

안전분야-연구자료
연구원 99-34-104
S-RD-I-99-34-104

가설공사 안전모델 개발에 관한 연구

A Study on the Development
of Safety Model for Temporary Work



한국산업안전공단
산업안전보건연구원

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 “선진화 3개년 계획”에 의거하여 건설현장 안전수준 향상의 일환으로 수행한 「가설공사 안전모델 개발에 관한 연구(굴착공사)」의 최종 보고서로 제출합니다.

1998. 12. 31

주 관 연 구 부 서 : 산업안전보건연구원 안전공학연구실
연 구 책 임 자 : 수 석 연 구 원 김 정 국

목 차

제 1 장 서 론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구범위 및 방법	2
제 2 장 재 해 사 례 분 석	3
2.1 개 요	3
2.2 재해사례 및 고찰	5
2.2.1 재해자의 인적 특성별 분류	5
2.2.2 공사의 종류 및 규모에 따른 분류	9
2.2.3 재해발생시기에 따른 분류	12
2.2.4 흩막이 공법의 종류에 따른 분류	16
2.2.5 붕괴형태에 따른 분류	18
2.2.6 재해발생 원인에 따른 분류	19
2.2.7 재해발생당시 수행업무에 따른 분류	20
제 3 장 지반의 종류 및 조사	23
3.1 개 요	23
3.2 지반의 종류	24
3.2.1 흙	24
3.2.2 암석	27
3.3 토압론	30
3.4 지반 및 상태조사	33
3.4.1 지반조사	33
3.4.2 상태조사	36
3.4.3 시공중의 조사	37
3.5 흩막이 설계시 중요검토사항	38

제 4 장 굴착공법의 종류 및 작업안전	39
4.1 개 요	39
4.2 일반적인 작업안전사항	41
4.3 자연사면굴착	44
4.3.1 트렌치 굴착	44
4.3.2 일면사면굴착	48
4.4 흙막이벽의 종류 및 작업안전	50
4.4.1 널말뚝에 의한 흙막이벽	50
4.4.2 엄지말뚝과 토류판에 의한 흙막이벽	55
4.4.3 주열식(柱列式) 지하연속벽에 의한 흙막이벽	56
4.4.4 지하연속벽에 의한 흙막이벽	58
4.4.5 니수(泥水) 고결에 의한 흙막이벽	60
4.5 개착식 흙막이 지보공의 종류 및 작업안전	61
4.5.1 버팀보 방식	61
4.5.2 앵커(anchor) 방식	66
4.5.3 공통적인 공정별 작업안전	74
4.6 터널식 굴착공법의 종류 및 작업안전	80
4.6.1 개요	80
4.6.2 공통적인 작업안전	80
 제 5 장 흙막이 구조의 계측관리	91
5.1 계측기기의 선택 및 위치 선정	91
5.2 중요 계측관리 항목별 설치 및 관리	92
5.3 계측자료의 수집 및 분석	94
 제 6 장 결 론	97
 참 고 문 헌	98

제 1 장 서 론

1.1 연구배경 및 목적

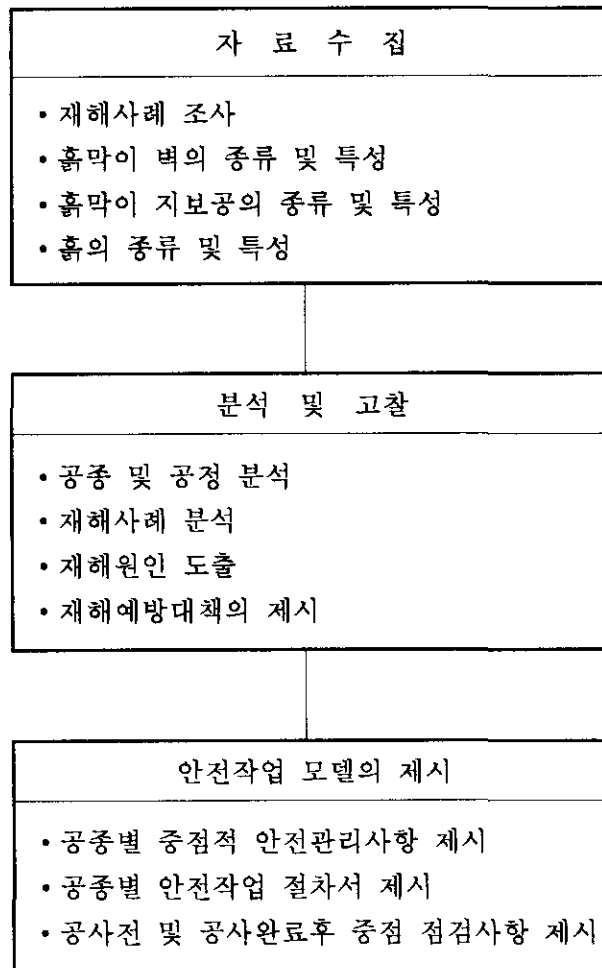
굴착공사는 모든 건설공사의 가장 기본이 되는 공정으로써 건축물의 지하구조물 공사, 지하철공사 등을 위한 개착식 굴착공사, 지하철, 도로 및 도수로 공사 등을 위한 터널식 굴착공사, 가스관·상하수도관 등의 부설을 위한 트렌치 굴착공사, 도로 노반 및 채석장 등을 위한 산악절개의 자연사면굴착공사로 분류될 수 있다.

이러한 굴착공사는 안정되어 있는 원래 지반의 이완 및 변형을 초래하고 항상 붕괴의 위험성을 내재하고 있다. 따라서 사면의 안정성을 유지할 수 있는 안전한 경사 또는 흙막이벽 및 흙막이 지보공이 필요하게 된다. 따라서 사면 안식각 및 흙막이 구조는 지반의 상태, 지반의 조건, 지하수위, 인근 구조물의 유무, 지하매설물, 입지조건 등에 따라 적절한 구조로 선정되어야 한다. 그러므로 사면 안식각 및 흙막이 구조 선정의 잘못, 굴착방법 및 굴착순서의 잘못, 지하수 및 지표수의 유입 등으로 인하여 토사의 붕괴를 유발할 수 있으며, 토사붕괴 재해는 인명손실은 물론 인근 구조물에 대한 경제적 손실을 초래하게 된다.

따라서 본 연구에서는 흙막이 구조로써 흙막이벽과 흙막이 지보공에 대한종류 및 특성을 제시함으로써 현장 특성에 따른 최적의 공법을 선정하는데 기여하며, 1993년~1997년 5년간 굴착공사중 발생한 중대재해 사례를 분석하여 각 공법별 을 바른 작업방법을 제시함으로써 토사붕괴재해를 방지하는 것이 본 연구의 목적이다.

1.2 연구범위 및 방법

굴착공사 중에 발생될 수 있는 토사붕괴 재해를 방지하기 위하여 자연사면 굴착공사, 개착식 굴착공사, 터널식 굴착공사에 대한 안전작업 모델을 개발하였으며, 수행된 연구의 범위 및 방법은 다음과 같다.



제 2 장 재 해 사 례 분 석

2.1 개 요

본 연구에서 사용된 재해사례는 1993년부터 1997년까지 5년간 한국산업안전공단에서 조사한 중대재해사례중에서 굴착공사에서 발생한 재해를 그 대상으로 하였다.

최근 5년간 굴착공사중 발생한 재해현황은 표 2.1 및 그림 2.1과 같다.

표 2.1 연도별 재해현황

연 번	년 도	발생건수	비 율(%)	사망자수	비 율(%)
1	93년	11	15.5	12	15.6
2	94년	8	11.3	9	11.7
3	95년	10	14.1	10	13.0
4	96년	15	21.1	16	20.8
5	97년	27	38.0	30	38.9
계		71	100	77	100

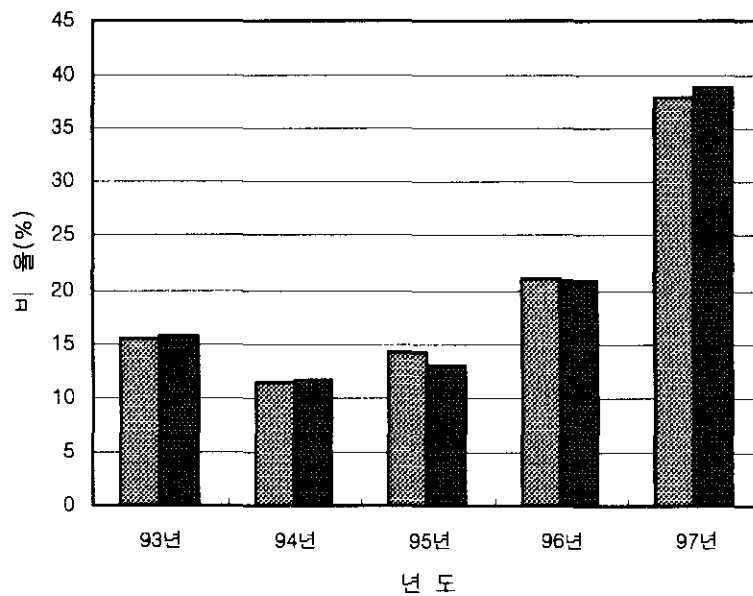


그림 2.1 연도별 재해현황

굴착공사중 지반의 붕괴에 의하여 발생한 재해는 1994년이래 매년 증가되고 있는 추세로써 최근 5년간중 1997년이 27건으로써 총 71건의 재해건수중 38.0%를 차지하고 있었으며, 사망자수는 30명으로써 총 77명의 사망자중 38.9%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다.

이러한 재해사례 조사 결과로부터 굴착공사중 토사붕괴로 인하여 발생하는 재해를 방지할 수 있는 대책의 제시는 매우 시급한 것으로 판단된다.

따라서 재해현황을 좀더 구체적으로 분석하기 위하여 재해자의 연령, 경력, 직종 등 인적 특성별로 분류하였으며, 재해발생 월, 시간 등 발생시기별로 분류하였다. 또한 공사규모 및 공정률에 따른 영향을 평가하기 위하여 공사금액과 공정률에 따른 재해현황을 분석하였으며, 흙막이 공사의 종류별 현황과 재해원인별로 분석하였다.

2.2 재해사례 및 고찰

2.2.1 재해자의 인적 특성별 분류

재해자의 개인적인 인적 특성과 재해률과의 관계를 살펴보기 위하여 재해자의 연령별, 직종별, 경력별로 분류하고 이에 따른 재해자수를 조사하였다. 표 2.2 및 그림 2.2는 재해자를 연령별로 분류한 결과이다.

표 2.2 재해자의 연령별 현황

연 번	연 령	사망자수	비 율(%)
1	10 대	2	2.6
2	20 대	6	7.8
3	30 대	17	22.0
4	40 대	19	24.7
5	50 대	19	24.7
6	60 대	9	11.7
7	70 대	2	2.6
8	확인불가	3	3.9
계		77	100

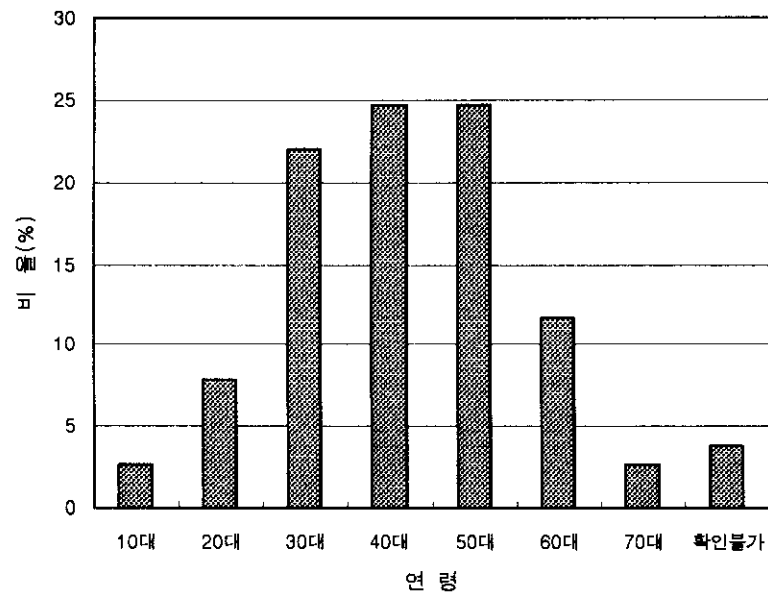


그림 2.2 재해자의 연령별 현황

연령별 재해분석 결과 40대와 50대가 전체 77명의 사망자 중에서 각각 19명씩 (24.7%)으로써 가장 많이 발생되었으며, 다음은 30대가 17명(22.0%)인 것으로 나타났다.

이러한 현상은 30~50대의 근로자수들이 상대적으로 많기 때문인 것으로 추측되며 특이한 현상은 아닌 것으로 평가된다.

다음은 재해자를 직종별로 분류하여 표 2.3 및 그림 2.3에 나타내었다.

표 2.3 재해자의 직종별 발생현황

연 번	직 종	사망자수	비 율(%)
1	일 용 직	19	24.7
2	배 관 공	19	24.7
3	토 공	8	10.4
4	목 공	7	9.0
5	착 압 공	6	7.8
6	중기운전원	6	7.8
7	전 공	3	3.9
8	용 접 공	3	3.9
9	관 리 직	2	2.6
10	기 타	4	5.2
	계	77	100

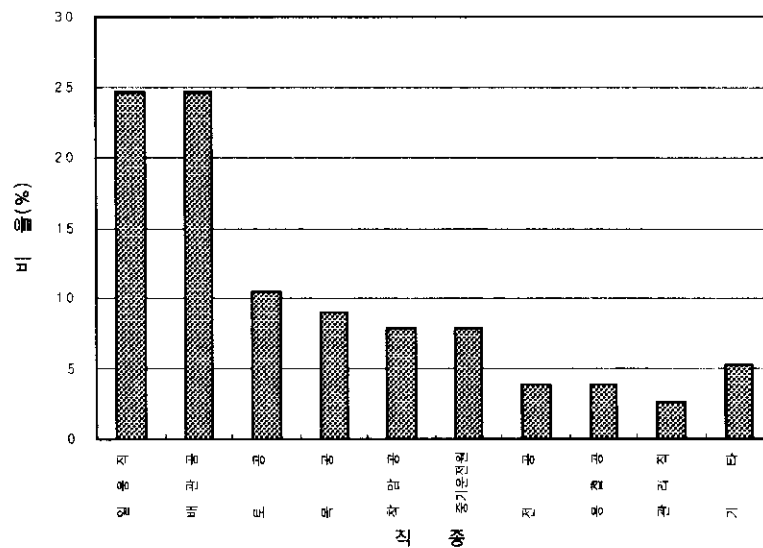


그림 2.3 재해자의 직종별 발생현황

직종별 재해현황을 분석한 결과, 배관공과 일용직 근로자가 각각 19명씩(24.7%)으로써 가장 높았으며, 다음은 토공 8명(10.4%), 목공 7명(9.0%) 순으로 나타났다.

배관공인 경우에는 상·하수도관, 통신구, 가스관, 송유관 등 관로매설공사를 위한 트렌치 굴착된 저면에서 작업도중 지반의 붕괴로 인하여 발생한 사고가 주된 원인이 되었으며, 토공은 트렌치 굴착 저면의 정지작업, 흙막이 토류판 작업등을 수행하던 중 배면토사의 붕괴가 그 재해원인이 되었다. 목공은 주로 자연사면굴착시 하부에서 옹벽 거푸집공사중 사면붕괴로 인하여 발생한 재해가 많았으며, 착암공 및 중기운전원인 경우는 작업방법의 불량으로 인하여 사면절개중 전락 또는 사면내나 사면전단의 낙석으로 인하여 발생한 재해가 많았고 일용직 근로자는 여러 형태에 고르게 분포되어 있는 것으로 조사되었다.

다음은 근로자의 당해직종에 종사한 경력별로 재해현황을 분류하여 표 2.4 및 그림 2.4에 나타내었다.

표 2.4 당해직종에 종사한 경력별 현황

연 번	당해직종 조사 경력(월)	사망자수	비 율(%)
1	6개월 미만	3	3.9(6.1)
2	6개월 ~ 1년	2	2.6(4.1)
3	1년 ~ 3년	4	5.2(8.2)
4	3년 ~ 5년	8	10.4(16.3)
5	5년 ~ 10년	16	20.8(32.6)
6	10년 ~ 15년	5	6.5(10.2)
7	15년 ~ 20년	7	9.1(14.3)
8	20년 이상	4	5.2(8.2)
9	확인불가	28	36.3
계		77	100

[주] ()은 확인불가 인원을 제외한 비율

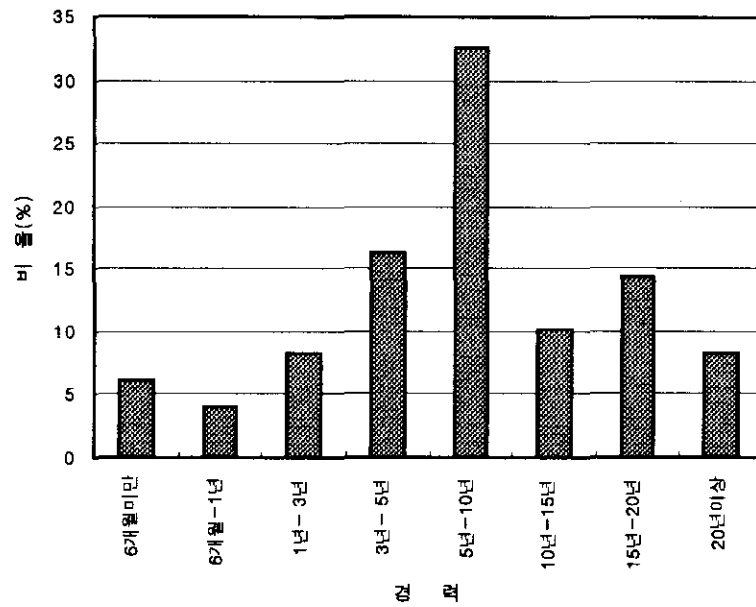


그림 2.4 동일직종에 종사한 경력별 현황

한편, 재해발생 당해현장에 종사한 경력별로 재해현황을 분류하였으며, 이를 표 2.5 및 그림 2.5에 나타내었다.

표 2.5 당해현장에 종사한 경력별 현황

연 번	당해현장 조사 경력(월)	사망자수	비 율(%)
1	1주이내	6	7.8(10.1)
2	1~2주	5	6.5(8.5)
3	2~4주	17	22.1(28.8)
4	1 ~ 3개월	10	13.0(16.9)
5	3 ~ 6개월	8	10.4(13.6)
6	6 ~12개월	4	5.2(6.8)
7	1~3년	4	5.2(6.7)
8	3년이상	5	6.5(8.5)
9	확인불가	18	23.3
계		77	100

[주] ()은 확인불가 인원을 제외한 비율

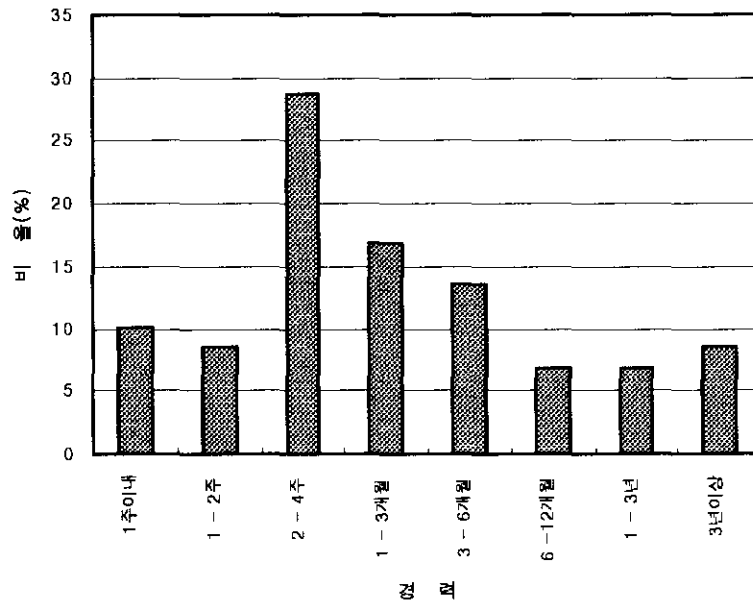


그림 2.5 당해현장에 종사한 경력별 현황

그림 2.4와 그림 2.5의 결과를 고찰할 때 당해업무에 종사한 경력이 5~10년 사이가 가장 많이 발생되고 있는 것으로 나타났으나 사고 현장에 투입된 경력으로 분류할 때 1개월 미만이 약 47%로써 매우 높은 것으로 나타났다.

이는 건설현장의 특수성인 근로자의 유동성 때문인 것으로 판단되며, 동일 직종에 장기간의 경력을 보유하고 있다 하더라도 신규 현장에 적응하기에 어려움이 있으므로 신규현장의 경력이 1개월 미만일 때 가장 사고 발생률이 높게 나타나는 것으로 생각된다. 따라서 신규현장에 유경력자를 채용한다 하더라도 신규채용자 특별 안전교육을 실시함으로써 현장의 특수성, 작업방법, 작업순서 등을 숙지시키는 노력이 요망된다.

2.2.2 공사의 종류 및 규모에 따른 분류

공사의 종류와 규모에 따라 재해발생현황을 분석하기 위하여, 공사의 종류별, 공사금액별로 재해현황을 분류하였다.

표 2.6 및 그림 2.6은 공사종류별 재해현황을 분류한 것이다.

표 2.6 공사종류별 재해발생현황

연 번	공 사 종 류	발생건수	비 율(%)
1	빌딩	7	9.9
2	아파트	8	11.3
3	도로공사	4	5.6
4	지하철	1	1.4
5	관로매설공사	32	45.1
6	공동구설치	2	2.8
7	채석현장	7	9.9
8	부지조성	4	5.6
9	기타	6	8.4
	계	71	100

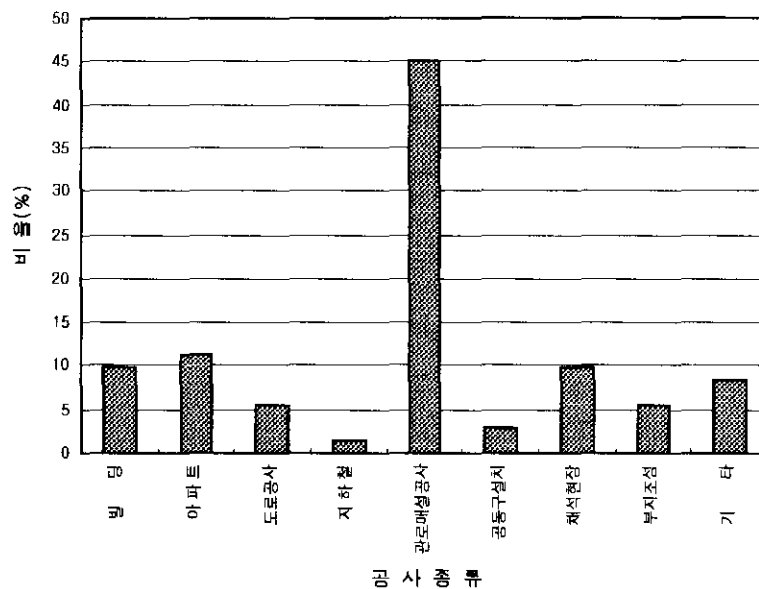


그림 2.6 공사종류별 재해발생현황

상기 분석결과로부터 토사붕괴재해로 상·하수도관, 통신관로, 가스관, 송유관 등 관로매설공사중일때 45.1%로써 가장 높았으며, 다음은 아파트 공사일때가 각각 11.3%, 빌딩 및 채석현장이 각각 9.9%인 것으로 나타났다.

관로매설공사는 주로 흙막이 공사없이 트렌치 굴착인 경우에 발생한 것으로써 이에 대한 안전대책이 시급한 것으로 판단된다. 채석현장인 경우는 사면의 경사 및 작업방법·순서 등이 불량함으로 인하여 발생한 경우가 대부분이었으며, 사면굴착시 올바른 작업방법과 주기적인 안전점검활동이 필요한 것으로 사료된다.

다음은 빌딩의 지하구조물 공사를 위한 굴착공사, 택지 및 공간 등 부지조정을 위한 굴착공사, 도로의 터널, 배수로, 노반조성 등을 위한 굴착공사, 기타로써 옹벽, 철탑 등의 공사중에 토사붕괴 재해도 다수 발생되고 있는 것으로 조사되었다.

다음은 공사금액에 따른 재해현황을 분류한 것이다.

표 2.7 공사금액별 재해현황

연 번	공 사 금 액	발생건수	비 율(%)
1	10억원미만	20	28.2
2	10~50억원	24	33.8
3	50~100억원	7	9.9
4	100~200억원	5	7.0
5	200~500억원	5	7.0
6	500억원이상	4	5.6
7	미 확 인	6	8.5
계		71	100

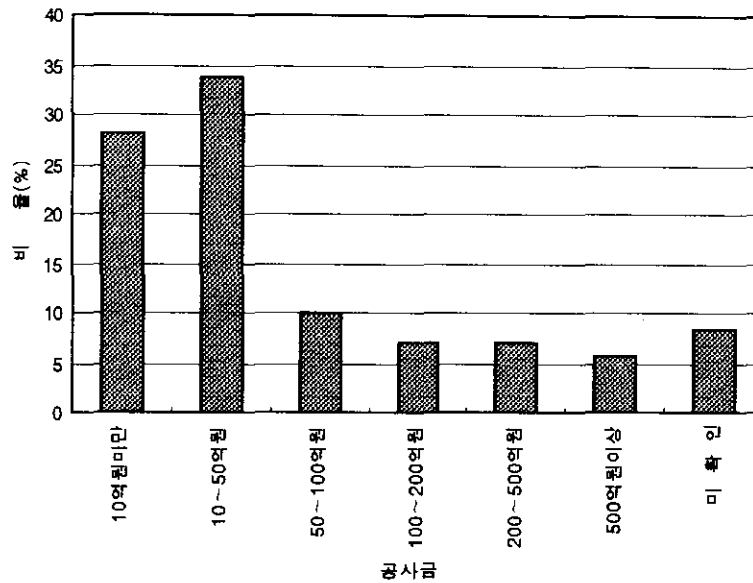


그림 2.7 공사금액별 재해현황

2.2.3 재해발생시기에 따른 분류

재해발생시기를 공정률별, 월별, 시간별로 구분하여 재해발생현황을 조사함으로써 공사의 시간적 특성상 어떤 기간이 재해발생에 가장 취약한 것인가를 고찰하였다.

공정률에 따른 재해현황을 조사하여 표 2.8 및 그림 2.8에 나타내었다.

표 2.8 공정률별 재해발생현황

연 번	공 정 율 (%)	발생건수	비 율(%)
1	20미만	21	29.6
2	20이상~40미만	14	19.7
3	40이상~60미만	10	14.1
4	60이상~80미만	6	8.4
5	80이상	12	16.9
6	미 확 인	8	11.3
계		71	100

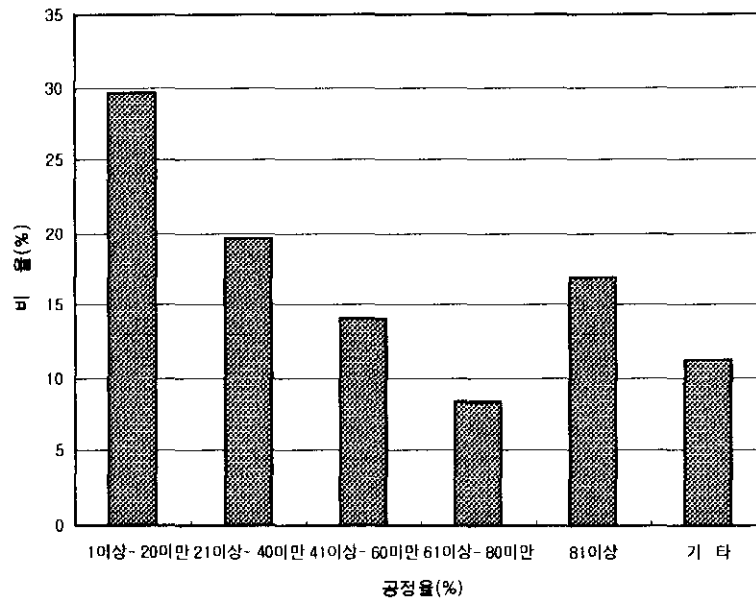


그림 2.8 공정률별 재해발생현황

상기 조사결과로부터 공정률 20% 미만일때가 29.6%, 공정률 20~40%일때가 19.7%, 공정률 80%일때가 16.9%의 순으로 나타났다.

토사붕괴재해는 주로 초기 공정율일 때가 가장 높은 것으로 평가된다. 이는 굴착공사가 모든 공사의 초기단계에서 이루어지는 것이기 때문에 특이한 현상은 아닌 것으로 평가되며, 초기 공정률일 때 토사붕괴재해 예방활동을 집중적으로 수행하여야 할 것으로 생각된다.

표 2.9 및 그림 2.9은 월별 재해발생현황을 조사한 결과이다.

표 2.9 월별 재해발생현황

연 번	재해발생월	발생건수	비 율(%)
1	1월	6	8.5
2	2월	10	14.0
3	3월	3	4.2
4	4월	8	11.3
5	5월	6	8.5
6	6월	3	4.2
7	7월	5	7.0
8	8월	5	7.0
9	9월	6	8.5
10	10월	7	9.9
11	11월	7	9.9
12	12월	5	7.0
계		71	100

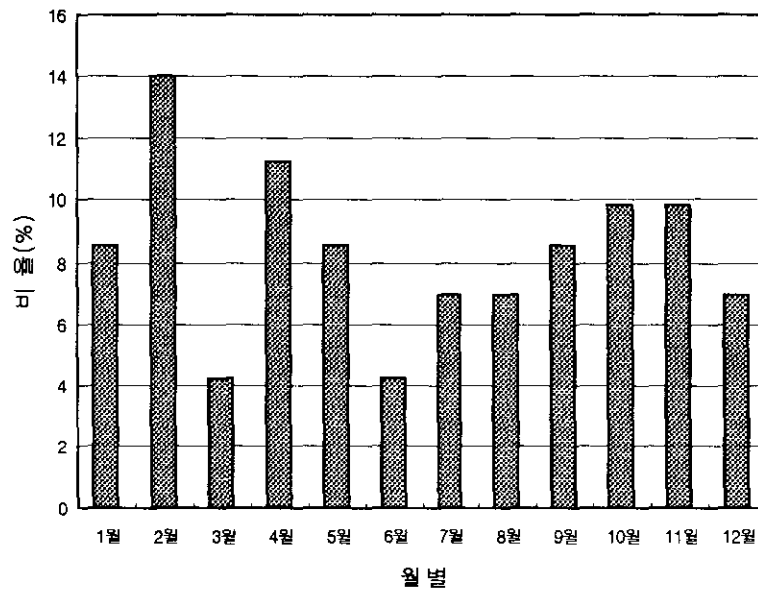


그림 2.9 월별 재해발생현황

월별 토사붕괴재해의 발생분포는 해빙기인 2월이 전체 71건중 10건으로써 가장 높은 것으로 나타났으며 다른 달에는 비교적 고른 분포를 나타내고 있었다.

따라서 토사붕괴재해의 예방활동은 1~2월에 집중적으로 관리되어야 할 것이며 일년 내내 지속적인 대비가 필요할 것으로 판단된다.

한편, 재해발생빈도를 일일중 시간대별로 분류하고 가장 빈도가 높은 시간대를 고찰하였다. 그 결과는 표 2.10 및 그림 2.10 과 같다.

표 2.10 시간대별 재해발생현황

연 번	재해발생시간	발생건수	비 율(%)
1	08시 이전	2	2.8
2	08~09시	7	9.9
3	09~10시	2	2.8
4	10~11시	8	11.3
5	11~12시	5	7.0
6	12~13시	2	2.8
7	13~14시	7	9.9
8	14~15시	3	4.2
9	15~16시	10	14.1
10	16~17시	10	14.1
11	17~18시	11	15.5
12	18시 이후	4	5.6
계		71	100

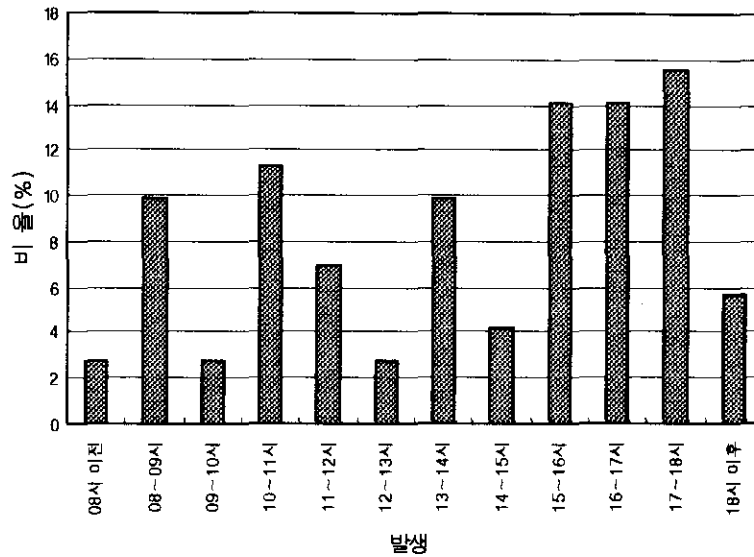


그림 2.10 시간대별 재해발생현황

2.2.4 흙막이 공법의 종류에 따른 분류

토사붕괴재해가 어떠한 흙막이 공법에서 가장 취약한 것인가를 고찰하기 위하여 흙막이 공법의 종류에 따라 분류하였으며, 이를 표 2.11 및 그림 2.11에 나타내었다.

표 2.11 흙막이 공법의 종류별 재해발생현황

연 번	흙 막 이 공 법	발생건수	비 율(%)
1	자연사면굴착공법	62	87.4
2	터널굴착공법	3	4.2
3	버팀보공법	5	7.0
4	역타공법	1	1.4
계		71	100

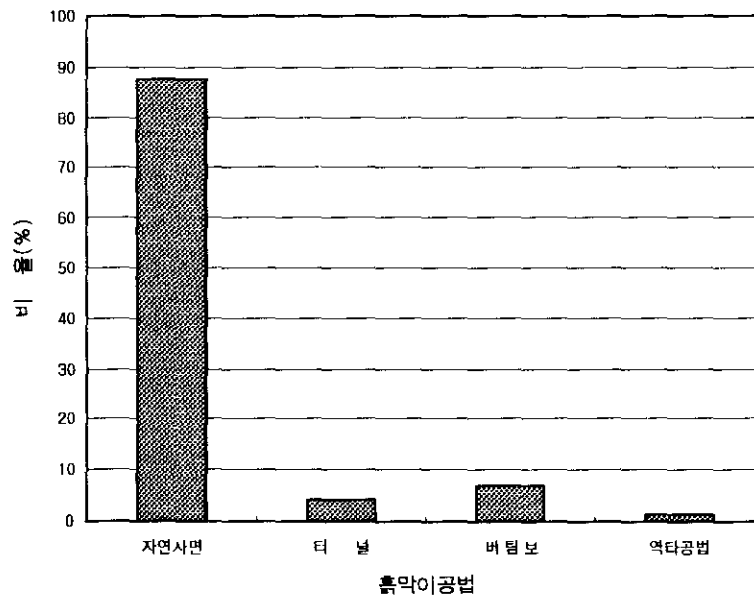


그림 2.11 흙막이 공법의 종류별 재해발생현황

토사붕괴재해는 상기 분석결과와 같이 흙막이 지보공이 없는 자연사면굴착공법 일 때가 87.4%로써 거의 대부분을 차지하고 있었다. 다음은 버팀보공법 7.0% 이었으며, 터널공법이 4.2% 이었다.

따라서 토사붕괴재해는 흙막이 지보공이 없는 트렌치 굴착이나 채석장 및 도로 공사 등의 일면 사면굴착 공사인 경우에 주로 많이 발생되고 있음을 알 수 있었으며, 이러한 공사에서 집중적인 붕괴방지대책이 요망된다.

흙막이 지보공이 없는 경우에는 사면안정성을 고려하여 임계 굴착고를 정하고 이의 범위 이내의 굴착고를 유지하여야 하며, 그 이상의 굴착깊이로 굴착하여야 할 경우에는 반드시 흙막이 지보공을 설치하여야 한다. 한편 일면 사면굴착일 경우에는 비록 최종 굴착면은 안식각을 유지하는 것으로 설계되어 있으나 굴착순서 및 방법 등의 오류로 인하여 붕괴사고가 발생되고 있어 이에 대한 작업계획수립을 통하여 시공중 엄격한 관리감독이 요망된다.

2.2.5 붕괴형태에 따른 분류

붕괴형태에 따라 재해현황을 분류하였으며, 그 결과는 표 2.12 및 그림 2.12와 같다.

표 2.12 붕괴형태별 재해발생현황

연 번	붕 괴 형 태	발생건수	비 율(%)
1	자연사면붕괴	55	77.6
2	사면내 절리암석 붕괴	5	7.0
3	흙막이 배면토 붕괴	5	7.0
4	굴착면 선단의 낙석	3	4.2
5	부석의 낙석	3	4.2
계		71	100

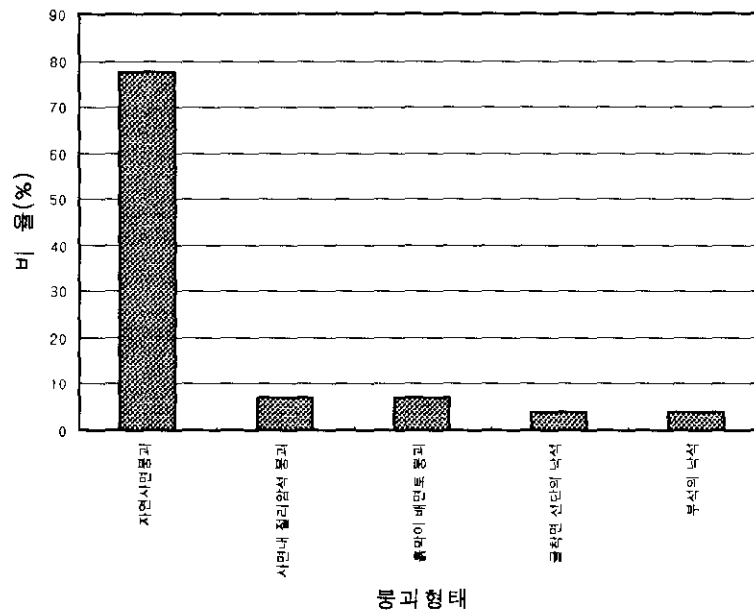


그림 2.12 붕괴형태별 재해발생현황

상기 분석결과와 같이 자연사면의 불안정으로 인하여 사면내 붕괴가 전체 71건 중 55건(77.6%)으로 가장 높았으며, 사면내 절리면을 고려하지 않아 절리암이 빠져 발생하는 형태가 7.0% 부석정리가 불충분하여 발생한 형태가 7.0% 등인 것으로 나타났다.

또한 굴착면 선단에서 낙석의 우려가 있는 암편들을 제거하지 않음으로 인하여 발생한 재해, 흙막이공법이 있으나 작업순서 및 방법의 잘못으로 인하여 발생한 재해 등이 발생한 것으로 나타났다.

따라서 가장 시급한 방지대책으로는 사면의 안정을 고려한 굴착방법이 결정되어야 할 것으로 판단되며 이는 후에 기술하기로 한다.

2.2.6 재해발생 원인에 따른 분류

재해발생의 직접적인 원인이 된 것으로 판단되는 항목별로 재해현황을 분류하였으며, 이는 표 2.13 및 그림 2.13과 같다.

표 2.13 재해원인별 재해발생현황

연 번	재 해 원 인	발생건수	비 율(%)
1	사면기울기 급경사	47	66.2
2	부석제거 미흡	6	8.5
3	작업순서 불량	14	19.7
4	법면 상재하중과다	3	4.2
5	사면 절리방향 미고려	1	1.4
계		71	100

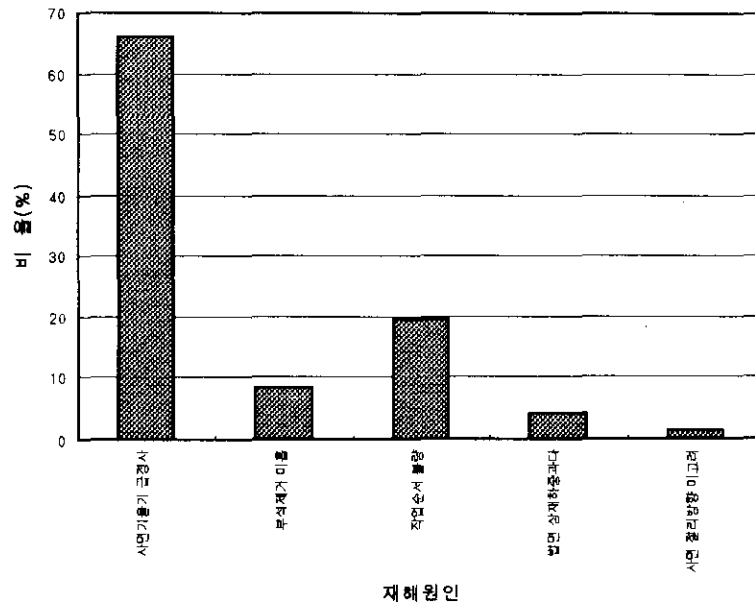


그림 2.13 재해원인별 재해발생현황

·상기 분석결과와 같이 사면기울기가 급경사 즉 안식각을 유지하지 않아 발생한 재해가 66.2%로 가장 높았으며, 작업순서 및 방법의 불량으로 인하여 발생한 재해가 19.7%, 부적절기대 불충분이 8.5%의 순으로 나타났다.

사면기울기가 안식각을 유지하지 않아 발생하는 경우는 주로 배관공사를 위한 트렌치 굴착인 것으로 조사되었다.

이는 굴착면 선단에서 관로를 인양하여 내려주기 위하여 양중기를 운행함으로써 지반의 이완 및 불안정성에 반복적인 악영향을 미치며, 기존 도로변에서 상·하수도 관, 가스관 등을 매설하기 위한 작업일 때는 안식각을 완만히 하기에는 한계가 있어 많은 문제점을 내포하고 있는 것으로 판단된다.

2.2.7 재해발생당시 수행업무에 따른 분류

재해자가 재해를 당할 때 수행하고 있던 업무에 따라 발생현황을 분석하였으며, 이를 표 2.14 및 그림 2.14에 나타내었다.

표 2.14 재해발생시 수행업무별 재해발생현황

연 번	업 무 형 태	발생건수	비 율(%)
1	관 로 매 설	32	45.1
2	굴 착 공 사	15	21.1
3	발 파 작 업	5	7.1
4	중 기 운 전	3	4.2
5	흙막이 공사	2	2.8
6	기 타	14	19.7
계		71	100

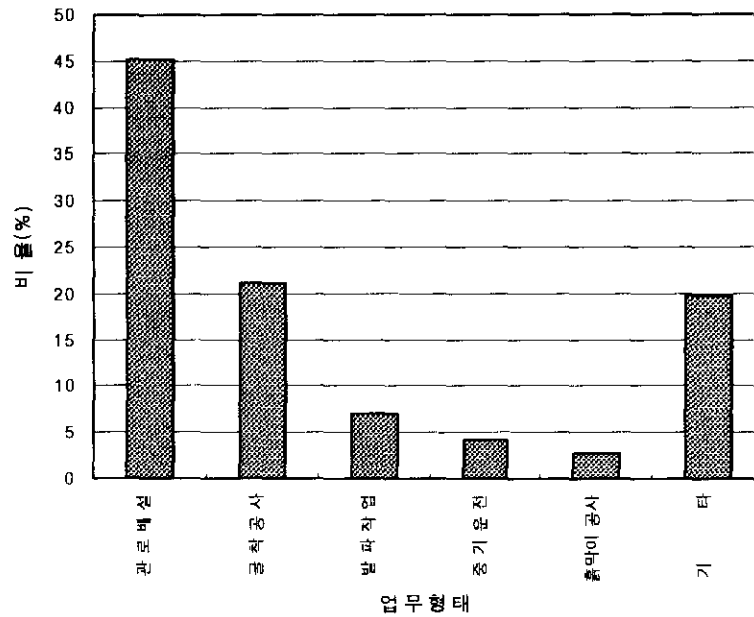


그림 2.14 재해발생시 수행업무별 재해발생현황

재해발생시 수행중이던 업무형태별로 분류한 결과 관로매설공사에 종사할 때가 45.1%로써 가장 높았으며, 다음은 굴착공사중일 때가 21.1%, 천공작업등 발파작업에 종사할 때가 7.1%의 순으로 나타났다.

따라서 트렌치 굴착이 완료된 후 배관작업을 수행중일 때 지반의 붕괴로 인하여 발생하는 경우가 전체의 과반수 정도가 되는 것으로 판단되며, 이에 대한 개선대책이 시급한 것으로 평가된다.

지반이 붕괴되면 비록 굴착고가 낮다고 하더라도 작업자가 붕괴된 토사에 매립됨으로 인하여 단시간에 구출할 수 없는 어려움이 있어 의식상실 및 질식으로 인하여 사망하게 되는 것으로 판단된다.

그러므로 토사붕괴로 인한 수평토압은 크지 않지만 중대재해로 연결되는 것이기 때문에 간이로 제작된 이동식 흙막이 구조체를 설치한 후 배관작업이 종사할 수 있도록 하는 규제가 요구된다. 이에 대한 세부방안은 후술하기로 한다.

제 3 장 지반의 종류 및 조사

3.1 개 요

지하구조물 시공을 위한 굴착공사중 발생될 수 있는 문제점들은 규모나 내용면에서 나날이 복잡해지고 있는 실정이며 주어진 환경하에서 가장 안전하고 경제적인 설계시공이 되기 위해서는 충분한 지반조사와 안전대책에 대한 검토가 필요하다.

따라서 계획에 앞서 현장상황을 판단하기 위하여 계획된 현장구조물의 형태를 파악하고 현장의 지형, 지반조건 및 인근 구조물에 대한 자료분석을 검토하고 주변의 영향평가를 충분히 고려하여야 한다.

계획설계시 사용될 지층상태나 토질역학적 특성을 파악하기 위하여 지반조사가 선행되어야 하며, 이를 토대로 흙막이 구조물의 종류, 굴착방법 및 배수방법등이 선정되어야 한다. 또한 흙막이 구조물의 안정성 검토, 주변 구조물의 침하 및 변형의 예측 등을 수행하고 안전한 작업계획을 수립하여야 한다.

이러한 작업계획 수립에 기여하고자 본 장에서는 지반의 종류 및 특성, 지반조사, 사전검토사항 등을 기술한다.

3.2 지반의 종류

3.2.1 흙

흙은 암석이 풍화되어 발생된 작은 입자, 암석이 침식된 후 바람이나 물로 운반된 입자, 식물이 썩어 집적된 입자, 화산재 등이 퇴적되어 만들어진 것이다.

이 흙의 분류에는 여러 가지 방법이 있으나, 일반적으로 토질재료란 흙을 구성하는 재료 중 흙입자의 입경이 75mm 미만의 것을 말한다. 이 흙을 구성하는 입경으로부터 흙의 호칭은 그림 3.1과 같이 구분되어 있다.

입 경								
0.001 μ m		0.005mm	0.075mm	0.425mm	2mm	4.75mm	19mm	75mm
코로이드	점 토	실 트	가는 모래	굵은 모래	가는 자갈	중간 자갈	굵은 자갈	
(O)	(C)	(M)	모 래 (S)		자 갈 (G)			

그림 3.1 입경에 따른 흙의 호칭

흙의 분류방법으로 군지수(group index)에 의한 AASHTO분류법, 흙의 입경(粒經)에 의한 모래성분, 실트성분, 점토성분의 비율을 3각좌표상에 표시하여 분류하는 삼각좌표에 의한 분류법 등이 주로 많이 사용되어 왔다.

그러나 근래에는 표 3.1과 같이 통일분류법에 의한 분류법을 많이 사용하고 있다.

통일분류법은 대분류로써 조립토(粗粒土) 및 세립토(細粒土)로 분류하고 조립토에서는 입경분포에 따른 양입도(良粒度:W), 빈입도(貧粒度:P)로 구분하고 세립토에서는 흙의 연경도(軟硬度)인 에터버그 한계(Atterberg Limit)로 구분하고 있다.

표 3.1 흙의 통일분류법에 의한 흙의 성질

주요구분 (1) (2)	문자 (3)	기 호		명 칭 (6)	성토 재료로서의 가치 (7)	투수계수 k[cm/s] (8)	다지기 특성 (9)	건조밀도 γ_d [t/m ³] (10)	기초지반으로서 의 가치 (11)	투수성 조정의 필요 또는 불필요 (12)	
		도 시 (4)	색 (5)								
조 립	자갈 및 자갈 섞인 흙	GW		적	입도분포가 좋은 자갈 또는 자갈·모래섞인 흙, 세립은 적고 또는 없음	대단히 안정, 제방 및 댐의 투수부에 이용	$> 10^{-2}$	좋다. tractor, 고무타이어에 良好	2.0~2.16	지지력 양호	지수벽
		GP		색	입도분포가 나쁜 자갈 또는 자갈·모래섞인 흙, 세립은 적고 또는 없음	안정, 제방 및 댐의 투수부에 이용	$> 10^{-2}$	양호, tractor, 고무타이어	1.84~2.00	지지력 양호	"
		GM		황	silt질 자갈, 자갈·모래·silt 섞인 흙	안정, 투수부에 특히 적합하지 않으나 불투수성 core 또는 브랭킷으로 이용	$10^{-3} \sim 10^{-6}$	양호, 시공관리를 철저히 할 것, 고무타이어, 시프트풋 roller	1.92~2.16	지지력 양호	경사면 끝 trench 내지 불필요
		GC		색	점토층의 자갈, 자갈·모래·점토 섞인 흙	다소 안정, 불투수성 core로서 이용	$10^{-6} \sim 10^{-8}$	可, 고무타이어, 시프트풋 roller	1.84~2.08	지지력 양호	불필요
토	모래 및 모래 섞인 흙	SW		적	입도분포가 좋은 모래, 또는 자갈질의 모래, 세립은 적고 또는 없음	대단히 안정, 투수부에 이용하나 사면 보호가 필요하다.	$> 10^{-3}$	양호, tractor	1.76~2.08	지지력 양호	상류층 브랭킷과 경사면 끝 배수 또는 우물
		SP		색	입도분포가 나쁜 모래, 또는 자갈질의 모래, 세립은 적고 또는 없음	다소 안정, 환경사면의 제방 단면에 이용할 수 있다.	$> 10^{-3}$	양호, tractor	1.60~1.92	지지력은 밀도에 의하여 양호 또는 불량	"
		SM		황	silt질의 모래, 모래·silt 섞인 흙	어느 정도 안정, 누수부에 특히 적합하지 않으나 불투수성 core 또는 제방에 이용	$10^{-2} \sim 10^{-5}$	양호, 시공관리를 잘 할 것, 고무타이어, 시프트풋 roller	1.76~2.00	"	"
		SC		색	점토질의 모래, 모래·점토 섞인 흙	어느 정도 안정, 홍수 방어용 성토의 불투수성 core로서 이용	$10^{-6} \sim 10^{-8}$	可, 시프트풋 roller, 고무타이어 roller	1.68~2.00	지지력은 양호, 또는 불량	불필요

주요구분 (1) (2)		문자 (3)	기 호		명 칭 (6)	성토 재료로서의 가치 (7)	투수계수 k[cm/s] (8)	다지기 특성 (9)	건조밀도 γ_d [t/m ³] (10)	기초지반으로서 의 가치 (11)	투수성 조정의 필요 또는 불필요 (12)
			도 시 (4)	색 (5)							
세 립 토	silt 및 점토 LL <50 %	ML		녹 색	무기질의 silt 및 극히 미세사, 암석분, 소성이 작은 silt질 또는 점토질의 세사 또는 점토질 silt	불안정 · 적당히 조정하면 성토용 토로서 이용 가능	$10^{-3} \sim 10^{-6}$	良 혹은 不可, 시공판 리가 중요하다. 고무타이어, 시프스풋 roller	1.52~1.92	극히 불량, 유동성의 우려가 있다	사면 끝 trench 또는 불필요
		CL			소성이 보통이하의 무기질 점토, 자갈질 점토, silt, 점성이 적은 점토	안정성이 있다. 불투수성 core 또는 브랭킷에 적합	$10^{-6} \sim 10^{-8}$	可 또는 良, 시프스풋 roller, 고무타이어 roller	1.52~1.92	지지력은 양호 또는 불량	불필요
		OL			소성이 낮은 유기질의 silt 및 silt질 점토	성토용토로서 부적합	$10^{-4} \sim 10^{-5}$	可 또는 불가, 시프스풋 roller	1.28~1.60	지지력은 可 또는 불량, 큰 침하의 우려가 있다	"
	silt 및 점토 LL >50 %	MH		청 색	무기질의 silt, 운모질 또는 규소질의 세사 또는 silt질토, 탄성이 큰 silt	불안정 · 물다짐 램의 core로 이용할 수 있으나 성토용토에 부적당	$10^{-4} \sim 10^{-6}$	불가 또는 극히 불가, 시프스풋 roller	1.12~1.52	지지력은 불량	"
		CH			소성이 큰 무기질 점토, 점성이 많은 점토	완경사면에는 다소 안정 · 얇은 core 브랭킷 또는 제방용토로 이용	$10^{-6} \sim 10^{-8}$	可 또는 不可, 시프스풋 roller	1.20~1.68	지지력은 可 또는 불량	"
		OH			소성이 보통 이상의 유기질 점토, 유기질 silt	성토용토로는 부적당	$10^{-6} \sim 10^{-5}$	不可 또는 극히 不可, 시프스풋 roller	1.04~1.60	지지력은 극히 불량	"
	극히 유기 질흙	Pt		흙 색	peat 및 기타 극히 유기질의 흙	구축용토에는 쓰지 않는다.		다지기 쓰이는 것은 실용적이 아니다			

[주] 1. (7) 및 (11)란의 값은 표준치에 지나지 않는다. 설계는 실험결과를 참작.

[주] 2. (9)란에서는 함수조건과 성토 두께를 적당히 하면 선택한 기계를 적당한 횟수로 통과시켰을 때 소요의 밀도를 얻을 수 있다.

[주] 3. (10)란의 건조밀도는 최적 함수량에 있어서 표준 AASHO(표준 Proctor)법에 의한 다지기의 에너지로서 다졌을 때의 값이다..

3.2.2 암석

암석은 지구 지각의 대부분을 구성하고 있으며, 그 생성조건에 따라 대별하면, 화성암, 퇴적암, 변성암으로 구분된다.

1) 화성암

화성암은 지하 깊은 곳(수km~수십km)의 고온(700°C ~ 1500°C)의 마그마가 지구내부로부터 분출하여, 냉각되어 굳어져 생긴 것이다. 냉각이나 굳어진 장소 및 속도에 따라 성질이 다른 암석이 되며, 대표으로 화강암, 현무암 등이 있다.

2) 퇴적암

퇴적암은 수성암이라고도 하며, 암석이 풍화 또는 침식작용에 의해 세립화한 것이나 생물의 유해나 화산재 등이 긴 세월을 거쳐 지표상 또는 물속에 퇴적하여 굳어진 것이다. 퇴적한 물질의 종류에 따라 명칭이 다르며, 역암, 사암, 니암, 혈암, 응회암, 석회암 등이 있다.

또한 퇴적암은 생성한 연대에 의해 제3기층, 중세층, 고생층 등으로 구분하여 분류되고 있다.

3) 변성암

변성암은 화성암이나 퇴적암이 마그마의 분출에 의해 강력한 열작용을 받거나, 지각의 변동에 의해 큰 압력작용을 받아서, 그 성분, 구성, 조직 등이 변화한 것이다. 그 대표적인 것에 대리석, 편마암 등이 있다.

굴착을 대상으로 한 암석의 분류는 표 3.2와 같다.

표 3.2 암석의 분류

대분류	소분류	암반 종류	암질의 정도(기준)	탄성파속도 (참고)
연 암	연암A	석목편암, 사암, 응회암, 사문암, 화강암, 집괴암, 편마암, 녹니편암, 점판암, 섬록암, 안산암, 감람암	풍화가 진행하여, 다소의 변색도 동반하며, 균열이 발달하고(간격 10cm 이하 정도), HAMMER로 두드리면 곁에 따라 갈라지는 것.	2.0 km/sec 정도 이하
	연암B	토단(土丹)		1.0 ~ 3.0 km/sec 정도
	연암C	응회암, 화강암, 편암, 편마암, 역암 등이 풍화한 것.	풍화가 심하며, 균열이 발달하고(간격 1~5cm 정도), HAMMER로 두드리려 쉽게 갈라지는 암반의 굴착은 하이드릴리퍼에 의한 시공이 유효하지만, 굴착후의 상태가 거의 토사상태(자갈상태가 되지 않는다)가 되는 것.	1.0 km/sec 정도 이하
	연암D	경석이 많이 혼입하는 토사	원칙으로서 경석의 혼입을 20%이상의 토사	
경 암	경암A	집괴암, 편마암, 석회암, 경사암, 각암, 사암, 역암, 안산암, 병암, 점판암, 현무암, 감람암, 응회암	응회질로 단단하게 고결한 것. 암석 자체가 변질하지 않고 큰균열(10~50cm 정도)이 있는 것으로 큰 HAMMER로 몇 회 두드리야 겨우 갈라지는 정도의 것.	2.0 ~ 3.5 km/sec 정도
	경암B	화강암, 천매암, 선록암, 병암, 안산암, 현무암, 사암, 각암, 경사암	신선하고 단단한 암석, 균열이 적고 말착한 것으로 암질이 가장 딱딱한 것. 큰 HAMMER로 몇회 두드리야 겨우 갈라지거나 또는 쉽게 갈라지지 않는 것.	3.5~6km/sec 정도
	경암C	용암		

한편 암석의 강도 및 경도에 따라 그 성질이 상이하며, 이를 분류하면 표 3.3과 같다. 암의 강도에 따라 발파시 장약량, 굴착공법 등이 결정되기 때문에 현장에서 암의 강도를 조사하는 것은 매우 중요한 과제이다.

암을 분류하는 방법으로는 일축압축강도, 탄성파속도, R.Q.D(%), R.M.R(%) 등이 있다.

표 3.3 암석의 분류

분 류	일축압축강도 (kg/cm ²)	R.Q.D(%)	탄성파속도 (km/sec)
풍화암	280이하	50이하	1.2이하
연 암	280~560	50~70	1.2~2.5
보통암	560~1120	70~85	2.5~3.5
경 암	1120이상	85이상	3.5이상

3.3 토압론

굴착 토류벽의 거동을 예측하기 위해 벽면에 작용하는 횡방향 토압의 크기와 분포를 먼저 알아야 한다. 이 문제를 완벽하게 해결하려면 벽면에 작용하는 압력과 아울러 변위를 고려해야 하고, 이를 위해서 흙의 응력-변위 관계식을 결정한 다음, 주어진 경계조건에 따라 평형과 적합조건을 만족시키는 탄소성적 해를 추구하여야 하는데, 일반적으로 큰 변위를 수반하는 굴착 토류벽 문제에 있어서 이러한 완벽한 해를 얻기는 거의 불가능하다. 현실적으로, 굴착 토류벽 문제에 있어서 우리 관심의 대상은 토류벽 앞, 뒤쪽에 위치한 흙의 극한상태에서의 횡방향 압력분포이다.

Rankine(1857)은 흙의 극한상태를 두 종류로 분류하여 분석하였는데, 그 중 하나는 자연상태보다 횡방향 응력이 이완되면서 도달하는 극한상태이고, 다른 하나는 횡방향 응력이 증가하다가 도달하는 극한상태이다. 전자를 주동상태, 그리고 후자를 수동상태라고 명명하였다.

일반적인 굴착 토류벽을 가정해 보면 그림 3.2와 같이 토류벽 앞, 뒤쪽 지표면은 수평면이고 토류벽과 흙의 접촉면에는 전단력이 작용하지 않는다고 가정된다.

그림 3.2와 같은 토류벽 뒤쪽 지반이 수평방향으로 인장된다고 가정해보자.

이것은 곧 토류벽에 수평토압으로 작용하게 되고 이러한 수평토압을 주동토압이라 하며 연직토압에 대한 주동토압의 비를 주동토압계수 K_a 라고 한다.

한편 토류벽 뒤쪽에 주동토압이 작용하면 토류벽 앞쪽에는 주동토압에 대응하는 압축방향의 수평토압이 발생되며 이러한 수평토압을 수동토압이라 하며 연직토압에 대한 수동토압의 비를 수동토압계수 K_p 라고 한다.

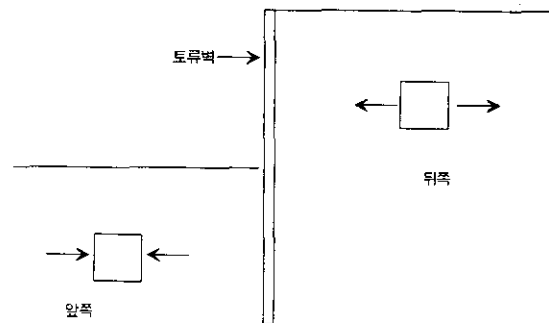


그림 3.2 일반적인 굴착토류벽

흙이 수평방향으로 압축을 받는 토압인 수동토압은 주동토압이 작용하는 크기만큼 발생하는 것이며, 일정한 크기 이상으로 크게 발생되지는 않는데 이러한 한계상태일 때 연직토압에 대한 수동토압의 비가 수동토압계수 K_p 가 되는 것이다.

옹벽인 경우에는 옹벽에 작용하는 주동토압과 수동토압의 크기가 평형을 이루어야만 안정할 수 있으며 주동토압이 수동토압보다 크게 되면 전도 또는 붕괴가 발생되게 된다.

수평토압계수는 흙의 내부마찰각과 관련이 있으며 주동토압계수 및 수동토압계수는 다음 식과 같이 나타내며, 이들은 서로 역수의 관계가 있다.

$$K_a = \frac{\sigma_{ka}}{\sigma_v} = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$K_p = \frac{\sigma_{kp}}{\sigma_v} = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$$

두 개의 서로 다른 응력경로에서 내부마찰각의 미소한 차이를 무시한다면, $K_p = 1/K_a$ 가 됨을 알 수 있다. 그러므로 주어진 정지상태의 수직응력 σ_v 에 대하여 수평응력은 오직 $K_a \sigma_v$ 와 $K_p \sigma_v$ 의 범위 사이에만 존재할 수 있다. 이러한 극한상태의 두 응력을 공액응력이라 한다. 극한상태에 대한 활동선의 경사가 그림 3.3에 나타나 있는데, 이 그림에서는 평면기점을 이용하여 경사를 얻는 방법을 보여주고, 수동상태에서 전단응력은 중력과 함께 작용하여 큰 수평응력에 저항한다.

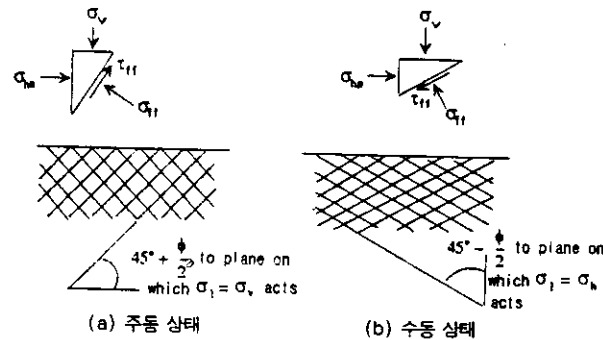


그림 3.3 Rankine 상태에서 활동선의 방향

표 3.2는 전형적인 주동토압계수와 수동토압계수의 값들을 나타내고 있다. 만약 흙에 수평방향의 인장 또는 압축으로 매우 큰 변형이 발생한다면 궁극 마찰각 φ_u 가 토압계수들을 계산하는데 이용되어야 하지만, 일반적으로 최대 마찰각 φ 를 사용하는 것이 적절하다. $\varphi=30^\circ$ 일 때 주동인 경우에는 이론적인 파괴선은 수평방향과 60° 를 이루고 수동인 경우에는 수평방향과 30° 를 이룬다.

표 3.2 정역학적 응력의 Rankine 상태에서의 K_a 와 K_p 의 값

φ	K_a	K_p
10°	0.703	1.42
15°	0.589	1.70
20°	0.490	2.04
25°	0.406	2.46
30°	0.333	3.00
35°	0.271	3.66
40°	0.217	4.60
45°	0.171	5.83

3.4 지반 및 상태조사

3.4.1 지반조사

3.4.1.1 보링 및 토질시험

지반의 구성과 성질을 파악하여 토압을 계산하기 위한 설계정수들을 결정하는 것은 굴착공사에서 매우 중요한 단계이다. 지하수위, 투수계수, 내부마찰각, 점착력 등의 결정은 주로 보링조사를 통하여 실내시험 및 현장시험으로 구분하여 실시하고 있다. 이러한 시험을 통하여 흙막이 구조의 공법을 선정하고 설계를 하게 된다.

설계조건과 상이한 현상이 발견 될 시에는 좀 더 정밀한 검토를 수행한 후 시공을 계속하여야 할 것이다.

지반조사는 지반의 구성을 파악하는 것과 각 층의 역학적, 물리적 특성을 조사하기 위하여 실시한다. 조사의 범위는 대략 50~100m 간격으로 설계근입장+ α 깊이까지 보링을 함으로써 수행한다.

보링을 실시할 때는 다음과 같은 사항에 주의하여 수행하여야 한다.

- 1) 현장당 개수는 3개 이상으로 하고 지층의 변화상태를 2방향으로 조사할 수 있도록 하고 조사심도는 흙막이 벽체의 차수기능과 침화에 대한 지내력을 감안하여 최종 굴착면 이하 충분한 깊이까지 조사한다.
- 2) 암반이 출현하는 지역에서는 기반암의 3m 깊이까지 코어를 채취하여 확인하고, NX크기의 다이아몬드 비트를 사용하여 암반 RQD값과 강도측정에 알맞은 시료품질이 되도록 한다.
- 3) 설계시 사용된 보어홀이 시공관리시 계측에 의하여 안전관리 역할도 할 수 있도록 사용 중 미리 파손되지 않는 안전한 곳에 보어홀을 계획한다.
- 4) 필요에 따라 대지 경계선 밖의 어스 앵커 정착장 위치나 인근지반의 침하량 계산 지점에 보어홀을 설치하여 보다 정확한 분석을 시행할 수 있도록 한다.

보링조사를 수행하여 현장시험 및 실내시험을 병행하게 되며 이로부터 설계정수들을 결정하는데 표 3.3은 시험의 항목을 정리한 것이다.

표 3.3 시험 항목

항 목		물리특성	역학특성	압축특성	지하수
점성토	실내시험	입도시험 함수비 시험 LL, PL시험	일축압축시험 삼축압축시험	압밀시험 함수비 시험 LL, PL시험	압밀시험 투수시험
	현장시험		베인 시험 CPT 시험 평판재하시험 말뚝재하시험	평판재하시험	
사질토	실내시험	입도시험	삼축압축시험 직접전단시험		
	현장시험	함수비시험	평판재하시험 말뚝재하시험 SPT, DCPT	평판재하시험 SPT, DCPT	현장투수시험 입도시험 수위 측정

3.4.1.2 설계정수의 결정

현장시험이나 실내 시험자료분석에 의한 강도정수는 많은 불확실성이 있으나 N치에 의한 강도정수 결정 또한 문제가 많으므로 교란상태의 시료라도 정확한 토성 시험에 의한 자료와 N치의 비교·검토에 의한 결정이 중요하다. 더 좋은 방법은 역학시험이나 현장시험결과, 드릴로그와 경험적인 판단에 의한 결정이 중요하다.

1) 사질토

표준관입시험을 통해 얻은 N치에 의한 c , ϕ 값의 추정은 Dunham, Hansen, Terzaghi, 오자끼 등이 제안한 식이 있고, Peck, Meyerhof 등에 의한 N치와 내부마찰각의 관계는 다음 표 3.4와 같고 Dunham, Meyerhof, peck, 오자끼 등이 제안한 공식 및 N값과 내부마찰각의 관계는 그림 3.4와 같다.

① Dunham의 제안식

- ▶ 등근 입자 - 입도분포가 균등한 모래 $\phi = \sqrt{12N} + 25$
 - 입도분포가 좋은 모래 $\phi = \sqrt{12N} + 20$
- ▶ 모난 입자 - 입도분포가 균등한 모래 $\phi = \sqrt{12N} + 25$
 - 입도분포가 좋은 모래 $\phi = \sqrt{12N} + 20$

② 오자끼의 제안식

$$\phi = \sqrt{12N} + 15$$

③ Peck의 제안식

$$\phi = 0.3N + 27$$

표 3.4 N치와 상대밀도 및 내부마찰각의 관계

N값	상대밀도(Dr)		내부마찰각(ϕ°)	
			Peck	Meyerhof
0~4	매우 느슨	0.0~0.2	28.5 이하	30 이하
4~10	느슨	0.2~0.4	28.5~30	30~35
10~30	보통	0.4~0.6	30~36	35~40
30~50	조밀	0.6~0.8	36~41	40~45
50이상	매우 조밀	0.8~1.0	41 이상	45 이상

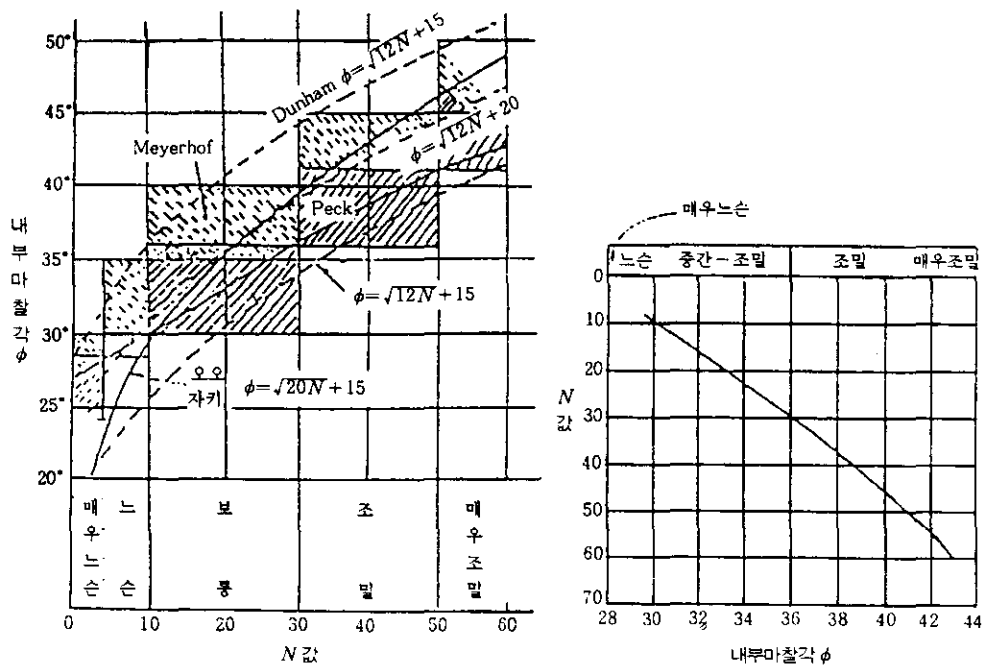


그림 3.4 N값과 내부마찰각의 관계 곡선

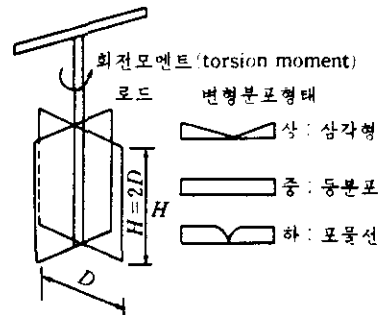
2) 점성토

점성토 지반에서의 N값은 신뢰성이 낮아 정적관입시험, 배인시험 등의 현장시험과 삼축압축시험과 같은 불교란시료에 대한 시험을 실시하여 강도정수의 정확도를 증진시킬 필요가 있다.

점성토지반은 내부마찰각 φ 가 매우 작기 때문에 지반의 전단강도는 주로 점착력(C)에 의존하게 되어 점착력의 결정이 중요한 설계인자가 된다.

따라서 대표적으로 배인시험에 의하여 점착력 C를 결정하는 것은 다음 식과 같다.

$$C = \frac{T}{\frac{\pi D^2 H}{2} + \frac{\pi D^3}{6}}$$



3.4.2 상태조사

현황 및 상태조사는 공사의 규모, 구조물의 중요도 및 주변여건에 따라 다르지만 일반적으로 굴착공사로 인하여 주변 구조물 및 지하 매설물에 미치는 영향을 사전에 파악하여야 한다.

굴착현장의 현황 및 상태조사의 항목은 다음과 같다.

- 1) 인근 지반의 지반조사자료 및 시공자료
- 2) 인접 구조물의 크기, 기초 형식 및 노후도
- 3) 주변환경 (하천, 도로, 교통 등)
- 4) 인접 또는 당해 현장의 지하매설물 조사 (상·하수도, 가스관, 송유관, 통신케이블)
- 5) 기상조건에 따른 지반 영향 검토
- 6) 지형이나 지하수위 조사
- 7) 지층 및 암반층 구조, 암반노출 상태
- 8) 소음·진동의 영향
- 9) 인접 공사 현장 유무, 인접 현장 흠막이 구조 및 인접거리 조사

3.4.3 시공중의 조사

공사진행중에 착공전 실시한 조사 결과와 다르거나 예측할 수 없는 상태가 발생하는 경우에는 시공 도중이라도 조사 및 시험을 실시하고, 그 결과에 따라서 작업계획을 변경할 필요가 있다. 이런 특별한 상황이 발생할 때에는 반드시 공사책임자에게 연락하여 지시를 받는다.

또한, 작업계획 재검토를 위한 시간을 요할 때에는 공사책임자로부터 적절한 조치를 받아 대처한 후 작업을 일시중단하고, 작업계획이 결정될 때까지 기다려야 한다.

3.5 흙막이 설계시 중요검토사항

토사붕괴 재해를 방지하기 위해서는 설계단계부터 충분한 검토가 수행되어야 하며, 이들에 대한 설계인자들의 정확한 시방서의 기록이 요구된다. 왜냐하면 시공중 설계시 조건과 상이한 현상이 발견되었을 때 즉시 이에 대한 대책이 강구될 수 있기 때문이다.

일반적으로 흙막이 설계시 중요하게 검토되어야 할 사항은 다음과 같다.

- 1) 지형, 지질에 맞는 토류구조물의 공법 선택과 공법의 문제점, 시공성, 경제성 분석
- 2) 정확한 토질정수 추정을 위한 실험자료 검토
- 3) 인접 구조물의 기초구조 특징과 노후도, 지하매설물(가스, 통신케이블, 전선케이블, 상·하수도)의 위치파악으로 굴착에 따른 영향 검토
- 4) 암반굴착이나 특수공법(CIP, SCW, 슬러리 월, JSP, 시트 파일, 레이커 등) 시공시 소음, 진동, 장비투입에 따른 민원발생 검토
- 5) 지하수위가 높은 지역에서는 지반조사결과와 비교·검토하여 차수공법을 결정(계절별 지하수위 변동도 검토)
- 6) 지지부재(스트러트, 잭, 웨일, 앵커, 영구슬래브 등)의 선택과 배치방법 검토
- 7) 설계모델선정(탄성, 탄소성설계법, 유한요소법)에 의한 적용 프로그램 결정
- 8) 시공조건의 검토 : 공사현장에 자재 및 건설장비투입과 착공전 주변의 이해 당사자들에게 문제점 및 대책

제 4 장 굴착공법의 종류 및 작업안전

4.1 개 요

굴착공사는 지반의 상태, 지형조건, 입지조건 및 장애물의 영향 등을 고려하여 선정한다. 굴착공사에 사용되는 공법은 흙막이 지보공을 사용하지 않고 안식각에 의해 사면을 유지하는 자연사면굴착공법과 흙막이 구조를 갖는 공법으로 구분될 수 있다. 자연사면굴착공법은 상·하수도관, 가스관, 송유관, 통신케이블 등의 매설을 위한 트렌치 굴착과 도로변 및 채석장과 같은 일면 자연사면굴착으로 구분될 수 있으며, 비교적 굴착깊이가 깊을 때 지반의 조건 및 주변 환경에 따라 적절한 흙막이 지보공을 사용하는 각종 흙막이 공법이 사용되고 있다. 흙막이지보공의 구조는 크게 흙막이 벽체 구조(흙막이벽)와 토압에 저항하는 지지 구조(지보공)로 이루어져 있으며, 이들 두가지의 구조가 서로 복합적으로 형성되어 흙막이지보공의 구조를 이루고 있는 것이다.

굴착공사에 사용되는 공법의 종류는 다음과 같이 분류할 수 있으며, 이러한 흙막이 공법은 그림 4.1과 같은 과정을 거쳐 선정하게 된다.

표 4.1 흙막이 공법의 종류

구 분	종 류	
안식각에 의한 무지보공	자연사면굴착공법	
흙막이 벽체 구조 (흙막이벽)	H-파일+토류판 공법 CIP + 보조그라우팅공법 SCW 공법 쉴트파일 공법 지하연속벽공법	
토압지지구조 (지보공)	개착식	자립흙막이공법 버팀공법 어스앵커공법 역타공법 아일랜드공법
	터널식	NATM 공법 TBM 공법 쉴드 공법

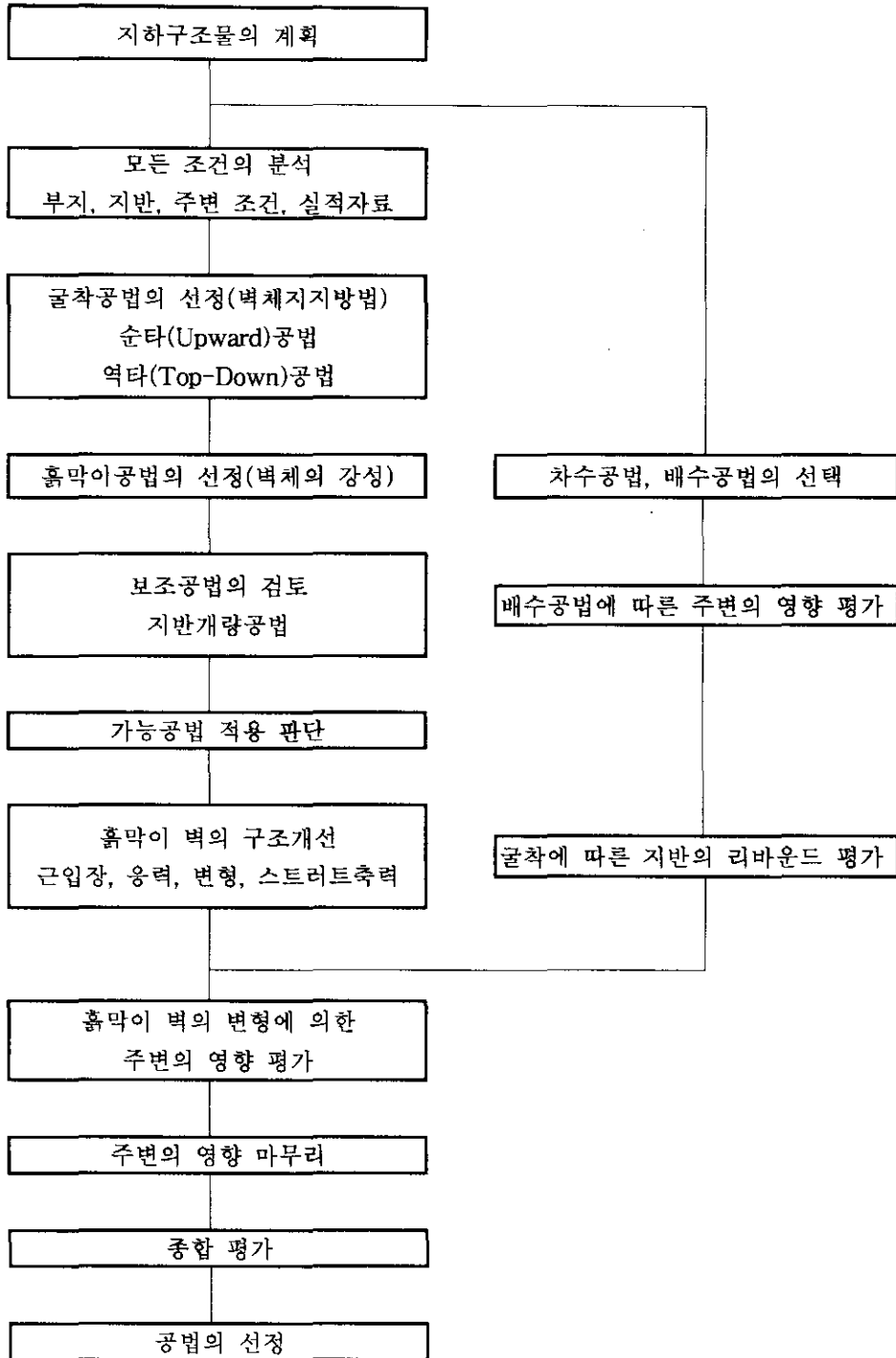


그림 4.1 흙막이공법의 선정 흐름도

4.2 일반적인 작업안전사항

굴착공사를 하기 위하여 모든 공법에 있어서 공통적으로 적용하여야 할 일반적인 작업안전사항은 다음과 같다.

- 1) 작업개시전에 지반의 형태(지형, 지질 등), 굴착의 규모 등을 조사하고 설계 조건과 현장조건의 부합여부를 확인한다.
- 2) 굴착공사를 수행하기 전에는 반드시 작업계획서를 작성하고 그 계획에 맞게 작업하여야 하며, 작업계획서에는 굴착공법, 작업순서 및 방법, 투입장비, 사면 안식각 또는 흙막이 조립도 등이 포함되어야 한다.
- 3) 흙막이 구조가 없는 자연사면굴착인 경우에는 가능한 한 계단식 굴착을 수행하며 상부에서 하부로 굴착하여 내려가는 순으로 굴착하여야 한다. 하부에서 무리하게 선행굴착함으로써 사면내 토사 및 암석의 붕괴가 발생되지 않도록 하여야 한다.
- 4) 흙막이 구조가 있는 굴착공법일 경우에는 작업방법 및 순서가 명기된 흙막이 조립도를 작성하고 이를 준용하여야 하며, 시공단계별 안전성이 검토되어야 한다.
- 5) 도로상 및 시가지 등에서의 작업은 지하매설물의 유무를 반드시 확인하여야 하며, 매설물이 있을 때에는 매설도를 참고하여 매설위치, 매설상태 등을 충분히 파악한다. 또한, 매설물은 그 도면이 없거나, 있어도 도면대로의 위치에 있지 않는 경우가 있으므로, 흙막이말뚝 등을 타입할 때에는 공사책임자 및 매설물관리자 입회하에 탐침굴착에 의해 매설물의 유무를 확인하는 것이 필요하다. 매설물은 일반적으로 깊이 2.5m 정도까지 있다고 하지만, 도시 및 시가지 등에서는 깊이 3m 이하에 있는 경우도 있으므로 충분한 여유를 갖고 탐침굴착을 하여야 한다. 만일 매설물을 손상시키는 사태가 발생한 경우에는 즉시 공사책임자에게 보고하고, 관계 기관에 긴급연락 한다. 특히 가스관에 손상을 준 경우에는 가스누설에 주의하고, 화기를 사용해서는 안된다. 탐침굴착 등에 있어서 확인된 매설물은 그 위치를 깃발 등으로 표시하고, 또한 인계를 확실하게 하는 것도 중요하다.
- 6) 도로상에서 작업하는 경우에는 도로사용허가조건에 의한 작업 구역표지의 설

치 및 작업시간을 준수하고, 야간작업이 되는 경우에는 위험방지용 조명설비를 마련한다.

- 7) 시가지에서 야간작업을 수행할 경우에는 재료의 반입, 크레인 등 공사용 차량의 소음대책에 관하여 공사책임자와 충분히 협의하고, 부근 주민의 양해를 얻었는지를 확인한다.
- 8) 산소결핍 및 황화수소가 발생할 우려가 있는 위험한 장소에서의 작업은 산소결핍 등 위험작업 안전담당자의 지휘하에 작업하고, 산소농도 18% 이상, 황화수소농도 10ppm 이하인 것을 반드시 확인한다.
- 9) 타직종작업과의 연락, 협의를 긴밀하게 하여 작업을 진행한다. 흙막이지보공 조립등의 작업반경을 명시하고 작업반경내에는 다른 작업을 동시에 투입하지 않아야 하며, 관계자 이외의 출입을 금지하여야 한다.
- 10) 굴착작업과 흙막이지보공 조립이 근접된 동시작업이나, 흙막이지보공 조립 등의 상하동시작업은 하지 않는다.
- 11) 흙막이지보공 조립, 해체작업에 있어서 크레인 등 중기를 사용하는 경우는 그 운전자와 작업내용 및 작업방법에 관하여 협의하고, 크레인 운전자에 대한 신호는 지명된 자가 한다.
- 12) 재료, 기구, 공구 등을 올리고 내리는 경우에는 망 또는 달포대 등을 이용하여 한다.
- 13) 재료를 두는 곳은 작업장소에 가까운 곳으로 흙막이지보공용 부재의 가공작업을 할 수 있는 넓이를 확보하는 것이 바람직하다. 부재는 긴급한 경우를 고려하여 여유있게 준비해 둔다.
- 14) 굴착된 토사는 굴착면에 인근하여 적재함으로써 굴착면의 토압이 증가되어 붕괴원인이 될 수 있으므로 굴착면과 충분히 떨어진 위치에 사토하여야 하며 비록 굴착된 토사를 되메우기용 토사로 사용할 경우라도 이를 준용하여야 한다. 만약 여유 부지가 없어 어쩔 수 없을 경우에는 증가된 토압을 흙막이 설계에 반영하여야 한다.
- 15) 흙막이지보공의 상태, 주변 지반에 이상이 발생하거나 이상한 용수가 발생한 경우에는 작업을 중지하고 공사책임자에게 보고하여 필요한 지시를 받는

다.

- 16) 굴착면 선단에는 반드시 표준안전난간대 또는 울을 설치하여 추락을 방지하여야 하며, 굴착면 선단에는 낙하의 위험이 있는 공구나 돌덩어리 등을 완전히 제거하여야 한다.
- 17) 굴착깊이가 1.5m 이상되는 개소에는 근로자가 안전하게 승강할 수 있는 경사로, 사다리, 가설계단 등 가설통로를 설치하여야 한다. 이때 설치기준은 관계 법령의 기준을 준용한다.
- 18) 작업장의 규모(넓이, 깊이)가 비교적 클 경우에는 안전통로 및 점검통로를 설치하여야 하며, 통로상에는 재료 등을 적재하지 않도록 한다. 통로 양단에는 전구간에 걸쳐 표준안전난간대를 설치하고 작업조건상 난간을 해체했을 때에는 작업종료후 즉시 원래대로 복구하여야 한다.

4.3 자연사면굴착

4.3.1 트렌치 굴착

트렌치 굴착은 상·하수도관, 가스관, 송유관, 통신케이블 등의 매설을 위하여 도심지의 도로변이나 부지조성을 위한 대지에서 약 5m 미만으로 흙막이지보공을 사용하지 않고 굴착하는 것을 말한다. 제2장의 재해사례 분석결과에서 보는 바와 같이 굴착공사중에 발생하는 붕괴재해는 약 59% 이상이 트렌치굴착 공사중 발생되고 있어 이에 대한 방지대책은 매우 중요한 과제라 할 수 있다.

트렌치굴착 공사중 발생하는 재해의 형태는 주로 다음과 같은 작업중 발생하는 것으로 조사되었다.

- 1) 굴착저면의 정지작업
- 2) 관로의 용접 등 연결작업
- 3) 관로의 인양 및 거치작업

이와같이 트렌치 굴착은 거의 대부분이 설계 굴착깊이까지 굴착된 상태에서 발생되고 있어 이러한 시점에서의 붕괴요인을 제거하는데 주안점을 두어야 할 것이다.

☐ 트렌치 굴착의 문제점

- 1) 도심지의 도로상에서 트렌치 굴착을 할 경우에는 여유 면적이 충분하지 않기 때문에 충분한 안식각을 유지하며 굴착하기가 곤란하여 거의 수직으로 굴착하게 된다.
- 2) 굴착된 토사를 이용하여 되메우기를 하게 되기 때문에 작업반경을 최소화하기 위하여 굴착토사를 굴착면 선단에 적재하기 쉽고, 이로 인하여 토압의 증가를 초래하여 붕괴의 요인이 될 수 있다.
- 3) 트렌치 굴착은 비교적 그 공사구간은 길지만 굴착깊이가 깊지않고 관로 매설 후 곧바로 매립하기 때문에 지반조사나 굴착에 따른 충분한 설계검토 없이 곧바로 굴착공사를 하는 경우가 많다.
- 4) 트렌치 굴착은 주로 소규모 사업장으로써 토사붕괴에 대한 충분한 안전성 검

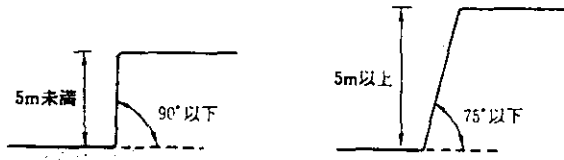
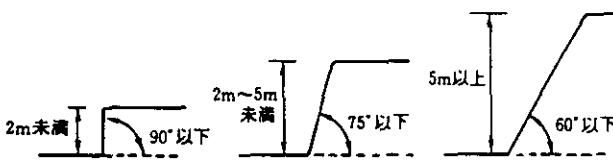
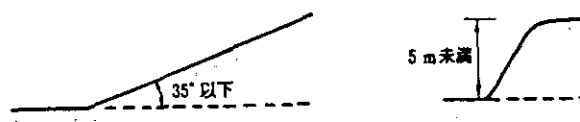
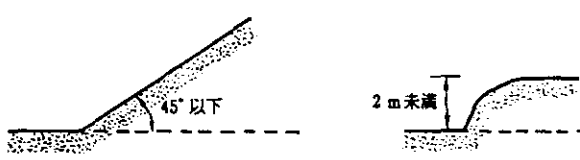
토를 수행하지 않고 행하는 경우가 많으며, 경제성을 고려하여 흙막이지보공을 하지 않는 경우가 대부분이다.

- 5) 굴착공사 및 배관작업용 중장비들이 굴착면 선단에 위치하게 됨으로써 중장비의 자중이 굴착면 토압의 증가를 가져오게 되어 토사붕괴를 초래할 수 있으며, 이러한 조건의 검토가 선행되지 않는 경우가 많다.
- 6) 우수 등 지표면의 유입수에 대한 굴착면의 보호대책이 미비되기가 쉽다.

☒ 트렌치 굴착면의 붕괴방지대책

- 1) 지하매설물의 사전조사 및 인력굴착으로 장애물 확인 후 장비 굴착작업을 시행하여야 하며, 지하매설물이 확인되면 이설 또는 보호조치 후 굴착하여야 한다.
- 2) 연약지반인 경우에는 붕괴사고에 대한 예방조치를 취한 후 굴착하여야 한다.
- 3) 굴착깊이가 지하수위보다 더 깊은 경우에는 차수공법등으로 붕괴예방대책을 수립하여야 하며, 굴착중 지하수가 유출되면 이에 대한 안전성 검토를 행한 후 작업하여야 한다.
- 4) 표면수가 유입되면 사면내에 침투수가 발생되고 이로 인하여 사면활동이 예상되므로 비닐을 덮는 등 이의 방지대책을 수립하여야 한다.
- 5) 매립지를 굴착할 때에는 유독가스의 발생여부를 검토하고 안전성을 확인후 굴착하여야 한다.
- 6) 굴착된 토사나 자재 등을 굴착면 선단에 적재함으로써 토압의 증가를 가져오지 않도록 하여야 하며, 부득이한 경우에는 사전에 토압증가에 따른 안전성 검토를 수행한 후 시행하여야 한다.
- 7) 굴착면의 안식각은 다음 표를 준용하며 안식각 이상의 구배를 유지하여야 할 때에는 반드시 흙막이 지보공을 설치한 후 작업하여야 한다.

표 4.2 굴착면의 높이 및 경사기준

지반의 종류	굴착면의 높이 · 경사구배
암반 또는 단단한 점토로 이루어진 지반	
그 밖의 지반	
모래로 이루어진 지반	
발파 등에 의해 붕괴하기 쉬운 상태의 지반	

- 8) 트렌치 굴착은 붕괴토사의 량이 비교적 작다하더라도 근로자가 매립됨으로 인하여 중대재해로 연결되기 쉽다. 이때 무너져 내리는 토압은 굴착면 깊이 만큼의 수평토압이 발생하는 것은 아니며, 사면내 파괴가 붕괴가 대부분이 되기 때문에 간단한 이동식 보조 흙막이 구조를 사용하여도 충분한 안전성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 그림 4.2는 이러한 트렌치 굴착에서 이동식

보조 흙막이 구조를 나타낸 것이며, 관로 조립, 용접 등의 작업을 수행하는 작업장에는 이동식 보조 흙막이를 사용하는 것이 바람직하다.

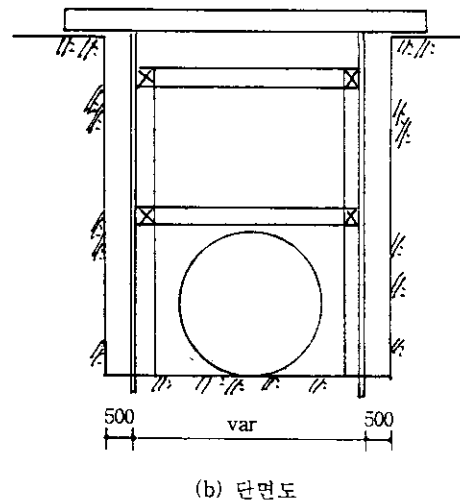
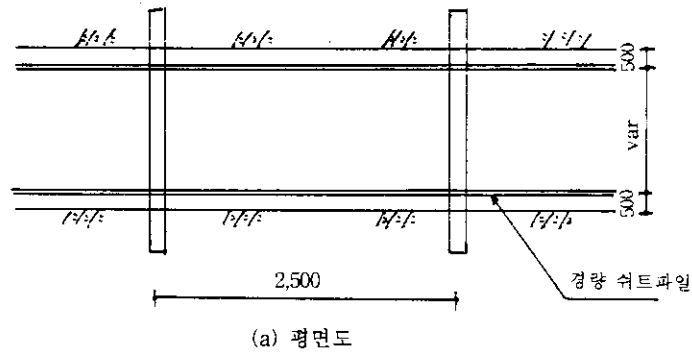


그림 4.2 트렌치 굴착에 있어서 보조 흙막이지보공 조립도의 예

- 9) 장비 운용시에는 신호자를 배치하고 신호자의 신호에 의하여 작업을 수행하여야 한다.
- 10) 굴착구간에는 안전울타리 및 야간등을 설치하여 통행인이나 차량의 추락을 방지하여야 한다.
- 11) 전주, 체신주 등 지상 장애물은 이설 또는 보호조치를 하여야 한다.

4.3.2 일면사면굴착

일면사면굴착은 채석장, 도로변 산악절토, 부지조성공사의 산악절토 등에서 발생되는 것을 말한다. 제2장의 재해사례 분석결과에서 보는 바와 같이 굴착공사중에 발생하는 붕괴재해는 약 28% 이상이 일면사면 굴착공사중에 발생되고 있다.

일면사면 굴착공사중에 발생하는 재해는 주로 굴착공사중에 발생하는 것으로 조사되었으며, 사면의 설계 경사각은 안정하다 하더라도 굴착공사중 작업방법 및 순서가 불량하여 사면내 절리면을 따라 암반의 낙석이 발생되고 있다.

따라서 굴착작업에 투입된 중기운전원이나 천공작업자 등이 재해를 당하고 있으며, 동일장소에 다른 작업을 투입함으로써 사면 하단부에 작업하고 있던 다른 직종의 근로자가 전락되는 암석에 맞아 사고를 당하는 것으로 조사되었다.

관로 매설을 위한 트렌치 굴착은 관로를 매설한 후 다시 매립하게 되는 일시적인 굴착단면을 형성하는 반면에 일면사면굴착은 굴착경사면이 최종 설계단면으로 완성되는 영구적인 단면을 형성하게 된다.

☐ 일면사면 굴착의 문제점

- 1) 일면사면 굴착의 설계단면은 안식각을 유지하더라도 시공중 작업방법 및 순서가 불량하여 굴착도중 안식각을 유지하지 않게 되기 쉽다.
- 2) 설계단면은 암반인 경우에 절리방향을 고려하지 않고 암질의 종류에 따라 일률적인 안식각을 적용하는 경우가 많아 절리면을 따라 암석이 낙석되는 경우가 있다.
- 3) 설계단면이 토사인 경우에는 설계기면이 도출된 후 사면보호공이 병행되는 것이 일반적이기 때문에 사면보호공을 시공하기 전에 지표수의 유입 등으로 인하여 붕괴될 수 있다.
- 4) 경사면에서 중장비의 운행을 하여야 하는 작업특성상 작업원의 실수 또는 기타 요인에 의하여 장비가 전락될 수 있다.
- 5) 도로 또는 채석현장에서 많은 공정이 동시에 투입될 때 굴착사면의 영향범위 이내에 다른 작업을 투입시켜 작은 암석이나 토괴의 붕괴에 의한 인근 작업장의 근로자에게 재해를 발생시킬 수 있다.

☑ 일면사면 굴착의 재해방지대책

- 1) 굴착작업을 하기 전에는 안전성을 검토하여야 하며, 반드시 작업방법, 작업순서, 투입장비, 신호수의 배치 등이 포함된 작업계획서를 작성하고 작업계획서에 준하여 작업하도록 하여야 한다.
- 2) 굴착은 계단식 굴착을 하도록 하는 것이 바람직하며, 어쩔 수 없는 경우라도 굴착작업 중에는 항상 굴착사면은 안식각이 유지될 수 있는 작업계획을 수립하여야 한다.
- 3) 굴착면이 암석일 경우에는 반드시 절리방향을 고려하여 암괴가 빠지는 방향으로 절리가 발달되어 있는 경우에는 설계 안식각을 일반적인 안식각보다 완만하게 하여야 한다.
- 4) 굴착면이 토사인 경우에는 지표수의 유입을 방지하기 위하여 비닐을 덮는 등 붕괴방지를 위한 대책을 수립하여야 한다.
- 5) 굴착작업을 위한 중장비를 투입할 때에는 신호수 또는 감시자를 배치하여 장비의 전락사고를 방지하여야 한다.
- 6) 굴착사면의 낙석 또는 토괴의 붕괴로 인하여 영향을 미칠 수 있는 작업범위에는 다른 작업을 투입시키지 않아야 하며 상·하 동시작업을 금하여야 한다.
- 7) 발파작업을 병행하여 작업을 하는 경우에는 발파 후 반드시 불발잔약의 유무, 부석의 제거 등의 작업을 수행한 후 후속작업에 투입될 수 있도록 하여야 한다.
- 8) 굴착사면의 하단부에는 반드시 암석의 전락 등으로 인한 재해를 방지하기 위하여 방책을 설치하는 등 필요한 조치를 하여야 한다.
- 9) 근로자를 투입시킬 때에는 만약의 경우를 대비하여 대피방법 등을 교육하고 감시인을 배치하여 작업하도록 하는 것이 바람직하다.

4.4 흠막이벽의 종류 및 작업안전

흠막이벽은 굴착에 의해 토압의 균형이 무너진 굴착부분의 흠막이 및 주변 지반의 안정을 확보하기 위해 마련되는 가설 구조물이다. 흠막이벽의 설치에 의해 굴착 지반의 안정이 유지되어 구축하는 구조물의 시공이 안전하게 이루어지고, 또한 지하 수위 이하의 굴착에 있어서 차수를 목적으로 사용하기도 한다.

4.4.1 널말뚝에 의한 흠막이벽

널말뚝에 의한 흠막이벽은 판상의 나무 널말뚝, 강널말뚝(쉬트 파일), 경량 강널말뚝(트렌치쉬트)를 타입하여 흠막이벽을 형성하는 것이다.

또한, 연약한 흠막이에서 대규모 굴착을 할 경우에는 강판 널말뚝이 이용되는 경우도 있다.

4.4.1.1 종류 및 특성

1) 나무 널말뚝

나무 널말뚝은 굴착깊이가 얇고, 차수가 필요없는 경우의 소규모 흠막이벽으로 사용된다. 이것은 경량이고 취급이나 가공성이 용이하지만, 강재에 비해 강도가 작고, 반복사용재료로서 내구성이 적어, 부식, 훼손되기 쉽다. 따라서 일반적으로 나무 널말뚝은 두께 3~10cm, 폭 20~30cm 정도의 것이 이용되며, 타입시의 충격에 견디도록 하기 위하여 철판 또는 철심을 감고 끝부분은 경사지게 깎아서 사용한다. 또한 물이 나오는 곳에서도 깊이 1m 정도까지는 쪽매이음을 할 경우 어느정도 차수성을 확보할 수 있다.

또한 굴착면이 자립하고 있는 경우에는 어느 정도 굴착이 진행된 후에 세워놓고 가볍게 박아넣는 경우나 박아넣지 않고 굴착후에 세워넣어 사용하는 경우도 있다.

2) 강널말뚝(쉬트파일)

강널말뚝은 강도, 강성 및 차수성 등이 있기 때문에 흠막이벽으로서 많이 사용되고 있다. 강널말뚝의 주요 특징을 들면 다음과 같다.

① 공장에서 적절한 품질관리하에 제조되기 때문에 재질에 편차가 없어서 신뢰

성이 높다.

- ② 시공이 비교적 간단한 기계설비로 할 수 있다.
- ③ 이음매의 구조가 견고하고, 시공시에 맞물림을 완전하게 하도록 관리할 수 있어 상당히 높은 차수효과를 얻을 수 있다.
- ④ 연약지반에서부터 견고한 사질층까지 상당히 넓은 범위의 흙막이에 적용할 수 있다.
단, 전석층, 자갈층 등 경질흙막이에서는 시공이 어렵다.
- ⑤ 단면성능이나 형상에 종류가 많아서 사용조건에 대해 자유롭게 적용할 수 있다.
- ⑥ 부재는 내구성이 있고, 보수가 용이하여 가설용으로 사용하고 회수함으로써 전용성이 뛰어나다.
- ⑦ 일반적인 시공방법에서는 vibro hammer로 널말뚝을 타입하거나, 인발작업을 하기 때문에, 소음이나 진동 등의 건설공해를 동반한다.
소음진동을 억제하는 방법으로서 earth auger나 압입기에 의해 유압으로 널말뚝을 압입하는 방법을 취하는 경우가 있다.
- ⑧ 지지 스팬이 크면 휘어짐이 커진다.

또한, 강널말뚝의 단면형상은 U형, Z형, 직선형, 트렌치형, H형 등이 있는데, 흙막이벽으로서 사용되는 것은 주로 U형이다.

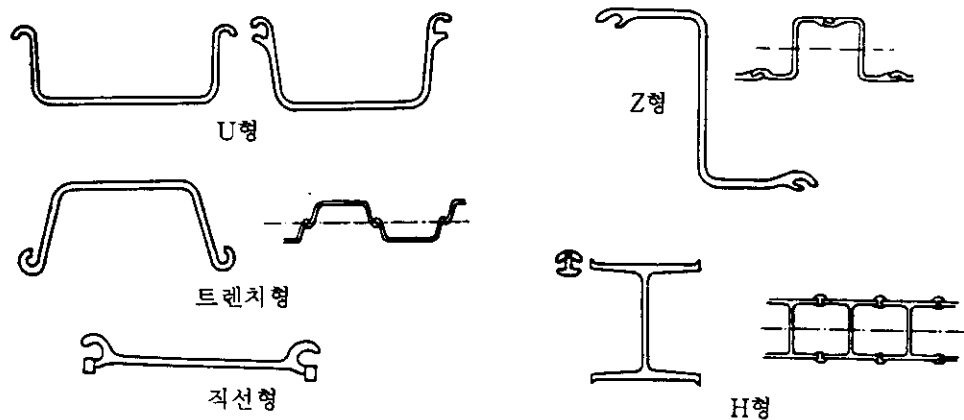


그림 4.3 강널말뚝의 일례

3) 경량 강널말뚝(트렌치쉬트)

경량 강널말뚝은 강널말뚝을 사용할 정도로 강도, 차수성을 필요로 하지 않는 소규모 트렌치(흙) 굴착공사의 흙막이벽에 사용된다.

경량 강널말뚝은 나무 널말뚝과 비교하여 재료의 신뢰성 및 전용이 좋다는 점 등으로 인하여 나무 널말뚝 대신 사용되고 있다. 단면형상도 여러 가지 종류가 있으며, 그 길이가 10m를 넘는 것까지 제작되고 있다.

4) 강관 널말뚝

강관 널말뚝은 굴착 지반이 연약하고, 큰 토압을 받을 때의 흙막이벽에 적합하다. 따라서, 대규모 굴착을 하는 장소나 수중에서 교각의 기초굴착이나 인공섬 등의 축도(築島)공사의 경우에 강널말뚝보다 내구성이 있기 때문에 사용되고 있다.

강관 널말뚝의 형상은 강관의 외측에 산형강(山形鋼), T형, 작은 직경의 강관(일부가 빠진 것) 등의 이음매를 용접하여 설치한다. 또한, 기존제품의 강관 널말뚝은 여러 가지 치수의 것이 있어서, 굴착의 규모, 토압의 크기, 굴착방법 등의 시공조건에 따라 선정되고 있다.

그 시공은 강널말뚝의 세워넣기와 같은 방법으로 이음매를 맞붙리면서 연속하여 땅속에 타입하여 흙막이벽으로 하는 것이다. 그림 4.4는 강관 널말뚝의 이음매 형상을 나타낸 것으로 시공시에 이음매부분의 차수성을 증가시키기 위하여 몰탈 그라우트 등을 넣어 차수의 향상을 기할 수 있다.

또한, 흙막이벽으로서 사용되는 강관 널말뚝은 인발하는 것이 곤란하기 때문에 가설용이 아니라 영구 구조물의 일부로서 사용되는 경우가 많다.

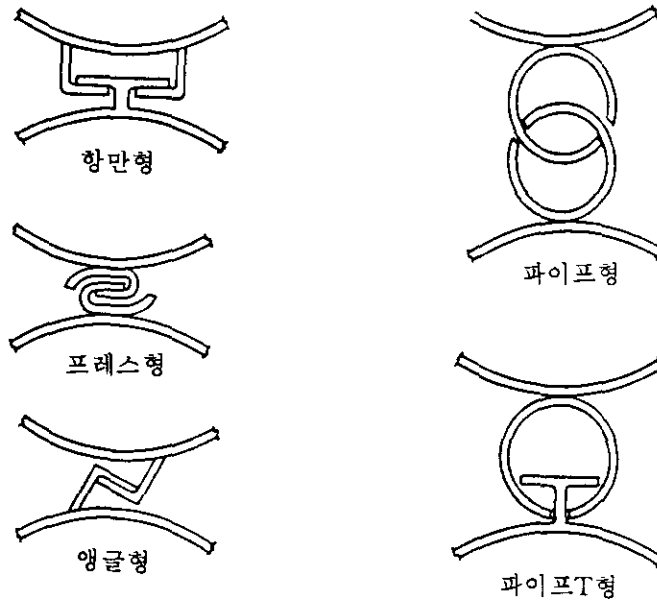


그림 4.4 강관 널말뚝의 이음형상의 일례

5) 콘크리트 널말뚝

콘크리트 널말뚝은 공장에서 제작된 철근 콘크리트(RC)제, 프리스트레스 콘크리트(PC)제 등이 있다. 이것은 비교적 얇은 굴착의 경우에 사용되며, 가설구조물로 사용되는 경우는 적으며, 타입, 굴착후는 호안이나 수로 등의 영구구조물로서 사용된다.

널말뚝의 길이는 수십m까지이며, 단면도 여러 가지이지만, 이음대부분의 차수성을 확보하기 위하여 염화비닐 차수판을 넣거나 그라우트를 충전하는 경우도 있다.

콘크리트 널말뚝의 장점으로서 강재, 목재와 비교하여 부식되지 않는다는 것인데, 중량이 크고, 또한 잘못 취급하면 널말뚝의 겹치는 부분이나 두부(頭部) 등이 손상되기 쉽다.

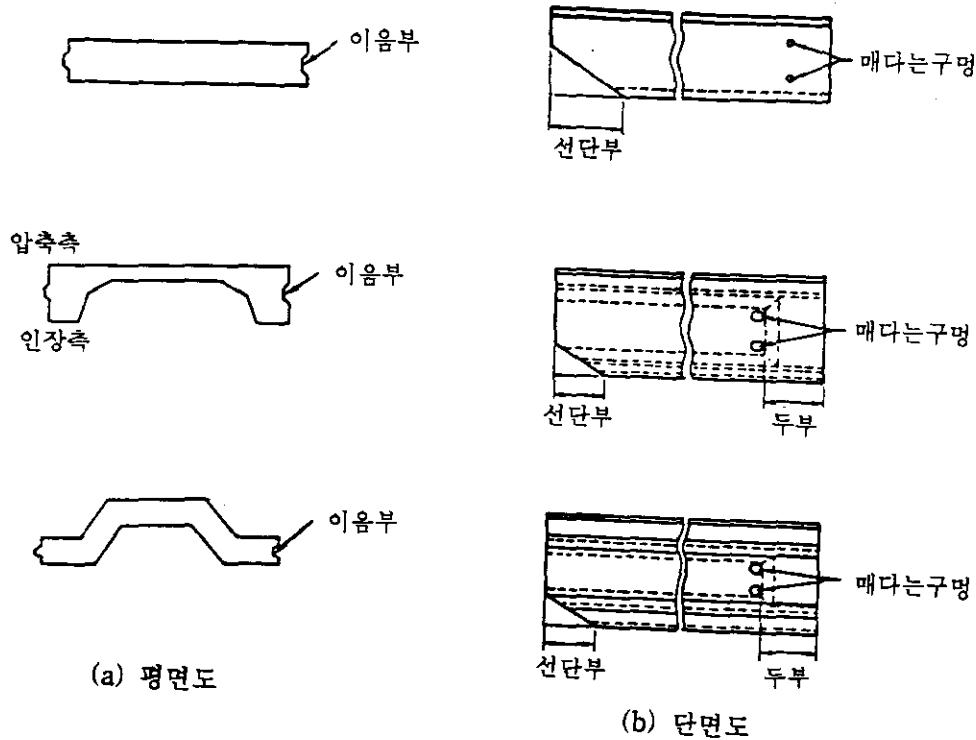


그림 4.5 콘크리트 널말뚝의 일례

6) 트렌치 굴착 흙막이 지보공

트렌치 굴착공사에서 흙막이조건이 비교적 양호한 지반의 경우, 단시간은 흙막이 지보공이 아니라도 굴착면이 자립하고 있다. 그러나, 이 자립상태는 불안정한 것으로 붕괴의 위험성은 높다. 트렌치 굴착공사에서는 흙막이 지보공을 설치하지 않고 트렌치내에 들어가 바닥고르거나 매설관의 접속작업중 굴착면이 붕괴되어 재해가 발생하고 있는 예가 있다. 이러한 재해를 방지하기 위해서는 트렌치 굴착과 같이 비교적 소규모 굴착공사라도 흙막이 지보공을 반드시 설치하여 작업하는 것이 필요하다.

또한, 트렌치 굴착용 흙막이 지보공으로서 작업자가 트렌치 내에 들어가지 않고 경량 강널말뚝 등을 사용하여, 굴착→흙막이→관부설→널말뚝 인발까지를 할 수 있는 몇 가지 방법이 개발되어 채용되고 있다.

4.4.1.2 작업안전

- 1) 부재의 강성이 적어서 변형이 커지는 경향이 있으므로 주변에 구조물이 있는 경우와 연약지반일 경우에는 변형과 주변 지반침하에 대한 검토가 필요하다. 또한 시공시 파일이 벌어짐으로 인해 차수효과가 떨어질 수 있으며, 강성의 증대를 위하여 박스 타입을 선정할 때에는 작업의 어려움을 고려하여야 한다.
- 2) 시가지에서 시공시 타입에 의한 시공은 소음, 진동에 의한 문제를 야기하게 되므로 최근에 시공되고 있는 무진동 유압장비에 의한 시공이 바람직하다.
- 3) 자갈 전석층 또는 암반 시트 파일공법 채택시에는 특수한 시공방법이 필요하므로 공기 및 공법에 대한 검토가 필요하다.
- 4) 주변에 주요 구조물이 위치할 경우 파일을 현장에 그대로 매설하는 경우는 문제가 있으나 파일을 인발할 경우에는 지반 내부 파일의 용적에 상응하는 공극이 형성되고 주변 지반의 변위가 발생하게 되므로 주의를 요한다.
- 5) 소요의 근입 깊이까지 관입 가능 여부에 대한 철저한 검토가 선행되어야 한다.

4.4.2 엄지말뚝과 토류판에 의한 흠막이벽

엄지말뚝과 토류판에 의한 흠막이벽은 H형강 또는 I형강 등의 강재 엄지말뚝을 계획된 흠막이벽의 선에 따라 1~2m 정도의 일정한 간격으로 박아넣어 두고, 굴착과 병행하여 두꺼운 판재, 角材, 강판 등의 토류판을 엄지말뚝과 엄지말뚝의 사이에 넣어 흠막이벽을 형성하는 것으로 비교적 양질의 흠막이에 사용된다.

4.4.2.1 공법의 특성

- 1) 시공속도가 빠르다. 다른 흠막이벽에 비해 경제적이다.
- 2) 엄지말뚝을 흠막이에 압입하는 공법이나 천공후에 엄지말뚝을 매입하는 방법을 사용하여 소음, 진동을 적게할 수 있다.
- 3) 엄지말뚝을 인발하여 회수철거가 가능하다.
- 4) 차수성이 없다. 지하수가 있는 경우에는 배수설비가 필요하다.

- 5) 토류판을 끼워넣을 때의 여굴, 지하수위의 저하, 벽의 강성이 낮아지는 것 등에 의해 지반침하 등의 배면흠막이의 변형을 일으키기 쉽다.
- 6) 다음의 지반에서는 시공이 어렵다.
 - ① 토류판이 굴착저면보다 깊게 들어가지 않기 때문에, 근입 부분의 연속성이 확보되지 않아 수동토압이 부족하여 히빙의 우려가 있는 지반.
 - ② 토류판을 끼워넣기 전에 엄지말뚝 사이에서 토사가 유입하고 지하수가 많은 모래 지반.
 - ③ 토류판을 끼워넣기 전에 엄지말뚝 사이에서 지반이 튀어나오는 연약한 점성토 지반.

4.4.2.2 작업안전

- 1) 소요 힘강도시험, 웅이 등 취약부 형성상태, 뒷채움 재료 및 다짐상태를 확인해야 한다(양질의 토사로 채운 후 다짐하거나 소일 시멘트로 채움).
- 2) 암반층의 뒷채움시 배면 지반과 밀착도를 고려하면서 토류판 사이로 토사가 유출되지 않도록 밀착시켜야 한다.
- 3) 일부 암구간에서는 감리자의 판단에 따라(암반의 절리방향 등 확인) 토류3)판을 생략할 수 있다.
- 4) 토류판을 끼우기 위한 굴착은 배면토사의 자립성을 고려하여 안전한 깊이 이내로 굴착하여야 한다.

4.4.3 주열식(柱列式) 지하연속벽에 의한 흠막이벽

주열식(柱列式) 지하연속벽에 의한 흠막이벽은 현장타설 콘크리트 말뚝, 몰탈 말뚝이나 기성품 말뚝 등을 일렬로 늘어놓아 흠막이벽으로 하는 것이다.

그 시공은,

- ① 오-거(auger)로 구멍을 판 후, 철근, H형강 등을 넣고 시멘트 밀크를 주입하여 굳혀서 일렬로 배치하여 흠막이벽으로 하는 것.(CIP, PIP 등)
- ② 굴착구멍에 기성 RC말뚝이나 강관말뚝을 넣어, 벤토나이트 몰탈 등으로 말뚝과 주변지반과의 틈을 충전하는 것.

- ③ 오-거(auger)로 주변지반을 섞으면서 천공을 하며 시멘트 밀크를 주입하고 H형강, 강널말뚝을 삽입하여 소일몰탈(soil-mortar)로 주열(柱列) 형성하는 것.(SCW공법 등)

등 여러 가지 종류의 시공방법이 있다.

4.4.3.1 공법의 특성

- 1) 저소음·저진동의 시공이 가능하다.
- 2) 강성이나 지지력이 크고, 배면토사의 이동이 적어 주변 지반에 주는 영향이 적다.
- 3) 수직 정밀도 등 시공관리 기술이 요구된다.
- 4) 지하연속벽과 비교하여 시공심도에 한계가 있다.
- 5) 차수성도 있으나 지하연속벽에 비하여 성능이 떨어진다.
- 6) 시공방법상 공벽의 안정을 위해 니수처리가 요구된다.

4.4.3.2 작업안전

1) CIP공법

- ① 천공시 수직도 유지대책 필요(수평거리, 가이드 월)하다.
- ② 잠석채움 후 그라우팅시 하부 슬라임이 완전히 배출될 수 있도록 오버플로를 확인한다.
- ③ 연결부가 중첩되지 않으므로 보조 그라우팅을 CIP 사이에 시공하여 연결효과를 증대시킬 수 있다.
- ④ 장비의 능력과 공법의 특성으로 최대 시공가능 심도는 15m 이내로 하는 것이 연직도와 품질관리 면에서 적당하고 일반적인 장비에 의한 시공가능 토층은 풍화암 정도이며 T-4 장비를 이용한 천공은 토층에 제약을 받지 않으나 말뚝과 말뚝의 연결성에 대한 문제가 있으므로 특별한 주의를 요한다.

2) SCW공법

- ① 전석층이 분포한 조건에서는 삼축오우거 사용이 어려우므로 일축오우거로 반

복 천공할 필요가 있다.

- ② H-파일 설치시 2열 가이드 빔을 설치하여 수직도를 유지하여야 한다. 시공 길이가 길어지면 수직도에 대한 시공관리를 철저히 해야하며 굴착공사중에 시공편차로 인한 벌어짐이 발생하였을 때는 배면에 JSP 등으로 보완하여야 한다. 만약 건물 내부로 편심되어 건축공간이 부족할 때에는 배면에 JSP 등으로 보완한 후 깎아낸다.
- ③ 이미 굴착이 진행되었을 때는 토류판을 기울거나 인접한 엄지말뚝(옹력 부담재)에 상이한 철판으로 붙이고 콘크리트로 채움하는 등의 보완대책이 요망된다.
- ④ 선단부에 슬라임이 잔류하지 않도록 교반 횟수와 시멘트 주입량을 증가시킨다.
- ⑤ 시공장비가 대형이고 높이는 약 35m에 이르므로 충분한 여유공간이 있어야 한다. 지반이 경사진 경우는 수직도의 유지가 어려우므로 지반을 수평으로 정지해야 한다. 최대 시공가능 심도는 25m 정도이다.

4.4.4 지하연속벽에 의한 흠막이벽

지하연속벽에 의한 흠막이벽은 굴착기계로 계획된 흠막이벽의 선을 따라 정해진 일정한 폭, 길이로 벤토나이트 등의 안정액을 굴착 트렌치내에 가득채워 굴착 트렌치 벽면의 붕괴나 용수를 방지하면서 굴착하여, 지상에서 조립한 철근망을 굴착 트렌치 내에 넣고 콘크리트를 타입하여 흠막이벽으로 하는 것이다.

4.4.4.1 공법의 특징

- 1) 저소음, 저진동의 시공이 가능하다.
- 2) 연약지반에서의 시공이 가능하다.
- 3) 주열식 지하연속벽에 의한 흠막이벽 보다 강성, 차수성이 크고 배면토의 이동이 적어 주변지반의 영향이 적다.
- 4) 기초말뚝 및 내진벽 등의 본체 구조물의 일부로서 이용하는 것이 가능하다.
- 5) 근입부분은 히빙방지에도 효과적이다.

- 6) 수직 정밀도 등의 시공관리기술이 요구된다.
- 7) 굴착시의 벽면안정을 확보하기 위해 니수(안정액)의 처리가 필요하다.

4.4.4.2 작업안전

- 1) 건물의 벽체로 사용될 경우 건물하중에 대한 충분한 지지가 되는 토층(주로 풍화암~경암)에 근입되어야 하며, 시공시 굴착 저면의 슬라임을 철저히 제거해야 한다.
- 2) 시공시 또는 시공 완료시 측압(토압+수압)에 대한 안전성 검토가 되어야 한다.
- 3) 패널 수직도 및 연결상태를 확인(1패널당 레미콘 연속타설)해야 하며, 설계단면(두께)의 유지가 철저히 되도록 해야한다.
- 4) 다이어프램 월은 폭 6m 내외의 비교적 규모가 큰 굴토가 수반되고 안정액에 의해 지반의 붕괴를 방지해야 한다. 따라서 주변에 기존 구조물이 있어서 지반의 변위를 최소화할 필요가 있는 경우에는 주변 지반이 느슨하거나 연약한 지반인지의 여부를 확인하고 필요시 슬러리 월굴착 전에 지반개량공사(CIP, SCW, jet grouting 등)를 실시하고 굴착 도중의 안정액에 의한 벽면 안정에 유의해야 한다. 엘리먼트의 조인트 및 연직도 관리에 유의해야 한다.
- 5) 다이어프램 월 시공장비는 대형이며, 또 슬러리처리를 위한 대형 플랜트가 필요하므로 충분한 작업공간이 있을 경우에 적용 가능하다. 보통 건물규모 1,500m² 이상이어야 한다.
- 6) 다이어프램 월 내에 매설되어야 할 각종 매설물(어스 앵커 천공을 위한 강관, 슬래브나 벽체 연결을 위한 매립철판 등)이 누락되지 않도록 유의하여 추후 다이어프램 월을 천공하는 일이 없도록 해야 한다.
- 7) 계획 굴착고에 도달하기 전에 경암이 분포하여 다이어프램 월을 계획고 이하 필요한 근입 깊이까지 근입시키는 것이 곤란한 경우에는 다이어프램 월을 암반 상단까지 시공하고 그 하부에 언더피닝공법을 시공하여 다이어프램 월을 지지시킬 수있다.
- 8) 다이어프램 월의 주철금 배근간격은 콘크리트 유동성 등을 고려할 때 150mm

이상이 바람직하다.

- 9) 역타공법에서 작업을 위하여 니뮤에 두는 개구부(opening)의 위치 및 규모를 결정할 때 고려사항은 투입장비의 크기, 연속벽의 지보문제, 슬래브의 규모와 지지하중, 토공사의 용이성, 지상작업과의 연결성 등이다.
- 10) 역타시 작업구간까지의 장비진입을 위해서 슬래브 상부에 별도의 복공을 설치(수직파일을 시공하는 방안과 복공보 설치, 복공판 설치, 수직파일의 브레이싱 설치 등)하고 장비하중을 고려한 슬래브를 시공하는 방안이 있다.
- 11) 굴착도중에 슬러리 월을 양질의 상태로 유지하여 월 조인트 등의 누수나 머드 포켓 등의 발생이 없도록 하며 시공시 굴착의 수직도를 관리하여 건물의 내부 면적을 확보한다.
- 12) 다이어프램 월 상단은 슬라임으로 강도가 약한 부분은 깨내고 다시 콘크리트를 타설하여야 하며, 조기에 완료하여 외부 가이드 월의 변위 등으로 인한 주변의 지반침하나 균열이 없도록 한다.
- 13) 다이어프램 월을 스트러트로 보강할 때는 띠장과 다이어프램 월간의 메움을 철저히 하고 띠장을 스티프너로 보강한다.

4.4.5 니수(泥水) 고결에 의한 흙막이벽

니수 고결에 의한 흙막이벽은 지하연속벽과 마찬가지로 벤토나이트 등의 안정액을 이용하여 굴착한 트렌치 내에 H형강이나 강널말뚝, 프리캐스트(P.C.) 패널 등을 삽입하고, 그 후 안정액속에 고결제를 혼합하여 안정액을 고결시켜 흙막이벽을 형성하는 것이다. 안정액의 고결방법에는 교반방식, 치환방식, 자경성(自硬性)방식 등이 있으며, 시공조건에 맞는 방식이 채용된다.

이 흙막이벽 시공의 큰 특징으로서는 지하연속벽에 의한 흙막이벽의 시공에서는 불필요하게 된 안정액의 처리가 문제가 되는데, 이 공법은 안정액을 고결시키므로써 적극적으로 흙막이벽의 일부로서 사용할 수 있는 것이다.

4.5 개착식 흙막이 지보공의 종류 및 작업안전

일반적으로 흙막이벽을 지지하는 역할을 하는 것을 지보공이라고 하며, 흙막이벽을 내부에서 지지하는 지보공부재로서는 띠장, 버팀보, 중간 지지주(centerpile), 사보강재 등이 있으며, 이들을 조합하여 지보공을 구성한다. 띠장, 버팀보 등은 일반적으로 강재가 사용되며, 소규모의 트렌치 굴착공법의 경우에는 목재의 것이, 또한 빌딩건설공사의 지하에서의 작업공간 확보 등을 위해 큰 스팬의 띠장이나 버팀보가 요구되는 경우에는 철근 콘크리트제가 사용되는 경우도 있다.

또한, 흙막이벽의 배면에 앵커(anchor)를 마련하고, 그 인발 저항을 이용하여 토압에 저항시켜, 흙막이벽을 지지하는 앵커 방식도 있다.

여기에서는 이들 흙막이벽을 지지하기 위한 각부재에 관하여 앞부분에서 기술한 버팀보방식, 뒷부분에서 기술한 앵커방식으로 나누어 나타냈으며, 굴착공법의 차이에 의해 지보공의 배치도 다르다.

또한, 양호한 흙막이의 경우, 적절한 근입 깊이를 확보하는 것에 의해, 지보공을 사용하지 않고, 토압에 견딜 수 있는 자립식 흙막이벽도 있다.

4.5.1 버팀보 방식

버팀보 방식을 구성하는 부재는 띠장, 버팀보, 중간지지주(center Pile), 사보강재 등이 있으며, 이들 부재의 역할과 특징을 다음에 나타낸다.

또한, 굴착공법에 따라 버팀보를 경사지게 배치하는 경우도 있는데, 일반적으로는 버팀보를 수평으로 배치하여 토압 등을 수평으로 받는다. 이 배치를 수평 버팀보 방식(공법)이라고 부르고 있다.

(1) 띠장

흙막이벽에 작용하는 토압, 수압 등을 버팀보 등에 균등하게 전달하기 위한 부재로 수직방향으로 일정한 간격을 두고 설치되는데, 그 배치는 주로 흙막이벽의 강도와 목적으로 하는 구조물의 건설 등의 공사에 지장이 없도록 검토되어 결정되고 있다.

띠장은 버팀보를 지점으로하여 흙막이벽을 지지하며, 주로 토압 등에 의한 힘을

받는 부재가 된다.

띠장을 설치할 때에 주의해야 하는 것은 흠막이벽과의 사이에 틈이 없도록 밀착시키는 것이다. 이것은 띠장에 가능한 한 균등한 토압이 걸리도록 하고 흠막이벽의 변형이 커지는 것을 방지하기 위한 것이다. 따라서, 흠막이벽에 요철이 있어서 밀착하지 않은 경우에는 목재 켄기를 박거나 몰탈로 채우거나 하여 틈이 없도록 해두는 것이 중요하다. 또한 버팀보와 접촉되는 부위는 국부적으로 높은 지압력을 받기 때문에 플랜지 또는 웨브의 변형이 발생되기 쉽다. 그러므로 이부위에는 몰탈이나 각목 등으로 보강하는 것이 바람직하다.

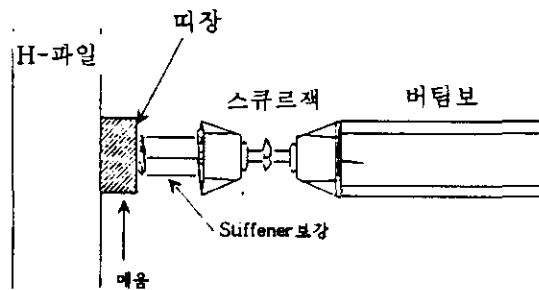


그림 4.6 흠막이벽과 띠장과의 접합부 처리

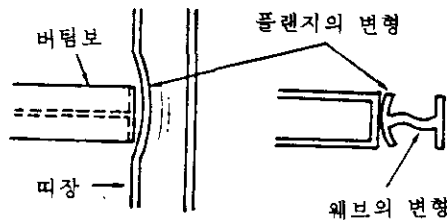


그림 4.7 버팀보 연결부 띠장의 변형

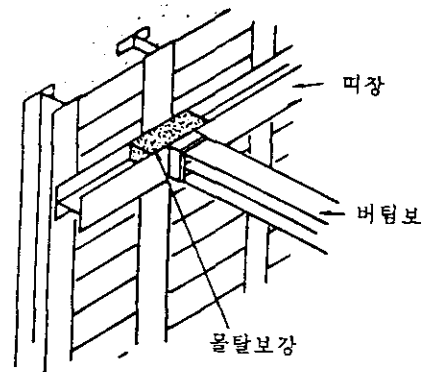


그림 4.8 버팀보 연결부 띠장의 보강

띠장에 사용하는 재료는 H형강이 많이 사용되며, I형강이 사용되는 경우도 있다. 또한, 규모가 작은 굴착에서의 띠장은 목재가 사용되기도 한다. 이들 재료의 크기나 강도는 토압의 크기, 띠장의 설치 간격, 버팀보의 설치간격, 작업성 등을 고려하여 결정된다.

(2) 버팀보

버팀보는 흠막이벽에 걸리는 토압 등을 띠장을 이용하여 받는 부재로 일반적으로 압축을 받는 부재이다.

☐ 버팀보의 설치시 주의사항

- 1) 버팀보와 띠장의 접합부가 느슨해지지 않도록 할 것.
- 2) 버팀보 위에 원칙적으로 짐을 신지말 것. (부득이 짐을 신는 경우에는 미리 이 하중까지 고려하여 계산한 후 결정한다.)
- 3) 버팀보에는 가능한 한 이음을 마련하지 말 것.(부득이 이음을 마련할 때에는 미리 적당한 보강을 하여 충분한 강도를 확보한 후에 하고, 이음부분은 어긋나게 배치한다.)
- 4) 버팀보 설치위치는 구조물의 슬래브위치를 감안하여 중복되지 않도록 해야 한다.
- 5) 용접 또는 연결부의 볼트 이음상태를 확인해야 한다.
- 6) 경사버팀보 띠장과 소요 볼트 개수를 확인해야 한다.
- 7) 배치된 스트러트 부재의 좌굴검토는 전체 구조가 좌굴에 대하여 안정되도록 브레이싱을 배치해야 한다.
- 8) 이음시 직선이 되게 한다.
- 9) 띠장 스티프너 보강 여부를 확인해야 한다.
- 10) 스크루 잭을 사용할 때 용량과 잭킹력이 적합한지 확인해야 한다.
- 11) 버팀보 설치 전에 소단 유지상태를 확인해야 한다.
- 12) 프리스트레스에 의하여 변위를 감소시키고자 하는 경우나 스트러트가 대단히 길어서 온도변화에 의한 신축이 클 경우 등은 유압잭을 사용하여 프리스트레스량을 정량화하고 버팀보, 중간말뚝 및 브레이싱 볼트 연결로 트러스구조화시킨다(버팀보의 처짐이나 좌굴변형 방지).
- 13) 스트러트에 작용하는 수직분력은 E/A의 경우보다는 다소 작지만 배면토와 흠막이 벽의 접촉면에 연직방향의 마찰력이 작용하므로 E/A의 경우에 준하여 검토해야 할 것이다.

- 14) 굴착진행에 따라 즉시 거치되어야 하며 수평오차가 $\pm 3\text{cm}$ 이내에 있어야 한다.
 - 15) 버팀보는 수직하중을 받는 부재가 아니므로 공사중에 장비나 자재 등을 적재해서는 안된다.
 - 16) 높은 곳에 설치되는 스트러트는 반드시 반대편 흠막이 벽까지 연장되어야 하며, 중간파일 등에서 단절되어서는 안된다. 또한 이러한 경우에는 편토압에 대한 검토가 수행되어야 한다.
 - 17) 기존 굴토공사 지역에 인접하여 굴토공사를 실시하는 경우 인접지역의 지보공 해체가 시기적으로 빠르고 되메우기가 불량할 경우에는 붕괴사고가 발생할 수 있으므로 주의하여야 한다.
 - 18) 아일랜드공법 적용시 스트러트 위치는 가급적 슬래브 직선단 건물 기둥에 지지하도록 한다. 이때 기둥의 간격이 통상적인 스트러트 간격보다 넓기 때문에 기둥의 전단에 대하여 반드시 검토하여야 한다. 슬래브에 지지하는 경우에는 외벽과 띠장, 슬래브의 상호간섭으로 시공이 매우 어려워진다.
 - 19) 건물이 철골로 설계된 경우에는 스트러트와 철골 기둥과의 간섭이 되지 않도록 주의해야 한다.
 - 20) 코너에 설치하는 경사 스트러트는 띠장에 수직으로 설치되는 스트러트에 비하여 강성이 적고 지반변위 억제효과도 작다. 그러므로 토압이 큰 연약지반에서는 최소한 코너부에 1~2개 정도가 사용되어야 하며, 지반조건이 좋은 경우에도 너무 길어지지 않도록 해야 한다.
 - 21) 스트러트의 개별 부재 좌굴검토는 전체 구조가 좌굴에 대하여 안정하도록 브레이싱을 배치하여야 한다. 스트러트에 직각방향으로 설치되는 좌굴방지용 브레이싱은 흠막이 벽 끝까지 연장되어야 한다.
- 버팀보에 사용하는 재료는 띠장의 경우와 마찬가지로 H형강이 많지만, I형강 등도 사용된다. 또한, 소규모 굴착의 경우에는 목재, 파이프서포트 등이 사용되는데 경우도 있다. 그 밖에 토압 등이 큰 경우에는 철근 콘크리트의 사용이나 연약지반의 경우에는 구조물 축조용 기반이 되는 버팀 콘크리트를 타입하고, 경사지보공과 맞추어, 이것을 버팀으로 사용하는 경우도 있다.

(3) 중간파일 (Center Pile)

센터파일에 사용되는 재료는 H형강, I형강 등이다.

굴착면적이 넓어 버팀보의 길이가 길어지면 버팀보의 좌굴내력이 저하한다. 센터파일은 버팀보의 좌굴을 방지하기 위하여 마련하는 것으로, 동시에 버팀보의 자중에 의한 아래쪽으로 휘어지는 것을 방지하는 역할도 한다.

예를 들면, 지하철공사의 역사부분, 지하 대주차장, 큰 빌딩의 기초굴착 등에서 센터파일을 2열, 3열로 많이 세워 놓는다. 센터파일은 굴착작업에 들어가기 전에 소정의 깊이(인발력, 압입력에 충분한 근입 깊이가 필요)까지 지반에 타입해 두고, 굴착의 진행에 따라 버팀보가 가설될 때에 이 센터파일에 브라켓을 설치하여 버팀보를 받는다. 이 경우 버팀보는 좌굴에 의해 윗쪽으로 떠오르는 것도 고려하여야 하므로 볼트 등으로 떠오르는 것을 방지하는 조치를 한다.

- 1) 강재의 자중과 공사시 적재하중에 대하여 지지력이 충분하여야 하며, 좌굴에 대한 검토가 고려되어야 한다. 또한 작업공간이 확보되도록 5m 이상의 공간을 두어야 한다.
- 2) 굴착 후 스트러트가 설치되지 않은 상태일 때 중간 파일은 횡방향으로 지지되지 않은 길이가 깊어지므로 좌굴에 대한 검토가 필요하다.
- 3) 부재의 강도는 물론 강재와 그라우팅재와의 부착력, 지반의 지지력 및 침하가 필수적이며 외적 안정과 내적 안정을 모두 만족하도록 해야 한다.
- 4) 중간 파일러커스의 수평 및 수직 브레이싱을 적당한 간격으로 설치해야 한다.

(4) 사보강재

사보강재는 흙막이벽 코너부분의 변형방지나 버팀보의 수평간격을 넓게하거나 또한 띠장 보강의 목적으로 설치되는 부재이다. 사보강재의 설치는 버팀보, 띠장에 경사지게 접합하기 때문에 미끄러짐이 일어나기 쉬우므로, 견고하게 접속하여 충분히 힘을 전달할 수 있도록 한다. 또한, 사보강재를 버팀보에 설치하는 경우에는 반드시 좌우대칭으로 설치하여 버팀보에 편심하중에 의한 휨 응력이 걸리지 않도록

한다.

사용재료는 일반적으로 띠장, 버팀보가 강재인 경우에는 강재가, 목재인 경우에는 목재가 사용된다.

또한 사보강재를 설치해도 불안한 경우에는 버팀보와 버팀보의 사이에 사재나 이음재를 넣어 지보공의 안전성을 증가시키는 것도 필요하다.

(5) 편토압을 받는 부위

굴착현장 주변에서의 말뚝 타입, 인접지의 굴착공사, 흙막이공 배면에서의 약액 주입, 양측배면에서의 지하수위 차이, 비대칭적인 굴착, 경사진 지반 등의 경우 편토압이 발생하며 이에 대한 검토가 필요하다. 오히려 좌측 지반고가 높은 지역에는 록 앵커 처리가 좋다.

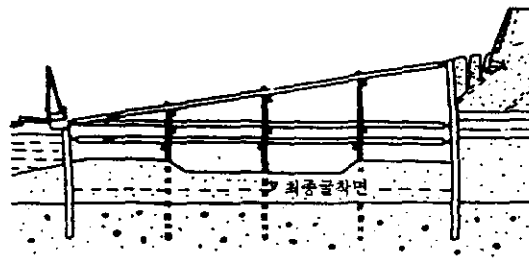


그림 4.9 편토압을 받는 부위의 변형

4.5.2 앵커(anchor) 방식

앵커 방식은 흙막이벽의 배면에 앵커의 역할을 하는 지지판(지지벽, 지지말뚝) 또는 앵커 정착제를 설치하고, 이것을 잡아당기는 인장재를 흙막이벽과 결속 일체화시켜 흙막이벽을 당기도록 하므로써 지지하는 것이다.

이 방식은 굴착심도, 흙막이상태 등으로부터 흙막이벽의 자립이 무리한 경우 또는 굴착면내에 버팀보 등을 배치하고 싶지 않은 경우 등에 채용되는 방식이다.

본서에서는 이 방식을 어스앵커(그룹앵커)에 의한 것과 타이로드(Tie Rod, Tie Back)에 의한 것으로 구분하여 이하에 나타내기로 한다.

4.5.2.1 어스앵커공법

어스앵커는 천공기를 이용하여 흙막이벽의 내부에서 배면에 향하여 소정의 길이로 천공을 하고, 그 속에 PC 강선 또는 PC 강봉 등의 인장재를 삽입하여, 그 주위를 조강성(早强性)의 몰탈 등의 주입재로 정착시키고, 이 주입재가 경화한 후에 인장재를 긴장하여 띠장에 정착시키는 것이다.

토압이 흙막이벽을 누르면 그 힘은 띠장을 거쳐 어스 앵커를 인발하려고 하는 힘으로써 전달된다. 어스앵커는 강선 또는 강봉과 몰탈과 주변 지반과의 경계면에 작용하는 마찰에 의해 이 인발하려고 하는 힘에 저항하게 된다. (또한, 토압은 흙막이벽 근입부분의 흙막이 저항에 의해서도 일부 부담하고 있다.)

어스앵커를 설치하는데 있어서는 흙막이조건, 시공조건, 지하매설물의 상황, 흙막이벽의 응력·변위, 흙막이 구조체 전체의 안정 등을 고려하여 앵커 길이, 앵커 간격, 앵커 각도, 앵커 정착제 위치 등이 결정되어 있으므로 신중한 시공관리를 해야 한다.

☐ 각 공정별 작업안전

(1) 조립상태 확인

소용길이, 스페이서강도 및 수평간격, 팩커설치상태, 자유장 피복재, 주입관(2개), 스트랜드강도

(2) 천 공

천공각도, 지반에 적합한 천공장비 사용여부, 천공시 지하수 배출 정도, 천공길이 등 확인 (토사층은 공기압축식 사용 불가)

(3) 어스 앵커

정착부, 자유장, 정착구까지 가급적 직선으로 유지해야 한다. 특히 띠장 부근에서 꺾이지 않도록 띠장의 각도를 어스 앵커의 강선과 직각에 가깝도록 한다.

(4) 주 입

주입재의 강도, 재료구성 상태, 주입량, 오버플로 여부, 주입시 팩커 바깥으로 주입재가 누출되지 않아야 하며, 적절한 주입압력을 유지해야 한다.

(5) 정 착

사용 콘크리트의 강도, 흠상태, 체결시 파손여부, 소요 설계력에 따른 인장력 확인, 유압기성능 확인, 늘음량 측정

- ① 유기질 실트나 N값이 15 이하의 점성토에서는 앵커력이 작고 장기간의 크리프현상이 일어날 수 있으므로 바람직하지 않다.
- ② 앵커의 최소 심도(overburden depth)는 4.5m 이상이다.
- ③ 앵커가 후면의 기존 건물 하부를 통과할 경우에 앵커의 정착부는 최소한 기초면 하부 3m 이하의 심도를 통과해야 한다. 또, 앵커 정착부는 가급적 인접 앵커의 정착부와 떨어지도록 배치해야 한다.

(6) 인 장

E/A 인장은 동시 인장을 실시하여 잭킹력의 손실을 줄여야 하며 인장기는 설계 잭킹력을 충분히 가할 수 있는 규격품을 사용해야 한다. 또한 설계시 잭킹력의 손실량을 충분히 고려하여야 한다.

(7) 자유장

자유장은 지반내 예상파괴선을 넣어 정착장까지 연결되는데 소일 앵커의 경우 최소 자유장은 4.5~7.5m 범위이다. 록 앵커의 경우 4.5m가 바람직하다. 점성토 지반이나 느슨한 사질토 지반에서 자유장 부분의 체적손실로 지표면의 침하가 장기간에 걸쳐 발생할 수 있다.

이런 경우는 시멘트-변토나이트 혼합물로 자유장 부분을 그라우트하는 것이 좋다. 강선은 분리 시트로 둘러싸서 그라우트재와 철저히 분리시킨다. 어스 앵커의 자유장 결정시 외적 안정 및 내적 안정 모두 만족하도록 하여야 한다.

(8) 정착장

최소 정착장은 3.0m로 하며, 진행성 파괴 문제 때문에 정착장은 10.0m 이하로 하고 자유장을 길게 하는 것이 바람직하다. E/A의 간격을 조절하여 10.0m 이내로 하거나 불가피할 경우에는 시공과정에서 앵커인발시험을 반드시 실시하여 앵커의 내력에 대한 확인이 필요하다.

- ① E/A의 정착장 계산은 지표에서 E/A 정착부까지의 일정 토피가 확보되어야 하고 정착부위의 토층은 마찰력이 발생하는 모래 또는 암반층이어야 하며, 정착부 그라우팅시 압력 그라우팅하는 것으로 가정하고 있으며, 시공조건이 이와 달라질 때는 정착장에 대한 재검토가 있어야 한다.
- ② 앵커 지지층으로서의 특성상 소일에서는 록에서 보다 앵커와 지반과의 상대적 변위 등을 고려할 때 다소 길게 설계함이 바람직하다.

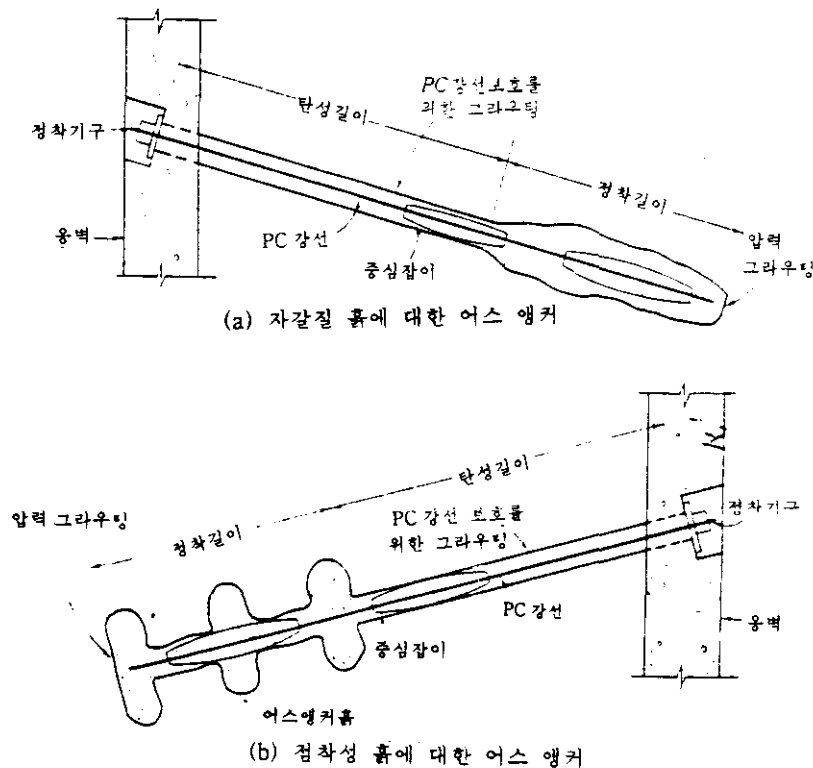


그림 4.10 어스앵커의 자유장 및 정착장

(9) 시 험

- ① 인발시험 - 시험 앵커를 설치하여 인발함으로써 마찰저항 정도를 확인한다.
- ② 인장시험 - 실제 앵커에 대하여 인장단계별 늘임량을 확인한다.
- ③ 확인시험 - 모든 앵커에 대하여 최종 늘임량을 측정한다.

(10) 거동관찰

로드 셀 및 스트레인 게이지로 전반적인 거동상태를 확인한다.

(11) 기 타

- ① 연약한 지반굴착시 앵커설치 전 중앙부 과도굴착을 금지해야 한다.
- ② 인장시 배면 도로에 피해여부 및 주변 앵커상태를 관찰한다.
- ③ 인장시 띠장의 휨 발생여부를 관찰한다(스티프너 보강 필수).
- ④ 앵커 홀에서 지하수가 과다하게 배출되지 않도록 차수 조치한다.
- ⑤ 유기질 실트나 N치 15이하의 점성토에서는 앵커력이 작고 장기간의 크리프 현상이 일어날 수 있으므로 E/A시공은 바람직하지 않다.
- ⑥ N치 10 이하의 사질토, 특히 매립토의 경우는 매립작업이 충별 다짐등 철저한 품질관리하에서 수행되지 않는 한 앵커의 지지층으로 보기에 다소 부적합하다.
- ⑦ 점성토지반이나 느슨한 사질토지반에서는 기간의 경과에 따라 E/A의 장력이 감소되므로 재인장할 수 있도록 잭을 설치할 수 있는 길이를 남기고 절단해야 한다.

(12) 어스 앵커의 수직분력에 대한 검토

하향경사로 시공하는 E/A는 수직분력으로 하향의 힘이 작용하며 벽체의 하단이 이러한 하중을 안전하게 지지할 수 있도록 해야 한다.

(13) 띠 장(Wale)

- ① 띠장과 임시말뚝 사이에 간격이 있을 경우 하중의 균등한 분배를 위해 간격

을 매워서 전면 웰딩해야 한다(주열식 말뚝과 띠장과의 틈은 시멘트 모르타르로 채운다).

- ② 전구간에 걸쳐 연속체로 강결되어야 한다.
- ③ E/A 설치시 띠장은 2중 띠장으로 하고 고임빼기로 E/A 천공각도를 맞추는 것을 원칙으로 한다. 따라서 많은 건축현장에서 띠장을 E/A 천공각도에 맞추어 경사지게 설치하며, 이를 앵글로 받쳐주도록 하고 있다. 이 경우 E/A의 인발력에 의한 수직력으로 띠장각도가 변할 수 있다.
- ④ 코너 스트러트를 설치하는 경우 토압의 합력 P에서 마찰력 τ 의 합력 $\sum \tau$ 를 감한 값만큼의 압축력이 띠장에 발생하게 됨으로써 띠장은 띠장에 직각으로 작용하는 토압에 의한 휨응력을 추가로 받게 된다.
- ⑤ 일반적으로 흙막이구조물에서의 실제 토압은 계산상의 값(2차원 해석)보다 작은 3차원의 값이다. 따라서 소규모의 굴토공사에서는 이에 대한 검토를 실시하지 않고 있는 실정이다. 그러나 굴토면적 및 심도가 큰 경우에는 띠장의 압축응력 및 휨응력에 대한 검토가 반드시 실시되어야 할 것이다.
- ⑥ 평면형상이 복잡한 현장에서의 보강방법
 - ㉠ 동바리공의 기본은 사용재료가 늘어나더라도 하중의 전달경로가 쉽게 파악될 수 있는 단순한 구조로 한다.
 - ㉡ 단순한 구조한 모실 부분 보강 등을 제외하고는 부재를 직각 또는 직선으로 배치하고 전체적으로 또는 부분적으로 대칭형을 말한다.
 - ㉢ 단순하게 할 수 없는 경우에는 하중의 전달경로를 충분히 확인하고 필요에 따라 보강한다.
 - ㉣ 들어간 모서리에서는 두 개의 띠장의 연장선상에 버팀보를 배치하고, 띠장의 교차부를 금속으로 고정한다.
 - ㉤ 나온 모서리에서는 띠장의 교차부를 금속으로 고정함과 동시에 비스듬한 모양의 사재를 배치한다.
 - ㉥ 비직각의 접합부는 전용 접합재를 사용한다.
- ⑦ 외부 거푸집 없이 건물의 외벽을 흙막이 벽에 밀착시켜 시공하는 경우(합벽 시공의 경우) 띠장과 건축 외벽과의 간섭관계를 사전 검토해야 한다. 대체로

슬래브 상단보다 높은 곳에 위치시키면 벽체와 슬래브타설 후 띠장과 스트러트(또는 어스 앵커)를 해체하기에 용이하다.

(14) 강재 볼트구멍 천공

볼트구멍의 천공은 드릴링 머신을 사용하고 산소용접기를 사용하지 않도록 한다.

(15) 레이커(Raker)

- ① 레이커설치 정 소단유지
- ② 키퍼 블록 수평지지력 확보 확인(부족시 지지말뚝설치 필요)
- ③ 띠장과의 연결상태 확인
- ④ 레이커 간 브레이싱연결 필요
- ⑤ 잭은 유압식을 사용하는 것이 프리스트레스관리에 좋다.
- ⑥ 스트레인 게이지를 부착하여 변형 검토

(16) 지보공 철거와 해체

무리한 지보공의 해체(2단 동시해체 등)는 과도한 변형과 응력을 유발할 수 있다. 지반이 연약하고 건물의 니뮤간 층고가 클 때는 지보공 철거와 해체과정에 대한 해석이 필요하다.

- ① 벽체 및 지반강성에 따른 최소 지간(3~5m)을 확보한다.
- ② 합벽시공시 하부 지하층 옹벽의 강도를 확인한다.
- ③ 과다응력 발생이 예상될 경우 지하층 옹벽 끊어치기를 실시한다(E/A의 경우 해체 후 별도의 띠장 설치 후 재인장).
- ④ 해체시 상부의 지지구조물과 지하층 건축구조물의 응력변화상태를 확인하고 다음 해체계획을 검토한다.
- ⑤ 해체 전후 경사계 등을 통해 변위발생상태를 확인한다.
- ⑥ 배면 지반 및 지중매설물의 피해여부를 확인한다.

4.5.2.2 타이로드(Tie Rod)공법

타이로드는 흙막이벽을 타입하고 흙막이벽의 전면(前面)에 띠장, 배면에 강봉 또는 강선 등의 타이로드를 설치한다(와이어로프로 설치하는 경우도 있다). 타이로드의 지지앵커는 지중에 매입하는 경우와 노출시키는 경우가 있는데 양자를 비교하면 매입하는 것이 작업의 방해가 되지 않는 유리한 면이 있는 대신에 시공에 손이 많이 가는 불리한 면이 있다.

지지 앵커로서는 말뚝 또는 콘크리트 지지벽 등이 있다.

타이로드의 기능은 어스앵커와 마찬가지로 타이로드를 인장하는 것에 의해 흙막이벽에 걸리는 토압 등을 이 인장력과 흙막이벽 근입부분 흙막이의 저항으로 부담하여 흙막이벽의 안정이 확보된다.

타이로드는 자립식 흙막이벽에 의한 것 보다도 약간 지반조건이 나쁜 경우나 근입 깊이가 큰 경우에 채용되는데 흙막이벽 외주부에 지지 앵커를 설치하는 것 만큼의 여유 부지가 필요하게 된다.

타이로드를 설치하는데 있어서는 어스앵커와 마찬가지로 여러 가지 조건을 고려하여 타이로드 길이, 말뚝길이가 정해져 있으므로 신중한 시공관리가 요구된다.

4.5.2.3 소일 네일링(Soil Nailing)공법

소일 네일링의 기본 개념은 기존 지반을 역타방식으로 굴착해가면서 사면이나 굴착지반에 'nail'이라 불리는 그라우팅 강봉을 일정 간격으로 설치하여 지반을 효과적으로 보강하는 것이다.

소일 네일링이 가장 효과적으로 적용되는 지반조건은 연직이나 가파르게 지반을 약 1~2m 정도의 깊이로 굴착한 상태에서 최소한 1~2일간은 자립성을 유지할 수 있는 지반으로 자연상태의 크리프 변형 발생가능성이 낮은 실트질이나 소성점토 약간의 실제 점착력이나 자연함수비에 의한 겔보기 점착력이 있는 자연상태에서 굳어 지거나 다져진 모래와 자갈질 지반, 풍화암 등의 지반에 적합하다.

소일 네일링공법은 다음과 같은 지반조건에서 적용의 한계성이 있다.

- 지하수 문제가 있는 지반
- 점성이 없는 모래와 자갈질 지반

- 일반시설물 및 지하구조물이나 지중매설물이 집중되어 있는 곳
- 잠재적으로 동결의 가능성이 있는 지층 등

소일 네일링 벽체의 기본요소로는 ㉠ 소일 네일링, ㉡ 배수시설, ㉢ 전면벽체 등이 있다.

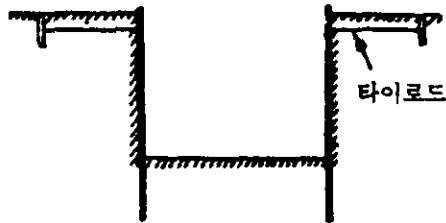


그림 4.11 타이로드 공법

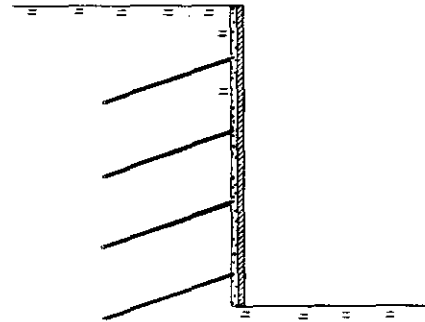


그림 4.12 소일네일링공법

4.5.3 공통적인 공정별 작업안전

(1) 줄파기

굴착전 흙막이 벽체 매설물 위치를 파악하기 위해 반드시 인력으로 1.5m 이상 또는 지하매설물 심도 이상을 굴착하여 확인할 필요가 있다.

(2) 엄지말뚝

- ① 이음은 풀 스트레스 웰딩으로 소정 면적을 확보할 수 있어야 한다.
- ② 전면 플랜지에 일정 간격으로 심도를 표시하여 근입 정도를 지표면에서 확인할 수 있어야 한다.
- ③ 간격, 배열상태 및 수직도가 1/200 이하로 되는가 확인하여야 한다.
- ④ 설치시 인접 지반 시설물에 피해가 발생하지 않는지 확인해야 한다.
- ⑤ 천공 후 엄지말뚝을 삽입하는 경우는 엄지말뚝 주변에 시멘트 모르타르나 콘크리트로 충전시킨다.

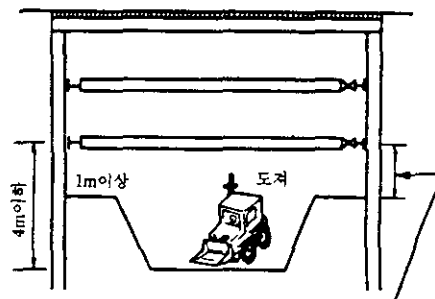
- ⑥ 되메우기 후 말뚝을 철거할 경우 말뚝을 뺀 후 공극은 조속히 양질의 토사로 되메우기를 실시하여 함몰과 이로 인한 주변의 침하를 방지하여야 한다.

(3) 굴 토

- ① 기존 굴토공사현장에 인접하여 굴토공사를 실시하는 경우 인접 지역의 지보 공 해체가 시기적으로 빠르고 되메우기가 불량하다면 변형에 따른 붕괴가 발생할 수 있다.
- ② 굴착면에서 보일링, 히빙 등이 발생하지 않는지 확인해야 한다.
- ③ 단계별로 정해진 심도 이상으로 굴착하지 않아야 한다. 과도한 변형과 응력은 과굴착으로 인한 것이다. 사례에 의하면 과굴착으로 인하여 정상적인 수평변위의 3배 이상 큰 수평변위가 발생할 수 있다고 한다. 따라서 과굴착은 피해야 하며 불가피할 경우 흙막이 벽의 변위와 지반침하에 대한 검토가 필요하다.

④ 소단

굴착 후 지지구조물이 설치되기 전 흙막이 벽체의 강성과 전면에 형성된 소단에 의해 안정성이 좌우된다. 특히 굴착지반이 느슨하거나 연약한 경우 소단의 역할은 상당히 중요한데 일반적인 토사층에서는 1:1 이상을 유지하는 것이 바람직하다. 굴토면적이 넓은 경우에는 소단을 설치할 수 있으나 이 경우에도 소단 상단의 폭은 과굴착 심도의 3배 이상이어야 한다.



- * 버팀보 설치 공간을 확보하고 즉시 버팀보 설치
- * 도류관 끼움은 부족함이 없이 완전하게 한다.

그림 4.13 소단의 설치

⑤ 토류시설 없이 굴토면을 장기간 방치해서는 안된다. 건축계획의 변경이나 배면지반 보강공사 등으로 장기간 방치해야 할 필요가 있을 때는 최하단 지보공 이하 일정 부분을 다시 되메우거나 별도의 지보공을 설치해야 한다.

⑥ 연약 점토지반의 굴착

굴착 저면의 융기, 흙막이 벽의 변형 및 주변 지반침하, 흙막이 벽의 붕괴를 일으킬 수 있는 허빙에 검토가 필요하다.

⑦ 사질지반의 굴착침투류로 인한 보일링 및 파이프현상에 대한 검토가 필요하다.

⑧ 피압대수층에서의 굴착

굴착면 하부에 점토층이 있어 그 하부에 대수층(모래층 또는 자갈층)이 있을 때에는 대수층 내의 수압으로 인한 지반의 융기에 대한 검토가 필요하다.

$$F = \frac{D \cdot r}{r_w \cdot H} = \frac{D \cdot r_t}{P}$$

여기서, F : 안전율(1.0~1.2 이상되어야 함)

r_t : 점토의 단위체적중량(t/m³)

r_w : 물의 단위체적중량(t/m³)

H : 피압수층 상면에서의 수두(t/m²)

P : 피압수층 상면에서의 수압(t/m²)

D : 굴착부 점토의 두께(m)

(4) 되메우기

지하층 외벽과 흙막이 벽체 사이에 공간을 되메울 경우 입도가 좋은 양질의 토사로 층다짐을 실시하여 침하요인이 배제되어야 한다. 도심지 굴착공사의 경우 되메우기 공간이 부족하여 지표면에서 일반투기(dumping) 형태로 되메우기할 때는 장기적으로 침하가 발생할 수 있다. 되메우기를 시행할 간격이 1m 이내일 때는 다짐이 곤란하므로 사질토를 사용하고 물다짐을 해야 한다. 소일 시멘트를 사용하여도 된다.

(5) 배면 지반보강공법

- ① 배면 지반보강공법(JSP, LW grouting)은 지반에 용기를 발생시키거나 기존 구조물의 지하층에 압력을 전달시킬 수 있으므로 주의를 요한다.
- ② LW 그라우팅시 토질조건별로 주입량 및 주입속도를 조절할 수 있어야 한다.
- ③ 제트 그라우팅 시공시에는 인양속도, 주입압, 주입량 및 주입속도를 중점 관리해야 하며, 시공장비도 이러한 시공상태를 측정하고 조정할 수 있는지 확인한다. 초고압분사 제트 그라우팅의 경우는 주입압력이 커야 하며 로드는 3중관식이어야 한다.

(6) 계측자료

계측이란 육안으로 관찰할 수 없는 거동상태를 관찰하기 위해 기기를 설치하여 제반 거동을 정량화하는 것으로써 측정치는 실제 거동을 대표할 수 있어야 한다. 따라서 설치와 공사도중 측정치 오차가 없어야 한다. 계측기가 설치된 지점은 대표지점이므로 계측치 외에도 육안 관찰에 의한 보완과 기술적인 판단이 중요하며, 이에 관한 항목들은 다음과 같다.

- ① 주변 지반의 침하, 균열형태
- ② 흙막이 벽의 이상변형상태
- ③ 스트러트의 좌굴
- ④ 어스 앵커체의 파단이나 정착구에서의 미끄러짐 발생
- ⑤ 측량선에 의한 흙막이 벽의 변형 관찰
- ⑥ 수직축에 의한 변위측정
- ⑦ 히빙이나 파이핑현상 관찰 등

(7) 지반조사

전체 현의 일부지점에 대하여 시추조사 및 시험을 토해 굴착지반의 공학적 특성을 파악한 후 설계 및 공사가 진행된다. 그러나 인접 지역이지만 지반조건이 상당히 다를 수 있고, 현재 국내실정으로도 강도 높은 조사기법이 적용되지 않고 있는 상황에서 설계 자체가 불확실한 요인으로 내포된다. 점토지반의 경우 불교란시료, 암반

층에서는 코어를 채취하여 강도시험이 수행될 수 있는 시추방법이 채택되어야 한다.

(8) 주변 지반

설계 지층상태와 굴착시 확인된 지층상태를 비교하고, 지하수위의 변화를 측정해야 한다. 또한 인근 지반이나 구조물에 침하 및 균열이 발생되지 않도록 해야 하며, 배수방법이 효과적이고, 세굴 등 기타 유해한 영향이 없는지 확인해야 한다. 발파는 도심지공사를 고려하여 무진동 무소음계의 장약을 사용하여야 하고, 만약 발파할 경우 인접 건물과 지하매설물 등에 영향을 미치지 않도록 발파진동 속도 0.5cm/sec(주택가) 이하가 되도록 장약량 및 천공심도, 간격 등을 조정하여 시공해야 한다

(9) 암반에서의 발파

암반에서의 안정은 주로 암반내 절리면의 상태, 즉 절리면의 방향, 경사, 거칠기, 충전물의 종류, 충전물의 강도특성, 지하수상태, 절리면의 빈도 등에 의해 좌우되며, 특히 경사 45° 내외의 단층일 경우는 일반토사보다 큰 토압이 작용할 수 있으므로 굴착시에는 이들 불연속면을 면밀히 관찰하여 안정성 판단과 대책 수립을 해야 한다.

(10) 강성이 차이 나는 흙막이 벽체

- ① 지반조건에 따라 상하부에 벽체형식을 달리 적용할 수 있는데 상부 벽체가 강성일 경우 억제된 변위가 경계부를 굴착하면서 일시에 크게 발생할 수 있다. 특히 상부 벽체의 선단부에는 슬라이딩 잔류 등 취약부가 형성된 경우가 많아 하자요인이 내포된 상태이다.
- ② 자립식 흙막이는 다단계의 지보를 요하는 굴토와 다른 양상의 토압분포를 나타낸다.

(11) 기 타

- ① 배수 : 지하수 및 누수에 의한 굴착장 내의 용수를 즉시 배수해야 하며, 강우

시 즉시 배수가 가능하도록 준비되어야 한다.

- ② 토사운반 : 토사반출시 주변정리, 세차 및 노면청소를 실시하여 분진발생이 없도록 한다.
- ③ 복공판 : 복공판 설치부의 철구조에 유해한 변형이 발생되는지 점검하며, 장비의 작업으로 복공 및 가설체에 과도한 영향을 주지 않는지 확인해야 한다.

4.6 터널식 굴착공법의 종류 및 작업안전

4.6.1 개요

터널굴착은 원지반의 지보능력을 최대한 이용할 수 있도록 시공하여야 하며 특히 주변지반의 이완을 최소화하도록 하여야 한다.

따라서 시공전 지형 및 지질조사를 철저히 조사 분석하여 시공계획서를 작성하고 시공중에도 막장지질상태(암질, 전리, 지하수상태 등), 지반 및 지보공의 거동 및 응력상태, 지표면 침하, 주변시설물의 이상유무, 막장의 자립성 및 갱구상태 등을 철저히 관찰하여 굴착방법, 굴착순서, 시공순서 등을 감안하여 시공하여야 한다.

4.6.2 공통적인 작업안전

4.6.2.1 막장면 관리

(1) 막장관리

1) 막장면 정리

- ① 천장부나 측벽부의 막장면 부석을 철저히 제거하여 암편, 암괴의 낙석이 없도록 정리하고
- ② 막장면에 실링 슛크리트를 타설
- ③ 풍화대 등 연약지반에서는 지지 Core를 확보
- ④ 막장주변의 절리, 균열 등 변위에 대한 조치가 미흡할 경우 막장붕괴사고 우려가 있음.

2) 막장 용수처리

- ① 지하수가 다량으로 유출되는 막장면은 막장 실링스프링크리트의 부착을 위하여 지하수를 유도처리한 후 실링스프링크리트를 타설하여야 하며
- ② 막장내 지하수 처리를 위하여 도수로나 가집수정 등을 설치하고 양수작업을 실시하여 작업에 지장을 주지 않도록 하여야 한다.
- ③ 막장면은 조명을 밝게 비추어 항상 변형을 관찰하여야 한다.

3) 막장면 조명등 및 통신시설 설치

- ① 막장내 조명은 밝게 하여 막장의 변형을 조기에 발견할 수 있도록 하고

- ② 작업원 및 장비통행에 지장이 없도록 설치한다.(70Lux 이상 유지)
- ③ 막장의 붕괴 등 사고에 대비하여 외부와 긴급연락할 수 있는 통신장비(유선 시설, 무전기 등)를 갖추고 긴급상황에 대처할 수 있도록 하고 작업한다.

(2) 막장 주변관리

1) 막장주변 바닥관리

- ① 막장면 주변(막장에서 10~20m 이내)은 근로자가 굴착 등 주요작업을 시행하는 작업장이므로
- ② 배수로를 설치하여 항상 바닥이 건조한 상태가 되어야 하며,
- ③ 역구배(하향) 터널인 경우 막장에서 10~20m 내에 유도집수정을 설치하여 막장면 배수를 자연배수 시키고
- ④ 유도집수정에서 Relay식으로 Pumping하여 유도처리, 바닥에 물이 고이지 않고 항상 건조한 상태를 유지해야 하며
- ⑤ 특히 바닥이 풍화대 토질 등으로 연약할 경우 버럭 등을 포설하여 건조한 상태에서 작업을 실시하여야 한다.

2) 조명관리

- ① 막장면 조명은 작업시 이동이 편리한 투광기 등을 2개 이상 설치하여 70Lux 이상으로 밝게 하고 막장면 관리와 작업원통행 및 작업능률을 향상시키고
- ② 조명등 설치는 막장면 화약장진시 폭발 등의 위험이 예상되므로 15m 이상 이격시켜 안전하게 설치하여야 한다.

3) 기타

- ① 환기시설은 굴진장에 따라 막장면에 근접하게 연속하여 설치하여 작업환경을 개선하도록 하고
- ② 계측은 초기치와 최종변위량이 중요하므로 막장면에 근접하여 적기설치하여 과학적으로 위험을 예측하여야 한다.
- ③ 기타 여굴처리, 겹이음, 록볼트의 적기시공 등 지보공에 대하여 막장주변에서의 터널관리를 철저히 하여야 한다.

(3) 터널작업중단시 대책

1) 막장면 안정

- ① 모든 지보는 설계에 따라 설치하고 록볼트와 2차철망/쑏크리트는 막장면으로부터 2막장 후방지역까지 완료한다.
- ② Forepoling 은 정규작업 Cycle의 일부로 작업중단전에 설치
- ③ 강지보와 막장면 사이 부분은 지반과 관계없이 최소한 5cm의 실링 쑏크리트를 타설하되 강지보는 쑏크리트로 처리
- ④ 연암과 경암지역을 제외하고 터널막장면과 지지 Core에 3~5cm의 실링 쑏크리트를 타설한다.
- ⑤ 지하수로 인한 지반 연화를 방지하기 위하여 막장면에 2m' 당 1개의 수발공을 천공한다.

2) 배수관리

- ① 지하수 배수관리는 작업중단 기간중에도 유지
- ② 이와 관련 배수체재 운영과 유지보수 요원은 비상근무

3) 현장순회 및 비상대기

- ① 현장 작업중단 기간동안 비상근무자는 각 막장을 일 2회 확인
- ② 이상 발견시는 비상연락망을 통해 보고
- ③ 비상시를 대비하여 시공사는 비상대기자와 비상연락 체계 구축

(4) 막장의 안정에 문제 발생시 대책

현 상	대 처 방 안	
	비교적 간단한 경우	지보부재 추가 등 큰 변경을 요하는 대응책
막장면의 안정이 안될 경우	○ 굴진장을 짧게 한다. ○ Core를 남기고 굴착한다. ○ 막장면에 Shotcrete를 타설한다. ○ 선단 Sheet Pile, Mini Pipe Roof 등을 실시한다.	○ 단면을 분할하여 작게 한다. ○ 막장면에 안정 공법을 사용한다. (Fore Poling 또는 경사 Bolt 등) ○ 지반 개량을 시행한다.(Grouting) ○ 막장용 Bolt를 타입한다.
막장 Crown 부에서 붕락이 많을 경우	○ 굴착시간 단축 및 조기에 Shotcrete를 타설한다. ○ 붕락 방지공(선단 Sheet Pile, Mini Pipe Roof 등)을 실시한다. ○ 굴진장을 짧게 한다. ○ 굴착 단면을 일시적으로 분할하여 실시한다.	○ 강지보공을 설치한다. ○ 지반 개량을 시행한다.
막장면에서 용수가 많이 유출될 경우	○ Shotcrete의 경화 속도를 빠르게 한다.(급결제량 조정 배합) ○ Shotcrete 타설을 용이하게 배수 처리를 한다. ○ 눈이 가는 Wire Mesh를 사용한다. ○ 배수 Sheet를 설치한다.	○ 배수 공법을 시행한다. (수발공, Deep Well, Well Point 공법 등) ○ 지반 개량을 실시한다.
지반의 지지력 부족으로 침하가 크게 일어날 경우	○ 지반의 이완이 없도록 굴착한다. ○ 터널 하단 측벽 우각부에 Shotcrete를 두껍게 하고 지지면적을 늘린다.	○ Rock Bolt를 증가시킨다. ○ Bench 길이가 짧게 하고 조기에 폐합한다. ○ Shotcrete로 가인버트를 시공한다. ○ 지반 개량을 시행한다.
지반이 부풀어 오를 경우	○ 인버트에 shorcrete를 조기에 타설한다.	○ 인버트에도 Rock Bolt를 실시한다. ○ Bench 길이를 짧게 하고 조기에 폐합한다. ○ Mini Bench 공법을 시행한다.

현 상	대 처 방 안	
	비교적 간단한 경우	지보부재 추가 등 큰 변경을 요하는 대응책
막장면에서 붕괴가 일어났을 경우	○ 굴진장을 짧게 한다. ○ 굴착 시간 단축 및 조기에 Shotcrete를 타설한다. ○ 굴착 단면을 일시적으로 분할하여 실시한다.	○ 수발공(Drain Hole)을 설치한다. ○ Wire Mesh를 겹침 시공하여 Shotcrete를 타설한다. ○ Shotcrete 타설시 급결제를 다량 함유한다. ○ Sand Bag으로 막장면을 채운다. ○ 포대속에 Soil Cement, 급결제 등을 함유하여, 2~3개씩 묶어 막장면을 방호한다. ○ 막장면에 토사를 투입한다. ○ 붕괴된 지반 및 주변 지반에 Grouting을 실시한다.
지상에 까지 붕괴를 일으켰을 경우		○ 막장면은 막장면에서 붕괴가 일어났을 경우와 마찬가지로 대응한다. ○ 지상의 붕괴부위에서는 - 토사를 투입한다. - Soil Cement를 투입한다. - 급결제를 혼합한 Soil Cement를 투입한다. - Sand Bag을 투입한다. - 붕괴된 지반 및 주변 지반에 Grouting을 실시한다. ○ 지하지장물 및 주변 건물에 영향이 미치지 않도록 대응책을 강구한다.

4.6.2.2 터널용수 처리

용수가 많거나 갑작스런 지하수 유입이 발생하는 막장은 굴진방향 전방으로 1~2 막장 깊이에 방사선 형상으로 수발공을 설치한다. 공의 함몰이 예상되는 곳은 유도 PVC 파이프를 삽입해 둔다. 수발공의 위치는 지반조건과 유입 지하수량에 따라 결정한다. 수발공의 직경은 최소 25mm 이며, 길이는 굴진에 영향을 주지 않는 범위에서 요구되는 결과를 얻을 수 있도록 하여야 한다. 수발공이나 수평조사에서 유출되는 물은 유연한 관을 이용하여 가배수로로 유도하여야 한다. 방사형 수발공은

1차 숯크리트를 타설하는 지점의 굴착면을 배수시킬 수 있도록 설치한다. 이러한 수발공들은 막장면의 안정을 도모하고 설치를 용이하게 해준다.

(1) 숯크리트 실링이나 1차 숯크리트 타설 수의 유도 배수

1) 파이프에 의한 집수 : 용수가 부분적이고 소량인 경우 20~100mm 직경의 파이프를 숯크리트 벽면에 설치하여(모르타르와 급결재 혹은 숯크리트 사용) 집수한다. 관의 막힘이 발생하지 않도록 고정시 주의하여야 한다. 안정된 굴착 암면에는 실링되지 않는 상태에도 설치할 수 있다.

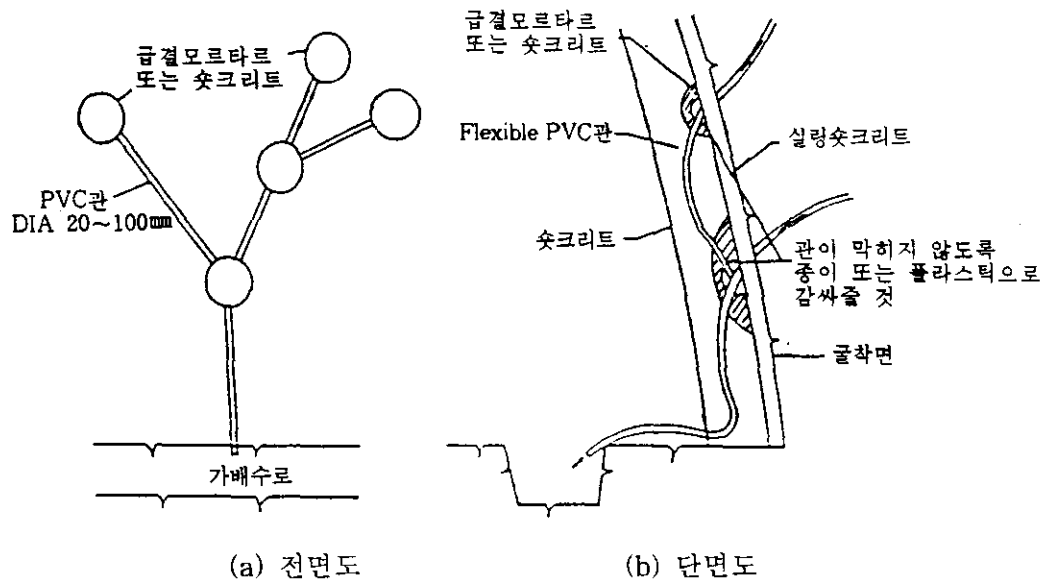


그림 4.14 파이프에 의한 집수

2) 반할관에 의한 집수 : 용수량이 파이프에 의해 배수될 수 있을 정도로 많은 경우에 반할관을 숯크리트 벽면에 부착하여 유도 배수한다. 부착은 모르타르와 급결재를 이용한다.

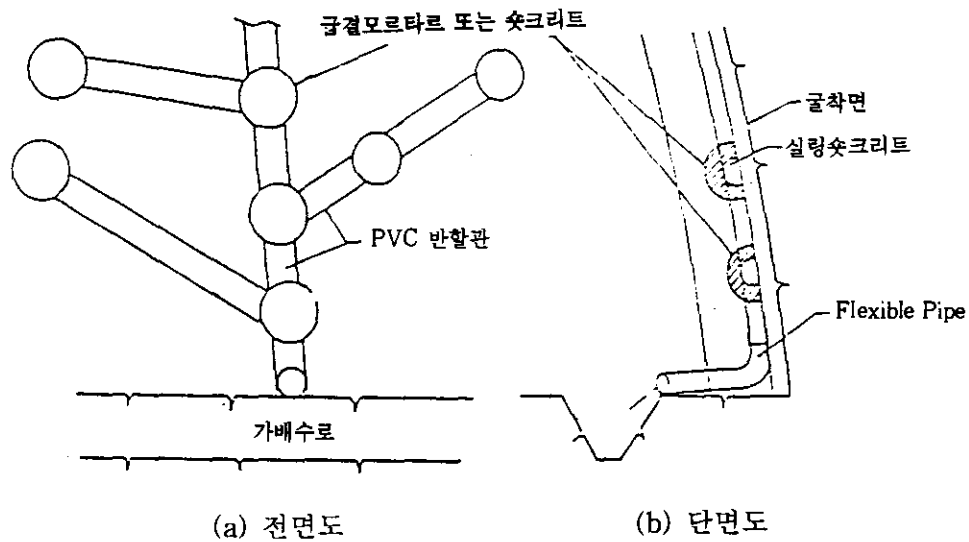


그림 4.15 반할관에 의한 집수

3) 부직포나 다발관(Straw)에 의한 집수 : 지하수 유출구간이 명확하고 국부적인 경우 뿐만 아니라 범위가 넓을 경우에 다발관이나 부직포 혹은 방수막 조각을 숯크리트 타설전 철망에 고정하여 집수를 도모한다. 다발관을 통해 집수된 물은 가배수로로 직접 연결하고 부직포나 방수막 조각에 의해 집수된 유연한 관을 이용하여 가배수로로 유도 배수한다.

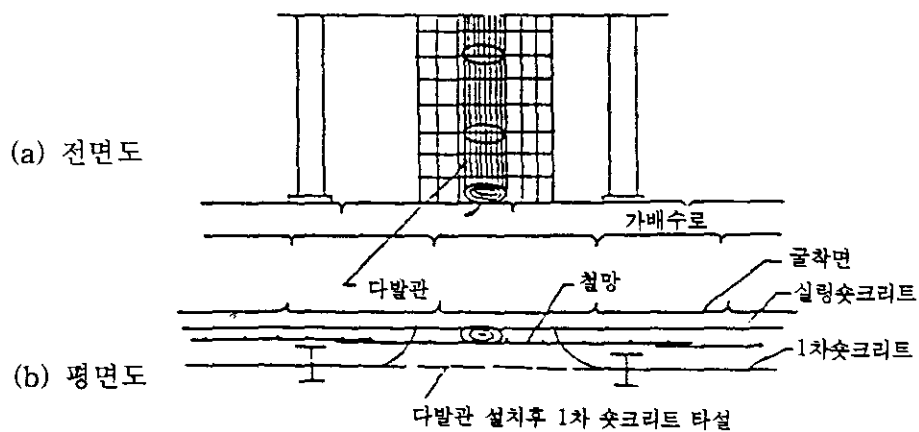


그림 4.16 다발관에 의한 집수

4) Nap Foil에 의한 집수 : Nap Foil은 합성물질(폴리에틸렌)로서 앞에서 언급한 방법으로 처리하기 곤란한 정도로 많은 구간에서 용수가 발생할 경우에 사용된다. Foil은 실링이나 1차 숏크리트 벽면에 고정시키고 내측쪽은 숏크리트를 타설한다. Foil의 바깥쪽의 집수된 물은 홈을 타고 흘러내려 가배수로로 연결 배수된다. 암반 상태가 양호한 경우는 굴착면에 바로 Foil을 설치한다.

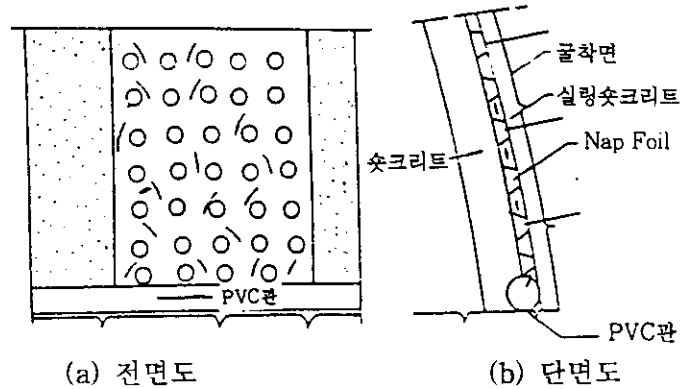


그림 4.17 Nap Foil에 의한 집수

(2) 2차 숏크리트 타설 후의 유도 배수

1차와 2차 숏크리트 사이에 유도배수에 대책이 고려되지 않는 곳에 용수량이 다량발생하였을 경우 PVC-쉬트나 방수막을 숏크리트 벽면에 부착하여(우산과 같은 원리) 집수하고 유연한 판을 이용하여 배수한다.

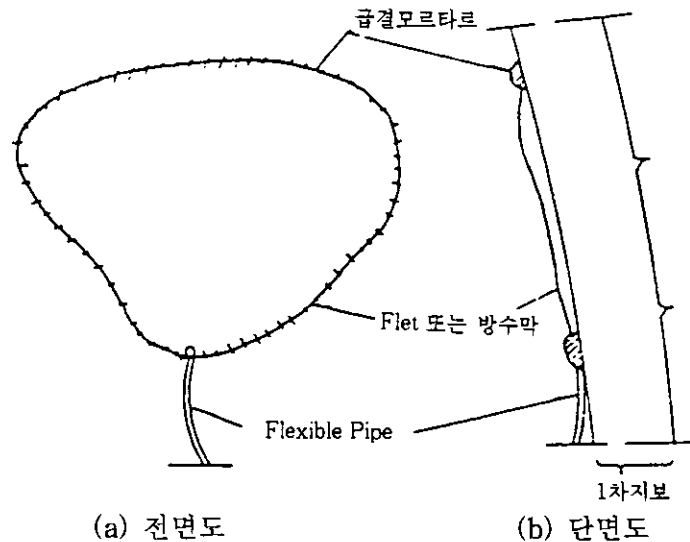


그림 4.18 2차 쇼크리트 타설후 유도배수

4.6.2.3 터널 배수 관리

터널공사에서는 용수의 유무가 그 공사를 좌우할 때가 많다. 또 돌발적인 큰 용수에 의하여 붕괴 등의 사고를 일으키므로 용수량의 조사 및 측정에 특히 주의하여야 한다.

(1) 용수의 기간에 의한 분류

1) 굴착중에 큰 용수를 일으키는 지하 암반의 붕괴를 수반할 때가 있다. 단층이나 파쇄대에 조우했을 때 많이 볼 수 있고, 그 수압은 비교적 높지만 용수량은 시간이 경과됨에 따라 저하되고, 최후에는 정상적으로 되돌아간다. 이것들은 대개 피압 지하수이다.

2) 정상적인 용수

수압은 비교적 낮고, 터널의 연장에 용수량이 비례하여 증가하고, 용수량은 부근의 하천량을 보아 대개 측정할 수 있다. 이 경우는 주로 자유지하수이고, 터널을 굴진하는 산체의 크기, 터널의 길이, 위치채수층의 규모, 투수성에 지배된다. 보통 암반상태에서는 터널의 연장길이 1km당 0.5~1.5m³/min 정도이다.

(2) 소요배수량의 예측

현재로서는 용수량을 정량적으로 예측한다는 것은 불가능하므로 다음 순서에 입각하여 검토한다.

1) 지질·지층상태의 확보

지질조사, 용수조사 등에 의하여 각종 지층의 물리적 성질에 따라 침출율로부터 정상적인 용수를 고려한다.

2) 지표의 특수조건에 검토

암석에 금이 있는 계곡바닥을 얇게 투과하든지, 가까이에 같은 지질의 연못이 있든지, 복공이 완전하지 못한 수로터널이 근처에 병행하고 있는 경우 등은 고려해 둘 필요가 있다. 또 반대로 기존 물빠는 터널이 병행하고 있는 경우에는 물길이 줄어들 때오 있다.

3) 집중 용수에 대한 검토

원래 지하에 저류되어 있는 물이 굴진에 따라서 나타나는 것으로 다수질의 안산암지대나 화강암 또는 화강문암의 것처럼 블록상으로 큰 금이 있는 지대에서는 단층점으로 지하수의 흐름을 방해하는 등의 경우도 있다.

4) 이상을 종합하여 용수량을 예측하고 소요배수량을 결정하며, 자연 유하의 경우는 좋다고 볼 수 있지만, 펌프배수의 경우에는 뜻하지 않은 출수, 또는 갭 밖으로부터 유입되는 등의 일이 있으므로 이에 대비하여 용량, 양정 모두 충분한 여유를 두도록 한다. 배수를 시작한 뒤로 용수량의 측정을 계속하고, 설비를 조절할 필요가 있다.

(3) 터널배수공법

굴진방향에 따라 배수공법이 변하므로, 굴진방향을 확인하고 이를 결정한다.

1) 오름구배로 굴진할 경우(구배 3/1,000 이상의 경우)

용수는 갭구를 향하여 흐르므로 펌프배수할 필요는 없지만, 작업상 지장이 있고 보안상에도 문제가 있으므로 배수구를 설치한다. 그 위치는 중앙이 아니면 굴착에 지장이 있으므로 중앙에 설치하는 것이 보통이다. 그 폭은 갭내 가설 레일의 폭에 따라 제한되므로 60cm가 한도이다.

2) 수평 또는 수평에 가까운 경우

터널이 짧은 경우에는 배수구 바닥의 경사를 급사게 하여주면(3/1,000 이상으로 한다) 좋지만, 긴 경우(300m 이상)에는 집수장을 설치하여 펌프로 배수한다. 이때 수중펌프로 하는 것이 보통이다.

3) 내림구배로 향하여 굴진하는 경우

배수구를 시설하여 집수장에 모아, 펌프로 배수한다. 집수장은 1개만 하지 말고, 용수량과 구배에 따라 여러군데 분산하고, 단면집수장에서 중계하는 동시에 도중의 용수도 모아 배수한다.

단면의 집수장은 발파 등으로 배선이 단선되기 쉽고 위험하므로 급기관도 시설되어 있으므로 보통 샌프펌프를 사용한다.

도중의 중계집수장은 수중펌프를 사용한다. 그리고 중계에 있어서는 1~2회 정

도로 큰 터빈펌프로 중계하여 배수하는 것이 좋다.

중계거리는 100~200m 정도가 적당하다. 연장길이 300m 이하 터널에서는 수중 펌프만으로 배수할 때가 많다. 굴질이 진행됨에 따라서 단면집수장과 중계집수장을 전진시키는 동시에 큰 집수장도 이설한다.

샘프 펌프는 에어모터로 작동하므로 단면 용수처리에 편리하다. 샘프펌프의 성능곡선도는 그림과 같다.

4) 경사갱 및 수직갱의 배수

경사가 급한 경우에는 집수장을 여러군데 시설하고 배수한다. 양정이 크므로 단면부근의 집수장에서 샘프펌프로 양수한 물은 5~6회 정도 수중 펌프로 중계하여, 큰 집수장에 양수하고 여기에서 다단 터어빈 펌프 등으로 갱밖으로 배수한다. 굴진이 진행됨에 따라 단면의 샘프펌프를 옮기고, 수중펌프를 증설하면서 5~6회의 중계가 되면 터어빈 펌프를 증설한다. 중계집수장의 거리는 양정에 의하지만 대개 50~100m(경사거리) 정도이다.

5) 터널공사중, 용수가 대단히 심하고, 보통 배수구배로는 배수가 불가능할 경우, 본 터널로부터 자유유하가 될 수 있도록 구배 및 단면의 새로운 갱도를 시설하여 배수할 때가 있다. 또 본 터널과는 별도로 수평 보오링에 의하여 용수원을 찾아, 평행한 물빠기 터널을 시설하여 배수하는 수가 있다.

6) 디프웰, 웰포인트 등에 의한 배수

터널주변의 암반가운데 지하수가 많고, 지질이 사질에 가까워 디프웰, 웰포인트 공법이 효과가 있을 때는 터널내에서, 복토가 얇은 경우는 지표로부터 터널바닥 부분까지 파이프를 박아서 성공한 예도 있다.

7) 수중 양수기 설치도

- ① 누전차단기 설치
- ② 분전반 시건장치
- ③ 안전표지판 설치
- ④ 단자 연결부 절연카바 또는 절연테이핑 실시
- ⑤ 케이블전선 사용
- ⑥ 양수기 인양로프는 마닐라로프 사용

제 5 장 흙막이 구조의 계측관리

5.1 계측기기의 선택 및 위치 선정

(1) 계측기기의 선택

계측자료의 정확성, 이용성, 경제성 등을 고려하여 다음과 같은 점들에 적합한 기기를 선택하는 것이 일반적이다. 계측기기의 정확도, 반복 정밀도, 강도, 계측범위 및 신뢰도가 다음과 같은 요건을 충족시켜야 한다.

- ① 적합할 것.
- ② 구조가 간단하고 설치가 용이할 것.
- ③ 온도, 습도에 대한 영향을 적게 받고 보정이 간단할 것.
- ④ 계측기기로 인해 공사에 지장을 초래하지 않을 것.
- ⑤ 예상변위나 응력보다 계측기의 측정범위가 클 것.
- ⑥ 계기오차 등을 유발할 수 있는 계측기의 고장 발견에 용이할 것.
- ⑦ 경제적인 것.

(2) 계측위치 선정

현장계측은 허락되는 대로 다양한 거동을 밝힐 수 있도록 많은 위치를 선정하는 것이 최선이겠지만 토류구조물공사가 본체 구조물을 축조하기 위한 가시설구조물이므로 합리적, 경제적인 측면에서 토류구조물 및 배면 지반의 거동을 대표할 수 있는 최소한의 측점을 선정하는 것이 더 효과적이다.

계측지점을 선택하는데 있어서 일반적으로 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- ① 원위치시험 등에 의해서 지반조건이 충분히 파악되고 있는 곳.
- ② 토류구조물을 대표할 수 있는 장소.
- ③ 중요 구조물이 인접하여 있는 곳.
- ④ 토류구조물이나 지반에 특수한 조건이 있어 그것이 공사에 영향을 미칠 것으로 예상되는 장소.
- ⑤ 교통량이 많은 곳.
- ⑥ 하천 주위 등 지하수의 분포가 다량이고 수위의 상승·하강이 빈번한 곳.

⑦ 가능한 한 공사에 의해 계측기의 훼손이 적은 곳.

위와 같은 관점에서 계측지점을 선정할 후 가능한 한 각종 계측기기가 동일 단면에 설치되게 배치하는 것이 중요하다. 이는 수평변위, 어스 앵커의 반력, 주위지반의 침하, 지하수위 등이 서로 연관성을 유지하면서 나타나고 있기 때문에 이를 종합적으로 분석함으로써 계측의 신뢰성을 높일 수 있기 때문이다.

5.2 중요 계측관리 항목별 설치 및 관리

계측기기가 정상적으로 작동되면 현장 상황을 대표할 수 있는 데이터를 얻기 위해서 작업자가 설치목적 및 방법을 숙지하고 계측기기의 사전점검을 통해 공사진행 중 파손으로 인한 자료의 손실이 없도록 유의하여야 한다. 또한, 중요 지점에서는 예기치 않은 계측기기의 이상 및 고장, 설치 오류에 대비하여 이를 대신할 수 있는 여유분을 준비하는 것이 바람직하다.

(1) 측 량

현장의 인클라이노미터가 설치되는 지점의 캡 빔 상부면에 측침을 설치하여 토공전 초기값을 확보한다. 각 토공단계별 일정한 시차로 측침 상단의 변위를 측량하고, 이때 기준점을 도로면의 1점 또는 2~3점을 선택한다. 기준점에도 측침을 설치하여 공사중 훼손, 변형되지 않도록 관리한다.

(2) 지중경사계 (Inclinometer)

굴착에 따른 지반의 심도별 수평변위량을 위치와 방향 및 크기를 측정하여 수평 방향의 지반 이완 사면 활동유무 등 현재의 안전판단 및 향후 거동을 사전에 예측하기 위하여 설치하는 것으로 설치방법은 측정위치에 보링 머신으로 예상 굴착면보다 1~3m 아래까지 굴착하여 케이싱설치 후 액세스 튜브를 조립하여 케이싱을 인발하면서 보어홀과 튜브 간의 공간을 시멘트 모르타르로 채워 고정시킨다.

변위량은 토르피도우를 사용하여 연속벽 깊이별 기울기(단위 길이당 50cm)를 읽어 누가 변위량의 변화로서 구하게 되는데 측정시기는 굴토시 직전에 측정을 시

작하여 5~7일당 1회 실시를 원칙으로 하고 각 단계별 토공시작 및 앵커인장 후 감독관 및 감리자의 지시 등에 의해 필요시 추가 측정하며 정확성을 기하기 위하여 인클라이노미터를 180° 회전시켜 2개의 값을 구해 데이터를 입력시킨다. 상기 변위량으로서는 토류벽의 안전도 판단이 명쾌하지 않으므로 변위량에 대한 휨모멘트로 변환하여 토류벽 및 각 부재의 응력 등을 검토하게 된다.

(3) 지하수위계 (Piezometer)

토류벽 외부에 천공을 하여 지하수위의 변화를 관측하는 피에조미터를 설치하도록 하였으며 설치방법은 다음과 같다.

- ① 측정위치에 보링 머신으로 예상 굴착면보다 1~3m 아래까지 굴착한 뒤 카사그랜드팁을 튜브 끝단에 설치하고 커플링을 연결하여 계획심도까지 관을 설치한다.
- ② 팁 부분은 샌드 필터를 형성시키며 일정 깊이 이하는 그라우팅을 한다.
- ③ 워터 레벨의 초기치를 읽고 데이터에 입력시킨 후 굴착정도 3~7일당 1회에 따라 지하수위 변화를 측정하며 필요에 따라 추가 실시한다.

(4) 변형계 (Strain Gauge)

웨일이나 스트러트구조물에 부착하여 굴착작업에 따른 구조물의 변형을 측정하기 위하여 설치하며, 설치 및 측정방법은 다음과 같다.

- ① 지정된 위치 웨일 및 스트러트의 플랜지 부위에 전기용접(접착제)으로 스트레인 게이지 센서를 부착시킨다.
- ② 부착시킨 센서에 케이블을 연결한 후 실리콘과 보온덮개를 이용하여 온도 등 기상변화로부터 보호한다.
- ③ 연결된 케이블을 측정 위치까지 도달시킨 후 3~7일당 1회 정도 변위치를 읽고 데이터에 입력시켜 필요에 따라 추가 실시한다.

(5) 하중계 (Load Cell)

토류벽에 거치된 어스 앵커의 하중이나 인장력을 측정하여 설계하중 혹은 잭킹

력을 비교, 판단함으로써 토류벽의 거동분석에 사용하기 위해 설치하며, 설치 및 계측 방법은 다음과 같다.

- ① 로드 셀은 하중에 대한 예상치를 갖고 최대치의 로드 셀이나 금속판인 베어링 표면의 물리적인 변형이 거의 없는 상태의 충분한 강도와 두 개의 평행하고 평행되는 베어링 금속판 사이에 설치되어야 한다.
- ② 로드 셀의 설치위치와 계측위치를 감안하여 소용될 케이블 길이만큼 잘라 커넥터의 핀과 케이블 재킷 속의 각 색상의 전선을 미리 연결하여 조립한다.
- ③ 로드 셀을 베어링 표면에 수직으로 설치하고 셀의 축에 따라 물리적으로 중심을 잡는다.
- ④ 셀의 설치에 조심해야 하며 그로 인한 케이블의 파열이나 시공, 보수, 마무리 작업 결과로 인한 우연한 손상을 방지하여야 한다.
- ⑤ 리드 아웃을 사용하여 5~7일당 1회 관찰하고 필요에 따라 추가 실시한다.

5.3 계측자료의 수집 및 분석

계측기기의 초기 측정은 신뢰성 있는 기초자료로 활용할 수 있도록 시공 전에 얻어져야 한다.

자료수집 빈도는 공사 정도에 따라 적절하게 결정되어야 하며 급격한 구조물의 응력변화나 주변 구조물에 공사로 인한 문제점이 발견되면 그 빈도를 증가시켜야 할 것이다.

측정 일시 사이의 공백 기간 중에 발생하는 변화도 주의 깊게 관찰하여야 하며 자료수집시 공사내용 및 주변상황, 기상조건 등을 면밀히 기록하여 성과분석시 유효 적절히 이용 가능할 수 있도록 조치하는 것이 바람직하다.

현장에서 얻어진 자료는 즉시 공사현황 및 기상상태를 고려한 분석을 통하여 성과도포 등으로 가시화하여 토류구조물 및 주변 건물 등의 현재 상황을 판단하고 이를 예측치와 비교하여 그 차이에 대한 연구를 통해 재원인을 규명하여 공사의 안정성 및 적합성을 판단해야 한다.

표 5.1 계측항목별 계측기

측정 항목	계측항목	측정사항	계 측 기
흙관리, 구조물의 관리	흙막이 벽의 계측	• 토압/수압 • 벤딩 스트레스 • 변형	소일 프레스미터 피에조미터, 공극수압계 등
	웨일, 스트러트, 어스앵커의 계측	• 스트러트;축력변형 및 온도변화 • 웨일;축력변형 및 온도변화 • 어스앵커의 용력	로드셀 스트레인 게이지 등
주변 지반 및 구조물 관리	주변 지반의 변위계측	배면 지반변형	인클라이노미터 익스텐서어미터 등
	주변 구조물의 변위계측	구조물 침하, 경사 이동	타일트미터(건물경사계) 크랙 게이지 스트레인 게이지 등
지하수위 관리	지하수위계측	지하수위변동	피에조미터 지하수위계 등
소음 및 진동의 관리	소음, 진동계측	진동에 의한 주변 건물에 대한 영향	사운드 레벨 미터 바이브로스코프 등

표 5.2 계측 종류별 용도

종 류	설치위치	설치방법	용 도
경사계	토류벽 또는 배면 지반	굴 토 심 도 보 다 깊게 부동층까지 천공	굴토진행시 각 과정의 인접 지반의 수평 변위량과 위치, 방향 및 크기의 실측과 이를 이용, 토구구조물 각 지점의 용력 상태 판단 가능
지하수위계 (piezometer)	토류벽 배면 지반	대수층까지 천공	지하수위변화를 실측하여 각종 계측자료에 이용, 지하수위의 변화 원인분석 및 관련된 대책 수립
간극수압계	배면 연약지반	연약층 깊이별	굴착에 따른 과잉간극 수압의 변화를 측정하여 안정성 판단
토압계 (soil pressure meter)	토류벽 배면	토류벽 종류에 따라 다름	주변 지반의 하중으로 인한 토압의 변화를 측정하여 토류 구조체가 안전한지 여부판단
하중계 (load cell)	스트러트 또는 앵커 부위	각 단계별 굴토시 설치	스트러트, 앵커 등의 축하중 변화상태를 측정하여 이들 부재의 안정상태 파악 및 원인규명에 이용
변형률계	토류벽심재, 스트러트, 락각종 강재 또는 콘크리트	용접 또는 접착제	토구구조물의 각 부재와 인근 구조물의 각 지점 및 타설콘크리트 등의 용력변화를 측정하여 이상변형 파악 및 대책 수립에 이용
타일트미터 (tilt meter)	인접 구조물의 골조 또는 벽체	접착 또는 Bolt-ing	주변 건물, 옹벽, 철탑 등 인근 주요 구조물에 설치하여 구조물의 경사 변형상태를 실측, 구조물 안전진단에 활용
지층침하계	토류벽 배면, 인접 구조물 주변	부동층까지 천공	인접 지층의 각 층별 침하량의 변동상태를 파악, 보강대상과 범위의 결정 또는 최종 침하량을 예측
지표침하계	토류벽 배면, 인접 구조물 주변	동결심도보다 깊게	지표면의 침하량 절대치의 변화를 측정, 침하량의 속도 판단 등으로 허용치와의 비교 및 안정상태를 예측
균열측정기	균열부위	균열부 양단	주변 구조물, 지반 등에 균열발생시 균열의 크기와 변화를 정밀측정하여 균열발생 속도 등을 파악, 다른 계측결과분석에 자료제공
진동소음 측정기	진동의 영향이 예상되는 곳	필요시 측정	굴착, 발파 및 장비작업에 따른 진동과 소음을 측정하여 구조물 위험 예방과 민원 예방에 활용

제 6 장 결 론

굴착공사중 발생하는 재해는 최근 5년간 지속적으로 증가되는 추세에 있으며, 1997년에는 30명의 사망자가 발생하였다. 굴착공사는 모든 건설공사의 기본이 되는 공정으로써 건축물의 지하구조물 공사, 지하철공사 등을 위한 개착식 굴착공사, 지하철, 도로 및 도수로 공사를 위한 터널식 굴착공사, 가스관·상하수도관 등의 부설을 위한 트렌치 굴착공사, 도로노반 및 채석장 등을 위한 산악절개의 자연사면 굴착공사 등으로 분류될 수 있다.

본 연구에서는 이러한 굴착공사의 전분야에 대하여 최근 5년간 발생한 중대재해 사례를 분석하고 이를 기초하여 각 굴착공법별 재해발생방지를 위하여 올바른 작업 방법 및 순서에 관하여 기술하였다.

굴착공사중 발생하는 재해중 80% 이상이 관로매설을 위한 트렌치 굴착공사와 산악절개의 자연사면 굴착공사중에 발생한 것으로 나타났다.

트렌치 굴착공사는 대부분 소규모 사업장으로써 재해예방활동이 부진하고 단기간에 굴착하고 곧바로 매립하는 특수성 때문에 흙막이 지보공을 설치하지 않고 수행되는 경우가 많으나, 굴착깊이가 2m 이상일 경우에는 이동식 보조 흙막이 지보공의 설치를 의무화할 것을 권한다.

산악절개의 자연사면 굴착공사는 절리방향을 고려하여 설계경사를 정하여야 한다. 설계경사는 안전한 경사를 유지한다 하더라도 작업중 안식각을 유지하지 못하는 경우가 발생되기 쉬우며, 경사면에서 중장비의 작업이 이루어지므로 장비의 전락, 부식의 낙하, 사면내 붕괴 등이 유발되기 쉽다. 따라서 작업중 예상하지 못한 절리가 발견될 경우에는 설계검토가 이루어져야 하며, 사전에 작업계획을 수립하여 작업중 안식각이 상실되지 않도록 올바른 작업방법 및 순서를 준수하고, 부식의 낙석으로 인한 재해방지를 위하여 상하동시작업 및 작업반경내에 타종의 작업을 투입하지 않는 것이 바람직하다.

참 고 문 헌

1. 산업재분석, 노동부, 1993~1997.
2. 건설 중대재해 사례와 대책, 한국산업안전공단, 1993~1997.
3. 토목공사 표준일반 시방서, 건설교통부, 1996.
4. 건설안전공학, 기문당, 1998.
5. 토목시공학, 보문당, 1998.
6. 토목시공학, 구미서관, 1998.
7. 흙막이 지보공 조립 등의 작업지침, 일본 노동성, 1996.

가설공사 안전모델 개발에 관한 연구(굴착공사)

(연구원 99-34-104)

발 행 일 : 1999. 4

발 행 인 : 원 장 정 호 근

연구책임자 : 수석연구원 김 정 국

발 행 처 : 한국산업안전공단
산업안전보건연구원

주 소 : 인천광역시 부평구 구산동 34-4. 6

전 화 : 032) 5100-852

F A X : 032) 518-0867

<비매품>