

2.4

기초, 굴착

정교철, 오대열

2.4

기초, 굴착

정교철, 오대열

목 차

- 2.4.1 기초해석과 암반조사1
 - 1. 암반기초의 파괴유형과 예측기법 1
 - 2. 조사항목과 수량 2
- 2.4.2 추정 지내력12
 - 1. 균열이 있는 연약암반의 지지력 12
 - 2. 연암 및 풍화암의 지지력 13
 - 3. 경사진 성층암반의 지지력 14
 - 4. 성층암반의 지지력 14
 - 5. 구조물에 따른 기초의 지지력 검토 15
- 2.4.3 기초해석 해설17
 - 1. 기초 검토 17
 - 2. 연약암반 개량방법 21
- 2.4.4 굴착설계 암반조사28
 - 1. 굴착 공법 28
 - 2. 조사항목과 수량 29
- 2.4.5 굴착설계용 암반분류31
 - 1. 분류요소 31
 - 2. 국내암석강도 32
 - 3. 암반분류 34
- 2.4.6 굴착설계38
 - 1. 암반강도와 굴착방법 38
 - 2. 암반조건과 굴착사면 41
 - 3. 지하수 유출 예측 46

4. 감리 계획	54
【참고문헌】	56

2.4

기초, 굴착

2.4.1 기초해석과 암반조사

1. 암반기초의 파괴유형과 예측기법

가. 암반기초의 파괴 유형

암반 기초에서 발생 가능한 파괴형태로는 ①전단파괴(Shear failure) ②관입파괴(punch failure) ③붕락(Collapse) ④균열파괴(cracking) ⑤분쇄상파괴(crushing) ⑥췌기상파괴(wedging)를 들 수 있다.

그림 2.4-1에서 (a)는 연암층 내에서의 전형적인 전단파괴를 나타내고, (b)는 소성암반 상부에 강성암반이 놓였을 때의 전단파괴를 보여준다. (c)는 2층으로 구성된 지반에서의 전단파괴 양상이며, (d)는 편심하중이 작용할 때의 전단파괴이다. (e)는 사면 상에서의 활동에 의한 파괴유형이다. (f)는 질리가 발달한 풍화된 암반대로 진행되는 관입파괴를 보여주고 있다. (g)는 연암지반 내부로 강성암반이 관입되어 파괴된 모습이다. (h)는 풍화된 화강암에서의 관입파괴 유형이다. (i)는 석회암층 내부의 지하공동에 의한 붕락현상을 보여주고 있으며, (j)는 지하수의 유동에 의해 형성된 공동으로 인한 붕락파괴를 나타낸다. (k)는 균열파괴, (l)은 분쇄상 파괴, (m) 췌기상 파괴, (n)은 단층선을 따른 파괴 유형이다.

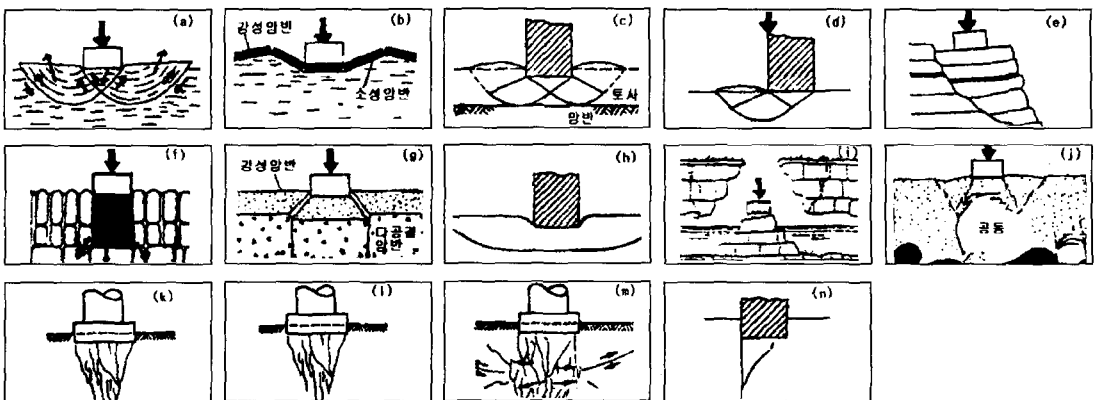


그림 2.4-1 기초 암반의 파괴 유형

나. 암반기초 파괴유형의 예지

일반적으로 암반기초의 파괴 유형을 예지하는 방법으로는 강성지수(rigidity index)를 이용한다.

$$I_r = \frac{G}{C + Q \tan \psi}$$

여기서, I_r : 강성지수, G : 전단탄성계수(강성률), C : 점착력, ψ : 내부마찰각,

B : 기초의 폭, Q : 기초의 저면으로부터 심도가 $\frac{B}{2}$ 인 지점에서의 상재하중을 나타낸다.

이때, I_r 이 크면 전반전단파괴를 나타내기 쉬운 비압밀성 지반을 의미하며, I_r 이 작으면 압밀성 지반으로서 국부전단파괴나 관입전단파괴를 나타내기 쉽다.

소성영역에서는 체적변형률을 보정해 주어야 하므로 $I_{rr} = \zeta_v \cdot I_r$ 로 감소된다. 여기서 $\zeta_v = \frac{1}{1 + I_r \Delta}$, 이 때 I_{rr} 는 수정강성지수 이다.

2. 조사항목과 수량

가. 지표지질 및 구조지질 조사

모든 토목구조물과 건축물은 많은 경우에 기초에 의해서 지지되어 있으며, 기초에 관한 압반상황을 정리하는 것이 매우 중요하다. 기초는 상부구조물의 하중을 지반에 전달하는 구조부분으로서 산지부에서는 직접기초, 갱기초, 깊은기초 등이 많이 사용된다. 이러한 구조물의 기초를 산지부에 계획하는 경우 산지부에서는 암반이 복잡하고, 지지층을 평가함에 있어 사면의 안정이 중요한 요소가 된다는 것이 평지부와 다른 특징이며, 또한 사면상의 시공을 실시해야 하기 때문에 가설절토의 안정성 및 역지대책이 문제가 되는 경우가 많다.

기초를 위한 지표지질조사에서는 먼저 지지층에 관한 정보로서 암상, 층리, 편리 등의 상황 및 빈도, 단층파쇄대, 풍화 및 변질대의 위치 및 정도 등을 기록하여야 한다. 다음으로 사면의 안정성에 관련된 산사태, 사면붕괴, 토석류 및 대규모 애추퇴적물의 분포 및 규모가 중요한 기재항목이다. 지질조사에 요구되는 이러한 정보의 내용 및 표현방법은 구조물의 계획, 설계, 시공 중 이용되는 단계에 따라 달라지며, 또한 구조물의 종류 및 규모에 따라서도 달라진다. 다음은 교량과 철탑 및 건물의 기초를 위해 수행하는 지질조사의 예시이다.

1) 교량기초의 지질조사

교량기초를 위한 지질조사의 경우에는 교량연장, 지간의 길이, 기초형식, 기초 깊이 등을 검토하여 교량 일반도를 작성하기 위해 조사한다. 이 단계의 지질조사는 교량구간 전체의 지질상황이 파악되고, 지지층의 분포 및 산사태, 사면붕괴, 대규모 애추 등의 분포와 규모가 전체적으로 파악되어야 한다. 도면에 기재하는 데이터로는 지표지질조사와 함께 시추조사, 탄성파탐사, 원위치시험, 실내시험 등에 의해 얻어진 데이터 등이 있으며, 내용으로는 다음과 같은 항목이 기재된다.

- ① 지질구성 (암석 및 미고결층의 분포와 성상)
- ② 지질구조 (습곡축의 분포, 층리 · 편리 · 절리의 주향 · 경사)

- ③ 단열 약선의 분포와 규모
- ④ 풍화·변질의 분포와 정도
- ⑤ 용출수 및 지하수위
- ⑥ 각 지반의 공학적 특성 (암반강도 등)
- ⑦ 지지층의 평가요소(암반유형, 풍화도, 탄성파속도 구분)
- ⑧ 지형요소 (산사태, 붕괴지형, 토석류, 대규모 애추사면 등)
- ⑨ 탄성파탐사, 시추조사 등의 위치

산지부의 암반은 풍화 및 단열에 의해 암질변화가 복잡한 경우가 많으며, 특히 변화가 급격할 경우에는 암반을 암반구분 및 풍화구분 등으로 분류하고, 지지층을 이해하기 쉽게 제시할 필요가 있다. 이 단계의 지질도는 지질종단도가 주체가 되며, 지질상황의 분포 및 조사위치를 나타내기 위하여 지질평면도를 같이 표시한다. 도면의 축척은 1/200 - 1/1000정도로서 수직방향은 1/100-1/300 정도로 강조하여 표시하는 경우도 많다.

보다 상세한 조사는 교대·교각의 구조설계 및 시공계획 등의 상세설계를 수행하기 위해서 실시되는 것이며, 도면에 기재되는 데이터는 시추조사, 원위치시험, 실내시험 등에 의해 얻어진 것이다. 내용은 상세 일차조사와 거의 같은 항목이지만, 각 교대·교각마다 조사를 기초로 상세한 지질상황 및 공학적 특성을 분명히 밝힐 필요가 있다.

상세조사의 지질도를 작성 시에는 교량전체의 지질평면도와 지질종단도 및 각각의 교대·교각의 상세한 지질단면도를 작성한다. 이 중 각 교대·교각의 지질단면도는 설계에 직접 사용된다. 지질단면도는 지반의 경사 및 요철이 작은 경우에는 교량 축방향을 중심선으로 하는 도면과 교량축 횡단 방향 도면이 작성되며, 지반의 변화가 큰 경우에는 교량 축방향을 중심선으로 하는 도면과 좌우 양측의 지질단면 등 세 방향의 단면도가 작성된다.

지질도의 축척은 교량 전체의 지질평면도·지질단면도의 경우 1/100 ~ 1/1000정도로 하고, 교대·교각의 각 지질단면도는 지반의 경사 및 요철을 잘 표현하기 위하여 1/100 ~ 1/300정도로 작성한다. 전체의 지질종단도에는 상세 일차조사와 같이 수직방향을 1/100 ~ 1/300의 대축척으로 표시하여 지층의 구성을 강조하는 경우가 많으나, 설계에 직접 관계있는 교대·교각의 각 지질단면도는 중형을 동일한 축척으로 표시하는 것이 좋다.

상세조사단계에는 사면의 안정 및 가설절토 대책을 염두에 두고 조사를 수행할 필요가 있다. 이때 지질단면도에는 대상이 되는 사면 및 가설절토의 안정성에 관한 지질상황이 포함되어야 한다. 특히 가설절토 시 다음에 기술하는 근접시공이 행해지는 경우 및 산사태, 사면붕괴, 대규모 애추사면 등 불안정한 사면에 교대·교각이 계획되는 경우에는 근접구조물과의 위치관계 및 불안정한 지반과의 관련성이 도면상에 분명히 나타나도록 해야 한다.

2) 철탑기초의 지질조사

철탑에는 송전철탑 외에 무선철탑, 방송용 철탑, 놀이용 철탑 등과 같이 다양한 종류가 있다. 여기에서는 장거리에 걸쳐 연속되어 건설되는 대규모의 송전용 철탑을 대상으로 한다. 송전용 철탑

에는 저전압의 소규모의 철탑부터 UHV 규모의 철탑높이가 100m가 넘는 것도 있다. 또한 송전용 철탑의 기초는 역 T형 기초, 말뚝기초, 깊은기초 등이 있다. 철탑의 규모에 의해 조사의 규모가 변하며, 주변사면의 안정성 평가 등은 규모의 대소에 관계없이 중요하다.

철탑의 노선과 위치가 결정되면 다음으로 철탑본체를 설계하기 위하여 시추조사 등이 실시된다. 그 결과에 따라서 지질도가 작성된다. 도면의 종류는 지질단면도로 하고, 축척은 1/50-1/500정도의 대축척으로 작성되는 경우가 많다. 지질단면도의 방향은 철탑의 교각 사이를 대각선 방향으로 자르는 경우가 많으나, 철탑지점의 지형상황에 따라서는 해당 교각의 위치를 지나는 최대경사방향의 지질단면도를 작성하는 경우도 있다.

지질단면에 기재되는 데이터로서는 다음과 같은 것이 있다.

- ① 피복층의 분포
- ② 지질, 지층의 분포
- ③ 단층, 파쇄대의 분포
- ④ 주 절리 및 편리의 주향과 경사
- ⑤ 암반의 등급분포
- ⑥ 지하수위 분포
- ⑦ 시추위치 및 개략의 시추주상도 (지질구분, 암등급 구분, N치분포, 공내수위 등 기재)

이러한 데이터는 시추를 주체로 하는 조사·시험으로부터 얻어진다.

지질단면도에는 지질구분 및 암등급구분 등 여러 가지 정보가 함께 표현되어 있으므로 사용되는 선 종류 등의 선택을 합리적으로 행함으로서 보기 쉬운 도면으로 작성하도록 노력하는 것이 중요하다. 철탑기초의 경우 지반의 성상과 채택된 기초형 (역 T자형기초, 말뚝기초, 깊은기초 등)에 따라서 조사해야하는 심도가 달라진다. 또한 호층 등의 세부지질 구분은 기초체의 규격 및 설계 시에 적용되는 물성치 등을 고려하여 표현을 해야 한다. 송전철탑 기초의 특징으로서 기초체로부터 지반으로 압축방향뿐만 아니라 끌어올리는 방향으로도 힘이 작용하여 기초설계의 중요한 요소가 된다. 그래서 소위 지지층보다 상부의 지반정보도 대단히 중요하며 빠지지 않고 기재하여야 한다.

3) 건물기초의 지질조사

건축공사를 위한 지질조사의 목적은 지하구조물 본체의 설계와 관계되는 것과 시공에 관계되는 것으로 구분할 수 있다. 지하구조물 본체의 종류에는 구조물기초(직접기초, 말뚝기초 등), 지하외벽, 옹벽 등이 있다. 또 시공과 관련된 사항으로는 흙막이의 설계, 지하수 처리 등을 포함하는 지하공사계획, 제척관리 등이 있다.

일본 건축학회의 경우 『건축기초 구조물 설계 지침』에서 기초구조 설계를 위한 흐름도를 다음 그림 2.4-2와 같이 나타내고 있다.

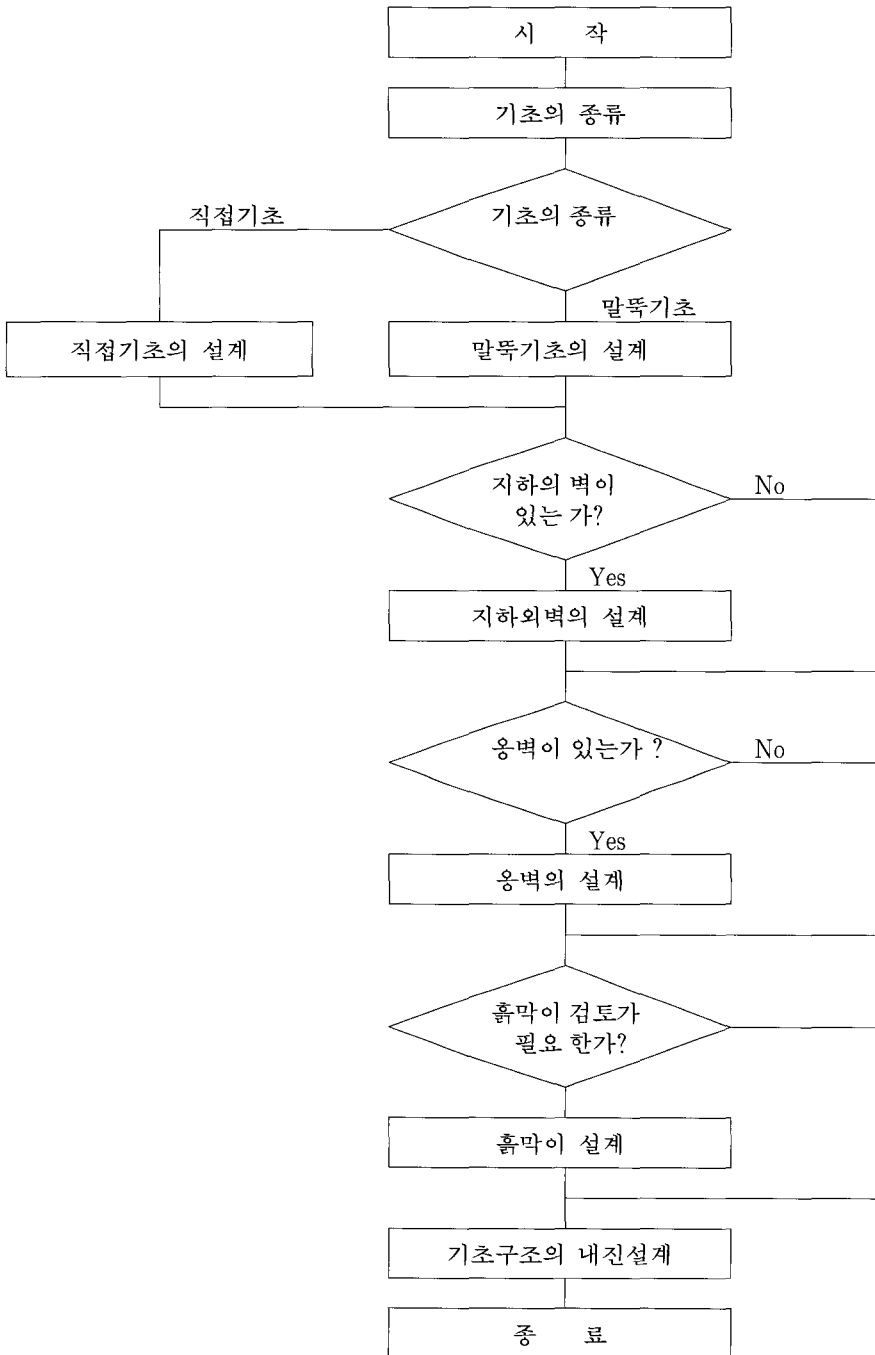


그림 2.4-2 건축물 기초구조 전반의 흐름설계

이 밖의 특수한 구조공법을 설계에 적용하거나 특수한 암반조건에서 시공을 수행하기 위해서는 각 공법에 따른 지질조사를 행해야 한다. 이 때, 특수한 공법이란 지반 앵커공법, 연속지중벽 공법,

지반 개량공법 등을 들 수 있으며, 특수한 암반조건으로는 연암지반, 지하수의 유출이 예상되는 암반, 액상화 또는 부마찰력의 우려가 있는 암반 등을 말한다.

일반적으로 건축물 기초굴착을 위한 지질조사는 개략사전조사, 사전조사, 본조사, 보충조사 등 4 단계로 나누어 실시하며 각 단계에서의 조사방법이나 고려사항은 다음과 같다.

가) 개략 사전조사

최근에는 각 관계기간에서 전국에 걸친 지질조사자료를 많이 간행하고 있으며 또한, 데이터베이스화도 발전하고 있어서 비교적 용이하게 입수할 수 있다. 다소 거시적인 정보가 될지 모르지만 지질조사를 착수하기 전에 이러한 자료를 조사하는 것이 좋다. 이러한 자료는 주로 공공기관이 정리한 것이 많지만 학회지나 전문기술지마다 토질, 지질지반의 특성 혹은 시공사례 등을 정리한 것을 활용하는 것이 좋다.

나) 사전조사

사전에 부지나 주변 상황, 인근 구조물 등에 대해서 조사를 실시하고 환경조건을 파악한다. 이 단계에서 지질에 관해서도 조사한다. 주변의 지형, 노출이 되어 있는 지반, 우물, 용수, 하천 등의 상황으로부터 대강의 지질상태를 알 수 있다. 이 조사결과를 전항에서 언급한 기존의 자료와 함께 복합적으로 판단한다.

다) 예상되는 암반 기초공학적 문제점의 추출

이러한 조사 결과와 건물의 설계조건을 합쳐 검토하고, 기초구조의 설계 및 시공상의 문제점을 예상하고 도출해 두는 것이 다음 항의 본 조사계획을 위해 반드시 고려되어야 할 사항이다.

라) 본 조사

본 조사계획은 예비적인 조사·검토의 결과 등을 참고로 해 입안한다. 대규모 건축, 특수한 건물(원자력설비 등)의 경우 혹은 특수한 지반조건이 있는 경우 등에는 동적시험, 원위치시험, 특수한 암반시험 등 필요에 따라 보다 상세한 시험, 조사항목을 추가한다.

마) 보충조사

본 조사결과에 근거하여 기초구조의 설계방침, 구조방식의 비교검토를 행하고 개략계획을 시도해 보지만 이 과정에서 지질조사자료가 불충분한 경우가 있다. 그 경우에는 보충조사를 수행한다.

나. 시추조사

암반 원 지반에서의 지층구성 파악은 토사지반에서 행해지고 있는 지질에 착안한 지층구분보다도 암의 상태에 착안한 암급구분대에 의한 방법이 일반적이고 또한 유효하다. 이 지층구성 파악은 단지 지지층의 확인에 그치지 않고 각 층의 지반 정수값의 설정 기준으로 하거나 또 설정값을 쓰는 데 있어서의 거시적인 구분대에 쓰거나 라는 중요한 역할을 가진다.

지층 구성을 파악하기 위한 조사로서는 다음과 같은 조사를 수행한다.

- ① 지표지질조사
- ② 시추조사(사운드링 포함)
- ③ 물리탐사

이 중에서 시추에 의한 조사가 가장 유효하다고 말할 수 있다. 다만 조사비가 높고 산지 사면에 있어서는 작업도 용이하지 않기 때문에 시추조사를 보충할 목적으로 현지답사에 의해 암반의 노두나 산사태지·황폐 계류 등의 지표면 지형의 관찰을 행하는 동시에 속도검층 등의 물리 탐사를 병용하는 것이 일반적이다.

이 때의 보링의 지점은 기초가 건설되는 위치에서의 최대 경사의 방향 즉 지형이 낮은 쪽으로 배치하는 것이 기본이다. 또 그 깊이는 기초의 지지층을 확인할 때까지 행하는 것이 원칙이고 상정되는 기초의 설치 깊이에서 지중의 응력의 전파 범위도 생각하고 지지층 확인 후 기초 폭 정도의 여유를 확보하는 것이 바람직하다.

이러한 결과에 대해 설계단계에서는 지반상황을 보다 간략화하기 위해 계다가 지층구분을 거시적으로 설정해 고치는 것이 많다. 이 거시적인 암반 구분대를 이용하여 각층의 지반 정수치를 설정하고 이것을 설계에 반영하는 것이 된다. 따라서 설계자가 이것을 수행 할 수 있도록 지층을 구분하고 분류할 수 있는 정보에 관해서도 기술하여야 한다.

다. 지반정수 값을 결정하기 위한 조사

기초 해석에 있어서 지반정수 결정을 위해 수행하여야 할 조사 항목들은 다음의 표 2.4-1과 표 2.4-2 및 표 2.4-3과 같다.

표 2.4-1 암석의 물리적 성질 시험

시험의 종류	시험 방법	구해지는 값
물리상수시험	비중, 투수, 함수량시험	비중, 공극률, 함수비, 투수계수
비파괴시험	초음파전달속도시험	동탄성계수, 동포아손비, 동체적탄성계수, 동전단탄성계수
안전성시험	동결융해시험	동결융해에 대한 안정성
	흡수안정성시험	흡수, 침수에 의한 안정성
흡수팽창시험	자동팽창, 구속팽창압시험	침수에 의한 팽창압, 팽창량
마모시험	마모시험	마모감량

표 2.4-2 암석에 대한 역학시험 종류

시험의 종류	시험방법	구해지는 값
압축시험	일축압축시험	일축압축시험 변형(탄성)계수 포아손비
	삼축압축시험	암석강도정수, 변형(탄성)계수 포아손비
인장시험	일축인장시험	인장강도
	압열인장시험	인장강도
	휨시험	인장강도
	비정형시료에 의한 압열인장시험	인장강도
전단시험	일면전단시험	전단강도 암석의 강도정수 C, Ψ
	이면전단시험	전단강도 암석의 강도정수 C, Ψ
반발경도시험	Shore 경도시험	Shore 경도
	Schmidt hammer 시험	반발계수
관입시험	corne 관입시험	관입저항
	밀어냄 경도시험	밀어냄 경도
충격시험	POK에 의한 강도시험	프로토타고노프 계수
	충격시험(낙추시험)	충격강도

표 2.4-3 이용 목적별 시험

목적	경암에 대한 시험	연암에 대한 시험	적용
암석의 강도 변형	일축압축, 삼축압축, 인장, 초음파, 쇼아경도, 충격시험	일축압축, 이축압축, 인장, 초음파, cone 관입 일면전단시험	암반구분 암반굴착법
마모 안정성	마모, 안정성, 물리적 성질 일축압축시험	안정성시험, 물리적성질, 일축압축시험	골재, fill재료 등의 품질판정
풍화팽창성	물리적 성질 흡수팽창 안정성시험	원쪽과 같음	설계자료

라. 원위치 암반시험

설계에 필요한 지반정수 값의 종류는 일반적인 암반의 역학특성을 포함하여 변형특성과 강도 특성으로 집약된다. 다만 경사 지반에서의 기초의 설계에 있어서는 특히 신중한 강도 평가가 요구된다.

더우기 암반의 원지반은 절리, 균열, 심(seam)등의 불연속면을 가지고, 이것에 단층이나 파쇄대를 포함하기 때문에 요소별 시험 결과는 원지반이 본래 보유하고 있는 특성을 반드시 재현할 수 없고또 크게 분산된다. 특히, 일반적인 교량기초와 같은 경우에는 각 교각위치에 대하여 충분한 량의 자료를 수집하기가 어려우므로 이것으로부터 정확한 지반 정수 값을 평가하기가 곤란하다.

이와 같은 상황에서의 주요 지반 정수의 추정 방법으로서는 다음에 적시한 4개 항목을 들 수 있다. 어떠한 방법을 사용하더라도 각 방법의 정밀도나 실험에 사용한 자료의 수가 적으므로 한 가지 자료만으로 적용한 지반 정수 값은 그 지역 암반의 특성을 나타내기에 충분하지 않다. 따라서, 조사에 의해 얻어진 암반층의 구성을 토대로, 거시적 규모의 암반 분류를 수행하고 그 것을 기준으로 하여 각 방법에서 얻은 추정 값을 토대로 종합적으로 판단하는 것이 필요하다.

- ① 원위치 암반 시험 결과의 이용
- ② 실내시험에서의 추정
- ③ 표준관입시험 결과에서의 추정
- ④ 기존 유사 성과에서의 추정

거시적으로 원지반의 상태를 평가할 수 있는 원위치 시험을 행해 지반 정수를 명백히 하는 것이 필요하다. 변형 특성에 관해서는 공내 재하시험이 직접적으로 원지반의 특성을 평가할 수 있는 것으로 인식되어 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 이것도 편암 등 절리가 우세한 암중에 대해서는 상당한 분산을 보이는 한계가 있다는 것을 인식해야 한다. 또한, 강도 특성에 관해서는 블록전단시험 등의 원위치 전단시험이나 평판재하시험을 사용한다.

실내시험을 통한 지반물성치의 추정에 있어서는 원위치 암반과 실내실험 결과의 차이를 고려하여야 한다.

균열을 포함하지 않은 신선한 암반의 변형·강도 특성에 저감 계수를 곱하고 원 지반으로서의 지반 정수 값을 구하는 방법이다. 실내시험을 행할 때에 가장 문제가 되는 것이 연암과 같은 균열성 암반에 대한 시료의 샘플링이다. 따라서, 샘플링을 정확히 수행하기 위해서는 흙탕물에 의한 코어의 유출을 막는 기포 보링이나 균열성 암반의 채취에 유효한 코어팩튜브(core pack tube)의 채용 등 특별한 배려가 필요하다.

또, 채취된 시료에 대해 시험을 행할 때에는 토사 지반에서의 조사와 같이, 대상으로 하는 기초의 완성 후의 상황을 반영한 배수조건 및 구속압을 사용하여야 한다. 특히 최대 구속압을 기준으로 지반 물성치를 설정하면, 기초가 완성된 이후의 암반 상황에서 고려할 수 없는 최대 응력 하의 전단 특성을 평가하는 것과 같은 효과를 나타내게 되므로, 경우에 따라서는 위험 측의 값으로 평가될 수 있으므로 충분한 주의가 필요하다. 아울러, 복수의 시료의 채취가 곤란한 경우에는 하나의 시료로 다단계의 강도를 측정할 수 있는 다단계 3축압축시험(MST)을 활용하면 표준 3축 압축시험과 유사한 결과를 얻을 수 있다.

또, 구조물의 규모, 암반의 상황에 따라서는 위의 조사방법을 적용하기 곤란한 경우도 있다. 이때 사용할 수 있는 방법은 암반분류에 의한 값을 기존의 연구 성과와 대응시켜 사용하는 방법이다. 이것은 시추조사 시의 코어의 육안관찰에 의한 암 판정 결과와 야외 지질조사에서 획득한

암반분류 및 지반 정수 값과의 관계를 준용해 값을 추정하는 방법이다. 그러나 이 방법은 동일한 암종과 동일한 암반분류 값에서도 지반의 물성치의 분산이 상당히 크게 보고 되고 있는 점을 감안하면 단지 이 방법만을 이용하여 지반 물성치를 결정하는 것은 바람직하지 않다.

마. 조사밀도

조사밀도를 높일수록 암반의 상태를 상세히 파악할 수 있고, 안전성의 증대는 물론 시공시의 불확실성을 감소시킬 수 있지만 경제적인 문제를 고려하지 않을 수 없다. 따라서, 기초의 대상이 되는 구조물의 크기, 중요도, 지형, 기타 조건 등을 고려하여 조사 밀도를 결정하여야 한다. 구조물 기초에 대한 시추계획은 1.4장 시추조사에서 제시한 바 있다. 그러나, 평야지역의 토사 지반에 비해 복잡한 형태를 가지는 경사지반에서는 평야지역과 같은 정도의 정밀도를 확보하기 위해 보다 많은 층의 조사가 필요하다. 다음의 표 2.4-4는 일본도로공단에서 사용하는 조사밀도의 일례이다.

표 2.4-4 암반기초 지역의 조사밀도(일본 도로공단)

기초형식 지형·지질조건		직접 기초	말뚝 기초	케이슨 기초	강널판 기초	깊은 기초	적요
저지·대지	기반평탄	A	A~B	A	A	A	기호범례 A : 한 지역에서 1점 이상 B : 한 지역에서 2점 이상 C : 한 지역에서 4점 이상
	기반경사	B~C	B	B~C	B	B	
구릉지	기반평탄	A	A~B	A		A	
	기반경사	B~C	B	B~C		B	
산악지	지질단조	B	B			B	
	지질복잡	C	B			C	

바. 보충 조사(시공 단계의 조사)

설계단계에서 지반조사에 근거해 산정한 암반 상황이 실제로 적용되는 경우는 드물고, 오히려 조사와 실제에 차이가 나는 경우가 더 많다. 특히 경사 지반에서는 세밀한 조사에도 불구하고 평지에서의 결과에 비해 그 차이가 더욱 크다. 따라서, 실제 암반과 원 설계에서의 설정 값과의 비교를 통해 이미 설계되어 있는 기초의 안전성을 평가하고 필요에 따라 설계 변경을 수행하여야 한다. 예를 들면, 치환 footing형의 직접 기초이면 치환 콘크리트량을 늘리거나 또는 깊은 기초의 경우에는 말뚝길이를 연장하는 등의 설계 변경이 수행되어야 한다. 이와 같은 변경진행 과정은 다음의 3단계를 거쳐서 수행되는 것이 일반적이다.

- ① 실제 지반의 간이 평가 및 설계에서 산정한 지반과의 차이점을 평가하고
- ② 설계시에 예상한 지반과의 차이점에 따른 변경 설계의 필요성을 판단한 후
- ③ 변경이 필요한 경우, 구체적인 대처방법을 선정한다.

실제 시공 단계에서는 ①의 과정을 수행하는 것만으로도 실제 시점의 조사 결과와 비교하여 그

차이점을 판단할 수 있다. 그러나, 현장에서의 시공 관리상황은 각자의 ., 관에 따라 다를 수 있기 때문에 각기 다른 현장에서 일률적인 판단을 내리기 어렵다. 또한, ②와 ③의 과정에서 필요한 구체적인 지반 정수 값을 얻기가 매우 어렵다.

2.4.2 추정 지내력

암반이 심하게 부서지거나 미끄럼 활동을 일으킬 우려가 있는 정도의 느슨한 상태에 있을 경우를 제외하면 다공질의 석회암, 화산암 또는 일부 세일을 제외한 대부분의 암반 강도는 기초 콘크리트의 압축강도보다 더 크다.

암반 기초의 지지력을 확인하기 위해서는 우선 암석의 강도를 확인하는 것이다. 침하가 지지력보다 더 중요하게 적용되는 현장에서는 변형계수와 포아슨 비(poisson ratio)를 결정하여야 한다.

수치 해석을 통한 방법 중 유한 요소법은 균열이 없는 암반의 해석에는 적당하지만, 암반에 균열이 많거나 다양한 분리면을 포함할 경우에는 연속체 해석을 수행하는 것이 무의미한 경우가 많다.

암반의 허용지지력은 동일한 종류의 암반일지라도 산출상태, 절리면의 발달 상황, 풍화정도 등에 따라 각기 다르게 측정된다. 일반적으로 균열이 없는 암석의 일축 압축강도 값에 안전율(F.S)을 적용시키는 방법을 사용할 수 있다. 이때, 안전율의 범위는 R.Q.D 값에 따라 다소 달라진다. 보통 75% 이하의 R.Q.D 값을 보이는 암석에 대해서는 6 ~ 10을 적용한다.

다른 방법으로는 Stagg와 Zienkiewicz가 제안한 다음 식을 이용하여 Terzaghi의 지지력 공식을 적용할 수 있다. 이 때, 형상계수는 Terzaghi의 값을 사용한다.

$$N_q = \tan^6 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$N_c = 5 \tan^4 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$N_r = N_q + 1$$

1. 균열이 있는 연약암반의 지지력

절리면이 개방되어 있고 절리간격이 기초 폭보다 작을 때는 암석기둥의 일축압축에 의해 파괴가 발생한다. 따라서, 점착력과 마찰력을 이용한 Mohr-Coulmb의 파괴 기준에 의해 암반의 극한지지력을 추정하면 다음과 같다.

$$q_{ult} = q_u = q_c = 2 C \cdot \tan \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

균열간격이 밀집된 연약한 암반의 지지력은 토질역학에서 사용하는 해석 방법과 유사하게 적용할 수 있다.

기초하부에 발달된 두 암괴 A, B중에서 A를 주동암괴라하고 B를 수동 암괴라 하자. 이들 암괴는 3축 압축상태에 있는 것으로 해석되며 암반의 자중을 무시하면 A영역의 최대 주응력 σ_{1A} 는

기초하중 q 와 동일하다. B영역은 수평응력이 최대 주응력이 되고, 최소주응력은 0이 된다. A영역의 최소주응력 σ_{3A} 는 B영역의 최대주응력 σ_{1B} 와 같게 된다. A영역의 최대주응력 σ_{1A} 는 Hoek-Brown의 균열암의 파괴기준에 의해 다음 식으로 주어진다.

$$\sigma_{1A} = S^{1/2} \sigma_c \left[1 + (m S^{-1/2} + 1)^{1/2} \right]$$

또한, 허용지지력은

$$q_a = \frac{C_{f1} S^{1/2} \sigma_c \left[1 + (m S^{1/2} + 1)^{1/2} \right]}{F_s} \text{ 이 된다.}$$

이때, C_1 은 기초 형상에 따른 보정계수이며, F_s 는 안전율을 나타낸다.

표 2.4-5 허용지지력 계산을 위한 형상계수 및 안전율

기 초 형 상	C_{f1}	C_{f2}
띠(L/B > 6)	1.0	1.0
구 형		
L/B = 2	1.12	0.9
L/B = 5	1.05	0.95
방 형	1.25	0.85
원 형	1.2	0.7

2. 연암 및 풍화암의 지지력

균열이 적은 연암이나 절리간격이 기초 폭보다 작을 때는 전단파괴가 발생되며, 평면변형을 상태로 해석을 수행한다. 이 때의 허용지지력은 벨(Bell)의 해에 의해 다음과 같이 구한다.

$$q_a = \frac{C_{f1} cN_c + C_{f2} \frac{B_r}{2} N_r + \gamma DN_a}{F}$$

기초 폭보다 절리 간격이 넓을 때는 기초하부에 인장파괴가 발생된다. 이 파괴현상은 최종적으로 전단파괴를 유도한다. 수평응력이 작용하지 않는다고 할 때 개방 절리가 있는 암반의 허용지지력은 다음 식과 같다.

$$q_a = \sigma_c \left\{ \frac{1}{N_\phi - 1} \left[N_\phi \left(\frac{S}{B} \right)^{N_\phi - 1 / N_\phi} - 1 \right] \right\}$$

3. 경사진 성층암반의 지지력

암반이 이러한 쉘기를 형성하는 일련의 절리를 포함한다면 기초의 지지력은 다음의 두 가지 이유 때문에 크게 줄어들 수 있다. 첫째, 쉘기의 모양은 절리의 방향에 의해서 좌우되어 그 크기와 표면적에 한계가 있게 된다. 둘째, 절리의 강도는 보통 암반의 강도보다는 그리 크지 않다. 절리군이 지표면과 경사되어 있는 경우 주동쉘기 부분에 수평으로 작용하는 최소 주응력 σ_{3A} 는 다음과 같다.

$$\sigma_{3A} = \left(\frac{\gamma B}{2 \tan \psi_1} \right) N_{\phi 2} + \left(\frac{C_2}{\tan \phi_2} \right) (N_{\phi 2} - 1)$$

이 식으로부터 허용지지력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_a = \left[\sigma_{3A} N_{\phi 1} + \left(\frac{C_1}{\tan \phi_1} \right) (N_{\phi 1} - 1) \right]$$

기초 주위의 암반표면이 상재하중 q_s 를 받고 있다면 기초가 지반 속으로 밀리게 된 경우로 볼 수 있으므로 지지력은 수동쉘기에 의한 구속압력으로 인해 크게 증가한다.

4. 성층암반의 지지력

2종류의 암석이 성층을 이루고 있을 경우 기초암반의 파괴형태는 크게 3가지로 대별된다. 강하지만 두께가 얇은 암석층이 두꺼운 압축성 연암지층위에 놓이게 되면 상부암석층의 기초가 관입하게 되고 좌굴 또는 만곡파괴 된다. 상층의 파괴형태는 각 층의 암반 물성치와 기초폭(B)에 대한 성층두께(H)의 비에 따라 달라 질 것이다. 만약 H/B가 낮고 아래층이 풍화된 암반층과 같이 압축성이라면 관입파괴가 일어날 것이다. 그러나 아래층이 점토나 연약한 세일 층과 같은 소성이고 비압축성이라면 성층은 좌굴파괴를 일으킬 것이다. 그리고 H/B의 비가 높고 하부층이 압축성일 경우에는 상층은 굴곡에 의해서 파괴될 것이다. 하중 Q가 작용하고 있는 원형 슬래브의 아래쪽 면의 중심부에서의 인장응력 σ_t 는 다음과 같다.

$$\sigma_t = \frac{6M}{H^2}$$

이때, M 은 슬래브 중앙에서 발생하는 최대 모멘트이다.

모멘트에 관한 식은

$$M = \frac{Q}{4\pi} \left[(1 + \nu) \log_e \left(\frac{r}{r_0} \right) + 1 \right]$$

여기서, r : 하중을 지지하는 원형 슬래브의 반경, H : 슬래브의 두께, ν : 암석의 포아손비를 나타내며, r_0 는 B 와 H 의 상대적인 관계에 따라 달라진다. 즉, $b > H$ 일 경우 $r_0 = \frac{B}{2}$, $b < H$ 인

경우에는 $r_0 = \left[1.6 \left(\frac{B}{2} \right)^2 + h^2 \right]^{\frac{1}{2}} - 0.675 H$ 가 된다.

5. 구조물에 따른 기초의 지지력 검토

댐이나 대형교량의 교각과 같은 구조물은 양호한 지지암반에 직접 설치하는 것이 원칙이다. 암반을 기초지반으로 하는 기초형식으로서 대표적인 것은 직접기초이다. 이와 같은 기초에서는 지지력, 활동, 전도, 변위 등에 대한 안전성을 검토하여야 한다. 이 때 기초저면에 작용하는 힘의 균형으로부터 구할 수 있는 극한하중에 기초하여 안정계산을 실시하고, 지지력은 항복하중이나 극한 지지력을 활용하여 구하여야 한다. 또한 변위량에 관해서는 수치해석적 기법을 활용하여 구조물에 대한 허용침하를 고려한 지지력을 구하여야 한다.

가. 교량기초

교대나 교각 등 교량 기초로서는 여러 가지 형식이 있지만 암반 위에 놓이게 되는 직접기초에 대해서는 다음과 같이 지지력을 계산한다. 이 때, 기초저면의 반력은 직선적으로 분포하고 있다고 가정하고 계산을 수행한다.

① 전 하중의 작용위치가 기초저면의 핵 안에 있는 경우(사다리꼴 분포)

$$q_{\max, \min} = \frac{V}{LB} \pm \frac{6 M_B}{L B^2} = \frac{V}{LB} \pm \frac{6 V e}{L B^2}$$

② 전 하중 작용위치가 기초저면의 핵 외에 있는 경우(삼각형 분포)

$$q_{\max} = \frac{2V}{Lx} = \frac{2V}{3(B/2 - e)L}$$

위 식에서 V 는 기초저면에 작용하는 연직하중(tf), M_B 는 기초저면 도심에 작용하는 모멘트($tf \cdot m$), e 는 하중 편심거리(m), x 는 저면 반력 작용 넓이(m), B 와 L 은 각각 기초의 넓이와 길이(m)를 의미한다. 이때, 구조물에 작용하는 전 하중의 작용위치에 따라서 기초저면의 부상이 발생할 수 있다.

구조물 중요도가 높지 않은 경우에는 일반적으로 계산된 최대지반반력도 q_{max} 가 표 2.4-5에 제시한 기초지반의 허용지지력 이내에 있으면 안정하다고 판단할 수 있다.

한편 중요도가 높은 구조물에 있어서는 하중의 편심, 경사, 기초의 크기를 고려하여 지지력을 구하고 안정성을 검토하여야 한다. 이 경우의 계산방법에는 Caquot와 Kerisel, Meyerhof 등에 제시된 식을 이용한다.

실제 교량기초로 사용되는 암반은 지표에 가까운 부분에 분포하기 때문에 절리나 층리와 같은 분리면이 발달하고, 또한 대기와 물의 영향에 의하여 풍화-변질이 심한 경우가 많다. 이와 같이 지표에 가까운 암반에 대한 지지력을 이용하여 기초의 안정성을 검토해야 할 경우에는 토질역학적인 방법을 이용하여 해석한다.

표 2.4-6 기초암반의 허용 지지력도

기초지반 종류		상시 (tf/m ²)	지진시 (tf/m ²)	목표로 한 값	
				N값	일축압축강도 (kgf/cm ²)
암 반	단열이 적은 균일한 경암	100	150	-	100이상
	단열이 많은 경암	60	90	-	100이상
	연암 · silt암	30	45	-	10이상
사력층	조밀한 것	60	90	-	-
	조밀하지 않는것	30	45	-	-

나. 기타 구조물 기초

화력 또는 원자력 발전소 등에 적용하는 기초에 대해서는 특히, 수평지진하중을 고려하여야 한다. 그러나, 이들 구조물이 건설되는 지반이 반드시 균질하고 강도가 높은 양질암반일 경우만 있는 것이 아니라 수많은 절리군이나 점토층을 포함하기도 하고, 때로는 단층 파쇄대를 대상으로 할 경우도 고려하여야 한다. 이와 같은 경우에는 구조물기초가 위치하는 암반의 지지력이나 미끄러짐에 대한 안정도의 저하뿐만 아니라, 연약층을 포함한 암반내에서의 파괴에 대한 안전도 검토가 필요하다. 따라서 기초 암반의 응력상태 뿐만 아니라 주변 광역지역의 암반내 응력이나 변형 상태 또는 파괴발생 가능영역의 위치를 추정할 필요가 있다. 이러한 경우에는 유한요소법 등을 이용한 수치해석을 수행하여 기초지반의 지지력을 평가하는 것이 보다 유효한 방법이 된다.

2.4.3 기초해석 해설

직접 기초는 지반을 비교적 얇고 넓게 굴착하고 푸팅(footing)을 구축하는 기초로서 하중을 직접 양질의 지지층에 전하는 얇은 강체기초로 정의된다. 직접 기초는 기초의 근입이 얇기 때문에 연직 하중 및 전도 모멘트에 대해서는 기초 저면 지반의 연직 지반반력에 의해 저항시키고 수평 하중에 대해서는 주로 기초 저면의 전단지반반력에 의해 저항시키고 있다. 따라서 직접 기초는 양질의 지지층에 직접 지지시키는 것이 원칙이다.

양질의 지지층은 충분한 강도와 두께를 가질 필요가 있다. 이러한 기준은 구조물의 중요도나 기초에 작용하는 하중의 규모 등에 따라 다르고 일률적으로 정할 수는 없다.

따라서, 직접 기초는 근입이 얇기 때문에 상기의 지지층의 선정에 다음 사항을 고려해 근입 깊이를 정해야 한다.

- ① 세굴 및 하상 저하
- ② 동결융해 등 기상 변화의 영향을 받는 깊이
- ③ 지하 매설물 및 인접 구조물과의 관계
- ④ 시공 구역의 토지 이용 계획에 대한 배려

직접 기초는 지반조건이나 외적 조건 등이 허락하면 가장 확실하고 경제적인 기초 형식이라고 말할 수 있다. 일반적으로 다음 조건의 경우가 유리하다고 말할 수 있다.

- ① 깊이가 5~6m 이내에 양질의 지지층이 있는 것.
- ② 시행 중, 지하수 등의 물의 처리가 용이한 것(단, 수중공사의 경우를 제외한다).
- ③ 세굴의 우려가 없는지 또는 그 대책이 가능한 것.

1. 기초 검토

가. 활동에 대한 검토

암반위에 놓인 기초에 있어서 기초의 불안정성은 지지력의 부족이나 과도한 침하량에 의한 것보다는 오히려 암괴의 활동에 의한 것이 더 많다. 파괴면의 경사가 미끄러지는 면의 경사보다 급해서 절리가 절개면에 노출되지 않거나, 파괴면의 경사각이 활동면의 마찰각보다 작다면 기초는 안정할 것이다. 그러나, 경사가 내부마찰각보다 완만하더라도 기초에 작용하는 지하수의 압력이나 경사하중, 지진의 영향 등에 의해서 평면파괴가 일어날 수 있다.

암반사면 위에 수평면과 θ 의 각도로 기울어진 경사하중 Q 가 작용하고 있는 때 기초가 있을 때 암반 내에 많은 절리들이 존재한다면 이 면상의 전단파괴를 유발하는 평면블럭이 형성된다. 이러한 암괴의 안정해석은 미끄러지는 면에 평행하게 작용하는 두 힘, 즉, 파괴에 저항하는 저항력 F_r 과 활동력 F_d 의 상대적인 크기에 의해서 해석할 수 있다. 즉 이러한 두 힘의 비에 의해 안전율 F_s 를 계산할 수 있다.

$$F_s = \frac{f_r}{f_d}$$

힘의 성분들을 2개의 요소로 나누기 위해서 사용되는 부호규약은 다음과 같다.

활동면에 작용하는 압축력을 증가시키는 힘을 양의 수직응력으로 활동면을 따라 아래로 작용하는 힘을 양의 전단응력으로 규정한다. 힘의 성분들을 수직응력과 전단응력으로 분해하는 방법은 다음과 같다. 첫 번째 단계는 아래의 조건에 부합하는 기초와 작용하는 하중을 그림으로 나타내는 것이다. 이를 자유물체도(free body diagram)라 한다.

① 미끄러지는 면은 왼쪽에서 오른쪽으로 경사지게 그린다.

② 힘이 작용하는 방향은 수평축을 기준으로 시계방향으로 측정된 각도에 의해서 결정된다. 이러한 규약을 사용하여 작용하중 Q에 의한 수직력과 전단력은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\text{수직력} : N_Q = Q \sin (\psi_Q - \psi_p)$$

$$\text{전단력} : S_Q = Q \cos (\psi_Q - \psi_p)$$

여기서, ψ_p 는 활동면의 경사이다. 이러한 절차는 활동면의 전단강도인 저항력 f_r 을 계산하기 위해 그림에 주어진 조건을 적용 할 수 있다. Mohr-Coulmb이론에 의해서 활동면에 작용하는 전단응력은 다음과 같다.

$$\tau = C + \frac{N_Q}{A} \tan \psi \quad \text{또는,} \quad f_r = CA + \sum N \tan \psi$$

$\sum N$ 는 압괴무게와 기초무게의 양의 수직성분의 합이고 압괴의 무게 W는 압괴의 횡단면적과 암의 단위중량으로부터 결정할 수 있다.

이 면에 작용하는 총 수직으로 작용하는 힘은 다음과 같다.

$$\sum N = W \sin (90^\circ - \psi_p) + Q \sin (\psi_Q - \psi_p)$$

W기초의 단위길이당 힘, 또는 총무게이다. 활동력 fd는 파괴면에 평행하게 작용하는 모든 힘성분들의 합이다. 그림 7-28과 같은 경우에 Q의 전단성분은 파괴면을 따라 윗방향으로 작용하며 음(-)인 반면에 W의 전단성분은 아랫방향으로 작용하며 양(+)이다.

총활동력은 다음식으로 주어진다.

$$f_d = \sum S = W \cos (90^\circ - \psi_p) + Q \cos (\psi_Q - \psi_p)$$

여기서 수직으로 놓인 기초에 작용하는 하중에 경우에 ($\psi_Q = 90^\circ$), 다른 외부하중이 작용하지 않고 점착력이 0이라면 안전율은 다음 식과 같다.

$$F_s = \frac{\tan \psi}{\tan \psi_p}$$

즉, 활동면의 경사각이 이 면의 마찰각과 같을 때는 한계안정상태이다. 기초의 단위길이당 계산을 한다면 작용하는 모든 힘들은 M.m(kg · m/m)로 표현된다. 확대기초의 경우에는 안정해석 시

footing길이보다 더 긴 기초의 길이를 선택할 필요가 있다. 적당한 해석을 위한 기초의 길이는 활동압괴의 측면을 형성하는 정리의 간격에 의존할 것이고 무게는 압괴의 횡단면적과 그 길이, 암반 단위중량으로부터 계산 될 수 있다.

저항력과 활동력을 결정하기 위해 힘 성분들을 분해함으로써 압괴의 안전율을 계산하는 원리는 그림에서와 같이 더욱 복잡한 조건으로 까지 확대될 수 있다. 이 해석에서 고려할 수 있는 힘의 종류는 다음과 같다.

① 기초하중 : 각 하중은 사하중과 활하중의 벡터합과 바람, 물, 얼음, 지진과 같은 구조물에 작용하는 외부의 수평하중들이다.

② 수압 : 양압력 U는 잠재적 활동면상에 작용하는 반면 추력(thrust force)V는 인장균열 내에서 작용한다.

이들 두 힘은 불연속면의 직각 방향으로 작용한다.

$$U = \frac{Ah_w \gamma_w}{2}$$

$$V = \frac{h_w^2 L \gamma_w}{2 \cos \psi_v}$$

나. 전도에 대한 검토

그림에서와 같이 단일 압괴 또는 여러 압괴가 발달되어 있고 절리의 경사가 법면방향으로 놓여 있을 때 안정, 활동, 전도의 3가지 형태의 운동을 나타낸다. 파괴형태상 압괴의 크기에 따라 절리 면의 전단강도, 정수, 절리면에 작용하는 외력에 따라 달라진다.

전도에 대한안전도는 다음 식에 의해 평가한다.

$$M \leq \frac{M_R}{F_M}$$

여기에서, M : 외력(하중)에 의한 전도 모멘트(t·m)

MR : 기초저면에서의 지반 내력에 의한 저항 모멘트(t·m)

FM : 전도에 대한 안전율 (상시 3, 지진시 2정도 필요하다.)

다. 변위에 대한 검토

직접기초의 변위는 그 원인에 따라 탄성적으로 즉시 변형에 의한 것과 압밀이나 크리프 변형 등 경시적인 것으로 나뉜다. 이 중에서 압밀 침하량의 산정에 있어서 1차원 압밀로서 산정하고 있는 경우가 많다. 한편, 지반을 완전 탄성체라 간주할 수 있는 경우에는 등분포 하중에 의한 연직 변위량은 이론적으로 유도된다. 그렇지만 지반은 완전 탄성체는 아니기 때문에 설계에 있어서는 다음 식으로 정의되는 지반반력계수에 의해 변위량을 계산하는 것으로 하고 있다.

$$k = \frac{p}{\delta}$$

여기서, k : 지반반력계수(kg/cm³)

p : 단위면적당 지반반력(kg/cm²)

δ : 변위량(cm)

지반의 침하 특성은 지반반력계수에 의해 모형화되고 있는데 지반은 탄성체는 아니고 또 깊이 방향으로 멀도나 압축성이 변화하기 때문에 지반반력 ~ 변위량 곡선은 그림 3.2.6과 같은 비선형성을 나타낸다. 따라서 지반반력계수는 변위량과 함께 변화하지만 설계에서는 착안하는 변위량에 있어서의 활선경사로서 정의되고 있다.

라. 즉시 침하량 산정

비교적 심부에 부존하는 지층에서의 침하량은 다음식으로 표시된다.

$$\delta_v = \frac{C_d q B (1 - \nu^2)}{E}$$

사암, 세일, 편암과 같은 탄성이고 횡방향으로 등방성인 암반에서 압축성 암층이 존재하지 않는 균질한 암반위의 기초침하량 산정은 Gerrard와 Harrison(1970), Kulhawy(1978)와 Goodman(1980)에 의해 제안된 식을 사용하여 계산할 수 있다.

이 식들은 수직으로 하중이 작용하고 있는 원형의 횡방향 등방성 암반표면의 수직침하량을 구하기 위해 사용될 수 있다. 이 식들을 만족하기 위해 필요한 암반의 물성치는 수직, 수평변형계수 (E_z 와 E_h), 수직, 수평평면사이의 전단탄성계수(G_{zh}), 포아손비이다. 적용되는 포아손비는 다음과 같다.

- ① ν_{hh} : 수평변형률에 대한 수평응력의 포아손비
- ② ν_{hz} : 수직변형률에 대한 수평응력의 포아손비
- ③ ν_{zh} : 수평변형률에 대한 수직응력의 포아손비

침하량 δ_z 에 관한 식은 β^2 값에 따라 3가지로 나뉘는데 이 때 β^2 은 암반의 물성치에 의해 달라진다.

$$\beta^2 = \frac{ad - C^2 - 2cG_{zh} - 2G_{zh} (ad)^{\frac{1}{2}}}{4G_{zh}d}$$

$$e^2 = \frac{ad - C^2 - 2cG_{zh} + 2G_{zh} (ad)^{\frac{1}{2}}}{4G_{zh}d}$$

정사각형이나 직사각형 기초의 경우에 등가반경 r 은 기초의 폭이 B 일 때 $B/\pi^{0.5}$ 이 된다. 다음의 두 식은 암반모델의 변형계수와 전단탄성계수, 포아손비는 균질암의 탄성특성과 절

리간격, 수직강성도 및 전단강성도로부터 계산할 수 있다.

암반의 탄성정수에 대한 식은 다음과 같으며, 이 식에서 사용되고 있는 변수들은 균질암의 탄성 특성을 나타낸다.

$$\frac{1}{E_i} = \frac{1}{E_j} + \frac{1}{S_i K_{mi}}$$

$$G_r = \frac{E_r}{2(1 + \nu_r)}$$

2. 연약암반 개량방법

암반구조물의 기초처리는 구조물 기초 암반의 결함에 대처하기 위하여 실시되는 개량공법이며, 최근에 와서 양호한 암반조건을 가진 건설지역이 부족해지고 있는 상황에서 구조물의 안정성 확보를 위해 반드시 검토되어야 할 사항이다.

과거 토목·암반구조물에 있어서는 기초 암반이 불량한 것으로 인해 사고발생 예가 극히 많다. 사고의 예를 원인별로 구분하면 다음과 같다.

- ① 단층 등 취약층의 활동 또는 유출에 의한 파괴 : Maplasset dam(프랑스), Tigra dam(인도)
- ② 단층 등과 같은 취약층 주변의 부등변위에 의한 댐 본체의 사고 : Cushman No.2 dam(미국)
- ③ 양압력의 억제 불량에 의한 파괴 : Habra dam(알제리), Bousey dam(프랑스)
- ④ 암착부기초공의 설계 불량에 의한 파괴 : Gleno 댐(이탈리아)
- ⑤ 연약지반의 piping 또는 세굴에 의한 파괴 : St. Francis dam, Teton dam(미국)
- ⑥ 저수에 따르는 댐 주변의 암반붕락 : Vajoint dam(이탈리아)

이들 사고의 대부분은 암반 개량공법을 정확히 실시하였다면 미연에 방지할 수 있었을 것으로 판단된다. 따라서, 개략적인 암반구조물의 기초처리 방법을 살펴보면 다음과 같다.

- ① grouting을 통해 취약부를 고결하는 방법
- ② 취약부를 콘크리트로 치환하는 방법
- ③ 강재에 의하여 기초 암반을 보강하는 방법
- ④ 말뚝 기능에 의한 구조물의 힘을 지지층에 전달하는 방법
- ⑤ 콘크리트 구조물 등에 의하여 기초암반의 변위를 억제하는 방법
- ⑥ 쇼트크리트에 의해 굴착면을 밀봉하여 느슨함을 방지하는 방법
- ⑦ 강아치 지보공에 의하여 암반을 지지하는 방법

이들 중 ①, ②는 댐과 같은 대형암반구조물의 기초처리공법으로 또한, ⑥, ⑦은 터널·지하공동 등의 암반구조물의 암반처리공법으로써 일반적으로 적용되고 있는 방법이다.

가. 그라우팅 공법

그라우팅 공법은 기초 암반에 시추공을 천공하여 그 공내에 그라우트 액을 주입하여 암반내에 존재하는 절리나 틈과 같은 공극부를 충전함으로써 암반의 밀도를 높이고 암반의 역학적 특성과 투수성을 개량하는 공법이다. 종래부터 댐 기초 처리공법으로써 널리 사용되며, 현재까지 많은 시공실적을 올려 온 공법이다.

1) 그라우팅의 공법과 목적

그라우팅 처리는 기초암반의 역학적 성질(강도·변형성)의 개량 및 암반내 침투류의 억제를 목적으로 실시되지만, 그 공법에 의하여 주된 목적이 다르게 된다. 일반적인 그라우팅 공법은 목적·실시 개소별로 다음과 같다.

- ① consolidation grouting
- ② curtain grouting
- ③ blanket grouting
- ④ rim grouting
- ⑤ slash grouting
- ⑥ contact grouting

가) 압밀 그라우팅(Consolidation Grouting)

압밀 그라우팅은 중력식 또는 아치식 댐 등 콘크리트 댐의 기초암반을 개량하기 위하여 가장 널리 실시되고 있는 공법이다. 대상으로 되는 암반은 일반적으로 경질 암반이기 때문에 절리를 중심으로 하는 틈 공극을 그라우트로 충전함으로써 기초 전체를 고밀화·일체화·균질화시켜 암반의 변형성 및 강도를 개량하는 것을 주된 목적으로 한다. 또한, 암반 침투류 제어에도 효과적이며, 동수 경사가 가장 큰 부분인 댐 착암부에서 내하성·투수성을 동시에 개량하는 것을 도모하여 자주 실시되며, curtain grouting의 보조수단으로 사용되는 경우도 있다.

일반적으로 압밀 그라우팅이 실시되는 개소는 굴착 등에 의한 느슨함이 발생하고 있는댐 착암부이지만, 댐형식·규모에 의하여 하중 작용 방법이 다르기 때문에 그 시공범위는 다른 것이 보통이다. 중력 댐의 경우는 제체 기초전체에 걸쳐서 실시되지만, 특히 제체부터의 작용력이 큰 강 밀바닥 부분 및 절리·seam이 발달하고 있는 취약부분에 중점을 두고 실시된다. 한편, 아치 댐은 기초 암반에 작용하는 힘이 중력 댐의 경우와 같이 강 밀바닥 부분 중심이 아니라 접속부 전체에 걸치고 또한, 작용력 크기도 일반적으로 크기 때문에 그라우팅은 착암면 전 영역에서 꼼꼼히 실시되며 처리 심도도 중력 댐 경우와 비교해서 깊은 심도까지 실시되고 있다.

나) Curtain Grouting

저수 누설에 의한 댐 기초의 침투가 댐 및 기초에 있어서 양압력증대, 과도한 유속에 의한 암반내 불연속면 협재물의 분사현상(piping) 및 지하수위 상승에 의한 암반의 강도저하 등 댐 기초 암반의 안정성에 영향을 미친다. curtain grouting 은 댐 기초 암반 중에 그라우팅에 의한 연속된 grouting curtain을 형성함으로써 누설수의 침투경로를 길게 하고 침투류를 제어하는 것이며 상기

영향을 경감·억제하는 것을 목적으로 한다. 일반적으로 curtain grouting이 실시되는 개소는 댐 본체의 상류쪽 바로 아래 및 양쪽 날개부분에서 침투류의 통과가 가장 쉬운 부분이며, 상하류 방향에는 얇고 댐의 축방향에 대해서는 넓은 범위에 걸쳐 실시된다. 암반상태에 따라 복수열 grout curtain을 형성하는 것이 보통이다.

다) Blakket Grouting

fill dam에 있어서 차수 지역 착암부의 비교적 얇은 부분을 상하류 방향으로 광범위하게 개량함으로써 차수 지역의 기초 암반이 수밀성을 갖도록 하여 이 부분의 침투류를 제어하는 것을 목적으로 한다. 통상 나중에 실시되는 curtain grouting 효과를 높이는 것을 목적으로 하여 실시되는 것이다. fill dam에 있어서 차수 지역과 기초 접촉부는 가장 짧은 유선을 이루기 때문에 이 부근의 침투류를 제어하는 것은 침투류 억제에 있어서 극히 중요하다. 실시장소·실시방법에는 콘크리트 댐의 압밀 그라우팅에 상당하는 것이지만, 투수성 개량에 중점을 두는 의미로 다른 명칭이 사용된다.

라) Rim Grouting

rim grouting은 저수지부터의 누수를 억제하는 것을 목적으로 하여 댐 기초 이외의 암반에 실시하는 것이다. 마른 능선 접속부, 안부에 대하여 실시되는 경우가 많다. 처리방법은 curtain grouting에 준하는 것이며 유선에 대하여 수직방향으로 실시하는 것이 효과적이지만, 지형에 지배되기 쉬운 것이 실상이다.

마) Slah Grouting

기초암반 표층부에 균열이 많은 경우 또는 개구절리·단층·파쇄대 등이 존재하는 경우, 이들은 기초 그라우팅의 지장을 주기 때문에 적절한 방법으로 꼼꼼한 표층처리를 실시하는 것이 필요하며 통상, 이와 같은 경우는 slash grouting에 의한 표층처리가 실시된다. slash grouting은 균열이 많은 경우나 개구 절리가 발달하고 있어도 기초암반이 단단한 경우에 균열이나 절리의 크기·규모에 따라 모르타르, 시멘트 등의 주입재료 및 그 배합을 선정하여 대상 부분에 집어넣는가 하면 또는, 도포하는 것 등에 의하여 표층부분을 처리하는 방법이다. 이것에 의하여 뒤에 실시하는 그라우팅의 처리 효과를 높이는 것을 목적으로 하는 것이다.

바) Contact Grouting

아치댐 등에서는 공사 중에 댐 콘크리트를 최종 안정온도에 가까운 온도까지 냉각하지만, 그 때에 측면의 착암면 부근에서는 댐 제체와 암반에 간극이 발생하는 경우가 있다. 이와 같은 경우에 암반과 제체 콘크리트의 접촉부 공극을 메우는 것을 목적으로 하여 실시하는 공법 이다.

2) 시공방법

그라우팅은 예정심도까지의 주입을 한번으로 하는 방식과 여러 단계로 나누어 하는 방법이 있으며 전자를 일단식, 후자를 다단식이라고 한다.

일단식은 예정된 심도까지 전체 구멍 길이에 걸쳐서 시추를 실시하고, 일회로 한 구멍의 시공을 실시하는 것이며, 비교적 얇은 범위(5~7m)를 대상으로 하는 경우에 적용된다. 압밀그라우팅(consolidation grouting)과 blanket grouting에서는 이 방식을 취하는 것이 일반적이다.

다단식 그라우팅방식은 예정된 심도를 몇 단계로 분할해서 주입하는 것이며, 이 방식에서는 구멍 입구부터 바닥을 향해서 시공하는 방식(stage grouting방식)과 구멍 바닥에서 구멍입구를 향하여 시공하는 방식(packer grouting방식)이 있다. 이들 방식에는 각각 다음과 같은 장단점이 있다.

가) stage grouting방식

- ① 주입 종료구간에 패커를 장전하기 때문에 그라우트액이 패커부에서 누출되는 것이 적다.
- ② 취약한 암반이라도 그라우트가 고결된 후에 심부로 진행하기 때문에 붕괴 우려가 적다.
- ③ 경화한 그라우트의 재 굴착을 필요로 하므로 공사비가 높아진다.
- ④ 주입시 시추를 중지하기 때문에 공사기간이 길게 된다.

나) packer grouting방식

- ① 시추기 설치 후 계획 심도까지 연속해서 시추할 수 있기 때문에 공사기간을 단축할 수 있다.
- ② 패커를 한번 장전하면 그 후에는 stage를 끌어올리는 작업이기 때문에 일손을 줄일 수 있다.
- ③ 패커 윗 부분에서 그라우트액이 누출되는 암반에서는 패커를 끌어올리기가 불가능하다.

3) 그라우팅 주입방식

그라우트 액을 주입하는 경우에는 암반에 유해한 영향을 미치지 않도록 개량 대상으로 하는 범위에만 주입하는 것이 중요하다. 또한, 경제성을 고려하여 주입압력, 주입량, 그라우트 액의 농도를 적당히 조절할 필요가 있다.

그라우팅 주입방법에는 주입압력을 조절하는 방법과 주입량을 규제하는 방법이 있다. 최고 주입압력에 주안을 두는 방법은 종래부터 널리 사용된 방법이며, 암반상황에 유해한 영향을 미치지 않는 범위에 대해 최고 압력상태 하에서 단위시간당의 주입량을 조절하면서 서서히 배합을 바꾸고 단위 주입량이 규정이하로 되면, 그 단계의 주입을 종료하는 것이다.

주입량에 주안을 두는 방법은 주입압력에 제한을 가하지 않고 단위 주입량 또는 각 단계별 전체 주입량을 규제하면서 서서히 승압하는 방법이다. 단위 주입량은 일정 범위 내에서 조절하고 너무 많은 양이 주입된 경우에는 압력을 높이지 않고, 더 이상 주입이 되지 않으면 서서히 승압시켜 최고압력에 도달하도록 한다. 단위 주입량이 규정치 이내가 되면 그라우팅을 종료한다.

4) 주입효과에 영향을 미치는 요소

그라우팅 주입효과에 영향을 미치는 요소는 다음과 같다.

- ① 주입압력
- ② 그라우트 액의 농도
- ③ 주입 길이

④ 주입구의 간격, 배치

5) 주입압력

주입효과에 영향을 미치는 요소 중, 가장 영향이 큰 것은 주입압력이다. 즉, 주입압력을 상승시키면 주입량도 상승하지만, 한계압력에 도달하면 급격히 증가하는 현상도 인정된다. 주입량이 큰 경우 처리효과도 높다고 하면 가능한 큰 압력으로 그라우팅을 실시하는 것은 바람직하지만, 고압(특히 한계 압력 부근)주입에 의하여 기초압반을 과대변형 또는 파괴하는 것은 그라우팅의 본래 목적과 상반되는 것이며 또한, 불필요한 개소에 그라우트가 주입되는 것은 비경제적이다. 이와 같이 주입압력 결정에는 주의를 요하지만 현재까지는 다음과 같이 경험적으로 결정되는 경우가 많다.

- ① 암반 피복두께를 고려한다.
- ② 그라우트가 차수를 목적으로 할수록 고압으로 한다.
- ③ 루전(Lugeon) 시험에 의해 한계압력을 구하고 이것을 참고로 한다.
- ④ 그라우트 액의 농도를 진하게 한 경우는 연한 경우보다 압력을 올린다.

6) 그라우트 액의 농도

그라우트 배합을 선정함에 있어서 고려해야 할 것은 다음과 같다.

- ① 그라우트 점성
- ② 그라우트 강도
- ③ 블리eld(bleeding)

그라우트 농도가 높아지면 그 점성은 크게 되며 동일 압력하에서 연한 그라우트와 비교해서 단위 시간당 주입량은 감소한다. 한편, 연한 그라우트의 경우 그 점성은 작게 되며 주입은 용이하지만 진한 그라우트에 비교해서 동일한 시멘트 량을 압입하는데 시간이 많이 걸리고 또한, 충분한 압력을 가할 수 없는 경우에는 그라우트 강도가 저하된다.

일반적인 그라우팅에 있어서 모르타르의 점성은 농도가 $W/C = 10 \sim 1$ 의 범위를 사용하는 것이 일반적이다.

압밀 그라우팅(consolidation grouting)의 경우, 주입시간을 단축하는 것과 동시에 경화후의 그라우트강도를 높이는 것을 목적으로 하여, 주입 개시 때에는 진한 그라우트 액을 주입하고 그 후의 주입 상황에 따라 배합을 바꾸어 가는 것이 일반적이다. 또한, 커튼 그라우팅(curtain grouting)의 경우는 작은 틈에 그라우트가 들어가기 전에 주입구간 근방에서 그라우트에 의한 구멍 막힘이 발생하는 것을 우려해서 처음에 연한 배합의 것을 주입하는 경우가 많다.

7) 주입 stage 길이

암반 내에는 대소 가지각색의 틈이 존재하고 있으며 그들을 그라우팅 할 경우 각각 틈에 적합한 시멘트 입경, 그라우트 점성, 주입압력이 있을 것이다. 그러나 현실적으로 여러 종류의 틈이 동시

에 존재하고 있음에도 불구하고 그것을 동시에 주입할 수밖에 없는 경우가 많다. 일반적으로 암밀 그라우팅에서는 10m의 stage가 채택되는 경우가 많지만, 이 경우 투수성이 특히 높은 부분에 대해서는 stage 길이를 더욱더 짧게하여 확실한 개량을 기대할 수 있도록 배려한다.

8) 주입구의 간격과 배치

주입구의 간격은 지질조건에 따라 다른 것이 보통이다. 실제로는 중앙 내삽법이란 시공법을 취하며, 실제 현장에서 그라우팅을 실시하면서 그 지반에 가장 적합한 간격을 결정하여야 한다.

주입구의 배치는 그라우팅 방법에 따라 변경하여야 한다. 암밀 그라우팅의 경우 주입구 배치 방법은 정방형, 삼각형 등의 몇 가지 유형이 있다. 한편, curtain grouting은 단단한 암반에서는 기본적으로 일렬이 좋다고 생각되지만, 지질조건에 의하여 개량이 곤란한 경우 또한, 연안 기초처럼 얇은 막에 의한 차수성 효과가 의문시 되는 경우에는 복수 배치가 사용된다.

9) 그라우팅을 실시할 경우의 문제점

그라우트 액의 주입압력을 결정하는 경우에는 루전시험이나 주입시험에 의하여 최대 한계압력을 결정하고 그 값을 참고로 하여 주입 효율이 높은 값으로 결정하는 것이 보통이다. 또한, 그라우트 배합을 결정할 때에도 주입효율에 주안을 두고 실시되는 경우가 많다. 이와 같은 경우에는 충분한 양의 그라우트 액이 암반 내에 주입되기 때문에 일반적으로 높은 처리 효과가 기대된다. 그러나, 그 반면 주입 그라우트 침강속도에 비하여 유속이 매우 크기 때문에 예정 처리범위에서 그라우트가 충분히 잔류하지 못하는 것도 예측되며 또한, 불필요한 범위에 그라우트가 분산되어 경제성을 손상시키는 것도 예상된다. 따라서 효과적인 그라우팅을 실시하기 위해서는 암반내에서 그라우트 액의 유속을 정확히 평가해서 주입압력 제어에 도움이 되도록 할 필요가 있다고 생각된다.

또한, 경질 암반의 경우에는 특히 공극률이 낮기 때문에 걸보기 유속에 비교해서 실유속이 매우 높을 것으로 예상되므로 유의할 필요가 있다.

나. 암반 강제인장 보강법

암반 강제인장 보강법은 록 볼트나 PC 강재를 암반 내에 삽입하고 이것을 긴장함으로써 암반을 긴장시켜 그 역학적 성질을 개량하는 것이다. 이 공법은 NATM공법에 의한 터널 주변의 느슨한 영역의 개량이나 아치 댐 접합부의 개량 등에서 종래부터 널리 사용되고 있는 공법이지만, 특히 이들 중 PS공은 최근 대규모 공동 벽면의 보호공으로써 일반적으로 적용되고 있으며 많은 시공실적을 올리고 있다.

다. 콘크리트 치환공

콘크리트 치환공은 암반내의 취약부를 굴착해서 제거하고 그 부분을 콘크리트로 치환함으로써 암반을 개량하는 방법이며, 파쇄가 심한 단층·파쇄대나 응력 집중을 받고 취약한 층에 대해 실시한다. 일본에서는 댐 기초 암반 개량에 주로 사용되고 있다.

라. 쇼트크리트공

쇼트크리트공은 콘크리트를 굴착면에 뿔어붙임으로써 표면을 보호하는 것과 동시에 암반 붕괴를 방지하는 것이며, 주로 암반변형이 시작되기 전에 이것을 억제하는 것을 목적으로 하는 공법이다. 최근에는 터널 굴착후 신속히 실시되는 NATM공법의 일차지보나 도로절취사면 보호 등의 목적으로 널리 사용되고 있다.

마. 강아치 지보공

강아치 지보공은 강제아치를 터널 단면내에 설치하고 아치작용을 이용해서 암반변형이 시작하기 전에 이것을 방지하는 것이다. NATM터널에 있어서는 이 강아치지보공을 쇼트크리트내에 매설하고 암반과 일체화시킴으로써 아치효과를 높이는 고안이 실시된다.

2.4.4 굴착설계 암반조사

암반의 굴착의 가장 기본이 되는 것은 균열의 수를 증가시켜 암괴의 크기를 작게 변화시키는데 있다. 따라서, 굴착을 수행하기 위해서는 암반에 대하여 응력-변형을 관계에서 항복강도를 지나는 파괴 이후의 영역으로 유도하여야 한다. 그러나, 굴착이 완료되면 그 주변의 암반은 파괴 이전의 영역에 놓일 수 있도록 하여야 한다.

결론적으로 암반의 굴착은 파괴를 일으키는 경우와 파괴를 회피하는 경우와의 경계선상에 놓이는 2종의 목적으로 수행된다. 암반은 통상적으로 주기적인 간격으로 거대하고 급격한 압력을 야기하는 폭약 또는 느리며 연속적인 압력을 유도하는 기계적인 방법에 의해 굴착할 수 있다.

굴착 시에는 완전한 암반도 파괴가 되어야 하므로 그 암반의 물리-역학적 특성을 파악하는 것이 가장 중요하다. 그 중에서도 불연속면의 특성을 파악하는 것이 굴착의 안정성을 확보하기 위해 가장 중요한 요인이 된다.

왜냐하면, 불연속면이 발달되어 있는 암반의 경우에는 낮은 응력 수준에서 파괴에 도달할 수 있기 때문이다. 자연 상태의 불연속면은 굴착을 용이하게 하고, 굴착 이후 암석 부스러기의 제거를 용이하게 하는 경우가 많다.

1. 굴착 공법

가. 발파공

발파에 의한 굴착은 암반에 뚫은 작은 공내에 설치한 폭약의 폭발에 의해 이루어진다. 발파는 폭약 폭발에 의한 가스 압력이 매우 짧은 시간동안 공내에서 증가하여 음속상태로부터 방사되는 동적응력파에 의해 진행된다. 이 때, 공내에서는 폭약의 연속적인 작용에 의해 가스의 압력이 비교적 오랜 시간동안 유지된다. 그 결과 공 주변에 암축성의 파쇄나 자유면으로부터 인장파로 반사되는 압축파에 의해 야기되는 분리파쇄가 일어난다.

따라서, 인장응력파가 발달하기 위한 자유면이 존재하는 것이 발파를 성공시키기 위한 전제조건이 된다. 그러므로, 발파는 이미 존재하고 있는 면을 토대로 서서히 형성되는 것이므로 모든 자유면을 대상으로 하여 설계가 이루어진다.

일반적으로 암반의 인장강도는 압축강도보다 매우 작다. 그러므로 암석은 특별한 압축응력파에 견디지만, 동일한 강도로 반사되는 인장응력파에 의해서는 파괴가 일어날 수 있다.

또한, 폭파는 항상 진동을 동반하기 때문에 이 진동이 구조물에 미치는 영향도 고려하여야 한다.

나. 예비파쇄

예비파쇄는 주요 굴착부분에 대한 발파가 굴착의 경계를 넘어 주변 암반을 손상하지 않도록 미리 연속적으로 최종적인 굴착면을 조성하도록 하는 폭파 기술이다. 따라서, 예비파쇄는 비교적 짧은 간격으로 형성된 소구경의 시추공에 대해 발파를 통해 진행된다.

예비파쇄를 위한 발파를 성공하기 위해서는 다음의 사항에 유의하여야 한다.

- ① 시추공의 정확도 : 시추 공간의 평행을 유지
- ② 시추공의 크기 : 가급적 소구경으로 유지
- ③ 시추공의 간격 : 좁게 유지 ($L / D < 10$)
- ④ 폭약의 충격을 완화시킬 수 있을 것(폭약과 암반사이에 간극을 남겨 공기가 존재하게 한다)
- ⑤ 동시에 폭발 시킬 것

예비파쇄가 성공하면 통상 반으로 쪼개진 시추공이 형성된다. 이와 같은 예비파쇄기술은 특정한 목적을 달성하기 위해 암반공학상의 원리를 적용하는 경우이다. 이 예비파쇄의 목적은 주변 암반의 손상을 최소화 하면서 최적의 안전성을 갖춘 평활한 굴착면을 유지하는 것과 장기적인 보수관리를 경제적이고 용이하게 하기 위한 것이다.

예비파쇄시에는 시추공의 간격을 촘촘하게 유지하여야 하지만, 대부분의 경우 굴착대상 암반은 작게 파쇄되며 불균질한 경우가 많고 특히, 원위치 응력이 높은 암반에서는 매끄러운 평면을 만들기가 매우 어렵다.

깊은 심도의 지하에서는 암반이 최소 주응력에 대해 연직한 방향으로 쪼개지기 때문에 예비파쇄를 적용하기가 어렵다. 그러나, 일단 한번 굴착면이 형성되면 주응력중의 하나는 굴착면에 대해 연직하게 형성된다.

다. 기계 굴착

암반을 절삭하거나, 굴착하는 기계화 굴착으로 통상 다음과 같은 굴착방법을 적용한다.

- ① Drug Pick : 보통의 연암(암반이 괴상이거나 연마된 상태인 경우에는 보다 낮은 강도)을 굴착
- ② Disk Cutter or Button Cutter : 매우 단단한 암반의 굴착에 이용
- ③ Water Jet : 고압의 수압을 이용한 굴착 방법

2. 조사항목과 수량

가. 암석 및 현장 암반의 강도

암석과 현장암반의 강도시험을 위해서는 평판재하시험을 실시한다. 평판재하시험은 기초저면까지 굴착한 후 지반위에 재판을 놓고 유압재크로 하중을 가하면서 그때의 침하량을 다이얼 게이지로 측정하여 지반의 허용지내력을 판정하는 방법이다. 재하판의 두께 2cm이상의 철판으로 만들어졌으며 그 크기는 일반적으로 30cm×30cm의 정사각형이거나 지름이 30cm인 원형으로 되어 있다. 경우에 따라서는 45cm나 70cm의 것을 사용할 경우도 있다. 시험 구멍의 폭은 최소한 시험에 사용하는 재하판 폭의 4배가 되게 해야 한다.

시험 시 매회 하중은 1ton 이하 또는 예상 파괴하중의 1/5의 하중을 가하면서 5-30분 간격으로 침하량을 0.01mm까지 측정하여 침하속도가 0.01mm/15분 이하로 되면 침하가 끝난 것으로 보고 다음 단계의 하중을 가한다. 다음 단계의 하중을 가할 때 최대 총 하중은 극한지지력 또는 예상되

는 장기설계하중의 3배까지로 한다.

시험결과로서 하중-침하곡선을 그려서 곡선의 항복하중의 1/2 또는 파괴하중의 1/3 중에서 작은 것을 장기 허용지지력으로 하고 이값의 2배를 단기 허용지지력으로 추정한다.

현장재하시험 시 점토지반의 경우 극한지지력은 재하판의 크기에 영향을 받지 않으나 사질지반의 경우 지지력은 재하판 폭에 비례하여 증가한다.

순수한 점토인 경우 점토의 변형계수는 깊이에 대해서 일정하기 때문에 재하판의 폭이 커지면 응력이 미치는 범위가 커진다. 모래지반의 경우는 축압저항의 증대로 말미암아 깊이가 깊어 질수록 변형계수가 커지므로 이 두가지 작용이 서로 상쇄되어 재하판이 커지면 침하량이 약간 커지기는 하나 폭에 비례하여 커지지 않는다.

나. 불연속면

암반의 붕락 또는 붕괴를 유발할 가능성이 있는 불연속면에 대한 해석과 분리면의 추정에 사용되는 단일분포도에는 다음과 같은 항목을 기재한다.

- ① 지표부에서의 단열위치, 주향 및 경사, 개구량, 연속 상태
- ② 시추공 카메라 관찰 및 해석된 암반내부의 단열 위치, 주향 및 경사, 성상 (개구, 미세균열의 구분 등)
- ③ 시추주상 구분
- ④ 지중(시추코아에 의한) 단열밀도
- ⑤ 시추공 등의 위치
- ⑥ 시추 굴진 중의 이수 등의 누수위치 및 심도
- ⑦ 기타 필요한 항목

다. 지하수

지하수는 암반에 작용하는 부력을 검토하는데 있어서 중요한 정보이므로 꼭 기재해 두어야 한다. 조사범위 내에서 지하수위를 인지하지 못했다면 특별히 기재해 두어야 한다. 표현해야 할 내용이 많은 관계로 선 등의 구분에 주의를 기울여서 보기 쉬운 도면으로 작성해야 한다.

라. 불연속면과 굴착면의 관계

굴착에 의해 변형을 일으킨 법면은 그 불안정화의 정도에 따라서 안정검토결과를 바탕으로 하여 각종 보호공법 또는 대책공법이 시공되며, 동시에 조사를 겸한 각종 관측체제가 구축되는 경우가 많다. 또한 변형을 예측하여 사전 대책을 시공한 법면일 지라도 시공시의 안전관리 및 대책공법 설계의 타당성 및 도입력의 부족을 사전에 인지하기 위하여 각종 계측을 실시하는 경우도 많다. 이러한 정보화 시공이라고도 할 수 있는 시공법에 있어서 관측체제의 기본은 굴착전의 상정단면도에 의해 계획되지만, 암반사면의 붕괴기구는 지질구조에 있는 경우가 많으므로, 상세한 계획은 굴착면의 지질·암반상황의 조사와 병행하여 정비한다. 또한 관측결과를 관찰하면서 구배 및 굴착형상의 변경을 포함한 대책공법의 수정 등도 검토한다.

2.4.5 굴착설계용 암반분류

1. 분류요소

암반 분류는 지질 단면도를 바탕으로 하여 작성한다. 암 등급 구분은 암종, 단층 및 균열, 변질·풍화 등의 각 암반성상에 관하여 공학적 성질에 입각하여 종합적으로 판단한다. 특히 지하공동의 암반분류에 있어서는 삼차원적인 분포를 정확히 파악하여 표현해야 한다.

기재 항목으로는 암등급구분과 그 경계를 명시하고 암등급마다 모양이나 착색을 하여 알기 쉽게 정리한다.

투수도는 주로 시추공에서의 루전 테스트 결과를 바탕으로 루전 맵의 형태로 작성된다. 도면은 암등급 구분도와 같이 지질수직단면도 위에 작성하는 경우가 많고, 이렇게 함으로서 지질분포 및 지질구조와 투수성의 관련을 파악할 수 있게 된다.

암 분류요소는 다음의 표 2.4-7과 같다.

표 2.4-7 암반 분류를 위해 사용되는 조사항목

풍 회	1	풍화된 흔적이 전혀없음. 구성광물도 신선.	A	햄머로 강타하면 날카롭게 깨어짐. 특히 강함.	균열 간격	I	100cm 이상	경도	A	햄머로 강타하도 쉽게 깨어지지 않음.	균열 간격	I	100cm 이상
	2	일부광물이 약간 풍화되어 미세균열이 관찰되나 분리되어 있지는 않음.	B	햄머로 치면 가루와 함께 깨어짐. 강함.		II	40-100cm		B	햄머로 가볍게 치면 깨어지지 않음.		II	40-100cm
	3	일부 광물이 풍화 및 절리를 따라 분리되어 각력상으로 나타남.	C	햄머로 가볍게 치면 작게 부서짐. 약함		III	20-40cm		C	햄머로 가볍게 치면 쉽게 깨어짐. 그러나 작은 암편으로 깨어질지라도 암편은 견고한 경우도 있음.		III	20-40cm
	4	미풍화부분이 각력-원력상으로 풍화물 중에 포함되어 있음	D	약간 고결. 그러나 양손으로 분쇄되며, 햄머로 구멍을 뚫을수 있음.		IV	5-20cm		D	햄머로 가볍게 치면 함몰이 일어난. 양손으로 분쇄됨.		IV	5-20cm
	5	구성광물의 대부분이 풍화되어 이차광물로 변해 있음	E	분말상. 입상으로 햄머로 팔 수 있고, 손가락으로 분쇄됨.		V	5cm 미만		E	햄머의 정으로 쉽게 팔수 있고, 손가락으로 분쇄됨.		V	5cm 미만

2. 국내암석강도

현재와 같은 한반도의 모습은 백악기 말 내지 고제3기에 형성된 것으로 알려져 있다. 한반도의 지질은 선캄브리아기의 지층에서 신생대층에 이르기까지 매우 다양하게 분포한다. 이들 중 한반도의 기반을 이루는 선캄브리아기의 변성암류와 고생대 및 중생대의 심성암류는 여러 번에 걸친 지각변동과 백악기 이후에 일어난 융기와 삭박작용에 의하여 크게 노출되어 분포면적에 있어서 우리나라 지질의 반 이상을 차지하고 있다. 한반도의 북쪽에는 선캄브리아기의 변성암류와 고생대 지층의 분포가 우세한데 반하여, 남쪽에는 중생대 지층도 함께 넓게 분포한다. 중생대 화강암의 저반이 북쪽에는 무질서하게 산재하고 있으나 남쪽에서는 중국방향의 옥천대와 나란한 큰 규모의 저반을 이룬다. 중생대층의 분포지는 한반도의 동남쪽인 영남지방과 남해안 지역에 걸쳐 넓게 자리잡고 있다.

신생대 제3기층은 동해안을 따라서 작은 조각으로 10 여곳에 분포하며, 서해안에서는 두 곳에서 발견될 뿐이다. 전체적으로 보아 한반도의 지질이 북쪽에서 남쪽으로 갈수록 젊어지는 경향을 보여준다. 신생대 제4기의 화산암은 제주도, 울릉도, 백령도, 추가령열곡, 길주-명천 지구대, 백두산 부근에 분포한다. 우리나라에 분포하는 각 암종별 특성을 살펴보면 다음과 같다.

가. 화성암

화산암층은 제4기 화산의 주변에 분포한 용암으로서 현무암을 기저로 하여 안산암과 유문암을 내재하며 일반적으로 고결도가 높고 비교적 견고하지만 제주도일대에 분포한 암층은 분출기체로 인한 기포공극을 함유하여 다공질인데 반하여 추가령 열곡에 분포한 암층은 마그마의 냉각에 따른 판상 또는 구감상의 주상절리를 갖고 있으며 분출후의 경과연대가 짧고 상재하중을 받은 이력이 없으므로 절리가 그대로 보존되어 흡수성 및 투수성이 크고 마그마의 급냉으로 인하여 취성이 높은 특성을 지니고 있기 때문에 압축강도가 비교적 낮은 반면 내구성은 큰 편이다.

따라서 일반적인 구조물기초로서는 큰 손색이 없지만 댐 및 저수지의 기초 암반으로서는 누수와 양압력이 과대하여 부적합하고 큰 지지력을 요하고 전단응력을 받는 기초 골재의 소대 구조재료로서는 적당하지 않다.

심성암의 대부분은 중생대의 화강암층으로서 대체적으로 풍화층이 얇아서 암질이 신선하고 견고하며 산능부에는 노두를 이루는 경우가 많고 험준한 산세의 지형을 이루며 국부적으로 또는 저지에서 풍화층이 깊을 경우에는 운모와 장석은 풍화가 진행되어 경점토로 되고 석영은 신선한 굵은 입자로 남아 있는 풍화화강암 또는 화강토로 된다.

따라서 경암은 단층이 없는 한 절리가 거의 없고 일축압축강도가 $1,500 \text{ kg/cm}^2$ 를 넘는 것이 많으며 대체로 균질, 등방성으로서 양질의 구조체로 이용되고 대형댐의 기초 및 터널 굴착에는 최상의 암반으로 선호되는 한편 전국적으로 널리 분포하는 하천자갈과 모래의 주요 공급원이기도 한다.

나. 퇴적암

고생대의 퇴적암층은 옥천군일대에 넓게 분포하는 조선누층군과 평안누층군으로 대별된다. 상부는 석회암으로 되어 있고 셰일, 이회암, 사암, 규암을 협재하는 조선누층군은 대부분 풍화층이 두껍고 비교적 연약하며, 심부의 경암은 암질이 균질인 반면 절리가 발달되고 수용성이 커서 절리면 을 따라 지하수가 침투하여 공동을 형성한다. 따라서, 지표에서는 식별되지 않는 지하 동굴이 산재하므로 지반 함몰, 지반활동, 대용수, 복류수 등으로 불의의 피해를 입는 경우가 있으며 댐과 같은 주요한 구조물의 기초암반으로는 부적합하다.

옥천군의 조선누층군의 일부를 부정합으로 덮고 있는 평안누층군은 에너지자원인 무연탄을 협재하고 많은 화석을 함유하고 있어서 한국의 지질계통 중에서도 가장 잘 조사 연구된 지층이다. 평안누층군의 분포면적은 조선누층군에 비해 좁지만 양자가 동일 구조군에 분포하는 것이 특징이다. 이 지층의 특징은 일반적으로 풍화층이 깊고 암질이 연약하여 주요 구조물의 기초암반 또는 대형 터널의 굴착에는 불리하다.

경상분지 일대를 넓게 분포하는 경상누층군은 화산활동에 의한 백악기의 퇴적분지로서 거의 고결도가 높은 역암, 사암, 이암, 셰일, 응회암 등이 호층을 이룬다. 사암층은 성층이 발달하지 않아서 견고하고 균질, 등방성을 나타내지만, 역암층은 매우 불균질한 특성을 보이고 이암층, 셰일층, 응회암층은 층리 및 성층이 발달하여 이방성이 심하다. 특히 이들 이질층이 호층으로 퇴적되어 이루어진 경우에는 사암에 비하여 이암 또는 셰일의 강도가 낮아 파쇄층을 이루는 경우가 많으므로 심한 강도 이방성을 나타낸다.

이들 이암, 셰일, 응회암의 지층은 층리면을 따라 투수성이 매우 크고 층리면에 평행한 방향으로 전단강도가 매우 약하므로 구조물의 기초, 사면, 터널 등에서 불연속면의 주향과 경사가 주요한 의미를 가지며 파괴의 형태를 지배하는 한편, 대기노출 또는 침수와 같은 환경변화에 다소 민감하므로 층리면을 따라 풍화가 촉진되어 열화되는 경향이 있다. 암반굴착에 있어서는 발파효율이 매우 낮고 리핑효율도 좋지 않으므로 비경제적이며 법면의 유지에도 비용이 많이 소요된다.

영일분지의 제3기 퇴적층은 반 고결된 역암, 사암, 셰일, 응회암이 호층으로 형성되어 부정합면을 이루므로 매우 취약한 암상으로서 경상누층군에 비하여 매우 불안정한 지층을 이루고 있다.

다. 변성암

변성암은 선캠브리아기의 오랜 지질연대를 걸쳐 그 성인, 지질연대, 구성암질이 다양하여 그 특징도 매우 복잡하다. 그러나, 심성암을 원암으로 하여 변성된 화강편마암층과 화산 쇄설암층을 원암으로 하여 변성된 변성퇴적암층으로 구분할 때에는 그 특징의 차이가 뚜렷하다.

강편마암은 조립질 편마암으로 편리가 발달하는 특징을 보이고 있으나 대체적으로 견고한 특성을 보인다. 일반적으로 이 화강편마암은 지질연대가 오래되고 여러 차례의 변성작용으로 인하여 풍화층의 심도가 깊고 단층 및 파쇄대가 수 10 ~ 100mm 간격으로 분포하는 특성을 보인다. 따라서, 암석의 역학적인 이방성은 퇴적암과 같이 뚜렷하지는 않으나, 변성작용에 의한 편리의 발달로 인하여 화강암과 같은 정도의 강도를 보이지는 않고 대기노출 또는 침수와 같은 환경변화에 비교적 민감하며 시편의 일축압축강도는 $1,000 \text{ kg/cm}^2$ 이하인 경우가 많다.

그러므로 댐과 같은 주요구조물의 기초암반으로서는 단층 및 파쇄대에 대한 처리 및 주입공사비

가 상당히 소요되고 양압력에 대한 대책도 필요하며, 터널굴착암반으로서는 발파 효율이 비교적 높은 편이고 용수량도 그다지 많은 편이 아니므로 중위정도의 암반으로 평가되는 경우가 많다.

변성퇴적암의 암질은 일반적으로 층리에 따른 벽개가 심하여 매우 취약한 편이며, 암반은 풍화층의 심도가 깊어서 경암으로 분류되는 경우가 드물고 자연합수비가 높은 경향이 있다. 또한, 층리, 단층, 파쇄대를 따라 풍화가 심하여 침투유로를 형성하고 이에 따라 현저한 불균질성과 이방성을 나타내며 대기노출 또는 침수와 같은 환경변화에 매우 민감하여 발파당시에는 견고하던 암질이 수시간 ~ 수일동안에 열화하는 것을 흔히 볼 수 있다. 따라서 대형구조물의 기초에서는 대량굴착과 동시에 매스콘크리트로 치환되는 경우가 많고 터널 굴착에서는 낙반 또는 붕락사고가 우려되며 대규모의 굴착작업에는 발파방식과 중기 기종의 선정에 있어서 일관성 또는 계속성을 유지하기 어렵다.

3. 암반분류

건설공사에서 암반분류는 ①공사계획 시점에서의 표준적인 설계나 시공기준의 설정, ②시공중의 공사관리를 위한 기준의 설정, ③시공후 계획변경에 따른 당초의 설계 및 시공조건과의 대비 등을 위해 실시되고 있다. 특히, 토목공사에서 암반을 대상으로 하는 굴착작업이 많기 때문에 굴착을 위한 암반평가가 시공분야에서 이루어져야 할 과제 중에 하나이다.

암반 굴착의 경우 가장 일반적인 분류방법은 인력에 의한 굴착을 제외하고는 기계굴착과 발파에 의한 굴착으로 구분하고 대상지반을 경암, 중경암, 연암 그리고 토사로 구분하여 굴착방법과 대응시키는 것이 일반적이다(그림 2.4-3).

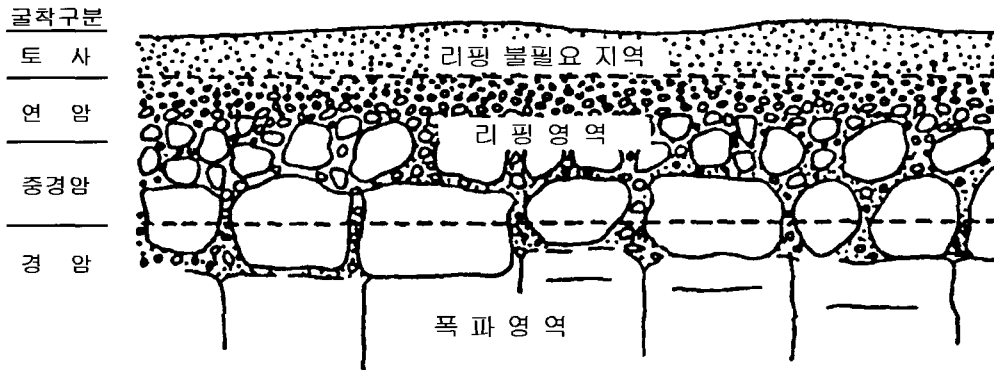


그림 2.4-3 굴착구분의 예

이와 같이 굴착작업을 대상으로 하는 암반분류에 있어서는 여러가지 평가 요소들 중에서 대표적인 것이 암반의 탄성과속도이다. 이 중 대표적인 분류는 노천굴착에서 가장 많이 사용되고 있는 리핑작업에 대한 굴착한계를 탄성과속도 V_p 의 값으로 구분하는 것으로 표 2.4-8과 같다.

표 2.4-8 Rippability Guide의 값(Excavation Handbook, 1981)

탄성파속도 (지반)	Vp (m/sec)									
	500		1000		1500		2000		2500	
기종(Ripper)										
중형 Ripper 27~45 톤급 (200~300 HP)	리 핑 불필요	용이	보통	곤란	매우곤란 또는발파	발파굴착				
대형 Ripper 45~72 톤급 (300~525 HP)	리 핑 불필요	용이		보통	곤란	매우곤란 또는발파	발파굴착			

이 경우 토사와 리핑작업을 필요로 하는 경계 값은 탄성파속도를 450m/s로 정하고 있고, 리핑이 가능한 한계는 1,500~2,000m/s(기종에 따라 차이가 있음)로 토사, 연암, 중경암 그리고 경암으로 구분시키고 있다. 이와 같이 암반굴착의 난이도에 관한 요소를 탄성파속도라는 물리량에 집약되고 있어, 매우 단순한 판정방법이 된다. 이런 이유로 굴착능력의 판정을 위한 지표를 만들기 쉽기 때문에 예를 들면 그림 2.4-4와 같은 것들이 제시되고 있다.

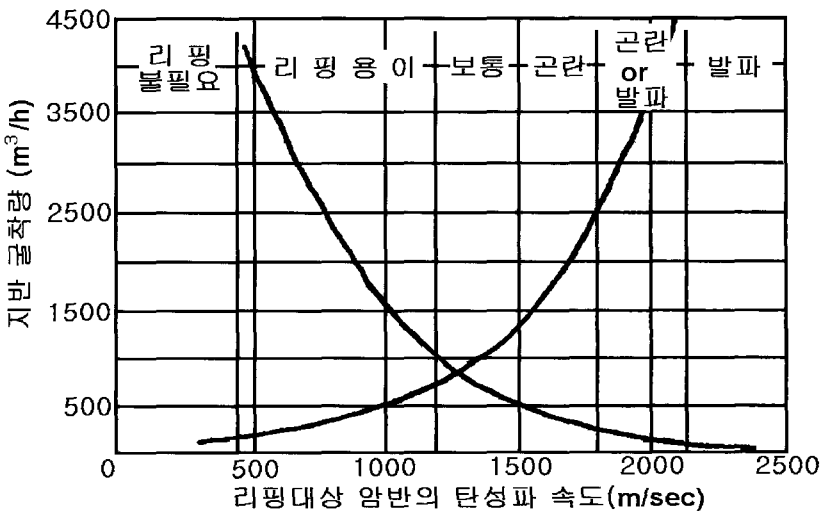


그림 2.4-4 리핑의 굴착경비(56톤, 450 Hp)(Excavation Handbook, 1981)

그러나 하나의 요소로 집약하여 요소를 단순화한다는 데 있어서는 장점도 있지만 많은 오차가 예상될 수 있다. 따라서, 이 분류법을 사용함에 있어서 아래와 같은 문제점에 주의할 필요가 있다.

- ① 탄성파의 속도는 시공전, 시공중, 및 시공후 속도측정치에서 차이가 크고, 제거할 층의 두께에 따라 20~50% 정도가 적어진다.

② 측정시 V_p 의 분산이 크고, 정도(精度)를 올리기 위해서는 많은 측정치로부터 경험적인 속도치를 정할 필요가 있으며, 신뢰성이 부족하다.

이런 이유로 일본 도로공단의 경우에는 분류기준의 신뢰도를 높이기 위해 탄성파속도 외에 압축강도 요소를 첨가하여 이 두 요소를 이용해 균열계수의 개념을 만들어 암반구분을 실시하고 있다.

이외에도 암반에서의 굴착 난이도는 암석 코아강도 외에 암석의 종류, 암석의 조직 및 경도 풍화상태와 절리발달 정도에 따라 다르게 된다. 특히 절리의 연속성과 간격에 따라 암석종류별 암반강도의 변화폭이 커지게 되어 굴착난이도에 의한 암반 분류에서는 암석코어의 강도와 절리 상태가 동시에 고려되어 분류되어야 한다. 그림 2.4-5 및 그림 2.4-6은 굴착난이도와 접하중 강도에 의한 암반 분류와 각 암종별 리퍼빌리티(Ripperbility)를 각각 나타낸다.

굴착을 목적으로 정한 암반분류는 그리 많지 않다. 건설포준 품셈이 대표적이다. 굴착공사에서 암석판정은 공사비를 좌우하므로 이 기준의 적용은 현실적으로 논란이 많다. 암반 굴착의 경우 리핑 대상암과 발파 대상암으로 분류하는 것이 현실성 있다고 판단된다.

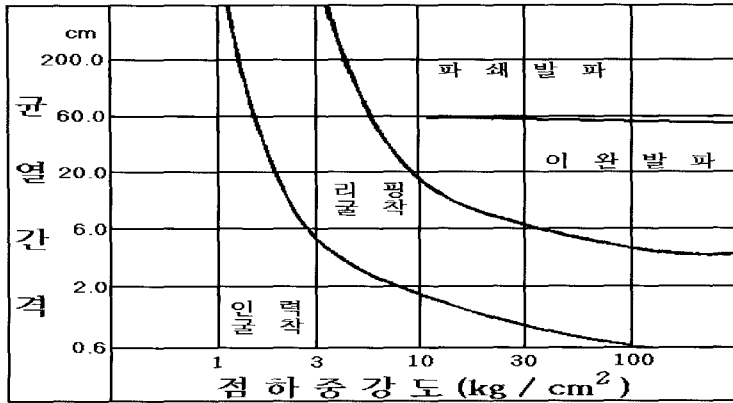


그림 2.4-5 굴착난이도 결정을 위한 암반분류(Franklin, 1971)

규격	암석명	탄성파속도(km/sec)			
		1.0	1.5	2.0	2.5
32 ton 불도저	화강암	[Patterned bar from 1.0 to 2.0]			
	현무암	[Patterned bar from 1.0 to 2.0]			
	점판암	[Patterned bar from 1.0 to 2.0]			
	편암	[Patterned bar from 1.0 to 2.0]			
	역암	[Patterned bar from 1.0 to 2.0]			
	사암	[Patterned bar from 1.0 to 2.0]			
	세일	[Patterned bar from 1.0 to 2.0]			

불도저 굴착가능
 리퍼작업가능
 리퍼 한계

그림 2.4-6 탄성파속도에 의한 리퍼빌리티 분류

2.4.6 굴착설계

- 1) 원지반이 본래 가지고 있는 지지능력을 최대한 보존할 수 있는 굴착공법을 채택하여야 한다.
- 2) 굴착공법에는 인력, 기계, 발파에 의한 굴착이 있으며 지반조건, 지하수 유입정도, 터널단면의 크기와 형태, 터널연장, 근접구조물 유무, 주변에 대한 진동, 소음문제 및 지표침하의 허용값 등을 고려하고 시공성 및 경제성을 분석하여 가장 적합한 방법을 선정하여야 한다.
- 3) 굴착공법은 원지반의 자립성에 기초하여 선정하며 보조공법의 적용도 수용할 수 있도록 결정하여야 한다.
- 4) 굴착설계는 굴진방향으로 굴착과 지보 등의 시공순서가 상세히 나타나도록 하여야 한다.

1. 암반강도와 굴착방법

굴착방식에는 인력, 기계, 발파굴착 등이 있으며, 지반조건, 토피, 환경조건, 터널단면의 크기, 형상, 연장 등을 고려하여 가장 적합한 방식을 선택하여야 한다.

- 1) 굴착공법은 막장의 자립성, 원지반의 지보능력, 지표면 침하의 허용값 등을 충분히 조사한 다음, 시공성 및 경제성을 고려해서 선정하여야 한다.
- 2) 굴착공법에는 전단면 굴착, 분할 굴착이 있으며 분할 굴착은 상하분할 굴착과 좌우 분할굴착으로 구분하며 수평분할 굴착은 통상 벤치의 길이 및 수에 따라 통 벤치, 쇼트벤치, 미니벤치, 다단벤치 등으로 구분한다. 연직분할 굴착은 상반분할 굴착 및 측방선진도갱 방법으로 구분한다.
- 3) 벤치의 길이에 따른 구분으로는 벤치길이가 30m 이상인 경우를 롱벤치, 30m 미만으로부터 터널직경 이상인 경우를 쇼트벤치, 터널직경 미만인 경우를 미니벤치로 구분한다. 다단벤치는 벤치의 수가 3개 이상인 상하분할 굴착을 말하며 벤치의길이는 통상 터널직경 이하이다.
- 4) 좌우분할 굴착이 불가피한 경우에는 시공성을 고려하여 연직방향으로 역학적으로 유리한 형상의 임시 지보재를 설치하며 시공하는 방법을 적용할 수 있다.

가. 인력굴착

인력굴착은 주변여건상 발파가 곤란하거나 지반이 연약하여 소단면에 의한 굴착이 불가피한 경우에 적용한다.

나. 기계굴착

기계굴착은 중장비에 의한 굴착으로 소음, 진동을 억제하여야 하는 조건에 적용한다.

- 1) 기계굴착의 선정은 지반조건, 터널단면의 크기, 형상, 연장 등을 고려해서 선정하여야 한다.
- 2) 암반굴착기에 의한 굴착에 있어서는 굴착면에서의 압피의 밀려남을 고려하여야 하며 여굴은 될 수 있는한 적게하여야 한다.
- 3) TBM에 의한 굴착에 있어서는 지반조건에 적합한 컷터의 종류, 컷터헤드의 회전수, 추력 등의 크기를 정하고 굴착시에는 사행과 회전에 주의해야 한다. 이에 대한 상세사항은 부록 1의 TBM

터널 공사지침에서 정한 바에 준한다.

굴착기계는 지반조건, 주위환경, 터널단면의 크기, 형상, 연장, 굴착공법, 버력처리 방법 등을 고려하여 선정하고 지반의 특성에 알맞고 경제성이 있는 기종을 선정하도록 하여야 한다.

굴착수단이 인력이나 발파에 의존하지 않고 기계로 굴착하는 방법이며, 기계굴착은 지반의 이완을 최소화하고 막장의 안정을 유지해야 하며 여굴이 적게 발생하도록 하여야 한다.

쇼벨, 브레이커 등의 카터붐 기계굴착은 절 리가 심하게 발달한 암반이나 토사지반에 적용한다.

붐 기계굴착은 굴착패턴을 준수하고 기계운전에 의해 노면이 악화되지 않도록 노면보호를 실시하여야 한다.

TBM은 암반의 강도, 단열 구조의 발달상태 등을 검토하여 적용 여부를 결정하여야 한다. TBM 적용이 가능할 경우에는 지반에 적합한 카터의 종류, 카터헤드의 회전수, 추력의 크기 등을 정하고, 굴착 효율의 향상과 사행 굴착이 발생되지 않도록 운전관리를 적절히 하여야 한다. 이에 대한 상세한 내용은 부록 1에 수록된 TBM 터널의 공사지침편에 준한다.

다. 발파굴착

발파굴착은 가장 일반적인 굴착방식이며 발파가 필요없는 지반조건이거나 주변여건상 발파가 불가능한 경우 또는 기계굴착을 적용하는 경우를 제외한 모든 굴착에 적용한다.

발파에 앞서 지반조건, 터널단면의 크기, 형상, 굴착공법, 예상되는 발파결과 등에 적합한 천공깊이, 발파공의 배치, 화약의 종류, 양, 뇌관의 형식, 발파순서 등의 발파계획을 수립하여야 하고 지반의 이완 영역을 최소로 억제하도록 하여야 한다.

발파계획에 있어서는 주변의 환경에 미치는 영향을 고려하여 대책을 수립하여야 하며 엄격한 진동규제를 필요로 할 때에는 미진동 파쇄를 검토하여야 한다.

발파설계에는 가장 적합한 심발공법, 굴착면 주변공 배치 및 장약량, 지발당 최대 장약량 등이 제시 되어야 하며 실제 시공시 시험발파를 실시 하여 보완하여야 할 사항을 명확히 제시하여야 한다.

대상 시설물 위치에서의 발파진동 허용치는 입자속도를 기준할 때 일반적으로 표 2.4-11과 같다. 단, 교외지에서는 본 허용 기준치 이상의 값을 적용할 수 있다.

표 2.4-11 발파진동에 대한 허용기준치

구 분	문화재 등 진동에 예민 시설물	주택, 아파트	상 가	철근 콘크리트 건물 및 공장
허용치 (cm/sec)	0.2	0.5	1.0	1.0 ~ 4.0

발파계획은 지반조건, 주위환경, 터널단면의 크기와 형상, 굴착공법, 굴진장, 벤치길이 등에 적합한 천공깊이, 천공배치, 화약의 종류와 양, 뇌관의 형식, 발파순서 등을 종합적으로 판단하여 수립하여야 하며, 지반의 이완영역을 최소로 억제하고, 평활한 굴착면을 얻을 수 있도록 하여야 한다.

발파에 의해 발생된 버력의 크기는 활용계획 및 버력적재 방법과 운반장비에 적합하도록 발파계획을 수립하여야 한다.

발파계획은 발파로 인한 소음, 진동 등 주변 환경에 미치는 영향을 고려하여 필요한 경우에는 그 대책을 강구하여야 한다.

발파 작업시에는 총포 화약류 단속법 및 동 시행령, 근로 안전관리 규정, 기타 관계법규 등을 준수하여야 한다.

발파작업은 정해진 책임자에 의해서 진행되어야 하며 이미 설치된 지보재들을 보호하여 손상되지 않도록 하여야 한다.

발파후 소정의 시간이 경과한 후 막장에 접근하여야 하며 불발 장약공, 잔류폭약 유무를 점검하고 잔류 화약의 제거 등의 필요한 조치를 강구하여야 한다.

발파후 굴착면을 따라서 뜬돌의 잔존여부를 확인하고 뜬돌이 확인될 경우 안전하게 제거하여야 한다. 이를 위하여 필요한 도구를 상시 마련해 두고 정기적인 점검을 실시하여야 한다.

발파결과가 당초 계획과 상이할 경우에는 그 원인을 규명하여 후속 발파작업에 반영하여야 한다.

발파진동 측정에 관한 세부사항은 다음과 같다.

- ① 진동측정 계기는 발파진동의 주파수(통상 10Hz ~ 500Hz) 범위에 적합하고 입자변위, 입자속도, 입자가속도를 측정할 수 있는 것이어야 하며 정밀분석이 필요할 경우에는 주파수 분석이 가능하도록 시간이력을 기록할 수 있는 것을 사용하는 것이 바람직하다.
- ② 진동측정 항목은 입자변위, 입자속도, 입자가속도의 3가지로 구분하며 측정목적에 따라 측정항목을 다르게 할 수 있다.
- ③ 발파에 의한 지반진동의 크기 및 파형의 측정은 원칙적으로 연직방향과 이에 직교하는 수평 2방향(Longitudinal and Transversal)의 3성분을 동시에 측정하는 것이 바람직하며 진동크기의 거리에 따른 감쇠를 측정할 필요가 있는 경우에는 최소한 3측점 이상을 동시에 측정하여야 한다.
- ④ 대상 시설물에 대한 진동측정은 발파원으로부터 가장 근접한 위치의 시설물 부위에서 실시하는 것을 원칙으로 하나 부득이한 경우에는 이에 근접한 지표에서 측정할 수 있다.
- ⑤ 측정빈도는 다음의 기준을 원칙으로 하되 현장의 작업여건이나 입지여건에 따라 조정 할 수 있다.

- 시험발파와 굴착 및 발파패턴 변경시에는 목표의 발파효과와 발파진동 관리치 도달시까지 매 발파마다 측정한다.

- 일상적 발파작업이 이루어질 경우에도 주 1회정도는 주기적으로 측정하여 발파작업의 효과확인 과 작업원에 대한 안전 의식을 반복적으로 점검하도록 하는 것이 바람직하다.

- 보호대상 시설물에 대하여는 발파진동 영향권 전구간을 통과할 때까지 매 발파마다 측정함을 원칙으로 한다.

발파지점 주변에 보호하여야 할 시설물이나 구조물이 있는 경우 또는 진동을 억제하여야 할 경우에는 위의 표 2.4-11의 발파진동의 허용기준치 이내로 발파가 이루어지도록 하여야 한다.

발파진동치가 허용범위를 초과할 경우에는 저폭속의 폭약 사용, 다단발파 적용, 약량제한, 심발

폭파 방법 조정, 폭파방식 변경 및 진동 전파 방지 방법 등을 활용하여 진동치가 허용범위 이내가 되도록 조치하여야 한다.

2. 암반조건과 굴착사면

가. 굴착사면의 붕괴 형태

암반 사면의 붕괴 형태는 그림 2.4-7과 같이 분류된다. 이것들 중 한계 평형 해석이 흔히 이용되는 것은 평면 활동, 쉐기 활동, 원호 활동, 토프링 형태의 사면 붕괴 등이다. 토프링에 대해서는 대단히 한정된 전제 조건하에서만 해석이 시도된다.

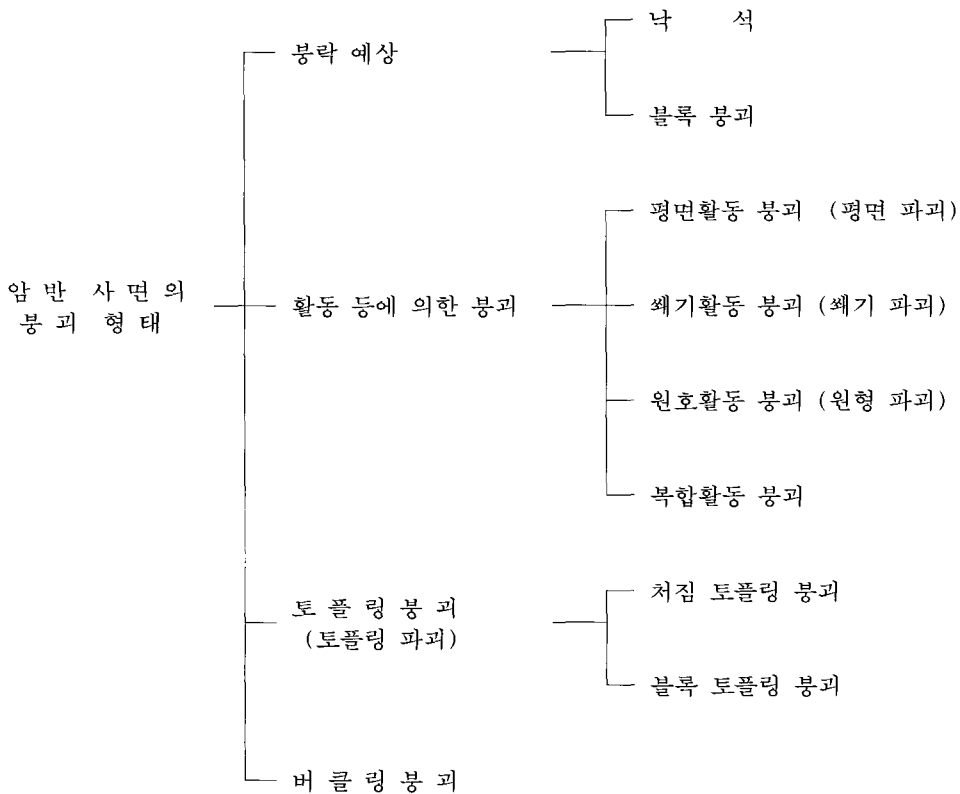


그림 2.4-7 암반사면의 붕괴 형태

평면 활동은 그림 2.4-8과 같이 사면과 교차되는 단일의 연약면이 존재하며, 주향이 사면과 거의 평행하고 경사가 수직에 가까운 인장 균열이 사면방향 또는 벤치 위쪽에 발생하는 경우에 일어나는 경우가 많다. 또한, 실제로는 블록이 활동하기 위해서는 블록의 양 측면에도 연약면이 존재하거나, 혹은 사면 자체가 돌출되어 있을 필요가 있지만, 해석하는데 따라서는 편의상 사면의 주향에

직교하는 수직 단면에 대한 2차원적인 균형만을 생각한다.

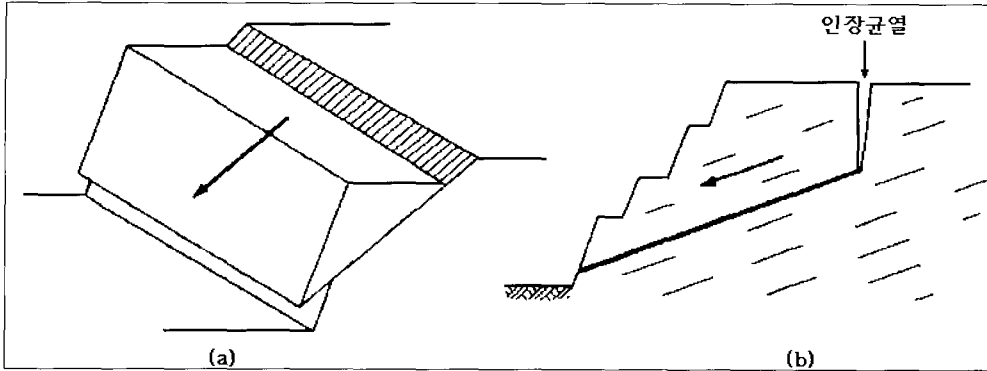


그림 2.4-8 평면활동 붕괴 모식도

그림 2.4-9와 같이 2개의 연약면이 각각 사면과 비스듬히 교차되고, 또 그 경사가 연약면의 내부 마찰각보다 훨씬 큰 경우, 썩기형 활동이라 부르는 활동이 발생된다. 썩기형 활동에 있어서는 2개의 연약면이 동시에 활동면이 되며, 활동의 방향은 그 면들의 교선 방향과 일치된다.

썩기형 활동은 평면 활동에 비하여 부분적인 붕락에 그치는 수가 많다. 그러나 보강작업 측면에서는 부분적인 붕락이 오히려 위험한 경우가 많으므로 주의가 필요하다.

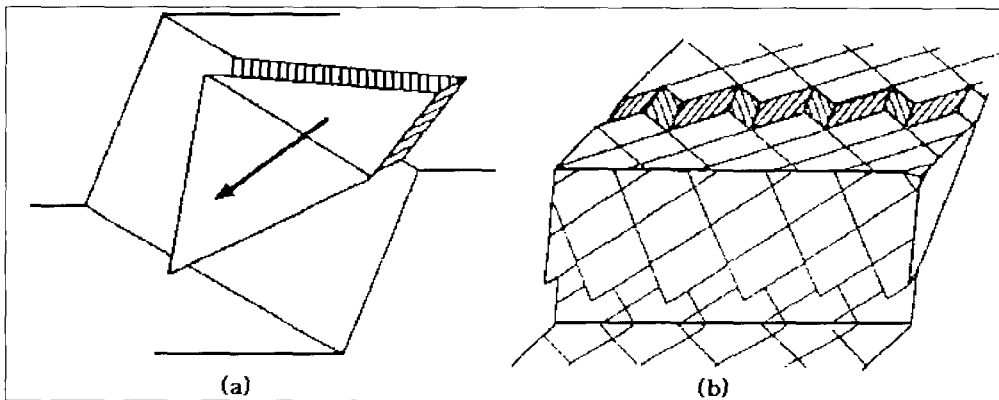


그림 2.4-9 썩기활동 붕괴 모식도

대단히 연질인 암반, 혹은 무수한 불연속면이 랜덤한 방향으로 들어가 있어서 연약면이 특징적으로 나타나지 않는 암반으로써, 거시적으로는 연속체로 간주되는 경우 활동면은 그림 2.4-10과 같이 토사 사면에서 볼 수 있는 원호 파괴의 형태를 취한다. 암반사면의 원호형 파괴 양상은 평면 활동과 함께 대규모인 암반 사면의 붕괴 메카니즘의 대표적인 사례가 된다. 이 경우도 역시 편

상 사면의 수직 단면에 대한 2차원적인 균형만을 고려하여 해석을 한다.

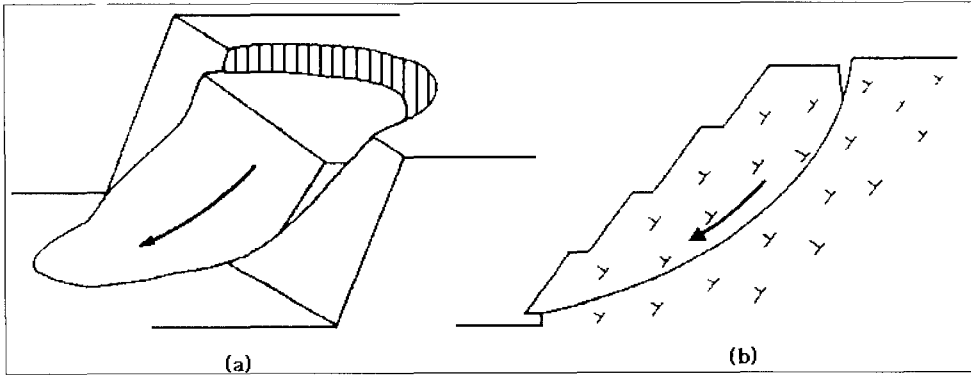


그림 2.4-10 암반사면의 원호활동 붕괴 모식도

토플링 붕괴는 큰 활동면을 형성하는 붕괴는 아니며, 개개의 암괴끼리의 활동과 회전을 주체로 하는 붕괴이다. 그림 2.4-11은 다양한 형태의 붕괴 양상이 복합되어 나타나는 형태를 나타낸 것이며 이외에도 여러 가지 다양한 형태의 붕괴양상이 있다.

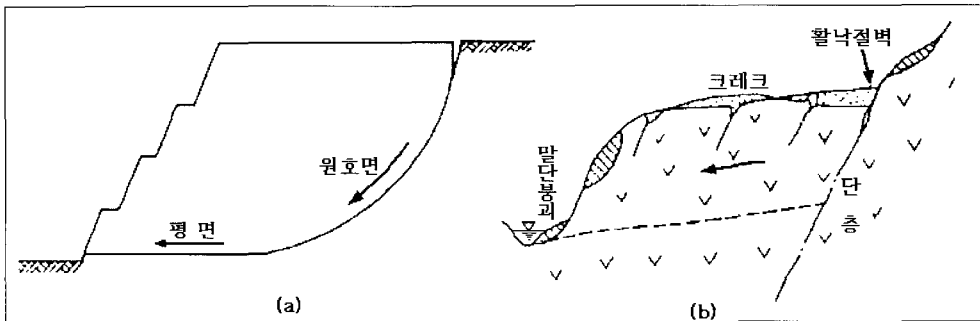


그림 2.4-11 복합활동 붕괴 모식도

나. 굴착사면의 붕괴 원인

결론적으로 사면의 붕괴는 암석 내부에 작용하는 전단응력(암괴의 중량, 공극수압, 재하중)이 암석의 고유의 전단강도 보다 클 때 일어난다.

이에 따라 굴착사면의 붕괴를 원인별로 살펴보면 다음과 같다.

1) 내인성인자(內因性因子, 사면 자체의 특성)에 기인하는 붕괴.

① 급한 사면의 경사

- ② 낮은 강도 또는 풍화되기 쉬운 사면의 토질, 암질 또는 불연속면.
- ③ 지표수가 침투하기 쉬운 지반 또는 지형.
- ④ 지하수가 풍부한 지층.

2) 외성인자(外因性因子, 자연적 또는 인위적 작용)에 기인한 붕괴

- ① 자연적 침식에 의한 사면 형상의 변화
 - ② 인위적인 굴착 또는 성토
 - ③ 지진력의 작용
 - ④ 댐 또는 제방의 수위 급변
 - ⑤ 강우, 폭설, 침수, 등에 의한 공극수압의 상승, 자중의 증가, 강도의 저하.
- 여기서, ①~④는 활동력의 증가 요인이다. ⑤는 저항력 감소 요인이다.

이때, 사면 내부의 전단응력 증가시키는 요인은 다음과 같다.

- ① 건물, 물, 눈 등의 외적하중.
- ② 함수량 증가에 의한 단위중량의 증가.
- ③ 굴착에 의한 흙의 제거.
- ④ 터널, 지하공의 붕괴, 침투에 의한 침식.
- ⑤ 지진, 발파에 의한 충격.
- ⑥ 인장응력에 의한 균열의 발생.
- ⑦ 균열내에 작용하는 수압

또한, 암반 내부의 전단강도를 감소시키는 요인은 다음과 같다.

- ① 흡수에 의한 점토의 팽창.
- ② 공극수압의 증가.
- ③ 느슨한 토립자의 진동.
- ④ 수축, 팽창 또는 인장으로 인하여 생기는 미세한 균열.
- ⑤ 예민한 흡속의 변형 및 진행성 파괴.
- ⑥ 동토나 ice lens의 융해.
- ⑦ 고결제의 결합력 둔화.
- ⑧ 건조에 의한 관력의 감소.

또한, 암반사면의 붕괴를 야기하는 가장 중요한 요인은 불연속면에 의한 것이다. 이 중 중요한 요인은 다음과 같다. ①절리의 경사 ②마찰각 ③점착력 ④수압 ⑤암석의 밀도이다.

이들 중 가장 중요한 요인은 절리의 경사이다. 사면의 경사가 동일할 때 사면의 높이가 증가하면 중요도는 다음 표와 같이 달라지게 된다. 그 다음의 요소가 마찰각이다. 점착력은 사면고가 증가할수록 영향이 작아진다. 그 다음의 요소가 마찰각이다. 점착력은 사면고가 증가할수록 영향

은 작아진다. 낮은 사면일 때 마찰각보다 밀도의 영향이 더 크다. 지질조건에 따른 파괴형태를 표 2.4-12와 표 2.4-13에 나타냈다. 굴착사면의 안정해석에 대하여는 2.2장에 상세히 기술하였다.

표 2.4-12 사면파괴에 영향을 주는 요소의 순위

순위	암반 사면의 높이		
	10m	100m	1000m
1	절리의 경사	절리의 경사	절리의 경사
2	점착력	마찰각	마찰각
3	밀도	점착력	수압
4	마찰각	수압	점착력
5	수압	밀도	밀도

표 2.4-13 사면붕괴의 원인 및 지질 분류

붕괴 형태	붕괴 요인						파괴 형태				
	사면의 경사	사면고	사면재료의 구조	사면재료의 강도	침투압	유수침식	무한사면	평면파괴	복합평면파괴	쇄기파괴	원형파괴
붕락	P	N	P	P	P	N	N	N	N	P	N
평면상 활동(이행상, 암괴상)	P	S	P	P	P	M	A	A	A	A	N
회전형 활동(암석)	P	P	P	P	P	M	N	N	N	N	A
회전형 활동(토양)	S	P	P	P	P	M	N	N	N	N	A
측방확장 및 전진성 파괴	P	M	P	P	P	N	N	N	N	S	N
쇄설활동	P	M	P	P	P	N	S	S	S	N	N
쇄설사태	P	S	S	S	P	P	N	N	N	N	N
쇄설유동	P	S	S	S	P	P	N	N	N	N	N
암편유동	P	S	P	P	P	N	N	N	N	N	N
토석, 이류	S	S	S	P	P	M	N	N	N	N	N
해저 붕괴활동	S	S	P	P	P	N	N	N	N	N	S

원인- P : 주원인, S : 부원인, M : 영향이 큼, N : 영향이 작거나 없음.

적용성 - S : 적당함, P : 일부 적당함, N : 부적당함.

3. 지하수 유출 예측

건축물의 기초 혹은 지중 구조물을 축조하기 위해서는 반드시 굴착이 필요하게 된다. 도시화 지역 등에서는 용지에 제한이 있기 때문에 반드시 흙막이 공사가 병용된다. 지하수가 있는 경우에는 먼저 흙막이벽이 수압을 포함한 토압에 견디도록 안전하게 설계하고, 이와 동시에 지하수 유출에 대한 적절한 조치를 취해야 한다.

지반이 투수성이 작은 지층으로 구성되어 있는 경우에는, 용출량이 적어서 침투류의 영향이 작으므로, 굴착저면에 피트를 설치하여 펌프를 통해 배수를 하면 무난하다. 투수성이 큰 지층을 굴착할 때는 다량의 침투 유량이 생기고, 특히 흙막이벽을 따라 용출수가 집중되어 토사를 씻어 내거나, 굴착 저면으로 분사현상(boiling)을 일으켜, 지반의 안정성에 현저한 손상을 일으킨다. 이 현상이 계속되면 흙막이벽의 근입부나 배면의 토사가 점차 유실되어, 마침내 공동이 형성되어 지반의 함몰 또는 흙막이벽의 파괴로 진행되어 간다. 점성토 지반에 대한 굴착 공사의 경우에도 직하의 비교적 얇은 위치에 대수층이 있는 경우에는 수압에 의해 점성토층이 부풀어 올라 팽창을 일으킬 우려가 있다. 이와 같은 조건일 때 흙막이벽이 대수층에 닿아 있으면 벽을 따라 물보가 생겨서 토사를 포함한 물이 일시에 다량으로 솟아 오르면서 사고로 이어질 우려도 있다.

비탈면이 있는 사면 굴착의 경우에도 침투수가 많으면 비탈면 하부의 토사가 유출되고 비탈면의 안정성을 저하시켜 비탈면 붕괴로 이어지는 경우가 많다.

이 때, 유의해야 할 것은 어떠한 경우에도 유량의 많고 적음이 문제가 아니라 과도한 용수가 토사를 쓸어 내거나 침투류가 굴착 저면이나 흙막이의 안정성을 저하시킬 경우 문제가 발생할 수 있다. 이와 같이 굴착 공사에서의 지하수의 영향은 지층구성, 침투조건에 의해 여러 가지 형태와 다양한 규모의 차이를 나타내기 때문에, 지하수와 지반의 조건에 적응되는 대책을 취하여야 한다.

지하수 대책이라고 하면 매우 다양한 여러 가지 공법이 있지만, 공법의 원리에 따라 대별하면 배수공법과 지수공법의 2종류로 구분할 수 있다. 이 둘 두종류의 공법은 공히 지반 내의 침투류를 조절하여 굴착공사를 하는 지점의 지하수위를 저하시키는 것을 목적으로 하고 있다. 지하수위를 저하시키는 효과는 침투류에 의해 미치는 악영향을 제거하는 것에 있으며 구체적으로는 다음과 같은 것이 있다

- ① 굴착하고 있는 지점의 공사가 건조한 지반을 대상으로 수행할 수 있도록 되고, 공사가 안전하고 확실하게 실시할 수 있으며 작업을 용이하게 할 수 있다.
- ② 용수, 지반 응기, 분사현상, 토사 유실 등을 방지한다. 지하수를 양수 또는 차단함으로써 지하수위를 저하시키면, 굴착지반 및 주위에서의 용수유출을 방지하고 지반 팽창, 분사현상도 저지할 수 있다. 따라서 침투수의 유출에 의한 토사의 유실을 방지할 수 있고 지반내 흙막이벽 인접부에 대한 공동의 발생을 막을 수 있다.
- ③ 지반 및 흙막이벽의 안정이 도모된다. 지하수위가 저하하면 지반내의 유효응력이 증가하고 흙의 전단저항, 지반의 지지력이 증대되어 안정화에 도움이 된다. 또한, 흙막이벽 바깥쪽의 지하수위 저하에 의해 흙막이벽에 가해지는 측압(토압+수압)이 감소되어 경량의 벽으로 대응할 수 있다. 다만, 흙막이벽이 지수벽을 겸하는 경우에는 더해지는 수압 분포와 크기를 추정하여 안전한 흙막

이벽을 계획할 필요가 있다.

우선, 배수공법은 양수에 의해 지하수를 강제적으로 저하시키는 대표적인 공법으로서 웰포인트(well point)공법과 디프웰(deep well)공법이 가장 널리 이용되고 있다.

웰포인트 공법은 지중에 소구경의 관정(well)을 다수 삽입하여 설치하고, 진공으로 흡인하여 강제적으로 양수하는 공법이다. 사력층에서 실트질층에 이르기까지 넓은 범위의 지반에 적용할 수 있고 비교적 시공이 용이하기 때문에 가장 많이 사용된다. 다만, 진공 흡인이기 때문에 양수에 한계가 있어서 수위의 저하는 수 m 까지로 매우 제한적이다.

디프웰공법은 굴착 공사 지점에 배수용의 우물을 설치하고 양-배수하는 공법이다. 본격적인 우물 형태의 양수이기 때문에 다량의 양수가 가능하고 펌프에 의한 배수이기 때문에 깊은 대수층에서 배수하며 지하수위를 큰 폭으로 저하시킬 수 있다. 특히 투수성이 높은 층에 적용하면 효과적이다.

그러나, 이러한 배수공법은 어느 것이나 지하수위 저하에 의해 지질 조건이나 주변의 지하수의 이용 상황에 따라서는 지반침하나 우물 고갈의 피해를 일으킬 수 있다. 또한, 다량의 배수량을 방류하는 수로나 하수도가 없을 때에는, 방류시설을 설치하거나 하수도 요금으로 많은 경비를 필요로 하는 경우도 있다. 따라서, 이와 같은 경우가 발생할 우려가 있을 경우에는 배수공법 대신에 지수공법을 검토하게 된다. 지수공법은 굴착 공사 장소를 물이 투과하기 어려운 지수벽으로 둘러싸고 굴착 장소쪽으로 유입되는 용수와 침투수의 유입을 방지하는 공법이다.

지수벽을 설치하는 공법으로는 많은 것이 있지만 가장 널리 이용되고 있는 것은 지수 널말뚝공법, 연속지중벽공법, 주열벽공법(흙시멘트 주열벽, 모르타르 주열벽 등), 고압분사공법 등이다. 이 밖에 약액을 써서 지수벽을 설치하는 공법이나 동결에 의해 지수를 피하는 공법도 있지만, 일반적으로 공사비가 비싸기 때문에 이용되는 예는 적어서 부분적인 보조공법에 머물고 있다.

지수벽공법은 각각의 공법에 의해 적합한 토질, 시공 깊이 등에 차이가 있고, 시공 장소의 조건에 따라서는 사용할 수 없는 공법도 있다. 예를 들면 지수널말뚝은 호박돌이 혼합된 지층에는 타설이 어렵고, 더욱이 타설 시공 시에 소음 진동을 동반하기 때문에 도심지역 등에서는 적용할 수 없는 경우가 많다. 각 공법의 특징을 잘 고려하여 현장 조건에 적합한 공법을 선정하는 것이 중요하다. 최근 지수벽공법으로는 각종의 지반에 대해 시공이 가능하고 깊은 깊이에도 적용할 수 있는 시멘트 주열벽공법의 시공례가 많아지고 있다. 적절한 시공을 하면 지수성도 충분하게 기대할 수 있다.

일반적으로 지수벽은 그 벽으로서의 차수성이 어떤 정도인지, 근입 깊이를 어디까지 시공하는지가 문제가 된다. 지수벽은 일반적으로 흙막이벽을 겸하기 때문에 흙막이벽이 측면에서의 토압이나 수압에 대해 과도한 변형이나 파괴를 유발하지 않도록 설계함과 동시에 굴착저면의 지반팽창이나 분사현상에 대해서도 안전하게 설계해야 한다. 따라서, 토질 조건에 따라서는 지수벽 선단부가 깊은 위치에 있는 불투수층에 도달하도록 근입하는 경우도 있다. 또 투수성이 낮은 층을 굴착하는 경우라도 그 아래에 피압 대수층이 있어 굴착의 저면으로 지반팽창을 일으킬 우려가 있는 경우에는 상부의 투수층을 관통하고 선단이 하부의 점토층에 달하도록 지수벽을 설치하기도 한다.

지수벽의 설치만으로는 충분한 지수 효과를 기대할 수 없는 경우에는 웰포인트공법 또는 디프웰

공법과 병용하기도 한다. 또, 투수층이 매우 두껍고, 지수벽을 도달하게 하는 점토층이 없는 경우에는 약액 주입에 의해 인공적으로 불투수층을 만들거나, 고압분사주입공법 등에 의해 어느 정도의 양압력에 견딜 수 있는 강도를 지닌 지반을 굴착 저면 밑에 만드는 공법 등도 시도되고 있다.

지수벽공법은 공사 지점 주변의 지하수위 저하를 극히 작게 하기 위해 사용되는 공법이지만, 벽 자체에서도 약간 누수가 있거나 아래쪽 지반에서의 침투도 있기 때문에 완전한 지수를 기대하기는 어렵다. 특히 지수벽공법을 써도 지반팽창을 방지하기 위하여 배수 공법과 병용되는 경우도 있어서 지하수위 저하는 피할 수 없다.

본래의 지하수위를 가능한 한 변함없이 유지하기 위하여 경우에 따라서는 충전(recharge)공법을 계획하기도 한다. 이 공법은 디프웰 등으로 양수한 지하수를 굴착 지점 주변에 설치한 충전정을 써서 즉각 투수층으로 환원하는 공법으로 합리적인 공법이지만 실제의 시공 사례는 많지 않다.

이상에서, 언급한 바와 같이 굴착 공사에서의 지하수 대책에는 여러 가지 공법이 있으며 현지의 조건에 따라 이들 공법이 단독 또는 병용하여 이용되고 있다.

일반적으로 말해서 배수공법은 경제적이고, 공사 지점의 지하수위를 저하시키는 것은 흠막이벽이나 지반의 안정성을 증가시키고 굴착저면에서의 건설 작업을 용이하게 하는 등 매우 효과적이지만, 다른 한편 대량의 지하수 양수는 지반침하를 일으키게 하고 인접한 건조물이나 지중 매설물에 변형을 발생시켜 피해를 주게 된다.

최근 일반적인 환장보전, 안전 대책에 대한 엄격한 요구에서도 단지 굴착 공사 안전성에 대한 고려뿐만 아니라, 널리 주변에 대한 영향도 고려해서 공사를 계획해야 하는 것은 말할 것도 없다. 굴착공사 계획은 공사 지점의 지질 조건, 지하수의 상태, 지형, 공사 주변의 이용 상황, 기존 구조물이나 지중 매설물 등과 밀접한 관계를 갖는다. 계획 초기 단계에서 이러한 조사를 충분히 하고, 시공 장소의 제 조건에 가장 적합한 공법을 선택해 가는 것이 중요하다. 더욱이 계획 입안 단계에서 설계-시공 단계를 통하여 끊임없이 공법의 재평가 개량을 더해 가는 자세가 필요하다. 특히 지반에 관계되는 정보는 아무리 상세한 조사를 해도 완전하지 않다. 새로이 판명된 사항은 즉각 계획에 반영하고 또, 시공이 시작되고 나서 설계 조건과 다른 토질 조건이거나 당초 예상한 대로의 현상이 일어나지 않는 것도 많다.

가. 지하수 관리의 목적

굴착공사는 안전, 확실, 신속, 또한 저렴이라고 하는 공사 자체의 품질, 공기, 공비에 관계되는 조건을 만족시키면서 수행하는 외에, 과대한 지반침하의 발생 등 주변에 영향을 주지 않도록 해야 한다. 따라서 설계는 당연히 이러한 관점에서 이루어지지만 복잡한 자연 조건하에 퇴적된 지반을 대상으로 하기 때문에 계측관리에 의해 설계와 실제와의 차이를 조기에 발견하는 것도 중요하다. 시공중의 조사와 계측 관리는 이를 위한 것으로 구체적으로는 다음과 같은 목적을 가진다.

1) 배수공법 등 지하수 처리 설계 확인

설계는 충분한 조사와 검토에 의해 하여야 하지만 인접 현장의 조사 결과 내지 시공 사례를 참고로 설계한 경우나 양수시험 등 지하수 조사시와 시공시의 조건이 크게 변하는 경우 등은 설계

확인이 필요하게 될 때가 많다.

2) 굴착에 따른 트러블 방지와 주변 환경 문제의 발생 방지

굴착 중에 발생할 수 있는 굴착저면에서의 지반팽창, 분사현상이나 흙막이벽에서의 유출 등에 의한 트러블 방지를 위해, 필요에 따라 시공과 관련된 사항에 대해서 조사한다. 또한, 지하수위의 강하에 의한 우물 고갈이나 과대한 주변 함몰, 압밀침하 등을 발생시켜서는 안 되며, 이것에 관해서도 필요에 의해 조사해야 한다.

3) 배수(지하수처리)시설의 유지관리

디프웰, 웰포인트 등을 만들어도 목표한대로 지하수 처리를 하려면 충분한 유지관리가 필요할 뿐만 아니라 상황에 따라 과잉양수는 불필요하다. 또, 시공중 발생할 수 있는 여러 가지의 문제점을 사전에 충분히 예측해 두고 시공시의 조사나 계측 관리에 의해 대책이 필요하게 된 경우에는 신속하게 대처할 수 있도록 해 두어야 한다.

나. 조사항목

굴착공사 시행 중에 행해지는 지하수 조사는 그 공사에 있어서 문제가 되는 지하수 장애에 의해 측정 항목 측정 빈도 및 측정 방법을 결정해야 하고 무작정 불필요한 데이터를 다량으로 수집하는 것이 좋다고는 말할 수 없다. 표 2.4-14은 지하수에 관한 조사와 계측 관리의 주요 대상과 방법을 기술하였다.

표 2.4-14 굴착 현장에서 지하수와 관계되는 측정항목 및 측정방법

	지하수에 관계되는 문제	지하수에 관한 측정항목	측정 방법
부지 내부	흙막이 벽의 변형	간극수압	벽면수압계, 간극수압계
	굴착내의 dry work	지하수위, 양수량	관측정, 간극수압계, 3각 노치, 유량계
	굴착저면의 안정 (분사현상, 지반팽창 등)	지하수위(바닥) 굴착바닥의 부상	관측정, 간극수압계, 레벨, 이중관식 침하계
부지 외부	지하수위 저하에 의한 우물고갈	지하수위	관측정
	지하수위 저하에 의한 지반침하	압밀침하	레벨, 이중관식 침하계
	지하수질의 악화	수질 오탁	수질 분석

다. 측정방법

측정방법은 그 측정항목의 중요성, 측정빈도, 측정수 이외에 비용, 투입인원 등에 의해 결정된다. 측정방법을 대별하면 표 2.4-15와 같이 된다. 수동계측은 측정, 판독을 인력으로 행하는 것이다. 예를 들면, 관측정 수위를 스틸테이프를 측정하는 방법, 유량을 3각 notch탱크에 의해 측정하는 방법 등이다.

표 2.4-15 지하수 측정방법

계 측 방 법	측 정	판 독	수위측정법	유량측정법
수동 계측	인 력	인 력	스틸테이프, 간이 수위계	3각 notch, 용기 등
반자동 계측	기 계	인 력	자기 수위계, 간극수압계	적산 유량계 등
자동 계측	기 계	기 계	자기 수위계, 간극수압계	전자 유량계 등

반수동 계측은 기계에서 측정한 데이터를 인력으로 해독하는 것이고 펜레코더식(예를 들어 자기 수위계)의 기록지나 적산유량계의 적산치의 판독 등이다. 자동 계측은 계측 기기의 전기신호 등을 데이터 로거를 통해 아날로그 혹은 디지털 신호로 변환하고 퍼스널 컴퓨터 등에 입력하는 온라인 식의 계측방법이며 다점 고빈도의 데이터 등 처리에 유효한 방법 이다.

다음에서는 굴착공사 시에 특히 중요하다고 생각되는 지하수위(수압) 및 유량(양수량, 용수량)의 측정 방법, 주의사항에 대한 것과 기타의 항목에 관한 필요성과 계측 방법을 간단히 언급한다.

1) 지하수위, 간극 수압

가) 측정방법

측정 방법으로는 수위계측 센서가 붙은 스틸테이프를 쓰는 수동계측과 자기식 수위계에 의해 연속적으로 계측하는 반자동 계측 및 수압을 전기 신호로 집어내어 컴퓨터 등으로 처리하는 자동 계측 등이 있다.

나) 관측공의 설치에 필요하는 주의사항

관측공 설치에 있어서는 목적에 적합한 지점 ·깊이의 지하수위(수압)를 정확하게 측정할 수 있도록 해야 한다. 그 이유는 관측공의 착공방법, 설치위치, 스크린부(혹은 간극수압계)의 설치깊이, 지름, 다른 층과의 차수방법 등을 검토하고, 또한 관측정에서는 설치 후 충분하게 세정을 행할 필요가 있다. 관측공의 설치 위치와 측정 대상 깊이는 측정 목적에 따라 표 2.4-16과 같이 구분할 수 있다.

표 2.4-16 관측공의 설치 위치와 심도

측 정 목 적	설 치 위 치	측 정 대 상 심 도
흙막이 벽에 작용하는 수압	흙막이 벽면 또는 배면 지반에서 흙막이벽까지 2~5m 정도 떨어진 위치	양수 혹은 recharge의 대상이 되는 심도까지1)
굴착부 내의 dry work	굴착부 내에서 굴착, 구축에 방해가 되지 않는 위치	굴착바닥 부근의 대수층
굴착지면의 안정	”	굴착바닥 이하의 대수층, 피압대수층
부지외의 지하수위	부지외의 현안지점, 기설 우물을 이용할 수 있음	양수 혹은 recharge 대상이 되는 층2)

주 1) 양수 혹은 recharge의 대상이 아닌 층에서도 체크를 위해, 혹은 영향이 있을 것 같은 층을 대상으로 할 수도 있다.

2) 반드시 최종 굴착바닥이 아닌 경우도 있다.

또한, 다음의 사항에 관해서도 고려가 필요하다.

- ① 측정작업이 용이하게 할 수 있는 것.
 - ② 관측공 및 계측작업이 시공 및 제삼자의 장애가 되지 않을 것.
 - ③ 관측공이 공사나 제삼자에 의해 장애를 받지 말 것.
 - ④ 굴착부내에 설치할 경우 구조물체와의 영향을 고려하여 관측공의 폐공을 쉽게 할 수 있을 것.
- 시공중 굴착부내로 피압지하수 측정용의 관측공(정)을 설치할 때 대수층의 지하수가 굴착 수준보다 높은 상황으로 착공을 하면 피압 정도에 따라서는 착공중에 피압수가 분출하여 공벽이 붕괴되거나 분사현상이 발생한다. 따라서, 관측공은 굴착 개시 이전에 설치하여야 한다. 또한, 공사 중에 관측정을 절단한 때나 casing주위의 차수가 불가능한 경우, 마찬가지로 피압수의 분출이 생기는 일이 있기 때문에 주의가 필요하다.

다) 계측 빈도 등

관측공의 설치는 가능한 한 빠리하고 굴착공사 착수전 혹은 양수전 등의 자연 상태의 지하수위(초기수위)를 계측하고 목적에 따라 일변화, 주변화, 월변화, 년변화 등을 파악한다. 계측 빈도는 통상 1일 1회 정도가 일반적이지만, 전술한 바와 같이 양수(혹은 recharge)개시 직후, 자유면 지하수의 경우에는 다량의 강수가 있는 후, 바닥까지 올라오기 직전 등 상황과 목적에 따라 가변적으로 측정빈도를 늘린다.

2) 유량(양수량, 용수량)

디프웰이나 웰포인트에서의 양수량, 굴착지면이나 흙막이벽면 등에서의 용수량의 파악은 배수공법의 운전 관리를 위해서나 흙막이벽과 굴착지면의 안전성 확인을 위해서 필요하다.

가) 측정방법

측정 방법은 표 2.4-19에서 보여주는 나타내는 바와 같이 3각 notch탱크의 수면 높이를 재는 수동 계측법, 적산유량계로 측정된 유량을 판독하는 반자동 계측법, 전자 유량계의 전기 신호를 컴퓨터 등으로 처리하는 자동 계측법 등으로 분류된다.

수동계측은, 직각 3각 notch, 4각 notch 등이 붙은 수조 쓰고 notch를 넘을 때의 수면높이를 재는 notch탱크법이나 용량을 알고 있는 용기에 물이 가득차게 되는 시간을 측정하는 방법 등이 사용되고 있다. notch 탱크법에서는 직각 3각notch가 가장 많이 사용되고 있다.

유량이 많을 때는 notch을 쓰고 비교적 유량이 적을 때는 용량을 미리 알고있는 용기를 쓰는 방법이 사용된다. 또, notch탱크내의 수심을 수위계나 수압계로 측정함으로써 자동계측을 할 수 있지만 이 경우 흐름이나 수면의 교란을 완화하는 연구가 필요하다.

벽면이나 굴착저면에서의 용수량은 피트(pit)의 수로에 간이 3각 notch를 설치하고, notch 탱크와 같은 방법을 적용하여 계측할 수 있다.

반자동 계측 방법으로는 적산 유량계를 쓰는 방법을 들 수 있다. 측정시각에 유량이 바늘의 회전 속도에서 알 수 있고 동시에 유량의 적산치가 디지털로 표시되기 때문에 전회의 측정 시각으로부터 적산유량, 평균유량을 측정할 수 있다.

자동계측 방법으로는 전자 유량계 등을 컴퓨터에 접속해 측정하는 방법이 사용된다. 적산유량계나 자동계측에 사용하는 관로설치형의 유량계는 관내를 만수상태로 흐르도록 배관한다.

나) 계측 빈도 등

양수량의 측정도 수위의 측정과 같이 전술한 바와 같은 경향이 나타나는 경우 외에, 양수 초기나 지하수위의 변화가 심할 때는 수 십분 ~ 수 시간마다 측정 빈도를 늘리고, 거의 정상 상태로 달한 다음에는 1일 1회정도의 빈도로 계측한다. 또, 지하수위의 변화와 양수량의 측정은 같은 빈도로 같은 시각에 실시하고 양자의 관계가 명백히 되도록 하면 좋다.

3) 기타 항목

시공중 기타의 조사 항목을 이하에 열거한다.

가) 양수한 물의 수질에 관한 조사

양수한 물은 하수도 혹은 하천, 바다 등에 방류한다. 특히 하천이나 바다에 방류하는 경우는 수질이 법령 등의 기준에 적합해야 하고 관리자에게 사전 신고를 하여야 한다. 바다의 경우는 어업조합 등의 관계자와의 조정이 필요한 경우도 있다.

나) 주변에의 영향 조사

굴착공사에 따른 양수 주변에의 영향으로서 지하수위 저하에 따른 우물의 고갈, 압밀침하, 장소에 따라서는 논 등 지표수 함양량의 증가, 지하수의 염수화 등을 들 수 있다. 이러한 현상에 따른 수위측정, 수질조사, 수준측량 등을 한다.

다) 용수 경로의 파악에 관한 조사

굴착시 유입되는 용수가 어느 대수층으로부터의 물인지를 파악할 필요가 있을 때 트레이서(tracer)를 사용하거나 수질의 특징으로 용수 경로를 예측한다. 트레이서로는 염료, 염류 등을 들 수 있지만 이를 선택할 경우에는 다음의 사항에 주의하여야 한다.

- ① 대수층중에 침전되던가 흡착되거나 하지 않을 것.
- ② 조사대상인 물에 자연상태로 포함되지 않는 것.
- ③ 대수층에 침투될 경우 분해되거나 그 물리적, 화학적 성질이 소실되지 않는 것.
- ④ 검출이 용이할 것.
- ⑤ 인체에 무해할 것 등이 다.

수질의 특징에서 그 침투경로를 예측할 경우 원위치에서 용이하게 계측할 수 있는 수온, pH, 전기전도도 외에 분석이 비교적 용이한 이온농도를 계측대상으로 할 수도 있다.

라. 측정위치의 설정

측정 위치는 다음 사항을 고려해 선정하면 좋다.

- ① 안전 관리상 가장 필요하다고 생각되는 곳
- ② 특이한 점에서 가장 위험한 곳이 되는 곳
- ③ 장내 작업이 계측을 방해하지 않는 곳
- ④ 극부적인 영향을 받지 않는 곳

마. 측정빈도와 측정기간

측정빈도와 기간 등에 관한 사항은 다음과 같다.

① 초기치의 파악

지하수위, 지반수준 등의 초기치(지하수위가 변동하는 경우에는 변동 특성)을 시공 전에 파악한다.

② 측정기간

기본적으로 시공 전부터 측정되어야 하지만 시공에 의해 측정 대상에 변화가 미치기 전부터 지하 공사가 되메움되어 종료되는 시점까지가 목표이다. 다만, 지하수위의 백그라운드나 압밀침하 측정과 같이 더욱 장기간을 요하는 경우도 있어 측정 대상 항목, 목적, 현장의 상황에 따라 측정 기간을 정한다.

③ 측정 빈도

공사의 안전성이 손상된다고 예상되는 상태가 되면 기본적으로 측정을 많이 해야한다. 주변 환경에 영향을 미치는 것으로 판단되는 경우에도 마찬가지이다.

바. 관리기준치 설정

각 측정항목에 관해서는 시공조건으로 결정되는 관리기준치를 설정함과 동시에 이것에 대한 안전율을 예상한 관리목표치를 별도로 정하고, 이 값을 넘은 경우에는 측정 빈도 증가 대책 협의, 관

런 부서에서의 연락 등과 같은 관리체제를 조절해서 시공에 임하는 것이 중요하다.

측정값에 비해 다음과 같은 경향이 나타난 경우에는 특별히 주의를 기울여야 하며, 동시에 육안에 의한 점검을 포함하여 이상 유무를 확인하며 그 원인을 파악할 필요가 있다.

- ① 수위의 급격한 상승 저하 또는, 수량의 급격한 증가나 감소가 인정되는 경우.
- ② 불규칙적인 변동이나 큰 변동이 인정되는 경우.
- ③ 수위의 상승, 저하나 수량의 증가-감소가 일정하지 않고 점증 혹은 점감하는 경우
- ④ 경향이나 예측과 다른 움직임을 나타내는 경우

4. 감리계획

가. 공정관리

- 1) 공정계획은 공사기간내 시공을 완료할 수 있도록 수립하여야 하며 유사한 공사의 실적 통계를 근거로 자원투입 및 배분계획과 연계하여 수립하는 것이 바람직하다.
- 2) 공정계획에는 공사착공을 위한 사전 행정처리 기간과 작업장 및 공사장의 용지 확보를 위한 수용 또는 보상기간 등 준비일정을 포함하여야 한다.
- 3) 공정계획은 가급적 넷 워크(Net Work) 기법으로 작성하여 전산화 관리에 의한 작업수행이 가능하고 수립된 공정계획의 정당성과 일정계획, 진도계획, 자원계획, 예산 및 비용분석 평가의 기초자료가 될 수 있도록 수립하여야 한다.

나. 품질관리

- 1) 주요재료 및 공사 목적물에 대하여 소의의 시험검사를 행하고 그 품질, 치수, 강도 등을 확인하여야 한다. 또 재료에 따라서는 파손, 변질될 우려가 있으므로 그 품질보관에 각별히 주의하여야 한다.
- 2) 품질관리는 소정의 자격을 가진 적정한 인원에 의해 관리되어야 한다.
- 3) 시험실은 업무수행상 독립성이 유지되어야 하며 감독, 감리, 시공사와 유기적인 협조체제를 가져야 한다.

다. 작업관리

- 1) 작업장 및 작업의 계획은 기초 및 굴착지역의 형태, 토피, 단면형상, 연장, 공법 및 지형, 지반 조건, 토지이용현황, 환경조건, 주변 도로현황 등을 감안하여 수립하여야 한다.
- 2) 작업장의 위치 및 규모는 공사용 설비의 배치와 사무실, 창고, 가공장, 작업원의 숙소 등을 고려하여 적정하게 결정하여야 한다.

라. 안전 위생관리

- 1) 시공중에는 지반, 지보재, 작업환경, 기계 및 설비 등에 대하여 정기적인 점검을 실시하여 안전에 만전을 기해야 한다.

2) 안전 점검은 법규에 정해진 것 이외에도 필요하다고 예상되는 항목에 대하여 안전관리 책임자에 의하여 실시하고 점검표를 작성하여 그 결과를 기록하여야 한다. 점검표에는 다음 사항이 포함되어야 한다.

- 뜬돌이나 암괴의 밀려남 유무
- 공사장의 정비상태, 환기설비, 조명설비, 배수설비의 작동상태
- 기계설비의 운반로, 궤도, 주행차량, 기계류의 정비 상태
- 각종 전기기기 및 전선류 관리상태

3) 점검의 결과 이상을 발견했을 때에는 즉시 보수하거나 적절한 조치를 강구하여야 한다.

마. 환경보전 대책

- 1) 시공중 소음, 진동, 분진 등에 따른 작업원의 건강장애의 방지는 물론 건강 관리에 노력을 기울여야 한다.
- 2) 굴착, 버력적재, 버력운반, 기계 등의 작업시에는 다량의 분진이 발생하기 때문에 분진의 농도를 정기적으로 측정하여 그 현황을 파악하고 적절한 조치를 강구하여야 한다.
- 3) 소음으로 청각에 장애를 일으킬 우려가 있는 경우에는 귀마개 등 보호구를 사용토록 하여야 한다.
- 4) 착암기 등과 같은 진동을 수반하는 장비와 공구를 장시간 사용할 경우에는 인체에 장애를 주지 않도록 적절한 방진장치를 설치하고, 적절한 작업시간계획을 수립하여 작업원들을 관리하여야 한다.

【참고문헌】

- 농업진흥공사 지하수사업처, 암반사면안정 조사 및 대책, 1999
댐기초지리, 1984
신희순, 선우춘, 이두화, 지질조사 및 암반 분류, 구미서관, 2000
윤지선, 1995, 암의 역학, 구미서관, 1995
이기복, 지반 조사법, 과학기술, 1998
이부경, 1998, 굴착공학의 원리, 대운, 1998
이희근, 임한옥, 터널·지하공간 굴착공학, 구미서관, 1999
조셉 E. 보울즈, 기초구조물의 설계와 해석, 도서출판 엔지니어스, 1995
허유만, 산사태 및 기초지반처리 사례집(농업기반공사 농어촌연구원), 2000