



## 나무말뚝 형상과 접촉면적에 따른 인발저항력 특성

### Characteristics of Uplift Resistance According to Shape Factor and Contact Area of Wooden Piles

송창섭<sup>a</sup> · 김명환<sup>b,†</sup> · 박오현<sup>c</sup> · 우제근<sup>d</sup> · 김기범<sup>e</sup>

Song, Chang Seob · Kim, Myeong Hwan · Park, Oh Hyun · Woo, Jea Kuen · Kim, Gi Beom

#### ABSTRACT

Reclaimed land was mainly used as agricultural land for rice production. As a higher value-added business in the agriculture has recently been activated, green houses are being constructed. In case of green house construction on the reclaimed land, it is generally soft ground with high soil water content, so it is important to design the foundation for greenhouse construction. The object of this study, a pull-out test was conducted to derive the base line data of the wooden pile foundation when constructing a green house. To reproduce the actual site, 30% of soil saturation and 70% of soil saturation were created in the soil box. Groove number and depth were set as design factors of the wooden pile, and a pull-out test was conducted. As a result of the test, pull resistance increased as the number of grooves increased, pull-out resistance according to groove depth was different according to soil saturation. Also, after the experiment, we want to compare the set-up effects over time.

**Keywords:** Uplift resistance; wooden pile foundation; contact area; groove depth; set-up

#### 1. 서론

우리나라 간척지는 쌀 생산을 위한 농지로 FTA 등 농산물 시장 개방에 따른 경쟁과 농가인구 감소 및 고령화 등의 노동력 부족현상으로 농업부문 경쟁력 강화를 위해 간척지의 농업적 이용을 고도화 하였다. 현재 간척지 농업용지 활용을 위한 대단위의 첨단 시설원예단지가 조성 중에 있다 (RDA, 2015). 국내에 조성된 간척지는 점토 광물의 조성에 따른 지역적 차이를 보인다. 간척지의 대표적인 물리적 특성은 자연함수비가 25~80%로 100% 이내에 액성한계와 비슷한 수준을 나타내는 점토지반으로 구성되어 있는 것으로 나타났다. 연

약 점토로 구성된 지반에 설치되는 원예시설 기초형식으로는 조성시기와 지반조사 결과에 따라 기초형식이 다르며, 일반적으로 직접기초와 말뚝기초 (나무말뚝, RC말뚝, PHC말뚝 등), 지반개량공법 등 기초선정 방법에 근거하여 지반조사 결과, 경제성과 시공성을 고려한 기초선정이 필요하다 (Lee, 2015). 간척지 기초는 구조물의 자중과 각종 하중들을 지반의 지내력에 대해서 안전하게 전달하는 것을 주목적으로 하고 있다. 시설원예단지에서 주로 시공되는 파이프 하우스와 같은 경량구조물은 수직하중 뿐만 아니라 풍압이나 지진력 등의 수평하중에 의해 영향을 받기 때문에 인발이나 전도에 대한 안정성이 중요하다 (Yoon, 2001). 간척지 기초로 사용되는 나무말뚝기초는 국내 온실 시공에 적용된 사례는 많지 않으나 강관말뚝 및 PHC말뚝에 비해 경제적이고 시공이 간편하다는 장점을 가지고 있다. 부식을 방지하기 위해 지하수면 아래로 매립되어야 하는 제한조건이 있으나 국내 간척지의 경우 지하수위가 높은 지반이 많으며 지하수위의 영향을 받더라도 말뚝에 방부처리를 한다면 반영구적으로 사용할 수 있다 (Yoon, 2015). 간척지에서 연약층의 두께가 두꺼운 경우에는 선단지형식의 말뚝기초 시공은 어렵기 때문에, 주로 마찰저항을 이용하는 마찰말뚝 형태로 상부하중을 지지하게 된다. 마찰말뚝의 마찰저항은 지반의 물리적 성질, 하중형태, 말뚝의 규격 등에 따라 다르게 나타내는데 (Kang, 2015), 강관말뚝이나, PHC말뚝과 같은 기성말뚝에 비해 나무말뚝에 대한 연구는 부족한 실정이다. 이에 간척지에서 나무말뚝기초에 대

<sup>a</sup> Professor, Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungbuk National University

<sup>b</sup> Ph.D., Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungbuk National University

<sup>c</sup> M.E. Student, Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungbuk National University

<sup>d</sup> Dept. of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Jeonju, South Korea

<sup>e</sup> Undergraduate Student, Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungbuk National University

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-43-261-2572, Fax: +82-43-271-5922

E-mail: [mhkim3306@naver.com](mailto:mhkim3306@naver.com)

Received: January 27, 2021

Revised: March 22, 2021

Accepted: March 22, 2021

한 현장 인발저항력을 인발저항력 이론식과 비교한 결과 인발저항력은 근입깊이가 증가할수록 선형적으로 증가하는 경향을 보였으며,  $\alpha$  방법 결과와 유사하게 나타남을 확인하였다 (Yun et al., 2015). 또한 간척지 점토지반의 말뚝 시공 시 지반 변화는 강도가 약해지며 이는 시간에 따라 변화하게 된다. 따라서, 말뚝의 지지력도 시간 의존적 함수가 되는데 이를 말뚝 지지력의 시간경과효과라고 부른다. 말뚝의 지지력 평가가 신뢰성 있기 위해서는 Set-up 효과가 반영되어야 하는데 아직까지 이를 고려할 수 있는 만족할 만한 방법이 없다. 또한 점성토 지반에서 말뚝을 향타하면 지반에는 과잉간극수압이 발생하게 되어 말뚝의 관입이 어려워지게 된다. 따라서, 과잉간극수압의 소산에 의해 말뚝이 관입하게 되는데 이러한 현상은 향타관입 과정 중에 관찰되어진다. 즉, 말뚝주변에 간극수가 유출되는 것을 육안으로도 쉽게 확인할 수 있다. 이러한 간극수압은 시간이 지남에 따라 소산되면서 지반 내에 유효응력과 전단강도를 증가시켜 말뚝의 지지력에 영향을 주고 있다는 것이 이론적인 토질역학에서 인식되고 있는 사항이다 (Chun, 1999). 기존의 연구에서 국내 간척지 온실기초에 대한 나무말뚝의 연구는 말뚝의 근입깊이에 따른 인발저항력의 경향을 분석하였지만, 나무말뚝의 직경과 길이, 기초 표면의 형

상에 따라 인발저항 특성이 서로 다르게 나타날 수 있다고 사료된다. 따라서 본 연구에서는 동일한 근입깊이를 설정하고 나무말뚝 하부에 Groove 개수와 Groove 깊이 및 시간경과에 따른 인발저항력 특성을 파악하여, 간척지에서의 나무말뚝기초 적용에 관한 기초설계 자료를 도출하기 위하여 목적이 있다.

## II. 재료 및 시험방법

### 1. 시험재료 및 장치

#### 가. 나무말뚝

말뚝의 Groove 형상에 따른 인발저항력 특성 분석을 위해 민무늬, Groove 4종류, Groove 깊이 2종류를 시험요인으로 설정하고 제작하였다. 나무말뚝은 낙엽송으로 건축, 펄프, 선박 제작 등에 사용되고 있으며, Fig. 1은 시험에 투입된 나무말뚝의 모습이다. 재료의 역학적 특성은 Table 1과 같고, 나무말뚝 제작시 말뚝의 동근면과 겉표면의 전단강도 시험을 통해 전단응력을 측정하였다. 모형토조 및 지그 (zig) 크기를 고려하여 직경 50 mm, 전체 길이 750 mm로 하였다. 나무말뚝의

Table 1 Mechanical properties of wooden pile

Longitudinal compressive strength (kPa)	Longitudinal tensile strength (kPa)	Bending strength (kPa)	Shear strength (kPa)	
			Radiation	Tangent
53,200	58,400	98,600	11,300	11,000

Table 2 Data of groove wooden pile

Groove (n)	0		1		3		5		6	
Groove depth (mm)	0.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	
Contact area (cm <sup>2</sup> )	942.49	942.46	942.41	942.43	942.29	942.40	942.16	942.38	942.10	



Fig. 1 Wooden piles

Groove (이하 “흠”) 개수와 깊이에 따라 접촉면적은 감소하고 있으며 이는 Table 2와 같다.

나. 시료

모형토조의 지반조성에 사용된 흠은 전라북도 완주군에서 채취하였으며, 시료의 물리적 특성은 Table 3, 입도분포곡선은 Fig. 2와 같다. 통일분류는 ML로 0.074 mm 통과량이 62.5%, 4.76 mm 통과량은 98.6%인 저소성 실트이다. 시료의 역학적 특성을 파악하기 위하여 A다짐 시험을 한 결과 최대건조밀도 15.86 kN/m<sup>3</sup>, 최적함수비 17.2%로 나타났고, Table 4에 정리하였다.

다. 시험장치

시험에 사용된 모형토조는 나무말뚝 매입을 위한 지반을 조성할 수 있도록 제작되었다. 모형토조 하부에 바퀴 부착하

고 바닥에 레일을 설치하여 장치의 이동 및 고정을 가능하게 하였다. 모형토조의 크기는 1,000 (B) × 500 (L) × 700 (H) mm이며 지반 조성시 흠의 하중에 견딜 수 있도록 외부 프레임은 철제빔으로 구성되었다. 모형토조의 전면부에 특수 아크릴을 설치하여 시료의 다짐높이 및 다짐상태를 확인 할 수 있도록 하였다. 나무말뚝의 인발저항력 특성을 파악하기 위해 설치된 하중제어장치는 LVDT형식의 내부 변위계이며, 수직방향으로 나무말뚝을 인발할 수 있도록 설치하였다. 하중 제어장치의 유압서보 시스템은 최대 5 ton까지 제어 가능하며, LVDT는 최대 80 mm까지 0.001 mm의 분해능으로 측정이 가능하다. 인발시험 시 나무말뚝이 하중제어장치로부터 이탈되지 않도록 장치 하부에 지그 (zig)를 결합하여 말뚝을 고정하였으며, Fig. 3는 모형토조의 전면부 모습과 하중제어장치 load cell의 모습을 나타낸다.

Table 3 Physical characteristics of soil

LL (%)	$I_p$	$G_s$	Grain size distribution					USCS
			#4 (%)	#10 (%)	#40 (%)	#200 (%)	$2\mu$ (%)	
45.1	10.4	2.60	98.6	91.9	81.2	62.5	0.8	ML

Table 4 Mechanical characteristics of soil

Field density		A compaction		D compaction		CU test	
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	R (%)	$\gamma_{dmax}$ (kN/m <sup>3</sup> )	O.M.C (%)	$\gamma_{dmax}$ (kN/m <sup>3</sup> )	O.M.C (%)	C (kPa)	$\phi$ (°)
8.26	52.1	15.86	17.2	16.96	14.8	7.31	27.1

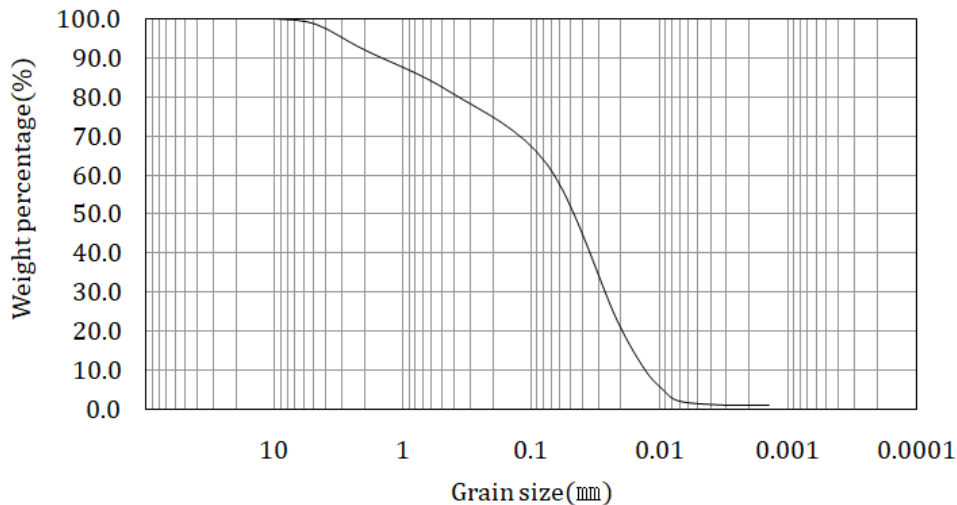


Fig. 2 Grain size distribution curve

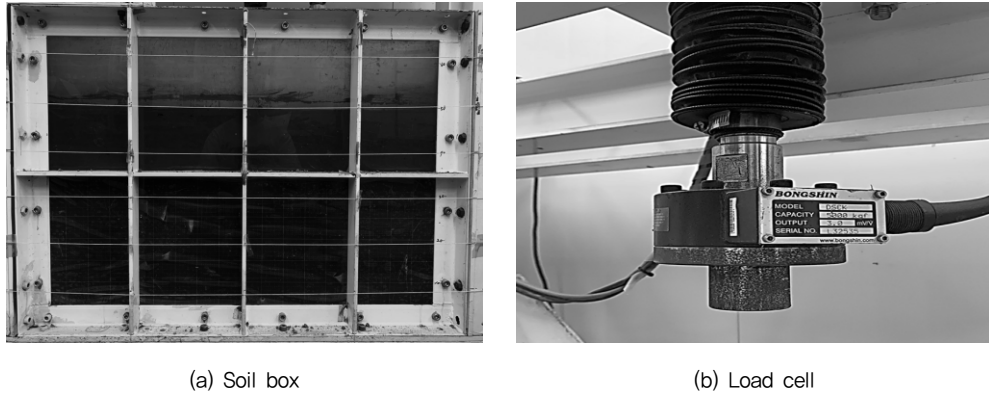


Fig. 3 Used in the experiment model soil box and load cell

## 2. 시험 조건 및 방법

### 가. 시험조건

국내 주요 간척지 지반의 포화도 (saturation) 조사 결과에 따르면, 최소 41.8%에서 최대 75.5%로 나타났다 (RDA, 2015). 따라서 지반 내의 지하수위 변화를 고려한 간척지의 지반 상태를 재현하기 위해 모형토조 지반 조성시 포화도 30% 및 포화도 70%를 시험조건으로 설정하였다. 포화도 70% 이상의 조건으로 맞추기에는 모형토조의 크기가 제한적이고, 흙에 따른 인발력을 비교하고자 포화도의 범위를 설정하였다. 나무말뚝의 흠 형상요인에 따른 인발저항력 특성 시험은 포화도 2조건, 나무말뚝 흠 개수 4종류 및 흠 깊이 2종류와 민무늬 말뚝을 포함하여 총 18개의 조건에 대하여 인발시험을 수행하였다.

### 나. 시험방법

지반의 포화도 및 나무말뚝 흠 형상 요인에 따른 인발저항력 특성을 분석하기 위해 Fig. 4와 같이 모형 토조에 지반을 조성하고 나무말뚝 설치 및 지그 체결을 수행하였다. 토조 내 지반 조성시 사용한 흙의 단위중량을 표 5로 정리하였다. 높이 200 mm마다 계산된 흙과 물의 양을 계량하여 진행하였고, 총 높이 600 mm의 지반을 등다짐 방법으로 조성하였다. 나무말뚝은 하중제어장치 지그의 위치에 맞도록 토조 정 가운데 수직으로 설치한 다음 인발시 위치로부터 말뚝의 이탈을 최소화하기 위해 말뚝 주변부터 시료를 다졌다. 현장에서 사용되는 나무말뚝은 곧지 않아 향타시 말뚝의 위치가 이동하는 비틀림이 발생하며 부러지는 문제가 발생 (Yu et al., 2014)한다. 이를 방지하기 위해 압입방법으로 설치하지만, 본 연구의 모형토조는 나무말뚝 압입에 필요한 하중을 재하할 수 없는

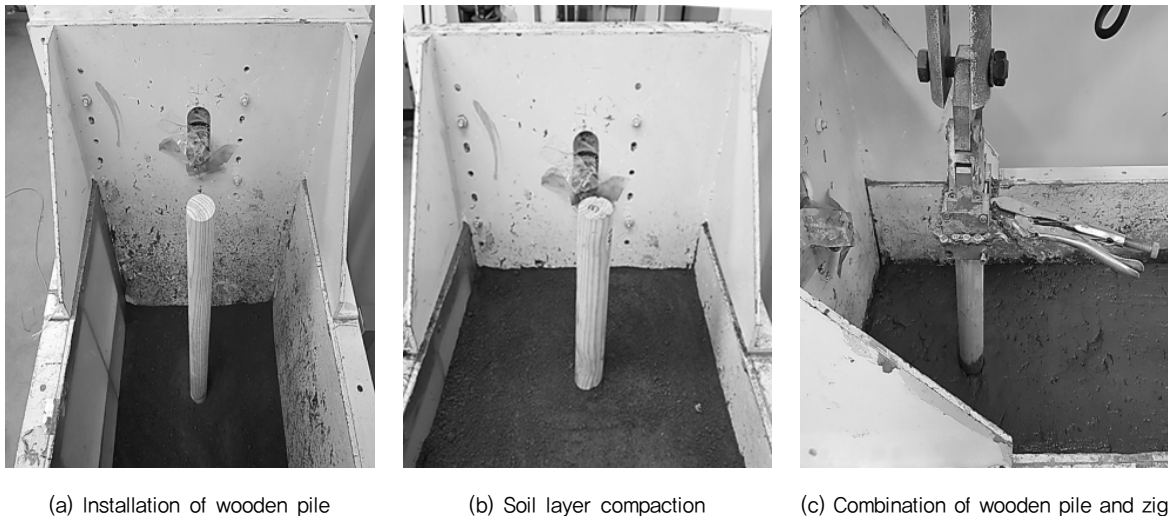


Fig. 4 Procedure of wooden pile installation and soil layer compact for model soil box test

**Table 5** Weight of soil and water per 200 mm

Saturation	$\gamma_{dmax-A}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Weight of soil (g)	Weight of water (g)
$S_r = 30\%$	15.89	52,561	8,935.3
$S_r = 70\%$			20,848.9

한계가 있어 매입방식을 선택하였다. 인발시험은 KS F 2732 규정에 준하여 수행하였다. 말뚝에 대한 인발하중은 변위제어방식으로 가하였으며, 데이터 로거에 1초 단위로 말뚝의 변위 및 하중 값이 입력되도록 설정하였다. 인발속도는 1 mm/min으로 하였으며 계측 프로그램에 나무말뚝의 최대 인발저항력이 나타난 후 인발저항력의 감소 추세가 나타나면 시험을 종료하였다. 또한 Seo (2003) 등의 연구와 같이 시간경과에 따라 나타나는 효과를 확인하기 위하여 포화도 70%의 시험이 종료되고 난 이후 4일간 방치하여 인발저항력을 재측정 하였다.

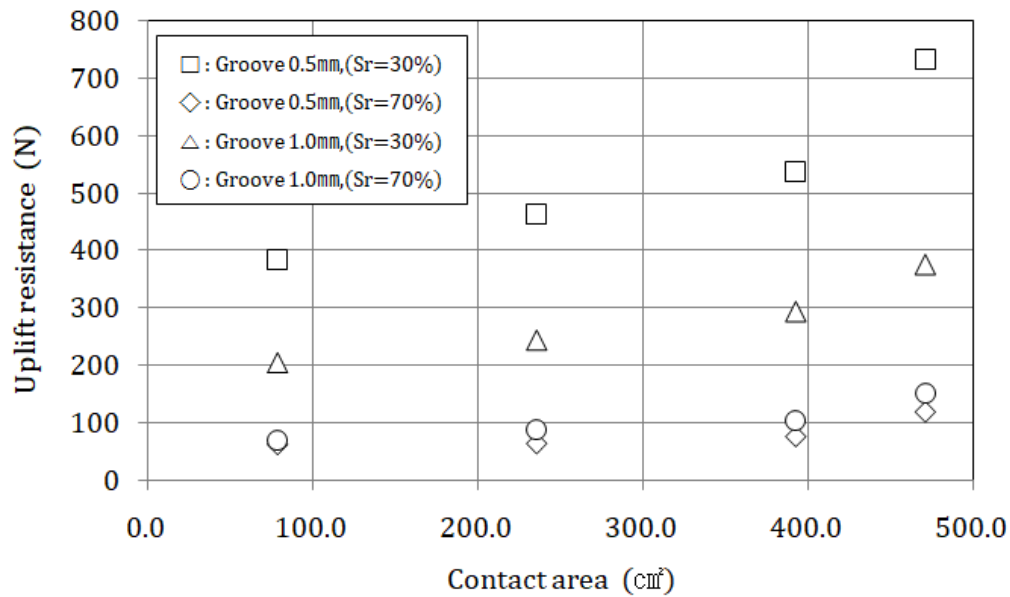
### III. 결과 및 고찰

#### 1. 나무말뚝 Grooving 주면면적에 따른 인발저항력 특성

지반의 포화도가 30%일 때, 흠 형성된 말뚝은 민무늬 말뚝의 비해 인발저항력은 최대 3.8배 차이를 보였으며, 포화도 70%의 경우, 최대 2.9배 차이가 나타남은 Table 6을 통해 확인할 수 있다. 또한 포화도에 관계없이 전체 말뚝 주면면에 대한 흠의 면적 400 cm<sup>2</sup>을 기준으로 작 경우에서의 인발저항력 증가폭은 폭은 1.02~1.25배로 저조한 증가경향을 보이지만, 400 cm<sup>2</sup>보다 큰 6개의 흠 주면면적에서는 1.27~1.55배로 보다 큰 차이가 나타남은 Fig. 5를 통해 확인할 수 있다. 이는 말뚝 흠 부분에 흠의 채움이 마찰저항에 영향을 미치고, 이로 인하여 인발저항력이 증가하였다고 판단된다.

#### 2. 포화도에 따른 인발저항력 특성

포화도 30% 및 70% 지반에서의 최대 인발저항력은 Table



**Fig. 5** Uplift resistance according to contact area of groove and saturation

**Table 6** Uplift resistance according to contact area of groove

Uplift resistance (N)	Groove depth (mm)								
	0.0	0.5				1.0			
	Contact area of groove (cm <sup>2</sup> )								
	0.0	78.5	235.6	392.6	471.1	78.48	235.4	392.4	470.9
$S_r = 30\%$	193.3	384.6	463.6	538.4	732.8	204.9	244.2	294.3	376.4
$S_r = 70\%$	51.9	63.2	64.78	76.73	118.9	70.9	89.2	105.6	152.2

6에서 확인 할 수 있다. 지반의 포화도가 증가함에 따라 최대 인발저항력은 감소하는 경향이 나타났다. 각 지반의 포화도 조건에 따른 최대 인발저항력은 포화도 30%의 경우 접촉면적 471.1 cm<sup>2</sup>, 흠 깊이가 0.5 mm에서 나타났으며, 70%의 경우 면적 470.9 cm<sup>2</sup>, 깊이 1.0 mm에서 나타났다. 이를 통해 포화도가 70%인 지반인 경우에는 흠 깊이가, 포화도가 낮은 지반인 경우에는 흠 수가 인발저항력에 영향을 크게 주는 것을 알 수 있었다. 이는 포화도가 증가할수록 기초의 주면면적에 따른 흠의 채움과 마찰력보다 말뚝표면에서 발휘되는 부착력이 인발저항력에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 위치마다 포화도 편차가 존재하는 간척지의 지반특성을 고려했을 때 나무말뚝 흠의 적절한 깊이가 기초의 안정성 향상을 위한 주요한 설계요소라고 판단된다.

### 3. Set-up 효과에 의한 강도 변화특성

포화도 70% 조건에서 인발저항력 측정 후 모형 지반을 4일 간 방치하여 인발저항력을 재측정하였다. 말뚝에 0.5 mm 흠 형성 시 흠 개수에 따라 인발저항력은 최대 1.18~1.86배, 1.0 mm 형성했을 경우에는 1.08~1.99배까지 증가하는 경향이 나타났다. 같은 포화도 조건에서 흠에 따른 인발저항력은 1.0 mm에서 Set-up 효과가 두드러지게 나타남을 확인하였으며, Fig. 6은 Set-up 전후의 인발력 결과를 나타낸 것이다. 이는 주면면적에 따른 인발저항력 증가와 같은 효과를 보였다. Set-Up의 이유로는 모형지반을 조성시 보다 시간 경과로 흡수의 과잉간극수압이 소산되면서 지반이 안정되고, 말뚝 주면과의 유효응력이 증가하면서 말뚝의 지지력 상승에 영향을 주었다고 사료된다. 이는 Seo 등 (2003)의 연구와 같이 시간경과 효과가 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한 시간이 경과함에 따라 지반교란 및 흠 입자의 재형성 효과가 thixotropy 또는 aging 효과를 유발하게 되어 말뚝의 지지력이 증가했을 것으로

판단된다. 이는 4일 후 모형토조 성토 지반의 침하량이 6 cm 발생에서도 지반밀도의 증가를 확인할 수 있었다.

## IV. 결론

본 시험에서는 점성토 지반에서 나무말뚝 Groove 개수 및 깊이의 종류, 포화도에 따른 인발저항력 특성 분석을 위해 모형토조를 이용하여 인발시험을 진행하였다. 통일분류법상 ML에 해당되는 시료를 포화도 30, 70%, 말뚝 형상 요인 Groove 수 1, 3, 5, 6개 및 깊이 0.5, 1.0 mm를 성형하여 인발시험을 수행하였다. 본 시험에서 도출된 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 나무말뚝 Groove 성형요인에 따라 인발저항력은 증가하였으며, 지반의 포화도가 30%일 때, Groove 성형 말뚝과 민무늬 말뚝의 인발저항력은 최대 3.8배 차이가 났으며 포화도가 70%인 경우, 최대 2.9배 차이가 나타났다.
2. 포화도에 관계없이 Groove 수에 따른 주면면적이 일정 크기 (400 cm<sup>2</sup>)를 기준으로 주면면적이 커질 시 인발저항력의 크기는 현저하게 증가함을 보였다. Song (2016)의 연구결과와 같이 인발저항력을 극대화시키기 위한 기준으로 확인하였고, 이는 Groove 형성으로 인한 흠의 채움과 마찰력 증대로 인해 증가하였다고 사료된다.
3. 포화도에 따른 인발저항력의 경우, 포화도가 증가함에 따라 최대 인발저항력은 감소하는 경향이 나타났다. 70%의 경우 깊이 0.5 mm와 1.0 mm 비교할 시, 인발저항력은 1.0 mm에서 1.28배 상향된 값이 측정되었다. 포화도가 큰 지반은 말뚝 표면과 흠의 점착력간 상호작용이 인발저항력에 더 큰 영향을 미치기 때문으로 판단된다. 따라서 포화도 편차가 위치마다 차이나는 간척지의 지반특성을 고려했을 때, 나무말뚝 Groove의 적절한 깊이가 기초의 안정성 향상을 위한 주요한 설계 요소임을 알 수 있다.

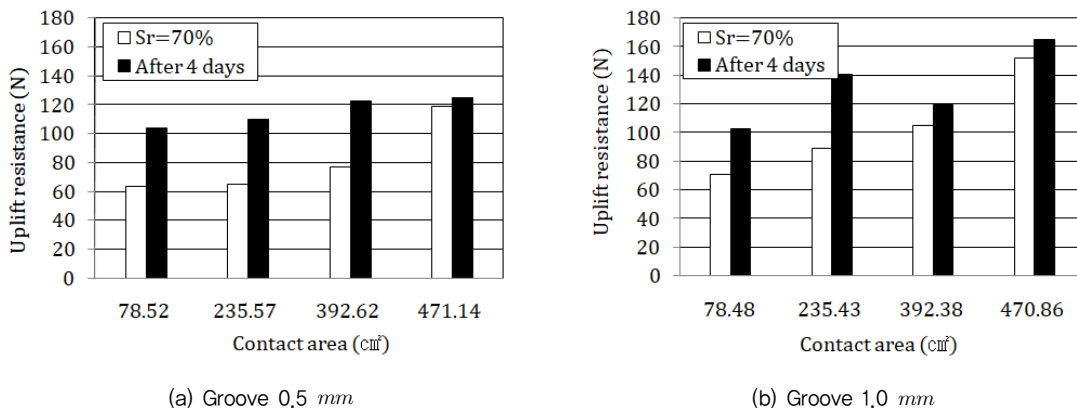


Fig. 6 Comparison of uplift resistance according to set-up in time-lapse

4. Groove에 따른 인발저항력은 Groove 수가 증가함과 동시에 인발저항력 값도 증가하였으며, 포화도 30%인 지반의 경우 Groove 개수에 따른 인발저항력 값의 차이가 70%인 지반보다 크게 나타났다. 말뚝의 홈과 지반 경계면 사이에 매입된 말뚝에 인발하중 작용 시 전단응력이 발생하게 되는데 포화도가 증가함에 따라 전단강도가 작아지기 때문에 인발저항력 값의 편차가 작게 나타나는 것으로 판단된다.
5. 모형지반 조성 후 Set-up효과는 1.0 mm의 Groove 형태에서 인발저항력이 최대 1.99배까지 증가되는 효과를 확인하였다. 이는 시간 경과로 흙속의 과잉간극수압이 소산되면서 지반이 안정되면서 말뚝의 지지력 상승에 영향을 주었다고 판단된다. 본 연구에서는 Set-up효과가 두드러지게 나타나는 경향을 보였지만, 특수한 지반조건과 토사에 따른 Relaxation 효과가 나타날 수 있음을 유념하여야 한다.

본 논문은 점성토 지반을 대상으로 나무말뚝 기초의 표면의 Groove를 성형하여 형태에 따라 비교한 결과이므로 추후 Groove 형태, 간격 등 설계요소에 대한 추가적인 연구와 다양한 Groove에 따른 Set-Up 효과 비교가 필요할 것으로 판단되며, 현장에서의 말뚝 방부제 처리 방법과 현장인발시험을 통한 비교 및 분석이 필요할 것이다.

## REFERENCES

1. Chattopadhyay, B. C., and J. P. Pise, 1986. Uplift capacity of piles in sand. *Journal of Geotechnical Engineering* 112(9): 888-904. doi:10.1061/(ASCE)0733-9410(1986)112:9(888).
2. Chun, B. S., 1999. Consideration of set-up effect in wave equation analysis of pile driving. *Journal of the Korean Geotechnical Society* 15(2): 95-104.
3. Das, B. M., and G. R. Seely, 1977. Uplift capacity of shallow inclined anchors proceedings. *9th International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering (Tokyo)* 17(2): 463-466.
4. Das, B. M., 1983. A procedure for estimation of uplift capacity of rough piles. *Soils and Found* 23(3): 122-126.
5. Kang, Y. S., 2015. Characteristics of uplift resistance of wooden pile in cohesive soil. Master's thesis, Chungbuk National University (in Korean).
6. Kim, J. C., 2020. Characteristics of uplift capacity of house pipe foundation according to foundation types and soil conditions. Master's thesis, Chungbuk National University (in Korean).
7. Meyerhof, G. G., 1956. Penetration tests and bearing capacity of cohesion less soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division* 82(1): 1-19.
8. Meyerhof, G. G., 1973. Uplift resistance of inclined anchors and piles. *8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (Moscow)* 2(1): 167-172.
9. RDA (Rural Development Administration), 2015. Development of the stabilization method of reclaimed land to establish the foundation of greenhouse. doi:10.23000/TRKO201500010592.
10. Seo, H. C., 2003. A case study on the vertical bearing capacity gain of driven pile by time effect. Master's thesis, Chung-Ang University (in Korean).
11. Song, C. S., M. H. Kim, and U. H. Jang, 2016. Comparison analysis of model test for prediction of uplift resistance in the reclaimed land greenhouse foundation. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 58(2): 45-52. doi:10.5389/KSAE.2016.58.2.045.
12. Vesic, A. S., 1970. Tests on instrumented piles, ogeechee river site. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division* 96(2): 561-584.
13. Yeom, S. H., 2017. Safety evaluation of plastic greenhouses applying steel spiral pile foundation in reclaimed land. *Protected Horticulture and Plant Factory* 26(1): 27-34 (in Korean).
14. Yoo, C. S., 2012. Effect of screw geometries on pull-out characteristics of screw anchor piles using reduced scale model tests. *Journal of the Korean Geotechnical Society* 28(1): 5-15 (in Korean).
15. Yoon, Y. C., C. S. Yoon, and W. M. Suh, 1998. A study on the pull-out resistance of the cylindrical concrete foundation in the pipe frame greenhouse. *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers* 40(4): 109-119 (in Korean).
16. Yu, I. H., and Y. G. Gu, 2014. An analysis of problems and countermeasures in the installation of plastic greenhouse on reclaimed lands. *CNU Journal of Agricultural Science* 41(4): 473-480.
17. Yun, S. W., M. K. Choil, S. Y. Lee, C. Yu, and Y. C. Yoon, 2015. Uplift capacity of wood pile for greenhouse foundation. *Protected Horticulture and Plant Factory* 24(2): 123-127 (in Korean). doi:10.12791/KSBEC.2015.24.2.123.