

# 흙막이 시공 관리의 주안점



글 · 류길상 과장 | 건축기술팀

건축공사 현장의 토목구조물 설계시 일반적으로 건축사업 시행 인허가 승인을 위하여 단기간에 설계를 수행함으로써 구조물 계획 및 공법선정시 공사의 규모, 구조물의 배치, 지층분포 상태, 하중조건, 현장지형 및 시공성, 설계방법, 용지확보 및 경제성등을 고려한 정밀한 설계가 이루어지지 않는 것이 현실이다.

따라서, 실시설계도서를 검토하여 현장여건을 감안한 합리적이고 효율적인 설계 변경 및 시공 방안의 수립이 필요하고 또한 철저한 시공중 품질관리가 매우 중요하다  
최근에는 터파기 현장의 굴착심도가 깊어지면서 굴착에 따른 문제점들이 많이 발생하게 된다. 지반굴착시의 주된 관심사항이 흙막이 벽체의 안전에서 주변지반, 구조물 및 인근에 거주하는 주민들에게 미치는 영향까지를 고려해야 함에 따라 도심지에서 공사를 하게 되는 경우는 이러한 문제

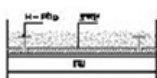
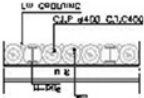
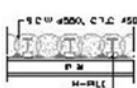

점들에 대한 중요성이 더욱 증대되고 있으며, 이에 대한 유의 사항들을 아래에 정리하여 실무에 도움이 될수 있기를 기대해본다



먼저 주요 흙막이 공법에 대한 기본적인 지식을 개략적으로 살펴보고, 흙막이 붕괴의 주요 유형별 원인 및 시공 주안점에 대하여 정리키로 한다

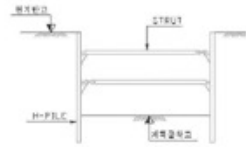

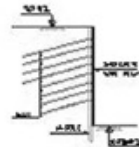
## I. 흙막이 공법 개요

### 1. 흙막이 벽체 공법

구분	H -PILE + 토류판	C.I.P	S.C.W	SHEET PILE
공법 개요	 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 단축 Auger 또는 T-4 장비로 천공</li> <li>· H-Pile 삽입</li> <li>· 단계별 굴착하면서 토류판 설치</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>· Cast In Placed Pile</li> <li>· 시추기로 천공</li> <li>· 철근 및 H-Pile 삽입후 콘크리트 타설</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>· Soil Cement Wall</li> <li>· 3축 Auger로 천공</li> <li>· H-Pile을 보강재로 삽입하여 토류벽으로 형성</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 강널말뚝으로 설치하여 차수벽과 토류벽의 동시역할을 하는 공법</li> </ul>

구분	H -PILE + 토류판	C.I.P	S.C.W	SHEET PILE
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 공사비 저렴</li> <li>· 소음, 진동영향</li> <li>· 자재 재사용 가능</li> <li>· 시공이 간단</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 벽체강성이 좋음</li> <li>· 불규칙한 평면형에 적응성 좋음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 별도차수 필요 없음</li> <li>· 토사유실 매우 적음</li> <li>· 공기가 짧음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 특별한 시공 장비가 불필요하며, 수밀성 높음</li> <li>· 대규모 공사에 적응성이 좋음</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 차수성 벽체시 별도의 차수 필요</li> <li>· 벽체 변형 큼</li> <li>· 토류판과 지반 여굴로 주변지반 침하 우려</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기동간 연결성 불량 및 수직도 문제로 보조 차수 필요</li> <li>· 압축은 공기가 길어짐</li> <li>· 강재 회수 불가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 자갈, 압축 시공 곤란</li> <li>· H-Pile 사정</li> <li>· 벽체로 이용 불가</li> <li>· 철저한 시공관리 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 항타로 인한 소음발생</li> <li>· 연결부가 이탈할 경우 상당히 곤란</li> <li>· 자갈, 압축 시공 곤란</li> <li>· Water Jet를 병행할 경우 공사비 고가</li> </ul>
시공 순서	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 천공</li> <li>2. 케이싱 설치</li> <li>3. H-Pile 설치</li> <li>4. 토류판 설치</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 천공 ( 400)</li> <li>2. 케이싱 설치</li> <li>3. 철근 설치</li> <li>4. 자갈주입 타설</li> <li>5. 시멘트 Paste 주입</li> <li>6. 케이싱 해체</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 3축 Auger천공(550, 폭1.35m)</li> <li>2. 안정제 주입 혼합 교반</li> <li>3. H-Pile 삽입</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sheet Pile 설치(직타)</li> <li>- Sheet Pile 직타에의해 설치가 가능하나 불가능시는 천공후 타입</li> </ol>
안전	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 강성체로서의 토류벽 역할을 할 수 있다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 주열식 강성체로서의 토류벽 역할을 충분히 할 수 있다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 연속벽체 차수 및 토류벽의 2중 역할을 충분히 할 수 있다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 연속벽형 강성체로서의 토류벽 역할을 충분히 할 수 있다.</li> </ul>
차수	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지하수위가 있는 지반에서는 별도의 차수 공법의 적용이 필요함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 공과 공사와의 연결부에 누수현상 발생 가능성이 있어 공과 공사 사이에 누수방지용 보조 Grout를 시행</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 벽체가 10cm 증첩하여 시공되므로 벽체의 차수 효과가 양호함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 접촉부의 수밀성이 우수해 차수효과가 큼</li> <li>· 강널말뚝 재질자체가 수밀성 재료</li> </ul>
투입 장비	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 20Ton Crane</li> <li>· T-4</li> <li>· Vibro Hammer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 보링기 (또는 T-4)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 80P Pile Driver</li> <li>· Cement Silo</li> <li>· 안정제 Plant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 30Ton Crane</li> <li>· Vibro Hammer</li> </ul>

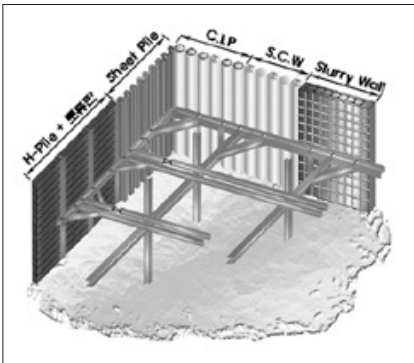
## 2. 흙막이 지보공법

구분	버팀보	EARTH ANCHOR	SOIL NAIL
공법	 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 토류벽체에 띠장을 대고 띠장에 버팀보(Strut)를 설치하여 토류벽체를 지지</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 토류벽체를 형성후 배면 천공 및 강선을 삽입하고 인장하여 토류벽의 안정 확보</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 단계별 굴착후, 1차 Shotcrete 타설, Nailing 및 WireMesh 설치</li> <li>· 2차 Shotcrete 타설로 배면 토압 지지</li> </ul>
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 문제발생시 구조체의 육안 관찰이 용이</li> <li>· 인접현장의 굴토공사에 영향이 없음</li> <li>· 공사비가 비교적 저렴</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시공이 용이, 공기절감</li> <li>· 시공 실적이 많음</li> <li>· 변위에 능동적으로 대응</li> <li>· Anchor에 prestress를 주기때문에 벽체의 변위와 지반침하를 최소화</li> <li>· 지하구조물의 바닥 slab과 기둥의 위치에 관계없이 Anchor설치 가능</li> <li>· 공사비가 비교적 저렴</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 부지면적 및 모양에 제한을 받지않음</li> <li>· Top Down 방식에 의한 단계별시공이므로 장비의 운용이 비교적 용이</li> <li>· 장비의 접근이 용이하지 않은 현장에 시공이 가능</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 굴토현장의 면적이 넓을 시는 시공성이 저하</li> <li>· 버팀보가 내부의 굴착 및 구조물공사에 지장초래</li> <li>· 구조물 벽체의 방수가 문제 될수 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 굴착현장이 인접하여 동시에 진행될시는 자유장 및 정착장을 위한 천공길이가 길어 설치가 불가능하거나 간섭이 발생</li> <li>· 주변에 지하구조물이 있을 때 시공 불가</li> <li>· E/A 설치부지 지주의 동의 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수평변위는 prestress된 앵커보다 크게 발생 할수도 있음</li> <li>· 공사비가 비교적 고가</li> </ul>

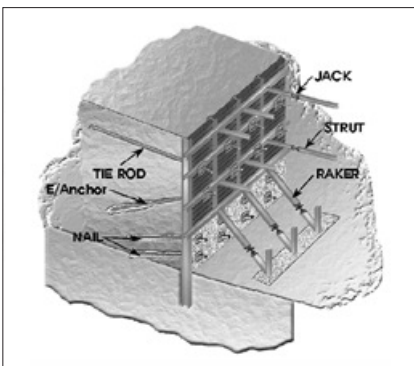
### 3. 흠막이 보조공법

구분	S.G.R	JET GROUTING	LW
공법 개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Space Grouting Rocket System</li> <li>· 대상지반에 약액 또는 약액을 사용하여 주입</li> <li>· 지반상태에 따라 CEMENT를 조절하여 차수벽 형성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 공기와 물의 힘으로 지반을 굴삭, 배출</li> <li>· 약액주입과 같이 토립자의 공극을 메우는 것이 아니며, 토립자의 배출로 생긴 공동내부를 고화제로 충전함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Labile Water Glass</li> <li>· 규산소다와 시멘트 현탁액을 혼합하여 지반에 주입</li> <li>· 큰 공극은 시멘트 입자가 채우고 적은 공극은 규산소다가 침투하여 차수벽 형성</li> </ul>
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 주입압이 적어 지반 교란이 적음</li> <li>· STEP주입으로 확실한 주입 가능</li> <li>· GELTIME 조정으로 약액 확산 범위 조절이 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 확실한 시공효과 기대</li> <li>· 균질한 구근 형성</li> <li>· 장기적 안정 및 충격, 진동 저항이 큼</li> <li>· 좁은 장소에서도 시공 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 일반화된 방법으로 공사비 저렴</li> <li>· 공극이 큰 사력토에 효과적이고 시공이 간편</li> <li>· 주입관이 보존되어 결함 발견시 재주입 가능</li> <li>· 공사비 저렴</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 주입약품이 특수하여 단기간 차수효과는 있으나 외력저항이 적어 장기간 공사에 부적합</li> <li>· 점도에서 맥상주입</li> <li>· 공사비 고가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 초고압 주입으로 인한 인접건물 및 지하매설물 피해 발생 가능</li> <li>· 슬라임 발생 및 처리 · 공사비 고가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 실트, 점토질 토사에 효과가 적음</li> <li>· 장기간의 차수에 효과 떨어지며 외력저항이 적음</li> </ul>
재료	· 약액, 시멘트	· 시멘트	· 시멘트, 규산소다

## II. 흠막이 시공시 유의 사항



흠막이벽 개념도



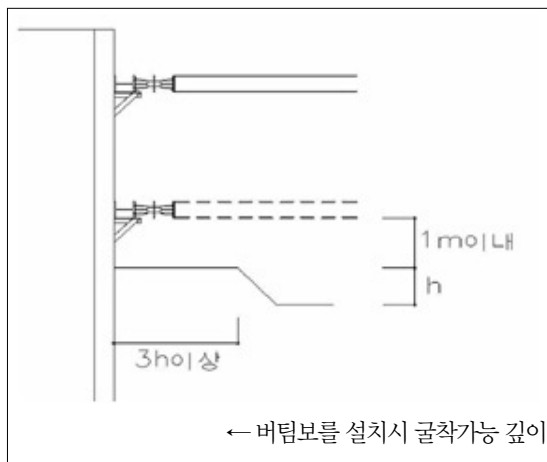
흠막이 지보공 개념도

### 1. 줄파기

사업계획시 매설물 조사를 실시하나 미발견 또는 도서상의 누락이 발생될 수 있으므로 굴착전 흠막이 벽체 매설물 위치를 파악하기 위해 반드시 인력으로 1.5m 이상 또는 지하 매설물 심도 이상을 굴착하여 확인할 필요가 있다.

### 2. 굴 토

- 기존 굴토 공사현장에 인접하여 굴토공사를 실시하는 경우 인접지역의 지보공 해체가 시기적으로 빠르고 되메우기가 불량하다면 변형에 따른 붕괴가 발생할 수 있다.
- 굴착면에서 Boiling, Heaving 등이 발생하지 않는지 확인해야 한다.
- 단계별로 정해진 심도 이상으로 굴착하지 않아야 한다. 사례에 의하면 과굴착으로 인하여 정상 수평변위의 3배 이상 수평변위가 발생할 수 있다고 한다. 따라서, 과굴착은 피하고 불가피한 경우 흠막이 벽의 변위와 지반 침하에 대한 검토가 필요하다.
- 굴착 후 지지구조물이 설치되기 전 흠막이 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 이상이여야 한다.



- 토류시설 없이 굴토면을 장기간 방지해서는 안된다. 건 축계획의 변경이나 배면 지반보강공사 등으로 장기간 방지해야 할 필요가 있을 때는 최하단 지보공이하 일정부분을 다시 되메우거나 별도의 지보공을 설치해야 한다.
- 연약 점토지반의 굴착시 굴착저면의 융기, 흠막이벽의 변형 및 주변지반 침하, 흠막이벽의 붕괴를 일으킬 수 있는 Heaving 에 대한 검토가 필요하다.
- 사질지반의 굴착시 침투류로 인한 Boiling 및 Piping 현상에 대한 검토가 필요하다.
- 피압대수층에서의 굴착시 굴착면 하부에 점토층이 있고 그 하부에 대수층 (모래층 또는 자갈층)이 있을 때에는 대수층내의 수압으로 인한 지반의 융기에 대한 검토가 필요하다.

### 3. 되메우기

- 지하층 외벽과 흠막이 벽체사이 공간에 되메우기를 시행할 경우 양질의 토사로 층다짐을 실시 하여 침하요인이 최대한 배제시켜야 한다. 도심지 굴착공사의 경우 되메우기 공간이 부족하여 지표면에서 일반투기(dumping) 형태로 되메우기되던 장기적으로 침하가 발생할 수 있다. 되메우기를 시행할 간격폭이 1.0m 이내일때는 다짐이 곤란하므로 사질토를 사용하고 물다짐을 하거나 Soil cement를 사용할 수 있다.

### 4. 토류벽

#### (1) H-PILE+토류판

##### 가) H-PILE

- 이름은 full strength welding으로 소정면적을 확보할

수 있어야 한다.

- 전면 flange에 일정간격으로 심도를 표시하여 근입정도를 지표면에서 확인할 수 있어야 한다.
- 간격과 정열 상태 및 수직도 1/200이하로 되는가 확인하여야 한다.
- 설치시 인접지반 시설물에 피해가 발생하지는 않는지 확인해야 한다.
- 천공후 엄지말뚝을 삽입하는 경우에는 엄지말뚝 주변에 Cement mortar나 콘크리트로 충전 시킨다.
- 되메우기후 말뚝 철거시에는 말뚝을 뺀 후 공극은 조속히 양질의 토사로 되메우기를 실시하여 함몰과 이로 인한 주변의 침하를 방지하여야 한다.

#### 나) 토류판

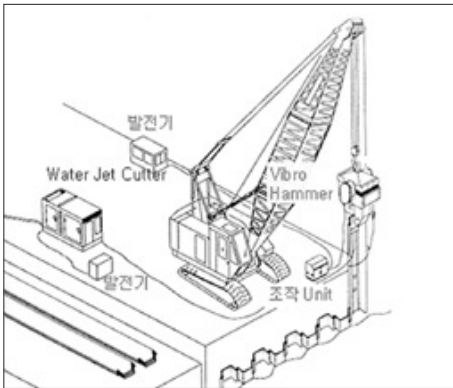
- 소요 휨강도 시험, 용이 등 취약부 형성 상태, 뒷채움 재료 및 다짐상태를 확인해야 한다. (양질의 토사로 채운 후 다짐하거나, Soil cement 로 채움)
- 암반층의 뒷채움시 배면지반과 밀착도 (Shotcrete 등 적용) 를 고려하며 토류판 사이로 토사가 유출되지 않도록 밀착시켜야 한다.
- 과응력 발생시 토류판 간을 브레이싱으로 보강해야 한다.
- 일부 암구간에서는 감리자의 판단에 따라 (암반의 절리 방향등 확인) 토류판을 생략할 수 있다.



#### (2) Sheet Pile

- 부재의 강성이 적어서 변형이 커지는 경향이 있으므로 주변에 구조물이 있는 경우와 연약지반에서는 변형과 주변지반 침하에 대한 검토가 필요하다. 또한, 시공시 Pile 연결부의 벌어짐으로 인해 차수효과가 떨어질 수 있으며, 강성의 증대를 위한 Box Type 선정시 작업의 난이성을 고려하여야 한다.
- 시가지에서 시공시 타입에 의한 시공은 소음, 진동에 의한 문제를 야기하게 되므로 최근에 시공되고 있는 무진동 유압장비에 의한 시공이 바람직하다.

- 자갈 전석층 또는 암반 Sheet Pile 공법 채택시에는 특수한 시공방법이 필요하므로 공기 및 시공방법에 대한 검토가 필요하다.
- 주변에 주요 구조물이 위치할 경우에 Pile 을 현장에 그대로 매설해 버리는 경우는 문제가 없으나 Pile을 인발할 경우에는 지반 내부 Pile 용적에 상응하는 공극이 형성되고 주변지반의 변위가 발생하게 되므로 주의를 요한다.
- 소요의 근입 깊이까지 관입가능 여부에 대한 철저한 검토가 선행되어야 한다.



### (3) C.I.P 공법

- 천공시 수직도 유지대책이 필요 (수평거치 Guide Wall / 15 m 이내 시공) 하다.
- 잡석채움 후 그라우팅시 하부슬라임이 완전배출될 수 있도록 Overflow 확인한다.
- 연결부가 중첩되지 않으므로 보조 그라우팅(L. W Grouting등)을 C.I.P 사이에 시공하여 연결효과를 증대시킬 수 있다.
- 장비의 능력과 공법의 특성으로 최대 가능심도는 15 m 이내로 하는 것이 연직도와 품질관리 면에서 적당하고 일반적인 장비에 의한 시공가능 토층은 풍화암 정도이

며, T-4 장비를 이용한 천공은 토층에 제약을 받지 않으나 말뚝과 말뚝의 연결성에 대한 문제가 있으므로 특별한 주의를 요한다.

- 토사층의 C.I.P 공법 적용과 암반층의 H-PILE+토류판 공법을 적용할 경우 경계부근이 가장 취약한 상태로 될 수 있으므로 공법적용의 경계구간에서 주입 몰탈, 자갈이 규격 및 혼합비가 특히 적정하도록 한다. 만약, C.I.P 선단부에 재료 분리가 있을 시는 강판, 앵글등으로 보강시킨다.



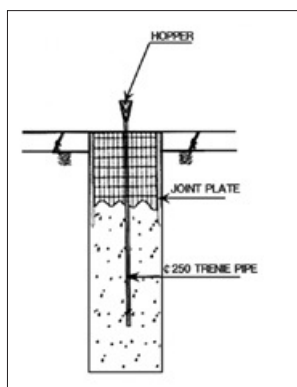
### (4) S.C.W 공법

- 시멘트계 현탁액의 배합은 Soil Cement의 강도와 지수성외에 점성토 지반인 경우 혼합의 균일성 등에 영향을 준다. 따라서, 지반 조건, 시공 조건을 필히 검토하고 시공에 앞서 실내 시험 혼합을 하여 현장여건에 맞는 배합을 결정토록 한다.
- 전석층이 분포한 조건에서는 삼축오거 사용이 어려우므로 일축오거로 반복 천공할 필요가 있다.
- Soil Cement의 강도에 대해서는 원위치의 시료를 채취하여 강도 시험을 실시토록 하며, 시험은 개략 500m2 마다 실시한다.
- H - Pile 설치시 수직도를 유지하여야 한다.(2열 Guide Beam 설치) 시공길이가 길어지면 수직도에 대한 시공관리를 철저히 해야하며, 굴착공사중에 시공편차로 인한 벌어짐이 발생 하였을 때는 배면에 J.S.P 등으로 보완하여야 한다. 만약 건물내부로 편심되어 건축공간이 부족할 때에는 배면에 J.S.P 등으로 보완한 후 깎아낸다.
- 이미 굴착이 진행되었을 때는 토류판을 끼우거나 인접한 엄지말뚝(응력 부담재) 사이를 철판으로 붙이고 콘크리트로 채움하는 등의 보완대책이 요망된다.
- 선단부에 슬라임이 잔류하지 않도록 교반 횟수와 시멘트 주입량을 증가시킨다.



- 시공장비가 대형이고 높이는 약 35m 에 이르므로 충분한 여유공간이 있어야 한다. 지반이 경사진 경우는 수직도의 유지가 어려우므로 지반을 수평으로 정지해야 한다. 최대 시공가능 심도는 약 27m 정도이다.

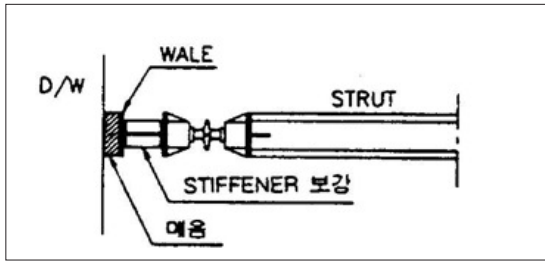
#### (5) Diaphragm Wall 공법



- 건물의 벽체로 사용될 경우 건물하중에 대한 충분한 지지가 되는 토층(주로 풍화암~경암)에 근입되어야 하며, 시공시 굴착저면의 Slime 을 철저히 제거해야 한다.
- 시공시 또는 시공 완료시 측압(토압+수압)에 대한 안전성 검토가 되어야 한다.
- 판넬 수직도 및 연결상태를 확인 (1 판넬당 레미콘 연속 타설) 해야 하며, 설계단면 (두께)의 유지가 철저히 되도록 해야한다.
- Diaphragm wall 내에 매설되어야 할 각종 매설물 (Earth anchor 천공을 위한 강관, Slab나 벽체연결을 위한 매립철판 등) 을 누락되지 않도록 유의하여 추후 Diaphragm wall 을 천공 하는 일이 없도록 해야 한다.
- Diaphragm Wall 은 폭 6 m 내외의 비교적 규모가 큰 굴토가 수반되고 안정액에 의해 지반의 붕괴를 방지해야 한다. 따라서 주변에 기존구조물이 있어서 지반의 변위

를 최소화할 필요가 있는 경우에는 주변지반이 느슨하거나 연약한 지반인지의 여부를 확인하고 필요시 Slurry wall 굴착전에 지반개량공 (C.I.P, S.C.W, Jet grouting 등) 을 실시하고, 굴착도중의 안정액에 의한 벽면안정에 유의해야 한다. Element 의 Joint 및 연직도 관리에도 유의해야 한다.

- Diaphragm wall 시공장비는 대형이며 Slurry 처리를 위한 대형 Plant 가 필요하므로 충분한 작업공간이 있을 경우에 적용가능하며, 보통 건물규모가 1,500 m2 이상이어야 한다.
- 계획굴착고에 도달하기 전에 경암이 분포하여 Diaphragm wall 을 계획고이하 필요한 근입 깊이까지 근입시키는 것이 곤란한 경우에는 Diaphragm wall 을 암반상단까지 시공하고 그 하부에 Underpinning 공법을 시공하여 Diaphragm wall 을 지지시킬 수 있다.
- Diaphragm wall 의 주철근 배근간격은 콘크리트의 유동성 등을 고려할때 150 mm 이상이 바람직하다.
- Top down 공법에서 작업을 위하여 Slab 에 두는 개구부 (Opening) 의 위치 및 규모를 결정할 때는 다음과 같은 요인들을 고려하여야 한다.
  - 투입장비의 크기 및 연속벽의 지보문제
  - Slab 의 규모, 지지하중 및 토공사의 용이성
  - 지상작업과의 연결성 등
- Top down 시 작업구간까지의 장비진입을 위해서는 Slab 상부에 별도의 복공을 설치하여 (수직 Pile 시공하는 방안과 복공보 설치, 복공판 설치, 수직 Pile 의 Bracing 설치 등) 장비하중을 고려한 Slab 를 시공하는 방안이 있다.
- 굴착도중에는 Slurry wall이 양질의 상태로 유지되도록 Wall joint 등의 누수나 Mud pocket 등의 발생이 없도록 하며 시공시 굴착의 수직도를 관리하여 건물의 내부면적을 확보한다.
- Diaphragm wall 상단의 Slime으로 강도가 약한 부분은 깨어내고 다시 콘크리트를 타설하여야 하며 (Cap beam), 조기에 완료하여 외부 Guide wall 의 변위 등으로 인한 주변지반의 침하나 균열이 없도록 한다.
- Diaphragm wall 을 Strut 로 보강할 때는 띠장과 Diaphragm wall 간의 메움을 철저히 하고 띠장은 Stiffener 로 보강한다.



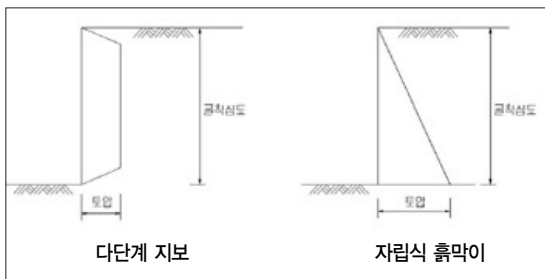
Diaphragm의 지보공 보강

## 5. 강성이 차이나는 흙막이 벽체

- 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 슬라임 잔류 등 취약부가 형성된 경우가 많아 하자 요인이 내포된 상태이다.

## 6. 자립식 흙막이공법

- 자립식 흙막이는 다단계의 지보를 요하는 굴토와는 다른 양상의 토압분포를 나타낸다.
- 보통 시공가능 깊이는 구조적인 안전성의 측면에서는 자립성이 큰 지반은 6~7m 까지, 연약지반은 3~4m 이며, 큰 변위가 발생하므로 주변에 구조물이 있을 때에는 변형과 침하에 대한 검토가 필요하다.



## 7. 중간 Pile(Post Pile)

- 강재들의 자중과 공사시 적재하중에 대하여 지지력이 충분하여야 하며, 좌굴에 대한 검토가 고려되어야 한다. 또한, 작업공간이 확보되도록 5 m 이상의 공간을 두어야 한다.
- 굴착후 Strut가 설치되지 않은 상태일 때 중간 Pile 은 횡방향으로 지지되지 않은 길이가 길어지므로 좌굴에 대한 검토가 필요하다.
- 부재의 강도는 물론 강재와 Grouting 재와의 부착력, 지

반의 지지력 및 침하 검토가 필수적이며 외적안정 및 내적안정을 모두 만족하도록 해야 한다.

- 중간 Pile 간의 수평 및 수직 브레이싱을 적당한 간격으로 설치해야 한다.

## 8. 배면지반 보강공법

- 배면지반 보강공법 (J.S.P, L.W Grouting 등) 은 지반에 용기를 발생시키거나 기존 구조물의 지하층에 압력을 전달시킬 수 있으므로 토질조건별로 주입량 및 주입속도를 조절할 수 있어야 한다.
- Jet grouting 시공시에는 인양속도 주입압, 주입량 및 주입속도를 중점관리해야 하며, 시공 장비도 이러한 시공상태를 측정하고 조정할 수 있는지 확인한다. 초고압 분사 Jet grouting 의 경우는 주입압력이 커야하며 룯트는 3 중관식이어야 한다.

## 9. 편토압

- 굴착현장 주변에서의 말뚝의 타입, 인접지의 굴착공사, 흙막이공 배면에서의 약액주입, 양측 배면에서의 지하수위의 차이, 비대칭적인 굴착, 경사진 지반 등의 경우 편토압이 발생하며 이에 대한 검토가 필요하다.

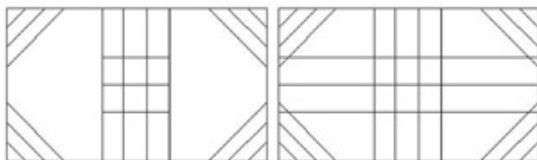
## 10. 버팀보 (Strut)

- 버팀보 설치위치는 구조물의 Slab 위치를 감안하여 중복되지 않도록 해야 한다.
- 용접 또는 연결부의 볼트 이음 상태를 확인해야 한다.
- 경사 버팀보 피장과 소요 볼트 개수를 확인해야 한다.
- 이음시 직선이 되게 하고, 피장 Stiffener 보강 여부를 확인해야 한다.
- 스크류 Jack 사용시 용량과 Jacking 력이 적합한지 확인해야 한다.
- 버팀보 설치전에 소단 유지 상태를 확인해야 한다.
- Prestress 에 의하여 변위를 감소시키고자 하는 경우나 Strut 가 대단히 길어서 온도변화에 의한 신축이 클 경우등은 유압잭을 사용하여 프리스트레스량을 정량화하고 버팀보, 중간말뚝 및 브레이싱 볼트 연결로 Truss 구조화시킨다. (버팀보의 처짐이나 좌굴변형 방지)
- Strut 에 작용하는 수직분력은 E/A 의 경우보다는 다소 작으나 배면토와 흙막이 벽의 접촉면에 연직방향의 마찰력이 작용하므로 E/A 의 경우에 준하여 검토해야 할 것

이다.

- 굴착진행에 따라 즉시 거치되어야 하며 수평오차가  $\pm 3$  cm 이내에 있어야 한다.
- 버팀보는 수직하중을 받는 부재가 아니므로 공사중에 장비나 자재등을 적재해서는 안된다.
- 높은 곳에 설치되는 Strut 는 반드시 반대편 흠막이벽까지 연장되어야 하며, 중간 Pile 등에서 단절되어서는 안된다. 또한 이러한 경우에는 편토압에 대한 검토가 수행되어야 한다.
- 굴토심도 및 규모가 큰 공사의 경우에는 설계과정에서의 여러 가지 불확실성을 고려하여 다소 안전측으로 설계함이 바람직할 것이다.
- Island 공법 적용시 Strut 위치는 가급적 Slab 직상단 건물기둥에 지지하도록 한다. 이때 기둥의 간격이 통상적인 Strut 간격보다 넓기 때문에 기둥의 전단에 대하여 반드시 검토하여야 한다. Slab 에 지지하는 경우에는 외벽과 띠장, Slab 의 상호간섭으로 시공이 매우 어려워진다.
- 건물이 철골로 설계된 경우에는 Strut 와 철골 기둥과의 간섭이 되지 않도록 주의하여야 한다.
- Corner 에 설치하는 경사 Strut 는 띠장에 수직으로 설치되는 Strut 에 비하여 강성이 적고 지반변위 억제효과도 적다. 그러므로 토압이 큰 연약지반에서는 최소한도로 Corner 부에 1개 ~2개 정도가 사용되어야 하며, 지반조건이 좋은 경우에도 너무 길어지지 않도록 해야 한다.
- Strut는 개별 부재의 좌굴검토는 물론 전체구조가 좌굴에 대하여 안정하도록 Bracing을 배치 하여야 한다. Strut 에 직각방향으로 설치되는 좌굴 방지용 Bracing 은 흠막이 벽 끝까지 연장 되어야 한다.

#### Strut의 좌굴방지 Bracing에



전체 Strut 의 좌굴우려 있음

Bracing 을 흠막이 벽까지 연장시공

### 11. 어스앵커 (Earth Anchor)

- 조립상태 확인 : 소요길이, Spacer 강도 및 수평간격,

Packer 설치상태, 자유장 피복재, 주입관(2개), Strand 강도

- 천공 : 천공각도, 지반에 적합한 천공장비 사용 여부, 천공시 지하수 배출정도, 천공길이 등 확인 (토사층은 공기압축식 사용 불가)
- Earth anchor 는 정착부, 자유장, 정착구까지 가급적 직선을 유지해야 한다. 특히 띠장 부근에서 꺾이지 않도록 띠장의 각도를 Earth Anchor 의 강선과 직각에 가깝도록 한다.
- 주입 : 주입제의 강도, 재료구성 상태, 주입량, Overflow 여부, 주입시 팩커바깥으로 주입재가 누출되지 않아야 하며, 적절한 주입압력을 유지해야 한다.
- 정착 : 사용 콘의 강도, 흠 상태, 체결시 파손여부, 소요 설계력에 따른 인장력 확인, 유압기 성능확인, 늘임량 측정
  - 유기질 실트나 N치 15 이하의 점성토에서는 앵커력이 작고 장기간의 Creep 현상이 일어날 수 있으므로 바람직하지 않다
  - 앵커의 최소심도 (Overburden depth) 는 4.5 m 이상
  - 앵커가 후면의 기존 건물하부를 통과할 경우 앵커의 정착부는 최소한 기초면 하부 3 m 이하의 심도를 통과해야 한다. 또, 앵커정착부는 가급적 인접앵커의 정착부와 떨어지도록 배치해야 한다.
- 인장 : E/A 인장은 동시 인장을 실시하여 J/F 의 손실을 줄여야 하며 인장기는 설계 Jacking Force를 충분히 가할 수 있는 규격품을 사용해야 한다. 또한, 설계시 J/F 의 손실량을 충분히 고려하여야 한다.
- 자유장 : 자유장은 지반내 예상파괴선을 넘어서 최소자유장은 4.0 m 가 바람직하며, 점성토 지반이나 느슨한 사질지반에서 자유장 부분의 체적손실로 지표면의 침하가 장기간에 걸쳐 발생할 수 있다. 이런 경우는 시멘트-벤토나이트 혼합물로 자유장 부분을 Grouting 하는 것이 좋다. 또한, 강선은 분리 Sheet 로 둘러싸서 Grout 재와 분리시키며, Earth anchor 의 자유장 결정시 외적 안정 및 내적안정 모두 만족하도록 하여야 한다.
- 정착장 : 최소 정착장은 3.0 m 로 하며, 진행성 파괴문제 때문에 정착장은 10.0 m 이하로 하는 것이 바람직하다. E/A 의 간격을 조절하여 10.0 m 이내로 되게하거나 불가피할 경우에는 시공과정에서 반드시 앵커 인발시험을 실시하여 앵커의 내력에 대한 확인이 필요하다.



- E/A의 정착장 계산은 지표에서 E/A 정착부까지의 일정 토피가 확보되어야 하고 정착부위의 토층은 마찰력이 발생하는 모래 또는 암반층이어야 하며, 정착부 Groutig 시 압력 Groutig 하는 것으로 가정하고 있으며, 시공조건이 이와 달라질 때는 정착장에 대한 재검토가 있어야 한다.
- 앵커 지지층으로서의 특성상 Soil에서는 Rock에서 보다 앵커와 지반과의 상대적 변위 등을 고려할 때 다소 길게 설계함 바람직하다.

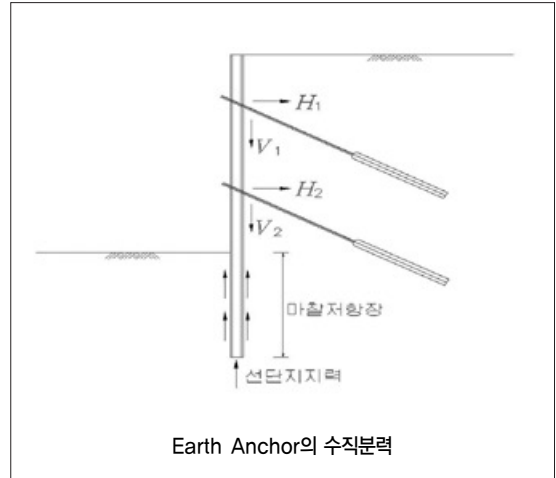
#### • 시험

- 인발시험 : 시험 앵커를 설치하여 인발하므로써 마찰저항 정도를 확인한다.
- 인장시험 : 실제 앵커에 대하여 인장단계별 늘임량을 확인한다.
- 확인시험 : 모든 앵커에 대하여 최종 늘임량을 측정한다.
- 거동관찰 : Load cell로 전반적인 거동상태를 확인한다.
- 기타
  - 연약한 지반굴착시 앵커 설치전 중앙부 과도굴착을 금지해야 한다.
  - 인장시 배면도로에 피해여부 및 주변 앵커 상태를 관찰한다.
  - 인장시 띠장의 휨 발생 여부를 관찰한다 (Stiffener 보강 필수).
  - 앵커 홀에서 지하수가 과다하게 배출되지 않도록 차수 조치한다.
  - 유기질 실트나 N치 15 이하의 점성토에서는 앵커력이 작고 장기간의 Creep 현상이 일어날 수 있으므로 E/A 시공은 바람직하지 않다.
  - N치 10이하의 사질토나 특히, 매립토의 경우는 매립작업이 층별다짐등 철저한 품질관리하에서 수행되지 않는 한 앵커의 지지층으로 보기에는 다소 부적합하다.
  - 점성토 지반이나 느슨한 사질토 지반에서는 기간경과에 따라 E/A의 장력이 감소되므로 재인장 할 수 있도록 Jack을 설치할 수 있는 길이를 남기고 절단해야 한다.

### 12. 어스앵커의 수직분력에 대한 검토

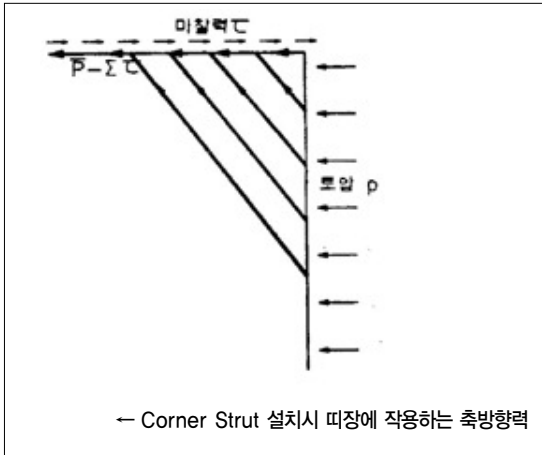
- 하향경사로 시공하는 E/A는 수직분력으로 하향의 힘이 작용하며, 흙막이벽체의 선단지반이 수직하중을 안전하게 지지할 수 있어야 한다. 또한, 흙막이벽체의 수직분력에 대한 저항력 계산시 주면마찰력은 굴착면 이하부분에

대해서만 적용해야 한다.

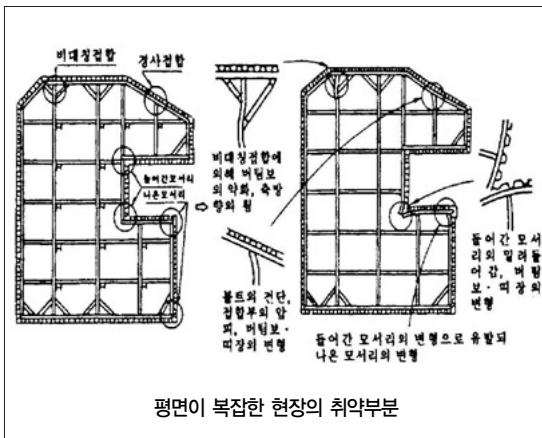


### 13. 띠장 (Wale)

- 띠장과 임시말뚝의 사이에 간격이 있을 경우 하중의 균등한 분배를 위해 간격을 채워 전면 Welding 해야 한다. 주열식 말뚝과 띠장과의 틈은 Cement Mortar로 채운다.
- 전구간에 걸쳐 연속체로 강결되어야 한다.
- E/A 설치시 띠장은 2중 띠장으로 하고 고임찌기로 E/A 천공각도를 맞추는 것을 원칙으로 한다. 많은 건축현장에서 띠장을 E/A 천공각도에 맞추어 경사지게 설치하고 이를 Angle로 받쳐주도록 하고있다. 이의 경우 E/A의 인발력에 의한 수직력으로 띠장각도가 변할 수 있다.
- [그림]과 같이 Corner strut를 설치하는 경우 토압 P의 합력 P에서 마찰력의 합력을 감한 값만큼의 압축력이 띠장에 발생하게 된다. 더구나 띠장은 띠장에 직각으로 작용하는 토압에 의한 휨응력을 추가로 받게 된다.
- 일반적으로 흙막이 구조물에서의 실제토압은 계산상의 값 (2차원 해석) 보다 작은 3차원의 값이다. 따라서, 소규모의 굴토공사에서는 통상 이에 대한 검토를 실시하지 않고 있는 실정이나 굴토면적 및 심도가 큰 경우에는 띠장의 압축응력 및 휨응력에 대한 검토가 반드시 실시되어야 할 것이다.



- 평면형상이 복잡한 현장에서의 보강방법
  - 동바리공의 기본은 사용재료가 늘어나더라도 하중의 전달경로가 쉽게 파악될 수 있는 단순한 기구로 한다.



- 단순한 구조란 모서리 부분 보강 등을 제외하고는 부재를 직각 또는 직선으로 배치하고 전체적으로나 부분적으로나 대칭형을 말한다.
- 아무리 해도 단순하게 할 수 없는 경우에는 하중의 전달경로를 충분히 확인하고 필요에 따라 보강한다.
- 들어간 모서리에서는 두개의 띠장의 연결선상에 버팀보를 배치하고, 또한 띠장의 교차부를 금속으로 고정한다.
- 나온 모서리에서는 띠장의 교차부를 금속으로 고정함과 함께 비스듬한 모양의 사재를 배치 한다.
- 비 직각의 접합부는 전용 접합재를 사용한다.
- 건물의 외부 거푸집없이 건물의 외벽을 흙막이 벽에 밀착시켜 시공하는 경우 (합벽시공의 경우) 띠장과 건축외

벽과의 간섭관계를 사전 검토해야 한다. 대체로 Slab 상단보다 높은데 위치시키면 벽체와 Slab 타설후 띠장과 Strut (또는 Earth anchor) 를 해체하기에 용이하다.

#### 14. 강재 Bolt 구멍천공

- Bolt 구멍의 천공은 Drilling Machine을 사용하고 산소 용접기를 사용하지 않도록 한다.

#### 15. 레이커 (Racker)

- 레이커 설치전 소단유지
- Kicker Block의 수평 및 수직 지지력 확보 (부족시 지지말뚝 설치 필요)
- 띠장과 연결상태 확인
- 레이커간 브레이싱 연결 필요
- Jack 은 유압식을 사용하는 것이 Prestress 관리에 좋다.

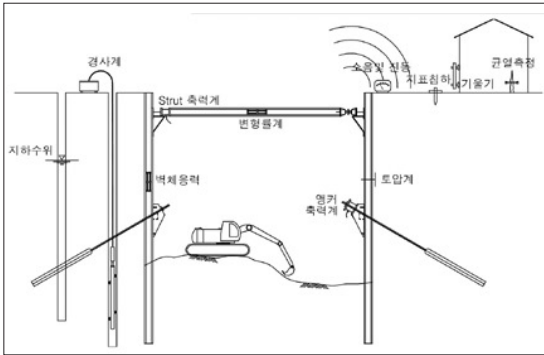
#### 16. 지보공 철거와 해체

- 무리한 지보공의 해체 (2단 동시 해체 등) 는 과도한 변형과 응력을 유발할 수 있다. 지반이 연약하고 건물의 Slab 간 층고가 클 때는 지보공 철거와 해체과정에 대한 해석이 필요하다.
- 벽체 및 지반강성에 따른 최소지간 (3~5 m) 을 확보한다.
- 합벽시공시 하부 지하층 옹벽의 강도를 확인한다.
- 과다 응력 발생이 예상될 경우 지하층 옹벽 끊어치기를 실시한다. (E/A 의 경우 해체 후 별도의 띠장 설치 후 재인장)
- 해체시 상부의 지지 구조물과 지하층 건축 구조물의 응력변화 상태를 확인하고 다음 해체계획을 검토한다.
- 해체 전후 경사계 등을 통해 변위 발생 상태를 확인한다.
- 배면지반 및 지중 매설물의 피해여부를 확인한다.

#### 17. 계측자료의 보완

- 계측이란 육안으로 관찰할 수 없는 거동상태를 관찰하기 위해 기기를 설치하여 제반거동을 정량화 하는 것으로서 측정치는 실제 거동을 대표할 수 있어야 한다. 따라서 설치와 공사도중 측정치의 오차가 없어야 한다.
- 계측기가 설치된 지점은 대표지점이므로 계측치 외에도 육안관찰에 의한 보완과 기술적인 판단이 중요하며, 이에 관한 항목들은 다음과 같다.

- 주변지반의 침하, 균열형태
- 흙막이벽의 이상변형 상태 및 Heaving 이나 Piping 현상 관찰
- Strut 의 좌굴 및 어스앵커체의 파단이나 정착구에서의 미끄러짐 발생



## 18. 지반조사

- 전체 현장의 일부지점에 대하여 시추조사 및 시험을 통해 굴착지반의 공학적 특성을 파악하여 설계 및 공사가 진행되나 인접지역에서도 지반조건이 상당히 다를 수 있고, 현재 국내실정에서 건축시공을 위한 지반조사시 정도 높은 조사기법의 적용이 되지 않고 있는 실정으로 설계자에게 불확실한 요인이 내포될 수 있다.
- 보기에는 양호하더라도 1m 정도는 시험굴착하여 지반 상황을 조사하고 이에 의하여 적당한 장비의 작업위치 설정 및 작업대를 별도로 만드는 것도 고려한다.
- 점토지반의 경우 불교란 시료, 암반층에서는 코어를 채취하여 강도시험이 수행될수 있는 시추방법이 채택되어야 한다.

## 19. 주변 현황 파악

- 설계 지층상태와 굴착시 확인된 지층상태를 비교하고, 지하수위의 변화를 측정해야 한다. 또한 인근지반이나 구조물에 침하나 균열이 발생되지 않도록 해야하며, 배수방법이 효과적이고 세굴등 기타 유해한 영향이 없는지 확인해야 한다.
- 설계시 조사된 매설물도와 현상이 일치하지 않는 경우가 많으므로 현장 확인 및 시굴을 통해 매설물의 유무, 종류, 형상등의 실태를 파악해야 하며, 이 때 시설 관리 담당자가 입회하도록 하여 위치를 측정함과 동시에 종류, 형상등이 도면과 맞는지 파악해 둔다. 또한, 매설위치확

인은 흙막이벽 타설위치에서 실시토록 한다.

## 20. 암반에서의 굴착

- 암반에서의 안정은 주로 암반내의 절리면의 상태, 즉 절리면의 방향, 경사, 거칠기, 충전물의 종류, 충전물의 강도특성, 지하수 상태, 절리면의 빈도 등에 좌우되며, 특히 경사 45도 내외의 단층일 경우는 일반토사 보다도 큰 토압이 작용할 수 있으므로 굴착시에는 이들 불연속면을 면밀히 관찰하여 안정성 판단과 대책수립을 하여야 한다.
- 중장비를 이용한 굴착 : 진동 및 소음이 매우 심하여 인접건물이 존재시 피해를 줄수 있어 사용하기 곤란하며, 작업효율도 떨어진다.
- 발파에 의한 굴착 : 발파는 도시토목을 고려하여 미진동, 미소음계의 장약을 사용하여야 하고, 만약 발파할 경우는 인접건물과 지하매설물 등에 영향을 미치지 않도록 발파진동속도 0.5 cm/sec (주택가) 이하가 되도록 장약량 및 천공심도, 간격등을 조정하여 시공해야 한다.
- 제어발파 : 천공경과 약경의 조절만으로 폭약의 위력을 제어할 수 있는 화약발파공법으로 PS 발파, Line Drilling, Cushion Blasting등의 공법이 있다.
- 팽창성 파쇄제 : 진동, 소음에 의한 민원문제가 발생하지 않지만 시공속도가 빠르지 못하고, 보통암이상의 강도를 갖는 경암에서는 암반파쇄가 진행되지 않기 때문에 민원문제가 심하게 제기되는 소규모의 현장에서만 적용이 가능하다.
- Cardox System : 파쇄 에너지 제어가 가능하여 허용규제치 범위내로 작업이 가능하지만 소음이 크게 발생하며, 압축강도가 큰 경암에 적용하기 곤란하고 시공속도가 빠르지 못하다.
- 유압 Jack : 일반적으로 적용되는 미진동 암반 파쇄공법으로 진동, 소음등의 발파공해가 발생하지 않는 장점을 갖고 있지만, 경암질에서는 암반파쇄가 진행되지 않아 공기가 지연되고 시공속도가 빠르지 못해 대규모의 현장에서는 유압 Jack의 장점을 살리기 어렵다.
- 전력충격(플라즈마) 파암공법 : 축전기에 저장된 전기에너지를 암반속에 지입된 전력충격 Cell에 급속히 주입함으로써 고온, 고압의 플라즈마를 형성한다. 이때 발생된 플라즈마에 의하여 전력충격 Cell 내에 있는 알루미늄과

금속산화물이 반응하며, 위의 두 과정에서 발생된 에너지(충격파)를 이용하여 암반을 파쇄하는 공법이다.

## 21. 기타

- 배수 : 지중수 및 누수에 의한 굴착장내의 용수를 즉시 배수해야 하며, 강우시 즉시 배수가 가능하도록 준비되어야 한다.

- 토사운반 : 토사반출시 주변정리, 세차 및 노면청소를 실시하여 분진발생이 이루어지지 않도록 한다.
- 복공판 : 복공판 설치부의 철구조에 유해한 변형이 발생하는지 Check 하며, 장비의 작업 으로 복공 및 가설체에 과도한 영향을 주지 않는지 확인해야 한다.



## III. 설계 및 시공불량에 따른 유형별 붕괴 형태

### 지중연속벽 및 연속주열벽(C.I.P, S.C.W 등)

- 벽체 형성시 슬라임이 섞여 들어가거나 콘크리트가 분리 또는 트레미관 사용시 너무 치켜 올려서 발생하는 콘크리트 강도의 부족, 철근이 함께 달려 올라감에 의한 배근 부적절, 토괴나 머드 케이크등의 이물질 혼입시 벽체 강도저하
- 배근시 반대로 하거나 굴착 심도를 틀리게 하는 경우의 강도저하
- 높은 지하수위의 지반에서의 시멘트 분출이나 벤토나이트 이수의 지반내 유출에 따른 시공 단면의 부족

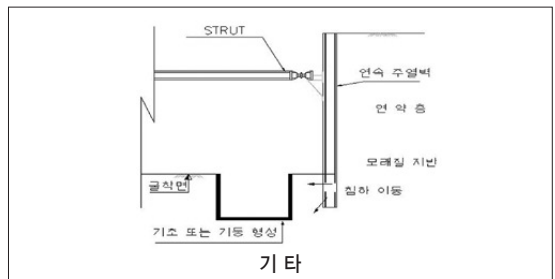
### H-PILE+토류판

- 토류판의 뒷채움 부족이나 탈락에 의한 수동토압 부족으로 인한 파괴

### SHEET PILE

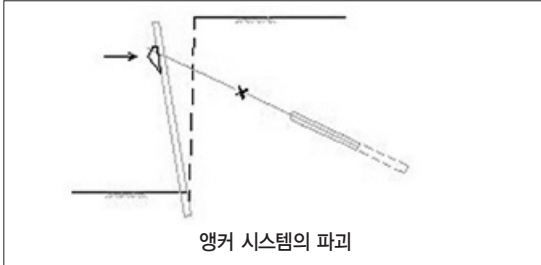
- Sheet pile간 연결부의 분리 및 길이부족에 의한 파괴
- 사전조사 부족으로 타설시 지중선이나 가스, 수도의 절

### 단에 의한 이상 응력 발생에 의한 파괴

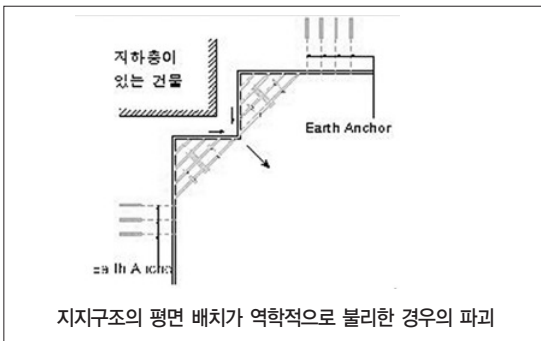


- 아일랜드 공법이나 현장타설 말뚝의 공타설 부분에 대한 되메우기 불량에 의한 파괴
- 건물의 기둥 또는 기초가 흙막이 벽에 근접하여서 형성될 때 굴착으로 인해 수동토압이 감소하게 되며, 이는 흙막이 벽체의 선단지지력 상실에 따른 흙막이 벽체의 하부 및 측방 이동을 유발하여 결국에는 사고로 이어질 수 있음
- 기초굴착에 의한 흙막이벽의 침하이동 ... 좌측 그림
- 합벽식 흙막이 시공시 흙막이 벽체를 본체 지하외벽이나

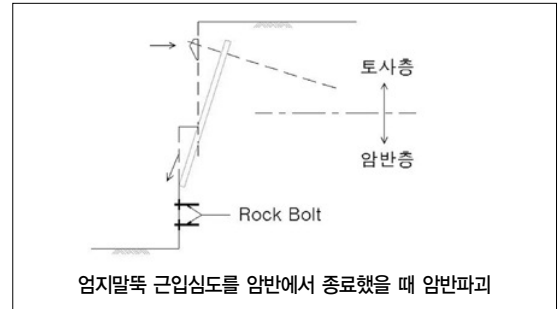
기초 말뚝 으로 이용할 경우에는 굴착시에 발생하였던 커다란 휨응력이 잔류하므로 본체 구조물 구체의 설계조건에 부합되지 않는 경우 발생



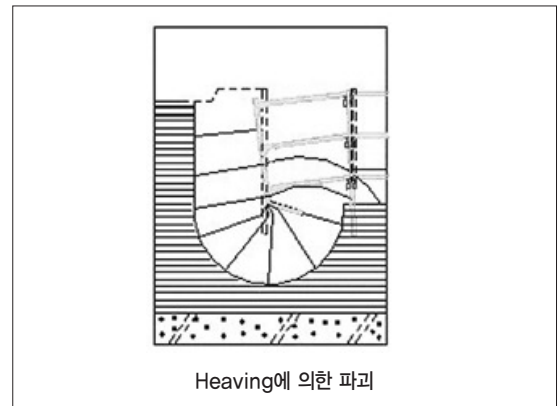
- 흙막이 벽체를 형성하는 엄지말뚝, 피장, 앵커두부가 단면부족으로 인하여 파괴
- 앵커로드들을 연결하는 부위의 잘못된 접속
- 배면에 예상하지 않은 과대한 상재하중이 작용, 벽체에 축압이 크게 증가 - 앵커 로드가 절단되거나 앵커몸체가 빠지는 경우



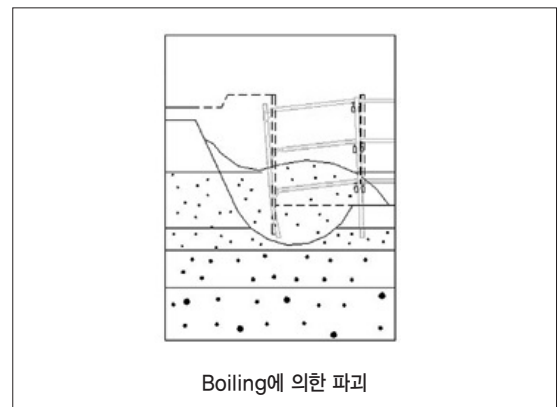
- 건축예정부지의 모양새가 지지구조체를 평면 배치하는데 있어 역학적으로 불안정하고, 배면에 지하층이 있는 건물이 인접하고 있어 Tie-Back System에 의한 보강조치도 불가능한 경우 - 이 때의 파괴형태는 상부의 지지구조가 역학적으로 제기능을 못하기 때문으로 어스앵커 시스템의 파괴형태와 유사



- 흙막이벽을 상부 토사층과 하부 암반층 일부에만 근입되게 설치하고, 하부의 대체로 신선한 암반층에 대해서는 Rock bolt와 Shotcrete로 처리한 경우
- 흙막이벽 근입 부위의 암반이 균열면을 통해 굴착면쪽으로 미끄러지면서 흙막이 벽체 파괴 발생

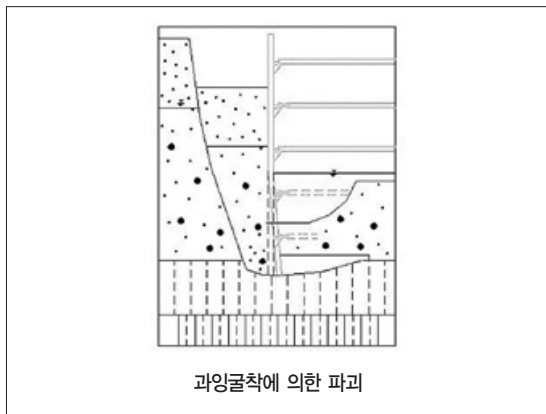


- 연약한 점토지반을 굴착할 경우
- 굴착배면의 토괴중량이 굴착저면 지반의 지지력보다 클 경우 발생

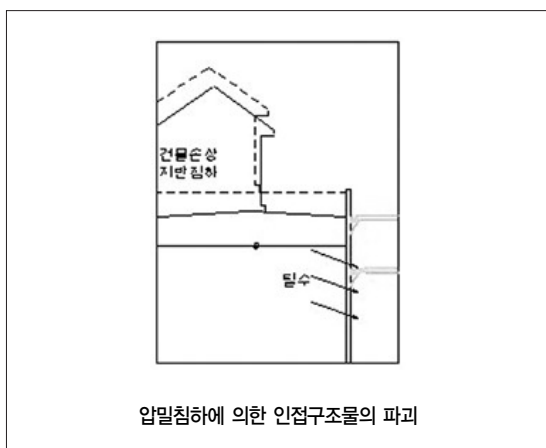




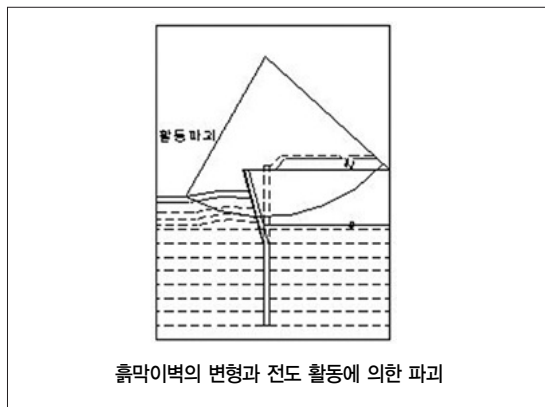
- 지하수위가 높은 모래층, 자갈층과 같은 투수성의 지반을 강널말뚝이나 연속벽과 같은 차수성의 벽을 사용하여 터파기 내부를 배수할 경우
  - 지하수위 차이에 의해 상향의 침투압 발생



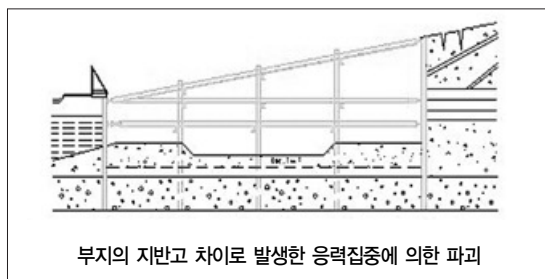
- 단계별 굴착시 소단을 두어 벽체의 안정성을 확보하여야 하나, 이를 무시할 경우 굴착면 내부 수동토압의 감소로 인해 벽체의 붕괴가 유발



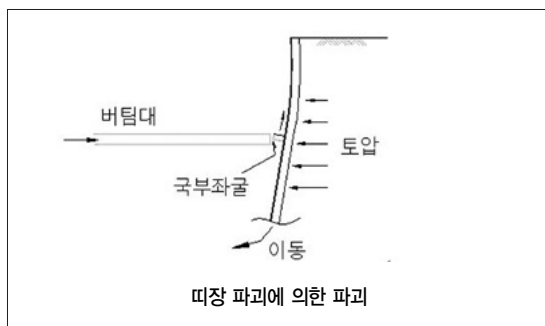
- 지하수위가 높은 지반의 경우
  - 수위저하로 인해 굴착매면 지반에서 압밀침하가 진행되어 이로 인한 인접구조물 손상 발생



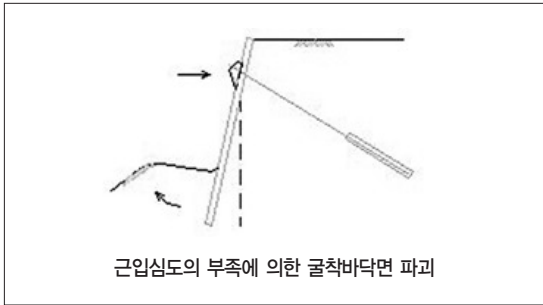
- 벽체의 변형이 클 경우
  - 전도나 활동에 의해 파괴



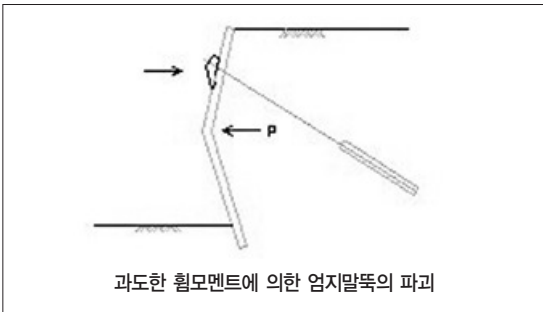
- 내부 버팀대 구조시스템에서 대응하는 흙막이벽의 배면 지반고 차이가 있는 경우
  - 토압의 불균형이 생기고 응력 집중현상으로 벽체의 과도한 변위 또는 버팀구조 파괴 발생



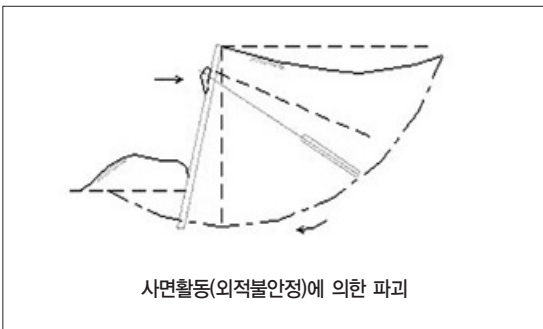
- 띠장은 흙막이벽에 작용하는 측압을 버팀대로 전달하기 위한 횡재이기 때문에 커다란 휨탄성과 연속성이 요구된다. 따라서, 띠장이 파괴되면 흙막이벽의 지점간 거리가 급증하여 흙막이벽의 휨 파괴 또는 버팀대의 붕괴로 이어짐



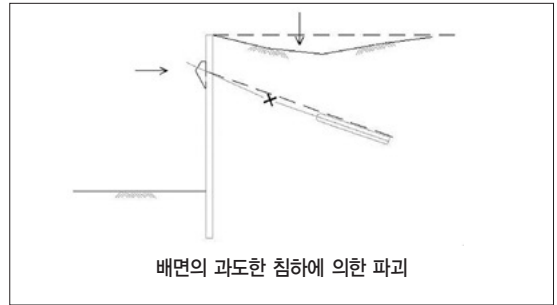
- 수동토압 영역의 굴착바닥면이 솟구쳐 오르면서 파괴가 일어난다.
- 근입심도 부위의 지반이 연약할 경우 발생 가능성이 크다



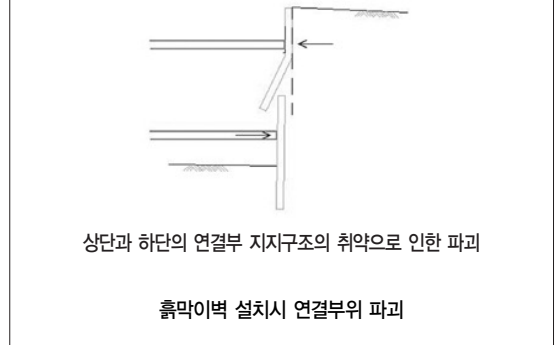
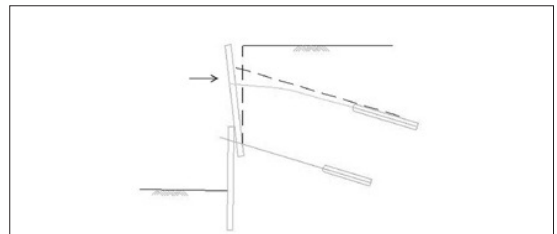
- 엄지말뚝의 단면강성이 부족한 경우
- 토압산정시 오류를 범했거나 예상하지 못한 하중이 벽면에 작용했을 때, 측압 증가에 의해 발생



- 배면지반 전체가 연약해서 사면안정이 되지 못했거나 암반내부에 미끄러짐면이 존재하는 경우
- 어스앵커 설치시 자유장이 충분히 확보되지 못한 경우



- 흙막이벽 배면부가 과도하게 침하하는 경우
- 앵커로드를 끌어내리면서 앵커로드에 과대한 축력이 발생하여 파괴발생
- Pre-Drill 한후 공내에 Slime이 많이 잔류되어 있거나 공벽이 무너져 내린 상황에서 엄지말뚝 관입시 확실한 지지층에 놓이지 못할 경우
- 굴착진행에 따라 축력이 증가하게 되어 엄지말뚝이 처짐
- 말뚝 근입 부위가 사질토로서 Piping이 일어날 경우
- 지지력이 현저히 약화되어 말뚝이 침하
- 이와 같은 원인에 의해 말뚝이 침하하게 되면 지지구조의 두부가 이완되거나 구조체가 균형을 잃어 파괴



- 매우 상이한 토층에서 장비 효율성에 따라 2단으로 흙막이벽을 설치하는 경우가 있는데, 이때 연결부위가 취약해져 파괴발생