

# 고강도파일기술자료 (P.H.C)

(Pretensioned Spun High Strength Concrete Piles)

# 목 차

## 제1장 서론

1. P.H.C Pile의 개요 및 전망
2. P.H.C Pile의 제조방법 및 제원
  - 2.1 고온, 고압 양생법
  - 2.2 상압 증기양생법
  - 2.3 P.H.C Pile의 제원

## 제2장 콘크리트 파일 시공법의 주의점과 대응

1. 타격공법
  - 1.1 말뚝 두부파손에 대하여
  - 1.2 말뚝 중간부의 파손
  - 1.3 말뚝 선단부의 파손
2. 매입 공법
  - 2.1 시멘트 MILK 공법
  - 2.2 속파기 공법

## 제3장 P.H.C Pile의 취급 및 시공

1. 적용범위
2. 말뚝의 품질기준
3. 말뚝의 운반하역 및 적재
4. 말뚝 향타 장비
5. 시 공
6. 이 음
7. 말뚝 머리절단 및 두부정리
8. 시공주의 처리
9. 작업의 안전
10. 기록

## 부 록

시공법의 종류

# 제 1 장 서 론

## 1. PHC Pile의 개요 및 전망

구조물이 점점 고층화, 대형화되고 지가상승, 환경문제 등의 발생으로 인하여 종래에는 볼 수 없었던 각종의 특수공사가 증가되고 있다. 또한 종래의 건설구조물의 입지로써 경원시 되었던 연약지반에서의 건설과 해안공사도 활발해지고 내진설계법의 도입과 함께 구조물의 안전성에 대한 인식도 달라짐에 따라 기초구조 보강을 위해 사용되는 Pile은 좀더 깊은 관입량과 큰 지지력을 필요로 하게 되었다.

이에 기존 PC Pile의 고강도화에 대한 대책으로 PHC Pile (PRETENSIONED SPUN HIGH STRENGTH CONCRETE PILES)이 실용화 되고 있다. PHC Pile은 “KSF 4306 프리텐션방식 원심력 고강도 콘크리트말뚝”에 규정되어 있으며, 콘크리트강도가 800kgf/cm<sup>2</sup>를 넘는 고강도로써 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

- 첫째 : 콘크리트의 허용압축응력이 대단히 크므로 종래의 PC Pile보다 더 큰 축방향 하중에 견딘다.
- 둘째 : 압축강도가 800kgf/cm<sup>2</sup>이상인 콘크리트로 성형한 단면에 소요의 프리스트레스를 균일하게 도입하여 타격내력이 우수할 뿐 아니라 항타시 발생하는 반사파에 의한 인장응력을 흡수하기 때문에 균열이 적다. 따라서 PC Pile로는 항타가 곤란한 중간의 단단한 층도 용이하게 관입되므로 보다 깊고, 단단한 지층에 관입이 가능하다.
- 셋째 : 콘크리트의 휨인장응력이 크므로 축력과 수평력을 동시에 받는 내진설계시에 적합하다.
- 넷째 : AUTO-CLAVE 양생의 경우는 1일에 필요한 강도를 얻을 수 있어 곧바로 사용 가능하지만 PC Pile의 경우는 증기양생후 탈형시킨 다음 소정의 강도에 도달할 때까지 최소한 10~14일을 필요로 한다. 따라서 PHC Pile은 주문후 2~3일후에는 납품이 가능하기 때문에 현장의 시공에 따라 판단되는 지반의 형성에 맞추어 장, 단, 대, 소 자유롭게 제작하며 공사에 차질이 없게끔 맞추어 나갈 수 있다.
- 다섯째 : 고내구성으로 화학 저항성이 커서 해수 및 산성 토양에 잘 견디며 내동해성이다.

이웃 일본에서는 1968년도에 PHC Pile이 시판된 이래 전체 PC Pile 생산량의 95% 이상을 차지하게 되었고 생산량이 1% 전후로 떨어진 PC Pile은 JIS상 규정이 유명무실하게 되어 삭제를 검토중에 있다. 또한 생산방식으로는 80년대 초반까지 오토클레이브(AUTO-CLAVE : AC)방식이 주류였으나 이때부터 등장한 새로운 상압증기양생(Non-Autoclave : NAC)방식의 PHC Pile이 AC설비의 증설이 어려

운 중소파일 업체를 중심으로 급격히 증가하기 시작하였다. 현재는 AC방식의 PHC Pile이 전체의 60~70%정도를 점유하고 있다.

국내에서는 PC Pile을 주로 생산하며, 일본의 60년대와 유사한 상황속에서 난립된 Pile 업체간의 치열한 판매경쟁이 전개되고 있는 가운데 해안 및 연약지반상의 공사증대와 고품질, 고신뢰성을 요구하는 건설업계의 요구에 부응하여 일부 선진업체에서 PHC Pile을 생산하여 불황타개 및 상품차별화로서 시장을 개척하고 있다.

그러나 AC방식의 제조설비가 보급되지 않은 상태에서 중소 Pile업체가 대부분이며 PHC Pile 시장규모가 아직 유동적인 국내에서는, 초기설비투자의 부담이 없는 NAC방식의 PHC Pile이 중소 Pile업체를 중심으로 보급되고 AC방식의 PHC Pile은 초기 설비투자가 가능한 대기업중심으로 보급되고 있는 상황이며 품질면에서는 AUTO-CLAVE 방식이 유리하다고 하겠다.

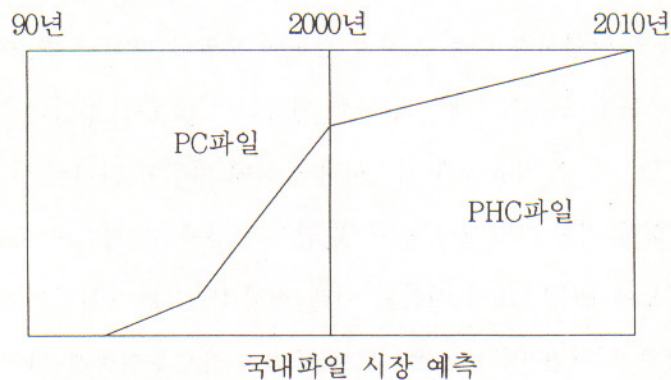
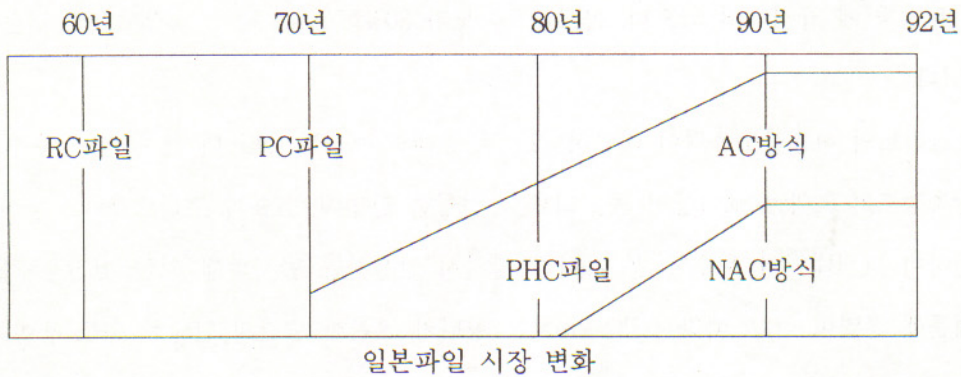


그림1.1 파일시장 변화 추이

## 2. PHC Pile 제조방법 및 제원

### 2.1 고온고압양생법 (AC방법)

PHC Pile에 사용하는 콘크리트의 제조방법으로써 AC를 사용하여 고온고압양생하는 방법이 있다. 원재료로써 시멘트, 골재 및 고성능 감수제를 사용하여 물-시멘트 비를 낮추고 실리카 분말을 혼입하여 10기압, 180°C 전후의 포화수증기의 고온고압하에서 토버모라이트(TOBERMORITE)와 같은 칼슘실리케이트 수화물을 1차 10시간정도 상압양생시키고 2차 10시간 고온고압양생시켜 고강도화를 기하는 방법이다.

이 방식의 장점은 초기 고강도 발현 및 품질관리가 용이하며, 재료구입에 어려움이 없는 등 경제적인 Pile 생산이 가능하다. 그러나 이 방식은 AC설치를 비롯한 초기 설비투자비가 크므로 PHC Pile 시장이 유동적인 국내환경화의 중소 Pile 업체로서는 자금 회전에 대한 위험부담이 크나 품질면에서 유리한 점을 들 수 있다.

### 2.2 상압증기양생법 (NAC방법)

비교적 최근에 개발된 기술로서 AC를 사용하지 않고 기존의 PC Pile 제조방식과 동일하게 상압증기양생만으로 제조하는 PHC Pile 제조방법이다. 이 방법은 10여년전 일본에서 개발되어 널리 쓰이고 있는 기술로써 원재료인 시멘트, 골재외에 무수석 고재의 혼합재를 첨가하고 고성능 감수제를 사용하여 물-시멘트를 낮추어서 상압증기양생만을 행하는 방법으로서 혼합재와 수화생성물이 반응하여 침상의 치밀한 에드린자이트를 생성시켜 고강도화를 기하는 방법이다.

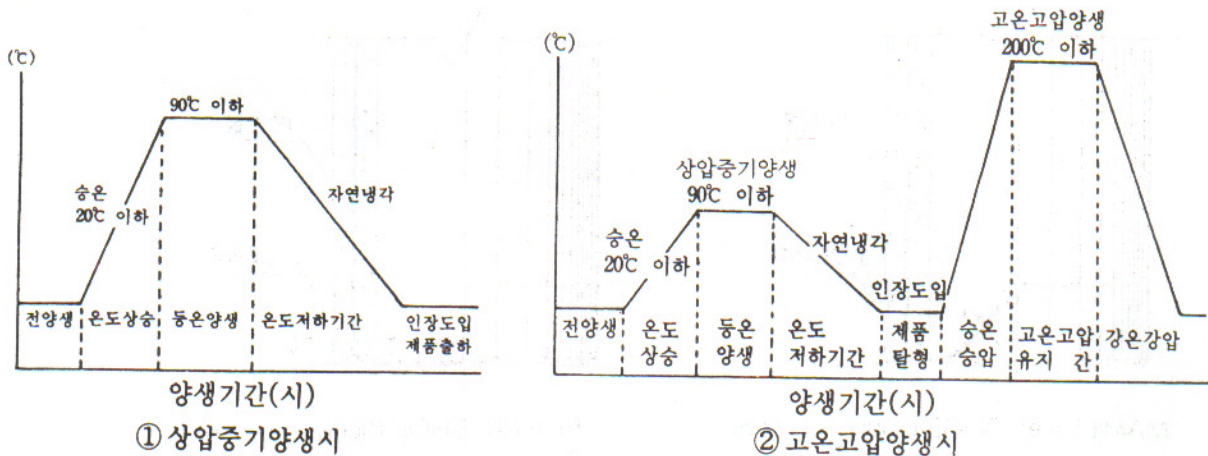
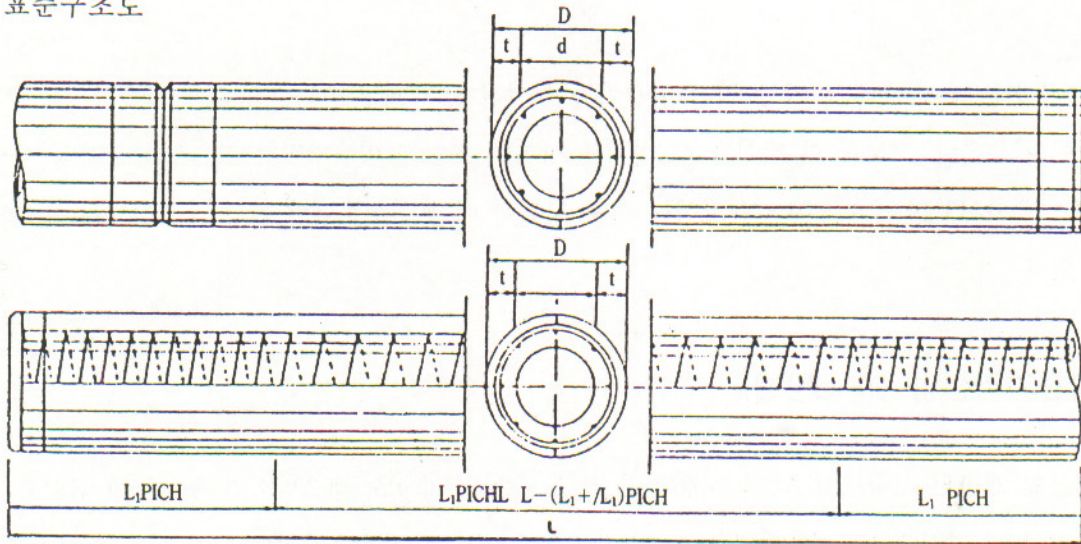


그림12 AC와 NAC 제조방법의 비교

이 방식의 PHC Pile은 고온에서 양생하지 않으므로 내구성이 뛰어나다. 또한 대구경, 장대파일의 생산에 용이하며 기존 중소 PC Pile 제조업체의 설비를 그대로 이용하여 제조함으로써 초기 투자비가 들지 않는다. 그러나 보조재료의 사용이 많아 재료의 수급에 문제점이 있고 철저한 품질관리가 필요하며 고강도 혼화제의 국산화가 조속히 이루어져야 제조단가를 낮출 수 있다.

### 2.3 PHC Pile의 제원

표준구조도



선단부구조도

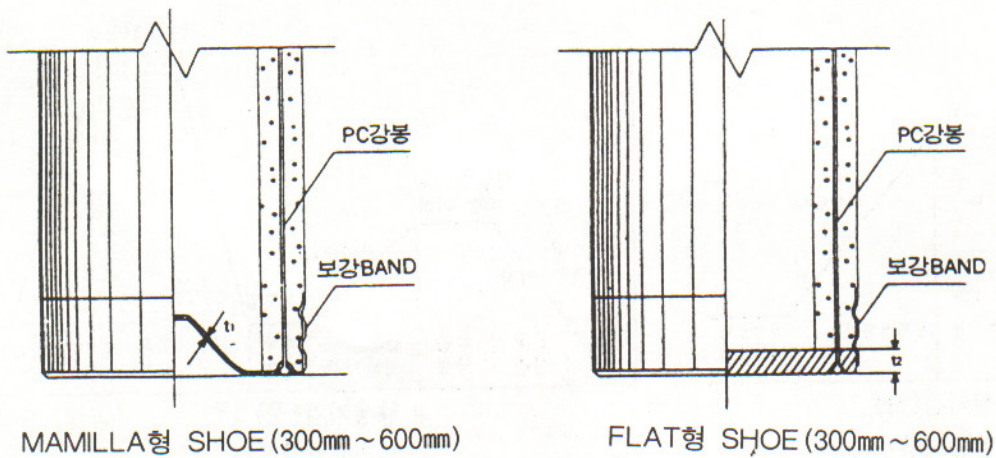


그림1.3 파일의 표준구조도 및 선단부구조도

그림1.3은 PHC 파일은 표준구조도 및 선단부의 구조를 나타내고 있다.

또한 PHC 파일의 표준치수 및 종류를 표1에 나타내었다. 표1에서 알 수 있는 것은 종류, 프리스트레스양, 외경 및 길이가 PC 파일과 거의 같지만 두께가 PC 파일보다 10mm까지 얇게 되어 있다.

표 1. PHC 파일의 제원

외경 (mm)	두께 (mm)	길이 (m)	종류	기준휨모멘트		콘크리트 단면적 (cm <sup>2</sup> )	환산 단면적 (cm <sup>2</sup> )	단면2차모멘트		환산 단면 계수 (cm <sup>3</sup> )	유효 prestress (kg/cm <sup>2</sup> )	
				균열 (t·m)	파괴 (t·m)			콘크리트 (cm <sup>4</sup> )	환산 (cm <sup>4</sup> )			
350	60	4 ~ 15	A	3.5	5.3	547	556	59,925	61,048	3,488	42	
			B	5.0	9.0				60,978			3,542
			C	6.0	12.0				62,812			
400	65	4 ~ 15	A	5.5	8.3	684	699	99,517	101,875	5,094	42	
			B	7.5	13.6				103,079			5,154
			C	9.0	18.0				104,502			
450	70	7 ~ 15	A	7.5	11.3	836	852	155,956	159,165	7,074	42	
			B	11.0	19.8				162,375			7,217
			C	12.5	25.0				164,982			
500	80	7 ~ 15	A	10.5	15.8	1,056	1,074	241,199	245,849	9,834	42	
			B	15.0	27.0				250,499			10,020
			C	17.0	34.0				254,277			
600	90	7 ~ 20	A	17.0	25.5	1,442	1,468	483,427	492,759	16,425	41	
			B	25.0	45.0				502,090			16,736
			C	29.0	58.0				509,671			
700	100	7 ~ 20	A	27.0	40.5	1,885	1,922	871,792	889,684	25,420	42	
			B	38.0	68.4				907,961			25,942
			C	45.0	90.0				922,026			
800	110	7 ~ 20	A	40.0	60.0	2,385	2,431	1,455,122	1,485,284	37,132	42	
			B	55.0	99.0				1,514,502			37,863
			C	65.0	130.0				1,537,595			

## 제2장 콘크리트 파일 시공법의 주의점과 대응

### 1. 타격공법

콘크리트 PILE 타격공법은 타격에 의한 효과로 지지력, 경제성이 우수하지만 소음, 진동 등의 공해문제 때문에 사용할 수 있는 환경이 제약되어 있는 실정이다. 그렇지만, 아직도 그 특징을 살려서 사용되는 경우가 많고 여기서는 타격공법에서 발생하는 주된 말뚝 파손 사고의 주의점과 대책에 대하여 다음에 기술하였다.

#### 1.1 말뚝두부의 파손에 대하여

##### 1) 과도한 타격에 의한 파손

###### ㉞ 적정 해머와 적정 낙하고

타격 말뚝을 양호한 지지 지반에 충분히 관입시키기 위해 무리한 일을 설계, 시공의 양면에서 행하려고 하면, 그 결과 중간층의 모래층 또는 모래자갈층을 관입하기 위하여 과도한 해머나 과도한 낙하고를 선택하여 과도한 타격력을 말뚝에 주게 되어 말뚝에 압축파괴를 초래할 수가 있다. 이것은 적정해머의 선택 및 타격횟수의 제한으로 상당부분 해결할 수가 있다.

목표 기준으로서 표1, 표2를 참고하여, 미리 WEAP 프로그램 등으로 향타 시공한다. 또한 KSF 7001 “원심력 콘크리트 말뚝의 시공표준”에 따라서 시공하는 것이 효과적이다. 이는 타입시 두부에 발생하는 압축력을 여러 가지 조건하에 추정하여 실측한 결과를 기준으로 한 목표치이다.

###### ㉟ 중간층의 관입과 지지층의 관입

중간층의 관입이 어쩔 수 없이 필요하고 더욱이 전항의 적정해머로는 관입할 수 없을 때는 Pre-boring과 속파기의 병용이 유효수단이 된다.

##### ● Pre-boring(선굴착) 병용

점성토에서는 공벽이 비교적 안정된 상태로 Pre-boring 하는 것이 가능하지만 모래질 지반에서는 공벽이 붕괴되어 결국 Pre-boring 효과를 발휘할 수 없을 수도 있다.

이 경우에는 굴착공 보호를 위해

###### ① 벤토나이트 이용



② 섬유찌꺼기(조각) 등의 이용

③ 황토를 공벽에 도포하는 방법 등이 있다.

또한 최종 지지층에는 2D 또는 1m 정도 타입하여 지지력을 확보할 필요가 있다.

한편, 최종 관입시 시공관리는 침하량, 타격회수, 관입깊이를 설정하여 관리함으로써 말뚝 두부의 압축파괴등이 일어나지 않도록 하여야 한다.

● 속파기의 병용

속파기의 병용은 모래자갈층(단, 자갈직경이 말뚝내경의 1/3이하(70mm 정도일것))을 포함, 전체 지반에 유효한 방법이다. 단지 말뚝선단의 지반은 느슨하게 이완시키면서 타설시키므로 지지력을 얻기 위해서는 2D 또는 1m 정도는 지지층에 타입하여야 하는 것은 Pre-boring 병용의 경우와 같다.

<표 1> 말뚝직경별 해머

해머 직경 (mm)	300	350	400	450	500	600	700-800
D-22-25	○	○	□	□	×	×	×
D-32-35	×	□	○	○	□	□	×
D-40-45	×	×	□	○	○	○	□
D-60-70	×	×	×	×	×	□	○

<표 2> 제한 타격횟수

말뚝의 종류	R C	P C	PHC
제한 총타격횟수	1,000 이하	2,000 이하	3,000 이하
최후의 10mm 부분 제한 타격횟수	500 이하	800 이하	1,500 이하

㊤ Cushion재

Cushion재를 사용하지 않거나 또는 편감소한 것, 경화한 것을 사용하는 것은 항타에 의해 유발된 과잉응력에 의해 말뚝머리부의 압축파괴를 일으키는 큰 원인이 된다. 특히 드롭해머 타격이나 유압 해머에서는 시공속도 향상에 포인트를 두어 과도한 낙하고로 시공하기 쉬우므로 두부에 압축파괴를 일으키게 된다. 적정 낙하고 및 쿠션재의 두께의 시공관리는 항타시공성 분석에 의해 실시하고 Cushion재의

관리에 대하여는 다음 사항에 유의할 필요가 있다.

① 반드시 Cushion을 사용할 것(합판)

(두께 5cm, 2매 겹치는 것이 좋다. 단, 서로 직교)

② 편감소에 주의하여 자주 바꾸어 줄것.

## 2) 편타에 의한 파손

편타에 의한 말뚝부두의 파손은 전술한 쿠션 편감소와 같이 해머 축심과 말뚝의 축심이 일치하지 않는 것에 의한 것이 대부분이다.

최초 말뚝을 세워놓고 향타기 Setting 단계에서 그림1과 같은 어긋남을 일으키지 않도록 하는 것이 제일 중요하다. 이를 위해 Transit 등으로 두 방향의 직각을 확인하여 반드시 일치하게 한다. 그러나 처음 어느정도 정확한 축심을 맞추어 Setting 하여도 타입 개시후

① 암석이나 지중 장애물(구건출물 기초등)

② 지방개량 모래말뚝

③ 지지 지반경사

④ 너무 두꺼운 보조향타기가 원인이 되어 말뚝이 서서히 기울어져 해머와 축심이 어긋나 결과적으로 그림 2와 같이 되어 말뚝두부에 손상을 초래하게 된다.

특히 경사 지지 지반에서의 말뚝 미끄러짐 대책으로서

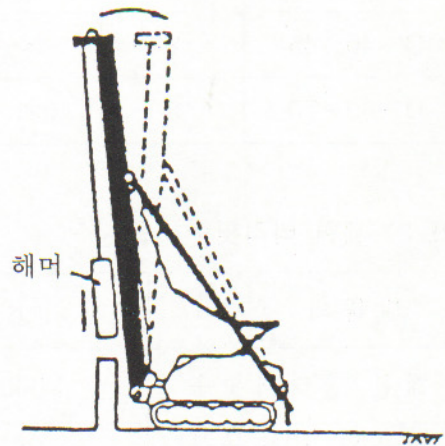
○ Pencil형 Shoe는 미끄러지기 쉬우므로 사용하지 않는다.

○ Plat형 또는 Mamilla형 Shoe를 사용한다.

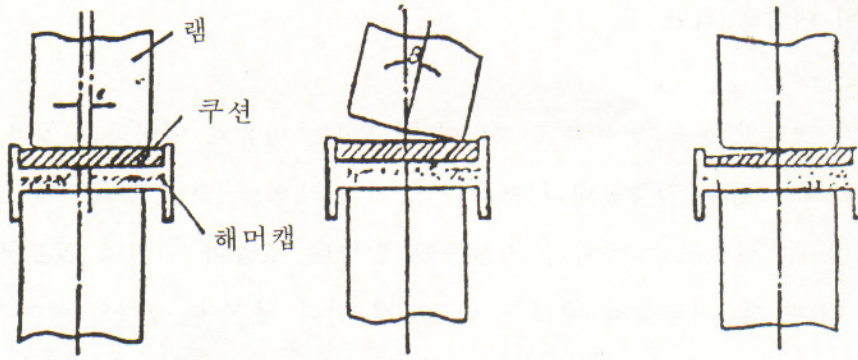
○ Shoe의 선단에 열십자로 보강하거나 속파기용 프리쿠션 Cutter를 부착한다.

○ 개방 또는 반개방 Shoe의 선단에  $h=30\text{cm}$  정도의 강관을 말뚝끝으로서 부착한다. 단, 이때 폐색효과에 의한 내압으로 선단부에 종 균열이 일어나지 않도록 그림3과 같은 보강개량이 필요하다.

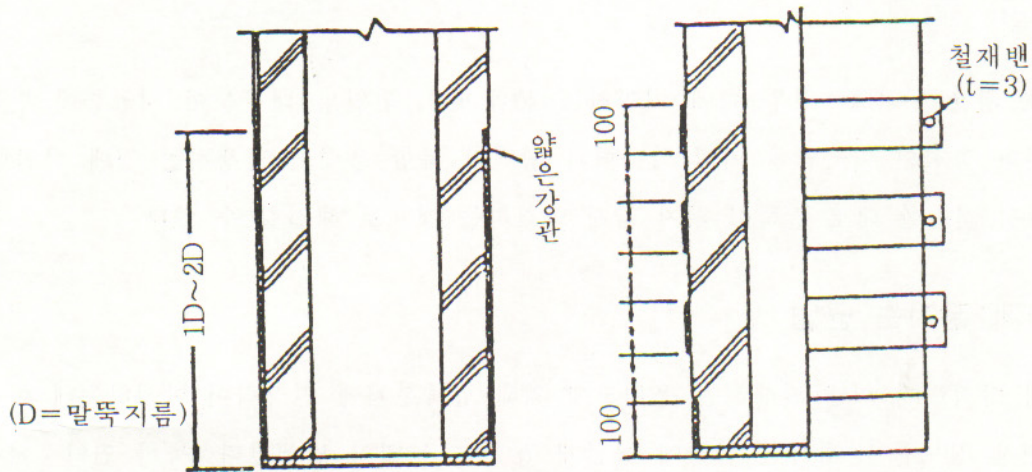
또 집게는 말뚝 외경에 따라 적절한 굵기로 사용하는 주의가 필요하다.



(그림 1) 향타기 설치 불량



〈그림 2〉 偏打의 원인



〈그림 3〉 선단부의 보강

## 1.2 말뚝 중간부의 파손

말뚝 중간부 파손의 원인도 대부분은 전향의 말뚝두부의 파손의 원인과 같은 과잉항타 편타에 의한 경우가 많다. 여기서는 특히 중간부에 많이 일어나는 문제점에 대하여 논술하기로 한다.

### 1) 종 균열

종 균열은 콘크리트 말뚝의 축적각 방향으로 인장력이 작용할 때에 발생하는 것이지만 타격력은 말뚝 축방향의 압축력과 인장력이 주가 되지만 말뚝체의 축적각 방향에 인장과괴를 일으킬 정도의 큰 힘은 아니다. 따라서 종균열의 원인은 편타에 의한 집중하중이든가 말뚝공내의 내압이다. 즉 종균열은

㉑ 속파지 중의 내압에 의한 것

㉒ 편타에 의한 것

㉓ Cushion재가 편감소 등을 일으켜 타격력이 집중되는 이유로 일어나는 것이 있다. ㉑에 대하여는 속파기 타격의 경우 말뚝공내의 흠이나 공기의 내압에 의해 말뚝선단 또는 중간부가 종균열을 일으킬 수 있으므로 속파기 침설중에 말뚝내 토압이 커지지 않도록 시공속도, Auger지름, 토출 Air량 등 시공상의 배려를 충분히 함과 동시에 공내의 공기가 압축되어 이 압력으로 말뚝에 균열이 발생하는 것을 방지하기 위하여 해머 Cap에 공기공을 구비하여 두는 등 방법을 강구할 필요가 있다. ㉒에 대하여는 전항의 1-1 2) 대책을 강구하면 좋으나, ㉓에 대하여는 새로운 Cushion을 사용하는 것으로 해결할 수 있다.

## 2) 횡 균열

타입 중에 횡균열, 심한 경우 이에 기인하는 본체파손, 원인의 대부분이 시공중에 말뚝이 휘거나 경사와 축심의 어긋남에 의해 압축력과 휨력의 복합 응력이 발생하는 것에 기인한다. 이 대책으로서 전술한 대로 말뚝이 휘지 않게 타격하는 것으로 해결할 수 있다.

## 3) 둥글게 끊기는 균열

타입 중에 타격력에 의해 발생하는 응력파에 의해 말뚝본체에 인장력이 발생하는데 이것이 말뚝본체 인장 강도를 상회하면 말뚝에 둥글게 끊기는 균열이 발생한다. 특히 연약층에서의 타입공법과 Pre-boring 병용공법이나 속파기 공법에 의해 결과적으로 연약층에 말뚝을 타격하는 것과 동일한 것이 되는 경우에는, 타입중에 말뚝에 인장력이 크게 작용되는 것이 예상되므로 주의가 필요하다. 본 원고에서는 둥글게 끊기는 균열발생의 기구 및 이론식을 상술하지는 않으므로 다른 문헌 등을 참고로 하기 바라지만 연약층 등의 조건하의 현장에서는 ① 말뚝의 제원 ② 지반 조건 ③ 해머 제원 ④ Cushion 제원에 따라 압축응력, 인장응력을 예측하여 사용 말뚝종류를 인장력에 견딜 수 있는 SC말뚝, PHC말뚝 B종, PHC의 A종 등으로 선정하여 둥글게 끊기는 균열의 문제를 피한 예가 많다.

장척 말뚝의 설계 시공계획에 있어서 꼭 이러한 조건을 고려하여 적절한 말뚝 종류에 따라 Shoe의 형상 및 해머를 선택하는 것을 명심하여야 한다.

### 1.3 말뚝 선단부의 파손

#### 1) 종 균열

속파기공법 이용시 말뚝 공내의 토압에 의한 것은 그림 3과 같이 보강하여 대응한다.

#### 2) 압입전단 파손

지지층이 견고한 자갈층인 경우, 펜슬형 Shoe는 압입전단에 의해 파괴되므로 이런 경우 타입을 계속하면 말뚝본체 선단부에 종균열이 일어난다.

이에 대한 대책으로

- Pencil형 Shoe를 강 피복한다.
- Plant형 및 Mamilla형 철판 Shoe를 사용한다.

#### 3) 휨에 의한 파손

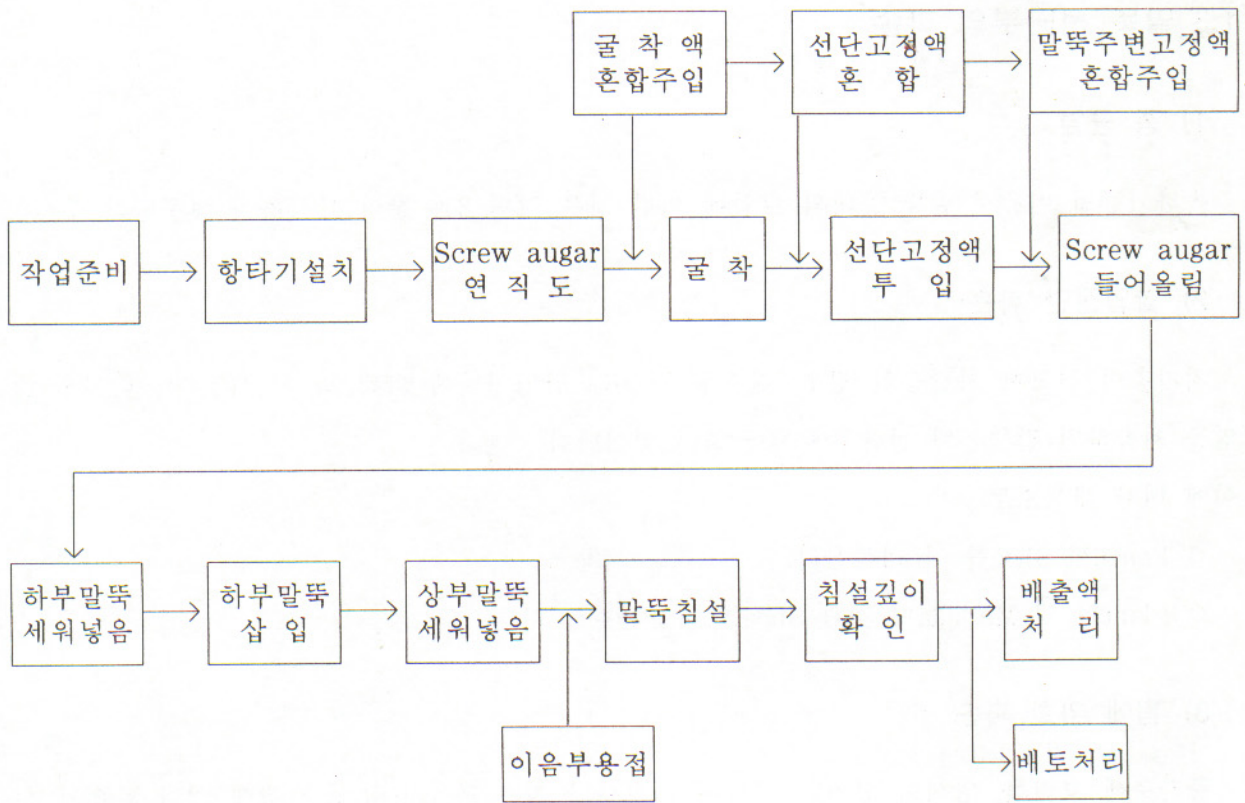
중간층에 호박돌, 암석이 있거나 지지층이 경사진 경우 Pencil Shoe가 휨에 의해 파손될 수 있다. 이에 대하여는 Plat형 및 Mamilla형 철판 Shoe를 사용한다.

## 2. 매입공법 (SIP)

타입공법에서의 공해분제와 말뚝의 파손 사고 대책을 위해 Augar 등으로 지반을 굴착한 후 말뚝을 설치하는 매입공법이 많이 개발되어 있다. 이러한 공법에서도 그 공법의 특성의 특징을 이해하여 신중한 시공관리가 중요하며 현재 비교적 많이 사용되어지고 있는 공법에 관하여, 시공관리상의 주안점과 내용에 대하여 시공공정에 따라서 서술한다.

### 2.1 시멘트 MILK공법

시공순서의 Flow Chart를 그림 4에 나타내었으며 각 공정에 있어서의 주의점과 대응은 아래와 같다.



〈그림 4〉 시멘트 MILK공법 Flow Sheet

## 1) 계획

### ㉔ 지지층의 변화

이 공법은 시공중에 지지층을 확인하는 것이 다른 공법에 비해 어려우므로 설계단계에서 지지층의 깊이를 확인하며, 각 말뚝의 굴착 깊이를 미리 구하여 놓은 것이 필요하다. 이때 Boring 조사의 간격은 지반의 변화 상황에 따라 다르지만 지지층의 등심도를 그릴 수 있는 정도로 한다.

## 2) 시설계획 준비

### ㉔ 기존 장애물

시공에 앞서 지상, 지층 장애물의 조사를 하지 않으면 지하 매설물 및 기존 구조물이 있는 경우, 이런 것들이 시공장애가 되어 시공할 수 없게 된다. 이를 위해 시공계획 단계에서 조사하여 존재하는 경우에는 철거, 이설, 방호 등의 사전 처리를 하여 둔다.

### ㉔ 연약시공지반

시공지반은 시공기계 중량이 크기 때문에 지내력을 필요로 한다. 지반이 연약(지내력 부족)하면 기계의 전도(顛倒)사고, 시공정도(중심 어긋남, 경사, 파손) 등에 영향이 있으므로 자반이 견고한 수평지반이 바람직하다. 대응으로서는 Sand Mat, 표층개량, 철판부설 등의 대책이 있다.

### 3) 기계 및 장치

#### ㉓ 항타대

항타대는 말뚝의 직경, 길이, 지반, 작업장의 넓이 등의 조건을 고려하여 굴착, 말뚝을 매달아 넣음, 압입 또는 가벼운 타격이 가능한 기종으로 한다.

#### ㉔ Spiral auger

Spiral auger는 연속 오가로 강성이 높아 휨과 손상이 없는 것으로서 auger 지름은 말뚝 직경+100mm의 것이 좋다.

#### ㉕ Auger head

Auger head 지름은 말뚝 지름+100mm로 사용하고 그 형상은 지반에 따라 적절한 형상의 것을 사용한다.

#### ㉖ Spiral auger 구동장치

Spiral auger 구동장치는 말뚝지름, 길이, 지반을 고려하여 충분히 굴착할 수 있는 용량을 선정한다.

#### ㉗ 말뚝 삽입 보조장치

압입장치는 20t 이상으로 하고, 경타하는 경우는 30t 이상 드롭해머로 한다.

#### ㉘ Grout Plan

Grout Mixer는 용량 500ℓ 이상의 것을 2조 이상으로 하며, Grout Pump의 토출압력은 10kg/cm<sup>2</sup> 이상의 것을 표준으로 한다.

#### ㉙ 배토 수 처리 설비

니수 처리용으로 배액조, 진공차(2-4m<sup>3</sup>)를 사용하되 배토 되메움용으로 필요에 따라 Shovel을 준비한다.

### 4) 항타대의 설치

#### ㉓ 평탄한 지반에 설치

평탄하지 않은 지반에 항타대를 설치하면 시공정도(말뚝중심 어긋남, 경사, 파손)가 나쁘고 시공능률, 안정성도 저하된다. 평탄하고 견고한 지반에 철판부설 등으로 보강하여 설치한다.

### 5) Spiral auger의 연적도

㉞ Spiral auger의 중심을 말뚝중심에 맞추어 Leader 및 Spiral auger의 연적도를 Transit 또는 내림추로 확인한다.

### 6) 굴착액의 혼합

#### ㉞ 재 료

시멘트는 보통 Portland Cement, 벤토나이트는 No. 200체보다 가는 입자로 한다.

#### ㉞ 재료의 보관

시멘트 및 벤토나이트는 비나 습기나 영향은 받지 않도록 보관한다. 재료의 반입은 한번에 대량 반입치 않고 매일 반입하는 것을 원칙으로 한다.

#### ㉞ 재료의 계량

물의 계량은 믹서에 붙어있는 계량기를 사용하여 실시하고, 시멘트 Silo가 사용 가능한 큰 현장에서 계량기로 관리한다.

#### ㉞ 굴착액의 배합

지질상태에 맞추어서 적절한 배합을 사용한다. 표준배합을 표3에 나타냈다. 그러나 시멘트 함량의 경우 표준 배합비보다 2.5배 정도 증가시켜 소기의 목적을 달성한 예가 많이 보고되고 있다.

〈표 3〉 굴착액의 표준배합

시 멘 트 (kg)	벤토나이트 (kg)	물 (ℓ)
120 - 160	25 - 50	450

### 7) 오가에 의한 굴착

#### ㉞ 굴착액의 토출

굴착액의 공벽의 보호를 위해 auger head로 항상 토출한다.



㉔ 굴착 속도

굴착속도가 빠르면 auger가 휘어지거나 굴착공이 휘어질 가능성이 있으므로 굴착속도는 토질에 맞는 속도로 한다. 표준 굴착속도는 표4와 같다.

㉕ 지지층의 굴착과 확인

· 말뚝선단은 선단 지지력을 확보하기 위해서 주입하는 선단고정액에 충분히 정착시킨다. 지지층에서의 굴착 깊이는 말뚝직경, 토질에 따라 다르지만 1.5m(또는 3D 이상)를 표준으로 하며, 과다 굴착하지 않도록 주의한다.

· 지지층의 확보를 동적인 말뚝의 관입저항치에 의한다든가 굴착토를 직접 확인하는 방법으로 하는 것은 본공법에 있어서는 불가능하므로 이하의 방법을 병용한다.

① Boring 조사결과를 토대로 우선 말뚝침설도와 지지층의 표면 깊이의 등심도를 동일 도면상에 정확히 기입해 두고 시공중에 각 말뚝의 굴착 깊이를 관리한다. 지지층의 깊이 변화가 심한 경우에는 보간법으로 Boring 조사를 실시하여 0.5m 정도를 등심선을 그리는 것이 바람직하다. 이와같은 등심선은 현장시공단계가 아닌 설계·시공계획의 단계에서 정비해야 한다.

② 시험말뚝 시공시 예정 지지층까지 굴착한 후 auger를 정지시켜 조용히 들어올려 부착되어 있는 토사를 관찰하여 지지층을 확인한다.

③ 지지층의 깊이는 등심도를 참조하여 지지층에 접근하면 굴착 속도를 일정하게 유지하여 auger의 Motor에 붙어있는 Ampere Meter의 변화를 읽어 지지층에 도달 여부를 추정한다.

<표 4> 표준 굴착속도

토 질	굴 착 속 도 (m/분)
실토, 점토, 느슨한 모래	2 - 6
견고한 점토	1 - 4
조밀한 모래, 모래질 자갈	1 - 3

8) 선단 고정액의 혼합

㉖ 선단고정액의 혼합

선단고정액의 말뚝선단부를 지반에 정착시키는 것을 목적으로 한 시멘트 Milk로 그 배합은 시멘트와 물을 중량비 1.4:1로 하는 것이 일반적이다. 선단고정액의 표준배합을 표5에 나타내었다. 필요에 따라서는 물:시멘트를 0.6까지 증가시킬 필요도 있다.

〈표 5〉 선단고정액의 표준배합

(충전길이 약 2m)

말뚝 직경 (mm)	300	350	400	450	500	600
auger head 직경 (mm)	400	450	450	550	600	700
시멘트 량 (kg)	280	360	440	560	640	880
물 (ℓ)	200	250	320	400	460	630
혼합 량 (m <sup>3</sup> )	0.289	0.364	0.460	0.578	0.663	0.910

㉔ 주입량

주입량은 말뚝을 세워놓은 후 굴착 깊이로부터 말뚝 선단주까지 2D 이상의 공간을 포함하여 말뚝 선단에서 4D(D는 말뚝직경)+1m 이상을 충전할 수 있는 양만을 주입하는 것을 원칙으로 한다. 그 필요량은 표5에 나타내었지만 시험말뚝의 시공시에 지지층 부근에서 누수가 확인된 경우에는 선단고정액을 주입하는 등의 대응을 해야 한다.

9) 선단고정액의 주입

㉕ 주입시기

선단고정액은 반드시 말뚝의 선단 위치에 주입을 개시, 굴착액을 밀어올리게 한다.

여기서 중요한 것은 굴착액에서 선단고정액으로 바꿀 때 auger를 들어올리는 개시시기 및 속도이다. 그 전환시기는 Grout Pump의 토출량, 호스의 직경, 호스길이 및 Spiral auger를 고려하여 실시한다.

즉 Pump로 선단고정액을 이송시킨 시점과 auger Head 선단에서 공중에 주입될때 까지는 시간적인 차이가 있으므로 현장 조건을 충분히 검토하여야 한다. 이점은 시험말뚝 시공시 중요한 검토 사항이다.

10) Spiral auger 들어올림

㉕ 들어올림 속도

auger의 인양은 선단고정액이 auger를 밀어올리게끔 선단고정액을 주입해 가면서 실시하여야 한다. auger를 들어올릴 때 지하수압과 균형이 맞지 않으면 Boiling이 생기거나 부압현상으로 지지 지반이 이완되거나 공벽이 붕괴가 발생하므로 주의를 요한다.

㉔ 말뚝주변 고정액

말뚝주변 고정액은 공벽과 말뚝본체 주위면과의 공간을 충전하여 말뚝 주위면 마찰저항 및 말뚝에

횡력이 작용하는 경우 지반저항을 확보하는 것이 목적이므로 하부 고정액에 연결, 주입하여 말뚝두부까지 충분히 충전시킨다.

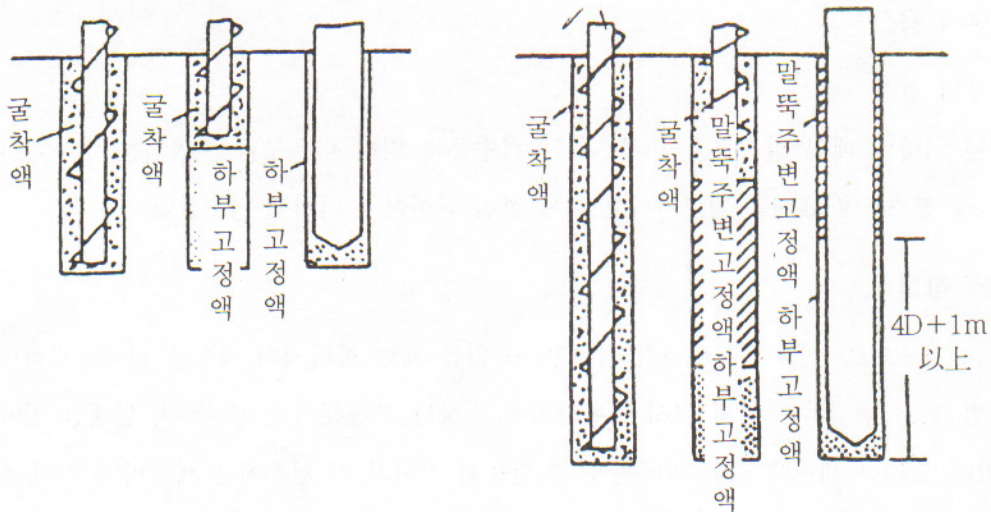
28일 압축강도는  $5\text{kg}/\text{cm}^2$  이상이 되게끔 한다. 말뚝주위와 공벽과의 사이는 말뚝주변 고정액으로 충전되어 시공후 이것이 견고하게 부착되어 말뚝에서 지반으로 응력이 전달되어야 하고, 지층을 따라 액의 누수가 침강에 의해 공극이 생기는 수가 있으므로 조사 확인한다. 공극이 생긴 경우는 고정액을 보충하여야 한다.

㉔ 배 합

여러 종류의 배합예와 강도 및 침강량의 실험치를 이하에 나타냈으나 이같은 빈배합의 시멘트 Milk는 배합의 약간의 오차나 양생조건의 차에 의해 강도, 침강량이 상당히 달라지므로 현장에 맞는 조건으로 시험 배합하여 시험배합을 결정하여야 한다. 그림5에 주입액의 상태를 나타내었다.

㉕ 굴착토의 공내 낙하방지

Auger에 의해 배출된 토사가 굴착공내에 떨어지지 않도록 해야 한다. 또 말뚝을 세워 넣을때도 동일하다. 이를 위해서는 auger를 들어올릴 때 미리 주변의 배출토를 제거하는 것이 필요하다. Auger를 들어올리거나 들어올린 후에 배출토가 공중에서 떨어져 공벽의 붕괴가 발생하기 쉬우므로 진동을 준다거나 굴착공 근처에 중기가 접근치 않도록 주의한다. 혹시 어떤 요인으로 굴착토나 공벽의 흩어 공하부로 떨어진 경우에는 재굴착 하여야 한다.



(a) 하부고정액만 사용하는 경우

(b) 말뚝주변고정액을 사용하는 경우

(그림 5) 하부고정액의 주입량

〈표 6〉 말뚝주변 고정액의 배합 예

배 합 (m <sup>3</sup> 당)			블리딩율 (%)	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	
시멘트 (kg)	벤토나이트 (kg)	물 (ℓ)		δ 14	δ 28
300	50	881	5.7	40	49
400	50	848	4.0	11.8	14.0
500	75	805	2.6	3.3	5.2
600	90	799	0.7	4.4	7.1

### 11) 하부 말뚝의 세움과 삽입

- 굴착공의 붕괴 확인과 말뚝의 침설

말뚝삽입에 앞서 붕괴유무를 조사하고 붕괴가 발생한 경우에는 다시 굴착한다. 말뚝을 굴착공에 삽입할 때는 연직성을 확인하고 공벽을 깎아낸단든지 항체를 손상하는 일이 없도록 가능한한 천천히 삽입한다.

### 12) 하부 말뚝의 세워넣음

- 하부 말뚝의 낙하방지와 연직성

이음말뚝으로서 하부말뚝 낙하는 방지하고 연직을 유지하기 위해 적당한 유지장치를 설치한다.

### 13) 이음부의 용접

- 이음부의 청소

KSF 7001에 의하면 매입 말뚝공법의 경우에는 니수등에 의해 이음부가 오염되는 경우가 많으므로 걸레 등으로 잘 청소하여 표면을 건조시키고 다시 한번 와이어 브러쉬로 청소한다.

### 14) 말뚝의 침설

● 말뚝의 자중으로 소정의 심도까지 침설할 수 없을 때는 항타기의 자중을 반력으로하여 말뚝을 압입하는 방법, 회전 침설하는 방법 그리고 항타기에 정착된 드롭해머를 경타하여 말뚝을 강제 침설하는 방법이 있다. 그러나 해머에 의한 경타는 특히 말뚝의 길이가 긴 경우에는 세장비가 커져 횡요동이 발생하여 말뚝본체가 파손될 우려가 있으므로 주의가 필요하다.

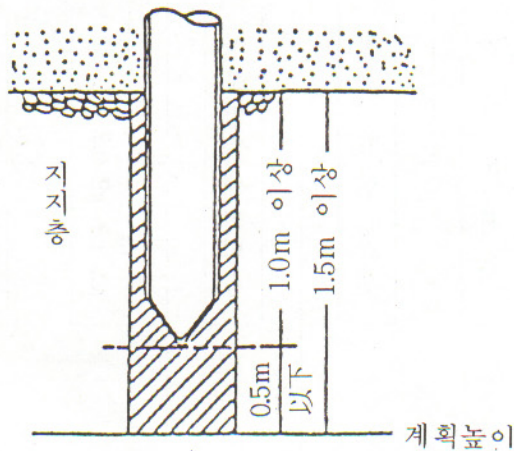
### 15) 말뚝 침설도의 확인

#### ㉔ 들뜬 높이

말뚝을 굴착공에 침설하는 경우 지지층에 모래 또는 자갈이 auger로 충분히 배출되지 않으면 선단고정액과 함께 공저면에 잔류하고 있기 때문에 말뚝이 굴착높이까지 도달하지 못할 때가 있다. 이 현상을 <말뚝의 들뜸>이라 한다.

말뚝의 들뜬 높이는 말뚝의 지지력을 좌우하는 중요한 포인트로서 말뚝을 지지층 및 충전부에 1m이상 삽입하는 동시에 정지높이가 계획높이(굴착면으로부터 2D정도)에서 0.5m 이하가 되도록 한다.

그림6에 허용 들뜬 높이를 나타내었다.



<그림 6> 허용 들뜬 높이

#### ㉕ 말뚝의 부상

말뚝의 중공부로 니수가 유입되지 못하도록 처치한 후 보조항타기로 말뚝을 침설한 경우에 말뚝이 니수의 부력으로 부상하는 경우가 있는데 이때는 말뚝을 압입시키는 시간을 길게 하되 부상을 방지하는 주의가 필요하다.

#### ㉖ 폐액 및 니토 처리

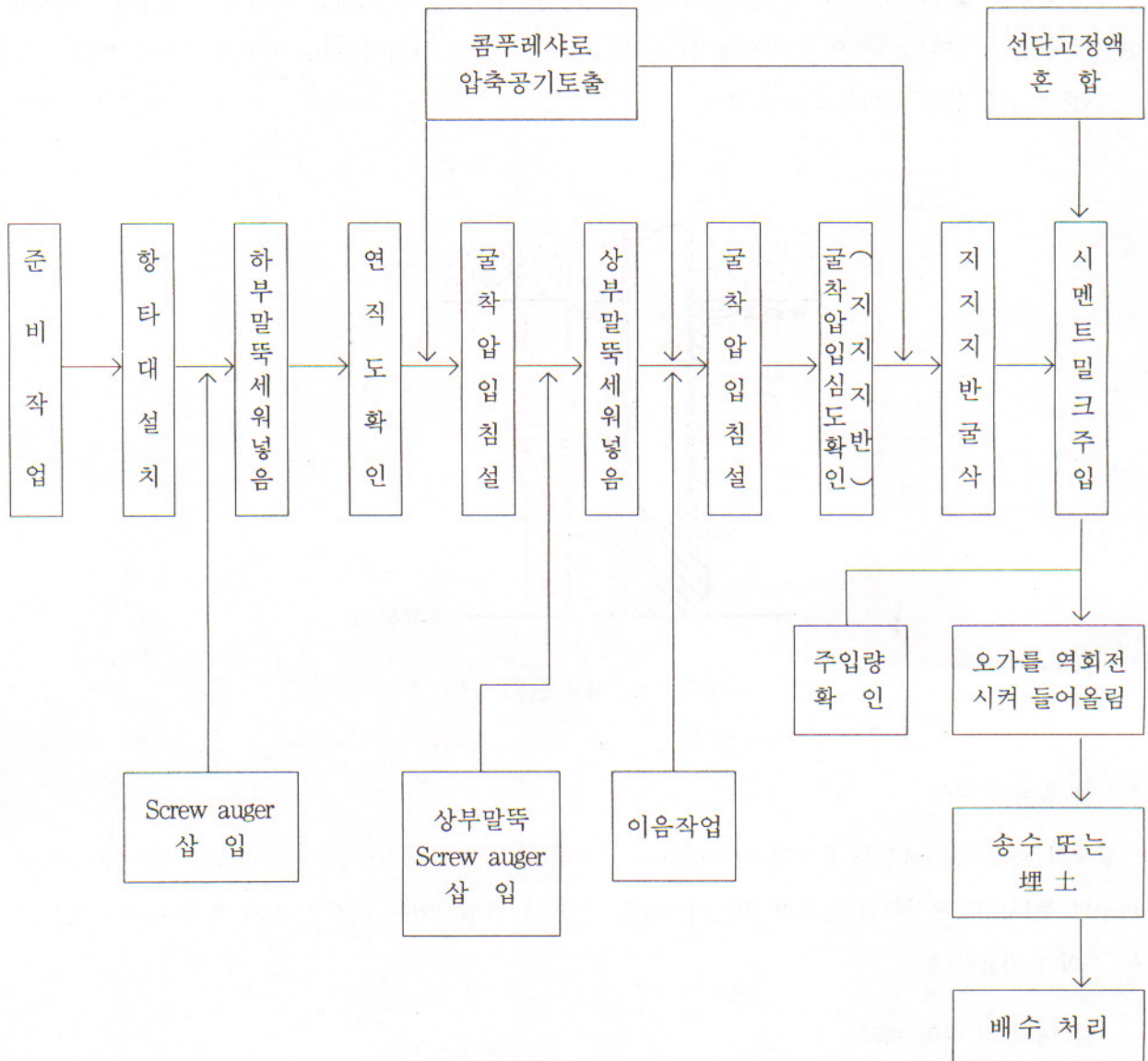
공법의 성질상 지상으로 퍼올려진 니토로 인해 지면이 대단히 연약해 진다. 그 처리방법은 생석회나 시멘트를 혼입하여 굳히는 방법도 있고 일반적인 폐액조설치 등의 방법이 있다.

#### 16) 하부고정액 및 말뚝주변 고정액의 압축강도 시험

방법은 매입말뚝 시공지침 해설(시멘트 Milk공법)에 의한다.

## 2.2 속파기 공법

시공순서의 Flow Chart를 그림 7에 나타내었고, 각 공정에 있어서 주의점과 대응을 논술하면 다음과 같다.



〈그림 7〉 속파기공법 Flow Chart

### 1) 시설계획 준비

#### ㉞ 기존 장애물

말뚝의 시공에 앞서 지상, 지중 장애물의 조사가 중요하다. 전선과 지하 매설물 및 기존 구조물이 있

는 경우에는 이런 것은 시공장애가 되어 시공할 수 없게 된다. 이 때문에 시공계획 단계에서 조사하여 철거, 이설, 방호 등의 사정처리를 해둔다.

#### ㉔ 연약 시공지반

시공지반은 시공기계 중량이 크므로 지내력을 필요로 한다. 지반이 연약(지내력 부족)할 경우 기계의 전도(顛倒)사고, 시공정도(중심 어긋남, 경사, 파손)에 영향이 있으므로 지반은 견고하고 수평한 지면이 바람직하다.

#### ㉕ 지질조사서의 지층파악

● 지중장애물(매립한 흙속의 자갈 등), 큰 자갈, 견고한 점성토 등은 말뚝체의 파손 및 침설불능의 원인이 되기 때문에 지질조사서를 사전에 충분히 검토하여 공법상의 적부, 지층을 판단, 그리고 필요한 대책을 강구해둘 필요가 있다.

● 지중 장애물 : Spiral auger 시험굴착 및 확인 매토층의 양질도 치환 등

● 큰자갈의 존재 : 대개 정해져 있지 않으나 100mm 이상의 돌에 주의하여야 하며 충분한 대책이 필요. 시공불가능하게 되는 경우도 있다.

● 견고한 점성토 : 굴착의 보조대책과 Pre-cushion Cutter 형상의 검토가 필요

● 피압수(被壓水) 지층의 존재는 굴착작업(지반의 교란), 말뚝침설(말뚝이 낙하하여 들어감) 및 지지력에 영향을 미친다. 이를 위해 굴착 침설작업에 보일링 방지대책이 필요하다.

### 2) 향타대 설치

● 평탄하지 않은 지반에서의 설치는 시공정도(말뚝 중심 어긋남, 경사, 파손)가 나쁘고 시공능률, 안전성도 저하된다. 평탄 및 견고한 지반에 철판 부설 등으로 보강하여 설치한다.

### 3) 하부 말뚝 설치

● 세워놓음의 확인

말뚝의 중심위치, 연직도 조정을 태만하게 하면 시공정도가 떨어진다. 말뚝의 세워놓음은 말뚝중심 표시위치(석회 등으로 원형표시)에, 연직도 조정은 향타대 장비의 연직기 또는 직각 2방향으로 Transit, 추 등으로 말뚝이 지반에 의해 정지될 때까지(약 5m) 관리한다. 정지후 무리한 수정은 말뚝 파손을 야기할 수 있으므로 삼가한다.

### 4) 굴착침설

## ㉞ 과대굴착

말뚝선단의 과대한 선굴착은 주의가 필요하다. 특히 함수량이 많은 모래질 지층에서는 주변 지반 및 선단지반을 교란시키게 된다. 말뚝 침설중의 선굴착 깊이는 말뚝직경의 2배 정도 범위로 하여 과대한 선굴착을 하여서는 안된다.

선굴착 깊이의 관리는 Spiral auger 길이를 확인하여 선굴착 정목을 설치해서 실시하여야 좋다.

## ㉟ 시공속도

굴착 속도를 무질서하게 하면 말뚝파손(말뚝 중공부에서 토사가 Spiral auger에 끼어서 막힘 현상이 발생)의 원인이 된다. 굴착속도는 저속도(지층에 대응)로 하고 지층에 Spiral auger 선단에서 압축공기 또는 물 등을 배출시켜서 굴착, 토사의 배출을 용이하게 한다. 이 대응으로 Spiral auger의 배토작용을 용이하게 하고, 배토중의 막힘현상이 방지된다.

## ㊱ 부압발생

함수량, 피압수가 많은 사질 지반의 굴착 시공에 있어서는 보일링 현상이 발생하기 쉬워 지반을 교란하게 된다. 이 대응으로서는 가능성이 있는 지층에서는 압축공기 또는 공내수두를 지하수위 이하로 유지하여 시공대응을 할 필요가 있다.

또 auger의 급격한 끌어올림 조작은 흡입현상이 동반되어 발생함으로 지반이 교란되도록 해서는 안된다.

## ㊲ 강제침설

● 말뚝 침설은 굴착 배토량에 대응하여 행한다. 무리한 강제침설은 말뚝침설 불능의 원인 또는 말뚝본체 파손의 원인이 되므로 주의가 필요하다.

점착력이 큰 점성토층에서의 시공은 말뚝선단부위 Pre-cushion Cutter 등의 형상을 검토하든지 압축공기 송수 등의 보조작용을 검토한다.

● 말뚝 침설중에 주변 마찰력이 작용하여 말뚝의 침설이 정지한 경우에는 마찰력을 없애기 위하여 경타하는 수가 있지만 이 경우에는 Spiral auger의 토사를 배토하고 나서 행한다.

## 5) 지지층 굴착

### ㉞ 보일링 현상 발생

지지층의 굴착중에 부압이 발생하면 지지층이 교란되어 선단 지지력이 저하된다.

부압 발생의 대응은 이런 현상이 보일 때는 즉시 전술의 대책을 강구함과 동시에 Spiral auger를 역회



전시켜서 토사를 말뚝 중공부에 잔류시키는 처치를 행한다. 일반적으로 지지층에 굴착에서는 물 또는 선단고정액을 주입해 가면서 시공한다.

#### ㉔ 지지층의 확인

매입 말뚝이므로 동적 지지력을 확인할 수 없다. 이를 위해 지질조사 결과에 의해 먼저 지지층 깊이의 등심도를 작성해 두고 각 말뚝의 굴착심도를 파악해 두며 또 지지층 부근에 도달하면 auger의 굴착속도를 일정하게하여 전류계 변화를 기록하여 지지층 확인의 기준으로 한다.

### 6) 확대 구근(球根)의 구조

#### ㉕ 사용 시멘트 관리

시멘트 Milk 강도는 말뚝선단 확대 선단고정부의 강도에 영향을 미친다. 따라서 재료 보관에 주의하여 소정 품질의 것을 사용한다.

#### ㉖ 배합관리

선단고정재의 사용량은 규정 배합의 것을 이용한다.

#### ㉗ 선단고정부로서의 송수관리

말뚝선단의 하부고정부로서의 송수 착오는 지지력 저하의 원인이 된다. 선단 고정액의 주입시기 및 그 후의 송수절환 시기의 충분한 관리가 필요하다. Tseks 고정액 주입은 지지층 굴착시에 행하여 지지층의 모래 또는 모래자갈과 충분히 혼합한다. 이 작업 종료 후에 이어서 선단고정재를 주입하여 말뚝 중공부에 Bit를 충분히 들어올린 후에 송수를 변경한다.

### 7) 말뚝 정착 Spiral auger들어올림

㉕ Auger를 들어올릴 때에 충분히 송수를 하지 않으면 말뚝 본체가 빠지는(바닥정지) 수가 있다. 또 급격히 auger를 들어올려도 같은 현상이 발생한다.

#### ㉖ 수두압 관리

말뚝내 수두는 지하수위와의 수두 균형을 유지하는 것이 필요하다.

# 제3장 PHC Pile의 취급 및 시공

## 1. 적용범위

이 기술시방 내용은 PHC PILE(고강도 콘크리트 말뚝)의 시공에 한하여 적용하며 일반 시방서에 우선하여 적용한다.

## 2. 말뚝의 품질기준

### 1) 말뚝

- ㉔ 말뚝 본체는 원심력을 응용하여 만든 콘크리트의 압축강도가 800kg/cm<sup>2</sup> 이상의 프리텐션방식에 의한 프리스트레스트 고강도 콘크리트 말뚝이어야 한다.
- ㉕ 품질 시험 및 표준은 K·S 규정을 원칙으로 한다.
- ㉖ PHC 말뚝은 KSF 4306(프리텐션방식 원심력 고강도 콘크리트 말뚝) 규정에 합격한 것을 사용해야 한다.

### 2) 이음부

- ㉔ 말뚝의 이음부는 몸체와 동등이상의 성능을 가진 구조이어야 한다.
- ㉕ PC 강재의 단부는 이음부에서 반드시 이음철물에 정착시켜야 하며, 이음철물에 정착되지 않고 관통되어 절단된 상태가 되어서는 안된다.
- ㉖ 이음부터 끝면은 고강도 말뚝의 축선에 대하여 직각이어야 한다.
- ㉗ 고강도 말뚝을 이을 때 이음부 철물 상호간에 바깥지름의 차는 2mm이하이어야 한다.

### 3) SHOE(말뚝 선단부)

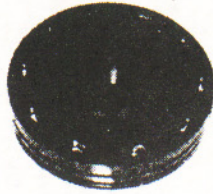
- ㉔ PHC 말뚝의 선단부는 강판재 MAMIRA형 및 FLAT형 SHOE의 사용이 일반적이다.

#### ㉕ MAMIRA형 SHOE의 특징

종래의 PENCIL TYPE SHOE는 보통의 지반에서 관입성은 좋으나 지지층이 경사가 심한 지반이나 지반중에 호박돌등의 장애물이 있으면 휘기 쉬운 결점이 있어 PHC Pile에는 이를 개선하여 관입직진성을 향상시킨 MAMIRA SHOE를 사용하고 있다.

㉔ 토질의 특성 및 공법에 따라 책임기술자와 협의하여 OPEN SHOE 또는 ROCKET(CROSS) SHOE를 사용할 수 있다.

㉕ MAMIRA SHOE

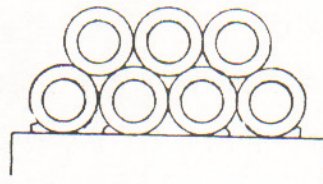


MAMIRA 형 SHOE

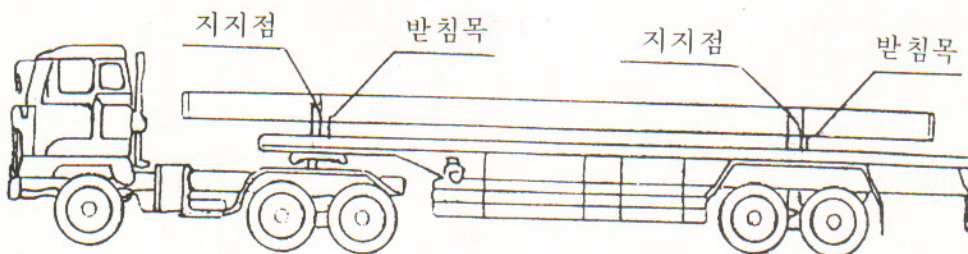
### 3. 말뚝의 운반, 하역 및 적재

#### 1) 운반(수송)

- ㉔ 말뚝을 수송할 때에는 손상을 주지 않도록 적당한 위치에 견고한 받침재를 깔고 허물어지지 않도록 충분히 사용하여야 하며 말뚝의 이동을 방지하기 위해 썰기를 박아야 한다.
- ㉕ 트럭적재는 적재중량 이하로 하고, 받침목의 돌출부분은 가능한한 적게 하는 것이 좋다.
- ㉖ 삼각적재의 경우에는 하차시에 충격을 주지 않도록 주의한다.
- ㉗ 트레일러 수송의 경우에는 진동 및 차의 유동상태 등에 특히 주의한다.



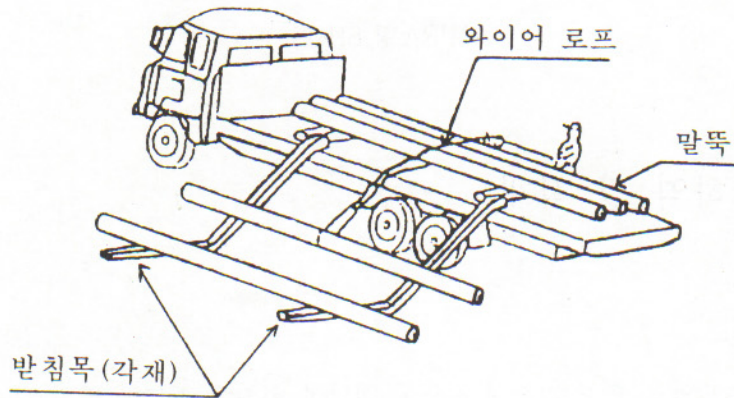
(그림 1) 삼각적재



(그림 2) 트레일러 수송

## 2) 하역

- ㉠ 하역시에는 반드시 2점으로 지지하되 주의하여 취급한다.
- ㉡ 크레인 하역은 약 1/5의 2점을 수평으로 뜨고, 충격을 주지 않도록 주의한다.
- ㉢ 포크리프트(지게차) 하역은 적당한 지게발을 부착하고 크레인과 같은 2점 뜨기를 한다.
- ㉣ 인력에 의한 하역은(WIRE ROPE 하차) 그림과 같이 말뚝 지지점 위치에 적당한 받침목을 깔고 고정 와이어 로프를 천천히 감아 내린다.



## 3) 현장 반입 적재

- ㉠ 말뚝 적재 장소는 작업의 편의상 가까운 장소로 하되, PILE의 손상을 방지하기 위해 사전에 정지(평탄) 작업을 실시하여야 한다.
- ㉡ 말뚝의 적재는 적재 위치에 받침재를 깔고 1단 적재를 원칙으로 하되, 현장사정에 따라 2단 적재도 가능하다(2단이상 적재 불가).
- ㉢ 적재시 받침목의 위치는 말뚝길이가 2m이하인 경우 말뚝길이의 1/5지점 양쪽에 받침목을 설치하고 13m 이상인 경우에는 말뚝길이의 1/5지점 양쪽 및 중앙부에 받침목을 설치해야 한다. 이때 말뚝의 받침목은 반드시 동일 연직선상에 오게 설치하고 유동을 방지하기 위한 썰기를 박아야 한다.

(그림)



### 3. 말뚝항타 장비

#### 1) 항타대 및 가이드

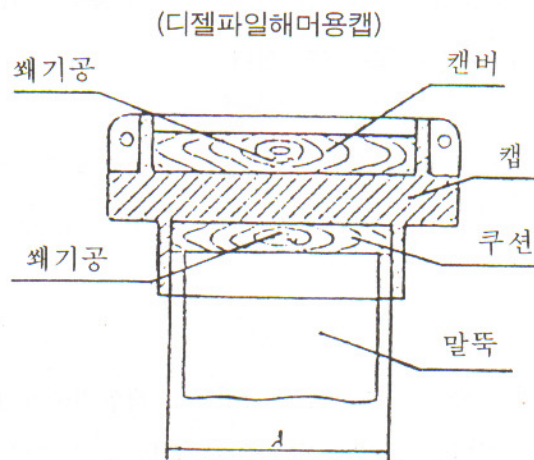
- ㉔ 항타대는 자중 및 작업에 의한 하중에 충분히 견딜 수 있고 안정성이 있는 구조로서, 작업중 해로운 진동, 이동, 경사 등이 생기지 않는 견고한 것이어야 한다.
- ㉕ 가이드는 작업 중 언제나 연직으로 유지할 수 있는 것이어야 한다. 다만, 경사시켜 타입할 경우에는, 그 타입 방향을 정확하게 유지할 수 있는 것이어야 한다.

#### 2) 해머(HAMMER)

- ㉔ 해머기종은 디젤해머, 드롭해머, 유압해머 중 적절한 기종을 선택 사용해야 한다.
- ㉕ 해머는 제작사 사양서에 추천된 압력, 속도 및 타격 방법에 따라 작동되어야 한다.

#### 3) 캡 및 보조 항타기

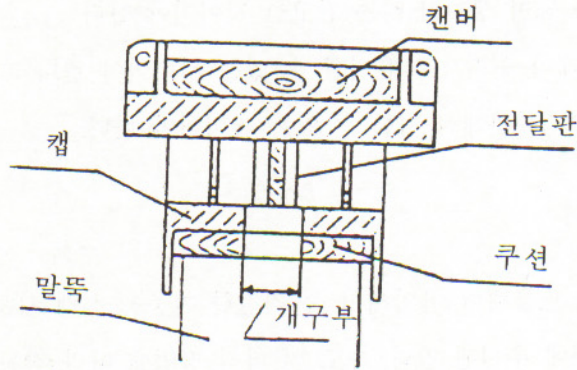
- ㉔ 캡은 완충제를 붙여야 하며 완충제는 해머에 따른 면 캐버와 말뚝에 따른 면 쿠션으로 되어 있다. 캐버 및 쿠션은 캡의 축과 직각이어야 한다.
- ㉕ 캡의 구조는 타격력에 충분히 견디는 강성의 것을 사용한다.
- ㉖ 캡내경과 말뚝외경과의 여유가 적당해야 한다.(그림 참조)



- ㉔ 보조항타기는 소정의 항타길이보다 50cm정도 긴 것을 사용하며 선단부에는 쿠션을 사용해야 한다.
- 보조항타기에 의한 항타는 편타가 되기 쉬우므로 세워넣을 때 특히 신중을 기해야 하며 보조항타기와 말뚝 축중심은 일직선이어야 한다.

- ㉞ 말뚝중공부에 토사 또는 물이 유입되고 있는 경우 구멍을 메우지 않고 타격을 하면 말뚝에 커다란 내압이 가해지므로 캡 집계 및 완충제에 압력을 빼는 구멍을 뚫어야 한다. 캡에 누압공을 설치한 예는 그림과 같다.

(그림. 캡에 누압공을 설치한 예)



#### 4) 쿠션재

- ㉞ 항타시에는 말뚝머리부를 보호하고 타격력을 균등히 전달하기 위하여 반드시 쿠션재를 사용해야 한다.
- ㉞ 쿠션재는 두께 50mm 정도의 견고한 목재를 사용하거나 또는 합판쿠션(8~12mm) 3~5장을 겹쳐서 사용해야 한다.
- ㉞ 쿠션재가 완충효과를 기대할 수 없거나 한쪽으로 치우쳐 줄어들거나 균등하게 타격력을 전달할 수 없는 경우에는 새로운 것으로 교환해야 한다.

### 5. 말뚝의 시공

#### 1) 준비

- ㉞ 시공에 앞서 설계도면에 따라 시공계획서를 작성하고 책임기술자의 승인을 얻어야 한다.
- ㉞ 설계도면에 따라 말뚝을 항타하기 전에 항타장소는 평탄하게 정지되어야 한다.

#### 2) 시공법 및 항타장비

- ㉞ 타입공법 적용시는 K-35 디젤해머 또는 이에 상응하는 유압해머를 사용하여 시공한다. 단, PILE구경이  $\phi 600$  또는  $\phi 600$  이상인 경우에는 적절한 해머(K-45등)를 선택 사용해야 한다.

- ㉔ SIP 또는 중굴공법을 적용할 경우에는 드롭, 디젤, 유압해머중 시공 및 현장상황에 따라 적절한 해머를 선택 사용하여 시공한다.

### 3) 말뚝세우기

- ㉔ 말뚝은 설계도면 및 시공계획서에 따라 정확하게 세워야 하며 세우기 위해 이동할 때에는 충격을 주지 않아야 한다. 또한 경사면과 요철이 심한 곳에 세울 경우에는 중심위치에 구멍을 파는 등 적당한 고정 방법을 강구해야 한다. 세운후 수직도 검측은 서로 다른 두 방향에서 시행하는 것이 좋다.
- ㉔ 말뚝을 임시 야적장에 2단 이상 적재한 경우 그 상단에서 직접뜨면 서단이 낙하할 때의 충격에 의해 말뚝을 손상하는 일이 있기 때문에 2단 적재를 피하든지 적당한 수단에 의해 미리 지상에 내려놓은 후 이동해야 한다.
- ㉔ 말뚝은 과도한 휨응력이 발생하지 않도록 운반 및 들어 올리기를 해야하며 운반도중 말뚝에 손상이 가지 않도록 주의해야 한다.
- ㉔ 말뚝을 세울 때 매다는 위치는 말뚝 선단부의 3/10 지점에 WIRE ROPE를 걸어 세운다.

### 4) 시향타

- ㉔ 시험말뚝의 시공은 설계지지력, 토질상태, 말뚝길이, 시공시간 등 계획한 시공기계의 적합 등의 확인이 목적이며 책임 기술자의 지시에 따른다.
- ㉔ 시험말뚝, 시공기계 및 장치는 원칙적으로 실제 말뚝박기(본향타)에 사용예정인 것을 사용한다.
- ㉔ 시향타의 간격은 15m 이내가 되도록 감독원 입회하에 위치, 길이 및 관입량에 대한 지시를 받고 시행하되 지반 상태가 불규칙하여 설계심도와 상이할 경우 전반적인 지반상태의 파악이 가능하도록 시향타 본수를 적절히 조절시행하여 본향타 파일의 길이를 결정하여야 한다.
- ㉔ 시험말뚝 시공기록은 정확하게 기록하여야 한다.

### 5) 본향타

- ㉔ 말뚝머리가 깨어지는 것을 방지하는 보호조치를 하고 KSF 7001(원심력콘크리트 말뚝의 시공표준)에 따라 시공한다.
- ㉔ 디젤해머로 향타를 시작할 때에는 램을 수회 공타해서 관입방향을 확인한다.
- ㉔ 유압해머는 초기 향타 단계에는 낙하높이를 10~20cm 정도로 하는 것이 좋다.
- ㉔ 드롭해머로 향타할 경우 말뚝이 흔들리기 쉽기 때문에 말뚝 경사나 좌굴 등이 발생할 우려가 있으므로 초기 관입시에 신중해야 한다.

- ㉞ 드롭해머의 낙하 높이는 원칙적으로 1m이하로 한다. 이것은 타격에 의해 말뚝이 파손되지 않고 안전히 소정의 심도까지 관입시키기 위함이며 타격에너지가 가벼운 해머로 1m가 넘는 항타 높이에서 항타하면 파손 우려가 있기 때문이다.
- ㉟ 연약 지반에 항타할 때에는 말뚝에 인장력이 작용할 때가 있다. 특히 긴 말뚝이나 중간의 비교적 단단한 지층을 뚫고 시공하는 경우에 말뚝에 균열이 발생하는 수가 있으므로 작은 낙하 높이로 타격해야 하며, 인장력에 강한 프리스트레스가 큰 말뚝을 사용하는 등, 설계시에도 충분한 주의가 필요하다.
- ㊱ 지반에 따라서는 항타를 도중에 중지하면, 시간의 경과와 함께 주변마찰이 증대되고 항타가 곤란해지는 일이 있으므로 타격을 시작하면 연속 항타하는 것이 좋다.
- ㊲ 소정의 관입깊이와 관입속도로 정확한 위치에 수직으로 타입하고 말뚝이 소정의 깊이에 도달하면 그 이상 무리하게 박지 않는다.
- ㊳ 항타시 인접한 말뚝이 솟아오를 경우는 말뚝을 재항타하여 원지점 이하까지 다시 박는다.
- ㊴ 파일의 위치 허용편차는 150mm 이하로 하고 기초보강 없는 허용한계는 75mm 이하로 하며 수직에 대한 허용경사도는 말뚝길이의 1/50 이하로 한다.
- ㊵ 말뚝이 소정의 깊이까지 항타가 완료되면 말뚝내부로 그 길이를 측정해야 하고 말뚝선단부를 랜턴 등으로 육안 검측해야 한다.
- ㊶ 전선이 섞여있는 성토지역에 말뚝을 항타중 전석에 의해 계획 깊이까지 항타할 수 없을 때 다음과 같이 처리한다.
  - ① EL 4.0m 상부에서 전석에 의해 계속 항타가 불가능한 경우 전석을 제거하고 되메우기를 한 후 말뚝을 항타한다.
  - ② EL 4.0m 또는 그 이하에서 전석에 의해 계속 항타가 불가능한 경우는 뽑아내거나 절단하여 다시 새로운 말뚝 1분을 1m 주위에 추가 항타하여 최종 침하량이 공사기술시방서에 만족할 때까지 항타한 후 완료한다.
- ㊷ 경사 말뚝일때는 별도의 특기 시방에 의한다.

## 6) 최종관입량

- ㉞ 최종관입량은 자립식의 측정대 또는 자동항타 검측기 등을 사용 정밀하게 측정하여야 하며 최종관입량의 산정은 특기가 없는 한 아래의 기준 타격회수의 평균값으로 한다.
  - 일반 풍화토 : 10회
  - 사질섞인 지반 : 15회
  - 점토섞인 지반 : 20회



㉔ 디젤해머의 표준용량은 램중량 3.5ton을 표준으로 하며 최종관입량은 5mm 이하로 한다.

## 7) 항타정지 및 선단고정

㉕ 말뚝의 허용지지력 판정은 일반적으로 A)재하시험에 의한 방법, B)정력학적 지지력 산정식에 의한 방법, C)동력학적지지력 산정식에 의한 방법 등이 있다. 동력학적 지지력 산정식은 여러 방법이 있는데 시공관리에 유효한 방법이며 통산 타격 에너지, 관입량, 리바운드량 등을 측정하여 지지력을 산정하고 토질 주상도를 참고로 하여 항타정지 관리를 한다.

많이 사용되는 산정식은 다음의 a), b)가 있는데 지반에 따라서는 구해진 동력학적 지지력이 크게 다른 경우도 있으므로 각각의 산정식은 비교검토하여 말뚝의 허용지지력을 판단하도록 한다.

① HLY 공식  $Ru = efWh \cdot H [1 - Wp(1 - e) / Wh \times Wp] S \times 1/2K$

여기에서

Ru : 항타공식에서 구해진 극한지지력 [tf(kN)]

ef : 해머효율(디젤해머 0.7, 드롭해머 0.5)

H : 해머의 낙하높이(cm), 디젤해머에서는 2M를 잡는다.

K : 리바운드량(cm)

S : 말뚝의 최종관입량(m)

e : 반발계수(콘크리트 말뚝 0.25)

Wh : 해머 또는 램의 중량[tf(kN)]

Wp : [tf(kN)]

② 항타시험에 의한 지지력 산정식(5S식)

$$Ru = \frac{F}{5S} \times 0.1$$

여기에서

Ru : 항타공식에서 구해진 극한지지력 [tf(kN)]

F : 해머의 타격에너지(tm)

디젤해머 :  $F = 2WH$

W : 해머중량(램중량) (t)

H : 해머낙하높이(m)

S : 말뚝의 최종관입량(m)

㉔ 타격 말뚝에서 관입량이 작아졌을 때 그대로 항타를 계속하면 타격에너지는 거의 말뚝 및 지반

의 탄성변형에 소비되어 말뚝 지지력은 증대되지 않고 오히려 말뚝을 손상할 우려가 있다. 따라서 말뚝 1분을 박아넣을 때 적당한 타격횟수 및 항타정지(도마리)는 말뚝의 길이, 지반상황 등에 의해 일반적으로 다음 이하로 한다.

(표 1)

말뚝의 종류	PHC 말뚝
제한 총 타격 횟수	3,000 이하
최후의 10m 부분의 제한 타격횟수	1,500 이하

책임기술자는 시험말뚝의 결과를 보고 총타격횟수, 최후 10m 부분의 타격횟수, 타격 정지 관입량 등을 결정하여 지시하는 것이 바람직하다. 단, 디젤해머, 드롭해머 이외의 타격방식에 있어서는 그 항타정지 관입량 및 총타격횟수는 상기의(표1) 내용이 적용되지 않으므로 항타정지에 대해서는 책임기술자의 승인을 얻어야 한다.

## 6. 이 음

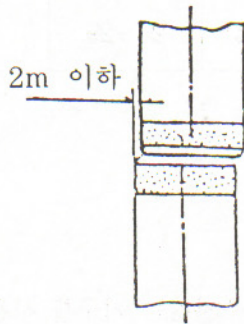
- ㉠ 말뚝의 이음은 원칙적으로 용접이음을 한다.
- ㉡ 이음 시공에 있어서 상하 말뚝의 축선은 동일 직선상에 있도록 한다.
- ㉢ 용접은 말뚝의 기능상 해로운 결함이 생기지 않도록 적절한 준비와 조건하에 정확하게 시공하여야 한다.
- ㉣ 용접은 원칙적으로 아크 용접으로 하고, 용접봉 및 와이어는 표1에 적합한 것 또는 이와 동등 이상의 성능이 있는 것이어야 한다.

〈표1. 용접봉 및 와이어 종류와 지름〉

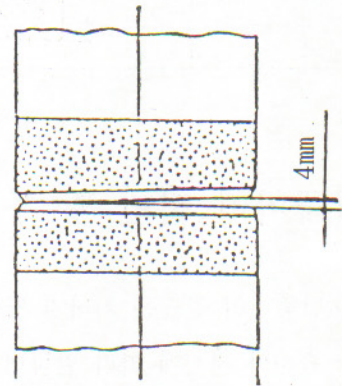
수 도 용 캡		반 자 동 용 캡		
종 류	층	중지름(mm)	종 류	와이어지름(mm)
KSD 7004 (연강용 피복 아크 용접봉)의 E4301 알루미늄이트계 또는 E4316 저수소계	1층째	4이하	연강 및 50킬로	24, 32
	2층째이후	4~6이하	고장력강 아크 용 접용 플럭스 든 와이어의 1종	

- ㉔ 용접공은 KS B 0885(용접 기술 검정에 있어서의 시험 방법 및 판정 기준) 또는 동등 이상의 기술 시험에 합격한 자로 한다.
- ㉕ 이음부는 변형이 있으면 이것을 수정하고, 용접부 및 그 부위는 청소하여야 하며, 특히 용접면 및 인접 부분에 부착된 진흙, 먼지, 녹, 기름, 도료, 스케일 등은 솔, 망치, 그라인더 등으로 제거하고 수분은 건조시켜야 한다.
- ㉖ 이음부의 편심량은 이음부 전반에 대하여 2mm 이하가 되도록 하며(그림 1) 허용간격의 최대치는 4mm 이하로 한다.(그림 2)

(그림 1) 이음부의 편심량

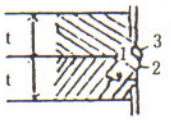
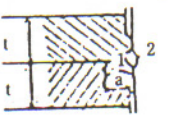


(그림 2) 루트의 허용간격



- ㉗ 비, 눈 등으로 용접부위가 젖을 때, 초속 10m 이상의 바람이 불 때 또는 외부기온이 0℃ 이하 일 때는 용접을 해서는 안된다.  
단, 기온이 -10℃가 넘을 때는 책임기술자 승인하에서 10cm 이내의 용접 바탕재 부분은 36℃ 이상이 되도록 예열한 후 용접할 수 있다.  
용접후 향타는 약 1분이상 경과한 후 하는 것이 좋다.
- ㉘ 허용면적이 4mm 이상의 경우에는 살을 붙여 간격을 메운 후 용접을 한다.
- ㉙ 용접작업을 할 때에는 충분한 전류 전압 및 속도를 선정하고 선정된 용접방법에 맞게 용접을 해야 한다.
- ㉚ 말뚝의 향타시에는 이음용접 작업이 쉬운 높이(지상 약 70cm)에 이음부가 오도록 하며, 상하말뚝의 축선이 동일선상에 있도록 잘 맞춘후 용접을 한다. 용접두께 부족 등 기타의 결함 발견시에는 살키우기 등의 방법으로 재작업한다. 말뚝의 반자동 아크용접 조건은 표1을 참고로 하면 좋다.

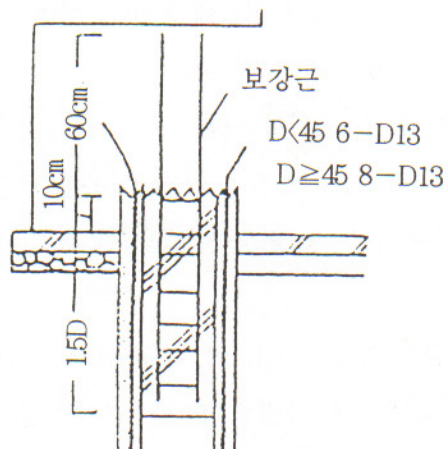
〈표 1. 콘크리트말뚝의 반자동 아크용접 조건 예〉

두께 t (mm)	길이 a (mm)	형상	회수	전류 (A)	전압 (V)	용접속도 (cm/min)
16	12		1	350~420	26~30	25~35
			2	350~420	26~30	25~35
			3	350~420	26~30	25~35
12	7		1	350~420	26~30	25~30
			2	350~420	26~29	25~35

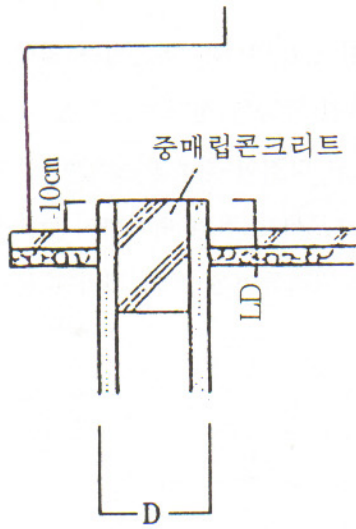
## 7. 말뚝머리 절단 및 두부정리

- ㉔ 말뚝머리 절단은 커터기 또는 말뚝에 유해한 충격 및 손상을 주지않는 기구를 사용하여 책임기술자의 지시에 따라 말뚝머리를 처리한다.
- ㉕ PHC PILE의 두부정리 및 기초연결은 다음과 같이 한다.

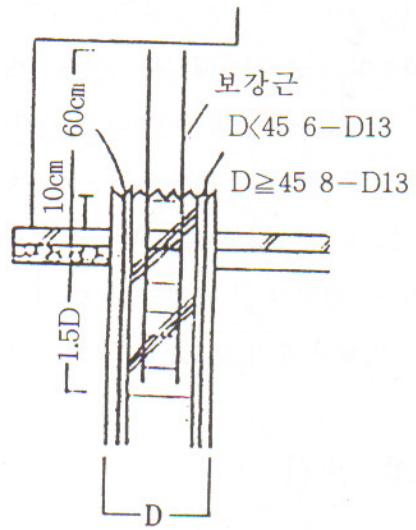
〈표준형〉



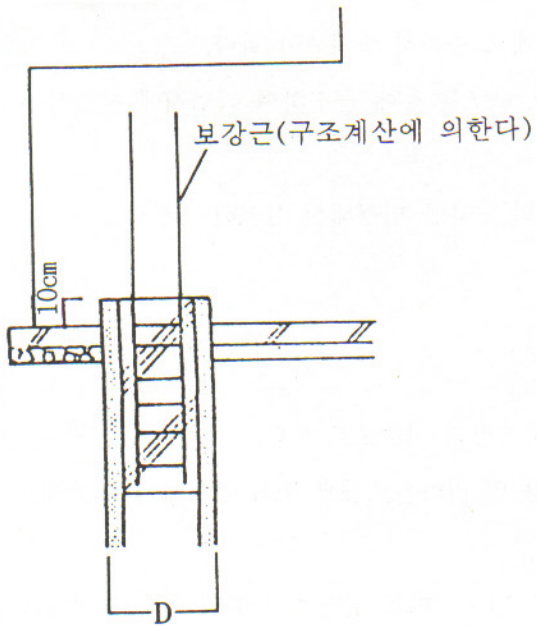
(a) 말뚝머리커트 없는 경우



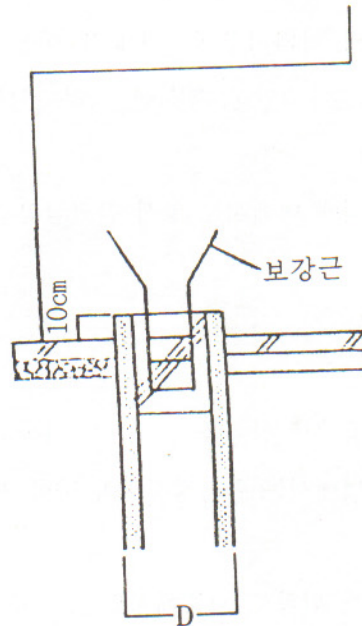
(b) 말뚝머리커트의 경우



(c) 인발력을 부담하는 경우



(d) 수평력 부담의 경우



## 8. 시공중의 처리

- ㉔ 시공중 말뚝이 소정위치로 부터 상당히 벗어나거나, 기울어지거나, 현저히 파손된 경우에는 책임기술자와 협의해소 적절한 조치를 취해야 한다.
- ㉕ 장애물이 있는 지반에서는, 말뚝이 비스듬히 관입되거나, 횡으로 빗나가 파손되는 일이 있으므로 이들 장애물은 제거하거나 그것에 적합한 선단구조를 가진 말뚝을 선택하는 것도 중요하다. 특수 점토지반에서 폐쇄형슈를 이용할 경우, 리바운드가 크고 타격이 방해받는 일이 있다. 이때는 선단을 반개방형으로 하여 흙을 말뚝중공부에 끌어들이므로써 소정의 위치까지 말뚝을 관입시킬 수 있지만 그 구멍의 크기 여하에 따라 말뚝중공부로 밀려들어온 흙의 내압 때문에 종균열이 발생할 수가 있으므로 주의가 필요하다.

## 9. 작업의 안전

- ㉖ 작업원은 항상 규정에 따라 작업을 하고 안전에 대해서 주의해야 한다.
- ㉗ 기계의 시동 및 전원 스위치를 넣을 때에는 주위상황을 확인하고 작업원에게 알린다.
- ㉘ 전기관계 보수·점검을 철저히 하고 누전, 감전 등의 사고에도 충분히 주의해야 한다.
- ㉙ 절토된 곳에서 말뚝을 시공하는 경우 흙막이가 충분히 안전한가 주의해야 한다.
- ㉚ 기계의 주행에 지장이 없도록 하고 말뚝 및 시공기계의 전도방지에 주의한다.
- ㉛ 말뚝하역, 항타기 조립, 해체 및 이동, 용접작업에도 충분히 주의해야 한다.
- ㉜ 철도, 도로, 고압선, 통신선, 지하매설물, 건축물, 구조물 등에 근접하여 작업시에는 특히 주의해야 한다.
- ㉝ 현장작업에 대해서는 항상 안전점검 및 작업원의 교육을 병행해서 실시해야 한다.

## 10. 기 록

- ㉞ 시험말뚝 시공상황을 정확하게 기록하여 본말뚝시공의 기준으로 한다.
- ㉟ 타격공법에서는 항타정지시의 10회 평균 관입량 및 리바운드량에 특히 주의해서 측정하고 기록한다.
- ㊱ 공사장소 위치도, 말뚝배치도, 토층주상도 등 및 말뚝머리를 절단한 경우의 기록도 기타의 기록과 함께 보존한다.

# 施工法の種類

말뚝基礎는 오랫동안 “打撃에 의해 地中에 貫入되는 것”이라는 概念에서 打撃공법에 의해 施工되어져 왔다. 그러나 이러한 생각은 타격에 의해 말뚝을 관입시킬때 발생하는 轟音과 振動이 社會問題로 대두되면서부터 이러한 建設公害를 防止할 수 있는 對策을 講究해야만 했고 그에 따라 公害對策 공법으로서 여러가지 공법이 개발되어져 오고 있다.

콘크리트 말뚝의 施工법에 있어서 말뚝을 支持層까지 設置하는 方法과 先端支持力을 發現시키는 方法에 의해 분류하면 아래와 같다.

시 공 법	설 치 방 법	선단지지력 발현방법과 종류	대표적인 공법	
打撃에 의한 말뚝 貫入工法	직타(直打)	타격(打撃) — DROP HAMMER	타격공법	
		DESEL HAMMER		
		油壓 HAMMER		
	PRE-BORING	직타(直打) — DROP HAMMER	PREBORING打撃工法	
		DESEL HAMMER		
		油壓 HAMMER		
穿孔에 의한 말뚝 貫入工法	PREBORING	最終打撃 — DROP HAMMER	認定工法	
		軀根固定	CEMENT MILK工法	
		軀根擴大固定	認定工法	
	中 掘	打撃	DROP HAMMER	中掘打撃工法
			DESEL HAMMER	
			油壓 HAMMER	
	中 掘	軀根固定		
		軀根擴大固定	認定工法	
	回轉壓入	CEMENT MILK공법	認定工法	

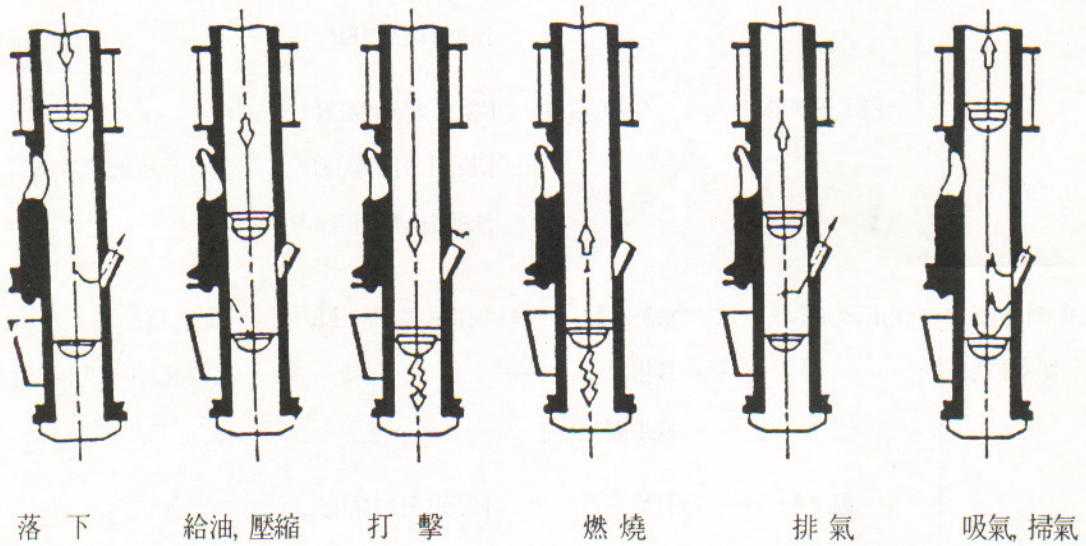
○ 디젤함마

럼의 낙하와 그것에 동반하는 실린더내의 폭발력에 의해 구동한다.

경질지층의 경우, 럼의 스트로크는 커져 폭발력이 증가되어 작업능률이 오른다. 이것은 압축폭발의 원인이 럼의 반발력에 의존하기 때문이다. 역으로 연약한 점성토층의 경우는 럼의 뛰어오름이 저하되어 다음의 발화작용이 정지되어 버려 타격능률이 저하된다.

디젤함마는 큰 타격력을 얻을 수 있고, 구조가 간단해서 시공능률이 좋기 때문에 널리 이용되고 있지만 소음, 진동, 기름의 비산 등의 문제도 있다.

○ 디젤함마의 주요 구조도

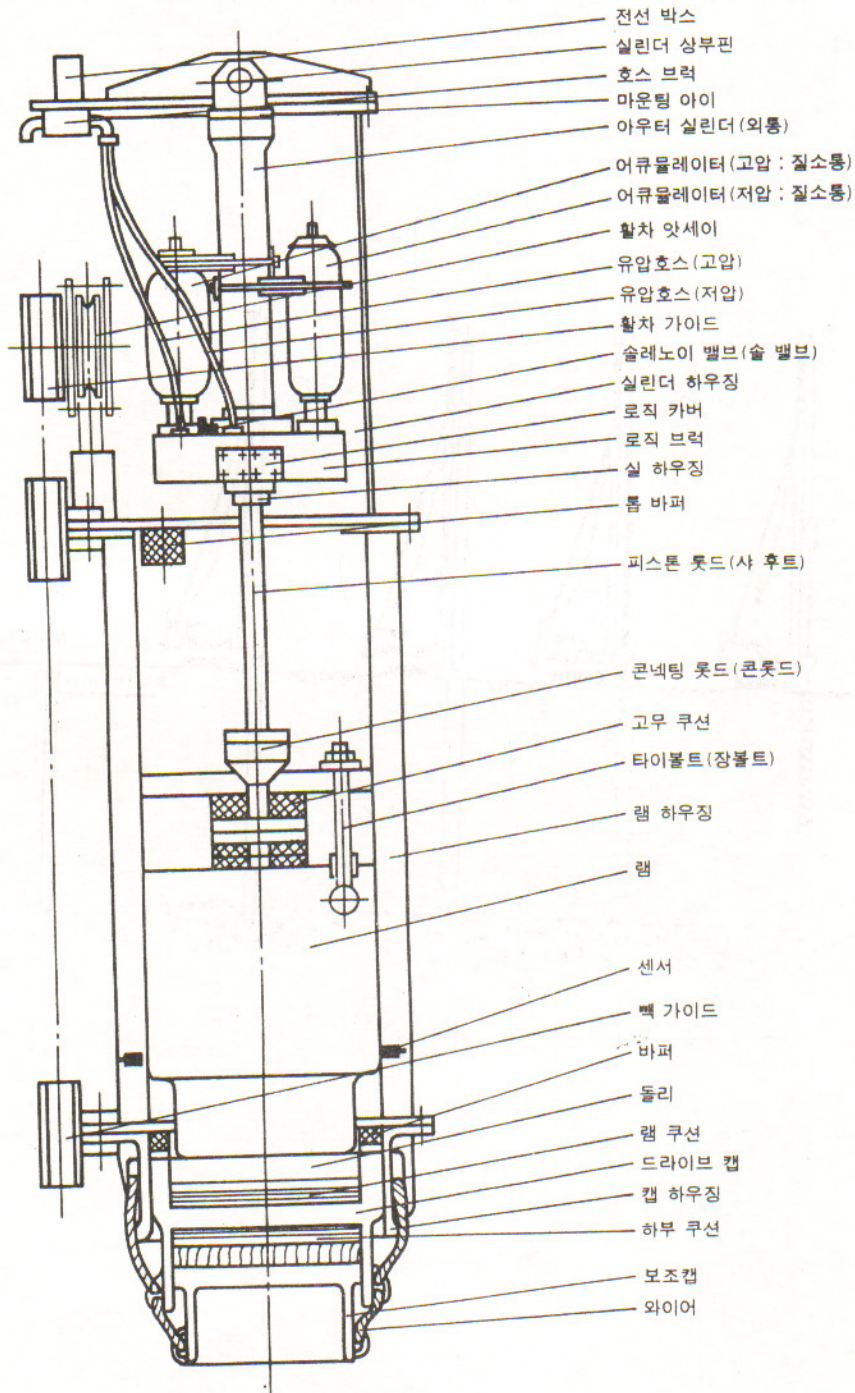




○ 유압 함마

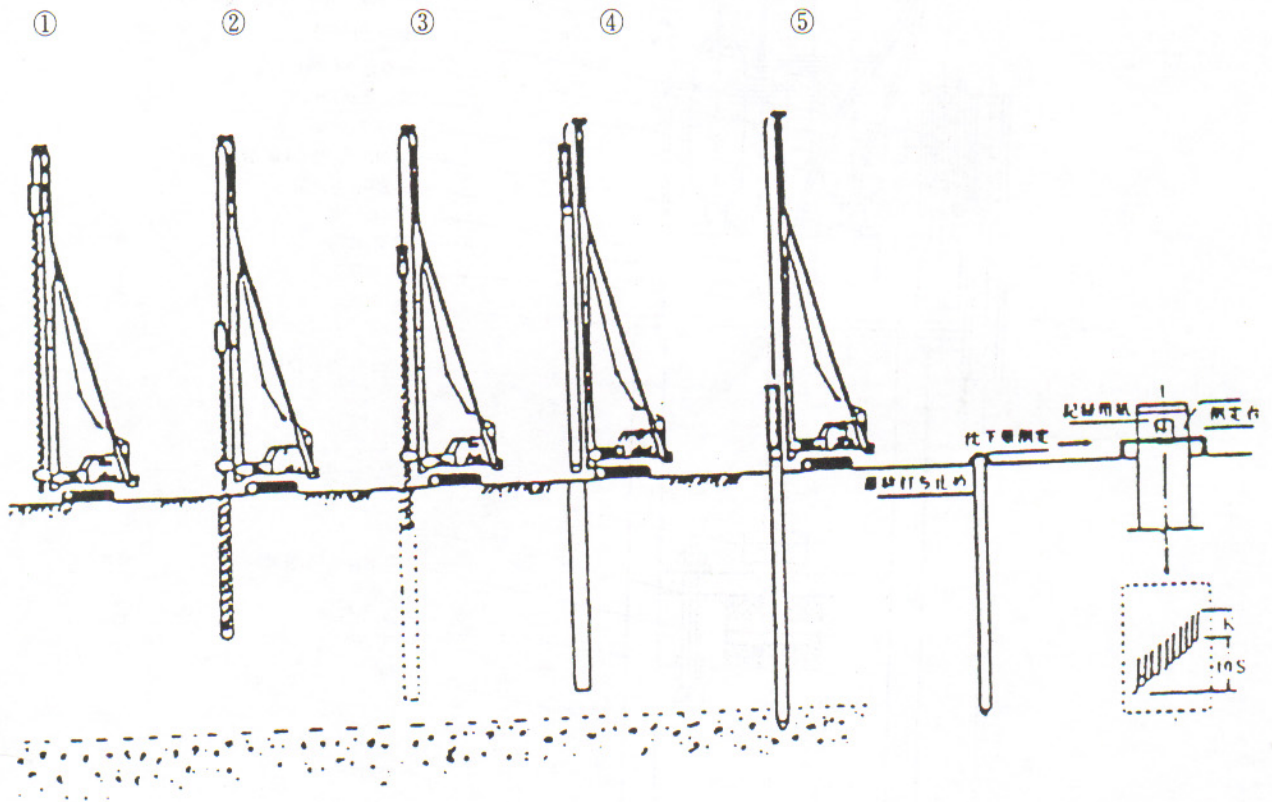
유압함마는 구조자체가 방음구조로 되어 있고, 림의 낙하율을 임의로 조정 가능하기 때문에 항타시 소음을 낮추는 것이 가능하고 또 기름의 비산도 없기 때문에, 저공해 함마로서 최근 사용하는 예가 증가하고 있다.

○ 유압 함마 구조도



○ 프레 보링 타격 공법

- ① 항타대에 장착된 스파이럴 오가의 연직성을 확인한다.
- ② 스파이럴 오가로 지반을 굴삭한다.
- ③ 소정의 심도까지 굴삭을 종료한 후 스파이럴 오가를 끌어올린다.
- ④ 굴삭공에 말뚝을 삽입한 후 함마에 의해 타격한다.
- ⑤ 말뚝선단을 지지층에 관입시킨 후 함마의 낙하고, 타격관입량 및 리바운드량을 측정하고 연직 지지력을 확인하고 타격을 멈춘다.



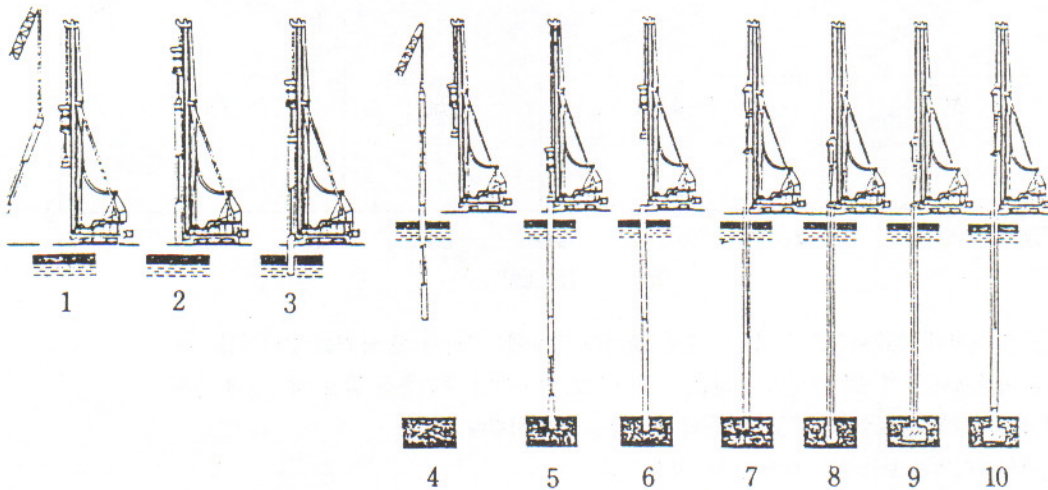
# 中 掘 工 法

중굴공법은 말뚝의 中空部에 스파이럴오가를 삽입해서 이것을 회전시켜 선단헤드로 굴삭시킨 토사를 말뚝 중공부를 통해서 말뚝두부로 배출시키면서 말뚝을 자중 및 압입장치에 의해 소정의 심도까지 침설한다.

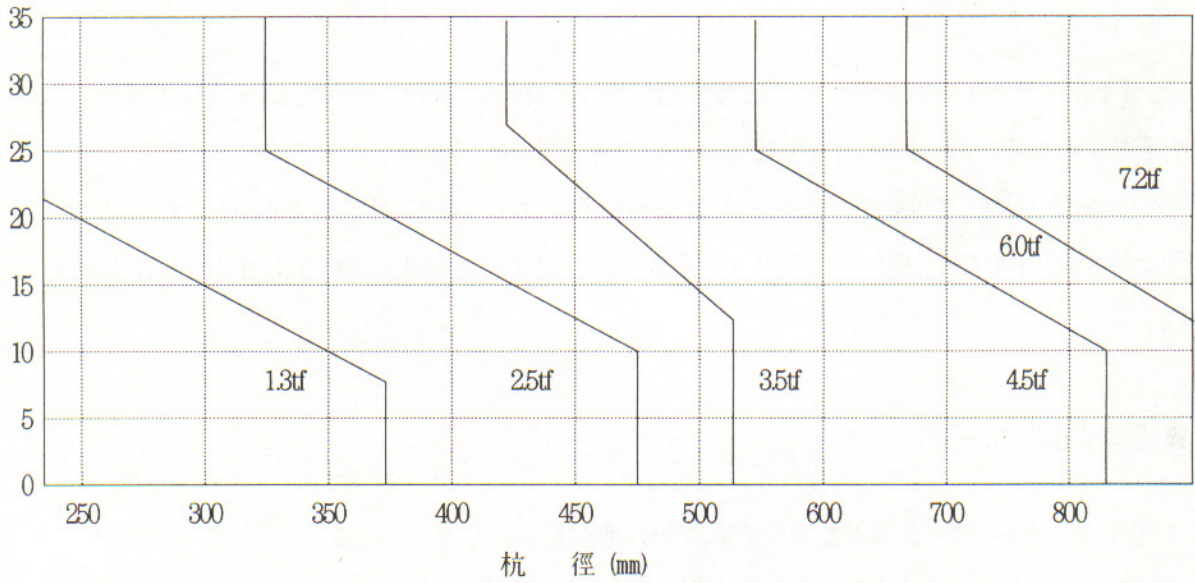
소정심도에 달하면, 함마로 말뚝두부를 타격하든가 시멘트밀크 리체고체를 토출시키면서 설계심도까지 굴삭해서 스파이럴오가의 상하말뚝을 하지 않은 지지층의 토사와 충분히 혼합해서 固結시킨 지지력을 발현시키는 공법이다.

## ■ 중굴공법의 시공순서

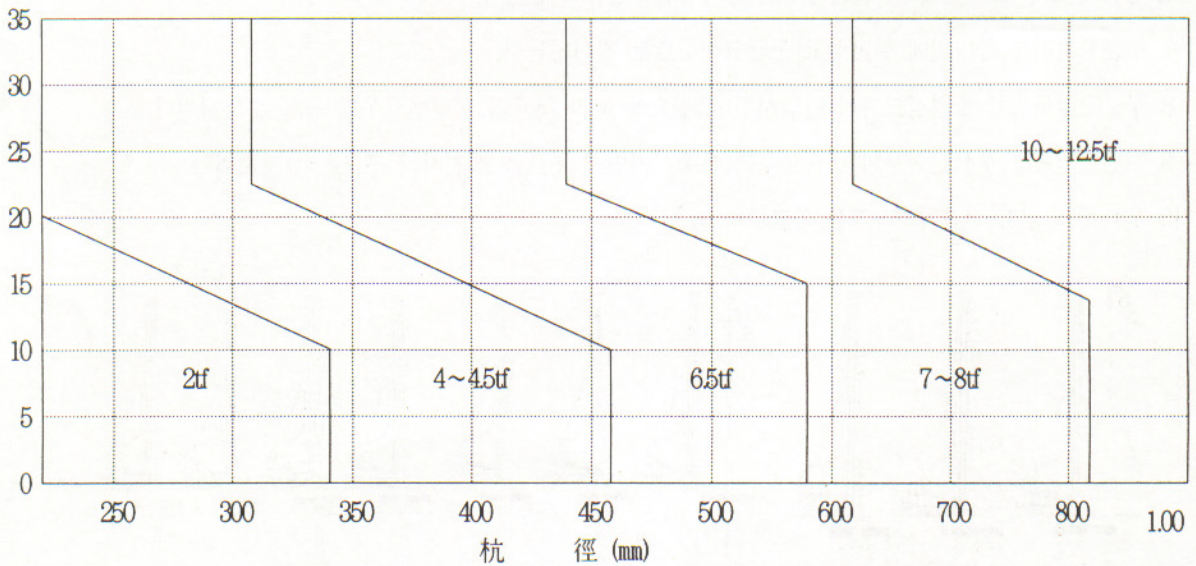
1. 말뚝 중공부에 스파이럴 오가를 집어넣고 말뚝을 세운다.
2. 오가 구동장치와 스파이럴 오가를 접합시켜 연직성을 확인한다.
3. 스파이럴 오가를 회전시켜 토사를 연속적으로 굴착 배토함과 동시에 말뚝의 자중, 유압압입장치를 이용해서 압입한다. 필요에 따라 HEAD에서 AIR를 분출시킨다.
4. 상부 말뚝을 세워 상하 2분의 스파이럴 오가를 접합함과 동시에 계수부를 용접한다.
5. 3과 같은 방법으로 굴착압입한다.
6. 압입 완료후 스파이럴 오가를 빼내고 굴착침설공정을 완료한다.
7. 구근고정기를 항타기에 설치하고 구근고정로트를 집어넣는다.
8. 구근고정로트를 소정심도까지 관입시킨다. 필요에 따라 로트의 선단에서부터 물을 분출시킨다.
9. 시멘트밀크를 로트선단부의 노즐로부터 분출시키면서 로트를 회전시켜 구근을 고정시킨다.
10. 로트를 빼내고 선단처리공정을 완료한다.



# 함마기의 선정



- (주) 1. 말뚝의 관입 길이가 10M 이상일때 하기의 조건의 경우에는 1단계 큰 규격의 항타기를 사용.
- ① N치 30이상으로 두께 3M 이상의 모래층, 사력층으로 이루어진 중간층을 뚫고 지나갈때 사용
  - ② 두께 3M 이상의 점토층(N치 15이상)등의 중간층을 관입시킬때
2. 말뚝의 관입길이에에는 보조항타 관입길이를 포함한다.
- 그림. 디젤 함마 선정도의 예(콘크리트 말뚝)



- (주) 1. 말뚝의 관입 길이가 10M 이상으로 다음과 같은 조건의 경우에는 1단계 큰 규격의 항타기를 사용.
- ① N치 30이상으로 두께 3M 이상의 모래층, 사력층으로 이루어진 중간층을 뚫고 지나갈때 사용
  - ② 두께 3M 이상의 점토층(N치 15이상)등의 중간층을 관입시킬때
2. 말뚝의 관입길이에에는 보조항타 관입길이를 포함한다.
- 그림. 유압 함마 선정도의 예(콘크리트 말뚝)

# 항기초의 트러블과 대책

- 1) 쿠션제 사용
- 2) 시공방법의 선정
- 3) 항타기의 선정
- 4) 계수부의 용접 및 두부정리

## ■ 항기초의 트러블과 그 대책

재료(PHC 파일)의 기능을 충분히 만족한다해도 시공관리(항타)의 소홀로 발생하는 트러블이 각 현장에서 자주 발생되고 있다.

- 1) 쿠션제 사용(5cm厚 以上)
- 2) 시공방법의 선정     직타공법  
                                      매입공법(SIP)
- 3) 항타기의 선정
- 4) 계수부의 용접 및 두부정리

상기 사항을 보다 신중히 대처한다면 각 현장에서 발생하는 트러블은 최소화 할 수 있다고 사려된다.

## ■ 쿠션제의 사용

그림 1에 나타난 지반에  $\phi 500$ , 종류 A종 길이 11M의 PHC 말뚝을 KB-45 디젤함마로 타격 관입시켰으나 타격 관입 도중 말뚝의 두부에 종크랙과 座堀이 발생됐다. 이들 말뚝은 전부 5cm 두께의 쿠션제를 1장 사용한 것으로서 쿠션제 2장을 사용해서 타격관입시킨 결과 무사히 10M 정도 관입시키는 것이 가능했다.

이렇게 볼때 이 현장에서 쿠션제 1장을 사용한 것과 쿠션제 2장을 사용한 것에 대해 항두에 발생하는 응력을 측정해 보았다.

쿠션제는 5cm 두께의 건조시킨 떡갈나무로 크랙측정기를 항두에서 1M의 위치에 단면직교축성 각각 4점 종방향에 둘러 붙였다. 시험결과는 그림 2에 나타나 있다. 대응하는 점의 종크랙, 횡크랙의 전측정치를 산포도의 형태로 표시했다.

그림 2에 쿠션제 2장을 사용한 것은 쿠션제 1장을 사용한 것과 비교했을 때 종크랙과 횡크랙이 감소된다는 것을 쉽게 알 수 있다.

또한, 총 타격 횟수를 쿠션제 2장을 사용한 것은 950회(최종 관입깊이 9.6M) 쿠션제 1장을 사용한 것은 274회(최종 관입깊이 9.7M)로서 쿠션제 2장 사용한 것보다 226회 적게 나타났다.

## 지반·시공조건과 적정기성 콘크리트 말뚝의 시공법과의 관계

### ○ 시공방법의 선정

설계대로 말뚝 기초공사를 하고 또 공사를 공기내에 안전하게 완성시키기 위해서는 적절한 공법선정이 중요하다. 말뚝기초는 구조물의 종류(토목, 건축 등)에 따라서 설계나 시공 기준이 달라지게 된다. 또 사용하는 말뚝의 종류의 따라서도 적절한 공법은 달라지므로 이러한 조건과 시공하는 장소의 부지·지형 및 지질조건을 고려하여 시공법을 선정해야 한다. 이것은 대단히 복잡하여 일반적인 선정방법을 나타내기는 어렵지만 참고로 공법선정의 주요 요인을 제시하면 다음과 같다.

#### ① 부지와 입지 조건

부지의 넓이, 형상, 고저, 주변도로의 상황, 지중·지상장애물의 상황, 인접 구조물의 형상

#### ② 지반조건

지지층이 깊이와 강도, 지지층의 경사, 옥석, 전석의 존재 깊이와 크기, 중간층의 두께, 강도, 지하수의 흐름, 피압수

이상은 시공법을 결정하기 위한 주요 체크포인트이므로 이러한 항목을 파악한 후에 최근의 시공실적을 기초로 오른쪽 표의 공법선정표에서 검토하여 적절한 공법을 선정한다.

※ 포인트 : 시공지점의 지반의 파악은 보링조사외에 그 주변의 기초공사를 조사하고 실제정보를 입수하는 것이 중요하다.

선정 항목		타입 공법			매입 공법			
		RC	PC	PHC	프리보링 공법	중 굴 공법	회 전 공법	
		말뚝	말뚝	말뚝	PC PHC 말뚝	PC PHC 말뚝	PC PHC 말뚝	
직 경	가능 말뚝지름(cm)	20 ~60	30 ~120	30 ~100	30 ~120	45 ~130	30 ~80	
	상용 말뚝지름(cm)	25 ~35	30 ~60	30 ~60	30 ~80	45 ~80	30 ~60	
하 <sup>3</sup> 중 규 모	200t 이하	○	○	○	○	○	○	1) 기둥 1개마다의 축력
	200t~500t	×	○	○	○	○	○	
	500t~1200t	×	△	○	○	○	△	
	1200t 이상	×	×	△	△	△	×	
지 지 층 의 심 도	5m 이하	○	△	△	△	△	△	
	5~10m	○	○	○	○	○	○	
	10~20m	△	○	○	○	○	○	
	20~30m	×	○	○	○	○	○	
	30~40m	×	○	○	○	○	○	
	40~50m	×	△	○	○	○	×	
중 간 상 태 ( 4   5 m )	점성토N치<4	○	○	○	○	○	○	· 기성말뚝의 중간층의 타격인발에 대해서는 시험말뚝으로 확인할 것 · 시멘트밀크공법에서 자갈 또는 모래의 경우, 일수에 주의할 것
	" 4~10	△	○	○	○	○	○	
	" 10~20	×	△	○	○	○	△	
	사질토N치<15	△	○	○	○	○	○	
	" 15~30	×	△	○	○	○	○	
	" >30	×	×	△	△	△	△	
	자갈(옥석)5cm이하	×	△	○	○	○	○	
	" 5~10cm	×	×	△	△	△	△	
지 지 층 의 상 태	연 압	-	-	-	-	-	-	· 암반·토단의 경우 타입말뚝은 지지층중에 관입시키는 것은 전제로 하지 않을 것 · 사질토지지층중 유수 등에 따라 밀다짐 구조의 형성에 지장을 줄 우려가 있는 공법은 주의할 것 1) 지지층의 변화를 사전에 충분히 조사할 것
	토단(N치<75)	-	-	-	-	-	-	
	사질토N치 30~50	△	○	○	○	○	○	
	" <50	×	△	○	○	○	○	
	자갈(옥석)5cm이하	×	△	○	○	○	○	
	" 5~10cm	×	△	△	○	○	△	
	" 10~15cm	×	×	△	△	△	×	
	" 15cm이상	×	×	×	×	×	×	
경사30℃이하(토단)	×	△	△	△	○	○		
" 30~45℃	×	△	△	△	△	△		
지지층의 확인	○	○	○	△ <sup>3</sup>	△ <sup>3</sup>	△ <sup>3</sup>		
지 하 수 상 태	선단의 피압수	○	○	○	○ <sup>3</sup>	△	○	일수①자갈층에 굴확수가 빠지는 경우 ②블루수층을 관통해 수위가 급속히 제하는 경우 1) 보일링에 의해 말뚝선단이 느슨해 질 가능성이 있다. (피압지하수가 없는 경우도 주의)
	복류수	○	○	○	△	△	△	
	일수 ①	○	○	○	×	○	○	
	일수 ②	○	○	○	△	○	○	
기 타	유해가스	○	○	○	○	○	○	
	소음진동	×	×	×	○	○	○	
	작업공간	△	△	△	△	△	△	

주) · 매입공법 : 밀다짐액을 사용하는 공법을 대상으로 한다.

· 법 례 ○ : 일반적으로 사용되는 경우 △ : 사용하려면 신중한 검토가 필요한 경우 × : 거의 사용하지 않는 경우

〈표 1〉 콘크리트파일의 시공법의 선정표<sup>2)</sup>

# 기성 콘크리트 말뚝의 크기와 적정 해머의 관계

## ○ 항마기의 선정

타입공법에 의해서 말뚝을 깊이 50m 정도까지 침설하는 경우도 많아졌다. 이 경우 해머의 종류와 용량을 선정하기 위한 검토사항과 시공시에 주의할 사항은 다음과 같다.

해머의 종류에는 디젤해머, 유압해머, 드롭해머, 바이브로 해머 등이 있는데 콘크리트말뚝은 대부분이 디젤해머와 유압해머에 의해 시공된다. 드롭해머는 시공현장이 좁고 작은 지름의 말뚝을 타입하는 등 특수한 현장조건에 한정되어 사용되고, 바이브로는 현재 사용되고 있지 않다.

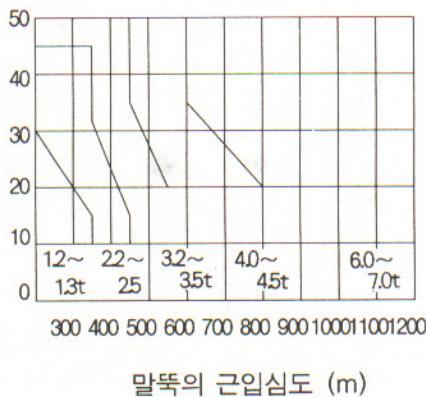
① 디젤해머는 시공조건이 소음·진동의 규제를 받지 않는 현장이라면 시공능률이 가장 좋은 해머이다. 해머의 크기는 말뚝지름, 근입길이, 지반조건에 따라 결정된다. 오른쪽 도표는 각종 시방서의 해머 선정표에 깊이의 관계를 추가한 도표를 나타낸 것이다. 단, 사질토층이 비교적 두꺼운 중간층을 관통시켜야 하는 경우는 1단계 큰 해머를 선정한다.

② 유압해머는 램 중량이 크고 낙하높이(최대낙하높이는 12m 정도가 일반적)를 조정할 수 있으므로 해머의 크기를 엄밀하게 검토할 필요는 없지만, 디젤해머의 2배이상의 중량이 필요하다. 유압해머의 경우는 가능한 한 큰 해머를 사용해서 낙하높이를 낮게 하는 편이 시공능률이 좋다.

※ 포인트 : 타입공법에서 시공능률 및 안전성에는 해머의 선정이 중요한 요소이다.

## 유 압 해 머

### 디 젤 해 머



<그림 1> 표준해머선정도(콘크리트말뚝)<sup>①</sup>



사진 1. 디젤해머에 의한 타격

· 최대램낙하높이는 기종에 따라 다르기 때문에 각 기종의 시공관리 시방서를 참조할 것

말뚝종류	적용 말뚝		램 낙 하 높 이 (cm)						
	말뚝지름 (mm)	두께 (mm)	20	40	60	80	100	120	
콘 크 리 트 말 뚝	PHC	300	60						
		350	60						
		400	65						
		450	70						
		500	80						
		600	90						
RC	300	60							
	350	65							
	400	70							
	450	75							
	500	80							
	600	90							

주) N치 30~50인 보통 지반에서는 최대램낙하높이로 설정하는데 말뚝지름, 길이 및 지반조건에 따라서 타격용력이 증가하기 때문에 그림중의 검은부분범위에서 램낙하높이를 낮게 할 필요가 있다. 이 점을 시험타 등에 의하여 확인하는 것이 바람직하다. 또 매우 단단한 질토지반이나 암반층에 대해서는 또 램낙하높이를 낮게 관리할 필요가 있다.

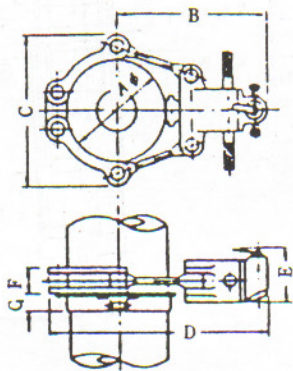
<그림 2> 말뚝강도로부터 설정된 최대램낙하높이(고체쿠션형)



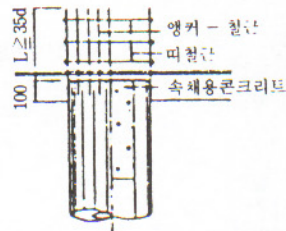
# 기성 콘크리트 말뚝머리부 처리방법과 결합법

## ○ 두부정리

말뚝머리부와 푸팅의 연결은 말뚝기초로써 중요한 부분이다. 말뚝은 침설 후, 말뚝머리부를 가지런히 절단하는 경우가 많다. 이 때 말뚝체를 손상시키지 않도록, 또 가능한 한 평활하게 마무리하는 것이 대단히 중요하다. 말뚝머리처리의 작업순서는 절단작업No→철근가공→콘크리트 타설로 되어 있다.

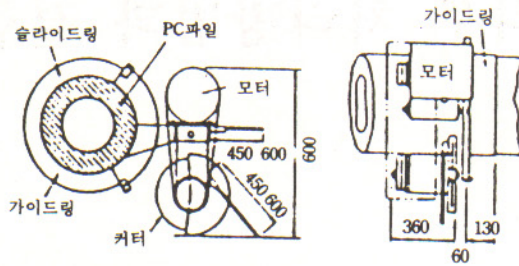


파일커터(외압방식)

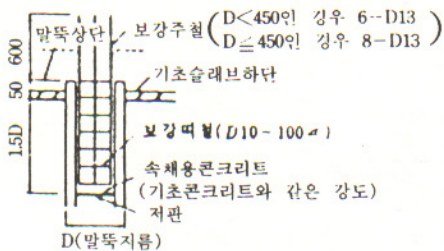


SC말뚝의 강결합의 예

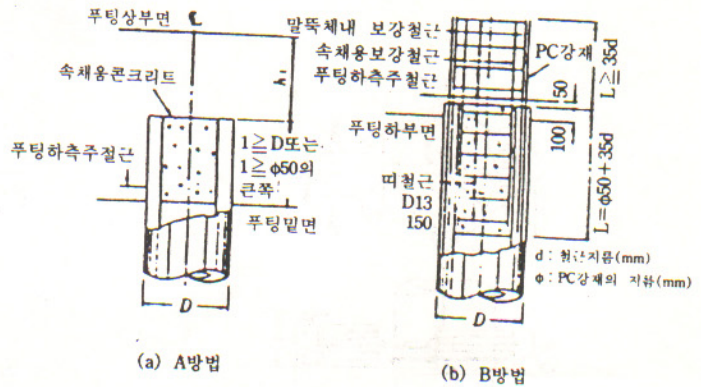
형식	치 수(mm)						
	A	B	C	D	E	F	G
300 ∷	300	580	450	805	185	110	63
350 ∷	350	605	500	855	∷	∷	∷
400 ∷	400	630	550	905	∷	∷	∷
450 ∷	450	655	600	955	∷	∷	∷
500 ∷	500	660	650	1006	∷	∷	∷
600 ∷	600	760	750	1136	220	140	∷
700 ∷	700	810	850	1236	230	140	63



파일커터(다이아몬드커터방식)



PC·PHC말뚝의  
말뚝머리부의 보강례



(a) A방법

(b) B방법

이 중 특히 주의해야 하는 것은 절단작업이다. 주의해서 절단하지 않으면 절단부에 큰 세로균열이 발생하기 때문에 다음의 작업요령에 따른다.

- ① 절단위치의 하부를 철근 밴드로 감고 절단을 완료할 때까지 묶어둔다.
- ② 절단작업은 파일럿(외압·내압방식) 및 다이아몬드컷 등의 기계를 사용하며, 큰 해머에 의한 깎아냄은 피한다.
- ③ 파쇄된 구멍은 PC강재를 피하고 가능한 한 많이 한다.
- ④ 파쇄는 한 손작업이 가능한 무게의 해머로 조금씩 치고 PC강재는 치지 않는다.
- ⑤ 마무리시의 해머는 작은 것을 이용한다.

⑥ 말뚝머리부 결합철골·PC강재를 노출시킨 후에 모두 절단해서 말뚝을 쓰러뜨린다.

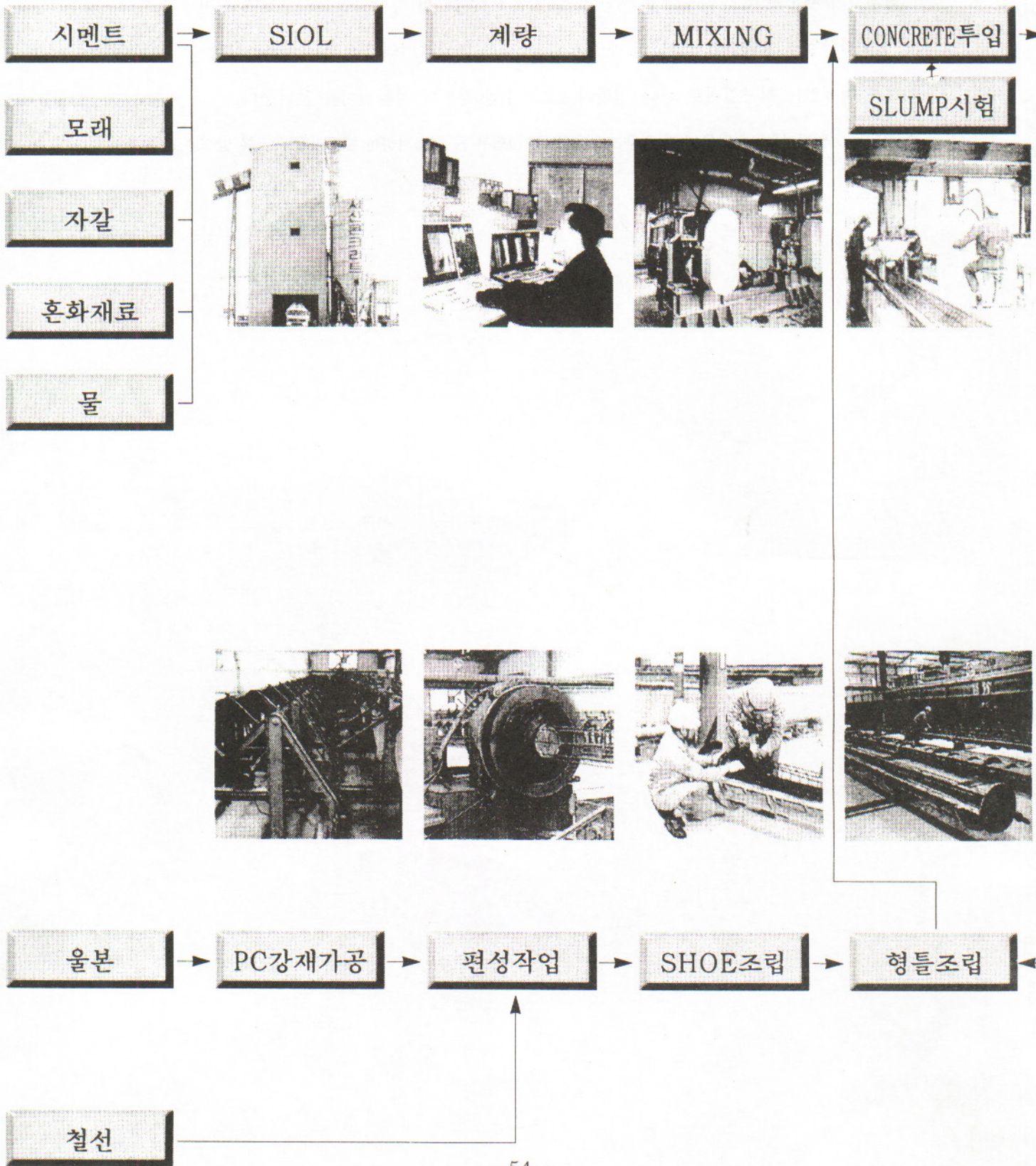
말뚝머리부 결합법에는 강결합과 힌지결합이 있는데 설계도에서 준하여 시공한다. 이 때 고려해야 할 사항은 (1) 프리스트레스트 말뚝의 머리부를 절단하는 경우는 절단면에서 350mm 정도 프리스트레스트가 해방되었기 때문에 RC부재로써 PC강재의 50배와 보강철근의 정착길이 35D정도의 깊이까지 보강한다.

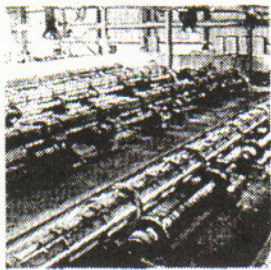
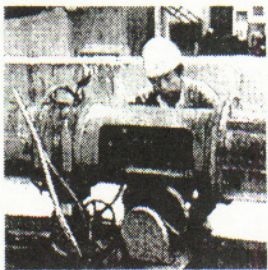
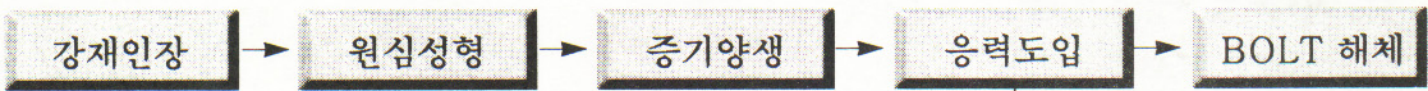
(2) 말뚝결합철근 등을 미리 말뚝에 매입해 두는 경우는 말뚝머리부를 가지런히 자르는 작업이 있다고 고려해서 여유있는 철근길이를 한다. 일반적으로는 1.0m정도의 여유길이를 고려한다.

※ 포인트 : 말뚝머리부처리를 하는 경우는 말뚝체 및 접합부 등 성능저하를 일으키지 않도록 대책을 강구한다.

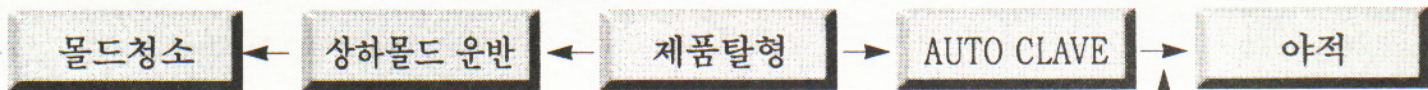
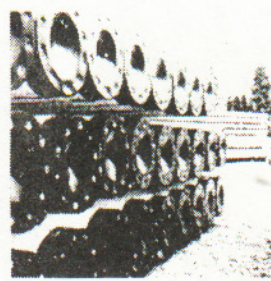
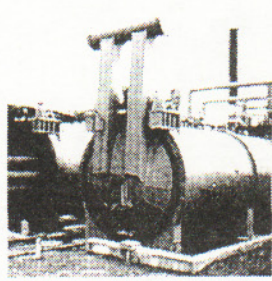
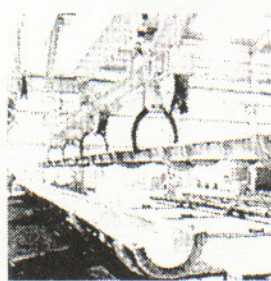
# Pretensioned Spun High Strength Concrete Pile

## PHC PILE의 제조공정도





도입강도 시험



압축강도 시험

출하