

# 파이프 골조온실의 민말뚝 기초와 주름말뚝 기초의 인발저항력에 대한 실험적 연구

## A Study on the Uplift Capacity of Plane and Corrugated Pile Foundations for Pipe Frame Greenhouse

조 재 홍 \* · 윤 용 철 · 윤 충 섭 · 서 원 명(경상대)  
Cho, Jae Hong · Yoon, Yong Cheol · Yoon, Choong Sup · Suh, Won Myong

### Abstract

The recent greenhouses are extremely light-weight structures and easily damaged by the strong winds due to the lack of uplift capacity of pile foundations. The uplift capacity of pile foundations are subject to the shape of the pile surface, diameter, weight, and embedded depths. etc. So, it is very important to figure out the most appropriate conditions on shape of the pile surface and it's embedding depths. to improve wind proof capability of pipe greenhouses.

In this study, plane and corrugated pile surfaces were examined on their uplift capacity with 30 to 50 cm of embedding depths. The diameters of tested piles were 10 cm, 15cm, and 20 cm, respectively. Compaction ratio of the tested soil was 80%. Each test run was repeated three times for the respective treatment.

Obtained results are as follows; In all cases, as the diameter and the embedding depth were increased, the ultimate uplift capacity of the pile was also increased. And it was clear that the ultimate uplift capacity of corrugated pile was approximately two times as big as that of plain piles under same conditions.

### I. 서론

일반적으로 기초는 구조물의 자중 및 각종 하중들을 기초지반의 지내력에 대해서 안전하게 전달시키는 것을 주 목적으로 하고 있다. 그러나 플라스틱피복 파이프 온실과 같은 경량 구조물에서는 기초위에 작용하는 수직하중에 대한 지지력도 중요하지만, 이것 보다도 더 중요한 것은 풍압에 의한 인발력에 저항하는 것이다. 즉, 기초가 풍압에 의하여 인발력을 받기 때문에 인발이나 전도에 대한 충분한 저항력을 가져야 한다.

현재 가장 보편적으로 보급되어 있는 온실의 기초는 원형이거나 각형으로 제작된 콘크리트 말뚝이다. 이러한 온실 기초가 태풍이나 돌풍 등과 같은 강풍하에 놓이게 되면, 순간적으로 발생하는 인발력을 견디지 못해 온실을 지탱하는 기초의 일부 또는 전부가 뽑혀 구조적으로 기능을 상실함으로써 온실내의 재배작물에 치명적인 피해를 입히게 된다. 일례로서 1995년 7월에 발생한 태풍 페이호의 영향으로 피해면적이 2천 30ha, 피해액이 400억원이나 되며, 이와 같은 태풍의 피해는 매년 발생되고 있다. 태풍피해의 주된 요인은 강풍에 의해 하우스가 받는 상방

---

1998년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (1998년 10월 24일)

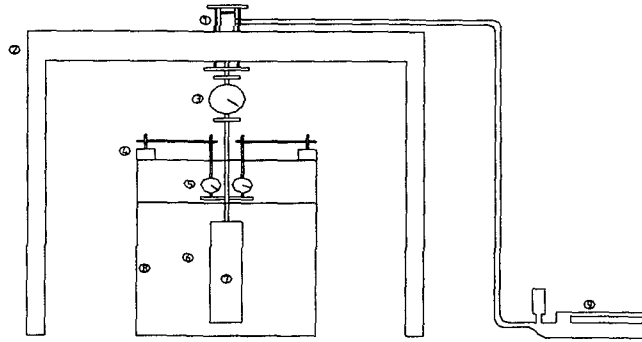
항 부양력에 비해 기초의 인발저항력이 상대적으로 부족하기 때문이다. 또한 태풍시에는 많은 강우가 동반되기 때문에 하우스 주변의 기초지반은 거의 포화함수비 상태에 도달하게 되어 외측기둥에 작용하는 인발저항력은 거의 기대할 수 없게 된다.

그러므로 본 연구에서는 강풍으로 인한 온실의 피해방지를 위해 현재 우리 나라에 많이 보급되어 있는 1-2W형 플라스틱피복 파이프 온실을 대상으로 독립기초인 원주형 민말뚝기초와 원주형 주름말뚝 기초를 선정 한 후, 현장상태와 유사한 조건으로 말뚝기초를 제작하여 인발저항력을 실험적으로 구하였다. 그리고 실험 결과를 중심으로 말뚝기초의 인발저항력을 결정하는 제반 영향 인자들의 특성을 분석하고, 기초의 안정성 검토를 위한 기초자료를 구축함과 동시에 그 보강책에 대하여 고찰하였다.

## II. 실험장치 및 방법

### 1. 실험장치

본 실험에 사용된 말뚝기초의 인발저항력을 측정하기 위한 장치의 구성도는 Fig. 1과 같으며, 인발저항력 측정에 필요한 장치는 크게 하중재하장치(⑨), 실험토조(⑧), 실험말뚝(⑦)으로 대별할 수 있다.



① jack head ② support ③ proving ring ④ magnetic base  
⑤ dial gage ⑥ soil ⑦ pile ⑧ soil tank ⑨ hydraulic jack

Fig. 1. Schematics of experimental apparatus

#### 1) 하중재하장치

일반적으로 인발저항력 실험에 사용되는 하중재하방식은 하중제어방법과 변위제어방법이 있다. 본 실험에서는 이들 중 하중제어방법을 사용하였다. 하중제어방법에는 Hydraulic jack를 사용하여 하중을 가하는 방법과 추를 이용하여 하중을 가하는 방법 등이 있다. 본 실험에서는 Hydraulic jack를 이용하여 하중을 가하는 방법으로 하였다.

실험에 사용한 Jack는 민말뚝의 경우는 최대 200kg까지 하중을 가할 수 있는 Hydraulic jack를 사용하였으며, 각 하중단계별로 증가시킨 하중(하중단계)은 2kg이다. 그리고 주름말뚝의 경우는 최대 1000kg까지 하중을 가할 수 있는 Hydraulic jack를 사용하였으며, 하중단계는 5kg이다.

2) 실험토조

실험에 사용된 토조는 말뚝주변 흙의 파괴거동에 대한 영향을 고려하여 100cm×100cm×75cm 크기의 강재로 제작된 정방형으로 하였다.

그리고 토조 바닥에는 시료 포화시의 배수를 위하여 배수 파이프를 설치하였으며, 토조의 자유로운 이동을 위하여 바닥에 롤러를 부착하였다.

3) 실험말뚝

일반적으로 플라스틱피복 파이프 온실의 경우, 실제 기초의 크기는 대부분 직경 15~18cm, 길이 50~60cm정도를 사용하고 있기 때문에 실험에 이용한 말뚝은 직경이 10cm, 15cm, 20cm 이고 길이가 50cm인 원주형 콘크리트 민말뚝과 같은 규격의 THP주름판에 콘크리트를 채운 주름말뚝을 제작하여 실험하였다.

2. 실험방법

1) 시료의 물리적 성질

실험용 모형지반에 이용한 시료는 진주 인근에 위치한 온실단지의 흙으로서 자갈이 없는 사질흙이고, 시료의 물리적 성질은 Table. 1과 같다.

Table 1. Physical properties of soil

Specific gravity ( $G_s$ )	Grain size passing percent (%)		Maximum dry density ( $\gamma_{dmax}$ ) (g/cm <sup>3</sup> )	Optimum moisture content ( $w_{opt}$ ) (%)
	< No. 4	< No. 100		
2.64	100	41.86	1.62	19.70
Field moisture content ( $w_f$ ) (%)	Field wet density ( $\gamma_t$ ) (g/cm <sup>3</sup> )	Field compaction degree (D) (%)	Classification	
			Triangular soil classification chart system	Unified soil classification system
20.40	1.27	83~85	Sandy loam	SM

2) 시료의 역학적 성질

시료의 역학적 성질은 각각의 조건에 대하여 직접 전단시험을 실시하여 구하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Cohesion and internal friction angle of soil

Moisture condition	Degree of compaction (%)	Cohesion of soil (C, kg/cm <sup>2</sup> )	Internal friction angle ( $\phi$ ) (°)
Air dried (13.47%)	80	0.22	35.47

3) 실험조건

본 실험에 이용한 흙의 다짐율은 현장다짐율(80%~85%)을 고려하여 안정성측면에서 다소 작은 80%로 하였으며, 함수비상태는 자연건조상태로 하였다. 그리고 실제 온실에서 기초의 물

힘 형태는 말뚝의 일부가 지면으로 노출되어 있는 경우와 완전히 묻혀 있는 경우가 대부분이다. 그러나 본 실험에서는 민말뚝 및 주름말뚝의 인발저항력은 물론 이들 말뚝의 scale effect 현상을 구명하기 위해 완전히 묻힌 상태는 제외하고 묻힘깊이를 30cm, 40cm, 50cm로 하였고, 각각에 대하여 3회 반복실험을 실시하였다.

#### 4) 인발하중 재하방식

일반적으로 말뚝기초는 인발변위량이 극히 작은 상태에서 완전히 뽑히는 경우가 많고, 또 강풍하에서 온실과 같은 경량구조물의 말뚝기초에 작용하는 인발력은 순간적이고 반복적으로 작용하기 때문에 실제 상황을 재현하기란 상당한 어려움이 따른다. 이러한 이유 때문에 플라스틱 피복 파이프 온실의 경우, 현재까지 실시한 대부분의 인발저항력 실험에서는 하중제어방법을 사용하고 있으며, 이들 결과를 실제 온실설계에 이용하고 있는 실정이다. 따라서 본 실험에서도 하중제어방법으로 하였다. 하중제어방법은 계획최대하중을 몇 단계로 나눈 후, 각 단계별로 일정한 시간 간격을 두고 하중을 가하는 하중조절방식이다.

#### 5) 인발저항력 측정방법

Hydraulic jack로 가한 인발하중은 Jack head 및 Proving ring과 말뚝기초 중심에 설치한 직경 1.6cm, 길이 100cm의 강봉을 통하여 말뚝으로 전달되도록 하였다. 그리고 말뚝기초의 인발저항력은 Proving ring으로 측정하였고, 말뚝기초의 인발변위량은 말뚝기초의 상부에 부착된 아크릴판 위에 Dial gage(1/100mm) 2개를 양방향으로 설치하여 측정하여 그 평균값을 사용하였다. 그리고 Dial gage는 Magnetic base로 지지하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1) 극한인발저항력

민말뚝의 경우, 인발하중을 가하면 인발저항력은 계속 증가하지만, 어느 시점(하중단계)을 경계로 하여 감소한다. 이와 같이 인발저항력이 감소하기 시작하는 직전의 하중단계를 본 연구에서는 민말뚝의 극한 인발저항력으로 정의하였다.

주름말뚝의 경우, 민말뚝과 마찬가지로 인발하중을 가하면 인발저항력은 계속 증가하지만, 인발변위가 일어난 직후부터 민말뚝과는 다른 현상을 보인다. 즉, 인발하중을 가하는 순간에는 인발저항력이 증가하지만, 그 후 일정 시간동안( 그 다음 하중단계의 인발하중을 가하기 직전까지) 인발저항력은 감소한다. 이와 같은 현상은 실험이 종료될 때까지 반복한다. 그러나 인발저항력은 증감을 반복하면서 점차 증가하다가, 어느 시점을 경계로 하여 증감을 반복하면서 감소한다. 따라서 주름말뚝의 경우, 극한 인발저항력을 정의하기란 쉽지않지만, 본 연구에서는 인발저항력이 증감을 반복하면서 증가한 후, 감소되는 시점을 주름말뚝의 극한 인발저항력으로 정의하였다. 즉, 인발저항력이 증가한 후, 일정 시간동안 감소한 것 중, 가장 큰 것(Fig. 2에서 ○부분)을 극한 인발저항력으로 정의하였다.

그리고 본 연구에서는 말뚝의 종류에 관계없이 말뚝의 자중은 인발저항력에서 제외하였다.

Fig. 2의 (a), (b)는 직경 10cm, 묻힘깊이 30cm인 경우, 인발저항력과 인발변위량과의 관계를 민말뚝과 주름말뚝에 대해서 나타낸 것이다. Fig. 2 에서 ○로 표시된 부분이 극한 인발저항력을 나타낸 것이고, 이 때 민말뚝 및 주름말뚝의 극한 인발저항력은 각각 32.03kg, 63.38kg 정도로 주름말뚝이 민말뚝보다 약 1.95배정도 크게 나타났다.

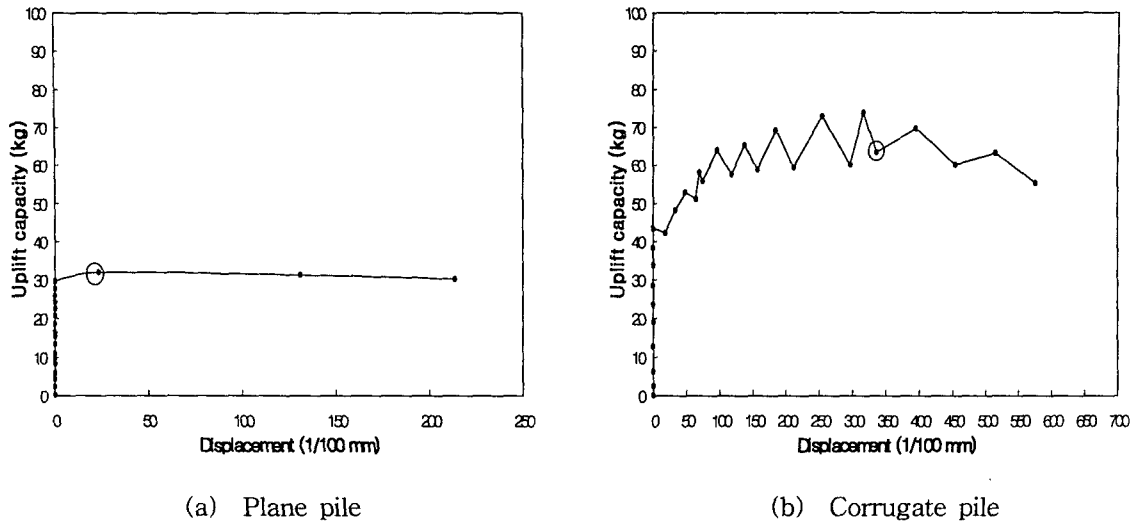


Fig. 2. Relationship between uplift capacity and displacement ( $\phi$  : 10cm, L : 30cm)  
 ( $\phi$  : Diameter of pile, L : Embedded pile depth)

Fig. 3의 (a), (b)는 직경 20cm, 묻힘깊이 50cm인 경우, 인발저항력과 인발변위량과의 관계를 나타낸 것이다.

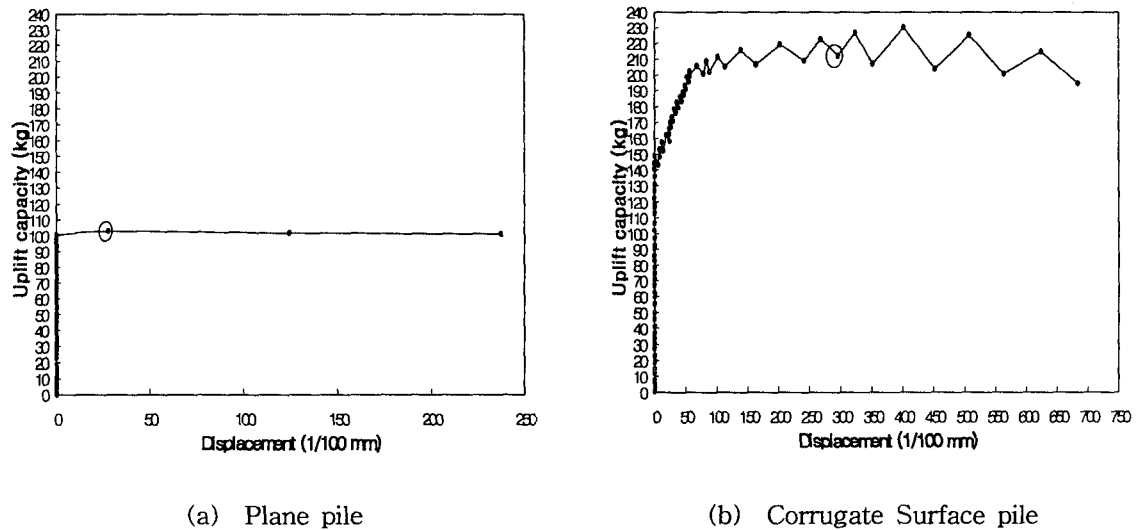


Fig. 3. Relationship between uplift capacity and displacement ( $\phi$  : 20cm, L : 50cm)  
 ( $\phi$  : Diameter of pile, L : Embedded pile depth)

Fig. 3의 (a)는 민말뚝의 경우로 극한 인발저항력이 102.75kg 정도이며, (b)는 주름말뚝으로서 극한 인발저항력이 218.28kg정도이다. 이상의 결과를 민말뚝과 주름말뚝을 비교해 보면, 주름말뚝이 민말뚝보다 2.12배정도 크게 나타났다.

이상의 결과는 실험결과의 몇 가지 예를 살표본 것이지만, 본 실험의 경우는 모든 조건에서

민말뚝보다 주름말뚝의 극한 인발저항력이 크게 나타났다. 그리고 인발저항력과 인발변위량과의 관계를 보면, 극한 인발저항력의 변화양상이 민말뚝의 경우는 거의 직선적으로 변화지만, 주름말뚝의 경우는 앞에서 기술하였듯이 툽니형상으로 변화함을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 첫째, 인발하중을 가하면 기초지반의 흙이 주름의 홈부분에 압축되어 전단저항이 증가하기 때문에 주름말뚝의 극한 인발저항력이 크게 나타나는 것으로 판단된다. 또 하나는 인발변위가 발생한 후, 인발하중을 가하면 인발변위의 증가와 동시에 기초지반의 흙이 주름의 홈부분에 압축되어 인발저항력은 증가하지만, 어느 정도 시간이 지나면 주름의 홈부분에 압축되었던 흙이 서서히 파괴되기 때문에 인발저항력은 감소하는 것으로 판단된다. 따라서 인발저항력이 증감을 반복하는 것으로 판단할 수 있다.

그리고 극한 인발저항력의 발생시점이 민말뚝의 경우는 일반적으로 인발변위가 일어난 직후에 나타나지만, 주름말뚝의 경우는 인발변위가 다소 진행한 후에 나타남을 알 수 있다.

## 2) 매입깊이와 직경에 따른 극한인발저항력

앞에서 언급한 극한 인발저항력을 말뚝의 묻힘깊이 및 직경별로 나타낸 것이 Fig. 4이다.

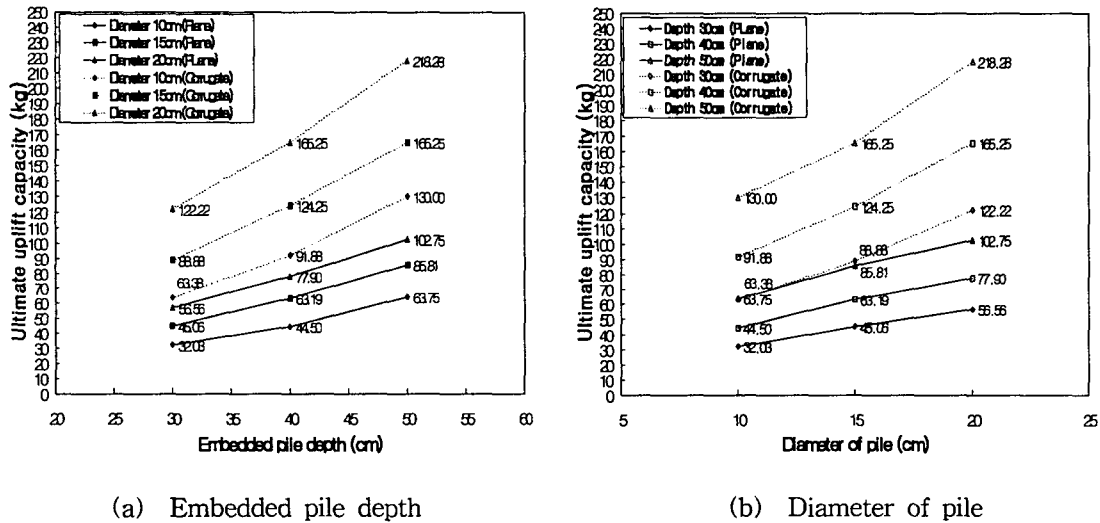


Fig. 4. Relationship between ultimate uplift capacity and embedded pile depth, diameter of pile

Fig. 4의 (a)는 매입깊이에 따른 극한 인발저항력의 변화를 나타낸 것이고, (b)는 직경에 따른 극한 인발저항력의 변화를 나타낸 것이다. 여기에서 알 수 있듯이 극한 인발저항력은 매입 깊이 및 직경의 크기에 비례해서 증가함을 알 수 있다. 그러나 두 경우 모두 주름말뚝이 민말뚝의 경우보다 극한 인발저항력이 크게 나타났다. 이것은 앞에서 언급한 것과 같이 주름말뚝에 있는 홈과 기초지반의 상호작용에 의한 것으로 판단된다.

## IV. 결 론

본 실험에서는 형상 및 직경이 서로 다른 말뚝에 대하여 묻힘깊이별로 인발저항력을 실험적으로 고찰하였다. 이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 민말뚝의 경우, 인발하중이 증가함에 따라 인발저항력은 증가하지만, 인발변위가 일어난 직후의 하중단계에서 극한 인발저항력에 도달하고, 그 이후부터 실험을 종료할 때까지 인발저항력은 감소하였다. 그러나 주름말뚝의 경우는 인발변위가 일어난 이후에도 실험을 종료할 때까지 인발저항력의 증감이 반복되는 경향을 나타내었다.
2. 기초의 형상, 직경 및 묻힘깊이에 따라 극한 인발저항력은 다르지만, 전체적으로 극한 인발저항력은 주름말뚝이 민말뚝보다 약 2배 정도크게 나타났다.
3. 기초의 직경과 묻힘깊이가 증가함에 따라 극한 인발저항력의 증가율이 일반적으로 크게 나타남을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

1. 윤용철 · 서원명 · 윤충섭, 1995. 말뚝기초의 인발저항력에 대해서, 한국농공학회지. 제37권 제3·4호 : pp. 11~19.
2. Meyerhof, G.G., "Uplift Resistance of Inclined Anchors and Piles", Proc. of 8th ICSME, Moscow, USSR, 2(1), 1973, pp. 225~244.
3. 尹 龍喆, 條 和夫, 松本 伸介, 玉井 佐一 (1993), 水平加振した短杭の引抜き抵抗力に関する
4. 강만호, 199實驗的 研究, 日本農業土木工學會論文集, 166, pp. 16~33.
5. 日本建築學會 : プレストレストコンクリート 設計施工規準 · 東海説, 1975.