

## 연직말뚝의 경사도 오차에 관한 해석적 연구

### An Analytical Study on Inclination of Vertical Piles

장정욱<sup>1)</sup>, Jang-Jeong Wook, 박춘식<sup>2)</sup>, Park-Choon Sik, 최차석<sup>3)</sup>, Choi-Cha Seog

<sup>1)</sup>국립 창원대학교 공과대학 토목공학과 부교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, of Changwon National Univ.

<sup>2)</sup>국립 창원대학교 공과대학 토목공학과 부교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, of Changwon National Univ.

<sup>3)</sup>국립 창원대학교 공과대학 토목공학과 석사과정, Graduate Student of Civil Engineering, of Changwon National Univ.

#### 개요(SYNOPSIS) :

This paper studied the effects of inclination of piles on pile behaviors. The following are the conclusions of this study. .

(1) When all the piles are inclined to a same direction, the piles reaction, maximum moment and horizontal displacement of footing increase as the angle of inclination increases.

(2) When the piles of each opposite side are inclined symmetrically, the vertical reaction either increases or decreases in proportion to the angle of inclination. In this case, the vertical reaction of inclined piles decreases but the vertical reaction of non-inclined piles increases.

주요어(Key words) : Vertical Pile, Inclination of Pile

## 1. 서론

일반적으로 토목공사는 이론을 바탕으로 하는 설계가 선행되고 그 설계에 근거하여 공사를 수행하게 된다. 그러나 공사를 수행함에 있어 시공기술, 주변 및 자연 환경 등의 여러 가지 원인으로 인하여 시공이 설계대로 이루어지지 않는 경우도 실제 현장에서는 많이 발생되고 있다. 이러한 설계와 시공간의 오차는 구조물에 예상치 못한 결함을 만들어 안정성과 경제성에 상당한 영향을 미칠 수가 있다. 이와 같은 문제에 대한 해결책으로는 가능한 한 시공 오차가 발생되지 않도록 시공을 수행하는 것일 것이다. 그러기 위해서는 지반 및 그 외 시공 여건에 대한 확실한 정보를 획득하여 시공성을 철저히 고려한 설계가 이루어져야 하나 현실적으로 그러하지 못한 경우가 많다.

특히, 말뚝 기초에서 말뚝이 편심되어 시공된다든지 경사져 시공되는 경우가 종종 발생하지만 말뚝의 편심 및 경사가 말뚝 거동에 미치는 영향에 대한 연구 결과 및 data가 의외로 많지 않아 현장에서 발생하는 문제점 해결에 어려움이 있는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 말뚝의 경사가 말뚝 거동에 미치는 영향을 해석적으로 검토하고 말뚝의 경사도와 경사진 말뚝의 위치 및 배열 상태를 변수로 하여 말뚝 두부의 수직 및 수평반력, 말뚝에 발생하는

최대모멘트 그리고 푸팅의 수평변위량의 변화를 해석하였다.

## 2. 연구방법

연구에 사용된 대상 말뚝의 평면도는 그림 2.1과 같으며 하중 조건으로는 연직하중만을 부여하였고 모든 하중은 푸팅의 도심에 작용하는 것으로 가정하였다.

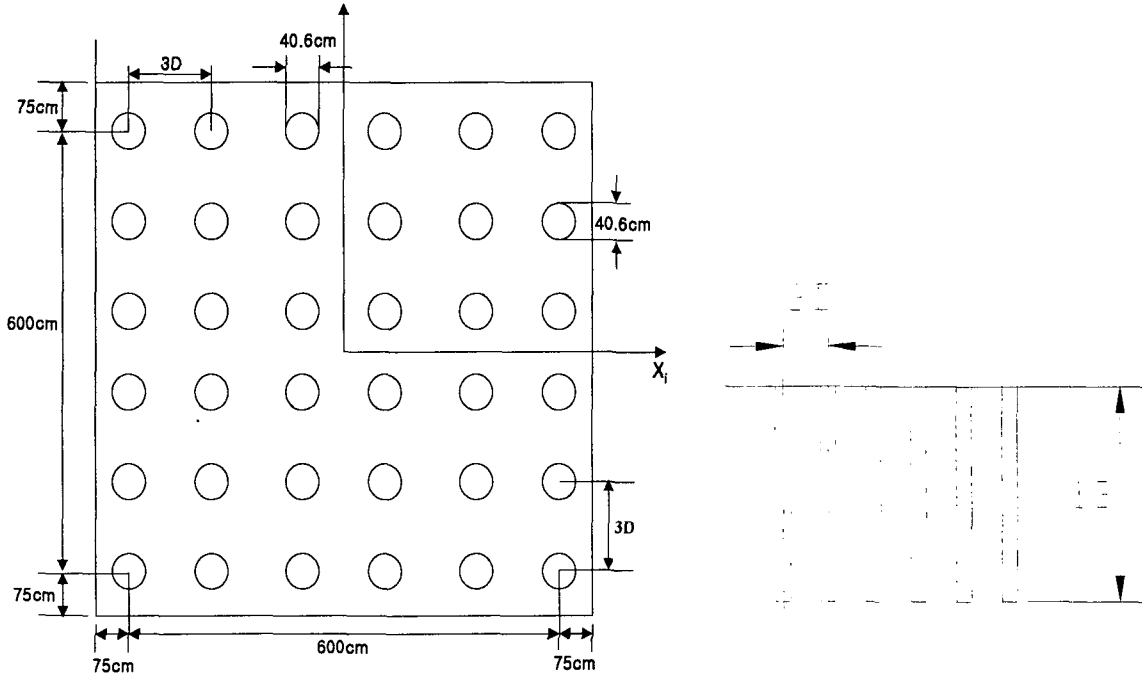


그림 2.1 말뚝의 설계 배치도

말뚝의 가정 모형도는 크게 i) 모든 말뚝이 동일한 방향으로 경사져 시공된 경우, ii) 말뚝이 도심에 대해 대칭적으로 경사진 경우, iii) 도심을 기준으로 한쪽 방향만 경사진 경우로 나누어 검토를 하였으며 i)의 경우는 1열부터 6열이 각각 좌, 우로 동일한 방향으로 경사진 경우를 검토하였고 ii)의 경우는 1열과 6열이 각각 좌, 우로 대칭적으로 경사진 경우를 검토하였다. 또한 iii)은 도심을 기준으로 한쪽만 경사진 경우는 6열만 경사진 경우와 4,5,6열만 경사진 경우로 나누어 검토하였다.

이러한 조건하에서 말뚝의 경사도를  $2^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 로  $2^{\circ}$ 씩 변화 시키며 연직 말뚝일 때, 즉 말뚝의 경사도가  $0^{\circ}$ 일 때와의 반력의 증감 여부와 변화 정도 그리고 푸팅의 변위정도를 검토하였다.

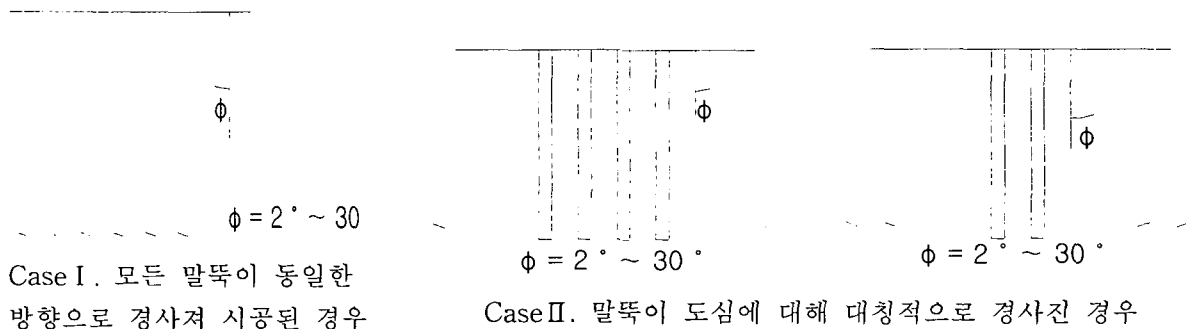
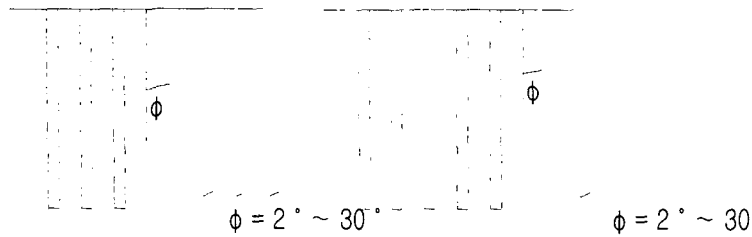


그림 2.2 연구대상 말뚝들의 모형도(I)



CaseⅢ. 한쪽 방향만 경사진 경우(비대칭인 경우)

그림 2.2 연구대상 말뚝들의 모형도(Ⅱ)

### 3. 결과 분석

#### 3.1 모든 말뚝이 동일한 방향으로 경사져 시공된 경우 (Case 1)

말뚝이 설계대로(연직) 시공되었을 경우에는 연직하중만을 부여하였으므로 말뚝두부에 작용하는 반력으로는 수직반력만 발생되게 되며, 그 크기는 1열~6열까지 모두 동일하다. 이때의 반력을 기준으로 하여 말뚝이 경사진 경우의 반력의 증감비를 구하였다.

그림 3.1~3.6에 나타난 바와 같이 모든 말뚝이 동일 방향으로 경사져 시공된 경우 경사각이 커짐에 따라 수직반력의 증감비, 수평반력의 절대치, 최대 수직·수평반력, 최대 모멘트 및 푸팅의 수평 변위량 모두가 커짐을 알 수 있다.

또한 수직 반력의 증감비와 수평 반력의 절대치는 하중 작용 위치로부터 말뚝 중심까지의 거리에 비례하여 증가함을 알 수 있다. 그러므로 하중 작용 위치로부터 거리가 먼 말뚝일수록 경사 시공에 의한 영향이 커짐을 알 수 있다. 그리고 경사도 약 10°를 경계로 급격한 증가 추세를 보임을 알 수 있다.

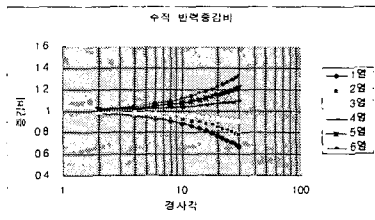


그림 3.1 수직 반력 증감비

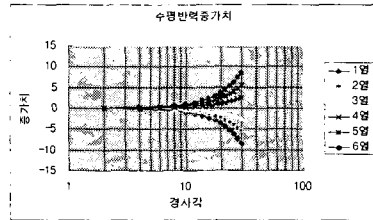


그림 3.2 수평 반력 증가치

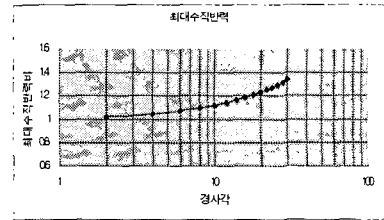


그림 3.3 최대 수직 반력

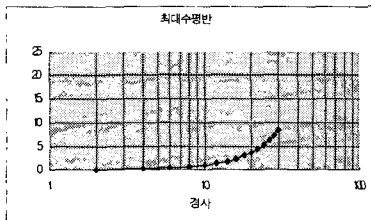


그림 3.4 최대 수평 반력

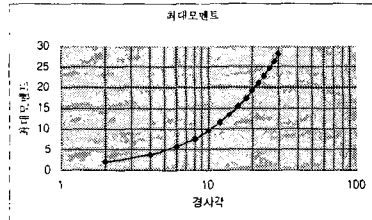


그림 3.5 최대 모멘트

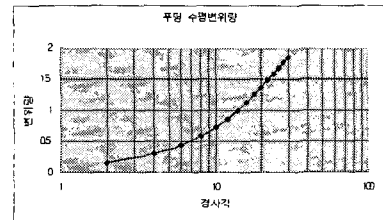


그림 3.6 푸팅의 수평 변위량

#### 3.2 말뚝이 도심에 대해 대칭적으로 경사져 시공된 경우(Case Ⅱ)

양단의 말뚝이 대칭적으로 경사진 경우 경사도가 증가함에 따라 수직 반력은 비례적으로 증감됨을 알 수 있다. 그리고 CaseⅡ-1과 CaseⅡ-2의 수직 반력 증감비를 비교해 보면, 경사 말뚝의 수직 반력 감소비는 CaseⅡ-1의 경우가 크고, 연직 말뚝의 수직 반력 증가비는 CaseⅡ-2의 경우가 크다. 즉 경사진 말

뚝의 수직 반력이 감소되는 만큼 연직 말뚝의 수직 반력이 증가됨을 알 수 있다.

또한 최대 수직·수평반력, 최대 모멘트는 경사각이 커짐에 따라 증가하였으며, 푸팅의 수평변위량에는 변화가 없다. 그리고 이 경우에도 경사각 약 10°를 경계로 급격한 증가 추세를 보였다.

### 3.2.1 열, 6열이 경사(Case II -1)

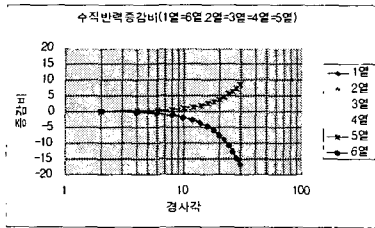


그림 3.7 수직 반력 증감비

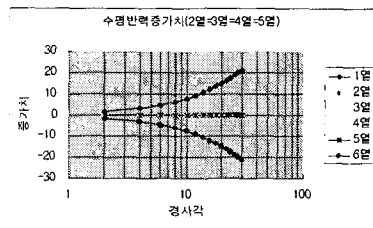


그림 3.8 수평 반력 증가치

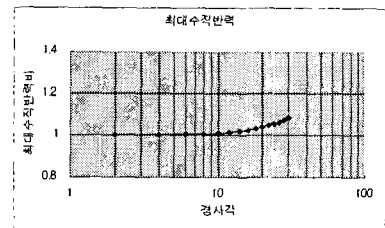


그림 3.9 최대 수직 반력

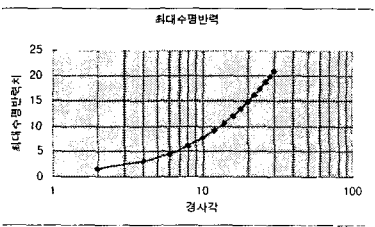


그림 3.10 최대 수평 반력

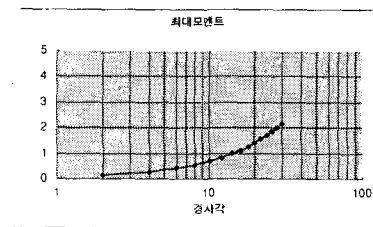


그림 3.11 최대 모멘트

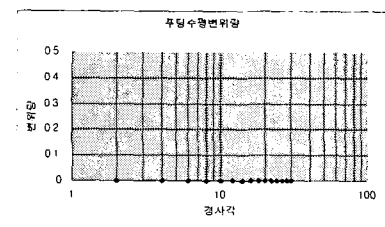


그림 3.12 푸팅의 수평 변위량

### 3.2.2 1열, 2열, 5열, 6열이 경사(Case II -2)

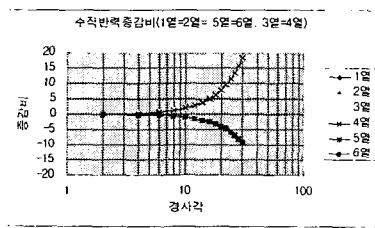


그림 3.13 수직 반력 증감비

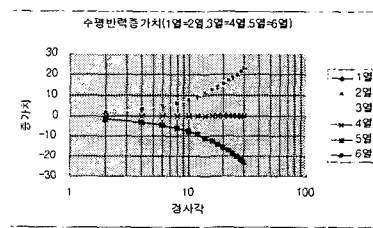


그림 3.14 수평 반력 증가치

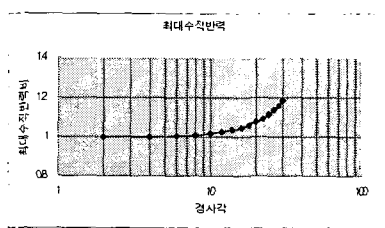


그림 3.15 최대 수직 반력

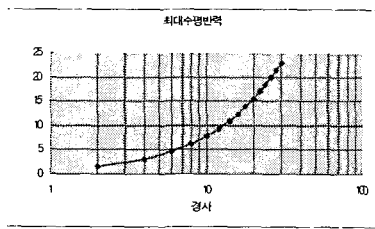


그림 3.16 최대 수평 반력

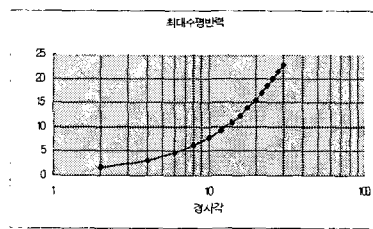


그림 3.17 최대 모멘트

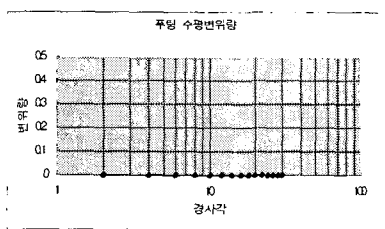


그림 3.18 푸팅의 수평 변위량

### 3.3 한 방향으로만 경사진 경우(비대칭 경사 Case III)

Case III-1과 Case III-2에 나타난 결과와 같이 Case III-2의 경우가 최대 수직 반력, 최대 수평반력 그리고 최대 모멘트 모두에서 증가비가 훨씬 큰 것으로 나타났다.

말뚝이 비대칭적으로 경사진 경우 경사 말뚝의 반력 감소를 주위 말뚝이 부담하여 경사 말뚝의 열 수에 비례해서 최대 수평 반력비의 증가가 커지는 것으로 판단된다.

또한 대칭적으로 경사진 CaseⅡ와 비대칭적으로 경사진 CaseⅢ를 비교해 보면 최대 수직 반력, 최대 모멘트 그리고 푸팅 수평 변위량의 경우는 비대칭적으로 경사진 경우가 대칭일 때보다 크게 나타났고 또한 최대 수평 반력의 경우 대칭으로 경사진 경우가 크게 나타났다.

### 3.3.1 6열만 경사(CaseⅢ-1)

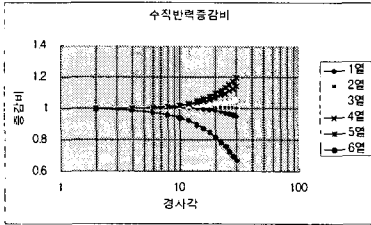


그림 3.19 수직 반력 증감비

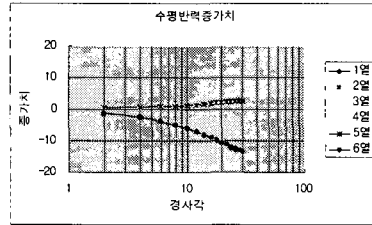


그림 3.20 수평 반력 증가치

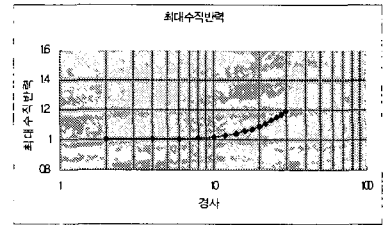


그림 3.21 최대 수직 반력

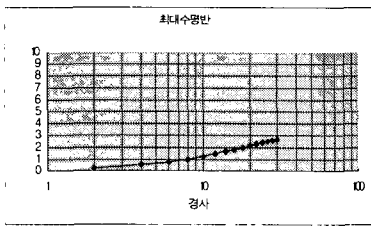


그림 3.22 최대 수평 반력

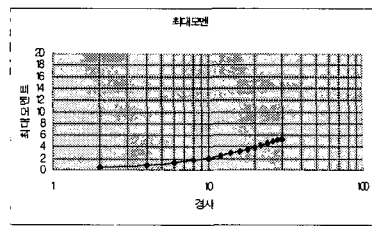


그림 3.23 최대 모멘트

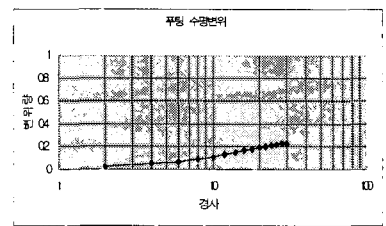


그림 3.24 푸팅의 수평 변위량

### 3.3.2 4열, 5열, 6열만 경사(CaseⅢ-2)

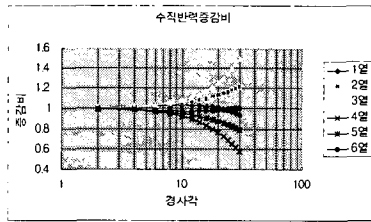


그림 3.25 수직 반력 증감비

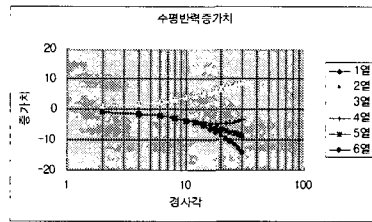


그림 3.26 수평 반력 증가치

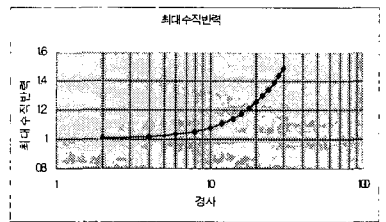


그림 3.27 최대 수직 반력

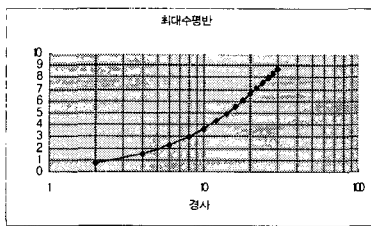


그림 3.28 최대 수평 반력

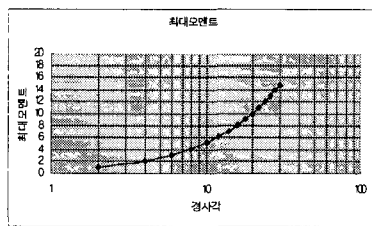


그림 3.29 최대 모멘트

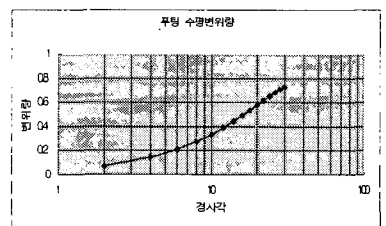


그림 3.30 푸팅의 수평 변위량

## 4. 결론

말뚝의 경사 각도와 경사진 말뚝의 위치 및 배열 상태를 변수로 하여 말뚝 두부의 수직 및 수평 반력, 말뚝에 발생하는 최대 모멘트 그리고 푸팅의 수평 변위량의 변화를 해석하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 모든 말뚝이 동일 방향으로 경사져 시공된 경우 경사각이 커짐에 따라 수직 반력의 증감비, 수평 반력의 절대치, 최대 수직·수평반력, 최대 모멘트 및 푸팅의 수평 변위량 모두가 커짐을 알 수 있다. 그리고 경사도 약  $10^\circ$ 를 경계로 급격한 증가 추세를 보인다는 것을 알 수 있다.

또한 수직 반력의 증감비와 수평 반력의 절대치는 하중 작용 위치로부터 말뚝 중심까지의 거리에 비례하여 증가함을 알 수 있다. 그러므로 하중 작용 위치로부터 거리가 먼 말뚝일수록 경사 시공에 대한 영향이 커짐을 알 수 있었다.

2) 양단의 말뚝이 대칭적으로 경사진 경우 경사도가 증가함에 따라 수직 반력은 비례적으로 증감됨을 알 수 있다. 또한 경사진 말뚝의 수직 반력이 감소되는 만큼 연직 말뚝의 수직 반경이 증가됨을 알 수 있다. 그리고 경사 말뚝의 수평 반력은 경사도의 증가에 따라 크게 증감됨을 알 수 있으며, 그 절대치는 같다. 그러나 연직 말뚝의 수평 변위는 변함이 없음을 알 수. 그러므로 양단이 대칭적으로 경사진 경우에는 경사 말뚝에만 수평 반력의 변화가 발생되고 연직 말뚝의 수평 반력에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

또한 최대 수직·수평 반력, 최대 모멘트는 경사각이 커짐에 따라 증가하였으며, 푸팅의 변위량에는 변화가 없다. 그리고 이 경우에도 경사각 약  $10^\circ$ 를 경계로 급격한 증가 추세를 보였다.

3) 말뚝이 비대칭적으로 경사진 경우 경사 말뚝의 반력 감소를 주위 말뚝이 부담하여 경사 말뚝의 열수에 비례해서 최대 수직 반력비의 증가가 커지는 것으로 판단된다.

그리고 대칭적으로 경사진 경우와 비교해 보면 최대 수직 반력, 최대 모멘트 그리고 푸팅 수평 변위량의 경우는 비대칭적으로 경사진 경우가 대칭일 때보다 크게 나타났고 또한 최대 수평 반력의 경우 대칭으로 경사진 경우가 크게 나타났다.

#### \* 참고문헌

1. 토목공법연구회(1997), 말뚝기초설계(조사·설계·시공), 昌宇出版. pp.181~285.
2. 박춘식, 장정욱(1999) “토질역학”, 엔지니어즈,
3. 창원대학교 산업기술 연구소(1996. 5.), “7호광장 고가도로 설치공사에 따른 Pile 시공에 대한 안전검토 보고서”. pp.30~49.
4. Braja M. das(1999), Principle of Foundation Engineering. pp.337~428