

## 간척지 온실 기초 연약지반 보강 방법에 대한 고찰

이학성<sup>1\*</sup> · 강방훈<sup>2</sup> · 이수환<sup>1</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 간척지농업연구팀 농업연구사, <sup>2</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 간척지농업연구팀 농업연구관

### Foundation Methods for the Soft Ground Reinforcement of Lightweight Greenhouse on Reclaimed Land: A review

Haksung Lee<sup>1\*</sup>, Bang Hun Kang<sup>2</sup>, and Su Hwan Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Researcher, Reclaimed Land Agriculture Research Team, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea

<sup>2</sup>Senior Researcher, Reclaimed Land Agriculture Research Team, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea

**Abstract.** The demand for large-scale horticultural complexes utilizing reclaimed lands is increasing, and one of the pending issues for the construction of large-scale facilities is to establish foundation design criteria. In this paper, we tried to review previous studies on the method of reinforcing the foundation of soft ground. Target construction methods are spiral piles, wood piles, crushed stone piles and PF (point foundation) method. In order to evaluate the performance according to the basic construction method, pull-out resistance, bearing capacity, and settlement amount were measured. At the same diameter, pull-out resistance increased with increasing penetration depth. Simplified comparison is difficult due to the difference in reinforcement method, diameter, and penetration depth, but it showed high bearing capacity in the order of crushed stone pile, PF method, and wood pile foundation. In the case of wood piles, the increase in uplift resistance was different depending on the slenderness ratio. Wood, crushed stone pile and PF construction methods, which are foundation reinforcement works with a bearing capacity of 105 kN/m<sup>2</sup> to 826 kN/m<sup>2</sup>, are considered sufficient methods to be applied to the greenhouse foundation. There was a limitation in grasping the consistent trend of each foundation reinforcement method through existing studies. If these data are supplemented through additional empirical tests, it is judged that a basic design guideline that can satisfy the structure and economic efficiency of the greenhouse can be presented.

**Additional key words :** Foundation, Greenhouse, Reclaimed land, Soft ground

## 서 론

간척지의 농업적 이용 및 관리에 관한 법률을 근거로, 간척지에서 벼 외 타 작물, 고부가가치 작물재배, ICT 융복합 첨단 시설 농업 및 친환경 축산 등에 대한 수요가 증가하고 있다. 농림축산식품부는 대규모 농업단지 조성이 가능한 간척지를 활용하여 규모화된 첨단시설농업을 통해 식량 자급도 제고 및 수출경쟁력강화 정책 방향을 설정하였다(Seo, 2019). 국내 국가관리 간척지는 약30천ha 규모로, 그 중 수출원예단지 조성 규모는 2,936ha, 일반원예단지 조성 규모는 2,943ha 수준이다. 국내 대표적인 간척지 원예단지로는 화옹지구(화성), 이원지구(태안), 고흥지구(고흥)가 있다(Choi 등, 2014). 화옹지구는 우일팜(주)에 의해 12.1ha 규모의 유리 온실이 운영

중에 있다. 이원지구의 경우 (주)컬티랩스에 의해 1ha 규모의 복합 온실(유리 및 플라스틱 복층판 구조)이 구축되어 운영 중에 있으며, 일반 농지 대비 상대적으로 대면적 농지 확보가 가능하다는 측면에서 큰 이점을 가지고 있다.

간척지 시설원에 단지 조성에 있어서 해결해야 될 현안 중에 하나는 시설원에 설계 표준화 및 경량 온실용 기초 설계 기준을 확립하는 것이다. 온실용 기초 설계 및 시공 차원에서 직접 기초 방식과 선단의 하중 전이를 통한 말뚝 기초 방식으로 구분될 수 있다(Jo 등, 2020). 매립지로 조성된 간척지 연약지반의 경우, 기초의 보강 없이 구조물을 시공하는 것은 장기적으로 부동 침하를 유발할 수 있는 위험요소가 되고 있다. 기초성된 이원(태안)과 화옹지구(화성)의 경우 PHC(prestressed high-strength concrete) 말뚝을 적용하여 온실 기초를 시공한 것과 같이, 플라스틱 및 유리 온실과 같은 경량 구조물 등에 직접 기초 방식의 적용의 어려움으로 PHC말뚝 기초가 시공되고 있는 실정이다. 이와 같이 온실 기초 설계 기준 및 실증 사례

\*Corresponding author: lhs0221@korea.kr

Received September 28, 2020; Revised October 10, 2020;

Accepted October 13, 2020

부재로, 기초 보강에 있어 고비용 및 고사양의PHC말뚝 기초가 적용되고있는 현황에 대한 많은 우려가 있는 실정이다(Yu 등, 2014; Choi 등, 2015b).

이러한 현황을 해소하기 위하여 일부 연구가 진행되었다. 국내의 경우, PHC말뚝 대비 가격이 저렴한 나무 말뚝(Song 등, 2016) 및 나선(스파이럴) 말뚝(Yum 등, 2017; Choi 등, 2015a) 등을 적용한 표준관입시험, 인발저항력 및 침하량 모니터링을 통한 온실의 구조 안전성 검증 연구가 대표적인 사례이다. 위 연구 사례와 더불어 선행 연구되었던 연약지반 보강 방법에 대하여 살펴보고자 한다.

### 재료 및 방법

소규모 온실 및 구조물의 기초 보강 공법의 선정에 있어서 기술, 경제성 및 주변환경(현장 조건, 구조물의 성격) 요소를 포괄적으로 검토하여 선정하는 것이 필요하다. Table 1은 연약지반 보강을 위해 선정될 수 있는 기초 형식 및 지반 보강 공법에 대하여 나타내었다(Lee, 2015). 이 중 간척지 연약지반 보강방법으로 검토가 필요하다고 판단되는 기초 보강 방법인 스파이럴말뚝, 나무말뚝, 쇠석다짐말뚝과 PF공법에 대하여 고찰하고자 한다.

스파이럴(SP, spiral pile) 기초는 소구경말뚝(small caliber pile) 보강 방법 중에 하나로, 강관을 비틀어 제작한 나선형상의 말뚝을 말한다. 일본의 경우 스파이럴 기초를 활용하여 온실 기초로 적용한 사례가 있다. 콘크리트 타설, 운반 시공의 번거로움을 개선하고자 미 굴착 방식의 스파이럴 기초 방법에 대한 연구를 수행하였으며, 이사해야 간척지의 풍하중 극복 및 재해 예방을 동시에 고려한 스파이럴 기초의 타당성을 검토하였다(Tanaka 등, 2005). 국내에서도 플라스틱 온실에 적용되고 있는 파이프 매립 기초 및 민 말뚝 기초 방법과의 비교

검증을 위하여 표준관입시험 및 인발저항력 시험 연구가 진행되었으며(Kim와 Yoo, 2013; Lee 등, 2014), 최근에는 이러한 스파이럴 기초를 간척지 온실 기초에 적용하기 위한 기초 연구가 진행되었다. (Choi 등, 2015b)은 일반 농경지와 간척지 토양을 대상으로 다짐률(65%, 76%, 85%), 직경 및 근입깊이 변화에 따른 인발저항력을 측정하였으며, 근입깊이, 다짐률 증가에 따라 인발저항력이 선형적으로 증가되는 현상을 확인하였다. (Yum 등, 2017)는 간척지 시험 포장 설치를 통해 스파이럴 기초의 직경(50mm, 75mm, 100mm) 및 근입 깊이 변화(400mm, 850mm, 1,000mm)에 따른 인발저항특성을 시험하였다.

소구경말뚝 보강 방법 중에 하나인 나무 말뚝은 네덜란드 온실 기초 시공에 많은 부분 적용되고 있으며, 국내에 일부 적용되었지만 적용 사례가 미비한 실정이다. 강관 말뚝이나 PHC 말뚝 대비 시공비가 저렴한 장점을 가지고 있지만, 말뚝 시공 시 부식방지를 위해 지하수위 아래 근입 설치해야 하는 제약조건이 수반되며 시공 후 콘크리트 기초 추가 타설 과정이 요구된다. 이에, 온실 기초로서의 타당성 검증을 위하여 나무 말뚝의 인발저항력, 허용지지력, 기초침하량 산출 등 관련 연구가 진행되었다. 인발저항력 검토를 위해 (Yun 등, 2015; Yu 등, 2014)는 계화 간척지를 대상으로 시험을 진행하였으며, (Kang 등, 2014)은 화옹지구 간척지를 대상으로 시험을 진행하였다. (Yun 등, 2015)는 직경 250mm, 300mm에 근입깊이 1m, 4m, 5m 조건에 대해 인발저항력 시험을 진행하였다. 계화 간척지 매립 층은 약 5.5m 수준에 위치하고 있으며 N치는 9~15 범위이다. (Yu 등, 2014)는 직경 150mm, 깊이 10m 조건에 대하여 진행하였으며, 시험 위치는 동일하고 매립 층은 약 5m, 평균 N치는 10.4이다. (Kang 등, 2014)은 화옹지구에서 직경 3종(25mm, 33mm, 40mm), 깊이는 230~500mm 범위에서 인발저항력을 측정하였다. 시험에 적용된 나무는

**Table 1.** Foundation method for the soft ground reinforcement (Lee 등, 2015; Lee 등, 2015a).

Foundation types	Substructure	Ground reinforcement	
		Classifications	Materials and methods
Spread footing	Foundation slab, and strip foundation	Unreinforced	-
Spread footing + Ground reinforcement	Foundation slab, and foundation (strip or mat)	Improvement of soft ground	Shallow mixing treatment Deep mixing treatment
		Small caliber pile	Steel pipe pile Spiral pile Wood pile
		Substitution	GCP (gravel compaction pile)
Pile foundation	Pile cap	-	RC (reinforced concrete), PHC, PF

동일하게 소나무를 사용하였다.

쇄석다짐말뚝(GCP, gravel compaction pile)은 지하수가 높고 배수 상태가 좋지 않은 점토 지반의 부동 침하를 개선하기 위해 지반 층을 다지거나 흙을 치환하는 공법을 말한다(Shin와 Ahn, 2011). 이는 지반 지지력 및 전단 강도를 증가시켜 침하 저감 효과로 인해 연약지반 개량에 적용되고 있다(Na 등, 2016; Yea 등, 2011). 이러한 쇄석다짐말뚝 공법 중에 최근 일본 등에서 적용되고 있는 팽이 말뚝(Top-Base) 공법은, 팽이 형상의 콘크리트 블록과 블록 간극을 쇄석으로 충전 및 다짐을 통해 지반을 형성시킨다. 또한, 기초 판의 밑면이 토양과 접하는 면적을 증대시켜 연약지반에 전달되는 응력을 감소시키는 효과가 있다. 팽이 기초를 적용 시 무처리 지반 대비 침하량 감소(즉시 침하 1/2~1/3, 암밀 침하 1/3) 효과를 보이며, 지지력은 50~100% 향상 되는 것으로 보고되었다(Kang 등, 2005; Shin 등, 2008). Fig. 1는 팽이 말뚝 기초 단면을 묘사한 것으로, 우선 하부 위치 철근을 설치하고 팽이 모양의 콘크리트 블록을 설치 혹은 타설한다. 이후 말뚝 간극을 쇄석으로 다짐 처리하고, 말뚝을 연결시켜주는 연결 철근(상부)을 통해 고정시켜 강성 매트르를 형성한다. (Shin와 Ahn, 2011)는 무처리 지반

과 팽이 기초 보강에 따른 침하량과 허용지내력을 평가하였다. 지반 지지력 평가는 KS F 2444 규정에 기반한 평판 재하 시험을 통해 진행되었다.

Fig. 2은 왼쪽부터 PHC말뚝 기초, 치환 기초, PF공법에 대한 시공 단면을 보여주고 있다. PF공법은 PHC 말뚝, 치환 기초의 장점을 혼합한 유형처럼 보인다. 대상 구조물이 경량이고, 요구 지지력이 크지 않음에도 불구하고 PHC파일을 통한 기초 시공 사례가 빈번히 발생하고 있다. 대표적 시설원에 단지인 화왕과 이원지구의 경우에도 장심(35~40m)의 PHC파일 기초 시공을 진행하였다. 이를 개선하고자 설계지내력을 상대적으로 낮춘 보강 공법인 PF공법(Point foundation method)이 제안되었다(Cho와 Park, 2018).

## 결과 및 고찰

### 1. 스파이럴말뚝

Table 2은 스파이럴기초의 조건 별 최대 인발력 측정 결과를 보여주고 있다. 식(1)은 허용 인발력  $P_a$  (kN)에 대한 이론식이다.

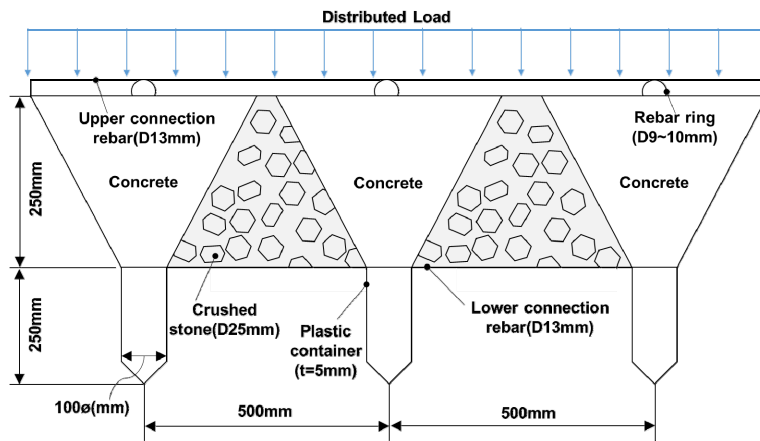


Fig. 1. Cross-sectional view of In-situ Top-Base construction method (Shin와 Ahn, 2011).

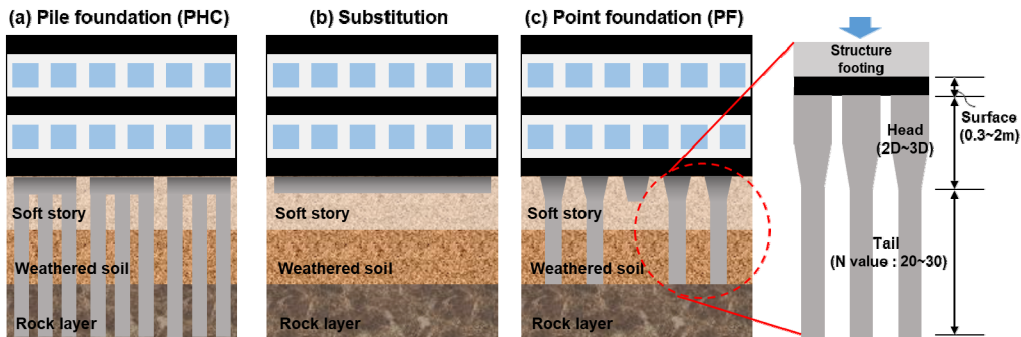


Fig. 2. Cross-sectional view of point foundation method (Kim 등, 2016).

$$P_a = (\pi \times D \times L) / F.S \times \tau \quad (1)$$

여기서, D는 스파이럴 날개의 직경(m), L은 스파이럴 부착된 파일 길이(m),  $\tau$ 는 지반 마찰 저항(kN/m<sup>2</sup>), F.S는 안전율을 나타낸다.

안전율(F.S) 2.0 적용할 경우, 스파이럴기초의 허용 인발저항력은 0.4kN, 1.0kN, 2.5kN으로 산출되었다. 식(1)을 기반으로, 직경 50mm, 깊이 400mm에 대한 인발력을 100%로 가정할 경우, 직경 100mm, 깊이 1,000mm의 스파이럴 기초의 인발력은 500% 수준으로 계상된다. 실제 시험 결과와 상승률 측면에서 비교하면, 직경 100mm, 깊이 1,000mm 기준에서 약 125%의 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이는 근입 깊이에 따라 지반의 마찰 저항 변화에 따른 영향으로 예상된다. 인발력에 대한 근입비와 마찰면적과의 상관 관계를 검토할 경우, 근입비 대비 인발저항력은 이론 치와 유사한 상승 비

율을 나타내었다. 마찰 면적 대비 인발저항력은 75mm 직경 구간에서 일부 변곡점이 나타나는 것으로 확인 되었지만, 전체적인 경향에서는 상승하는 추이를 보이고 있다. 위 연구는 스파이럴 기초를 적용하여 인발력과 침하량을 측정하였으나, 침하량의 경우 장 시간의 모니터링이 요구되어 적합성 측면에서 추가 실험이 요구되는 상황이다.

## 2. 나무 말뚝

Table 3은 나무말뚝 관련 시험 결과를 보여주고 있다. 말뚝 직경과 근입 깊이에 따른 인발저항력 측정 및 점성토 지반에 대한 인발저항력 예측 이론인  $\alpha$  method(Tomlinson, 1979)을 적용하여 시험 결과의 신뢰도를 검토하였다(Yun 등, 2015; Song 등, 2016). 점성토 지반의 경우 Das & Seely(1982)이론과  $\alpha$  method 방법이 혼용되어 적용되고 있으며, 비교적 얕은 근입 깊이에서 적용되는 Das & Seely 이론 대비(Lee와Kwon,

**Table 2.** Results of the load test of spiral piles (Yum 등, 2017).

Size (Diameter, mm)	Depth (mm)	Slenderness ratio (L/D)	Contact area (cm <sup>2</sup> )	Uplift capacity under criteria of ultimate load (kN)		Uplift resistance according to slenderness ratio (N/ratio)	Uplift resistance according to contract area (N/area)
				Tested value	Calculated value		
50	400	8	628	0.8 (100%)	(100%)	100.0	1.28
75	850	11.33	2,002	2.0 (250%)	(319%)	176.5	1.00
100	1,000	10.00	3,140	5.0 (625%)	(500%)	500.0	1.60

**Table 3.** Results of the load test of wood piles (Kang 등, 2014; Yu 등, 2014; Yun 등, 2015).

Size (Diameter, mm)	Depth (mm)	Slenderness ratio (L/D)	Contact area (cm <sup>2</sup> )	Ultimate uplift capacity (Tested value, kN)	Ultimate uplift capacity (Calculated value, kN)	Uplift resistance (N/ratio)	Uplift resistance (N/area)
25	250	10.0	196.3	0.33 (100%)	0.40	33.00	1.68
	390	15.6	306.3	0.43 (130%)	0.62	27.56	1.40
	500	20.0	392.7	0.77 (233%)	0.79	38.50	1.96
33	240	7.27	248.8	0.37 (100%)	0.50	50.89	1.49
	400	12.1	414.7	0.99 (268%)	0.84	81.63	2.39
	480	14.6	497.6	1.07 (289%)	1.01	73.54	2.15
40	230	5.75	289.0	0.52 (100%)	0.58	90.43	1.80
	340	8.50	427.3	1.00 (192%)	0.86	117.6	2.34
	450	11.3	565.2	1.11 (213%)	1.14	98.67	1.96
150	10,000	66.7	47,100	30.6 (100%)	82.7	459.7	0.65
	1,000	4.00	7,850	13.3 (100%)	15.9	3,325	1.69
250	3,000	12.0	23,550	46.6 (350%)	47.7	3,883	1.98
	5,000	20.0	39,250	93.8 (705%)	79.5	4,690	2.39
300	1,000	3.33	9,420	27.3 (100%)	19.1	8,198	2.90
	3,000	10.0	28,260	62.3 (228%)	57.2	6,230	2.20
	5,000	16.7	47,100	105.6 (387%)	95.4	6,323	2.24

1998) 기존 연구에서 실제 시험 값과 유사한 경향을 보인  $\alpha$  방법을 적용하여 인발저항력을 검토하였다(Yun 등, 2015). 극한주면저항력은 인발저항력의 1/3 수준으로 가정되며 주면저항력은 아래와 같다.

$$f_s = C_a = \alpha C_u \quad (2)$$

여기서,  $f_s$ 는 단위 주면 저항력(kN/m<sup>2</sup>),  $C_a$ 는 흙 말뚝 사이 전단응력(kN/m<sup>2</sup>),  $\alpha$ 는 접촉면의 부착 계수,  $C_u$ 는 점토의 비배수 점착력(kN/m<sup>2</sup>)을 나타낸다. 극한주면저항력  $R_s$ (kN)은 다음과 같다.

$$R_s = \sum f_s A_s \quad (3)$$

여기서,  $A_s$ 는 접촉면적  $\pi \times D \times L$ (m<sup>2</sup>)을 나타내며,  $D$ 는 나무 말뚝의 직경(m),  $L$ 은 나무말뚝의 길이(m)를 나타낸다. 추가적으로 지반 SPT(표준관입시험)를 통해 확보한  $N$ 치 평균치를 적용하여 점착력( $C_u$ )을 산출 할 수 있다.

$$C_u \approx 0.625N \quad (4)$$

최대 인발저항력은 근입 깊이가 가장 낮은 경우를 100%로 간주하고, 깊이 변화에 따른 상승 추이를 검토하였다. 인발저항력은 동일한 직경에서 근입 깊이가 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며, 직경 250mm의 경우 최대 705%까지 인발저항력이 상승하는 결과가 도출되었다. 시험 결과의 신뢰도 검증에 위하여  $\alpha$  방법을 적용하여 인발저항력을 산출하였다. 시험 값과 이론 값의 경우 직경 150mm, 길이 10m인 시험조건을 제외하고 평균 10%내외의 유사한 경향을 보였다.

Fig. 3과 Fig. 4는 일정한 근입비(L/D) 범위에서의 직경 변화가 인발저항력에 미치는 영향을 검토하고자 도식화 하였다. Fig. 3는 근입비 10~12.1 범위에서의 직경 변화(25, 33, 40, 250, 300mm)에 따른 인발저항력을 보여주고 있으며, 직경 250mm 구간에서 급격하게 인발저항력이 증가하는 경향을 확인하였다. Fig. 4은 근입비 14.6~16.7 범위에서의 직경 변화(25, 33, 300mm)에 따른 인발저항력 추이를 나타낸 것으로, Fig. 3와 동일하게 특정 직경 구간에서 급격한 인발저항력 상승 경향을 나타내었다. Fig. 4의 경우 넓은 보간 간격으로 33mm에서 300mm 중간 지점의 직경에 대한 추가 실험이 필요해 보인다. 절대값 기준으로 Fig. 4의 근입비 15내외 범위에서의 인발저항력 상승폭이 더 큰 것을 확인할 수 있었다. 향후, 직경 40~300mm 구간, 근입비 10미만 및 16.7초과 범위에서

의 추가 데이터를 확보한다면, 말뚝 기초 사양 결정에 유효한 데이터로 활용될 수 있을 것이다.

인발저항력 시험과 더불어 재하 시험을 통한 지지력 검토를 진행하였다(Lee, 2015). 시험지는 부안 계화지구 간척지를 대상으로 진행되었으며, Table 4는 KS F 2445 규정에 의해 수행된 나무 말뚝 정재하시험결과를 나타내고 있다. 직경(말뚝)은 150mm, 길이는 10m이며, 관입 깊이는 6.8~9.2m 수준이다. 허용지지력은 항복-극한 하중 분석법에 의해 평가되었으며, 나무 말뚝의 총 침하량은 210kN의 하중 재하 시 5.09~30.30mm 수준으로 측정되었다. 허용지지력 측면에서 시험 위치 A를 제외하고, 모두 설계 요구치 50kN/m<sup>2</sup>에 만족하는 결과를 보였다. B와 D의 경우 측정 가능 최대 범위인 105kN/m<sup>2</sup>을 초과하였다.

나무 말뚝은 선단지지력을 이용하는 PHC말뚝과 같은 일반적인 기초가 아니므로, 침하량에 대한 충분한 검토가 필요하다. (Choi 등, 2015b)는 말뚝 시공을 통해 플라스틱 온실 침하량을 검토하였다. 계화도 간척지내 국내 1-2W형 온실 설치 및 4m 간격으로 직경 150mm, 길이는 10m인 말뚝(소나무)을 설치하였다. 약 6개월 동안 온실 내/외부 전체 지점에서 측정된 침하량은 1.0~7.5mm 수준이었다. 일본의 이사하야 간척

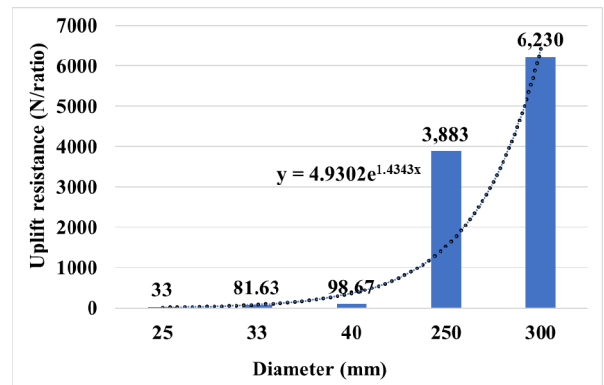


Fig. 3. Uplift resistance in the range of slenderness ratio 10 to 12.1

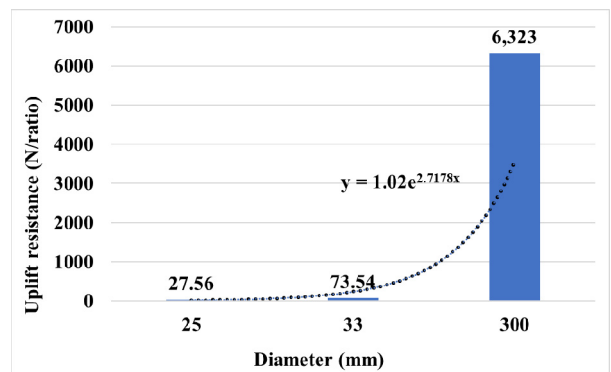


Fig. 4. Uplift resistance in the range of slenderness ratio 14.6 to 16.7

지에서 2001년부터 2006년까지 직경 150mm, 길이 5m인 나무 말뚝의 장기 침하량이 90~130mm 수준인 것을 고려할 경우 유사한 경향으로 판단된다.

스파이럴과 나무 말뚝 기초 성능을 단순하게 비교하는 것은 한계가 있지만, 유사한 근입비와 마찰 면적을 갖는 기준에 대하여 비교하였다. 스파이럴 직경 50mm, 깊이 400mm인 경우와 나무 직경 40mm, 깊이 450mm 사례가 이에 해당된다. 인발저항력은 각각 0.8kN, 1.1kN로 근소하게 나무 말뚝의 성능이 우수하다고 판단된다. 추가 실험을 통하여, 스파이럴과 나무 말뚝의 구조적 안전성과 경제성 측면을 동시에 고려하여 비교 검증할 필요가 있다.

말뚝 기초의 성능적인 측면이 아닌, 시공 측면에서 나무 말뚝 기초를 적용한 플라스틱 온실 설치를 통해 문제점 및 개선안을 제시하였다(Yu 등, 2014). 첫번째, 나무 특성상 진직도 확보가 어려워 향타시 비틀림 발생으로 부러지는 현상이 나타났다. 초기 관입시에 약한 진동 압력을 부여하여 타격 시공하는 방식에 대하여 제안하였다. 둘째로는 나무 말뚝 위에 독립 기초를 위치시키는 것에 대한 어려움으로, 독립 기초의 직경을 확대하는 방안을 제시하였다. 독립 기초의 직경을 확대하지 않고, 말뚝과 독립 기초의 체결 혹은 접합 방법에 대한 기술 확보가 필요하다.

### 3. 쇠석다짐말뚝(GCP)

Table 5에서 쇠석다짐말뚝의 재하시험 결과로 A~B는 무처리 지반, C~D는 팽이 기초 보강에 따른 최종 침하량 및 Terzaghi(1943) 지지력 이론에 근거한 허용지내력을 보여준다. 말뚝 보강의 경우, 무처리 지반 A~B 대비 평균적으로

100% 이상의 허용지내력이 상승하는 경향을 확인할 수 있었고, 설계 요구치 450kN/m<sup>2</sup>를 만족시키는 것으로 확인되었다.

상이한 기초 형태, 말뚝 직경 및 근입 깊이 등으로 단순 비교에 어려움이 있지만, Table 4와 Table 5의 시험 결과를 바탕으로 나무 말뚝과 팽이 기초에 대한 침하량 및 허용지내력을 비교하고자 한다. Table 5의 팽이 기초의 지지력(반력상한선) 기준이 450kN/m<sup>2</sup>로 보편적인 모래지반 수준으로 예상되며, 반력상한선 대비 평균 허용지지력(696kN/m<sup>2</sup>)은 155% 수준이다. Table 4의 나무 말뚝 지반의 반력상한선이 50kN/m<sup>2</sup>로 보편적인 점성토 지반 대비 낮은 수준을 보이고 있다. 반력상한선 대비 평균 허용지지력(80.3kN/m<sup>2</sup>)은 160% 수준이다. 두 기초의 허용지지력 비율을 고려할 때, 기준 반력상한선 대비 유사한 비율 수준의 지반 보강이 이루어졌다고 판단된다. 침하량 측면에서 나무 말뚝은 평균 13.34mm, 팽이 기초는 평균 17.04mm 수준이다. 유사한 지반 보강 수준이라고 가정한다면, 나무 말뚝 방식이 조금이나마 침하 억제효과가 높게 나타나고 있음을 확인하였다.

### 4. PF 공법(Point foundation method)

PF공법은 상대적으로 저층, 경량 구조물 및 연약지반의 구조물 기초에 적용되고 있다. PHC말뚝이 D500 규격 기준 허용지내력이 1,500kN/m<sup>2</sup> 이라면, PF공법은 300kN/m<sup>2</sup> 수준으로 침하를 억제하는 기초 공법이다(Kim 등, 2016). Fig. 4(c)의 PF공법은 표층을 통해 기초 하중을 분산시키고, Head 부분에서는 팽이 기초와 같이 전단강도 향상으로 침하 억제효과를 갖는다. 마지막 Tail 부분은 N치 20~30범위의 풍화토 지

Table 4. Results of loading test result of wood pile (Lee, 2015).

Types	Region	Bearing load (kN)	Final settlement (mm)	Bearing capacity of foundations (kN/m <sup>2</sup> )	Allowable bearing capacity (kN/m <sup>2</sup> )	Remark
Wood Pile	A	210	5.09	50	41	D=150mm, L=10m
	B		30.30		105△	
	C		7.99		6	
	D		12.23		105△	
	E		11.10		90	

Table 5. Results of loading test result of top-base pile (Shin와 Ahn, 2011).

Types	Region	Bearing load (kN)	Final settlement (mm)	Bearing capacity of foundations(kN/m <sup>2</sup> )	Allowable bearing capacity(kN/m <sup>2</sup> )	Remark
Top-base	A	225	10.1	450	75.0	D=300 mm
	B	900	21.75		303	
	C	1699	10.8		566	
	D	1240	23.28		826	

반으로 충분한 지지력 확보와 침하 억제 역할을 동시에 수행한다. PF공법은 암반층까지 연결하지 않고 풍화토 지반까지 시공을 함으로써, 지내력 수준이 300kN/m<sup>2</sup> 이하인 경량 구조물 및 온실 구조에 적합하다고 판단된다.

## 적 요

최근 간척지를 활용한 대규모 수출 원예 단지에 대한 수요가 증대되고 있고, 대규모 시설원에 단지 조성을 위한 현안 중에 하나는 경량 온실용 기초 설계 기준을 확립하는 것이다. 이를 위해 연약지반 기초 보강 방법에 관한 사전 연구들을 검토하였다. 대상 공법으로는 스파이럴, 나무, 쇠석 다짐 말뚝(팽이) 및 PF 공법이며, 성능 검증을 위해 인발저항력, 지내력, 침하량 측정 등의 시험이 수행되었다.

인발저항력은 동일한 직경에서 근입 깊이가 증가할수록 저항력이 상승하는 것을 확인 할 수 있었다. 스파이럴과 나무 말뚝 기초의 성능을 비교하자면, 유사한 근입비와 마찰 면적을 갖는 기준에 대하여 스파이럴 말뚝의 인발저항력 0.8kN, 나무 말뚝은 인발저항력 1.1kN로 근소하게 나무 말뚝의 성능이 우수하다고 판단되었다. 추가적으로, 일정 근입비(L/D)의 범위에서의 직경 변화에 따른 인발저항력을 비교하였다. 근입비 10~12.1 범위에서는 직경 250mm구간, 근입비 14.6~16.7 범위에서의 직경 300mm구간에서 급격한 상승 값을 보였으며, 근입비 범위에 따라 인발저항력 증가 폭이 다르게 나타나는 것을 확인하였다. 지반 지내력 검토를 위한 재하시험 결과의 경우, 상이한 보강 방법, 직경, 관입 깊이 등의 영향으로 단순 비교하는 것에 한계가 있지만, 나무 말뚝 105kN/m<sup>2</sup>, 팽이 말뚝 826kN/m<sup>2</sup>, PF방법 300kN/m<sup>2</sup> 수준의 최대 허용지지력을 보였다. 위 조건의 경우에, 팽이 말뚝, PF방법, 나무 말뚝 순으로 높은 지내력을 나타냈다.

간척지 기초 시공공법 타당성 검토를 위하여, 일부 국한된 시험 조건하에 인발저항력, 허용지지력, 침하량 측정 등 시험 평가 결과를 비교 검토하였다. 기초 보강 방법 별 일관성있는 경향을 파악하는데 한계가 있었지만, 풍속 40m/s에서 온실에서 받는 인발력이 20kN수준이고(Yu 등, 2012), '97 한국형 유리온실 표준설계도에 명시된 온실의 기초 지내력 기준이 50kN/m<sup>2</sup>인 점을 고려한다면 지내력 105kN/m<sup>2</sup> ~ 826kN/m<sup>2</sup> 범위의 기초보강 공법인 팽이, 나무말뚝 및 PF방법 모두 간척지 온실 기초에 적용하기 충분한 공법으로 간주 된다. 장기 침하량 모니터링 및 기초 보강 방법 별 수렴성과 재현성이 확보된 실증 데이터 보안을 통해, 온실 유형별 구조안정성과 경제성을 동시에 만족시킬 수 있는 기초 방식 선정과 설계 가이드라인 제시가 가능할 것이라고 판단된다.

**추가 주제어:** 간척지, 온실, 연약지반, 기초

## 사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ013884 012020)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## Literature Cited

- Cho, M.S. and C.W. Park. 2018. Load Test of Point Foundation Method. *Journal of the Korean Geosynthetics Society* 17:11-16.
- Choi, M.K., S.W. Yun, H.N. Kim, S.Y. Lee, D. H. Kang and Y. C. Yoon. 2015a. Uplift Capacity of Spiral Bar through the Model Experiment. *Protected Horticulture and Plant Factory* 24:202-209.
- Choi, M.K., S.W. Yun, H.T. Kim, S.Y. Lee and Y.C. Yoon. 2014. Current status on the greenhouse foundation. *Journal of Agriculture & Life Science* 48:251-260.
- Choi, M.K., S.W. Yun, I.H. Yu, J.-W. Lee, S.Y. Lee and Y.C. Yoon. 2015b. Settlement instrumentation of greenhouse foundation in reclaimed land. *Protected Horticulture and Plant Factory* 24:85-92.
- Jo, M.S., K.T. Lee, H.D. Kang and H.B. Cho. 2020. Point Foundation (PF) method: Principles and recent research findings. *Journal of Science Technology in Civil Engineering* 14:53-66.
- Kang, H.K., C.K. Kim, B.Y. Lee and H.M. Kim. 2005. Model Test on the Effect of Bearing Capacity for In-situ Top Base Method in sand. *Proceedings of the Korean Geotechnical Society Conference*. Korean Geotechnical Society 597-602.
- Kang, Y.S., Y.C. Yoon, C.S. Song and S.Y. Lim. 2014. Uplift resistance of wooden pile using soil box according to soil type. *J. Agric. & Life Sci* 48:173-1820.
- Kim, D.H. and C.S. Yoo. 2013. Pull-out capacity of screw anchor pile in sand using reduced-scale model tests. *Journal of the Korean Geotechnical Society* 29:121-133.
- Kim, T.H., J.S. Kim, H.G. Choi and J.H. Jeong. 2016. Point Foundation Application Case. *Journal of the Korean Geosynthetics Society* 15:18-26.
- Lee, B.G., S.W. Yun, M.K. Choi, S.Y. Lee, S.D. Moon, C. Yu and Y.C. Yoon. 2014. Uplift bearing capacity of spiral steel peg for the single span greenhouse. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 23:109-115.
- Lee, S.Y. 2015. Development of the stabilization method of reclaimed land to establish the foundation of greenhouse. NAAS, RDA.
- Lee, S.Y., D.H. Kang, J.G. Kim, M.J. Park, H.G. Choi and J.W. Lee. 2015a. Basic Investigation of Characteristics of

- Reclaimed Land for Greenhouse Complex Plan. *Korea Society of the Agricultural Machinery* 20:373-374.
- Lee, T.S. and O.K. Kwon. 1998. A Study on the Behavior of Vertical Plat Anchor under Horizontal Forces in Sands. *Journal of The Korean Society of Civil Engineers* 18:141-141.
- Na, S.J., M.S. Kim, K.H. Park and D. Kim. 2016. Stress Concentration Ratio of GCP Depending on the Mixing Ratio of Crushed Stone and Sand. *Journal of the Korean Geotechnical Society* 32:37-50.
- Seo, D.U. 2019. Study on multi-purpose utilization and management of agricultural reclaimed land. *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers* 61:61-72.
- Shin, E.C. and M.H. Ahn. 2011. Estimation of Bearing Capacity for In-Situ Top-Base Method by Field Experimental Plate Load Test. *Journal of the Korean Geosynthetics Society* 10:1-8.
- Shin, E.C., S.H. Kim and A.Y. Lee. 2008. Case Study Top-Base Foundation Static Loading Test in Reclaimed Land. Proceedings of the Korean Geotechnical Society Conference. Korean Geotechnical Society 721-728.
- 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* 58:45-52.
- Tanaka, H., M. Fujikawa, T. Matsuzaki, O. Sumikawa, M. Daikoku and K. Inooku. 2005. Application of a screw type pile for the foundation of greenhouse. *Miscellaneous Publication of the National Agricultural Research Center for Western Region (Japan)*.
- Yea, G.G., Y.K. Choi and H.Y. Kim. 2011. Case Study on Upheaval Characteristics of Marine Soft Ground Improved by Granular Compaction Piles. *Journal of The Korean Society of Civil Engineers* 31:137-145.
- Yu, I.H., Y.G. Ku, M.W. Cho, H.R. Ryu and D.G. Moon. 2014. An analysis of problems and countermeasures in the installation of plastic greenhouse on reclaimed lands. *Korean Journal of Agricultural Science* 41:473-480.
- Yu, I.H., E.H. Lee, M.W. Cho, H.R. Ryu and Y.C. Kim. 2012. Development of multi-span plastic greenhouse for tomato cultivation. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 21:428-436.
- Yum, S.H. and W.B. Lee. 2017. Evaluation of Structural Stability of Plastic Greenhouses with Steel Spiral Piles on Reclaimed Lands. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 26:27-34.
- Yun, S.W., M.K. Choi, S.Y. Lee, C. Yu and Y.C. Yoon. 2015. Uplift Capacity of Wood Pile for Greenhouse Foundation. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 24:123-127.