



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

버블젯 루프 히트파이프를 이용한
근권난방 시스템에 관한 연구



2016년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

냉동공조공학과

배 재 영

공학석사학위논문

버블젯 루프 히트파이프를 이용한
근권난방 시스템에 관한 연구

지도교수 김 종 수

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2016년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

냉동공조공학과

배 재 영

배재영의 공학석사 학위논문을 인준함.

2016년 2월 26일



위원장	공학박사	김종수	(인)
위원	공학박사	김은필	(인)
위원	공학박사	김종수	(인)

목 차

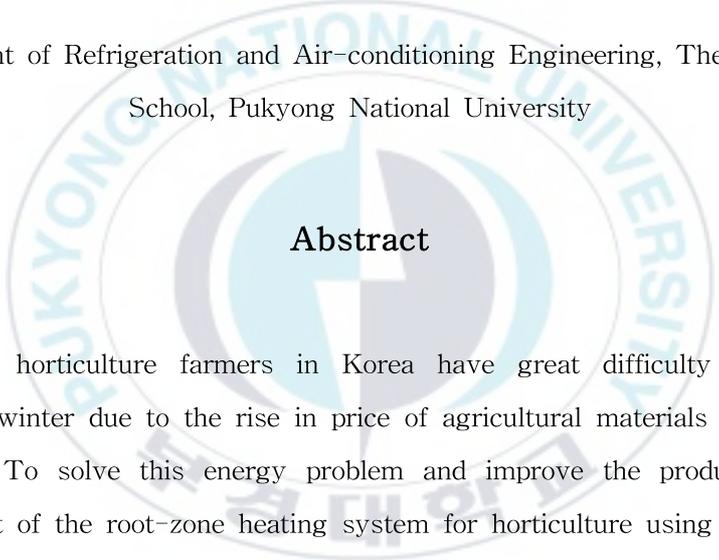
Abstract	-----	i
List of figures	-----	iii
List of Table	-----	v
Nomenclatures	-----	vi
제 1 장 서론		
1.1 연구 배경 및 목적	-----	1
1.2 근권난방		
1.2.1 근권난방	-----	2
1.2.2 근권난방 효과	-----	3
제 2 장 기초이론		
2.1 버블젯 루프 히트파이프	-----	4
2.2 버블젯 루프 히트파이프 운전조건		
2.2.1 작동유체 선정	-----	6
2.2.2 증진율 선정	-----	10
2.2.3 증발부 열유속 선정	-----	11
2.2.4 Clearance 선정	-----	12

제 3 장 실험장치 및 방법	
3.1 실험장치	----- 13
3.2 실험방법	
3.2.1 근권난방 방식 비교	----- 14
3.2.2 근권난방 적용 유무	----- 18
제 4 장 실험결과	
4.1 근권난방 방식 비교	
4.1.1 BJLHP 및 PE-Xa파이프 열성능	----- 21
4.1.2 토양 온도분포	----- 27
4.1.3 방울토마토의 초장 및 수확량	----- 31
4.1.4 에너지 소비량	----- 33
4.2 근권난방 적용 유무	
4.2.1 매설된 BJLHP 열성능	----- 35
4.2.2 토양 온도분포	----- 39
4.2.3 실내 및 외기온도분포	----- 42
4.2.4 오이의 초장 및 수확량	----- 46
4.2.5 에너지 소비량	----- 48
4.2.6 경제성 분석	----- 50
제 5 장 결론	----- 53
참고문헌	----- 55

The study of root-zone heating system using Bubble Jet Loop Heat Pipe

Jae Young Bae

Department of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, The Graduate
School, Pukyong National University



Abstract

Currently horticulture farmers in Korea have great difficulty in heating during the winter due to the rise in price of agricultural materials and heating fuel costs. To solve this energy problem and improve the productivity, the development of the root-zone heating system for horticulture using a heat pipe is required. Also by distributing this system to horticulture farmers at a cheap price, the famers can cut production cost, increase competitiveness in the market and improve the quality of agricultural products by root-zone heating.

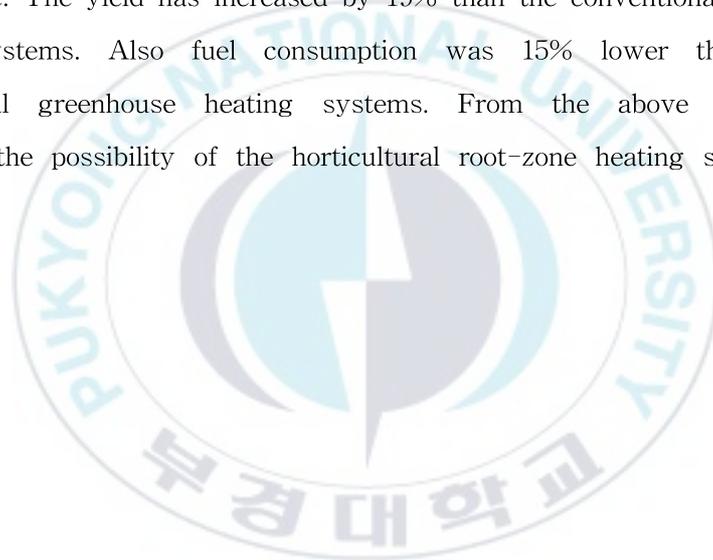
The purpose of this study is development of root-zone heating system using Bubble Jet Loop Heat Pipe(BJLHP) and we try to ascertain the applicability of BJLHP at the actual horticulture farms through the field test by measuring energy consumption and crop production.

First, We conducted a comparison experiment between the PE-Xa pipe and BJLHP. Second, We conducted a comparison experiment in accordance with the

use of BJLHP.

As a result of first comparison experiment, Root-zone heating systems using BJLHP was respond quickly to load changes and it made a constant soil temperature maintained. Also we can save about 75% energy by using BJLHP compared to PE-Xa pipe.

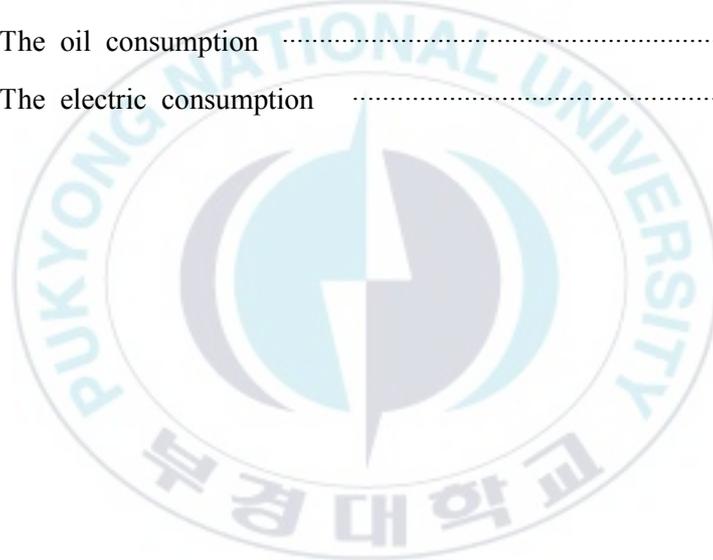
As a result of second comparison experiment during one month in winter season, the buried BJLHP was properly operated and soil temperature is maintained at 19 ± 0.5 degrees Celsius that is cucumber's proper growth temperature. The yield has increased by 19% than the conventional greenhouse heating systems. Also fuel consumption was 15% lower than that of conventional greenhouse heating systems. From the above results, We confirmed the possibility of the horticultural root-zone heating system using BJLHP.



List of figures

Fig. 2.1	Schematic diagram of BJLHP	5
Fig. 2.2	Merit number of selected working fluids for heat pipe	7
Fig. 3.1	The photograph of BJLHP	13
Fig. 3.2	Schematic diagram of experimental setup	15
Fig. 3.3	Temperature measurement point of BJLHP and PE-Xa pipe	16
Fig. 3.4	Experiment photo at tomato farm	17
Fig. 3.5	Schematic diagram of experimental setup	19
Fig. 3.6	Temperature measurement point	20
Fig. 3.7	Experiment photo at cucumber farm	20
Fig. 4.1	Temperature profiles of BJLHP	22
Fig. 4.2	The average temperature of each point(BJLHP)	23
Fig. 4.3	Temperature profiles of PE-Xa pipe	24
Fig. 4.4	The average temperature of each point(PE-Xa pipe)	25
Fig. 4.5	Temperature profile of BJLHP and PE-Xa pipe	26
Fig. 4.6	Temperature profiles of soil(BJLHP)	28
Fig. 4.7	Temperature profiles of soil(PE-Xa pipe)	29
Fig. 4.8	Temperature profiles of soil	30
Fig. 4.9	The Cherry tomato tree length of each case	31
Fig. 4.10	The yield of each case	32
Fig. 4.11	Comparison of electric consumption during days	34
Fig. 4.12	Temperature profiles of BJLHP	36

Fig. 4.13	The average temperature of each point	37
Fig. 4.14	Temperature profiles of soil	40
Fig. 4.15	The average temperature of BJLHP and Untreated	41
Fig. 4.16	Temperature profiles of room air	43
Fig. 4.17	The average temperature of each case	44
Fig. 4.18	Temperature profiles of outdoor air	45
Fig. 4.19	The yield of each case	46
Fig. 4.20	The cucumber tree length of each case	47
Fig. 4.21	The oil consumption	48
Fig. 4.22	The electric consumption	49



List of tables

Table 2.1	Working fluids and temperature ranges	8
Table 2.2	Generalized results of experimental compatibility tests	9
Table 3	Specification of BJLHP	13
Table 4.1	Data value of BJLHP	23
Table 4.2	Data value of PE-Xa pipe	25
Table 4.3	Data value of soil temperature(BJLHP)	28
Table 4.4	Data value of soil temperature(PE-Xa pipe)	29
Table 4.5	Data value of cherry tomato	32
Table 4.6	Electric consumption of BJLHP and PE-Xa pipe	34
Table 4.7	Data value of BJLHP temperature	37
Table 4.8	Effective thermal conductivity profiles during one day	38
Table 4.9	Data value of soil temperature	41
Table 4.10	Data value of each temperature	44
Table 4.11	Data value of cucumber	47
Table 4.12	Comparison of energy consumption	49
Table 4.13	Comparison of energy price	51
Table 4.14	Economic analysis	52

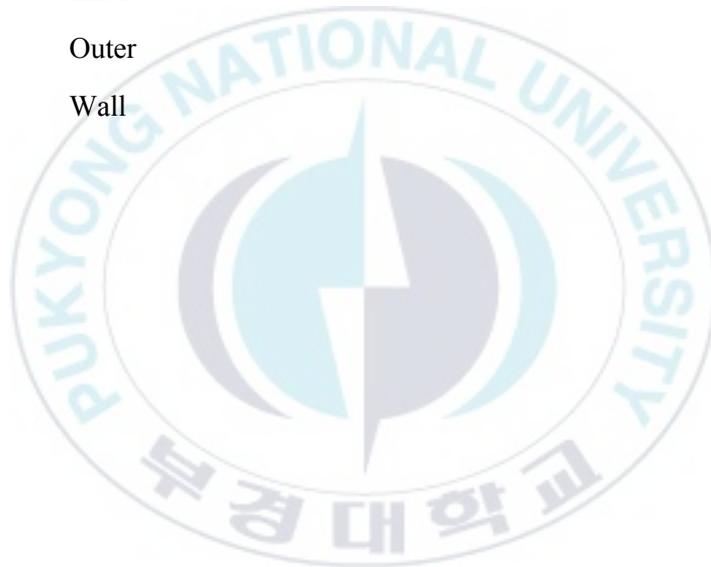
NOMENCLATURE

Symbols

A	Cross section area	[m ²]
D	Diameter	[m]
F	Correction factor	
G	Mass velocity	[kg/m ² s]
h_{fg}	Latent heat	[kJ/kg]
k	Thermal conductivity	[kW/mK]
L	Length	[m]
M	Merit number of heat pipe	[kW/m ²]
Q	Input power	[W]
T	Temperature	[°C]
α	Heat transfer coefficient	[kW/m ² K]
ρ	Density	[kg/m ³]
σ	Surface tension	[N/m]
μ	Viscosity	[kg/sm]

Subscripts

cp	Condensing part
cond	Condensation
ep	Evaporating part
eff	Effective
f	Liquid
g	Gas
i	Inner
o	Outer
w	Wall



제 1 장 서론

1.1 연구 배경 및 목적

우리나라 시설재배 농가들의 동계 작물생산을 위해서는 시설온도를 16~18℃ 이상으로 유지해야 한다. 우리나라의 겨울철 시설원예 난방은 온풍 난방기에 의하여 이루어지며 95%이상이 경유를 연료로 사용하고 있는 실정이며 현재 농자재 가격상승 및 난방 유류비가 생산원가에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 동계 작물생산에 어려움을 겪고 있다.

선진국에서는 지열 Heat pump, 유리온실 등을 사용하고 있으나 초기 투자비가 과대하여 우리나라 대부분의 원예시설은 비닐하우스를 사용하고 있는 실정이며 근권난방 장치는 현실화 되고 있지 않은 실정이다.

한편, 화석에너지의 과다 사용으로 인한 환경오염문제는 지구 환경 보존을 위한 국제적 관심이 고조되고 있는 현시점에서 모든 산업 분야에서 그 심각성이 가중되고 있다. 특히, 농업 분야에서 환경오염으로부터 농작물의 재배 환경을 보존하는 것은 아주 중요한 과제이며, Bubble Jet Loop Heat Pipe(이하 BJLHP)를 이용한 근권난방 시스템은 시설농업용 화석 연료의 절감을 통한 에너지절약과 환경오염을 함께 해결할 수 있는 방법이다.

본 연구에서는 BJLHP를 이용한 시설원예 근권난방 시스템을 개발하고 현장적용 및 실증실험을 통해 BJLHP를 이용한 근권난방 시스템의 에너지 절감효과를 확인하고자하였다.

1.2 근권난방

1.2.1 근권난방

겨울철의 작물재배는 저온기에 이루어지므로 지상부나 지하부의 온도가 작물의 생육에 가장 큰 영향을 미치는 환경 요인이다. 특히, 근권온도(배지온도)는 뿌리의 생리작용에 관여하여 작물의 생육에 큰 영향을 미친다. 뿌리는 근권의 온도에 따라 근의 활력이 달라지며, 그에 따라 양분의 흡수능력에 차이가 생긴다. 높은 근권온도는 뿌리의 신장은 촉진하지만 뿌리의 갈변과 신장의 정지를 촉진한다. 또한 뿌리의 호흡속도가 높아져 광합성 속도를 저하시킨다. 작물의 생육에 알맞은 지온은 품종, 재배시기, 생육단계 및 재배방법에 따라 다르며, 지온이 지상부의 생육에 영향을 미치는 정도가 다르다. 최근 양액재배에서도 근권온도가 중요하여 가온시설을 하고 있는 추세이므로 재배에 적합한 배지의 근권온도의 설정이 필요하다.[7]

1.2.2 근권난방 효과

이한철[7]은 겨울철 양액 재배시의 근권난방효과에서 근권온도에 따른 생육, 생체중, 건물중, 수량, 기형과율등에 관한 연구를 하였다. 연구 결과 근권온도에 따라 생육이 달라지는데 초장은 15~20℃의 근권온도에서 가장 길었으며, 엽장, 절위장 등의 생육도 이 온도 범위에서 가장 양호하였다. 그러나 10℃ 이하의 저온이나 25℃ 이상의 고온의 근권온도에서 생육이 저조하였다. 이는 25℃ 이상의 고온에서는 뿌리의 근활력의 저하로 양분의 흡수억제와 뿌리의 노화가 빨리 왔기 때문이다.

한편, 지상부의 생체중은 20℃ 처리구에서 가장 높았으며, 다음은 15℃ 처리구였으나 25℃ 처리구는 무처리보다도 낮았다. 이러한 결과에서 근권온도를 15~20℃로 관리하는 것이 지상부와 지하부의 생육을 촉진하는데 효과가 있다고 하였다.

착과수와 평균과중은 온도가 높을수록 많고 무거운 경향이였으나, 25℃ 처리구에서는 15~20℃ 처리구에서보다 적고 가벼웠다. 수량은 20℃ 처리구가 가장 많았으며, 15℃, 25℃ 그리고 10℃ 순으로 많았다. 20℃ 처리구보다 낮은 온도에서 수량이 적은 것은 기형과의 발생이 많은 것에, 그리고 25℃ 처리구에서는 착과수가 적은 것에 기인되었다. 따라서 근권온도를 20℃로 설정하는 것이 과실의 착과수를 많게 하고 수량을 높일 수 있는 온도로 판단되었다.

따라서 본 연구에서는 작물의 적정근권온도를 유지하여 생육촉진을 도모하는 한편 BJLHP를 이용한 근권난방 방식을 이용하여 에너지절감 효과를 얻고자 하였다.

제 2 장 기초이론

2.1 버블젯 루프 히트파이프

BJLHP는 히트파이프의 한 종류로 수평상태에서 성능이 불안정한 기존 히트파이프와 달리 수평상태에서 안정적으로 작동하도록 설계된 고성능 열전달 장치이다. Fig. 2.1은 BJLHP의 기본 구조를 나타낸 것이다. BJLHP의 구성은 열원(heater), 'U'자 루프 형태의 밀폐용기 및 작동유체로 구성되어있다. 구조적으로 열원을 통해 작동유체가 흡열하는 부분을 증발부(evaporating part), 고온의 작동유체가 밀폐용기 외부로 방열하는 긴 루프관이 있는 부분을 응축부(condensing part)라고 구분한다. 특히 증발부에는 열원 표면(heater surface)과 외관(outer tube)사이의 좁은 환형 공간(clearance)이 있다.[5]

기본적인 BJLHP의 작동원리는 다음과 같다. 증발부가 가열되면 열원 표면(heater surface)과 외관 사이의 좁은 환형공간에서 핵비등(nucleate boiling)에 의한 다량의 기포가 발생한다. 이 기포가 빠르게 팽창하면서 압력 변화에 의해 증발부에서 응축부로 고온 기포가 이동하게 된다. 응축부로 이동한 고온 기체는 방열에 의해 액체로 응축되어 다시 증발부로 귀환하는 사이클을 이룬다. 이러한 과정 중 열은 열원에서 작동유체에 축적되고 응축부에서 방열하면서 상변화에 의한 잠열의 형태로 열전달이 발생한다.

BJLHP의 증발부에서 응축부로 열을 전달하는 열전도 성능을 나타내는 유효열전도율 관계식은 식(1)과 같으며, 응축부에서 외부로의 열전달율을 계산하기 위한 응축열전달 계수 관계식은 식(2)와 같다.[2]

$$k_{eff} = \frac{Q \cdot L_{eff}}{2A_{cp}(T_{ep} - T_{cp})} \quad (1)$$

여기서 L_{eff} 는 유효거리, $L_{eff} = \frac{L_{ep} + L_{cp}}{2}$ 이다.

$$\alpha_{cond} = F \left[\frac{\rho_f(\rho_f - \rho_g)Gh_{fg}k_f^3}{D_{cp}\mu_f(T_g - T_w)} \right]^{0.25} \quad (2)$$

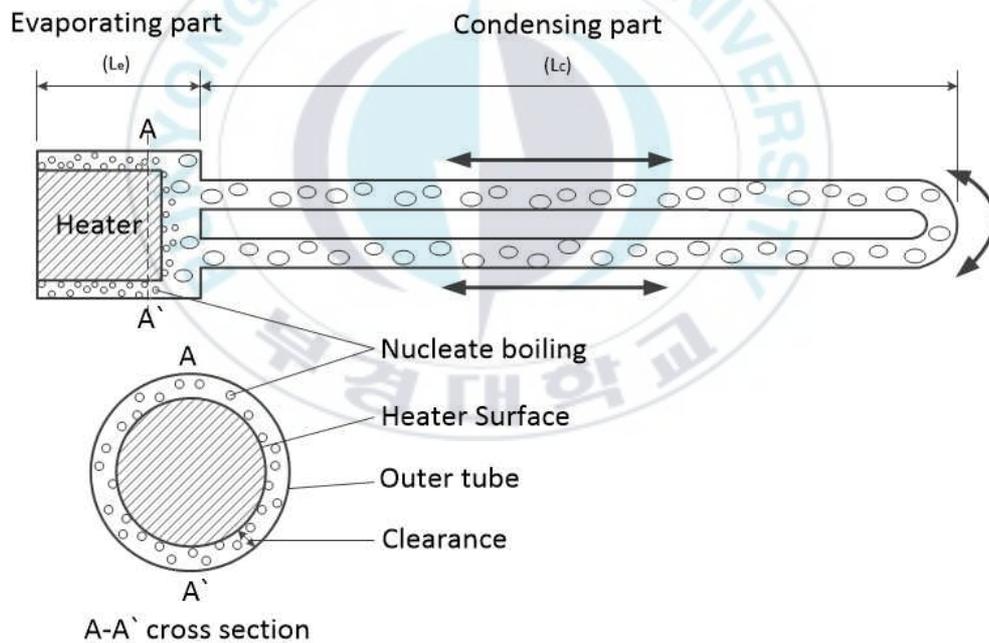


Fig. 2.1 Schematic diagram of BJLHP

2.2 버블젯 루프 히트파이프 운전조건

2.2.1 작동유체 선정

일반적으로 히트파이프는 작동유체의 증발과 응축 사이클로 구성되어 있기 때문에 작동유체의 선정은 히트파이프의 설계 및 제조에서 중요한 요소이다. 작동유체의 선정 시 고려해야 될 사항에는 작동온도 범위, 증기압, 증발 잠열 및 점성 계수 등과 같은 작동유체의 열·물리적 물성과 관 재료와의 친화성, 안정성 및 독성 등이 있다. 또한 작동 유체의 온도 범위는 고체와 액체 그리고 기체가 공존하는 삼중점(triple point)과 임계점(critical point)사이이며, 기-액 상변화 선도의 포화곡선을 따라서 증발과 응축을 반복하므로 작동유체의 작동 온도에 따라 내부의 압력이 결정된다.

Table 2.1은 작동 온도에 따른 대표적인 작동 유체의 종류를 극저온용(0 ~ 200 K), 저온용(200 ~ 550 K), 중온용(550 ~ 750 K), 고온용(750 ~ 3000 K)으로 분류한 것이다. 극저온용으로는 헬륨, 아르곤등이 대표적인 작동유체이며, 저온용으로는 물과 프레온계 냉매를 비롯한 많은 종류의 작동유체가 있다. 또한, 고온용으로는 나트륨, 칼륨, 리튬 등과 같은 액체금속이 사용된다.

하지만 이러한 온도 범위는 매우 넓기 때문에 효과적인 히트파이프 성능을 얻기 위해서 이러한 작동 온도에 따른 열수송 성능에 미치는 작동유체 열물성의 영향을 알 필요가 있다. 그러므로 히트파이프의 정확한 설계를 위해, 작동 유체의 열물성을 통해서 열수송 성능을 예측할 수 있는 평가지수인 Merit number를 이용한다. 일반적으로 Merit number의 값이 클수록 열수송 성능이 우수하다고 알려져 있다. Merit number의 계산은 히트파이프의 경우는 식(3)과 같다.[1]

$$M = \frac{\rho_f \sigma h_{fg}}{\mu_f} \quad (3)$$

Fig. 2.2는 작동온도(240 ~ 360 K)에서 워형 히트 파이프에 사용되는 대표적인 작동 유체의 평가 지수를 나타낸 것이다. Table 2.2는 작동유체와 용기의 적합성 실험결과를 나타내었다.

기존의 Merit number는 워형 히트 파이프의 경우에 적용이 가능하도록 각각 제시되어 있으며 B JLHP에 적용할 수 있는 기준이 아직까지는 명확하게 정립되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 작동온도 영역과 B JLHP 구성 재질에 적합하고, 선행연구 결과에서 안정적으로 작동하는 R-134a를 작동유체로 선정하였다.[5]

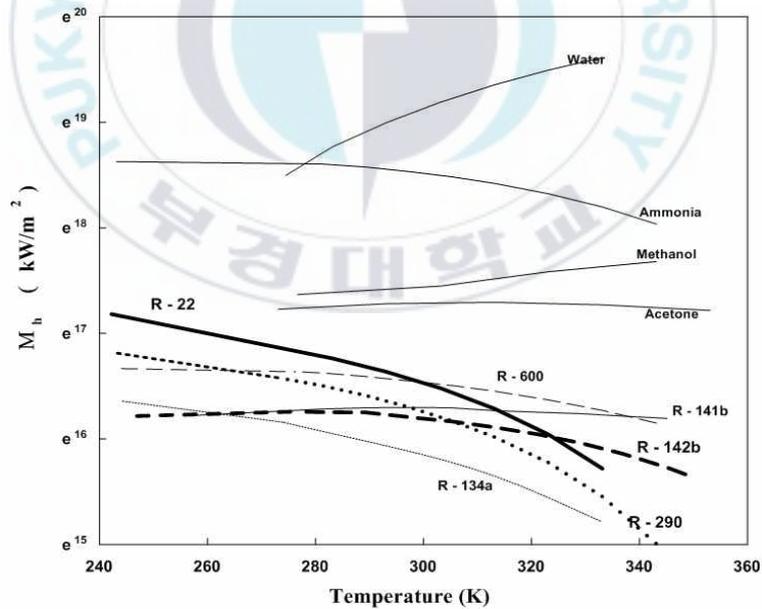


Fig. 2.2 Merit number of selected working fluids for heat pipe

Table 2.1 Working fluids and temperature ranges

Logarithmic Temp. Scale	Working Fluids	Melting & Boiling Point, K at 1 atm	Critical Point, K & MPa(abs)	Useful Ranges, K
Cryogenic Temperature (0~200 K)	Helium	1.0 & 4.21	5.2 & 0.227	2 ~ 4
	Hydrogen	13.8 & 20.38	33.19 & 1.315	14 ~ 31
	Neon	24.4 & 27.09	44.5 & 0.018	27 ~ 37
	Nitrogen	63.1 & 77.35	126.19 & 3.397	73 ~ 103
	Argon	83.9 & 87.29	150.66 & 4.860	84 ~ 116
	Oxygen	54.7 & 90.18	154.58 & 5.043	73 ~ 119
	Methane	90.6 & 111.4	190.55 & 4.595	91 ~ 150
	Ethane	89.9 & 184.6	305.53 & 4.871	150 ~ 240
Low Temperature (200~550 K)	R-11	162 & 297	470.96 & 4.407	233 ~ 393
	R-22	113.1 & 232.2	369.17 & 4.990	193 ~ 297
	R-134a	169.70 & 246.3	374.03 & 4.056	213 ~ 300
	R-141b	253 ↓ & 302.0	423.0 ↑ & 1.81 ↑	253 ~ 420
	R-142b	223 ↓ & 263.3	398.0 ↑ & 3.37 ↑	223 ~ 373
	R-290	123 ↓ & 231.1	369.70 & 4.248	200 ~ 330
	Ammonia	195.5 & 239.9	402.22 & 11.333	213 ~ 373
	Ethanol	158.7 & 351.5	513.9 & 6.14	273 ~ 403
	Methanol	175.1 & 337.8	512.6 & 8.09	283 ~ 403
	Acetone	180.0 & 329.4	508.1 & 4.70	273 ~ 393
	Water	273.1 & 373.1	646.99 & 22.064	323 ~ 473
	Toluene	178.1 & 383.7	591.8 & 4.10	323 ~ 473
	Naphthalene	353.4 & 490	748.4 & 4.05	408 ~ 478
Medium Temperature (550~750 K)	Dowtherm	285.1 & 527.0	-	423 ~ 668
	Mercury	234.2 & 630.1	-	523 ~ 923
	Sulphur	385.9 & 717.8	-	530 ~ 947
High Temperature (750~3000 K)	Cesium	301.6 & 943.0	-	723 ~ 1173
	Sodium	371.0 & 1151	-	873 ~ 1473
	Lithium	453.7 & 1615	-	1273 ~ 2073
	Calcium	1112 & 1762	-	1400 ~ 2100
	Lead	600.6 & 2013	-	1670 ~ 2200
	Silver	1234 & 2485	-	2073 ~ 2573

Table 2.2 Generalized results of experimental compatibility tests

Working Fluids	Compatible Material	Incompatible Material
Water	Stainless steel, Copper, Monel, Silica, Nickel, Titanium,	Aluminum, Inconel
Ammonia	Aluminum, Carbon steel, Stainless steel, Iron, Nickel,	Copper
Methanol	Stainless steel, Iron, Copper, Silica, Nickel, Brass	Aluminum
Acetone	Stainless steel, Aluminum, Copper, Brass, Silica, Nickel	
R-11	Aluminum	
R-21	Aluminum, Iron	
R-22	Aluminum, Copper	
R-134a	Aluminum, Copper	
Heptane	Aluminum	
Dowtherm	Stainless steel, Copper, Silica	
Lithium	Tungsten, Tantalum, Molybdenum, Niobium	Stainless steel, Nickel, Inconel, Titanium
Sodium	Stainless steel, Nickel, Inconel, Niobium	Titanium
Cesium	Titanium, Niobium	
Mercury	Stainless steel	Molybdenum, Nickel, Inconel, Tantalum, Titanium, Niobium
Lead	Tantalum, Tungsten	Stainless steel, Nickel, Inconel, Titanium, Niobium
Silver	Tantalum, Tungsten	Rhenium

2.2.2 충전율 선정

BJLHP는 작동유체의 충전율에 따라 열전달 성능이 달라질 수 있다. 하지만 최적 작동유체 충전율은 BJLHP의 형상에 따라 달라지기 때문에 실험적 결과를 바탕으로 선정을 해야한다. 우재호[3]는 Bubble Jet Loop Heat Pipe의 열전달 및 유동특성에 관한 실험적 연구에서 최적충진율이 BJLHP 내부체적의 50%라는 결과를 도출했다. 한편, 황중호[4]는 버블젯 루프 히트파이프를 이용한 증발기 제상에 관한 연구에서 최적충진율이 BJLHP 내부체적의 40%라는 결과를 도출했다. 본 연구에서는 신중석[5]의 Bubble Jet Loop Heat Pipe의 증발부 형상에 따른 근권 난방 시스템의 성능특성에 관한 연구를 선행연구로 하여 동일 형상의 BJLHP로 실험을 진행하고자 하여, 선행연구를 바탕으로 BJLHP 내부체적의 50%를 최적충진율로 결정하였다.

2.2.3 증발부 열유속 선정

BJLHP는 증발부 열유속에 따라 열전달 성능이 달라질 수 있다. 김정웅[6]은 접이식 버블젯 루프 히트파이프의 열전달 특성에 관한 연구에서 BJLHP의 증발부 열유속에 따른 유효열전도율 측정실험을 하여 증발부 열유속이 BJLHP의 성능에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. 카트리지 전기히터를 통한 열유속이 $4.82\text{kW/m}^2(50\text{W})$, $7.23\text{kW/m}^2(75\text{W})$, $9.65\text{kW/m}^2(100\text{W})$, $12.06\text{kW/m}^2(125\text{W})$, $14.47\text{kW/m}^2(150\text{W})$ 인 경우에 대해 작동유체의 충진율을 변화시키면서 실험을 수행하였다. 그리고 각각의 경우에 유효열전도율을 구하여 작동성능을 비교하였다. 실험 결과 증발부 열유속이 $9.65\text{kW/m}^2(100\text{W})$ 미만(임계열유속 이하)의 경우 열유속 증가에 따라 유효열전도율이 증가하지만 그 이상의 열유속의 경우 증발부가 부분적으로 과열되며 유효열전도율이 낮아졌다. 위 결과를 통해 증발부 열유속 $9.65\text{kW/m}^2(100\text{W})$ 를 적정 열유속으로 결정하였다.

2.2.4 Clearance 선정

BJLHP의 Clearance는 증발부 내관과 외관 사이의 간극을 말하며 Clearance 변화에 따라 BJLHP의 성능변화가 나타난다. 신중석[5]은 Bubble Jet Loop Heat Pipe의 증발부 형상에 따른 근권난방 시스템의 성능특성에 관한 연구에서 BJLHP의 적정 클리어런스를 결정하기 위한 연구를 수행하였다. Clearance가 0.79mm, 2.17mm, 3.76mm인 경우에 대해 히터 입열량을 25W, 50W, 75W로 변화시키면서 실험을 수행하였다. 그리고 각각의 경우에 증발부와 응축부의 평균온도차를 계산하고 유효 열전도율을 구하여 비교분석하였다. 실험 결과 동일한 입열량 조건에서 Clearance 2.17mm에서 응축부의 평균표면온도가 높게 나타났으며, 유효 열전도율 또한 높게 나타났다. 위 결과를 통해 Clearance 2.17mm를 적정 클리어런스로 결정하였다.

제 3 장 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

Fig. 3.1은 실험에 사용된 BJLHP의 사진이다. BJLHP 제작 시 내부의 불응축 가스를 제거하고 작동유체를 충전하기 위해 로터리 펌프와 디퓨저 펌프로 이루어진 진공펌프로 BJLHP 내부를 5.0×10^{-5} torr의 진공상태로 만들었으며, 냉매실린더(HGC-96, Taiatsu)를 이용하여 BJLHP 내부체적의 50%에 해당하는 양으로 R-134a를 충전하였다. 실험에 사용된 BJLHP의 상세제원은 Table 3에 나타내었다.



Fig. 3.1 The photograph of BJLHP

Table 3 Specification of BJLHP

Parameter		Specification	
Material		Copper	
Working fluid		R-134a	
Charging ratio		50%vol.	
Evaporating part	Outer tube	L(mm)	200
		D _i (mm)	26.34
	Heater	Capacity	220V-100W
		L(mm)	150
		D _o (mm)	22
Condensing part		L(mm)	10,000
		D _o (mm)	12.7
		U band width(mm)	55

3.2 실험방법

3.2.1 근권난방 방식 비교

신종석[5]은 BJLHP의 증발부 형상에 따른 근권난방 시스템의 성능특성에 관한 연구에서 BJLHP를 이용한 근권난방 시스템의 에너지 소비량 측정실험을 하였고 농촌진흥청 시험결과를 참고하여 경유(전기) 보일러의 소모 전력량과 비교하였다. 그 결과 BJLHP 사용 시 경유(전기) 보일러 대비 7.2%의 전력을 소비하는 것으로 나타났다. 그러나 이는 비교대상이 실제 동일한 조건하에 진행된 실험이 아닌 추산한 값으로 비교의 신뢰성이 떨어지기 때문에 실증실험이 필요하다고 판단하였다. 또한 에너지소비량 뿐만 아니라 토양온도, 작물의 생장 및 수확량을 측정하여 기존의 시스템과 비교하는 실험이 필요하다고 사료되었다. 이에 현장에 BJLHP 및 가교화폴리에틸렌관(PE-Xa pipe)을 이용한 근권난방 시스템을 동시에 적용하여 비교실험을 진행하였다.

현장적용 및 실증실험을 위하여 경상남도 김해시 소재의 비닐하우스를 임대하여 BJLHP 및 PE-Xa pipe를 설치하였다. 설치면적은 약 100 m²이고 적용작물은 방울토마토로 선정하였다. Fig. 3.2은 본 연구에 사용된 실험장치도이다. 실험장치는 BJLHP, PE-Xa pipe, 온도조절기, 전기온수기, 적산전력계, 데이터로거, 데이터취득용 PC로 구성된다. BJLHP는 5m 길이로 제작하였고, 열원으로는 220V-100W 카트리지 전기히터를 사용하였다.

Fig. 3.3은 BJLHP 및 PE-Xa pipe의 온도측정 위치를 나타낸 것이다. BJLHP 및 PE-Xa pipe의 작동여부를 확인하기 위하여 증발부 1개소(EV), 응축부 6개소(CON1~CON6)의 BJLHP 표면 및 6개소(XL1~

XL6) PE-Xa pipe 표면에 T-type 열전대를 부착하였고, 각 부분의 온도를 측정하였다. 또한 토양 온도 측정을 위해 지중 5cm, 10cm 지점 각 2개소에 Sheathed-type 열전대를 설치하였다. 실온 및 외기에 의한 영향을 고려하기 위해 비닐하우스 실내 및 실외 온도도 각각 측정하였다. 데이터는 데이터로거(DR-230, YOKOGA WA)를 이용하여 취득하였으며, 데이터는 당일 13:00시부터 익일 13:00시 까지 24시간동안 2초 간격으로 취득하였다. Fig. 3.4은 실제 시험현장 사진을 나타낸 것이다.

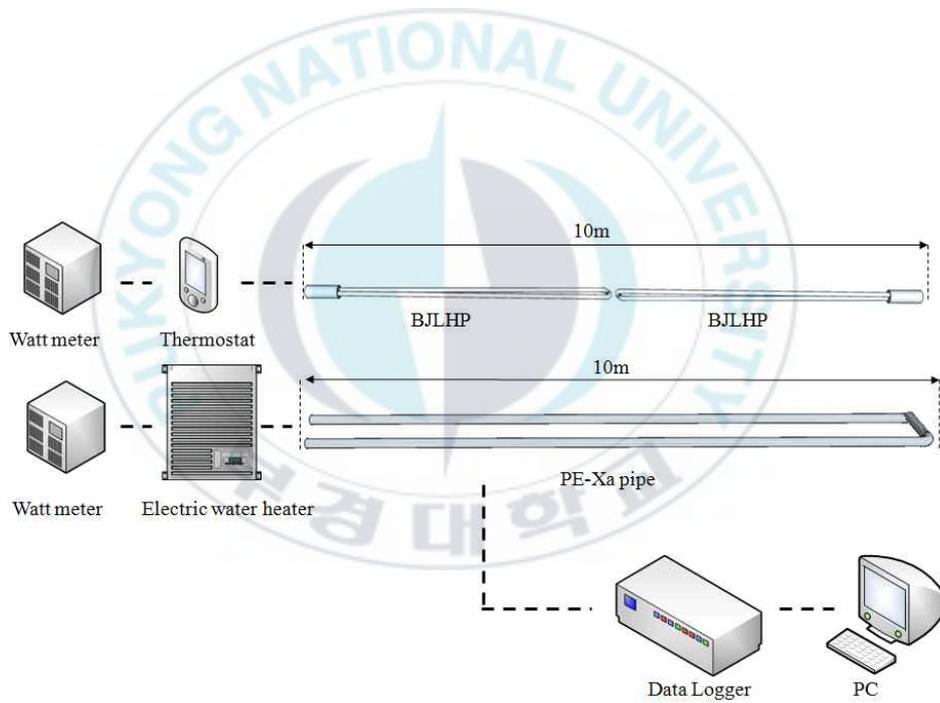


Fig. 3.2 Schematic diagram of experimental setup

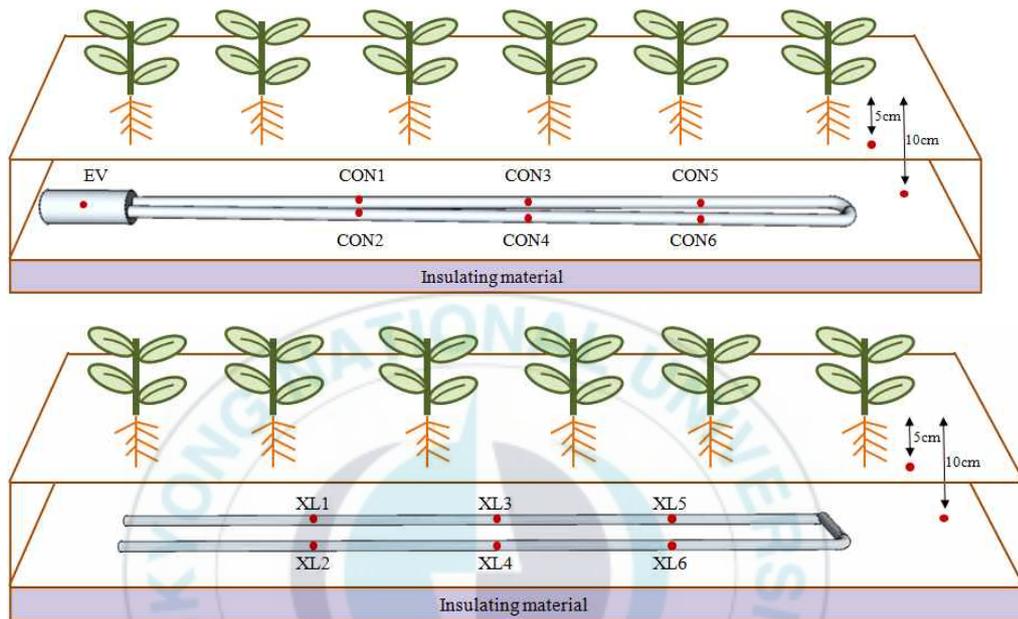


Fig. 3.3 Temperature measurement point of B JLHP and PE-Xa pipe



Fig. 3.4 Experiment photo at tomato farm

3.2.2 근권난방 적용 유무

본 실험에서는 BJLHP를 이용한 근권난방 시스템의 현장적용 유무에 따른 비교실험 및 경제성 평가를 통하여 BJLHP를 이용한 근권난방 시스템의 에너지절감 효과를 확인하고 실제 농가에 적용가능성을 확인하고자 하였다.

초기계획 시 경유온풍기를 이용하여 공간난방만하는 기존의 경우와 BJLHP를 이용하여 근권난방만하는 경우의 비교실험을 진행하려고 하였으나, 근권난방만 적용하였을 때 작물의 냉해에 따른 적용농가의 피해를 우려하여 본 연구에서는 공간난방만 하는 기존의 경우와 복합난방(근권난방+공간난방)을 하는 경우의 비교실험을 진행하였다. 복합난방의 경우 BJLHP가 설치된 곳에 경유온풍기를 추가로 설치하였고, 오이의 생육에 지장이 가지 않는 범위 내(오이 생육정지온도: 5℃)에서 온풍기의 사용을 최소로 하여 복합난방을 실시하였다.

현장적용 및 실증실험을 위하여 경상북도 상주시 소재의 비닐하우스를 임대하여 BJLHP를 설치하였다. BJLHP가 설치된 용지의 면적은 약 250㎡이고 적용 작물은 오이로 선정하였다. BJLHP 32개를 지중 10cm 지점에 수평상태로 매설하였고, 물 및 양액 살포 등에 의한 누전을 방지하기 위하여 히터의 용접부를 고무마개로 마감하였다. 또한 각 온도 조절기 마다 누전차단기를 설치하여 누전 시 부분운전이 가능하도록 하였다. Fig. 3.5은 BJLHP를 이용한 근권난방 시스템의 실험장치도이다. 실험장치는 BJLHP, 온도조절기, 적산전력계, 데이터로거, 데이터취득용 PC로 구성된다.

Fig. 3.6은 매설된 BJLHP의 온도측정 위치를 나타낸 것이다. 매설된 BJLHP의 작동여부를 확인하기 위하여 증발부 1개소(EV), 응축부 5개

소(CON1~CON5)의 BJLHP 표면에 T-type 열전대를 부착하여 각 부분의 온도를 측정하였다. 또한 토양 온도 측정을 위해 지중 10cm, 20cm 지점 각 2개소에 Sheathed-type 열전대를 설치하였다. BJLHP를 매설한 토양과 더불어 비교를 위한 대조군인 미처리된 지점의 토양에서도 동일한 위치에 Sheathed-type 열전대를 설치하였다. 실온 및 외기에 의한 영향을 고려하기 위해 비닐하우스 실내 및 실외 온도도 각각 측정하였다. 데이터는 데이터로거(DR-230, YONOGAWA)를 이용하여 취득하였으며, 데이터는 당일 13:00시부터 익일 13:00시 까지 24시간동안 2초 간격으로 취득하였다. Fig. 3.7은 실제 시험현장 사진을 나타낸 것이다.

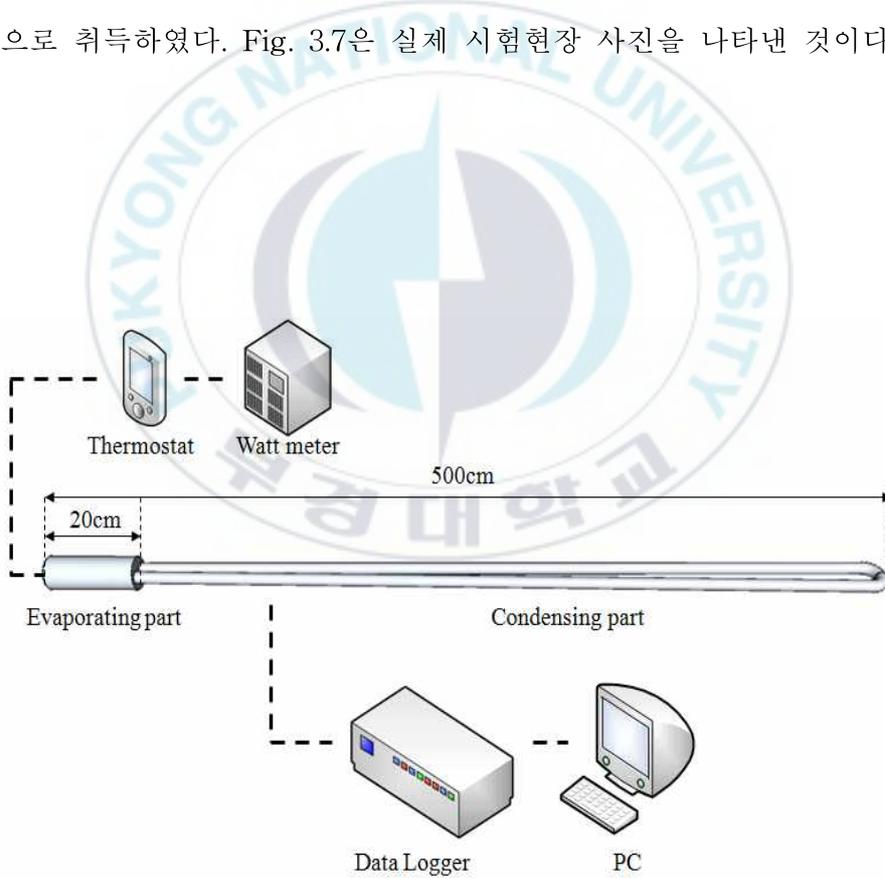


Fig. 3.5 Schematic diagram of experimental setup

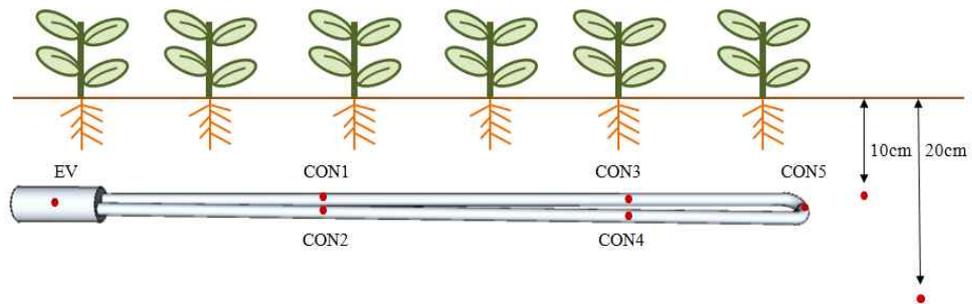


Fig. 3.6 Temperature measurement point



Fig. 3.7 Experiment photo at cucumber farm

제 4 장 실험결과

4.1 근권난방 방식 비교

4.1.1 BJLHP 및 PE-Xa pipe 열성능

Fig. 4.1은 24시간 동안의 BJLHP의 표면온도분포를 나타낸 것이다. BJLHP는 토양의 온도에 따라 ON-OFF 되도록 설치하였기 때문에 19~30℃ 까지 온도변동이 심하게 나타났다. Fig. 4.2는 각 지점에서 평균온도를 나타낸 그래프이며, Table 4.1은 BJLHP의 각 지점에서 평균온도, 최대온도, 최저온도를 나타낸 것이다. BJLHP 작동시 증발부와 응축부의 평균온도는 24℃내외를 유지하였고, 증발부와 응축부의 평균온도 차이는 1℃이하로 안정적으로 작동하는 것으로 나타났다.

Fig. 4.3은 PE-Xa pipe의 표면온도분포를 나타낸 것이다. PE-Xa pipe는 BJLHP에 비해 온도 변동이 작지 않았으며 24시간동안 3번의 온도 변동을 나타내었다. 이는 저탕조를 이용한 방법이기 때문에 열용량이 커 부하에 잘 견디기 때문이라고 사료된다. 하지만 온도변동은 18~43℃로 매우 크게 나타났으며, 부하변동에는 반응이 느린 것으로 나타났다. Fig. 4.4은 PE-Xa pipe의 각 지점에서 평균온도를 나타낸 그래프이며, Table 4.2은 PE-Xa pipe의 각 지점에서 평균온도, 최대온도, 최저온도를 나타낸 것이다.

Fig. 4.5은 BJLHP 및 PE-Xa pipe의 평균표면온도분포를 함께 나타낸 것이다. BJLHP는 PE-Xa pipe에 비해 온도 변동폭은 작고 변동주기는 짧은 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 BJLHP는 PE-Xa pipe에 비해 부하변동에 빠르게 대응하고 일정한 온도를 유지하는 것을 확인할 수 있었다.

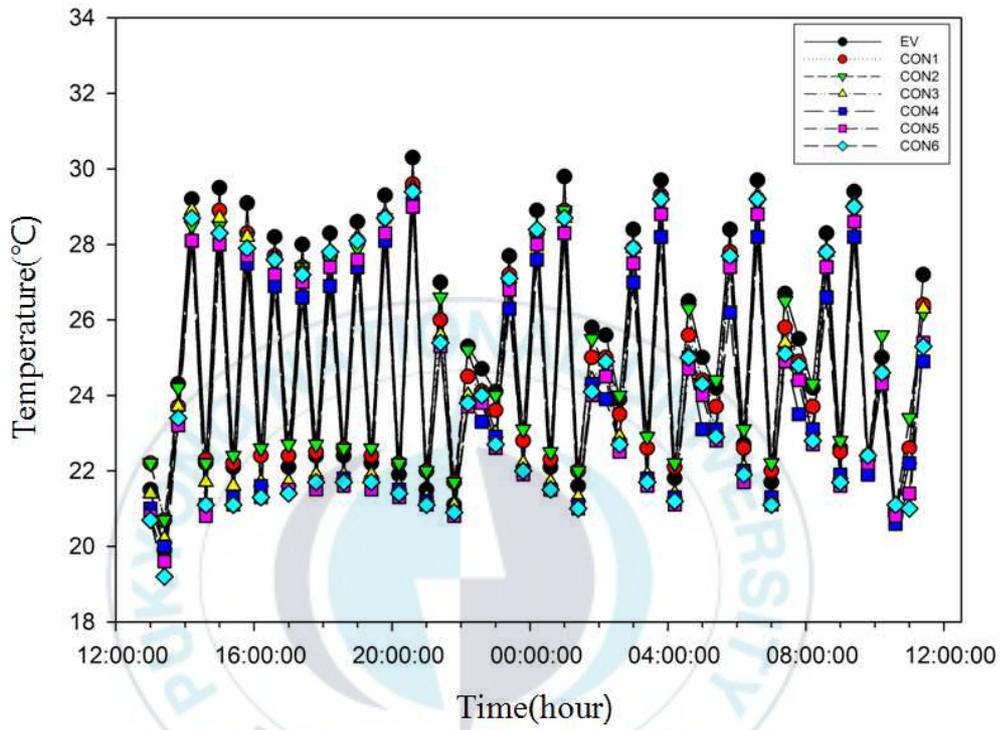


Fig. 4.1 Temperature profiles of B JLHP

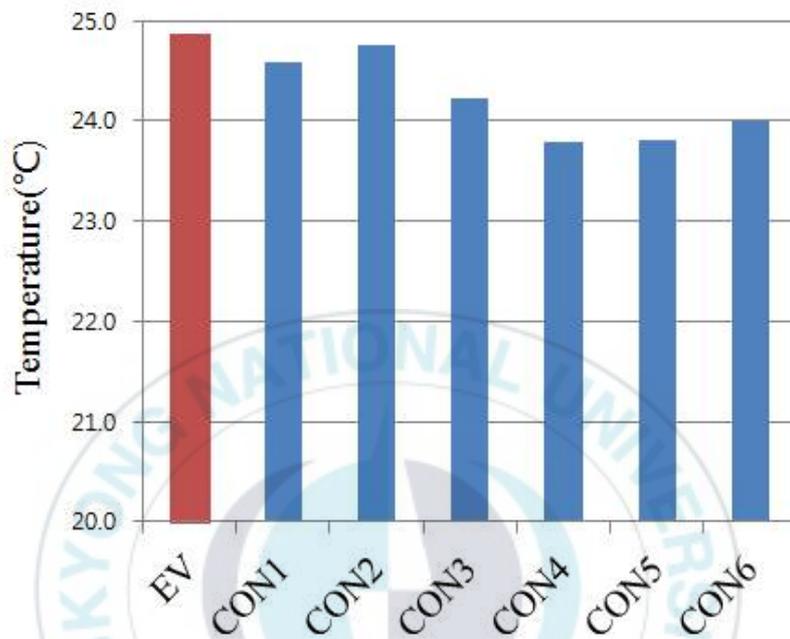


Fig. 4.2 The average temperature of each point(BJLHP)

Table 4.1 Data value of BJLHP

Parameter	EV	CON1	CON2	CON3	CON4	CON5	CON6
Average temperature(°C)	24.9	24.6	24.8	24.2	23.8	23.8	24.0
Highest temperature(°C)	30.4	29.8	29.7	29.8	29.1	29.3	29.7
Lowest temperature(°C)	19.5	20.4	20.4	20.2	19.9	19.2	18.6
Temperature difference(°C)	10.9	9.4	9.3	9.6	9.2	10.1	11.1

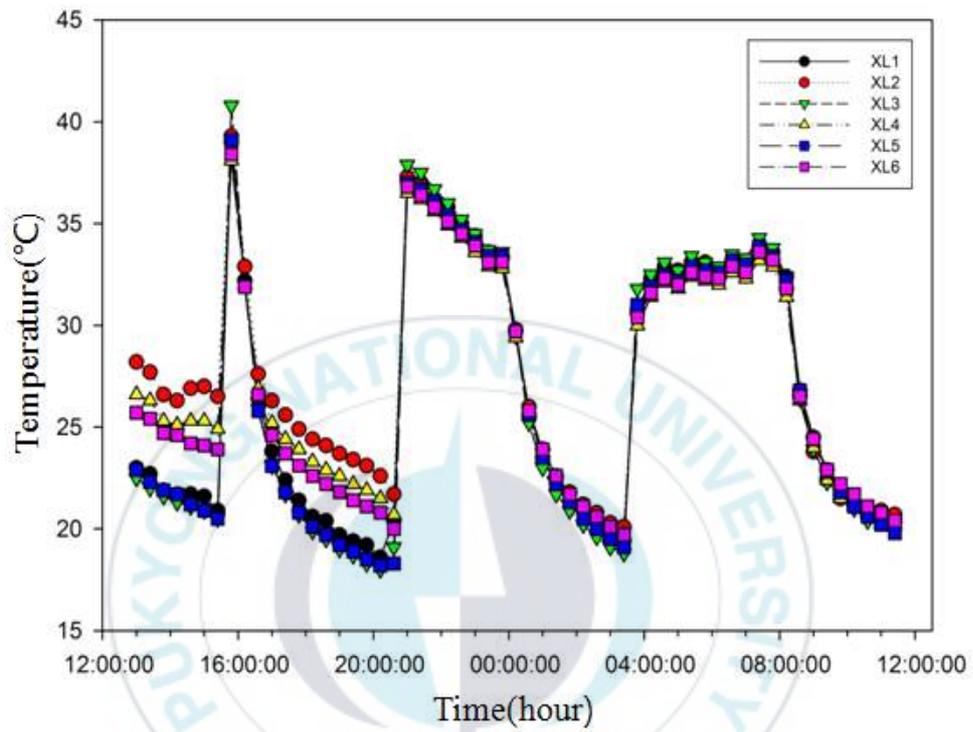


Fig. 4.3 Temperature profiles of PE-Xa pipe

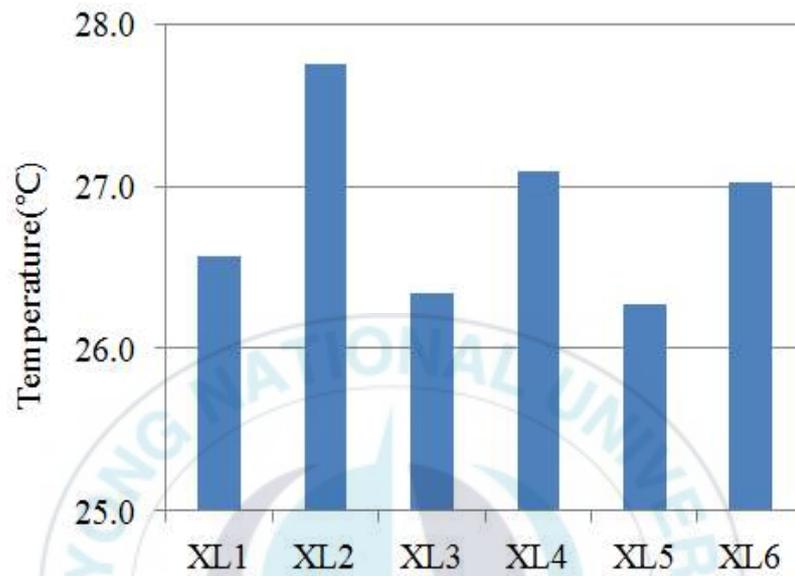


Fig. 4.4 The average temperature of each point(PE-Xa pipe)

Table 4.2 Data value of PE-Xa pipe

Parameter	XL1	XL2	XL3	XL4	XL5	XL6
Average temperature(°C)	26.6	27.7	26.3	27.1	26.3	27
Highest temperature(°C)	41.4	41.7	42.6	40.6	41.2	41
Lowest temperature(°C)	18.1	19.5	17.6	19.3	17.8	19.0
Temperature difference(°C)	23.3	22.2	25	21.3	23.4	22.0

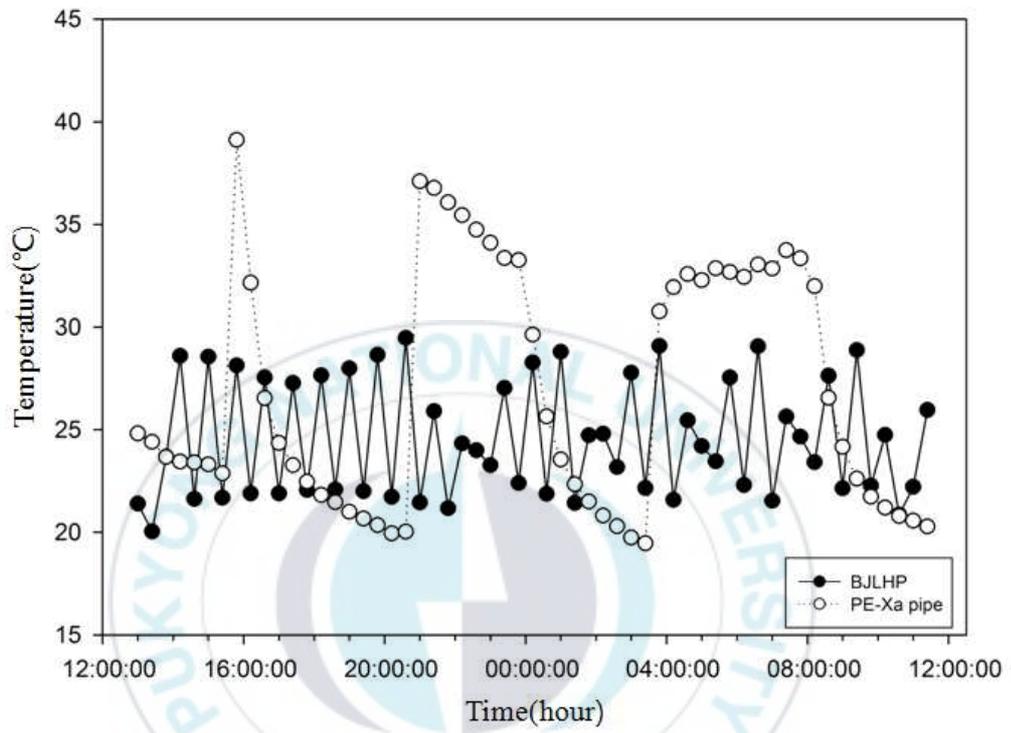


Fig. 4.5 Temperature profile of BJLHP and PE-Xa pipe

4.1.2 토양온도 분포

Fig. 4.6은 BJLHP를 적용한 곳의 토양 온도분포를, Fig. 4.7은 PE-Xa pipe를 적용한 곳의 토양 온도분포를 나타낸 것이다. 그리고 Table 4.3 및 4.4는 각 경우의 평균온도, 최고온도, 최저온도, 온도차이를 나타낸 표이다. BJLHP를 적용한 곳의 토양온도는 평균 19.8℃로 방울토마토 생육에 적당한 온도를 유지하는 것을 확인 할 수 있었으며 토양의 최저, 최대 온도차는 2.5℃로 변동폭은 비교적 작은 수치를 나타냈다. 반면 PE-Xa pipe를 적용한 곳의 토양온도는 평균 22.5℃로 비교적 높은 온도를 나타내었고, 토양의 최저, 최대 온도차는 5.8℃ 변동폭이 컸다. Fig. 4.8은 BJLHP 및 PE-Xa pipe 적용시 토양 온도분포를 함께 나타낸 것이다. BJLHP를 적용한 토양의 온도분포는 PE-Xa pipe를 적용한 토양에 비해 온도 변동폭은 작고 변동주기는 짧은 것을 확인할 수 있다. 이는 BJLHP는 PE-Xa pipe의 작동특성이 토양의 온도에 온전히 영향을 준 것으로 판단된다.

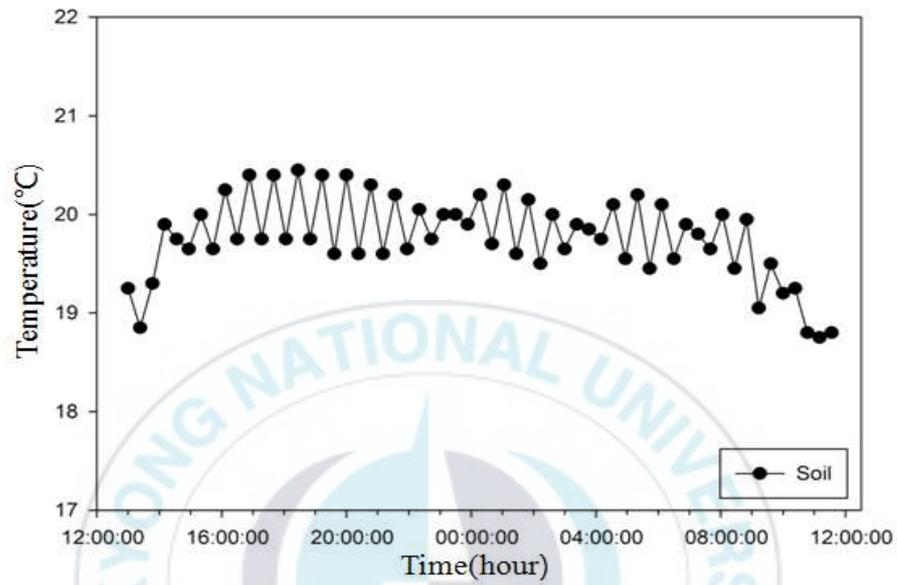


Fig. 4.6 Temperature profiles of soil(BJLHP)

Table 4.3 Data value of soil temperature(BJLHP)

Parameter	BJLHP
Average temperature(°C)	19.8
Highest temperature(°C)	20.7
Lowest temperature(°C)	18.2
Temperature difference(°C)	2.5

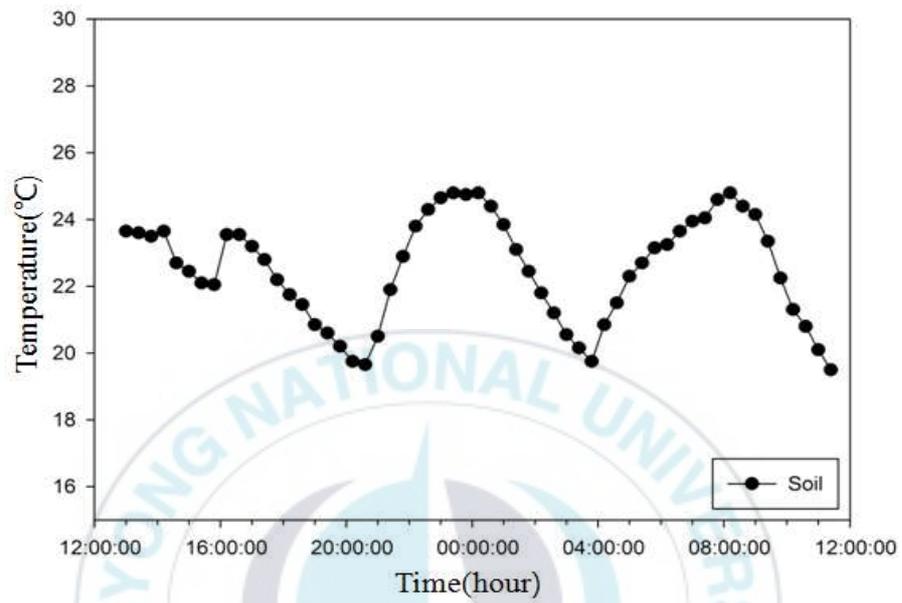


Fig. 4.7 Temperature profiles of soil(PE-Xa pipe)

Table 4.4 Data value of soil temperature(PE-Xa pipe)

Parameter	PE-Xa pipe
Average temperature(°C)	22.5
Highest temperature(°C)	25.1
Lowest temperature(°C)	19.3
Temperature difference(°C)	5.8

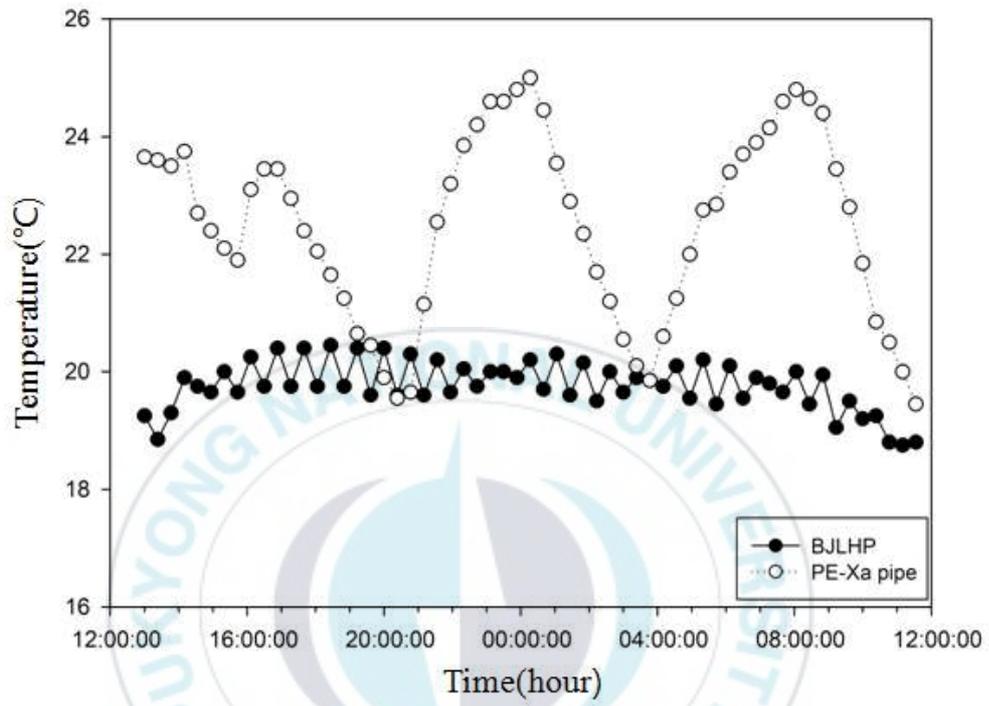


Fig. 4.8 Temperature profiles of soil

4.1.3 방울토마토의 초장 및 수확량

Table 4.5는 BJLHP 및 PE-Xa pipe를 이용한 근권난방 시 방울토마토 나무의 초장 및 수확량을 측정 비교한 결과이다. 데이터 표본은 방울토마토 나무 50그룹을 대상으로 하였고, 수확량은 1개월 동안 나무 1그룹에서 생산하는 방울토마토의 개수로 나타내었다. 초장은 1개월 동안 성장한 줄기길이의 평균값을 사용하였다. 초장 및 수확량에서 두 종류의 근권난방 시스템 사이에는 뚜렷한 차이를 보이지 않았으며, BJLHP는 PE-Xa pipe와 비교 시 초장에서는 약 4%, 수확량에서는 약 7% 높은 수치를 나타내었지만 수치상 그 효과는 미미한 것으로 판단되어 두 근권난방 시스템의 작물생육에 관한 효과는 동등한 것으로 사료된다.

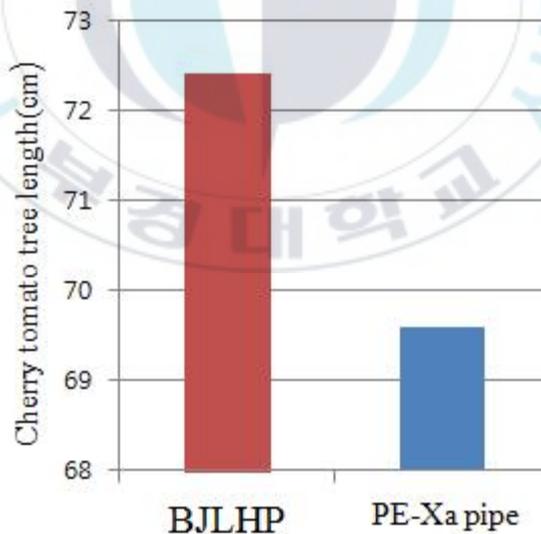


Fig. 4.9 The Cherry tomato tree length of each case

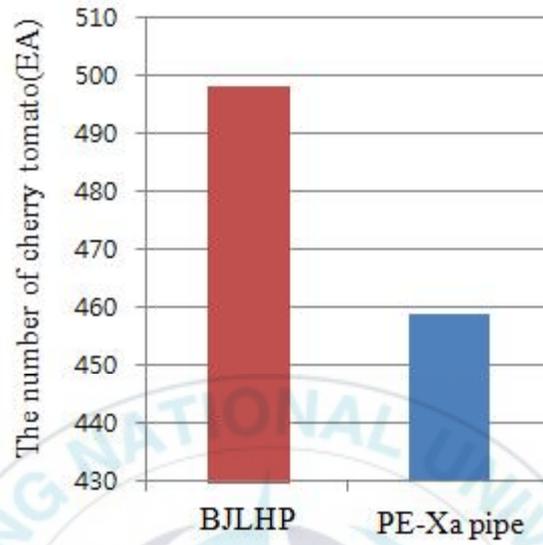


Fig. 4.10 The yield of each case

Table 4.5 Data value of cherry tomato

Parameter	B JLHP	PE-Xa pipe
Yield(EA)	492	459
Length(cm)	72.4	69.6

※기준

-표본: 50그루

-기간: 1개월

4.1.4 에너지 소비량

Fig. 4.11은 날짜별 소비전력량을 나타낸 그래프이고, Table 4.6은 약 80일 동안 BJLHP 및 PE-Xa pipe 근권난방 시스템의 소비전력량을 측정된 결과이다. BJLHP 및 PE-Xa pipe 는 각각 32.9kW, 133.7kW의 전력을 소비하였고 이를 통해 BJLHP를 이용한 근권난방 방식은 기존의 PE-Xa pipe를 이용한 방식에 비해 약 75% 에너지를 절약할 수 있다는 것을 확인하였다. 한편 이러한 결과의 이유는 기존의 PE-Xa pipe 난방 방식은 보일러 및 저탕조를 이용하여 온수를 만들어야하기 때문에 긴 시간 및 큰 용량이 필요로 하고 상대적으로 부하변동에 대응하기 힘들기 때문에 많은 에너지가 사용된 것으로 사료된다. 반면 BJLHP를 이용한 난방방식은 ON-OFF 제어로 부하변동에 용이하고 응답속도가 빠르기 때문에 상대적으로 적은 에너지가 소비된 것으로 판단된다.

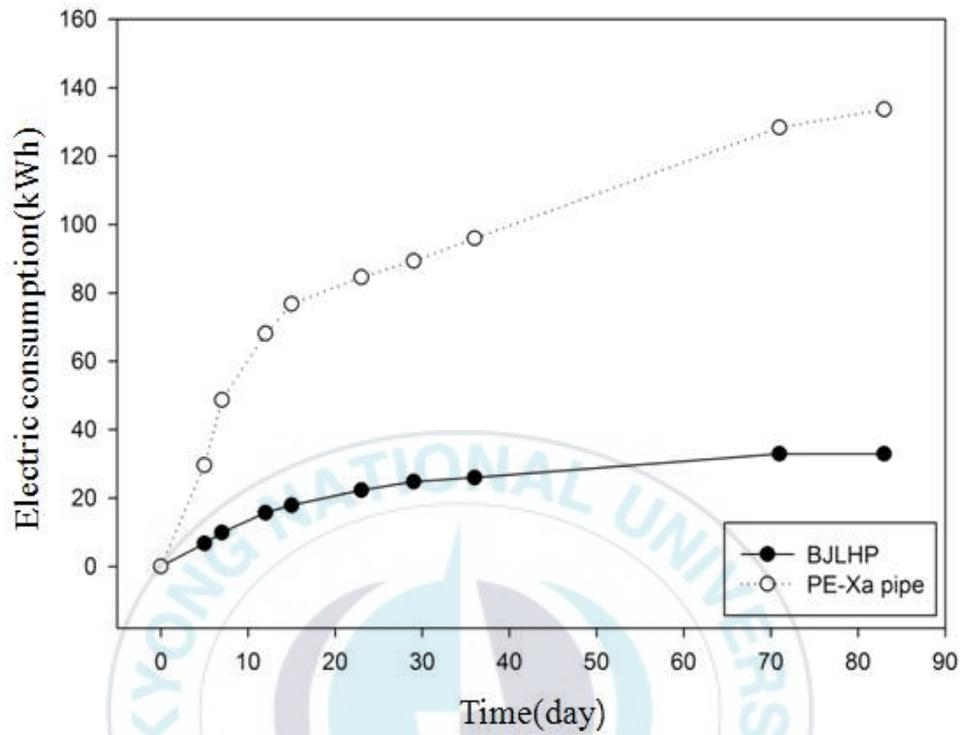


Fig. 4.11 Comparison of electric consumption during days

Table 4.6 Electric consumption of BJLHP and PE-Xa pipe

parameter	Electric consumption(kWh)
BJLHP	32.9
PE-Xa pipe	133.7

4.2 근권난방 적용 유무

4.2.1 매설된 BJLHP 열성능

Fig. 4.12는 24시간 동안의 매설된 BJLHP의 표면온도분포를 나타낸 것이다. 매설된 BJLHP는 토양의 온도에 따라 ON-OFF 되도록 설치하였기 때문에 그래프와 같은 온도 변화의 양상을 보였으며, 외기 및 실온이 낮은 17:00시 부터 익일 07:00시 사이에는 상대적으로 ON-OFF주기가 짧은 것을 확인할 수 있었다. Table 4.7은 매설된 BJLHP의 각 지점에서 평균온도, 최대온도, 최저온도를 나타낸 것이며 Fig. 4.13은 각 지점에서의 평균온도를 그래프로 나타낸 것이다. 증발부와 응축부의 평균온도는 25~26℃로 측정되었으며, 평균 온도차는 0.34℃로 매우 안정적인 작동을 하는 것으로 나타났다. Table 4.8은 BJLHP의 시간별 증발부, 응축부의 평균온도 및 유효열전도율을 나타낸 것이다. 시간별로 BJLHP의 성능에 차이가 발생하는지 확인하기 위하여 시간별로 유효열전도율을 계산하였으며 계산결과 전 시간에 걸쳐 균일한 열성능을 보이며 정상작동 하는 것을 확인할 수 있었다.

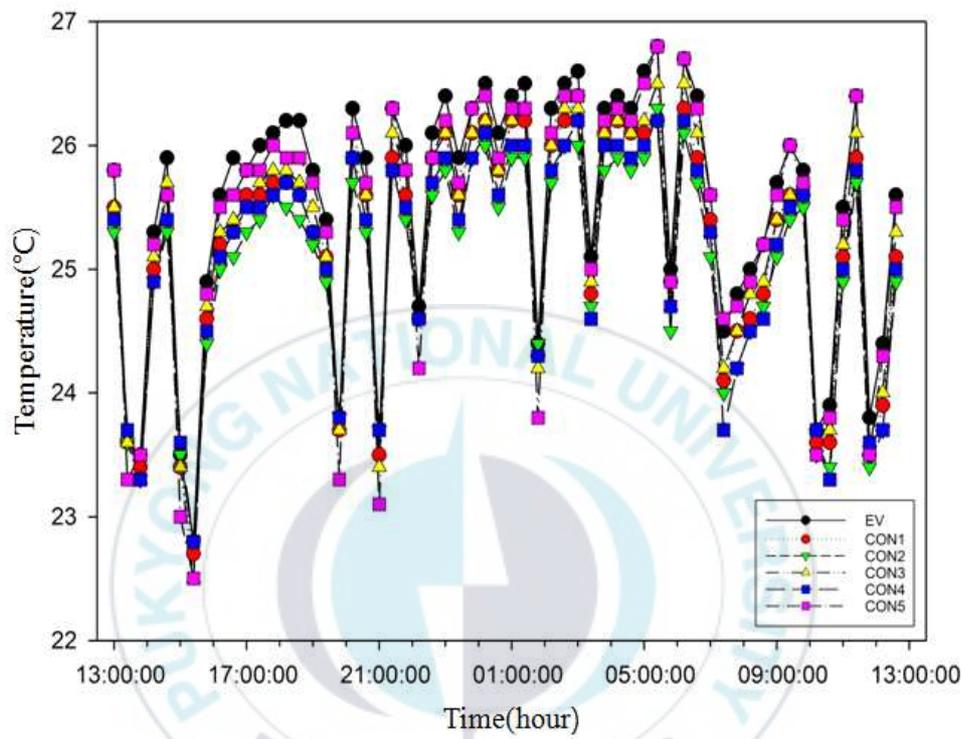


Fig. 4.12 Temperature profiles of B JLHP

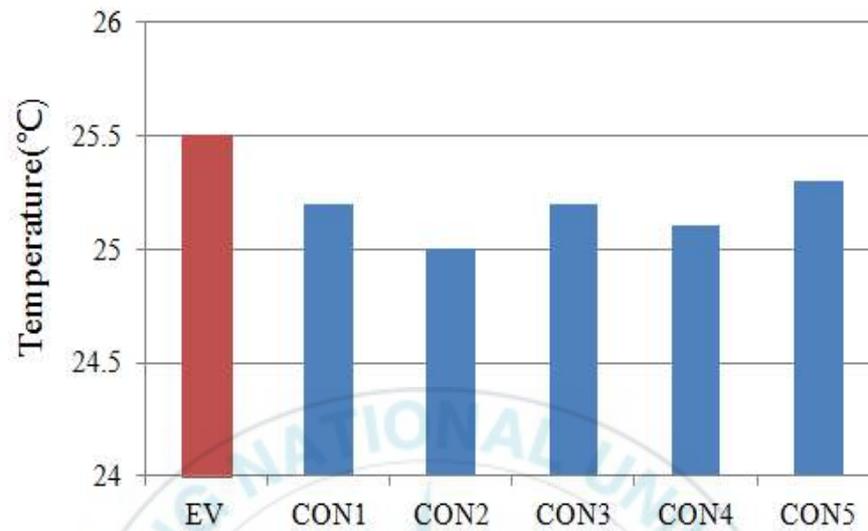


Fig. 4.13 The average temperature of each point

Table 4.7 Data value of BJLHP temperature

Parameter	EV	CON1	CON2	CON3	CON4	CON5
Average temperature(°C)	25.5	25.2	25.0	25.2	25.1	25.3
Highest temperature(°C)	27.0	26.6	26.4	26.8	26.5	27.0
Lowest temperature(°C)	22.5	22.5	22.5	22.4	22.3	22.1
Temperature difference(°C)	4.5	4.1	3.9	4.4	4.2	4.9

Table 4.8 Effective thermal conductivity profiles during one day

Time(hour)	EV(°C)	CON(°C)	$\Delta T(^{\circ}C)$	$k_{eff}(kW/m^{\circ}C)$
13:00	25.8	25.5	0.3	3289
15:00	23.5	23.4	0.1	8223
17:00	25.8	25.5	0.3	3795
19:00	25.8	25.4	0.4	2466
21:00	23.5	23.5	0	49338
23:00	26.4	26.0	0.4	2596
01:00	26.4	26.1	0.3	3524
03:00	26.6	26.3	0.3	2902
05:00	26.6	26.1	0.5	2145
07:00	25.6	25.3	0.3	9795
09:00	25.7	25.3	0.4	2471
11:00	25.5	25.1	0.4	2596
13:00	24.4	24.2	0.2	4111

4.2.2 토양온도 분포

Fig. 4.14는 BJLHP를 매설한 곳과 미적용한 곳의 토양온도 분포를 나타낸 그래프이다. 토양온도를 측정된 결과, BJLHP를 매설한 곳의 토양 온도 분포는 20℃ 내외로 오이생육에 적당한 온도를 유지하는 것을 확인 할 수 있었다. 반면 미적용한 곳의 토양온도는 약15℃로 근권난방 시 토양온도에 비해 낮은 온도를 나타냈다. 토양온도는 외기 및 실내온도 변화 양상과 유사하게 변동하는 것으로 보이며 연중 토양에 의한 단열로 비교적 일정한 온도를 유지하는 것을 확인하였다. Table 4.9는 토양온도에 관한 상세 값이며 BJLHP를 매설한 곳의 토양에서 온도차가 더 약간 더 큰 값을 나타냈는데 이는 BJLHP의 작동에 의해 변동폭이 증가했기 때문이라고 사료된다.

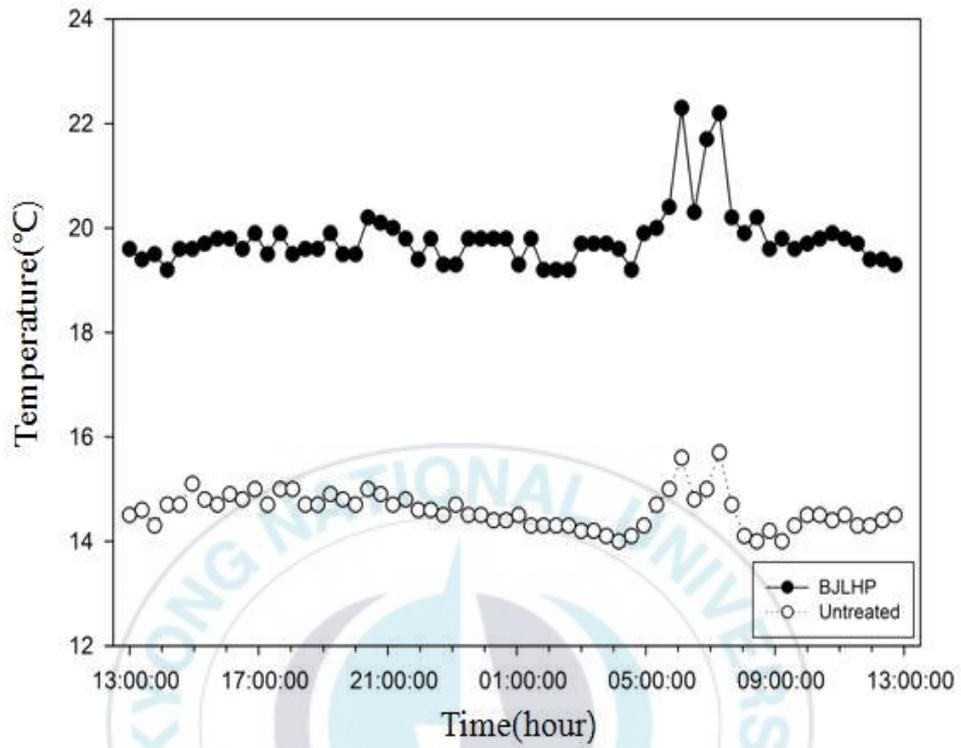


Fig. 4.14 Temperature profiles of soil

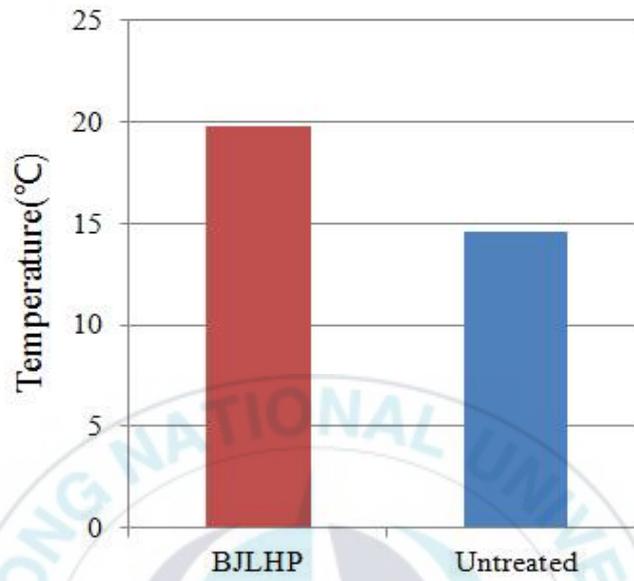


Fig. 4.15 The average temperature of BJLHP and Untreated

Table 4.9 Data value of soil temperature

Parameter	BJLHP	Untreated
Average temperature(°C)	19.8	14.6
Highest temperature(°C)	22.7	16.3
Lowest temperature(°C)	19.0	13.7
Temperature difference(°C)	3.7	2.6

4.2.3 실내 및 외기온도 분포

Fig. 4.16은 실내온도 양상을 나타낸 그래프이고 Fig. 18은 외기온도 양상을 나타낸 그래프이다. 실내온도는 외기온도의 영향을 받아 낮 동안은 비교적 높은 온도를 유지하다가 밤~새벽 사이에는 기온이 급격히 하강하는 것을 알 수 있다. Table 4.10은 실내의 최고, 최저, 평균온도를 나타낸 표이다. 복합난방 시 실내평균온도는 온풍기 가동을 최소로 하였기 때문에 공간난방 시에 비해 약 2°C 낮은 수치를 나타냈지만, 오이의 생육 정지 온도인 5°C 미만으로는 내려가지 않는 것을 확인할 수 있었다.



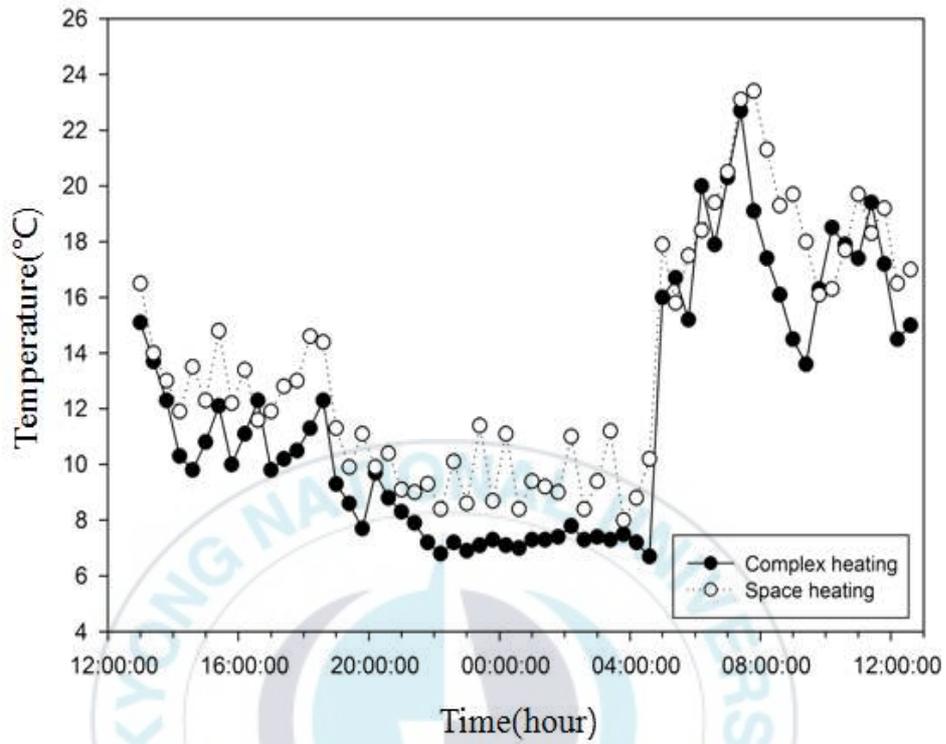


Fig. 4.16 Temperature profiles of room air

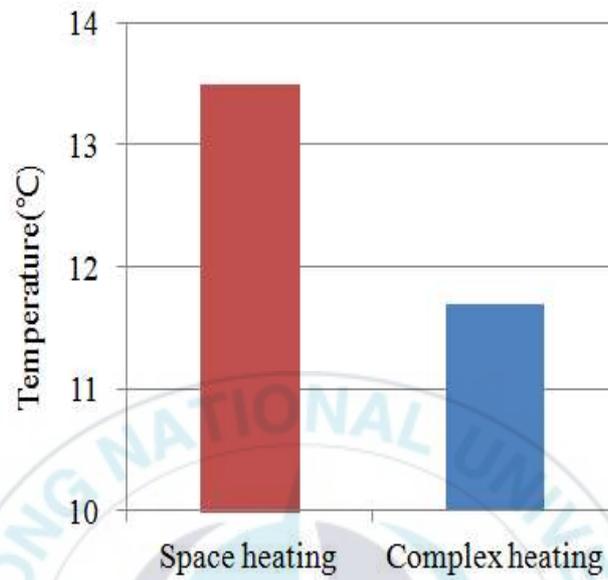


Fig. 4.17 The average temperature of each case

Table 4.10 Data value of each temperature

Parameter	Space heating	complex heating
Average temperature(°C)	13.5	11.7
Highest temperature(°C)	25.2	24.7
Lowest temperature(°C)	7.6	6.4
Temperature difference(°C)	17.6	18.3

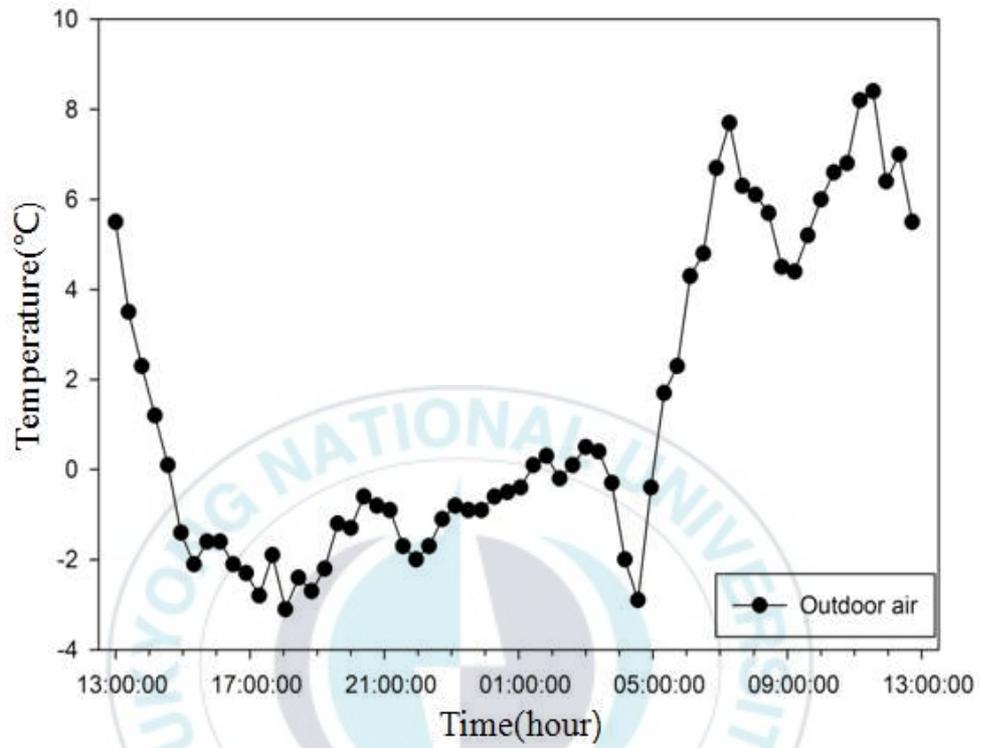


Fig. 4.18 Temperature profiles of outdoor air

4.2.4 오이의 초장 및 수확량

Table 4.11은 오이의 초장 및 수확량을 나타낸 것이다. 데이터 표본은 오이나무 50그룹을 대상으로 하였고, 수확량은 1개월 동안 오이나무 1 그룹에서 생산하는 오이의 개수로 나타내었다. 초장은 1개월 동안 오이나무가 성장한 길이의 평균값을 사용하였다. BJLHP로 근권난방을 한 곳과 기존의 온풍난방기만 사용한 곳에서 오이의 생육 및 수확량을 측정 비교한 결과 초장에 있어서는 그 차이가 약 3%로 뚜렷한 차이가 나타나지 않았지만, 수확량은 근권난방을 한 곳의 오이가 약 19% 높은 수치를 나타냈다. 상품성이 있는 오이만 수확을 하고

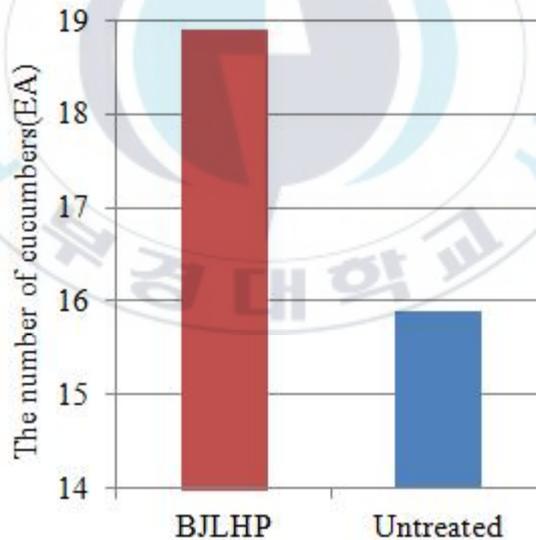


Fig. 4.19 The yield of each case

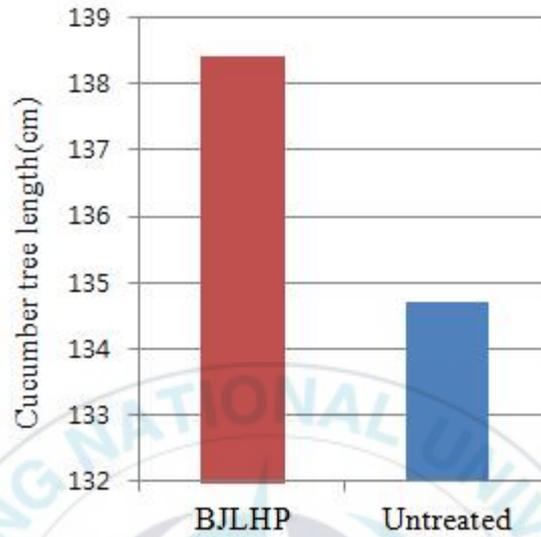


Fig. 4.20 The cucumber tree length of each case

Table 4.11 Data value of cucumber

Parameter	BJLHP	Untreated
Yield(EA)	18.9	15.9
Length(cm)	138.4	134.7

※기준

-표본: 50그루

-기간: 1개월

4.2.5 에너지 소비량

Table 4.12는 1개월간 경유사용량 및 전력사용량을 나타낸 것이다. 경유사용량은 BJLHP가 설치된 곳(약75평≒248m²)의 경유 온풍기에서 소모하는 경유의 양을 기준으로 10a(1,000m²)당 소모하는 경유의 양으로 환산하였다. 전력사용량은 BJLHP가 설치된 곳(약75평≒248m²)의 BJLHP에서 소모하는 전력량을 기준으로 10a(1,000m²)당 소모하는 전력량으로 환산하였다. Fig. 4.21 및 Fig. 4.22는 BJLHP를 적용한 경우와 미적용한 경우에 경유사용량 및 전력사용량을 나타낸 것이다. 복합난방시 온풍난방을 최소로 하였기 때문에 경유사용량을 비교적 적게 소모하였지만 BJLHP 작동을 위한 전력이 소모된 것을 확인할 수 있다. 반면 기존의 경우에는 일반 농가에서 사용하는 경유의 양을 소모하였고 추가적인 전력사용은 필요하지 않을 것을 알 수 있다.

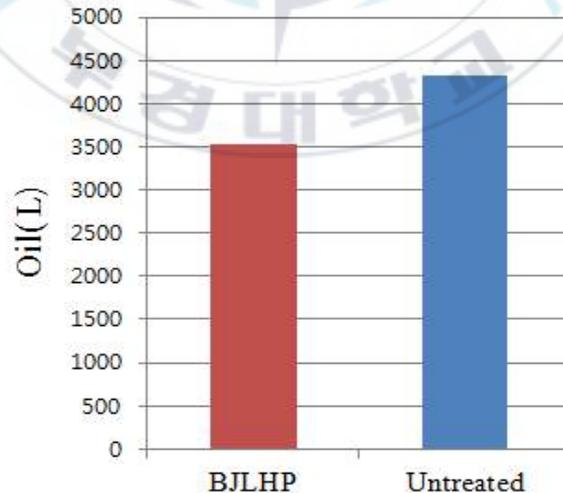


Fig. 4.21 The oil consumption

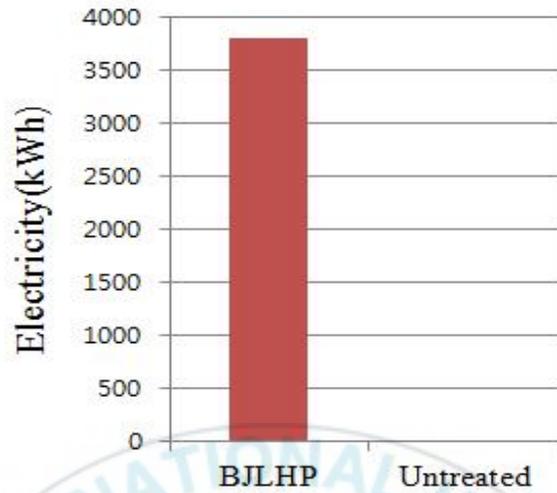


Fig. 4.22 The electric consumption

Table 4.12 Comparison of energy consumption

Parameter	Complex heating	Space heating
Oil consumption(L)	3519.7	4320.6
Electric consumption(kWh)	3792	0

※ 기준

- 난방면적: 10a(1,000m²)

- 기간: 1개월

4.2.6 경제성 분석

Table 4.13은 공간난방과 복합난방 시 월 전력사용량과 월 경유사용량을 바탕으로 연료비를 환산한 결과이다. 공간난방과 복합난방의 연료비 환산결과 복합난방 10a 적용 시 약 15%의 연료비 절감효과를 얻을 수 있었다. 즉 경유사용량을 줄이는 것이 가장 에너지 비용절감에 효과적이었다. 하지만 경유사용량만 줄인다고 해서 경쟁력을 가질 수 없기 때문에 BJLHP를 이용한 근권난방 시스템 도입을 통한 수확량 증가를 기대하고 이를 통해 경쟁력을 갖고자 하여 이를 토대로 경제성 분석을 실시하였다.

경제성 분석을 위해 회수기간법을 사용하여 투자안에 대한 초기투자비를 회수하는 데 걸리는 연수를 산출하였다. 경제성 분석결과 2년경과 후 초기투자비를 회수할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 결과는 국제유가 및 국내 전기요금의 영향을 많이 받으므로 장기적으로 국제유가 상승 시 고부가가치 사업이 될 것으로 기대된다. 또한 대량생산으로 인한 제작단가 절감 시 회수기간은 더 짧아질 것으로 예상된다.

Table 4.13 Comparison of energy price

	Space heating	Complex heating
Electric consumption(kWh)	-	3792
Oil consumption(L)	4320.6	3519.7
Energy price(won)	3,888,540	3,317,526

※기준

-난방 면적: 10a(1,000m²)

-기간: 1개월

-뿌리난방 시 토양의 평균 온도 19℃,

-공간난방 시 평균 온실 온도: 13.5℃

-복합난방 시 평균 온실 온도: 11.7℃

-면세유 가격: 900원/L

-농사용 전력 가격: 기본요금 1,150원/kW, 전력요금: 39.20원/kWh

Table 4.14 Economic analysis

Annual profit (won)				
Period	Initial investment	Profit increased by yields	Fuel cost reduction	Profit and Loss
0year	-7,792,200			
1year		4,150,440	1,713,000	-1,928,760
2year		4,150,440	1,713,000	+3,934,680

※기준

- 난방 면적: 10a(1,000m²),
- 버블젯 히트파이프 162개/10a
- 면세유 가격: 900원/L
- 농사용 전력 가격: 기본요금 1,150원/kW, 전력요금: 39.20원/kWh
- 오이 1개 가격: 610원
- 오이 나무 개수: 756그루/10a
- BJLHP 가격: 48,100원/개
- BJLHP 사용기간: 3개월/년

제 5 장 결론

본 연구에서는 BJLHP를 이용한 근권난방 시스템을 개발하고 현장적용 및 실증실험을 통해 BJLHP를 이용한 근권난방 시스템의 에너지 절감 효과를 확인하고자 하였다. 선행연구를 바탕으로 BJLHP의 최적조건을 선정하고 실증실험을 진행하였다. 종래의 PE-Xa pipe를 이용한 근권난방 방식과 BJLHP를 이용한 근권난방 방식을 현장에 적용하여 비교분석하였고, 기존의 온풍난방 방식에 BJLHP를 이용한 근권난방의 적용유무에 따른 비교분석 및 경제성 평가를 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

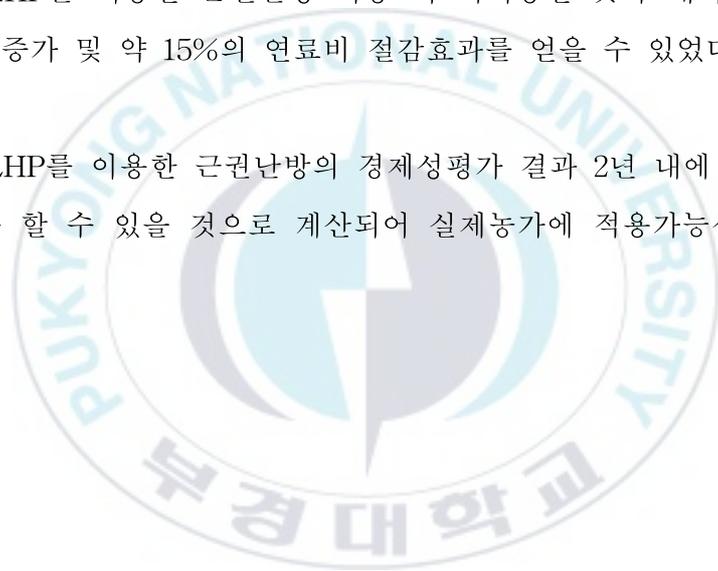
- (1) BJLHP를 이용한 근권난방은 PE-Xa pipe를 이용한 근권난방 대비 균일한 표면온도 분포를 보이며 더 안정적으로 작동하였다.
- (3) BJLHP를 이용한 근권난방은 PE-Xa pipe를 이용한 근권난방 대비 토양온도를 일정하게 유지시키고 비교적 적은 변동폭을 유지하며 부하 변동에 잘 대응하였다.
- (4) BJLHP와 PE-Xa pipe를 이용한 근권난방 시 생육 및 수확량에서 뚜렷한 차이는 보이지 않았다.
- (5) BJLHP를 이용한 근권난방 시 PE-Xa pipe를 이용한 근권난방 대비 약 75% 에너지를 절감할 수 있었다.

(6) 매설된 BJLHP는 증발부와 응축부 평균 온도차는 0.34°C , 평균 유효 열전도율은 $8223\text{kW}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ 을 유지하며 매우 안정적으로 작동하였다.

(7) BJLHP를 이용한 근권난방 적용 시 미적용한 곳의 토양에 대비 약 5°C 높은 온도를 유지하며 작물의 생육에 적절한 근권온도를 유지시켰다.

(8) BJLHP를 이용한 근권난방 적용 시 미적용한 곳과 대비 약 19%의 수확량 증가 및 약 15%의 연료비 절감효과를 얻을 수 있었다.

(9) BJLHP를 이용한 근권난방의 경제성평가 결과 2년 내에 초기투자비를 회수 할 수 있을 것으로 계산되어 실제농가에 적용가능성을 확인하였다.



참고문헌

- [1] 이육현(2000), “진동 세관형 히트 파이프의 열전달 및 유동 특성에 관한 연구”, 부경대학교 대학원.
- [2] 김태훈, 김종수, 하수정, 임용빈(2004), “진동세관형 히트파이프를 이용한 태양열 집열기 개발에 관한 기초연구”, 대한기계학회 2004년도 춘계학술대회, pp.1394-1399.
- [3] 우재호 (2011), “Bubble Jet Loop Heat Pipe의 열전달 및 유동특성에 관한 실험적 연구”, 부경대학교 대학원
- [4] 황중호(2011), “버블젯 루프 히트파이프를 이용한 증발기 제상에 관한 연구”, 부경대학교 대학원.
- [5] 신중석(2014), “Bubble Jet Loop Heat Pipe의 증발부 형상에 따른 근권난방 시스템의 성능특성에 관한 연구”, 부경대학교 대학원.
- [6] 김정용 (2015), “접이식 버블젯 루프 히트파이프의 열전달 특성에 관한 연구”, 부경대학교 대학원
- [7] 이한철 (2009), “겨울철 양액 재배시의 근권난방 효과”, 영남농업시험장, 성주군농업기술센터 작물재배기술 DB

謝辭

우여곡절이 많았던 2년 6개월 동안의 석사생활을 마무리하며 저에게 도움을 주신 분들께 감사의 말씀을 전하고자 합니다. 먼저 부족한 저를 공기조화연구실에 받아주시고 지도와 격려를 아끼지 않으신 김종수 교수님께 감사의 말씀 전합니다. 또한, 석사학위 논문이 나오기까지 지도 편달 해주신 금종수 교수님, 윤정인 교수님, 정석권 교수님, 최광환 교수님, 김은필 교수님, 손창호 교수님께 감사의 말씀 전합니다. 석사생활을 하며 정말 많은 경험을 했던 것 같습니다. 연구과제를 수행하며 계측기기 및 공구를 사용하는 방법을 익혔고 연구계획서부터, 예산산정, 실험, 재료구입 등 연구과제 전반에 대한 수행능력도 기를 수 있었습니다. 다양한 학회에 참석하여 발표도 해보고 일본 학회에 참석하여 생애 첫 해외경험도 할 수 있었습니다. 석사진학을 하지 않았더라면 경험하지 못했을 잊을 수 없는 추억들입니다. 물론 석사생활을 하는 것이 순탄치만은 않았습니. 밤을 새워가며 실험을 하고, 실험결과가 제대로 나오지 않으면 원인을 찾고 개선하는 과정이 쉽지만은 않았습니. 하지만 교수님, 선배님, 동기, 후배들의 도움으로 잘 극복할 수 있었던 것 같습니다. 그리고 한편으로는 이러한 일들이 사회에 나가서도 힘든 일을 잘해낼 수 있겠다는 자신감을 길러주었던 것 같습니다. 정말 이렇게 다사다난했던 석사생활을 잘 해낼 수 있었던 것은 위 사람들 덕분이라고 생각합니다. 허물없이 충고해주시고 격려해 주신 하수정 박사님, 권용하 박사님, 연구실 들어와서 어리바리하고 있는 저를 잘 챙겨주신 상일이형, 연우형, 종석이형, 준이형에게도 감사의 말씀 전합니다. 그리고 무엇보다 같이 석사생활을 함께했던 상진이형, 준하형, 언화에게 고마웠다고, 고생했다고 전하고 싶습니다. 이제 인택이, 도빈이, 성복이가 뒤를

이어 공기조화 연구실을 이끌어 나갈 것이라고 믿어 의심치 않습니다.
그리고 항상 잘 챙겨주신 아리투스 김정훈 선배님, 안성준 선배님께도
감사의 말씀드립니다. 사회에 나가서도 이 은혜 잊지 않고 항상 감사하
는 마음으로 열심히 살겠습니다. 마지막으로 저를 믿어주시고 지원해주
신 부모님, 누나에게도 감사의 말씀 전합니다.

2015년 12월

배재영 拜上

