

## 말뚝기초(VIII)

임 종 석\*

## 8. 말뚝기초구조설계

## 8.1 개요

말뚝은 상부구조물의 하중을 지반에 전달하는 기능을 가지며, 한편으로는 구조물을 구성하는 하나의 부재로 취급할 수 있다. 따라서 말뚝은 기초구조 내에서 지지부재로서 기능할 때 유발되는 응력에 견디도록 설계되어야 한다. 말뚝기초의 설계에 있어서는 이러한 점을 감안한 구조설계가 필요하다.

일반적으로 말뚝은 압축 및 인장하중을 받으며, 또한 상부구조물의 하중조건에 따라서, 또는 말뚝머리가 원래 위치에서 벗어남에 따라서 편심하중에 의한 휨응력이 유발된다. 또한 인접한 말뚝 사이나 군말뚝 내의 부등침하로 인하여 말뚝에 결합된 기초판이나 기초보에 뒤틀림이 발생하면 말뚝머리 근처에 휨모멘트를 유발할 수 있다.

기초판이나 기초보는 상부구조물로부터 말뚝머리로 하중을 전달하며 아래와 옆의 흙으로부터의 압력에 견디도록 설계된다. 이러한 흙의 압력은 말뚝의 침하에 의해, 흙의 팽창에 의해 그리고 상부구조물로부터 기초로 전달되는 횡방향하중으로 유발되는 수동압력에 의해 유발될 수 있다.

말뚝의 응력조건에 있어서는 타격중 발생하

는 예상치 못한 파괴, 현장타설콘크리트가 완전치 못할 가능성 및 부식이나 부패와 같은 장기효과 등을 고려하여야 한다. 또한 경우에 따라서는 말뚝의 이음이 필요하다.

본 장에서는 이와 같은 말뚝기초의 구조적인 설계에 필요한 사항에 관하여 언급하고자 한다. 이에 따라 상부구조물로부터의 하중조건을 먼저 고찰하고 다음으로는 말뚝의 간격이나 배치, 하중분담등을 알아본 후에 말뚝머리와 기초판의 결합부의 설계에 대하여 설명하기로 한다. 아울러 말뚝의 이음 및 부식에 대하여 고려하고자 한다.

## 8.2 하중조건

## 8.2.1 개요

말뚝기초에 작용하는 하중은 상부구조물의 종류에 관계없이 공통되는 것도 있으나 상부구조물의 종류별 특징에 따라 별도로 고려해야 하는 것도 있다. 대부분의 상부구조물에 공통하는 하중으로는 고정하중, 사하중, 설하중, 토압, 수압, 풍하중, 지진하중 등이 있다. 그러나 도로교인 경우는 건축에서는 고려할 필요가 없는 보행인하중, 자동차하중, 원심하중, 제동하중 등을 별도로 고려해야 하며 철도인 경우는 열차하중이 있다. 한편 도로교나 철도시설에서는 특수한 경우에만 고려하는 파압이나 파력을 항만구조물에서는 반드시 고려하여야 한다.

\*정회원, 목포대학교 공과대학 토목공학과 전임강사

이하에는 말뚝의 설계시 고려해야 할 하중들을 건축, 도로교, 철도구조물등의 대표적인 경우를 예로 하여 작용방향별로 살펴보고, 실제 설계시에는 이들을 어떻게 감안할 것인가를 고찰해보기로 한다.

### 8.2.2 하중의 종류

#### (1) 연직하중

건축인 경우에는 장기하중으로서 고정하중, 적재하중, 기초자중, 말뚝자중, 부력 등이 있으며 단기하중으로서 풍하중, 지진하중 등이 있다. 풍하중, 지진하중은 상부구조의 회전으로 인한 축력변동을 고려하여 가감산해주어야 한다. 이 밖에 특수한 경우로서 부마찰력이 작용하는 경우가 있다.

도로교에서는 사하중으로서 구조물의 자중이 있으며 활화중으로서 자동차하중, 보행인하중 등이 있다. 이들은 조건별로 조합되어지며 그 중 가장 불리한 쪽으로 설계에 적용된다.

철도구조물에서는 사하중으로서 구조물의 자중과 궤도하중 등이 있으며 활하중으로서 충격하중을 검토해야 한다.

#### (2) 수평하중

건축의 경우에 있어서는 대부분 지진이나 바람으로 인해 작용하며 구릉지 등에 특수하게 위치한 경우에는 횡방향토압이 작용하기도 한다.

도로교에서는 지진, 바람, 충돌, 제동 등으로 인해 발생하며 경우에 따라 토압, 수압, 파압이 작용하기도 한다.

철도구조물은 도로교와 유사하며 거기에 궤도 및 열차로 인한 수평하중을 더한다. 궤도로 인한 수평하중은 온도변화로 인한 신축이나 체결장치의 마찰로 인해 발생하며, 열차로 인한 수평하중은 제동 및 시동하중, 원심하중 및 차량횡하중 등이 있다.

#### (3) 특수한 하중

위에서 살펴본 하중 이외에 항만, 해양구조물에서는 파랑하중이 작용한다. 또한 지반조건에 따라서는 지반의 침하와 측방변위로 인한 편하중이 작용하기도 한다.

### 8.2.3 하중의 고려방안

말뚝기초에 작용하는 외력은 계속되는 장기하중이나 지진력 등의 단기하중이나 등을 가릴 것 없이 본래 복합하중인 경우가 많다. 그러나 지반의 성질에 따른 연직지지력이나 수평지지력의 검토에 있어서는 외력조건을 복합하중이라고 한 채로 말뚝기초의 설계계산을 하는 것은 번잡하다. 따라서 일반적으로는 복합하중을 연직하중과 수평하중으로 분해하고 그 각각에 대하여 검토한다. 말뚝몸체의 설계에 있어서는 이들 각각의 결과를 합성하여 복합응력으로서 검토하는 것이 일반적이다. 따라서 복합하중의 영향은 말뚝몸체의 검토시에 고려하게 된다.

## 8.3 말뚝간격과 배치

### 8.3.1 개요

기초판에 작용하는 하중의 종류와 크기가 결정되면 기초판을 지지하는데 필요한 말뚝갯수가 결정된다. 필요한 말뚝갯수는 하중의 크기와 말뚝의 허용지지력 뿐만 아니라 말뚝배치방법과 그에 따른 반력과 변위량에 의하여 결정되어야 한다. 말뚝머리반력 계산은 말뚝배치간격, 갯수등을 가정하여 실시하며 계산결과가 말뚝의 허용지지력이나 허용변위량 등을 초과할 때에는 말뚝갯수와 배치를 바꾸어 그것이 허용범위 안에 올 때까지 반복해야 한다.

말뚝의 간격이나 배치를 결정할 때에 고려해야 할 요인으로서 ① 구조계획적 요인 ② 말뚝시공성의 요인 ③ 지반의 요인 ④ 말뚝형상의 요인 등이 들어진다. 이들의 요인은 독립으로, 때로는 복합하여 영향하므로 그 점을 잘 음미하여 전체 배치계획과 말뚝의 중심간격 등의 배열을 결정하는 것이 좋다.

①의 구조계획적 요인으로서 구조물전체의 상시하중과 지진시 등의 축력분포의 변동을 들 수 있다. 이 점은 건축물을 고려하면 이해가 쉽다. 건물외주부 등은 상시 연직하중에다가 지진시의 축력변동으로 인하여 추가하중이 더해진다. 따라서 말뚝의 배치도 당연히 그 양자에 잘 대응해야 한다. 이 외에 편하중의 작용

등도 영향요소로서 고려될 수 있다.

②의 시공성은 타입말뚝, 매입말뚝, 현장타설콘크리트말뚝의 경우로 크게 나눌 수 있으며 이들은 주로 말뚝간격에 대한 영향요인이 된다. 예를 들면 긴 말뚝의 타입시에는 경사가 고려되므로 인접말뚝에 접촉할 가능성이 있는가, 매입말뚝과 현장타설말뚝에서는 굴삭으로 인하여 주변지반이 교란되므로 그 영향이 생기지 않는 간격을 확보할 필요가 있는 것 등이다.

이들 시공성의 요인은 ③의 지반의 요인과 직접 관계된다. 즉, 타입말뚝에 있어서 모래지반에서는 타입에 의해 주변지반이 다져지므로 인접말뚝의 타입에 방해가 되며, 점토지반에서는 타입시 먼저 타입된 말뚝이 솟아오르는 현상이 발생한다. 이와 같은 현상은 말뚝간격에 충분히 유의해야 함을 시사한다. 현장타설말뚝인 경우에도 굴착액의 관리를 충분히 하지 않으면 특히 모래층의 공벽붕괴를 일으키는 것에 주의해야 한다. 이 외에 말뚝간격은 중간층의 마찰력, 선단반력 등으로 인하여 연직지지력과 수평지지력의 관점에서 균말뚝 저감효과를 가져오게 되므로 중요하다. 또한 특수한 경우로서 지반침하에 의한 부마찰력이 발생하는 경우에는 지지력과는 거꾸로 부마찰력의 저감으로서의 균말뚝효과를 기대한다는 의미로 말뚝간격이 중요하게 될 수도 있다.

④의 말뚝형상에 관하여는 주로 타입말뚝에 있어서 말뚝선단의 개방과 폐쇄가 들어지며, 타입시의 배토량의 차가 말뚝간격의 설정에 영향을 준다는 것을 고려해야 한다.

### 8.3.2 말뚝간격기준

앞에서는 말뚝의 배치, 배열에 관한 영향요소를 개관하였다. 건설부제정 구조물기초설계기준 해설<sup>2)</sup>에 의하면 말뚝중심의 간격은 최소한 말뚝직경의 2.5배 이상이며 푸팅측면과 말뚝중심의 간격은 최소 말뚝직경의 1.5배 이상이어야 한다. 여기에는 또한 다른 여러나라의 예가 참고로 들어져 있다.

### 8.3.3 말뚝의 배치

말뚝기초에 상부구조에서의 하중이 작용한 경우에 하중은 기초판, 말뚝을 통해 지반에 전달된다. 또한 하중에 따라 기초, 지반은 변형을 일으킨다. 이와 같은 말뚝기초를 구조의 면에서 보면 판구조의 기초판에 봉부재의 말뚝이 다수 결합한 고차부정정구조물로 고려하는 것이 가능하다. 또한 말뚝을 지지하는 지반은 3차원 연속체로 고려함이 가능하다. 따라서 상부구조에서의 하중이 작용한 경우의 말뚝기초의 수평저항(변형, 응력, 지반응력 등)을 엄밀히 해석한다고 하면 이상의 조건을 고려해야 하고, 이를 위해서는 고도의 계산방법을 써서 계산할 필요가 있다.

그러나 말뚝기초뿐만 아니라 구조물의 설계 계산에는 계산정밀도 정도의 간편화가 요구된다. 또한 기초의 설계계산식에는 당연히 지반정수가 포함되며 설계계산식과 지반정수의 정밀도와는 적절히 균형이 취해지는 것이 바람직하며 필요 이상으로 고도한 계산방법을 쓰는 것은 무의미하다. 현재 쓰여지고 있는 각종 설계기준에서도 설계계산을 간편하게 하기 위하여 몇 개의 가정, 근사가 행해지고 있다. 이들의 가정, 근사 중에 특히 중요한 것으로서 이하의 2가지를 거론할 수 있다.

① 말뚝과 지반의 상호작용을 고려할 때 지반을 용수철의 집합으로 놓고 말뚝을 탄성 상위의 보로 모델화한다.

② 기초판에서 말뚝에의 하중의 전달을 고려할 때 지중부의 말뚝을 말뚝머리 용수철로 모델화한다.

①이 지반반력계수, ②가 말뚝머리용수철정수에 관한 항목이다. 도로구조물 등에서는 다시 기초판을 강체로 가정함에 의해 설계계산의 간편화를 도모하고 있다.

이상과 같은 가정, 근사를 행함에 따라 말뚝기초의 설계계산은 간단히는 되지만 부정정구조물이라는 것에는 변함이 없다. 부정정구조물의 변형, 응력 등은 힘의 평형조건만으로는 결정되지 않고 구성부재의 강성에 따라 하중이 분배된다. 통상 그 설계에서는 부재단면을 가

정하여 계산을 반복하여 행하고 최종적으로 최적(경제적)한 구조를 결정한다. 말뚝기초인 경우의 구체적인 계산순서에 대하여 보이면 이와 같이 된다.

- ① 기초판의 단면제원, 말뚝의 배치 및 단면제원을 가정한다.
- ② 말뚝의 단면제원 및 지반정수에서 전술한 가정 ①을 써서 지반의 강성(지반반력계수)을 결정한다.
- ③ 말뚝의 단면제원 및 지반의 강성에서 전술한 가정 ②를 써서 말뚝머리에 대한 말뚝의 강성(말뚝머리용수철정수)을 결정한다.
- ④ ③에서 구한 말뚝의 강성 및 말뚝의 배치에서 말뚝기초전체의 강성방정식을 조립한다.
- ⑤ 강성방정식을 풀어서 각 말뚝에 분배된 하중을 구한다.
- ⑥ 분배된 하중에 따라 각 말뚝에 발생하는 변형 및 응력을 계산한다.
- ⑦ 계산된 각 말뚝의 변형 및 응력이 허용범위내에 들어가는가 어떤가를 조사하고 들어가지 않는 경우는 ①에 되돌아가 이상의 과정을 반복한다.

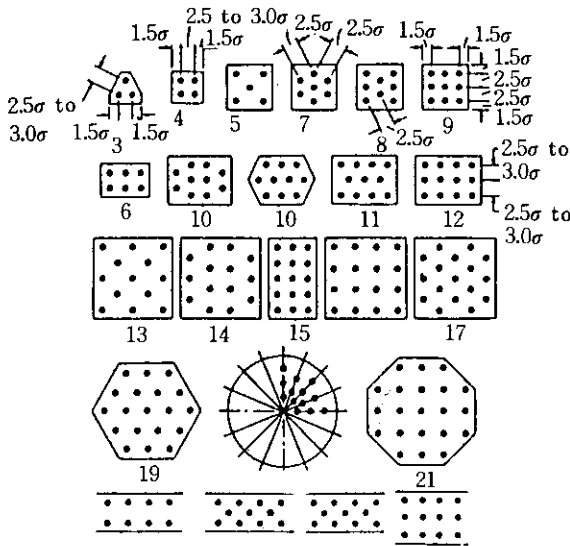


그림 1. 말뚝배치 예<sup>2)</sup>

말뚝기초의 반력 및 변위에 관한 상세한 계산방법은 여타 참고문헌으로 미루고 여기서는 생략하기로 한다.<sup>2, 9)</sup>

말뚝의 배열은 연직하중 작용점에 대하여 될 수 있는 한 대칭을 이루며 각 말뚝의 하중부담률이 큰 차이가 나지 않도록 해야한다. 말뚝갯수와 개표적인 배열형태를 그림 1에 도시하였다.

## 8.4 말뚝의 하중분담

### 8.4.1 연직하중의 분담

말뚝기초의 연직하중은 말뚝에 의해서만 지지되며 기초판의 지지효과는 무시한다. 그것은 말뚝기초의 침하와 기초지반의 침하가 일치하지 않는 경우가 많으므로 기초판에 의한 연직하중 분담은 고려할 수 없기 때문이다.

그러나 조건에 따라서는 기초판도 하중을 분담할 수 있다는 견해가 최근에 대두되고 있다.<sup>10)</sup> 이에 대한 정량적인 자료가 제공된다면 보다 효율적인 말뚝설계가 가능할 것이다.

### 8.4.2 수평하중의 분담

수평하중은 말뚝에 의해서 지지되는 것을 원칙으로 한다. 다만 지하층 등의 깊은 근입이 있는 경우의 말뚝기초에서는 근입부의 저항과 말뚝의 저항이 각각 수평력을 분담할 수 있으므로 말뚝에의 수평력은 어느 정도 저감하는 것이 가능하다고 고려된다.

이들에 관한 연구예 등을 종합하여 그 경향을 보면 어느 정도 근입부의 저항을 기대해도 좋다고 하는 결과가 얻어져 있다. 설계에 적용하는 경우 이들 자료를 안전측으로 고려하여 이용하는 것이 좋다.<sup>10)</sup>

기초푸팅 바닥면의 마찰 저항은 무시한다.

## 8.5 말뚝머리의 구조

### 8.5.1 개요

말뚝머리는 말뚝몸체와 기초판의 접합점이고 말뚝의 연지지지력 및 수평지지력을 충분히 발휘하기 위하여 기초판에서의 하중(작용력)을 안전하면서도 확실하게 말뚝몸체에 전달할

수 있는 기능을 가져야 한다. 일반적으로 완성 후의 하중에 의해 말뚝몸체에 발생하는 응력중에는 말뚝머리의 응력이 최대이다. 따라서 이들의 하중에 대하여 말뚝머리는 충분한 내력을 가져야 한다.

### 8.5.2 설계기본사항

#### (1) 말뚝머리의 결합부

말뚝과 기초판의 결합부는 결합부에 발생하는 응력에 대하여 안전하게 설계되어야 한다. 말뚝머리와 기초판의 결합방법에는 설계상 강결합과 힌지결합의 2가지가 있다. 건축구조물에서는 말뚝이 부담하는 수평력에 따라 결합방법이 선정되지만 현재는 힌지결합으로 설계하고 있는 예가 많으며, 토목구조물에서는 필수로 수평변위를 적게하기 위하여 강결합으로 설계하는 예가 많다.<sup>9)</sup>

기초판과 말뚝머리의 결합부에 대해서는 하나의 구조물에 대하여 동일한 결합방법으로 하는 것을 원칙으로 하며, 하중을 말뚝 및 지반에 안전하게 전달하는 구조일 것 및 그 하중조건 하에서 결합부분 각 부재의 응력이 허용응력을 넘지않도록 할 필요가 있다.

#### (2) PC말뚝머리의 절단으로 인한 프리스트레스의 감소

말뚝타설시 항타로 인한 말뚝머리의 파손이나 지지지반의 불균등 등으로 인하여 부득이 말뚝머리를 절단해야 하는 경우가 있다. 이때 PC말뚝인 경우에는 절단된 위치로부터 일정구간까지 이미 도입된 프리스트레스가 감소하게 된다.

절단한 경우의 프리스트레스의 분포에 관한 실험예를 그림2에 보인다. 그림에서 PC강재의 지름은 9.0mm이고 제품의 유효 프리스트레스는  $53\text{kg}/\text{cm}^2$ 이다. 프리스트레스의 감소범위는 강선지름의 20~30배로 나타났다. 프리스트레스의 감소범위는 PC강재의 종류, 시공상태 등에 따라 다르지만 일반적인 지침으로서는 PC 강재 지름의 50배 정도가 적당하다<sup>9)</sup>. 한편 프리스트레스의 감소범위를 말뚝머리에서 말뚝지름정도의 길이까지로 보기도 한다.<sup>10)</sup>

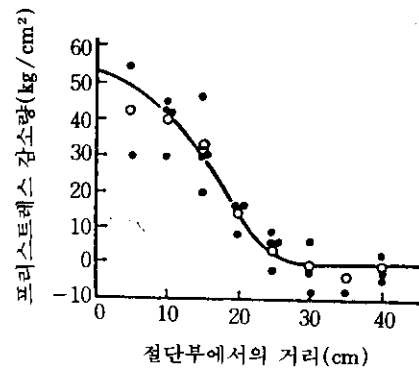


그림 2. PC말뚝머리의 절단으로 인한 프리스트레스의 감소<sup>9)</sup>

이와 같이 절단에 의해 말뚝머리 부근의 프리스트레스가 감소하면 그 감소범위 내에서는 PC말뚝으로서의 기능을 잃게 된다. 또한 말뚝머리에 휨모멘트가 발생하면 조기에 항복하여 말뚝머리가 회전할 가능성이 있다. 따라서 가능한 한 PC말뚝은 절단하지 않는 것이 좋으며 절단시는 적절히 보완하여 기초판과 결합시켜야 한다.

### 8.5.3 말뚝머리의 고정조건

말뚝머리의 고정도는 수평력에 대한 말뚝의 설계에 있어서 대단히 큰 영향요소의 하나이다. 지반반력을 깊이 방향으로 일정하다고 고려한 통상의 탄성지반상의 보로서의 해석에 의하면 말뚝머리가 고정인 경우 말뚝에 발생하는 최대휨모멘트는 말뚝머리 핀인 경우의 그것에 대하여 1.55배로 된다. 한편 말뚝머리의 수평변위는 핀(실제 변위에 대하여는 자유로서 취급하는 것이 많음)에 대하여 0.5배의 관계에 있으므로 수평변위량을 중시한 설계가 필요한가 아닌가에 따라 말뚝머리의 조건이 적절히 선택되어야 된다. 예를 들면 도로교 등에서는 교량의 낙하방지가 설계조건으로서 가장 중요한 점의 하나로 되어 있으므로 수평변위가 특히 문제가 되는 반면에 건축 등의 예에서는 상당히 특수한 경우를 제외하면 수평변위는 반드시 가장 중요하지 않다는 점을 고려해야 한다. 이와 같이 상부구조의 조건에 따라 말뚝머리의 고정

도에 대한 고려법이 변화한다.

여기서 말뚝머리의 「고정」의 속뜻에 대하여 고려해 보자. 앞에서 「고정」이란 엄밀히는 「회전구속」이라는 의미로 쓰여지고 있으므로 수평력의 작용에 의해 말뚝머리는 수평이동하는 것으로서 다뤄지고 있음에 주의할 필요가 있다. 실제로는 말뚝과 기초판의 접합자체는 고정이므로 상부구조와의 관계에서 기초판은 회전한다고 하는 경우도 종종 존재한다. 이와 같은 경우에는 말뚝의 축력성분과 수평변위가 크게 되는 경우의 편심모멘트(통상  $P-\delta$ 효과 등으로 불림)에 의한 응력도 등도 고려해 넣을 필요가 생긴다.

말뚝머리에 있어서 말뚝몸체와 기초판의 결합방법은 강결합과 힌지결합의 2가지로 크게 나눌 수 있다.

### ① 강결합

- 힌지결합에 비해 부정정차수가 크고 내진적으로 우위에 있다.
- 힌지결합에 비해 수평하중에 의한 수평변위량이 작다.
- 강결합의 조건을 비교적 간단히 만족할 수 있는 구조가 가능하다.

### ② 힌지결합

- 강결합에 비해 부정정차수가 작다.
- 강결합에 비해 수평하중에 의한 수평변위량이 크다.
- 힌지결합의 조건을 만족할 수 있는 구조는 곤란하다.

강결합은 말뚝몸체와 동등한 강도를 얻음으로써 수평력에 대해 말뚝머리에 최대응력이 발생하고 소성화하여 고정도가 저하한 후 말뚝몸체부의 응력이 크게 되어 최대내력이 되기까지 저하한다. 힌지결합은 완전한 힌지상태로 하는 것은 곤란하고 불완전한 상태에서 수평하중이 작용하면 말뚝머리에 모멘트가 발생하고 비교적 작은 수평하중에서도 국부적으로 파괴하여 소성힌지화하고 연직하중을 받는 것이 곤란하게 되는 것도 있다. 따라서 수평하중이 작은 경우나 수평하중을 부담하지 않아도 좋은 경우에

적당하다.

## 8.5.4 기초판(기초보)과 말뚝의 부착

### (1) 강결합

말뚝과 기초판의 접합방법은 다음 두가지가 있다.

- 방법 A : 기초판 속에 말뚝을 일정한 길이만 매설하고, 매설한 부분에 따라서 말뚝머리 구속모멘트에 저항하는 방법으로서 강관말뚝, 프리스트레스콘크리트말뚝(PC말뚝), 철근콘크리트말뚝(RC말뚝)에는 이 방법이 적용된다.
- 방법 B : 기초판 내의 말뚝매설길이는 작으나 철근으로 충분히 보강하여 말뚝머리 구속모멘트에 저항하는 방법으로서 강관말뚝, PC말뚝, RC말뚝, 현장치기철근콘크리트말뚝의 어느 것에나 적용된다.

상기의 어느 것을 선택함은 말뚝종별, 기초판의 주철근 배치, 말뚝배치에 따라 다르며, 기초판 또는 말뚝의 어느 것을 주체로 고려하는 가라는 설계사상에 의해서도 구분된다. 각각의 특징은 다음과 같다.

#### ① A 방법

- 기초판의 주철근은 매입한 말뚝몸체를 피하여 배근하므로 중·소경의 말뚝에 적용되고 있다.
- 말뚝머리의 구속조건이 완전강결에 가깝다.
- 기초판이 말뚝머리의 뿔힘강도, 주철근의 배치에서 B방법에 비해 두껍게 된다.

#### ② B 방법

- 기초판의 주철근은 한가지로 배치할 수 있으므로 대경말뚝에 적용되고 있다.
- 말뚝머리의 구속조건은 A방법에 비해 고정도가 낮다. 기초판의 주철근의 배치의 제약이 없다.

강결합에 의한 설계방법은 관련문헌을 참고하기 바란다.<sup>2, 9)</sup>

### (2) 힌지결합

힌지결합을 완전한 상태로 만드는 것은 곤란

하며 통상 힌지결합이라 부르고 있는 구체적

결합 예를 그림3에 보인다.

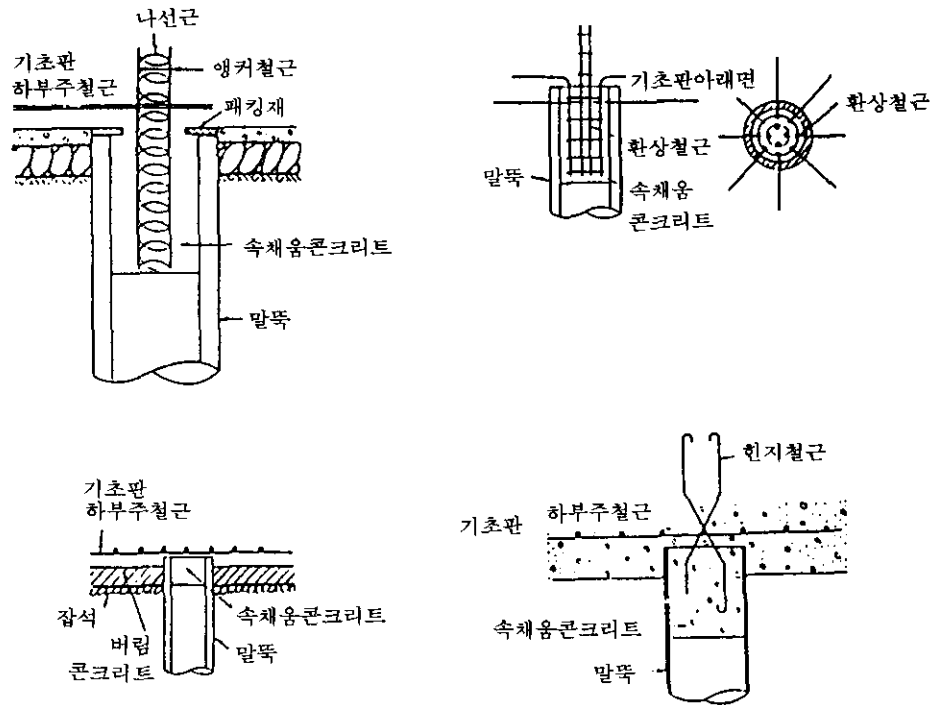


그림 3. 힌지결합의 예<sup>9)</sup>

(3) 말뚝머리보강철근의 훅(hook)의 효과  
 강결합의 B방법에 대해 말뚝머리보강철근은 일반적으로 이형철근을 사용하고 있다. 이형철근은 원형철근에 비해 콘크리트와의 부착성능이 우월하고 일반적으로는 훅을 달지 않고 소요 정착장을 확보하면 좋다. 그러면서 철근의 정착에 대한 훅의 효과는 큰 반복응력에 대하여 부착의 축차파괴에 의한 튀어나오름에 대하여 종국적으로 저항하는 것 등 그 잇점은 크다. 또한 훅을 붙이지 않은 경우에 비해 정착장을 2/3로 짧게 할 수 있다. 따라서 푸팅이 휨모멘트와 전단력에서 결정된 두께보다 말뚝거리보강철근의 정착의 필요두께의 쪽이 큰 경우 등에 유효하다. 또한 훅을 붙이면 말뚝머리결합부의 기초판 하면 부근의 버팀철근의 배근을 생략할 수 있는 잇점도 있다.

종래 기성콘크리트말뚝의 주철근과 말뚝머리보강철근은 철근지름이 크게 되어 이에 따른 설계도에 보여져 있는 것과 같은 형상에 훅을 붙이는 것이 곤란하였으므로 최근의 유압을 이용한 휴대식 철근 휨 가공기가 있고, 완전한 반원 훅도 시행가능하다. 또한 현장타설말뚝에서도 먼저 훅을 붙여 시행하면 정착장의 과부족을 일으키기 쉽고 말뚝머리의 콘크리트는 매달려 기초판의 배근 등의 시공성을 저해하는 등의 난점이 있으며 이 기계를 사용하여 적절한 시기에 훅을 붙이면 훅 없음과 같은 시공성이 얻어지게 된다.

### 8.5.5 기초판의 설계

#### (1) 연직하중에 대한 설계

말뚝으로 지지되는 기초판의 연직하중에 대

한 설계는 말뚝의 반력을 기초판의 바닥에 작용하는 집중하중이라 생각하여 대략 직접기초의 기초판인 경우에 준하여 행할 수 있다. 이 경우에 말뚝의 반력을 구하는 기둥하중에는 기초판의 자중을 포함하지 않는다.

기초판 아래에 배치된 말뚝의 수가 많고, 거의 같은 간격으로 배치된데다가 각 말뚝의 반력이 별로 크지 않은 경우에는 말뚝반력을 해당면적에 등분포시켜서 같은 크기의 접지압으로 취급하는 것이 편법으로 허용된다.

말뚝기초의 기초판의 최소두께는 기둥하중을 각 말뚝이 균등하게 분담하도록 그 강성을 확보하기 위하여 직접기초인 경우보다 두껍게 한다. 또한 전면기초 아래의 말뚝의 배치는 될 수 있는 대로 기둥 아래, 보의 교차부분 아래에 하되 부득이한 경우에만 슬라브 아래에 배치한다.

기초판의 콘크리트와 말뚝머리와의 사이에는 압축력이 작용하지만 이와 같은 경우에는 압축력의 작용면적이 국부적이므로 콘크리트는 그 전체가 압축력을 받는 경우에 비하여 더 큰 압축응력에 견딜 수 있다. 따라서 이 부분에서는 콘크리트의 허용압축응력보다 큰 값인 허용지압응력(許容支壓應力)에 따라 검토하는 것이 좋다.

말뚝머리 주위의 콘크리트는 말뚝머리가 기초판을 직접 원 또는 사각형으로 위로 뚫고나오는 전단력 즉, 펀칭쉬어(punching shear)에 의해 파괴되는 경우가 있다. 말뚝머리에 의한 펀칭쉬어의 검토도 기둥 바로 아래의 펀칭쉬어와 마찬가지로 행할 수 있다. 즉, 전단력을 말뚝의 지지력으로 취할 수 있다.

#### (2) 수평하중에 대한 설계

말뚝기초판의 수평하중에 대한 설계는 복잡하고 불명확한 점이 많다. 수평하중시 상부구조의 로킹(rocking)에 의해 주어지는 기둥의 축력에 대해서는 압축력은 연직하중시의 설계와 마찬가지로 생각한다. 인장력에 관해서는 부상(浮上)이 일어나서 말뚝의 인발저항력을 고려하는 경우에 그들을 하향집중하중으로 하

여 기초판에 작용시켜서 기초판의 응력을 계산한다. 이 때 기초판의 자중도 고려한다.

말뚝머리와 기초판의 전단력의 전달에 대해서는 말뚝머리를 기초판 속에 매입하고 말뚝측면의 지압력(支壓力)에 의해 행한다.

말뚝머리의 휨모멘트에 대해서는 말뚝머리 접합부가 강접합으로서 강한 기초보가 있는 경우에는 말뚝머리휨모멘트의 총합과 기둥휨모멘트의 합을 기초보에 부담하는 것이 바람직하다. 이들 휨모멘트는 기둥중심-말뚝중심과 기초보중심과의 교점에서 평형시키고 기초보의 강비(剛比)에 따라 분배한다(그림4 참조).

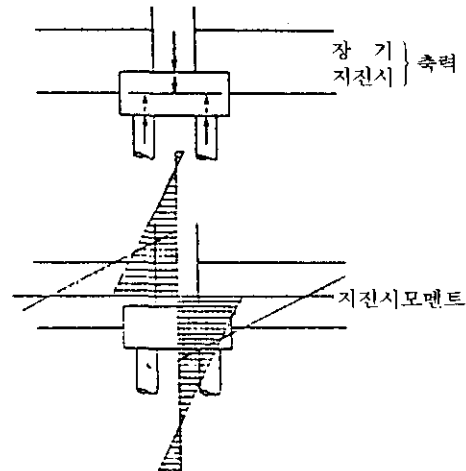
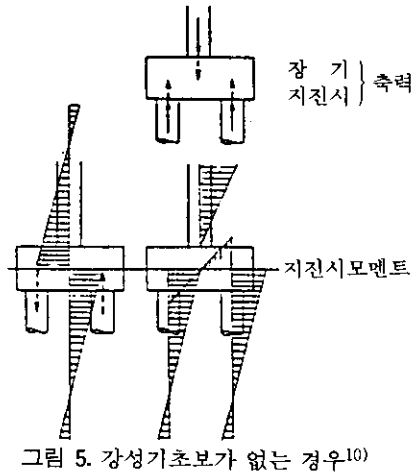


그림 4. 강성기초보가 있는 경우<sup>10)</sup>

기초보의 강성이 작은 경우 또는 기초보가 없는 경우에는 말뚝머리휨모멘트의 총합과 기둥휨모멘트의 합을 말뚝의 축력에 부담하고 연직하중시의 말뚝축력에 이 휨모멘트에 의한 축력을 더하여 기초판을 설계한다. 이와 같은 경우 상부구조의 설계에 있어서는 기둥의 강성을 정확하게 평가해 두거나 또는 안전측으로 기둥핀(pin)으로 취급할 필요가 있다.(그림5 참조)

상부구조를 설계할 때에 기둥고정으로 하거나 또는 기초보를 평가하여 일체로 취급함에 있어서 말뚝머리접합부에 대해서는 강접합에





가까운 설계를 하고 더우기 말뚝머리휨모멘트를 기초보에 부담시키지 않는 계산을 하는 경우가 있다. 이와 같은 경우에는 실제로 수평하중이 작용할 때에 말뚝머리휨모멘트가 발생하여 기초보에 전달되고 그것이 기초보의 내력을 넘으면 기초보에 힌지가 형성되게 된다. 이에 따라 말뚝머리의 휨모멘트도 증가하지 않게 되지만 그 위의 기둥의 반곡점(反曲點)도 내려가서 말뚝머리휨모멘트가 증대하여 거기에 붙은 큰 보의 휨모멘트가 증가한다. 그리고 순차적으로 힌지를 형성하여 붕괴를 촉진하기도 한다. 따라서 이와 같은 경우에는 상부구조는 충분한 내력을 확보할 필요가 있다.

(3) 휨모멘트에 대한 검토

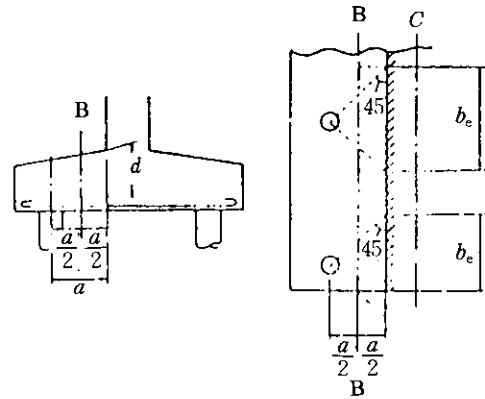
말뚝의 배치, 기초판의 형상 등에 따라 기초판의 유효폭을 정한다. 상세한 내용은 구조관련 문헌을 참조하기 바란다.

(4) 전단에 대한 검토<sup>1)</sup>

전단에 대한 검토도 상세한 내용은 구조관련 문헌을 참조하기 바람이며 여기서는 다음과 같은 사항에 대해서만 언급하기로 한다.

말뚝이 기둥 또는 벽체의 중심에서 치우친 경우에는 말뚝 한 개에 대한 유효폭  $b_e$ 는 말뚝 중심에서 기둥 또는 벽체전면까지의 거리의 2배를 넘어서는 안된다(그림 6 참조). 이때 말

뚝중심에서 기둥 또는 벽체전면까지의 거리  $a$ 가 기둥 또는 벽체전면에서  $a/2$ 만큼 떨어진 부재단면 B-B에서 전단에 대하여 검토해야 한다.



a : 벽체의 기둥전면에서 말뚝중심까지의 거리( $a \leq 2d$ )  
 $b_e$  : 유효폭

그림 6. 말뚝이 치우친 경우의 전단응력을 검토하는 단면 및 유효폭<sup>1)</sup>

하나의 기초판 아래에 여러개의 말뚝열이 있는 경우는 원칙적으로 각 말뚝열의 외연에서  $h_2/2$ 만큼 떨어진 부재단면 C-C에서 전단에 대하여 검토해야 한다.(그림7 참조)

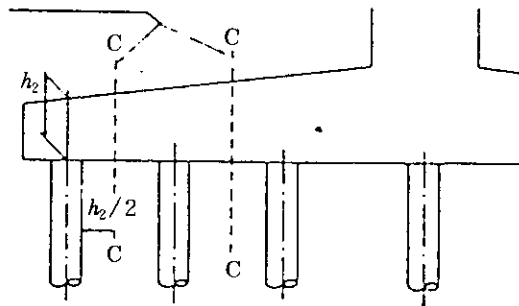


그림 7. 말뚝머리 근처에서 기초판의 전단응력을 검토하는 단면<sup>1)</sup>

말뚝의 배치에 따라서는 기초판의 기둥에서 편칭쉬어에 대한 검토를 해야만 하는 경우도 있으므로 주의해야 한다.

## 8.6 말뚝의 이음

### 8.6.1 개요

기성말뚝은 말뚝제작공장의 제조기계의 규모, 공장에서 시공현장까지의 운반, 말뚝시공기계의 높이와 능력, 말뚝몸체강도등에 따라 말뚝길이에 제약이 있으므로 이음을 실시하여 설계말뚝길이로 해야 한다. 현장타설말뚝은 콘크리트를 연속하여 타설하므로 기성말뚝과 같은 말뚝몸체의 이음을 필요로 하지 않으나 주철근을 바구니모양으로 조립하여 굴착공 내에 진입하므로 취급상 길이의 제약이 있어서 주철근의 이음이 필요하다.

기성말뚝은 콘크리트계의 말뚝(RC말뚝, PC말뚝, PHC말뚝), 강말뚝(강관말뚝, H형 말뚝), 및 합성말뚝(SC말뚝)으로 대별되어 각각의 말뚝종류에 따라 이음구조가 이루어져 있다. 나무말뚝, 철근콘크리트말뚝 및 프리스트레스트콘크리트말뚝의 이음은 수평력 또는 인발력이 작용하는 경우에는 사용하지 않는 것이 좋다. 조건이 허용하는 한 이음 수를 감소시키고 긴 단재를 사용하는 것이 일반적으로 유리하다.

### 8.6.2 설계시 고려사항

#### (1) 이음의 위치

이음의 시공은 반드시 현장작업을 하게 되므로 공장제작과는 달리 시공관리가 불충분해지기 쉽다. 따라서 이음의 설계는 말뚝몸체와는 달리 신중하게 해야한다. 이음의 위치를 결정함에 있어서는 휨, 전단 및 인장 등 전부를 고려하여 이음구조가 휨에 약한 것이라면 휨모멘트가 작은 점에, 전단에 약한 것이라면 전단력이 작은 점에 설치하도록 이음구조의 특징을 잘 파악하여 이음위치를 결정하여야 한다.

강재를 사용한 경우 여러가지 방식처리가 용접 등의 가공으로 인하여 기능의 저하를 초래할 수 있다. 그러므로 이음의 위치는 부식의 영

향이 작은 곳으로 하고 특히 수위의 변동에 따라 건습을 되풀이하는 곳은 피하여야 한다. 또한 이음위치에 따라 사용되는 말뚝의 길이가 정해지므로 수송, 시공설비, 작업공간 등을 고려하여 결정한다.

#### (2) 이음의 강도

이음의 강도는 이음위치에서 설계응력 이상이고 또한 본체의 전강도의 75%이상이라야 한다.<sup>2)</sup> 말뚝의 이음부는 위치에 따라서는 구조물 완성 후에 이음에 작용하는 힘이 말뚝의 전강도보다 훨씬 작게될 경우도 있으나 시공할 때의 타입응력, 장래의 하중증가 및 단면에 생기는 예측못한 응력에 대해서 이음의 안전을 기하려면 이음은 말뚝 본체의 전강도의 75%이상의 강도를 갖지 않으면 안되는 것으로 한 것이다.

앞에서 75%를 언급한 것은 말뚝의 구조물기초로서의 거동과 관계없는 운반 및 시공시의 강도를 감안한 것으로 보인다. 그러나 국내 대부분의 말뚝기초의 지지력이 말뚝재료의 허용압축응력에서 결정된다는 점을 감안하면 이음의 강도가 설계응력 이상이어야 한다는 규정에 의거하여 이음부가 본체와 동등 이상의 강도를 가져야 할 경우가 대부분일 것이다.

이음부의 휨강도에 대하여 한국공업규격에는 다음과 같이 되어있다.<sup>7)</sup>

-이음부의 휨강도는 규정된 본체의 휨강도와 같거나 그 이상이어야 한다.

-이음부의 휨강도시험에 있어서 이음부의 휨모멘트가 규정된 균열휨모멘트에 달했을 때의 처짐량과 처짐곡선은 각각 이미 측정된 이음부가 없는 경우의 처짐량 및 처짐곡선과 거의 같아야 한다.

-이음부의 휨강도시험은 지간의 중앙에 이음부분을 일치시키고 규정된 본체의 휨강도시험에 따라 행한다.

-이음부의 휨강도에 대하여서는 본체에 준한 검사를 행한다.

이상에서 알 수 있듯이 이음부가 본체와 동등 이상의 강도를 가져야한다는 것은 필수적인

조건이다.

이음부는 또한 내구성이 있어야한다. 이 요건을 만족시키기 위하여 Simcox and Buchanan(1979)은 적합한 피복두께를 가질 것을 제시하였고,<sup>17)</sup> Young and Reddaway(1979)는 에폭시를 사용하였으며<sup>19)</sup>, Fellenius(1979)는 원형 테를 권유하였다.<sup>14)</sup> 그러나 이음부의 내구성은 본체에 비하여 작은 것으로 생각된다. 예컨대 강말뚝에서도 여러가지 방식처리가 용접등의 가공으로 인하여 기능의 저하를 초래하게 된다고 생각되는 것이다.

(3) 이음의 형상

- 한국공업규격에는 다음과 같은 규정이 있다.<sup>7)</sup>
- PC파일의 이음부는 본체와 동등한 성능을 가진 구조이어야 한다.
- PC강재의 끝부분은 이음부에서 철물에 정착시켜야 한다.
- 이음의 단면은 PC파일의 축선에 대하여 직각이어야 한다.
- 이음 끝부분의 바깥지름의 허용차는 규정된 PC파일의 바깥지름에 대하여 +0.5mm, -3mm이다. 다만 파일을 이을 때 이음부 철물 상호간의 바깥지름의 차는 2mm 이하이어야한다.

이 밖에도 상하파일의 단면이 허용치 내에서 일치할 것, 수직을 유지할 것 등이 규정되어 있다. 이음부의 존재로 인해 우려되는 파일의 수직성에 있어서 Bredenberg and Broms(1979)는 1:75로 보았고<sup>11)</sup>, Canadian Geotechnical Society(1985)에서는 1:100으로 하고 있다.<sup>12)</sup>

이 밖에도 Canadian Geotechnical Society(1985)에서는 타입시 상하파일간의 간격은 0.5mm 이하를 유지하도록 하고 있으며<sup>12)</sup>, Bredenberg and Brom(1979)는 이에 관해 파동 방

정식을 이용하여 연구한 바 있다.<sup>11)</sup>

또한 Curtis(1977)는 이음부의 요건으로서 현장에서의 시공이 용이하고 신속해야할 것을 강조하였으며<sup>13)</sup>, Simcox and Buchanan(1979)은 비틀림강도에 대해서도 언급하였다.<sup>17)</sup>

(4) 이음부의 요건

이상의 결과를 종합하면 이음부의 요건은 다음과 같다.

- 압축, 인장 및 휨강도가 파일본체와 같아야 한다.
- 내구성이 있어야 한다.
- 수직성을 유지하고 상하부파일의 단면이 일치해야 한다.
- 현장에서의 시공이 용이하고 신속해야 한다.

그러나 이 조건을 만족한다고 하더라도 이음 시공된 파일은 그렇지않은 경우보다 허용응력을 낮게 평가하고 있다. 이는 파일에서는 이음의 방법과 개소수에 따라 표1.과 같이 허용응력을 줄인다.<sup>2, 8)</sup>

타입말뚝이 아닌 경우에는 이음에 의한 허용응력의 감소율을 타입말뚝의 감소율의 1/2을 본다.

8.6.3 콘크리트계 말뚝의 이음

(1) 보통 PC말뚝의 이음

가. 개요

현재 국내에서 시행되는 많은 말뚝기초공사는 공장에서 생산된 철근콘크리트말뚝(프리텐션방식 원심력 프리스트레스트 콘크리트말뚝, 이하 'PC말뚝'이라 한다)을 항타기로 타입하는 방법을 사용하고 있다. 이 방법은 비교적 확실하고 간단하면서 많은 경험이 축적되어 있는 장점이 있다.

표 1. 말뚝이음에 의한 허용응력도 감소율

이 음 방 법	용 접 이 음	볼 트 식 이 음	총 전 식 이 음
감 소 율	5%/개소	10%/개소	최초 2개소 20%/개소 3개소째 30%/개소

그러나 현재 국내에서 생산되는 PC말뚝은 최대길이가 15m에 불과하므로 깊은 매립지나 기타 특수한 지반과 같이 지지층까지의 깊이가 15m를 초과하는 경우에는 사용이 곤란하다. 또한 지반조사결과가 부정확하거나 지지층까지의 깊이변화가 심한 경우 또는 제품의 수급이 용이하지 않은 경우에는 이미 반입된 말뚝이 지지층까지 도달하지 않는 경우가 종종 발생한다.

이 때에는 두개 이상의 말뚝을 이어서 시공해야 한다. 이 경우는 이음에 대한 준비가 전혀 되어 있지 않은 보통의 PC말뚝을 사용하게 되는 경우와 공장에서 미리 이음을 고려하여 생산한 말뚝을 사용하는 경우등의 2가지로 크게 나눌 수 있다. 그러나 전자의 경우는 아직 안전성과 실용성이 고려된 기법의 정립이 되어 있지 않은 실정이고 후자의 경우는 주문생산에 의존하므로 적시성과 경제성이 크게 뒤지며 게다가 이미 보통의 PC말뚝이 반입된 후에 이음 시공의 필요성이 발견된 경우에는 시간과 금전적 손실이 매우 커진다.

PC말뚝 대신에 강관말뚝을 사용하는 방법은 현행 말뚝공법의 이러한 문제점을 보완할 수 있는 유용한 방법이지만 가격이 비싸다는 등의 단점이 있다. 다른 방법으로는 현장타설말뚝의 사용을 들 수 있는데 이 방법도 현행 말뚝공법의 문제점을 보완할 수 있는 유용한 방법이지만 시공이 어렵고 경제성도 아직은 떨어진다는 등의 문제점을 안고 있다.<sup>5)</sup>

#### 나. 일본의 예

이음시공을 미리 고려하지 않고 생산된 보통 말뚝의 이음에는 충전식이 많이 사용되고 있다. 충전식 이음은 상하말뚝을 강관으로 연결하고 그 사이에 철근콘크리트를 충전시키는 방법으로서 말뚝이 압축하중이나 단지 작은 휨모멘트를 받는 경우에 사용될 수 있는 간편한 방법이다.

일본에서 사용하는 충전식 이음법은 다음과 같이 행해진다(그림8 참조).<sup>4)</sup>

- ① 하부파일의 상단이 지면위로 1m 정도 남

아있는 상태에서 타임을 중단한다.

- ② 강철로 제작한 이음밴드를 하부파일의 상단에 씌운다.
- ③ 이음용 철근틀을 파일의 내부에 삽입한 후 상부파일을 세운다.
- ④ 삽입된 철근틀에 충분히 쌓일 정도로 상부파일의 상단에서 모르타르를 타설한 후에 2차항타를 시작한다.
- ⑤ 타설 및 항타로 모르타르가 다져지며, 완료 후 경화를 시작하여 이음부를 보강한다.

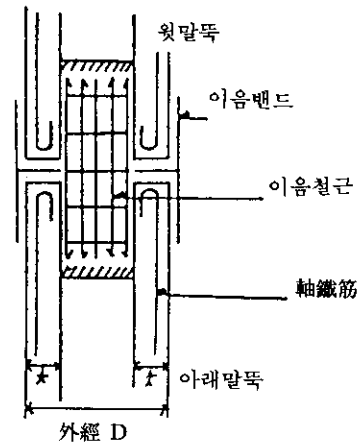


그림 8. 충전식 이음부의 구조도<sup>4)</sup>

이 방법에서는 이음부의 강도가 내부에 충전된 콘크리트에 주로 의존한다. 또한 시공도중에는 이음부에 강성이 거의 없으며 시공 후에도 콘크리트의 부착강도가 발현될 때까지 인장에 대한 저항이 작고 부착강도가 발현된다고 하더라도 그 값은 크지 않다. 요즘에는 별로 사용되지 않는다.

#### 다. 영국의 예<sup>18)</sup>

영국에서는 대부분 내부가 채워지고 단면이 사각형인 파일을 사용하고 있으며 시공법은 다음과 같다.

- ① 이음시공시 상·하 두 파일의 사이에서

고정될 수 있도록 중간에 다이아프램(diaphragm)이 설치된 강관이음부를 미리 제작한다. 강관이음부의 길이는 이음시공 할 파일폭의 4배, 두께는 10mm 정도이다.

- ② 하부파일을 지반에 적당히 타입한 후 10~15mm 두께의 모르타르를 파일두부에 타설한다.
- ③ ①에서 제작한 강관이음부를 하부파일의 두부에 씌운다. 이 때 강관이음부의 중앙에 설치되어있는 다이아프램이 타설된 모르타르 속에 어느 정도 파묻힌다.
- ④ 다이아프램의 상부표면에 10~15mm 정도 두께의 모르타르를 추가로 타설한 후 각목 등으로 다진다.
- ⑤ 상부파일을 이음부에 끼우고 2차항타를 수행하여 완료한다.

이때 모르타르에 에폭시-레진(epoxy-resin)을 섞어서 사용하면 인장 및 휨에 대한 저항력을 증가시킬 수 있다. 레진의 콘크리트에 대한 부착이 유효한 시간은 부정확하다. 그것은 따뜻하고 습기찬 조건에서 더욱 짧은 기간일 것이다.

PC말뚝을 이음시공하는 또다른 방법은 말뚝머리로 구멍을 뚫는 것이다. 이 때 이음용 말뚝으로부터 튀어나온 철근은 시멘트 그라우트나 에폭시-레진 모르타르를 사용하여 이 구멍으로 그라우트된다.

단순히 짧은 길이만큼 말뚝을 연장할 필요가 있는 경우에는 주철근의 노출을 위해 콘크리트를 잘라내고 철근직경의 40배의 거리만큼 철근을 이어서 연장할 수 있다. 새로운 길이의 철근은 이 때 튀어나온 철근에 이어지고, 거꾸집이 설치되고, 그리고 연장부에 콘크리트를 친다. 보통의 보강콘크리트에서 이 기법에 의해 프리스트레스트콘크리트말뚝을 연장하는 것이 통상적이다. 이 방법의 단점은 계속 타격을 위해 충분한 강도를 얻기 위해 새로운 길이에 대해 요구되는 시간이다.

라. 국내의 경우

국내에서는 충전식의 적용에 있어서 일정한 기준 없이 행해지고 있으나 최근에 이에 관한 연구결과가 발표된 바 있다.<sup>3,6)</sup>

그 결과에 따르면  $\phi 350\text{mm}$  A형 PC말뚝을 사용하는 경우 강관이음부의 두께는 4.5mm 이상으로 하고 길이는 1,050mm(말뚝지름의 3배) 이상으로 해야한다. 또한 강관이음부의 중간에는 강관이음부가 미끄러져내리지 않기 위한 장치가 필요하며 이를 위한 약간의 절개는 안전상 별 문제가 없다.

파일이음부위에 대한 내부충전길이는 강관이음부길이 이상으로 하고 내부보강철근의 철근비는 단면의 0.8% 이상으로 한다. 이음시공한 경우에는 그렇지 않은 경우에 비해 20%의 지지력을 감소하여 설계한다.

시공에 있어서 하부파일의 타입시의 손상 및 거동시의 모멘트분포 등을 고려하여 상부파일보다 짧은 것을 사용한다. 편심하중에 의한 과도한 응력발생 및 구조물 기초로서 거동시 문제발생을 최소화하기 위해 시공시 파일의 수직유지에 각별히 유의한다. 특히 하부파일 타입시 충분한 쿠션재를 사용하여 파일두부를 보호해야 한다.

충전재는 이음부의 간극에 충분히 채워질 수 있도록 골재의 최대입경 및 슬럼프치를 조절하고 하부파일 내부의 저면으로부터 이음부위까지의 채움재로는 모래나 양질의 토사를 사용한다.

이같은 기준에 의거하면 효과적인 이음시공을 할 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 이 방법을 적용하는 데는 현장조건에 따른 현장기술자의 판단이 필수적이며 시공시 세심한 주의가 요망된다.

## (2) 이음시공용 말뚝

### 가. 개요

이상에서 살펴본 것은 보통 PC말뚝의 이음시공이었으나 말뚝의 공장생산시에 이음시공을 고려하여 제작하면 더욱 효과적으로 상황에 대처할 수 있을 것이다. 이러한 생산방식은 또한 운반, 보관 등을 위한 불필요한 보강의 감

소, 소형 항타기의 사용 등의 효과도 얻을 수 있다.

이와 같은 목적을 위하여 파일을 단위길이로 생산하고 시공시에는 이들을 연결하여 사용하는 '부품화 기성철근콘크리트말뚝(Sectional, Spliced or Modular Precast Reinforced Concrete Pile)' 이 개발되어 왔다. 이 말뚝은 주로 지지층의 깊이가 깊은 북구쪽에서 많이 사용되고 있으며 다른 나라들에서도 나름대로의 방법을 개발하여 사용하고 있다.

여기서는 부품화 기성철근콘크리트말뚝에

대하여 알아보고 이 말뚝의 국내적용가능성을 고찰하기로 한다.

나. 부품화 기성철근콘크리트말뚝의 특징  
부품화 기성철근콘크리트말뚝의 특징은 다음과 같다.<sup>16)</sup>

- 운반이 쉽다.
- 형태, 길이 및 저장 등의 표준화가 용이하므로 공기단축 등의 효과가 있다.
- 품질향상 및 비용절감이 가능하다.
- 짧은 타입장비를 사용할 수 있다.
- 힘이나 조작 등에 따른 불필요한 보강을

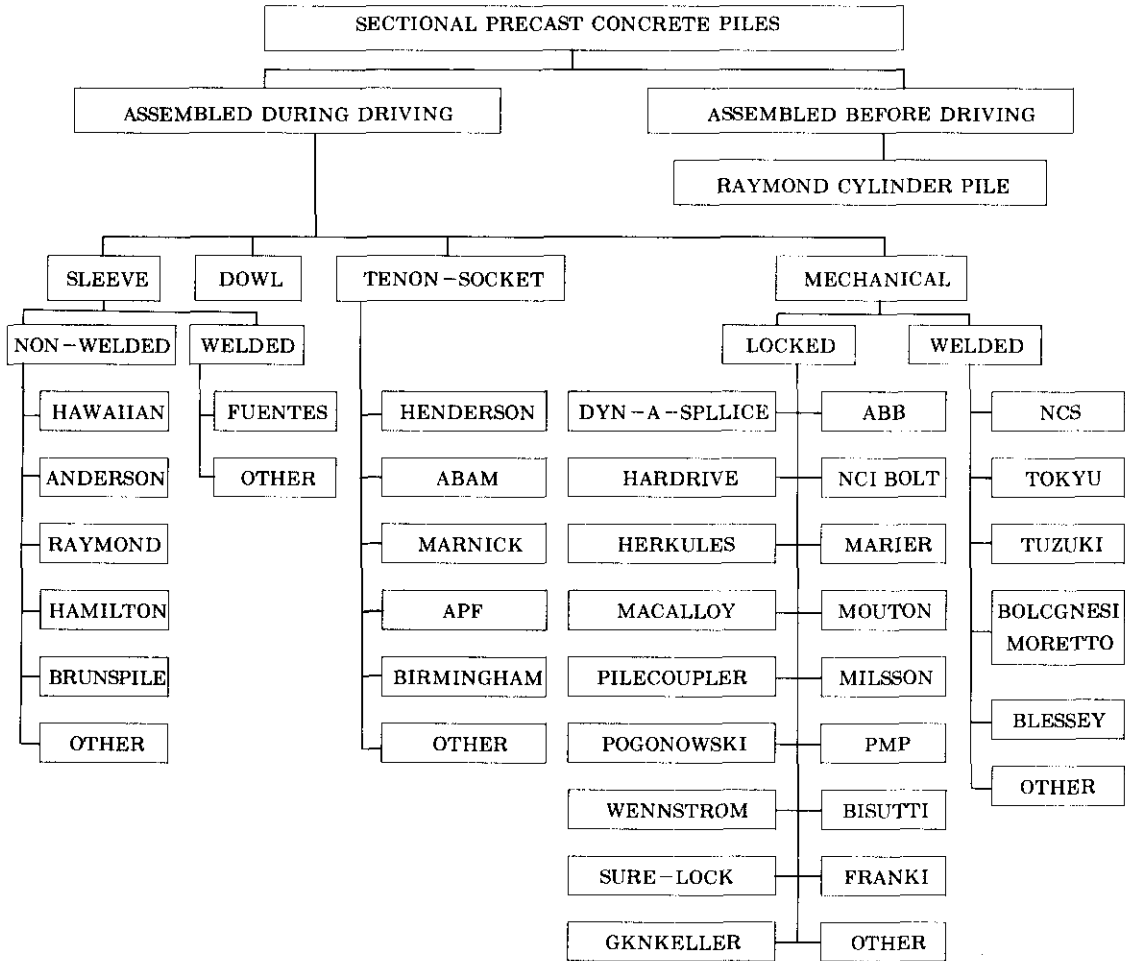


그림 9. 부품화 기성철근콘크리트말뚝의 종류<sup>15)</sup>

배제할 수 있다.

-두부손실량을 줄일 수 있다.

이 밖에도 지지층이 매우 깊거나 중간경질층이 존재하는 경우에도 적용할 수 있다는 등의 특징이 있다.<sup>13, 17, 19)</sup>

그러나 부품화 기성철근콘크리트말뚝은 이 방법에 필수적으로 수반되는 이음부의 장치에 따른 비용증가 등의 문제점도 있다.

다. 종류

부품화 기성철근콘크리트말뚝은 사용되는 콘크리트의 강도나 단면의 형태 등에 따라서도







여러가지 종류가 있을 수 있으나 이들 요소는 일반 말뚝의 경우와 크게 다르지 않으므로 주로 이음부의 형태와 방식에 따라 분류한다.

이음부의 형태와 방식에 따른 부품화 기성철근콘크리트말뚝의 종류를 그림 8. 14에 보이고 있다.<sup>15)</sup> 이들은 대부분이 특허로 등록되어 있다. 이들의 특징 및 형태는 관련문헌을 참고하기 바란다.

라. 현황 및 전망

국내에는 오래전부터 표2에 보이는 것과 같은 여러가지 방법들이 사용되어 왔다. 그러나

표 2. 국내에서 사용되는 이음시공방식

번호	명 칭	약 도	사용구분	타력전달
1	밴드식 Band Type		R·C 용	70%
2	장부식 Tenon Type		R·C 용	80%
3	장부용접식 Tenon&Welding Joint		R·C P·C 결 용	90%
4	밴드용접식 Band Welding Joint		R·C P·C 결 용	100%
5	볼트식 Bolt Joint		R·C P·C 결 용	100%
6	좌판용접식 Sead Plate Welding Joint		P·C 용	100%

이 방법들은 실제 현장에서의 시공이 어렵고 안전성의 문제도 확실치 않다. 게다가 제작과정이 까다롭고 부가가치가 높은 것도 아니어서 각 말뚝생산업체에서는 제작을 꺼려하고 있으며 특별한 주문이 있을 경우에만 만들고 있다.

그러나 최근 PHC 말뚝의 도입으로 인하여 어느 정도 이 문제는 해소되고 있다. PHC 말뚝은 상당한 정도의 항타에 대해서도 견디므로 이음을 전제로 하여 생산되고 있다. 다만 아직도 PHC말뚝보다는 PC말뚝의 사용이 많으므로 이를 위한 대비도 필요한 실정이다.

### 8.6.4 강말뚝의 이음

#### (1) 개요

강말뚝은 아크용접이음으로 하는 것이 가장 확실하고 공비도 다른 방법에 비교하여 일반적으로 싸다. 그러나 최근에는 가스압접 등 다른 신공법이 개발되고 있으므로 시험 등에 의해서 충분히 검토하여 안전이 확인되면 다른 방법을 사용하여도 좋다. 용접의 설계에 대해서는 전문서적을 참고하기 바란다.

첨접판(添接板)을 볼트 또는 리베트로 접합하는 방법도 있으나 시공 정밀도에 의문이 있어 널리 사용하지 못하고 있다.

#### (2) 강관말뚝의 이음

강관말뚝의 용접이음으로서는 현재 소켓을 사용하여 전둘레를 맞대어서 용접하는 방법이 일반적으로 사용되고 있으며 외주에 칼라를 붙인 살붙임 용접은 별로 사용되지 않고 있다.

강관말뚝의 이음은 현장이음과 공장이음이 있다. 현장이음은 용접이음이 쓰여지고 있고 전자동용접, 반자동용접, 손용접의 3종이 있다. 용접방법의 특징은 관련문헌을 참고하기 바란다.<sup>9)</sup>

#### (3) H형 강말뚝의 이음

H형강말뚝의 이음에는 말뚝본체를 서로 맞대어서 용접하는 방법과 첨접판을 사용한 살붙임 용접이 있다.

말뚝본체를 서로 맞대어서 용접하는 경우에는 그림10과 같이 밀의 말뚝상단은 말뚝축에 직각인 평면으로 하고 위의 말뚝하단은 루드베

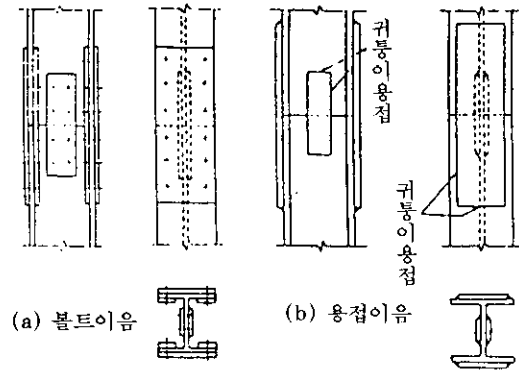


그림 10. H형강말뚝의 맞대임용접 예<sup>9)</sup>

이스 24mm 이하, 개선각도 50° 이상을 1방향 또는 2방향으로 붙여서 V형 또는 K형 맞대임 용접으로 한다.

첨접판을 사용한 살붙임 용접의 경우에는 현장이음을 구성하는 상하 말뚝단면은 말뚝축에 직각인 평면으로 하고, 이음강도는 말뚝단면의 접촉에 의한 응력전달을 가산치 않고 첨접판과 살붙임 용접만의 강도에 의한다.

#### (4) 기타

이음부에 용접해야 될 상하말뚝의 판두께가 다를 때에 그 차가 4mm 이하일 때는 판에 길이 방향의 경사를 붙이지 않아도 좋다.

해양구조물에서 말뚝을 연장할 때 용접위치는 가능하다면 해저 아래에 위치하도록, 또한 더 높은 높이에 위치한다면 부식을 덜 받도록 미리 결정되어야 한다.

강말뚝에서 용접이음을 위해 채택된 규준은 재하와 타격조건을 고려해야 한다. 예를 들어, 단지 압축하중만을 전달하고 양호한 조건에서 타입되는 말뚝은 토질선 아래의 용접에 대한 비파괴시험을 포함한 엄격한 규준을 요하지 않는다. 반면에, 해양구조물에서 커다란 휨모멘트를 받는 말뚝은 용접보일러나 압력용기에 대해 적절한 규준에 대한 조언이 말뚝 제작자로부터 찾아져야 한다.

### 8.6.5 현장타설말뚝의 이음

현장타설말뚝은 주철근을 바구니 형상으로



조립하여 삭공재에 건입하면서 이음을 시공할 필요가 있으므로 주철근의 이음이 1단면에 집중해버린다. 이 때문에 강도, 응력 등의 설계상의 배려, 시공의 용이성, 정확성, 속도 등의 시공상의 유리함을 고려한 이음위치의 선택이 필요하다.

주철근의 건입시의 이음은 이상의 사항을 고려하면 겹이음을 사용하는 것이 일반적이다. 겹이음의 약점은 이음부분에 주철근의 항복내력을 상회하는 큰 응력이 반복작용하면 콘크리트가 떨어져 나와 철근과 콘크리트의 부착력이 극단적으로 저하하여 철근콘크리트로서의 소유내력을 손상받는다. 따라서 이음위치는 말뚝 몸체의 휨모멘트에 대하여 내력의 여유가 비교적 많은 곳에 설정할 필요가 있다. 겹이음은 결정된 깊이를 종합하여, 건입시, 콘크리트 타설 중에 어긋나는 것이 없도록 충분한 결속을 행한다.

철근의 이음에는 겹이음 이외에 기계식 이음, 압접이음, 용접이음이 있다. 압접이음은 현장타설말뚝처럼 조립된 바구니 형상의 주철근의 이음에는 쓰이는 것이 불가능하다. 또한 용접이음도 건입시의 시공성, 관리체제에 난점이 많고, 일반적으로 쓰여지지 않는다. 기계식 이음은 겹이음의 신뢰성이 불안한 대구경철근을 쓰는 경우와 빈 두부의 제한이 심하고 바구니 형상으로 조립한 주철근의 길이가 짧게 되어 겹이음이 적당치 않은 경우에 사용되고 있다.

### 8.6.6 합성말뚝의 이음

일반적으로 쓰여지고 있는 합성말뚝은 팽창성콘크리트를 원심력다짐을 행하여 제조하는 속 빈 원환단면의 강관 콘크리트말뚝(SC말뚝)이다. SC말뚝은 휨 내력이 크고 일반적으로 큰 응력이 발생하는 윗 말뚝만에 쓰이며 아래말뚝에는 PHC말뚝이 쓰이는 것이 많다. 따라서 이음은 아래말뚝의 내력보다 큰 강도가 되면 좋다.

## 8.7 말뚝의 부식

### 8.7.1 개요

말뚝은 흙이나 지하수 속의 유해물질, 유기물 및 기계적인 침식에 의해 손상될 수 있다. 해안에 설치된 나무말뚝은 흙과 물에 들어있는 나무를 손상시키는 유기물의 영향을 받는다. 나무말뚝은 또한 해충으로 인한 피해를 입으며 배, 얼음, 기타 부유물로 인한 침식이 우려된다. 한편 해안에서 파도에 노출된 경우에는 조약돌의 움직임에 의해 손상된다. 강말뚝은 조건에 따라 부식의 우려가 있다.

말뚝의 손상은 유해물질의 농도, 지하수의 위치와 움직임 및 기후조건 등의 영향을 받는다. 이러한 손상은 적절한 방법으로 대비할 수 있으며 경우에 따라 상당한 비용을 요한다. 기술자들은 구조물의 수명과 일치하는, 또는 주기적인 보수와 갱신을 요하는 방법 중 적절하고 경제적인 것을 선택해야 한다.

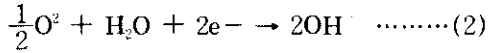
여기에서는 가장 문제가 되는 강말뚝의 부식에 대하여 원인, 기준 및 대책의 순서로 기술하기로 한다.

### 8.7.2 강말뚝의 부식<sup>9)</sup>

강말뚝은 재료의 압축강도와 인장강도가 비슷하고, 휨저항이 좋고, 충격에 강하여 재질이 균질하다는 것 등의 여러가지 장점이 있으나 부식에 의한 내구성의 저하가 그 단점이다. 지중에서는 강재의 부식은 토질, 수질 및 그것들의 전기적 상태, 강재의 재질, 지중의 박테리아 등의 요인이 관계한다. 따라서 지중에서의 강말뚝의 부식속도를 예측하기는 어렵다.

자연환경에 대한 강재의 부식은 전기화학반응에 근거하여 진행한다. 즉 표면처리와 환경의 차에 따라 강재면에 전위차가 발생하고 이것이 원인으로 되어 상대적으로 전위가 낮은 위치(양극)에서 높은 위치(음극)에 부식전류가 흐른다. 아노드에 대한 반응은 식(1)에서, 캐소드에 대한 반응은 식(2)에서 나타난다. 단, 식(2)는 자연환경(pH=4~10)에서의 캐소드 반응이다. 자연환경에 대한 부식반응은 식(1)과 식(2)의 조합으로 진행한다.





부식속도는 식(1)에 보인 반응보다는 반응속도가 더딘 식(2)에서 보인 반응에 지배되므로 자연환경에 대한 강재의 부식속도에 미치는 산소의 영향은 극히 크다.

흙안의 말뚝의 환경은 일반적으로 지하수위 위와 지하수위 아래로 나뉜다. 지하수위 위(대기중)의 부식의 특징은 ① 부식요인은 장기적으로는 아류산가스와 해염입자임, ② 녹층의 피복이 치밀하게 생성하면 부식량이 상당히 저하함 등이다. 지하수위 위에서는 산소의 공급이 풍부하면 부식량은 크게 된다. 지하수위 아래에서는 지하수의 움직임이 없으면 산소의 공급이 차단되므로 부식량은 작아진다. 또한 지하수위 상하를 관통하는 강말뚝에서는 수위 아래가 아노드, 수위 위가 캐소드로 되는 매크로셀의 발생이 고려되므로 일반적으로는 흙의 비저항이 크므로 그 발생은 계면부근에 한정된다. 만약 수위 위의 산소의 공급이 계속 되면 매크로셀의 영향은 무시할 수 없다. 이 밖에 전도체인 흙 안에서는 여러가지 원인에 의한 미주전류가 존재한다. 미주전류가 지중 금속구조물에 유입하면 이것이 다시 토양 또는 물로 유출하는 부분에 부식을 일으킨다. 이것을 전식이라 하며 특히 직류를 사용하는 전기철도에서 대지로 새는 미주전류에 의한 전식이 많다. 또한 전식량은 패러데이(Faraday)의 법칙을 써서 산출할 수 있다.

해상대기 중의 부식량은 해염입자의 존재로 인해 육상대기 중보다 크다. 더우기 아류산가스가 존재하는 해안지대에서는 아류산가스와 해염입자의 존재에 따라 강재의 부식량은 커진다.<sup>15)</sup> 강말뚝의 해수 중의 부식은 상당히 복잡한 양상을 띤다.

해저 아래의 흙 안의 부식량은 일반적으로 작다. 그러나 해저면의 표사의 현상이 일어날 때 마모에 따라 말뚝면에 부착물이 제거된 위치에는 부식이 집중한다. 유수중의 모래에 의한 금속의 손상을 샌드에로전이라 한다. 샌드

에로전은 코로존과 에로전의 중첩이며 유속 6m/s이하에서는 코로존만이 존재한다. 또한 오염해역에서는 오니가 퇴적하므로 유산염환원균에 의한 부식의 문제가 제기되어 있다. 이밖에 금속이 반복응력을 받은 결과 파괴하는 현상을 피로라 하고 부식환경과 상기응력의 조합에 따라 발생하는 피로를 부식피로라 한다. 바다속 말뚝에서는 부식피로의 문제도 있다.

### 8.7.3 부식기준치

강말뚝의 부식속도에 관한 기준의 예를 표3에 보인다.<sup>9)</sup> 표에 보이는 것처럼 건축·토목관계에서는 2mm 부식한도의 표준치로 하고 있다. 상기의 부식속도는 말뚝외면에 대해서는 값이 높고 말뚝내면에 대해서는 장기적으로는 산소량이 0으로 되므로 부식량을 무시할 수 있다고 되어있다. 그러나 이와 같이 부식속도를 획일적으로 정하는 것이 곤란한 경우도 있으므로 부식속도를 결정할 때에는 제반 조건을 충분히 파악하여 신중하게 판단해야 한다.

### 8.7.4 방식

#### (1) 방식의 필요성

교란되지 않은 흙에서는 장기간에 걸친 부식속도가 작을 뿐만 아니라 일정하므로 부식한도를 이용한 방법이 적용될 수 있다. 이와는 달리 특정부위에 부식이 집중하여 비교적 단기간에 구조물이 사용불능이 되는 경우가 있다. 이와 같은 집중부식속도는 표준적인 해수중 부식속도의 수배~10배 정도로 크다.

장기간에 걸쳐 부식환경의 불변을 기대하는 것은 대단히 곤란하다. 게다가 일부의 위치의 손상때문에 구조물을 개조하는 것은 대단히 비경제적이다. 따라서 해양구조물 등에 대해서는 적절한 방식조치를 적용하는 것이 불가피하다.

방식법은 일반적으로 방식성능, 시공성, 경제성 등을 고려하여 선정되며 예를 들면 인명에 관한 중요시설 등에서는 경제성보다도 안전성이 우선한다. 이 때문에 장기간에 걸쳐 방식효과를 확인하는 방식관리가 필요하게 되고 또한 방식관리의 용이성은 방식법의 선택에 중요

표 3. 강말뚝의 부식속도에 관한 기준<sup>9)</sup>

	기준·지침·시방서	부식속도 또는 부식한계
항 만 관 계	운수성 항만국 감수 : 항 만시설의 기술상의 기준 · 동해설 (1979.3.)(일본항만협회)	표준치 HWL이상 0.3mm/yr, HWL과 해저간 0.1mm/yr 해저니층중 0.03mm/yr, 육상대기중 0.1mm/yr 흙안(잔류수위위) 0.03mm/yr, 흙안(잔류수위아래) 0.02mm/yr 해 설 MLWL 직하부에 부식이 집중하는 케이스가 있고, 현저한 경우의 집중 부식속도는 1mm/yr정도로 됨을 소개하고 있다.
건 축 관 계	건축기초구조설계기준· 동해설(1975.5) (일본건축학회)	부식한계(0.2mm/yr를 잡으면 충분함)×내용연수
	건설성주택국건축지도 과장통달 806호(1978.11)	지반의 부식성시험을 행한 경우는 연간 부식한계(mm/yr)×80(또는 내용연수) 부식성시험을 행하지 않은 경우는 2mm
	동경도 건축구조설계지 침(1979.5)	연간부식한계(mm/yr)×80 말뚝의 주변 흙에 접한 표면 2mm 강재로 둘러싸인 안쪽의 표면(개단말뚝) 0.5mm
토 목 관 계	구조물설계표준해설,기술 구조물 및 말뚝토압 구조 물 등(1974.6.)(일본국유 철도)	말뚝의 주변 흙에 접한 표면 2mm, 강재로 둘러싸인 안쪽의 표면 0.5mm, 6cm 이상의 두께인 콘크리트에 접한 표면 0, 이들의 값은 중간 정도의 부식성인 지반에서는 80년 정도의 부식한계에 상당한다.
	설계기준(1978.4.) (阪神 고속도로공단)	부식한계 2mm를 표준으로 한다.
	설계요령 제 2 집(1978. 4.)(일본도로공단)	부식한계 2mm
	설계기준(제4차안)(1979. 4.)(일본하수도사업단)	말뚝이 흙 또는 물에 접한 면 2mm 강관말뚝 안쪽에 대해서는 고려하지 않아도 좋다.
	도로교시방서·동해설 Ⅳ하부구조편(1979.8.) (일본도로협회)	해수와 유해한 공장배수의 영향을 받지 않는 경우에는 환경의 부식성 조사를 행하지 않으며, 방식처리도 실시하지 않을때는 상시 불안 및 흙 안에 있는 부분(지하수안 부분을 포함)에 대해서는 2mm의 부식한계를 고려한다.
토지개발사업계획설계기 준, 설계, 頭首工上 (1978.10.)(농림수산성구 조개선국)	말뚝이 주변 흙에 접한 표면 2mm, 강재로 둘러싸인 안쪽의 표면 0.5mm, 6cm이상의 두께의 콘크리트에 접한 표면 0	

한 요인으로 된다.

(2) 방식대책

방식대책으로서는 일반적으로 다음방법이  
사용된다.

-강재의 두께의 증가

-콘크리트 피복

-도장, 보호막의 형성

-전기방식법

-상기 각종의 병용

이러한 방법의 선택은 지반의 부식과 구조물

의 내용년한에서 결정된다.

#### 가. 강재의 두께의 증가

설계강도상 필요한 두께 이외의 여잉 두께는 부식재료로 이용할 수 있다. 표3에 보이는 것처럼 토목·건축관계에서는 흙 안의 말뚝의 부식재료로서 2mm를 예상하는 경우가 많다. 부식재료는 부식속도(mm/yr)×설계수명(yr)으로 구해지고 일반적으로 부식속도로서 평균부식속도가 쓰여진다. 그러나 부식이 집중하는 위치에 대해서는 집중부식속도를 쓰는 것이 필요하다. 부식두께에 의한 방법이 적용될 수 있는 환경은 현장에서 한정된다. 해양구조물인 경우에 복잡한 환경에 폭로되어 또한 장기간에 걸쳐 환경을 균일 및 불면으로 하기 어려운 경우에는 부식두께만으로 처리하는 것은 곤란하고, 적절한 방지법을 적용할 필요가 있다.

연간 부식율이 표시하는 것과 같이 보통의 강재라도 그 두께가 감소하는 데는 상당한 시간을 요한다. 따라서 부식을 허용하는 강재두께의 손실년한이 구조물의 내용년한보다 길면 된다. 일반적으로 강재의 두께는 타입시의 소요강도에 의해 결정되어 설계하중 지지에 필요한 두께는 이것보다 적은 것이 보통이다. 예를 들면 외경 508mm의 강관말뚝으로서는 타입시의 변형이나 구부좌굴을 고려하여 9mm의 두께가 많이 사용되나 100t의 장기하중 지지에는 4~5mm 있으면 충분하다. 따라서 타입 후의 5~4mm는 과잉한 두께로서 부식을 허용하는 두께가 된다. 가령 부식도 3년간 부식률 0.025mm의 환경에서는 강재말뚝의 수명은 200~160년이 될 것이다. 또한 강말뚝은 용접이 가능하므로 1본의 말뚝중에서도 특히 부식성이 강한 환경에 있는 부분만을 두께가 두터운 것을 사용하거나 부분적으로 강판을 용접하여 전체적으로 부식에 대한 조화가 된 말뚝을 사용할 수 있다. 강말뚝의 두께에 의한 방지대책은 운반취급에 의한 손상도 없고 또한 유지관리도 필요치 않을 뿐더러 부식하기 이전은 말뚝재료의 강도가 증가되어 예상치 않은 외력이 가하는 경우에 유효하다.

#### 나. 콘크리트 피복

강말뚝 타입 후 부식성이 심한 지반면 부근을 부분적으로 콘크리트로 피복한다. 그 한 방법으로 말뚝을 싸고 외관을 타입하며 말뚝과 외관의 간극에 콘크리트를 충전할 수도 있다. 그러나 말뚝 전장에 걸쳐 피복할 수는 없으므로 이러한 일이 필요할 때는 강관말뚝 전길이에 걸쳐 콘크리트를 충전할 경우도 흑간 있다.

이 경우는 강재는 부식하고 모두 소실하여도 콘크리트가 하중을 지지한다는 것을 생각하여 강말뚝의 두께를 될수록 얇게 하는 것이 경제적이다. 또 피복에 있어서는 경화수축 및 외력에 의해 콘크리트에 균열이 발생하는 것을 방지하기 위해 철근이나 철강으로 보강할 것도 요망된다.

#### 다. 피복재에 의한 방법

##### ① 도장

해양구조물에서는 보수작업이 용이하지 않으므로 페인트와 도료를 혼합하여 두께를 유지하면서 방식성능의 향상을 도모한 증방식도장계의 도료가 사용된다. 이것의 전체 막두께는 해상대기용에서는 250~300 $\mu$ m, 물보라대용에서는 수 100~1000 $\mu$ m에 이른다. 페인트는 포함된 성분에 따라 무기계와 유기계로 나뉜다. 일반적인 비교로서는 방식성능에서는 무기계가 우수하고 시공성에서는 유기계가 좋다고 되어 있다. 도료에는 타르에폭시수지계, 애폭시수지계, 염화비닐계, 염화고무계 등이 있고 내구성에서는 타르에폭시수지계가 가장 우수하다.<sup>8)</sup> 단 이 계의 도료는 흑색이므로 미관을 문제로 하는 경우에는 다른 계의 도료를 사용하는 것이 좋다. 물보라대에 대한 내구수명은 종래의 도장계에서 2~3년 미만이었지만 증방식도장계에서는 5~10년 정도가 기대되고 있다. 도장의 내구수명은 관리의 수준, 막두께, 최적도장조건(온도, 습도, 도장간격 등)의 3가지가 충분히 확보된 때에만 기대할 수 있다. 따라서 도장에 있어서는 이 3가지를 충분히 갖추는 것이 필요하다. 증방식도장계 외에 금속과 도장을 병용하는 방법이 있다. 금속으로서 Al, Zn

이 사용되고 이들의 피막은 5~10% 정도의 간극을 포함하므로 처리를 행할 필요가 있다. 처리재로서 에폭시수지, 염화비닐수지등이 사용된다. 금속을 물보라대·간만대 방식에 적용할 때는 전기방식과의 병용이 바람직하다.

### ② 유기라이닝

유기라이닝은 도장에 비해 두껍게 시공할 수 있고(예를 들면 수mm) 내충격성, 내마모성, 내후성, 내해수성 등 우수한 점이 있으며 이들의 적용은 강관말쪽에 한한다. 유기라이닝에서도 관리, 막두께, 최적피복조건이 확보된 때에만 소정의 내구수명이 기대된다. 유기라이닝에는 고무라이닝, 수지라이닝, 폴리에틸렌라이닝, 플라스틱시트라이닝 등이 있다. 도장과 유기라이닝처럼 공장에서 시공된 피복재에는 운반, 건설시의 손상은 피할 수 없으므로 손상위치의 현지보정이 필요하다. 그러나 현지에서는 충분한 처리를 기대할 수 없으므로 현지보정은 어렵다. 항만시설의 물보라대 방식에는 현지에서의 시공이 가능한 피복방식공법이 바람직하다. 항만시설에서는 물보라대·간만대의 방식피복을  $\pm 0m$  부근까지 올릴 때 간만대의 방식전류 밀도는 해수중의 값보다 크므로 방식전류의 절감이 기대된다.

### ③ 무기라이닝

항만구조물에서는 물보라대 방식때문에 상부콘크리트를 HWL 이하까지 낮추는 경우가 있다.<sup>9)</sup> 이 경우 상재가 일반적으로 두꺼우므로 콘크리트가 양질이면 장기간의 내구성이 바람직하다. 그러나 철근콘크리트교 등의 조사예에서는 해수면상의 철근부식이 현저하다. 따라서 이 방법을 해수면상의 말뚝면에 적용하는 경우 콘크리트(모르타르) 피복의 방식성능은 피복의 상재와 품질에 좌우된다.

콘크리트(모르타르)피복층을  $\pm 0m$  또는 해수중까지 낮출 때 피복층직하부가 매크로셀의 아노드로 되어 부식이 쉬우므로 전기방식을 병용함이 바람직하다.

### ④ 금속라이닝

피방식위치에 금속판을 감아 붙이는 방법은

간편하지만 금속판의 부식도의 추정이 필요하다. 금속판에는 탄소강, 저합금강, 스테인레스강 등이 사용된다. 저합금강은 내식성에 유효한 원소를 소량 첨가한 것으로 내후성장과 내해수강(또는 내해수성강)의 2종류가 있다.<sup>9)</sup> 금속판의 두께는 예를 들면 물보라대 방식에서 20년을 목표로 한 경우 저합금강은 탄소강의 1/2, 스테인레스강은 2mm 정도라 일컫는다. 금속판의 덧붙임은 일반적으로는 용접에 의하며 저합금강을 사용할 때 공금속계의 전용 용접봉을 사용하는 등 용접에 의한 전지작용을 막는 배려가 필요하다. 또한 스테인레스강을 사용할 때 이종금속의 접촉으로 인한 부식을 막기위한 전기방식 등의 조치를 적용하는 것이 필요하다.

### 라. 전기방식법

#### ① 원리

부식전지의 양극 개로전위를  $E_a$ , 음극 개로전위를  $E_c$ 로 한다. 전해액 안(해수안, 흠안등)에 양자를 단락하면 부식전류가 아노드에서 유출하여 캐소드로 유입한다. 이 때 아노드의 전위는 높은 방향에, 캐소드의 전위는 낮은 방향에 변화하고 어느 점에서 일치한다. 이 교점에 상당하는 전위( $E$ )를 자연전위, 전류( $I_c$ )를 부식전류라 한다.

외부에서 강재에 직류전류가 유입하면 캐소드의 전위는 낮게 되어 마침내는 아노드의 개로전위  $E_a$ 와 같게 된다. 이 때의 전류( $I_p$ )를 방식전류, 전위를 방식전위라 한다. 방식전위에 대해  $E_c = E_a$ 로 된 것은 강재표면에 전위차가 소멸한 것을 의미한다. 즉 이 시점에서 부식이 억제된다. 이와 같이 외부에서 직류전류를 금속으로 유입하여 금속을 방식하는 방법을 전기방식법(음극방식법)이라 한다.

#### ② 전기방식의 2방식

##### - 외부전원방식

피방식체를 직류전원의 (-)극에 보조전극을 직류전원의 (+)극에 접속하여 피방식체에 통전하는 방식을 외부전원방식이라 한다. 직류전원으로서의 교류전원에 항압변압기와 정류

기를 조합하여 사용하고 보조전극에는 자성산화철, 규소철, 연합금, 백금(또는 백금도금)등이 있다. 해수중에서는 연에 은을 2% 정도 첨가한 연-은전극이 일반적으로 사용된다. 외부전원방식에는 방식전류를 콘트롤 할 수 있는 이점이 있는 반면 전기방식시설(전극, 전선, 전원 등)이 태풍, 지진 등에 의해 손상되기 쉽다.

#### -유전양극방식

피방식체보다 저전위의 금속을 양극으로서 접속하여 전류를 공급하는 방식을 유전양극방식이라 하고 저전위의 양극을 유전양극이라 한다. 유전양극에는 Al계, Zn계, Mg계가 있다. Mg계 양극은 유효전압이 최대이므로 비교적 높은 비저항의 몰속, 흡속에 사용할 수 있으며 자기 부식도가 크다. Zn계 양극은 자기부식이 약간으로 장기사용에 적당하고 자기조절작용을 갖는다. Al계 전극은 Zn계 양극과 같이 자기조절작용을 갖고 긴 수명(10~30년)에다가 가장 경험적이므로 항만환경에서는 거의 Al계 양극이 사용되고 있다.

### 참 고 문 헌

- 고속전철사업기획단(1991), 고속철도콘크리트구조물(RC 및 PC) 설계표준시방서(안), pp.244~251.
- 대한토질공학회(1987), 구조물기초설계기준해설, 서울, pp.260~294.
- 임종석, 한완균, 박찬국, 윤태정, 정상화(1992), "PC말뚝 이음시공용 강관이음부의 적정규격 결정에 관한 연구", 한국지반공학회 '92년도 봄 학술발표회 논문집, pp.103~113.
- 정림출판사(1983), 최신 콘크리트공법 핸드북, 서울, pp.104~106.
- 주택연구소(1989), 현장타설말뚝의 실용성 검토, 연구 '89-16, 대한주택공사, 서울.
- 주택연구소(1991), 철근콘크리트파일의 이음시공에 관한 연구, 연구'91-16, 대한주택공사, 서울.
- 한국공업진흥청(1989), 프리텐슨방식 원심력PC말뚝, 한국공업규격, 서울, pp.1~8.
- 土質工學會(1983), 杭基礎の調査・設計から施工まで, 東京, pp.120~123.
- 土質工學會(1985), 杭基礎の・設計法とその解説, 東京, pp.209~222, 535~588, 601~607, 629~635, 645~646.
- 日本建築學會(1988), 建築基礎構造設計指針, 東京, pp.318~322.
- Bredenberg, H. and Broms, B. B.(1979), "Joints Used in Sweden for Precast Concrete Piles", *Recent Developments in the Design and Construction of Piles*, ICE, London, pp.11~22.
- Canadian Geotechnical Society(1985), *Foundation Engineering Manual*, 2nd Ed., p.317.
- Curtis, R. J.(1977), "The Return of the Precast Pile", *Ground Engineering*, Vol.10, pp.24~26.
- Fellenius, B.H.(1979), Discussion, *Recent Developments in the Design and Construction of Piles*, ICE, London, pp.51~54.
- Fuller, F. M.(1983), *Engineering of Pile Installation*, McGraw-Hill Book Company, 1983, pp.9~17.
- Nunez, J., Cazio, L. and Maza, I.(1979), Discussion, *Recent Developments in the Design and Construction of Piles*, ICE, London, pp.46~51.
- Simcox, J. and Buchanan, N. W.(1979), "Use of Mechanically Jointed Precast Concrete Piles in the Central Belt of Scotland", *Recent Developments in the Design and Construction of Piles*, ICE, London, pp.23~31.
- Tomlinson, M. J.(1981), *Pile Design and Construction Practice*, 3rd Ed., A View point Publication, London, pp.254~279.
- Young, F. E. and Reddaway, A. L.(1979), "The Design, Development, Testing and On-contract Trials of a Modular Piling System", *Recent Developments in the Design and Construction of Piles*, ICE, London, pp.3~10.