

제 8-8 편 가설구조물



목 차

1. 적 용	911
1.1 적용범위	911
1.2 용어의 정의	912
2. 설계계획	915
2.1 기본방침	915
2.2 조사 및 검토 사항	915
2.2.1 지 형	916
2.2.2 지질, 토질	916
2.2.3 하천 등	916
2.2.4 지하매설물	917
2.2.5 주변구조물	917
2.2.6 시공 환경	920
2.2.7 공 정	920
2.3 구조형식의 선정	920
3. 설계 일반	922
3.1 하 중	922
3.1.1 하중의 종류	922
3.1.2 고정하중	924
3.1.3 활하중	924
3.1.4 충 격	926
3.1.5 재하하중	926
3.1.6 토 압	926
3.1.7 수 압	932
3.1.8 유수압	933
3.1.9 온도변화의 영향	934
3.2 재 료	934
3.3 허용응력	935
3.3.1 강 재	935

3.3.2 콘크리트	937
3.3.3 철근	938
3.3.4 목재	938
3.4 토질상수	939
3.5 말뚝의 허용지지력	939
4. 버팀보방식 H말뚝 흠막이공의 설계	941
4.1 설계방침	941
4.2 재 료	941
4.3 흠막이 말뚝	942
4.3.1 근입지반의 안정	942
4.3.2 흠막이 말뚝의 지지력	948
4.3.3 평형깊이 및 가상지지점을 구하는 법	948
4.3.4 흠막이 말뚝의 근입길이	949
4.3.5 흠막이 말뚝의 단면계산	949
4.3.6 흠막이 말뚝의 간격	950
4.3.7 흠막이 말뚝과 구조물과의 간격	950
4.3.8 버팀보, 띠장 철거 시의 검토	951
4.4 중간말뚝	951
4.5 흠막이판	953
4.6 띠장 및 버팀보	953
4.6.1 띠장 및 버팀보의 간격	953
4.6.2 띠장 및 버팀보에 작용하는 하중	954
4.6.3 띠장의 계산	954
4.6.4 버팀보의 계산	958
4.6.5 이음재	962
4.6.6 경사보강재	964
5. 강널말뚝방식 흠막이공 및 단일물막이공의 설계	965
5.1 설계방침	965
5.2 재 료	965
5.2.1 주요부재	965
5.2.2 강널말뚝의 이음	966
5.2.3 강널말뚝의 단면계수	972

5.3	근입지반의 안정	974
5.3.1	보일링의 검토	974
5.3.2	부풀음	975
5.3.3	양압력의 검토	979
5.4	자립식 강널말뚝공	979
5.4.1	평형깊이 구하는 법	980
5.4.2	모멘트의 평형에 의한 강널말뚝의 근입길이	980
5.4.3	강널말뚝의 근입길이 결정	981
5.4.4	강널말뚝의 단면계산	982
5.5	버팀보를 사용한 강널말뚝공	982
5.5.1	평형깊이 및 가상지지점을 구하는 법	982
5.5.2	모멘트의 평형에 의한 강널말뚝의 근입길이	983
5.5.3	강널말뚝의 근입길이 결정	983
5.5.4	강널말뚝의 단면계산	983
5.5.5	강널말뚝 변위의 검토	984
5.5.6	버팀보, 띠장 철거 시의 검토	987
5.6	중간말뚝	988
5.7	띠장 및 버팀보	988
5.7.1	띠장 및 버팀보의 간격	988
5.7.2	띠장 및 버팀보에 작용하는 하중	988
5.7.3	띠장의 계산	989
5.7.4	버팀보의 계산	990
5.7.5	이음재	990
5.7.6	경사보강재	991
5.8	강널말뚝의 구조물과의 간격	991
5.9	물막이 끝단의 높이	992
6.	이중 물막이공의 설계	993
6.1	설계방침	993
6.2	이중물막이의 폭	994
6.3	뒤채움 토사	998
6.4	내측 강널말뚝, 보팀보, 띠장의 설계	999
6.5	외측 강널말뚝 및 타이로드의 설계	1000
6.5.1	외측 강널말뚝에 작용하는 하중	1000

6.5.2 외측 강널말뚝의 평형깊이 및 가상지지점 구하는 법	1001
6.5.3 외측 강널말뚝의 근입길이 계산	1001
6.5.4 외측 강널말뚝의 단면계산	1002
6.5.5 타이로드의 단면계산	1002
6.5.6 타이로드의 수평간격과 설치	1002
6.5.7 타이로드 재질과 단면	1003
6.5.8 타이로드 설치용 띠장의 계산	1003
6.5.9 그라운드 앵커(ground anchor) 적용범위	1003
6.5.10 용어의 정의	1004
6.5.11 앵커의 설계개요	1007
6.5.12 구조계의 안정	1007
6.5.13 깊은 굴착의 흙 막기	1008
6.5.14 앵커의 안전율	1009
6.5.15 앵커의 주변마찰저항	1010
7. 가교의 설계	1011
7.1 설계방침	1011
7.2 주요부재의 최소단면	1012
7.3 폭 원	1012
7.4 거더와 말뚝의 간격	1012
7.5 지 간	1013
7.6 최대경사	1013
7.7 형하여유고	1013
7.8 거더의 설계	1014
7.9 말뚝에 작용하는 하중	1014
7.10 구조세목	1015
8. 케이슨 지수벽의 설계	1016
8.1 설계방침	1016
8.2 재 료	1016
8.3 지수벽의 설계	1017
8.4 띠장 및 버팀보	1018
8.5 연결부	1019

9. 단일물막이공에 의한 축도 설계	1020
9.1 설계방침	1020
9.2 재 료	1021
9.3 물막이벽의 설계	1021
9.4 띠 장	1022
참 고 자 료	1023



1. 적 용

1.1 적용범위

이 편은 교량하부공, 옹벽공, 암거공 등의 시공에 사용하는 표준적인 흙막이, 물막이, 가교 등의 가설구조물의 설계에 적용한다.

이 편은 가설구조물 중 사용빈도가 높은 것에 대해서 설계방법을 제시한 것으로, 교량하부공·옹벽공·암거공 등의 시공에 사용하는 가설구조물의 설계에 적용하는 것이다.

가설구조물에 대한 지반조건, 시공조건은 매우 다양하며, 공사의 목적·시공하는 구조물의 종류·규모·중요도 등도 가지각색이다. 이 편에서는 계획·조사·설계상의 표준적인 경우를 나타낸 것으로, 실제 적용에 있어서는 이러한 주지사항을 충분히 고려해서 설계하는 것이 바람직하다.

이 편에서 말하는 표준적인 흙막이·물막이·가교·지수벽은 일반적인 구조물로서, 흙막이·물막이에서는 굴착깊이 또는 수면에서의 깊이로 10m 정도까지, 가교에서는 수심이 10m 정도까지, 지수벽에서는 높이 8m 이하를 말한다.

표준적인 흙막이, 물막이 범위를 위와 같이 정한 것은 종래의 설계 예에 따른 것이지만 안정수(stability number)를 고려할 때 타당한 값이라 생각된다.

또 이 범위를 넘는 규모의 것, 토질조건이 아래의 규정과 현저히 다른 경우, 또는 2차적 재해에 의한 영향이 매우 크다고 생각되는 조건에서 시공되는 경우에는 별도 검토하기로 한다. 이 요령에 정하여져 있지 않은 사항에 대해서는 아래 지침을 참조한다.

- 도로교 설계기준, 국토해양부
- 구조물 기초 설계기준, 국토해양부
- 토목공사 일반 표준시방서, 국토해양부
- 가설공사 표준시방서, 국토해양부

1.2 용어의 정의

이 기준에서 다루는 흙막이, 물막이, 가교 등은 아래와 같이 정의한다.

(1) 버팀보방식 H말뚝 흙막이

육상부에서 H형강을 소정의 간격으로 타입하거나 보링 구멍에 타입하고 말뚝 사이에 흙막이판을 집어 넣어 흙막이용 구체를 만들어, 주로 토압에 저항시키는 가설구조물을 말하며 이 공법을 버팀보방식 H말뚝 흙막이공법이라 한다.

(2) 강널말뚝 방식 흙막이

육상부에서 강널말뚝을 타입하여 주로 토압, 수압에 저항하는 가설구조물을 말하며 이 공법을 강널말뚝방식 흙막이공법이라 한다.

(3) 물막이

수중부에서 강널말뚝을 타입하여 주로 수압에 저항시키는 가설구조물을 말하며, 이 공법을 물막이 공법이라 한다. 물막이 중 강널말뚝이 1열인 것을 단일물막이, 강널말뚝을 이중으로 해서 그 사이에 토사를 채워 넣고, 내측 강널말뚝에 버팀보, 락지를 설치하는 것을 이중물막이라 한다.

(4) 가교

임시교량, 공사용 차량을 통행시키는 공사 전용의 가교 및 물막이 내의 작업대를 말한다.

(5) 축도

하천 및 항만에서 지표면이 수면보다 아래에 있는 경우에 케이슨기초를 시공하기 위한 케이슨의 고정지반으로서 수면 위까지 강널말뚝 등에 의하여 옹타리를 만들고 내부에 토사를 쌓아 조성하는 가설 인공섬을 말한다.

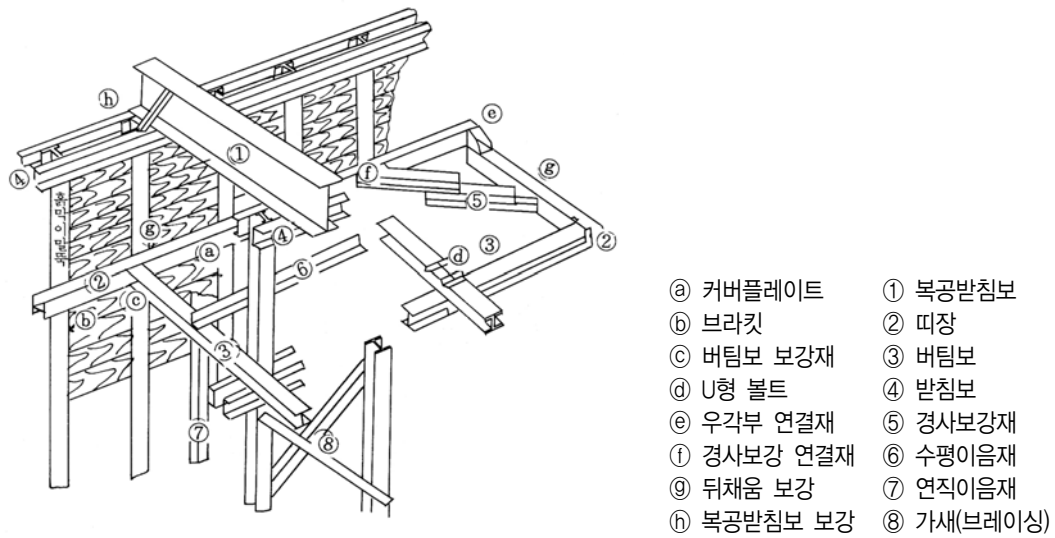
(6) 케이슨 지수벽

케이슨에서 상부판, 교대 및 교각 구체를 구축하기 위하여 강널말뚝 또는 콘크리트를 사용하여 주로 수압 및 토압에 대하여 저항하는 가벽을 말한다.

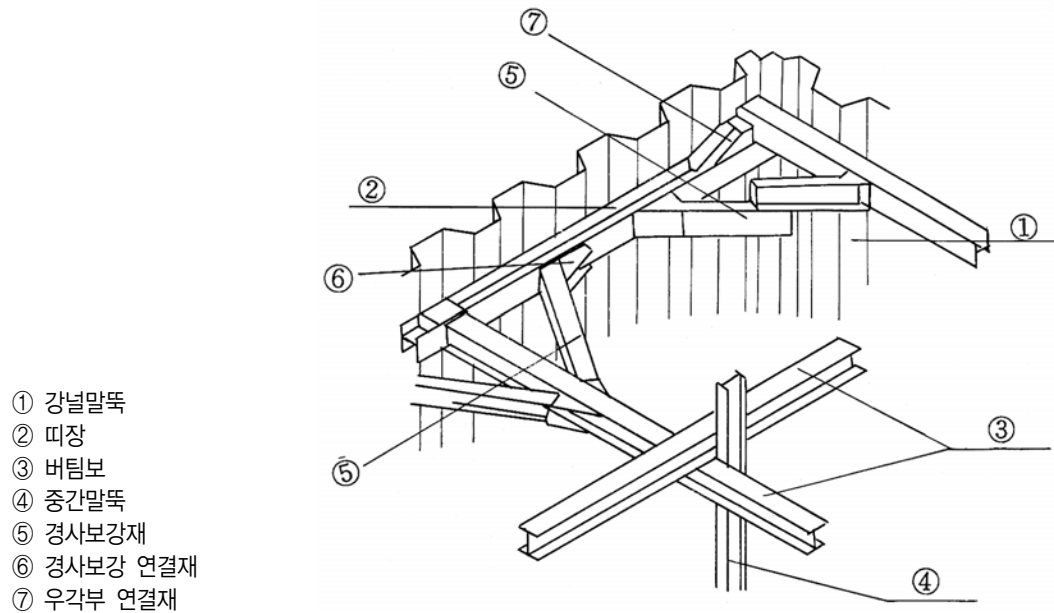
일반적으로 흙막이에는 육상에서 토압에 저항시키는 흙막이와 수중에서 수압 및 토압에 저항시키는 물막이가 있지만 이 기준은 육상부에서 사용하는 흙막이를 사용재료와 외력에 의하여 버팀보방식 H말뚝 흙막이와 널말뚝방식 흙막이의 2가지로 분류했다.

버팀보방식 H말뚝 흙막이는 주로 H형강을 타입하거나 오거보링으로 근입하고 말뚝 사이에 흙막이판을 넣어 토압에 저항시키는 것이고, 널말뚝방식 흙막이는 강널말뚝을 타입하여 토압·수압에 저항시키는 가설구조물이다.

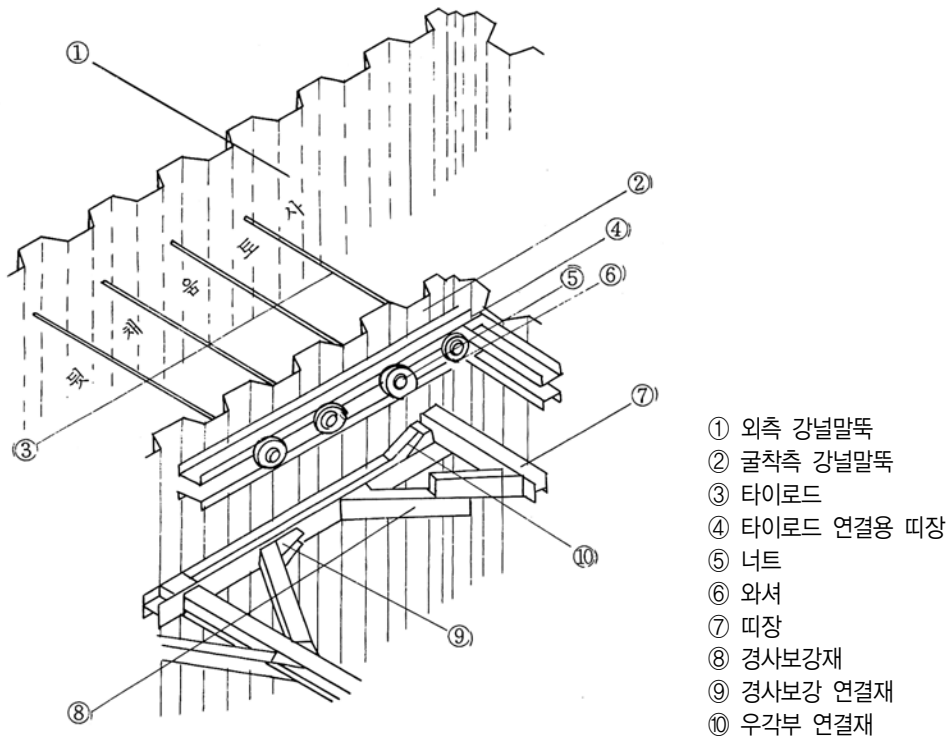
가교는 공사용 차량이 통행하는 것이 대부분이며, 물막이 내의 작업대도 가교로 정의하기로 한다. 케이슨의 지수벽은 일반적으로 강널말뚝이 사용되고 있지만 높이가 낮은 경우 콘크리트가 사용되는 경우도 있다.



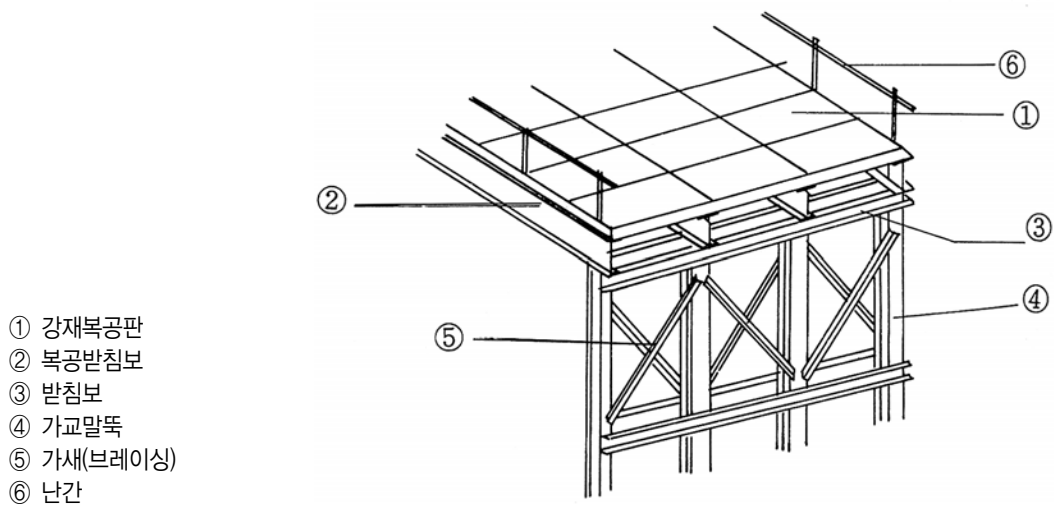
〈그림 1.1〉 버팀보방식 H말뚝 흠막이 명칭



〈그림 1.2〉 강널말뚝방식 흠막이, 단일물막이 공법 명칭



〈그림 1.3〉 이중물막이 공법의 명칭



〈그림 1.4〉 가교의 명칭



2. 설계계획

2.1 기본방침

가설구조물의 계획, 설계는 가설지점의 지형, 하천, 도로의 상황, 환경조건, 토질조사 시험 결과, 본 구조물의 규모 및 형식, 시공의 안전성을 충분히 고려해서 합리적이며 경제적으로 계획, 설계하기로 한다.

가설구조물은 본 구조물 구축을 위한 일시적인 것으로 공사완료 후 철거하기 때문에 경시되는 경향이 있다. 그러나 최근 본 구조물의 대형화나 인가 밀집지역, 산악지대에 시공하는 등 시공 환경조건에 따라 가설구조물은 매우 중요하게 되었다. 가설구조물의 계획, 설계는 이들 제 조건을 감안하여 충분한 조사를 실시하여 본 구조물에 미치는 영향과 시공의 안전성을 고려하는 것이 중요하다.

2.2 조사 및 검토 사항

조사는 합리적이며 경제적인 계획·설계·시공을 하기 위하여 실시하는 것으로, 본 구조물의 규모·중요성 및 시공위치를 충분히 고려하도록 한다.

가설구조물은 위치나 구조가 미리 결정되어 있는 본 구조물 인근에 위치하므로 시공위치를 알고 있는 것이 보통이다. 이 때문에 가설구조물의 설계·계획 시 사전에 각종 조사가 이루어지는 것이 보통이므로 지금까지의 조사 자료나 인근의 기존자료를 참고로 하면 좋다. 그러나 가설구조물은 본 구조물의 규모나 시공위치의 제 조건에 따라 정하여질 뿐 아니라 시공성에 따라 결정되는 경우가 많으므로 공법이 부적당하다고 생각하는 경우에도 충분히 대처할 수 있는 조사와 검토가 사전에 이루어지는 것이 바람직하다. ‘2.2.1 지형’ ~ ‘2.2.7 공장’에 계획·설계·시공에 관해서 검토하여야 할 사항에 대해서 서술한다.

2.2.1 지형

가설구조물의 설계·시공 시 지형을 충분히 파악하고, 지형의 고저차·자재 운반로 등에 대해서 검토하기로 한다.

현장 시공조건으로서 현지반이 평탄하면 문제는 적지만 인가밀집지구, 산악지구 등에서는 특히 공사의 안전을 고려하여 설계·시공 중에 주의하여야 한다.

공사 착수 전에 가설구조물 주변의 원지형을 충분히 파악하여 시공 시 어떠한 영향이 있는가 충분히 검토하여야 한다. 특히 물막이공법에서는 시공 지점이 수중이 되므로 하상의 경사, 기복에 의한 영향을 고려할 필요가 있다.

또 현장까지의 운반로는 사용하는 기계 및 재료를 고려한 도로의 폭원, 경사, 곡률, 교통량 등을 조사하고, 공사의 안전 및 시공성을 고려한 재료 투입로에 대해서 충분히 검토할 필요가 있다.

2.2.2 지질, 토질

일반적으로 지질, 토질의 조사와 굴착하는 흙의 성질, 지하수의 높이, 용수량 등을 필요에 따라 조사하기로 한다.

본 구조물의 설계와 가설구조물의 설계를 비교하여 조사의 중점을 어디에 두느냐에 따라 다소 차이가 있다. 예를 들어 버팀보방식 H말뚝 흙막이, 강널말뚝방식 흙막이의 설계를 위한 조사에서는 지표 부근 지층의 N값, 자갈의 크기, 지하수의 높이, 용수량 등을 조사하여, H형강이나 강널말뚝의 시공여부 등 시공법 선정에 이용하는데 반하여 본 구조물의 조사에 있어서는 지지층의 역학적 성질에 중점을 둔다.

가설구조물의 시공위치는 사전에 본 구조물에 대하여 각종 조사를 실시하므로 새로운 조사는 필요하지 않으나, 전술한 바와 같이 조사의 중점을 어디에 두는가에 따라 다소 차이가 있으므로 가설구조물의 선정을 위한 조사는 필요에 따라 실시한다.

2.2.3 하천 등

하천 등의 수중에 설치하는 가설구조물의 설계·시공에서는 수위, 유속 등을 조사한다.

물막이, 가교, 축도 등 하천의 수중에 설치하는 가설구조물의 설계 및 시공조건의 결정에 앞서 충분한 조사가 필요하다. 조사항목으로는 수위(최고수위 및 평균수위), 유속 및 과거의 홍수기록이 있다. 또 하천관리자와 협의하여 정하는 경우도 있으므로 충분한 검토가 필요하다.

2.2.4 지하매설물

가설구조물의 설계·시공에서는 지하매설물에 대해서 충분히 조사·검토하여야 한다.

가설구조물의 시공은 본 구조물의 기초 부분보다 외측에 시공되는 경우가 많으므로 가스관, 수도관, 전선관 등의 매설물 위치를 확실히 알고 있어야 하며, 중요한 매설물에 대해서는 매설물의 위치, 규모, 구조를 조사하고 그 결과에 대해서 미리 매설물 소유자 및 관계기관과 협의하여 확인하여 두는 것이 필요하다.

2.2.5 주변구조물

가설구조물의 설계·시공에서는 주변 구조물, 도로, 철도, 제방 등에 미치는 영향에 대해서 조사·검토하여야 한다.

주변구조물의 종류로는 민가, 학교, 병원 등 민간건축물을 포함한 건축구조물, 교대, 교각, 옹벽 등의 시설구조물 및 도로, 철도, 제방 등의 구축물이 있다.

주변구조물에 근접해서 가설구조물을 시공하는 경우에는 주변구조물이 어떻게 설계·시공되고 현재 어떠한 상태로 되어 있는가 조사하고, 가설구조물의 시공이 주변구조물에 미치는 영향을 고려할 필요가 있다. 원칙적으로 조사하여야 할 내용은 다음과 같다.

- (가) 기초의 근입깊이
- (나) 기초형식
- (다) 가설구조물과 시설구조물의 상호관계
- (라) 하중의 상호영향
- (마) 가설구조물의 안정에 영향을 주는 범위의 지반성질
- (바) 공사에 의해서 지하수 저하가 예상되는 경우에는 지하수위 저하에 의한 주변지반의 압밀침하의 정도

(사) 주변구조물의 현황

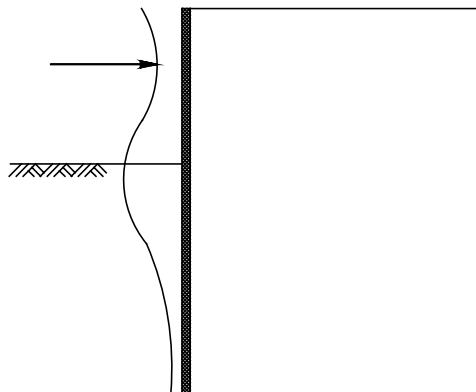
주변의 지반이나 구조물을 침하시키지 않고 시공하는 것은 매우 어렵지만 침하를 최대한으로 감소시킬 수는 있다. 흙막이 구조물의 설계에서 침하방지는 다음과 같이 한다.

(아) 흙막이벽의 종류별로는 동일 지반의 경우 지중연속벽, 시트 파일, H말뚝, 횡널말뚝의 순으로 주변의 침하에 주는 영향이 적다.

(자) 흙막이 지보공의 종류별로는 동일 지반의 경우 타이로드 앵커, 철근콘크리트, 강재, 목재의 순으로 주변지반의 침하에 주는 영향이 적다.

(차) 제1차 굴착 시(제1단 지보공 가설전의 상태) 흙막이벽이 쓰러지는 경우가 예상외로 많은데 흙막이벽의 이동량이 거의 주변지반의 침하량으로 나타나므로 흙막이벽이 쓰러지는 것을 최대한 방지하여야 한다. 이를 방지하는 방법으로 흙막이벽 머리부에 타이로드 앵커를 설치하거나, 철근콘크리트로 연결을 도모하거나, 굴착전 지표면 부근에 가설 수평 흙막이 지보공을 설치하는 것이 매우 효과적이다. 또 과거 많이 이용되었던 앵글에 의한 머리부 연결은 효과가 없다고 생각하는 것이 좋을 것이다. 또 I형강이나 H형강에 의한 머리부 연결은 어느 정도 효과적이라 생각된다.

(카) 흙막이 지보공(특히 버팀보 부재)에 프리로딩(재킹)을 가하는 것도 주변지반의 침하방지에 효과적이다. 일반적으로 강재 버팀보인 경우 버팀보 1개 당 20톤 전후의 재킹을 하는 것과 같다. 연약지반의 경우(특히 시트 파일을 사용한 경우가 많다고 생각된다) 재킹하중이 너무 크면 <그림 2.1>와 같이 그 다음의 굴착장소 부근의 시트 파일이 부풀어 나오는 경우가 많아지고 이 때문에 주변지반 침하의 비율도 많아지게 된다. 이러한 지반 조건인 경우 제1단 버팀보에 주는 재킹하중은 너무 과대하거나 과소하여도 안 되므로 재킹 시공 시에는 시트 파일 머리부의 이동량을 계측, 검토하면서 재킹하중을 결정할 필요가 있다.



<그림 2.1> 재킹하중에 의한 영향

- (타) 흙막이벽 근처에 중기계가 놓이거나 덤프트럭과 같은 중차량이 빈번하게 통행하는 곳에는 흙막이벽 머리부의 이동량이 매우 커지게 된다. 따라서 흙막이벽 근처에는 차량이 통행하지 않도록 하는 것이 좋지만 부득이한 경우에는 흙막이벽의 이동방지책을 강구할 필요가 있다.
- (파) 최근 대구경의 현장타설 철근콘크리트 말뚝의 사용이 많아지고 있는데 이 말뚝 시공 시 채움부의 되메우기 불량에 의한 흙막이벽의 처짐량이 커져서 이로 인하여 주변지반의 침하가 일어난다. 모래만에 의한 되메우기나 굴착토에 의한 되메우기는 벤트 나이트 이수(泥水)를 사용한 현장타설말뚝의 경우에는 되메우기가 불량하게 된다. 빈배합의 콘크리트 등 여러 가지의 되메우기 결과 현장에서는 쇠석과 모래 또는 슬래그와 모래의 혼합재료가 적합하다.
- (하) H말뚝, 횡널말뚝 공법을 사용하는 경우 뒤채움 상태가 주변의 지반침하에 영향을 준다. 최근 기계화 굴착에 의하여 시공속도가 빨라지고 있으므로 뒤채움 상태가 조잡하게 되기 쉽다. 이 현상에 의한 지반침하는 연약지반에 한하지 않고 다져진 모래지반의 경우에도 지하수와 함께 토사가 유출되어 큰 공동을 만들어 함몰 침하를 발생시키므로 주의하여야 한다. 방지대책으로는 횡널말뚝의 뒤채움부에 콘크리트를 뒤채움 재료로서 사용하면 효과적이다.
- (거) 연약지반이나 단단한 지반 모두 수면 이하의 흙막이벽에서 지하수에 수반되는 토사유출에 의한 주변지반의 침하를 주의하여야 한다. 이 현상은 H말뚝, 횡널말뚝공법 뿐만 아니라 시트파일공법 시공 시 단면결손 부분, 기동열 벽식공법 시공 시 인접하는 흙막이 말뚝이 빠진 곳이나 지중연속벽에 결함부분이 있으면 발생하기 쉽다. 이상의 공법에서는 정밀한 시공을 하여 결함부분이 생기지 않도록 하여야 하지만, 땅속 깊은 곳에서의 시공이므로 완전무결한 시공을 기대하기는 어렵다. 따라서 토사유출이 확인되면 신속하게 그라우트 등의 조치를 취하여야 한다.
- (너) 흙막이벽의 시트파일이나 H말뚝을 뺀 후의 지반침하도 문제가 된다. 지반조건에 따라 다르지만 말뚝을 빼낸 후 그라우트나 모래의 채움으로 지반침하를 방지할 수 있지만, N값 0 전후 점성토의 경우 시트파일을 빼면서 그라우트를 하는 이외의 방법은 없다. 일반적으로 그라우트가 곤란한 경우나 공해방지의 관점에서 무소음, 무진동 공법으로 시트파일을 뽑으면 능률이 떨어져 공사비가 상승한다. 이 때문에 매설하는 편이 좋은 경우도 많다.
- (더) 현장 주변에 매설관이 있는 도로에서는 매설관 시공 시 되메우기가 완전하지 않은 경우가 많아서 말뚝타입 진동이나 덤프트럭 등 중차량의 통행으로 인하여 매설관 주변의 지표면이 침하하는 경우가 종종 있다. 매설관이 침하하여도 지장이 없으면 지표면을 아스팔트 등으로 포장하여도 좋지만, 하수관이나 수도관, 가스관 등은 침하에 의한 결함이 생기기 쉬우므로 사전에 너무 단단하지 않은 그라우트재로 되메우기하여 간극이 채워지도록 하여야 한다.

(러) 인접건물의 기초지반이 불안정할 때는 건물이 기울기 쉽다. 방지대책으로 터파기 보강(underpinning)이 효과적이지만, 어떤 침하현상을 방지하기 위하여 터파기 보강을 할 것인가를 먼저 생각하여야 한다. 굴착측 기초의 되메우기 불량으로 반대측의 건물이 침하하는 경우에 대하여 충분한 검토 후 터파기 보강을 하여야 한다.

2.2.6 시공 환경

가설구조물의 설계·시공에서 시공 중의 소음, 진동이 주변의 인가, 구조물에 미치는 영향에 대해서 충분한 조사 및 검토를 하여야 한다.

가설구조물의 설계·시공에 관한 조사 및 검토사항 중 특히 인가밀집 지역에서는 특별한 배려가 필요하고 시공 착수 전에 가능한 한 대책을 강구하여 놓는 것이 바람직하다. 또한 공사의 개요에 대해서 거주자들에게 주지시켜 협력을 얻는 것이 필요하다.

또 시공법에 의하여 소음, 진동의 규제에 의해서 타입공법이 불가능한 경우나 대형기계의 운반이 어려운 경우도 있으므로 주의를 요한다.

2.2.7 공 정

가설구조물의 경우 공정, 현장조건, 자연조건, 건설기계의 선정 등을 충분히 검토하여야 한다.

토목공사의 경우 공정관리는 매우 중요한 것이다. 특히 가설구조물은 본 구조물에 선행해서 시공되고, 본 공사에 큰 영향을 미치므로 가설구조물 시공위치의 제 조건·건설기계의 선정 등을 충분히 검토하여야 한다. 공정을 검토한 후에 시공순서와 공법은 기본적인 문제이고, 현장조건·환경조건·하천조건·자연조건(계절)·자재공급 예상·건설기계의 선정 등 모든 제 조건을 고려해서 검토할 필요가 있고, 시공순서·공법선정 및 시공방법에 대해서는 본 구조물의 시공과 공정과의 관련에 대하여 충분히 검토할 필요가 있다.

2.3 구조형식의 선정

가설구조물의 구조형식은 ‘2.설계계획’의 조사, 검토 결과를 기초로 시공의 안전성, 경제성을 고려해서 선정하기로 한다.

(가) 흠막이공법에 대해서 이 기준은 버팀보방식 H말뚝 흠막이공법, 강널말뚝방식 흠막이 공법의 두가지로 나누고 있다. 공법선정을 일반적으로 정하기는 어렵지만 선정기준을 다음과 같이 제시한다.

(a) 버팀보방식 H말뚝 흠막이공법

① 름층, 점토층

② 사질토 지반에서 지하수위가 낮고 간단한 배수펌프 설비로 배수가 가능하다고 판단될 때

(b) 강널말뚝방식 흠막이공법

① 지하수가 높고 버팀보방식 H말뚝 흠막이공법에서는 배수가 어렵다고 판단될 때

② 연약지반, 인접구조물이나 도로, 철도 등이 있고 (a)의 공법보다도 안전측으로 하려 할 때
가설구조물의 일반적인 선정은 지반조건 및 본 구조물의 규모, 형식 등을 고려해서 정하지만 흠막이공법의 선정에 대해서 명확한 적용구분이 없는 것이 사실이다. 그러나 버팀보방식 H말뚝 흠막이공법의 사용은 지하수의 유무, 배수 가능 여부, 부풀음 등을 검토하여 충분한 안전성을 확인한 후에 사용하여야 한다.

(나) 물막이공법(단일물막이, 이중물막이)은 본 구조물의 규모, 형식 및 시공조건 등 제 조건을 감안해서 선정하도록 한다. 그러나 깊은 수중의 물막이에는 단일물막이를 사용하지 않는 것으로 하지만 공사 중의 제한폭, 기초의 크기에 따라서는 이중물막이의 사용이 불가능한 경우도 있으므로 공사의 안전성 등을 고려하여 하천관리자와 충분히 협의하여 정할 필요가 있다.

(다) 케이스 지수벽의 사용재료는 원칙적으로 강널말뚝을 사용하는 것으로 하지만, 침하하중으로서 재하하중을 고려하여야 하는 경우에는 철근콘크리트 구조를 사용한다.



3. 설계 일반

3.1 하 중

3.1.1 하중의 종류

가설구조물은 아래의 하중을 고려하여 설계한다.

- (1) 고정하중
- (2) 활 하 중
- (3) 충 격
- (4) 토 압
- (5) 수 압
- (6) 온도변화의 영향

가설구조물을 설계할 때 고려하여야 할 하중을 열거한 것으로서 가설구조물의 종류에 따라서 사용하는 하중은 <표 3.1>과 같다.

〈표 3.1〉 가설구조물의 사용하중

			1.고정하중	2. 활하중	3. 총 격	4. 토 압	5. 수 압	6. 온도변 화의영향
버팀보 방 식 H말뚝	흙막이 말 뚝	근입길이	○	○	○	○	—	—
		단 면	○	○	○	○	—	—
	중 간 말 뚝	근입길이	○	○	○	—	—	—
		단 면	○	○	○	—	—	—
	버팀보 · 띠장		—	—	—	○	—	○
널말뚝 방 식 흙막이	널말뚝	근입길이	—	○	○	○	○	—
		단 면	—	○	○	○	○	—
	중 간 말 뚝	근입길이	○	○	○	—	—	—
		단 면	○	○	○	—	—	—
	버팀보 · 띠장		—	—	—	○	○	○
물막이	널말뚝	근입길이	—	—	—	○	○	—
		단 면	—	—	—	○	○	—
	버팀보 · 띠장		—	—	—	○	○	○
축 도	널말뚝	근입길이	○	—	—	○	○	—
		단 면	○	—	—	○	○	—
	버팀보 · 띠장		—	—	—	○	○	○
가 교			○	○	○	—	—	—
케 이 슨 지 수 벽			—	—	—	○	○	—

물막이, 축도, 가교의 경우에는 〈표 3.1〉에 제시한 하중 외에도 파압, 유수압, 선박충돌하중을 설치장소에 따라서 고려하여야 한다.

또 지진력에 대해서는 가설구조물이 구조물 본체의 공용연수에 비해서 가설기간이 극히 짧고, 종래 고려된 예도 없으므로 고려하지 않기로 한다.

3.1.2 고정하중

고정하중의 산출에는 <표 3.2>와 같은 단위중량을 사용하여도 좋다. 단, 실중량이 분명한 경우는 그 값을 사용하기로 한다.

<표 3.2> 재료의 단위중량(kg/m³)

재 료	단위 중량	재 료	단위 중량
강, 주강, 단강	7,850	콘크리트	2,350
주철	7,250	시멘트 모르타르	2,150
알루미늄	2,800	목재	800
철근콘크리트	2,500	역청재 (방수용)	1,100
프리스트레스트 콘크리트	2,500	아스팔트 콘크리트 포장	2,300

재료의 단위중량은 각각 다르고 설계 시 큰 영향이 있으므로 가능한 한 실하중을 분명히 하는 것이 바람직하지만 정하기 어려우므로, 대강의 표준을 제시하는 의미에서 ‘도로교설계기준 설계일반 2.12 고정하중’ 규정에 제시하는 단위중량을 사용하기로 한다.

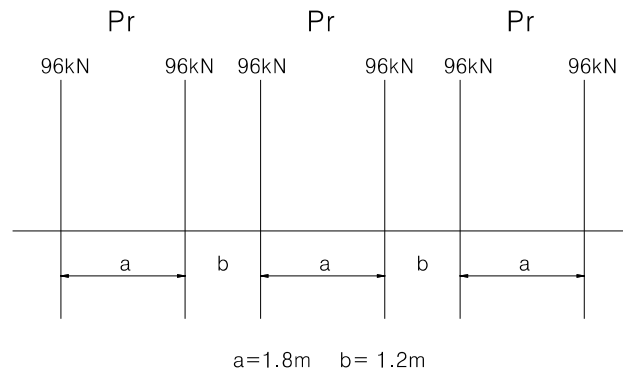
3.1.3 활하중

가교에 작용하는 자동차 하중으로는 DB하중을 재하한다. 이 경우의 재하방법은 원칙적으로 다음 그림과 같이 재하한다.

또 가설용 중기, 재하하중(들어올리는 하중) 등이 자동차 하중에 의하여 정하여진 하중을 넘을 경우에는 실제 하중으로 한다.

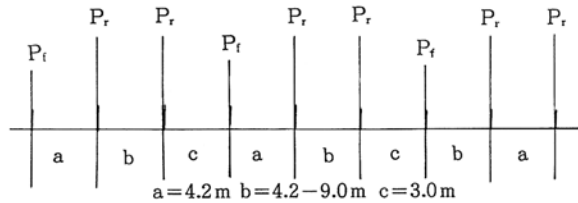
(1) 자동차 주행방향에 직각인 경우의 재하

교량등급	하중등급	중량 W(kN)	총하중 1.8W(kN)	전륜하중 0.1W(kN)	후륜하중 0.4W(kN)
1등교	DB-24	240	432	24	96
2등교	DB-18	180	324	18	72
3등교	DB-13.5	135	243	13.5	54



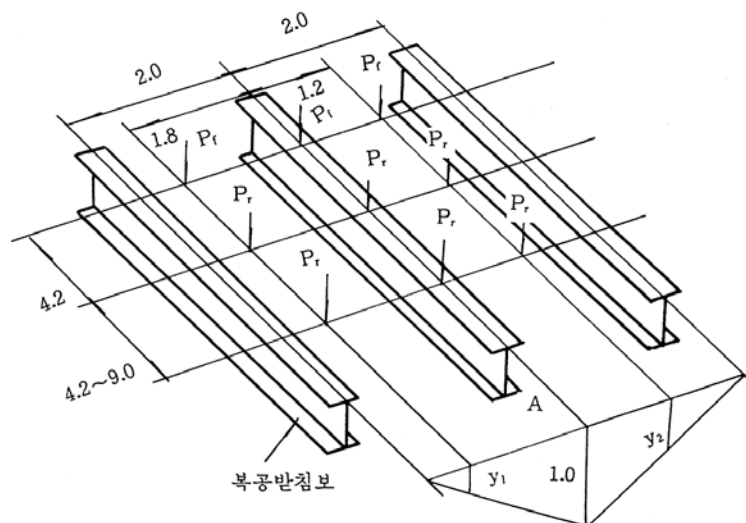
〈그림 3.1〉 활하중 재하방법(주행 직각방향)

(2) 자동차 주행방향에 평행한 경우



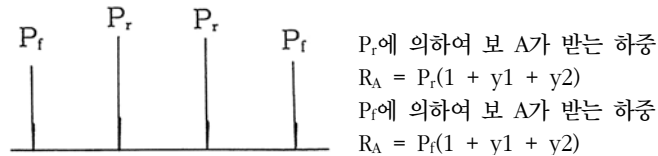
〈그림 3.2〉 활하중 재하방법(주행방향)

활하중으로 ‘도로교 설계기준 설계일반 2.1.3 활하중’의 자동차 하중 중 DB하중을 사용한다. 자동차 주행방향에 평행하게 복공받침보가 놓여 있을 경우를 도시하면 다음 〈그림 3.3〉과 같이 된다.



〈그림 3.3〉 복공받침보에 작용하는 활하중

따라서 위 그림에서 복공받침보 A에 작용하는 자동차 하중은 다음과 같다.



활하중으로서 자동차 하중 외에 가설용 중기가 있다. 이들 가설용 중기에 대해서는 시공장소나 방법에 따라 시공계획의 시점에서 충분히 검토하여야 한다. 또 트럭 크레인 등의 경우는 버팀목을 매달아 올리는 경우도 있으므로 하중을 한쪽에만 재하하는 등의 검토가 필요하다.

3.1.4 총 격

활하중에 의한 총격을 고려하여 충격계수는 지간에 관계없이 0.3으로 한다.

활하중에서는 총격을 고려하여야 하는데 충격계수는 지간장에 관계없이 0.3으로 한다. ‘도로교 설계 기준 2.1.4 총격’에서 충격계수의 값 $i=15/(40+l)$ 에서 지간을 $l = 6\sim 12\text{m}$ 로 하면 $i=0.29\sim 0.33$ 이 된다. $i=0.3$ 으로 할 경우와 $i=0.29\sim 0.33$ 으로 하는 경우의 차이는 모멘트로 약 2~4%로서 그다지 영향을 주지 않는다.

3.1.5 재하하중

재하하중으로서 10kN/m^2 을 재하한다.

버팀보방식 H말뚝 흙막이공, 강널말뚝방식 흙막이공 등의 가설구조물에 대해서는 재하하중으로서 10kN/m^2 을 고려하기로 한다.

3.1.6 토 압

(1) 흙막이 벽체의 근입깊이와 자립식 널말뚝의 단면을 결정할 경우에는 Rankine - Resal 토압을 사용한다. Rankine - Resal의 토압은 다음 식으로 주어진다.

$$P_a = (q + \gamma h) \tan^2 (45^\circ - \phi/2) - 2C \tan (45^\circ - \phi/2) \quad (\text{식 3.1})$$

$$P_p = (q + \gamma h) \tan^2 (45^\circ + \phi/2) + 2C \tan (45^\circ + \phi/2) \quad (\text{식 3.2})$$

여기서, P_a : 주동토압강도 (kN/m^2)

$\emptyset$: 흙의 내부마찰각(도)

q : 도로상의 공사인 경우
재하하중 (10kN/m^2)

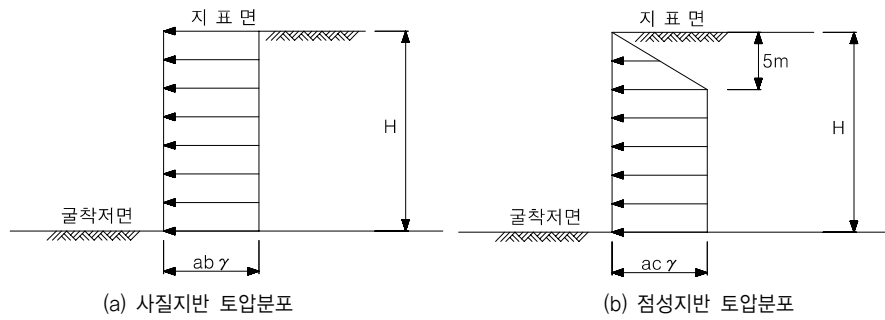
P_p : 수동토압강도 (kN/m^2)

h : 지표면에서의 깊이 (m)

γ : 흙의 단위체적 중량 (kN/m^3)

C : 흙의 점착력 (kN/m^2)

(2) 흙막이 말뚝, 버팀보, 띠장의 단면계산에는 <그림 3.4(a)(b)>에 제시하는 토압을 사용한다.



γ : 흙의 단위체적 중량 a, b, c : <표 3.3>과 같다.

<그림 3.4> 토압 분포

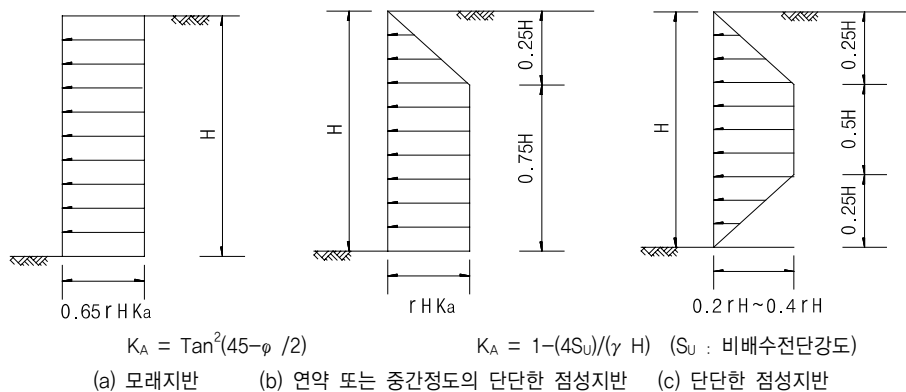
<표 3.3> a, b, c 값

$5.0\text{m} \leq H$	$a=1$
$5.0\text{m} > H > 3.0\text{m}$	$a=1/4(H-1)$

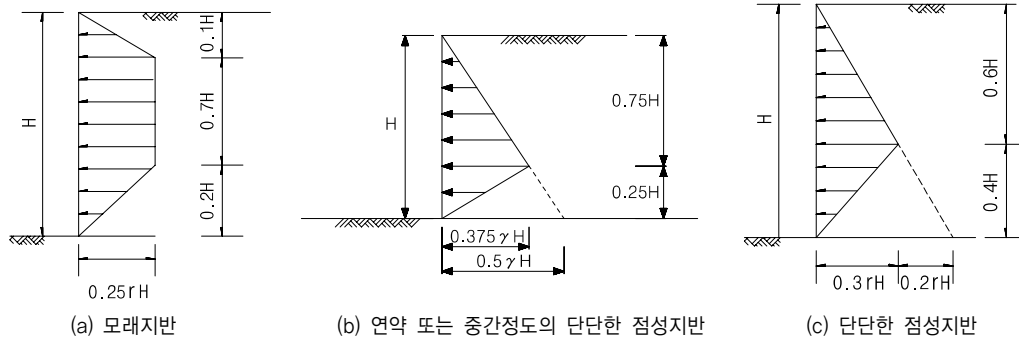
b	c	
사질토	점성토	
2	$N > 5$	4
	$N \leq 5$	6

N : 점성지반의 평균 N 값

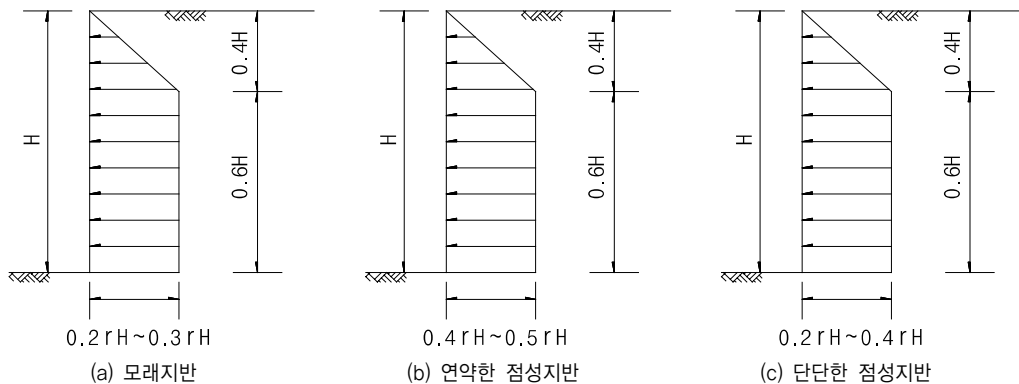
흙막이 벽체의 단면결정을 위한 토압도는 <그림 3.4> 이외의 여러 가지가 방법이 있으므로 현장여건에 맞는 토압을 선정하여 적용할 수 있다.



<그림 3.5> Peck(1969)의 수정토압분포도



〈그림 3.6〉 Tschebotarioff의 토압분포도



〈그림 3.7〉 일본 토목 학회의 토압 분포도

흙막이말뚝, 버팀보, 띠장의 단면계산에 사용하는 토압은 종래 사용되고 있는 Terzaghi Peck이나 Tschebotarioff의 토압으로 버팀보 반력의 측정결과를 정리하여서 얻은 것이다. 여기서 규정된 토압은 많은 측정결과에서 최대치를 포함시켜 결정한 것이다. 이 자료는 점토지반 28개 현장, 34개 자료, 사질지반 16개 현장, 32개 자료로서 굴착깊이가 수m~수십m의 널말뚝 또는 H말뚝에 의한 흙막이벽에서의 측정결과이고, 매우 취약하거나 특이한 지반은 아니며, 수압도 분리되어 있지 않은 것이다. 이러한 토압 실측결과를 정리 검토한 것을 〈그림 3.8〉~〈그림 3.10〉에 제시하였다. 단 이 토압에서 기초가 된 토압 실측 예는 어디까지나 표준적인 지반, 굴착깊이, 시공법에 대한 것이므로 실제의 적용에 다음과 같은 주의가 필요하다.

(가) 흙이 과도하게 교란된 상태에서는 토압이 매우 커지므로 뒤편 토사, 매립토 또는 시공 중 교란된다고 생각되는 경우는 별도 고려한다.

(나) 점성토와 사질토가 층을 이루고 있는 경우는 각 층을 사질토, 점성토(N)5, $N \leq 5$ 의 3종류로 구별하여 각 층 두께의 합계가 제일 큰 것을 이 지반에서의 흙의 종류로 하여 설계 토압을 구한다.

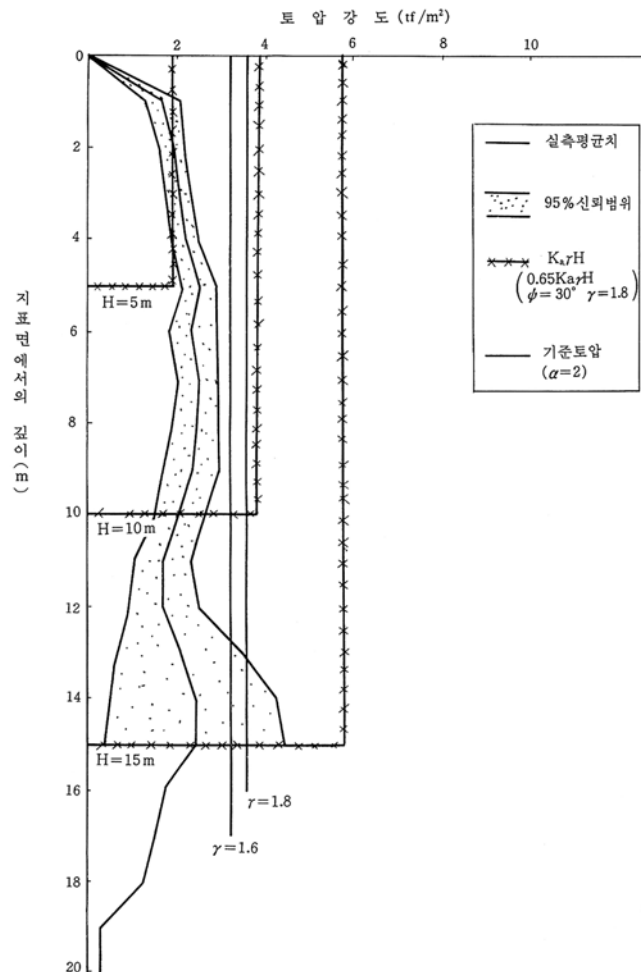
(다) 지반의 평균 단위체적 중량은 지표면에서 가상지지점까지의 사이에서 각 층을 고려하여 <그림 3.11>과 같이 구한다.

(라) 재하하중이 있는 경우의 토압은 최상층 흙의 단위체적 중량 또는 (다)에서 구한 평균단위체적 중량 γ 에서 q/γ (m) 또는 q/γ (m)의 환산 토층두께를 구하여 <그림 3.12>와 같이 적용하기로 한다.

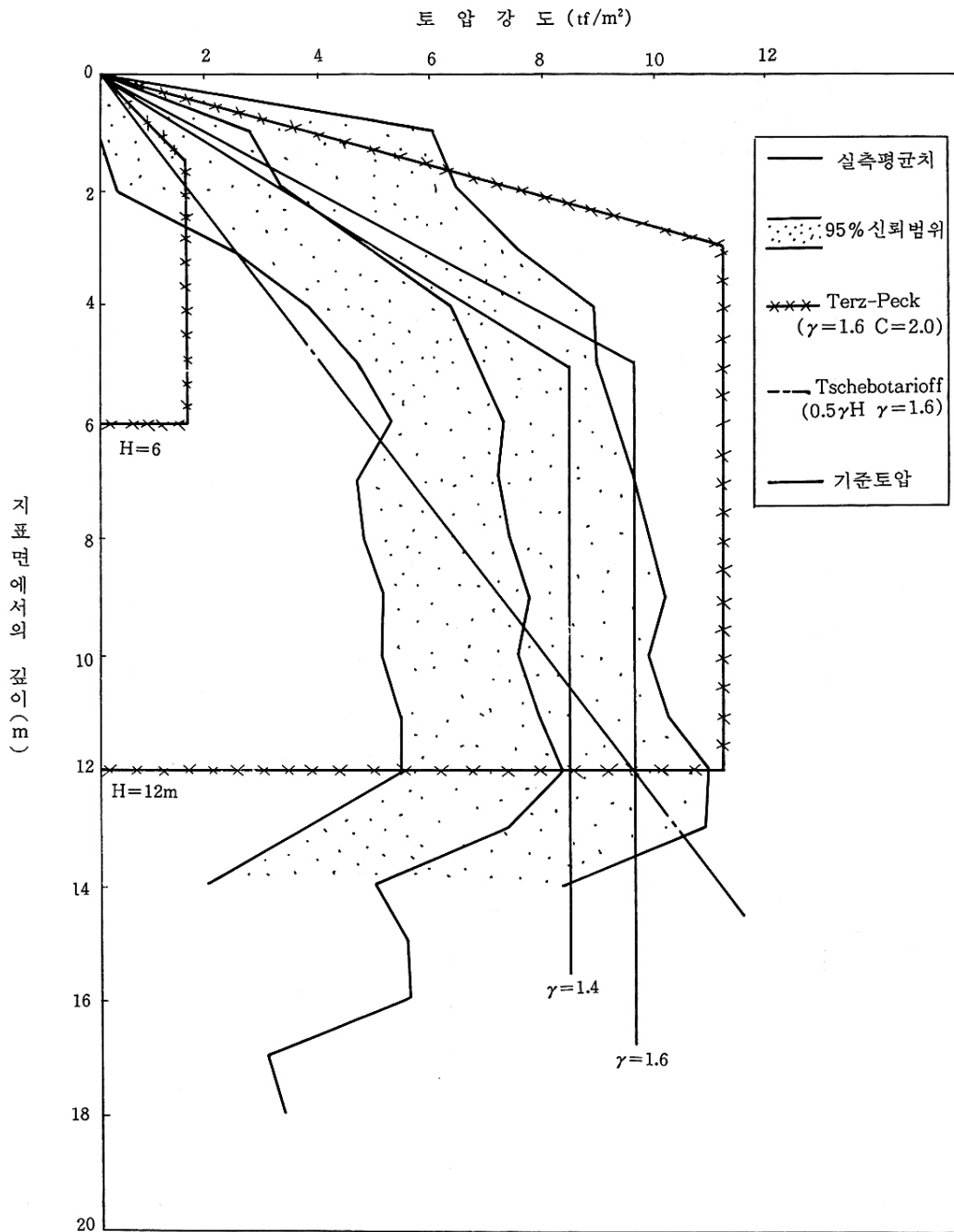
또 근접구조물이 있고 지표면 상의 변위에 제한이 있는 경우에는 버팀보에 축력을 도입해서 억제할 수 있다. 이 경우 토압은 정지토압에 가깝게 된다.

또 연약한 점토지반을 굴착하는 경우는 안정수(stability number), 예민비, 연약층의 두께 등을 고려하여야 하므로 이러한 경우 별도로 토압의 크기에 대해서 추정할 필요가 있다.

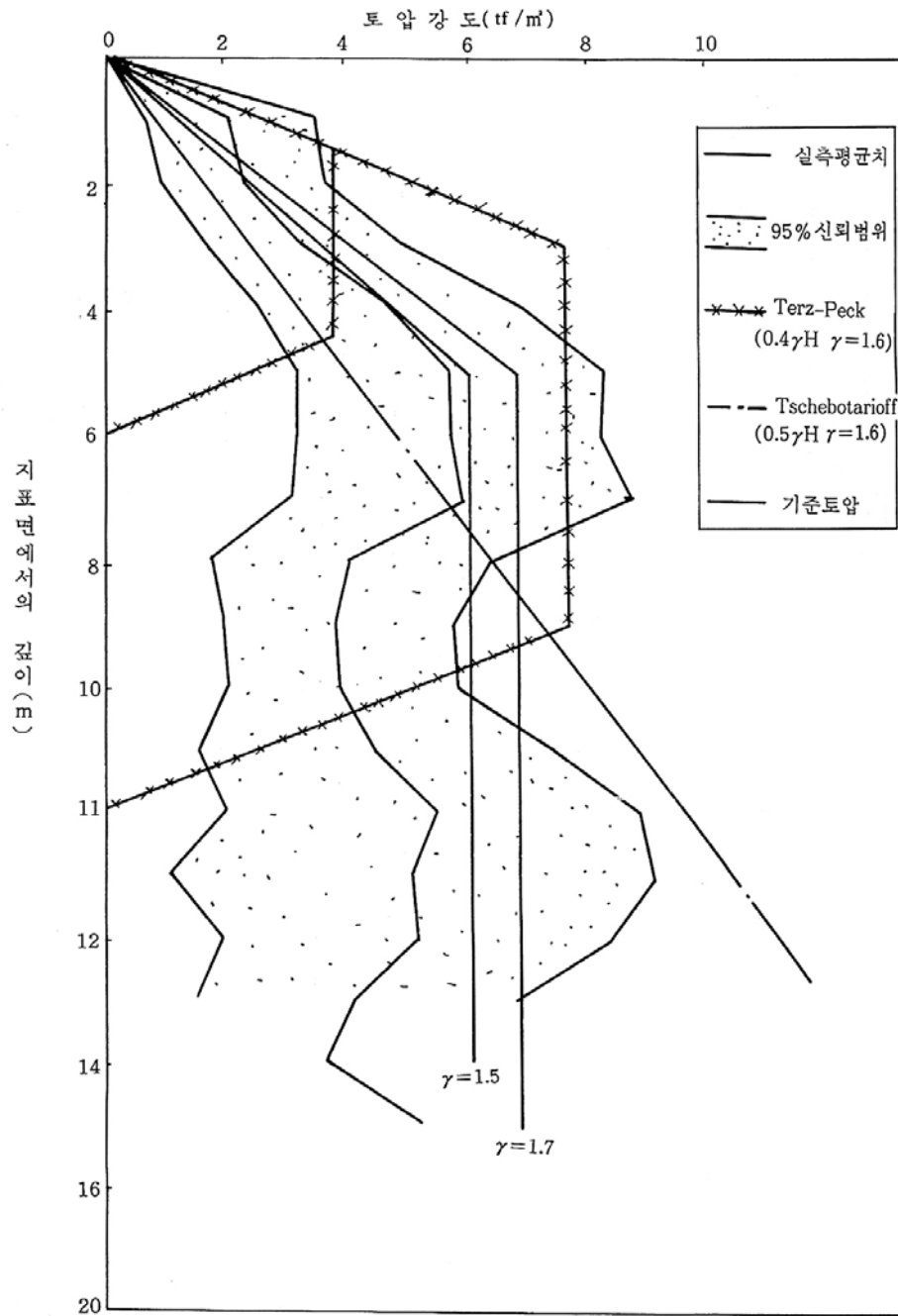
그러나 여기서 규정한 토압은 흙막이공법에 대해서 규정한 것이므로 케이스 지수벽의 설계에 사용하는 토압은 '8. 케이스 지수벽의 설계'에서 규정한 토압을 사용하기로 한다.



<그림 3.8> 버팀보 반력 실측치에서 구한 토압분포(사질지반)



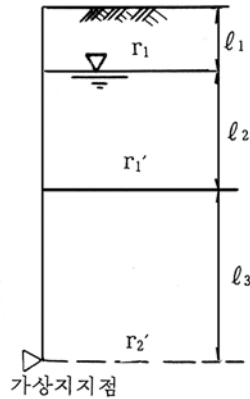
〈그림 3.9〉 버팀보 반력 실측치에서 구한 토압분포(점성지반 $N \leq 5$)



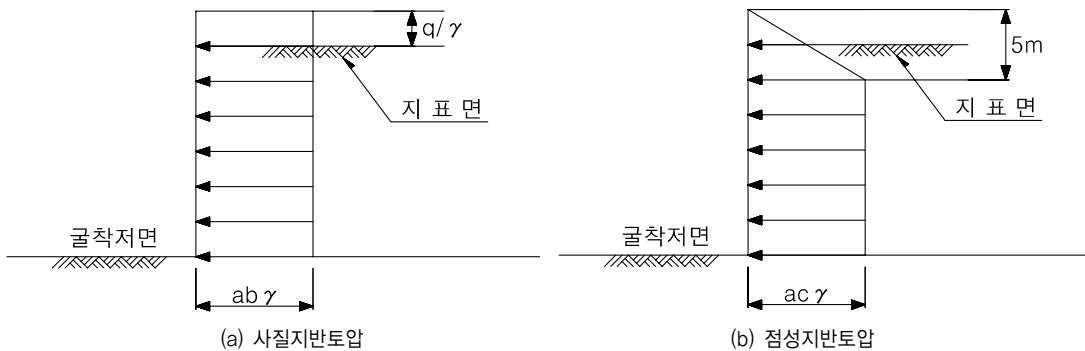
〈그림 3.10〉 버팀보 반력 실측치에서 구한 토압분포(점성지반 N)5)

평균 단위체적 중량

$$\gamma = \frac{\gamma_1 \ell_1 + \gamma'_1 \ell_2 + \gamma'_2 \ell_3}{\ell_1 + \ell_2 + \ell_3} \quad (\text{식 3.3})$$



〈그림 3.11〉 지반의 평균단위 중량



〈그림 3.12〉 재하하중이 있는 경우의 토압

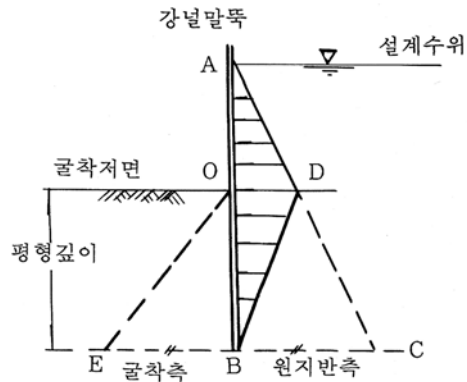
3.1.7 수 압

강널말뚝에 작용하는 수압은 삼각형분포로 한다.

설계수위는 육상에서는 지하수위로 하고 수중에서는 과거의 수위를 조사하여 결정하기로 한다.

강널말뚝에 작용하는 수압을 삼각형분포로 한 것은 〈그림 3.13〉에서와 같이 강널말뚝 선단에서 굴착 축의 수압과 원지반축의 수압이 같다는 가정에서 강널말뚝에 작용하는 수압 $\triangle ABC$ 에서 $\triangle OEB$ 를 뺀 $\triangle ABD$ 로 한 것이다. 작용수압은 토질조건, 수심 등에 의하여 여러 가지로 고려할 수 있지만 계산의 편의를 고려해서 이렇게 정했다.

그러나 토질조건에 의하여 이와 같은 방법이 적당하지 않다고 생각되는 경우 별도 검토하기로 한다.



〈그림 3.13〉 강널말뚝에 작용하는 수압분포

3.1.8 유수압

유수압은 유수방향에 대한 물막이 등의 수직 투영면적에 작용하는 수평 동하중으로 하고 크기는 다음과 같이 한다. 또 작용점은 하상에서 0.6H로 한다.

$$P = 10 \cdot K \cdot V^2 \cdot A \quad (\text{식 3.4})$$

여기서, P : 유수압 (kN)

K : 형상에 따라서 정하는 계수 (〈표 3.4〉)

V : 최대유속 (m/sec)

A : 가설구조물의 수직투영면적 (m²)

H : 수심 (m)

〈표 3.4〉 형상계수

교각의 유수방향 및 단부의 형상	계 수
	0.07
	0.04
	0.02
유송잡물이 집적되는 교각	0.07

3.1.9 온도변화의 영향

온도 변화의 영향은 버팀보방식 H말뚝 흠막이, 널말뚝방식 흠막이의 버팀보에 대해서 고려하고, 축력으로서 120kN이 작용하는 것으로 설계한다.

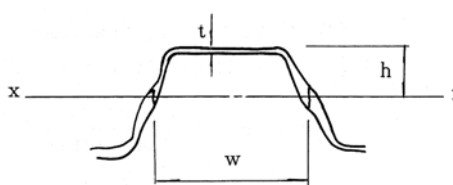
일본 田喜久雄(‘연약지반에서 깊은 오픈커트의 버팀보 하중에 대해서’ 제6회 토질공학연구발표회)의 연구에 의하면 기온 1℃ 상승에 대한 버팀보 반력의 증가는 11~12.5kN 정도로 하고 있다. 여름과 겨울의 연간 기온차에 의한 축력의 변화는 흙의 크리프에 의해서 소거된다고 생각된다. 여름과 겨울의 1일 온도차를 10℃ 정도라 한다면 축력의 증가량은 약 120kN 정도가 된다. 따라서 온도변화의 영향에 의한 버팀보에는 120kN의 축력이 작용하는 것으로서 설계하기로 한다.

3.2 재 료

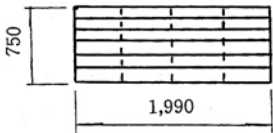
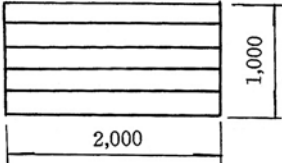
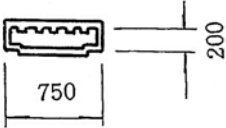
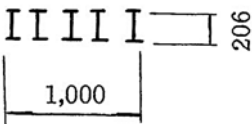
가설구조물에 사용하는 재료에는 현저한 손상이 없고 구입이 용이한 것을 사용하는 것을 원칙으로 한다.

여기서 말하는 재료는 강재와 복공판을 말하고, 비교적 사용빈도가 높은 것을 <표 3.5>~<표 3.6>에 제시한다. 이 표 이외의 것을 사용할 때에는 시장성을 조사해서 구입이 용이한 것을 사용할 필요가 있다. 또 동등품 이상으로 간주되는 경우에는 표 이외의 제품을 사용하여도 좋다.

<표 3.5> U형 강널말뚝의 크기 및 단면 제원

	치 수(mm)			중 량(N/m)		단면계수(cm ³)		단면이차모멘트(cm ⁴)	
	W	h	t	1개 당	폭 1m 당	1개 당	폭 1m 당	1개 당	폭 1m 당
I 형	400	75	8.0	365	912	66.4	509	429	3,820
Ⅱ 형	400	100	10.5	180	1200	121	869	985	8,690
Ⅲ 형	400	125	13.0	600	1500	196	1,310	1,920	16,400
Ⅳ 형	400	155	15.5	761	1900	311	2,060	3,690	31,900
V 형	500	200	24.3	1,050	2,500	520	3,150	5,950	55,200
비 고									

〈표 3.6〉 강제 복공판

형 상	평 면 도	바닥판무늬 형강 1,990 × 750 × 200 	H 형강 2,000 × 1,000 × 206 
	단 면 도		
설 계 하 중		DB-24	DB-24
고정하중 (kgf / m²)		180	182
복공받침보에 고정방법		낙하식	낙하식, 체결식

3.3 허용응력

3.3.1 강 재

(1) 흙막이, 가교용 가설강재의 허용응력

흙막이 등의 가설강재의 허용응력은 〈표 3.7〉과 같다.

〈표 3.7〉 가설강재의 허용응력(SS400, SM400, SM41)

허용축방향 인장응력		210MPa
허용축방향 압축응력	$\ell / r \leq 20$	210MPa
	$20 < \ell / r < 93$	$\{140 - 0.84(\ell / r - 20)\} \times 1.5\text{MPa}$
	$\ell / r \geq 93$	$\left\{ \frac{1,200,000}{6,700 + (\ell / r)^2} \right\} \times 1.5\text{MPa}$
	ℓ	: 부재의 길이 (mm)
	r	: 부재의 총단면 2차반지름(mm)
허용 휨인장응력		210MPa
허용 휨압축응력	$\ell / b \leq 4.5$	210MPa

$$4.5 \leq \ell / b \leq 30 \quad \{(140 - 2.4(\ell / b - 4.5)) \times 1.5 \text{MPa}\}$$

ℓ : 플랜지 고정점 간 거리(mm)

b : 압축플랜지폭 (mm)

허용 전단응력 120MPa

볼트의 허용 전단응력(MPa)

볼트의 등급	B8T	B10T
허용전단응력	220	285

볼트의 허용 지압응력(MPa)

두께 \ 강종	SS400
40mm 이하	360
40mm 초과 75mm 이하	330

공장용접부는 모재와 같은 값을 사용하고 현장용접부는 모재의 90%로 한다.

주) 볼트의 허용응력은 지압이음용 고장력 볼트에 대한 것이며 볼트 등급에 따라 허용응력값은 변경됨

(2) 강널말뚝의 허용응력

강널말뚝의 허용응력은 <표 3.8>와 같다.

<표 3.8> 강널말뚝의 허용응력

강널말뚝 모재의 허용응력

허용 휨인장응력 270MPa

허용 휨압축응력 270MPa

현장용접부의 허용응력

1. 타입 전에 널말뚝을 뉘여서 양호한 시공조건에서 용접이 가능한 경우

맞댐용접 허용 휨인장응력 220MPa

맞댐용접 허용 휨압축응력 220MPa

필릿용접 허용 전단응력 130MPa

2. 현장타입 용접의 경우

맞댐용접 허용 휨인장응력 140MPa

맞댐용접 허용 휨압축응력 140MPa

필릿용접 허용 전단응력 80MPa

- (1) 사용실적에서 보면 SS400 이상의 강재가 대부분이므로 재료의 기본강도는 SS400재를 기초로 정했다.

또 가설용 강재는 사용빈도가 많아서 단면결손이 있는 것을 고려하면 항복강도까지 사용하는 것은 바람직하지 않다. 따라서 이 기준에서 ‘도로교설계기준 강교 편 3.3.2.1 구조용 강재의 허용응력’의 값을 50% 할증한 값을 취하여 <표 3.7>과 같이 정했다.

- (2) 강널말뚝 모재의 허용응력은 일반 시장에 나와 있는 강널말뚝 재질(항복점 강도 $f_y=300\text{MPa}$)이 일반 가설강재와 같다고 하여 50% 할증한 값을 취하여 <표 3.8>와 같이 정했다. 3종 강널말뚝을 사용하는 경우에는 같은 방법으로 휨인장, 휨압축 모두 360MPa를 써도 좋다.

현장용접부의 허용응력 중 타입 전에 널말뚝을 기울여서 하향자세로 양호한 용접이 가능한 경우는 모재의 80% 값을 사용하기로 했다. 현장타입 용접으로는 선행 널말뚝을 타입한 후 접속하는 널말뚝을 연직으로 세운 상태에서 이음을 용접하는 것으로 비계의 불량, 상하 널말뚝의 어긋남, 타입에 의한 변형 등의 악조건을 생각할 수 있다. 따라서 현장 타입용접부의 허용응력은 모재의 50% 정도로 했다.

3.3.2 콘크리트

	종 류	철근 콘크리트(MPa)
1	허용휨압축응력	$0.4f_{ck}$
2	허용휨인장응력 (무근확대기초와 벽체에서)	$0.13\sqrt{f_{ck}}$
3	허용압축응력 (무근확대기초와 벽체에서)	$0.25f_{ck}$
4	허용전단응력 -콘크리트의 허용전단응력 -전단보강이 있는 부재	$0.08\sqrt{f_{ck}}$ $0.32\sqrt{f_{ck}}$
5	허용지압응력	$0.25f_{ck}\sqrt{\frac{A_c}{A_b}} \leq 0.5f_c$

여기서, f_{ck} : 콘크리트의 28일 설계기준강도 (MPa)

- (1) 콘크리트 지수벽의 설계하중 조합 및 강도감소계수의 적용은 ‘콘크리트 구조설계기준 3.3.3 설계강도’를 따른다.

(1) 가설구조물중 지수벽에 사용하는 철근콘크리트는 일반적으로 $f_{ck}=24\text{MPa}$ 가 사용되고 있으며 허용응력은 50% 할증한 값으로 했다.

무근콘크리트의 허용응력은 50% 할증한 값으로 했다. 그 외 가설구조물에 사용하는 콘크리트의 허용응력에 대해서는 별도 결정하기로 한다.

3.3.3 철 근

철근의 허용 인장응력은 <표 3.9>에 제시한 값 이하로 한다.

<표 3.9> 철근의 허용 인장응력 $f_{sa}(\text{MPa})$

철근의 종류	SD 300	SD 400
허용인장응력	225	270

철근의 허용 인장응력은 ‘도로교 설계기준 콘크리트교편 4.5.2.2 철근의 허용응력’ 규정을 사용하여 가설구조물에 적용하므로 50% 할증한 값으로 했다.

3.3.4 목 재

흙막이판에 이용하는 목재의 허용응력은 <표 3.10>와 같다.

<표 3.10> 목재의 허용응력

목 재 의 종 류		허용응력 (MPa)		
		압 축	인장, 휨	전 단
침엽수	육송, 해송, 낙엽송, 노송나무, 솔송	12.0	13.5	1.05
	삼나무, 전나무, 가문비나무, 미삼나무	9.0	10.5	0.75
활엽수	떡갈나무	13.5	19.5	2.1
	밤나무, 졸참나무, 너도밤나무, 느티나무	10.5	15.0	1.5
	나왕	10.5	13.5	0.9

목재의 섬유방향의 허용휨응력, 허용압축응력 및 허용전단응력의 값은 <표 3.10>의 목재의 종류에 따라 다음 값 이하로 한다.

3.4 토질상수

가설구조물 설계에 이용하는 토질상수는 「제 8-3편 교량 하부구조물」 ‘2.2 흙의 단위체적 중량과 2.3 흙의 전단강도’에 따라도 좋지만 구조물의 규모에 따라 적절한 토질시험을 하기로 한다.

이 조항에서 정한 정수는 재래지반에 대해서 정한 것이므로, 재료로 재사용된 흙(예를 들면 이중물막 이의 뒤채움 토사)에 대해서는 별도로 정하기로 한다. 또 암반에 대해서도 별도로 검토하여 정하기로 한다.

3.5 말뚝의 허용지지력

(1) N값 30 이상의 사질토층과 단단한 실트층 및 N값 10 이상의 점성토층에 3m 이상 근입시키면 지지력 계산을 하지 않아도 좋다. 단 이 경우에도 말뚝의 허용지지력은 지반이 양호하여도 일반적으로 <표 3.11>의 값 이상을 취하지 않기로 한다.

<표 3.11> 허용지지력

말뚝의 크기	허용지지력
H - 400	600kN
H - 350	450kN
H - 300	300kN

여기서 말하는 근입이란 어스 오거 등으로 보링한 것이 아니고 타격에 의하여 관입시킨 것이다.

(2) 양질의 층에 3m 이상 근입시킨 경우 외에는 극한지지력을 계산에 의해서 구하고 그 값을 안전을 2로 나누어 허용지지력으로 한다.

극한지지력은 식(3.5)에 의해서 구한다.

$$Q_u = 20N \cdot A + (N_c \cdot A_c + 0.2N_s \cdot A_s) \cdot \alpha \cdot \beta \quad (\text{식 3.5})$$

여기서, Q_u : 말뚝 극한지지력 (kN)

N : 말뚝의 선단지반의 N값

A : 말뚝의 양플랜지로 둘러싼 면적 (<그림 3.14>)

N_c : 말뚝선단까지의 점성토층의 N값의 평균치

A_c : $U \cdot \ell_c (\text{m}^2)$

N_s : 말뚝선단까지의 사질토층의 N값의 평균치

A_s : $U \cdot \ell_s (\text{m}^2)$

α : 시공조건에 의한 정수 (<표 3.12>)

β : 말뚝 주위에 흙이 있을 때 1.0 (말뚝의 근입부분) 말뚝 한면이 굴착될 때 0.5 (흙막이 말뚝의 굴착저면 이상의 부분)

U : 말뚝의 주장 {<그림 3.14의 $2(a+b)$ >}(m)

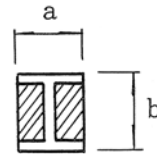
ℓ_c : 점성토층 중의 말뚝길이 (m)

ℓ_s : 사질토층 중의 말뚝길이 (m)

이 식에 의한 경우에는 말뚝선단 2m는 타격에 의하여 근입시키는 것이 바람직하다.

<표 3.12> α 의 값

보링에 의한 시공	모르타르 채움	0.8
	모래 채움	0.5
타격에 의한 시공		1.0



<그림 3.14> 말뚝의 주장

말뚝은 확실한 지지층에 타입, 지지시키는 지지말뚝이 원칙이지만, 버팀보방식 H말뚝 흙막이, 가교에 사용하는 말뚝의 허용지지력은 ‘도로교 하부구조 설계지침 말뚝기초의 설계편 말뚝의 허용지지력’의 규정과 다르고, 근입깊이가 얇은 것, 영구구조물에 비해서 침하량이 비교적 커도 상관없는 것, 사하 중 보다 재하시간이 짧은 활하중이 차지하는 비율이 큰 것에서는 이와 같이 정했다.



4. 버팀보방식 H말뚝 흙막이공의 설계

4.1 설계방침

버팀보방식 H말뚝 흙막이공의 설계에서는 안전성 및 경제성을 고려함과 동시에 특히 공법상의 특성에 유의하여 설계할 필요가 있다.

버팀보방식 H말뚝 흙막이공은 강널말뚝방식 흙막이공과 달리 흙막이벽에 지수성이 없고, 근입부에서는 흙막이벽이 흙막이 말뚝에서 불연속이 되므로 보일링·부풀음현상의 가능성이 있는 지반이나 피압수가 있는 지반에서는 부적당하고, 하중으로서 수압이 발생하는 지반에 사용하여서는 안 된다. 따라서 외력으로 토압만을 생각하면 된다.

흙막이 말뚝의 근입계산 시 토압으로는 Rankine - Resal의 토압[‘3.1.6 토압’의 (1)]을 사용하고, 흙막이판·흙막이 말뚝·띠장·버팀보·경사보강재의 단면계산에는 단면결정응 토압[‘3.1.6 토압’의 (2)]를 사용한다. 〈그림 4.1〉에 일반적인 설계계산 흐름도를 제시한다.

4.2 재 료

흙막이용 재료는 설계계산에 맞는 재질·치수로 현저한 손상이 없고, 구입이 용이한 것을 선택·사용한다.

흙막이용 재료는 횡널말뚝 등의 일부를 빼고 거의 강재가 사용되고 있다. 흙막이의 설계에서는 사용하는 재료의 시장성을 조사하여 용이하게 구입할 수 있는 것을 선택하는 것이 좋다(표 3.5). 흙막이에 작용하는 힘은 명확하지 않아서 예측하기 어려운 하중이 작용하는 경우도 있으므로 흙막이 말뚝이나 버팀보, 띠장에서는 원칙적으로 H-300을 최소부재단면으로 하는 것이 좋다. 그러나 시공 상 문제나 타설 시 매입저항, 시장성 및 현장여건을 고려하여 책임기술자의 판단에 의하여 결정하여도 좋다.

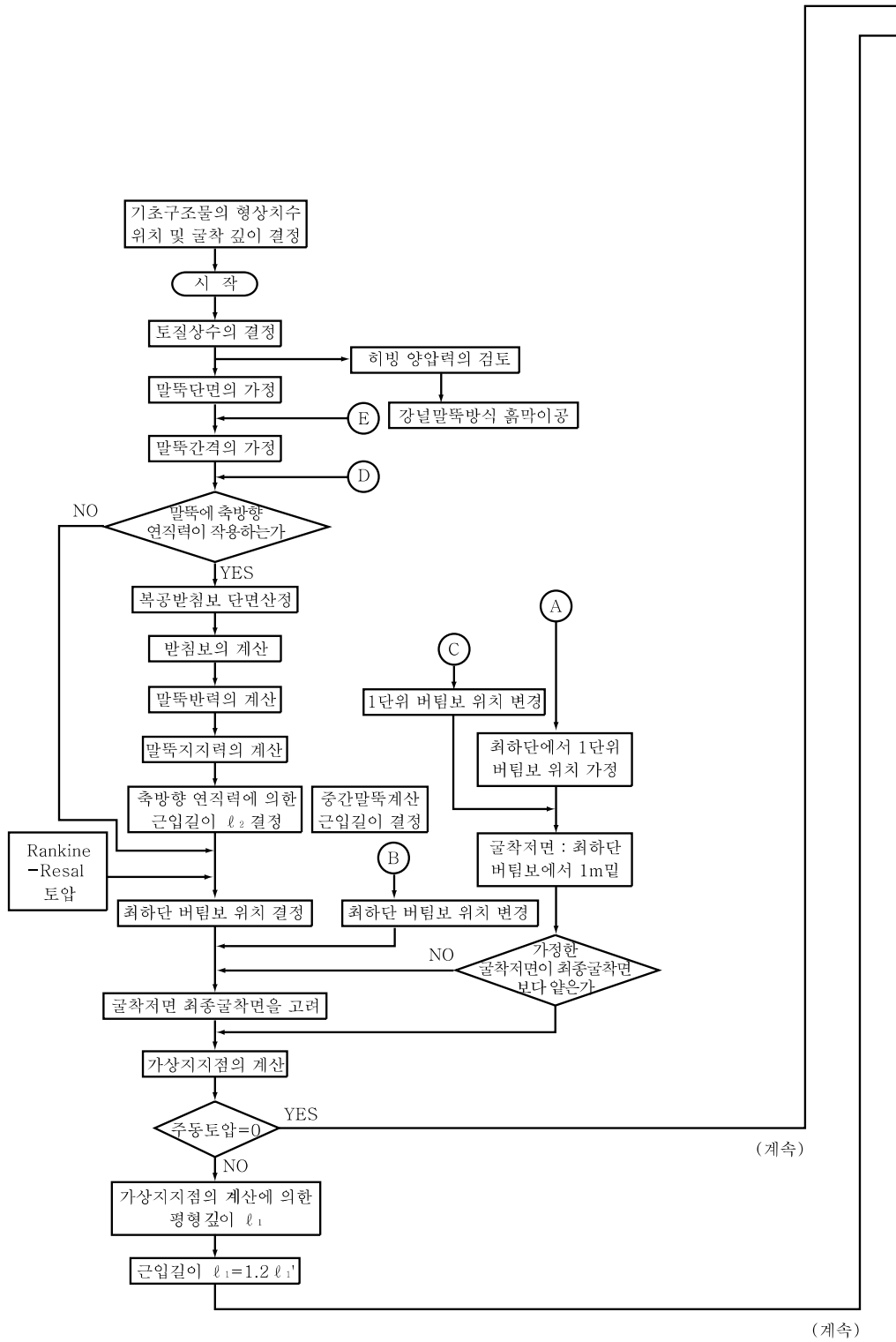
4.3 흙막이 말뚝

4.3.1 근입지반의 안정

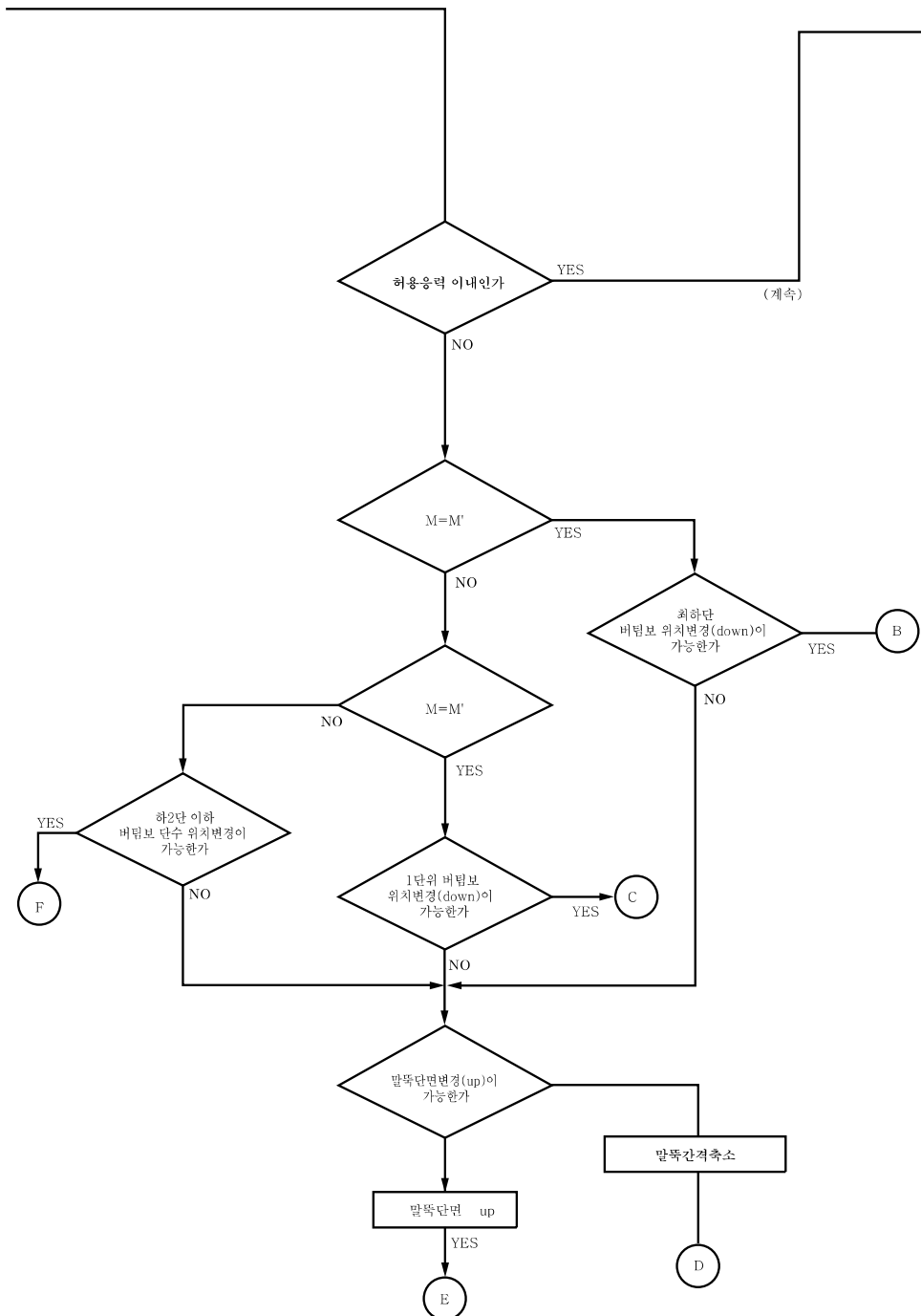
굴착의 형상, 치수, 토질상수, 지하수위 등에 기초하여 부풀음, 양압력을 검토한다.

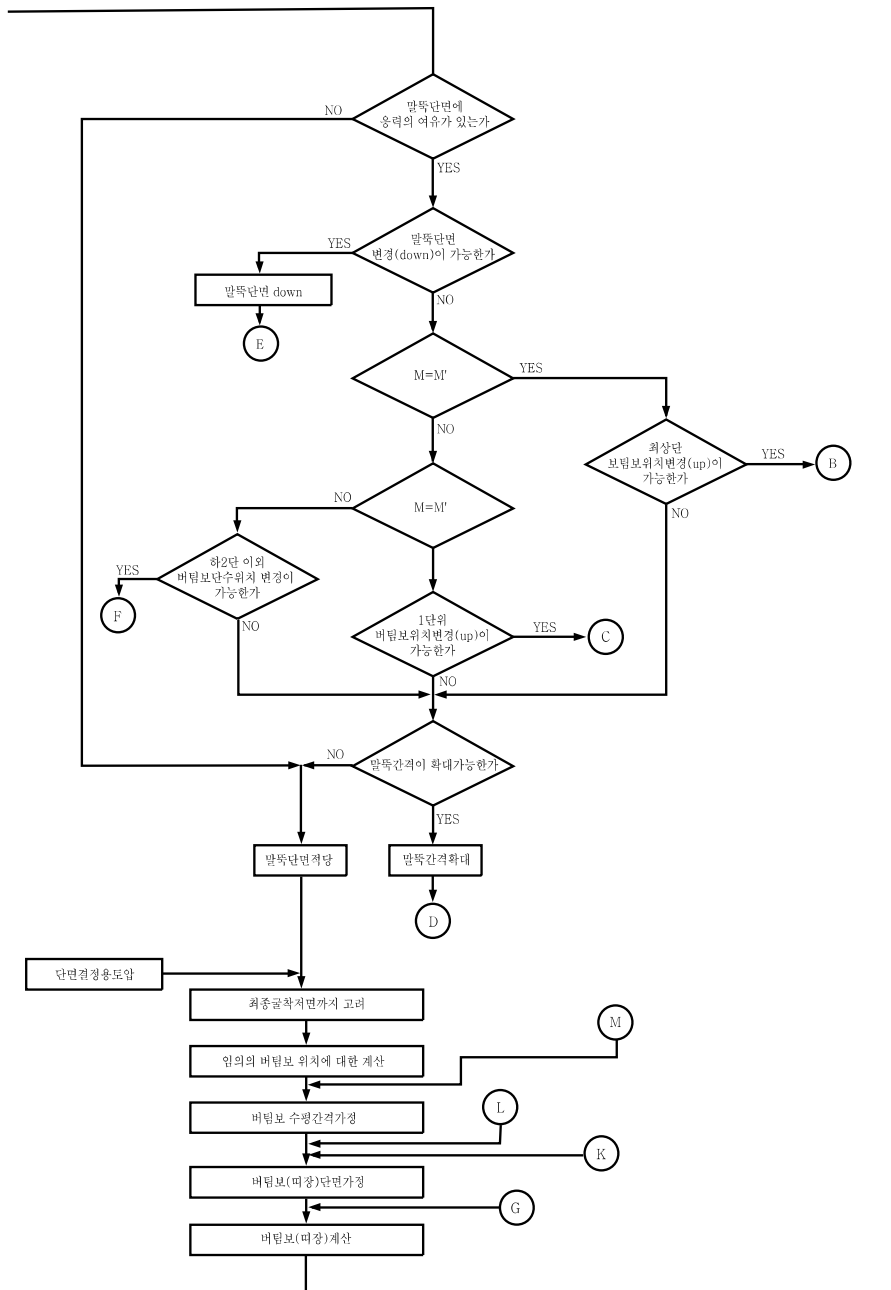
‘5. 3. 2 부풀음’과 ‘5. 3. 3 양압력의 검토’와 같이 부풀음, 양압력에 대하여 검토한다. 보일링에 대해서는 버팀보방식 H말뚝 흙막이공의 선정조건에서 검토할 필요는 없다.

만약 피압수에 의한 부풀음이 일어나는 지반이면 강널말뚝방식 흙막이공으로 변경하든가, 저반개량공, 배수공 등의 보조공법의 병용이 필요하다.









4.3.2 흙막이 말뚝의 지지력

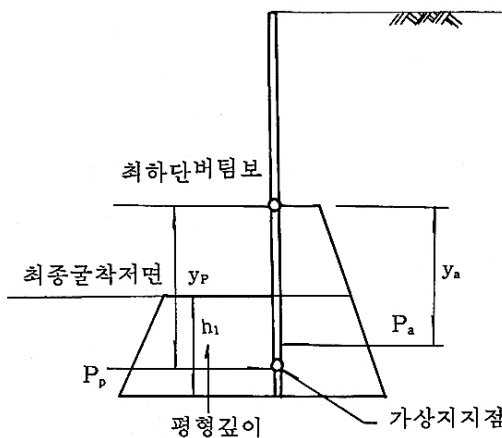
흙막이 말뚝에 축방향 연직력이 작용하는 경우 '3.5 말뚝의 허용지지력'에 의하여 흙막이 말뚝의 지지력을 계산한다.

4.3.3 평형깊이 및 가상지지점을 구하는 법

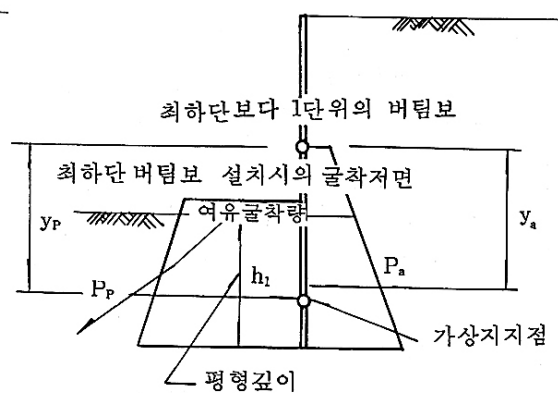
최하단 버팀보 및 그 1단 위의 버팀보에 관하여 이보다 아래 방향의 주동토압에 의한 작용 모멘트와 수동토압에 의한 저항모멘트가 평형인 상태가 될 때 굴착저면 이하의 깊이를 평형깊이라 하고 이 때 수동측 합력의 작용점을 가상지지점으로 한다.

이 계산은 말뚝의 근입에 대한 소위 안정계산이다.

Rankine - Resal의 이론에 의하여 주동토압, 수동토압을 구하고 $y_p \cdot P_p = y_a \cdot P_a$ 로 될 때 굴착저면 이하의 깊이가 평형깊이(〈그림 4.2〉~〈그림 4.3〉의 h_1)이고, 수동토압의 합력 P_p 의 작용점이 가상지지점이다. 단, 최하단 버팀보 설치 시 여유굴착량은 1.0m 정도로 한다.



〈그림 4.2〉 최종 굴착 시의 계산
(최하단 버팀보의 계산)



〈그림 4.3〉 최하단 버팀보 설치 시의 계산
(최하단 버팀보보다 1단 위의 계산)

평형깊이의 계산은 Rankine - Resal의 토압을 이용하고, 〈그림 4.2〉, 〈그림 4.3〉과 같이 굴착 완료 시 및 최하단 버팀보 설치 직전에 대해서 계산한다. 주동토압의 작용 폭은 굴착저면 보다 위에서는 흙막이 말뚝 사이로 하고 굴착저면 이하의 주동·수동토압은 버팀보방식 H말뚝 사이의 아치액션을 고려하여 말뚝 폭의 2~3배를 취할 수도 있지만 정확히 밝혀져 있지 않은 상태이고, 설계 예 및 안

전성을 고려하여 말뚝 폭으로 한다. 흙막이 말뚝 측면저항은 고려하지 않아도 좋다.

굴착면 보다 위의 흙의 단위체적중량은 이 설계요령 「제 8-3편 교량 하부구조물」 ‘2.2 흙의 단위체적 중량’의 습윤중량을 취한다. 굴착면 보다 아래이거나 지하수면 아래의 흙에 대해서는 투수성 모래의 경우 부력을 빼지만, 점성토에서는 습윤중량을 사용한다.

토질이 좋고 주동토압이 계산상에 나타나지 않거나 나타나도 작은 경우의 가상지지점의 최소위치는 ‘4.3.4 흙막이 말뚝의 근입길이’에서 최소 근입길이의 1/2, 즉 굴착저면 이하 750mm로 한다.

4.3.4 흙막이 말뚝의 근입길이

흙막이 말뚝의 근입길이는 평형깊이의 1.2배로 하고, 1.5m를 만족하지 않을 때는 1.5m로 한다.

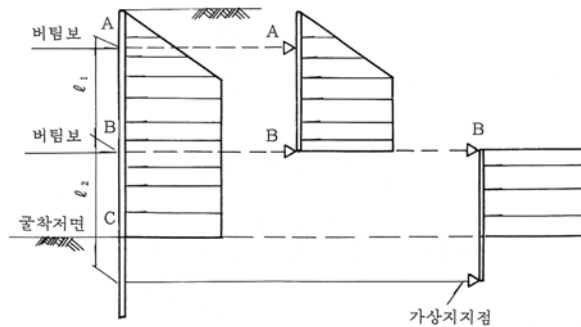
흙막이 말뚝의 근입길이는 ‘4.3.3 평형깊이 및 가상지지점 구하는 법’에서 구한 평형깊이의 2가지 경우에 대해서 구하고 큰 쪽을 취한다. 토질이 양호하고 평형깊이가 극히 작든가 구할 수 없는 경우의 최소근입길이는 1.5m로 한다.

4.3.5 흙막이 말뚝의 단면계산

흙막이 말뚝의 단면은 ‘3.1.6의 (2)’의 토압분포를 이용하고, 흙막이 말뚝 간격분의 토압을 하중으로 하여 버팀보 위치 및 가상지지점을 지점으로 하는 단순보로서 계산한다. 또, 축방향 연직력이 작용할 때는 이것을 고려해서 계산하여야 한다.

가상지지점은 ‘4.3.3 평형깊이 및 가상지지점 구하는 법’에서 서술했듯이 최종 굴착 시와 최하단 버팀보 설치 시 2가지 경우에 대해서 구한다. 흙막이 말뚝에 작용하는 휨모멘트는 〈그림 4.4〉와 같이 버팀보 위치와 가상지지점을 지점으로 한 단순보로서 계산한다.

또 축방향 연직력이 작용할 때는 축력과 힘이 동시에 작용하는 부재로서, ‘도로교설계기준 강교편 3.4.3 축방향력 및 휨모멘트를 받는 부재’에 의하여 검토할 필요가 있다. 이때 좌굴길이는 〈그림 4.4〉에서 l_1 , l_2 로 한다.



〈그림 4.4〉 띠장 및 버팀보에 작용하는 하중

4.3.6 흙막이 말뚝의 간격

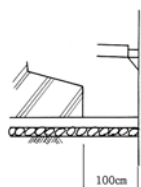
흙막이 말뚝의 중심간격은 1.5m를 표준으로 한다. 이에 의하지 않는 경우에도 1m 이상 2m 이하의 범위를 원칙으로 한다.

시공 예의 결과에서 흙막이 말뚝의 간격은 1~2m 정도가 사용되고 1.5m가 표준이다. 지하 매설물이나 시공조건 등에 따라 흙막이 말뚝의 간격이 넓어질 수도 있으므로 이 때는 충분한 검토가 필요하다.

4.3.7 흙막이 말뚝과 구조물과의 간격

구축하는 구조물과 흙막이 말뚝과의 순간격은 구조물의 시공조건, 버팀보, 띠장의 설치위치, 굴착에 수반되는 흙막이 말뚝의 부풀음, 타입오차 등을 고려해서 결정하기로 한다.

구축하려고 하는 구조물과 흙막이 말뚝과의 순간격은 최하단 버팀보를 기초부에 설치하는 경우와 기초 위에 설치하는 경우에 따라 다르지만 일반적으로 띠장 또는 흙막이 말뚝에서 1m를 생각하면 충분하다.



〈그림 4.5〉 구조물과 흙막이 말뚝의 간격

4.3.8 버팀보, 띠장 철거 시의 검토

버팀보, 띠장 철거 시의 검토는 흙막이 말뚝의 지간이 굴착단계의 상태보다도 긴 때에 흙막이 말뚝의 단면, 버팀보, 띠장을 계산한다.

되메우기 시점에서 버팀보, 띠장의 철거는 설치의 역순으로 하는 것이 보통이다. 기초나 콘크리트에서 버팀보를 철거하는 것이 일반적이므로, 굴착 시 보다는 안전측이라고 말할 수 있다. 그러나 흙막이 말뚝의 지간이 굴착단계의 상태보다도 길어질 때가 많으므로 이때에는 흙막이 말뚝의 단면, 버팀보, 띠장을 계산할 필요가 있다. 또, 가상지지점은 버팀보의 위치나 다짐상태의 뒤편으로 비탈면 보다 아래로 1m인 위치로 한다.

4.4 중간말뚝

- (1) 중간말뚝에는 버팀보의 좌굴구속을 위한 것과 흙막이가 복공판을 받치는 경우 복공받침보로 부터 재하중을 받는 것이 있으며, 양자를 겸용하는 경우는 충분히 검토하여야 한다.
- (2) 중간말뚝은 말뚝에 작용하는 축방향 연직력에 대해서 ‘3.5 말뚝의 허용지지력’에 의하여 허용지지력을 검토하고 주부재로서 좌굴을 계산한다.

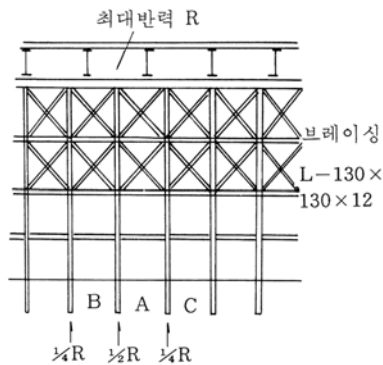
(1) 중간말뚝을 좌굴구속점으로 간주하기 위해서는 버팀보와 중간말뚝을 볼트 등으로 체결하여야 한다. 또 버팀보 교점의 침하, 이동은 흙막이공 전체의 파괴를 일으키며, 가교의 부분 복공에 의한 활하중에 의하여 가로흔들이가 흙막이공에 나쁜 영향을 미치므로 주의하여야 한다. 한편 전면 복공의 경우는 흙막이 전체의 강성은 증가하지만 중간말뚝의 지지력 및 침하에 대해서 안전을 확인하여, 버팀보나 중간말뚝에 가새(브레이싱)를 붙이거나 필요에 따라서 침하방지 장치를 설치할 필요가 있다.

(2) 중간말뚝에 작용하는 축방향 연직력은

- (가) 복공받침보에 재하된 제하중에 의해서 생기는 최대반력
- (나) 버팀보 좌굴에 수반되는 전단력
- (다) 버팀보, 경사보강재 자중 및 적재하중

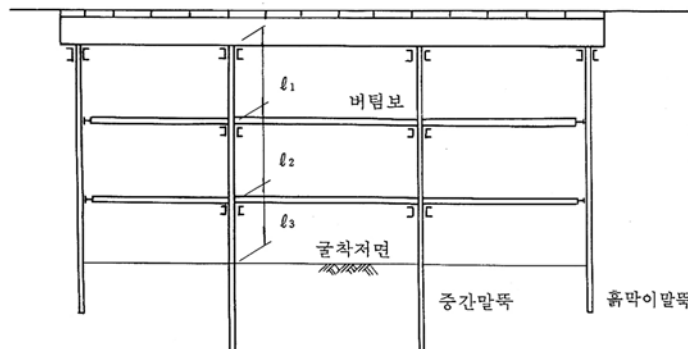
(라) 중간말뚝 자중이다.

- (a) 중간말뚝이 적절한 강성을 갖는 가새(브레이싱)에 의해서 연결되었을 때는 최대반력이 전후의 중간말뚝에 분배된다고 생각하여도 좋다. 연속굴착에 사용하는 중간말뚝으로 <그림 4.6>과 같이 가새(브레이싱)로 강결시킨 경우에는 중간말뚝 A에 작용하는 축방향 연직력은 전후의 중간말뚝 B와 C로 분배된다. 분배의 정도는 가새(브레이싱)의 강성이나 배치에 따라서 다르지만 <그림 4.6>과 같이 부재를 배치하면 중간말뚝 A는 최대반력의 1/2만을 받는다고 생각하여도 좋다.



<그림 4.6> 중간말뚝 반력의 분배

- (b) 버팀보 교점은 좌굴구속점으로 간주하므로 좌굴에 충분히 저항하여야 한다. 좌굴에 수반되는 전단력은 축력의 1/50으로 한다.
- (c) 버팀보, 경사보강재의 자중에 적재하중을 가한 것 또는 자중을 포함하여 5kN/m의 연직하중을 고려한다(‘4.6.4 버팀보의 계산’ 참조). 따라서 축방향 연직력으로는 (가)~(라)를 가산하고 인발력으로는 (나)가 상향으로 작용한다고 생각하여 (나)에서 (다)(적재하중은 제외한다) (라)를 뺀 것으로 생각한다. 단면계산은 기둥으로서 좌굴을 계산하며 이 때 좌굴길이는 <그림 4.7>과 같이 중간말뚝 끝단과 버팀보 교점 간(ℓ_1), 버팀보 교점 간(ℓ_2), 버팀보 교점과 굴착저면 간(ℓ_3)으로 한다.



<그림 4.7> 중간말뚝의 좌굴길이

4.5 흙막이판

흙막이판은 최종 굴착깊이에서의 토압강도에 따라서 계산된 판두께를 굴착면 전체에 사용하고, 양단이 40mm 이상 또는 판두께 이상이 흙막이 말뚝 플랜지에 걸치도록 한다.

흙막이 판 두께는 다음 식에 의하여 구하여도 좋다.

$$t = \sqrt{\frac{6M}{bf}} \quad (\text{식 4.1})$$

여기서, t : 판두께 (mm)

b : 판폭 (1m)

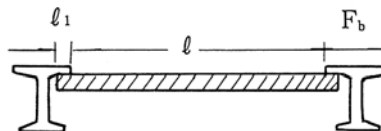
f : 허용응력(MPa)

M : 작용모멘트 ($= W\ell^2/8$)

W : 토압강도(N/m) ('4.3.5 흙막이 말뚝의 단면계산'의 토압을 사용한다)

ℓ : 흙막이 판의 계산 지간(m)으로 흙막이 말뚝 플랜지 간 거리

이때 최소 판두께는 30mm, 플랜지에 걸리는 길이는 40mm로 규정한다.



ℓ_1 = 판두께 이상, 40mm 이상

〈그림 4.8〉 흙막이판의 설치

4.6 띠장 및 버팀보

4.6.1 띠장 및 버팀보의 간격

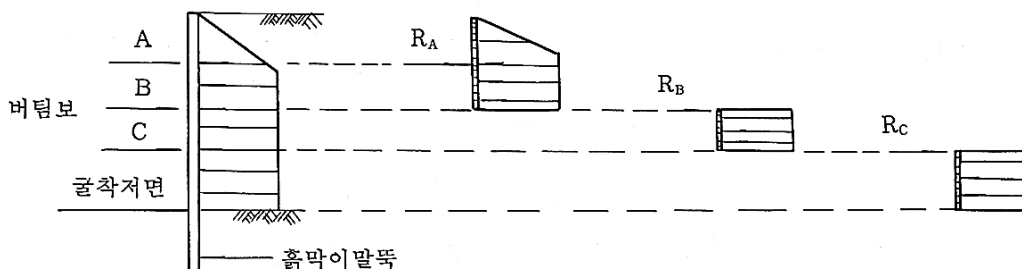
- (1) 띠장의 수직간격은 3m 정도로 하고 흙막이 말뚝머리에서 1m 이내에 제1단째의 띠장을 넣는 것을 원칙으로 한다. 단 복공받침보나 매설물이 있는 경우는 이에 준하지 않는다.
- (2) 버팀보 간격은 수평으로는 5m 이하, 수직으로는 3m 정도로 한다.
- (3) 띠장의 이음간격은 6m 이상으로 한다.

이 원칙 외에 구조물 각 부재의 위치, 시공순서 등을 고려하여 결정할 필요가 있다.

4.6.2 띠장 및 버팀보에 작용하는 하중

띠장 및 버팀보에 작용하는 하중은 최종굴착상태에서 ‘4.3.5 흙막이말뚝의 단면계산’의 토압 분포를 이용하고 하방향분담법으로 구한다.

띠장 및 버팀보에 작용하는 하중은 굴착상태에서 (그림 4.9)와 같이 띠장, 버팀보에 작용하는 힘이 이 버팀보와 아랫방향의 버팀보와의 사이 토압이라고 생각하는 하방향 분담법으로 계산한다. 이것은 하단버팀보가 설치되어도 상단버팀보 반력은 그다지 변화하지 않는다는 측정 예에 기초하고 있다. 이 방법으로 얻어진 그림의 면적이 띠장의 단위길이 당 작용하는 하중이고 이것에 버팀보 간격을 곱한 결과가 버팀보 반력이 된다.



〈그림 4.9〉 띠장 및 버팀보에 작용하는 하중

4.6.3 띠장의 계산

띠장은 ‘4.6.2 띠장 및 버팀보에 작용하는 하중’에서 구하여진 반력을 하중으로 하고, 버팀보를 지점으로 한 단순보로써 계산한다. 기초와 굴착 평면형상이 장방형인 경우에는 띠장은 버팀보를 겹치게 되므로 압축력을 고려할 필요가 있다.

버팀보의 압축이나 시공오차 등에 의한 지점이동 등을 생각할 수 있으므로 단순보로서 계산한다. 토압은 띠장에 대해서 흙막이 말뚝 위치에서 작용하는 집중하중으로 재해된다. 그러나 계산을 간단하게 하기 위하여 〈그림 4.10〉, 〈그림 4.11〉과 같이 등분포하중을 받는 단순보로서, 식(4.2)에 의하여 휨 모멘트 · 전단력을 계산한다.

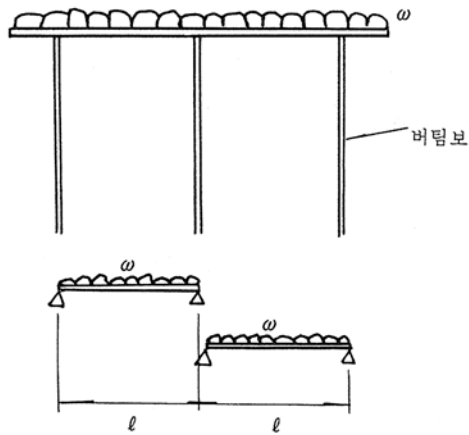
$$f = \frac{W\ell^2}{8 \cdot Z} \times \tau = \frac{S}{0.85ht} \quad (\text{식 4.2})$$

여기서, h : 플랜지의 높이

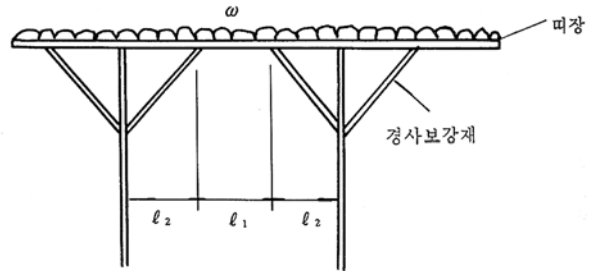
S : 지점전단력

t : 웨브의 두께

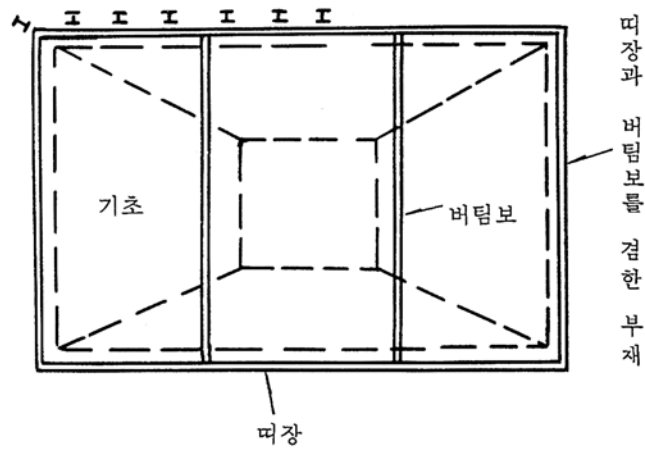
Z : 단면계수



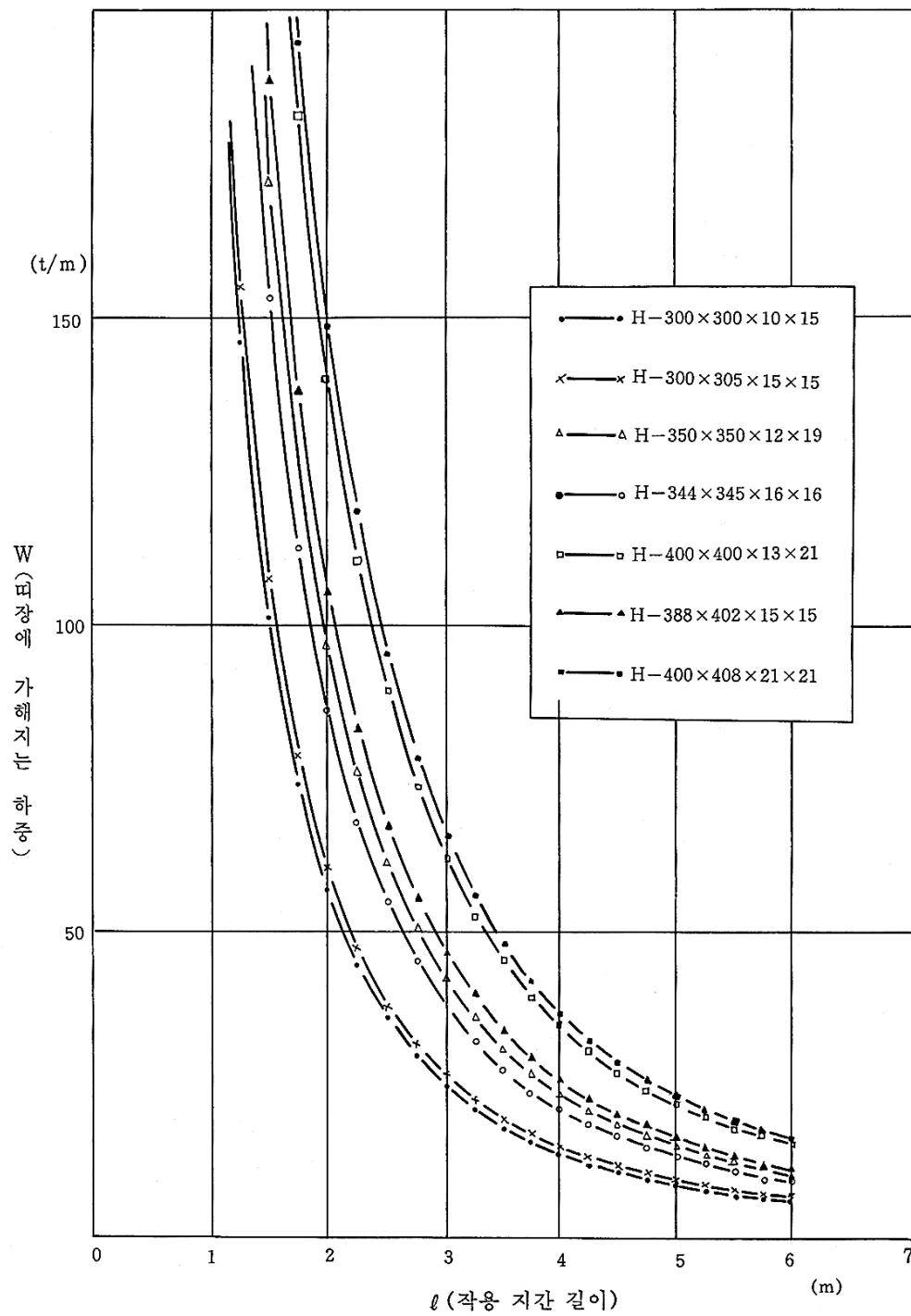
〈그림 4.10〉 경사보강재가 없는 경우



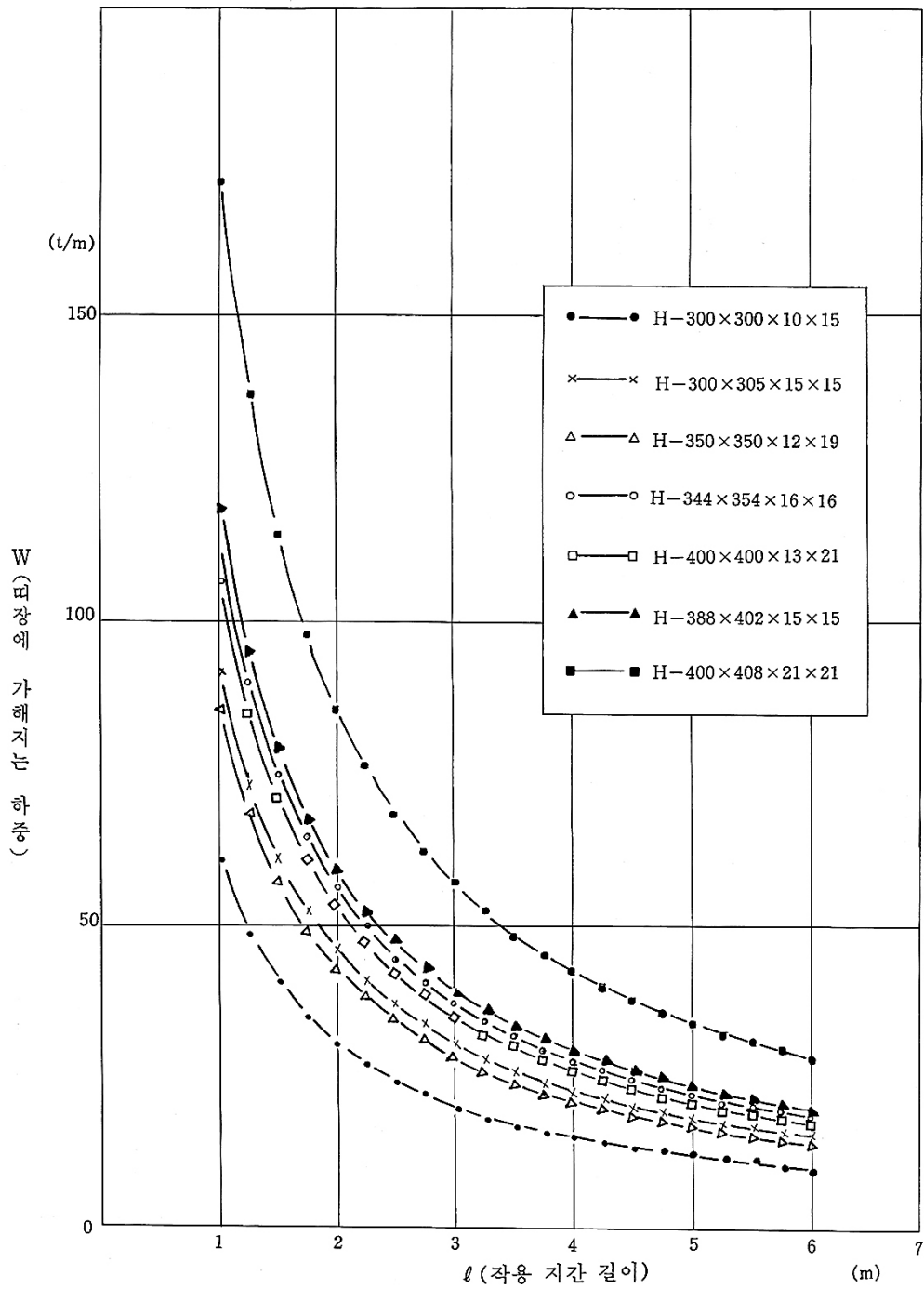
〈그림 4.11〉 경사보강재가 있는 경우



〈그림 4.12〉



〈그림 4.13〉 휨모멘트에 의한 $l-w$ 의 관계

〈그림 4.14〉 전단력에 의한 $l-w$ 의 관계

〈그림 4.12〉에 있는 단부의 띠장은 버팀보로도 작용하므로 휨과 압축을 받는 부재로 계산하여야 한다. 단부의 띠장을 버팀보로서 작용시키기 위해서는 우각부 연결재를 넣고 직교하는 띠장에 걸쳐 있는 힘이 축력으로 작용하도록 하여야 한다.

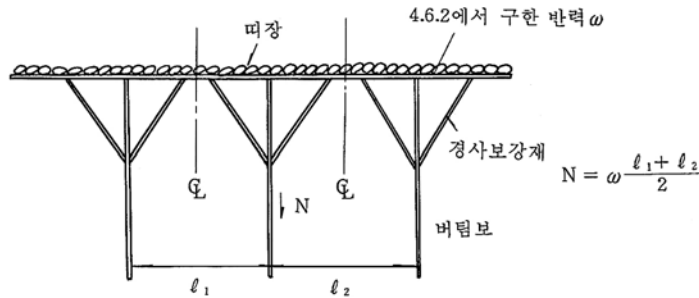
경사보강재를 넣을 때의 지간은 $(\ell_1 + \ell_2)$ 로 한다(〈그림 4.11〉).

H형강 등의 띠장은 버팀보가 맞닿는 부분의 웨브가 국부좌굴을 일으키거나, 플랜지가 변형하는 수가 있으므로 보강재를 넣어 보강할 필요가 있다.

식(4.2)에 의하여 구한 휨모멘트, 전단력의 계산결과를 〈그림 4.13〉, 〈그림 4.14〉에 나타낸다.

4.6.4 버팀보의 계산

- (1) 버팀보에 작용하는 축력은 ‘4.6.2 띠장 및 버팀보에 작용하는 하중’에 계산된 반력과 버팀보의 분담폭과의 곱으로서 구한다.



〈그림 4.15〉 버팀보에 작용하는 축력

- (2) 버팀보의 온도변화에 의한 축력의 증가는 120kN으로 한다.
 (3) 버팀보에 작용하는 연직하중에 의하여 큰 휨모멘트가 버팀보에 작용한다고 생각되는 경우에는 (1), (2)의 축력과 휨모멘트가 작용하는 부재로서 계산한다.

- (1) 버팀보 강재는 자중이 크고 철근부착 등 상재하중이 작용하는 경우도 많다. 상재하중의 크기가 분명한 경우는 이 값과 축력을 이용하여, 축력과 힘이 동시에 작용하는 부재로서 휨작용면 내의 휨좌굴과 휨작용면 이외의 횡방향좌굴에 대해서 ‘도로교설계기준 강교편 3.4.3 축방향력 및 휨모멘트를 받는 부재’에 의하여 검토할 필요가 있다.

또 상재하중이 불명확할 때는 강재자중으로 5kN/m 정도의 연직하중을 고려한다.

버팀보의 좌굴길이에 대해서는 다음과 같이 생각한다.

(가) 버팀보의 연직방향에 대하여

(a) 중간말뚝이 없을 때는 버팀보 전 길이

(b) 중간말뚝이 있을 때는 <그림 4.16>에서 ℓ_1 , ℓ_2 , ℓ_3 중 최대길이

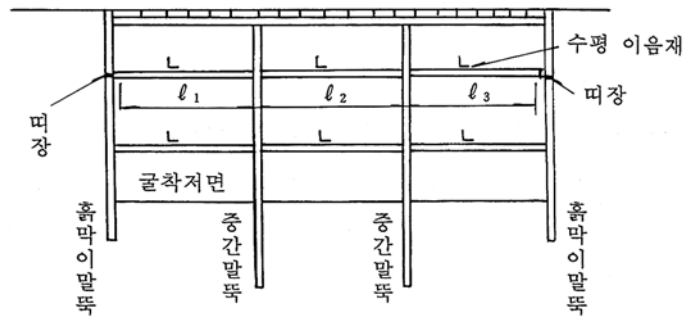
단 이 경우에는 수평방향에 수평이음재나 버팀보가 직각으로 교차하여 설치된 것이 많으므로 횡좌굴에 대한 고려는 필요 없고 휨작용면 내의 횡좌굴만 고려하면 된다.

(나) 버팀보 수평방향의 검토에 대하여

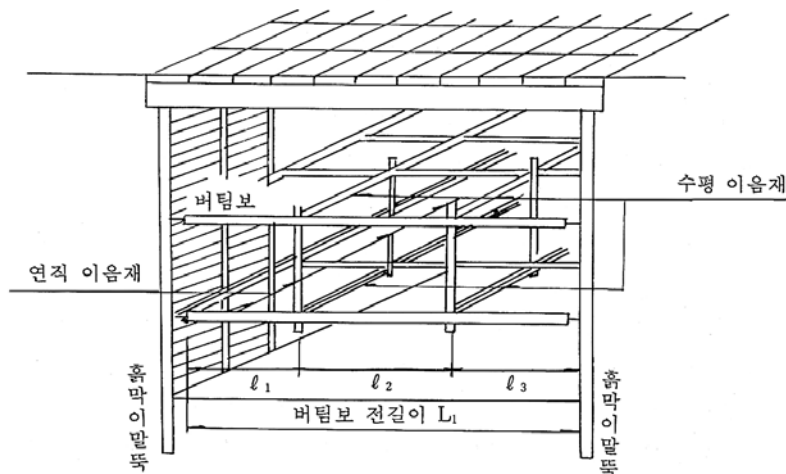
(a) 1방향으로 버팀보가 들어 있을 때(터널굴착의 경우)

① 중간말뚝이 없는 경우

<그림 4.17>에서 수평이음재로 L-130을 사용할 때는 버팀보 전 길이 L_1 을 잡는다. C-150을 수평이음재로 할 때는 $2.5\ell_1$, $2.5\ell_2$, $2.5\ell_3$ 중 최대길이를 취한다. 단, 이 값이 버팀보 전 길이 L_1 보다 클 때는 전 길이 L_1 을 좌굴길로 한다.



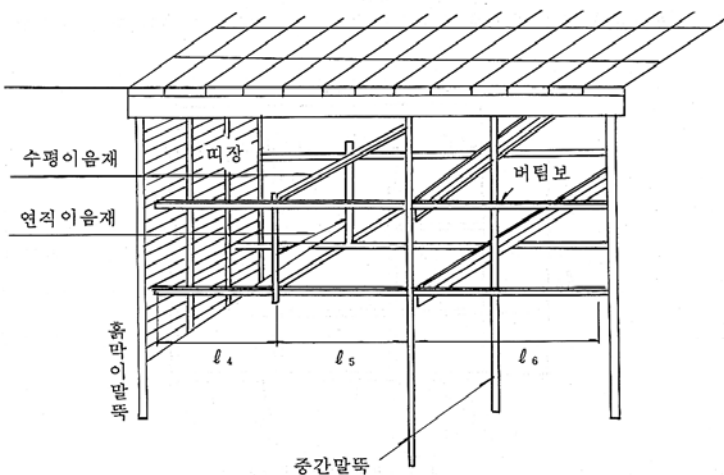
<그림 4.16> 버팀보의 좌굴길이



<그림 4.17> 버팀보의 좌굴길이

② 중간말뚝이 있는 경우

〈그림 4.18〉에서 수평이음재로 L-130을 사용할 때는 $l_4 + l_5$ 와 l_6 중 큰 쪽을 좌굴길 이로 한다. 수평이음재에 C-150을 사용하면 $2.5l_4, 2.5l_5$ (단 이 값이 $l_4 + l_5$ 를 넘는 경우는 $l_4 + l_5$)와 l_6 중 최대길이를 좌굴길이로 한다.



〈그림 4.18〉 버팀보의 좌굴길이

(b) 2방향으로 버팀보가 들어 있을 때 (기초굴착의 경우)

〈그림 4.19〉에서

① 버팀보 A에 대하여

l_1, l_2, l_3 중 최대길이를 좌굴길이로 한다.

② 버팀보 B에 대하여

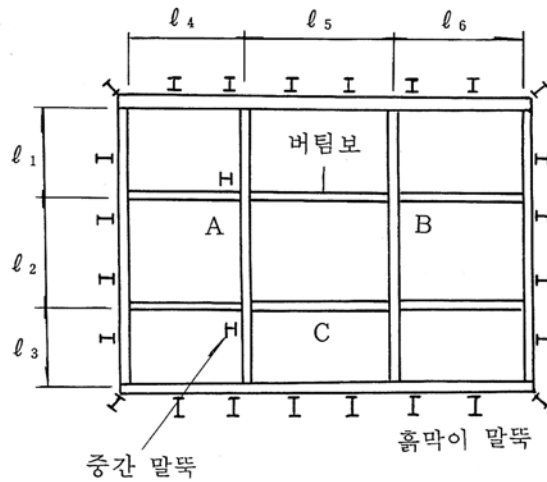
$1.5l_1, 1.5l_2, 1.5l_3$ 중 최대길이를 취하고 이 값이 버팀보 B의 전 길이를 넘는 경우는 버팀보 전 길이를 좌굴길이로 한다.

③ 버팀보 C에 대하여

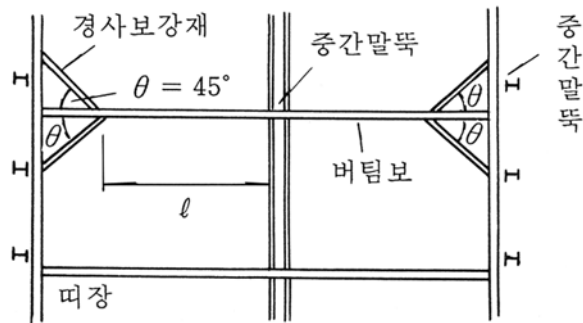
$1.5l_5, 1.5l_6$ (단 이 값이 $l_5 + l_6$ 을 넘을 때는 $l_5 + l_6$)와 l_4 중 최대길이를 좌굴길 이로 한다. 버팀보와 버팀보의 교점, 버팀보와 이음재의 교점은 각이 변화하지 않는다는 가 정에 기초하고 있으므로 교점은 강결된 것으로 한다.

중간말뚝을 좌굴구속점으로 보기 위해서는 버팀보와 중간말뚝은 강결된 것이어야 한다. 또 〈그림 4.20〉과 같이 경사보강재가 45° 로 설치되어 있을 때는 이것을 좌굴구속점으로 l 을 좌굴길이로 생각하여도 좋다.

버팀보가 휨좌굴, 또는 횡좌굴 중 어느 것에 의해서 결정되는 가는 각각의 세장비 l/r (여기서 r 은 단면 2차반지름)에 의해서 좌우되는 것은 물론이지만 다음과 같이 판정할 수 있다.



〈그림 4.19〉 버팀보의 좌굴길이



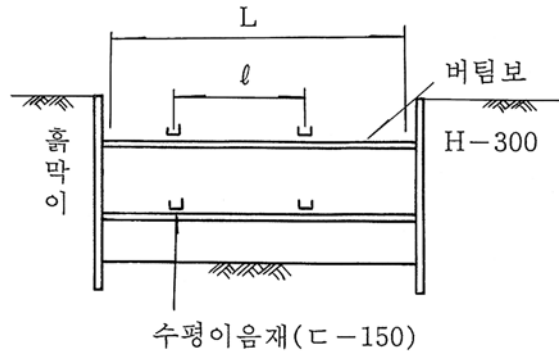
〈그림 4.20〉 좌굴구속점과 좌굴길이

(다) 버팀보가 1방향으로만 들어갈 때

〈그림 4.21〉에서 L 을 버팀보 전 길이, l 을 수평이음재의 최대 간격길이를 하면(수평이음재는 ± 150 으로 한다.)

(a) $L > 4.35 l$ 일 때는 힘좌굴로 결정된다.

(b) $L \leq 4.35 l$ 일 때는 횡좌굴로 결정된다.



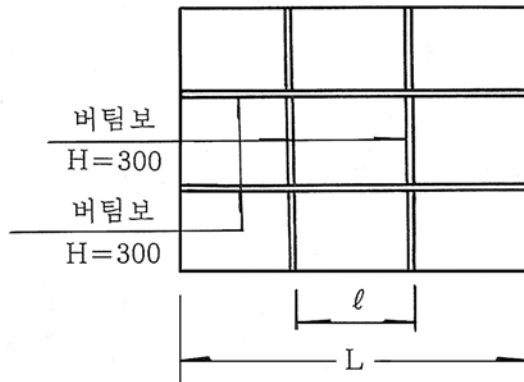
〈그림 4.21〉 버팀보의 좌굴(1방향 버팀보)

(라) 버팀보가 2방향으로 들어갈 때

〈그림 4.22〉에서 L 을 버팀보 전 길이, l 을 버팀보 교점 최대 간격길이로 하면

(a) $L > 2.6 l$ 일 때는 횡좌굴로 결정된다.

(b) $L \leq 2.6 l$ 일 때는 횡좌굴로 결정된다.



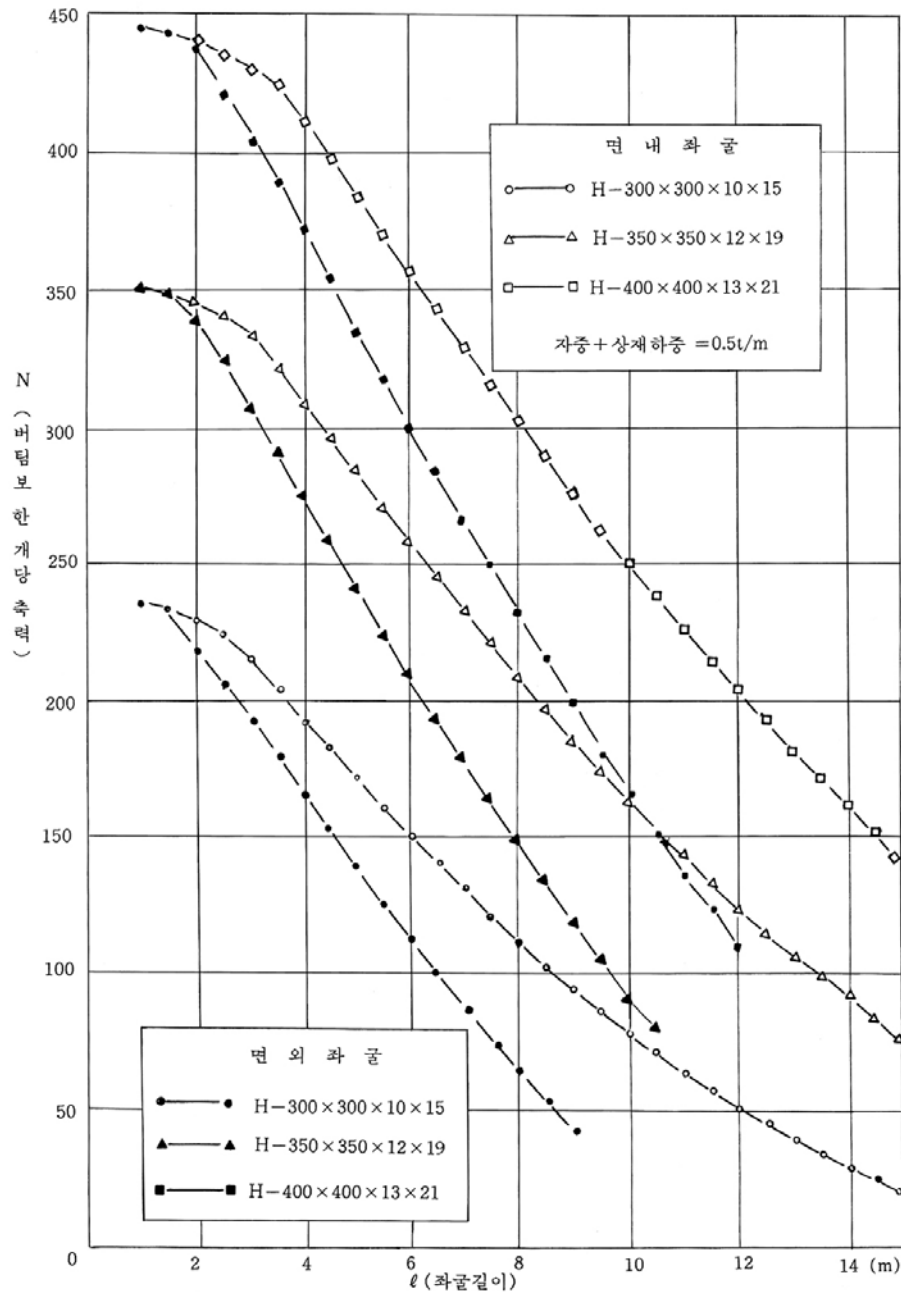
〈그림 4.22〉 버팀보의 좌굴(2방향 버팀보)

버팀보 축력 N 과 좌굴길이 l 의 관계를 〈그림 4.23〉에 나타낸다.

4.6.5 이음재

이음재 간격은 4m 이내를 원칙으로 한다.

버팀보가 연직방향이나 수평방향에 여러 개의 단으로 설치될 때 흙막이 전체의 강성을 높이고 버팀보의 좌굴길이를 작게 하기 위해서 수평이음재 및 수직이음재로 버팀보와 버팀보를 연결할 필요가 있다.

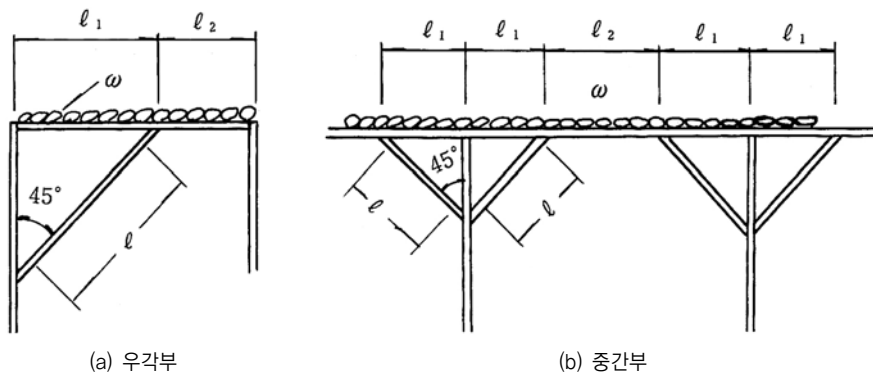


〈그림 4.23〉 버팀보 축력 N과 좌굴길이 l 의 관계

여기서는 최소의 강성을 유지하기 위해서 이음재의 간격을 정했다. 이음재는 L130×130×9를 표준으로 하지만 좌굴을 구속하기 위해서는 $\alpha=150$ 정도의 것이 필요하다.

4.6.6 경사보강재

- (1) 경사보강재는 <그림 4.24>와 같이 45° 각도로 대칭으로 들어가는 것을 원칙으로 한다.



<그림 4.24>

- (2) 경사보강재에 작용하는 축력은 다음 식에 의하여 계산한다.

$$N = 0.7(\ell_1 + \ell_2)w \quad (\text{식 4.3})$$

여기서, ℓ_1, ℓ_2 : 띠장의 지간

w : 띠장의 단위길이 당 작용하는 하중

- (3) 경사보강재 설치부의 전단력은 다음 식에 의하여 계산한다.

$$S = 0.7N \quad (\text{식 4.4})$$

- (4) 경사보강재의 자중은 무시하여도 좋다.

- (1) 일반적으로 경사보강재는 45° 로 설치하므로 이와 같이 정했다.

- (2) 경사보강재 설치부의 볼트 또는 용접부는 반드시 검토하여야 한다.

- (3) 경사보강재의 지간은 일반적으로 짧으므로 자중의 영향은 무시한다.



5. 강널말뚝방식 흙막이공 및 단일물막이공의 설계

5.1 설계방침

설계에서는 강널말뚝을 사용하는 특수성, 설계의 기초가 되는 자료의 정확도를 고려하여 안전하고 경제적으로 되도록 하여야 한다.

일반구조물의 설계와 마찬가지로 안전하고 경제적으로 설계하는 것은 물론 강널말뚝을 사용하는 장소의 특수성을 충분히 고려하여 시공이 용이한 신뢰성 있는 설계를 하여야 한다.

강널말뚝 사용 시 점성토 지반의 경우 부풀음의 문제, 사질토 지반의 경우 파이핑이나 보일링의 문제, 양압력에 의한 저부파괴의 문제에 대해서 특히 주의하면서 설계하여야 한다.

또 강널말뚝에는 연직하중을 지지시키지 않는 것을 원칙으로 한다. <그림 5.1>에 설계계산 흐름도를 나타낸다.

5.2 재 료

5.2.1 주요부재

사용재료는 설계계산에 일치하는 재질과 치수로 현저한 손상이 없고, 구입이 용이한 것으로 선택, 사용한다.

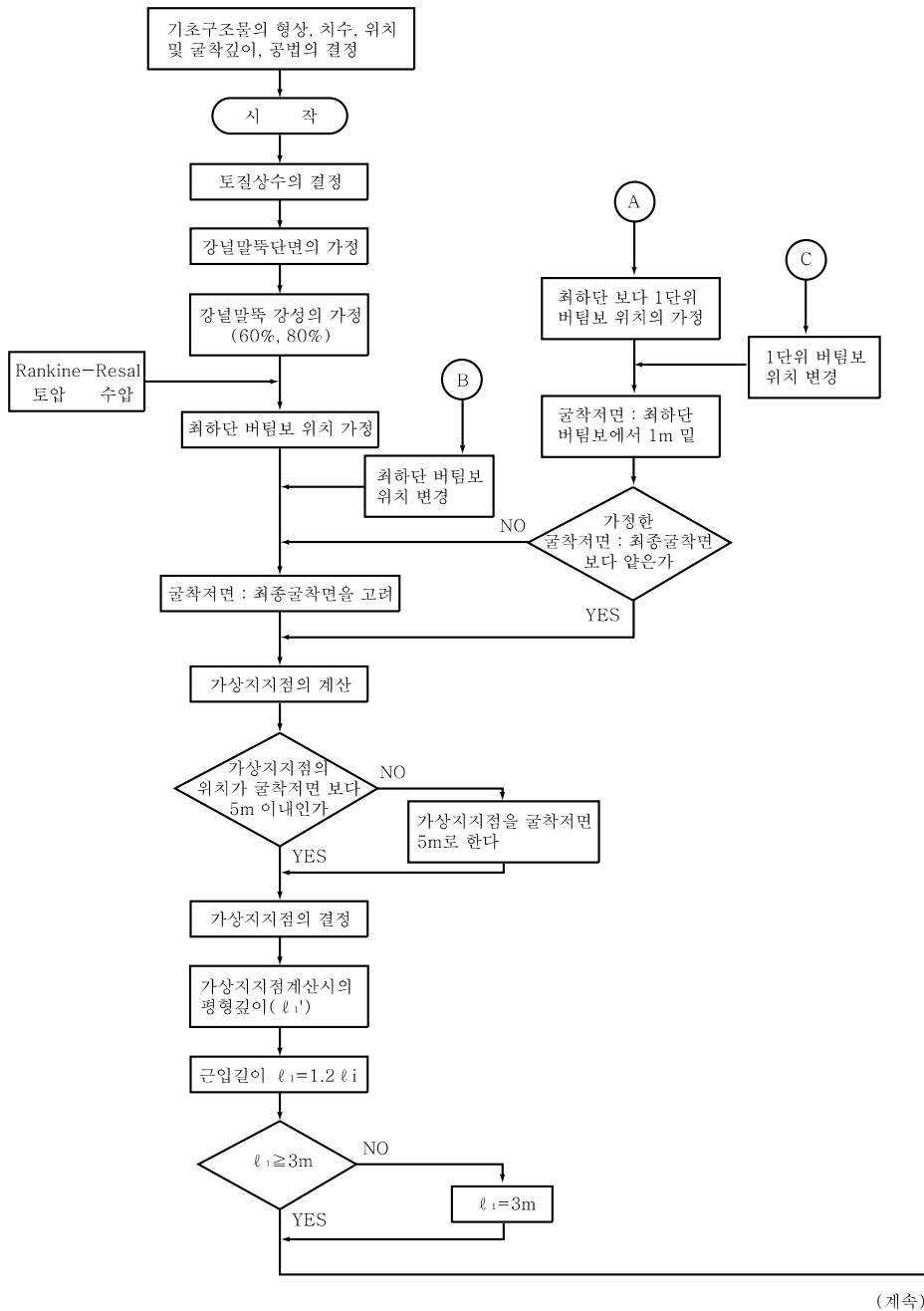
버팀보, 띠장의 최소단면은 $H-300 \times 300$ 으로 하고 띠장의 이음간격은 6m 이상을 원칙으로 한다.

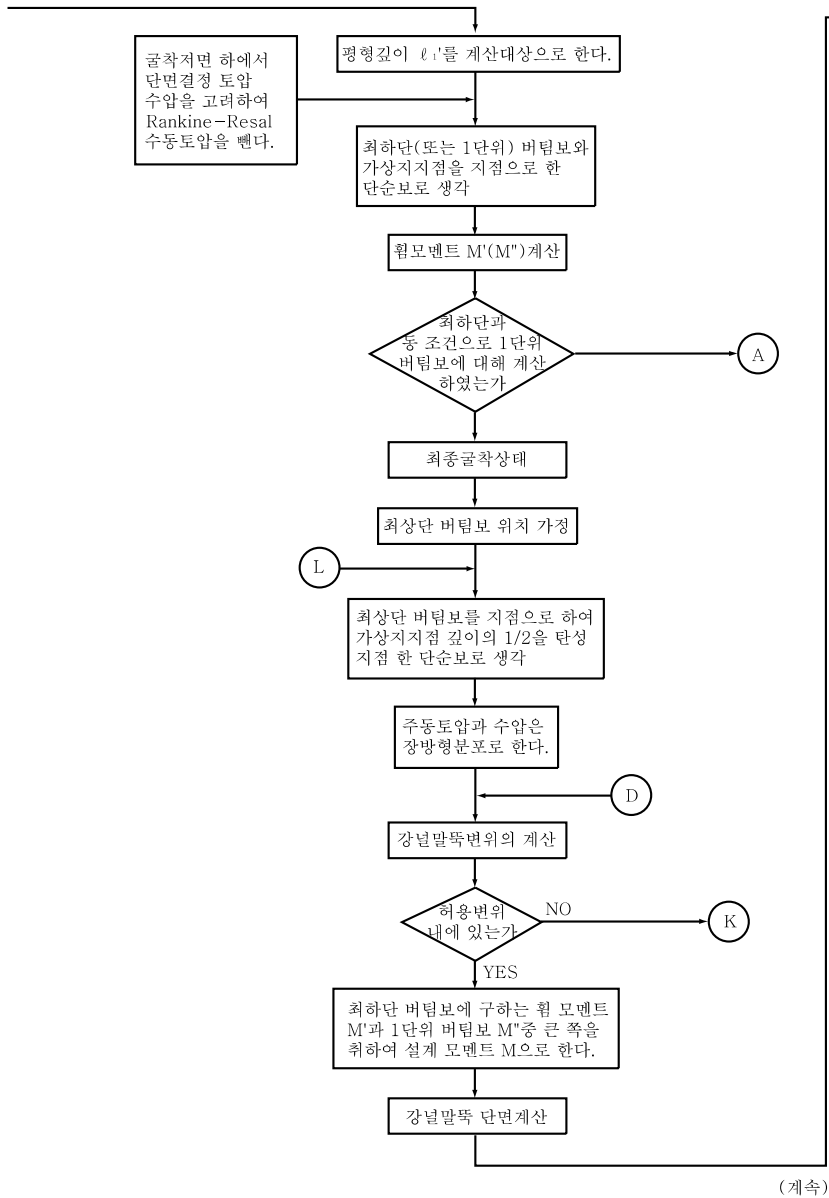
강널말뚝은 일반적으로 II형에서 V형까지 사용되고 있지만 토압, 수압 등이 불명확하여 생각하지 않은 하중이 작용하고 흙막이 및 물막이 전체에 변화를 초래할 수 있으므로 응력상 단면에 여유가 있어도 III형 이상의 것을 사용하는 것이 바람직하다.

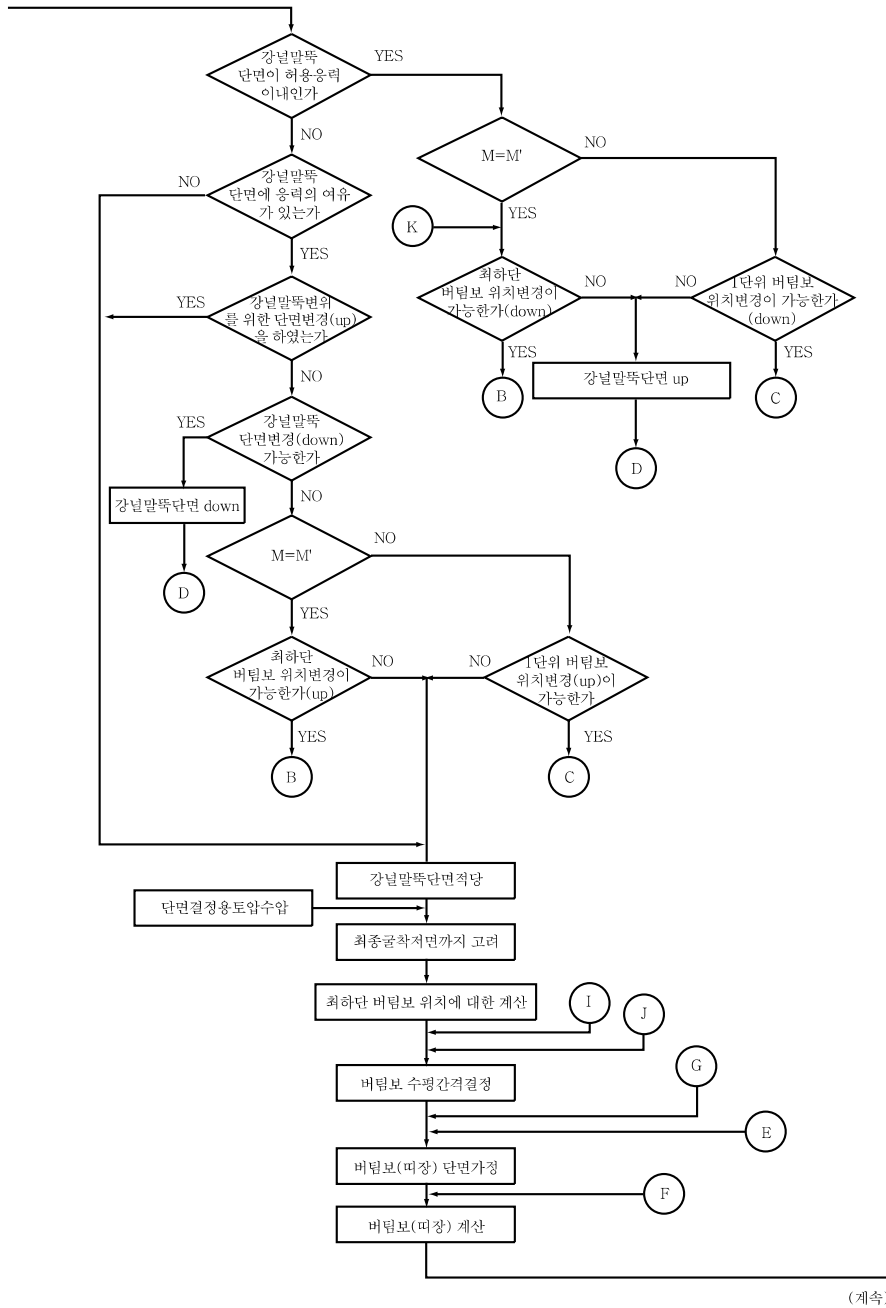
단 흙막이공 굴착깊이가 2~3m 정도인 경우는 이에 따르지 않아도 좋다. 버팀보, 띠장에 대해서는 강널말뚝과 같은 관점에서 최소단면을 규정했다.

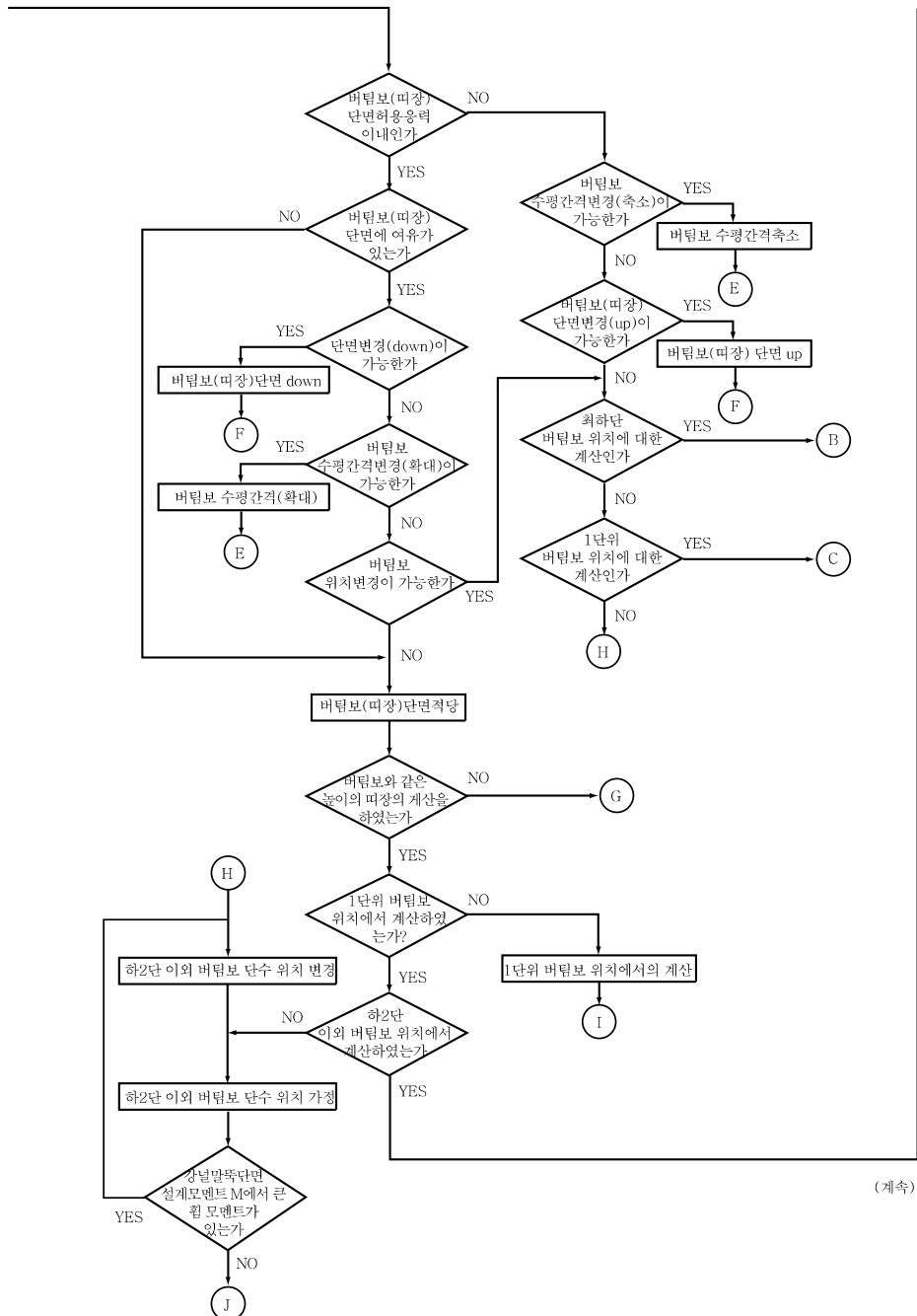
5.2.2 강널말뚝의 이음

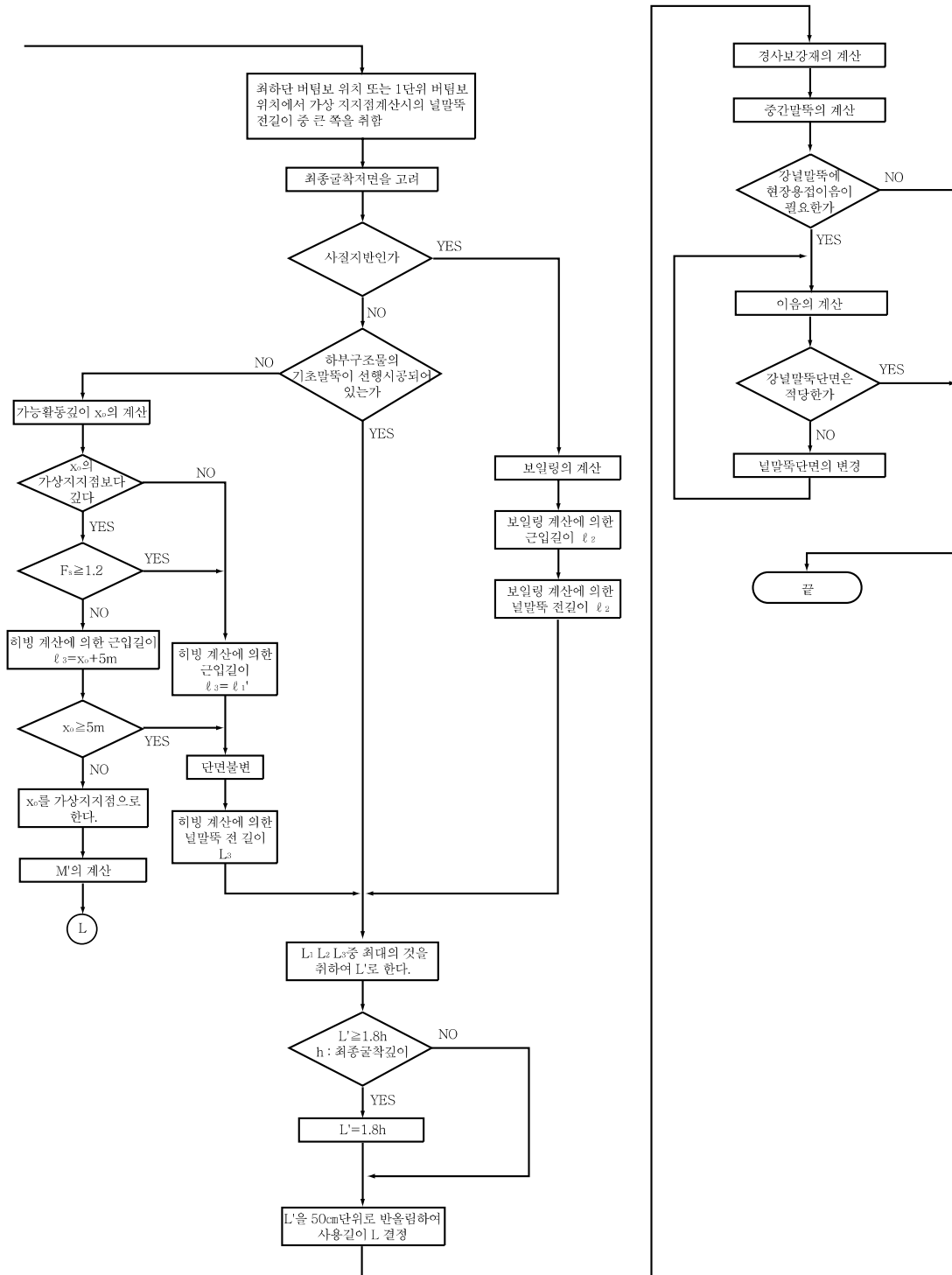
- (1) 강널말뚝은 원칙적으로 일체로 된 것을 사용한다.
- (2) 부득이 현장이음을 하는 경우 아래에 따르는 것을 원칙으로 한다.
 - (가) 이음위치는 가능한 한 응력이 큰 곳을 피하고 이음이 동일 장소에 집중하지 않도록 하고, 인접 널말뚝 이음과는 상하 1m 이상 떨어지게 지그재그로 만든다.
 - (나) 이음공법으로서 현장용접을 하는 경우는 맞댐용접과 필릿용접을 병용한다.
 - (다) 이음공법으로서 볼트 접합공법을 사용하는 경우 용접과 병용하여서는 안 된다.











〈그림 5.1〉 강널말뚝 흙막이공 및 단일물막이공의 설계계산 흐름도

- (1) 강널말뚝은 일반 강재에 비하여 용접성이 나쁘고 단면형상이 복잡하여 완전한 용접을 기대할 수 없으므로 이음이 없는 것의 사용을 원칙으로 한다.
- (2) 이음말뚝으로 강널말뚝을 설치하여야 하는 경우가 있으므로 이 규정을 만들었다.
- (가) 이음부의 응력을 가능한 한 작게 함과 동시에 약점을 분산하기 위한 규정이다.
- (나) 현장용접부의 강도를 충분히 신뢰할 수 없을 때 단면강성을 높이기 위하여 맞댐용접과 필릿용접의 병용구조로 했다.
- (다) 응력의 전달법이 전혀 다르므로 볼트접합과 용접은 병용하지 않도록 했다. 단, 응력의 전달은 볼트로 하고 지수의 목적만으로 용접을 병용하는 경우는 이에 따르지 않는다. 강널말뚝 이음의 예를 <그림 5.2>에 나타냈다.

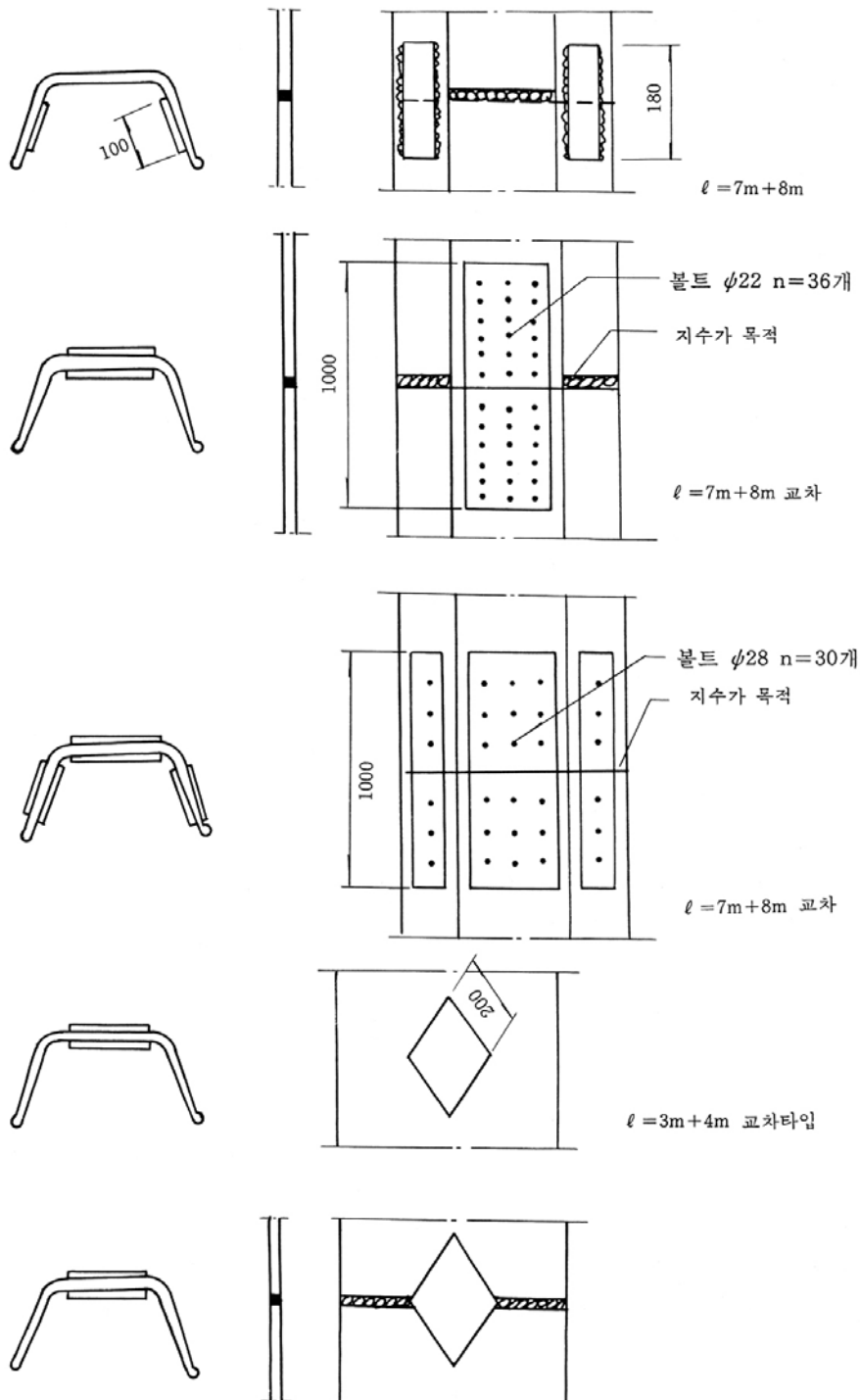
5.2.3 강널말뚝의 단면계수

강널말뚝의 응력과 휨의 계산에 이용하는 단면계수는 폭 1m 당 전체 강성의 60%로 하는 것을 원칙으로 한다.

단, 널말뚝 끝단부근에서 끝부분을 용접하거나 콘크리트로 머리부를 연결해서 고정한 것이나, 근입이 충분하고 토사의 구속을 기대할 수 있는 것은 위의 수치를 80% 정도 까지 올려도 좋다.

각 강널말뚝 간의 이음 강성에 대해서는 완전히 일체로 외력에 저항한다고 생각할 수도 있지만 실험 결과에 의하면 일체로 한 경우의 약 50~70%의 강성 밖에 없다는 보고가 있다. 그러나 이들 실험은 육상에서 단면 변형을 구속하지 않고 행한 것으로 실제 구조물에서는 토사의 영향 또는 녹 등에 의해서 강성이 약간 증가한다고 생각되므로 전 강성의 60%를 취하였다.

또, 각 강널말뚝 간의 엇갈림 방지책을 도입한 것과 근입이 충분하여 토사의 구속을 기대 할 수 있는 것 등은 전 강성치의 80% 정도까지 올려 사용할 수 있게 했다. 반대로 근입길이가 짧은 것이나 수중에 있어 토사의 영향이 그다지 없는 것에 대해서는 60% 보다 더욱 작게 할 필요가 있다.

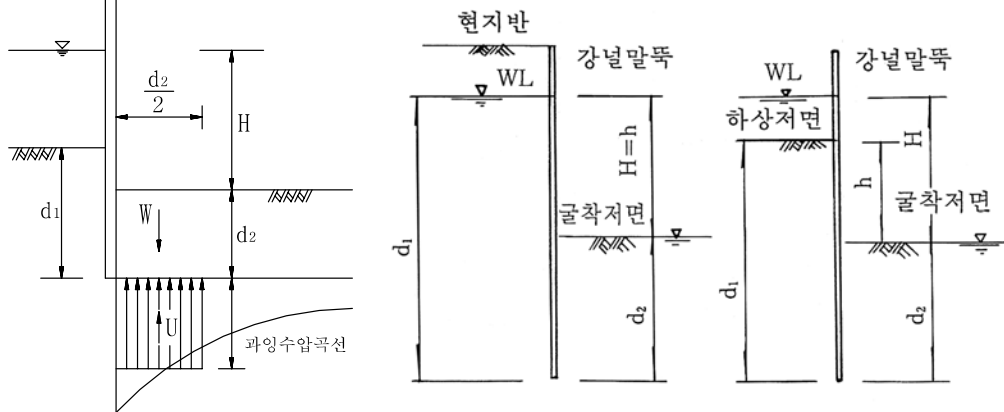


〈그림 5.2〉 강널말뚝 이음의 예

5.3 근입지반의 안정

5.3.1 보일링의 검토

포화 모래층의 투수성 지반에서는 아래의 두 가지 방법으로 검토하여 강널말뚝의 근입길이를 구한다.



(a) Terzaghi에 의한 보일링의 검토법

(b) 한계동수경사에 의한 보일링의 검토법

〈그림 5.3〉 보일링에 의한 검토법

$$d_2 \geq \frac{F_s}{2} \times \frac{H}{\gamma} \quad (\text{Terzaghi에 의한 방법}) \quad (\text{식 5.1})$$

$$L = d_1 + d_2 \quad (\text{한계동수경사에 의한 방법}) \quad (\text{식 5.2})$$

$$d_1 = h + d_2 = H + d_2$$

여기서, γ' : 모래의 수중 단위체적중량

d_1 : 〈그림 5.3〉의 값 (자갈층은 제외한다)

d_2 : 굴착저면에서의 근입길이

H : 수면에서 굴착저면까지 높이 (수두차)

F_s : 안전율 (1.5 이상)

L : 모래층의 두께(유선길이)

포화된 모래지반에서 강널말뚝 선단으로의 물의 유입은 일반적으로 두 가지 현상으로 나누어 생각할 수 있다.

하나는 침투압에 의해서 지반파괴가 급격하게 일어나는 보일링 현상이고 또 하나는 물길이 생겨 서서히 침식되어 지반이 파괴되는 광의의 파이핑 현상이다. 식(5.1)은 전자에 식(5.2)는 후자에 이용하는 것으로 두 식을 만족하도록 강널말뚝의 근입길이를 정하여야 한다.

보일링의 계산에는 물막 이내로 돌아 들어가는 과잉간극수압을 토사중량으로 누르는 방법과 동수경사와 한계동수경사를 비교해서 근입길이를 정하는 방법 두 가지를 생각할 수 있지만 여기서는 일반적으로 이용되고 있는 전자에 의한 방법을 기본으로 해서 식(5.1)을 채용했다.

파이핑의 계산에는 크리프비를 고려하는 방법이 있다. 이것은 침투유선길이로서 현 지반의 근입효과(d_1)를 물막이내의 근입길이(d_2)와 합한 $d_1 + d_2$ 와 수두차(H)의 비를 고려하는 것이다. 즉 물막이내의 근입길이(d_2)외에 물막이 외측의 근입길이(d_1)가 필요하다는 것을 나타내고 있다. 보일링의 위험성이 있는 경우에는 강널말뚝의 근입길이를 길게 함으로서 유선의 길이를 길게 하여 상향 침투력을 약하게 하고, 깊은 투수층까지 우물을 설치하고 지하수를 퍼내어 지하수의 흐름을 바꾸거나 수압을 약하게 하는 것도 검토한다.

5.3.2 부풀음

점성토 지반에서는 물막이 내에 기초말뚝이 선 시공되는 경우를 제외하고 부풀음(heaving)에 대한 안정계산을 시행함을 원칙으로 한다.

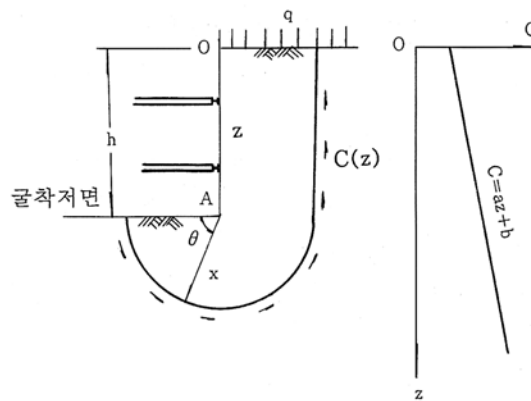
안정계산에서는 가능 활동깊이를 이용하여 계산하고 이것으로 강널말뚝의 근입길이 및 단면을 구한다.

물막이내에 기초말뚝이 선 시공된 경우에는 부풀음현상이 발생한 예가 없다. 이것은 기초말뚝에 의한 효과라 생각되므로 부풀음의 계산을 생략하기로 했다. 단, 군말뚝의 영향으로 인한 계산생략은 물막이에 평행하는 기초말뚝의 중심간격이 말뚝폭 5배 이내이며 순간적 5m 이내인 경우에 한하기로 한다. 이 조건이 충족되지 않을 때는 부풀음에 대한 안정계산을 하여야 한다.

부풀음의 계산에는 여러 방법이 있지만 부풀음이 발생하지 않기 위해서는 충분한 강성의 강널말뚝이 충분히 근입되어야 하고, 이를 위해서는 다음과 같은 검토 방법이 있다.

흙의 활동면 및 점착력에 의한 활동저항을 <그림 5.4>와 같이 취하고 우선 최소 안전율을 보장하는 가능활동깊이 X_0 를 구한다. X_0 가 '5.5.1 평형깊이 및 가상지지점 구하는 법'에서 구한 가상지지점 보다 얇은 경우 또는 이보다 깊어도 $X=X_0$ 의 깊이에 안전율 $F_s \geq 1.2$ 일 때는 흙의 활동은 발생하지 않고 부풀음에 대해서는 안전하다고 생각한다. X_0 가 가상지지점 보다 깊고 안전율 $F_s < 1.2$ 일 때는 $X=X_0$ 인 점에 재차 가상지지점을 가정하고 '5.5.4 강널말뚝의 단면계산' 및 '5.5.5 강널말뚝 변위의 검토'로 다시 강널말뚝 단면 및 변위계산을 한다. 이 때 X_0 가 매우 큰 값이 되면 부풀음의 검토에 상당히 큰 단면이 필요하고 비경제적인 것이 된다. 또 부풀음의 검토는 결국 토압에 대한 검토이고 토압에 대한 응력계산에서는 '5.5.1 평형깊이 및 가상지지점 구하는 법'에서와 같이 가상지지점 깊이는

최대 5m로 제한하고 있음을 감안해서 X_o 의 최대값을 5m로 한다. 이 경우 $X_o=5m$ 보다 깊은 곳에서 강널말뚝단면은 안전을 보증할 수 없지만 '5.5.5 강널말뚝 변위의 검토'에서 물막이 전체의 변위를 검토하고 있으므로 큰 부풀음은 생기지 않는다고 생각된다. 따라서 강널말뚝 단면은 $X_o=5m$ 까지의 지간에 대하여 단면을 검토하고, 근입길이는 계산한 X_o 에 5m를 더한 것으로 한다. 단 근입길이를 구하기 위한 X_o 는 계산으로 구한 값을 그대로 사용하여 5m 보다 크게 되어도 좋다. 가능활동깊이 X_o 는 점착력이 깊이 방향으로 증가하는 것을 고려한 경우에만 산출하므로 토질시험에 의해서 점착력을 깊이의 함수로 결정하여야 한다.



〈그림 5.4〉 활동저항

그러나 토질시험에 의한 경우는 점성토에 모래층이 존재하는 등의 이유에서 점착력을 결정하기 어려우므로 안전과 계산의 편의를 고려해서 $c=0.2z$ (z :지표에서의 깊이)로 해서 계산하면 다음과 같이 된다.

$$X_o = 0.5h, F_s = \frac{2h}{\gamma h + q} \quad (\text{식 5.3})$$

여기서, h : 굴착깊이

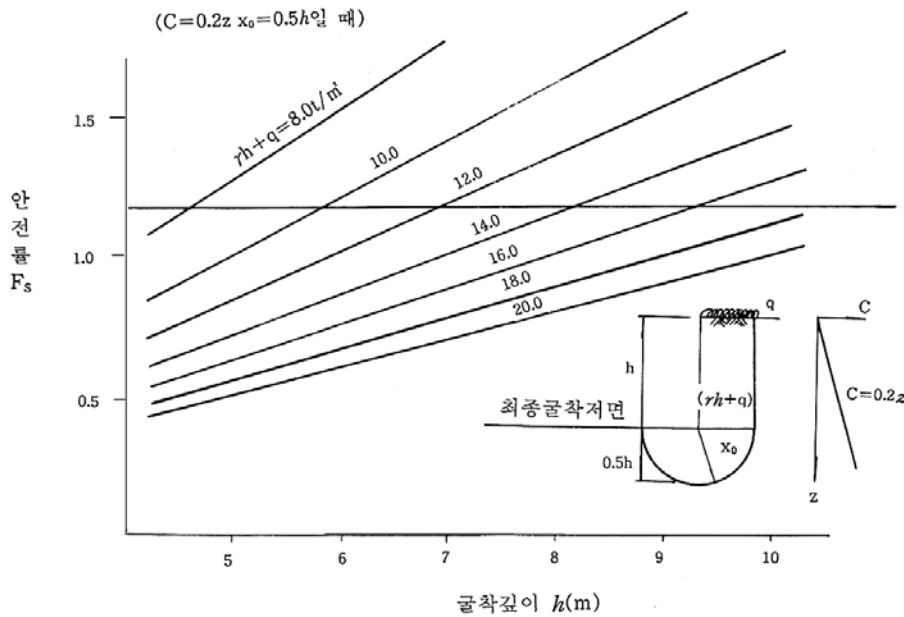
일반적으로 $c=az+b$ 의 경우는

$$X_o = \sqrt{\frac{ah^2 + 2bh}{2a}} \quad (\text{식 5.4})$$

$$F_s = \frac{2h}{\gamma h + q} \{ (ah + b) + 2\sqrt{a^2h^2 + 2abh} \} \quad (\text{식 5.5})$$

이다.

〈그림 5.5〉는 $c=0.2z$ 의 경우 굴착깊이 h 와 안전율 F_s 의 관계를 나타낸 것이다. 파라미터로 되어 있는 $\gamma h + q$ 의 값은 굴착저면 상에서의 하중강도에 상당하므로, 물막이의 경우 수심이 있을 때는 수심에 의한 하중을 재하하중으로 간주하게 된다.

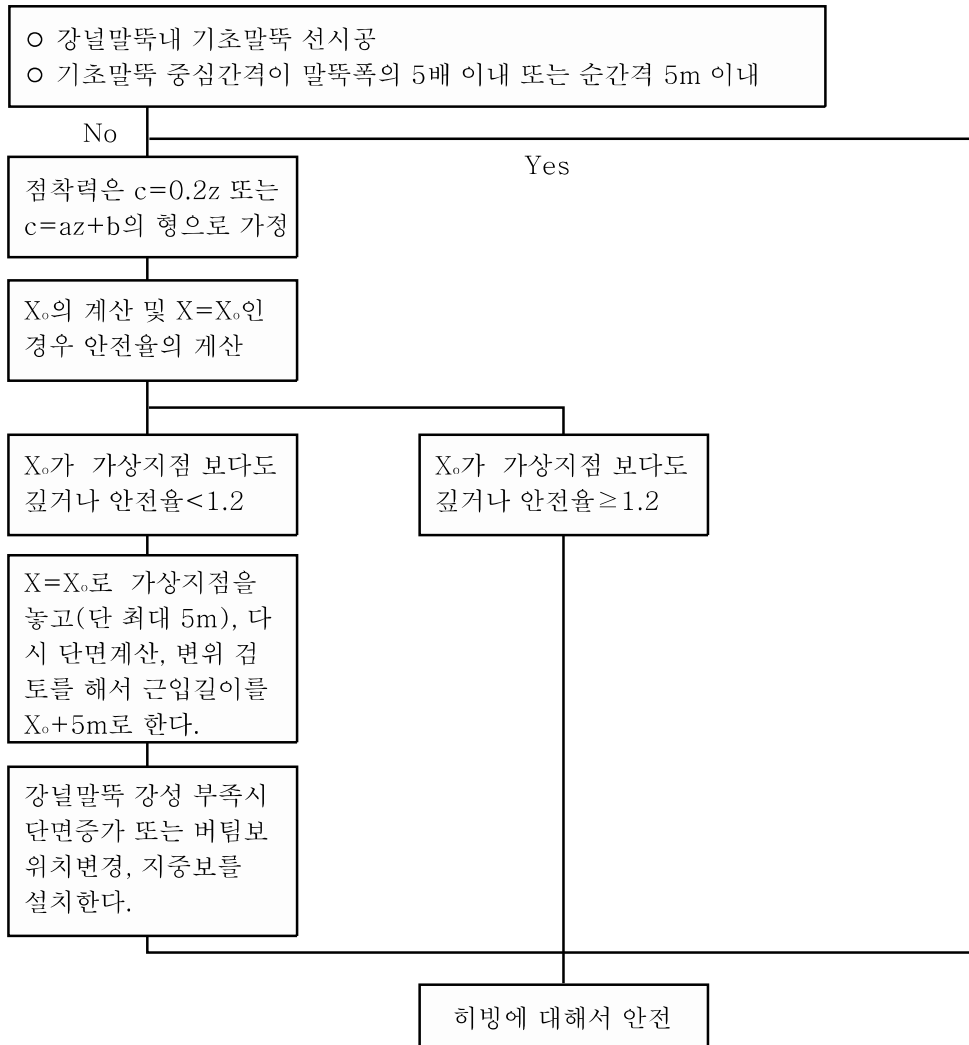


〈그림 5.5〉 굴착깊이와 부풀음의 안전율

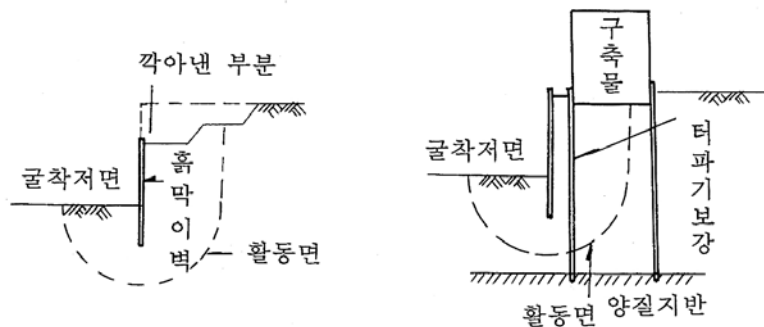
부풀음 검토의 계산 순서는 다음과 같다(〈그림 5.6〉).

부풀음의 가능성이 있는 경우에는 다음과 같은 대책을 검토하면 좋다.

- (가) 강성이 높은 흙막이벽을 부풀음의 우려가 없는 양질의 지반까지 설치해서 흙막이벽의 침하이동을 억제한다.
- (나) 地中 깊은 연약지반을 개량해서 부풀음의 발생우려가 없는 크기의 전단내력을 기대할 수 있는 지반으로 치환한다.
- (다) 큰 평면을 한번에 굴착하지 않고 몇 개로 분할해서 시공한다. 또 트랜치컷 공법 등도 부풀음에 대해서 유효한 시공방법이다.
- (라) 굴착위치 외주에 여유가 있는 경우에는 〈그림 5.7〉과 같이 주위지반을 깎아내고 부풀음의 원인이 되는 흙막이벽 배면토의 하중을 줄여서 활동면에 작용하는 파괴 모멘트를 감소시킨다.
- (마) 굴착위치에 근접해서 부풀음에 영향을 주는 건축물이 있는 경우에는 터파기 보강을 하고 건축물의 하중을 양질의 지반에 직접 전달시켜 부풀음의 파괴모멘트에 영향을 주지 않게 한다.



〈그림 5.6〉 부풀음계산의 순서



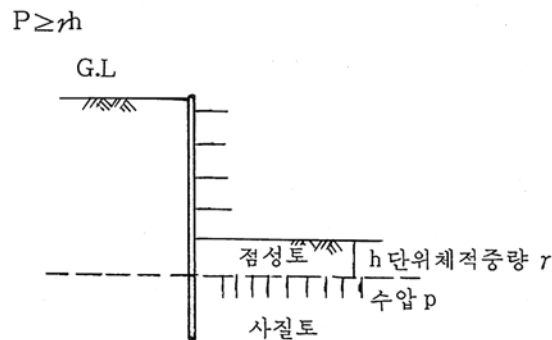
〈그림 5.7〉 부풀음에 대한 대책

5.3.3 양압력의 검토

점성토 아래 피압수를 갖는 모래층이 있는 경우에는 부풀음을 검토하고, 강널말뚝의 근입길이를 피압수대 이하까지 연장하던가 배수공법에 의한 수압저하 등의 보조공법을 사용하도록 한다.

$$P \geq \gamma h$$

(식 5.6)



〈그림 5.8〉 양압력

피압수를 갖는 모래층이 굴착되면 부근에 있는 경우 피압수의 압력이 흙의 무게 보다 큰 경우에는 굴착면이 부풀어 오르거나 강널말뚝 주위에서 피압수가 분출할 수 있으므로 주의가 필요하다. 이 경우에는 수압을 저하시키거나 체수층을 차단하는 등의 처리가 필요하다.

5.4 자립식 강널말뚝공

자립식 강널말뚝공은 지반이 양호하여 변위가 미소하게 발생하는 경우에 적용한다. 또, 강널말뚝의 근입이 굴착깊이에 비해서 너무 길게 되는 경우에는 '5.5 버팀보를 사용한 강널말뚝공'과 비교 검토할 필요가 있다.

자립식 강널말뚝공은 강널말뚝을 지중에 타입하고 근입지반의 횡저항과 강널말뚝의 휨강성만으로 토압 등의 횡하중을 견디게 하는 것으로 구조가 단순하고 시공도 간단하지만, 기타 흙막이공에 비해서 강널말뚝 끝단의 변위가 커지므로 굴착배면의 지반 침하가 문제되는 경우에 사용해서는 안 된다. 굴착깊이가 깊고 배면하중도 클 경우에는 강널말뚝의 근입길이가 너무 길어져서 강널말뚝 단면도 큰 것이 필요하므로 자립식 강널말뚝은 통상 굴착깊이가 3~5m 정도의 소규모 굴착에 사용될 수 있다.

소규모의 굴착에서도 지반이 연약한 경우에는 강널말뚝의 근입길이가 굴착깊이에 비하여 너무 길어지므로 일단 버팀보가 있는 버팀보식 강널말뚝공과 비교할 필요가 있다. 단 시공조건에 따라 버팀보를 설치할 수 없는 경우에는 어스 앵커공법 등을 고려한다.

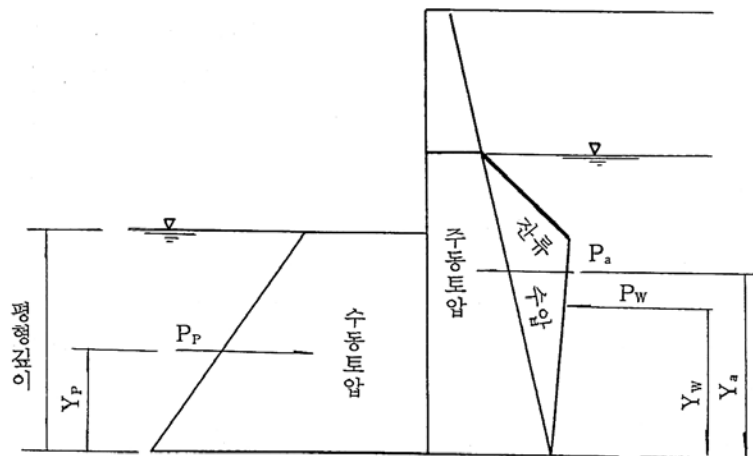
5.4.1 평형깊이 구하는 법

강널말뚝의 임의점에 관하여 이보다 상향의 주동토압 및 잔류수압에 의한 모멘트와 수동토압에 의한 모멘트가 평형상태가 될 때의 굴착저면 이하의 깊이를 평형깊이라 한다.

(가) 토압은 Rankine - Resal의 토압을 사용한다.

(나) $P_a \cdot Y_a + P_w \cdot Y_w = P_p \cdot Y_p$ 에서 평형깊이를 구한다.

강널말뚝 전길이를 0.5~1m로 분할하여 각 분할점의 주동측 모멘트 M_{ax} 및 수동측 모멘트 M_{px} 를 구하여 이 차이가 $M_x = M_{ax} - M_{px} = 0$ 이 되는 점을 평형깊이라 한다. 이하 이 방법을 모멘트법이라 한다.



〈그림 5.9〉 평형깊이 구하는 법

5.4.2 모멘트의 평형에 의한 강널말뚝의 근입길이

모멘트의 평형에 의한 강널말뚝의 근입길이는 평형깊이의 1.2배 또는 평형깊이에 2m를 더한 길이중 큰 값으로 한다. 단 근입길이의 최소값은 굴착깊이(수중에서는 설계수위에서 굴착저면 까지의 높이)로 한다.

자립식 강널말뚝공에서 가장 문제가 되는 강널말뚝의 근입길이 계산법에는 다음 세가지 의 방법이 일반적으로 사용되고 있지만 여기서는 모멘트법을 사용했다.

(가) Chang의 방법

(나) 岡部 방법

(다) 모멘트법(간략법)

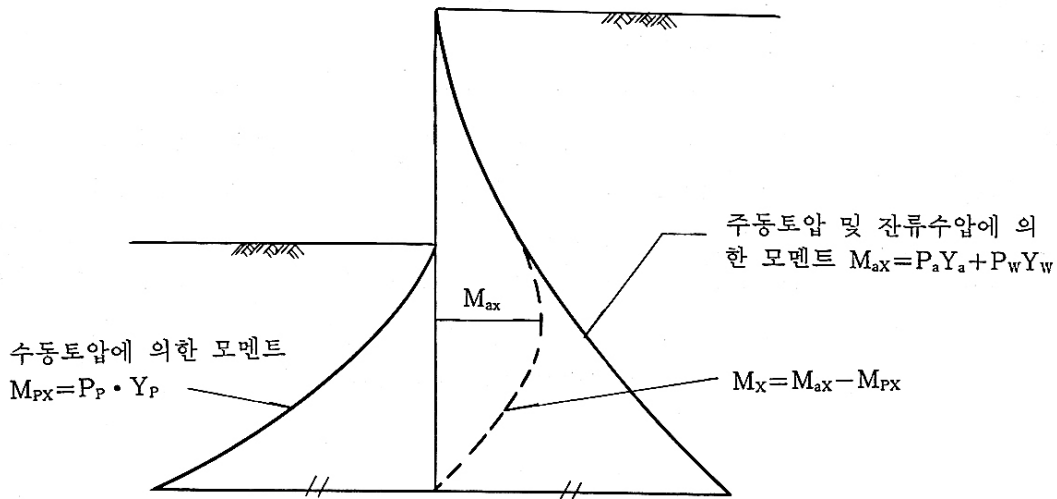
Chang의 방법은 지반을 탄성체로 해석하고 있지만 岡部の 방법 및 모멘트법에서는 지반의 극한평형상태를 고려하여 계산하고 있다. 모멘트법은 岡部の 방법을 간략화한 방법이고 岡部の 방법은 모멘트와 수평력의 평형을 고려하고 있지만 모멘트법에서는 모멘트의 평형면을 고려하고 있다.

즉 모멘트의 평형만으로 평형깊이 l_0 를 구하며 근입길이 L 은

$$L = \begin{cases} 1.2 l_0 \\ l_0 + 2m \end{cases} \quad (\text{식 5.7})$$

$$L = l_0 + 2m$$

중 큰쪽의 값을 취하면 수평력의 균형도 유지된다고 사료된다.



〈그림 5.10〉 강널말뚝의 휨모멘트

5.4.3 강널말뚝의 근입길이 결정

강널말뚝의 각 점에 관하여 이보다 상향 주동토압 및 잔류수압에 의한 모멘트와 수동토압에 의한 모멘트의 차이를 각 점의 휨모멘트로 하여 강널말뚝 단면을 계산한다.

5.4.4 강널말뚝의 단면계산

강널말뚝의 근입길이는 보일링, 부풀음, 양입력 및 모멘트의 평형을 검토해서 결정하여야 한다.

‘5.4.1 평형깊이 구하는 법’으로 구한 주동측 모멘트 M_{ax} 와 수동측 모멘트 M_{px} 의 차이 $M_x = M_{ax} - M_{px}$ 를 강널말뚝에 생기는 모멘트로 한다.

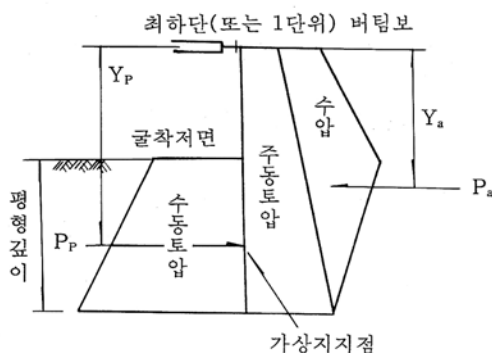
5.5 버팀보를 사용한 강널말뚝공

5.5.1 평형깊이 및 가상지지점을 구하는 법

최하단 버팀보 및 1단 위의 버팀보의 한점에서 이보다 하향의 주동토압 및 수압에 의한 작용모멘트와 수동토압에 의한 저항모멘트가 평형상태로 될 때의 굴착저면 이하를 평형깊이로 하고 이때 수동토압 합력의 작용점을 가상지지점으로 한다. 단, 가상지지점의 최대깊이는 굴착저면에서 5m로 한다.

$P_a Y_a = P_p Y_p$ 에서 평형깊이와 가상지지점을 구한다. P_a 는 주동토압과 수압의 합력이다. 계산은 최하단 버팀보 및 1단 위의 버팀보 두가지 경우에 대해서 계산하여야 한다.

평형깊이에는 최대치의 규정이 없다. 따라서 가상지지점을 5m로 하는 경우에도 평형깊이는 계산에 의해서 구하여야 한다. 왜냐하면 가상지지점은 강널말뚝 단면계산에 이용하고 평형깊이는 근입길이의 계산에 이용하는 것이지만 근입길이에 별도로 ‘5.5.2 모멘트 평형에 의한 강널말뚝의 근입길이’에 의해서 최대치가 정하여져 있기 때문이다.



〈그림 5.11〉 평형깊이 및 가상지지점 구하는 법

5.5.2 모멘트의 평형에 의한 강널말뚝의 근입길이

모멘트의 평형에 의한 강널말뚝 근입길이는 평형깊이의 1.2배로 한다. 단, 근입길이의 최소치는 3m, 최대치는 굴착깊이(수중에서는 설계수위에서 굴착저면 까지의 높이)의 1.8배로 한다.

모멘트 평형에 의한 강널말뚝 근입길이는 ‘5.5.1 평형깊이 및 가상지지점 구하는 법’에서 평형깊이를 구하는 두 가지 경우에 큰 값을 취한다.

최소근입길이를 규정한 것은 강널말뚝을 이용하는 곳이 일반적으로 연약지반으로 어느 정도의 근입길이가 없으면 수동토압을 기대할 수 없다고 생각되기 때문이고, 이 값을 3m로 한 것은 이제까지의 시공 예를 참고로 한 것이다. 근입길이의 최대치를 굴착깊이의 1.8배로 규정한 이유는 다음과 같다. 모멘트의 평형에 의해서 근입길이를 구하면 때로는 비상식적으로 긴 근입길이가 산출될 수 있다. 이것은 계산에 사용한 토압식(Rankine - Resal)을 극한평형상태로 가정했기 때문이나 지중(地中) 깊은 곳에서는 이러한 상태에 이르는 큰 변위가 생기지 않는다고 생각된다. 따라서 Rankine - Resal의 토압식은 비교적 벽의 변위가 크면서 얕은 곳에서 적용되어야 할 것이고 근입길이 산출의 결과로서 큰 근입길이가 산출되어도 이 값은 별로 의미가 없다고 생각하는 것이 타당할 것이다. 여기서 규정한 계산방법은 적용범위에 한계가 있고 이 범위 외에는 별도의 관점에서 필요한 근입길이를 구하여야 한다. 그러나 현 시점에서는 합리적인 근입길이 산출방법이 이것 이외에 확립되어 있지 않으므로 근입길이의 최대치를 위와 같이 정한 것이다.

5.5.3 강널말뚝의 근입길이 결정

강널말뚝 근입길이는 보일링, 부풀음, 양압력 및 모멘트 평형을 검토해서 정하여야 한다.

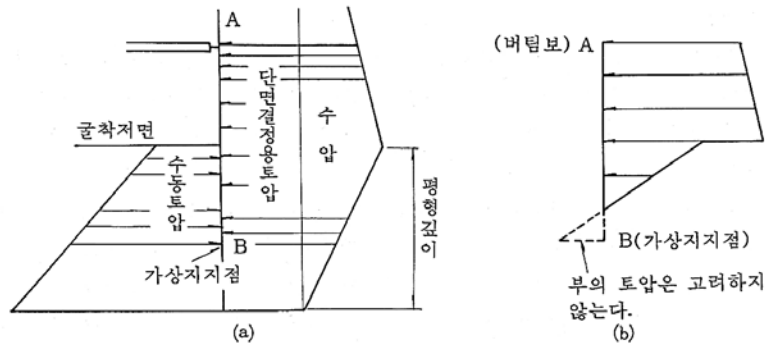
5.5.4 강널말뚝의 단면계산

강널말뚝 단면의 응력은 ‘3.1.6 토압’ 및 ‘3.1.7 수압’의 하중분포를 이용하고 버팀보 위치와 가상지지점을 지점으로 하는 단순보로서 계산한다.

하중은 <그림 5.12(a)(b)>와 같이 주동측에는 단면결정을 위한 토압을 가상지지점 까지 작용시키고 수압은 ‘5.5.2 모멘트의 평형에 의한 강널말뚝의 근입길이’에서 계산한 모멘트의 평형깊이에서 수압

이 0이 되도록 적용시킨다. 수동측 토압은 Rankine - Resal의 수동토압에 따르고 이들 하중에 대해서 주동측에서 수동측을 빼고 <그림 5.12(b)>의 단순보 AB에 작용시킨다.

단, 부의 토압은 고려하지 않아도 좋다.



<그림 5.12> 단면계산에 이용하는 토압 및 수압

강널말뚝 단면의 계산에서는 버팀보를 지점으로 한 연속보로 생각하는 방법과 지반을 탄성체로서 생각하는 방법이 있는데 여기서는 계산의 간략화와 안전측을 고려하여 이 조항과 같이 정하였다.

이 계산은 '5.5.1 평형깊이 및 가상지지점 구하는 법'에서 구한 두 가지 경우에 대해서 계산하지만 이외에 띠장 간격이 큰 곳에서는 응력을 검토할 필요가 있다. 이 경우에도 단순보로서 계산하여도 좋다. 강널말뚝 단면은 이 조항의 규정에 따라서 정하는 것 외에 '5.5.5 강널말뚝 변위의 검토'에 의해서 정할 수도 있으므로 주의를 요한다.

5.5.5 강널말뚝 변위의 검토

강널말뚝의 변위는 흙막이공이나 물막이공 전체의 안전을 좌우하고 주변지반의 침하를 일으키므로 충분히 검토하여야 한다.

계산으로 구한 변위량은 300mm 정도 이하 또는 강널말뚝 중심선에서 굴착깊이와 같은 거리에 들어 있는 가설구조물의 허용변위량을 초과해서는 안 된다.

변위량이 허용변위량을 넘는 경우에는 높은 강도를 갖는 강널말뚝을 사용하든가 굴착에 앞서 물막이 내에 지중보를 설치하든가 지반개량 등의 조치를 취하여야 한다.

강널말뚝에서는 응력에 여유가 있어도 강널말뚝 전체의 변위를 어느 값 이하로 억제시키는 것은 강널말뚝 배면과 앞면의 지반파괴를 막는데 중요하다.

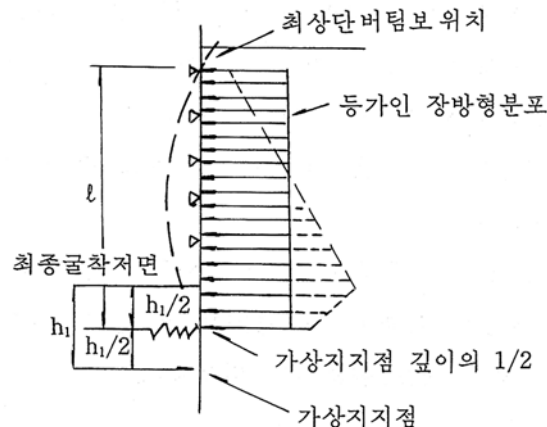
굴착저면 이하의 지반파괴를 방지하기 위해서는 고강도의 강널말뚝을 쓰든가 굴착에 앞서 지중보를

만들든가 지반개량을 하는 방법이 있다. 버팀보로 단면이 큰 것을 사용하거나 버팀보의 간격을 작게 하거나 또는 버팀보에 초기하중(프리로드)을 주는 방법으로 완전하게 굴착면 이하의 강널말뚝 변위를 규제하는 것은 곤란하다. 변위량의 추정은 원칙적으로 다음에 서술하는 간이법에 의하여 추정하기로 한다.

최상단 버팀보 위치를 지점으로 하고, '5.5.1 평형깊이 및 가상지지점 구하는 법'에서 구한 가상지지점 깊이의 1/2 점을 탄성지지점으로 한 단순보로 하고, 하중으로는 '3.1.6 토압'에서 제시한 토압과 '3.1.7 수압'에서 제시한 수압을 지간 ℓ 전체에 재하시킨다. 단, 사다리형의 하중을 전하중이 등가인 장방형분포로 한다.

또 가상지지점을 나타내는 스프링정수 $K(\text{kgf/cm}^2)$ 에 이 구간의 강널말뚝측 면적 A (그림 5.13)에 있어서 폭 100cm, 깊이 h_1)를 곱한 값으로 한다.

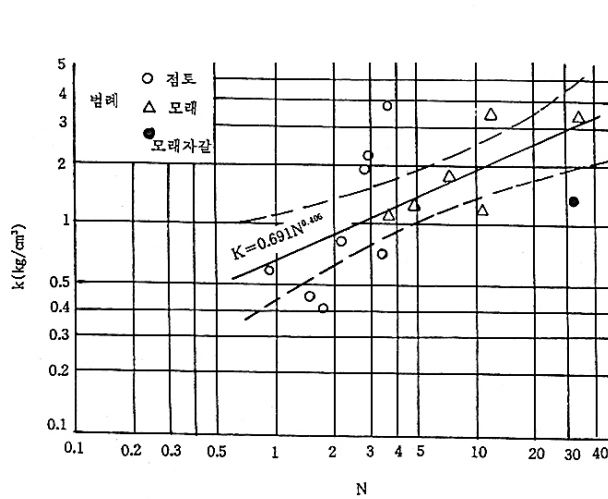
$$\text{즉, } K = K \cdot A(\text{kgf/cm}) \quad (\text{식 5.8})$$



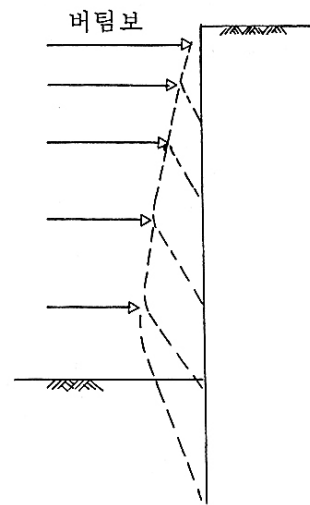
〈그림 5.13〉 스프링 정수의 계산방법

K 값은 〈그림 5.14〉를 참고로 정한다.

이 간이법은 지반을 굴착하면 굴착벽면은 배면의 측압작용으로 전방으로 변위하고 띠장이나 버팀보는 굴착의 진행에 따라서 변위한 벽면의 위치에 설치되므로 벽면은 〈그림 5.15〉와 같은 변형이 생긴다. 이것은 최종 굴착단계를 모델로 해서 생각한 것이다.



〈그림 5.14〉 N값과 K값의 관계



〈그림 5.15〉 굴착벽면의 변형

최종 굴착단계를 모델로 해서 강널말뚝은 〈그림 5.16〉과 같이 최상단 버팀보 위치를 지점으로 하고 굴착면 이하는 탄성체상의 버팀보로서 변형에 가까운 상태가 된다고 생각된다. 여기서는 계산의 간략화를 위하여 지반 스프링으로서 횡방향 k 값을 지중의 강널말뚝측 면적을 곱한 값을 가상지지점의 1/2 깊이에서의 등가 스프링정수로서 이용하고, 단순보로서의 힘에 의한 가상지지점의 지지 이동변형을 고려하는 방법을 강널말뚝 변위 계산 시 검토모델로 한다. 즉 〈그림 5.17〉과 같이 단순보 최대처짐 δ_1 에 이 최대처짐이 생기는 점에서의 가상지지점 변위의 영향 $\delta_2 = \ell' / \ell \cdot \delta_1$ 를 더한 양을 최대 변위량으로 했다. 하중으로서는 단면결정용 토압과 '3.1.7 수압'에 제시한 수압을 지간 전 길이에 걸쳐서 재하하지만 일반적으로는 사다리형 분포에 가까운 상태가 된다. 여기서는 계산의 간략화를 고려하여 전체하중 P 를 지간 ℓ 에서 나눈 P/ℓ 을 하중강도로 하는 장방형분포로 처짐을 구하여도 된다. 이 경우 $\ell' = \ell/2$, $\delta_2 = \delta_1/2$ 가 된다.

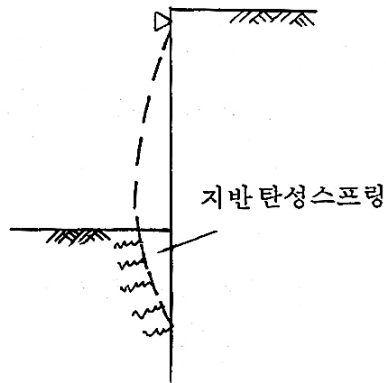
강널말뚝의 변위를 30cm 정도로 규제한 것은 굴착깊이 10m정도, 지반조건으로서 $C=20\text{kN/m}^2$ 의 연약점토인 경우에 지반이 파괴된다고 생각할 때 강널말뚝에 생기는 변위는 아래에 제시하는 계산으로부터 약 30cm 정도 예측되기 때문이다.

〈그림 5.18〉의 AB면의 변형율은

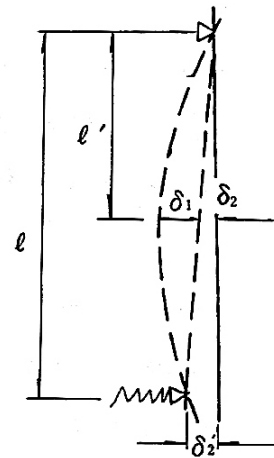
$$\varepsilon = \sqrt{2y} \quad AB = \frac{\sqrt{2y}}{\sqrt{2} \cdot 10} = \frac{y}{10}$$

지반의 파괴변형을 $\varepsilon_f \approx 3\%$ 로 하면

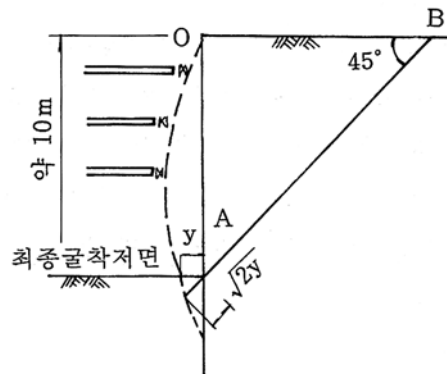
$$\varepsilon = \varepsilon_f \text{에서 } y = 10 \cdot \varepsilon \approx 10 \times 0.03 = 0.3\text{m} = 30\text{cm}$$



〈그림 5.16〉 강널말뚝의 해석모델



〈그림 5.17〉 최대변위



〈그림 5.18〉 변형율

5.5.6 버팀보, 띠장 철거 시의 검토

버팀보, 띠장 철거 시의 검토는 강널말뚝 지간이 굴착단계의 상태보다도 길 때 흙막이벽의 단면, 버팀보, 띠장을 계산하여야 한다.

되메우기의 시점에서 버팀보, 띠장의 철거는 설치의 역순으로 하는 것이 보통이다. 기초나 버림 콘크리트에서 버팀보를 철거하는 것이 일반적이므로 굴착 시 보다 안전측이라 할 수 있다. 그러나 강널말뚝의 지간이 굴착단계 상태보다도 길어질 때가 많으므로 이 때에는 흙막이벽의 단면, 버팀보, 띠장을 계산할 필요가 있다. 또 가상지지점은 철거하는 버팀보의 위치나 다져진 뒤채움토사의 면보다 1m 밑의 위치로 한다.

5.6 중간말뚝

버팀보의 교점을 버팀보 좌굴구속점으로 설계하는 경우에는 중간말뚝을 설치하고 볼트 등으로 체결하여야 한다. 중간말뚝은 연직하중을 받는 말뚝과 겸용하지 않는 것을 원칙으로 한다.

버팀보 교점을 좌굴구속적으로서 설계하는 경우 이 교점은 움직이지 않아야 하므로 중간말뚝과 체결시켰다. 버팀보 교점의 침하, 이동은 흙막이공이나 물막이공 전체를 파괴에 이르게 하므로 연직하중을 받는 말뚝과 겸용을 피하게 했다.

단, 지지층까지 타입된 것이나 근입길이가 충분하고 침하에 대해서 안전이 확보된 연직하중을 받는 말뚝은 중간말뚝과 겸용하여도 좋지만 활하중에 의하여 가로흔들이가 버팀보에 악영향을 주는 것에서 는 버팀보나 중간말뚝에 가새(브레이싱)를 설치하거나 필요에 따라서 침하방지책을 강구하면 겸용하여도 좋다. 연직하중을 받지 않는 중간말뚝의 근입길이는 이 말뚝이 지지하는 버팀보의 자중과 각 단의 버팀보에 가하여지는 하중 총합의 1/50을 합계한 하중이 이 말뚝에 작용하는 것으로 계산한다. 또 이 하중이 인발에 대해서 저항할 수 있는가 계산하도록 한다. 단, 근입길이는 굴착면 이하에 3m 이상 관입시켜야 한다.

5.7 띠장 및 버팀보

5.7.1 띠장 및 버팀보의 간격

- (1) 띠장의 수직간격은 3m 정도로 하고, 흙막이말뚝 머리에서 1m 이내에 제1단째의 띠장을 넣는 것을 원칙으로 한다. 단, 복공받침보가 있는 경우 이에 따르지 않는다.
- (2) 버팀보 간격은 수평에서는 5m 이하, 수직에서는 3m 정도로 한다.
- (3) 띠장의 이음간격은 6m 이하로 한다.

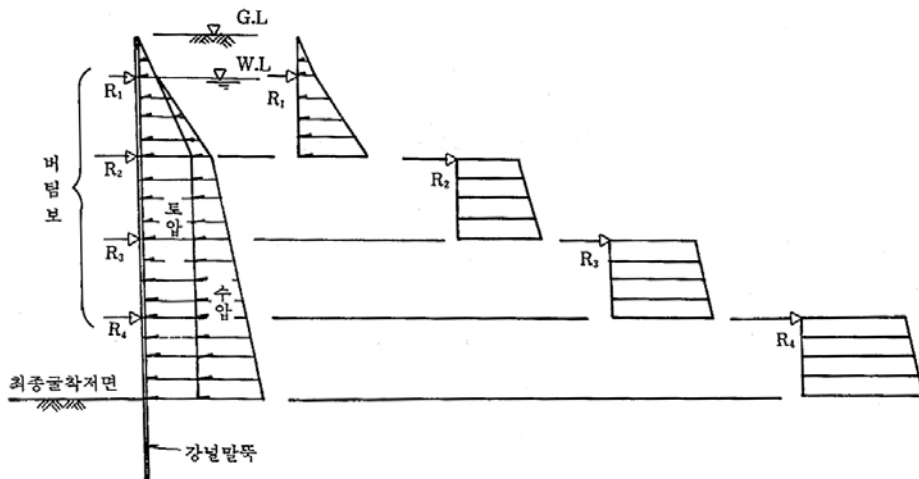
띠장과 버팀보의 배치에 대해서는 앵커 프레임, 각주의 위치도 고려해서 결정한다.

5.7.2 띠장 및 버팀보에 작용하는 하중

띠장 및 버팀보에 작용하는 하중은 시공단계의 굴착상태에서 ‘3.1.6 토압’ 및 ‘3.1.7 수압’을 이용하여 하방향 분담법에 의하여 구한다.

하방향 분담법이란 어떤 버팀보의 반력은 그 하방향 버팀보까지의 측압(토압, 수압)을 부담한다는 것이다. 이 경우는 '5.5.4 강널말뚝의 단면계산'과 같이 토압 및 수압의 분포는 가상지지점 까지 생각할 필요가 없고 <그림 5.19>와 같이 굴착저면까지로 하여도 좋다.

<그림 5.19>에서 구하여지는 면적이 띠장에 가하여지는 하중(kN/m)이고, 이것에 버팀보 간격을 곱한 결과가 버팀보 반력이 된다.



<그림 5.19> 하방향 분담법에 의한 토압, 수압을 취하는 방식

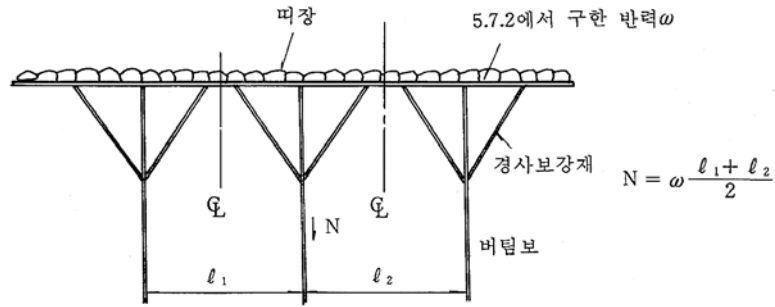
5.7.3 띠장의 계산

띠장을 '5.7.2 띠장 및 버팀보에 작용하는 하중'에서 구한 반력을 하중으로 하고 버팀보를 지점으로 한 단순보로서 계산한다. 기초와 같이 굴착 평면형상이 장방형인 경우에 띠장은 버팀보를 겹치게 되므로 압축력을 고려하여야 한다.

‘4.6.3 띠장의 계산’ 해설참조

5.7.4 버팀보의 계산

- (1) 버팀보에 작용하는 축력은 '5.7.2 띠장 및 버팀보에 작용하는 하중'에서 구한 단위길이 당 반력과 버팀보의 분담폭과의 곱으로서 구한다.



〈그림 5.20〉 버팀보에 작용하는 축력

- (2) 버팀보는 연직방향 및 수평방향의 안정에 대해서 검토하여야 한다.
 (3) 버팀보에서는 축력 뿐만 아니라 연직하중을 고려한다.
 (4) 버팀보의 온도변화에 의한 축력의 증가는 120kN으로 한다.

‘4.6.4 버팀보의 계산’ 해설참조

5.7.5 이음재

이음재 간격은 4m 이내를 원칙으로 한다.

‘4.6.5 이음재’ 해설참조

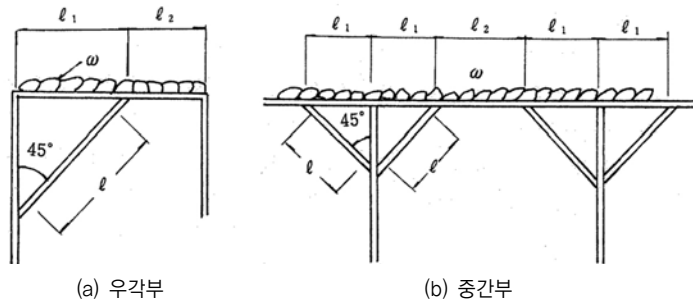
5.7.6 경사보강재

- (1) 강널말뚝 방식 흙막이공 및 단일 물막이공은 경사보강재를 설치하는 것을 원칙으로 한다.
- (2) 중간부의 경사보강재는 필요에 따라 설계하기로 한다.
- (3) 경사보강재는 <그림 5.21>과 같이 45°로 대칭으로 넣는 것을 원칙으로 한다.
- (4) 경사보강재에 작용하는 축력은 다음 식에 의하여 계산한다.

$$N = 0.7 (\ell_1 + \ell_2)w \quad (\text{식 5.9})$$

여기서, ℓ_1, ℓ_2 : 띠장의 시간

w : 띠장의 단위길이 당 작용하는 하중



<그림 5.21> 경사보강재

- (5) 경사보강재 설치부의 전단력은 반드시 검토하여야 한다.

$$S = N / \sqrt{2} \quad (\text{식 5.10})$$

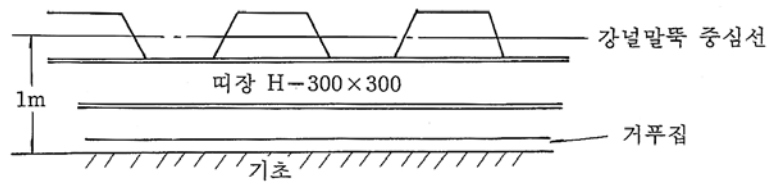
- (6) 경사보강재의 자중은 무시하여도 좋다.

‘4.6.6 경사보강재’ 해설 참조

5.8 강널말뚝의 구조물과의 간격

구축하는 구조물 측면과 강널말뚝 중심선과의 거리는 타입오차 및 강널말뚝의 변형량을 고려한 후 결정하기로 한다.

강널말뚝을 사용하는 가설구조물에는 수압이 작용하므로 버팀보 연직간격이 좁아지게 된다. 이 때문에 기초 시공에 방해되는 띠장을 철거할 수 없는 경우가 많다. 여기서는 강널말뚝과 구조물과의 사이에 H-300×300 정도의 띠장을 설치할 수 있고 작업성, 띠장 철거 시 시공공간을 고려하여 정하도록 한다. 일반적으로 띠장을 사용하는 경우 1m 정도를 취하기로 한다.



〈그림 5.22〉 강널말뚝 중심선과 구조물 측면과의 거리

5.9 물막이 끝단의 높이

물막이 끝단높이는 과거 5개년 간 공사기간의 최고수위 + 0.5m를 표준으로 한다.

파도 등에 의해서 수위가 높아질 가능성이 있는 곳, 하천의 관리상이나 이용상의 조건으로부터 결정 되는 경우는 이에 따르지 않는다.



6. 이중 물막이공의 설계

6.1 설계방침

이중물막이의 설계는 다음 세 가지로 나누어 생각한다.

- (1) 굴착측 근입지반의 안정 및 내측 강널말뚝·버팀보·띠장의 단면은 뒤채움토사 끝단을 지반으로 하는 강널말뚝방식 흙막이공에 준하여서 설계한다.
- (2) 외측의 강널말뚝 및 타이로드·띠장은 ‘6.5 외측 강널말뚝 및 타이로드의 설계’에 규정하는 방법에 의해서 설계한다.
- (3) 우수압이 물막이 전체에 편압으로서 작용하는 하중으로 생각할 수 있는 경우에는 이를 고려하여 설계한다.

- (1) 여기서 대상으로 하고 있는 이중물막이는 물막이 내부의 배수 및 굴착 시 띠장, 버팀보를 설치하면서 물막이를 하는 공법이다. 따라서 외측의 토압, 수압에 대해서 이중 강널말뚝의 자립성에 의해서 이중으로 저항하는 구조는 아니므로 주의를 요한다.

이중물막이에 대한 계산법은 확립된 것이 없고 현재 강널말뚝방식 흙막이공에 준하여서 계산하는 실정으므로 이 기준도 이에 따른 것이다.

- (2) 위와 같이 외측에서 작용하는 토압, 수압은 버팀보를 통해서 이중벽 사이에서 평형을 이루지만 하천의 물막이에서는 우수압에 의해서 편압이 작용하는 경우가 있다. 이 외에도 물막이 전체가 평면으로 절반이 하천 속에 있고 절반이 육상에 위치한 경우에도 편압이 작용하게 되는데 이런 경우에는 편압에 대한 안정을 검토할 필요가 있다.

6.2 이중물막이의 폭

이중물막이 폭의 최소치는 2m로 한다. 단, 편압이 작용하는 경우에는 이에 대하여 인정할 폭을 결정하여야 한다.

(가) 최소폭을 2m로 한 것을 시공 예 등을 참고로 해서 정하였다.

(나) 편압에 대한 안정계산에서는 하상면에서의 편압에 의한 전도모멘트에 대한 안정, 편압에 의한 활동에 대한 안정 등이 있다. 이들의 안정계산에서는 이중벽 사이가 타이로드로 연결되어 있는 것을 고려해서 저항모멘트나 활동저항력은 이중벽에서 분담하도록 하는 것이 좋다. 한쪽 방향의 이중물막이에 의한 저항모멘트 및 활동저항력의 계산방법을 아래에 제시한다.

(a) 저항모멘트 M_r

$$M_r = 1/6 \gamma R_o H_o^3 \quad (\text{식 6.1})$$

$$R_o = 2/3 \nu_o^2 (3 - \nu_o \cos \phi) \tan \phi \sin \phi \quad (\text{식 6.2})$$

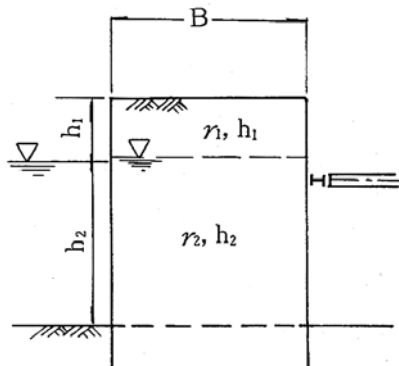
$$H_o = 1/\gamma_2 (\sum \gamma_i h_i) = 1/\gamma_2 (\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2) \quad (\text{식 6.3})$$

$$\nu_o = B/H_o \quad (\text{식 6.4})$$

여기서, B : 이중물막이의 폭(m)

γ_i, h_i : 뒤채움토사의 단위중량 (kN/m^3), 두께(m)

ϕ : 뒤채움토사의 내부마찰각 (도)



〈그림 6.1〉 뒤채움 토사의 단위중량 및 두께

(b) 활동의 저항력 R_d

$$R_d = \tan \phi_u \cdot (\sum \gamma_i h_i) \cdot B \quad (\text{식 6.5})$$

여기서, ϕ_u : 하상면의 경우 뒤채움 토사 또는 원지반의 내부마찰각의 최소값

하상이 연약하지 않은 점성토(점착력에서 $C \geq 50 \text{ kN/m}^2$ 을 목표로 한다)의 경우에는 식(6.5)와 식(6.6)으로 정하는 R_d 중 최소치를 사용한다.

$$R_d = C \cdot B \quad (\text{식 6.6})$$

(c) 안정조건

$$M_d \cdot F_s \leq 2M_r \quad (\text{식 6.7})$$

$$P \cdot F_s \leq 2R_d \quad (\text{식 6.8})$$

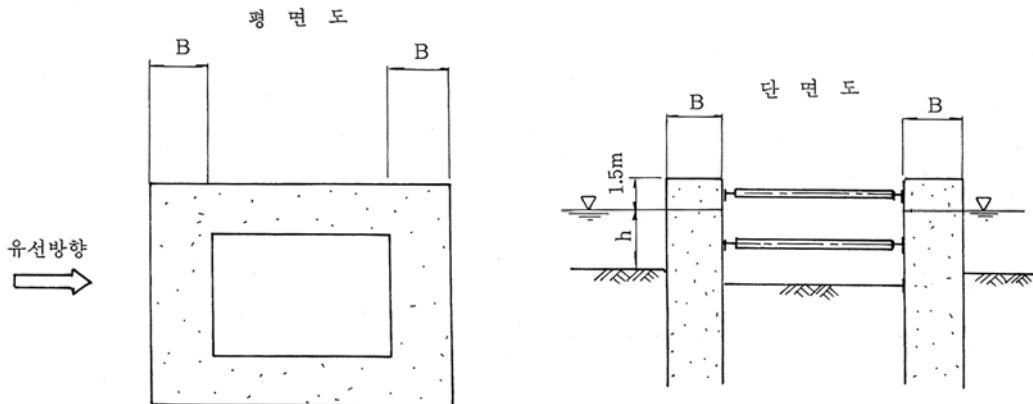
여기서, F_s : 안전율 ($F_s \geq 1.5$)

P : 편압 합력 (kN/m)

M_d : 편압에 의한 전도모멘트 ($\text{kN} \cdot \text{m/m}$)

(d) 계산 예

예로서 <그림 6.2>와 같은 수면상에서 1.5m 나온 수심 $h(\text{m})$ 의 조건으로 유수압에 의한 전도모멘트 M_d 를 식(6.9)로 계산하고 폭과 수심 h 의 관계를 그래프로 표시하면



<그림 6.2> 이중물막이의 계산 예

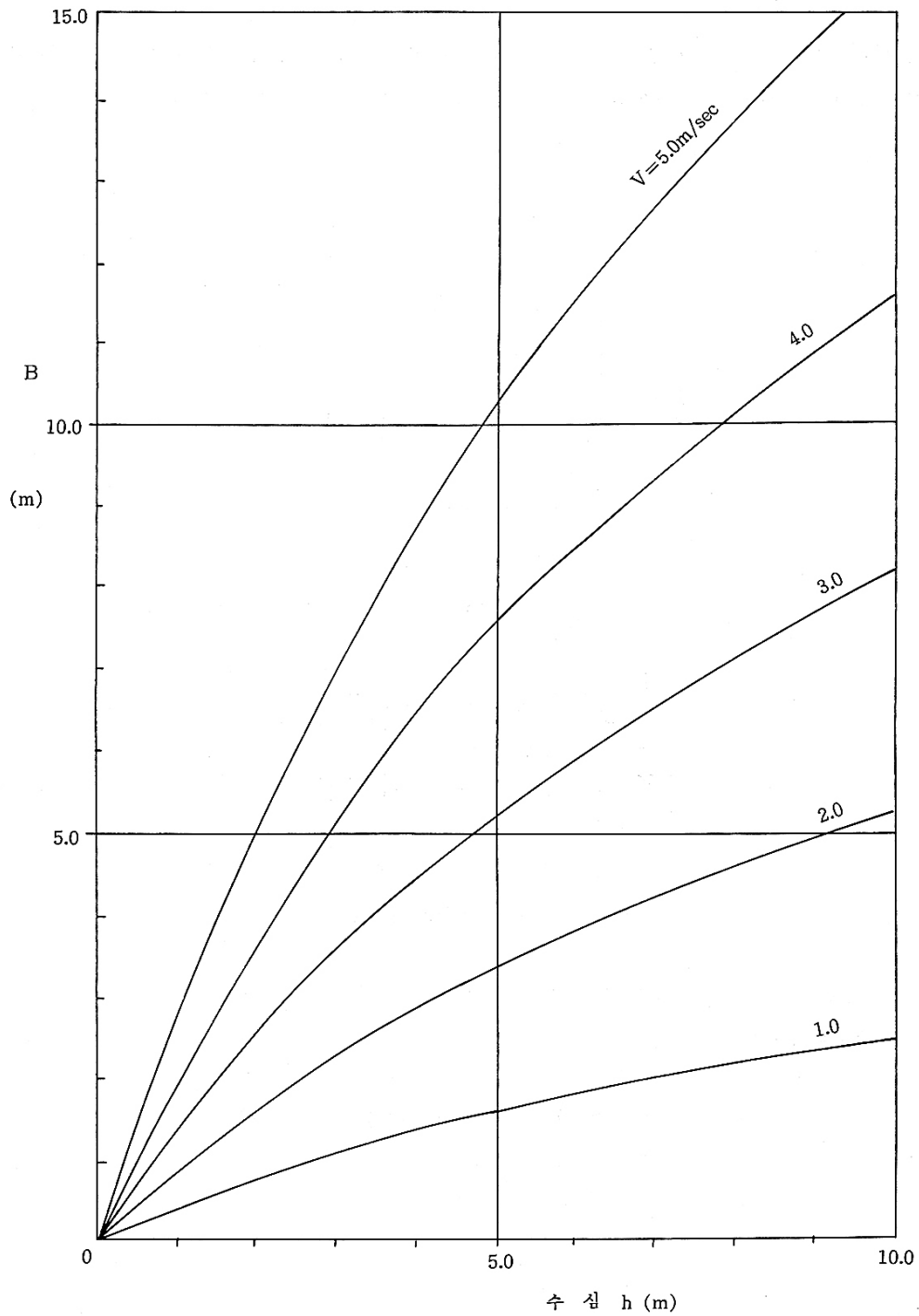
<그림 6.3>~<그림 6.5>와 같이 된다.

$$M_d = 10KV^2 h \times (0.6h) \quad (\text{식 6.9})$$

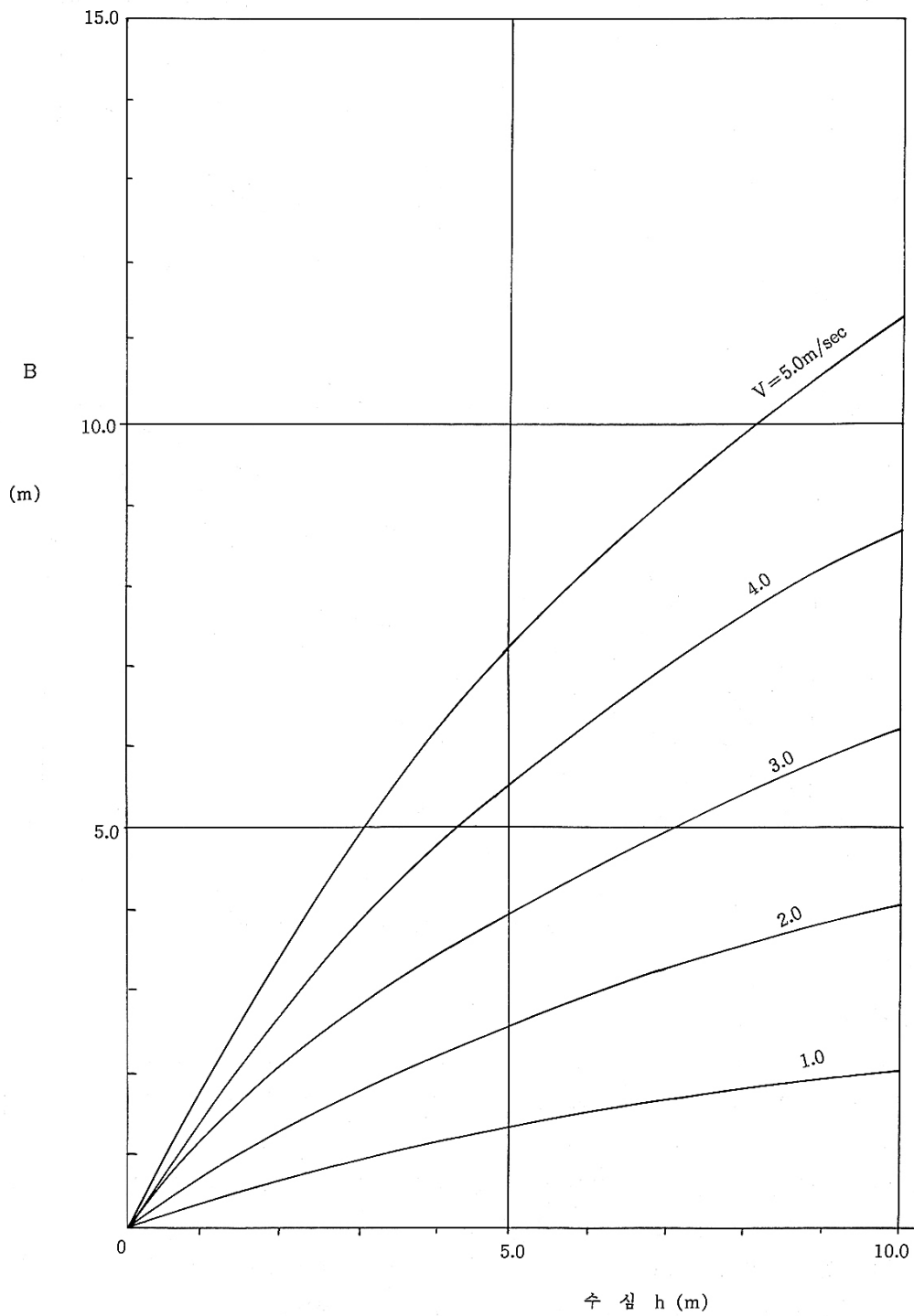
여기서, K : 형상계수(평면형상이 직사각형일 때 0.07)

V : 유속 (m/sec)

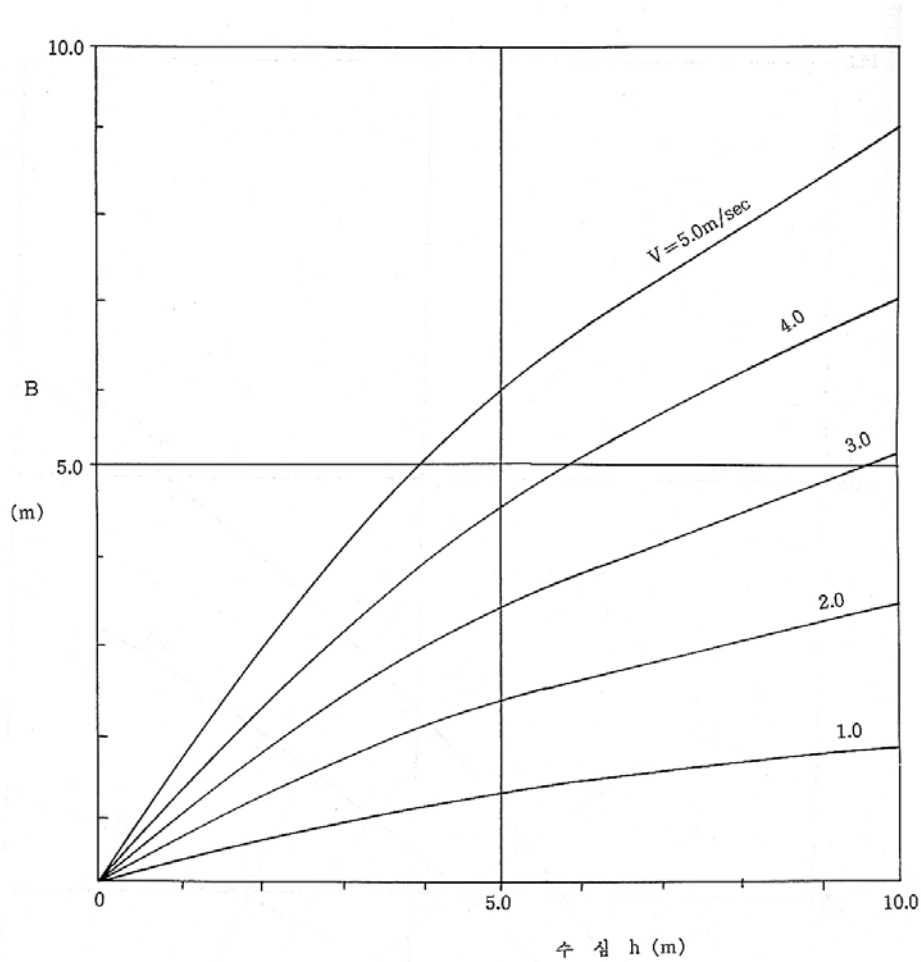
(0.6h) : 유수압의 합력높이 (m)



〈그림 6.3〉 B-h-V 관계도 ($\phi=25^\circ$) $F_s=1.5$



〈그림 6.4〉 B-h-V 관계도 ($\phi=25^\circ$) $F_s=1.5$

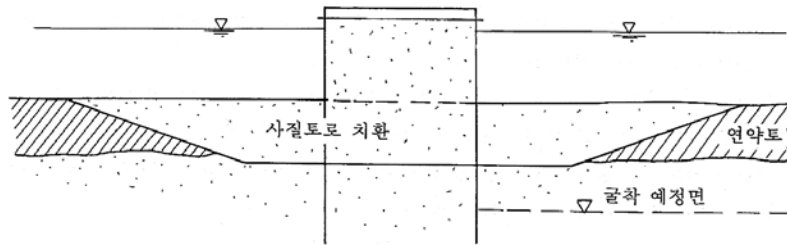


〈그림 6.5〉 B-h-V 관계도 ($\phi=30^\circ$) $F_s=1.5$

6.3 뒤펅 토사

이중물막이의 뒤펅 토사는 양질의 사질토를 사용하는 것을 원칙으로 한다.

- (가) 벽체의 강성을 증가시킬 목적과 강널말뚝에 작용하는 토압을 가능한 한 경감하려는 목적으로 양질의 사질토를 사용하기로 했다.
- (나) 편압에 대해서 이중물막이의 폭을 결정한 경우에 하상에 연약한 점성토층이 퇴적되어 있는 장소에서는 사전에 치환하는 등 설계 시 배려가 필요하다.



〈그림 6.6〉 연약지반에 대한 고려

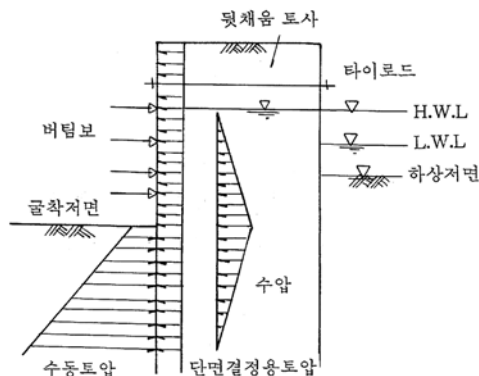
(다) 양질의 사질토를 사용하는 경우 토질정수는 다음과 같이 한다.

단위체적중량(습윤)	$\gamma = 18\text{kN/m}^3$
단위체적중량(수중)	$\gamma = 10\text{kN/m}^3$
내부마찰각	$\phi = 20^\circ \sim 30^\circ$
점착력	$C = 0\text{kN/m}^2$

6.4 내측 강널말뚝, 보팀보, 띠장의 설계

내측의 강널말뚝, 버팀보, 띠장의 설계는 강널말뚝방식 흙막이공에 준한다.

(가) 내측(굴착측) 강널말뚝의 계산방법은 확립된 것이 없고 현재 강널말뚝방식 흙막이공에 준하고 있는 실정이다. 이중물막이를 합리적으로 설계하는 데는 외측에서의 토압, 수압을 내·외측 강널말뚝이 어떻게 전달·분담하는가 알고 뒤채움토사에 의한 토압을 알 필요가 있는데, 이러한 문제를 다룬 참고문헌이 거의 없으므로 안전을 고려하는 곳에서는 내측에 대해서 강널말뚝방식 흙막이공에 준하기로 한다. 〈그림 6.7〉에 뒤채움토사의 토압 및 수압을 나타낸다.



〈그림 6.7〉 뒤채움 토사의 토압 및 수압

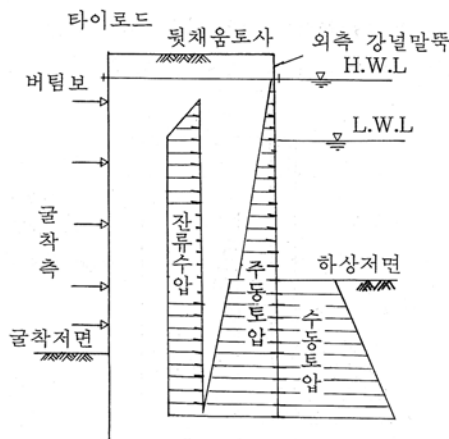
- (나) 굴착지반의 안정에 대해서도 마찬가지로 부풀음, 보일링, 양압력 등을 검토하고 하천에서는 내부로의 침투수를 검토하여야 한다.
- (다) 물막이 내부의 배수 시에는 굴착 시와 같이 버팀보를 설치해서 배수하여야 한다. 이 때문에 저하된 수위와 버팀보 위치의 관계에 대해서 검토하여야 한다.
- (라) 편압에 의하여 이중물막이의 폭을 정한 경우에는 안정상의 문제로 강널말뚝의 연직방향지지력이 필요한 것도 있으므로 주의가 필요하다.

6.5 외측 강널말뚝 및 타이로드의 설계

6.5.1 외측 강널말뚝에 작용하는 하중

뒤채움토사 및 하상면보다 하방향의 흙에 의한 토압은 주동토압, 수동토압 모두 Rankine - Resal의 계산식에 의한다. 조수의 영향을 받는 하천의 물막이에서는 잔류수압을 고려한다.

- (가) 강널말뚝의 단면계산과 근입길이의 계산은 Rankine - Resal의 토압으로 계산하고 흙막이나 단일물막이의 단면계산에 이용한 토압은 고려하지 않는다. 이것은 이중물막이의 외측 강널말뚝은 버팀보로 지탱되어 있지 않으므로 버팀보 축력의 축정치를 정리해서 얻은 단면계산의 토압을 사용하는 것은 부적당하다고 생각되므로 이렇게 정한 것이다.



〈그림 6.8〉 외측 강널말뚝에 작용하는 토압과 수압

- (나) 조수의 영향을 받는 하천의 물막이인 경우 잔류수압은 간만의 차를 고려하여 정할 필요가 있다. 잔류수압은 일반적으로 앞면 수위차(H.W.L과 L.W.L의 수위차)의 2/3로 한다.

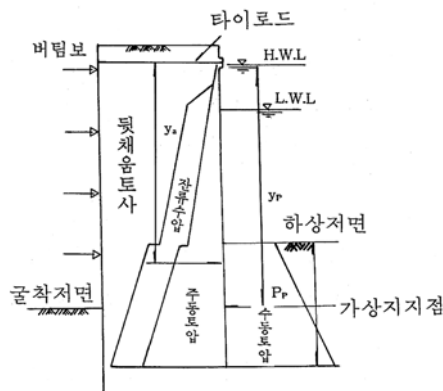
6.5.2 외측 강널말뚝의 평형깊이 및 가상지지점 구하는 법

외측 강널말뚝에 타이로드 접속점 아래에 작용하는 주동토압 및 잔류수압에 의한 작용 모멘트와 수동토압에 의한 저항모멘트가 평형상태로 될 때 하상저면 이하의 깊이를 외측 강널말뚝의 평형깊이라 하고 이 때 수동토압 합력의 작용점을 가상지지점으로 한다. 가상지지점의 최대 깊이는 하상저면에서 5m로 한다.

단일물막이와 같은 방법으로 '5.5.1 평형깊이 및 가상지지점 구하는 법'의 해설을 참조하기 바란다.

외측 강널말뚝의 평형깊이를 <그림 6.9>에 나타낸다.

하상면 이하의 지반이 연약한 토층일 때에는 주동토압과 잔류수압의 강도합계가 수동토압강도와 같아지는 위치까지 내려간 곳을 가상지지점으로 하는 방법도 있다. 이렇게 지반이 연약할 경우에는 별도로 고려할 필요가 있다.

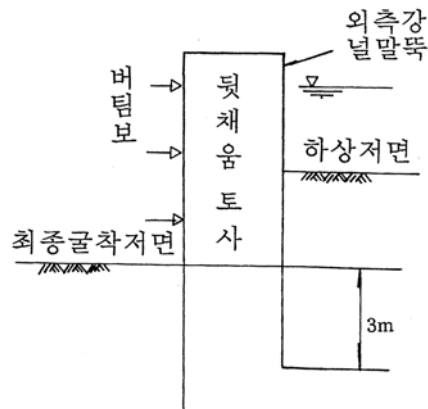


<그림 6.9> 외측 강널말뚝의 평형깊이

6.5.3 외측 강널말뚝의 근입길이 계산

외측 강널말뚝의 근입길이는 '6.5.2 외측 강널말뚝의 평형깊이 및 가상지지점 구하는 법'에서 구한 평형깊이의 1.2배로 한다. 단, 강널말뚝 선단은 최종 굴착저면 이하로 적어도 3m는 근입시켜야 한다.

단일물막이와 같은 방법이며 물막이 전체의 안정을 고려하여 계산상 필요 없을 지라도 <그림 6.10>과 같이 적어도 최종 굴착저면 보다 3m는 근입시키게 했다. 또 굴착측에 많은 양의 침투수가 예상되는 경우에는 외측 강널말뚝을 지수층까지 도달시키거나, 지수층이 적당한 위치라면 침투수량을 줄이는데 충분한 길이만큼 타입하여야 한다.



〈그림 6.10〉 외측 강널말뚝의 근입길이

6.5.4 외측 강널말뚝의 단면계산

외측 강널말뚝 단면은 '6.5.1 외측 강널말뚝에 작용하는 하중'에 제시한 하중분포를 사용하고, 타이로드 접속점과 가상지지점을 지점으로 하는 단순보로서 계산한다.

6.5.5 타이로드의 단면계산

타이로드의 단면은 하상저면 위의 뒤채움 토사의 토압과 잔류수압의 합의 1/2을 인장력으로 작용시켜 계산한다. 또한 허용인장력은 안전을 고려 $f_a \cdot 2/3$ 로 하는 것이 좋다.

외측 강널말뚝에 작용하는 뒤채움 토사에 의한 토압과 잔류수압은 타이로드와 강널말뚝 근입부의 수동토압에 의해서 지지되지만 그 비율은 토압의 삼각형분포를 고려하면 후자에 의한 것이 크다. 따라서 안전측인 것과 계산의 간략화를 고려해서 하상저면 보다 위의 전작용력의 1/2을 타이로드에 작용시킨다.

6.5.6 타이로드의 수평간격과 설치

타이로드의 수평간격은 내외 강널말뚝 1개당 폭을 고려해서 정한다. 설치위치는 고수위 부근에서 1단 배치를 표준으로 한다.

내외 모두 IV형 이하의 강널말뚝을 사용하는 경우는 강널말뚝 1개당 폭이 0.4m와 일치하고 있으므로 수평간격으로 위의 배수를 취하면 좋지만, 타이로드를 촘촘하게 배치하면 뒤채움토사의 충전에 지장을 주거나, 타이로드에 균등한 인장력이 작용하지 않을 우려가 있으므로, 수평간격은 1.6m 정도를 취하는 것이 좋다.

또 굴착측에 V형, 외측에 III형의 강널말뚝을 사용하는 경우는 폭이 0.5m, 0.4m로 각각 다르므로 최소공배수로서 2m로 하는 것이 좋다.

설치높이는 외측 강널말뚝의 응력을 적게하기 위해서는 가능한 한 낮게 하는 것이 좋지만, 지수성을 고려하여 위와 같이 정했다. 또 2단 이상의 배치를 하여도 인장력이 하방향 타이로드에 크게 작용해서 위의 타이로드에 그다지 크게 작용하지 않으므로 1단으로 배치하도록 한다.

6.5.7 타이로드 재질과 단면

타이로드의 재질은 SS400, 최소직경은 25mm를 원칙으로 하고 단면적은 나사부를 고려하여 유효단면적으로 한다. 또한 허용인장력은 안전을 고려 $f_{sa} \cdot 2/3$ 으로 하는 것이 좋다.

6.5.8 타이로드 설치용 띠장의 계산

띠장의 최대 휨모멘트는 다음 식으로 계산한다.

$$M = T\ell / 10 \quad (\text{식 6.10})$$

여기서, M : 띠장의 최대 휨모멘트 ($\text{kN} \cdot \text{m}$)

T : 타이로드의 장력 (kN)

ℓ : 타이로드 설치간격 (m)

6.5.9 그라운드 앵커(ground anchor) 적용범위

그라운드 앵커는 PC 강재를 인장재로 하여 지반에 주입하고 정착시킴으로써 인장하중을 분담시키는 영구 및 가설의 계획·설계·시공·시험·관리에 대하여 적용한다.

이 규정은 토목·건축공사 등의 흙 막기, 산사태 억지, 비탈면 안정, 각종 구조물의 보강 등 여러 가지 목적으로 사용되는 영구 및 가설 앵커에 적용된다.

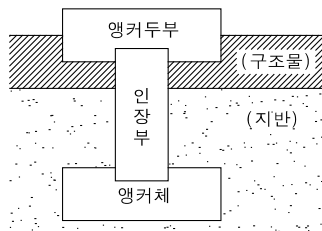
단, 앵커 공사에서는 전문지식, 경험과 숙달된 시공기술이 요구되기 때문에 이 규정은 그 노하우(know-how)에 대하여 모두 언급할 수는 없다. 따라서, 우수한 전문지식을 가진 기술자에 의하여 구체적으로 앵커되는 대상물에 대하여 그때마다 가장 적절한 처리가 실시되는 것이 중요하며, 이 규정만으로 모든 것을 커버할 수는 없다.

6.5.10 용어의 정의

(1) 그라운드 앵커(ground anchor)

그라운드 앵커는 토사에 타설되는 soil anchor와 암반에 타설되는 rock anchor로 분류된다. 그라운드 앵커는 인장재의 양쪽 끝 부분을 지반과 구조물에 각각 정착시켜 그 중간부분을 신장변형에 대하여 자유롭게 하고 이것에 pre-stress를 주는 것이며, 앵커체 · 인장부 · 앵커두부에 의하여 구성되는 구조체의 총칭이다.

그라운드 앵커의 구성을 <그림 6-11>에 제시한다.



<그림 6.11> Ground Anchor의 구성

(2) 인장부(Tension Zoin)

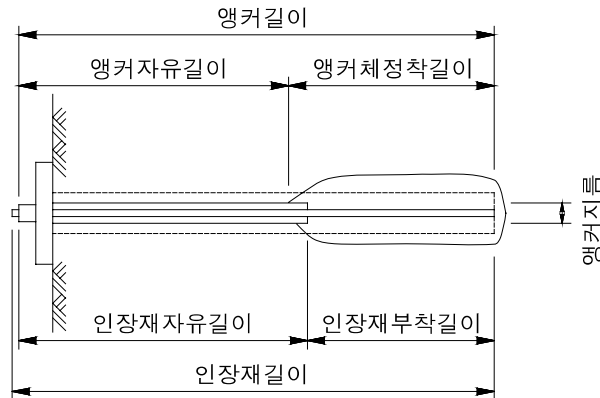
인장부는 앵커 두부부터의 인장력을 앵커체에 전달시키는 부분이다.

인장부는 일반적으로 PC강연선 · PC강선 또는 PC강봉 등의 인장재를 주요재로 구성되어 있고, 인장재를 보호하는 sheath도 부속품으로 인장부에 포함시키고 있다.

(3) 앵커 길이(Anchor Length)

앵커 길이는 앵커 전체 길이를 말하며 주로 앵커체 정착 길이와 앵커 자유길이가 되어 있다.

앵커의 기본 개요도를 <그림 6.12>에 표시한다. 이 그림은 앵커의 기본 구조를 제시한 것이다.



〈그림 6.12〉 앵커의 기본 개요도

(4) 앵커체 정착 길이(fixed anchor length)

앵커체 정착 길이는 앵커체의 길이를 말한다.

앵커체 정착 길이는 설계상 앵커체의 허용인발력 또는 허용인장력에 의하여 결정되어 진다. 앵커체 정착 길이는 설계에서 사용하는 앵커 주변의 마찰저항력은 앵커체 주변에 등분포로 작용하는 것으로 간편하게 간주할 수 있다. 단, 실제로는 균등하게 분포하지 않기 때문에 영구 앵커를 비롯한 중요한 앵커에는 이 점에 관한 검토를 필요로 하는 경우가 있다.

앵커체 정착 길이는 총상 3~10m가 바람직하지만, 정착 지반이 암반이고 균열이 발달하고 있지 않은 경우나 하중이 작은 경우 등 조건에 따라서는 3m이하로 하여도 좋다. 또한, 10m 이상으로 되는 경우는 전체 정착 길이가 유효하게 작용하지 않기 때문에 앵커 주변의 마찰저항력을 저감해서 생각하거나 앵커수를 증가하는 등 설계를 재검토할 필요가 있다.

* FIP : 앵커체 정착 길이는 통상 3.0m 이상 10m 이내로 함.

**USA : 앵커체 정착 길이 최저 4.6m(15ft) 이상은 모든 토사에 대하여 필요로 한다.

일반적으로 점성토는 비 점성토의 정착 길이보다 길게 된다.

(5) 앵커 자유 길이(free anchor length)

앵커 자유 길이는 인장재가 관통하고 있는 부분만이며 주변 지반에 대하여 힘의 전달이 되지 않는 부분의 길이를 말한다.

앵커 자유 길이는 구조물의 종류나 목적·지반 조건 등을 고려하여 결정되지만, 앵커가 유효하게 작용되기 위해서는 4m이상 취하는 것이 바람직하다.

앵커 자유 길이 부분의 제작방법은 가설용과 영구용이 다르며, 영구용은 강재 부식에 대하여 보다 많은 주의를 하고 있다.

* FIP : 자유 길이는 최저 4.6~7.6m(15~25ft)로 하여야 한다.

**USA : 자유 길이 4.6m(15ft) 보다 짧게 하면 안 된다.

(6) 앵커각(anchor incline)

앵커각은 정하여진 기준면에 대한 앵커의 설치각도의 것을 말한다. 앵커각에는 앵커경사각과 앵커수평각이 있다.

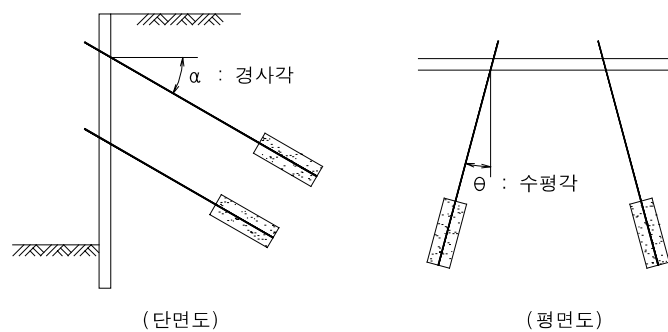
앵커각에서는 수평면을 기준으로 한 경우의 앵커경사각과 수직면을 기준으로 한 경우의 앵커수평각이 있다.

앵커경사각이 수평에 가까운 경우에는 그라우트주입부에 breathing이 생기고, 충분한 부착을 기대할 수 없을 때가 있으므로 일반적으로는 수평면에서 $-10^{\circ} \sim +10^{\circ}$ 의 범위는 피하여야 한다. 그러나 다음의 USA지침의 $-5^{\circ} \sim +5^{\circ}$ 와 같이 충분히 주의해서 시공하면 앵커 내력이나 품질에 문제는 없다(참고문헌 : 토질공학회 그라운드앵커 설계 시공예·AAW 패널 옹벽공사)

* FIP : $-10^{\circ} \sim +10^{\circ}$ 의 범위로 한다.

**USA : $-5^{\circ} \sim +5^{\circ}$ 의 범위로 한다.

앵커수평각은 일반적으로는 구조물의 앵커정착면에 수직으로 하나 현장의 상황에 의해서 각도를 붙이는 경우이다.



〈그림 6.13〉 앵커각

6.5.11 앵커의 설계개요

그라운드 앵커의 설계는 다음 항목을 고려하여 실시하여야 한다.

- (1) 구조계의 안정
- (2) 앵커의 인발저항력
- (3) grout 와 인장재 사이의 부착력
- (4) 안전율

그라운드 앵커는 상기 항목을 고려해서 구조물에 과대한 변형이 발생되지 않도록 설계한다.

그라운드 앵커를 설계할 경우에는 구조물에 작용하는 외력, 지반내력을 추정하기 위하여 지반조사, 인발시험 등에 관한 자료를 참고로 해서 결정할 필요가 있다.

경우에 따라 설계단계에 있어서 자료가 불충분하다고 판단된 경우에는 재조사를 실시하든지, 또는 시공 초기단계에서 개략설계를 설계 변경하기 위하여 필요한 자료를 얻든지 어느 한 가지 방법이 필요하다.

6.5.12 구조계의 안정

구조계의 안정 검토에 필요한 주된 것으로는

- (1) 깊은 굴착의 흠막기
- (2) 비탈면 안정
- (3) 연직 또는 일시 하중을 받는 구조물의 안정 등이 있다.

설계자는 구조계의 안정, 변형을 고려하여 그라운드 앵커의 자유 길이, 앵커 길이, 설계앵커력, 초기 긴장력의 결정을 실시하여야 한다.

구조물은 앵커에 의하여 안정시킬 때는 앵커 내력의 검토 외에 지반, 앵커, 구조물의 전체를 포함한 안정의 검토가 필요하다.

이 안정의 검토에는 내적 안정, 외적 안정, group 효과의 검토가 있다. 그라운드 앵커의 자유 길이에 대해서는 인발저항의 감소, 앵커체의 국부 전단파괴를 감소시키기 위하여 최소 자유 길이와 최소 피복 두께는 5m가 일반적으로 필요하다고 생각된다.

6.5.13 깊은 굴착의 흙 막기

흙 막기 벽의 안정에 관한 검토는

- (1) 흙 막기 벽의 지지력
- (2) 굴착 저면의 안정
- (3) 내적 안정
- (4) 외적 안정

에 대해서 실시하여야 한다.

(1)의 흙 막기 벽의 지지력의 검토는 앵커 인장력의 연직성분에 대해서 실시된다. 통상, 흙 막기 앵커는 아래쪽을 향하여 경사각을 가지고 설치되기 때문에 그 긴장력의 연직 성분에 대한 지지력이 부족하면 흙 막기 벽이 침하하고 앵커의 긴장력이 감소해서 흙 막기 벽이 밀려나온다. 이것에 대한 대책으로는 흙 막기 벽의 굴착 저면부터 아랫부분을 지지할 수 있는 지반에 넣는다든지 굴착 저면 부터의 길이를 길게 한다든지 앵커경사각을 완만하게 한다든지 하는 것이다.

(2)의 굴착 저면의 안정 검토는 굴착 저면부터 아랫부분의 측압의 균형, heaving, boiling에 관해서 실시된다.

이 안전을 확보하기 위하여 흙 막기 벽의 굴착 저면부터의 길이를 길게 한다든지, 앵커 위치를 굴착 저면 부분에 접근시킨다든지 앵커 단수를 증가 한다든지 하여야 한다.

(3)의 내적 안정의 검토는 뒤쪽 지반이 굴착 저면 아랫부분의 붕괴, 앵커체의 빠져 나옴도 없이 붕괴되는 것에 대한 안전을 확보하기 위하여 실시한다. 이 안전을 확보하지 못하는 경우에는 앵커 길이를 길게 하여 안전율을 증가시킨다.

a. E.Kranz의 방법

b. R.Jelinek, H.Ostermayer의 방법

(4)의 외적 안정의 검토는 앵커체, 흙 막기 벽, 지반 전체의 붕괴에 대한 안전을 확보하기 위하여 실시한다. 이 안전을 확보하지 못하는 경우에는 앵커 길이를 길게 한다.

상기 (1),(2)의 검토에 대해서는 각 기업체의 계산기준이 확립되어 있지만, (3),(4)에 대한 기존 계산법은 다음과 같다.

a. B.B.Broms 의 방법

b. H.Schmidt 의 방법

c. H.G.Locher, Littlejohn의 방법

d. Ostermayer의 방법

- e. JR(국철)의 방법
- f. 원호 미끄러짐의 방법

6.5.14 앵커의 안전율

설계되는 앵커 또는 시공되는 앵커는 앵커의 품질확보를 위하여 다음에 제시하는 설계하중 안전율과 확인하중 안전율이 만족되어야 한다.

앵 커 분 류	설계하중 안전율	확인하중 안전율
가설 앵커로서 6개월 이하의 사용, 파괴는 중대사로 안 되는 것으로 공공성 안전성에 문제가 없을 것, 말뚝 시험 앵커 등	1.4	1.1
가설 앵커로서 2년 이하인 것, 파괴 결과는 중대사로 된다. 그러나 적당한 주의에 의하여 공공성에는 위험이 없는 가설용 흙 막기 앵커 등.	1.5	1.2
가설 및 영구 앵커로서 부식 위험성이 높고 또 파괴 결과는 중대하다. 적교 anchor cable의 가설 정착이든지 주로 구조부재의 적교용 반력으로 사용하는 것 등.	2.0	1.3

6.5.15 앵커의 주변마찰저항

앵커의 인발내력의 산정에서는 앵커의 인발시험에 의하여 구하여진 주변마찰저항을 사용하는 것이 이상적이지만 시험을 생략해서 개략설계를 할 경우 구조물 기초 설계기준에 의하며 <표 6.1>을 사용할 수 있다.

<표 6.1> 지반별 주변마찰저항

지반의 종류			주변마찰저항(MPa)
압 반	경 압		1.0 ~ 2.5
	연 압		0.6 ~ 1.5
	풍 화 압		0.4 ~ 1.0
압 반	N 치	10	0.1 ~ 0.2
		20	0.17 ~ 0.25
		30	0.25 ~ 0.35
		40	0.35 ~ 0.45
		50	0.45 ~ 0.70
자 갈	N 치	10	0.1 ~ 0.14
		20	0.18 ~ 0.22
		30	0.23 ~ 0.27
		40	0.29 ~ 0.35
		50	0.30 ~ 0.40
점성토			0.1c



7. 가교의 설계

7.1 설계방침

가교의 설계는 설치장소의 지형·환경에 적합한 구조로 하고, 재하중·작용 외력·세굴 등에 의한 안전성을 확보하고, 보의 처짐과 지지말뚝의 연직변위·수평변위에 주의하여야 하며, 필요에 따라 하천관리자, 도로관리자와 협의하기로 한다.

가교는 공사용 교통로로서 사용되고 공사기계를 일시적으로 정착하는 작업대로도 사용된다. 이 때문에 가교에 재하되는 하중은 일반자동차 보다 큰 연직하중이나 수평하중 또는 충격 내지 진동이 작용하는 경우가 많다. 설계하중을 정하는데 DB하중 외에 공용기간에 재하되는 대형공사용 기계에 대해서도 고려하여야 한다.

가교는 수평력에 약한 구조가 되기 쉬우므로 공사용 기계에 의한 수평하중이나 유수, 파도, 바람 등에 의한 수평하중이 예상되는 경우에는 수평력에 대하여 검토하여야 한다. 가교는 지간이 긴 교량형식을 취하므로, 거더의 처짐은 본래 받침부분의 연직 및 수평변위의 허용량을 넘지 않도록 하여야 한다. 흙막이공 또는 가물막이 내에 가교를 설치할 때 가교의 변위에 의한 버팀보에 유해한 영향을 피하기 위해서는 지지말뚝을 버팀보와 중간말뚝으로 병용해서는 안 된다. 가교는 시공법이 적합하고, 조립, 철거가 용이하여 전용할 수 있는 구조로 하는 것이 바람직하다. 또 하천에 설치되는 가교는 하천관리자와 협의하여 가능한 한 물의 흐름을 방해하지 않는 구조로 하는 것이 바람직하다.

또 홍수 시에는 지지말뚝 주변 하상에 깊은 세굴이 일어나기 쉬우므로 말뚝과 근입길이의 결정 시에 세굴을 고려할 필요가 있다.

7.2 주요부재의 최소단면

가교의 주요부재에 사용하는 최소단면은 다음을 원칙으로 한다.

지지말뚝	H-300×300 또는 I-300×150
주 형	H-300×300 또는 I-300×150
보 받 침	C-250×90
가새(브레이싱)	L-100×100
이음볼트	Ø19

가교에 사용되는 재료로서는 KS 규격에 의한 H형강, I형강, C형강, L형강이 대부분이므로 주요부재의 최소단면을 강재에 대하여 규정하였다. 이 밖의 재료 예를 들면 목재를 사용하는 경우에는 티가 동등하게 되는 최소단면으로 하여도 좋다.

주요부재에 대해서 최소단면을 규정한 것은 작용하는 하중이 명확하지 않기 때문에 생각하지 못한 하중이 작용하여 가교의 구조전체에 큰 변형을 일으켜, 주요부재에 좌굴 등의 파손을 초래할 수 있으므로, 응력에 대하여 단면 여유가 있어도 최소단면을 줄이지 않는 것을 원칙으로 한다.

7.3 폭 원

가교의 폭원은 기능을 충분히 고려한 후 결정하기로 한다.

가교는 통로로서 뿐 아니라 공사용 기계의 작업대로서 이용되는데, 이 경우 기계의 폭원뿐 아니라 안정을 위해서도 여유 있는 폭이 필요하다. 또 가교의 일부를 자재 하치장으로 이용하는 경우나 차량의 통과빈도가 많은 경우 또는 작업안전상 문제가 있는 경우에는 충분한 넓이의 가교를 설치하도록 한다. 일반적으로는 4m를 표준으로 하지만 교통량, 사용법에 따라서 6m로 하고 대피소를 설치하도록 한다.

7.4 거더와 말뚝의 간격

거더와 말뚝의 표준간격은 2m 보다 큰 간격이 되지 않도록 한다. 이것은 가교 구조의 표준화를 위해서 만든 지표이고, 구조강도 및 안전성을 확보하고자 거더 또는 말뚝을 2m 이하의 간격으로 하는 것은 무방하다. 여기서 과거의 실적을 기초로 2m를 표준으로 한다. 과거의 실적에서는 2m가 많지만 그 밖의 대다수는 2m 이하가 되고 있다.

7.5 지 간

가교의 지간은 6m를 표준으로 하되 현장여건에 따라 책임기술자의 판단에 의하여 적정지간으로 구성할 수 있다. 단 하천상의 가교에서는 하천관리자와 협의에 의하여 결정하기로 한다.

가교의 경제성은 지간과 재하중과의 관계뿐만 아니라 토질조건에 따라서 좌우되는 지지말뚝의 공사비를 고려하여야 하므로, 경제적인 지간장의 판정은 어렵다. 여기서 표준지간을 6m로 한 것은 다음의 이유가 있기 때문이다.

(가) 가설구조물에서는 충분한 강성을 갖는 횡형을 설치하는 것은 곤란하므로 장지간 구조는 횡좌굴을 일으키기 쉽고, 또 허용 횡압축응력의 저하에 의한 비경제적 단면설계가 되기 쉽다.

(나) 보 재료의 운반과 구입이 용이한 길이이다.

하천상의 가교는 홍수 시의 유목이나 수위상승의 영향을 고려하여 보다 긴 지간장이 요구된다. 이 때문에 이 조항에서는 하천관리자와 협의에 의하여 결정하기로 하였다.

7.6 최대경사

노면경사는 최대 6%를 원칙으로 한다.

지형 등에 의하여 가교의 노면경사가 6%를 넘는 경우에는 가새(브레이싱)로 가교 축방향의 수평력에 대하여 보강하여야 한다. 물막이에 인접한 부분에는 공사의 안전성, 작업성을 고려해서 노면을 수평하게 하여야 한다.

7.7 형하여유고

가교의 다리밑공간은 하천 등의 수면상에 있어서는 예상고수위로부터 1m, 도로 등의 일반 교통로상에 있어서는 시설한계로부터 1m의 여유고를 둔다.

다리밑공간의 여유고는 가교의 유지관리상 필요하고, 또 예상고수위나 시설한계를 넘는 통과물로부터 가교를 보호할 공간이 필요하기 때문이다. 이러한 여유고는 다리밑공간 사용목적과 가교가 공사전체

에 차지하는 중요도로부터 정하는 것이므로 여기서는 과거 실적의 평균으로 여유고를 주었다. 따라서 실제로 있어서는 가교 설치장소를 관리자와 협의하여 여유고를 결정하여야 한다.

7.8 거더의 설계

가교의 거더는 하중으로서 '3.1.2 고정하중' '3.1.3 활하중' 및 '3.1.4 충격'을 재하시켜 인접하는 지점 간을 단순보로 설계하고 활하중에 의한 최대처짐은 지간의 1/400로 한다.

활하중에 대해서는 '3.1.3 활하중'의 규정에 따르고 특히 가설용 중기의 하중을 너무 적게 계산하지 않도록 하며, 공사전반의 계획을 고려해서 신중히 결정할 필요가 있다.

거더를 단순보로 설계하기로 한 것은 이제까지의 실적에 따르는 것으로 시장성이 있는 규격재료를 사용하는 관계로 단순보로 설계하여도 경제성이 크게 손상되지 않는다고 보기 때문이다.

보의 처짐량을 $l/400$ 으로 한 것은 과거의 실적에 따랐지만 보의 전도와 휨좌굴을 방지하기 위해서 구조보강을 실시한 경우 처짐량을 $l/300$ 정도까지 허용하여도 좋다.

7.9 말뚝에 작용하는 하중

가교 말뚝에 작용하는 축방향 연직력은 거더에 재하된 하중에 의해서 생기는 최대 반력에 대해서 설계한다. 수평력에 대해서는 작업하중의 5%를 사용한다.

말뚝개수가 많고 말뚝이 적절한 강성을 갖는 가새(브레이싱)로 연결되어 있을 때는 '4.4 중간말뚝'의 항에 준하여서 최대반력이 전후의 말뚝에 분배된다고 생각하여 최대반력의 1/2로 설계하여도 좋다. 또 예상되는 수평하중이 극히 작고 가교의 안전에 대한 영향이 적은 통상의 사용상태에 서는 수평력에 대한 검토를 생략하여도 좋다. 단, 현저히 큰 수평력의 작용이 예상되는 경우, 경사가 큰 비탈면에 설치되는 경우 또 연약한 기초지반으로 인하여 작은 수평력으로 현저한 수평변형을 일으킬 우려가 있는 경우에는 수평력에 대한 검토가 필요하다.

7.10 구조세목

가교는 다음의 각 항을 만족하도록 구조를 보강하여야 한다.

- (1) 거더는 지점상에서 받침보에 체결하고 축방향 거더는 서로 연결하여 둔다.
- (2) 지점 및 지간 중앙에서 보의 이동 및 전도를 방지하기 위하여 거더 상호간을 횡형 없이 수직 가새(브레이싱)로 연결한다.
- (3) 가교 말뚝은 서로 가새(브레이싱)를 만들어 체결한다.
- (4) 부재의 접합은 원칙적으로 볼트에 의한다.



8. 케이슨 지수벽의 설계

8.1 설계방침

케이슨 지수벽이란 케이슨 침하 끝단이 시공 상태 시 수면 또는 지표면 보다 아래로 되는 경우 물 또는 토사의 유입을 방지하여 그 후의 작업에 지장을 주지 않도록 구체 끝단에 설치하는 가설구조물이다.

케이슨 침하도중에 토압, 수압에 충분히 견디는 구조로 보통 완성 후에는 철거하여야 한다.

케이슨을 침하 설치하는 경우 케이슨의 끝단은 계획하상고, 현하상고, 장래 하상변동을 고려해서 충분한 깊이로 한다.

따라서 지수벽은 지수, 흙막이의 역할, 샤프트의 보호와 바닥판, 교대 및 교각, 구체의 구축을 위하여 가설구조물로 설계하여야 한다. 케이슨의 침하설치 도중 종종 외력·예상 외 응력·충격에 의한 변형·파손이 생기면 복구에는 장시간을 소비하고, 상황에 따라서는 인명에도 관계되므로 충분한 강도를 확보하고 공사 완료 후의 철거·해체를 용이하게 하여야 한다.

지수벽 높이는 케이슨 끝단에서 지표면 또는 수위까지의 높이에 여유고를 더한 것으로 하고, 하천 내에서 시공하는 경우는 케이슨 침하 종료시기 및 그 후 교각 구축시기의 수위를 기초로 해서 조수간만의 변동·파고 등을 고려한 후 결정할 필요가 있다.

8.2 재 료

- (1) 지수벽에는 원칙적으로 아래의 재료를 사용한다.
 - (가) 강널말뚝
 - (나) 철근콘크리트
- (2) 띠장, 버팀보에는 구입이 용이한 강재를 사용하는 것을 원칙으로 한다.

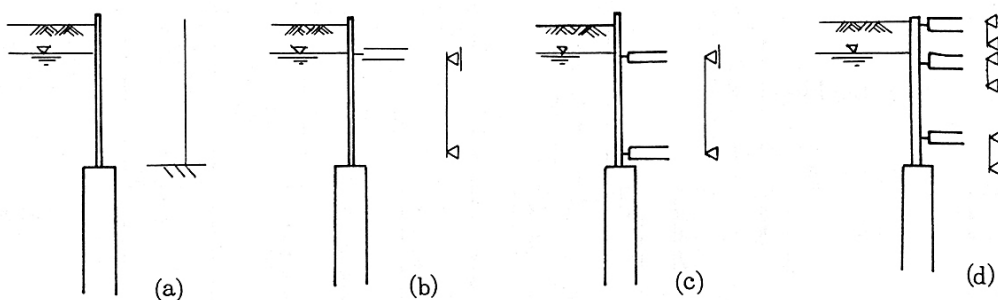
강재는 전용회수가 많으므로 단면의 결손·균열·휨·비틀림 등이 생기고, 단면성능이나 강도가 저하되기 쉬우므로 사용재료에 주의를 요한다.

8.3 지수벽의 설계

지수벽은 구조에 따라 하부에 구축된 홍벽(parapet)에 영향을 미치므로 홍벽의 설계법을 충분히 고려해서 설계하여야 한다.

- (1) 지수벽에 작용하는 하중은 벽면 직각 방향력으로는 수압 및 토압을, 벽면 연직 방향력으로는 흙의 벽면마찰력을 고려한다.
- (2) 단면계산은 구조를 충분히 검토한 후 계산하여야 한다.

지수벽의 구조는 아래 그림과 같은 형태로 분류할 수 있다.



〈그림 8.1〉 지수벽의 형태

(a)는 일반적으로 콘크리트 구조이고 홍벽 끝단을 고정단으로 한 캔틸레버보로 하고, 반력은 모두 홍벽이 받게 하는 형태이다.

(b)는 띠장, 홍벽 끝단을 지점으로 하는 단순보로 하고, 홍벽에 지점반력을 받게 하는 형태이다.

(c)는 상하 띠장 위치를 지점으로 하는 단순보로 하고, 지수벽에서의 반력을 홍벽이 받지 않게 하는 형태이다.

(d)는 띠장, 버팀보를 여러 단으로 설치하는 형태로 띠장 위치를 지점으로 하는 단순보로 한다. 단순보로 한 것은 계산을 간단하게 하면서 안전측으로 하기 위함이다.

- (1) 지수벽에 작용하는 외압으로는 일반적으로 정지토압과 정수압을 고려하기로 한다. 토압에 대해서는 ‘도로교 하부구조 설계지침 조사 및 설계일반편’에 준하고, 케이스 침하

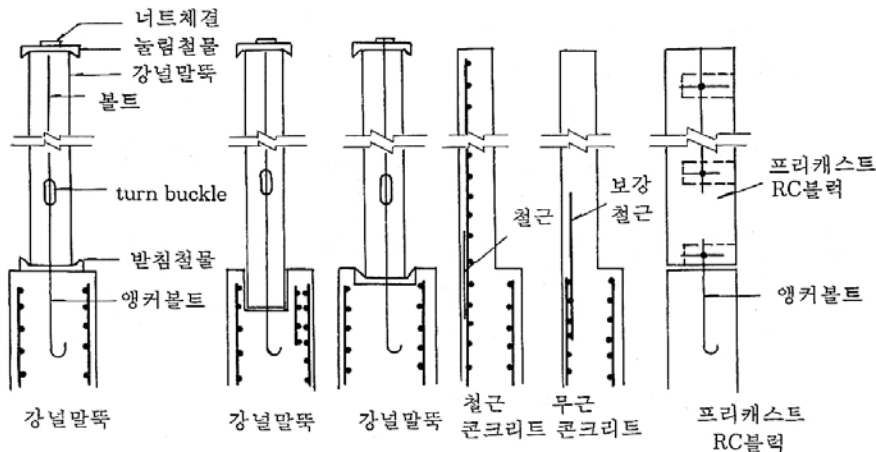
중에 외주에 작용하는 상실토압은 고정벽에 작용하는 토압으로 생각되므로 정실토압을 사용하기로 했다.

흙의 벽면마찰력의 영향으로 케이스 침하 중에 지수벽이 상승하는 경우가 있는데 이에 대해서는 앵커 등으로 부상방지대책을 강구하여야 한다. 벽면마찰력의 값은 ‘도로교 하부구조 설계지침 케이슨기초의 설계편’을 준용하기로 한다.

(2) 일반적으로 연직방향 단면에 의한 구조로 단면을 계산하지만 콘크리트 구조이고 강도, 안전성에 문제가 없는 경우는 수평방향 단면에 의한 구조로 설계할 수도 있다.

이 경우 지수벽에서는 ‘도로교 하부구조 설계지침 케이슨기초의 설계 편’에 의하여 주동토압과 정실토압이 4방향에서 작용하고, 주동토압의 1/2를 한 방향에서 작용하는 것으로 한다.

주동토압계수는 0.5로 한다. 또 배력철근(지수벽 긴쪽 방향 철근)은 단면방향 모멘트의 40%에 대해서 배치하면 좋다. 아래에 일반적인 지수벽의 구조를 나타낸다.



〈그림 8.2〉 지수벽의 구조

8.4 띠장 및 버팀보

띠장 및 버팀보는 시공의 안전성을 충분히 고려하여 설계하여야 한다.

- (1) 띠장의 수직간격은 3m 정도로 하고 띠장에 작용하는 하중은 지수벽에서의 반력을 사용하고, 버팀보 위치를 지점으로 하는 단순보로서 단면을 산정한다.
- (2) 버팀보 수평간격은 최대 5m 정도로 하고, 버팀보에 작용하는 하중은 띠장에서의 지점반력 및 자중을 고려하여 연직방향·수평방향의 안전성에 대해서 검토하여야 한다.

띠장 및 버팀보의 배치는 교대 및 교각구체의 형상, 치수 등을 충분히 고려해서 결정한다. 지수벽의 경우는 케이스 침하에 수반하여 충격이 생기므로, 안전성을 고려하여 띠장의 수직간격은 최대 3m 정도로 하는 것이 바람직하다.

8.5 연결부

지수벽이 현장타설 콘크리트 구조 이외의 경우에는 연결부를 검토하여야 한다.

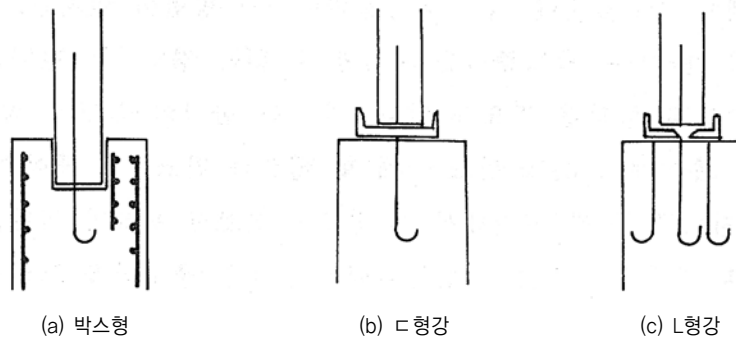
(1) 연결부에는 주로 다음 재료를 사용한다.

(가) 콘크리트

(나) 강재

(2) 연결부에 작용하는 하중은 지수벽 하단의 반력으로 하고 연결재의 단면을 계산한다.

연결의 구조로서 〈그림 8.3〉과 같은 형태가 있다.



〈그림 8.3〉 연결부의 구조

(a)는 흉벽 끝단을 박스형으로 제거한 후 지수벽을 세워 넣는 형태로, 지수벽의 반력을 하중으로 하여 흉벽 끝단의 단면을 계산하여야 한다.

(b),(c)는 강재를 앵커로 흉벽 끝단에 고정하고, 강재에 지수벽을 끼워 넣는 형태로 지수벽의 반력을 하중으로 하여 강재, 앵커의 단면을 계산하여야 한다.



9. 단일물막이공에 의한 축도 설계

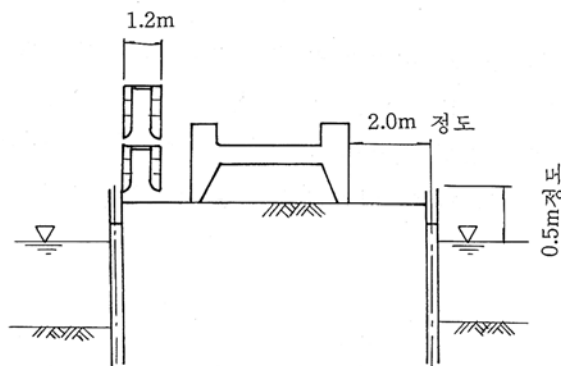
9.1 설계방침

축도는 축도 내 토사, 재하 중인 케이슨 구체 중량 등에 대해서 충분히 견고한 구조로 하여야 한다.

축도란 시공장소의 수심과 흙자루·목재널말뚝·강널말뚝 등에 따라서 원형·타원형 또는 직사각형으로 둘레를 만들고 내부에 토사를 충분히 넣어 섬을 만드는 것으로, 수심이 매우 얇은 경우에도 조류·파도·유수·홍수 등을 고려해서 만드는 것이 바람직하다.

수심이 깊은 경우에는 강널말뚝에 의한 이중물막이공의 방법이 있지만, 수심이 매우 깊은 경우나 하상지반이 연약하여 축도중량을 지지할 수 없는 경우에는 단일물막이공에 의한 축도는 적합하지 않으므로 주의할 필요가 있다. 축도용 물막이 끝단은 파랑 등의 영향을 받으므로 시공 시 최고 수위보다 0.5m 정도 높게 할 필요가 있고, 또 케이슨 구체에서 축도 벽면까지는 작업대(지보공 등)를 고려해서 2m 정도는 확보할 필요가 있다.

여기서는 일반적으로 사용하고 있는 단일물막이공에 의한 축도만을 고려하고 이중물막이공에 의한 축도 등은 대상에서 제외하였다.



〈그림 9.1〉 축도의 설계

9.2 재 료

축도에 사용하는 물막이 재료로는 강널말뚝의 사용을 원칙으로 한다.

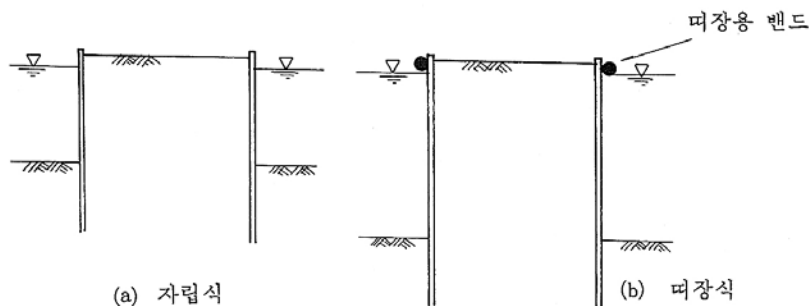
하천 및 항만의 물막이 방법으로서 시공의 신속성, 확실성 및 안전성, 철거, 해체 시의 용이성을 고려하여 강널말뚝에 의한 물막이공을 규정한 것이다. 그러나 강널말뚝의 타입이 불가능한 경우 또는 조류가 심한 장소에서 급속시공의 경우에는 콜게이트 셀을 적용하거나 흙자루, 목재널말뚝으로 시공할 수도 있으므로 재료의 선정에 충분한 검토가 필요하다.

9.3 물막이벽의 설계

물막이벽은 자립식 강널말뚝 벽으로서 설계하도록 하지만 원형으로 띠장을 설치하는 경우에는 띠장 위치를 지점으로 한 강널말뚝 벽으로 설계하여도 좋다.

- (1) 물막이벽에 작용하는 하중은 물막이벽 앞면, 배면의 토압, 잔류수압, 케이슨 구체에 의한 재하중을 고려한다.
- (2) 강널말뚝 근입길이의 계산 및 단면계산은 '5. 강널말뚝방식 흙막이공 및 단일물막이공의 설계'에 준하기로 한다.
- (3) 축도의 안전성을 확보하기 위하여 하상저면 지반의 지지력, 세굴, 부풀음 등에 대하여 충분히 검토하여야 한다.

단일물막이공에 의한 축도 구조는 다음과 같은 형태로 분류한다.

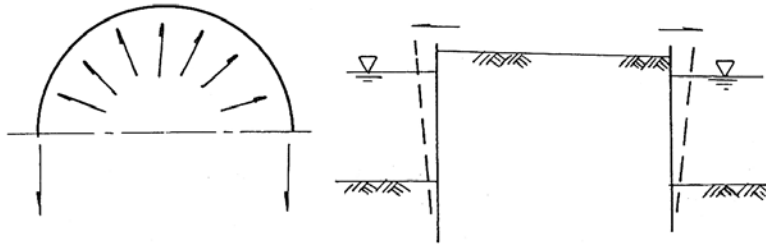


〈그림 9.2〉 축도의 구조

9.4 띠 장

원형 축도인 경우 사용하는 체결재는 축도의 구조를 고려하여 결정하여야 한다.

축도는 물막이공과 같이 엄격한 구조는 필요 없으나 수심이 있는 장소나 연약지반에서는 흙막이벽의 널말뚝이 케이슨 중량과 뒤채움 토사의 토압 때문에 외측으로 전도되어 케이슨구체에 손상을 주는 일이 있어서는 안 되므로 와이어로프나 형강 등 체결재로 외측에서 체결하여 내력이 있는 구조로 할 필요가 있다. 띠장 부재는 원칙적으로 인장력에만 견디면 된다.



〈그림 9.3〉 축도의 전도에 대한 대책



참 고 자 료

1. 구조물 기초 설계기준, 국토해양부, 2002.
2. 토목공사 일반 표준시방서, 국토해양부, 1992.
3. 고속도로 건설공사 설계기준, 한국도로공사, 2001.
4. 양윤모, 토목용어사전, 한국이공학사, 1980.
5. 교량설계 · 시공핸드북, 일본 건설산업조사회, 1990.
6. 도로교 시방서 · 동해설, 일본도로협회, 2002.
7. 설계요령, 동 · 중 · 서일본고속도로주식회사, 2006.

