

# 지반조사 결과를 이용한 설계 및 시공시 적용성 연구

Adoptability of Engineering and Constructing Using Geotechnical Survey Data

김진원<sup>1)</sup>

Kim, Jin - Won

장주원<sup>2)</sup>

Chang, Joo - Won

곽정하<sup>3)</sup>

Gwoag, Jeong - Ha

---

## 요 지

지반을 조사하여 설계하는 경우에 합리적이고 경제적으로 설계가 되게 하기 위해서는 지반조사가 철저하고 정밀하게 수행되어야 한다.

충분한 지반조사 자료가 제공되어야만 건실한 설계가 이루어 질 수 있으며 부실 설계를 사전에 예방할수 있다.

뜻하지 않은 붕괴현상을 최소화 할 수 있게 하기 위하여 지반조사 시행과정에서 지반조사 기준에 좀더 세부적으로 보완하였으면 하는 부분을 제안하고자 한다.

- 
- 1) 정회원 : 동일기술공사 지반공학부 고문
  - 2) 정회원 : 동일기술공사 지반공학부 이사
  - 3) : 동일기술공사 지반공학부 대리



## 2.2 틀리기 쉬운 지반조사 조사값 사례

지반조사값 설계값	절토후 시공값	원 인
풍화암 (사장석질 화강암)	화강풍화잔적토사	지반조사량 부족
발파암 (화강편마암)	리 핑 암	지반조사량 부족
발 파 암 (유 문 암)	리 핑 암	지반조사량 부족
발 파 암 (철 암)	리 핑 암	지반조사량 부족 암선불규칙
풍 화 암 (이 암)	토 사	이암의 풍화특성 인식부족

이러한 지반조사값이 틀리기 쉬운 사례를 검토하여 보면 조사량 부족에서 오는 경우가 제일 많으며 암질특성을 파악하기 위한 적절한 조사기법이 수행되지 못한 경우가 대부분이다.

## 2.3 현행 절토부 지반조사 기준

- 가. 절토부에 보링은 절토부 개소당 2개소이상 실시
- 나. 보링심도는 계획고하 1m까지로 한다.
- 다. 종단계획고 20m이상 되는 대절토부에는 지표 지반조사에 의한 암반 불연속성을 분석하고 절리, 단층 풍화 발달 정도를 조사 분석한다.
- 라. 대절토구간에 탄성파 조사를 실시한다. 필요시 전기저항지반조사와 수압시험을 병행할 수 있다.

## 2.4 문제점과 개선안

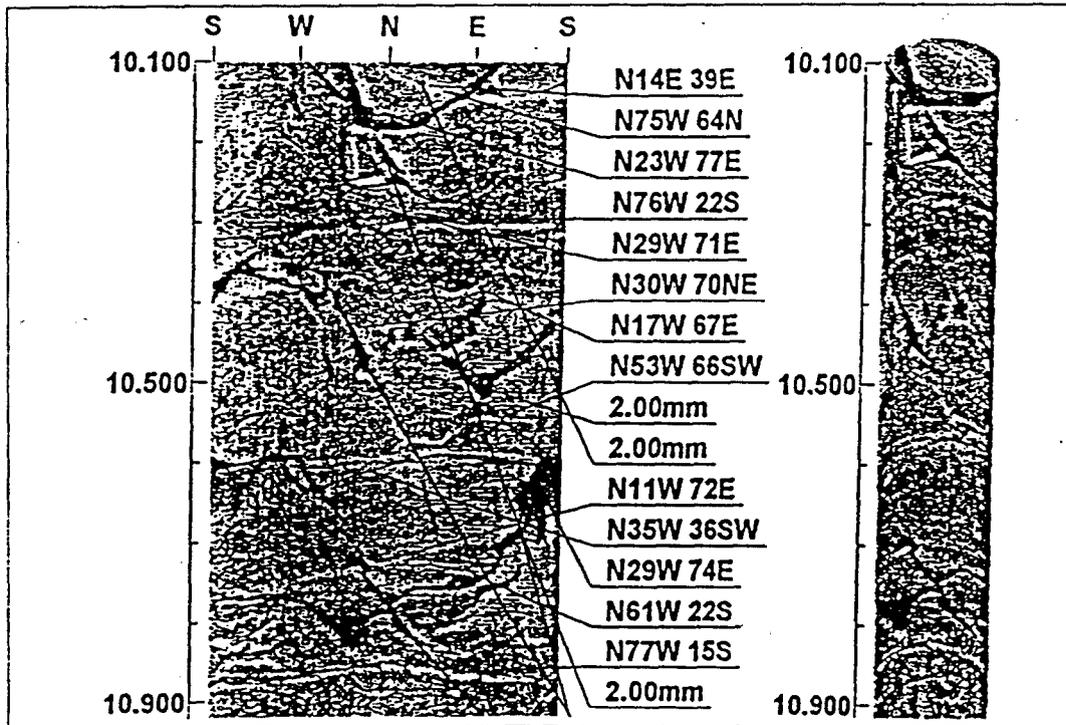
### 가. 사례 1

토사층과 풍화암, 연암, 경암은 시추조사 시료로서 분석은 되지만 중요한 것은 Core 분석시 절리방향이 어떻게 발달되어 있는냐에 따라서 절토면의 썩기파괴, 평면파괴, 전도 파괴성 여부를 찾아야 한다.

그러나 지표면이 토사로 덮혀 있는 지역은 지표지질조사를 수행하지 못하므로 전체적인 지반 경향을 알수 없는 상태에서 조사된 시추 Core 자료로서만 설계값으로 이용하여야 하는데 시추 Core는 절리의 위치를 정확히 파악할수 없고 방향이 바뀌므로 절리방향, 경사방향을 측정하기에는 현실적으로 불가능하다. 이는 시추공에서 Rod, Core Barrel이 인양되면서 시추 Core를 절단한 상태, 그 위치대로 Rod가 올라오기가 쉽지 않고 움직이게 되기 때문이다.

조사기법을 좀더 보강하여 정밀한 설계값이 되도록 하기 위하여는 시추 조사후에 시추 공내에 Televiewer(텔레뷰어)로 관찰하거나 시추공 영상촬영장치(BIPS)를 이용하여 시추공 내에서 절리의 방향, 절리의 경사, 충전물의 크기, 절리의 크기 등을 정밀조사하므로 불연속면의 발달상태를 규명하고 조사한 결과 설계값에 반영하도록 지반조사 기준이 보강이 되어야 한다.

설계자는 이러한 조사값이 근거있게 반영되었나를 확인하여 설계하므로써 시공치와의 차이점이 없도록 축소하는데 도움이 될것이다. 각종 파괴의 가능성 여부, 즉 썩기파괴, 평면파괴, 전도파괴성을 판단할 수 있으며 절토사면 구배를 설계하므로써 시공시에 설계변경을 줄일수 있다.



시추공 영상촬영 장치(BIPS)에 의한 공내 촬영 사례

## 나. 사례 2

지구물리조사(탄성파조사, 전기비저항조사)의 목적은 불연속면의 발달상태를 시추조사의 수직적인 자료와 병행하여 절토대상 구역의 입체 평면적인 불연속면의 규명에 있다. 따라서 시추자료를 먼저 취득한 후에 지구물리조사를 하여야 한다. 리핑암의 분포범위, 심도등이 조사가 가장 실수하기 쉬우며 찾기도 가장 어려운 상태이다. 시추자료 없이 지구물리적 조사값을 선정하는 것은 조사값으로서의 신빙성이 희박하게 된다.

시추 Core 감정조사나 절리조사 자료를 취득한 후에 시추조사비를 절약, 시추공수를 줄이기 위한 방편으로 시추가 완료된후에 그 자료를 근거로 해서 지구물리조사를 시행하여야만 지구물리적 자료가 제대로 나올수 있는 것인데 이 순서대로 진행되지 않는 경우가 있다. 이는 시정되어야 한다. 시추공내에 공내제하시험도 시행하고 각종검출기(Logger)로 삽입하여 검측하고 시추공을 중심으로 하여 조사 측정방향과 측정 축선 전개 방법은 Grid로 시행되어야 함에도 1선만 깔고서 그 결과로 해석하는 것은 정밀한 조사가 아니므로 조사값을 설계값으로 이용하기에는 신빙성이 희박하게 된다.

### • 개선안

개선안으로는 반드시 지구물리 조사축선을 Grid(바둑판)상으로 조사하고 이 조사자료를 평면도상에 탄성치와 비저항값을 표시하여 고저값을 표시하고 심도상으로는 단면도상에 심도별 탄성값과 비저항값을 표시하여 심도상의 지반조건 상태를 조사값으로 표시되어야 한다.

그리하여 불연속면의 위치방향을 표시해서 절토시에 설계값보다 크게 벗어나지 않는 시공값이 나오면 구배 조정, 설계변경, 암선조정 없이 시공할 수 있게 되어야 한다.

특히 리핑암의 위치, 존재, 범위를 찾아서 각종 파괴를 예방해야 한다. 리핑암의 위치 파악하기가 상당히 곤란한데 이는 지하에 묻혀있을때는 암처럼 접하여 있으나 절토후 지표에 노출되면 균열이 많이 가있는 암편들이 모여 있으므로 붕괴를 일으킨다.

또한 리핑암은 토사와 암반의 거동특성을 모두 보이기 때문에 거동특성을 파악하기가 대단히 어렵다.

따라서 리핑암에 대해서는 면밀한 조사를 수행하여 영구보전사면 설계가 되도록해서

사면유지 보수비가 발생 안되도록 설계 시공되어야 한다.

그러기 위해서는 조사단계부터 설계자가 직접 현장관찰 및 조사값을 검증하여 현장상황이 충분히 반영된 설계값을 얻도록 하여야 한다.

암석강도에 의한 분류외에도 TCR값과 RQD값을 리핑암 분류기준으로 이용해서 사용해야 한다.

	TCR	RQD	구 배	비 고
리 핑 암	BX기준 5%	0%	1:1	
	NX기준 10~20%	0~5%	1:1	
발 파 암	10~20%	0~5%	0.8	
	30% 이상	10~20%	0.7	
	50% 이상	30% 이상	0.5	

리핑암인데 발파암으로 조사되어 구배를 발파암으로 설계했으나 실제로 절토한 결과는 리핑암인 경우가 있다. 지표는 토사로 덮혀 있으니 조사가 어려웠던 것이나 조사를 더 못하는데 그 원인이 있다. TCR값과 RQD값을 얻으려면 시추가 더 소요된다.

대개 리핑암의 붕괴현상은 대부분 썩기파괴였으며 해빙기에 절토후 1년이 지난 해빙기와 장마시에 있었다. 붕괴되는 현상이 화강편마암지대에 주로 발생되었다.

이는 화강편마암 내부에 내포하고 있는 운모와 점토분이 함수되므로서 하중증가와 점착력의 감소, 전단강도의 감소로 하중을 이기지 못하고 Slide 된 것이다. 따라서 리핑암의 절토사면의 유지는 Anchor나 Rock Bolt, Net 공법보다는 절토구배를 낮추는 것이 최고의 영구사면의 유지공법이므로 구배를 낮추어야 한다.

#### 다. 사례 3

절토한 구역이 리퍼장비로 Ripping되느냐 안되느냐에 따라 리핑이 안되면 발파암으로 발파를 해야하고 리핑암이라고 해도 TCR과 RQD 상으로 리핑암으로 판단했었으나 리퍼가 아니되는 경우가 있다. 이런 경우는 울림 발파를 해야하는데, 이런 경우이나 화약을 사용해야 하고 화약량이 울림발파 즉 소음진동 0.3kine 정도의 발파가 가능한 화약량이

설계시에 반영이 되어야 한다.

흔히 절토부 현장에서 문제의 제기는 리핑암처럼 되어 있으나 리퍼로 리퍼작업이 안되고 화약을 터트려야 하는 경우에는 암석학적 판단보다도 장비로서 일할수 있는 능력에 맞는 암판정을 해주어야 하므로 재삼 조사, 설계에 어려움을 실감케 한다.

공사비에 증감에 따라 현장에서 감리자와 시공자 사이에서 언쟁을 높이고 싸우는 사례가 허다한데 이를 막기 위해서라도 조사의 중요성이 강조된다. 따라서 완벽한 설계가 되도록 조사를 철저히 수행하여 현장여건에 적합한 설계 및 시공이 되도록 해야한다.

#### • 개선안

Core 감정, 공내촬영에 의한 판단, 지구물리 조사가 이루어졌다 하더라도 지반이 비등방성, 비균질성암을 감안하면 정확한 리핑암선 확인에 대한 조사 한계에 봉착하므로 절토후에 리퍼로 리핑이 안되는 경우를 대비하여 화약 발파를 0.3kine 진동에 맞는 발파 Pattern에 맞는 공사비를 설계시에 반영해 주어야 한다.

#### 라. 사례 4

시추공 규격을 NX구경으로 제한하였으나 장비제원에 대한 규제가 없어 기준이 미달되는 장비가 이용되는 경우 즉 BX Rod나 AX Rod를 사용함으로써 Core Barrel진동이 크게 되므로 TCR, RCD 값이 현저히 저하되어 암반이 실제보다 더 불량하게 평가되는 사례가 있다.

#### • 개선안

NX Core Barrel에는 반드시 NX Rod를 사용토록 해야 한다.

#### 마. 사례 5

풍화암으로 조사값이 되어 감리현장에서 시공된 절토면을 보면 화강풍화잔적토사였다. 이는 조사량 부족에서 오는 사례이다.

절토해야할 개소에 시추자료가 부족해서 온 것이다. 화강풍화잔적 토사는 N치는 높고 TCR값이나 RQD값이 적었을텐데 시추조사량 부족으로 노두에 보이는 풍화잔적토사니까

곧이어 풍화암이 있을 것으로 추정하여 풍화암선을 산정한 것이다. 그런데 의외로 화강 풍화잔적토사의 심도가 계획고 하부로 계속 존재하므로서 사면구배 설계에 문제점을 일으킨 것이다.

개선안으로서는 노두가 보이는 곳에서는 절토개소당 2개소 이상의 시추조사기준은 합리적일수도 있으나 표토로 덮혀 있는 절토개소에는 50m 간격으로 시추조사를 시행하여 TCR, RQD 조사값이 얻어지므로서 조사값이 설계값에 부합되도록 해야한다. 조사량, 시추량 부족에 TCR, RQD 조사의 철저를 기해야 한다.

## 바. 사례 6

포항지구 이암은 풍화암이었으나 붕괴된 사례가 있다. 절토후 붕괴발생, 설계당시에는 1:1구배로 설계, 절토한 것이었으나 1년이 지난후에 붕괴 발생한 사례가 있다. 안산암질 이암은 Bentonite, Montmorilloite로 구성되어 있다.

기존의 사면도 오랫동안 유지되어 오던 사면이 수년만에 안정을 잃고 붕괴 활동에 이른다. 토사의 사면을 구성하고 있는 지반의 물성이 변하기 때문이다.

강우로 인한 지하수위의 변화, 온도의 변화, 함수량의 변화로 안산암질 이암은 풍화작용을 받아 점토광물이 화학반응을 일으키고 점토입자는 표면적이 크므로 풍화작용을 받기 쉽다.

또한 점토 광물은 함수로 미끄러운 면에 전단파괴, 유동(flow), 점성유체성붕괴를 유발한다. 이 지역의 사면안정성은 광물조성, 입도 Consistency, 함수량, 간극비, 포화도, 밀도, 선구조면에서 민감하고 이로인한 2차적인 지반물성치의 변화에 기인한다.

이암, 안산암질 이암은 화산회로 주로 구성되어 있으며 입자가 가늘고 반죽에 의한 강도저하(dilatancy)가 심하다.

이암은 또한 동상도 받기가 쉽다. 절토하고 겨울지나고 여름에 강우에 의하여 slide되기 쉽다. 이암은 세립질 실트화된 점착성을 잃고 유동성 (flow)를 증대시킨다.

고체성을 띄우는 고체 입자 광물(장석)이 이차 광물인 Montmorillonite 점토성 토사로 변하고 Montmorillonite에 있던 모관수는 → 흡착수 → 자유수(지하수)로 바뀌고 건조기에는  $3.6\text{kg/cm}^2$  전단강도, 내부마찰각  $14^\circ$  로 이루다가 강우시 함수되면  $0.16\sim 0.1\text{kg/cm}^2$  전단

강도, 7.5~11.5의 내부마찰각의 물성치로 변한다. 포항과 유사한 응회암, 안산암, 유문암, 이암은 일본에서는 1:1.2, 1:2.6, 1:2.1(24°)에서도 붕괴 되었다.

이런지역은 구조물지지력, 사면보호에 문제점이 있다.

#### • 개선안

이암에 대한 절토사면 설계시에는 평면파괴, 썩기파괴, 전도파괴의 개념은 잊어야한다. 따라서 절리, 층리, 엽리에 대한 조사개념은 없애야 한다. 함수비와 하중증가 개념으로 Consistency와 Dilatancy에 대한 예측을 해야 한다.

전단강도의 변화량을 예측하여야 한다. 조사값과 설계값을 조정하여 2차적인 지반물성치가 발생됨을 예측하고 설계값을 조정하여야 한다.

이암이 물과 반응하고 시간이 경과하므로써 함수비가 증가하므로써 액상화 된다는 개념으로 해석되어야겠다.

이암은 SMR, RMR, TCR, Q값으로 암반을 분류하는것도 적합치 못하다. 거침계수(TRC)나 마찰각으로 해를 구하는 것보다는 한계평형 FEM 유한요소예 의한 Slope pc program에 의한 해를 도출하는 것이 합리적이다.

이런 지역에서는 지반의 강도, 안정성이 문제가 되기 때문에, 최초의 생성시에 일차적인 물성치와 2차적인 지반물성치가 조건에 따라 절토후 변하기 때문이다. 2차적인 지반물성치가 지반의 안정에 크게 영향을 주지만 일차적인 생성시의 흙의 조성광물에 따라서도 중요한 영향을 갖는다.

사면의 안정은 조사시점에서 지반의 물성치 측정에 의해서 안정을 역학적으로 검토하는 경우와 향후 그 물성치의 변화에 입각하여 장래의 안정성을 검토하는 경우가 있다.

물자체는 높은 점성을 가지고 있으므로 이것이 이암의 풍화잔적토(점토)의 소성(plastic) flow의 원인이다. 비중이 1.4정도인 이암이 2.4, 2.6정도의 암으로 되기까지는 아직도 암자체가 비중증가되는 압밀이 계속 진행되고 있는 지역으로 간주된다.

포항지역의 이암은 압밀이 진행되고 있는 지반이라는 전체적인 개념이 들기 때문에 불안한 지반이다. 특히 포항지구에는 양산 단층을 대단층으로서 그 주위에는 깃털단층이 무수하며 활성단층 지역으로서 지반진동이 미세하게 항시 진행되고 있는 지역으로 보아 사

면안정에는 변수로 작용한다.

포항은 기존의 자연 사면지역에 매년 계속적인 지반침하 압밀운동이 계속되고 있다고 보아야 한다.

토질이 압밀이 진행되는 토질을 가지고 있고 지각 변동이 이루어지고 있는 지대에서의 사면절토가 이루어지면 압밀의 균형을 유지하기 위하여 지반의 평준화, 수평화 운동이 이루어져서 계속 지반이 꺼지고 고결이되는 2.5비중의 암석으로 변해가고 있다.

설계시는 이암의 흡수율이나 하중증가량을 검토하고 점토물의 증가로 인한 액상화에 대비하여야 한다. 이암과 안산암(Andesite)의 풍화암은 10° 경사에서 유동성 지반운동이 발생한다.

Consistency, Dilatancy, 건조시 THIXOTROPY(강도회복)의 변화성을 감안하고 Stacking, Swelling에 대비하여야 하며 강도정수의 변화에 구배 설계값을 대비하여야 한다. 층리면을 따라, 또는 절리따라 전단시험 (Tilting test)으로서 사면설계에 반영해야 하며 지구 물리지반조사에 의한 지하수위 분포상황파악, 풍화속도에 대비한 사면설계값 적용에 신중을 기해야 한다.

포항지구 이암 풍화암의 사면 구배는 당초 1:1 구배에서(붕괴되기전), 1:1.5이상으로 설계값으로 적용함이 경제적이고 안정적인 최소의 구배로 보아 향후 개선안으로 제의한다.

조사값을 설계값으로 적용하지 말고 조사값을 2차적인 지반물성치의 변화를 예상하고 설계값으로 조정 적용함으로써 시공시에 시공값에 안정적인 시공이 될 수 있도록 해야 한다고 생각한다.

#### 사. 사례 6-1

포항지구 이암, 안산암지역에서의 풍화속도면에서 볼 때 지표하에서는 풍화되는 양상이 화강암지대와 유사하게 핵석(Core Stone)이 풍화잔적토사에 잔류되어 있음을 확인할 수 있다. 이러한 핵석(Core Stone)이 사면의 유동을 억제시키고 있다가, 강우시에 지반물성치의 변화로 인하여 핵석이 수동토암으로서의 역할을 못하므로써, 파괴가 발생하는 특성이 화강암지대의 핵석과는 다른 현상을 보인다. 수동토암의 제거는 절토로 인하여 발

생하므로 절토부 설계시에 조사값에 의한 설계만을 고려치 말고 수등토압제거에 따르는 구배 설계에도 설계값으로 반영되어야 한다고 생각한다.

그래야 시공시에 절토사면의 붕괴를 막고 안전사고를 미연에 방지할 수 있다. 특히 강우가 오래 지속되는 시기, 강우량 200mm이상, 또는 장마가 15일 이상 될 경우는 흔히 사면붕괴 발생되는 사례가 있으므로 구배 설계시에는 이에 대한 대비가 있어야겠다.

#### 아. 사례 7

설계, 시공, 지반조사에 대한 예산 집행등이 영구사면을 위한 조사, 설계 시공을 위한 원칙을 기본으로 하여 시행된다면 문제는 없다. 그러나 예산에 맞추어서 지반조사를 해야하고 예산에 맞추어서 설계하고 예산에 맞추어서 시공을 해야하는게 현실이다.

조사량 부족으로 설계값이 불충분하게 되고, 불충분한 설계자료로 설계되어 영구보존 사면이 되지 못하고, 사면의 수명이 10년이 지나면 붕괴가 오면 다시 보수공사 해야하는 사례가 있다. 유지관리 차원에서 유지관리비가 추가적으로 발생하게 되는 것이다.

- 혈암층의 사면은 점토분이 많아서 풍화를 오랜 기간(10년이상) 받으면 리핑암, 토사로 변하므로 구배조정이 불가피하게 된다.

- 화강편마암 풍화암이나 유문암, 안산암의 풍화암도 점토분이 많아서 풍화를 오래받으면 토사로 변하여 리핑암 토사로 변하므로 구배조정이 불가피하게 된다.

개선안으로서는 사면 안정설계를 위한 조사비, 설계비, 시공비는 영구보존 사면을 위한 차원에서 예산이 책정되어야 하며 설계가 예산에 맞추는 식이 되어서는 안되겠다.

설계할때는 유연성이 있는 예산, 공사비 설계가 되도록 시장개방화 시대에 맞게 조사를 철저하게 수행된 후 사면구배 설계가 이루어졌으면 한다.

### 3. 터널부의 지반조사 설계와 시공

터널조사, 설계, 시공에서 굴진막장의 암반상태를 굴진하기 전에 파악되어야 함에도 실제로 조사값, 설계값과 시공값이 서로 차이가 발생하는 사례가 있다.

따라서 설계값과 시공값의 차이를 최소화하여 설계값을 최대한 시공값에 합당하도록 해야한다.

#### 3.1 터널지반조사기준

가. 터널은 개소당 3개소이상 보링

나. 300m당 1개소이상 보링하고 심도는 계획고하 2m로 한다.

다. 시추조사시 수압시험과 공내재하시험을 병행한다.

라. 터널계획지점 부근지역에 현장 지표지질조사를 통한 암반불연속성을 분석하고 절리, 단층, 균열 및 풍화정도를 조사 분석한다.

마. 터널전연장에 대해 탄성파조사 실시, 보링과 탄성파 조사 결과를 비교분석하여 터널 설계 및 단면 형식결정에 이용될 수 있도록 한다.

바. 탄성파 조사후 상세한 추가 암질상태와 불연속면(파쇄대 및 단층등) 파악 필요시 전기비저항조사를 시행할 수 있다.

#### 3.2 문제점 및 개선안

가. 사례 1

터널 계획노선 전연장 300m당 1개소 이상 시추조사 한다는 것은 지형조건상 시행되지 못하고 있는 실정이다.

대부분의 경우 터널계획 시점부와 종점부에서 각각 1개공씩 조사시추가 시행되고 있는 실정이다.

시점부와 종점부 시추는 암선 확인 정도의 시추조사이므로 토공량 조사 시추라 해도 과언이 아니다.

탄성파 지반조사나 전기비저항 지반조사로서 터널 계획고의 암반분류를 사전에 위치별

로 인지하기에는 지반조사 기법상에 한계점이 있다고 본다. 시추는 300m마다 1개공 정도로 암반을 분류하기도 곤란한 실정이다.

#### • 개선안

시추공 지반조사 자료로서는 연암, 경암의 위치파악, 탄성과 지반조사 전기비저항 지반조사도 암반의 연암, 경암 TCR, RQD를 추정하지만 굴진막장의 암반분류에는 현 지반조사 기준으로는 어려움이 많기 때문에 지반조사 기법상에 보완이 필요하다.

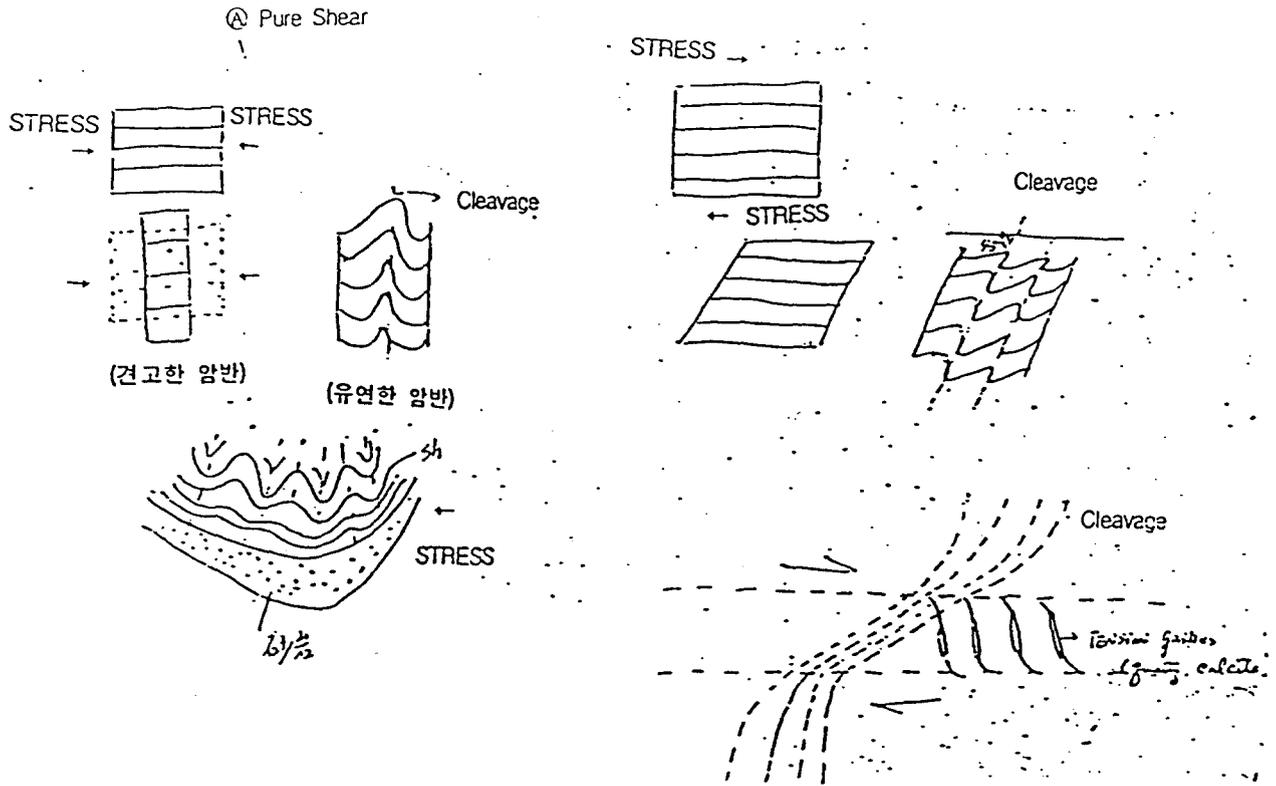
굴진 막장에서의 암반의 자립성(自立性)을 예상하기 위해서는 지반의 균열, 절리상태등이 가장 중요한 요소라 하겠다.

이러한 균열대, 파쇄대 절리 발달 상태를 조사하는 기법은 구조 지반 조사방법 (Structural Geotechnical Survey Method)라 하겠다.

본 기법은 계획 터널의 지반고를 중심으로 하여 터널의 상부, 좌측부, 우측부에 대한 지반구조를 터널 전연장에 대하여 조사하는 것이다.

조사내용 : 지반의 Tension, compression, couple, Torsion을 조사하므로서 Shearing Stress를 받은 Sheared Zone을 조사한다. Sheared Zone은 지반이 심한 교란을 받은 지역이다.

순수 Shear(Pureshear)를 받은 지역은 견고한 암반과 유연한 암반이 횡압력을 받았을 때 균열절리 Cleavage가 수직적으로 발달하고 단순 Shear(Simple Shear)는 서로 엇갈리는 횡압력이 작용하였을 시에는 Stress의 방향과 45° 내외의 변형(Strain)을 이룰 때 단순 Shear라 한다. 따라서 절리가 45° 경사로 이루어지며 이에 수직이 되는 방향에서 Tension Gashes의 Strain 물질이 생긴다. 이 현상을 보고 단순 Shear의 구조 지반운동이 있었음을 예측할수 있다. Cleavage의 방향성을 추정할 수 있다. Strain Stress에 의하여 생긴 변형을 말하며 Strain은 체적의 변형, 크기의 변형을 말한다.



화강암은 반려암보다 압축성이 아주 높은 암반이다.

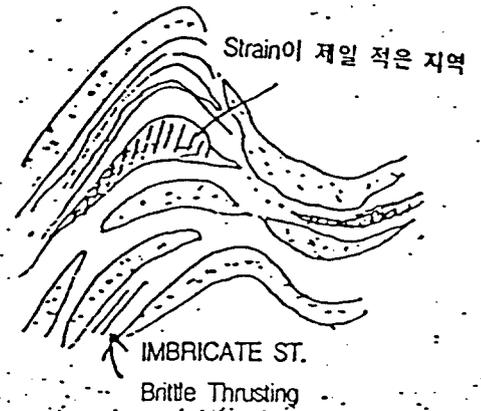
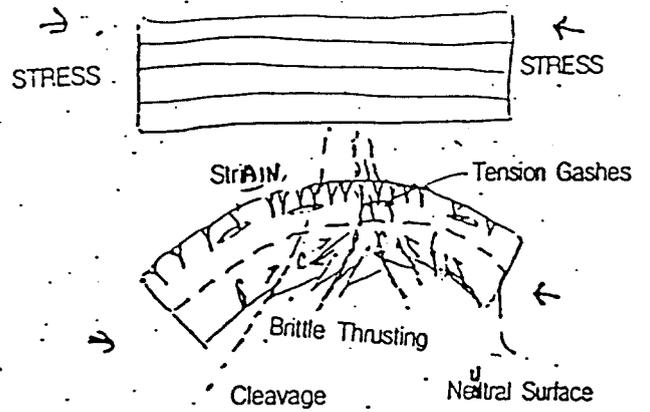
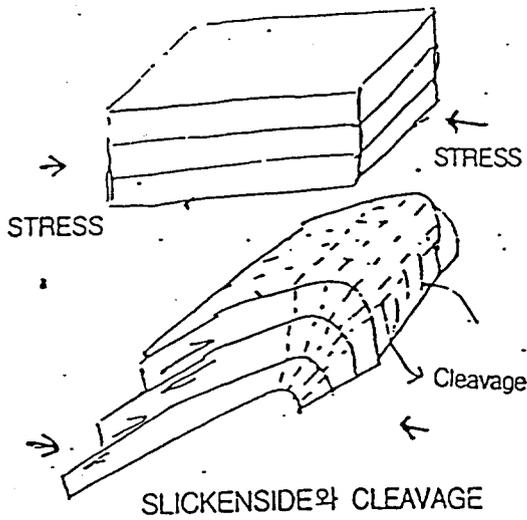
변형의 3단계인 탄성, 소성, 파괴에서 Shear fracture가 생긴다. 횡압축(Compression) 지반 운동이 있는 지역과 Tension(인장) 지반운동이 있는 지역의 중간지역에서는 Boudin(오징어다리)의 구조가 생긴다. 이는 지반변형의 Strain의 증거이며 지반압축의 방향과 지반인장의 방향의 Cross되는 방향으로 절리가 발달한다.

이러한 지반구조 운동의 Strain을 찾아서 그의 습성을 터널 계획고 노선으로 투영시키면 그 터널의 암반의 절리 방향과 습성, 절리의 크기와 규모, 절리의 양을 유추해 낼 수 있다.

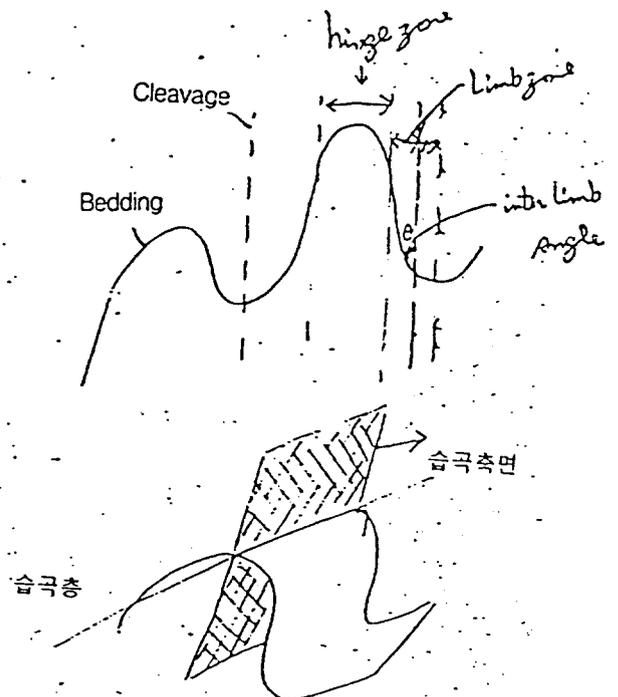
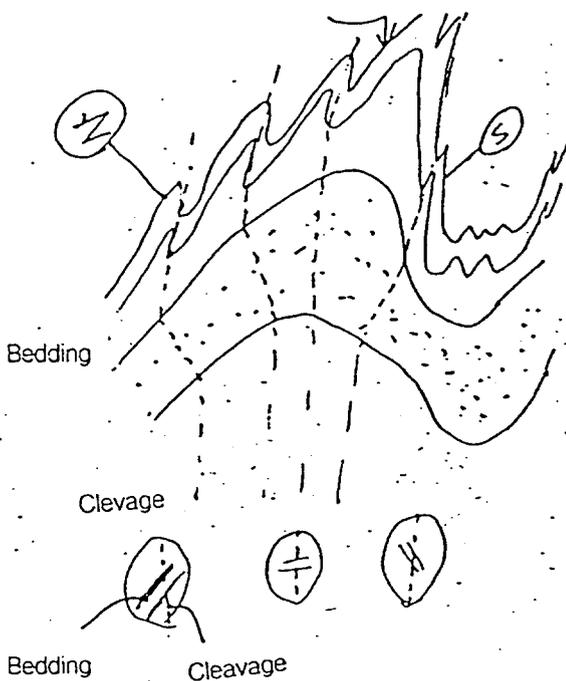
터널의 암반의 절리를 위치별로 그 습성을 추정하므로써 굴진 막장의 자립성, 암반분류를 유추하는 기법이다.

본 기법은 문의재 터널에서 시도한바 있으며 현재 터널 굴진중에 있다. 당초 지반 조사당시 유추했던 암반분류 조사값과 이상하게도 굴진막장 시공값과는 동일한 상황이라서 신기하게 생각된다.

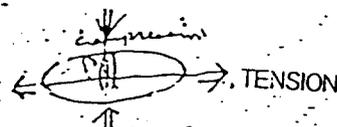
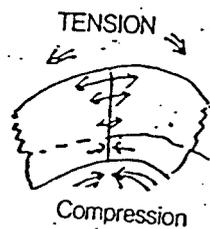
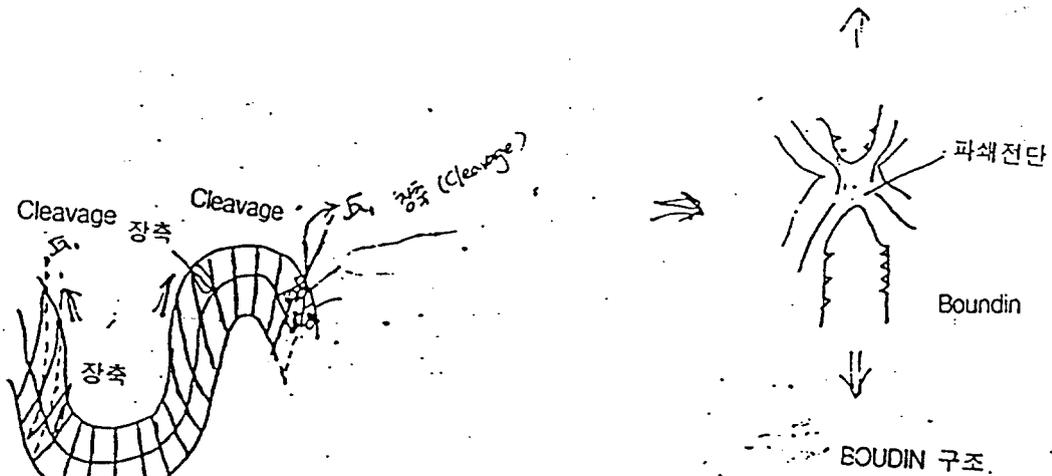
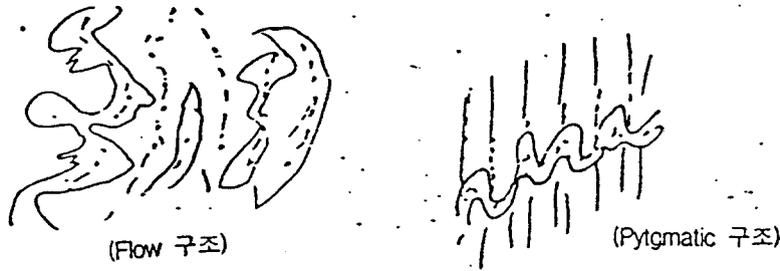
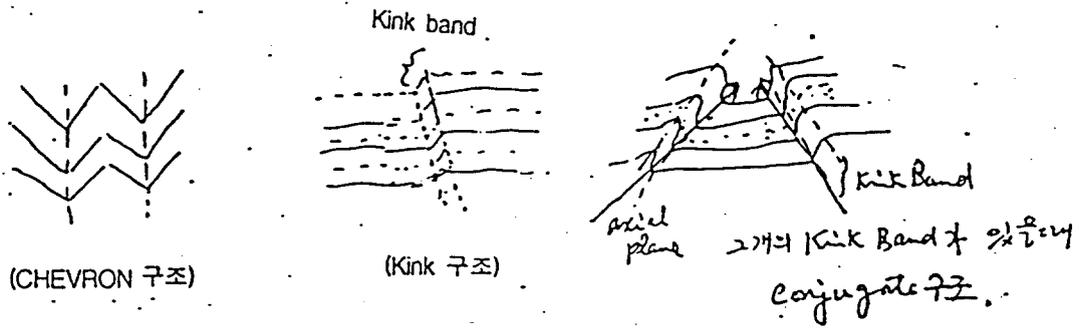
특히 Imbricate Structure의 변형 (Strain)이 있는 곳에서는 습곡구조 (Anticline Structure)의 외곽지역에 Tension Gashes가 생기며 습곡축에 나란한 Cleavage를 형성한다. 습곡구조 내곽지대에 압축작용에 의하여 파쇄대 (Brittle Thrusting)가 생긴다.



Cleavage와 Bedding이 만나는 교점에 선구조(Lineation)이 생기며 습곡축의 방향과 경사를 유추해 내므로서 Cleavage와 Bedding의 방향과 경사를 추정해 내고, 터널 계획고 노선으로 투영시키므로서 터널 굴착전의 암반 상태를 추정 할수 있다.



Kink Band구조, Conjugate구조, Chevron구조, Thrust구조, Flow구조, Isogon Converge구조, Pytegmatic 구조, 단층구조, 암맥구조, 습곡의 간섭구조, 습곡의 Orientation 이상의 구조, 변형구조로 Cleavage, 절리의 상태를 규명함으로써 터널의 균열 발달상태 절리발달 상태를 추정할 수 있다.



이러한 조사기법으로 터널내부로 암반 절리 습성을 연장하여 투영, 조합하으로서 계획 터널 내부 막장 응력의 분포와 응력 집중도, 응력을 받는 위치를 예상할 수 있으며 암반 분류를 할 수 있다.

구조지반 조사기법의 적용을 제안한다.

#### 나. 사례 2

터널 설계자는 반드시 선형을 따라서 터널 계획선을 따라 현장을 도보로 걸어야 한다. 설계 PM(Project Manager)은 터널계획선을 도보로 걸어 보지도 않고 터널 시점부와 종점부만 보고 현장답사로 하고 산행을 하지 않는 설계자가 있는데 이것은 잘못된 것이다.

특히 Computer로 Flac, SMAP, TUNA, Pentagon 기타 여러 프로그램으로 터널을 해석하고 입력하고 설계하는 분은 현지에서 터널설계 할곳을 최소한 3번 정도 선형을 따라 왔다갔다 해서 입체적으로 터널을 생각하여야 한다. 어느지점에는 지형상으로 보아 출수가 예상되고 어느지점에는 절리 방향이 어떻고, 어느 지점은 Stress를 어느 방향으로 받아서 파쇄대가 있다든지 확인해야 한다. 지표 노두가 잘 안보이는 곳은 탄성과 시추, 전탐 실시해야 겠다든지 하고, 조사치를 보고, 굴진예상 막장 Sketch를 설계전에 예상하고 PC를 돌려야 함에도 현장은 자동차로 보고와서 설계해서는 안된다.

#### 다. 사례 3

VLF(Very Low Frequency)극저주파 지반조사법의 활용

작동방법이 간편하다. 조사비용이 저렴하다

탄성파조사법은 에너지 발파이므로 화약면허 소지자이어야 하고 경찰서의 간섭이 크고 소음진동에 민원의 대상이 된다.

화약을 사용 안하면 햄머의 Power Source가 적어서 해석이 잘 안되니 그런점에서는 VLF 탐사기법이 유리하나 깊은 탐사 심도는 적합하지 못하다. 송신소에서 발사되는 저주파를 이용하므로 Power에는 경비는 발생되지 않는다. (호주, 일본 방송국 주파수 이용 22.3khz 호주, 일본 17.4khz)

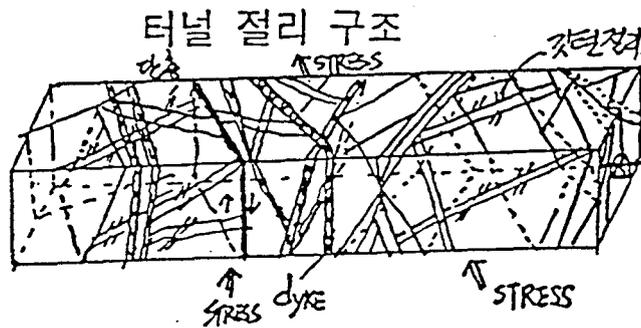
심도 10m 이내는 가탐심도이다. Overburden이 나타난다. Fracture zone 탐사에는 유리

하다. 주파수 직각방향에 설치 되어야 하므로 현장에서는 잡히는 국이 나온다. VLF를 가지고 돌아다니다 보면 어느 방향에서 단층을, 작으나마 Fracture zone의 폭에 경사가 나온다, 속도는 나오지 않지만 형태적인 것만이 나온다. 암반지하수 탐사에서는 어느 경사에서 형태적인 것이 잡히므로 유리하다.

경사각은 Tiltangle-동상성분과 Ellipticity-이상성분과의 이심율이다.

터널의 암반 평가에는 가탐심도 한계가 있다. 그러나 구조지반 조사 결과도를 평면도, 단면도 입체도상에 예상되는 불연속면을, 터널 계획선에서 심도 10m 이내에서 균열, 절리의 폭, 방향, 경사를 확인할 수 있으므로 저주파 지반조사를 추천한다.

GPS 기능을 가지고 있는 VLF의 장점은 자기 위치를 잡을 수 있다는 장점이 있다. 균열, 절리의 방향성 위치가 오차가 거의 없게 위치 확인을 겸하므로 유리한 지반조사 기법이라 하겠다. 10m 지표하부에서의 구조지반 조사법을 균열, 절리조사기법으로 이용하면 정밀한 절리조사로 이용할 수 있다. 터널 입체도에서 이상의 지반의 조사자료를 모자이크하므로써 입체 지반구조 터널절리 도면 작성이 가능하다.



계획터널의 절리분포 상태가 위치별로 예상되면 다음에는 이에 맞는 천공 PATTERN을 결정하고 발파PATTERN을 결정할 수 있으며 지보공법을 결정할 수 있어서 터널 조사 설계값이 합리적으로 근거있게 설정할 수 있다. 이런 지반조사 기법이 터널 설계 및 시공자에게 활용되었으면 하는 마음에서 추천한다.

## 5. 결 론

- 가. 지반조사를 시행함에 있어 조사값을 설계값으로 이용하였으나 시공현장에서는 일치하지 못하므로 그로 인하여 설계변경을 하여야 하는 사례가 생긴다. 이를 위해서 기존에 주어진 지반조사기준에 문제점과 개선안을 제시했다.
- 나. 절토부 지반조사기준의 조사량 한계성이 있는바, 이를 보완하기 위하여 시추조사에서 Core 인양시에 Rod, Core Barrel의 이등으로 인하여 Core만으로 절리의 방향을 알수 없다. 시추공내에 영상촬영장치를 이용하여 절리방향, 절리의 경사, 절리의 크기를 정밀조사하므로서 각종 파괴의 가능성 여부를 판단할 수 있고 절토사면 구배설계를 할 수 있으며 시공시에 설계변경을 줄일수 있다.
- 다. 리핑암의 존재 범위를 지반조사할 경우 리핑암의 존재 파악을 실패하기가 쉽다. 그러므로 시추조사로 TCR, RQD 조사로 판단이 가능하나 시추조사량의 한계가 있으므로, 지구물리 지반조사를 하므로서 리핑암의 존재를 파악해야 한다. 리핑암에서 붕괴되는 사례가 많다, 반드시 바둑판 (Grid)식의 지구물리지반 조사가 요망된다. 1개 축선만으로 조사하는 사례가 있으므로 이는 억제되어야 한다.
- 라. 시추 Core 조사결과 TCR, RQD 값으로는 Core상으로는 리핑암이라고 하더라도 절토 시공시 화약을 사용해야만 할 경우에는, 울림발파시 0.3kine의 진동이 되는 발파패턴 정도의 화약량은 설계시에 반영되어야 한다.
- 마. 포항지구 이암, 안산암의 발파암을 최초의 암반 생성시 일차적인 지반물성치가 2차적인 지반물성치의 변화가 있는 지반에 대하여는 발파암 구배를 당초 1:1 구배에서 1:1.5로 조정을 제안한다.
- 사. 터널지반조사기준으로 터널계획고의 암반을 분류한다는 것은 한계점이 있다. 암반의 자립도를 추정하는 구조지반조사 기법을 제안한다. 보완기법으로 VLF 조사기법을 균열대 조사기법으로 병행 하므로서 암반균열, 절리상에 규명에 유용한 보조기법이 될 것으로 추천한다.