

단동 온실용 파이프 기초의 인발저항력 검토

최만권^{1†} · 윤성욱^{2†} · 김하늘³ · 이시영⁴ · 유찬³ · 윤용철^{3*}

¹국립원예특작과학원 시설원에 연구소, ²경상대학교 농업생명과학연구원,
³경상대학교 지역환경기반공학과(농업생명과학연구원), ⁴농촌진흥청 농업공학부 에너지환경공학과

Uplift Capacity of Pipe Foundation for Single-span Greenhouse

Man Kwon Choi^{1†}, Sung Wook Yun^{2†}, Ha Neul Kim³, Si Young Lee⁴, Chan Yu³, and Yong Cheol Yoon^{3*}

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

²Institute of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

³Dept. of Agricultural Eng., Gyeongsang National Univ(Institute of Agriculture and Life Science), Jinju 660-701, Korea

⁴Dept. of Agricultural Engineering, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

Abstract. In order to provide design data support for reducing gale damage of single-span greenhouses, this paper experimentally evaluated the uplift capacity of a rafter pipe and continuous pipe foundation (anti-disaster standard), usually used for single-span greenhouses according to compaction ratio, embedded depth, and soil texture. In the reclaimed soil (Silt loam) and the farmland soil (Sandy loam), the ultimate uplift capacities of rafter pipe were 72.8kgf and 60.7kgf, respectively, and those of continuous pipe foundation were 452.7kgf and 450.3kgf, respectively at an embedded depth of 50cm and compaction rate of 85% (the hardest ground condition). The results showed that the ultimate uplift capacity of continuous pipe foundation was significantly improved at more than 6 times that of the rafter pipe. The soil texture considered in this paper had a sand content of 35%~59% and a silt content of 39%~58%, and it was shown that the ultimate uplift capacity did not have a significant difference depending on soil texture, and these results show that installing the rafter pipe and continuous pipe foundation while maintaining appropriate compaction conditions can give an advantage in securing stability in the farmland of greenhouses without significantly being influenced by soil texture. Based on the results of this paper, it was determined that maintaining a compaction rate above 75% for the continuous pipe foundation and above 85% for the rafter pipe was advantageous for securing stability in greenhouses. Especially when continuous pipe foundation of anti-disaster standard was applied, it was determined to be significantly advantageous in acquiring stability in greenhouses to prevent climate disaster.

Additional key words : Anti-disaster Standard, soil texture, degree of compaction, embedded depth, continuous pipe foundation, rafter pipe

서 론

온실면적이 양적으로 증가하면서, 국내 시설원에 근대화기의 시초라 할 수 있는 1980년에 최초로 농촌진흥청에서 파이프 비닐하우스의 설계도 4종을 개발하여 보급하였다. 그 후, 시설원의 현대화기의 시초라 할 수 있는 1990대에 접어들면서 농가보급형 표준화온실의 시효라고 할 수 있는 1-2W형을 포함하여 11종의 설계도를 1991년에 제작하여 농가에 보급하기 시작하였다. 이를 시초로 광폭형 온실(1993년), 유리온실(1994), 고정육

묘 및 벤로형 온실(1997년) 등 다수의 온실모델을 개발하거나 보완 및 개조하여 농가에 보급하였을 뿐만 아니라 재해예방, 환경조절, 작물생육 향상 등을 위하여 많은 연구도 진행되어 왔다. 그러나 계속되는 기상재해로 원예·특작시설에서 막대한 피해가 발생하자 2010년 12월 내재해형 규격을 다시 개정 고시하였다. 이 때 개정된 고시에는 자동화 비닐하우스를 3종으로 확대하고, 단동 비닐하우스는 기존의 서까래 규격을 일부 조절하여 18종으로 하였다. 그리고 광폭형 비닐하우스 2종을 추가하였고 과수 3종(포도 2종, 감귤 1종), 간이버섯 재배사 2종, 인삼 재배시설 10종(철제 4종, 목재 6종)도 개정 고시하였다(Lee 등, 2010; MIFAFF, 2010a, 2010b, 2014a, 2014b; RDA, 2010a, 2010b; Yoon 등, 2012)

국내의 온실산업은 해를 거듭할수록 발전하여 왔지만,

*Corresponding author: ychoon@gnu.ac.kr

Received March 16, 2015; Revised April 06, 2015;

Accepted April 27, 2015

†These authors equally contributed to this work.

온실면적은 시설원예의 현대화기인 1999년까지 급속도로 증가한 후, 농촌 노동인구의 노령화 및 에너지비용 상승 등으로 인하여 2000년 이후에는 거의 답보 상태를 보이거나 약간 감소하는 경우도 있다. 2013년 말 현재 시설채소 및 화훼류의 온실면적은 각각 51,085ha 및 2,553ha으로서 전체 면적은 53,611ha이다. 이것은 2010년도의 51,829ha, 2011년도의 52,393ha 및 2012년도의 53,125 ha에 비해 각각 약 3.4%, 2.3% 및 0.9% 정도로 미미한 수준이지만 약간 증가하였다. 이들 중 연동, 단동 및 기타 온실(소형터널 및 비가림)은 각각 8,029ha, 44,345ha 및 1,237ha이다. 피복재별로 보면, 플라스틱 필름, 경질판 및 유리온실은 각각 53,025ha, 214ha 및 372ha이고, 이 중에 아연도 강관을 주 서까래로 이용하는 터널, 비가림 및 파이프 온실이 전체 면적의 약 98.9%로서 국내 온실의 대부분을 차지하고 있다. 또한 강풍이나 적설에 상대적으로 취약한 단동 플라스틱 필름 온실은 44,315ha(약 83%)정도를 차지하고 있다(MAFRA, 2014a, 2014b). 이와 같이 국내 온실의 경우, 경량 플라스틱 필름온실이면서 단동온실이 대부분을 차지하고 있는 실정이다.

이상과 같이 국내의 경우에는 대부분 경량 플라스틱 필름 피복의 단동온실로서 태풍이나 대설 등 이상기상에 노출되면 상대적으로 취약한 시설이다. 최근 12년(2001~2012)간 태풍, 호우, 대설, 강풍 및 풍랑에 의해 발생한 연평균 피해면적과 피해액은 각각 20,910ha 및 1,060억 원인 것으로 보고되고 있고, 이 기간에 태풍(강풍 포함) 및 대설에 의한 피해규모(면적)는 각각 약 96% 및 4%

로서 태풍에 의한 피해가 가장 큰 것으로 나타났다(NDIC, 2015). 앞으로 기후변화에 따른 이상기상이 빈번하게 발생될 것으로 예측되어 온실의 기상재해에 대비하여야 할 것이다.

이러한 자연재해를 방지하기 위하여 앞에서도 기술하였듯이 내재해형 온실을 설계하여 보급하고 있을 뿐만 아니라 이와 관련한 연구도 현재까지 지속되고 있고(Shu 등, 2008; Nam 등, 2009; Ryu 등 2009, Yu 등, 2012; Lee 등, 2014), 또한 다양한 기술을 개발하여 보급하고 있는 실정이다(RDA, 2005, 2007a, 2009).

본 연구에서는 강풍 피해의 절감을 위한 파이프 기초의 설계 자료를 제공할 목적으로 내재해형 단동온실에 주로 사용되는 서까래 파이프와 파이프 줄기초를 대상으로 흙의 종류, 다짐도 및 매입깊이에 따른 인발저항력을 실험적으로 검토하였다.

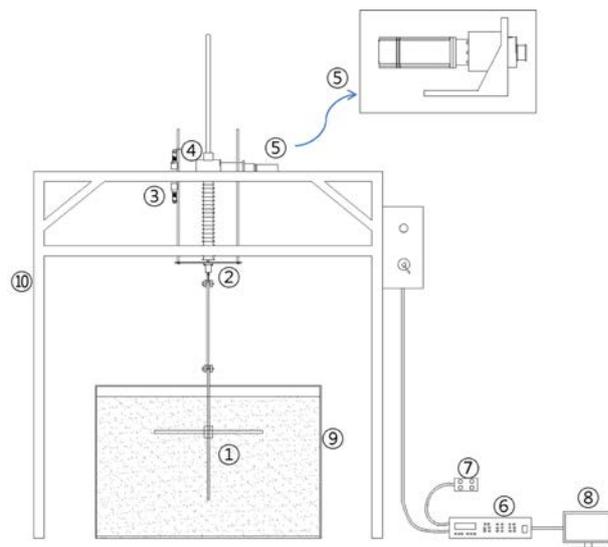
재료 및 방법

본 연구에서 사용한 실험 재료 및 방법은 Lee 등 (2014)이 보고한 내용과 거의 유사함을 미리 밝혀둔다.

1. 실험장치

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 인발저항력 측정장치의 개요도를 나타낸 것이다. 실험 장치는 크게 하중 재하 장치, 실험 토조, 하중계 및 변위계 등으로 구성되어 있다.

하중재하 장치에는 Fig. 1과 같이 Power jack과 AC motor를 이용하여 하중을 가하였다. 실험대상 파이프의



① Experimental pipe ② Load cell ③ Displacement sensor ④ Power jack ⑤ AC motor
⑥ Universal test device ⑦ Remote controller ⑧ PC ⑨ Soil box ⑩ Supporting frame

Fig. 1. Schematics of experimental apparatus.

Table 1. Specifications of uplift capacity load measurement devices.

Devices	Specifications
Power jack	Type : MJ44 Screw lead : 5 Gear ratio =1:24 Stroke : 500 Manufacture : MIRESANUP Co., Ltd (Korea)
AC servo motor	Model : HC - KFS43G1 Input : 3AC, 129V, 2.3A Output : 400W RPM : 3000r/min Manufacture : MITSUBISHI (Japan)
Load cell	Type : TCLP-500KA Capacity : 500kgf Sens : 1.5 mV/V Manufacture : Tokyo Sokki Kenkyuoio Co., Ltd. (Japan)
Displacement sensor	Model : MICRO SWITCH Range : 0.01mm ~ 600mm Manufacture : KUNHUNG ELEC-TRONIC, Co., (Korea)



Fig. 2. Soil box.

인발저항력 및 인발 변위량(이하 변위량이라 함)은 하중 재하 장치에 연결된 Universal test machine(Korea, 미래산업, DUS204LCD)을 통해 계측하였다. 이 장치는 실험 대상의 제원과 실험속도, 실험횟수 등 실험에 필요한 조건과 방식을 모두 설정할 수 있으며, 데이터는 하중 0.01kgf, 변위 0.01mm 까지 기록 및 분석이 가능하게 설계되어 있다. 그리고 이 장치의 전면부에 위치한 버튼을 통하여 기계의 설정 및 제어가 가능하며 연결된 리모트 컨트롤을 통해 Power jack에 연결된 하중계에 실험대상 파이프와 연결된 축을 상하로 이동시킬 수 있다.

인발저항력과 변위량은 이 장치에 연결된 컴퓨터에서 실시간으로 저장하여 분석할 수 있으며, 인발저항력은 최대용량 500kgf, 최소단위 0.01kgf인 하중계(Japan, Sokki Kenkyuoio Co., Ltd., TCLP-500KA)로 계측하였다. 그리고 변위량은 최대변위량 600mm, 최소단위 0.01mm인 변위계(Korea, KUNHUNG ELECTRONIC, Co., MICRO SWITCH)를 사용하였다. Table 1은 이들 장치의 상세한 제원을 나타낸 것이다.

Fig. 2는 본 실험에 사용된 모형토조를 나타낸 것으로서 800×1,000×600mm 크기의 강재로 제작되었다. 토조 내 지반을 조성할 때, 흙의 높이 및 목표 다짐도로 원활하게 조성하기 위해 토조 한쪽 면에는 투명 아크릴판을 설치하여 토조 저면부터 동일한 간격으로 선을 그어 이용하였다. 이때 아크릴 판이 위치한 면에는 배부름 현상이나 휨이 발생하지 않도록 강재로 지지하였다. 그리고 토조 내에 조성된 지반은 토조 외벽에 의한 경계조건의 영향을 크게 받을 수 있지만, 본 실험에서는 예비 실험을 통해 설계된 토조의 제원이 지반의 파괴거동에 대한 영향이 없음을 확인하였다.

2. 실험용 파이프

실험에 이용한 파이프는 Fig. 3에 나타낸 것과 같이 지반에 매립 또는 매입하는 서까래 파이프(Fig. 3(a), 이

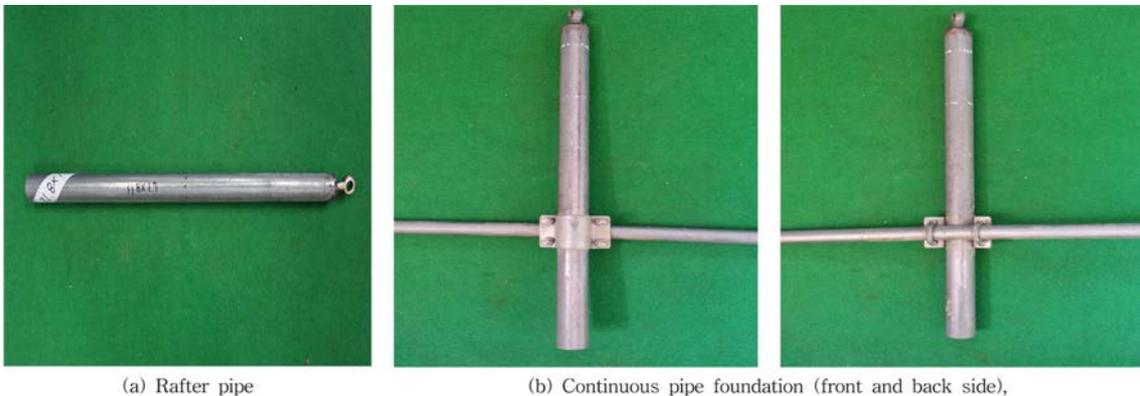


Fig. 3. Experimental pipes.

하 파이프라 칭함)와 지반에 매립되는 서까래와 도리 파이프를 체결한 파이프 줄기초(Fig. 3(b), 이하 줄기초라 칭함)이다. 실제로 현장에 설치하는 파이프 및 줄기초의 규격은 몇 종류가 있지만, 예비실험결과 파이프의 직경이나 두께에 의한 인발저항력의 차이가 미미하였기 때문에 본 실험에서는 내재해형 온실에 주로 사용되는 파이프 및 줄기초의 규격을 하나로 하였다. 즉 파이프의 경우, 길이, 직경 및 두께는 각각 600mm, 31.8mm 및 1.7mm이고, 자중은 약 0.95kg이다. 그리고 줄기초의 경우, 도리(가로대)의 길이는 현장에 설치되는 서까래의 간격을 고려하여 길이 800mm, 직경 및 두께는 각각 25.4mm 및 1.5mm이다. 서까래(세로대)의 경우 길이, 직경 및 두께는 각각 600mm, 31.8mm 및 1.7mm이고, 자중은 약 1.84kg이다. 줄기초의 경우, 가로 및 세로대의 체결방법에는 강선 및 강판 조리개를 이용하거나 U-클램프를 이용할 수 있지만, 현장에서는 주로 강판 조리개나 U-클램프를 사용한다. 본 실험에서는 예비실험 결과, 강판 조리개를 사용할 경우에 특정 지반조건에서 체결부위가 분리되는 문제가 발생되었다. 따라서 이를 보완하기 위하여 체결강도가 이 보다 큰 U-클램프로 실험을 수행하였다. Fig. 4는 줄기초의 체결개념도를 나타낸 것이다.

3. 흙시료 및 모형지반

본 실험에 이용한 흙시료는 진주시 인근 온실 주변에 위치한 농경지(논) 흙과 새만금 간척지내 매립지에서 채취한 간척지 흙을 사용하였다. 채취한 흙에 대해서는 관련 공정시험방법에 따라 기본 물리적 특성을 분석하였고,

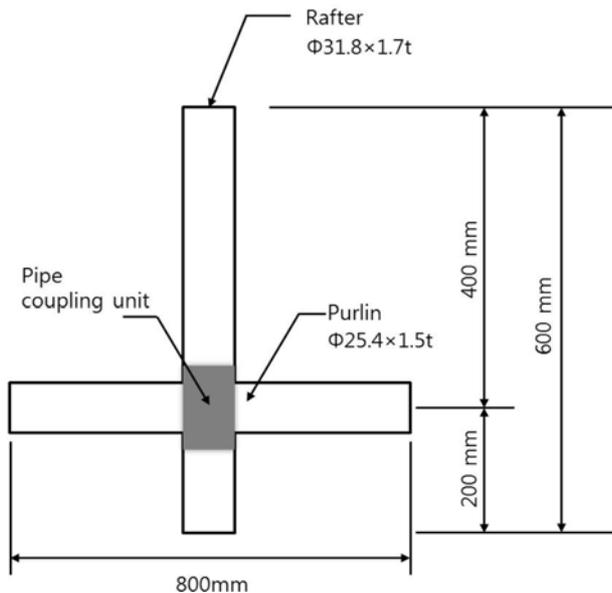


Fig. 4. Conceptual diagram of continuous pipe foundation.

Table 2는 그 결과를 나타낸 것이다. 농경지 흙의 경우, 자연함수비 및 비중은 각각 약 29.9% 및 2.65이었으며, 최적함수비(OMC)는 16.2%, 최대건조밀도(γ_{dmax})는 1.77g·cm⁻³으로 나타났다. 토성은 Sand 58.9%, Silt 39.1%, Clay 2.0%로서 사질 롬(Sandy loam)으로 분류되었다. 그리고 간척지 흙의 경우, 자연함수비 및 비중은 각각 약 22.5% 및 2.64이었으며, 최적함수비(OMC)는 15.8%, 최대건조밀도(γ_{dmax})는 1.69g·cm⁻³으로 나타났다. 토성은 Sand 34.5%, Silt 57.5%, Clay 8.0%로서 농경지 흙에 비해 실트가 많이 분포하고 있으며, 실트질 롬(Silty loam)으로 분류되었다. Fig. 5는 각 대상흙의 입도분포 특성을 나타낸 것이다. 최적함수비 및 최대건조밀도는 A다짐법을 통해 얻은 것이다.

실험 토조 내 흙의 다짐조건인 경우, 일반적인 온실 주변 현장의 다짐률이 85%내외인 점을 고려하여 주문 제작한 약 6.5kg의 다짐봉으로 파이프 및 줄기초(이하 파이프의 종류라 칭함)에 관계없이 다짐률은 각각 65%, 75% 및 85%로 적용하였다. 그리고 각 다짐조건별로 파이프 및 줄기초의 매입깊이는 각각 30, 40 및 50cm로

Table 2. Physical and mechanical properties of used soil.

Parameters	Farmland	Reclaimed land
w _n (%)	29.9	22.5
G _s	2.65	2.64
Consistency		
LL (%)	NP	NP
PL (%)	NP	NP
Soil texture (%)		
Sand	58.9	34.5
Silt	39.1	57.5
Clay	2.0	8.0
USDA	Sandy loam	Silt loam
(g·cm ⁻³)	1.77	1.69
OMC (%)	16.2	15.8

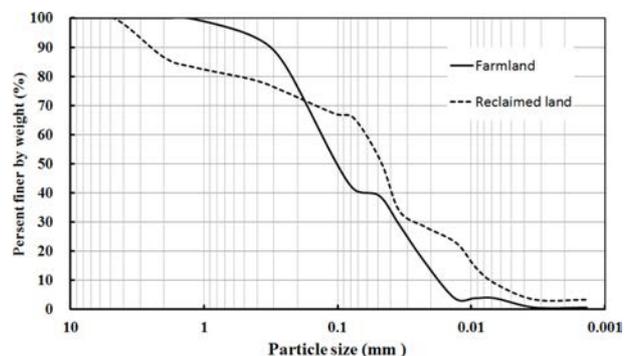


Fig. 5. Grain size distribution characteristics of used soils.

나누어 최대한 최적함수비의 조건을 유지하며 인발저항력 실험을 실시하였다. 또한 대상 모형지반 전 높이에 걸쳐 균등한 다짐도를 확보하기 위하여 50cm 높이의 지반을 6층으로 나누어 매 층 동일한 다짐에너지를 주었다. 다짐률 85%, 75% 및 65%의 층별 다짐 회수는 각각 200회, 100회 및 0회 정도였다. 각 다짐 조건별 상대 밀도는 다짐률 85%, 75% 및 65%에 대해 각각 67%, 38% 및 0%이다.

4. 실험방법

인발 하중의 측정과 관련하여 JSSMFE (1992)에 따르면 인발하중의 측정은 일반적으로 일방향 다사이클 시험으로 하고, 하중단계는 계획최대하중(극한 또는 최대인발저항력)의 기준으로 8단계 이상(하중제어 방식)으로 하는 것으로 제시하고 있다. 그리고 하중속도는 시험목적에 따라 조금씩 다르지만, 일반적으로 계획최대하중의 1/8~1/20t·min⁻¹(변위제어 방식)으로 하도록 규정하고 있다.

인발저항력 실험에서 토조에 매립된 실험대상물에 대하여 상방향으로 인발하중을 가하는 재하방식에는 크게 하중제어 방식과 변위제어 방식의 두 가지 방법으로 분류할 수 있다. 하중제어 방식은 계획최대하중을 몇 단계로 분류한 뒤, 각 단계별로 일정한 시간의 간격을 두고 하중을 가하는 방식으로서 다단계 하중법 또는 정하중법이라고도 한다. 이 방법은 주로 현장에서 실험을 시행할 경우와 Jack 등을 이용하여 하중을 가할 때 사용된다. 그리고 변위제어 방식은 실험대상의 인발변위량을 제어하는 방법으로 일정 시간동안 일정한 변위가 발생하게 하는 방법이며, 일반적으로 실내실험에서 주로 사용되고 있다.

본 실험 장치는 위의 두 가지 방식을 동시에 적용할 수 있도록 설계되어 있지만, 모의 테스트 결과 하중제어 방식을 적용하기에 본 실험장치에 한계가 있는 것으로 나타났기 때문에 본 실험에서는 두 가지 제어방식 중에 일반적으로 실내실험에서 주로 사용하고 있는 변위제어 방식을 사용하여 실험결과를 얻었다.

본 연구에서 재하 속도는 1mm·min⁻¹(허용오차 ± 10% 이내)으로 하였고, 인발저항력 실험의 종료 시점은 인발저항력이 더 이상 증가하지 않고 최대치(극한인발저항력)를 지나 연화(softening)경향을 나타내거나 일정한 값으로 수렴될 때를 종료시점으로 하였다. 실험의 정확도를 위해 인발저항력 측정은 각 조건별로 2회씩 반복하였으며, 그 평균값을 실험결과로 이용하였다. 이때 2회 반복한 측정결과가 5%이상 차이가 나는 경우에는 서로 유사한 측정치가 나올 때까지 반복실험을 실시하였다. 그리고 기초의 자중은 인발저항력에서 제외하였다.

결과 및 고찰

Fig. 6 및 7은 실험대상 파이프의 인발저항력과 변위량의 관계를 서까래 파이프 및 줄기초에 대해 토성별로 나타낸 일례로서 다짐률이 85%인 경우이다. Fig. 6 및 7에서 알 수 있듯이 파이프 종류나 토성에 관계없이 인발저항력은 매입깊이가 깊을수록 증가하는 전형적인 경향을 보였다. 다만 각각의 흙이나 다짐률 및 매입깊이에 따라 인발저항력 및 변위량 변화의 경향이 다소 차이를 보이고 있지만, 이는 흙이나 매입깊이에 따른 다짐 조건별로 다짐이 다소 균일하지 못하였거나 장기간 실험에 따른 실험자의 교체에 기인한 것으로 판단된다.

또한 인발저항력은 각각의 조건별로 다소 차이는 있지만, 초기단계에서는 거의 선형적으로 증가하는 경향을 보였다. 그리고 Fig. 7에서 매입깊이 50cm의 경우, 인발저항력이 점진적으로 증가하는 시점에 측정을 종료하였

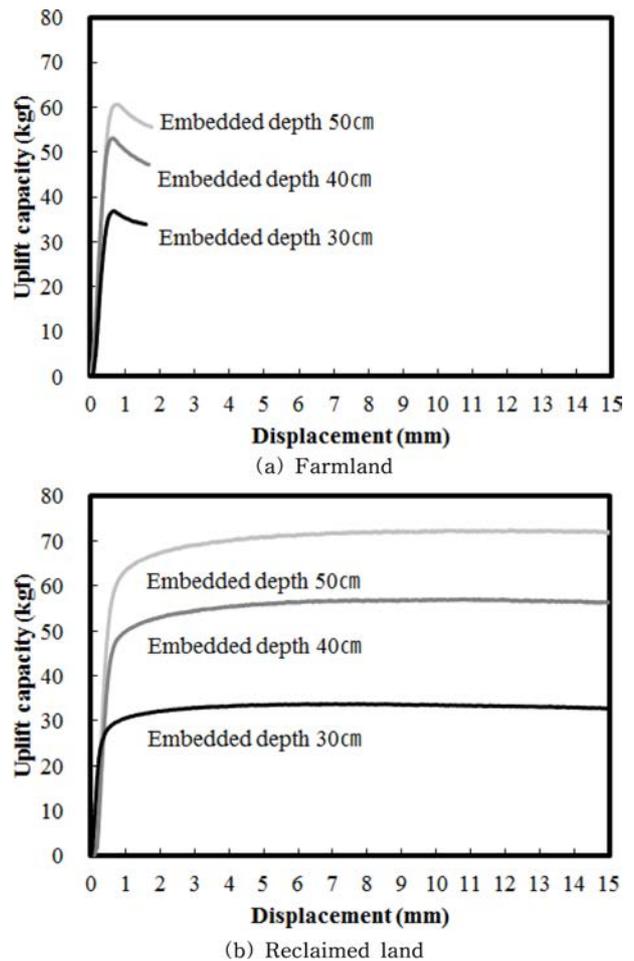


Fig. 6. Relationship between uplift capacity and displacement of rafter pipe.

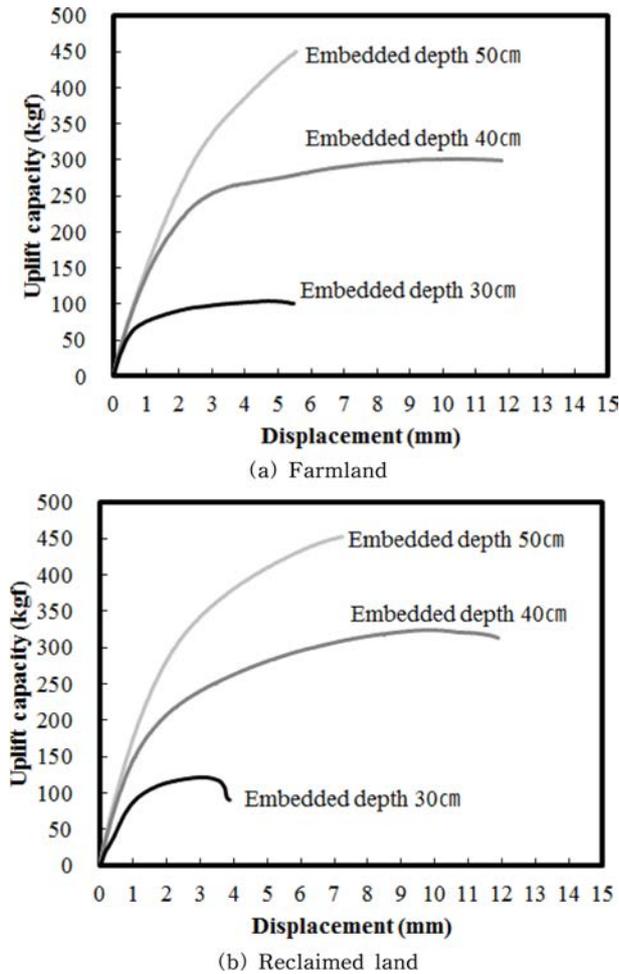


Fig. 7. Relationship between uplift capacity and displacement of continuous pipe foundation.

다. 이것은 실험에 사용한 하중계의 최대용량이 500kgf 이었기 때문이다. 인발저항력의 경우, 극한인발저항력을

구하는 것도 중요하지만, 실제로 온실의 사용성과 안전성 측면을 고려하면 파이프 주변 지반의 항복시점이 인발저항력을 논할 때 아주 중요하다. 그러나 본 실험의 경우, 변위제어 방식을 채택하였기 때문에 항복점을 찾는 것은 어려울 것으로 판단된다.

Table 3은 Fig. 6 및 7의 결과를 포함하여 2회 이상 반복한 실험결과와 극한인발저항력 평균값을 각각의 토성, 지반조건 및 매입깊이별로 나타낸 것이다. 그리고 각 토성에 따른 대상 기초의 극한인발저항력의 차이를 각각 비교하기 위해 각 토성별로 측정된 파이프 및 줄기초의 인발저항력에 대하여 간척지 흙(R)에 대한 농경지 흙(F)의 인발저항력 비(F/R)도 함께 나타내었다.

그 결과 극한인발저항력은 가장 다단한 지반조건인 다짐률 85%, 최대매입깊이 50cm를 기준으로 파이프의 경우는 간척지 흙 72.8kgf, 농경지 흙 60.7kgf로 나타났고 줄기초의 경우는 간척지 흙 452.7kgf, 농경지 흙 450.3kgf로 토성에 따라 큰 차이는 없었으나 간척지 흙이 다소 높은 것으로 나타났다. 그리고 일반적으로 파이프 및 줄기초가 설치되는 지반조건 및 매입깊이를 고려하여 다짐률 75%, 매입깊이 40cm 이상에서 인발저항력을 기준으로 F/R의 비를 비교해 보면 파이프의 경우 0.83~0.94 정도의 범위이고, 줄기초의 경우는 0.86~1.20 정도의 범위로서 토성에 따라 큰 차이를 보이지 않았다.

본 연구에서는 토성이 다른 2가지의 흙을 이용하여 실험을 진행하였다. 흙을 채취한 위치를 고려하여 농경지 흙과 간척지 흙으로 구분하였는데 Table 2에 제시된 이 2가지 흙에 대한 토성을 비교해보면 농경지 흙은 상대적으로 모래함량이 높은 사질 톱, 간척지 흙은 상대적으로 실트함량이 높은 실트질 톱으로 분류되었다. 그러나 농경지 흙의 경우 논에서 채취한 흙으로 일반 사질 톱보다 실트가 39%이상으로 비교적 높게 분포하고 간척지

Table 3. Ultimate uplift capacity and ratio of F/R

Degree of compaction (%)	Depth (cm)	Farmland(F)		Reclaimed land(R)		F/R	
		Rafter pipe (kgf)	Conti. pipe foun. (kgf)	Rafter pipe (kgf)	Conti. pipe foun. (kgf)	Rafter pipe	Conti. pipe foun.
65	30	1.5	18.1	1.1	12.4	1.36	1.46
	40	2.0	39.2	1.7	27.6	1.18	1.42
	50	2.3	59.4	2.6	49.1	0.88	1.21
75	30	20.8	94.8	19.6	84.0	1.06	1.13
	40	22.0	182.4	25.1	152.6	0.88	1.20
	50	29.2	278.5	32.8	261.8	0.89	1.06
85	30	38.6	104.3	33.6	121.7	1.15	0.86
	40	53.2	301.3	56.3	329.7	0.94	0.91
	50	60.7	450.3	72.8	452.7	0.83	0.99

흙의 경우는 모래함량이 약 35% 정도로 일반 실트질 흙보다 비교적 높게 분포하는 특성을 나타내었다. 따라서 인발저항력이 토성에 따라서 크게 차이가 나타나지 않고 그 영향이 미미한 것으로 판단이 되었다. 이러한 결과는 온실의 파이프(서까래) 및 줄기초를 설치할 때 적절한 다짐조건을 유지한다면 토성의 영향을 크게 받지 않고 온실의 지반고정에 대한 안정성 확보에 크게 유리하다는 것을 나타낸다. 단, 본 연구에서 고려한 토성은 모래함량 35%~59%, 실트함량 39%~58% 그리고 점토함량 2%~8%이다.

파이프와 줄기초의 극한인발저항력을 비교해 보면, 가장 단단한 지반조건인 다짐률 85%를 기준으로 파이프는 매입깊이 30cm, 40cm, 50cm에서 농경지 흙의 경우 38.6kgf, 53.2kgf, 60.7kgf, 간척지 흙은 33.6kgf, 56.3kgf, 72.8kgf으로 각각 나타났다. 반면, 줄기초는 매입깊이 30cm, 40cm, 50cm에서 농경지 흙의 경우 104.3kgf, 301.3kgf, 450.3kgf, 간척지 흙의 경우는 121.7kgf, 329.7kgf, 452.7kgf으로 파이프 보다 인발저항력이 크게 개선되는 것으로 나타났

다. 특히 최대 매입깊이인 50cm의 경우 파이프 보다 약 6배 이상 인발저항력이 높은 것으로 나타났다. 따라서 줄기초를 설치할 경우 기상재해에 따른 온실의 안정성 확보에 크게 유리할 것으로 판단되었다.

이상에서 알 수 있듯이 극한인발저항력은 다짐률이나 매입깊이에 따라 상당한 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한 줄기초가 파이프 보다 극한인발저항력이 아주 큰 것으로 나타났다. 단동온실의 기상재해 피해는 강풍에 의하여 파이프가 인발되어 파괴되는 경우가 대부분이다. 일반적으로 파이프의 매입깊이는 농가마다 큰 차이가 없지만, 파이프나 줄기초 주변의 지반에 대한 유지관리를 철저히 한다면 바람에 의한 피해를 경감시켜 줄 수 있을 것으로 판단되며, 본 연구의 결과를 기준으로 줄기초는 다짐률 75% 이상, 일반 파이프의 경우에는 다짐률 85%이상으로 유지하는 것이 온실의 안정성 확보에 유리할 것으로 판단되었다. 그리고 줄기초는 파이프보다 시공비가 많아지는 단점이 있으나, 기상재해에 의한 피해를 고려한 다면 가능한 내재해형 규격인 줄기초로 온실

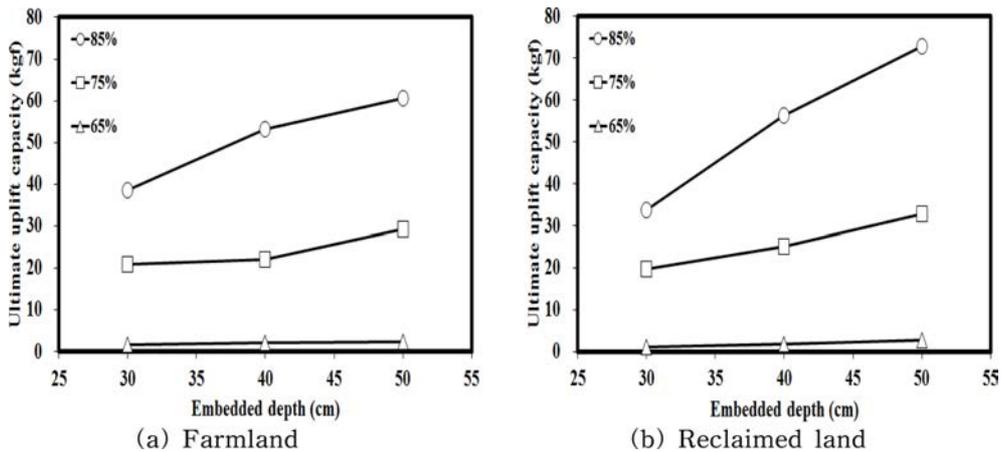


Fig. 8. Ultimate uplift capacity according to embedded depth (Rafter pipe).

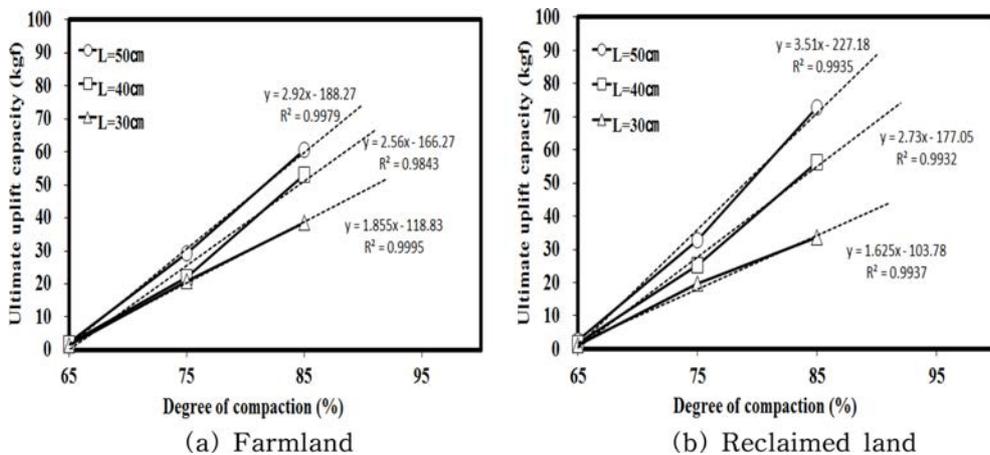


Fig. 9. Ultimate uplift capacity according to degree of compaction (Rafter pipe).

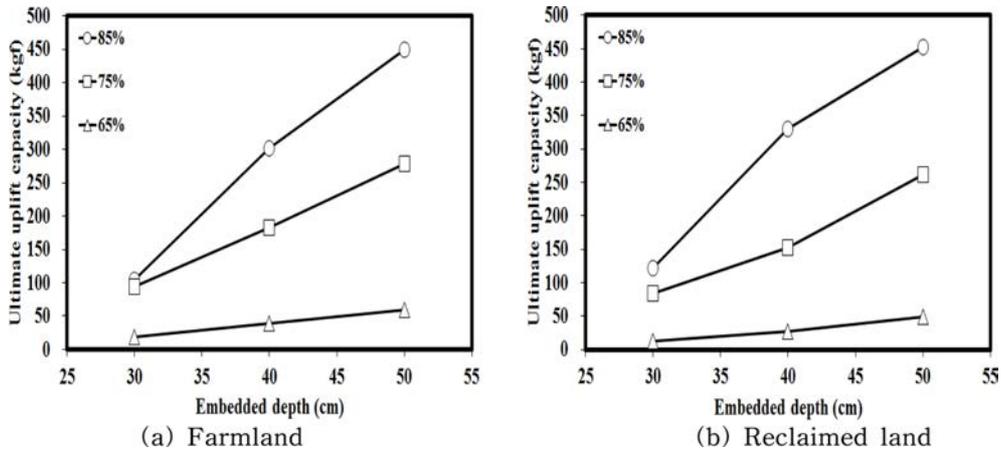


Fig. 10. Ultimate uplift capacity according to embedded depth(Pipe continuous foundation).

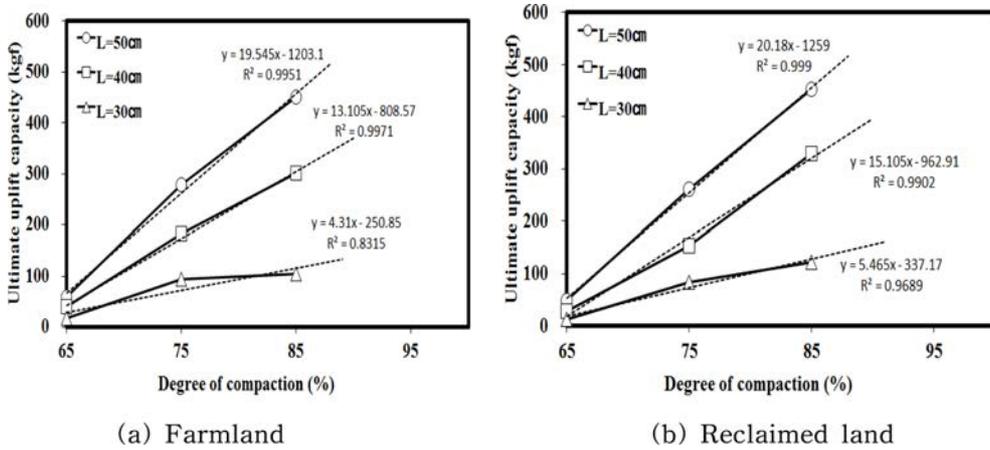


Fig. 11. Ultimate uplift capacity according to degree of compaction(Pipe continuous foundation).

을 시공하는 것이 강풍의 피해를 경감시키는데 크게 유리할 것으로 판단되었다.

Fig. 8 및 9는 매입형 파이프의 경우, 극한인발저항력을 다짐률 및 매입깊이별로 도식화한 것이다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 다짐률 65%인 경우를 제외하면 다소 차이는 있지만, 매입깊이가 증가할수록 극한인발저항력은 증가하였으며, 농경지 흙보다 간척지 흙에서 증가 경향이 좀 더 뚜렷한 것을 알 수 있다. Fig. 9에서 다짐률에 따른 인발저항력의 변화경향을 보면 농경지 흙 및 간척지 흙 모두 Fig. 8의 매입깊이 보다 다짐률이 증가할수록 극한인발저항력이 선형적으로 크게 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 이는 파이프의 경우 다짐률이 매입깊이 보다 극한인발저항력에 미치는 영향이 상대적으로 크다는 것을 나타낸다.

Fig. 10 및 11은 줄기초의 경우, 매입깊이 및 다짐률에 따른 극한인발저항력을 다짐률 및 매입깊이별로 도식화한 것이다. Fig. 10 및 11에서 알 수 있듯이 매입깊이 및 다짐률이 증가할수록 극한인발저항력이 선형적으로

크게 증가하는 경향이 나타났다. 특이한 점은 Fig. 8의 파이프의 결과와는 다르게 매입깊이에 따라서도 극한인발저항력이 뚜렷하게 증가하는 경향이 나타났는데 이는 줄기초의 가로대의 영향으로 인발저항력이 크게 개선되었기 때문인 것으로 판단된다. 최소 매입깊이인 30cm의 경우에는 극한인발저항력이 다짐률에 따라 다른 매입깊이에 비해 뚜렷하게 증가하는 경향이 나타나지 않았다. 그러나 현장에 설치되는 파이프나 줄기초의 경우, 매입깊이를 주로 40~50cm로 하고 설치하기 때문에 30cm인 경우에는 실제로 적용가능성이 낮을 것으로 예상된다.

Kim과 Nam(1995)은 현장시험을 통해 농경지(논) 지반에서 직경 25mm의 온실 파이프에 대하여 극한인발저항력을 측정하였으며, 그 결과 매입깊이 30cm, 40cm, 50cm에서 극한인발저항력은 각각 39.2kgf, 43.8kgf, 54.0kgf인 것으로 보고하였다. 본 연구에서 Kim과 Nam(1995)이 고려한 지반조건과 유사한 조건인 다짐률 85%에서 파이프의 인발저항력은 각각 38.6kgf, 53.2kgf, 60.7kgf으로 파이프의 직경이 31.8mm인 것으로 고려하면 기존의 연

구결과와 큰 차이를 보이지 않는 것으로 판단되었다. 줄기초의 인발저항력에 관한 연구는 그 적용사례에 비하여 미미한 편이나 RDA(2007b)은 사질토 지반을 가정하여 줄기초에 대한 인발저항력을 수치해석을 통해 분석하였으며 그 결과는 매입깊이 40cm~50cm에서 360.8kgf인 것으로 보고하였다. 본 연구에서 사질토인 농경지 흙(다짐률 85%)에 대하여 매입깊이 40cm 및 50cm에서 극한 인발저항력은 각각 301.3kgf, 450kgf로 나타났다.

적 요

본 연구에서는 강풍 피해의 절감을 위하여 서까래 파이프 및 파이프 줄기초의 설계 자료를 제공할 목적으로 온실의 지반고정을 위해 일반농가에서 주로 사용되고 있는 서까래 파이프와 내재해형 규격의 단동온실에 주로 사용되는 파이프 줄기초를 대상으로 토성, 다짐도 및 매입깊이에 따른 인발저항력을 실험적으로 검토하였다. 극한인발저항력은 가장 단단한 지반조건인 다짐률 85%, 최대매입깊이 50cm를 기준으로 파이프의 경우는 간척지 흙(실트질 톱) 72.8kgf, 농경지 흙(사질 톱) 60.7kgf, 줄기초의 경우는 간척지 흙 452.7kgf, 농경지 흙 450.3kgf로 줄기초의 경우 파이프 보다 약 6배 이상 인발저항력이 크게 개선되는 것으로 나타났다. 본 연구에서 고려한 토성은 모래함량 35%~59%, 실트함량 39%~58%으로 극한인발저항력이 토성에 따라서 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 온실의 파이프(서까래) 및 줄기초를 설치할 때 적절한 다짐조건을 유지한다면 토성의 영향을 크게 받지 않고 온실의 지반고정에 대한 안정성 확보에 크게 유리하다는 것을 나타낸다. 본 연구의 결과를 기준으로 줄기초는 다짐률 75% 이상, 일반 파이프의 경우에는 다짐률 85%이상으로 유지하는 것이 온실의 안정성 확보에 유리할 것으로 판단되었다. 특히 내재해형 규격인 줄기초를 적용한다면 기상재해에 따른 온실의 안정성 확보에 크게 유리할 것으로 판단되었다.

추가 주제어 : 내재해형, 다짐도, 매입깊이, 서까래 파이프, 파이프 줄기초, 토성

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 : PJ009137022014)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature Cited

Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineer-

ing (JSSMFE). 1992. Uplift load testing method of piles (JSF 1821-1989). Japan.

Kim, M.K. and S.W. Nam. 1995. Experimental Studies on the Structural Safety of Pipe-Houses. Protected Hort. Plant Fac. 4(1):17-24 (in Korean)

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 Hort. Plant Fac. 23(2):109-115 (in Korean)

Lee, Y.B., H.J. Jun, and J.E. Son. 2010. Protected horticulture new edition. Hyangmoonsa. Seoul, Korea. p. 32-34 (in Korean).

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

Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2014b. Cultivation status of floricultural crop in 2013. MAFRA, Sejong, Korea (in Korean).

Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MIFAFF), Rural Development Administration(RDA). 2010. Designated notice of standards to endure disaster for horticultural and special facilities. Gwacheon and Suwon, Korea (in Korean).

Nam, S.W., and Y.S. Kim. 2009. Actual state of structures and environmental control facilities for tomato greenhouses in Chungnam region. Jour. Agri. Sci. 36(1):73-85 (in Korean).

National Disaster Information Center (NDIC). 2015. Press release. <http://www.safekorea.go.kr>.

Rural Development Administration (RDA). 2005. Damage aspects and countermeasure of horticultural facilities by meteorological disasters. RDA, Suwon, Korea (in Korean).

Rural Development Administration (RDA). 2007a. Guidebook for reducing of meteorological disasters of agricultural facilities. RDA, Suwon, Korea (in Korean).

Rural Development Administration (RDA). 2007b. Symposium for reducing of meteorological disasters of agricultural facilities. RDA, Suwon, Korea. p. 160-161 (in Korean).

Rural Development Administration (RDA). 2009. The workshop for Reduction countermeasure of meteorological disasters for horticultural and special facilities. RDA, Suwon, Korea (in Korean).

Rural Development Administration (RDA). 2010. Press release. <http://www.rad.go.kr>.

Ryu, H.R., I.H. Yu, M.W. Cho, and Y.C. Um. 2009. Structural reinforcement methods and structural safety analysis for the elevated eaves height 1-2W type plastic greenhouse. J. Bio-Env. Con. 18(3):192-199 (in Korean).

Suh, W.M., M.K. Choi, Y.H. Bae, J.W. Lee, and Y.C. Yoon. 2008. Structural safety analysis of a modified 1-2W type greenhouse enhanced for culturing paprika. J. Bio-Env. Con. 17(3):197-203 (in Korean).

Yoon, Y.C., Y.S. Shin, S.B. Bae, H.T. Kim, J.S. Choi, and W.M. Suh. 2012. Variation of indoor air temperature by using hot water piping in greenhouse. *J. Agri. & Life Sci.* 46(2):179-190 (in Korean).

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. *J. Bio-Env. Cont.* 21(4):428-436 (in Korean).