

The Uplift Capacity of Plane and Corrugated Piles for Pipe Frame Greenhouse

Yong Cheol Yoon* · Won Myung Suh · Jae Hong Cho¹

Dept. of Agri. Eng., Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

¹Korea Highway Corporation Kyeongnam Branch, Masan 630-801, Korea

Abstract

The uplift capacity of a pile for improving the wind resistance of the 1-2 W type plastic film pipe on greenhouses was tested using the plane and corrugated piles with various shapes and diameters. First, the resistant uplift capacity was measured by using the uplift loading on plane piles. As the uplift loading on plane piles increased, the resistant uplift capacity also increased until the loading was reached to ultimate uplift capacity. After the ultimate uplift capacity was appeared the uplift displacement, the uplift capacity was decreased gradually. Secondly, the resistant uplift capacity was measured by using the uplift loading on corrugated piles. After the uplift capacity was reached the uplift displacement, the uplift capacity was continually increased or decreased. In general, the ultimate uplift capacity was independent of pile shapes, pile diameter length, and embedded pipe depth. However, the ultimate uplift capacity of a corrugated pile was twice more than that of a plane pile without regard to its diameter and embedded depth. The ultimate uplift capacity per unit pile area was increasing in deeper embedded depth. However, the longer a pile diameter was, the less ultimate uplift capacity. The uplift capacity of a plane pile, used in conjunction with the design wind velocity ($26.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) of the project area, was unsatisfiable without regard to diameters and embedded depths of piles, while most of corrugated piles were well appeared uplift capacity under various experimental conditions.

Key words: greenhouse, uplift capacity of piles, design wind velocity, windproof characteristic.

* Corresponding author

서 론

일반적으로 기초는 구조물의 자중 및 각종 하중들을 기초지반의 지내력에 대해서 안전하게 전달시키는 것을 주목적으로 하고 있다. 그러나 플라스틱 피복 파이프 온실과 같은 경량 구조물에서는 기초 상부에 작용하는 수직하중 뿐만 아니라 풍압이나 지진력 등의 수평하중에 대한 저항도 대단히 중요하다. 즉, 이러한 구조물의 기초는 수평하중에 의하여 압축력과 인발력을 받기 때문에 충분한 압축강도를 갖는 동시에 인발이나 전도에 대해서도 안전해야 한다.

현재 많이 보급되어 있는 플라스틱 피복 파이프 온실기초는 콘크리트로 제작된 원형 또는 각형의 짧은 말뚝이다. 이러한 온실기초는 태풍이나 돌풍 등과 같은 강풍조건하에서 고유진동수로 진동하게 되고(Yoon 등,

1993), 특히 강우를 동반하게 되면 순간적으로 발생되는 인발력을 견디지 못해 온실을 지탱하는 기초의 일부 또는 전부가 뽑혀 안전구조의 기능을 상실함으로써 온실파손의 원인이 되어 치명적인 피해를 입게 된다(Yoon 등, 1995). 실제로 1995년 7월의 태풍 페이호, 1997년 11월 나주 돌풍, 1998년 1월 서부경남지역 폭설, 1999년 8월 태풍 올가 등 매년 막대한 피해를 경험한 바 있다. 피해 현장조사 결과(Yoon 등, 1995)에 의하면 태풍피해의 주된 요인은 강풍에 의해 온실이 받는 상향의 양력에 비해 기초의 인발저항력이 상대적으로 부족하기 때문인 것으로 밝혀졌다. 따라서 이와 같은 피해를 사전에 방지하여 안정적인 시설영농을 가능토록 하기 위해서는 온실기초의 인발저항력에 대한 보강책이 절실히 요구된다.

따라서 본 연구는 현재 우리나라에 많이 보급되어

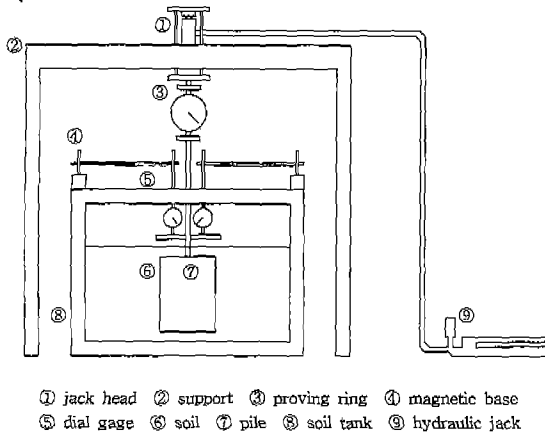


Fig. 1. Schematics of experimental apparatus.

있는 1-2 W형 플라스틱피복 파이프 온실기초를 대상으로 인발저항력을 실험적으로 검토하여 강풍으로 인한 플라스틱 피복 파이프 온실이 붕괴되는 피해를 줄이기 위한 기초자료를 얻기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

1. 실험장치

본 실험에 사용된 실험장치는 Fig. 1과 같으며, 인발저항력 측정에 필요한 장치는 크게 하중재하장치(9), 실험토조(8), 실험말뚝(7)으로 구성되어 있다.

1.1. 하중재하장치

본 실험에서는 말뚝에 인발력을 가하는 하중재하 장치로 Hydraulic jack을 이용하였다. 이 Jack의 최대 용량은 말뚝의 종류에 따라 200 kg과 500 kg인 것을 사용하였고, 최소 단위는 각각 1 kg와 2 kg이다.

1.2. 실험토조

실험에 사용된 토조는 말뚝 주변지반의 파괴포락선을 고려하여 100 cm×100 cm×75 cm 크기로 약 3 mm 두께의 강재로 제작하였다. 그리고 말뚝이 인발될 때 지반의 거동을 관찰하기 위하여 투명한 아크릴판을 토조 전면면에 부착하였고, 시료의 다짐을 확인하기 위하여 토조 내면에 바닥에서부터 10 cm 간격으로 선을 그어 표시하였다.

1.3. 실험말뚝

본 실험에 이용한 온실기초는 콘크리트로 제작하였으며, 직경은 10 cm, 15 cm 및 20 cm인 원주형 민말

뚝과 직경이 동일한 주름말뚝은 THP(고밀도 폴리에틸렌 파상형 이중 벽관)주름관을 사용하여 제작하였다. 기초의 길이는 직경에 관계없이 모두 50 cm로 하였다.

실제로 플라스틱 피복 파이프 온실의 경우, 현재 주로 사용되고 있는 온실기초의 형상은 원주형 및 각주형으로 크게 대별할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 각주형에 비해 비교적 현장제작이 용이한 원주형 말뚝을 사용하였다. 그리고 실제로 현장에서 사용하고 있는 원주형 말뚝의 크기는 대부분 직경 15~18 cm, 길이 40~60 cm 정도를 사용하고 있지만, 본 연구에서는 말뚝의 직경변화에 따른 인발저항력을 검토하기 위하여 현장과 유사한 크기의 직경을 포함하여 상기와 같이 3 가지 종류로 하였다. 또한 말뚝의 길이도 현장과 유사하게 50 cm로 제작하였다.

그리고 현장에서 콘크리트 기초를 타설할 경우, 별도의 거푸집을 사용하지 않고 THP 주름관을 거푸집으로 사용한 후, THP 주름관을 제거하지 않고 지반속에 그 상태로 매설하는 경우도 종종 발견할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 THP 주름관을 사용하지 않은 원주형 민말뚝과 THP 주름관을 사용한 주름말뚝에 대해 인발저항력을 실험적으로 검토하였다.

2. 실험방법

2.1. 실험조건

시료의 함수비는 자연건조상태인 13.47%로 하고, 다짐율은 현장조사 결과(83~85%)와 거의 동일한 80%로 하였다. 그리고 말뚝의 매입깊이는 직경별로 각각 30 cm, 40 cm 및 50 cm로 하였다. 실험은 각 조건별 2회 반복하였으며, 2회 반복한 실험시간 현저한 차이가 있는 경우에는 반복실험을 하였다. 실제로 현장 온실기초의 매립상태를 보면, 말뚝의 일부가 지면으로 노출되어 있는 경우와 완전히 지면에 묻혀 있는 경우로 대별할 수 있었다. 그러나 본 실험에서는 말뚝의 형상, 직경 및 매입깊이별로 인발저항력을 구명하기 위하여 상재하중의 영향을 받지 않는 경우, 즉 완전히 묻힌 상태를 제외하고 매입깊이별로 실험을 실시하였다.

2.2. 시료의 물리적 및 역학적 성질

실험에 이용한 시료는 진주 인근의 온실단지에서 채취한 자갈이 없는 사질토로서 입도분포는 Fig. 2와 같고, 물리적 성질은 Table 1과 같다.

그리고 시료의 역학적 성질은 직접전단실험을 실시

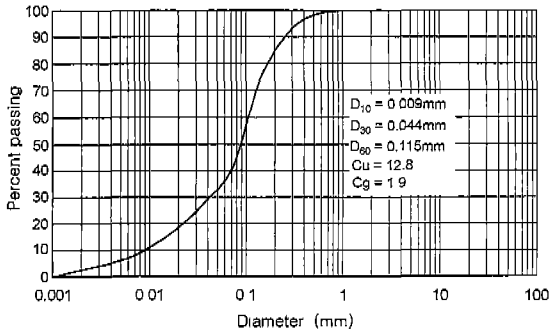


Fig. 2. Grain size distribution curve.

Table 1. Physical properties of sample soil.

Classification			Sample soil
Specific gravity (G_s)			2.64
Liquid limit (LL) (%)			N.P
Plastic limit (PL) (%)			N.P
Plastic index (I_p) (%)			N.P
Grain size percent (%)	Gravel	> 4.76 mm	0
	Sand	4.76 - 0.074 mm	59.00
	Silt	0.074 - 0.005 mm	35.00
	Clay	<0.005 mm	6.00
Unified soil classification system			SM
Grain size percent (%)	Gravel	>2.0 mm	0
	Sand	2.0 - 0.05 mm	68.53
	Silt	0.05 - 0.002 mm	30.47
	Clay	< 0.002 mm	1.00
Triangular soil classification chart system			Sandy loam
Maximum dry density (γ_{dmax}) ($g \cdot cm^{-3}$)			1.62
Optimum moisture content (w_{opt}) (%)			19.90
Field wet density (γ) ($g \cdot cm^{-3}$)			1.54 - 1.58
Field moisture content (w_f) (%)			20.40
Field compaction degree (D) (%)			8385

Table 2. Cohesion and internal friction angle of sample soil.

Moisture condition (%)	Degree of compaction (%)	Cohesion of soil ($C, kg \cdot cm^{-2}$)	Internal friction angle ($\phi, ^\circ$)
13.47	80	0.22	35.41

하여 구하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다.

2.3. 인발하중 재하방식

일반적으로 말뚝 두부(頭部)에서 상향으로 인발하중을 가하는 방식에는 하중 조절방식(다단계 하중법, 정하중법)과 말뚝의 인발변위량을 제어하는 변위 조절방

식이 있다. 그러나 본 실험에서는 계획최대하중을 몇 단계로 나눈 후, 각 단계별로 일정한 시간간격을 두고 하중을 가하는 하중 조절방법(Yoon 등, 1998)을 채택하였다.

따라서 본 실험에서는 Hydraulic jack를 이용하여 계획최대하중(극한인발저항력)을 몇 단계로 나눈 후, 각 단계(이하 하중단계라 함)별로 일정한 시간간격(이하 하중지속시간이라 함)을 두고 하중을 가하였다. 즉 민말뚝과 주름말뚝에 대해 각 하중단계별 인발하중은 2 kg과 5 kg으로 하였다.

2.4. 측정방법

Hydraulic jack로 가한 인발하중은 Fig. 1에 도시한 바와 같이 Jack head 및 Proving ring과 말뚝기초 중심에 설치한 직경 1.6 cm, 길이 100 cm의 강봉을 통하여 말뚝으로 전달되도록 하였다.

말뚝기초의 인발저항력은 압축력과 인장력을 측정할 수 있는 Proving ring으로 측정하였고, 인발변위량은 말뚝기초 상부에 부착된 아크릴판 위에 Dial gage(1/100 mm) 2개를 직교방향으로 설치하여 2개의 Dial gage의 변위량에 대한 평균값을 사용하였으며 Dial gage는 Magnetic base로 지지하였다.

결과 및 고찰

1. 극한인발저항력

민말뚝의 경우, 말뚝의 직경과 매입깊이에 관계없이 인발하중을 가하면 인발저항력은 어느 시점(하중단계)까지 증가하지만, 어느 하중단계를 경계로 감소하기 시작하였다. 이와 같이 인발저항력이 감소하기 시작하는 직전의 하중단계를 본 연구에서는 민말뚝의 극한인발저항력으로 정의하였다.

주름말뚝의 경우, 어느 하중단계까지는 민말뚝과 마찬가지로 인발저항력은 계속 증가하지만, 인발변위가 발생하면 민말뚝과는 다른 현상을 보였다. 즉, 인발변위가 발생하는 하중단계이후에서는 인발하중을 가한 직후에는 인발저항력이 증가하지만, 그 후 하중지속시간 동안 인발저항력은 다소 감소하였다. 이러한 인발저항력의 증감 현상이 실험을 종료할 때까지 반복한다. 그러나 인발저항력은 증감을 반복하면서 점차 증가하다가, 어느 하중단계를 경계로 하여 증감을 반복하면서 감소하였다.

파이프 골조온실의 민말뚝과 주름말뚝의 인발저항력

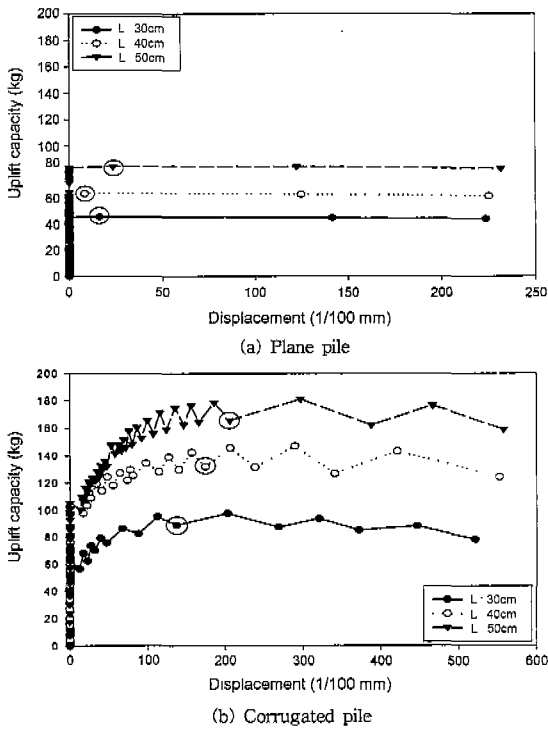


Fig. 3. Relation between uplift capacity and displacement.

이와 같은 현상은 민말뚝의 경우, 인발변위 발생과 동시에 말뚝표면의 지반이 파괴되기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 주름말뚝의 경우, 인발변위가 발생하면 THP판에 있는 주름 때문에 주변지반의 전단저항(압축력)을 순간적으로 증가시켜 인발저항력은 증가하지만, 그 직후에 압축된 지반이 서서히 파괴되기 때문에 감소하는 것으로 판단된다.

따라서 주름말뚝의 경우, 극한인발저항력을 정의하기란 쉽지 않지만 본 실험에서는 인발저항력이 증가를 반복하면서 증가한 후, 감소되는 시점을 주름말뚝의 극한 인발저항력으로 정의하였다. 즉 인발저항력이 증가한 후, 하중지속시간 동안 감소한 인발저항력 중 가장 큰 인발저항력을 극한인발저항력(Fig. 3(b)에서 ○부분)으로 정의하였다.

그리고 말뚝의 자중은 인발저항력에서 제외하였으며, Fig. 3은 직경 15 cm일 때 인발저항력과 인발변위와의 관계를 매입깊이별로 나타낸 실험결과이다.

Fig. 3에 나타낸 것을 포함하여 본 실험에서 매입깊이별 인발변위는 민말뚝의 경우가 약 2.0~2.5 mm 정도로 주름말뚝의 5.0~8.0 mm에 비해 적었다. 그리고

Table 3. Ultimate uplift capacity between plane and corrugated piles.

Diameter of pile (cm)	Embedded pile depth (cm)	Ultimate uplift capacity (kg)		C/P
		Plane pile (P)	Corrugated pile (C)	
10	30	32.03	63.38	1.95
	40	45.06	88.88	2.06
	50	56.56	122.22	2.04
15	30	44.50	91.88	1.97
	40	63.19	124.25	1.97
	50	77.90	165.25	1.93
20	30	63.75	130.00	2.16
	40	85.81	165.88	2.12
	50	102.75	218.28	2.12

인발저항력의 변화도 앞에서 기술하였듯이 민말뚝의 경우는 인발변위가 발생한 직후에 극한인발저항력에 도달하고, 주름말뚝의 경우는 인발저항력의 증감이 반복되는 것을 알 수 있다.

Table 3은 앞에서 정의한 방법으로 구한 극한인발저항력을 나타낸 것이다.

Table 3에서 알 수 있듯이 극한인발저항력은 말뚝의 직경이 클수록, 매입깊이가 깊을수록 크게 되고, 동일 직경 및 매입깊이라면 주름말뚝의 극한인발저항력이 민말뚝보다 크게 되었다. 그리고 전체적으로 볼 때, 매입깊이 및 직경에 관계없이 주름말뚝의 극한인발저항력이 민말뚝보다 2배정도 크게 나타났다.

Fig. 4와 Fig. 5는 극한인발저항력을 말뚝의 매입깊이 및 직경별로 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 극한인발저항력은 매입깊이가 깊을수록 또는 직경

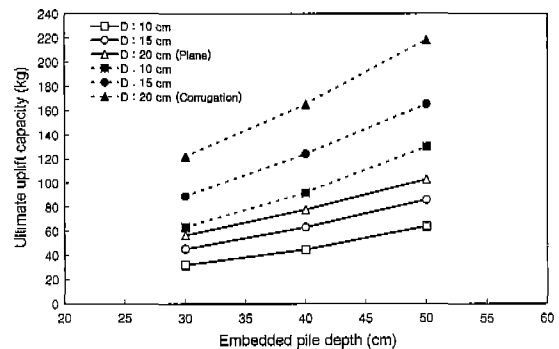


Fig. 4. Relation between ultimate uplift capacity and embedded pile depth.

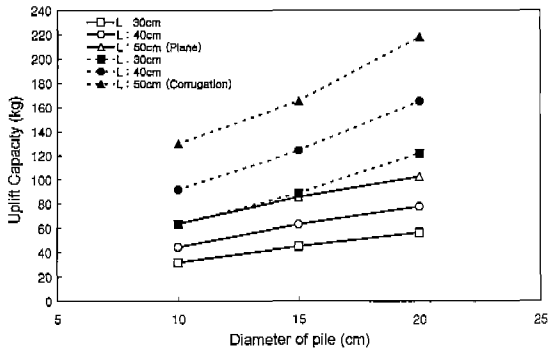


Fig. 5. Relation between ultimate uplift capacity and diameter of pile.

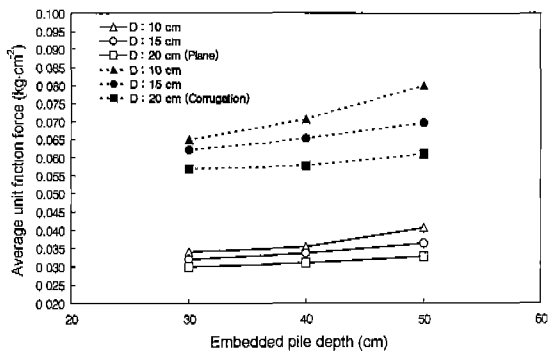


Fig. 6. Relation between average unit friction force and embedded pile depth.

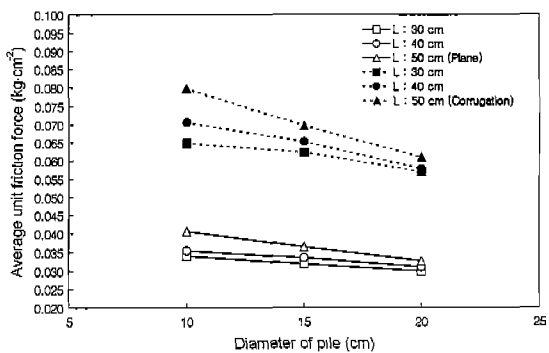
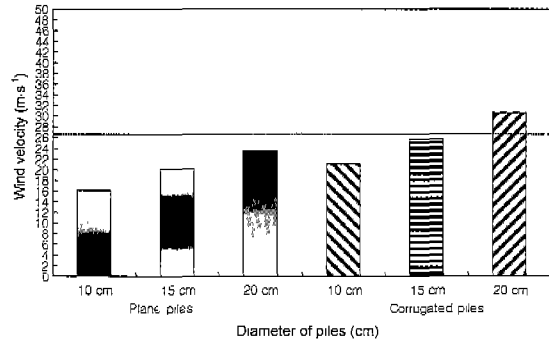
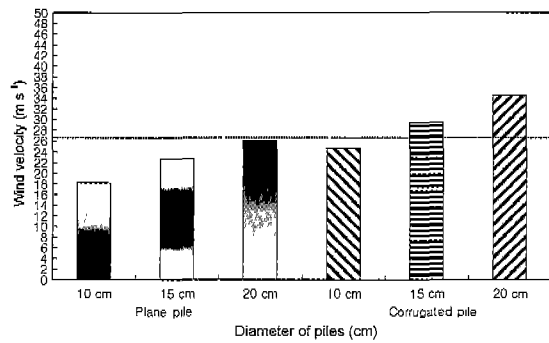


Fig. 7. Relation between average unit friction force and diameter of pile.

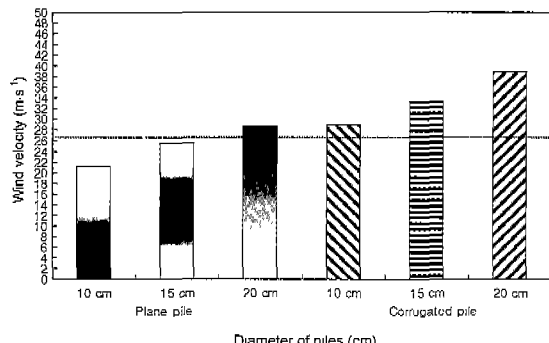
이 클수록 증가한다. 그러나 매입깊이 및 직경에 관계 없이 주름말뚝의 경우가 민말뚝의 경우보다 극한인발저항력이 크게 나타났다. 이것은 주름말뚝의 홈과 홈의 상호작용, 즉 전단저항의 증가에 의한 것으로 판단된다.



(a) Embedded pile depth: 30 cm



(b) Embedded pile depth: 40 cm



(c) Embedded pile depth: 50 cm

Fig. 8. Allowable wind velocity for various types of piles.

2. 단위주면적당 극한인발저항력

Fig. 6과 Fig. 7은 매입깊이와 직경의 변화에 따른 말뚝의 단위주면적당 극한인발저항력을 나타낸 것이다. 여기서, 점선으로 표시된 것은 주름말뚝을 나타낸 것이고, 실선으로 표시된 것은 민말뚝을 나타낸 것이다.

Fig. 6, 7에서 알 수 있듯이 단위주면적당 극한인발저항력도 Fig. 4, 5의 극한인발저항력과 같이 매입깊이가 깊을수록 크게 되지만, Fig. 7의 직경변화에 따른 단위주면적당 극한인발저항력은 직경이 클수록 감

소하는 경향을 보인다. 이러한 경향은 매입깊이가 깊을 수록 또 주름말뚝이 민말뚝보다 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 말뚝의 주변적 증가에 비례하여 극한인발저항력이 증가하지 않는 것을 의미하는 것으로서 기초지반의 진행성 파괴(Sakai 등, 1990, 1992)에 기인한 scale effect 때문인 것으로 판단된다. 그리고 주름말뚝의 경우가 민말뚝 보다 지반의 진행성 파괴정도가 현저한 것으로 판단된다.

3. 기초의 안정성 검토

기초의 안전성 검토를 위한 1-2 W형 표준온실의 형상 및 골조의 구성은 다음과 같고, SAP90을 이용해서 구조해석을 실시하였다.

- 온실스팬 7 m×3연동, 축고 2.7 m, 동고 4.6 m, 길이 90 m, 기둥간격 2 m, 서가래간격 60 cm
- 외축기둥(50A) : Φ 48.1×2.1T : A=3.035 cm², Z=3.345 cm³, I=80396.4 cm⁴
- 내축기둥(50A) : Φ 48.1×2.1T : A=3.035 cm², Z=3.345 cm³, I=80396.4 cm⁴
- 서가래 : Φ 25.0×1.5T : A=3.690 cm², Z=2.016 cm³, I=7675.7 cm⁴
- 중방 : Φ 48.1×2.1T : A=3.035 cm², Z=3.345 cm³, I=80396.4 cm⁴
- 중방받침 : Φ 33.5×2.1T : A=2.072 cm², Z=1.531 cm³, I=25645.2 cm⁴

SAP90에 의해 계산된 풍하중에 의한 인발력(Q_u)과 실험에 의하여 얻어진 극한 인발저항력(Q_w)과 비교하기 위하여 다음과 같은 식을 이용하였다. Q_w 는 바람의 속도압과 풍력계수 및 수압면적을 고려한 후, SAP 90에 의해 계산된 결과이다.

$$Q_u = W_f + f_s A_s > Q_w \quad (1)$$

$$Q_w = \frac{0.167u^2}{1000} \quad (2)$$

여기서, Q_u : 극한인발저항력(t)

Q_w : 풍하중에 의한 인발력(t)

u : 설계풍속(m·s⁻¹)

W_f : 기초의 자중(t)

f_s : 흙과 말뚝사이의 평균주면마찰력 (t·m²),

A_s : 말뚝의 주변적(m²)

실험 대상지역인 경남 진주의 설계풍속은 재현기간 30년일 때 26.9 m·s⁻¹이다. 본 연구에서는 식 (2)를 이용하여 각 실험조건에서 극한인발저항력이 지지할 수 있는 안전풍속을 구하였고, 이들 결과를 나타낸 것이 Fig. 8이다.

Fig. 8에서 알 수 있듯이 설계풍속이 26.9 m·s⁻¹일 때, 민말뚝은 직경 20 cm, 매입깊이 50 cm인 경우만 안전한 것으로 나타났다. 그러나 주름말뚝은 매입깊이 30 cm일 때, 직경 10 cm와 15 cm 및 매입깊이 40 cm일 때, 직경 10 cm인 경우만 제외하면 모두 안전하게 나타났다.

이상의 결과로 볼 때, 온실기초로 말뚝기초를 사용할 경우, 민말뚝보다 주름말뚝을 사용하는 것이 인발저항력 측면에서 유리하여 강풍으로 인한 온실파손피해를 감소시킬 수 있음을 알 수 있었다.

Literature cited

1. Sakai, T, T. Tanaka. 1990. Experiments on progressive failure and scale effect using model tests. TransJSIDRE 147:15-26.
2. Sakai, T, T. Tanaka, and S. Miyauchi. 1992. Scale effect of the uplift resistance of a buried anchor in dry sand. TransJSIDRE 161:51-56.
3. Yoon, Y.C., K. Shino, S. Matsumoto, and S. Tamai. 1993. An experimental study on the uplift capacity of short piles under horizontal vibration. TransJSIDRE 166:16-33.
4. Yoon, Y. C., W. M. Suh, and C. S. Yoon. 1995. A study on the typhoon disaster of greenhouse. J. Bio. Fac. Env. 4(2):167-174 (in Korean).
5. Yoon, Y.C., C. S. Yoon, and W. M. Suh. 1998. A study on the uplift capacity of cylindrical concrete foundation for pipe-framed greenhouse. JKSAE 40(4):109-119 (in Korean).

윤용철 · 서원명 · 조재홍

파이프 골조온실의 민말뚝과 주름말뚝의 인발저항력

윤용철* · 서원명 · 조재홍¹

경상대학교 농과대학, ¹한국도로공사 경남지사

적 요

본 연구에서는 1-2 W형 플라스틱피복 파이프 온실의 내풍성을 증대시키기 위하여 형상 및 직경이 서로 다른 말뚝에 대하여 인발저항력을 검토하였다. 그 결과 민말뚝의 경우, 인발하중이 증가함에 따라 인발저항력은 증가하지만, 대부분의 경우 인발변위가 발생한 직후의 하중단계에서 극한인발저항력에 도달하였다. 그러나 주름말뚝의 경우는 인발변위가 발생한 이후에도 실험을 종료할 때까지 인발저항력의 증감이 반복되는 경향을 나타내었다. 그리고 기초의 형상, 직경 및 매입깊이에 따라 극한인발저항력은 다르지만, 본 실험의 경우 직경과 매입깊이에 관계없이 극한인발저항력은 주름말뚝이 민말뚝보다 약 2배 정도 크게 나타났다. 단위면적당 극한인발저항력은 매입깊이가 깊어질수록 증가하지만, 직경이 커지면 감소하였다. 실험 대상지역의 설계풍속($26.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)을 고려하면, 민말뚝은 직경과 매입깊이에 관계없이 기초의 인발저항력이 부족하였고, 주름말뚝의 경우는 대부분의 실험조건에서 충분한 것으로 나타났다.

주제어 : 온실, 말뚝의 인발저항력, 설계풍속, 내풍성