

## 온실 기초용 나무말뚝의 인발저항력 검토

윤성욱<sup>1†</sup> · 최만권<sup>2†</sup> · 이시영<sup>3</sup> · 유찬<sup>4</sup> · 윤용철<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>경상대학교 농업생명과학연구원, <sup>2</sup>국립원예특작과학원 시설원예연구소, <sup>3</sup>농촌진흥청 농업공학부 에너지환경공학과,  
<sup>4</sup>경상대학교 지역환경기반공학과(농업생명과학연구원),

## Uplift Capacity of Wood Pile for Greenhouse Foundation

Sung Wook Yun<sup>1</sup>, Man Kwon Choi<sup>1</sup>, Si Young Lee<sup>3</sup>, Chan Yu<sup>2</sup>, and Yong Cheol Yoon<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Institute of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

<sup>2</sup>Protected Horticulture Research Institute, NIHHS, RDA, Haman, 637-812, Korea

<sup>3</sup>Dept. of Agricultural Engineering, National Academy of Agricultural Science, RDA, Wanju 565-851, Korea

<sup>4</sup>Dept. of Agricultural Eng., Gyeongsang National Univ.(Institute of Agriculture and Life Science), Jinju 660-701, Korea

**Abstract.** Wood piles are rarely used in the construction of a greenhouse in Korea, but they are relatively more often used in other countries, such as the Netherlands. There are several advantages associated with wood piles: they are more cost-effective, less time-consuming, and more ecofriendly than the steel pipes (SPs) and pre-stressed high-strength (PHC) piles. However, one of the limiting conditions is that they have to be installed below the groundwater level to prevent decay. Since the groundwater levels are generally high in the reclaimed lands in Korea, wood piles are expected to be used often as reinforcements for foundations of greenhouses in these areas. In this study, we measured the uplift capacities of wood piles through in-situ uplift capacity tests with an aim to provide basic design data for wood pile foundations. In order to test their applicability, we then compared these experimentally measured ultimate uplift capacities with the ones calculated through some of the existing theoretical equations. The wood piles used in the loading tests were made of softwood (pine wood), and the tests were performed using piles with different diameters (Ø25cm and Ø30cm) and embedded depths (1m, 3m, and 5m). The test results revealed that the uplift capacity of the wood piles showed a clear linearly increasing tendency in proportion to the embedded depth, with the ultimate uplift capacities for the diameters 25cm and 30cm being 9.38 and 10.56tf, respectively, at the embedded depth of 5m; thus demonstrating uplift capacities of  $\geq 9$ tf. The comparison between the actually measured values of the uplift capacity and the ones calculated through equations revealed that the latter, which were obtained using the  $\alpha$  method, were generally in an approximate agreement with the in-situ measured values.

**Additional key words:** embedment depth, field test; greenhouse, reclaimed land,  $\alpha$  method

## 서 론

2013년 말 기준 우리나라 화훼류 및 시설채소의 온실 면적은 각각 2,533ha 및 51,085ha 으로서 전체 면적은 53,618ha이다(MAFRA, 2014). 일반 농경지(내륙지역)에서 온실면적은 정부의 지원이 상대적으로 높았던 1996년까지 계속 증가하였지만, 그 이후 정부의 지원이 줄어들기 시작하면서 1999년부터 답보상태를 보이고 있다. 최근 농수산 시장개방에 대한 대응방안으로 간척지의 활용에 관심이 높아지고 있다. 국내 간척지는 그동안 주로

일반 농경지로 이용되어 왔지만 간척지 내 농경지의 고도이용을 위해 간척지 특성을 활용한 부가가치가 높은 작물 생산지로서의 규모화, 단지화된 시설원예단지의 구체적인 조성방안의 필요성이 대두되고 있는 실정이다(TKS, 2012).

현재 국내 주요 간척지인 화옹, 시화, 석문 및 새만금 지구를 포함한 12개 지구의 총 간척지 면적은 54,379ha로서 이 중 첨단수출원예단지 및 일반원예단지로 활용할 총 면적은 각각 3,000ha 및 2,185ha 로 계획되어 있다(MAFRA, 2010). 그 동안 간척지를 고부가가치의 시설원예단지로 개발하기 위하여 환경 친화적 입지 및 작목선정, 적정규모, 재배유형 등에 관한 연구는 활발히 진행되어 왔다(MIFAFF, 2007). 이와 관련하여 현재 화옹지구 간척지에 유리온실 10ha가 시공되어

<sup>†</sup>These authors equally contributed to this work.

\*Corresponding author: ychyoon@gnu.ac.kr

Received May 20, 2015; Revised June 12, 2015;

Accepted June 17, 2015

2013부터 토마토 및 파프리카 재배되고 있으며, 향후 간척지내 시설원예단지 조성실적은 더욱 증가할 것으로 예상된다.

국내 간척지의 경우는 대부분 매립형태로 이루어졌기 때문에 지반이 연약하며, 해안지역에 위치한 간척지의 특성상 강풍이 자주 발생하여 일반 건축구조물에 비해 상대적으로 경량구조물인 온실은 가혹한 환경에 노출될 경우가 많다. 따라서 온실기초 및 지반의 보강 없이 온실을 시공하는 것은 어려울 수밖에 없으며, 특히 온실은 강풍에 의한 피해가 대부분을 차지하므로 온실기초의 설계시 인발저항력에 대한 검토는 대단히 중요하다. 현재 일부 간척지에서 시공된 온실의 경우 기초보강을 위해 강관말뚝이나 PHC말뚝을 사용한 사례가 있으나 경량구조물인 온실을 시공하는데 기초보강비용이 막대하게 들어 가장 큰 문제점으로 지적받고 있다.

나무말뚝기초는 국내 온실에서는 적용된 사례는 많지 않으나 네덜란드에서는 비교적 많이 사용되고 있다. 강관말뚝 및 PHC말뚝에 비해 경제적이고 공기가 단축되며 친환경적 공법이라는 장점을 가지고 있다. 부식방지를 위해 지하수면 아래에서 시공되어야 하는 제한적 조건이 있으나 국내 간척지의 경우 지하수위가 높은 지역이 많고 지하수위의 영향이 크다 하더라도 나무말뚝에 대한 적절한 방부처리를 적용한다면 반영구적으로 사용이 가능하기 때문에 간척지에서 온실기초 보강을 위한 나무말뚝의 활용도는 높을 것으로 예상된다. 나무말뚝이 온실기초로서 활용되기 위해서는 기존의 기성말뚝들과 같이 그 성능이 검토되어야 한다. 그러나 현재 국내의 경우 온실기초를 위한 나무말뚝의 연구는 극히 미미한 실정이다.

본 연구에서는 간척지에서 나무말뚝기초에 대한 기초설계자료를 제공할 목적으로 현장인발재하시험을 통해 나무말뚝기초의 인발저항력을 측정하였고, 기초의 설계시 기존의 인발저항력 산정 이론식에 대한 적용성을 검토하기 위해 현장인발재하시험을 통해 얻어진 최대인발저항력과 기존의 인발저항력 산정 이론식을 비교하여 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 지반조건 및 현장개요

본 연구에서 대상지역은 전라북도 부안군 계화면 간척지를 선정하여 연구를 수행하였다. Table 1은 대상지역에 대한 지반조사결과를 깊이별 표준관입시험 N치와 함께 정리하여 나타낸 것이다. 대상지역은 상부 약 5.5m에 매립층이 위치하고 그 하부에는 심도 23.2m까지 퇴적토가 형성되어 있으며 그 아래에는 풍화토 및 풍화암이 각각 심도 29.7m, 심도 42.0m까지 분포하고 있는 것으로 나타났다. 표준관입시험결과 매립층인 심도 5.5m까지 지반은 N치가 9~15의 값을 보였으며, 퇴적토층은 심도 8.7m까지 N치가 11~27 정도로 나타났고, 심도 23.2m까지는 N치가 4~6 정도로서 느슨하게 형성되어 있는 것으로 나타났다. 또한 N치의 경우 풍화토층에서는 26~42 정도의 값을 보이며 매우 조밀한 상태로 형성되어 있는 것으로 조사되었다.

### 2. 시험 나무말뚝의 자원 및 설치

본 연구에서 사용한 나무말뚝의 수종은 소나무로서 그 직경은 원구(butt)를 기준으로 각각 25cm, 30cm로 2가지 직경의 나무말뚝을 사용하였다. 나무말뚝의 매입깊이는 각각 1m, 3m, 5m이며, 이때 나무말뚝의 매입방법은 나무말뚝의 말구(tip)가 아래로 향하도록 즉 원구부분이 위로 향하도록 매입하였다. 현장에서 나무말뚝의 설치에는 백호(Back hoe, SOLAR300LC-V)를 이용하였고, 나무말뚝을 매입할 때, 말뚝의 휨이나 파손 및 흔들림 등을 최대한 방지하기 위하여 버킷 정착부에 직경 400mm의 캡을 부착한 후, 이 캡을 말뚝의 원구에 설치하여 압입하는 방법으로 말뚝을 설치하였다.

인발하중의 재하는 말뚝 향타시 일반적으로 발생하는 세트업(set-up)효과를 고려하여 나무말뚝을 설치하고 나서, 3일 후에 실시하였으며, 백호로부터 버킷(bucket)을 분리한 후, 버킷 정착구의 선단에 충분한 강도를 발휘할 수 있는 강선을 나무말뚝에 연결하여 인발하중을 가하였다. 인발하중 재하속도는 백호로 가할 수 있는 최대한

Table 1. Soil profiles of field test site.

Soil layer	Soil profile		Distribution depth (m)	N value	Remarks
	Soil texture	Soil color			
Fill deposit	Silty sand	Dark yellow	0.0~5.5	9~15	
Sedimentary soil	Silty sand	Dark gray	5.5~8.7	11~27	Groundwater level : -0.3m
	Silty clay	Dark gray	8.7~23.2	4~6	
Sedentary deposit	Silty sand	Off-white	23.2~29.7	26~42	
Weathered rock	Granite gneiss	Light blue	29.7~42.0	-	



Fig. 1. Field test on uplift capacity.

느린 속도로 재하하였다. 그리고 인발저항력은 나무말뚝과 백호 선단과 연결한 강선에 최대하중 10 tf인 하중계(BONGSHIN, TLH, Korea)와 데이터로거(Green TECH, GTDL-350, Korea)를 이용하여 측정하였다. 인발저항력은 각 나무말뚝의 직경과 매입깊이별로 2회 반복실험을 수행하였으며, 인발저항력이 최대값(이하 극한인발저항력이라 칭함)을 나타냈을 때 시험을 종료하였다. Fig. 1은 나무말뚝의 설치 및 현장인발재하시험의 전경을 나타낸 것이다.

### 3. 나무말뚝의 인발저항력 산정 이론식

본 연구에서는 나무말뚝에 대한 현장인발재하시험결과와 이론식에 의한 인발저항력을 비교하여 검토하였다. 사용한 이론식은 본 대상지역의 지반이 점토지반인 것을 고려하여 Das & Seeley (1982)의 방법과 a 방법(Tomlinson, 1979)을 이용하여 인발저항력을 산정하였다.

Das & Seeley (1982)는 포화점토 지반에서 말뚝의 인발저항력을 다음과 같이 제시하였다.

$$T = Lp\alpha'c_u \quad (1)$$

여기서,  $L(m)$  = 말뚝 길이,  $p(m)$  = 말뚝 단면의 윤편,  $\alpha'$  = 흙-말뚝 접촉면의 부착계수  $c_u(t/m^2)$  = 점토의 비배수 점착력을 나타낸다.

그리고 현장타설 말뚝의 경우

$$\alpha' = 0.9 = 0.06125c_u(c_u \leq 8.16t/m^2) \quad (2)$$

강관 말뚝의 경우

$$\alpha' = 0.2(c_u > 2.75t/m^2) \quad (3)$$

a 방법을 이용하여 인발저항력을 산정할 경우에는 일반적으로 본 이론식으로부터 얻은 극한주면저항력에 인발저항력을 1/3로 가정한다. a 방법의 절차는 다음과 같다.

$$f_s = c_a = \alpha c_u \quad (4)$$

여기서,  $f_s(t/m^2)$  = 단위 주면저항력,  $c_a(t/m^2)$  = 흙-말뚝 사이의 전단응력,  $c_u(t/m^2)$  = 점토의 비배수 점착력,  $\alpha$  = 경험적인 부착력 계수를 나타낸다.

$$R_s = \sum f_s A_s \quad (5)$$

여기서,  $R_s(\text{ton})$  = 극한 주면저항력,  $A_s(m^2) = \pi \times D \times L$  를 나타낸다.

$$\text{선단저항력 } q_t = 9c_u \quad (6)$$

$$\text{극한 선단저항력 } R_t = q_t A_t \quad (7)$$

$$\text{말뚝의 극한지지력 } Q_u = R_s + R_t \quad (8)$$

이때 각 이론식 적용시 필요한 지반의 점착력은 대상 지역에서 지반조사를 실시하여 얻은 N치의 평균치를 토대로 추정하여 적용하였으며, 추정 방법은 식 (9)와 같으며, 이를 이용하여 추정한 점착력은  $7.5 t/m^2$  이다.

$$\text{점착력 (Terzaghi) } c(t/m^2) \approx 0.625N \quad (9)$$

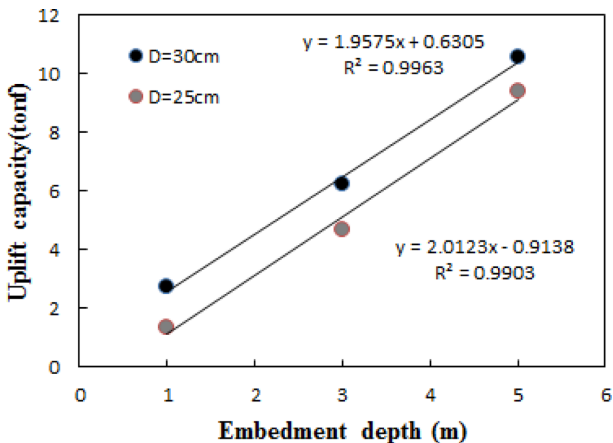
## 결과 및 고찰

### 1. 나무말뚝의 인발저항력

Table 2는 2회 반복한 나무말뚝의 최대인발저항력의 평균값을 근입깊이별로 정리한 것이며, Fig 2는 직경 25cm 및 직경 30cm의 나무말뚝 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 이 결과들을 관찰하면 나무말뚝의 인발저항력은 근입깊이가 증가할수록 선형적으로 뚜렷하게 증가하는 경향을 보였다. 근입깊이 5m를 기준으로 최대인발저항력은 직경 25cm와 직경 30cm의 나무말뚝이 각각 9.38tf, 10.56tf로 모두 9tf 이상의 인발저항력이 나타났다. 상대적으로 직경이 큰 직경 30cm의 나무말뚝이 직경 25cm의 나무말뚝보다 인발저항력이 높은 것으로 나타났다. 직경 30cm의 나무말뚝은 직경 25cm의 나무말

**Table 2.** Results of field uplift loading test.

Diameter (cm)	Embedment depth (m)	Ultimate uplift capacity (tf)
Ø25	1	1.33
	3	4.66
	5	9.38
Ø30	1	2.73
	3	6.23
	5	10.56



**Fig. 2.** Ultimate uplift capacity according to embedment depth.

뚝 대비 113% 정도의 최대인발저항력을 보이는 것으로 나타났다.

**2. 기존의 최대인발저항력 산정 이론식의 적용성 검토**

본 연구에서는 앞에서 기술한 Das & Seeley(1982) 이론식과 a 방법에 의한 점성토에서 인발저항력 산정 이론식을 나무말뚝의 최대인발저항력 산정시 적용성에 대한 검토를 위해 본 현장인발재하시험을 통해 얻어진 최대인발저항력과 위의 이론식으로부터 산정된 최대인발저항력을 비교하였다.

Table 3는 현장인발재하시험의 최대인발저항력결과와 각 이론식으로부터 얻어진 최대인발저항력을 정리하여 나타낸 것이다. a 방법으로 얻어진 최대인발저항력은 비교적 현장시험결과에 근접하는 것으로 나타났으며, 직경 30cm의 나무말뚝의 결과에 더 근접하는 것으로 나타났다. 그리고 Das & Seeley(1982) 이론식의 경우 현장타설 말뚝과 강관말뚝의 인발저항력 값 사이에 현장시험의 나무말뚝의 인발저항력값이 위치하는 것으로 나타났는데 강관말뚝보다는 크며 현장타설말뚝보다는 작은 것으로 나타났다. Das & Seeley(1982)의 산정 이론식은 강관말뚝과 현장타설 말뚝에 대한 α(흙-말뚝 접촉면의 부착계수)값만을 제시하고 있기 때문에 본 연구의 나무말뚝과는 비교가 어려우나 적절한 α(흙-말뚝 접촉면의 부착계수)값이 제안된다면 나무말뚝의 인발저항력에 대하여 적용성이 높을 것으로 판단되었다.

**적 요**

나무말뚝은 국내 온실에서는 적용된 사례는 많지 않으나 네덜란드에서는 비교적 많이 사용되고 있다. 강관말뚝 및 PHC말뚝에 비해 경제적이고 공기가 단축되며 친환경적 공법이라는 장점을 가지고 있다. 부식방지를 위해 지하수면 아래에서 시공되어야 하는 제한적 조건이 있으나 국내 간척지의 경우 지하수위가 높은 지역이 많기 때문에 간척지에서 온실기초 보강을 위한 나무말뚝의 활용도는 높을 것으로 예상된다. 본 연구에서는 간척지에서 나무말뚝기초에 대한 기초설계자료를 제공할 목적으로 현장인발재하시험을 통해 나무말뚝기초의 인발저항력을 측정하였고, 기초 설계시 기존의 인발저항력 산정 이론식에 대한 적용성을 검토하기 위해 현장인발재하시험을 통해 얻어진 최대인발저항력과 기존의 인발저항력 산정 이론식을 비교하여 검토하였다. 본 연구에서 사용한 나무말뚝의 수종은 소나무이며, 직경 25cm와 직경 30cm의 나무말뚝에 대하여 근깊이가 1m, 3m, 5m별로

**Table 3.** Comparison between measured and computed uplift capacities.

Diameter (cm)	Embedment depth (m)	Uplift capacities (tf)			
		Field test	a method	Das & Seeley	
				Drilled shaft	Steel pile
Ø25	1	1.33	2.34	2.59	1.18
	3	4.66	4.80	7.78	3.53
	5	9.38	7.26	12.97	5.89
Ø30	1	2.73	3.07	3.11	1.41
	3	6.23	6.02	9.34	4.24
	5	10.56	8.98	15.57	7.07

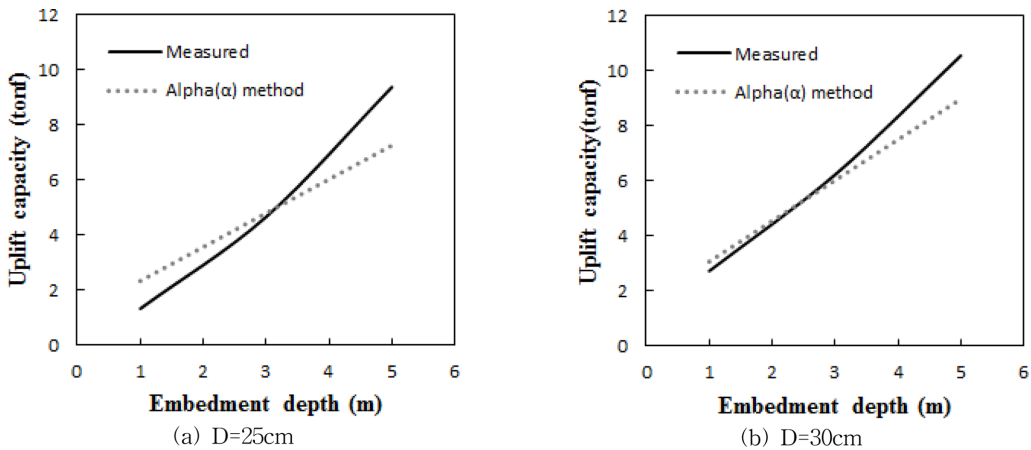


Fig. 3. Comparison between measured and computed uplift capacities (a method).

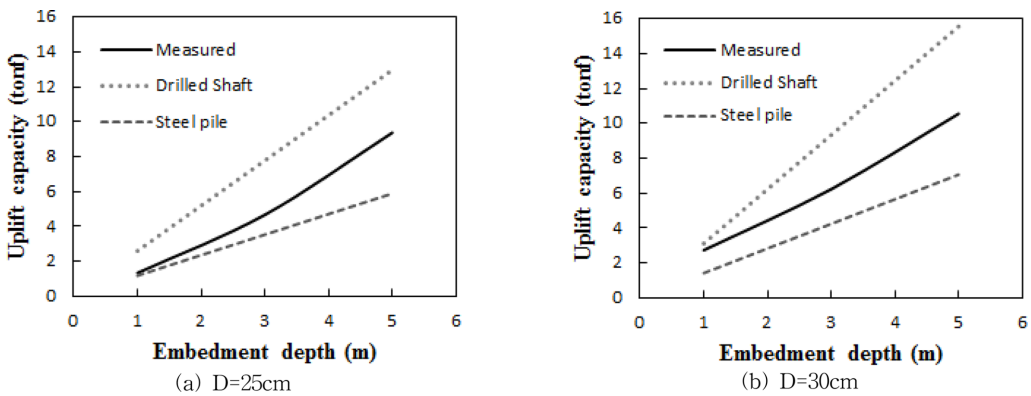


Fig. 4. Comparison between measured and computed uplift capacities (Das & Seeley)

현장인발재하시험을 진행하였다. 그 결과, 나무말뚝의 인발저항력은 근입깊이가 증가할수록 선형적으로 뚜렷하게 증가하는 경향을 보였으며, 근입깊이 5m를 기준으로 최대인발저항력은 직경 25cm와 직경 30cm의 나무말뚝이 각각 9.38tf, 10.56tf로 모두 9tf 이상의 인발저항력이 나타났다. 나무말뚝의 최대인발저항력 산정을 위해 기존의 산정 이론식에 대한 적용성을 검토한 결과, a 방법으로 부터 얻어진 인발저항력의 경우 전반적으로 현장시험결과에 근접하는 수치를 제공하는 것으로 나타났고 Das & Seeley 이론식의 경우 현장타설말뚝과 강관말뚝의 인발저항력 값 사이에 현장시험의 나무말뚝의 인발저항력 값이 위치하는 것으로 나타났다.

**추가 주제어:** 매입깊이, 현장시험, 온실, 간척지, a 방법

## 사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 : PJ0094922014)의 지원에 의해 이루어진 것 임.

## Literature Cited

Das, B.M., and G.R. Seeley. 1982. Uplift capacity of pipe piles in saturated clay. *Soils and Foundations, The Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 22(1):91-94.

Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MIFAFF). 2007. Development method of the future agricultural complex in reclaimed land. Gwacheon, Korea (in Korean).

Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2010. Press release. [http://www.mafra.go.kr/list.jsp?id=26985&pageNo=1&NOW\\_YEAR=2010&group\\_id=2&menu\\_id=49&link\\_menu\\_id=&division=B&board\\_kind=C&board\\_skin\\_id=C1&parent\\_code=33&link\\_url=&depth=2](http://www.mafra.go.kr/list.jsp?id=26985&pageNo=1&NOW_YEAR=2010&group_id=2&menu_id=49&link_menu_id=&division=B&board_kind=C&board_skin_id=C1&parent_code=33&link_url=&depth=2).

Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). 2014. Greenhouse status for the vegetable grown in facilities and the vegetable productions in 2013. ed. MAFRA, Sejong, Korea (in Korean).

The Kyunghyang Shinmun (TKS). 2012. Press release. <http://news.khan.co.kr>.

Tomlinson, M.J. 1979. *Foundation design and construction*, Fourth Edition, Pitman Advanced Publishing Program.