단열상태와 굴진 과정에서 확인한 특기 사항을 종합적으로 파악할 수 있도록 일정한 양식으로 정리한다. 암반주상도에는 제반 공내시험 결과와 실내시험 결과를 비고란에 기재하여 시험결과와 시추조사 결과를 유기적으로 연결시킬 수 있도록 한다. 암반은 영국 'The Quarterly Journal of Engineering Geology Vol. 5, 1972, 미국 전문 지질기술자협회(American Institute of

Professional Geologists)의 'Geologic Logging and Sampling of Rock Core for Engineering Purposes'에 의거하여 시추주상도를 작성하며 토층에 대한 기술은 ASTM-D 24871 흙의 통일분류방법으로 시추주상도를 작성한다. 시추주상도는 일반적으로 토층과 암반을 다같이 기재할 수 있도록 미리 양식을 결정한다. 암반과 토층의 주상도 작성에 대하여 편의상 각각 기술한다.

1. 암반주상도 작성방법

가. 주상도 작성 기준

• 주상도는 암반의 풍화상태와 단열을 잘 기재할 수 있는 양식을 준비하여 작성한다.

• 발주처 양식의 양식에 따르는 것이 무난하나 일반적으로 준비된 양식은 흔하지 않다. 이 경우 최소한 다음 사항을 기재할 수 있도록 양식을 결정하여 사용한다.

• 발주처 양식에 다음 사항 중 일부라도 기재 내용에 포함되어 있지 않을 경우 양식 내 적절한 공간에 이를 기재하거나, 불가능할 경우 보고서 내용에 반드시 이를 기재하여 조사 결과를 누락시키지 않도록 한다.

나. 조사공에 대한 일반사항

• 조사명

조사명은 발주처의 발주 용역명을 사용하되 특정 조사명이 정해져 있지 않을 경우 조사 성격이나 내용을 구별하기 쉽도록 결정한다.

• 시추공번

일반적으로 특별한 사항이 없을 경우 BH를 머릿글로 써서 공번을 정한다. 그러나 이는 조사가 한 번으로 끝나지 않거나 다른 조사와 연계되어 있을 경우 사용상 혼선이 일어날 수 있다. 따라서 조사 성격이라던가 단계, 또는 위치를 구별할 수 있도록 공번을 결정하는 것이 바람직하다.

• 조사 개시일자 및 완료일자

• 쪽수

'3매 중 1' 또는 '쪽 1 of 3' 등으로 표시한다.

• 작성자

가능한 시추 작업자, 주상도 작성자, 주상도 검토자를 모두 기재한다.

• 시추 표고 및 좌표

추후 시추공 위치를 확인할 수 있도록 좌표를 기재한다. 좌표측량을 실시하지 않았을 경우 위치도를 첨부하되, 위치도에 추후 절성토 작업으로 지형이 변화하더라도 위치를 확인하는데 어려움이 없도록 기준점이 될만한 지형지물을 표시한다. 절성토로 원 지형이 변화하는 경우 지반상태를 판단하는데 표고가 중요한 기준이 되며, 지질단면도를 작성하거나 지하수 분포상태를 파악하는데도 사용하므로 표고는 반드시 기재한다. 표고 측량을 실시하지 않았을 경우 지형도 상에서 개략 표고라도 파악하여 기재한다.

• 조사 규격

암반시추는 절리 상태 파악 뿐 아니라 RQD 산정이나 공내시험을 고려하여 최소한 NX 규격으로 조사를 실시한다.

• 사용 장비

일반적으로 동일한 암반조건에서는 시추기가 무겁고 로드가 굵을수록 코어 회수율이 향상된다. 코어 배럴의 선정은 중요하며 코어 회수율이나 회수 상태에 크게 영향을 미친다. 암반에서는 어떤 경우에도 싱글 코어 배럴은 사용하지 않는다.

• 이수 사용 여부

공벽이 형성되지 않아 이수를 사용할 경우 이를 주상도에 기재한다. 이수를 사용할 경우 지반의 투수성을 현저하게 저하시키므로 이 구간에서 시행한 투수시험으로 산출한 투수계수는 참고 자료에 국한시킨다.

• 케이싱 설치상태

케이싱 설치심도는 지층을 판단하는 간접적인 지시자이므로 이를 반드시 기재한다.

• 지하수위

지하수위는 굴진 과정에서 교란된 공내 지하수위가 아니라 안정 지하수위를 측정하여 기록한다. 이를 위하여 최소한 굴진 종료 24시간 경과 후 지하수위를 측정한다. 지하수위는 지표로부터 심도로 표시한다. 경사시추를 실시할 경우 표고로 표시하며, 심도와 혼동되지 않도록 분명하게 표시한다.

다. 지층 상태 관찰 결과

• 굴진 심도

• 굴진차수(run number)

코어 배럴을 삽입한 심도에서 코어를 회수하기 위하여 인양한 심도까지를 굴진구간(run) 이라 하며 각 run에 대한 번호를 연속적으로 기록한다.

• 회수한 코어 길이

• 회수율

회수한 코어 길이를 굴진 길이에 대한 백분율로 기록한다.

• RQD (Rock Quality Designation)

• 기표 : 지층표지

• 관찰 결과

암석명, 색, 층 두께, 구성입자 크기, 광물 성분 및 조직, 경도, 강도, 파쇄도, 풍화도

• 불연속면 강도

• 비고

굴진 용수 누수나 증가 상태, 공동, 화석, 2차 광물, 불연속면 상태, 피복 또는 충진 물질, 경사

2. 코어 상태 기재 및 분류 기준

가. RQD (Rock Quality Designation)

• 회수한 코어 중 10cm 이상 되는 코어 길이의 합을 굴진 길이에 대한 백분율로 나타낸다. 코어 길이는 코어 중앙을 따라 측정한다.

• 본 분류방법을 제시한 Deere(1964)는 발표 당시 RQD 산정 대상을 'sound and intact'하며 직경 50mm 이상인 코어로 한정하였다. 이후 국제암반학회(ISRM, International Society of Rock Mechanics)에서 최소한 더블 튜브 코어 배럴을 사용한 NX 규격(코어 직경 54.7mm) 이상의 코어를 대상으로 RQD를 산정할 것을 권고하였다.

• 따라서 RQD는 NX 규격으로 더블 튜브 코어 배럴을 사용하여 회수한 코어로서 중간 풍화(MW, Moderately Weathered) 이하만을 대상으로 산정한다. 심한 풍화(HW, Highly Weathered) 이상인 코어는 RQD =0로 처리한다.

• RQD는 당초 암질을 정량적으로 나타낼 목적으로 제안한 것으로, 균열이 약선면으로 작용하는 정도를 지수화한 것이다. 즉, 균열 이외 부분은 모두 견고하다는 전제로 산정한 것이기 때문에 균열 이외 부분이 풍화나 변질을 받아 견고하지 못하다면 균열 간격을 표현한 RQD는 암질을 나타내는 지수로서 더 이상 의미를 갖지 못한다. 따라서 풍화암에 가까운 암반에서 우수한 기능으로 봉상 코어를 회수하였다 하더라도 이러한 이유에서 RQD를 적용해서는 안 된다.

• 코어 축에 평행한 균열이 발달할 경우에는 균열면 상태나 상하 구간의 균열 발달 상태를 고려하여 RQD를 산정한다. 즉, 균열면이 심하게 풍화 변질되어 있고 주변에 균열 발달 빈도가 높을 것으로 판단될 경우 이 구간이 모두 파쇄된 것으로 판단할 수 있으며, 균열면이 신선하고 주변에 균열 발달 빈도가 높지 않을 것으로 판단될 경우 이 구간을 모두 RQD로 적용할 수 있다.

• RQD에 따른 암반의 기술은 표 1.4-11과 같다

표 1.4-11 RQD에 의한 암반상태 기술

RQD (rock quality Designation)	암 반 상 태
0 ~ 25	매 우 불 량
25 ~ 50	불 량
50 ~ 75	보 통
75 ~ 90	양 호
90 ~ 100	매 우 양 호

• RQD는 정량적으로 설계에 반영하는 경우가 많으므로 가능한 안전측으로 산정한다. 절리가 밀착되어(closed joint) 있다 하더라도 외력에 의해 절리면이 떨어질 가능성이 있다면 이는 개구성 절리(open joint)로 취급하며, 이러한 점에서 잠재 균열이나 미세 균열 역시 분리면으로 취급한다.

나. 경도 및 강도

• 경도(hardness)와 강도(strength)는 엄연히 다른 개념이지만 현재 국내에서는 이를 혼용하고 있으며 외국에서도 원래 용어의 개념 차이만큼 구별하여 사용하지 않는다. 실제로 국내에서는 경도 개념에 의한 연경암 분류 용어를 강도에 의한 용어로 인식하고 있다. 그러나 경도는 신선한 암석

의 비교이고 강도는 풍화에 상관없이 분류하는 용어이므로 비교의 대상을 정확히 할 필요가 있다.

• 강도에 의한 분류기준과 최근 널리 사용하기 시작한 미국 전문지질기술자협회(American Institute of Professional Geologists)의 S분류 기준을 대비한 분류 기준을 설정하되, 현실적으로 발주처에서 암분류 적용으로 가장 요구하는 건설표준품셈의 강도에 의한 암반 분류 기준을 고려한다.

• 경도 분류

표 1.4-12 경도에 의한 암석구분

용 어	상 태
매우 연함	손가락으로 눌러서 부서짐
연함	해머로 눌러서 부서짐
보통 강함	해머로 한 번 타격하여 쉽게 부러짐 모서리가 쉽게 부서짐
강함	해머로 한 두 번 강하게 타격하여야 부러짐 모서리가 날카로움
매우 강함	해머로 여러번 강하게 타격하여야 부러짐 모서리가 매우 날카로우며 조개껍질 모양으로 깨어져 나감

표 1.4-13 미국전문기술자협회의 구분

구 분	상 태
S-1	강함. 금속성이 나며 해머 타격으로 깨기 어려움
S-2	중간. 둔탁한 소리가 나며 약한 해머 타격으로 깨어짐
S-3	약함. 칼로 자를 수 있음
S-4	매우 약함. 손가락 힘으로 깨뜨릴 수 있음

표 1.4-14 암석강도에 의한 구분

일축압축강도	점하중 강도		용 어
kg/cm^2	psi	kg/cm^2	
12.5 이하	10 이하	0.75 이하	매우 약함
12.5~50.0	10~40	0.75~3.0	약함
50~125	40~100	3.0~7.5	보통 약함
125~500	100~400	7.5~30	보통 강함
500~1,000	400~800	30~60	강함
1,000~2,000	500~1,600	60~120	매우 강함
2,000 이상	1,600 이상	120 이상	극히 강함

표 1.4-15 암석강도와 S분류와의 비교

강 도 분 류	S 분 류	일축압축강도(kg/cm^2)
극 경 암	S-1	1,600 이상
경 암	S-1	1,000~1,600
보 통 암	S-2	700~1,000
연 암	S-3	300~700
파쇄대, 풍화암	S-4	300 이하

• 건설표준품셈에서는 결정질암을 일축압축강도에 의하여 구분하는데 풍화암 300~700kg/cm^2, 연암 700~1,000 kg/cm^2, 보통암 1,000~1,300kg/cm^2, 경암 1,300~1,600kg/cm^2, 극경암 1,600 kg/cm^2 이상으로 규정하고 있다. 그러나 풍화암이나 연암의 강도 기준은 실제 적용이 불가능하기 때문에 현실적으로는 완화시켜 적용하고 있다.

다. 색

• 반드시 코어가 젖어있는 상태에서 색을 관찰하여 기록한다.

• 국문으로 색을 표기할 경우 3단계로 기재한다. 1단계는 명암, 2단계는 보조색(adjective color), 3단계는 주색(main color)을 기재한다. 필요에 따라 2단계 보조색을 생략할 수 있다.

• 영문으로 표기할 경우 한글과 동일한 방법으로 기재한다.

- 1단계 : light, dark
- 2단계 : pinkish, reddish, yellowish, brownish, greenish, blueish, grayish
- 3단계 : pink, red, yellow, brown, green, white, gray, black

라. 암석명

• 암석명은 단순한 현장명(field name)을 사용한다.

• 조사 결과 해석상의 혼선을 피하기 위해 지표지질조사 결과에서 사용한 용어나 인근 지질 도폭에서 사용한 용어와 통일시킨다.

마. 광물학적 특성

• 팽창성 등 특정한 광물이 상당량 포함되어 있을 경우 광물에 대하여 기술한다.

바. 구성입자 크기

• 암석을 구성하는 광물 입자의 크기에 따라 구분하여 기재한다.

표 1.4-16 광물입자 크기의 설명

입 자 크 기	용 어
2 micron 이하	매우 세립질
2~60 micron	세립질
60 micron~2 mm	중간질
2~60 mm	조립질
60 mm	매우 조립질

사. 조직 및 구조

• 암석이 나타내는 광물학적 조직(texture) 및 구조(structure)를 기재한다.

아. 층의 두께

• 퇴적암 층리(bedding, lamination), 변성암 엽리(foliation), 화성암 유동띠(flow banding) 두께를 영국에서 추천한 기준(The Quarterly Journal of Engineering Geology Vol. 5, 1972)에 의거하여 기재한다.

표 1.4-17

두 께(mm)	용 어	
	퇴 적 암	화성암·변성암
6 이하	매우 박층의	매우 좁음
6~20	박층의	좁음
20~60	매우 얇은 층의	
60~200	얇은 층의	
200~600	보통 두께층의	
600 ~ 2000	두꺼운 층의	
2000 이상	매우 두꺼운 층의	

자. 파쇄도

• 파쇄도는 불연속면 간격에 의하여 구분하는데 코아기재에서 매우 중요하다.

표 1.4-18 파쇄도와 F분류 비교

파 쇄 도	단 열 분 류		불연속면 간격(cm)
	없음	F-1	100 이상
균열이 미미한	보통 좁음	F-2	20~100
약간 균열된	좁음	F-3	10~ 20
균열된	좁음	F-4	5~ 10
매우 균열된	급히 좁음	F-5	5 이하

• 파쇄도는 RQD 산정과 직결되므로 전술한 바와 같이 절리가 밀착되어 있거나 방해석 등으로 봉합(healed)되어 있다 하더라도 외력에 의해 절리면이 떨어질 가능성이 있다면 이는 개구성 절리로 취급한다.

차. 풍화도

• 풍화도는 암반을 분류하는 가장 기본적인 기준으로 암석기재에서 파쇄도 기재와 함께 가장 중요하다. 지표조사 기준과 동일하게 사용해야 한다.

표 1.4-19 암석상태에 의한 풍화도 구분

풍 화 도	D분류	상 태
신선	D-1	모양과 색이 변하지 않고 결정이 광택을 보인다. 절리면이 부분적으로 산화되어 있고 타격을 가했을 때 맑은 소리를 낸다.
약간 풍화	D-2	일반적으로 신선한 상태를 보이나 불연속면의 주변부가 다소 변색되어 있다. 모암 강도는 신선한 경우와 별 차이가 없다. 화강암계통 암석의 경우는 장석이 다소 변색되어 있다. 개구성 절리의 경우 점토물질 등이 협재되어 있다.
보통 풍화	D-3	상당히 많은 부분이 변색되어 나타나며 불연속면은 거의 개구성 절리로 구조면의 안쪽까지 변질되어 있다. 강도는 야외에서도 신선한 상태와 쉽게 구분된다. 화강암 계통 암석의 장석이 대부분이 변질되어 있으며 일부는 점토화되어 나타난다.
심한 풍화	D-4	석영을 제외한 입자 대부분이 변색되어 있다. 불연속면은 거의 개구성 절리로서 구조면으로부터 상당히 깊은 곳까지 변질되어 있다. 코어상태를 그대로 유지한다.
완전 풍화	D-5	입자들이 부분적으로 존재하기는 하나 완전히 변질 받은 상태이다.

카. 코아 기재사항의 연관성

• 풍화도와 강도 및 암색

풍화를 받지 않았다 하더라도 암종에 따라 강도의 차이를 보인다. 결정질암의 대부분은 풍화를 받지 않으면 경암 이상에 해당되며 약간 풍화받은 경암, 보통 풍화암은 보통암, 심한 풍화암은 연암, 완전 풍화암은 풍화암의 관계를 보인다. 아울러 암색도 신선암 내지 약간 풍화암은 원색을 그대로 보이나 보통풍화암은 절리면이나 절리면 주변이 풍화작용으로 산화되어 황갈색이나 적갈색을 띠며, 심한 풍화암은 전체적으로 황갈색이나 적갈색을 띤다.

• 회수율, RQD, 파쇄도

RQD는 회수율과 같거나 작아야 하며, 단열(fractured, F-4) 내지 심한 단열(highly fractured, F-5) 구간은 RQD에 산입하지 않는다.

• 풍화도와 RQD 관계

RQD는 균열을 보여줄만큼 견고한 암석을 대상으로 산정한 것이기 때문에 암석이 풍화나 변질을 받아 견고하지 못하다면 균열 간격을 표현한 RQD는 암질을 나타내는 지수로서 더 이상 의미를 갖지 못한다. 따라서 풍화도가 심한 풍화(highly weathered, D-4) 이상인 구간은 RQD에 산입

하지 않는다.

타. 기타 기재사항

• 변질도

암석이나 절리면의 변질상태를 관찰하여 약간 변질된, 매우 변질된, 고령토화 등의 용어를 사용하여 기록한다.

• 절리 충진물

절리 충진물은 지하수 유동에 직접적인 영향을 미칠 뿐 아니라 지하수와 접촉할 경우 절리면 전단 저항에 영향을 미치므로 이를 관찰하여 기재한다.

• 절리 경사각

절리나 파쇄면 경사각은 특정 지질구조를 추적하거나 암반 안정성을 평가하는 기준으로 사용하므로 이를 측정하여 기재한다. 경사각은 수평면을 기준으로 표시하는 방법과 코어 축을 기준으로 표시하는 방법이 있는데, 일반적으로 혼선을 피하기 위하여 코어 방향을 기준으로 하여 TCA(To Core Axis)로 표시한다.

• 절리면 상태

절리면 거칠기 정도(roughness)는 절리면 변질상태와 함께 절리면 전단강도를 결정하는 중요한 요소이다. 절리면 상태는 국제암반학회(ISRM)에서 발표한 암반 불연속면의 정량적 기재에 대한 제시방법에 의거하여 기재한다. 절리면을 각이진, 울퉁불퉁한, 평행한으로 구분하고, 이를 다시 거친, 원만한, 슬리큰사이드화한으로 기재한다.

• 공내 시험 및 실내 시험 결과의 기재

시추공 지질상태를 종합적으로 판단하기 위하여 주상도 비고(remark)난에 시추공에서 실시한 현장투수시험, 공내재하시험, 공간탄성파탐사 등의 공내 시험 결과와 실내 암석시험 결과를 기재한다.

파. 주상도 기재순서

• 강도
• 색
• 암석명
• 광물학적 특성, 구조와 조직, 구성 입자 크기, 층의 두께
• 파쇄정도
• 풍화정도

3. 토층주상도 작성

가. 주상도 작성 기준

• 토층주상도는 발주처의 요구와 건설사업의 특성에 따라 다양한 양식을 보인다.

• 발주처 양식이 결정되어 있지 않을 경우 최소한 조사공에 대한 일반사항과 지층관찰 결과를 기재할 수 있도록 양식을 결정하여 사용한다.
• 발주처 양식에서 누락된 사항은 양식 내 적절한 공간에 이를 기재하거나, 불가능할 경우 보고서 내용에 반드시 이를 기재하여 조사 결과의 정확도를 높히는데 이용하도록 한다.

나. 조사공에 대한 일반사항

• 조사명

조사명은 발주처의 발주 용역명을 사용하되 특정 조사명이 정해져 있지 않을 경우 조사 성격이나 조사목적을 구별하기 쉽도록 결정한다.

• 조사공번

일반적으로 특별한 사항이 없을 경우 BH 형태의 공번을 사용한다. 그러나 이는 조사가 한 번으로 끝나지 않거나 다른 조사와 연계되어 있을 경우 사용상의 혼선이 일어날 수 있다. 따라서 조사 성격이라던가 단계, 또는 위치를 구별할 수 있도록 공번의 첨두문자를 미리 결정하는 것이 바람직하다.

• 조사 개시일자 및 완료일자
• 쪽수

'3매 중 1' 또는 '쪽수 1 of 3' 등으로 표시한다.

• 참여기술자

가능한 시추 작업자, 주상도 작성자, 주상도 검토자를 모두 기재한다.

• 시추공 표고 및 좌표

추후 시추공 위치를 확인할 수 있도록 좌표를 기재한다. 좌표의 측량을 실시하지 않았을 경우 위치도를 첨부하되, 위치도에 추후 절성토 작업으로 지형이 변화하더라도 위치를 확인하는데 어려움이 없도록 기준점이 될만한 지형지물을 표시한다. 절성토로 원 지형이 변화하는 경우 지반상태를 판단하는데 표고가 중요한 기준이 되며, 지질단면도를 작성하거나 지하수위를 파악하는데도 사용하므로 표고는 반드시 기재한다. 표고 측량을 실시하지 않았을 경우 지형도 상에서라도 표고를 파악하여 기재한다.

• 시추공 규격

최근 들어 NX 규격의 조사공이 일반화되는 경향을 보이나 아직 BX 규격을 혼용하고 있다. 토층에서는 조사 결과가 시추공 규격에 큰 영향을 받지 않으나 암반에서는 코어 회수율이나 회수 상태가 이에 크게 영향을 받으므로 반드시 기재한다. 원칙적으로 BX 규격에서는 RQD를 적용해서는 안되나 BX 규격 조사에서도 RQD를 적용하고 있는데, 이 경우 자연 상태의 단열과 굴진 과정에서 형성된 균열을 구분하는 것이 현실적으로 쉽지 않아 실제보다 저하된 RQD 정보를 얻게 될 수가 있다.

• 사용 장비

시추장비는 시추공 규격과 마찬가지로 토층에서는 조사 결과에 별 영향을 미치지 않으나 암반에서는 코어 회수율이나 회수 상태에 크게 영향을 미친다. 일반적으로 동일한 지층에서는 시추장비

가 무거울수록, 로드가 굵을수록 코어 회수율이 향상된다. 코어 배럴 역시 코어 회수율이나 회수 상태에 크게 영향을 미친다. 암반에서는 어떤 경우에도 싱글 코어 배럴은 사용하지 않는다.

• 이수 사용 여부

공벽이 형성되지 않아 이수를 사용할 경우 이를 기재한다. 이수를 사용하면 지반의 투수성이 현저하게 저하되므로 현장투수시험으로 이러한 시추공에서 산출한 투수계수는 참고 자료 이상으로 사용하지 않는다.

• 케이싱 설치상태

수위하강시험으로 현장투수시험을 실시할 경우 케이싱 설치심도에 따라 투수계수 산출 공식을 달리 적용하므로 단계별 케이싱 설치 상태를 기재한다.

• 지하수위

지하수위는 굴진 과정에서 얻은 공내 지하수위가 아니라 안정 지하수위를 측정하여 기록한다. 이를 위하여 최소한 굴진 종료 24시간 경과 후에 지하수위를 측정한다. 일반적으로 지하수위는 지표로부터의 심도로 표시한다. 경사시추를 실시할 경우 표고를 표시하며, 정확한 지하수위를 표시할 수 있도록 보정한다.

다. 지층 상태 관찰 결과

• 굴진 심도
• 관입저항치
• 시료 채취 길이
• 토층 표지무늬
• 시료 형태 및 번호
• 흙의 통일분류방법(USCS)에 의한 분류 기호
• 관찰 결과

지층 분류, 입도, 형태, 크기, 색, 상대밀도, 습윤 상태

• 비고

굴진 용수 누수 및 증가 상태, 토양 기원, 화학성분, 유기물 포함 상태, coring 심도

4. 토층의 기재

가. 토층 구분

• 매립층
• 잔류토(residual soil)

기반암이 풍화되어 형성된 완전 토층화 된 층으로 모암 조직이나 입자간 결합력을 유지하지 못한다. 하부로 가면서 풍화의 점이적인 변화양상을 보인다.

• 퇴적층

유속이 작은 하천 주변에 형성된 충적층, 주로 연약 점토층으로 이루어진 해성퇴적층, 사면 붕괴

등으로 인해 형성되어 원마도가 불량한 암편으로 이루어진 붕적층, 화산작용으로 형성된 화산쇄설성 퇴적층 등이 있다.

• 풍화암층

기반암이 풍화되어 형성된 완전 풍화(CW, Completely Weathered) 층으로 모암 조직이나 입자간 결합력을 유지하고 있다. 관입저항치가 50/15cm를 넘는 지층이 3회 이상 확인될 경우 관입저항치가 처음 50/15cm 이상된 지점을 풍화암선으로 판단한다. 표준관입시험 결과 풍화암선 하부에서 관입저항치가 50/3cm 이하일 경우 암반 시추를 시작한다(ASTM D 2113-83에서는 표준관입시험 과정에서 50회 타격에 관입 깊이가 2.54cm를 넘지 않을 경우 암반시추를 시작하도록 규정하고 있다).

나. 관입저항치에 의한 지층 분류

• 관입저항치에 따른 토층상태에 대한 기재를 사질토와 점성토를 나누어 한다.

표 1.4-20 N치에 의한 사질토 상태 기재

관입저항치 (N치)	용 어	
0 ~ 4	매우 느슨	very loose
5 ~ 10	느 슨	loose
11 ~ 30	중간 조밀	medium dense
31 ~ 50	조 밀	dense
50 이상	매우 조밀	very dense

표 1.4-21 N치에 의한 점성토 상태 기재

N치	용 어		상 태
0~1	매우 연약	very soft	한번에 쉽게 관입됨
2~4	연약	soft	손가락으로 쉽게 눌러짐
5~8	중간	medium	손가락으로 힘을 가해야 눌러짐
9~15	견고	stiff	손가락으로 상당한 힘을 가해야 눌러짐
16~30	매우 견고	very stiff	손톱으로 상당한 힘을 가해야 눌러짐
30 이상	고결	hard	거의 눌러지지 않음

다. 색

• 반드시 시료가 젖어있는 상태에서 색을 관찰하여 기록한다.

• 국문으로 색을 표기할 경우 3단계로 기재한다. 1단계는 명암, 2단계는 보조색, 3단계는 주색을 기재한다. 필요에 따라 2단계 색을 생략할 수 있다.

- 예 : 담녹회색, 암적갈색, 담회색, 암갈색

• 영문으로 표기할 경우 국문과 동일한 방법으로 기재한다.

- 1단계 : light, dark

- 2단계 : pinkish, reddish, yellowish, brownish, greenish, blueish, grayish
- 3단계 : pink, red, yellow, brown, green, white, gray, black
- 예 : light greenish gray, dark reddish brown, light gray, dark brown

라. 입도 분포

• 국문으로 표기할 경우 보조 구성 입도(adjective grain size)와 주 구성 입도(main grain size)를 결합하여 사용한다. 이 때 주 구성 입도는 대략 중량비 50% 이상이어야 하며, 보조 구성 입도는 대략 중량비 30% 이상 이어야 한다.

예 : 자갈질 모래, 점토질 실트

• 영문으로 표기할 경우 다음 기준을 적용한다.

- adjective : 중량비로 전체의 30~50% 정도 포함되어 있을 경우
- some : 중량비로 전체의 12~30% 정도 포함되어 있을 경우
- trace : 중량비로 전체의 5~12% 정도 포함되어 있을 경우
- little : 중량비로 전체의 5% 정도 포함되어 있을 경우
- 예 : silty sand, some gravel, trace clay, little organics

마. 습윤상태

• 토양 습윤상태를 포화(wet), 습윤(moist), 건조(dry)로 분류하여 기재한다.

바. 강도

표 1.4-22

구 분	용 어	상 태
조립토	weakly cemented	pick를 사용하여 분리시킬 수 있으며 손으로 부서트릴 수 있다.
	compact	pick를 사용하여 파헤칠 수 있다.
	loose	삽으로 파헤칠 수 있다.
세립토	hard	brittle하거나 매우 단단하다.
	stiff	손가락으로 빚을 수 없다.
	firm	손가락으로 힘들게 빚을 수 있다.
	soft	손가락으로 쉽게 빚을 수 있다.
	very soft	손으로 쥐면 삐져 나온다.
유기토	friable	손가락으로 쉽게 부서진다. 비소성
	firm	섬유질감이 나타난다.
	spongy	매우 compressible 하다.
	plastic	손으로 빚을 수 있으며 빚을 때 손가락 사이에 묻는다.

7) 흙의 통일분류 (USCS, Unified Soil Classification System)

표 1.4-23

구 분			기호	상 태
조립토 200번체 통과량 50% 이하	자갈 4번체 통과량 50% 이하	깨끗한 자갈	GW	입도분포가 양호한 자갈
			GP	입도분포가 불량한 자갈
		세립분 섞인 자갈	GM	실트질 자갈
			GC	점토질 자갈
	모래 4번체 통과량 50% 이상	깨끗한 모래	SW	입도분포가 양호한 모래
			SP	입도분포가 양호한 모래
		세립분 섞인 모래	SM	실트질 모래
			SC	점토질 모래
세립토 200번체 통과량 50% 이상	실트 및 점토 액성한계(LL) 50 이하		ML	소성이 낮은 무기질실트
			CL	점성이 낮은 무기질점토
			OL	점성이 낮은 유기질점토
	실트 및 점토 액성한계(LL) 50 이상		MH	소성이 높은 무기질실트
			CH	점성이 높은 무기질점토
			OH	점성이 높은 유기질점토
	유기질토		Pt	이탄토 등 고유기질토

- 입 도 : G(Gravel) S(Sand) M(Silt) C(Clay)
- 입도분포 : W(Well-graded) P(Pooly-graded)
- 소 성 : H(High Plasticity) L(Low Plasticity)

사. 입자 형태

- 등립의 납짝한, 길쭉한, 불규칙한
- 원마도 : 둥근, 약간 둥근, 가진
- 표면 마모 상태 : 거친, 원만한, 빤질빤질한

아. 기타 사항

- 토양 기원 : 잔적토, 붕적토, 충적토, 해성퇴적토
- 화학 성분 : 산화철, 탄산염
- 함유 유기물 : 매우 유기질이 많은, 섬유질, 나무뿌리가 약간 섞임

자. 기재순서

- 입자의 분포 상태
- 색

- 관입저항치에 의한 consistency
- 습윤 상태
- 기타 사항

5. 외국 암반기재방법의 예

가. 영국 지질공학회

- The Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol. 5, No. 4, 1972, The Preparation of Maps and Plans in Terms of Engineering Geology, pp.313-324, '5. Descriptions of Rocks and Soils'
- 흙 및 암반 기재를 위한 분류 기준으로, 국내에서는 1970년대 말 원자력발전소 부지조사를 시작하면서 적용하기 시작하였다. 현재 시추주상도 작성 기준으로 널리 사용하고 있다.
- 암석의 색, 조암광물의 입도, 구조 및 조직, 불연속면 발달상태, 풍화정도, 변질정도, 암석학적 특성, 암석명, 강도, 투수계수에 대한 분류 기준을 규정하고 있다.
- 풍화정도

  표 1.4-24와 같다.

- 강도

  표 1.4-25과 같다.

표 1.4-24 암반기술

암반 분류	굴진상황	암반 성질					
		풍화변질	균열발달	코어상태	함마타격	침수시험	Vp km/sec
풍화암	메탈비트로 쉽게 굴진할 수 있으며 때로는 무수보링 가능	암의 내부까지 풍화진행. 암조성과 조직이 남아있음	균열은 많으나 점토화진행으로 거의 밀착상태	세편상 암편이 남아있고 손으로 부수면 분말화함	손으로도 부서짐	원형보존이 거의 불가능하며 세편상으로 분리	〈 1.2
연 암	메탈비트로 쉽게 굴진 가능	암 내부 일부 제외하고 풍화진행. 장석, 운모 변질 변색	균열이 많이 발달 균열간격 5 cm 이하 점토 협재	암편상-세편상. 원형코어가 적고 원형복구 곤란	함마로 치면 가볍게 부서짐	세편상 또는 암괴로 분리	1.2-2.5
보통암	메탈비트로 굴진 가능하나 다이아비트로 굴진하면 회수율 양호	균열을 따라 다소 풍화진행 장석 유색광물 일부 변색	균열발달 일부 점토협재. 세편상으로 잘 부서짐. 간격 10cm	대암편상-단주상으로 간격 10cm 이하. 원형복구 가능	함마로 치면 탁음을 내고 부서짐	암괴로 분리하나 입자의 분리는 거의 없고 변화하지 않음	2.5-3.5
경 암	다이아비트를 사용하지 않으면 굴진 곤란	대체로 신선 균열을 따라 약간 풍화변질암의 내부는 신선	균열발달이 적으며 간격은 5-15 cm 대체로 밀착. 일부 open	단주상-봉상 대체로 20cm 이하 1m당 5-6개 이상	함마로 치면 금속음을 내고 잘 부서지지 않으며 튀는 경향	거의 변화하지 않음	3.5-4.8
극경암	다이아비트 마모가 특히 심함	대단히 신선. 풍화변질을 받지 않음	균열발달이 적으며 간격은 20-50 cm로 밀착	봉상-장주상 완전한 형태 보유. 1m당 균열 5-6개 발달	함마로 치면 금속음. 잘 부서지지 않고 튀는 경향을 보임	거의 변화하지 않음	〉 4.5

표 1.4-24 풍화도 기술

풍 화 도	상 태
잔류토 Residual Soil	암색이 변색되어 있고 모암 조직이 완전히 파괴되어 있다. 부피가 상당히 변화되어 있다.
완전 풍화 Completely Weathered	암색이 변색되어 있고 흙처럼 변해있기는 하나 모암 조직이 그대로 남아있다. core stone을 다수 포함하기도 한다. 모든 특성이 모암 상태에 직접적인 영향을 받는다.
심한 풍화 Highly Weathered	암색이 변색되어 있다. 불연속면 대부분이 개구성이며 표면이 변색되어 있고, 불연속면 주변 조직까지 변질되어 있다. 불연속면에서 상당히 깊은 곳까지 변질되어 있다. 가끔 core stone을 포함하기도 한다.
중간 풍화 Moderately Weathered	암색이 변색되어 있다. 불연속면 대부분이 개구성이며, 불연속면에서 안쪽으로 어느 정도까지 변질되어 있다. 신선한 암석에 비해 강도가 현저하게 저하되어 나타난다.
약간 풍화 Slightly Weathered	암색이 약간 변색되어 있다. 불연속면을 따라 변질되어 있다. 불연속면이 개구성일 경우 불연속면 표면이 변색되어 있다. 신선한 암석에 비하여 강도는 별 차이를 보이지 않는다.
신선 Fresh	모암 색을 그대로 유지한다. 모암 강도를 그대로 유지하며, 어떠한 풍화 흔적도 나타나지 않는다.

표 1.4-25 강도에 대한 기술

일축압축강도, MN/m^2	점하중 강도, KN/m^2	용 어
〉 200	〉 12,000	극히 강함
100 ~ 200	6,000 ~ 12,000	매우 강함
50 ~ 100	3,000 ~ 6,000	강함
12.5 ~ 50	750 ~ 3,000	보통 강함
5 ~ 12.5	300 ~ 750	보통 약함
1.25 ~ 5	75 ~ 300	약함
〈 1.25	〈 75	매우 약함

나. 미국 전문지질기술자협회

• 미국 전문지질기술자협회(American Institute of Professional Geologists), Geologic Logging and Sampling of Rock Core for Engineering Purposes, 1977

• 시추주상도 작성을 위해 작성한 분류기준이다. 국내에서는 1980년대 중반 원자력발전소 조사과정에서부터 사용하기 시작하였으며, 현재는 중요한 지질조사에서 영국지질공학회 분류기준과 함께 주상도 작성 기준으로 널리 사용하고 있다.

• 시추조사 과정에 대한 기재사항, 코어 취급요령, 시료 채취기준, 시추주상도 작성기준을 규정하고 있다. 부록에 불연속면 발달상태, 풍화정도, 강도 분류기준을 수록하고 있다.

표 1.4-26 불연속면 간격에 대한 기술

구 분	절 리 간 격	상 태
F-1	90cm 이상	Wide
F-2	20~90 cm	Moderately Close
F-3	10~20 cm	Close
F-4	5~10 cm	Very Close
F-5	5 cm 이하	Extremely Close

표 1.4-27 변질상태에 대한 기술

구 분	지 층 상 태
D-1	신선한 암반
D-2	약간 변질된 암반, 절리면이 산화됨
D-3	중간 정도로 변질된 암반, matrix가 부분적으로 약해짐
D-4	매우 변질된 암반, matrix가 약해짐
D-5	풍화잔류토, 흙과 같은 saprolite

표 1.4-28 강도에 대한 기술

구 분	지 층 상 태
S-1	강함, 금속성이 나며 햄마타격으로 쉽게 깨어지지 않음
S-2	약간 강함, 둔탁한 소리가 나며 중간 정도 햄마타격으로 깨짐
S-3	약함, 칼로 쉽게 잘라짐
S-4	매우 약함, 손가락으로 눌러서 깨짐

다. 일본의 댐

- 1974년 일본 菊地와 齊藤이 댐 기초암반 평가기준으로 발표하였다.
- 국내에서는 댐 기초암반 평가 기준으로 널리 사용하고 있다.

표 1.4-29

등 급		상 태	조암광물		절리간격		
			Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
A		암질이 상당히 신선하고 절리는 거의 발달하지 않음. 조암광물은 전혀 변질을 받지 않으며 암반으로서 상당히 견고함	○	○	○	○	○
B		암질이 신선하고 조암광물은 2차적인 풍화변질을 거의 받지 않음. 절리는 거의 발달하지 않으며 밀착상태임. 암반으로서 견고함	○	○	△	○	○
C	C_H	암질은 비교적 신선하나 균열면을 따라 풍화가 진행된 부분은 산화(iron stained)되어 나타나기도 함. 절리는 드문드문 분포하며 밀착상태임. 암반으로서 대체로 견고함	○ △	○ △	▲	△	△
	C_M	석영을 제외한 장석 및 유색광물이 풍화변질을 받아 다소 변질화됨. 절리가 많이 분포하고 open joint가 많으며 절리면은 변색되어 있음. 가끔 균열면에 점토 등의 풍화물질이 협재되어 있음	△ ▲	△ ▲	▲ ●	▲ ●	▲ ●
	C_L	조암광물은 풍화작용을 받아 연질화되었고 암질도 연약화됨. 절리는 상당히 발달하고 있으며 open joint가 많고 풍화물질을 많이 협재함. 해머로 가볍게 치면 쉽게 부서짐	▲ ●	▲ ●	●	●	●
D		조암광물이 풍화작용을 받아 심하게 연질화되었고 암질도 극히 연약한 상태임. 거의 흙 상태로 균열 분포는 불분명함. 손으로 쉽게 부서짐	●	●	-	-	-

• 분류기준

표 1.4-30

구 분	○	△	▲	●
풍화상태	신선, Fresh	약간 풍화 (SW) 대체로 신선	중간풍화 (MW)	심한풍화 (HW)
고결상태	견고 Qu 〉 800kg/cm^2	대체로 견고 Qu = 400-800kg/cm^2	약간 견고 Qu = 200-400kg/cm^2	연질 Qu 〈 200kg/cm^2
절리간격	거의 발달하지 않음 3m 이상	드물게 발달함 0.5 ~ 3m	발달함 0.1 ~ 0.5m	많이 발달함 0.1m 이하
개 구 성	밀착	대체로 밀착	열림	많이 열림
절 리 면	전혀 풍화받지 않음	약간 풍화 오염되어 있기도 함	풍화 풍화물질 얇게 피복	대단히 풍화 점토 풍화물질 협재