

간척지에 플라스틱 온실 설치 시의 문제점 분석 및 개선방안

유인호^{1*} · 구양규² · 조명환¹ · 류희룡¹ · 문두경¹

¹국립원예특작과학원 시설원예시험장, ²원광대학교 원예산업학과

An analysis of problems and countermeasures in the installation of plastic greenhouse on reclaimed lands

In-Ho Yu^{1*}, Yang-Gyu Ku², Myeong-Whan Cho¹, Hee-Ryong Ryu¹, Doo-Gyung Moon¹

¹Protected Horticulture Research Station, NIHHS, RDA, Haman 637-812, Korea

²Department of Horticulture Industry, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

Received on 3 November 2014, revised on 7 November 2014, accepted on 10 November 2014

Abstract : Upon setting up a dedicated plastic greenhouse for tomato cultivation developed by the Rural Development Administration on the Gyehwa reclaimed land, this study was aimed at analyzing the problems can be occurred in the installation of plastic greenhouse on reclaimed lands as well as finding out solutions for improvement. A relatively cheaper wooden pile was used in the installation in order to supplement the soft ground conditions. Based on the results of ground investigation of the installation site, both the allowable bearing capacity and pulling resistance of the wooden pile with a diameter of 150 mm and a length of 10 m were computed and came out to be 30.645 kN. It was determined that the values were enough to withstand the maximum compressive force (17.206 kN) and the pullout force (20.435 kN) that are generally applied to the greenhouse footing. There are three problems aroused in the process of greenhouse installation, and the corresponding countermeasures are as follow. First, due to the slightly bent shape of the wooden pile, there were phenomenon such as deviation, torsion, and fracture when driving the pile. This could be prevented by the use of the backhoe (0.2) rotating tongs, which are holding the pile, to drive the pile while pushing to the direction of the driving and fixing it until 5 m below ground and applying a soft vibrating pressure until the first 2 m. Second, there exists a concrete independent footing between the column of the greenhouse and the wooden pile driven to the underground water level. Since it is difficult to accurately drive the pile on this independent footing, the problem of footing baseplate used to fix the column being off the independent footing was occurred. In order to handle with this matter, the diameter of the independent footing was changed from 200 mm to 300 mm. Last, after films were covered in the condition that the reinforcing frame and bracing are not installed, there was a phenomenon of columns being pushed away by the strong wind to the maximum of 11 m·s⁻¹. It is encouraged to avoid constructions in winter, and the film covering jobs always to be done after the frame construction is completely over. The height of the independent footing was measured for 9 months after the completion of the greenhouse installation, and it was found to be within the margin of error meaning that there was no subsidence. The extent to the framework distortion and the value of inclinometers as well showed not much alteration. In other words, the wooden pile was designed to have a sufficient bearing capacity.

Key words : Penetration test, Settlement, Soft ground, Strain, Wooden pile

I. 서론

서남해안 간척지는 식량자급률의 증대 및 산업화에 소요되는 토지 수요를 충족하고자 개발되어왔다. 1965년부터

2020년까지 135천 ha의 간척지를 조성할 계획으로 2012년 말까지 95천 ha(70%)를 준공하였으며 40천 ha는 조성 중에 있다. 간척지 활용방안에 대해서 농업용, 비농업용 등 다양한 분야와 관점에서 논의가 이루어지고 있는데, 정부에서는 준공 후 처분되지 않은 면적 13천 ha와 조성 중인 면적 중 17천 ha 등 30천 ha를 농업적으로 활용할 계획이다

*Corresponding author: Tel: +82-55-580-5504

E-mail address: ihyu2003@korea.kr

(Kim, 2014). 농업적 활용 방안으로 대단위 첨단시설원예 단지가 조성 중에 있거나 계획 중에 있는 등 간척지 내 부가가치가 높은 작물 생산지로서 대규모 시설원예단지 조성방안이 활발하게 모색되고 있는 실정이다(Yun et al., 2014). FTA 등에 의한 농산물 시장 개방에 대비하고 수출농업 전진기지를 조성하기 위하여 대규모 수출 전문단지에 대한 수요가 증가하고 있지만 육지부의 기존 농지에서는 대면적을 확보하기 어렵다. 그렇기 때문에 간척지는 대면적의 농지를 쉽게 구할 수 있다는 측면에서 커다란 장점을 갖고 있다. 그러나 바다에 접해 있어 내륙에 비해 바람이 강하게 불고 해무가 많으며, 농업용수의 확보가 쉽지 않고, 지반이 연약하다는 단점도 동시에 안고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 다양한 방안 즉, 방풍림 조성(Park, 2009; Jeong, 2012), 구조 설계 강화, 담수호 및 빗물집수시설 등의 관수 계획(Seo et al., 2009), 연약지반 보강 방법(Seo et al., 2009) 등에 대한 연구가 진행 중에 있다.

간척지는 대부분 매립으로 조성되기 때문에 온실 기초 및 지반의 보강 없이 온실을 시공하는 것은 어려운 실정이다. 화옹지구 등 간척지에 유리온실을 설치하면서 기초 보강을 위해 강관말뚝 또는 PHC말뚝을 사용한 사례가 있지만, 경량구조물인 온실을 시공하는데 있어 기초 보강비용이 지나치게 과하다는 우려가 많다. 나무말뚝은 네덜란드에서는 비교적 많이 사용되고 있지만 국내에서는 적용된 사례가 많지 않다. 강관말뚝이나 PHC말뚝에 비해 가격이 저렴하고 공기가 단축되며 친환경적 공법이라는 장점을 가지고 있다. 말뚝이 부식되는 것을 방지하기 위해 지하수위 아래까지 타입해서 설치해야 하는 제한적인 조건이 있지만 국내 간척지의 경우는 지하수위가 높은 지역이 대부분이기 때문에 간척지에서 온실 기초를 보강하는데 있어 나무말뚝의 활용도가 매우 높을 것으로 예상된다.

현재 국내 간척지에 설치되고 있는 온실은 모두 유리온실인데, 유리온실의 경우 기초 부등침하로 인한 유리 파손 시 인명 피해를 입을 우려가 있어 PHC말뚝 등을 암반층까지 설치하여 연약지반을 완벽하게 보강해야만 한다. 일본에서도 초기에는 유리온실 위주로 첨단원예시설단지를 조성하였으나 유리 파손, 설치비 과다 등의 문제로 인해 최근에는 플라스틱 온실을 도입하고 있다. 간척지 시설원예단지에 플라스틱 온실 도입 가능성을 살펴볼 필요가 있는데, 간척지에 플라스틱 온실 설치과정 또는 설치 후에 발생할 수 있는 문제에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본

연구에서는 계화도 간척지에 플라스틱 온실을 설치하고 운영하면서 간척지에 플라스틱 온실 설치 시 발생할 수 있는 문제점을 분석하고 개선방안을 찾고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 온실 설계 및 설치

간척지에 들어서는 온실 단지는 주로 수출 농식품단지로 활용될 계획이므로 수출 비중이 높거나 소득이 높은 토마토, 딸기, 파프리카, 오이, 장미, 국화, 선인장, 양란 등이 재배될 가능성이 높다. 그 중에서 국내의 소비가 많은 토마토를 대상 작목으로 하였으며, 온실은 농촌진흥청에서 개발한 토마토 재배용 플라스틱 온실(Yu et al., 2012)을 선택하였다. 이 온실의 규격은 폭 7 m, 처마높이 4.5 m, 온실 높이 6.5 m이며, 중방은 작물하중과 장치하중을 견딜 수 있도록 트러스 구조를 갖고 있다. 우리나라 내재해 설계기준 최대값인 풍속 $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 적설 40 cm 이상에 안전하도록 하우스 기둥, 서까래 등의 부재 규격과 설치 간격이 설정되어 있다. 외부 공기 유입과 자연 환기를 극대화할 수 있도록 랙-피니언 타입의 천창을 용마루에 설치하도록 되어 있으며, 보온력이 우수한 다겹보온커튼을 설치하여 하우스 바깥으로 빠져나가는 열을 최소화하도록 설계되어 있다.

간척지는 지반이 연약하기 때문에 온실 설치 시 지반을 보강해야 한다. 연약지반 보강방법으로 PHC말뚝, 팽이말뚝, 나무말뚝 등이 이용되고 있는데, 각 방법별 m^2 당 시공 단가는 PHC말뚝은 33,000원, 팽이말뚝은 22,500원, 나무말뚝은 6,250원이다(KSBEC, 2009). 본 연구에서는 가격이 저렴한 나무말뚝을 사용하였다. 나무말뚝을 설계하기 위해서 국립식량과학원 계화도 포장 내 온실 설치장소의 지반특성 및 지지력을 조사하였다. Fig. 1과 같이 온실 설치 부지 내 5개소에 지면 아래 42 m 깊이까지 시추하여 지층분포와 N치를 조사하였다. 지반 조사결과를 토대로 나무말뚝 규격을 결정하고, 온실 내 설비들에 대한 설계를 마친 후 온실 설치공사에 들어갔다. 설치 온실의 규모는 폭 7 m, 길이 48 m, 3연동으로 1,008 m^2 이다. 온실 기초 보강파일 설치, 골조 조립과정 등 시공 모든 과정을 모니터링하여 시공과정에서 발생하는 문제점을 분석하고 개선방안을 도출하였다.

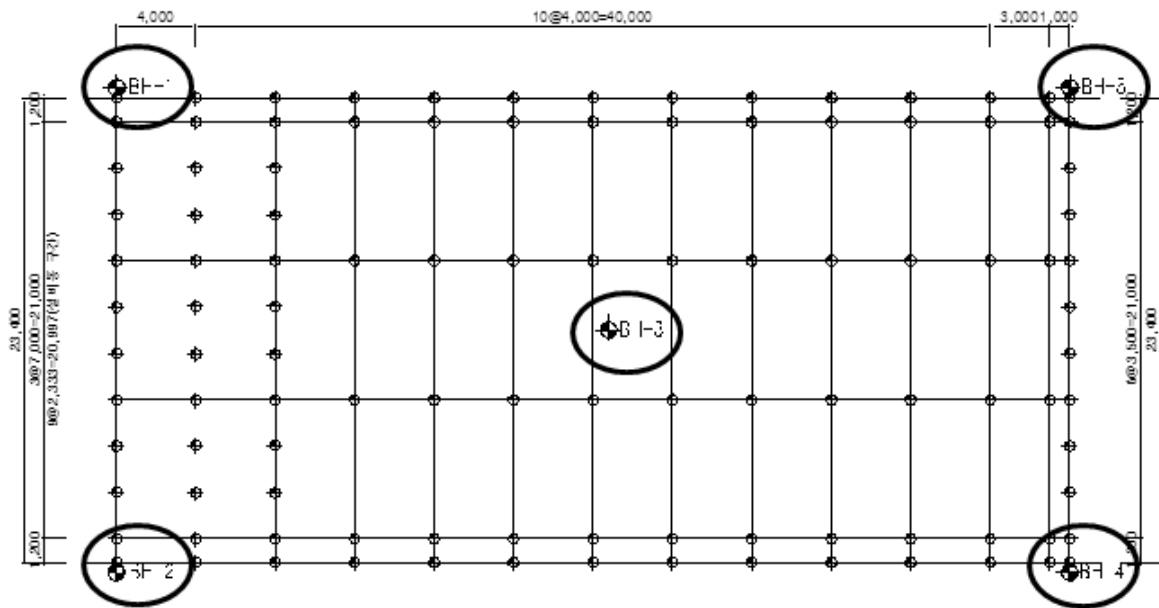


Fig. 1. Locations for soil survey.

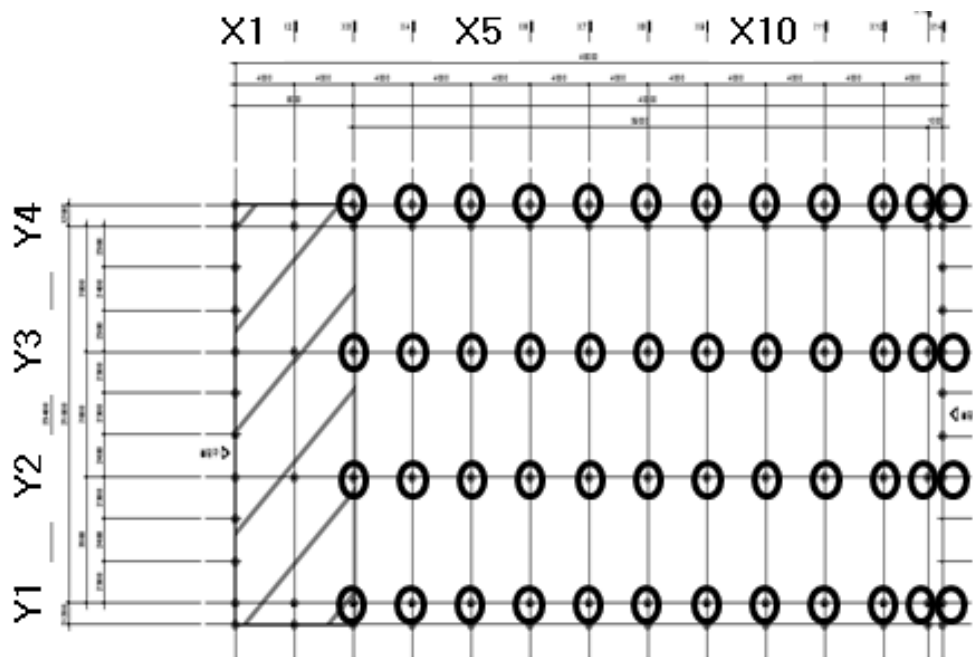


Fig. 2. Survey locations of footing settlement.

2. 온실 기초 침하량 및 골조변형 측정

온실 설치는 2013년 9월 20일 시작하여 12월 30일 완료되었다. 온실 설치 후 시간경과에 따른 기초 침하정도를 파악하기 위해 측량, 변형률 센서(FLA-5-11-1L, Tokyo Sokki Kenkyujo사, Japan), 경사계(DWL-80PRO, DIGIPAS 사, Singapore) 등을 이용하여 기초 침하량 및 골조변형을

측정하였다. 기초 침하량 측정을 위해 매일 1회씩 측량을 하였으며, 기준점은 플라스틱 온실 바로 옆 유리온실 기초로 하였다. Fig. 2와 같이 48개 온실 기초 모두에 대해 측량을 하였다. 골조변형을 측정하기 위해 변형률센서 14개, 경사계 19개를 설치하였으며, 변형률센서는 매일 1회씩, 경사계는 매일 1회씩 그 값을 조사하였다. 변형률센서와 경사계 설치 위치는 각각 Fig. 3과 Fig. 4에 나타냈다.

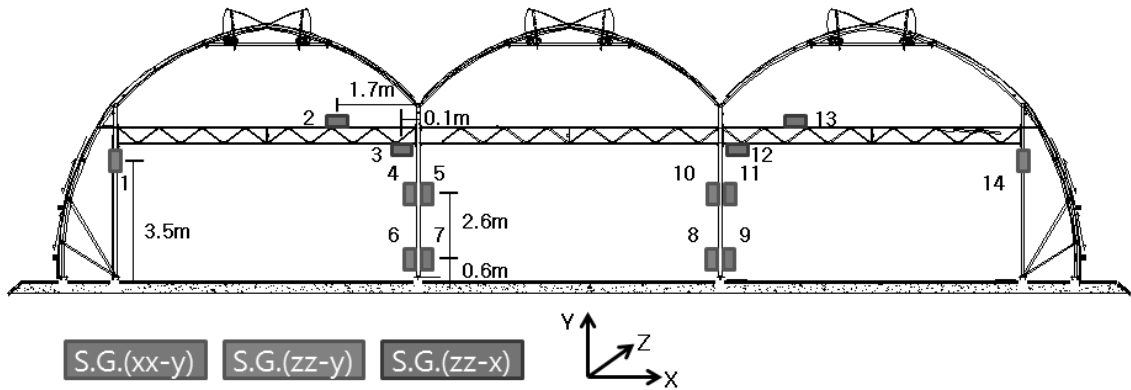


Fig. 3. Installation locations of strain sensor.

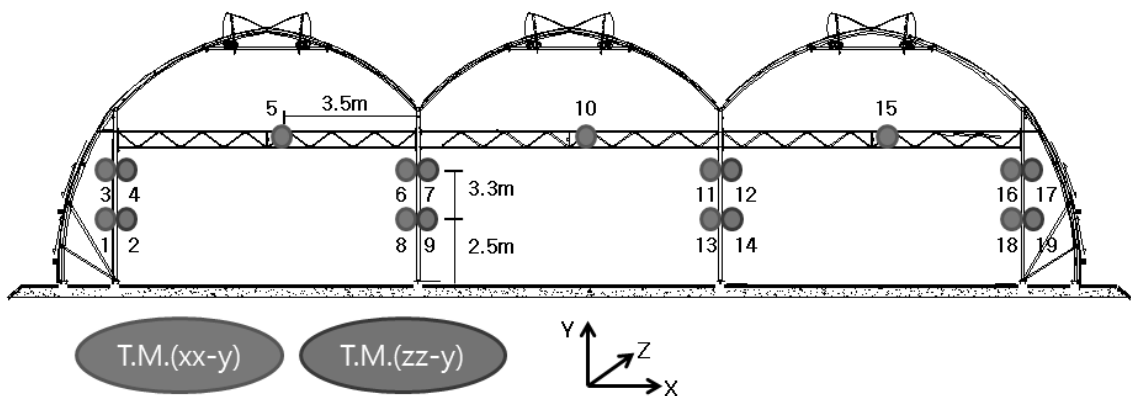


Fig. 4. Installation locations of inclinometer.

III. 결과 및 고찰

1. 온실 설계 및 설치

온실 설치장소의 지층분포 및 표준관입시험 결과는 Table 1과 같다. 지층 분포는 지하 5 m까지는 매립층(점토 섞인 모래), 이하 10 m까지는 퇴적층(실트질 모래), 이하 21 m까지는 퇴적층(실트질 점토), 이하 30 m까지는 풍하토층(실트질 모래), 30 m 이하는 풍화암층(화강 편마암)으로 구성되어 있었다. 표준관입시험을 통해 구한 토층별 평균 N값은 매립층은 10.4, 실트질 모래는 11.2, 실트질 점토는 15.0이었다. 지름 150 mm, 길이 10 m인 나무말뚝의 허용 인발저항력과 압축저항력이 모두 30.645 kN인 것으로 계산되었으며, 플라스틱 온실 기초에 작용하는 최대 인발력(20,435 kN)과 압축력(17,206 kN)을 견디기에 충분한 것으로 판단되었다(Table 2).

나무말뚝이 부식되는 것을 방지하기 위해서는 나무말뚝을 지하수위 아래까지 타입해서 설치해야 하는데, 온실 설

치장소의 지하수위는 1.3 m로 조사되었다. 지하 1.3 m 깊이에 있는 나무말뚝과 온실 기둥은 직경 20 cm의 콘크리트 기초로 연결하였다(Fig. 5). 연약지반 유동에 의한 나무말뚝 침하 및 용기현상을 파악하기 위해 나무말뚝 타입 직후 높이와 24시간 경과 후의 높이를 측정하였다. 24시간 경과 후 나무말뚝의 높이 차이는 모두 1 cm 이내로 변화가 거의 없었다(Table 3).

2. 온실 설치 시 문제점 및 개선방안

온실을 설치하는 과정에서 발생한 세 가지 문제점 및 개선방안은 다음과 같다. 첫째, 나무말뚝이 곧지 않기 때문에 향타시 말뚝의 위치가 이동하고 비틀림이 발생하며 부러지는 문제가 발생하였다(Fig. 6). 지하 5 m까지는 말뚝을 잡고 있는 백호(0.2) 회전집게로 원하는 방향으로 밀어 고정해가면서 향타를 진행하며 초기 2 m까지 약한 진동압력으로 타격을 가하면 말뚝의 부러짐을 방지할 수 있었다(Fig. 7).

Table 1. Results of geo-layer and standard penetration test (Unit: No./cm).

	BH-1	BH-2	BH-3	BH-4	BH-5	Soil stratum	Internal friction angle
1m	13/30	8/30	12/30	13/30	9/30	Burried layer (Silty sand)	25~30°
2m	9/30	7/30	8/30	10/30	11/30		
3m	10/30	10/30	11/30	11/30	10/30		
4m	13/30	10/30	10/30	12/30	9/30		
5m	15/30	14/30	9/30	14/30	13/30		
6m	21/30	19/30	18/30	18/30	18/30	Deposit layer (Silty sand)	30~35°
7m	11/30	15/30	13/30	21/30	11/30		
8m	27/30	14/30	11/30	24/30	8/30		
9m	6/30	16/30	19/30	20/30	8/30		
10m	4/30	6/30	6/30	4/30	11/30	Deposit layer (Silty clay)	20°
11m	5/30	3/30	4/30	6/30	13/30		
12m	7/30	9/30	8/30	15/30	17/30		
15m	4/30	11/30	9/30	14/30	4/30		
18m	6/30	10/30	9/30	9/30	5/30		
21m	6/30	5/30	6/30	23/30	9/30	Weathered soil layer (Silty sand)	30°
24m	30/30	17/30	25/30	24/30	12/30		
25m	26/30	30/30	32/30	30/30	16/30		
27m	35/30	32/30	50/11	38/30	23/30		
30m	42/30	28/30	50/23	30/30	25/30	Weathered rock layer (Granite gneiss)	33°
33m	50/6	50/9	50/5	43/30	50/10		
36m	50/9	50/16	43/30	50/10	50/11		
39m	50/2	50/10	50/9	50/11	50/8		
42m	50/4	50/8	50/6	-	50/6		
No. of penetration test	23	23	23	22	23	114	

Table 2. Examination of bearing capacity about wood pile.

	V _{max} (kN)		Pa (kN)		Evaluation
	Wind velocity (40 m·s ⁻¹)	Snow depth (40 cm)	Pulling resistance	Bearing capacity	
Windbreak wall	20.435 (↑)	8.176 (↓)			OK
Outer column	17.206 (↓)	0.678 (↑)	30.645 (↑)	30.645 (↓)	OK
Inner column	5.306 (↑)	17.065 (↓)			OK



(a) Insert of four rebars in a wood pile



(b) Form for single footing

Fig. 5. Installation of single footing.

Table 3. Change of wood pile level between right and 24hours after driving.

Location of wood pile	Right after driving (cm)	24 hours after driving (cm)	Difference (cm)
X-11, Y-1	0.5	0.5	0.0
X-10, Y-1	7.0	8.0	1.0
X-9, Y-1	11.0	11.0	0.0
X-8, Y-1	10.0	10.5	0.5
X-7, Y-1	-4.5	-4.0	0.5
X-6, Y-1	-11.0	-10.5	0.5
X-5, Y-1	8.0	9.0	1.0
X-4, Y-1	22.0	23.5	1.5
X-3, Y-1	1.5	2.5	1.0
X-2, Y-1	3.0	3.5	0.5
X-1, Y-1	2.0	3.0	1.0



Fig. 6. Breaking of wood pile.



Fig. 7. Wood pile driving.



Fig. 8. Location of baseplate in footing.



Fig. 9. Tilting of column.

둘째, 지하수위 아래에 위치한 나무말뚝과 플라스틱 온실 기둥 사이에는 콘크리트 독립기초가 있는데, 나무말뚝을 독립기초 위치에 정확히 타입하기 어렵기 때문에 기둥 고정용 베이스 플레이트가 독립기초를 벗어나는 문제가 발생하였다(Fig. 8). 독립기초 지름을 200 mm에서 300 mm로 확대

하여 이 문제를 해결하였다. 셋째, 보강대 및 브레싱을 설치하지 않은 상태에서 필름을 피복한 후 최대 $11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 강풍이 불어 온실 기둥이 기울어지는 문제가 발생하였다(Fig. 9). 겨울철 공사는 가급적 피하고 필름 피복작업은 반드시 골조공사가 완전하게 끝난 후에 실시하도록 한다.

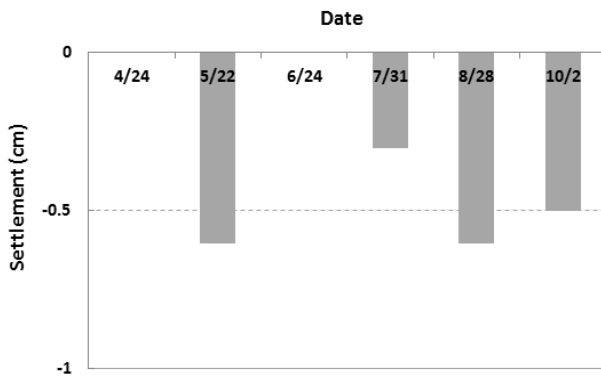


Fig. 10. Change of settlement at footing (X8, Y3).

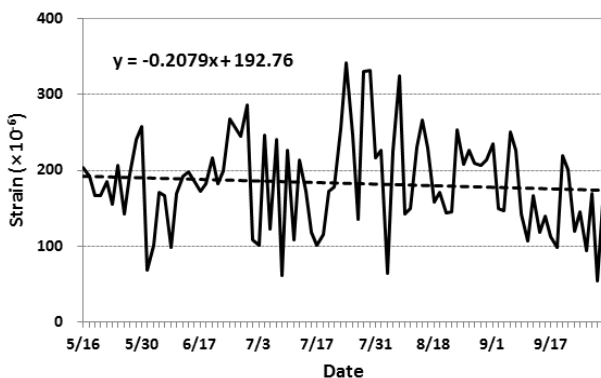


Fig. 11. Change of strain at 4th strain sensor.

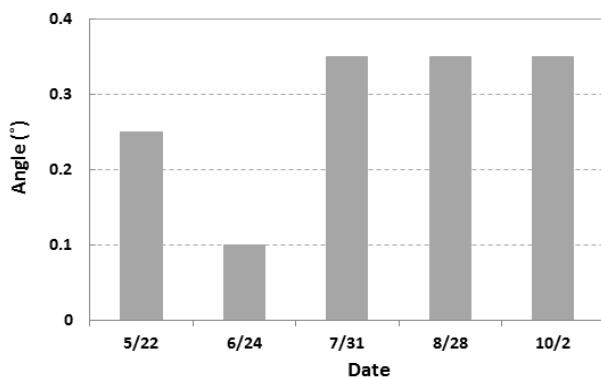


Fig. 12. Change of angle at 6th inclinometer.

3. 온실 기초 침하량 및 골조변형 측정

온실 기초 침하량 변화를 분석하기 위해 4월부터 월 1회 씩 독립기초 높이를 측정하였다. Fig. 10은 기초(X8, Y3)에 대해 4월 24일에 측정된 높이를 기준으로 시간 경과에 따른 높이 차이를 나타내고 있다. 그 차이는 측정 오차 범위 안에 있으며 나머지 기초에서도 마찬가지로 경향을 보여 기초 침하가 없는 것으로 분석되었다. Yun 등(1997)은 시화

간척지 현장조건을 실내에서 재현한 실험에서 자중에 의해 압밀이 완료될 때까지 80,000~100,000분 정도의 시간이 걸리는 것으로 보고하고 있다. 온실 설치장소인 계화도 간척지의 경우 1978년에 포장 조성이 완료되어 자중압밀은 완료되었다고 볼 수 있다. 그러나 시간이 지날수록 구조물 또는 기상 하중에 의한 침하가 발생할 수 있으므로 계속 관찰할 필요가 있을 것으로 생각된다. Fig. 11은 4번 변형률센서에서의 시간 경과에 따른 변형률 값의 변화를 나타낸 그래프이다. 시간에 따라 등락을 반복하고 있지만 그 추이를 봤을 때 변형률 값은 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. Fig. 12에 표시된 각도는 수직으로 서있는 기둥을 0°라고 했을 때 기울어진 정도를 의미하는 것으로 6번 경사계의 값을 나타내고 있다. 경사계 값 역시 시간 경과에 따른 변화가 크지 않은 것으로 조사되었다. 이는 나무말뚝 설계시 충분한 지지력을 갖도록 하였기 때문으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구에서는 농촌진흥청에서 개발한 토마토 재배용 플라스틱 온실을 계화도 간척지에 설치하고 운영하면서 간척지에 플라스틱 온실 설치 시 발생할 수 있는 문제점을 분석하고 개선방안을 찾고자 하였다. 온실 설치 시 연약 지반을 보강하기 위해 가격이 저렴한 나무말뚝을 사용하였다. 온실 설치 장소의 지반 조사 결과를 토대로 직경 150 mm, 길이 10 m인 나무말뚝의 허용 인발저항력과 압축저항력을 계산한 결과 모두 30.645 kN이었으며, 온실 기초에 작용하는 최대 인발력(20.435 kN)과 압축력(17.206 kN)을 견디기에 충분한 것으로 판단되었다.

온실을 설치하는 과정에서 발생한 세 가지 문제점 및 개선방안은 다음과 같다. 첫째, 나무말뚝이 곧지 않기 때문에 향타시 말뚝의 위치가 이동하고 비틀림이 발생하며 부러지는 현상이 발생하였다. 지하 5 m까지는 말뚝을 잡고 있는 백호(0.2) 회전집게로 원하는 방향으로 밀어 고정해가면서 향타를 진행하며 초기 2 m까지 약한 진동압력으로 타격을 가하면 말뚝의 부러짐을 방지할 수 있었다. 둘째, 지하수위까지 박힌 나무말뚝과 플라스틱 온실 기둥 사이에는 콘크리트 독립기초가 있는데, 나무말뚝을 독립기초 위치에 정확히 타입하기 어렵기 때문에 기둥 고정용 베이스 플레이트가 독립기초를 벗어나는 문제가 발생하였다. 이 문제를 해결하기 위해 독립기초 지름을 200 mm에서 300 mm로

변경하였다. 셋째, 보강대 및 브레싱을 설치하지 않은 상태에서 필름을 피복한 후 최대 $11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 강풍이 불어 온실 기둥이 기울어지는 현상이 발생하였다. 동절기 공사는 가급적 피하고 필름 피복작업은 반드시 골조공사가 완전하게 끝난 후에 실시하도록 한다. 온실 완공 후 9개월 동안 독립 기초의 높이를 측량한 결과 측정 오차 범위 내에 들어서 침하가 없는 것으로 분석되었다. 골조 변형을 및 경사계 값도 큰 변화가 없는 것으로 조사되었다. 이는 나무말뚝 설계 시 충분한 지지력을 갖도록 하였기 때문으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 간척지 비닐하우스 시공 특성 연구, 세부과제번호: PJ009423012014)의 지원에 의해 이루어진 것임.

참고 문헌

- Jeong SH. 2012. Developing growth model of windbreak forest and analyzing effects of windbreaks based on wind tunnel test. Master Thesis, Chonbuk National University pp. 22-58. (in Korean)
- Kim CG. 2014. Agricultural policy for Reclaimed land. J. Society of Agri. Research on Reclaimed Lands. 12:1-7. (in Korean)
- Korean Society for Bio-Env. Con., 2009. Master plan for developing greenhouse complex in Taeaen. CTC: p. 380-381. (in Korean)
- Park CM. 2009. Construction measures of windbreak forests in Saemanguem Reclaimed Land. Journal of Korea Society Forest Engineering 7(3):217-232. (in Korean)
- Seo DW, Jeon GY, Son YM, Han GH, Song JD, Lee SG, Lee JW, Park SE, Na WH. 2012. Activation method on controlled agriculture for future agriculture -Design guide on construction of infrastructure for controlled agriculture-. Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation 66-68. (in Korean)
- Yu IH, Lee EH, Cho MW, Ryu HR, Kim YC. 2012. Development of Multi-span Plastic Greenhouse for Tomato Cultivation. Journal of Bio-Environment Control 21(4): 428-436. (in Korean)
- Yun CJ, Hong BM. 1997. A study on the self-weight consolidation at the tidal basin. Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation pp. 120-121. (in Korean)
- Yun SW, Choi MK, Kim HN, Yoon YC. 2014. Uplift bearing capacity of wooden pile for greenhouse foundation. Proceedings of Korean Society for Bio-Environment 2014 Autumn Conference 23(2):179-180. (in Korean)