

발 간 등 록 번 호

11-1541000-000479-01

보안과제() 일반과제(○) 과제번호 : 107021-3

**태양에너지의 잠열축열을 통한
시설재배용 고효율 지중변온가온 시스템의 개발**

Development of high-efficiency soil warming system in
greenhouse by latent heat storage of solar energy

(주)에이치엔엘

농림수산식품자료실



0006930

농 립 수 산 식 품 부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “태양에너지의 잠열축열을 통한 시설재배용 고효율 지중변온
가온 시스템의 개발” 과제의 보고서로 제출합니다.

2010년 5월 29일

주관연구기관명 : (주)에이치엔엘

총괄연구책임자 : 나 규 동

연 구 원 : 허 상 수

연 구 원 : 김 강 수

연 구 원 : 정 경 훈

연 구 원 : 최 창 희

협동연구기관명 : 경북대학교

협동연구책임자 : 김 진 현

연 구 원 : 김 태 욱

연 구 원 : 강 상 재

연 구 원 : 김 태 수

연 구 원 : 김 영 범

연 구 원 : 김 희 연

요 약 문

I 제 목

태양에너지의 잠열축열을 통한 시설재배용 고효율 지중변온가온 시스템의 개발

II 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구의 필요성

본 연구개발의 대상인 태양열-축열재를 이용한 시설재배의 지중변온가온 시스템은 일반적으로 현재 이용되고 있는 화석에너지 기반의 난방열을 이용하는 시설재배 시스템에 있어서, 재배 작물의 근권부의 온도를 관리하기 위한 지중가온시스템의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 본 연구개발과제가 가지는 의의를 살펴보면,

첫째, 에너지원으로서 태양열 에너지를 사용하게 되어 화석에너지 생산환경의 다변화로 인한 고유가의 문제를 해결할 수 있으며,

둘째, 청정 대체 에너지로서 태양열 에너지가 가지는 장점을 극대화할 수 있으며,

셋째, 축열시스템을 이용함으로써 종래의 태양열 에너지 시스템이 가지는 잠축열의 제문제를 해결할 수 있다는 점에서 그 의의를 가지게 된다. 나아가 지중변온가온 시스템을 이용함으로써 종래의 지중가온 시스템에서 발생하는 작물의 생육상의 문제점인 조기 노화의 문제를 해결할 수 있게 된다.

본 연구개발대상 기술이 가지는 중요성을 바탕으로 고유가 시대에 농업생산비의 절감을 위해서 에너지원으로서 화석에너지를 사용하고 있는 현상을 극복하기 위하여 태양열 에너지를 이용한 시설재배 관련 연구는 반드시 이루어져야 한다.

또한 태양열 에너지 시스템이 가지는 단점을 극복하기 위한 태양열 에너지

의 축열 시스템 역시 동시에 수반되어야 할 연구이다. 화석에너지를 보조하는 수단으로서만 의미를 가져왔던 태양열 에너지 시스템에 있어서, 그 적용의 용이성에 비추어 보았을 때에, 공업생산의 현장이나 일반 건축시설물에 비하여 농업생산 현장에 적용되는 것이 적절하므로, 본 연구개발은 농업생산의 효율적인 측면과 대체 에너지원 개발이라는 대의적인 명분을 모두 갖춘 연구과제이다.

2. 연구개발의 목적

우리나라는 에너지원의 90%이상을 수입에 의존하고 있어 에너지 비용 및 국제유가 변동에 민감할 수 밖에 없는 실정인면서도 전체 영농비 중 시설 난방에 소요되는 난방비용이 약 40%이상을 차지하고 있으므로 시설농가의 경쟁력 확보가 매우 어려운 상황이다. 그러므로 농업의 경쟁력 뿐만 아니라 국가 경쟁력의 미래를 위해서도 시설원예에 있어서의 신재생에너지를 이용한 난방 방법을 개발해야 할 필요성이 있다.

또한 난방에너지의 감소를 위해 근권 가온을 함으로서 활착 증진과 생장촉진의 효과를 얻을 수 있으므로 적절한 지중가온을 위한 태양열시스템 및 가온 방법의 개발이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 고효율 지중변온가온 시스템에 적합한 태양열 시스템을 확립하고 축열재를 이용한 태양열 에너지의 효율적 사용을 위한 축열기술 향상기법을 개발하며 현장실험을 통해 지중가온시스템의 효과를 구명하는 것이 그 목적이다.

Ⅲ 연구개발의 내용 및 범위

따라서 본 연구에서는 고효율 지중변온가온 시스템에 적합한 태양열 시스템을 확립하고 축열재를 이용한 태양열 에너지의 효율적 사용을 위한 축열기술 향상기법을 개발하며 현장실험을 통해 지중가온시스템의 효과를 구명하는 것이 그 목적이다. 이를 위해 태양열 집열기를 이용한 축열시스템을 구성하고 시험포장에 지중가온 시스템을 설치하여 무가온구와 비교하며 온도특성을 구명하고 단위면적당 소요에너지 분석 및 실제 작물시험을 통해 그 효과를 확인하였다.

(1) 주관기관에서는 축열재를 이용한 태양열 에너지의 효율적 사용을 위한 축열 기술 향상 기법을 개발함을 목표로 하여, 태양열 집열기를 이용한 축열 시스템의 제작 및 지중배관, 에너지 분석 등을 수행하였다.

(2) 협동연구기관에서는 고효율 지중변온가온시스템의 최적 지온 열에너지 분석을 목표로 연구대상의 모델 설계, 지온변화에 따른 토양의 깊이별 온도변화, 재배기간별 지중변온 소요에너지 분석, 온도 계측 모니터링 및 지중 열전도 모델 개발에 대한 중점적인 연구를 수행 하였다.

(3) 위와 같은 연구개발 내용을 토대로 태양열 집열시스템의 부담용량을 산출하고, 적정 지중변온가온에 필요한 에너지를 산출하였으며, 작물재배 시험을 통해 그 효과를 확인하였다.

Ⅳ 연구개발 결과

1. 연구개발 결과

지중가온은 겨울철 시설재배에 있어서 에너지의 절감과 생육효과 증대, 지상부 난방에너지의 절감에 밀접한 관계가 있다. 일반적으로 지상부 난방에 많

은 에너지를 공급하지만 지중의 근권에 대한 온도 조절에 대한 연구와 기술은 부족한 실정이다. 토양에 유입되는 에너지와 유출되는 에너지, 관의 열전달 특성, 내기온의 변화와 유량, 관의 단면적과 길이 등으로부터 근권의 에너지 관계를 구명하는 것은 에너지의 절감에 앞서 시설작물의 생육과 관련하여 가장 기본적으로 해석되어야 할 과제이기도 하다. 이를 구명하기 위해 수행한 본 연구의 주요결과는 다음과 같다.

가. 시설하우스의 내기온에 대한 영향은 지표면 15cm까지 영향을 미쳐 약 1시간 이후에 토양의 온도가 상승함을 알 수 있었으며 지중가온은 무가온에 비해 토양의 깊이별 온도 상승효과를 크게 변화시키는 것으로 나타났다.

나. 깊이별 온도 특성에서 가온구의 깊이 15~25cm까지는 약 12℃이었으며, 깊이가 깊어질수록 온도가 상승하여 약 13.4℃까지 상승하는 것으로 나타났으며, 지표면 아래로 내려갈수록 온도의 비교 폭은 커지며 35cm에서는 약 4℃까지 차이를 보이고 있다. 이는 시설작물의 근권 위치가 지표면 15cm이하로 내려가는 생육 3주 이후에는 큰 차이를 나타낼 수 있음을 보여주고 있다.

다. 배관의 길이에 대한 소요에너지는 유입구와 유출구의 온도변화로 나타나며 2~3℃(평균 2.5℃) 차이가 났다. 따라서 지중가온에 소요된 단위시간당 유입열량은 3,450kcal/hr이었으며, 단위면적당 유입열량은 57.5kcal/hr·m²가 되었다.

라. 단위면적당 유입열량을 57.5kcal/hr·m²로 하였을 때, 0~15cm, 20~25cm, 30~35cm로 깊이별 지온의 상승효과를 분석한 결과 1.5℃, 2.0℃, 3.0℃ 상승하였으므로 지중가온의 효과를 높이기 위해 지온을 무가온 상태보다 최소한 5℃ 이상 높여야 하므로 단위면적당 유입열량을 100kcal/hr·m² 정도 공급해야 할 것으로 판단된다.

다. 잠열축열물질 및 전기히터를 포함한 태양열 집열판의 총집열량은 9,796kcal/day(8시간 기준)으로 나타나 태양열 집열판은 시험온실에서 약 4세트가 필요할 것으로 판단되며, 축열조의 용량 및 잠열축열물질 용량 구성에 따라 집열판의 갯수는 가감될 수 있을 것으로 사료된다.

바. 가온구와 무가온구의 오이의 식물생장율(Crop growth rate:CGR)을 조사한 결과, 단위기간당 단위면적당 건물중의 증가를 나타내는 CGR의 시기별 변화는 가온구와 무가온구 공히 정식 후 생육이 진행됨에 따라 가온구와 무가온구가 증가양상이 비슷하였으나 그 정도는 가온구의 CGR이 무가온구에 비해 약간 더 증가하는 경향을 나타내었다.

사. 가온구와 무가온구의 과실의 수량은 가온구가 무가온구에 비하여 약 26% 정도 증가된 것으로 판단되며 가온구에서 초기의 생육이 촉진되어 수량의 증가가 이루어지는 것으로 판단된다.

2. 활용에 대한 건의

가. 본 연구팀은 설계 및 제작된 태양열 축열시스템을 경북대학교 상주캠퍼스 실험농장에서 성능시험을 완료하였으며, 실제 오이를 재배함으로써 그 효과를 구명하였다. 이어 시설원예 농가에 일부 적용하여 지속적으로 시험할 예정이다며 관련논문 2편이 바이오시스템공학 및 생물환경조절학회 게재될 예정이다.

나. 개발된 시작기는 농림부의 농업신기술을 획득하여 사업화자금을 용자받고, EM 등 우수신기술인증을 획득하여, 정부의 저리 융자 등 자금지원 대상 품목의 자격을 취득하여, 난방기를 신설 또는 교체할 시설원예 농가에 확대보급을 통하여 고유가시대에 경영난을 해소시킬 것이다.

다. 본 연구에서 개발된 태양열 축열시스템은 소형 가정용 온수공급에도 이용될 수 있을 것이며 지중변온가온 기술은 여러 작물에 걸쳐 적용시켜 생육증진 등의 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

SUMMARY

I. Title

Development of high-efficiency soil warming system in greenhouse by latent heat storage of solar energy

II. Objectives and Necessity

The country imports more than 90% of our energy source and as a result, is affected by oil price fluctuations. Moreover, approximately 40% of the budget for agriculture is spent on heating up farming facilities, making it very difficult for the farming sector to be competitive. Therefore, there is a necessity to develop a heating method which uses a new and renewable energy.

The purpose of this study was to develop an energy supply system that will be able to attain the optimum condition of root zone by soil warming and design the apposite inflow of calories per the unit area by comparison of temperature in the warmed and non-warmed soil.

III. Results and conclusion of the research

The results of the research project are summarized as follow;

1. The greenhouse's inner temperature has an effect on the temperature of surface until 15cm, it rises about 1 hour after warming. Underground soil heating compared to no heating affects temperature more significantly.

2. In case of the temperature fluctuation, soil temperature was about 12°C up to a depth of 15~25cm and the temperature rises to 13.4°C the deeper the soil. This results showed that the position of root zone was significantly different after 3 weeks growth.

3. The energy needed to warm the soil depends on the pipe length showing the change of temperature on inflow and outflow as 2°C~3°C (average 2.5°C). Therefore, the inflow per unit hour was 3,450 kcal/hr and the inflow per unit area was 57.5 kcal/hr · m² on soil warming.

4. At 57.5 kcal/hr · m² of the amount of inlet heat per unit area, the soil temperature increases by 1.5°C, 2.0°C, and 3.0°C at 0~15cm, 20~25cm, and 30~35cm depth, respectively. Therefore, to increase effect of soil warming, since we have to increase soil temperature at least 5°C than non-heated soil, we recommend supplying 100kcal/hr · m² of the amount of inlet heat per unit area.

5. The amount of heat generated by one unit of solar collector per day was 9,796kcal/day. The test field of (60m²) needs four sets of solar collectors. The amount of heat needed for effective soil warming calls for six-sets of solar collectors.

6. As a result of CGR(Crop growth rate) investigation, the method of soil warming increased the quantity of the harvest by more 26% in comparison to the non-warming method.

IV. Methods of studies

The research has been performed for 3 years in cooperation with Kyungpook National University and executed as following steps;

1) In order to estimate the design capacity of the heat storage system, test equipment for measuring temperature of soil is developed.

2) As a model system, a testing heat storage system which consists of ① tank, ② heater, ③ PCM253 and test of each part and system carried on is manufactured.

3) We examined the effects of soil warming by ①temperature variation of soil depth ②Energy variation per unit area ③test of growing crops.

CONTENTS

Chapter I. Introduction	18
Section 1. Necessity and Objectives	18
1. Necessity	18
2. Objectives	24
Section 2. Objectives and Contents	25
1. Objectives	25
2. Detailed Objectives	25
Chapter II. Present conditions and points	27
Section 1. Comparison of soil warming	27
Section 2. Technology of solar energy	28
Section 3. Heat storage system by PCM253	29
Section 4. Present condotions	33
Chapter III. Results of the research	36
Section 1. Temperature variation of soil depth by soil warming	36
1. Design of testing set	36
2. Test Methods	45
3. Results and consideration	48
Section 2. Energy variation per unit area by soil warming	61
1. Test Methods	61
2. Results and consideration	64

Section 3. Test of growing crops using soil warming	77
1. Test Methods	77
2. Results and consideration	79
Chapter IV. Achievement and Contribution	84
Section 1. Achievement	84
Section 2. Contribution	87
Chapter V. Plan of application use	89
Section 1. Outcome of research	89
Section 2. Plan of application use	89
Chapter VI. Overall Conclusion	91
Chapter VII. References	94

목 차

제 출 문	1
요 약 문	3
SUMMARY	9
CONTENTS	12
목 차	14
제 1 장 연구개발과제의 개요	18
제1절 연구개발 목적 및 필요성	18
1. 연구의 배경	18
2. 연구의 목적	24
제2절 연구개발 목표와 내용	25
1. 연구개발의 목표	25
2. 세부 개발목표	25
제 2 장 국내외 기술개발 현황	27
제1절 기존 연구와 변은지증가온 연구의 비교	27
제2절 변은 지증가온을 통한 태양에너지 주요 기술	28
제3절 PCM253을 활용한 축열시스템	29
1. 축열시스템 개요	29
2. PCM 축열시스템의 적용사례	31
제4절 주요 연구현황	33

제 3 장 연구수행 내용 및 결과	36
제1절 지중변온가온에 따른 깊이별 온도특성	36
1. 시험장치의 설계	36
가. 포장의 시험 설계	36
나. 태양열 축열시스템 구성	38
다. 토양의 조건	44
2. 시험방법	45
가. 태양열 집열기의 성능시험	45
나. 깊이별 온도특성 시험조건	45
다. 온도 계측시스템의 설계	46
라. 온도 계측점 설계	46
3. 결과 및 고찰	48
가. 환경조건	48
나. 태양열집열기의 성능시험	50
다. 외기온과 내기온의 계측	54
라. 변온 가온구의 깊이별 온도변화	55
마. 무가온구의 깊이별 온도변화	57
바. 변온가온구와 무가온구의 깊이별 온도특성	59
제2절 지중변온가온의 단위면적당 소요에너지 분석	61
1. 시험방법	61
가. 온도 및 토양수분 장력의 계측	61
나. 온도계측점 설계	61
다. 공급수온 및 공급에너지	62
라. 태양열 집열판의 부담용량 산출	62
2. 결과 및 고찰	64

가. 소요에너지의 이론적 설계	64
나. 단위시간당 면적당 유입열량에 따른 배관의 온도 변화	68
다. 변온가온구와 무가온구의 깊이별 온도변화 (0~15cm)	69
라. 변온가온구와 무가온구의 깊이별 온도변화 (20~25cm)	70
마. 변온가온구와 무가온구의 깊이별 온도변화 (30~35cm)	71
바. 지중가온의 유입열량 설계	72
사. 시설오이의 근권부 공급에너지 설계	73
아. 단위면적당 태양열 집열관 부담용량의 설계	74
제3절 지중변온가온시스템을 이용한 작물재배시험	77
1. 시험방법	77
가. 관수방법	77
나. 재배방법	78
2. 결과 및 고찰	79
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	84
제1절 목표달성도	84
제2절 관련분야에의 기여도	87
1. 기술적 측면	87
2. 경제 · 산업적 측면	87
제 5 장 연구개발 성과 및 활용계획	89
제1절 연구성과	89
제2절 활용계획	89

제 6 장 종합 결론	91
제 7 장 참고문헌	94

제 1 장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발 목적 및 필요성

1. 연구의 배경

가. 환경적 배경

본 연구개발의 대상인 태양열-축열재를 이용한 시설재배의 지중변온가온 시스템은 일반적으로 현재 이용되고 있는 화석에너지 기반의 난방열을 이용하는 시설재배 시스템에 있어서, 재배 작물의 근권부의 온도를 관리하기 위한 지중가온시스템의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 본 연구개발과제가 가지는 의의를 살펴보면,

첫째, 에너지원으로서 태양열 에너지를 사용하게 되어 화석에너지 생산환경의 다변화로 인한 고유가의 문제를 해결할 수 있으며,

둘째, 청정 대체 에너지로서 태양열 에너지가 가지는 장점을 극대화할 수 있으며,

셋째, 축열시스템을 이용함으로써 종래의 태양열 에너지 시스템이 가지는 잠축열의 제문제를 해결할 수 있다는 점에서 그 의의를 가지게 된다. 나아가 지중변온가온 시스템을 이용함으로써 종래의 지중가온 시스템에서 발생하는 작물의 생육상의 문제점인 조기 노화의 문제를 해결할 수 있게 된다.

본 연구개발대상 기술이 가지는 중요성을 바탕으로 고유가 시대에 농업생산비의 절감을 위해서 에너지원으로서 화석에너지를 사용하고 있는 현상을 극복하기 위하여 태양열 에너지를 이용한 시설재배 관련 연구는 반드시 이루어져야 한다.

또한 태양열 에너지 시스템이 가지는 단점을 극복하기 위한 태양열 에너지의 축열 시스템 역시 동시에 수반되어야 할 연구이다. 화석에너지를 보조하

는 수단으로서만 의미를 가져왔던 태양열 에너지 시스템에 있어서, 그 적용의 용이성에 비추어 보았을 때에, 공업생산의 현장이나 일반 건축시설물에 비하여 농업생산 현장에 적용되는 것이 적절하므로, 본 연구개발은 농업생산의 효율적인 측면과 대체 에너지원 개발이라는 대의적인 명분을 모두 갖춘 연구과제이다.

다음의 그림 1, 2에 각각 최근 2년간 국내 유종별 가격추이 및 국제원유의 가격추이를 나타내었으며, 이는 고유가 시대임을 나타내주는 명백한 지표로 사료된다.

추가적으로 현재 국제사회에서 논의되고 있는 지구온난화 방지 대책마련의 측면에서 보았을 경우, 태양에너지를 비롯한 신재생에너지의 실용적 개발은 국내의 기후변화에 대한 친환경대책 마련의 계기가 될 것이다.

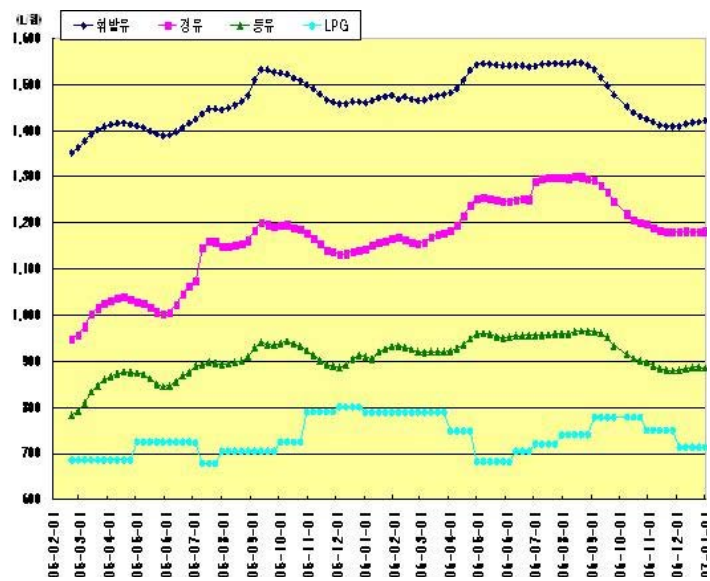


그림 1 최근 국내 유종별 가격추이

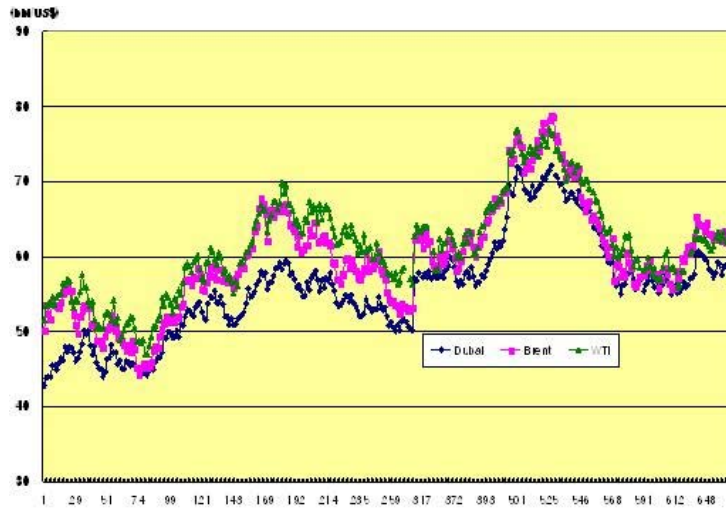


그림 2 최근 국제원유 가격 추이

나. 경제적 배경

1) 우리나라의 시설원예 현황

우리나라는 전체 시설원예 면적 52,135ha(2001년) 중 난방을 하고 있는 시설원예 면적은 12,710ha로서 약 24%를 차지하고 있다.

표 1에 따르면 1990년대 이후 고급 원예작물의 지속적인 수요증가와 시설원예 현대화 지원사업이 본격적으로 추진되면서 시설원예 재배면적이 크게 증가되어 2000년도 우리나라 전체 채소재배면적 386,000ha(2000년) 중 시설채소면적은 90,627ha로서 약 24%를 차지하고 있으며 1990년 대비 2배 이상 증가하였다.

표 1 채소 및 시설채소 재배면적

(단위 : ha, %)

	1990	2000	2000/1990
채소 재배면적(A)	317,000	386,000	1.2
시설채소 재배면적 (B)	35,994	90,627	2.5
시설재배면적 비율 (B/A)	11.4	23.5	2.1

* 출처 : 농림부(2002)

2000년도 과채류 생산액은 2조8천억 원으로 전체 채소생산액(6조7천억 원)의 41%를 차지하고 있으며, 이는 1990년도 생산액 8천9백억 원에 비하여 3.1배 증가하였다.

표 2에 따르면 2000년도 시설재배에 의한 과채류 생산액은 2조5천억 원으로 1990년도보다 4.6배 증가하여 동 기간 중 노지재배에 의한 생산액 증가율(1.3배)을 크게 상회하고 있으며, 과채류 전체 생산액 중 91%를 차지하고 있다.

또한, 난방연료의 90% 이상이 경유나 등유와 같은 유류로 한정되어 있으며 농가에서는 면세유 가격에 대해 민감한 반응을 보이고 있어 최근 들어 작물재배를 포기 할 의향을 갖고 있는 농가가 속출하고 있는 실정이다.

표 2 시설재배에 의한 과채류 생산량 변화

(단위 : 백만원)

	1990(A)	2000(B)	2000/1990(B/A)
전체 채소류	3,323,243(100%)	6,724,215(100%)	2.0
과채류	893,920(26.9%)	2,806,333(41.7%)	3.1
- 시설재배	563,071	2,563,973	4.6
- 노지재배	330,849	445,802	1.3

* 출처 : 농림부(2002)

2) 시설원예 난방의 현황과 종류

시설원예에서는 외기 온도가 목표 온도보다 낮은 겨울철에 작물의 생육 적온을 유지해 주기 위하여 1차적으로 커튼장치 등에 의해 보온을 해 주고 부족한 열은 난방기로 공급해 주어야 한다. 현재 사용되고 있는 시설 원예 난방방식의 종류에는 직열식 난방, 전열식 난방, 온풍식 난방, 온수식 난방 등이 있으며 우리나라 난방방식은 온도 상승이 빠르고 난방기의 열효율이 높은 온풍식 난방이 대부분이지만, 기온의 공간적 시간적 변화 폭이 크고 공급되는 열량 가운데 건조한 현열의 비중이 높아 작물 생리에 적합하지 못한 단점이 있다. 난방 방식간의 장·단점은 아래 표 3에 나타나 있는 바 와 같다.

모든 난방 시스템에서 가장 중요한 장치는 열을 공급해 주는 보일러인데, 현재 우리나라에서 사용되고 있는 온풍난방 시스템에 사용되는 보일러의 용량은 20,000~350,000 kcal/hr 범위로서 시설원예, 잠사, 축사, 온실 등 약 5,000 ha에 달하는 농업용 시설재배면적에 실내 기온 또는 지온이 작물의 생육 가능한 적정 온도가 되도록 열을 공급하는 형태로 되어있다.

3) 시설원예 가온면적 및 유류공급량 추정

표 3에 따르면 2001년도 시설원예 가온면적은 12,398ha로써 난방용 유류사

용량은 농업용 전체 사용량의 47.8%에 해당하는 1,165,400kl로 추정된다.

표 3 시설온실 면적 및 난방유류사용량

시설온실 면적 (ha)		난방유류사용량 (kl)	
전 체	가온 면적	전 체	시설온실
52,085	12,398	2,439,967	1,165,400

* 출처 : 농림부(2002)

표 4에 따르면 면세경유가격은 리터당 96년 201원, 99년 330원, 2002년 10월 394원 이었던 것이 2004년 이후 국제원유가 상승에 따라 급등하게 되어, 2004년 6월 현재 500원, 2005년 5월 현재 600원 내외로 연료비 부담이 급격히 증가함에 따라 농가에서는 난방에너지 절감기술에 대한 요구가 더욱 높아지고 있다.

표 4 면세유 가격 추이

구 분	1996	1999	2002.10	2004.06	2005.05
면세유 가격(원/ℓ)	201	330	394	500	600

* 출처 : 농협월보

현재 우리나라 대부분의 시설재배 농가에서 사용되는 보일러의 연료로는 경유에 주로 의존하고 있다. 그러나 최근 환율상승과 원유의 유가상승에 따른 고유가시대를 맞이하여 경유보일러는 시설원에 농가의 난방비 부담(600평 기준, 월동시까지 난방비 약 15,000천원정도)을 가중시키고 있어 시설원에 농가의 가장 큰 부담으로 작용하고 있다.

2. 연구의 목적

우리나라는 에너지원의 90%이상을 수입에 의존하고 있어 에너지 비용 및 국제유가 변동에 민감할 수 밖에 없는 실정이며 전제 영농비 중 시설 난방에 소요되는 난방비용이 약 40%이상을 차지하고 있으므로 시설농가의 경쟁력 확보가 매우 어려운 상황이다. 그러므로 농업의 경쟁력 뿐만 아니라 국가 경쟁력의 미래를 위해서도 시설원예에 있어서의 신재생에너지를 이용한 난방방법을 개발해야할 필요성이 있다.

또한 난방에너지의 감소를 위해 근권 가온을 함으로서 활착 증진과 생장촉진의 효과를 얻을 수 있으므로 적절한 지중가온을 위한 태양열시스템 및 가온방법의 개발이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 고효율 지중변온가온 시스템에 적합한 태양열 시스템을 확립하고 축열재를 이용한 태양열 에너지의 효율적 사용을 위한 축열기술 향상기법을 개발하며 현장실험을 통해 지중가온시스템의 효과를 구명하는 것이 그 목적이다.

제2절 연구개발 목표와 내용

1. 연구개발의 목표

본 연구의 세부적인 목표는 다음과 같다.

- ① 고효율 지중변온가온 시스템에 적합한 태양열 시스템 확립
- ② 축열재를 이용한 태양열 에너지의 효율적 사용을 위한 축열기술 향상 기법 개발
- ③ 현장실험을 통한 연구성과물의 피드백으로 연구성과 확립

2. 세부 개발 목표


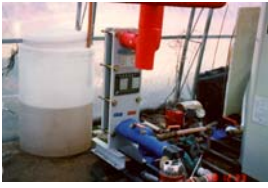
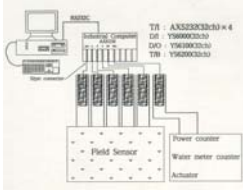
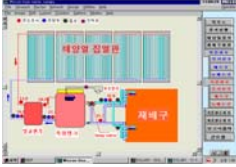
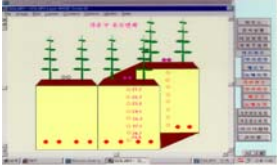
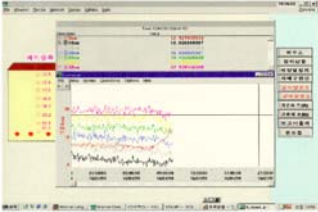
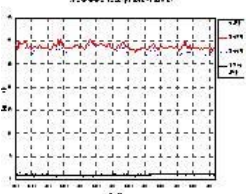
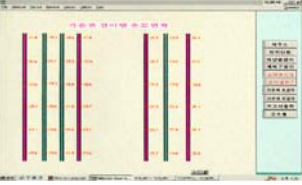
구분	연구개발의 목표	연구개발의 내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 축열재를 이용한 태양열 에너지의 효율적 사용을 위한 축열 기술 향상 기법 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시설재배용 태양열 시스템의 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 각 구성부 외주 제작 및 조립 ○ 잠열축열 열교환 장치의 제작 ○ 지중 축열 배관 및 관수라인의 설계·제작 ○ 잠열축열 시스템의 에너지 효율성 분석
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고효율 지중변온가온 시스템의 최적 지온 열에너지 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구대상 모델 설계 (시설면적, 지온의 변화, 소요에너지 분석) ○ 지온변화에 따른 토양의 깊이별 온도변화 해석 ○ 지중변온가온의 토양 열전도 이론식 산출 ○ 재배기간별 지중변온 소요에너지 분석 ○ 태양열 시스템과 잠열축열, 지중축열의 에너지 분석 ○ 온도 계측 모니터링 및 지중 열전도 모델 개발

2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 축열재를 이용한 태양열 에너지의 효율적 사용을 위한 축열 기술 향상 기법 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 태양열 시스템의 보완제작 ○ 잠열축열 시스템의 보완제작 ○ 지중변온가온 제어모니터링 알고리즘 개발 ○ 지중 열전도 모델에 의한 추적 제어 시스템 개발
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고효율 지중변온가온 시스템에 적합한 태양열 시스템 확립 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 보완된 잠열축열 시스템의 에너지 효율성 분석 ○ 시설재배의 지중 최적온도 관리기법 개발 (변온가온기술) ○ 추적 제어를 통한 에너지 효율성 분석 ○ SCADA 기술을 이용한 태양열 계측 시스템과 잠열축열 에너지 효율성 분석 ○ 태양열 에너지 시스템의 설계기준 확정 (집열판의 사이즈, 집열방식, 열교환)
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 축열재를 이용한 태양열 에너지의 효율적 사용을 위한 축열 기술 향상 기법 확립 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 태양열 잠열축열식 지중변온가온 시스템의 보완 설계·제작 ○ 지중변온가온 제어모니터링 시스템 보완 설계·제작 ○ 태양열 시스템과 잠열축열 장치의 에너지 활용 경제성 산출
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현장실험을 통한 연구성과물의 피드백으로 연구성과 확립 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시설재배에 적합한 태양열의 축열 모델 개발 ○ 지온의 변온 관리 기술에 의한 시설재배 표준화 관리 모델 개발 ○ 재배시기 및 재배단계별 지중변온가온 관리 모델 개발 (일일변온, 주간변온, 월간변온) ○ 시설재배의 태양열 에너지 활용 절감 기술 확립

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제1절 기존 연구와 변온지중가온 연구 비교

표 6 지중가온연구 비교

주요연구 장면	개선	주요연구 장면	개선
 <p style="text-align: center;">태양열 집열판</p>	<p>평판형 → 상변환형</p>	 <p style="text-align: center;">판형열교환기</p>	<p>판형 열교환기 및 축열조 → 고효율 잠축열 시스템 적용</p>
 <p style="text-align: center;">시스템 하드웨어</p>	<p>온도계측 → 온도계측, 토양 온도 프로그램 적 제어 (A/D, D/I, D/O)</p>	 <p style="text-align: center;">태양열 모니터링</p>	<p>실시간 에너지 모니터링 → 실시간 지중온도 추적 모니터링</p>
 <p style="text-align: center;">토양깊이별 지온변화</p>	<p>실시간 토양의 깊이별 에너지 모니터링 → 실시간 토양의 지중온도 추적 모니터링</p>	 <p style="text-align: center;">토양깊이별 지온변화</p>	<p>실시간 토양의 위치별 에너지 모니터링 → 실시간 지중온도 추적 모니터링</p>
 <p style="text-align: center;">지중가온유입출구온도</p>	<p>실시간 유입관 전후의 길이별 에너지 모니터링 → 실시간 유입 유출관 지중온도 추적 모니터링</p>	 <p style="text-align: center;">지중 열손실 변화</p>	<p>실시간 관 길이별 에너지 모니터링 → 실시간 토양의 열손실 지중온도 추적 모니터링</p>

제2절 변온 지중가온을 통한 태양에너지 주요 기술

태양열 에너지를 시설재배에 이용하는 변온지중 가온 기술의 개발은 에너지 효율성을 높이는 주요한 연구이다. 11월부터 다음해 3월까지 동절기 시설재배를 할 경우, 지상부는 온풍기로 난방하며 최저 12℃ 이상을 유지해야 한다. 그러나 뿌리의 근역도 최적 온도 조건을 20℃~22℃로 유지할 수 있다면 생육조건이 150%~200%로 증가하게 되며 과형이 매우 우수한 것으로 보고되고 있다.

그러나 종전의 연구와 같이 일정온도로 가온을 할 경우에는 근역의 과열로 오히려 뿌리의 노화가 촉진되고 오히려 생육효과가 떨어지게 된다. 따라서 생육조건에 따른 변온지중가온 기술의 개발을 통하여 지중 열에너지를 공급할 경우 생육은 생육의 효과와 동시에 태양열 이용의 효율성이 40%까지 높일 수 있어 시설재배의 대체에너지 실용화를 촉진할 수 있다

표 7 태양열 에너지의 지중가온 효율성 증대 연구 방안

구분	태양열 부담율	조건	집열판 면적	시설하우스 면적	연구방법
종전 연구	25%	일일 중 28℃ 고정주간, 월간 고정	54 m ²	280 m ²	태양열 집열판 열교환, 온수축열
개선 연구	40%	일일 변온 주간 변온 월간 변온	54 m ²	280 m ²	태양열 집열판 열교환, 잠열축열

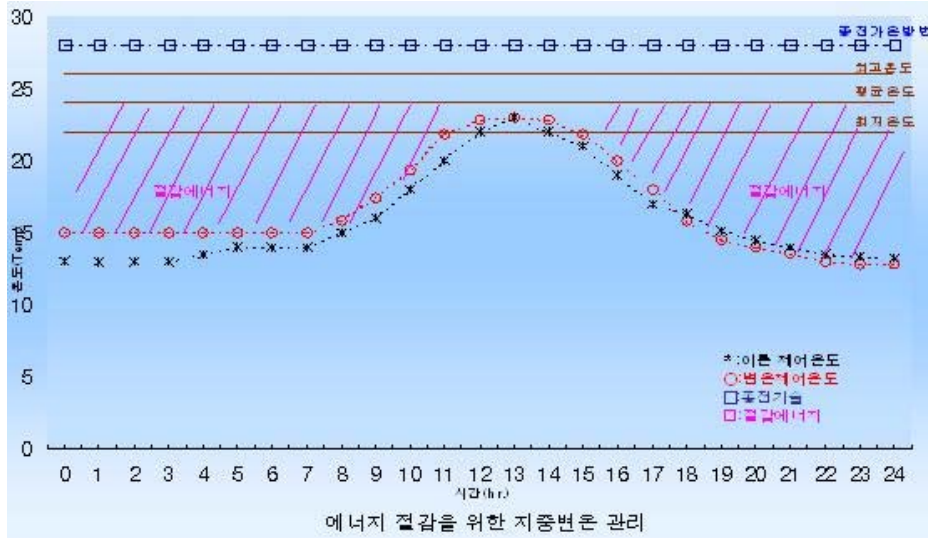


그림 4 지중가온의 변온을 통한 에너지 절감 기술

제3절 PCM253을 활용한 축열시스템

1. 축열시스템 개요

에너지 공급의 불안정화 속에서 국제유가가 연일 상승세를 이어가고 있는 고유가시대에서 화석연료의 사용으로 인한 환경오염 또한 심각한 수준에 달하게 되어 에너지 소비절감을 위한 에너지사용기기의 효율개선 및 새롭고 합리적인 에너지 사용법에 관한 기술개발에 투자를 해야 할 시기이다.

PCM(Phase Change Material)이란 어느 일정 온도에서 고체↔액체의 상이 바뀌면서 잠열을 흡수 또는 방출하는 높은 열저장 능력을 지닌 물질로서 사용분야 및 목적에 적합하게 변환 가능하므로 에너지를 효율적이고 합리적으로 이용할 수 있는 물질이다.

본 연구에 사용될 PCM253은 본사에서 보유하고 있는 신소재로(특허 제 10-0614173호) SiO₂ 외 5종의 산화물로 구성된 혼합물을 고르게 혼합한 다음

물을 일정량의 부피비로 혼합 · 교반하여 물리화학적인 방법으로 제조한 Gel 상태의 무기물슬러리로써 고효율의 열량을 공급하면서 인체에 무해한 무공해성 순수 물질이며 열에너지의 저장용량이 377Kcal/kg로서 같은 온도 구간대의 물 65Kcal/kg보다 5배이상의 열용량을 가져 보유한 열을 지속적으로 공급할 수 있는 특징이 있다.(그림 4) 또한 PCM253은 상변화온도가 104℃이므로 난방용으로 축열물질로서 적합하며 태양열 집적모듈에서 알코올의 상변화로서 100℃이상으로 축열된 열과 보조히터의 발열로써 상변화온도까지 가열하는데 충분한 축열물질인 것으로 판단된다.

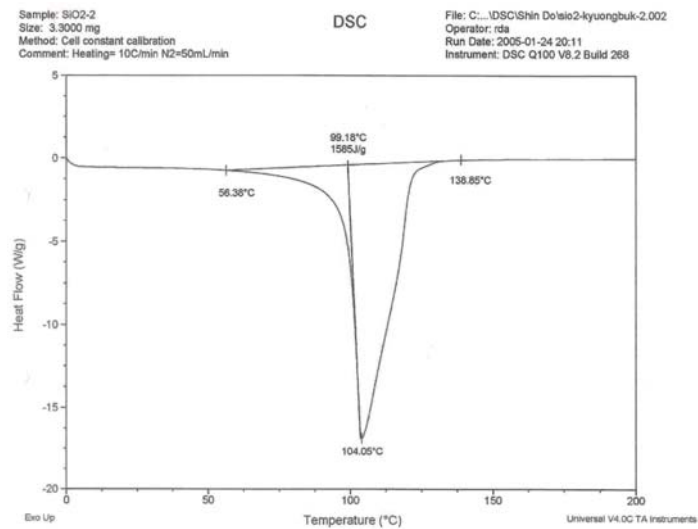


그림 5 PCM253의 DSC 측정 그래프

따라서 본 연구개발 사업에서는 태양열 지중변은 가온시스템을 개발함에 있어 알코올을 열매체로 이용하는 태양열 집적모듈과 상변화물질(PCM253)을 이용하여 태양열 집적모듈에서 공급되는 열을 효과적으로 저장할 수 있는, 태양열을 이용한 지중변은 가온시스템의 잠열축열식 축열모듈을 개발/제작하여, 열이용 효율을 높이며, 소요되는 난방비용의 절감을 이루어 낼 수 있다.

태양열 이용 PCM 축열모듈의 기본구성을 아래의 그림 5에 나타내었으며, 태양열 집적모듈에서 태양에너지가 알코올의 상변화로서 축열되며, 열의 출구

및 이동경로 중의 적절한 장소에 PCM 축열모듈이 설치/장착되고, 축열모듈에 충전된 잠열축열물질은 알코올의 상변화 축열량과 보조열원인 전기히터의 열 에너지에 의해 상변화온도까지 상승하여 잠열축열되며 필요시 온수의 순환으로 시설하우스에 필요한 난방열을 공급하는 시스템으로 구성된다.

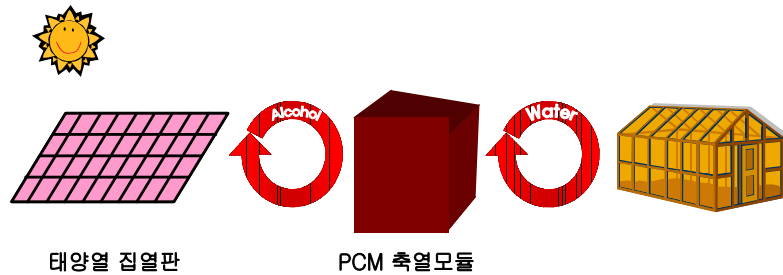


그림 6 PCM 축열물질을 이용한 난방시스템 구성도



태양열을 이용하여 난방하는 방식은 신재생에너지인 태양열을 이용하는 무공해, 무제한의 청정에너지를 온실의 난방에 적용하여 경제적인 측면에서도 난방비의 부담을 줄일 수 있는 장점이 있으나, 에너지의 밀도가 낮고, 기상조건에 쉽게 변동되고, 야간에는 직접 이용이 불가능한 열량이므로 제어하기가 힘들며 집열량이 저하될시 온실난방의 부하량 변동에 즉각적인 대응이 용이하지 못할 수 있으므로 태양으로부터 발생하는 간헐적인 열을 축열조에 저장하였다가 필요시 이용할 수 있는 보조적으로 축열할 수 있는 장치가 추가적으로 필요하게 된다. 이에 PCM253을 이용한 잠열축열식 축열모듈을 이용하면 난방 부하량 변동에 장시간 탄력적으로 대응 가능할 것이다.

2. PCM 축열시스템의 적용사례

- 대상작물 : 야자수(관엽식물)
- 재배온도 : 25~30℃ (외기 -10℃ 내외)
- 설치장소 : 성호월드(경기도 판교) 비닐하우스 150평

- 가 동 일 : 2004년 12월 ~ 2005년 3월 (4개월)
- 효 과 : 난방비 80% 절감

표 8 설치 전후 비교표

	설치 전	설치 후
난방방식	온 풍	온 수
사 양	경유온풍기 80,000kcal/h 2대	축열량 400,000Kcal 1대
		
난 방 비 (천원/월)	2,500	500

제4절 주요 연구현황

우리나라에서는 태양열의 시설재배 이용에 관한 기술은 1990년도 이후에 소수의 연구가 수행되었으나 근간에는 신재생에너지의 시설재배 활용기술의 개발이 비교적 활발히 수행되고 있는 실정이다. 겨울철 시설재배 작물의 근권부 환경은 지상부 환경과의 상호작용에 의해서 노지와는 다른 경향을 나타낸다. 온실내 지온은 실외 지온보다 높은 것이 특징인데, 계속 피복된 온실내 연평균 기온은 실외 기온보다 고온이 되며, 온실내 지온도 노지 지온보다 상당히 높아진다. 뿐만 아니라 생육은 지상부의 온도에 주로 영향을 받지만, 토양의 온도가 낮을 경우에는 양분의 흡수가 불량하고, 토양미생물의 활동이 떨어지고 세균의 발달이 억제되며 정식후 묘의 활착이 지연되어 토양수분의 흡수가 불량해지므로 생육이 저하된다(엄, 1991).

일반적으로 시설채소는 근권에 적합한 지온이 18~22℃로 알려져 있고, 시설오이의 경우 최저한계지온이 13℃~15℃이며 최고한계지온은 25℃로 알려져 있다(이, 1994; 高橋和彦, 1983; 김, 1993). 25℃ 이상에서는 뿌리의 호흡에 의한 소모가 촉진되어 생육이 불량하게 된다(古在豊樹, 1995). 겨울철 시설내의 난방상태에서 토양의 무가운시 지중의 최저온도는 지중 15 cm에서 약 15℃로 나타나 시설오이의 경우 최적지온에 비하면 약 3℃~7℃가 떨어지므로(김, 1998; 김, 1998; 김, 1999). 묘의 활착 증진과 성장촉진을 위해 지온의 상승이 절실하다고 볼 수 있다.

시설내의 지온은 가운하지 않는 경우 지중 40 cm에서는 일일 중 온도 변화가 0.5℃ 미만으로 나타나 온도의 변화가 매우 둔감하다. 또한 근권의 한계 깊이도 일반적으로 10~30 cm이므로, 지중가운용 파이프 내경을 100~120 mm로 사용할 경우, 지중 40 cm를 매설깊이로 주로 설정한다(김, 1998; 김, 1998; 김, 1999). 최근 동절기 시설재배에 지중가운에 의한 증수효과는 약 50% 이상

으로 알려져 있어, 지중가온을 위한 전기료나 난방에너지의 고비용에도 불구하고 보일러 등을 사용한 지중가온을 농가에서 시도하고 있다.

지온은 시설작물의 광합성, 작물의 생육에 영향을 주어 고품질 농산물 및 수량의 증수에 직접적인 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 특히 오이와 같은 과채류는 저온에 비교적 민감한 반응을 나타낸다. 지중의 온도를 적절히 조절하는 것은 토양의 물리적, 화학적 조건과 시설하우스의 형태, 두둑의 형태, 가온방법, 배관의 자재, 에너지 공급방법 등에 따라 크게 달라지고 매우 복잡하므로 토양의 변수와 조건들을 비교적 단순화할 필요가 있다. 시설내의 지온은 가온하지 않는 경우 지중 40 cm에서는 일일 중 온도 변화가 0.5℃ 미만으로 나타나 온도의 변화가 매우 둔감하다(Kim and Kim 2001; kim et al., 2009). 또한 근권의 한계 깊이도 일반적으로 10~30 cm으로 볼 때, 일반적으로 지중 40 cm를 매설깊이로 주로 설정한다(Kim et al., 1998a; kim et al., 1998b; kim et al., 1999; kim et al., 2001; kim et al., 2009).

근권에 적합한 지중가온 온도의 설정과 에너지의 효과에 대한 해석은 복잡하며 따라서 지중가온의 토양온도 특성에 대한 정확한 기초 자료도 부족한 실정이다. 때로는 현장에서 40℃~50℃로 간헐적인 공급을 하거나, 높은 가온수를 공급함으로써 에너지의 손실뿐만 아니라 작물의 뿌리에도 과온 장애를 주게 된다. 특히 작물의 뿌리는 정식이후 계속 성장하기 때문에 근권의 지중 영역에 따른 지중가온이 이루어져야 하므로 생육 중반기 이후에는 지중관수의 효과가 거의 나타나지 않으며 오히려 작물에 해가 되기도 한다(kim et al., 1999; kim et al., 2001).

따라서 본 연구에서는 토양에 유입되는 에너지와 유출되는 에너지, 관의 열전달 특성, 내기온의 변화와 유량, 관의 단면적과 길이 등으로부터 근권의 에너지 관계를 구명하고 근권의 위치에 따른 최적 공급에너지를 산출하여 지

증가온을 통한 근권부의 최적 조건을 달성할 수 있는 에너지 공급 체계를 정립할 필요성이 있으며, 토양에 근권에 최적 온도조건을 25℃로 설정(Lee, 1994; Takahashi, 1983; Terada et al., 1980)하기 위해 지표면 깊이별 온도변화에 대한 기초 자료의 연구와 지중의 적정온도를 인위적으로 조절하기 위해 공급에너지의 설계도 함께 이루어져야 한다. 추가적으로 계산된 공급체계에 의거하여 실제 작물재배시험을 실시하여 그 효과를 구명하고자 하였다.

제 3 장 연구수행 내용 및 결과

제1절 지중변온가온에 따른 깊이별 온도특성

1. 시험장치의 설계

가. 포장의 시험 설계

그림 7은 경북대학교 상주캠퍼스 기계공학과 시험포장(가로×세로=14m×10m)의 지중변온 시스템 개략도를 나타내었으며, 지중변온을 위한 배관은 변온가온구와 무가온구를 각각 3반복, 2반복하도록 설계하였다. 포장 내부의 지중배관은 구당 2개의 두둑으로 모두 12개의 두둑으로 설계하였다. 그림 2와 3에 지중배관의 설비 장면과 지중온도 계측센서 매설 장면을 나타내었다.

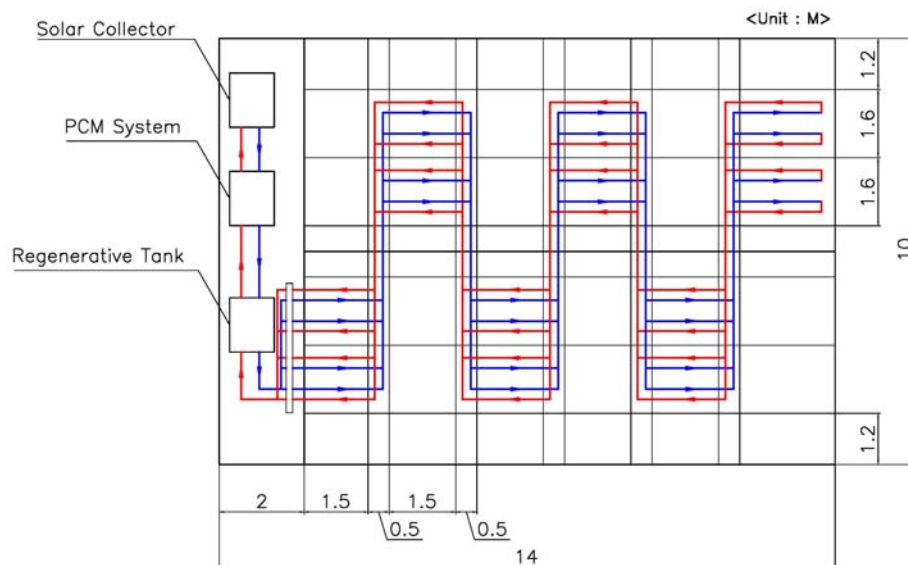


그림 7 지중가온을 위한 포장의 설계



그림 8 파이프의 매설



그림 9 온도센서 설치

그림 10은 현재 겨울철 시설오이 재배방식의 대표적인 식부규격을 나타내고 있으며 두둑을 20cm, 폭을 100cm로 하고 지중에 매설될 가온장치는 지중 40cm 아래에 중앙으로 유입하고 바깥으로 유출시키는 방식으로 설치하였다.

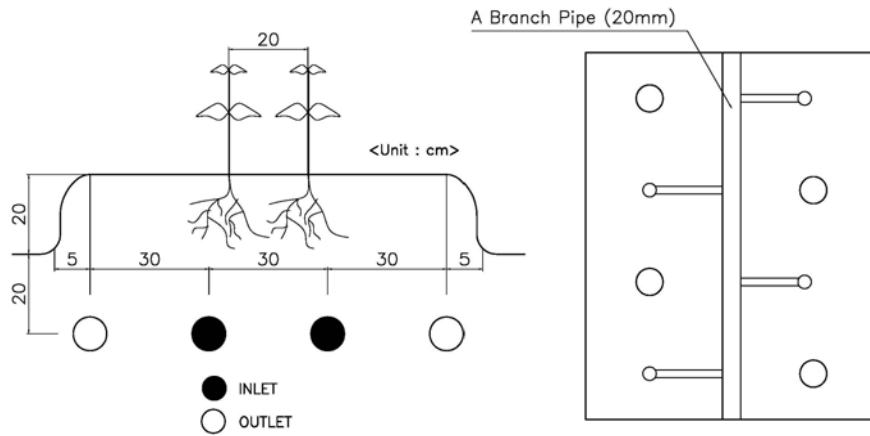


그림 10 일반적 시설오이 재배 배관방식

나. 태양열 축열시스템 구성

1) 진공 집열튜브의 구조

그림 11은 태양열의 축열 모델을 개발하기 위하여 사용한 유리 재질의 진공 관형 집열 튜브의 구조이며, 난방수는 내부의 히트파이프에 의해 급속히 가열되어 축열조와 순환하게 된다. 내부의 흡수용 진공관 튜브에는 난방수가 유입되지 않으므로 동계에도 파손될 위험이 없으며, 외부튜브가 파손되었을 경우에도 계속하여 사용할 수 있는 장점이 있다. 표 9에 진공관형 집열 튜브의 제원을 나타내었다.

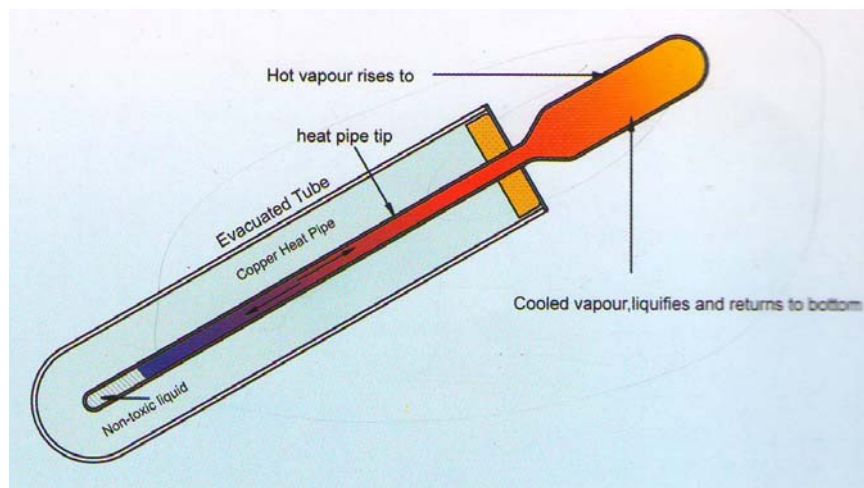


그림 11 진공관형 태양열 집열기의 구조

표 9 진공관형 집열튜브의 제원

항 목	단 위	제 원
글래스 튜브 열팽창계수	1/℃	3.3×10^{-6}
커버튜브 직경	mm	58
흡광튜브 직경	mm	47
커버튜브 투과도	%	90.7
길이	mm	1,800
코팅	-	A1-N/A1 selective surface absorbing
흡광율	%	>90
방사력(Emittance, 80℃)	%	<8
허용압력	Pa	$\leq 5 \times 10^{-3}$
평균 정체온도	℃	>200
열손실계수	W/m ² ℃	≤ 0.85
충격저항	-	Withstand hailstone of 25mm in DIA.
강성	MPa	0.8

2) 진공관형 태양열 집열기의 구성

진공관형 태양열 집열기는 통상적으로 10~30개의 진공관형 집열튜브가 한 세트에 구성되어진다. 2차년도에서는 그림 12와 같이 경북대학교 상주캠퍼스 시험온실(14×10m)에 집열튜브 20개를 한 세트로 구성하여 3세트를 남향 설치하였으며 효율을 극대화하기 위해 지상 2m 높이로 상향 배치하였다. 열손실을 줄이기 위해 축열조는 온실 내부에 설치하도록 하였으며 집열시스템 순환조의 온수 유입부와 출구에 온도센서를 설치하였다. 집열판과 축열조간의 배관 및 팽창탱크, 순환펌프 등을 설치하고 단열하여 최적조건에서 열교환 할 수 있도록 구성하였다.



그림 12 태양열 집열판의 설치



그림 13 축열조 연결부

3) 축열조 및 컨트롤러의 구성

축열조는 그림 14와 같이 온수기준 200ℓ 용량으로 구성하였으며 여기에 잠열축열물질과 열매체유를 보조열원으로 이용할 수 있도록 전기히터를 설치하였다. 각 구성부분과 인입구 및 인출구에는 온도센서를 설치하여 에너지 변화량을 측정할 수 있도록 하였다.

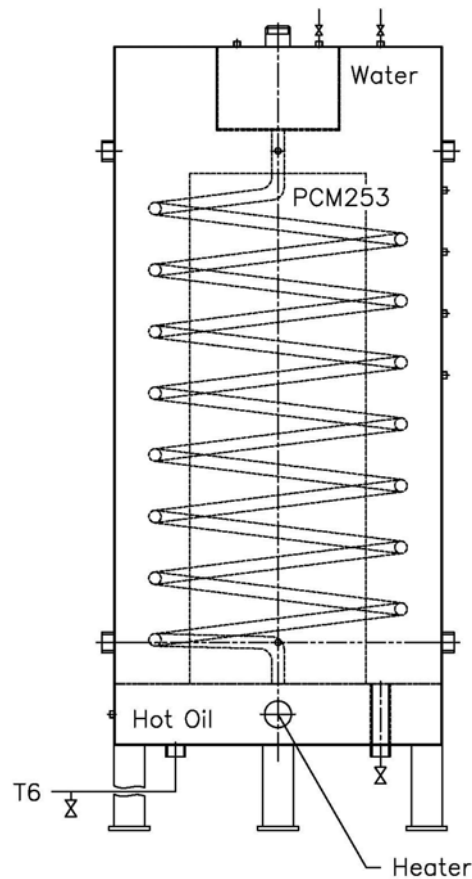


그림 14 축열조의 구조



그림 15 축열조의 설치

태양열 집열판과 축열조의 순환 및 지중가운을 위한 제어, 잠열축열물질 제어를 위한 컨트롤러를 그림 16과 같이 구성하였으며, 가장 최적화된 축열 모델을 개발하기 위해 전력량 및 온수 순환량, 각 부의 온도 등을 계측하였다.

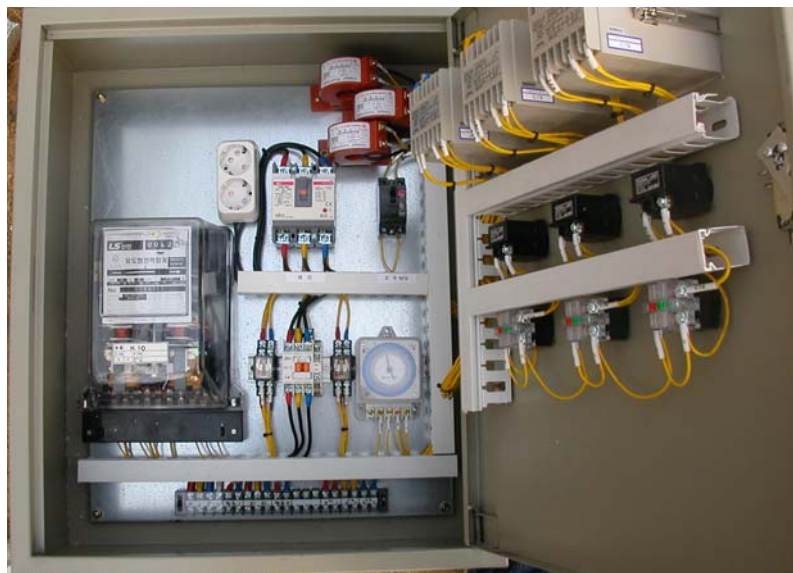


그림 16 열교환 및 지중가운을 위한 컨트롤러

최종적으로 잠열축열물질을 이용한 축열조의 온도변화 및 지중변은 가온규모에 따른 적절한 잠열축열물질의 용량 선정 등을 위해 그림 17과 같이 시스템을 설계하여 구성하였다. 구성요소의 제원은 표 2에 나타내었다.

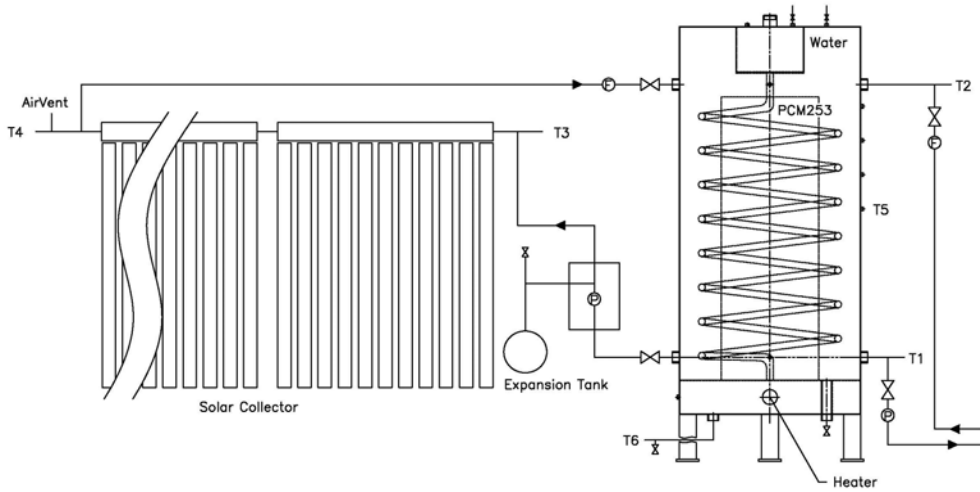


그림 17 시스템 통합 구성도

표 10 태양열 집열판 및 지중가온 성능시험장치의 제원

항 목		단 위	제 원
집열기 (1세트 기준)	집열면적	m ²	2.62
	크기	mm, L×W×H	2,000×1,817×170
	중량	kg	35.20
	집열 튜브	개	20
축열조	용량(온수/PCM/열매체유)	ℓ	200/40/40
	온도센서	-	"T" type 열전대
	태양열 집열판용 순환모터	HP	0.4
	전기히터(봉상)	kW	3
	지중순환용 순환모터	HP	0.6
	잠열축열물질	-	PCM253
	열매체유	-	ISO VG 32
유량계	-	적산식 유량계	

다. 토양의 조건

본 연구에 사용된 토양은 삼각좌표분류법상 Silty sand에 해당하며, 토양의 특성은 표 9와 같다. 그리고 지중가온 시험시 평균 토양함수비는 12.9 %(깊이 15 cm 기준)로 실제 현장의 상태와 비슷하게 비교적 높은 함수비로 설정하여 시험하였다. 이 때 토양수분장력은 9~20 Kpa의 범위로 나타났다.

표 11 시험포장의 토양 특성

Depth(cm)	Soil Classification	Wn(%)	W _L (%)	I _p	G _s	Cu	USCS
15	Silty sand	1.32	42.2	5.95	2.63	70.9	SM

2. 시험방법

가. 태양열 집열기의 성능시험

순수한 진공관형 태양열 집열기의 성능시험을 위해 난방수의 외부 순환은 없도록 하였으며, 200ℓ 용량의 축열조를 설치하고 순환용 모터를 이용하여 집열기와 축열조 사이만 난방수를 순환하도록 하여 축열조의 온도변화 여부를 시험하였다. 온도 측정은 축열조 내부에 삽입된 온도센서 및 외기온 측정용 온도계를 이용하였으며, 자료의 수집은 데이터로거(Agilent 34970A)를 이용하였다. 시험은 하계(8월 중), 동계(1월 중) 중 맑은 날, 흐린 날, 비오는 날로 나뉘어 측정하였으며 초기 동작하여 축열조의 온도가 상승되는 기간은 제외하였다.

나. 깊이별 온도특성 시험조건

표 12 시험조건

Item	Conditions
Measurement of Temperature on warming by depth	Depth 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35cm, 3 repetitions
Measurement of Temperature on non-warming by depth	Depth 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35cm, 2 repetitions
Loss of energy by Length	Total piping length 75m, at 7m intervals
Extra warming equipment	Water heater (400ℓ)
Heater for air	HANA Industry Seba-120A, 12kW
Image, Chart monitoring	realtime measurement & monitoring
SCADA system	Wizcon 7.02. SCADA
Industrial Computer	32 Bits Industrial Computer Set, 12 Slots
Interface Card	AX5232×4sheets

다. 온도 계측시스템의 설계

온도계측을 위해 사용된 시스템은 온도계측용 인터페이스(AX5232, AXIOM) 4장을 12-Slot용 산업용 컴퓨터(AX6150A, AXIOM)에 설치하고, RS232C를 통하여 시스템 컴퓨터에 입력되도록 하였다. AX5232는 총 128 Points의 온도와 전압을 계측할 수 있으나, 본 실험에서는 75 Points를 계측하였다. Board상에서 영점보상(Cold junction compensation)과 12 bit의 분해능, Sample비 100 MHz의 성능을 가지고 있다. 그리고 계측을 위한 프로그램은 그림 6과 같이 SCADA방식의 Wizcon 7.02(PCSOFT 사)를 사용하였다. 또한 시스템 전체의 관리와 온도변화를 측정 및 기록하는 스테이션은 586컴퓨터를 사용하였으며, T-type 열전대로 측정된 자료를 AX5232 컨버터를 통하여 산업용 컴퓨터(MODICON)에서 일시 기억후 RS-232C 직렬 통신케이블을 통하여 시스템 컨트롤 스테이션에 실시간으로 기록되도록 하였다.

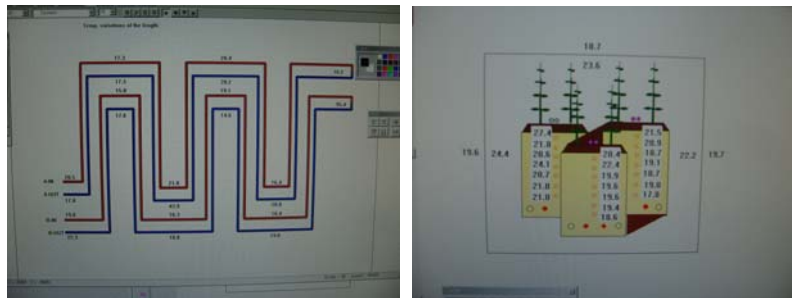


Fig. 18 지중가온 및 무가온 온도측정시스템

라. 온도 계측점 설계

표 13은 지중변온 시스템의 온도 계측을 위한 위치 설정을 나타내었다. 총 계측점의 수는 75 points이며, 태양열 집열판과 축열조 등의 유입구 및 유출구에 계측점을 설계하였고 가장 중요한 지온의 계측은 깊이 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 cm 의 7위치를 3반복 계측하였으며, 가온을 하지 않은 무가온구의

지온을 같은 방법으로 2반복 14 points 계측하였다. 토양의 열전도 손실에 대한 단위 길이 당 변화를 구하기 위해 전체 배관의 길이별로 11 points을 2반복하도록 설계하였다.

표 13 온도계측점 설계

Measuring position	Collector	Temp.(Air)	PCM	Regenerative Tank
The Number	2×2=4	3×2=6	2×2=4	2×2=4
Soil Temp.		Temp by pipe length	Total	
Fluctuation	No fluctuation			
7×3=21	7×2=14	11×2=22	75	

3. 결과 및 고찰

가. 환경조건

시설재배의 태양열 에너지의 활용은 그 지역의 년 평균 일사량과 온도가 매우 중요하다. 우리나라 연간 평균 일사량은 $4,675 \text{ MJ/m}^2$ 로써 일사량이 매우 풍부하며, 그림 7에 상주 인근의 추풍령, 문경, 안동 지역의 1970~2000년까지의 일일 평균 일사량을 월별로 나타내었다. 상주지역은 일사량이 측정되지 않는 관계로 이 세지역의 통계 자료를 활용하였으며, 일사량은 5월이 가장 높고 12월과 1월이 가장 낮은 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 동절기 시설재배를 기준으로 할 때, 10월 하순부터 2월 하순까지의 일사량이 중요하므로 10월 하순부터 2월 하순까지의 평균치를 활용하고자 하였다. 일사량의 평균치는 10월 13.36 MJ/m^2 , 11월 10.22 MJ/m^2 , 12월 9.0 MJ/m^2 , 1월 13.0 MJ/m^2 , 2월 16.2 MJ/m^2 로써 시설오이를 기준으로 할 때, 정식이후 동절기 사용가능한 약 5개월의 일사량의 평균치는 12.36 MJ/m^2 로 나타났다.

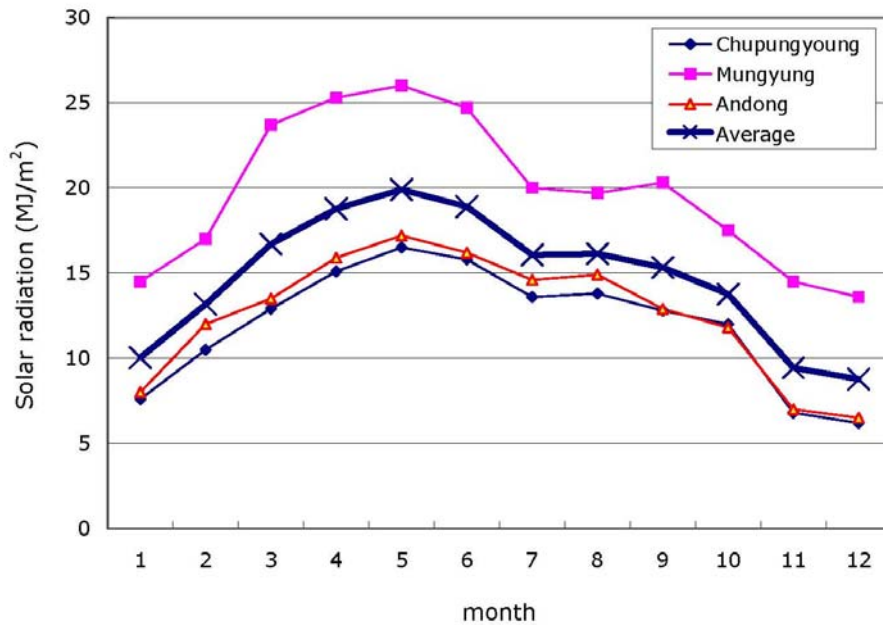


그림 19 상주 인근의 일사량 분포

표 14 경북 상주시의 평균기온

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
2002	0.4	2.3	8.4	13.7	17.6	21.8	25.3	24.1	19.8	12.1	4.0	1.7
2003	-2.1	2.0	6.2	12.9	17.9	21.6	22.2	23.7	20.5	12.8	8.7	2.1
2004	-1.0	2.5	6.6	14.2	18.2	22.4	25.8	24.6	20.0	13.1	8.0	1.8
2005	-1.5	-1.3	5.3	13.9	18.0	23.2	25.2	24.6	20.7	13.3	7.6	-2.6
2006	0.2	0.8	6.2	11.9	18.4	22.6	22.8	26.3	18.2	15.8	7.6	0.5
2007	0.5	3.4	6.2	12.0	18.1	21.7	22.7	25.7				
Mean	-0.58	1.62	6.48	13.10	18.03	22.22	24.00	24.83	19.84	13.42	7.18	0.70

또한, 상주시의 평균온도는 12월과 1월이 가장 낮고, 11월과 3월은 비슷한 온도를 나타내고 있다. 시설오이의 동절기 재배 기간인 11월에서 다음해 3월을 기준으로 할 때, 시설하우스의 지상부 난방은 11월부터 야간을 중심으로

부분적으로 이루어지며, 지상부의 영향을 받는 지중의 깊이는 약 15~20 cm 까지로 나타난다. 따라서 시설오이의 초기 생육시기인 11월은 근권이 깊지 않기 때문에 지상부의 난방 영향이 지중가온의 영향보다 더 중요하지만 생육 초기인 11월 하순에서 12월 초순은 토양 40 cm 아래에서 열이 지표면으로 전도 되기 위해서 많은 에너지가 소요되어야 한다.

나. 태양열집열기의 성능시험

그림 20~22는 하계에, 그림 23~25는 동계에 맑은 날과 비오는 날, 흐린 날이 연속되어진 일자를 기준으로 하여 외기온과 축열조의 온도변화 관계를 나타낸 그래프이다. 진공관형 집열기에 의한 축열조의 온도는 일조량이 많은 날 일수록 유의적으로 높아졌고, 일사량이 많은 날일수록 꾸준히 순환수의 온도가 증가하는 경향을 나타내었으며 태양광이 없는 시간대에서도 온도편차는 크게 나타나지 않았다. 이러한 결과를 토대로 충분히 태양광에 의한 축열조의 온도상승 및 유지 관계를 이용하여 지중 변온 가온 시스템에 일부 적용할 수 있을 것으로 판단되었다.

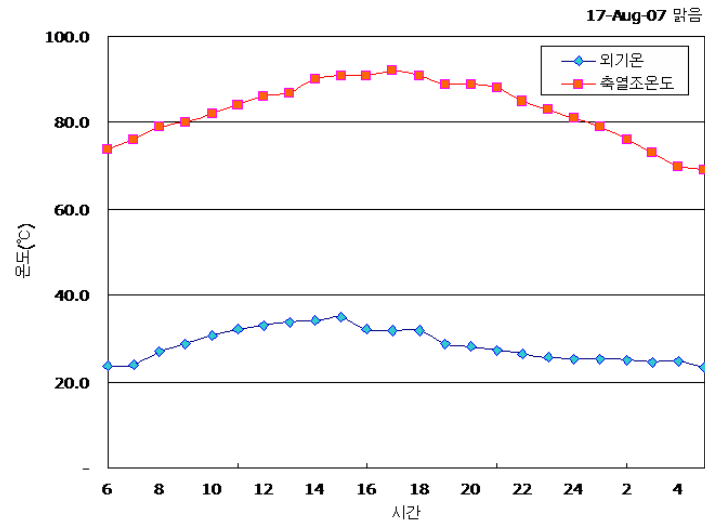


그림 20 하계 맑은 날의 축열조 온도변화

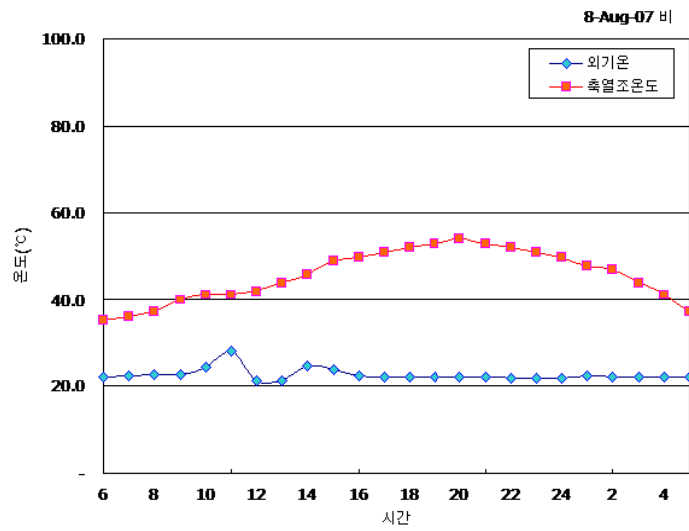


그림 21 하계 비오는 날의 축열조 온도변화

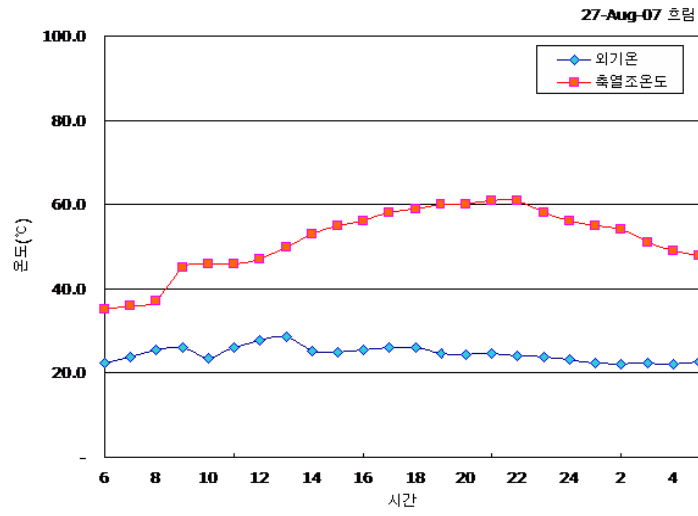


그림 22 하계 흐린 날의 축열조 온도변화

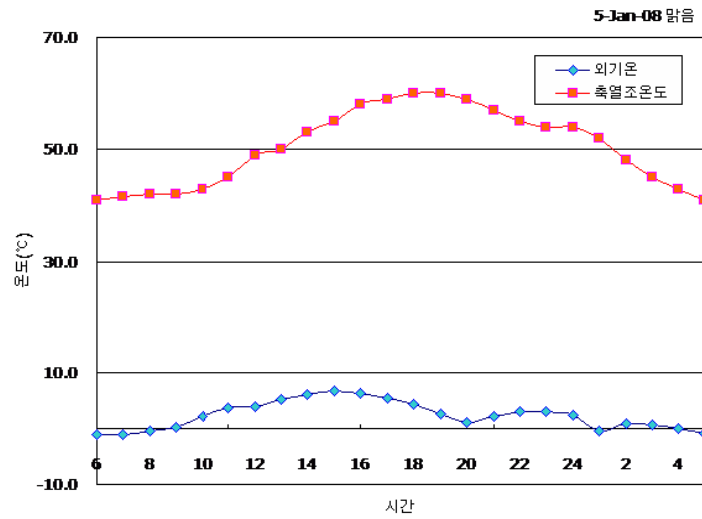


그림 23 동계 맑은 날의 축열조 온도변화

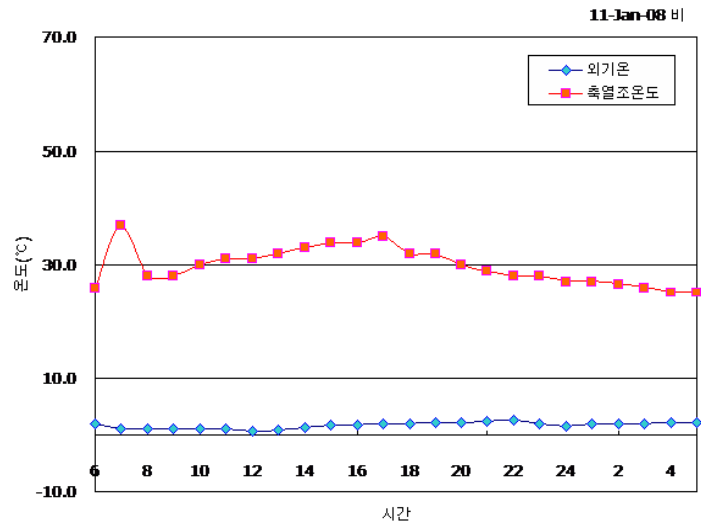


그림 24 동계 비오는 날의 축열조 온도변화

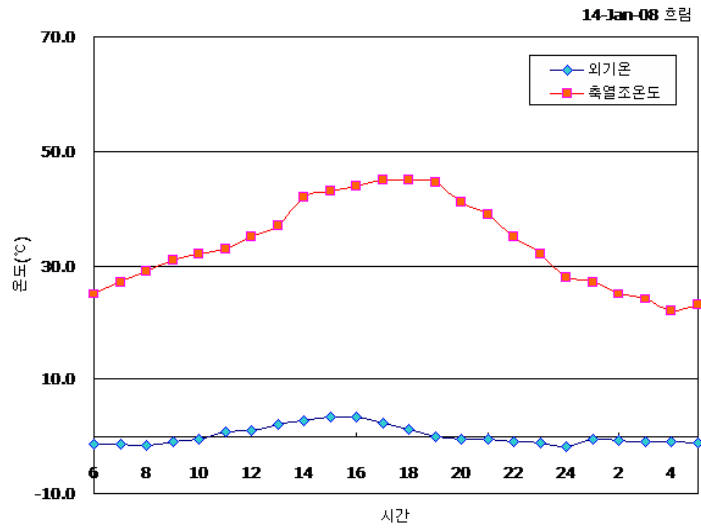


그림 25 동계 흐린 날의 축열조 온도변화

다. 외기온과 내기온의 계측

2008년 12월 6일과 7일의 외기온과 내기온의 계측된 데이터는 그림 26, 27과 같다. 외기온(T1_1, T1_2, T1_3)은 시험포장의 남, 서, 북쪽의 3지점에서 지상 1.5 m의 위치에 설치하였으며, 내기온(T1_4, T1_5, T1_6)은 중앙 단면에 1.5m의 높이에 3지점을 선택하여 계측하였다. 외기온과 내기온의 센서 간에는 큰 차이를 나타내지 않았으며 2008년 12월은 비교적 날씨가 따뜻한 편이었으나 계측된 시험시간에는 전형적인 겨울의 일교차를 보여주었다. 외기온은 오전 6시 경에 가장 낮은 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, 주간에는 오후 2시 경에 가장 높은 $3\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 나타났고, 내기온은 외기온의 경향과 거의 같은 온도 변화를 보여주며 오후 2시경에 약 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$, 야간에는 오전 6시경에 $0\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 정도로 가장 낮게 나타났다. 그러나 포장 내부는 온풍기를 가동하여 최저온도가 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이상을 유지하도록 하였다.

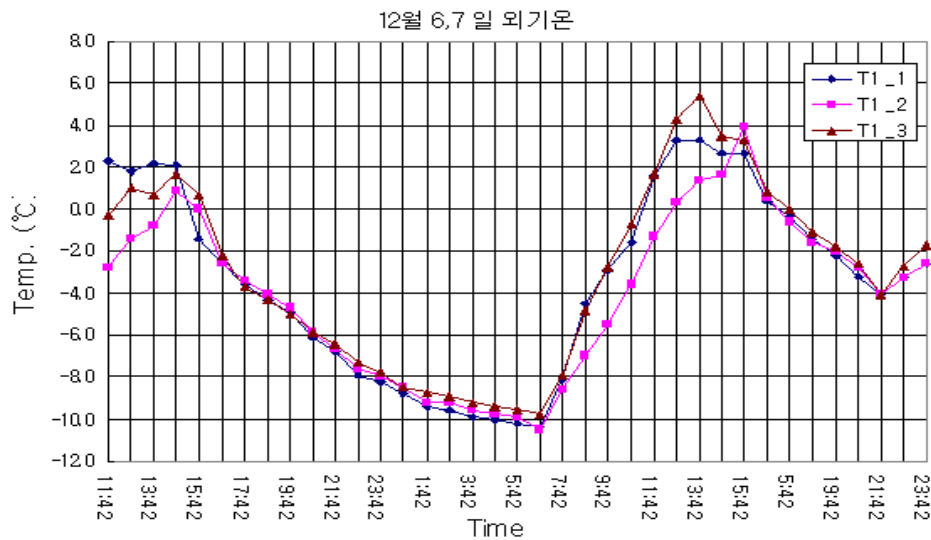


그림 26 온실의 외기온 변화 (2008.12.6~7)

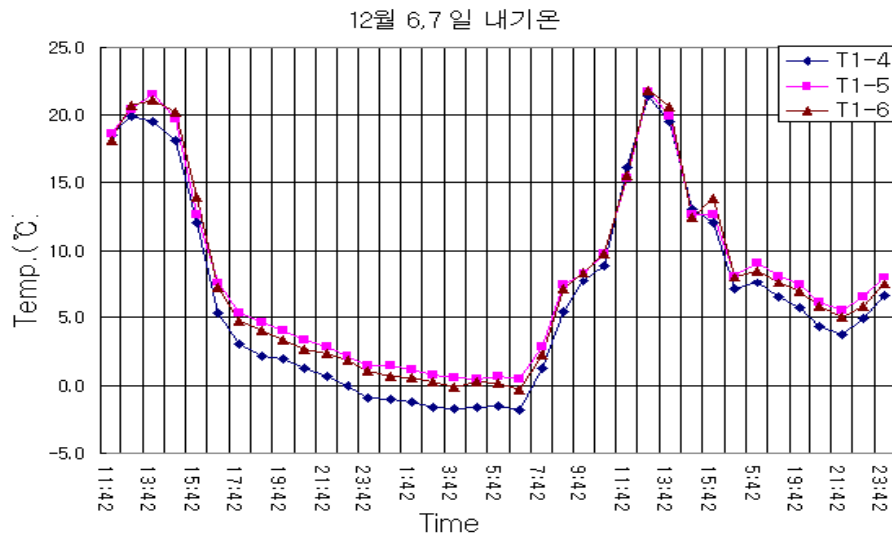


그림 27 온실의 내기온 변화 (2008.12.6~7)

라. 변온가온구의 깊이별 온도변화

그림 28은 공급수의 온도를 25°C로 하고, 지중 40cm에 위치한 배관에 오전 12시부터 오후 4시까지 총 5.500 l (1.380 l/hr)를 하루 공급하였을 때, 지중 깊이별 지온의 변화를 나타내고 있다. 시험포장의 내기온이 약 20°C인 상태에서 지표면 5cm의 지온은 약 18°C로 나타나 내기온의 영향을 크게 받고 있었으며, 지표면 10cm에서는 약 14°C로써 약 4°C가 낮게 나타났다. 또한 지표면 15cm에서는 12°C정도로 내기온의 영향을 적게 받는 것으로 나타나 지중 가온의 영향도 적게 받는 것으로 나타났다. 지중가온의 영향을 많이 받는 지점은 지표면 25cm, 30cm, 35cm에서 가장 크게 나타났으며 무가온 상태보다 약 2°C 정도 높게 가온이 되었다. 이것은 근권이 최소한 25 cm이상 성장하면 지중가온의 효과가 나타날 수 있음을 보여주고 있다.

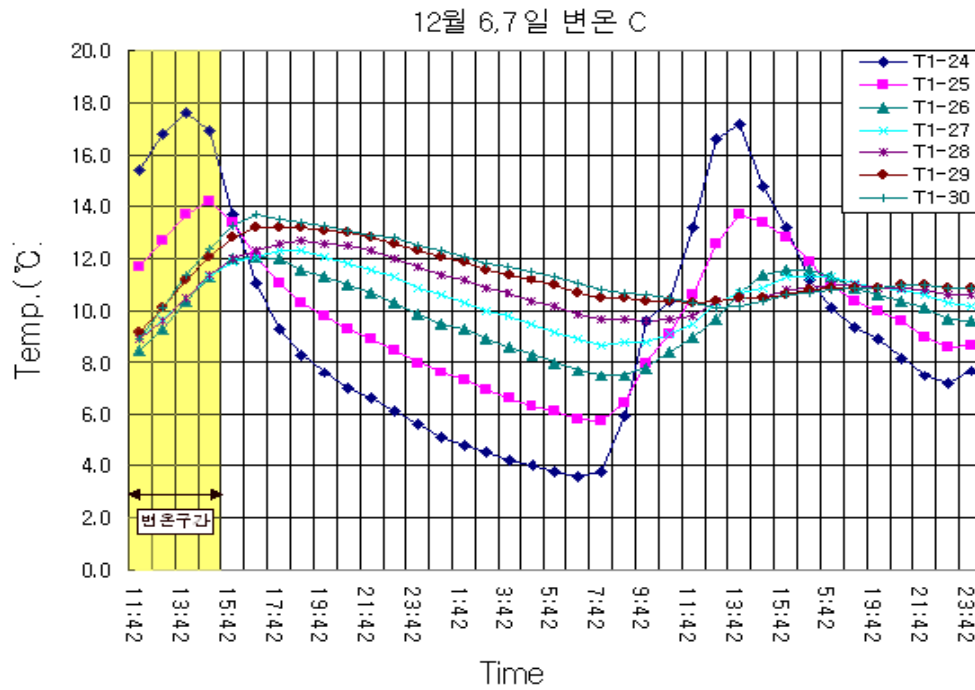


그림 28 가운데구의 깊이별 온도변화(2008.12.6~7)

그림 29는 12월 11일, 12일 오전 9시부터 오후 2시까지 4시간 공급수 온도를 25°C로 하고, 5,500 ℓ (1.380 ℓ/hr)을 2회 공급하였을 때, 지온의 변화를 나타내고 있다. 그림에서와 같이 지표면 5cm, 10cm의 지온은 하우스 내기온의 영향을 크게 받지만 15cm이하에서는 공급수의 온도 영향을 받는 것을 알 수 있다. 또한 지중 20cm 이하에서는 지중가온의 효과가 잘 나타나며 약 15°C까지 상승하는 것으로 나타났다.

12월 11,12 일 변온C

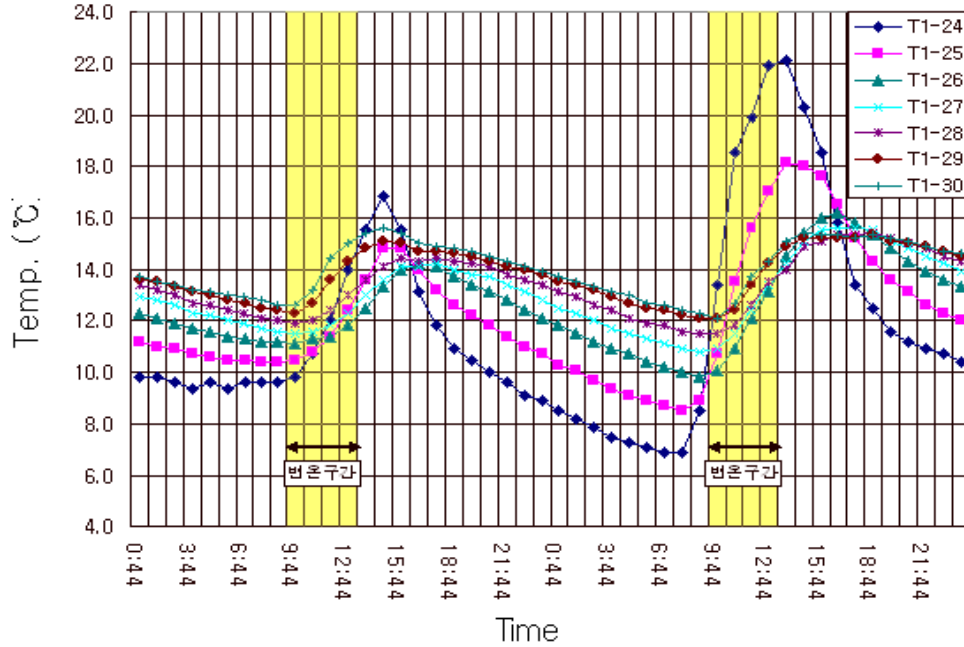


그림 29 가운데구의 깊이별 온도변화(2008.12.11~12)

마. 무가온구의 깊이별 온도변화

무가온구의 깊이별 지온의 변화는 그림 30과 같이 나타났다. 지표면 5cm인 T2_1에서는 포장 내기온의 영향을 가장 많이 받고 있으며, 지표면 10cm인 T2_2, 지표면 15cm인 T2_3순으로 영향을 받고 있다. 지표면의 지온이 가장 높은 시간은 약 3시 30분경이었으며 내기온이 가장 높게 나타난 것은 그림 12와 같이 2시 30분경이므로 지표면 10cm까지는 약 1시간의 전도시간이 소요되는 것으로 나타났다. 또한 내기온이 20°C에서 지표면 5cm의 온도는 15°C로 나타나 가운데구에 비해 3°C 정도 적은 것을 알 수 있었다. 따라서 지중가온의 효과는 지표면 5cm, 10cm 까지 무기온구에 비해 2~3°C 큰 것을 보여주고 있다. 그러나 지표면 15cm이하로 내려갈수록 열전달 시간이 지연되고 20cm이하에서는 전체적으로 10°C를 유지하여 하우스 내기온의 영향이 거의 나타나지 않

왔다. 또한 가운데구에 비해 20cm이하에서도 1~3℃ 정도 낮게 나타났다. 따라서 시설작물의 근권이 20cm이상 내려가면 내기온의 영향이 미미하므로 지중가온이 필요한 것을 알 수 있다.

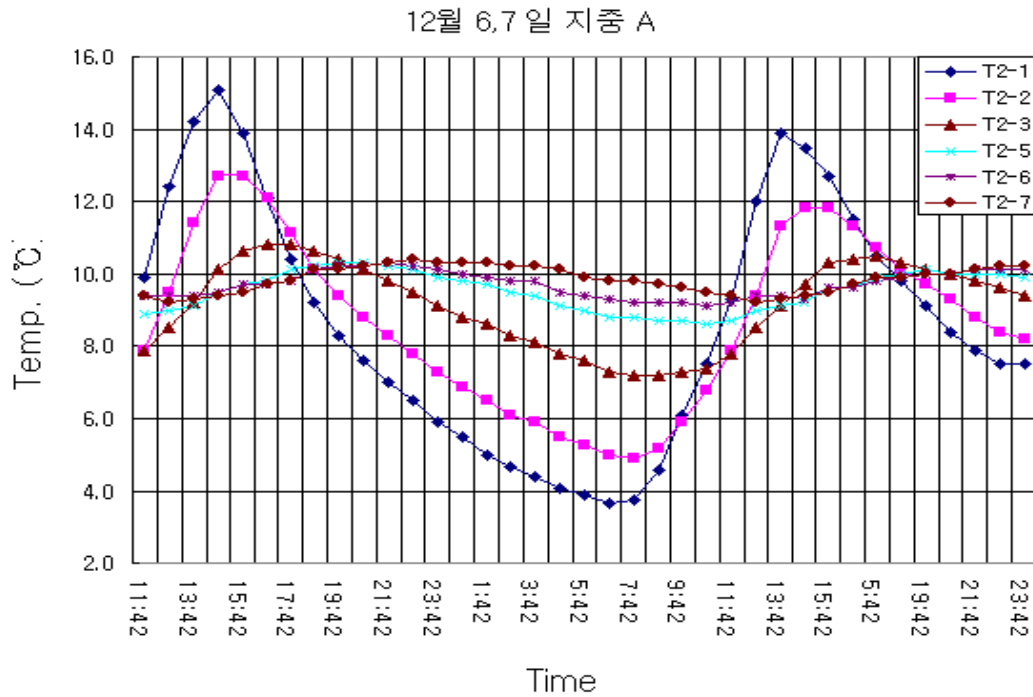


그림 30 무가온구의 깊이별 온도변화(2008.12.6~7)

그림 31은 12월 11일~12일 무가온구의 지온 변화를 나타내고 있다. 무가온구의 지온은 15cm까지는 하우스 내기온의 영향을 받는 것으로 나타났으나 20cm 이하에서는 11~12℃로 변화가 없는 것을 알 수 있었다. 따라서 근권의 적정 온도를 기준으로 약 6~8℃ 가온이 필요한 것으로 사료되었다.

12월 11,12 일 지중 A

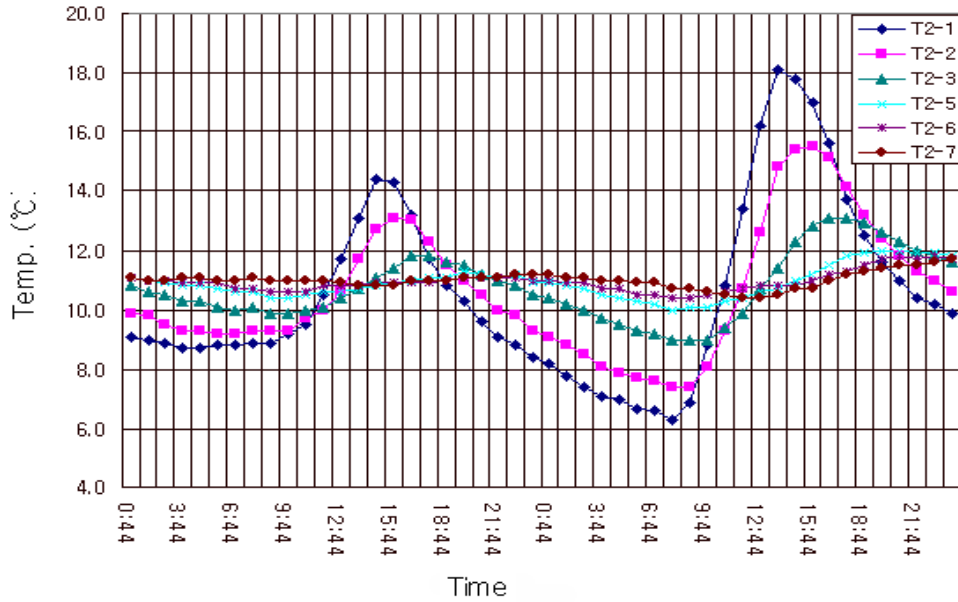


그림 31 무가온구의 깊이별 온도변화(2008.12.11~12)

바. 변온가온구와 무가온구의 깊이별 온도특성

지중가온을 2008년 12월 6일 12:00부터 16:00까지 4시간 공급한 후, 종료 시점의 깊이별 변온가온구와 무가온구의 온도특성은 그림 32와 같다. 그림에서와 같이 변온가온구는 깊이 15~25cm까지는 약 12°C이었으며, 깊이가 깊어질수록 온도가 상승하여 약 13.4°C까지 상승하였다. 지표면 15cm까지는 하우스 내기온의 영향과 지중가온의 영향을 모두 받는 것을 알 수 있었다. 반면에 무가온구의 깊이별 온도의 변화는 내기온의 영향을 받는 지표면에서는 비교적 높았으나 지표면 35cm까지 갈수록 계속 내려가는 모습을 보여주고 있다. 따라서 변온가온구와 무가온구는 지표면 35cm에서는 약 4°C까지 차이를 보이고 있다. 이것은 시설작물의 근권 위치가 지표면 15cm이하로 내려가는 생육 3주 이후에는 큰 차이를 나타낼 수 있음을 보여주고 있다.

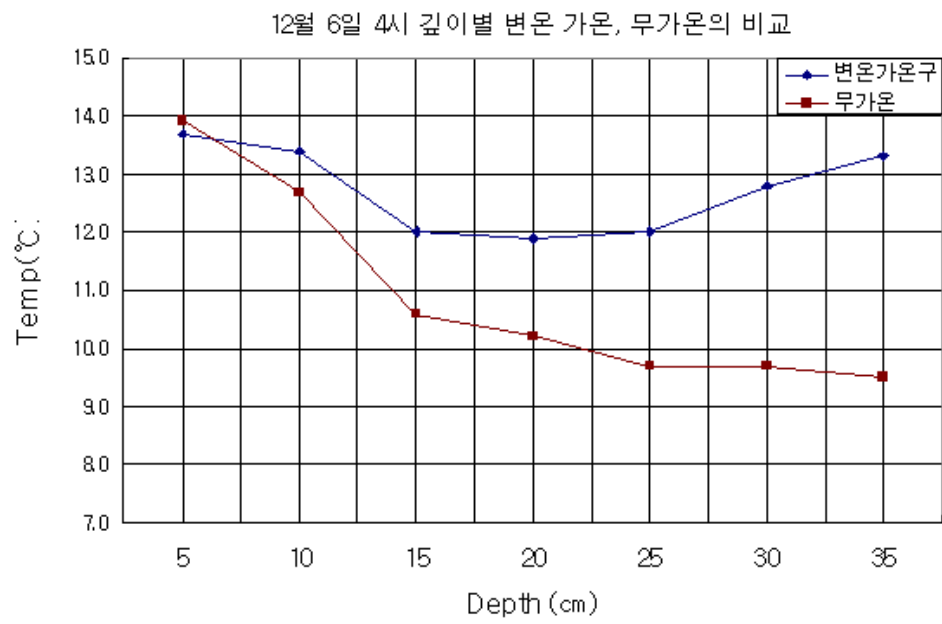


그림 32 변온가온구와 무가온구의 온도특성 비교(2008.12.6~7)

제2절 지중변온가온의 단위면적당 소요에너지 분석

1. 시험방법

가. 온도 및 토양수분 장력의 계측

온도계측은 그림 33과 같이 SCADA방식의 Wizcon 7.02(PCSOFT, Israel)를 사용하였다. 또한 시스템 전체의 관리와 온도변화를 측정 및 기록하는 스테이션은 586컴퓨터를 사용하였으며, T-type 열전대로 측정된 자료를 AX5232(AXIOM, Taiwan) 컨버터를 통하여 산업용 컴퓨터(MODICON, IBM, Korea)에서 일시 기억후 RS-232C 직렬 통신케이블을 통하여 시스템 컨트롤 스테이션에 실시간(Real time) 기록되도록 설계하였다. 그리고 지중가온 시험시 평균 토양함수비는 12.9 %(깊이 15 cm 기준)로 실제 현장의 상태와 비슷하게 비교적 높은 함수비로 설정하여 시험하였다. 이 때 토양수분장력은 9~20 Kpa의 범위로 나타났다.

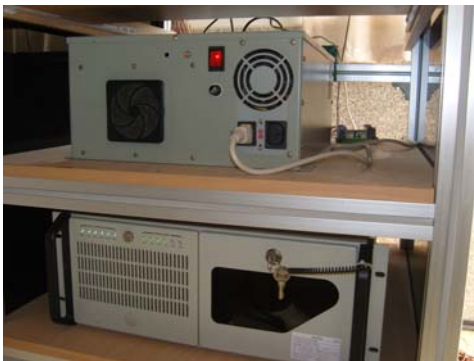


그림 33 지온의 계측장치



그림 34 토양의 장력 계측

나. 온도 계측점 설계

표 15는 총 계측점의 수를 75 points로 하여 태양열 집열판의 유입구 및

유출구 온도 계측을 2반복, 잠축열장치의 유입구 및 유출구 온도 계측을 2반복하며, 또한 축열조의 유입구 및 유출구 온도를 각각 2반복으로 설계하였다. 지온의 계측은 깊이 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 cm 의 7위치를 3반복 계측하였으며, 가온을 하지 않은 무가온구의 지온을 같은 방법으로 2반복 14 points 계측하였다. 토양의 열전도 손실에 대한 단위 길이 당 변화를 구하기 위해 전체 배관의 길이별로 11 points을 2반복하도록 설계하였다.

표 15 온도계측점 설계2

Items	Collector	Temp.(Air)	PCM	Regenerative Tank
Points	2×2=4	3×2=6	2×2=4	2×2=4
Soil Temp.		Temp by pipe length	Total	
Fluctuation	No fluctuation			
7×3=21	7×2=14	11×2=22	75	

다. 공급수온 및 공급에너지

공급수 온도를 25℃로 설정하고 공급시간을 2008년 12월 6일 12시부터 오후 4시까지 4시간 공급하였다. 4시간 동안 공급된 수량은 총 5,500 ℓ이었다. 따라서 시간 당 1,380 ℓ/hr가 공급되었으며, 지중가온 전체면적 60m²에 대해 시간당 단위면적당 23 ℓ/hr·m²가 공급되었다.

라. 태양열 집열판의 부담용량 산출

태양열 집열판의 부담용량 산출을 위해 상기와 같이 온도의 계측과 더불어 적산전력량계를 설치하여 잠열축열물질의 온도 제어를 위한 히터의 소모전력을 측정하였다. 태양열 축열시스템의 제어는 별도로 부착된 컨트롤 패널을 통해 축열조의 온도제어와 잠열축열물질의 온도제어, 지중 공급수의 온도제어로

구분되어진다.

축열조의 온도는 설정온도를 기준으로 작동 및 정지를 반복하도록 되어 있으나 집열판의 효율 산출을 위해 집열용 순환펌프는 지속적으로 작동하도록 하였으며, 잠열축열물질의 온도는 100℃가 유지되도록 히터의 동작과 정지를 반복하도록 하였다.

태양열 에너지는 일중 일사량에 비례하며 동절기의 지중가온을 위한 에너지의 총합은 태양열 시스템의 효율과 일사량에 좌우하므로 동절기 태양열 시스템의 효율분석은 상주지역의 평균온도와 수평면 일사량과 유사한 기후조건을 나타내는 날짜를 선택하여 이를 표본일로 분석하였다.

2. 결과 및 고찰











가. 소요에너지의 이론적 설계

소요되는 에너지 분석 시험을 하기에 앞서 종래의 연구결과를 토대로 이론적인 에너지를 분석하여 시험결과와 비교분석하였다.

1) 기존의 연구결과에 의한 에너지 추정

종전의 연구에서는 시설하우스 280.5m² 에서 가온관 65m일 경우, 적정온도 20~22℃(15~20 cm)를 유지하기 위해 28℃를 연속적으로 공급하였다. 이때 유입구 온도와 유출구 온도의 차가 약 1.1℃로 나타났다. 본 연구의 시허포장 140m² 에서는 가온관의 길이가 75 m로 설계하였을 때 거의 유사한 형태로 에너지가 소요될 것으로 추정된다.

표 16 시설오이의 생육시기별 에너지 투입 방안(1)

생육일수	근권 (cm)	에너지투여계획		평균 투여 에너지 (kcal/m ² .day)
14일 (2주)	10-15	종전		470
		계획	 20~25%	94~118
14일 (2주)	15-25	종전		470
		계획	 15~20%	71~94
14일 (2주)	20-30	종전		470
		계획	 10~15%	47~71
14일 (2주)	25-40	종전		470
		계획	 5~10%	24~47
14일 (2주)	30-50	종전		470
		계획		
14일 (2주)	40-60	종전		470
		계획		

2) 지중변온시스템의 단위면적당 소요에너지 설계

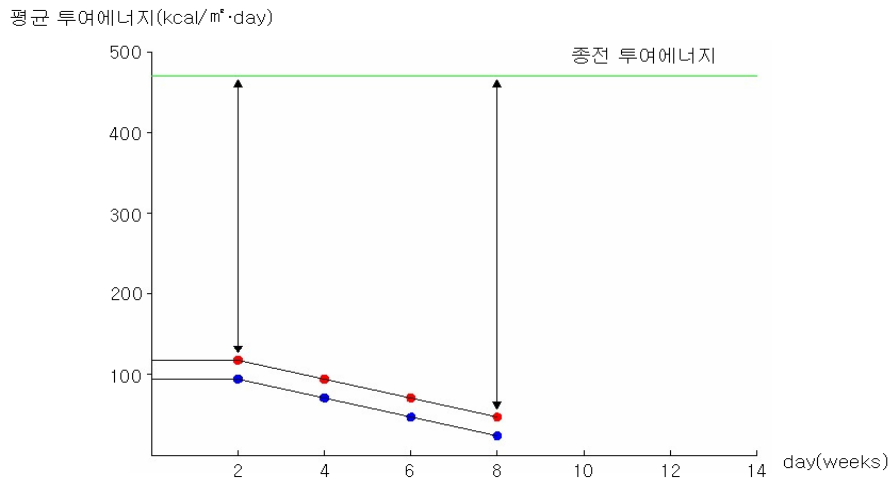


그림 35 시설오이의 생육시기별 에너지 투입 방안(2)

그림 35와 같이 시설오이의 정식이후 11월부터 1월말까지 3달간의 소요에너지 투입 방안을 설계하였다. 3달간 소요되는 총전 투입 총 에너지는

$$470 \text{ [kcal/m}^2 \cdot \text{day]} \times 30\text{일} \times 3\text{달} = 42,300 \text{ [kcal/m}^2 \cdot \text{]} \text{ 이며,}$$

생육시기별 근권의 성장에 따른 변온 에너지 투입량은

$$106 \text{ [kcal/m}^2 \cdot \text{day]} \times 15\text{일} = 1,590 \text{ [kcal/m}^2 \cdot \text{]}$$

$$83 \text{ [kcal/m}^2 \cdot \text{day]} \times 15\text{일} = 1,245 \text{ [kcal/m}^2 \cdot \text{]}$$

$$59 \text{ [kcal/m}^2 \cdot \text{day]} \times 15\text{일} = 885 \text{ [kcal/m}^2 \cdot \text{]}$$

$$36 \text{ [kcal/m}^2 \cdot \text{day]} \times 15\text{일} = 540 \text{ [kcal/m}^2 \cdot \text{]}$$

으로 총 2달간만 에너지를 투입하는 것으로 설계한다.

따라서 총 에너지 투입량은 4,260 [kcal/m²] 로써 총전의 에너지 투입량의 10%로 판단된다. 그러나 근권의 성장에 따른 에너지 투입량이 최대로 소요되는 정식 이후 약 2주간의 변온 에너지 투입량을 기준으로 설계되어야 함으로

공급에너지를 1,590 [kcal/m²] 이상으로 설계할 필요가 있다.

3) 단위면적당 태양열 집열판의 설계

종전의 태양열 집열판은 총 재배면적은 280.5m²이며, 평판형으로 집열판면적 27.6m², 총 열량은 37,012 kcal/day를 나타내었다. 지중변온을 위한 새로운 설계에서는 140m²의 재배면적을 기준으로 일일 단위면적당 에너지 [kcal/m² · day] 가 109~126 [kcal/m² · day] 으로 설계하였다. 따라서 설계의 기준은 118 [kcal/m² · day] 로 설계하고자 한다. 또한 새로운 시스템에 적용할 태양열 집열판은 진공관식으로 설계하여 효율성을 높이고자 하였다.

재배면적 140 m²의 집열판 설계

$$118 \text{ [kcal/m}^2 \cdot \text{day]} \times 140 = 16,520 \text{ [kcal/day]}$$

$$16,520 \text{ [kcal/day]} / 3,250 = 5.08 \text{ 장} \approx 5 \text{ 장}$$

표 9 진공관식의 집열판 형식에 따른 집열량

집열판 형식	흡수면적 [m ²]	집열량 [kcal/m ² · day]	총집열량 [kcal/day]	실제 집열량	효율 (%)
T258/ 1800-20R	2.62(1장)	2,143.55	11,230(2장)	6,500 (2장)	58

T258/1800-20R 진공관식 집열판의 일일 총집열량은 11,230 [kcal/day] 로 나타났으나 실제 계측된 에너지로부터 효율을 환산하면 약 58%의 효율로 나타났다. 따라서 실제 집열량을 기준으로 지중변온 에너지 활용계획으로 시험하였다.

4) 진공관식 집열판의 설계에 따른 주간별 에너지 부담률

변온기술을 이용한 지중가온 방식에서 이론 설계에 따른 재배면적 140m²은

5장을 설계할 경우에는 초기부터 거의 100% 이상을 부담할 수 있다. 그러나 설비비용이 많은 부담이 될 수 있어 가능하면 집열판을 줄이고자 한다. 따라서 3장으로 설계하면 11월 생육 4주간은 다소 부족하지만 그 이후에는 100%를 부담할 수 있는 것으로 판단된다. 그러나 실용적인 측면에서 고려할 때, 잠축열장치에서 야간의 심야전기를 이용하여 태양열 집열판의 부족한 에너지를 보충하는 방법을 구사할 필요가 있다. 최소의 집열판을 사용하는 방법으로는 집열판 2장을 설치하고 잠축열 시스템에서 심야전기를 활용하여 부족한 에너지를 충당시키는 방법을 제안하고자 한다.

표 18 지중변은 기술에 의한 재배면적 140m²의 진공관식 집열판의 설계

주간별	소요에너지 [kcal/day]	16,250 [kcal/day] (5장) 설계시(%)	9,750 [kcal/day] (3장) 설계시(%)	6,500kcal/day] (2장) 설계시(%)
2주 (~11월 15일)	16,520	98	59	39
2주 (~11월 30일)	12,849	126	76	51
2주 (~12월 15일)	9,178	177	106	71
2주 (~12월 30일)	5,507	295	177	118
2주 (~1월 15일)	0	-	-	-
2주 (~1월 30일)	0	-	-	-

표 19 재배 기간별 소요에너지 분석

주간별	소요에너지 [kcal/day]	6,500 [kcal/day] (2장) 설계시(%)	잠축열장치 심야전기 [kcal/day]
2주(~11월 15일)	16,520	39	10,020
2주(~11월 30일)	12,849	51	6,349
2주(~12월 15일)	9,178	71	2,678
2주(~12월 30일)	5,507	118	-
2주(~1월 15일)	0	-	-
2주(~1월 30일)	0	-	-

나. 단위시간당 면적당 유입열량(kcal/hr · m²)에 따른 배관의 온도 변화

배관의 총 길이 70 m에 9개의 계측점을 설정하여 약 7 m당 온도를 계측하였다. 공급수 온도를 25℃로 설정하여 4시간 공급한 결과는 그림 36과 같이 나타났다. 무가온 상태인 12월 7일 2시를 기준으로 할 때, 배관의 길이별 온도가 10~12℃이었으며 가온상태인 12월 6일 오후 2시에는 19~22.5℃로 높게 나타났다. 지중가온을 시작한 후 배관의 온도는 바로 상승하였으며, 길이별 유입구와 유출구의 온도변화는 2~3℃(평균 2.5℃) 차이가 났다. 따라서 지중가온에 소요된 단위시간당 유입열량(kcal/hr)은 식(1)과 같이 나타나며 나머지 가온구에 3,450 kcal/hr가 소요되었다.

$$Q = c \times q \times \Delta T \quad (1)$$

Where, Q : Quantity of inlet heat per unit (kcal/min)

c : Specific heat (1 cal/g℃)

q : Discharge of inlet (ℓ/min)

ΔT : Temperature difference of inlet and outlet position (℃)

따라서 단위면적당 유입열량은 57,5 kcal/hr · m²가 된다.

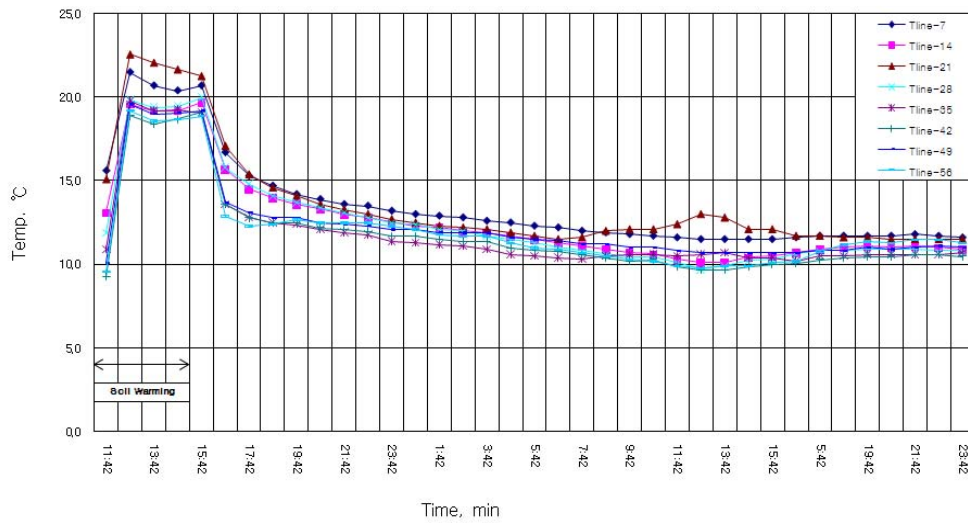


그림 36 지중가온의 경우 배관에 따른 지온의 변화(2008.12.6~7)

다. 변온가온구와 무가온구의 깊이별 온도변화 (0~15cm)

변온가온구와 무가온구의 지표면 0~15 cm 까지 온도변화는 그림 37과 같이 계측되었다. 그림에서와 같이 단위면적당 유입열량을 57,5 kcal/hr · m²로 하였을 때, 지표면의 가온 효과는 약 1.5°C로 나타났다. 따라서 지표면의 가온 효과는 크지 않음을 알 수 있었으며 시설작물의 초기 생육기간인 근권이 15 cm 미만일 경우에는 단위면적당 유입열량을 현재보다 2배 이상 높여야 할 것으로 판단되었다.

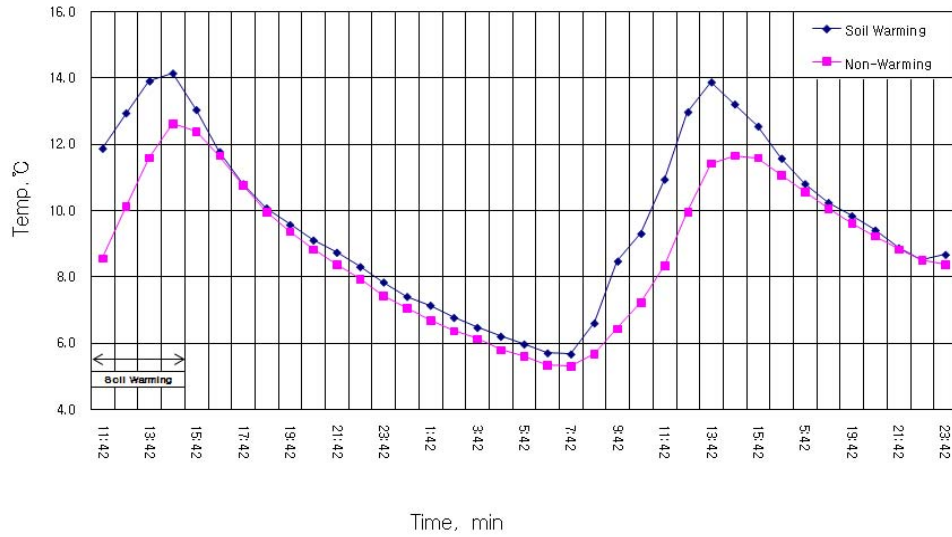


그림 37 지중가온 및 무가온구의 지중온도변화(0~15cm)

라. 변온가온구와 무가온구의 깊이별 온도변화 (20~25cm)

변온가온구와 무가온구의 지표면 20~25 cm 까지 온도변화는 그림 38과 같이 계측되었다. 그림에서와 같이 단위면적당 유입열량을 $57.5 \text{ kcal/hr} \cdot \text{m}^2$ 로 하였을 때, 지표면의 가온 효과는 지표면 0~15 cm의 가온효과보다 높아 약 2°C 상승하는 것으로 나타났다. 따라서 지중가온의 효과는 근권의 깊이가 10cm 깊어질수록 0.5°C 상승하는 효과가 있었다. 그것은 지중가온의 배관이 지표면 40 cm 아래에 설치되어 있으므로 시설작물의 초기 및 중기 생육에 큰 효과가 있을 것으로 보여 진다.

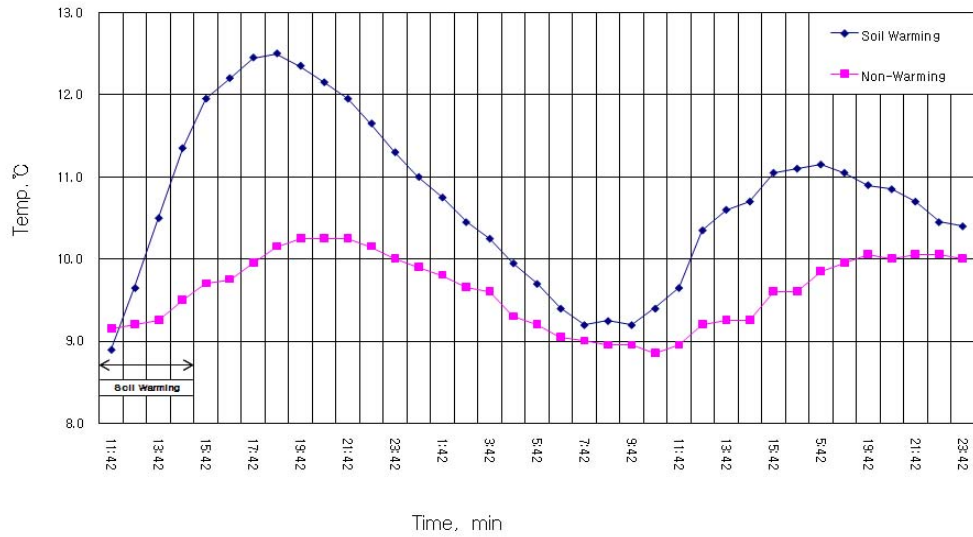


그림 38 지중가온 및 무가온구의 지중온도변화(20~25cm)

마. 변온가온구와 무가온구의 깊이별 온도변화 (30~35cm)

변온가온구와 무가온구의 지표면 30~35 cm 까지 온도변화는 그림 39와 같이 계측되었다. 그림에서와 같이 단위면적당 유입열량을 57,5 kcal/hr · m²로 하였을 때, 지표면의 가온 효과는 지표면 0~15 cm, 20~25 cm의 가온효과보다 높게 약 3°C까지 상승하는 것을 알 수 있었다. 따라서 지중가온의 효과는 시설작물의 생육시기와 근권에 따른 단위면적당 유입열량을 조절하여 근권의 최적 조건을 설계할 수 있을 것으로 판단되었다. 본 연구에서는 단위면적당 유입열량을 일정하게 설정한 후 지중의 온도변화를 계측하고 지중의 깊이별 온도 설정을 위한 최적 알고리즘을 개발할 수 있을 것으로 생각되었다.

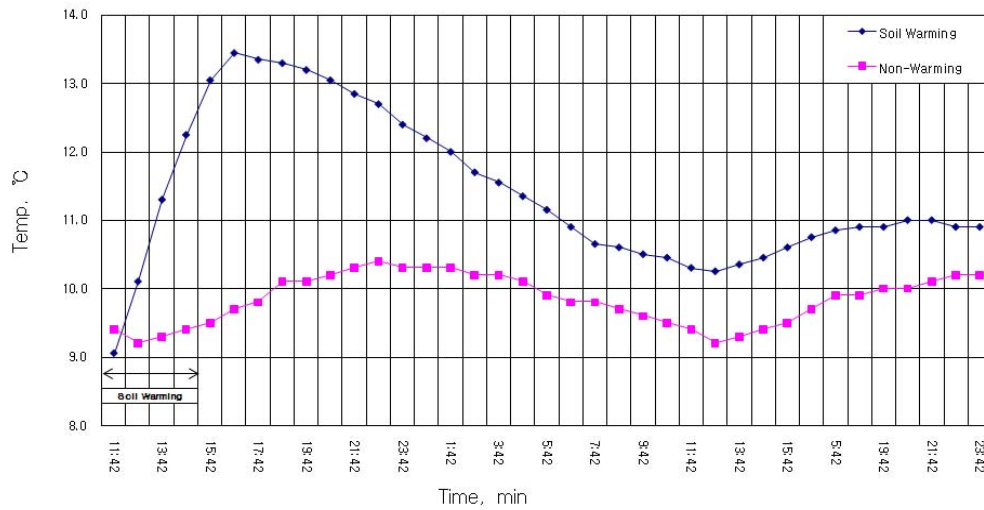


그림 39 지중가온 및 무가온구의 지중온도변화(30~35cm)

바. 지중가온의 유입열량 설계

시설재배의 무가온구의 지중온도는 깊이별 차이는 있으나 15 cm 미만에서는 하우스 내 기온의 영향을 부분적으로 받는 것을 알 수 있으며 15 cm 이상 깊이에서는 내기온의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다. 시설채소 중 오이는 근권에 적합한 지온이 18~22°C로 알려져 있고, 최저한계지온이 13°C~15°C이므로 최소한 5°C 이상 지온을 상승하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 단위면적당 유입열량을 57,5 kcal/hr,m²로 하였을 때, 0~15 cm, 20~25 cm, 30~35 cm로 깊이별 지온의 상승효과를 분석한 결과 1.5°C, 2.0°C, 3.0°C 상승하였다. 따라서 지중가온의 효과를 높이기 위해 지온을 무가온 상태보다 최소한 5°C 이상 높이기 위해 단위면적당 유입열량을 100 kcal/hr,m² 정도 공급해야 할 것으로 사료되었다.

표 20은 2008년 12월 6일과 7일 15시 42분(가온수 공급 완료시간)을 기준으로 변온가온구와 무가온구의 온도변화를 깊이별로 나타내었다. 깊이가 35 cm

에서는 2℃의 차이를 나타내었고 25 cm 부근에서는 1℃ 정도의 차이를 보여 주고 있다. 따라서 지열 온수관으로 부터 표면으로 멀어질수록 온도의 효과가 지수함수적으로 크게 떨어지는 것을 알 수 있었다.

표 20 깊이별 가온구와 무가온구의 온도특성

Depth (cm)	Soil Warming				Non-Warming			
	SW-A	SW-B	SW-C	Average	NW-A	NW-B	NW-C	Average
5	10.2	8.9	9.3	9.5	10.6	9.9	10.1	10.2
10	11.1	12.2	11.1	11.5	11.0	12.1	11.0	11.4
15	11.4	11.8	12.0	11.7	11.0	11.7	11.3	11.3
20	11.6	11.8	12.3	11.9	10.9	11.8	11.3	11.3
25	11.9	11.9	12.6	12.1	10.9	11.4	11.0	11.1
30	12.0	12.2	13.2	12.5	10.7	11.1	10.9	10.9
35	12.3	13.0	13.5	12.9	10.7	11.3	10.8	10.9

* SW : Soil Warming, NW : Non-Warming

사. 시설오이의 근권부 공급에너지 설계

시설오이의 뿌리 성장에 따른 근권부 적정온도 조절을 위한 최적 공급에너지의 설계는 표 21과 같다. 시설오이의 뿌리의 성장은 기후, 토양의 수분, 온도, 영양분 공급 상태 등에 따라 달라지며 근권부의 범위와 뿌리의 상태도 매우 다양하게 성장한다. 일반적으로 겨울철 시설오이의 20 mm/day 내외로 성장하는 것으로 조사되고 있다. 그러나 수직으로 뿌리가 성장하기보다는 수평면에서 30~45℃의 각도로 성장하므로 실제 수직 깊이는 10 mm/day 내외로 성장할 것으로 보여진다. 시설하우스의 무가온구는 평균 11℃ 내외이며, 변온가온구의 경우 깊이별 1.5~3.0℃ 까지 상승하였다. 따라서 적정 온도를 18℃

로 설계 하면 약 5~6.5℃ 더 높여야 할 것으로 판단되었다.

또한 근권이 깊이별 최적 공급에너지는 시설오이의 근권이 깊이 10~20 cm 위치를 최적온도 유지를 위해 약 1,150 kcal/hr,m²가 공급되어야 하며, 깊이 20~30 cm 인 경우에는 460 kcal/hr,m², 깊이 30~40 cm에서는 230 kcal/hr,m²를 더 필요한 것으로 나타났다.

표 21 깊이별 지중가온의 최적 에너지 설계

Depth(cm)	Temp. of soil warming(℃)	Insufficented Temp.(℃)	Supplied optimum energy (kcal/hr,m ²)
5~10	10.5	-7.5	-
10~20	11.7	-6.3	1,150
20~30	12.1	-5.9	460
30~40	12.9	-5.3	230

아. 단위면적당 태양열 집열판 부담 용량의 설계

그림 40은 동계(2008년 12월 7일) 태양열 집열기를 거쳐 축열조로 공급되는 물의 유입구(T-Solar-IN) 및 유출구(T-Solar-OUT)의 온도차를 나타낸 것이다. 집열판을 거쳐 나온 물의 온도는 지속적으로 상승하여 오후 1~2시를 정점으로 유출구의 온도가 약 55℃로 높은 경향을 나타내었으며 12시에서 15시 사이에 50℃ 이상을 유지하였다. 이는 잠열축열물질에 의해 축열조 내의 온도가 지중가온을 위해 순환되어진 물의 온도를 상승시켜 주는 것으로 판단되어진다. 또한 집열판의 유출구 및 유입구의 온도차는 일사량이 가장 좋은 12시에서 15시 사이에 최고 10~12℃로 나타났다.

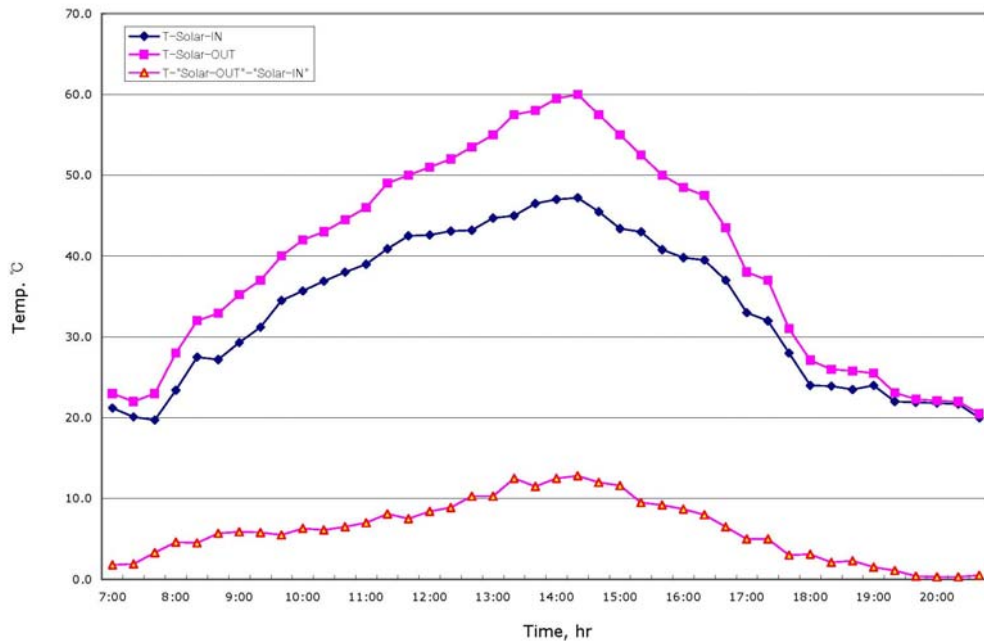


그림 40 집열판 입출구의 온도변화

이 때 일 총집열량은 집열기로의 유입유량 및 입출구 온도차에 비례하며 단위시간을 20분으로 하여 1일 전체 집열량을 계산하여 보면, 작동시간동안 유입된 물의 양은 총 1,254ℓ로 예측되어 순환펌프가 지속적으로 작동하였으므로 시간당 약 114ℓ가 정량으로 투입되었다고 가정하면 약 9,796kcal로 나타났다. 이는 집열판 단독으로 열교환을 했을 때보다 약 3,296kcal가 더 얻어지는 것이다. 이 때 전력량계로 측정된 소비전력은 약 430kcal로 나타났으므로 나머지는 잠열축열물질에 의한 보존열량이라고 판단된다. 그림 41에 잠열축열물질의 온도(T-PCM), 축열조의 온도(T-TANK), 지중가온수의 회수구 온도(T-OUT), 지중가온수 유출구(T-IN), 집열판 입출구 온도(T-Solar_IN, T-Solar_OUT), 외기온(Temp.)을 나타내었다.

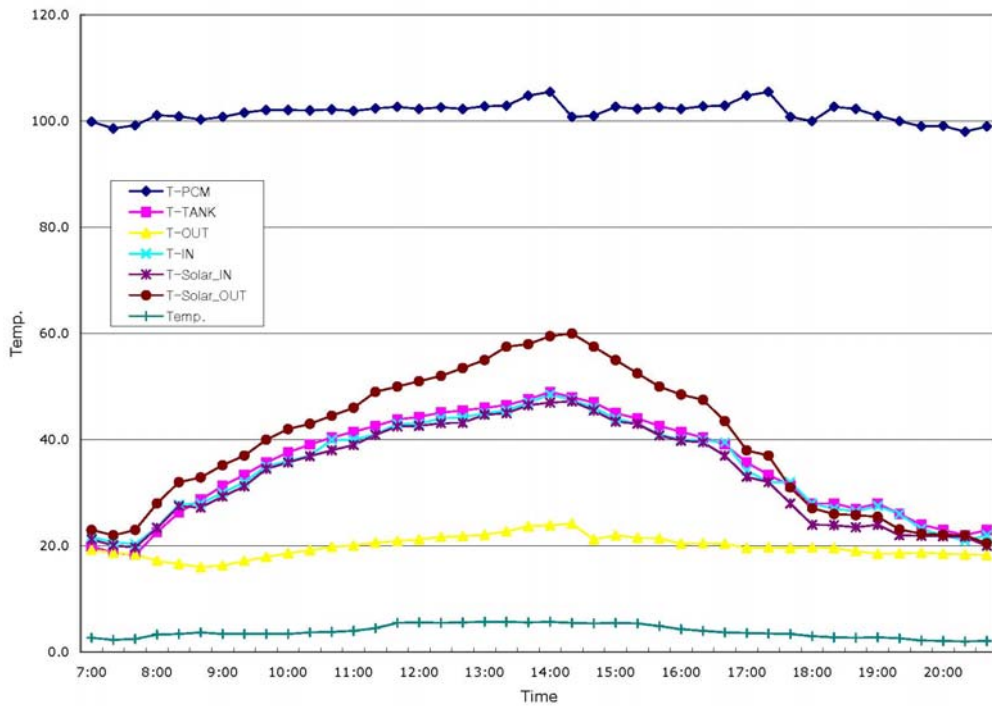


그림 41 축열조의 온도변화

여기서, 시험은실에 단위면적당 유입열량을 $57.5\text{kcal/hr} \cdot \text{m}^2$ 로 공급한 결과 태양열 집열판의 부담용량은 다음과 같다.

$$57.5(\text{kcal/hr} \cdot \text{m}^2) * 60(\text{m}^2) = 3,450(\text{kcal/hr})$$

$$3,450(\text{kcal/hr}) * 4\text{hr} = 13,800(\text{kcal})$$

따라서 잠열축열물질 및 전기히터를 포함한 태양열 집열판의 총집열량은 $9,796\text{kcal/day}$ 으로 나타나 태양열 집열판은 시험은실에서 약 4세트가 필요할 것으로 판단되며, 축열조의 용량 및 잠열축열물질 용량 구성에 따라 집열판의 갯수는 가감될 수 있을 것으로 사료된다.

제3절 지중변온가온시스템을 이용한 작물재배시험

1. 시험방법

가. 관수방법

시설오이의 지중가온 실증시험을 위해 재배기간 중 관수방법은 지중관수로 수행하였다. 지중관수는 그림 42와 같이 중앙에 25 mm의 지관을 설치하고 8 mm의 세관을 통하여 시설오이의 근권에 관수를 하도록 하였다. 관수량의 노즐은 4 L/h를 사용하였으며 생육기간 중 주 2회 주당 4 L씩 공급하였다. 또한 전 생육 기간 중 관비를 관수와 같이 공급하였다.



그림 42 지중관수시스템

나. 재배방법

경북대학교 실습포장 내 이중 플라스틱하우스에서 2009년 10월 17일 오이 유묘를 정식하였으며 재식거리는 75×45cm의 2조식으로 흑색 고밀도 필름으로 멀칭하여 재식하였다. 시비량은 일반농가 관행시용량인 10a 당 퇴비 2,000kg, 석회 200kg, 질소 24kg, 인산, 16.5kg 칼리 24.0kg을 시용하였으며 적심은 원줄기가 20마디 정도 되었을 때 실시하였다. 플라스틱하우스 내 온도조절은 주간 기온 최고 28℃가 넘지 않도록 관리하였으며 야간온도도 최저 13℃이하가 되지 않도록 가온하였으며 기타 관리는 표준경종관리방법으로 실시하였다. 시험구는 3반복 난괴법으로 배치하였으며 정식 후 30일 간격으로 3회에 걸쳐 초장, 엽수, 마디수, 지상부 및 지하부 등 생육특성을 조사하였다. 생육조사는 구당 5주를 굴취하여 초장, 마디수, 엽수 등을 조사한 후 각 부위별로 해부하여 엽면적 및 각 부위별 생체중과 건물중을 조사하였다. 엽면적은 자동엽적계(Delta-T형)를 사용하여 측정하였으며 생육특성 및 수량은 정식 후 약 3개월 까지만 조사하였다.

2. 결과 및 고찰

지중가온의 공급수 온도를 25℃로 하고, 지중 40 cm에 위치한 배관에 오전 12시부터 오후 4시까지 1.380 L/h(총 5,500 L)를 하루 공급하였을 때, 시험포장의 내기온이 약 20℃인 상태에서 지중 20 cm에서 무가온 상태보다 약 2℃ 정도 높게 나타났다. 따라서 지중가온의 효과가 초기 생육에서도 그 영향이 나타날 것으로 보여진다. 그림 43~46은 가온구와 무가온구의 생육기간 중 오이의 높이, 잎수, 엽면적, 과중에 대하여 시험한 결과를 나타내고 있다.

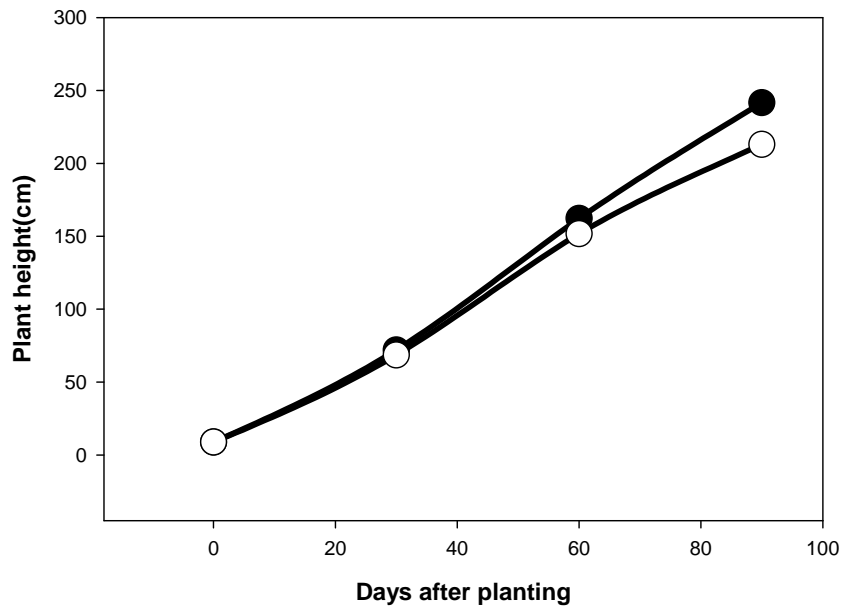


그림 43 생육기간 중 오이의 높이 비교

(●-●:지중가온, ○-○:무가온)

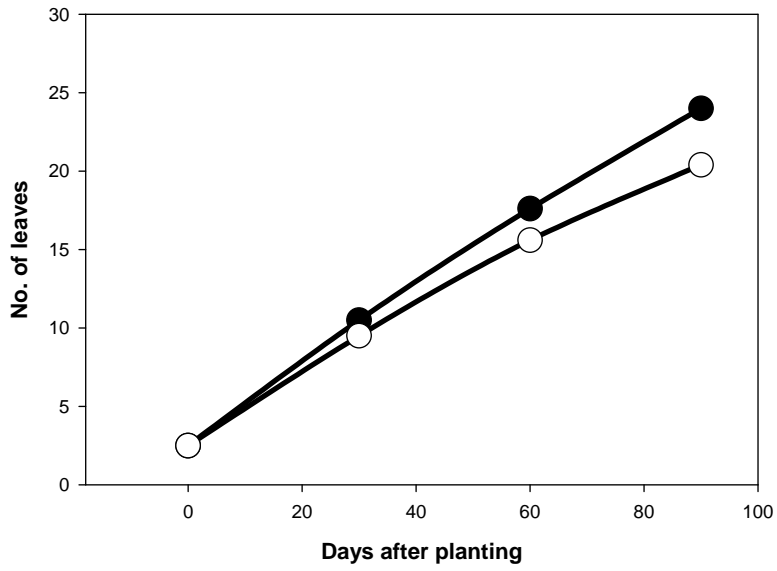


그림 44 생육기간 중 오이의 잎수 비교
(●-●:지중가온, ○-○:무가온)

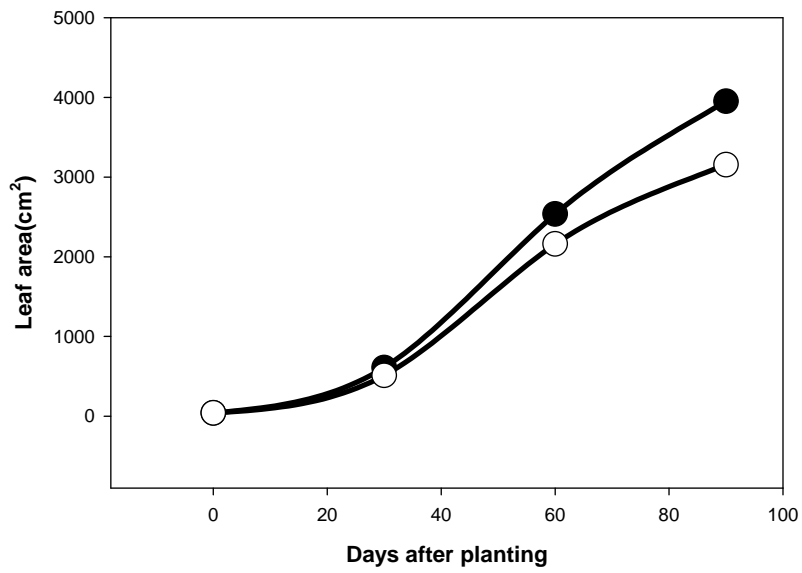


그림 45 생육기간 중 오이의 엽면적 비교
(●-●:지중가온, ○-○:무가온)

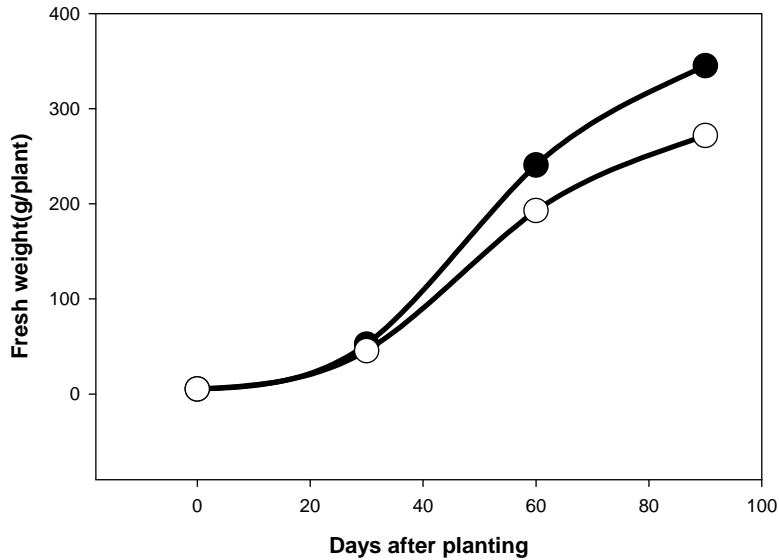


그림 46 생육기간 중 오이의 과중 비교
(●-●:지중가온, ○-○:무가온)

겨울철 시설재배에서 관개수온은 평균지온보다 낮은 경향이 있어 오이 식물의 근권 온도가 일시적으로 2~4℃정도 낮아지는 경향이 있어 식물의 생육에 지장을 주는 것으로 알려져 있다(Kim과 Kim, 2001). 정식 후 가온과 무가온의 생육특성은 그림 47과 같으며 대체적으로 가온구의 생육이 무가온구에 비해 양호한 경향을 보이며 생육이 진전됨에 따라 그 차이는 점점 커지는 경향을 나타낸다.

가온구와 무가온구의 오이의 식물생장율(Crop growth rate:CGR)을 조사한 결과, 단위기간당 단위면적당 건물중의 증가를 나타내는 CGR의 시기별 변화는 가온구와 무가온구 공히 정식 후 생육이 진행됨에 따라 가온구와 무가온구가 증가양상이 비슷하였으나 그 정도는 가온구의 CGR이 무가온구에 비해 약간 더 증가하는 경향을 나타내었다. 이 결과는 가온시 지하부와 지상부의 생육이 무가온시보다 더 생장이 촉진된 것으로 생각할 수 있다. 강 등의 보고(강 등, 2002)에 의하면 오이의 시설재배시 CGR은 가온구와 무가온구에서 공

히 초기에는 영양생장이 적극적으로 일어나며 그 이후에는 생식생장에 집중되므로 이와 같은 성장양상을 고려할 때 초기의 생육을 촉진시키기 위한 관리가 필요하며 그 정도가 수확기와 수량에도 영향을 미친다고 하였다. 오이 시설재배에서 가온은 근권의 지온에 영향을 주어 정식 후 활착은 물론 그 이후의 생육에도 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

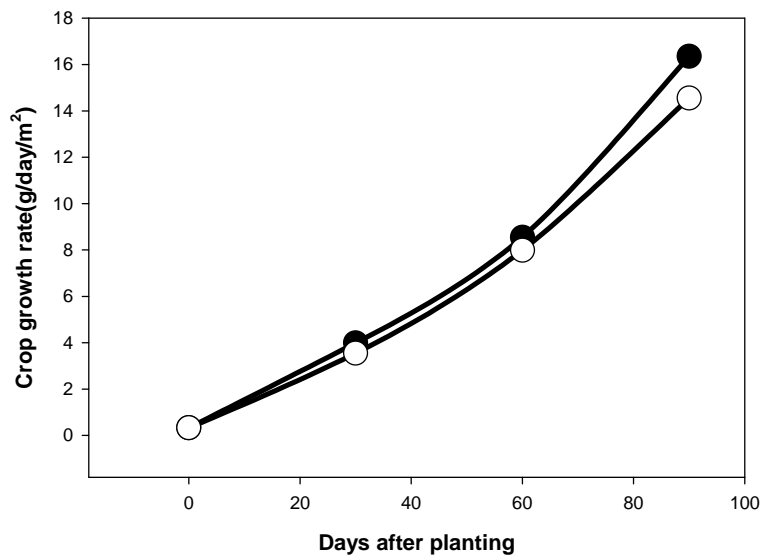


그림 47 정식후 가온구와 무가온구의 생육특성
(●-●:지중가온, ○-○:무가온)

가온구와 무가온구의 과실의 특성과 수량은 표 22와 같으며 수량은 가온구가 무가온구에 비하여 약 26% 정도 증가된 것으로 판단되며 가온구에서 초기의 생육이 촉진되어 수량의 증가가 이루어지는 것으로 생각할 수 있다.

Table 4 Yield of cucumber plant by the different irrigation water temperature

표 22 가온구와 무가온구 시설오이의 특성 비교

Treatment	No. of fruits (no/plant)	Fruits weight (g/each)	Yield* (kg/10a)	index (%)
Soil warming	13	140.84±8.31	5460a**	126
Non-warming	10	134.43±7.21	4020b	100

* Harvesting period: December 17 2009~January 16th 2010

**Mean separation within column by Duncan's multiple range test at P=0.05

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 목표달성도

본 연구는 활착 및 생육증진을 위한 지중변온가온을 위해 태양열 집열기와 축열재를 이용한 축열시스템을 구성함으로써 에너지효율을 증대시키는 지중가온시스템을 구성하는 것이 최종목표이며 3년에 걸쳐 이루어졌다. 아래의 표 23에 연차별 목표달성도를 요약하여 나타냈으며, 전체적으로 연구개발 목표 대비 달성도는 100%이다.

표 23 연차별 목표 및 수행내용

구분 (연도)	세부연구목표	연구개발 수행내용
1차 연도 (2007)	연구대상 단위면적당 지온의 소요에너지 분석	시험포장을 기준으로 가온을 통해 소요에너지 분석
	토양의 깊이별 지온의 변화 해석	깊이별 지온해석
	온도 계측 모니터링 및 지중 열전도 모델 개발	계측시스템 구성 및 시험
	시설재배에 적합한 태양열의 축열모델 개발 및 설계기준 확정	축열성능 시험에 따른 기준 정립
	지중변온가온의 토양 열전도 이론식 산출	소요에너지 분석
	시설재배용 태양열 시스템 및 잠열 축열 열교환 장치의 설계 및 제작	태양열 시스템의 기초제작 실험
	지중 축열배관 및 관수라인의 설계 및 제작	관수라인 설계 및 설치
	태양열 시스템과 잠열축열, 지중축열의 에너지 분석	에너지 효율성 분석 완료
재배기간별 지중변온 소요에너지 분석	지중변온 에너지 분석 완료	

2차 연도 (2008)	태양열 및 잠열축열 시스템의 보완 제작	태양열 및 축열조의 보완설계 및 제작 완료
	보완 시스템의 에너지 효율성 분석	시험을 통한 에너지 분석
	시설재배의 지중 최적온도 관리기법 개발(변온가온기술)	변온을 통한 지중 온도와의 연계성 분석
	지중변온가온 제어 모니터링 알고리즘 개발	제어 알고리즘 설계 및 컨트롤러 제작 완료
	온도 계측 모니터링 및 지중 열전도 모델 개발	지중 깊이별 온도 분석 완료
	추적 제어를 통한 에너지 효율성 분석	온도 분석에 따른 소요에너지 및 효율성 분석
	SCADA 기술을 이용한 태양열 계측 시스템과 잠축열 에너지 효율성 분석	구성별 에너지 비교 분석
	태양열 에너지 시스템의 설계기준 확정(집열판의 용량, 집열방식, 열교환)	지중변온에 따른 에너지 소요분석으로 태양열 시스템 및 축열조의 기준 선정
3차 연도 (2009)	태양열 잠열축열식 지중변온가온 시스템의 보완 설계·제작	시스템 수정을 통한 최종제작
	태양열 시스템과 잠열축열 장치의 에너지 활용 경제성 산출	가온구와 무가온구의 비교를 통한 에너지분석
	시설재배에 적합한 태양열의 축열 모델 개발	시험포장에 오이재배를 통해 적정 공급열량 산출
	지온의 변온 관리 기술에 의한 시설재배 표준화 관리 모델 개발	시험포장에 오이재배를 통해 적정 관리모델의 개발완료
	재배시기 및 재배단계별 지중변온가온 관리 모델 개발	오이재배를 통해 적정한 변온 기술의 개발
	시설재배의 태양열 에너지 활용 절감 기술 확립	태양열 집열판의 부담량 산출으로 에너지 이용 가능성 확보

제2절 관련분야에의 기여도

1. 기술적 측면

가. 에너지이용의 합리화

태양열 집열판과 축열재를 이용한 축열시스템 구성으로 열교환 구조를 최적화하여 그 요구열량에 대한 시스템의 열효율이 크게 향상되는 효과가 있다.

특히 잠축열물질의 상변화 기간에 열에너지를 흡수하였다가 방출하는 잠열 특성을 이용하기 때문에 일정한 온도로 열을 공급할 수 있고, 축열용량도 현 열재인 물보다 크기 때문에 축열시스템의 용적이 작아지는 장점이 있다.

또한, 지중변온가온 관리모델의 개발로 온실 내 가온을 줄이면서 태양열을 이용한 지중가온으로 전체 에너지 소모를 줄이며 생육증진 등의 효과를 가져올 수 있다.

나. 관련 산업분야의 기술파급 효과

개발된 태양열 축열모델을 가정용 온수 공급 등 산업분야에 적용할 수 있어 타 산업분야의 기술파급 효과가 있다.

2. 경제 · 산업적 측면

가. 농가의 경영비 절감효과

지중가온기술을 이용함으로써 기본 난방을 줄일 수 있고, 태양열을 이용한 축열시스템을 이용하기 때문에 전체적으로 농업생산비를 크게 절감할 수 있는 효과가 있다고 판단된다.

나. 농업 경쟁력 확보

난방비의 절감으로 농가의 경영비 부담이 줄어들게 되어 생산물량의 공급 안정과 가격의 안정화로 농산물 소비 증대와 경쟁력 강화로 농산물의 수출이 증가할 것이며, 온도는 작물의 생육에 직접적인 영향을 미치는 중요한 요인으로 열을 안정하고 균일하게 공급할 수 있기 때문에 작물의 상품수량과 상품률이 증가하여 생산성이 향상될 것이다.

제 5 장 연구개발 성과 및 활용계획

제1절 연구성과

1. 학술발표 및 논문게재

가. 한국농업기계학회 동계학술대회 발표, 논문집 Vol 14(1)

- 1) 태양열을 이용한 시설재배 지중변온가온의 토양온도 특성 연구(1)
지중변온가온에 따른 깊이별 온도특성
- 2) 태양열을 이용한 시설재배 지중변온가온의 토양온도 특성 연구(2)
지중변온가온의 단위면적당 소요에너지

나. 바이오시스템공학 34(3) 190~196

- 1) 태양열을 이용한 시설재배 지중변온가온의 토양온도 특성 연구(1)
지중변온가온에 따른 깊이별 온도특성

제2절 활용계획

1. 본 연구팀은 설계 및 제작된 태양열 축열시스템을 경북대학교 상주캠퍼스 실험농장에서 성능시험을 완료하였으며, 실제 오이를 재배함으로써 그 효과를 구명하였다. 이어 시설원예 농가에 일부 적용하여 지속적으로 시험할 예정이다며 관련논문 2편이 바이오시스템공학 및 생물환경조절학회 게재될 예정이다.

2. 개발된 시작기는 농림부의 농업신기술을 획득하여 사업화자금을 융자받

고, EM 등 우수신기술인증을 획득하여, 정부의 저리 융자 등 자금지원 대상 품목의 자격을 취득하여, 난방기를 신설 또는 교체할 시설원에 농가에 확대보급을 통하여 고유가시대에 경영난을 해소시킬 것이다.

3. 본 연구에서 개발된 태양열 축열시스템은 소형 가정용 온수공급에도 이용될 수 있을 것이며 지중변온가는 기술은 여러 작물에 걸쳐 적용시켜 생육증진 등의 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

제 6 장 종합 결론

지중가온은 겨울철 시설재배에 있어서 에너지의 절감과 생육효과 증대, 지상부 난방에너지의 절감에 밀접한 관계가 있다. 일반적으로 지상부 난방에 많은 에너지를 공급하지만 지중의 근권에 대한 온도 조절에 대한 연구와 기술은 부족한 실정이다. 토양에 유입되는 에너지와 유출되는 에너지, 관의 열전달 특성, 내기온의 변화와 유량, 관의 단면적과 길이 등으로부터 근권의 에너지 관계를 구명하는 것은 에너지의 절감에 앞서 시설작물의 생육과 관련하여 가장 기본적으로 해석되어야 할 과제이기도 하다. 이를 구명하기 위해 수행한 본 연구의 주요결과는 다음과 같다.

1. 시설하우스의 내기온에 대한 영향은 지표면 15cm까지 영향을 미쳐 약 1시간 이후에 토양의 온도가 상승함을 알 수 있었으며 지중가온은 무가온에 비해 토양의 깊이별 온도 상승효과를 크게 변화시키는 것으로 나타났다.

2. 깊이별 온도 특성에서 가온구의 깊이 15~25cm까지는 약 12°C이었으며, 깊이가 깊어질수록 온도가 상승하여 약 13.4°C까지 상승하는 것으로 나타났으며, 지표면 아래로 내려갈수록 온도의 비교 폭은 커지며 35cm에서는 약 4°C까지 차이를 보이고 있다. 이는 시설작물의 근권 위치가 지표면 15cm이하로 내려가는 생육 3주 이후에는 큰 차이를 나타낼 수 있음을 보여주고 있다.

3. 배관의 길이에 대한 소요에너지는 유입구와 유출구의 온도변화로 나타나며 2~3°C(평균 2.5°C) 차이가 났다. 따라서 지중가온에 소요된 단위시간당 유입열량은 3,450kcal/hr이었으며, 단위면적당 유입열량은 57.5kcal/hr·m²가 되었다.

4. 단위면적당 유입열량을 $57.5\text{kcal/hr} \cdot \text{m}^2$ 로 하였을 때, 0~15cm, 20~25cm, 30~35cm로 깊이별 지온의 상승효과를 분석한 결과 1.5°C , 2.0°C , 3.0°C 상승하였으므로 지중가온의 효과를 높이기 위해 지온을 무가온 상태보다 최소한 5°C 이상 높여야 하므로 단위면적당 유입열량을 $100\text{kcal/hr} \cdot \text{m}^2$ 정도 공급해야 할 것으로 판단된다

5. 잠열축열물질 및 전기히터를 포함한 태양열 집열판의 총집열량은 $9,796\text{kcal/day}$ (8시간 기준)으로 나타나 태양열 집열판은 시험온실에서 약 4세트가 필요할 것으로 판단되며, 축열조의 용량 및 잠열축열물질 용량 구성에 따라 집열판의 갯수는 가감될 수 있을 것으로 사료된다.

6. 가온구와 무가온구의 오이의 식물생장율(Crop growth rate:CGR)을 조사한 결과, 단위기간당 단위면적당 건물중의 증가를 나타내는 CGR의 시기별 변화는 가온구와 무가온구 공히 정식 후 생육이 진행됨에 따라 가온구와 무가온구가 증가양상이 비슷하였으나 그 정도는 가온구의 CGR이 무가온구에 비해 약간 더 증가하는 경향을 나타내었다.

7. 가온구와 무가온구의 과실의 수량은 가온구가 무가온구에 비하여 약 26% 정도 증가된 것으로 판단되며 가온구에서 초기의 생육이 촉진되어 수량의 증가가 이루어지는 것으로 판단된다.

제 7 장 참고문헌

1. Um, K. T. 1991. Development of Soil Temperature and Freezing Depth Prediction Model. Ministry of Science and Technology Report. pp. 11-12.
2. Lee, J. W. 1994. Effect of root zone warming by hot water in winter season on rhizosphere environment, growth and yield of greenhouse-grown cucumber. A treatise for a degree of Doctor (KyungPook National University). pp. 7-8.
3. 高橋和彦. 1983. 溫度環境と作物(1). 野菜,施設園藝學. 朝倉書店. pp. 128-129.
4. 古在豊樹 外 9人. 1995. 新施設園藝學. 朝倉書店. pp. 88-89.
5. Kim, J. H., Kim, C. S., Myung, B. S., Choi, J. S., Koo, G. H., Kim, T. W. 1998. A Development of Automation system and a way to use Solar Energy System Efficiently in Greenhouse(1) -Study on temperature variation of soil heating in greenhouse-. J. Bio. Fac. Env. 7(1). pp. 15-24.
6. Kim, J. H., Oh, J. Y., Koo, G. H., Kim, T. W. 1998. A Development of Automation system and a way to use Solar Energy System Efficiently in Greenhouse(2) -Study on improvement of growth and yield of a cucumber in soil heating-. J. Bio. Fac. Env. 7(1). pp. 25-34.
7. Kim, J. H., Koo, G. H., Kim, T. W. 1999. A Study on the cucumber growth by soil warming and warmed water irrigation using solar energy

- system(3). J. Bio-Env. Con. 8(1). pp. 1-8.
8. Kim, T. W., Kim, J. H., 2001. The Growth of Cucumber and Variation of Soil Temperature Used by Warming Water Irrigation System. Journal of Bio-Environment Control 10(1). pp. 15-22.
 9. 寺田俊郎,吉野蕃人. 1980. 施設園藝の太陽熱利用システム. 施設農業生産技術協会. pp. 4-5.
 10. 吉野蕃人,寺田俊郎,青木宣明,帯刀奈律子. 1980. 施設園藝に對する太陽熱利用に關する研究(1)(短期蓄熱システムについて). 施設農業生産技術協会. pp. 20-21.
 11. 吉野蕃人,寺田俊郎,青木宣明,帯刀奈律子. 1980. 施設園藝に對する太陽熱利用に關する研究(1)(短期蓄熱システムについて).施設農業生産技術協会. pp. 20-21.