

설계업체의 입장에서 바라본 지반조사의 현황 및 문제점

김 성 인 이사,
(유니백)

설계업체의 입장에서 바라본 지반조사의 현황 및 문제점

김 성인 이사, (유니백)

1. 말뚝기초

1.1 개요

구조 및 항만 등과 같은 여러 다른 분야에서도 설계 및 시공시 문제점이 많이 나타나고 있지만 특히 지반과 관련된 경우는 그 문제점이 많이 발생되며 매우 다양하다. 특히 지반 분야 중에서도 말뚝기초의 경우에 그 경향이 두드러지며 그 원인은 다음과 같다.

1) 흙의 성질과 지반상태가 매우 복잡하다.

이것은 말뚝기초에만 한정된 것은 아니며, 지반과 관련된 분야에서 공통적으로 느끼는 가장 큰 원인이라고 할 수 있다. 수평방향이나 수직방향으로 명확한 규칙성이 없는 지반을 단지 조사만을 통해서 정확하게 규명한다는 것은 거의 불가능한 일이다. 지반은 암의 관입형상, 퇴적환경 등에 따라 지하 형상 및 특성이 결정되기 때문에 매우 복잡하다. 따라서 가능한 충분한 조사를 통해 복잡한 지반조건에 따른 문제점을 최소화시키는 것이 중요하다.

2) 지반조사 계획 및 조사방법에 대한 표준이 명확히 정립되어 있지 않다.

지반조사의 목적은 주로 설계와 시공을 위해 정확한 지반 정보를 획득하는데 있다. 그러나 조사계획을 수립할 경우, 단지 일반적으로 제시되어 있는 표준수량을 무비판적으로 수용하거나 그 수량조차도 시행하지 않는 경우가 많다. 그러나 지형 및 목적구조물의 범위를 고려하여 정확한 지반정보를 구하려고 하는 노력이 필요하다. 또한 표준관입시험치(N치)에만 의지하여 설계를 하는 구태의연한 방법보다는 정확한 지반정보를 구할 수 있는 여러 시험법을 적용하여야 한다.

3) 지반 내에 설치되므로 품질관리가 곤란하다.

말뚝을 지중에 설치한 경우 타입에 의해 말뚝의 손상 여부를 파악할 수 없으며 현장 타설 말뚝인 경우, 시공부주의에 의한 결함여부를 확인할 수 없다는 단점이 있다. 물론 시공시 규정된 시공관리에 의해 정확하게 설치를 해야 하지만 재하시험과 같은 지지력 확인 시험을 실시하여야 한다.

4) 다양한 시공법에 대한 이해가 부족하다.

토목기술이 발전함에 따라 말뚝기초에 대한 공법도 여러 방면으로 개발되고 있다. 그러나 설계자나 시공자가 그 시공법에 대해 완전한 이해를 하지 못하여 시공시 품질관리에 실패하는 경우가 종종 발생된다.

1.2 말뚝기초 설계/시공시 필요한 지반정보

1) 지층구성 상태 및 각 지층의 특성

지층구성에 관한 지반정보는 지지층의 깊이와 두께 그리고 지지층의 연속성 및 경사나 요철 여부 등이다. 이외에도 중간층의 구성상태 및 각 층의 강도특성을 파악하는 것이 중요하다.

2) 타입 및 굴착과 같이 시공과 관련된 지반정보

파일의 시공능률과 관계되는 것으로 지층 중에 존재하는 전석 및 자갈의 존재 유무가 가장 중요한 정보이다. 최대자갈지름, 경도와 굴착저항 그리고 출현심도와 출현빈도 등에 대한 정보가 파일 설계 및 시공에 필요하다.

3) 공벽유지와 관련되는 지반정보

공벽의 붕괴, 이완 및 공저의 보일링 가능성에 대한 정보를 가지고 말뚝의 종류 및 공법을 선정할 수 있다. 공벽의 이완은 연약한 점성토층에서 발생하며 모래 또는 자갈층에서는 공벽붕괴가 발생된다. 또한 지하수가 급격하게 흐르고 있는 투수성 지반에서는 공벽의 안정을 위해 사용한 니수가 누수될 수 있다.

4) 콘크리트 품질과 관련된 지반정보

현장타설말뚝을 사용하는 경우, 토양 및 지하수의 화학성분을 조사하여 사용시멘트의 종류를 결정하여야 한다. 조사하여야할 항목은 지하수 및 토양의 pH와 수질 등이다.

1.3 조사/시험 단계에서의 문제점

1) 지반정보 부족으로 인한 문제점

지반정보의 부족이란 조사지점수의 부족, 조사심도의 부족 및 조사항목의 부족을 말한다. 조사수량 부족이 가장 많이 발생하는 문제점으로 이는 설계당시의 예산문제와 조사지점 선정시 기술적 판단이 곤란하기 때문에 발생하는 것으로, 시공시 설계에서 예측한 지반과 실제 지반이 달라 큰 혼란을 초래하게 되므로 시공전 확인측량을 통해 이를 보정하고 있는 실정이다. 또한 말뚝기초의 경우 원칙적으로 지지층의 심도와 그 두께를 확인할 수 있는 심도까지 조사하여야 한다. 그러나 조사 후 구조물의 변경 또는 말뚝공법의 변경 등으로 인해 지지층을 확인하지 못하는 경우가 종종 발생하기도 한다. 조사항목의 부족의 경우, 대부분 시추조사시 표준관입시험만을 실시하는 것이 대부분이어서 설계시 고려해야할 여러 요인들에 대해 생략하거나 추정하는 경우가 많아 정확한 설계가 이루어지지 못한다.

2) 지반조사 과정에서의 문제점

조사보링의 직경이 작아 수직도가 유지되지 않아 정밀도가 저하된다. 또한 자갈층의 경우 공벽이 붕괴되어 붕괴된 자갈이 공저에 침적되어 자갈층을 실제보다 깊게 오인하는 경우도 발생한다. 또한 자갈직경이 커질수록 정밀도가 나쁘고 그릇도니 정보를 줄 수 있으므로 보링공경을 최대한 크게하는 것이 바람직하다.

3) 표준관입시험의 문제점

지반조사에서 표준관입시험은 거의 만능으로 여겨지고 있다. N값의 심도분포와 지반 종류를 알면 대부분의 구조물에 대한 말뚝기초의 설계가 가능하다. 그러나 이 N값은 보링방법과 타격방법 등에 많은 영향을 받으며 특히 자갈층에서는 실제보다 단단한 지반으로 평가할 수 있으며 공저에 남아 있는 자갈로 인하여 자갈층의 두께를 더 두껍게 평가하거나 자갈이 섞인 혼합토로 판단하기 쉽다.

1.4 계획/설계 단계에서의 문제점

1) 지층, 지질의 판정착오

가장 많이 발생하는 문제점으로 지지층의 급격한 변화를 충분히 확인하지 못하거나 중간층의 두께 및 굳기에 대한 정보를 정확하게 구하지 못하면 실제 말뚝 시공시 말뚝 본체가 손상되거나 더 이상 관입이 곤란한 시공불능 상태가 된다.

2) 시공공법 선정의 오류

이것도 지층, 지질의 판정착오에 따라 부가적으로 발생하는 것으로 설계에서 제시된 말뚝시공공법을 변경해야 하는 일이 종종 발생한다. 이것은 지층의 판정, 특히 자갈의 직경이나 호박돌, 전석 지름의 오인과 관련되는 것과 피압수와 같은 지하수에 대한 조사 부족에 기인하는 것이 많아 결과적으로 시공능력을 초월하는 공법이 선정되는 경우이다.

3) 말뚝종류의 선정오류

특히 타입말뚝에서 깊은 연약지반을 관통하여 기성 콘크리트 말뚝을 타입 할 때 구속압력 부족으로 인해 말뚝에 인장응력으로 인해 인장균열이 발생하는 경우가 종종 있으며 이에 따라 말뚝의 지름이나 종류를 변경하는 사례가 있다.

4) 부마찰력 검토 불충분

연약지반에 설치된 말뚝이 주변의 성토에 의한 지반의 압밀에 의해 부마찰력이 발생하여 구조물의 부등침하나 말뚝이 파손되는 사례가 있다.

5) 지지층 선정의 오류

조밀한 풍화토의 두께가 깊은 경우에도 설계자는 말뚝을 풍화암 이상의 양호한 지층에 지지시키려고 하는 경향이 많다. 그러나 이런 경우, 실제 말뚝을 타입하게 되면 풍화토에 관입되면서 말뚝선단에 상당한 손상이 올 수 있다. 시공시 말뚝의 관입량이나 리바운드량으로 시공관리를 할지라도 허용관입량이 지나치게 보수적인 경우에는 말뚝이 손상된 상태로 관입이 될 우려가 있다.

따라서 설계자는 자세한 검토 없이 풍화암 이상의 지층에 말뚝을 지지하려 하지말고 wave equation을 이용하여 지지력을 산정하면 풍화토층이라 할지라도 적절한 지지력이 발휘되는 심도에 말뚝을 근입시킬 수 있다.

6) 지반반력계수 산정의 오류

건설교통부에서 발간한 도로교시방서의 하부구조편에 의하면 지반반력계수를 구하는 식을 다음과 같이 제시하였다.

$k_{vo} = \frac{1}{30} a E_o$, 여기서, k_{vo} ; 지름30cm의 강체원판에 의한 평판재하시험시 연직방향 지반반력계수, a ; 상수 E_o ; 변형계수, 이때 변형계수 E_o 는 다음 표를 이용하여 구하도록 제시되어 있다.

변형계수 E_o (kg/cm ²)	a	
	평상시	지진시
지름 30cm의 강체원판에 의한 평판재하시험을 반복시킨 곡선에서 구한 변형계수의 1/2	1	2
보링 공내에서 측정된 변형계수	4	8
공시체의 1축 또는 3축압축시험에서 구한 변형계수	4	8
표준관입시험의 N값에서 $E_o=28N$ 으로 추정된 변형계수	1	2

그러나 재하시험이나 실내압축시험을 실시하기 보다는 시추조사시 획득한 표준관입 시험치를 이용하여 변형계수를 구하는 것이 일반적이다. 그러나 시방서에서 제시한 식에 의하면 토질의 종류(점토, 모래)나 강도(느슨, 조밀 또는 연약, 견고)와는 상관없이 일률적으로 적용토록 되어 있는 모순을 가지고 있다. 시방서에서 제시된 식은 조밀한 모래(N치 30이상)의 경우에 적합한 식이기 때문에 점토나 느슨한 모래에 적용하게 되면 변형계수값을 지나치게 크게 평가할 가능성이 있다.

변형계수값을 크게 평가하게 되면 말뚝의 수평지지력이 크게 산정이 되므로 불안정한 설계가 된다고 할 수 있다. 다음은 HUNT(1983, Geotechnical Engineering Investigation Manual)가 제시한 여러 가지 토질에 따른 일반적인 변형계수값을 적용한 것으로 이를 참고하여 N치와의 상관관계를 새롭게 설정하는 것이 바람직하다

흙의 종류	상대밀도 또는 consistency	탄성계수(kg/cm ²)	포아송비
점토	연약, 예민	20~40	0.4~0.5 (비배수)
	견고	40~80	
	매우 견고	80~120	
Loess		150~600	0.1~0.3
실트		20~200	0.3~0.35
세립모래	느슨	80~120	-
	보통조밀	120~200	0.25
	조밀	200~300	-
모래	느슨	100~300	0.2~0.35
	보통조밀	300~500	-
	조밀	500~800	0.3~0.4
자갈	느슨	300~800	-
	보통조밀	800~1000	-
	조밀	1000~2000	-

1.5 시공단계에서의 문제점 I (타입말뚝)

1) 말뚝의 손상

말뚝의 손상은 두부나 선단부에서 가장 많이 발생하는데 두부 손상은 관찰이 가능하지만 선단부의 손상은 관찰이 불가능하고 항타시 관입량이나 리바둔드량 등으로 유추할 수 있다. 말뚝의 손상을 방지하기 위하여 적절한 햄머와 쿠션재를 사용하고 편타방지를 하여야 한다.

2) 소음 및 진동

말뚝을 타입할 경우에는 소음 및 진동을 유발하지만 규제법규를 만족시키는 범위내에서 적극적으로 소음을 줄이는 노력이 필요하다. 소음을 줄이기 위해 방음커버를 사용하거나 유압햄머를 사용하는 것이 바람직하다.

3) 최종관입깊이의 부족

부정확한 지반조사로 인한 경우가 대부분이므로 시공전 충분히 지반조사를 하여야 하며 시향타 및 적절한 햄머를 선정하여 시공하여야 한다.

4) 지반 및 인접구조물의 변위

말뚝관입으로 인해 말뚝체적 만큼 흙이 측방으로 이동하여 지반이나 인접구조물에 영향을 미치게 된다. 따라서 선굴착공법을 병행하거나 배토가 적은 강관말뚝으로 변경하는 것이 효과적이다. 이외에도 지반을 개량하여 측방변위를 감소시키기도 한다.

5) 경사 또는 편심

시공부주의로 인하여 말뚝이 경사져서 관입되어 말뚝의 지지력이 감소하게 되어 상부구조물의 안정에 영향을 주게된다. 따라서 말뚝의 수직도를 측량하고 항타기의 경사를 조절하여 말뚝의 경사를 수정해야 한다.

1.6 시공단계에서의 문제점 II(매입말뚝)

1) 공벽의 붕괴

공벽의 안정관리가 불충분하거나 지층 중간에 모래나 자갈층이 있는 경우 공벽이 붕괴되어 굴착후 말뚝이 소정의 깊이까지 매설되지 않는 경우가 있다. 따라서 지반특성에 적합한 안정액을 사용하여야 하며 안정액의 품질을 개선하거나 케이싱공법을 사용하여야 하여야 한다.

2) 굴착불능 지층

오가를 사용하여 지반을 굴착하게 되는데 전석과 같은 장애물의 경우 굴착이 불능한 경우가 있다. 이런 경우에는 특수로드를 사용하거나 암반용 헤드로 파쇄하여 굴착을 하여야 한다.

2. 절토사면

2.1 개요

도로나 단지를 계획함에 있어 시공시 가장 많은 문제점이 나타나는 경우가 절토사면이며, 특히 암반사면일 경우, 시공 중 또는 시공 후 문제가 발생하는 경우가 종종 있다. 이것은 조사/설계 당시에 충분한 조사가 이루어지지 않아 대상사면의 공학적 특성을 정확히 파악하지 못하여 발생하는 것과 대상암반의 특성에 대한 몰이해로 말미암아 적절한 설계가 이루어지지 못하였기 때문에 발생하는 것이 대부분이다.

조사단계에서는 대상사면의 토질 및 지질정보를 획득하는 것이 주목적이며 설계단계에서는 절토사면에 대한 안정성을 확보할 수 있는 사면경사와 대책공법을 수립하며, 지하수 변동을 추정하고 그에 대한 대책을 마련해야 한다. 또한 굴착방법을 수립하며 굴착토사의 성토재료로서의 가능성을 평가하는 것도 설계단계에서 수립하여야 한다. 조사단계에서 대상사면이 암반일 경우에는 주의 깊은 노두관찰을 실시하여 사면설계에 십분 발휘할 수 있는 기초자료로 이용하게 된다. 또한 시추조사를 통해 코어샘플을 관찰하고 RQD와 같이 암반의 특성을 규정지을 수 있는 제성질에 대해 검토를 하며 일부 코아에 대해 암반의 강도나 초음파속도 등을 시험하여 암석의 성질을 파악하여야 한다.

2.2 절토사면 조사의 문제점

1) 조사수량의 부족

다른 토목구조물과 마찬가지로 지반정보가 부족한 경우가 많이 있어 지반의 구성상태를 정확히 파악하지 못한 상태에서 사면설계를 해야 하는 경우가 종종 있다. 이것은 바로 시공과도 직접적인 영향을 미치게 되는데 예를 들어 설계단계에서 풍화암으로 추정했던 지층이 시공 중 풍화잔적으로 판명되어 사면기울기를 재조정해야 하는 경우가 자주 발생된다.

2) 암반절리 방향의 미파악

계획절토 사면주변에 노두 관찰이 가능하여 지표지질조사를 실시한 경우에는 시추자료와 더불어 암반사면의 기울기를 결정하는데 기본 자료가 된다. 그러나 설계단계에서는 주변에 노두가 노출되어 있는 경우가 흔하지 않다. 따라서 지표지질조사 결과를 이용한 stereonet나 한계평형식을 이용하여 사면기울기를 정할 수 없기 때문에 단지 절리

방향을 고려하지 못하는 RQD 나 TCR 자료만을 이용하여 법면을 설계하는 경우가 빈번하다.

최근에는 터키설계의 경우 시추공을 이용하여 Televiewer나 시추공 영상촬영(BIPS)을 이용하여 시추공내의 절리 방향 및 경사 그리고 충전물의 상태를 파악하기도 하지만 일반 발주설계에서는 조사수량이 한정되어 있거나 생략되어 있어 절리방향을 고려한 사면설계가 불가능하다.

3) 지질적 취약부의 미파악

시추조사만을 이용하여 사면의 지층상태 및 특성을 파악하는 것은 단지 조사지점에 국한되는 정보를 획득하는 것에 불과하다. 더구나 절토사면 상부와 하부에 각 한공 정도만 시추를 하는 경우에는 단층이나 파쇄대와 같은 구조적 취약부를 찾아낸다는 것은 불가능하다. 물론 최근에는 탄성과 탐사나 전기비저항 조사를 병행하여 사면 전반적인 지층구조를 파악하기는 하지만 단지 한 개의 축선만을 이용하는 것이 일반적이므로 정밀한 조사라고 할 수는 없다.

2.3 절토사면 설계의 문제점

1) 설계기준

지표지질조사나 시추공내 절리조사를 실시하지 못하여 암반의 절리특성을 정확히 파악하지 못한 경우에는 다음과 같은 설계기준에 의거하여 암반의 기울기를 결정한다. 이 기준은 단지 시추코어의 RQD나 TCR만을 이용하여 결정하기 때문에 암의 특성을 고려하지 못하여 시공후 급격한 풍화에 의해 암반사면에 문제점을 노출하게 되는 경우가 종종 있다.

암석의 종류	암반파쇄상태		굴착난이도	기울기	소단설치
	NX시추시(BX시추시)				
	TCR(%)	RQD(%)			
풍화암 또는 연경암으로 파쇄가 극심한 경우	20%이하(5%이하)	10%이하(0%이하)	리핑암반	1:1	H=5m마다 소단 1m 폭으로 설치
강한 풍화암으로 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연암 및 경암	20~30%(10~20%)	10~25%(0~5%)	발파암반(연암)	1:0.8	H=10m마다 소단 1~2m 폭으로 설치
	40~50%(30%이상)	25~35%(10~20%)	발파암반(보통암)	1:0.7	H=10m마다 소단 1~2m 폭으로 설치
	70%이상(50%이상)	40~50%(30%이상)	발파암반(경암)	1:0.5	H=20m마다 소단 3m 폭으로 설치

2) 풍화가 빠르게 진행되는 암

제3기의 이암, 혈암이나 고결도가 낮은 응회암, 사문암 등은 절토에 의한 응력해방에 의해 흡수팽창을 일으키기 쉽고, 또 절토후 시간의 경과와 함께 건조, 습윤의 반복이나 동결, 융해의 반복작용으로 인해 강도가 저하되고 법면붕괴가 많이 발생된다.

그림 1은 강도저하 개념을 모식적으로 나타낸 것으로 사면에 위치한 높이에 따라 강도저하율이 다르다. 즉, 굴착전에는 그림①의 지점이나 굴착후, 사면 하단부의 암반은 ②지점에, 사면 상단부의 암반은 ④지점까지 응력이 해방된다. 그러나 시간이 경과하여 흡수, 팽창이 일어나게 되면 사면하단부의 암반은 ③지점으로 강도가 저하되며 상단부의 암반은 ⑤지점까지 감소가 되며 그 후 건조이나 동결, 융해에 의해 ⑥지점까지 저하될 수 있다.

이런 암반에서의 사면기울기는 건조반복에 의한 흡수량 증가율을 측정하여 다음 그림2와 같이 안정영역에 포함될 수 있도록 사면기울기를 조절하는 것이 바람직하다.

3) 균열이 많은 암

원지반을 구성하는 암석 자체가 강도가 커도 불연속면(층리, 편리 또는 절리)이 많은

경우에는 그 면을 따라서 붕괴가 되기 쉽다. 이 경향은 중고생대의 퇴적암이나 오래된 화성암등 장기간 지각변동이나 풍화작용을 받은 암반지대에서 많이 볼 수 있다. 이런 지층의 경우 당연히 불연속면의 경사각 보다 더 급한 경사로 절토해서는 안되며 지표 지질조사가 충분히 이루어지지 않은 경우에는 탄성과 속도나 균열계수를 이용하여 그림3과 그림4를 이용하여 결정하는 것이 좋다. 균열계수 C_r 는 다음과 같이 표현한다.

$$C_r = 1 - \left(\frac{V_{p2}}{V_{p1}}\right)^2$$

여기서, V_{p1} ; 무균열 코어의 탄성과 속도

V_{p2} ; 원지반의 탄성과 속도

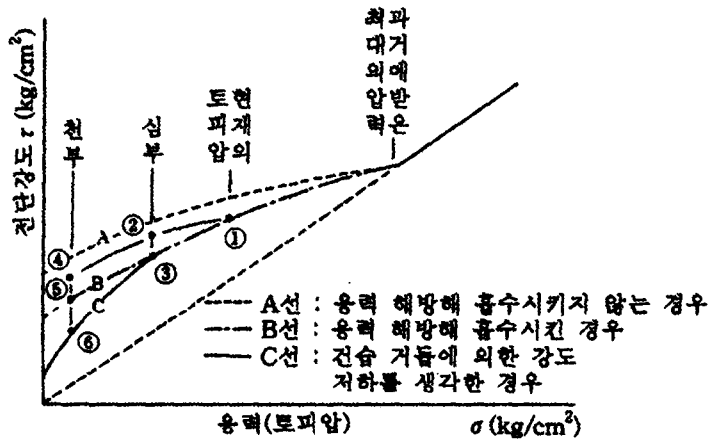


그림 1. 강도저하 개념도

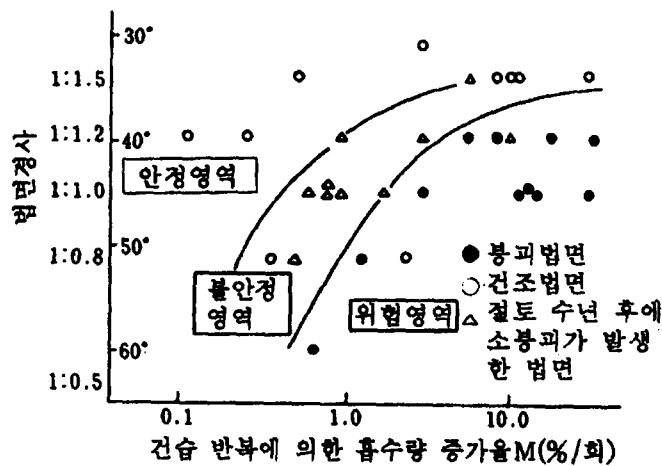


그림 2. 흡수량 증가율과 사면기울기의 관계

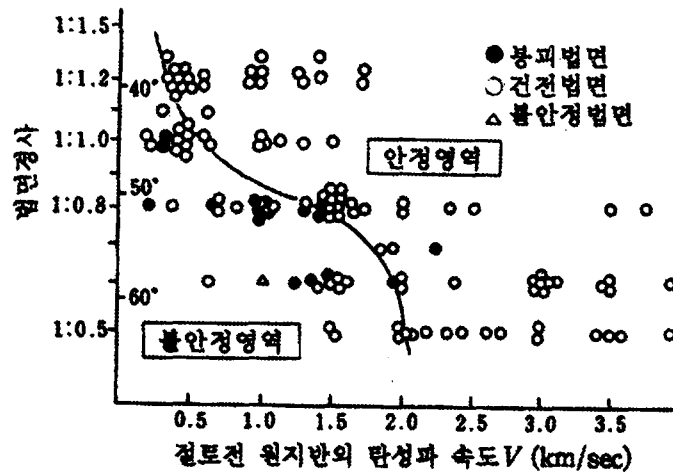


그림 3. 탄성파속도와 사면기울기의 관계

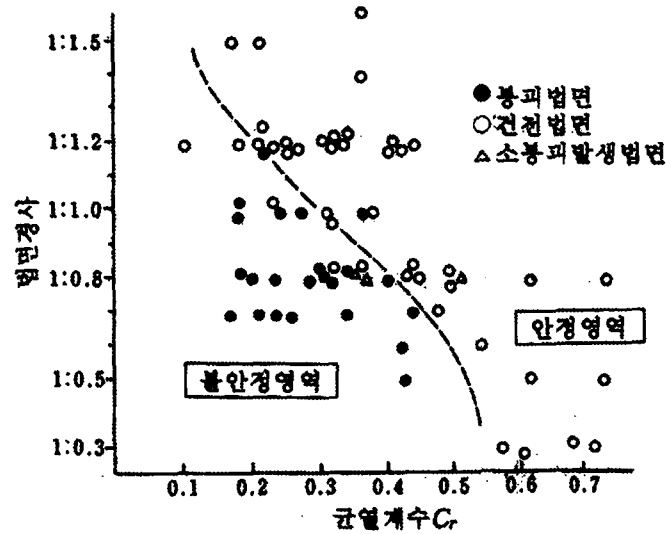


그림 4. 균열계수와 사면기울기의 관계

4) 구조적 약선을 가진 암

단층 및 단층의 영향을 받은 파쇄대는 단층운동의 반복에 의해 주위의 암석보다도 현저하게 취약해지고 이러한 약선을 따라서 붕괴를 일으키게 된다(그림5참조). 특히 단층파쇄대가 사면에 평행하거나 예각으로 만나는 경우 약선이 붕괴하기 쉽기 때문에 설

계시 특별한 주의가 필요하다. 따라서 현지답사에 의한 노두관찰, 시추조사결과 및 지구물리시험을 실시하여 파쇄정도 및 방향성에 대한 파악이 무엇보다도 필요하다.

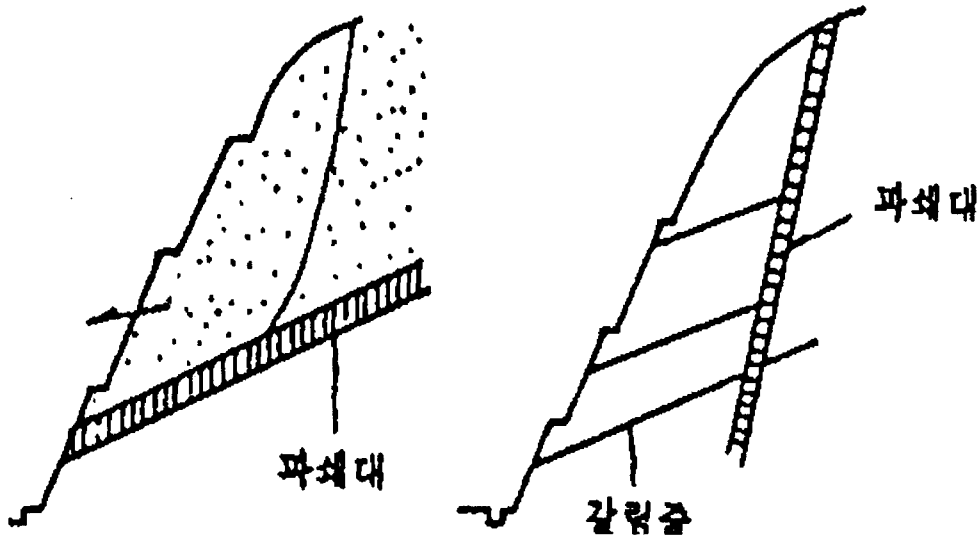


그림 5. 파쇄대에서의 사면파괴

3. 터널

3.1 개요

국내에서 현재까지 수행되어 온 많은 터널 및 지하구조물의 건설은 국내 터널의 설계기술, 시공기술, 유지관리 기술 등에 있어 많은 기술습득 및 자료를 제공하였고 추후 대형 지하구조물의 건설에 필요한 기초자료가 되고 있다. 그러나 기존 지하구조물의 건설에서 많은 문제점이 노출되었고 이 문제점들을 보완하기 위해 터널 전문가와 관련 연구자들이 많은 노력을 하고 있지만, 실제 터널의 설계에는 대부분이 반영되지 못하고 일률적 적용이나 기존자료의 무분별한 이용이 되고 있는 실정이다.

터널설계 문제점은 크게 지반조사, 터널해석 및 터널설계로 구분하면 다음과 같다.

3.2 지반조사단계

항목	문제점	개선안
시험항목	암반특성, 구조물의 용도, 굴착공법 등을 고려하지 않고 일정한 시험항목을 획일적으로 실시하여 시험결과를 설계에 직접 사용하지 않은 경우가 있음	<ul style="list-style-type: none"> · 기반암의 특성에 따른 시험(shale의 이방성 시험)이나 현장여건에 따른 조사방법(저토피부에 대한 집중조사), 굴착방법에 따른 특수 시험(TBM 마모율시험)등을 고려하여야 함 · 이암, 혈암과 같은 퇴적암층의 경우 층리면을 따른 절리면 전단강도 시험이 필요 · 토사사면의 경우 지반의 팽창성 가능성 검토를 위해 점토성분, colloid 함유율 및 montmorillonite 함유율 시험등이 필요
현장지반조사	지하수위 조사는 계절별 변화를 고려한 장기적인 측정이 요구되지만 단기간의 조사에 불과하므로 배수시설 및 라이닝의 수압을 고려한 유입량 산정에 신뢰도가 저하됨	지하수량 및 유동성 파악을 위한 지하수 유동시험 실시
암반분류	지보패턴 결정을 위한 암반분류는 막장면의 지질조사에 의해 결정하여야 하나 설계시에는 단지 지표지질조사나 몇 개의 시추코아조사에 의해 이루어지므로 암반분류는 어느 정도 가정된 수치임	RMR 및 Q 시스템에 의해 암반을 분류하고 물리탐사를 실시하여 상호 연관관계를 추정하여 시추를 실시하지 않은 지점도 정량적인 암반분류를 실시
	공사 중에 시공중 지반조사가 충분히 이루어지지 않고 있음	<ul style="list-style-type: none"> · 터널굴착전에 막장에서 20~30m 정도의 수평시추를 실시 · 터널내 탄성파 검측법(Tunnel Seismic Prediction, TSP)를 실시하여 터널막장 전방 및 주변의 지질구조를 파악
지반물성치 결정	지반조사와 설계가 구분되어 있어 연계성이 부족하며 조사결과에 대한 종합적인 분석능력을 가진 전문기술자가 부족함	조사단계에서부터 지반관련 기술자가 관련하여 그 경험을 설계에 적용할 수 있는 시스템이 필요하며 현장시공시에도 전문기술자가 현장에 상주하여 막장관찰이나 암반상태 확인을 할 수 있도록 하여야 함

3.3 터널해석 단계

항목	문제점	개선안
수치해석 단면 및 해석영역	Critical Section을 기준단면으로 하고 있어 지반조건이 양호한 구간인 경우 과대설계가 될 수 있음	Q 시스템을 적용하여 Q값과 Equivalent dimension의 변화에 따라 달라지는 지보패턴을 결정하고 해석단면수를 증가시켜 패턴별 해석을 수행. 특히 개착터널이나 저토포 터널의 경우 라이닝 철근의 보강이 필요함.
	병렬터널이나 대단면 터널의 경우 해석영역의 폭을 적게 잡아 해석하는 경향이 있음	일반적으로 측면 및 하부 경계는 터널주변으로부터 터널 직경의 4~5배 되는 지점에 설치하는 것이 바람직하다. 또한 경계면 위치설정시 터널 직경 뿐만 아니라 대상지반의 물성도 같이 고려해야 하는데 지반의 강성이 작을수록 굴착영역이 넓어지며 포아슨비가 클수록 경계면을 넓게 잡는다(그림6참조)
측압계수	터널해석에서 측압계수는 일반적인 관행에 따른 값을 사용하고 있음	설계시에는 수압파쇄법을 통해 측압계수를 구하고 시공시에는 응력해방법이나 응력보상법을 이용하여 측압계수를 구하여 측정된 값을 직접 해석에 적용한다.
해석용 프로그램	외국의 경우 개별요소법(DEM)이 일반화 되어 있으나 국내에서는 유한차분법(FDM) 및 유한요소법(FEM)만을 사용하고 있음	암반의 경우 불연속면이 그 거동을 좌우하므로 암반의 상태가 양호한 구간에서는 DEM 및 FEM(FDM)을 병행한 해석이 필요함. 그러나 절리의 영향이 적은 신선한 암이나 매우 불량한 암에서의 DEM해석은 무의미 할 수 있음. 단, DEM해석시 불연속면의 방향, 전단저항각 등 정확한 입력자료에 대한 분석이 필요함
하중분담 율	하중분담율에 대한 합리적인 결정이 이루어지지 않고 해석자에 따라 분담율 적용편차가 매우 큼	3차원해석에 의해 패턴별 하중분담율을 산정하여 2차원 해석에 적용하거나 현장계측 자료를 이용하여 정확한 하중분담율을 재평가하여 재해석에 의한 지보패턴 평가가 바람직함

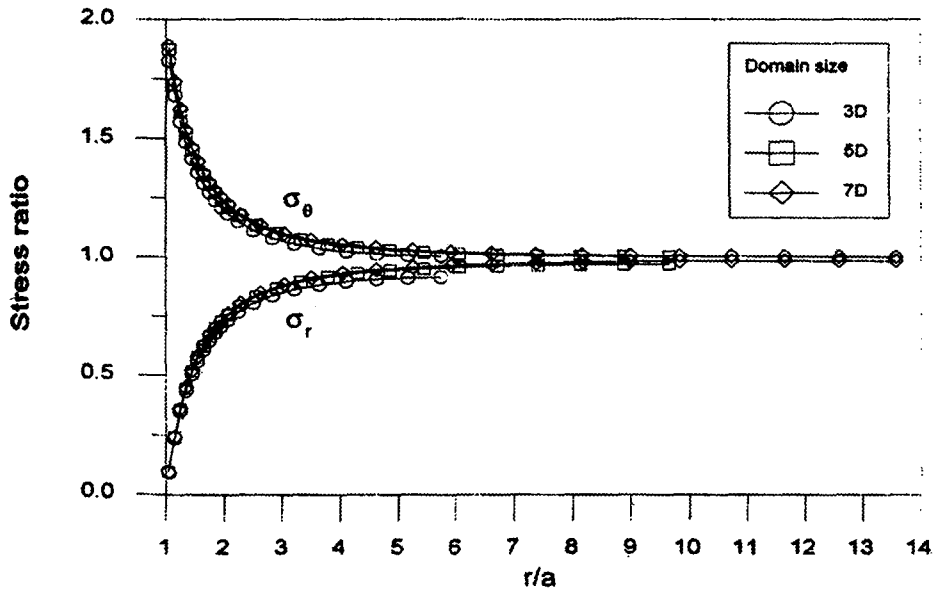


그림 6. 해석영역의 크기에 대한 응력의 영향

3.4 터널설계단계

항목	문제점	개선안
라이닝설계	배수형터널의 경우 콘크리트 자중만을 고려하게 되면 배수기능 저하에 따른 잔류수압이나 1차 지보재의 지보능력 저하에 따른 초과하중을 고려할 수 없음	터널설계에서는 배수터널이라도 자중, 잔류수압, 이완하중 뿐만 아니라 발파이완하중도 고려하여 설계를 하고 있으나 일반발주설계에서는 아직도 완전하게 고려하고 있지 않으므로 이에 대한 설계기준확립이 필요함. 뿐만 아니라 계절적 요인에 따른 온도변화도 고려하여 라이닝설계를 하여야 함
지보 및 보조공법	TBM 특성을 위한 지보설계가 정립되어 있지 않음	TBM 터널 지보설계를 위한 Q _{TBM} -system을 적용하는 것이 바람직함
	보조공법의 대부분이 설계 과정이 없이 단지 경험적으로 적용되고 있음	현재 여러 가지 보조공법이 개발되어 설계 및 시공에 적용되고 있으나 이에 대한 연구가 미비하며 각 공법에 대한 특징 및 사용물성치에 대한 교육이나 사례발표의 활성화가 필요함