

발간등록번호

11-1543000-001801-01

# 농업에너지절감모델개발 최종보고서

2017. 09.

주관연구기관 / 국립원예특작과학원  
실증연구기관 / 시설원예연구소  
실증연구기관 / 강원농업기술원  
실증연구기관 / 경기농업기술원  
실증연구기관 / 충북농업기술원  
실증연구기관 / 충남농업기술원  
실증연구기관 / 전북농업기술원  
실증연구기관 / 전남농업기술원  
실증연구기관 / 경북농업기술원  
실증연구기관 / 경남농업기술원

농림축산식품부



# 목 차

- 총괄과제(원예원) ..... 1
- 유리온실 에너지절감 패키지 기술 개발(시원예연구소) ..... 117
- 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 개발 I (충남) ..... 157
- 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 개발 II (경기) ..... 189
- 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 개발 III (전북) ..... 225
- 단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 개발 I (충북) ..... 243
- 단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 개발 II (전남) ..... 277
- 단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 개발 III (강원) ..... 327
- 단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 개발 IV (경북) ..... 401
- 단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 개발 V (경남) ..... 445





# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “통합형 농업혁신모델 사업단(사업단명 : 농업에너지절감모델개발)”의 최종의  
보고서로 제출합니다.

2017년 9월 일

사업단 주관기관명 : 국립원예특작과학원

사업단장 : 김 영 철



# 요 약 문

## I. 제 목

농업 에너지 절감 모델 개발

## II. 연구개발 목적

이 연구는 농업 에너지 분야에서 가장 큰 비중을 차지하는 온실과 비닐하우스의 냉방과 난방에 사용되는 에너지를 획기적으로 줄일 수 있는 실증모델을 개발하여 정책에 활용함으로써 농가 경영 수지를 개선하고자 수행되었다.

## III. 연구개발 내용

시설농업 에너지 절감 효과를 분석하기 위해 열효율, 보온성, 광환경이 우수한 단위 기술을 종합하여 유리온실에서는 파프리카와 토마토를 대상으로 지중저수열장치, 수평식 다겹보온시설, 근권냉난방시스템을 패키지 기술로 시험하였고, 연동비닐하우스에서는 토마토와 딸기를 대상으로 알루미늄 2중 스크린, 국부난방, 열회수 장치 등을 패키지 기술로 시험하였고, 단동비닐하우스에서는 딸기와 풋고추 등을 대상으로 공기열교환장치, 공기유동팬, 경사 식 다겹보온시설 등을 패키지 기술로 시험하였다. 한편 에너지절감 패키지 기술이 환경에 미치는 영향을 분석하기 위해 에너지 절감량을 기준으로 온실가스 가운데 이산화탄소 배출 절감량을 산출하였다.

## IV. 연구개발 결과

에너지 절감 효과를 분석한 결과, 유리온실에서는 82% 에너지 비용이 절감되었고, 연동비닐하우스에서는 33~77% 정도 에너지 비용이 절감되었고, 단동비닐하우스에서는 40~83% 정도 에너지 비용이 절감되었다. 경제성을 분석한 결과, 유리온실에서는 소득이 6,737 천원/10a 증대되었고, 연동비닐하우스에서는 소득이 519~1,832 천원/10a 정도 증대되었고, 단동비닐하우스에서는 소득이 7,868~11,909 천원/10a 정도 증대되었다. 이산화탄소 배출 절감량은 유리온실에서 18.0 tCO<sub>2</sub>/10a, 연동비닐하우스에서 2.0~4.5 tCO<sub>2</sub>/10a, 단동비닐하우스에서 0.1~5.9 tCO<sub>2</sub>/10a, 절감되는 것으로 분석되었으며 이를 농업용 면세유 사용량에 적용하면 연간 약 80만 tCO<sub>2</sub>(탄소톤) 정도의 배출량을 절감할 수 있을 것으로 분석되었다.

## V. 연구성과 목표 대비 실적

이 연구의 목표는 시설농업의 생산비 가운데 가장 많은 부분을 차지하고 있는 냉난방비의 비중을 유리온실, 연동 비닐하우스 및 단동비닐하우스에 따라 30~50% 정도 줄여 생산비를 20~30% 정도 줄일 수 있는 패키지 기술 실증모델을 시설 종류, 지역 특성 및 재배 작물에 따라 적합한 형태로 개발하는 것이었다. 총 29개 농가에서 실증연구를 수행한 결과, 냉난방 에너지 비용은 지역과 작물에 따라 13~82% 정도 줄이는 것으로 나타났고, 시설 환경을 개선하여 생산성은 3.6~105% 정도 향상시키는 것으로 나타났다. 이 가운데 정책사업 활용도가 높은 8개의 패키지 기술을 적용하면 에너지 비용은 35~77% 정도, 생산성은 31~45% 정도 높이는 것으로 분석되어 당초 목표 이상의 성과를 얻었다.

## VI. 성과활용 계획

### (정책 사업 추진방안 및 기대효과)

지역, 시설종류 및 작물에 따라 구체적인 에너지절감 패키지 기술을 제시해 달라는 정책기관의 요청에 따라 농림축산식품부에서 추진하는 농업에너지이용효율화사업에 요건을 엄격히 갖춘 강원지역 단동하우스 딸기 에너지절감 패키지기술 지원, 경기지역 연동하우스 국화 에너지절감 패키지기술 지원, 충남지역 연동하우스 토마토 에너지절감 패키지기술 지원, 충북지역 단동하우스 토마토 에너지절감 패키지기술 지원, 전북지역 연동하우스 딸기 에너지절감 패키지기술 지원, 전남지역 단동하우스 딸기 에너지절감 패키지기술 지원, 경북지역 단동하우스 참외 에너지 효율화 패키지기술 지원, 경남지역 단동하우스 풋고추 에너지절감 패키지기술 지원, 유리온실 파프리카/토마토 에너지절감 패키지기술 지원 등 9개 정책사업을 통해 에너지 비용 절감 107.7억원과 수량 증가액 635.5억원 모두 743.2억원의 생산성 향상 효과가 있을 것으로 여겨진다.

### (지자체 특화 사업 추진방안 및 기대효과)

지역에서 가장 보편적으로 사용되고 있으나 중앙정부의 정책방향과 다른 점을 가지고 있어 지방자치단체에서 자율적으로 수행할 수 있는 사업으로 단동하우스 딸기와 토마토 에너지절감 패키지기술 지원(전열선) 연동하우스 토마토 에너지절감 패키지기술 지원(다점보온), 연동하우스 토마토 에너지절감 패키지기술 지원(국소냉방), 단동하우스 딸기와 토마토 에너지절감 패키지기술 지원(전열선), 연동하우스 딸기와 토마토 에너지절감 패키지기술 지원(전열선), 단동하우스 딸기, 토마토 에너지절감 패키지기술 지원(전열선), 단동하우스 참외, 딸기 에너지 효율화 패키지기술 지원(PO필름), 단동하우스 풋고추 에너지절감 패키지기술 지원(전열선) 등 8개 사업을 추진하면 에너지 비용 절감 43억원과 수량 증가액 154억원 모두 197억원의 생산성 향상 효과가 추가로 있을 것으로 사료된다.

### (농산업 육성방안 및 기대효과)

이미 알려진 바와 같이 시설농업은 온실 골조와 피복자재는 물론 내부 환경조절과 작물재배에 다양한 기술 적용을 위해 ICT 등을 이용한 첨단기술이 적용되기 위해 각종 농기자재가 활성화 되어 있고 그 규모는 연간 1조 2천억 정도의 물동량을 가지고 있다(골조자재 5,000억원, 피복(보온, 차광 포함)자재 4,500억원, 환경조절기자재 1,500억원, 기타 1,000억원, 농자재산업협회 내부자료). 이 가운데 에너지절감과 연계된 물동량은 연간 약 3,000억원으로 추정되며, 관련 농산업체는 80~100개 정도로 모두 영세한 업체이기에 연구개발사업을 통해 기술력 향상과 시공 경험을 축적시켜 내수는 물론 일부 수입되는 품목에서도 국제 경쟁력을 보유하여 수출에도 기여할 것으로 여겨져 300억원의 내수 증진과 200억원의 수출 대체 효과를 기대할 수 있을 것으로 분석된다.

### (농촌사회 건전성 유지를 위한 제언)

연간 국제 유가 변동 폭은 3% 이상으로 크기 때문에 이에 따라 시설농업의 생산성은 크게 변동되어 국제 경쟁력을 떨어뜨리게 된다. 최근 귀농과 귀촌 인구가 지속적으로 늘고 있는 반면에 도시로 회귀하는 인구 또한 늘고 있는 실정이다. 귀농한 경우를 보면 적은 면적에 높은 소득이 보장되는 시설농업에 대한 매력을 가지고 농촌으로 가는 경우가 많다(농촌진흥청 내부자료). 따라서 앞으로 농업 경쟁력 확보로 지속적인 영농활동을 위해 고소득 농업 분야인 시설농업의 경쟁력 향상을 위해 생산비의 30~45% 정도를 차지하는 냉난방 에너지 비용을 획기적으로 줄일 수 있는 패키지 기술 개발과 확산이 지속되어야 할 것이다.

## SUMMARY

The vegetable area of South Korea in 2015 is about 225,000ha and the rate of protected cultivation is 27%. The cultivation area under heated plastic house is about 19,000ha and oils cover approximately 80% of energy sources. Increase of international oil prices affected management cost and it is most important factor in agricultural income. This study was carried out to develop the practical model for energy saving package techniques in the field of greenhouse cooling and heating which are the main problems.

To clarify the efficiency of energy saving in glass house, heating package system was composed of the geothermal source heat pump with heating capacity of 105kW, the aluminum multi-layer thermal curtain with six layers of different materials and the root zone local heater with XL pipes of  $\phi$  20mm. Venlo-type glasshouse(461m<sup>2</sup>) with the heating package system was compared with the same type and area control glasshouse with the light oil boiler, the usual non-woven fabric thermal curtain and without root zone local heater with respect to the glasshouse inside temperature, relative humidity, crop growth, yield and heating energy consumption. In multi-roof plastic film house, the double layer heat reservation screen coated aluminium film, root zone heating system using the hard polyethylene tube, the reuse equipment of potential heat were packaged. In single-roof plastic film house, the air heat exchange system, the air moving fan, the slant type multi layer for heat reservation.

For the economical analyzation of package technologies, survey energy cost, yield and price were analyzed. In glass house, the energy cost saving rate was 82%, the yield increased rate was 14%, so, the income was increased 6,737,000 won per 10a. In multi-span plastic film house, the energy cost saving rate were 33~77%, the yield increased rate were 7~12.5%, so, the income were increased 519,000~1,832,000 won per 10a. In single-span plastic film house, the energy cost saving rate was 40~83%, the yield increased rate was 45~105%, so, the income were increased 7,868~11,909 won per 10a.

To analyze the efficiency of carbon dioxide decrease, the energy saving rates of oil and electricity in farm's experiment. As the results, the amount of decreasing carbon dioxide were 18.0 tCO<sub>2</sub> per 10a in glasshouse, 2.0~4.5 tCO<sub>2</sub> per 10a in multi-span plastic film house, 0.1~5.9 tCO<sub>2</sub> per 10a in single-span plastic film house. And the total amount of decreasing carbon dioxide in the range of tax exemption oil was clarified 800,000 tCO<sub>2</sub>

The total expectation of increasing productivity through these package technologies was able to present 58,800,000,000 won which were the energy saving cost was 15,100,000,000 won and increasing yield was 43,700,000,000 won. To establish this purpose, the policy decision of governmental support was necessary the package technologies which was proper each region, crop and greenhouse.

Moreover, the efficiency of these package technologies will be presented to the domestic agricultural industry. The total amount of increasing productivity in agri-material industry was 50,000,000,000 won which were the increasing domestic industry was 30,000,000,000 won and the substitute of import was 20,000,000,000 won.

## CONTENTS

1. Introduction and objective of Project
2. Trends of Domestic and International Technical Development
3. Contents and results of Research and Development
4. Achievement of aim and contribution of the Related Field
5. Application plan of research product
6. Contents of Foreign Research and Development
7. Equipments and Facilities in Farm Experiment
8. Reference

# 목 차

제 1 장 사업단의 개요 및 성과목표

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 7 장 연구시설·장비 현황

제 8 장 참고문헌

## (첨부자료)

첨부 1 자재별 특성과 경제성분석 기초자료

첨부 2 이산화탄소 배출량 산정자료

첨부 3 연차별 현장평가 결과

첨부 4 신재생에너지 기술동향 분석

# 제 1 장 사업 개요 및 성과목표

## 가. 국내외 동향분석

### □ 정책사업 동향 및 한계점

- FTA 대응 및 수출농업 지향을 위한 시설원에 농업은 에너지 다소비형 구조로 전환되고 있기 때문에 정책 추진에 있어 에너지 절감이 경쟁력 제고의 관건으로 대두되고 있음
  - 시설원에 농가 경영비 가운데 난방비 비중 : 30~40%(네덜란드 등 선진국의 2배 수준)
  - \* 경영비중 난방비 비중 : 오이 39%, 토마토 33%, 파프리카 30%, 장미 44% 등
  - 시설원에 난방연료 종류별 비중 : 유류 87%, 고체연료 7%, 기타 6%(신재생 0.7%)
- 에너지 절감기술 개발과 확산이 필요하나 현장에서 체감하는 기술보급은 부족한 실정
  - 지열이용 난방 기술은 효과는 좋으나 초기 투자비가 많아 확산에 애로가 있음(14억원/ha)
- 시설원에 현장에서 가장 보편적인 온실에 융복합 기술을 가미한 에너지 절감 모델 필요
  - 현행 온실 비율 : 비닐하우스 99.3%(단동 86.1%, 연동 11.3%, 기타 터널 등 1.9%), 유리온실 0.7%
  - \* 효과적인 에너지 절감 기술 : 다겹 보온 커튼, 지중 저수열 장치, 피복자재 축열 시스템 등

### □ 기술개발 동향 및 한계점

- 대부분의 원예시설은 다중 피복으로 광 이용율이 떨어지고, 장파방사율이 높아 보온성도 약함
  - 현행 온실 구조 : 2~3중 피복(광 차단) + 단층 보온커튼(열 손실) + 경유 온풍기(열 관류 심함)
- 투광성이 개선된 시설에 신재생 에너지 이용 기술 개발의 적용 모델 개발이 필요
  - 개선 조합(예) : 1~2중 피복(투광성 극대화) + 다겹 커튼(보온성 극대화) + 축열형 가온기(에너지 절감)

### □ 농업현장 애로 및 니즈

- 국내 시설원에 농가에서 경영비 과중의 원인이 되는 난방 에너지 절감 기술 조합 모델 보급 요청
  - 현행 에너지 소모 비율을 50% 이하로 줄일 경우 난방비 절감으로 지속 가능한 경영 기대
- 수출농업의 첨병인 시설원에 분야에서 국제 경쟁력을 강화시킬 수 있는 에너지 절감 기술 요청
  - 파프리카(개선된 지열 이용 시스템), 토마토(안정된 다겹보온 커튼 개폐 시스템) 등

## 나. 사업단의 필요성

### □ 통합형 농업혁신모델의 개발 측면

- 단동 비닐하우스 보온력 개선 및 에너지 절감 장치 이용 농가실증연구 필요
  - 시설 고추, 토마토 등 작물 및 지역별 단동 비닐하우스 구조 차이로 소모 에너지가 다름
- 연동 비닐하우스 광 이용율 극대화 및 에너지 절감 장치 이용 농가실증연구 필요
  - 골조율, 다중 피복 정도 차이로 작물의 광 이용 및 소모 에너지 차이가 큼
- 유리 온실 보온력 개선 및 에너지 절감 장치 이용 농가실증연구 필요
  - 겨울철 광 이용율 개선을 위해 얇은 보온커튼 이용으로 에너지 소모가 매우 큼

### □ 통합형 농업혁신모델의 검증 및 보급측면

- 시설원에 주산지에 비닐하우스 및 유리온실에 적용할 에너지 절감 혁신 모델 설치 및 검증
  - 분석 기준 : 단동형 비닐하우스(0.1ha), 연동형 비닐하우스(0.1ha), 유리온실(1.0ha)
- 신규 및 시설 개선 사업 추진 시 시범사업 추진으로 에너지 절감 기술 확산 실시
  - 시군 농업기술센터에서 시설 설치 대상농가 추천, 기술지도 및 경영개선 컨설팅 실시

## 다. 연구개발 범위

### □ 시설농업 에너지절감 정책 등 확산에 필요한 실증모델 제시

- 시설종류, 지역 및 작물에 적합한 에너지절감 패키지 기술 개발 및 확산 실증모델 제시
- 실증모델별 에너지절감 효과와 생산성 향상에 의한 경제성분석 및 확산 시 기대효과 제시

### □ 에너지절감에 따른 환경부담 경감 효과 구명

- 에너지절감 패키지 기술별 단위당 이산화탄소 배출량 저감 효과 및 면세유 적용 총량 산출



## 라. 연구개발 목표 및 실적

### □ 추구하는 통합형 농업혁신모델의 개요 및 목표

#### < 목 표 >

#### ◆ 개별 절감기술의 패키지 적용 등 새로운 냉난방시스템 개발로 에너지 절감

⇒ 목표(경영비중 난방비 비중) : (현재) 30~40% → (목표) 20~30% (25~33% 감축)

\* 난방유 절감계획 : ('13, 기준) 970천㎥ → ('17) 920(5%↓) → ('22) 776(20%↓)

#### ○ 시설원에 에너지 절감 확산 모델 추진 기본 방향

- 다중피복에 의한 광부족, 수막시설에 의한 지하수 고갈, 과습 등을 고려한 보온력 향상 기술 도입
- 보온덮개 등 노동력이 많이 소요되는 장치는 지향하고 생력화 및 자동화 실시
- 화석연료의 유한성과 환경오염 등을 고려하여 유류사용을 최소화
- 시설원에 농가의 경영비 절감 및 소득 향상을 위해 창의적인 에너지 절감 기술 패키지화

#### ○ 시설원에 에너지 절감 확산 모델 개발 단계별 추진 전략

- 1단계 : 국내외 시설원에 에너지 절감형 비닐하우스 및 온실 모델 선행기술 조사 분석
- 2단계 : 에너지 절감형 모델별 현장 실증을 통한 실용화 연구 및 모델 검증
- 3단계 : 태양열, 지열, 폐열 등 신재생에너지 실용화

#### ○ 유관기관(단체) 및 농가 협력체계 강화

- 농식품부, 농산업체, 농업기술원, 농업기술센터 등 관련기관(단체)과 유기적인 협력관계 구축
- 선도적인 시설원에 농가 포장에서 실증연구 및 현장 교육장으로 개발 기술의 확산 추진

### □ 통합형 농업혁신모델의 검증 방안 및 목표

#### ○ 시설원에 에너지 절감 확산 모델 개발 및 평가 내용

- 시설원에 주산지별 현장애로 사항 파악 및 해결방안 마련
  - 시설 유형별 보급 기술의 문제점 파악 : 설치비용, 활용도, 시설환경에 미치는 영향 등
- 에너지 절감 기술 실증시험 : 시설 유형별 2개소(전체 6개소)
- 작물 생육 및 수량성 분석 : 성장속도, 군락 생산구조, 수량 등
- 경제성 분석 : 연료소모량, 생력화 정도, 난방비 등

#### ○ 시설원에 에너지 절감 기술 확산 목표

- 시설 유형별 에너지 절감으로 생산비용 절감
  - 생산비 중 난방비 비중 감소 : 30~40% → 20~30%
- 시설 작물별 생산성 향상으로 경영여건 개선
  - 수량 및 품질 개선으로 농가소득 증대 : 20~30%

### □ 통합형 농업혁신모델 개발 목표 대비 성과

1년차목표(성과) (모델설정, 사무국 설치)	2년차 목표(성과) (실증연구 확대)	3년차목표(성과) (실증모델 고도화)
- 실증현장 : 12(12)개소 - 연구작목 : 3개 (파프리카, 딸기, 토마토) - 확산모델 : 1개	- 실증현장 : 15(17)개소 - 연구작목 : 6개 (파프리카, 딸기, 토마토, 풋고추, 참외, 국화) - 확산모델 : 4개	- 실증현장 : 8(8)개소(축소 추진) - 연구작목 : 5개 (딸기, 토마토, 풋고추, 국화, 참외) - 확산모델고도화 : 8개

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

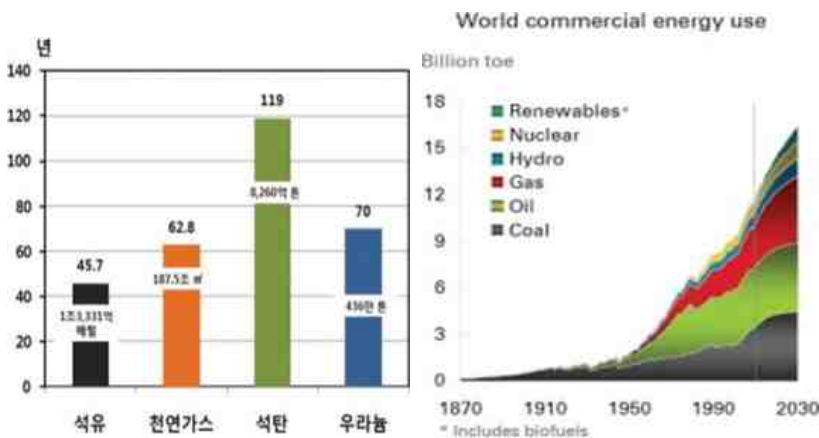
### 가. 국제 유가동향

□ 국제 유가는 단기간 유동 폭이 크며 중장기적으로는 가격이 오르고 있음

○ 국제 유가변동에 따라 농업에너지절감 기술개발 및 정책 추진에 변수가 작용하고 있으나 중장기적으로 유가 등락에 따른 에너지 수급 대책 필요함

□ 기존 석유 등 화석연료에서 태양광 자연 에너지 이용 기술이 급격히 늘고 있음

○ 석유, 석탄, 천연가스, 우라늄 등 부존자원 한계와 기후변화 대응이 필요하여 태양광, 지열, 풍력 등 친환경적 신재생에너지 이용기술 수요가 급격히 증가하고 있음



(그림) 에너지원별 잔존량

(그리) 에너지 수요 전망



(그림) 대체 에너지 생산 동향

### 나. 국내외 에너지절감 시설 연구개발 및 산업 특성 분석

□ 국제 유가는 단기간 유동 폭이 크며 중장기적으로는 가격이 오르고 있음

○ 우리나라는 기후 대비 시설재배지역이 광범위하고 농가 규모가 적어 다양한 냉난방기술이 사용되고 있으나, 외국은 적지에 시설재배를 하고 있어 지역 특성에 따라 규모화된 냉난방기술이 사용되고 있음

○ 따라서 국내 대규모 간척지 수출원예단지 조성 등에 규모화된 에너지절감 시설이 필요함

(표) 국내외 에너지절감 기술 비교

구분	국내	국외(화란, 일본, 이스라엘 등)
난방장치	지열(지중열), 공기열 교환장치, 고체연료(RDF) 난방장치, 열회수장치, 국부(근권,생장점지점)난방장치 등	열병합발전, 심층지열발전 시설, 복합열이용장치(태양+지열+공기열), 국부(근권,생장점지점)난방장치 등
냉방장치	지열(지중열), 공기열 교환장치, 팬 & 패드 장치, 저압식분무장치 등	열병합발전, 심층지열발전 시설, 팬 & 패드 장치, 저압식분무장치 등
보온시설	다겹보온시설(부직포, 화학솜, 폴리폼), 기능성보온시설(열관류 억제기능 강화)	알미늄필름 다층 보온시설 (광환경을 중시하여 취약함)
차광시설	흑색차광망(15, 30, 50, 60, 75, 100%), 수시차광시설(일사량 비례 차광)	백색차열네트(필름), 수시차광시설(일사량 비례 차광)
광환경조절 자재	장파방사억제, 선택적 광파장투과 필름, 방적, 방무, 방진, 내자외선필름	장파방사억제(내한성 필요 지역), 선택적 광파장투과 필름(강광 지역), 방적, 방무, 방진, 내자외선필름
기타	보온터널, 탄소발열필름(섬유),	-

### 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

#### 가. 연구 내용

##### □ 연구 수행 방법 및 내용

- 지역별 시설과 작물에 따라 효과가 큰 냉난방 에너지절감 단위기술을 조합하여 패키지화하였음
- 패키지 기술은 단위기술 가운데 열효율, 보온성 및 투광성이 우수하고 보급이 쉬운 것을 선정하였음

시설유형 (실증기관)	패키지 기술 기본 실증모델	구분	대상작목	적용지역
연동 I (충남도원)	냉방(세무+수시차광) 난방(국부난방+알루미늄스크린)	냉방 난방	토마토 토마토	전국 중부지역
연동 II (경기도원)	다겹보온+지중저수열장치+팬코일	냉난방	토마토, 국화	중부지역
연동 III (전북도원)	다겹보온+열회수환기시설	난방	토마토, 딸기	중남부지역
단동 I (충북도원)	다겹보온+공기열 히트펌프+반사필름	난방	딸기, 토마토	중부내륙지역
단동 II (전남도원)	다겹보온+국부난방+수막 공기열 히트펌프+다겹보온	난방 난방	딸기, 토마토 딸기	남부지역 남부지역
단동 III (강원도원)	다겹보온+근권난방+수막	난방	딸기, 토마토	강원지역
단동 IV (경북도원)	기능성 다겹보온+공기순환+연결동	난방	딸기, 참외	중남부지역
단동 V(광폭형) (경남도원)	알미늄 스크린+공기유동장치+덕트개선	난방	풋고추	남부지역
유리온실 (시설원예연구소)	지중저수열+다겹보온+근권난방 지중저수열+세무냉방+수시차광	난방 냉방	토마토 파프리카	전국 전국

##### □ 연구 수행 방법 및 내용

- 실증연구 대상 시설 종류는 설치면적과 중요도를 감안하여 유리온실 1개소, 연동하우스 3개소, 단동 하우스 5개소로 하였으며 대상작물은 파프리카, 토마토, 딸기, 풋고추, 참외, 국화 등으로 하였음
- 에너지절감 효과는 시설환경, 에너지 비용, 경제성분석 및 이산화탄소 배출량을 조사 분석하였음

연구 범위	연구수행방법	구체적인 내용
유리온실 에너지절감 시설구축, 생산성 구명	- 유리온실 에너지절감 기술투입 - 토마토, 파프리카 생육과 수량 조사	- 지중저수열시스템등 패키지기술 투입 - 초장, 엽수, 과중, 과수, 당도 등 조사
연동하우스 에너지절감 시설구축, 생산성 구명	- 연동비닐하우스 에너지절감기술투입 - 토마토, 국화 생육과 수량 조사	- 다겹보온등 패키지기술 투입 - 초장, 엽수, 과중, 과수, 당도 등 조사
단동하우스 에너지절감 시설구축, 생산성 구명	- 단동비닐하우스 에너지절감기술투입 - 딸기, 토마토 생육과 수량 조사	- 공기열 히트펌프 등 패키지기술 투입 - 초장, 엽수, 과중, 과수, 당도 등 조사
패키지기술 도입 온실의 계측장치 설계 및 설치	- 환경계측장치 설치 및 측정 (온실 내외 광도, 습도, 온도 등)	- 환경센서 설치 및 조사 (처리별3개 지점에서의 환경 측정치)
개발기술의 에너지절감, 환경개선 효과 분석	- 기존 기술 대비 에너지 절감효과 비교, 온실가스 저감 효과 분석	- 경제성분석 : 투자 대비 소득 증가분 - 배출저감효과 : 절감량×탄소배출계수

\* 기타 세부 시험연구 조사방법은 별도의 업무 매뉴얼을 작성하여 운영하였음

## 나. 연구 결과

### □ 지역별 주요 에너지절감 패키지 기술에 따른 에너지절감 및 생산성 향상 효과

- 연동 비닐하우스 I (충남농업기술원, 토마토)
  - 2중 알루미늄스크린시설(보온 및 차광)+근권냉난방장치에서 에너지 비용 50.5% 절감 및 수량 7% 증가
- 연동 비닐하우스 II (경기농업기술원, 국화)
  - 지중저수열장치(보조물탱크 설치)+다겹보온시설에서 에너지 비용 77% 절감 및 수량 28.6% 증가
- 연동 비닐하우스 III (전북농업기술원, 딸기)
  - 2중 다겹보온시설+열회수장치에서 에너지 비용 33% 절감 및 수량 12.5% 증가
- 단동 비닐하우스 I (충북농업기술원, 딸기)
  - 공기열교환장치+다겹보온시설+덕트개선에서 에너지 비용 40.1% 절감 및 수량 5% 증가
- 단동 비닐하우스 II (전남농업기술원, 딸기)
  - 공기열교환장치+다겹보온시설+CT 이용 복합환경조절에서 에너지 비용 83% 절감 및 수량 7% 증가
- 단동 비닐하우스 III (강원농업기술원, 딸기)
  - 다겹보온시설+근권냉난방장치+열회수장치+수막시설에서 에너지 비용 77% 절감 및 수량 105% 증가
- 단동 비닐하우스 IV (경북농업기술원, 참외)
  - 기능성보온덮개+연결동설치+공기유동팬(순환형)+탄산시비에서 초기수량 45% 증가
- 단동 비닐하우스 V (경남농업기술원, 풋고추)
  - 알루미늄스크린보온시설+공기유동팬+온수배관에서 에너지 비용 13% 절감 및 수량 36% 증가
- 유리온실(시설원예연구소, 파프리카)
  - 지중저수열장치+다겹보온시설+근권냉난방장치에서 에너지 비용 82% 절감 및 수량 14% 증가

(표) 패키지 기술별 에너지절감 및 생산성 향상 효과

실증과제 (실증기관)	시험작물	패키지 기술	에너지 절감율	생산성 향상 (수량증가)
연동 비닐하우스 I (충남농업기술원)	국화	2중 알루미늄스크린시설(보온 및 차광)+근권냉난방장치	50.5%	7%
연동 비닐하우스 II (경기농업기술원)	토마토	지중저수열장치(보조물탱크 설치)+다겹보온시설	77%	28.6%
연동 비닐하우스 III (전북농업기술원)	딸기	2중 다겹보온+열회수장치 (내부 공기열 이용)	33%	12.5%
단동 비닐하우스 I (충북농업기술원)	딸기	공기열교환(공기 대 공기 방식)+다겹보온시설+덕트개선(측면 공기매트)	40.1%	5%
단동 비닐하우스 II (전남농업기술원)	딸기	공기열교환(공기 대 물)+상부개방형 다겹보온시설+CT 이용 복합환경조절(실시간 조절)	83%	7%
단동 비닐하우스 III (강원농업기술원)	딸기	다겹보온시설+근권냉난방장치+열회수장치+수막시설	77%	105%
단동 비닐하우스 IV (경북농업기술원)	참외	기능성보온덮개+연결동설치+공기유동팬(순환형)+탄산시비	-	45%
단동 비닐하우스 V (경남농업기술원)	풋고추	알루미늄스크린보온시설+공기유동팬+스테인레스온수배관(지표면)	13%	3.6%
유리온실 (시설원예연구소)	파프리카	지중저수열장치(복합열이용)+다겹보온시설+근권냉난방장치	82%	14%

□ 경제성 분석 결과

- 유리온실(시설원예연구소, 파프리카)
  - 지중저수열장치(보조 80%)+다겹보온시설+근권냉난방장치에서 소득 6,737 천원/10a 증가
- 연동 비닐하우스 I (충남농업기술원, 토마토)
  - 2중 알미늄스크린시설(보온 및 차광)+근권냉난방장치에서 소득 519 천원/10a 증가
- 연동 비닐하우스 II(경기농업기술원, 국화)
  - 지중저수열장치(보조 80%)+다겹보온시설에서 소득 4,703 천원/10a 증가
- 연동 비닐하우스 III(전북농업기술원, 딸기)
  - 2중 다겹보온시설+열회수장치에서 소득 1,832 천원/10a 증가
- 단동 비닐하우스 I (충북농업기술원, 토마토)
  - 공기열교환장치(보조 50%)+다겹보온시설+덕트개선에서 소득 606 천원/10a 증가
- 단동 비닐하우스 II(전남농업기술원, 딸기)
  - 공기열교환장치(보조 50%)+다겹보온시설+ICT 이용 복합환경조절에서 소득 17,046 천원/10a 증가
- 단동 비닐하우스 III(강원농업기술원, 딸기)
  - 다겹보온시설+근권냉난방장치+열회수장치+수막시설에서 소득 7,868 천원/10a 증가
- 단동 비닐하우스 IV(경북농업기술원, 참외)
  - 다겹보온시설+PO필름+전열선에서 소득 3,943 천원/10a 증가
- 단동 비닐하우스 V(경남농업기술원, 풋고추)
  - 알루미늄보온커튼+유동팬+나노합금전열선에서 소득 2,651 천원/10a 증가

(표) 패키지 기술별 추가 비용과 수익에 의한 소득분석

실증연구과제 (수행기관)	패키지 기술(작물)	추가비용(A)			수익(B)			소득 (B-A) 천원 /10a
		고정비①)	변동비②)	소계	에너지 절감액	수량 증가액	소계	
유리온실 (시설원예연구소)	지중저수열장치+다겹보온시설+근권냉난방장치(토마토, 80% 보조)	4,095	-	4,095	4,940	-	4,940	845
	지중저수열장치+다겹보온시설+근권냉난방장치(파프리카, 80% 보조)	4,095	2,100	6,195	9,153	3,779	12,932	6,737
연동하우스 I (충남농업기술원)	2중알미늄스크린시설+근권냉난방장치(토마토)	1,674	74	1,748	1,268	999	2,267	519
연동하우스 II (경기농업기술원)	지중저수열장치+다겹보온시설(국화, 80% 보조)	2,400	480	2,880	7,583	-	7,583	4,703
연동하우스 III (전북농업기술원)	2중다겹보온시설+열회수장치(토마토)	1,152	262	1,414	1,175	1,759	2,934	1,520
	2중다겹보온시설+열회수장치(딸기)	1,786	310	2,096	768	3,160	3,928	1,832
단동하우스 I (충북농업기술원)	공기열교환장치+다겹보온시설+덕트개선(토마토, 50%보조)	1,500	815	2,315	815	2,106	2,921	606
	공기열교환장치+다겹보온시설+덕트개선(딸기, 50%보조)	1,500	815	2,315	815	1,700	2,515	200
단동하우스 II (전남농업기술원)	공기열교환장치+다겹보온시설+복합환경조절(딸기, 50%보조)	2,798	2,572	5,370	2,588	19,828	22,416	17,046
	공기열교환장치+다겹보온시설+복합환경조절(딸기)	5,596	4,911	10,507	2,588	19,828	22,416	11,909
단동하우스 III (강원농업기술원)	다겹보온시설+근권냉난방장치(수막재(딸기))	3,066	317	3,383	741	10,510	11,251	7,868
단동하우스 IV (경북농업기술원)	다겹보온시설+유동팬+연결동+탄산사비(참외)	441	272	713	(53)	974	1,027	314
	다겹보온시설+PO필름+전열선(딸기)	1,813	211	2,024	126	5,841	5,967	3,943
단동하우스 V (경남농업기술원)	보온커튼+유동팬+온수매관(풋고추)	711	170	881	14	2,514	2,528	1,647
	보온커튼+유동팬+나노합금전열선(풋고추)	1,255	251	1,506	468	3,698	4,157	2,651

1) 고정비 : 시설(장치) 감가상각비, 잔존율(0%), 수리비(1%), 고정이자(3%) 등  
 2) 변동비 : 인건비, 재료비(소모성) 등

□ 에너지절감 단위기술별 소요 자재 내역

- 목적 : 시설유형 및 지역별 패키지 기술에 포함된 단위기술 투입(설치) 농자재 비용 파악
- 활용 : 패키지 기술에서 각각의 농자재가 차지하는 고정비 계산
- 특이사항
  - 지중저수열장치와 공기열교환장치는 초기 투자비용이 커서 현행 국가보조율 적용 : 각각 80, 50%
  - 지역에서 에너지절감 효과가 큰 전열선, 피복자재 등도 지자체 사업에 반영하기 위해 기술

(표) 패키지 기술별 농기자재의 비용 내역

실증연구과제 (수행기관)	패키지 기술 구성 농기자재 (자재, 장치, 시설 등)	내구연한 (년)	설치비	감가상각비	수리비 (1%)	이자(3%)
유리온실 (시설원예연구소)	지중저수열 냉난방장치(물탱크)	12(25)	88,000	7,333	73.3	219.9
	알루미늄(AL) 다겹보온커튼	10	18,000	1,800	18.0	54.0
	근권난방장치	10	2,000	200	2.0	6.0
	포그시스템	8	7,000	875	8.8	26.4
	팬코일유닛	10	4,000	400	4.0	12.0
	차광스크린	10	14,000	1,400	14.0	42.0
연동하우스 I (충남농업기술원)	2중 알루미늄(AL) 스크린	10	10,800	1,080	10.8	32.4
	국부난방장치	15	8,000	533	5.3	15.9
	포그시스템	8	9,000	1,125	11.3	33.9
	근권냉방장치	12	5,800	483	4.8	14.4
연동하우스 II (경기농업기술원)	지중저수열 냉난방장치(물탱크)	10	12,000	1,200	12	36
	다겹보온커튼	10	10,000	1,000	10	30
연동하우스 III (전북농업기술원)	보온다겹커튼(남원, 구동축 추가)	10	20,803	2,080	20.8	62.4
	보온다겹커튼(임실)	10	17,110	1,711	17.1	51.3
	열회수장치(남원)	10	14,830	1,483	14.8	44.4
단동하우스 I (충북농업기술원)	열회수장치(임실, 인건비 추가)	10	14,850	1,485	14.9	44.7
	공기열교환장치(유류보조난방)	10	30,000	3,000	30	90
	권취식 다겹보온커튼	10	10,000	1,000	10	30
	전열선	10	1,600	160	1.6	4.8
단동하우스 II (전남농업기술원)	수막시설	10	4,000	400	4	12
	공기열매트(덕트개선)	5	10,000	1,000	10	30
	축열식 공기열교환장치	10	64,000	6,400	64	192
	상부개폐식 다겹보온커튼	10	18,000	1,800	18	54
	복합환경조절장치(ICT 이용)	10	12,000	1,200	12	36
	전열선	10	10,000	1,000	10	30
단동하우스 III (강원농업기술원)	순환식수막장치	10	24,000	2,400	24	72
	다겹보온커튼	10	20,218	2,021.8	20.2	60.6
	근권난방장치	12	5,326	532.6	5.3	15.9
	수막채배시설	10	4,826	482.6	4.8	14.4
단동하우스 IV (경북농업기술원)	열회수장치	10	7,425	742.5	7.4	22.2
	기능성 다겹보온커튼	10	7,500	750	7.5	22.5
	공기유동팬	5	1,100	220	2.2	6.6
	연결동	10	1,000	100	1	3
	탄산시비제	1	60	60	-	-
	PO필름	5	3,500	700	3	21
단동하우스 V (경남농업기술원)	전열선	5	1,500	300	-	9
	보온커튼	10	7,348	734.8	7.3	21.9
	공기유동팬	10	1,889	188.9	1.9	5.7
	나노합금전열선	10	11,406	1,140.6	11.4	34.2
	온수배관(표면)	10	10,630	1,063	10.6	31.8
온풍덕트	5	8,206	1,641.2	16.4	49.2	

\* 자재별 특성과 경제성분석 기초자료는 별도의 자료에 표기하였음(첨부 1)

□ 에너지절감에 의한 이산화탄소 저감 효과

○ 시설유형별 주요 패키지 기술이 기존 기술에 대한 에너지 절감량을 기준으로 이산화탄소 배출 절감으로 환산한 결과 0.14122~18.01832 tCO2/10a 정도로 나타났음

(표) 패키지 기술별 에너지절감에 의한 이산화탄소 배출 절감량

과제명 (기관)		에너지 사용량		에너지 절감량 (이산화탄소배출량)		이산화탄소 배출 절감량 (tCO2)	비고
		등유(L)	전기 (kWh)	등유(L)	전기 (kWh)		
연동 I (충남)	패키지	1,836	-	1,876	-	4.58009	토마토
	대조	3,712	-	-	-	-	
연동 II (경기)	패키지	-	57,927	12,000	-	2.04231	국화
	대조	12,000	-	-	57,927	-	
연동 III (전북)	패키지	3,000	5,897	1,900	-	4.22379	딸기
	대조	4,900	5,015	-	882	-	
단동 I (충북)	패키지	963	11,356	751	5,468	4.58953	딸기
	대조	1,714	16,824	-	-	-	
단동 II (전남)	패키지	-	10,323	4,237	-	5.92110	딸기
	대조	4,237	922	-	9,401	-	
단동 III (강원)	패키지	553	9,040	1,800	-	0.14122	딸기
	대조	2,353	-	-	9,040	-	
단동 IV (경북)	패키지	26	-	191	-	0.46631	딸기
	대조	217	-	-	-	-	
단동 V (경남)	패키지	33,412	11,745	5,068	619	3.89572	풋고추
	대조	38,480	12,364	-	-	-	
유리 (시설)	패키지	-	35,082	14,071	-	18.01832	파프리카
	대조	14,071	364	-	34,718	-	

□ 에너지절감에 의한 이산화탄소 저감 효과

○ 2014년 기준 국내 면세유 총량을 이산화탄소 배출량으로 환산한 결과 약 80만 탄소톤(tCO2)이었으며, 농업 부문 자체 온실가스 저감 사업 기준에 적용하면 약 8,000백만원의 농가소득 증대가 예상됨


(표) 국내 시설농업 면세유 공급량 및 이산화탄소 배출량


구분	면세유 공급량 (kL)	이산화탄소 배출량 (tCO2)
휘발유	79,094	164,178.03
등유	187,163	456,942.24
경유	1,344,849	3,475,221.61
중유	30,449	91,340.66
윤활유	341	896.60
LPG	2,794	10,065.53
계	1,644,690	4,107,304.01 (20% 적용 시 약 80만톤 절감)

\* 이산화탄소 배출량을 구하는 방법은 별도자료에 첨부하였음 (첨부 2)

□ 국내 에너지절감 기술 이용 사례


\* 국내 기술조사는 기 시행하고 있는 정책사업, 지역 특화사업 등 효과가 입증된 기술을 위주로 하였음  
○ 난방열효율 개선 기술

제목	지중열교환장치이용 효과
기술개발	농촌진흥청, 티알엑서지 공동
시스템구성	열교환기, 축열탱크, 온수조, 열배분기,컨트롤러등
설치비용	10,000천원/10a (수전설비 등 제외)
에너지절감효과	난방비 87% 절감(경유 대비)
지원조건 및 보급현황	80% 보조(시설채소, 화훼, 공정육묘 등) 농식품부 에너지이용효율사업 등으로 보급 중
문제점 및 개선방안 (평가의견 중심)	- 설치비용이 비쌘 - 부대시설 소요(물탱크, 열배분기 등) - 사후 관리시스템이 미흡 - 혹한기 난방용량 우려 - 대규모 보급에 한계(개발 및 보급 업체 한정)
현장사진 (경남 진주)	


제목	공기열히트펌프 이용 효과
기술개발	농촌진흥청, 충북농업기술원, LG전자, 신영전자 등
시스템구성	히트펌프, 열배분기, 컨트롤러 등
설치비용	40,000~50,000천원/10a (수전설비 등 제외)
에너지절감효과	난방비 70% 절감(경유 대비)
지원조건 및 보급현황	50% 보조(호접란, 공정육묘 시설 등) 농식품부 에너지이용효율사업 등으로 보급 중
문제점 및 개선방안 (평가의견 중심)	- 설치비용이 비쌘 - 고온기와 저온기 열효율 차이가 큼 - 사후 관리시스템이 미흡 - 재배시설 내부 열분배장치 추가 소요 - 동절기 동파 우려 제기
현장사진 (충북 청주)	



제목	고체연료 난방기 이용 효과
기술개발	㈜거나백, 규원테크
시스템구성	순환펌프, 공급팬, 구동모터 등
설치비용	29,000천원/대(20만kcal/hr)
에너지절감효과	난방비 52% 절감(경유대비)
보급현황	농림수산식품부 에너지이용 효율화 사업 등 보급 중
문제점 및 개선방안 (평가의견 중심)	- 원료 수급에 대한 예로사항 - 일정 출력과 효율을 유지 - 불완전 연소
참고사진 (시설원에연구소)	

제목	온풍난방기 배기열 회수장치 이용 효과
기술개발	그린테크, 동성애코테크
시스템구성	흡열부, 방열부
설치비용	2,500천원/대/10a
에너지절감효과 (경유대비)	열 회수율 : 61~85% 난방비 16% 절감
보급현황	6,000여대 보급
문제점 및 개선방안 (평가의견 중심)	-배기열은 가스형태로 배출되고 전열면적을 크게 하여야 하므로 열교환기가 커야됨
참고사진 (국립농업과학원)	

○ 보온성 향상 기술

제목(방식)	중앙권취식보온터널 자동개폐장치 (상하이동식)
기술개발	성창ESC
시스템구성	보온자재, 예인 및 권취모터, 와이어드럼, 클러치
설치비용	15,000천원/10a
에너지절감 효과	난방비 절감 : 60% 터널 개폐노력 절감: 90%
보급현황	60ha
문제점 및 개선방안 (평가의견 중심)	- 개폐작업 시간 소요
현장사진 (충북 음성)	

제목(방식)	다겹보온장치 (수평예인식, 수평권취식 등)
기술개발	탑ENG, 육일부직포 등
시스템구성	개폐축, 구동모터, 보온자재 등
설치비용	15,000천원/10a
에너지절감 효과	난방비 40% 절감
보급현황	1,500ha
문제점 및 개선방안 (평가의견 중심)	- 보수 및 교체작업의 어려움 - 균형이 맞지 않을 경우 고장 발생 - 유지 보수 비용문제
현장사진 (충남 공주)	

제목(방식)	저압식 세무냉방 (중앙식, 측면식)
기술개발	그린누리, 한가람포닉스 등
시스템구성	경질파이프, 에어튜브, 노즐, 압축기 등
설치비용	50,000천원/ha
냉방효과	외기온 대비 7~8℃ 저하
보급현황	1,000ha
문제점 및 개선방안	압축기의 수압이 공기압보다 낮게 유지
현장사진 (경기 화성)	

제목	냉방팬코일유닛
기술개발	대한공조, 센츄리 등
시스템구성	경질파이프, 동관, 선풍기 등
설치비용	8,000천원/10ha
냉방효과	외기온 대비 10℃ 저하
보급현황	1,500ha
문제점 및 개선방안	과습 시 병해 발생
현장사진 (충남 서산)	

□ 농업에너지절감 패키지 기술 현장 평가회 개최 결과

\* 연차별 현장평가 결과는 별도로 첨부하였음 (첨부 3)

○ 농업에너지절감사업단 실증과제 1년차 현장평가 결과

- 기간 : 2015.3.12.~4.15(6회)
- 장소 : 함안, 천안, 안성, 청주, 장성, 속초
- 참석 : 농식품부, 농진청, 대학, 농업기술원, 농업기술센터, 농산업체, 농민 등 245명
- 문제점 및 개선방안

문제점(장소)	개선방안
지중저수열장치의 효과 및 경제성 의문(함안)	난방용량 충분, 난방은 부족, 경제성은 추후 분석
적산 환경요인 측정값 제시 필요(천안)	계측센서 고정 설치
지역특성상 혹한기 난방온도가 제한됨(안성)	에너지절감 효과가 화훼(국화 등) 적용 검토
2차 에너지인 전기는 주난방으로는 곤란함(청주)	패키지 기술에서 보조난방으로 이용
냉방처리 시 습도가 높을 경우 대책 필요(장성)	2년차에 제습기 설치하여 효과 분석
수막시설 적용성 검토 요망(속초)	속초지역은 수자원, 수질이 불량하여 제외 바람직

(표) 실증과제별 1년차 현장평가 장소 및 참석 내용

실증과제	실증연구기관 (책임자)	현장평가 장소(농가명) (일시)	참석
유리온실	시설원예연구소 (전종길)	경남 함안군 함안면 진합리1425 (2014.4.15. 14:00~17:30)	농식품부, 원예원, 시설원예연구소, 8개 도농업기술원등 47명
연동 바늘하우스 I	충남농업기술원 (이문환)	충남 천안시 상명대학교 (2015.5.10.14:00)	원예원, 충남도원, 상명대학교, 작목반, 농산업체 등 28명
연동 바늘하우스 II	경기농업기술원 (심상연)	경기 안성시 대덕면 명당리 262-2 (2015.3.18. 11:00~13:00)	원예원, 경기도원, 안성센터, 작목반, 농산업체 등 63명
단동 바늘하우스 I	충북농업기술원 (김주형)	충북 청주시 가덕면 노동길 61-16 (2015.4.10. 11:00~13:00)	원예원, 충북도원, 청주센터, 작목반, 농산업체 등 30명
단동 바늘하우스 II	전남농업기술원 (나택상)	전라남도 장성군 남면 덕성리 728 (2015.4.1. 10:30~14:00)	원예원, 전남도원, 장성센터, 작목반, 농산업체 등 50명
단동 바늘하우스 III	강원농업기술원 (김영진)	강원도 속초시 노학동 (2015.3.12.16:00)	원예원, 강원도원, 속초센터, 작목반, 농산업체 등 27명

○ 농업에너지절감사업단 실증과제 2년차 현장평가 결과

- 기간 : 2016.2.26.~4.20(10회)
- 장소 : 함안, 부여, 파주, 괴산, 장성, 인제, 고령, 성주, 진주
- 참석 : 농식품부, 농진청, 대학, 농업기술원, 농업기술센터, 농산업체, 농민 등 443명
- 현장 질의응답 내용

문제점(장소)	개선방안
다겹보온재의 특성 제시(남원)	내구성, 보온성 등 매뉴얼에 표시하겠음
열회수장치의 제습 효과 의문(임실)	내부 공기열 이용 가능
복합환경조절장치 효과(장성)	실시간 환경제어로 노동력 25% 절감
열보온매트 효과 및 내구성(청주)	측면 단열효과 우수 및 수명 5년
혹한기 이외 저수조 관리방안(파주)	저수조 내주 간이수조 설치
열효율이 우수한 나노합금열선 정책반영 요구(진주)	정책방침과 달라 지자체 사업으로 추진 바람직
토마토 근권부 온도 관리 방안(부여)	근권부에 온·냉수 파이프 설치로 냉난방 조절
고온기 환기조절 방법(성주)	측장 개폐 및 공기 유동팬 가동으로 기온 하강시킴
강원지역에 적합한 딸기 시설 설계 필요(삼척)	기존 내재해성 설계도에 안전성 표기되어 있음

(표) 실증과제별 2년차 현장평가 장소 및 참석 내용

실증과제	실증연구기관 (책임자)	현장평가 장소 (일시)	참석
유리온실	시설원에연구소 (권진경)	경남 함안군 함안면 진합리 1425 (2016.3.3. 14:00~17:30)	농업에너지절감사업단, 시설원에연구소, 함안/의령센터, 농민 등 41명
연동 배넬하우스 I	충남농업기술원 (김경제)	충남 부여군 양화면 양화서로 669-9 (2016.4.21.14:00)	원예원, 충남도원, 부여/서천센터, 작목반, 농산업체 등 28명
연동 배넬하우스 II	경기농업기술원 (심상연)	경기도 파주시 적성면 담안길 38-8 (2016.3.8. 14:00~16:00)	원예원, 경기/경남도원, 파주센터, 작목반, 농산업체 등 38명
연동 배넬하우스 III	전북농업기술원 (김치선)	전북 남원시 신정동 431-3 (2016.3.9.14:00~16:00)	원예원, 전북도원, 남원센터, 작목반, 농산업체 등 41명
단동 배넬하우스 I	충북농업기술원 (노재관)	충북 괴산군 청안면 질마로 1401-5 (2016.4.20.14:00)	원예원, 충북도원, 괴산센터, 작목반, 농산업체 등 40명
단동 배넬하우스 II	전남농업기술원 (손동모)	전남 장성군 진원면 용산리 413-9 (2016.2.26. 10:30~14:00)	원예원, 전남/경남도원, 장성센터, 작목반, 농산업체 등 51명
단동 배넬하우스 III	강원농업기술원 (김영진)	강원 인제 인제읍 안삼재길 149-8 (2016.4.1.11:00)	원예원, 강원도원, 인제/속초센터, 작목반, 농산업체 등 24명
단동 배넬하우스 IV	경북농업기술원 (신용습)	경북 고령 대가야읍 대가야로 1481 (2016.2.23. 10:40~15:00) 경북 성주군 월항면월항로322-83 (2016.3.17. 10:40~14:00)	원예원, 경북/충북/경남도원, 성주 및 고령센터, 작목반, 농산업체 등 142명
단동 배넬하우스 V	경남농업기술원 (김우일)	경남 진주시 문산읍 이곡리 1290-2 (2016.2.25. 10:40~14:30)	원예원, 경남/경북/충남/경기 도원, 진주센터, 작목반, 농산업체 등 38명

○ 농업에너지절감사업단 실증과제 3년차 현장평가 결과

- 기간 : 2016.2.26.~4.20(10회)
- 장소 : 함안, 부여, 파주, 괴산, 장성, 인제, 고령, 성주, 진주
- 참석 : 농식품부, 농진청, 대학, 농업기술원, 농업기술센터, 농산업체, 농민 등 443명
- 현장 질의응답 내용

문제점(장소)	개선방안
다겹보온재의 내구성을 강화 방안(남원)	내구성이 떨어지는 폴리폼 제외
복합난방기에 일사량에 따른 비례제어 필요(임실)	4단 변온관리장치 부착으로 변온관리 실시
노동력 절감을 위한 스마트팜과 연계 방안 필요(장성)	ICT 이용 복합환경관리 시스템 설치운영
주변 작목반 농가에게 필요한 기술 전수 요망(청주)	실증사업농가 에너지절감 현장 교육장 활용
지중저수열장치 용량 확보 필요(파주)	저수조 확대 및 간이수조 설치
열효율이 우수한 나노합금열선 정책반영 요구(진주)	지자체 사업으로 추진
에너지 비용 절감 근거자료 제시 필요(부여)	3.30일 기준 49.5% 에너지 비용 절감
기능성 보온덮개의 단열효과 제시 필요(성주)	무가온에서 기존 보온덮개보다 2.3℃ 높게 유지
열회수장치의 딸기 병충해 방지 효과(삼척)	3월말까지 제습효과로 농약살포가 없었음

(표) 실증과제별 3년차 현장평가 장소 및 참석 내용

실증과제	실증연구기관 (책임자)	현장평가장소 (일시)	참석
연동 비닐하우스 I	충청남도농업기술원 (김경제)	충남 부여군 양화면 양화서로 669-9 (2017.3.28. 14:00)	원예원, 충남/전남 도원, 부여센터, 작목반, 농산업체 등 26명
연동 비닐하우스 II	경기도농업기술원 (심상연)	경기도 파주시 적성면 담안길 38-8 (2017.3.29. 10:30)	원예원, 경기/충북 도원, 파주센터, 작목반, 농산업체 등 54명
연동 비닐하우스 III	전라북도농업기술원 (김치선)	전북 남원시 신정동 431-3 (2017.2.15. 10:30) 전북 임실군 청우면옥전리 1245 (2017.3.22. 15:00)	원예원, 전북/경북/경남/충북도원, 남 원/임실센터, 작목반, 농산업체 등 122명
단동 비닐하우스 I	충청북도농업기술원 (노재관)	충북 청주시 상당구 가덕면 노동리 39 (2017.3.30. 11:00)	원예원, 충북 도원, 청주센터, 작목반, 농산업체 등 55명
단동 비닐하우스 II	전라남도농업기술원 (손동모)	전남 장성군 진원면용산리 413-9 (2017.2.22. 10:30)	원예원, 전남/경남/충북 도원, 장성 센터, 작목반, 농산업체 등 84명
단동 비닐하우스 III	강원도농업기술원 (김영진)	강원 삼척시 근덕면 삼척로 3937-25 (2017.4.4 11:00)	원예원, 전남/경남 도원, 장성센터, 작목반, 농산업체 등 48명
단동 비닐하우스 IV	경상북도농업기술원 (신용섭)	경북 성주군 월항면 월항로 322-83 (2017.3.31. 10:40)	원예원, 경북 도원, 성주센터, 참외마 이스터대학 및산업체 등 76명
단동 비닐하우스 V	경상남도농업기술원 (정원규)	경남 진주시 문산읍 이곡리 1290-2 (2017.3.28. 10:30)	원예원, 경남 도원, 진주센터, 작목 반, 농산업체 등 45명

## 제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

- 연구개발 목표에 따른 연차별 성과는 논문을 제외하고는 달성하였음(논문 진행 중)
- 지역별 특성에 적합한 패키지 기술을 실증농가에 접목하여 해당 농가 및 작목반에서도 호응도가 높았음
- 특히 정책사업으로 추진할 경우 관련 농산업체 육성 및 수출 기반 조성에도 기여할 것임

(표) 연차별 연구개발 목표 및 내용

연차	연구개발 목표	연구개발 내용	달성도 (%)
1년차	- 지역별 적정 실증모델 설정 - 실증연구 기반 구축 - 에너지 절감율 향상 - 현장평가 및 기술지도	- 유리온실, 연동 및 단동 비닐하우스 모델설정 - 실증연구기관, 실증농가 선정 및 기술 투입 - 패키지 기술별 에너지 절감율 제고 - 동계 에너지절감 및 생산성 향상 효과 평가	100
2년차	- 실증연구 확대 : 12→15개소 - 에너지 절감율 향상 : 30~50% - 확산기반 조성 : 정책건의 등 - 현장평가 및 기술지도	- 실증연구 농가 확대 : 17개소 - 에너지 절감율 제고 : 33~82% - 확산 모델 제시(정책반영) : 4건 - 현장평가회 개최 및 기술지도 : 10회(24건)	100
3년차	- 실증연구 고도화 - 경제성분석 - 온실가스저감효과 구명 - 확산정책 제시	- 실증연구 축소 및 고도화 : 8개소 - 패키지 기술별 경제성 분석 : 12건 - 이산화탄소 배출 저감효과 구명 : 9건 - 확산 모델 제시(정책반영 계획) : 8건	100

(표) 연차별 연구개발 성과

구 분	지식재산권		논문		학술 발표	기술 이전	교육 지도	현장 평가회	세미나	영농 활용	정책 반영	홍보	자료 발간
	출원	등록	SCI	비 SCI									
목표	1	1	2	8	25	1	25	10	10	12	8	180	5
실적(1년차)	1	1	-	2	7	1	6	5	4	4	1	41	-
실적(2년차)	-	-	-	1	11	-	12	10	7	3	4	74	-
실적(3년차)	-	-	-	-	10	-	20	9	6	7	-	79	9
실적(계)	1	1	-	3	28	1	38	24	17	14	5	194	9
금후계획	-	-	3	5	10	-	-	-	-	-	3	-	1

(표) 에너지절감 패키지 기술별 기대효과

실증연구과제 (수행기관)	적용 패키지 기술 (작물, 보조율)	에너지절감 효과 (천원, ha)	수량증대 효과 (천원, ha)	합계 (백만원)
유리온실 (시설원예연구소)	지중저수열+AL다겹보온+근권냉난방 (파프리카, 80% 보조)	91,530×35ha= 3,303,550	37,790×35ha= 1,322,650	4,626
연동하우스Ⅰ (충남농업기술원)	2중AL스크린+근권냉난방 (토마토)	12,569×96ha= 1,206,624	39,852×96ha= 3,825,792	5,032
연동하우스Ⅱ (경기농업기술원)	지중저수열+다겹보온 (국화, 80% 보조)	75,832×30ha= 2,274,960	486,000×30ha= 1,458,000	3,733
연동하우스Ⅲ (전북농업기술원)	2중다겹보온+열회수 (딸기)	7,689×230ha= 1,768,493	31,599×230ha= 7,367,811	9,136
단동하우스Ⅰ (충북농업기술원)	공기열교환+다겹보온+덕트개선 (토마토, 50%보조)	8,150×150ha= 1,222,500	17,000×150ha= 2,550,000	3,772
단동하우스Ⅱ (전남농업기술원)	공기열교환+다겹보온+복합환경조절 (딸기, 50% 보조)	18,780×30ha= 563,400	198,280×30ha= 5,948,400	6,512
단동하우스Ⅲ (강원농업기술원)	다겹보온+근권난방+수막재배 (딸기)	7,410×45ha= 333,900	78,680×45ha= 3,540,000	3,874
단동하우스Ⅳ (경북농업기술원)	다겹보온+유동팬+연결동+탄산시비 (참외)	-	5.5톤×4,693ha=15,340,000	15,340
단동하우스Ⅴ (경남농업기술원)	보온커튼+유동팬+온수배관 (꽃고추)	142×700ha= 99,400	25,141×700ha= 17,598,700	17,698
계		10,772,827천원	63,551,353천원	74,323

## 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

- 중앙정부의 정책사업에 반영하기 위해 8개의 고도화된 패키지 기술을 제안함(매뉴얼 작성 중)
- 지역별 특성에 적합한 패키지 기술을 대상으로 지자체와 모델 확산 협의(도청, 시군청 등)
- 시설농업 농가에서 정밀환경제어 및 작물생육관리에 대한 영농활용 기술을 개발(지도기관 보급)

### 가. 중앙정부 정책제안 내용

건의대상기관	기술개발기관	정책제안 제목
농림축산식품부	강원농업기술원	강원지역 단동하우스 딸기 에너지절감 패키지기술 지원
농림축산식품부	경기농업기술원	경기지역 연동하우스 국화 에너지절감 패키지기술 지원
농림축산식품부	충남농업기술원	충남지역 연동하우스 토마토 에너지절감 패키지기술 지원
농림축산식품부	충북농업기술원	충북지역 단동하우스 토마토 에너지절감 패키지기술 지원
농림축산식품부	전북농업기술원	전북지역 연동하우스 딸기 에너지절감 패키지기술 지원
농림축산식품부	전남농업기술원	전남지역 단동하우스 딸기 에너지절감 패키지기술 지원
농림축산식품부	경북농업기술원	경북지역 단동하우스 참외 에너지 효율화 패키지기술 지원
농림축산식품부	경남농업기술원	경남지역 단동하우스 풋고추 에너지절감 패키지기술 지원
농림축산식품부	시설원예연구소	(유리온실 파프리카/토마토 에너지절감 패키지기술 지원)

### 나. 지자체 정책제안 내용

추진기관	기술개발기관	자체 추진 사업 제목
강원도청 등	강원농업기술원	단동하우스 딸기, 토마토 에너지절감 패키지기술 지원(전열선)
경기도청 등	경기농업기술원	연동하우스 토마토 에너지절감 패키지기술 지원(다겹보온)
충남도청 등	충남농업기술원	연동하우스 토마토 에너지절감 패키지기술 지원(국소냉방)
충북도청 등	충북농업기술원	단동하우스 딸기, 토마토 에너지절감 패키지기술 지원(전열선)
전북도청 등	전북농업기술원	연동하우스 딸기, 토마토 에너지절감 패키지기술 지원(전열선)
전남도청 등	전남농업기술원	단동하우스 딸기, 토마토 에너지절감 패키지기술 지원(전열선)
경북도청 등	경북농업기술원	단동하우스 참외, 딸기 에너지 효율화 패키지기술 지원(PO필름)
경남도청 등	경남농업기술원	단동하우스 풋고추 에너지절감 패키지기술 지원(전열선)

### 다. 영농활용 기술 내용

기술확산기관	자체 추진 사업 제목
강원농업기술원	단동하우스 딸기, 토마토 에너지절감 패키지기술 지원(다겹보온+열회수장치)
경기농업기술원	연동하우스 토마토 에너지절감 패키지기술 지원(지중저수열+다겹보온)
충남농업기술원	연동하우스 토마토 에너지절감 패키지기술 지원(알미늄스크린+국소냉방)
충북농업기술원	단동하우스 딸기, 토마토 에너지절감 패키지기술 지원(공기매트+다겹보온)
전북농업기술원	연동하우스 딸기, 토마토 에너지절감 패키지기술 지원(다겹보온+ 열회수장치)
전남농업기술원	단동하우스 딸기, 토마토 에너지절감 패키지기술 지원(공기열교환+다겹보온)
경북농업기술원	단동하우스 참외, 딸기 에너지 효율화 패키지기술 지원(연결동+유동팬)
경남농업기술원	단동하우스 풋고추 에너지절감 패키지기술 지원(온수배관+다겹보온)



## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

### 가. 일본, 중국 시설농업 에너지절감 기술동향조사 및 인적네트워크 구축(2015.4.27.~5.8.)

#### □ 목 적

- 일본과 중국의 시설원예 농업에너지절감 기술 및 정책 동향조사
- 한·중·일 시설원예 전문가 인적 네트워크 구축 및 활용

#### □ 출장국가, 출장자 및 출장기간

- 출장국가 : 일본, 중국
- 출장자 및 출장기간

출 장 자	소 속	직급/직위	출 장 기 간
전 희	원예특작과학원	농업연구관	2015.04.27.~05.08(12일간)
전 종 길	원예특작과학원	농업연구관	2015.04.27.~05.08(12일간)
강 보 구	충북농업기술원	농업연구관	2015.04.27.~05.08(12일간)
김 영 진	강원농업기술원	농업연구사	2015.04.27.~05.08(12일간)
박 상 규	충남농업기술원	농업연구사	2015.04.27.~05.08(12일간)
나 택 상	전남농업기술원	농업연구사	2015.04.27.~05.08(12일간)
이 종 철	농림축산식품부	주무관	2015.04.27.~05.08(12일간)

#### □ 수행내용

- 일본 시설원예 연구개발 현황 및 발전방안 협의 : NARO
- 일본 시설원예 구조 및 운영체계 조사 : 일본 지바대학 등
- 일본 시설원예 산업동향 조사 : 식물공장, 파프리카 재배농가 등
- 중국 시설원예 산업동향 조사 : 온실업체, 관광농원, 암면배지 회사 등
- 중국 시설원예 연구개발 현황 및 발전방안 협의 : 절강성 농업과학원

#### 4. 출장성과

- 동북아 선진 시설원예 에너지절감 정책, 연구개발 및 산업동향 반영
- 에너지절감사업 연구 성과의 국내 시설농가 정책지원 기반 확립
- 한·중·일 시설원예 전문가 인적네트워크 구축 및 공동현안 대처 협의로 에너지절감 국제공동연구 협력체계 강화

## 1) 일본 농업·식품 산업기술 총연합기구(NARO) 방문 결과

가. 일 시 : 4월 28일(화) 10:00

나. 장 소 : 이바라키현 츠크바시 관노타이

다. 면 담 자 : 이충근(NARO 농진청 상주연구원), 안동혁(야채다업연구소 주임연구원)

라. 수행내용 : NARO 연구현황 청취 및 국제협력 공동연구 추진 협의

### ○ NARO 연혁

- 일본 농림수산성 19개 연구소, 대학, 센터 독립행정법인화('01. 4. 1)
- 19개 농업연구기관 중 6개 법인구성 : 농업기술연구기구(NARO) 등
- NARO와 특별허가법인 통합('03.10. 1)
- NARO 통폐합 및 조직 재구성('06. 4. 1) : 농업·식품 산업기술 총연합기구로 개편
- NARO 명칭 변경('15. 4. 1) : 독립행정법인 → 국립연구개발법인

### ○ 기능 및 임무

- 농업, 식품, 축산에 대한 시험연구, 개발, 조사, 교육 등을 종합적으로 시행하는 일본 최대 종합 연구기관
- 건강한 식생활 실현, 농업환경 보존, 차세대농업, 식품산업강화 등 농업 생산 현장부터 가공, 유통, 소비까지의 안전관리 및 응용기술 연구 수행
- 첨단 농업기술 전파, 민간수행 특정산업기술 연구지원 및 농업기계 개량에 관한 시험연구 수행

### ○ 예산 및 조직('14. 4월)

- 예산액 : 582억엔
- 직 원 : 2,644명(임원 15, 연구, 일반 등 2,629)
- 조 직 : 15개 기관(본부 1, 연구소 8, 센터 6)

### ○ 연구방향

- 농업·식품 산업 기술에 관한 연구
- 생물계 특정산업기술에 관한 기초 연구 추진 및 민간연구 지원
- 농업기계화 촉진 위한 고성능 농업기계 개발·개량 및 검사·감정
- 정부지침 5년 중기 목표에 의한 Top-down 방식 강화
- 농림수산성과 각 독립행정법인과 연구과제별로 계약체결

### ○ 독립행정법인화 이후 변화

- 신분 변화 : 단체직원(봉급, 연금 등은 공무원과 동일 적용)
- 공무원 인원 경감정책(매년 1%) 및 연금지급연령 연기(60→65세)로 인한 재임용제도 실시로 신규 연구원 채용 곤란 : ('10) 1,659 → ('14) 1,516명
- 법인화 이후 각 연구기관의 중기 5개년 계획은 정부가 설정
- 연구결과 평가시스템 강화 : 평가결과는 예산 및 인사에 반영

### ○ 농업에너지절감분야 연구 현황

- 원전사고 이후 친환경적 바이오연료 이용 선호
- 지중열 히트펌프시설 이용에 대한 반대 심함 : 펠릿연료 대체

- 농림수산연구의 기본계획은 5년에 한번씩 갱신
  - NARO의 기본연구 목표는 개발기술 현장화를 통한 사업화
- 한·일 뿐만 아니라 중국, 미국, 네덜란드 등 전세계적인 공동연구과제의 다각적 추진 : RCT 기술 접목 시킨 에너지절감사업 공동연구
- 차세대 시설원에 가속화 추진사업 진행 중 : '15년 200억 예산
- 농업에너지절감 국제협력 공동연구 추진 협의
  - NARO와 농진청과의 공동 연구 이후 중단 계획
    - 한·일 시설원에 전문가 네트워크 구성체 협의 필요
  - 국제협력 공동연구 프로젝트과제 추진 : 농업에너지절감 분야 첨단기술 적용
    - 에너지절감 사업단에서 농림부, 과기부 등에 과제 공모 추진
  - 정기적인 국제공동행사 개최 협의
    - 금년 9월 한·일 농업에너지절감 국제 심포지엄 국내 개최 추진

## 2) 야채다업연구소 방문 결과

- 가. 일 시 : 4월 28일(화) 13:30
- 나. 장 소 : 이바라키현 츠크바시 관노타이
- 다. 면 담 자 : 안동혁(야채다업연구소 주임연구원)
- 라. 수행내용 : 야채다업연구소 연구 현황 청취 및 에너지절감기술 참관
  - 야채다업연구소 연구 현황
    - 츠크바 화훼연구소 내 식물생산기술 거점으로 야채다업연구소 본소는 미에현에 소재
    - 식물공장 운영 : 실험장치(생육상)의 산업화, 하우스의 고도화 추진
      - 모델하우스형 식물공장 실증, 전시, 연수사업 : 츠크바 등 6개 실증거점
    - 유비쿼터스 환경제어시스템에 의한 온실의 집약환경 조절
    - 컨소시엄 운영 : 토마토 고수량 품종 장기재배 등 4건
      - 양액재배 적응품종에 의한 토마토 중장기재배
      - 극조생 품종을 이용한 토마토 저단밀식 주년 다회전 재배
      - 파프리카 다수확, 저농약 생산
      - 오이 다수확 주년생산 위한 단기재배
  - 농업에너지절감기술 참관
    - 지바대학 중심으로 시설원예분야 표준화 추구
    - 지중열난방 방식으로 시설 주난방 : 수평형 2~3m, 수직형 : 80m
    - 동계기간 한국 보다 기온이 높아 에너지절감기술로 생산비 절감이 가능하나 여름철 고온으로 생리장해 발생 등 재배 곤란
    - 토마토 국부난방기술 : 높이조절용 온풍덕트, 생장점부근 LED등 보강 등

## 3) 지바대학 환경건강필드과학센터 방문 결과

- 가. 일 시 : 4월 29일(수) 10:00

나. 장 소 : 지바현 카시와시 카시와노하

다. 면 담 자 : 大鹽貴寛(센터 주임연구원)

라. 수행내용 : 시설원에 연구 현황 청취 및 에너지절감기술 참관

○ 시설원예분야 연구 현황

- 농림수산성 식물공장 보급 확대 종합대책사업 추진 중
  - 56개 산업체가 공동 참여하여 지바대학 내 식물공장 단지 조성
- 컨소시엄 운영 : 종합환경 제어 생산성 향상 등 8건
  - 고수량 토마토 도입품종 환경제어재배 : 수량 50t/10a, 생산효율 30% 향상
  - 토마토 고단 밀식재배 : 스프레이 수경재배 방식, 상품율 향상
  - 차세대형 토마토 생산시스템 : 심정지형 40t, 저단밀식성 수량 30t/10a
  - 저농약 다수형 1단이동 고밀식재배 : 이동벤치형 재배 50t/10a 생산
  - D트레이 이용 저단밀식 토마토재배 : 당도 6 이상, 생산효율 30% 향상
  - 저비용 미래형 인공광 이용 식물공장 : 700엔/kg으로 1,920주/일 생산
  - 고반사장치 이용 결구상추 안정생산 : 생산효율 20% 향상, 전기요금 70% 절감
  - 시내 식물공장 시스템 : 소비자 참가형 새로운 형식의 1차산업 구축
- 과채류 안전육묘시스템 구축 : 종합환경제어실 내 관수 등 자동 관리
- 자연광 식물공장 : 보온스크린, 차광커튼, 빗물이용 수경재배 등
- 인공광 이용 식물공장 : LED 등 인공광원별 생육특성 조사
  - 전시형 원형 스티로폼 구조 : 보온, 방열 효율 우수

○ 농업에너지절감기술 참관

- 고온기 시설 내 온도 저하에 주력
  - 시설 별 팬 & 패드 형식 도입
  - 가정용 소형 냉방기 이용 시설냉방 : 고효율, 전기료 절감
  - 시설별 산광필름 이용 : 광투광율 90%로 우수
- 시설 동계난방 : 히팅펌프 이용 시설단지 난방비 절감

#### 4) (주) 미라이 식물공장 방문 결과

가. 일 시 : 4월 29일(수) 14:00

나. 장 소 : 지바현 카시와시 아오타

다. 면 담 자 : 森田恵理子(플랜트 사업본부 관리실장)

라. 수행내용 : 식물공장(지바대학 식물공장 확대컨소시엄 관련 기업) 견학

- 공장면적 : 1,200㎡(재배면적 : 2실 1,000㎡)
- 직 원 수 : 27명(정직원 4, 기간제 23명)
- 재배작물 : 상추 4종(일반상추, 로메인, 그린리프, 후리르레타스)
- 시설운영
  - 수 확 량 : 1만주/일(5,000주/실)

- 판매가격 : 일반 상추 보다 20~30% 높음, 마트와 계약 판매
- 관리운영 : 22℃, CO<sub>2</sub> 2,000ppm 공급, 파종 후 35일째 수확,
  - 11~14단에 양액베드 내 스티로폼 베드에 정식하여 순차적으로 재배
- 식물공장 전문설치업체로 재배실은 전시 및 시험용으로 활용

## 5) 농업생산법인 (주) TEDY 방문 결과

가. 일 시 : 4월 30일(목) 12:30

나. 장 소 : 이바라키현 미토시 코부키

다. 면 담 자 : 林俊秀((주) TEDY 대표)

라. 수행내용 : 파프리카 재배단지 및 소각장 폐열 이용 시스템 시찰

### ○ 파프리카 재배단지 견학

- 재배면적 : 1.5ha(150×100m)

※ 일본 파프리카 재배면적 및 농가수 : 40ha, 500농가(전국 3번째 규모)

- 시설현황 : 프랑스 미셀사에서 시공(2009년도 설치)

· 설치비용 : 30억원(보조 40%, 하우스시설, 플랜트만 해당)

· 커튼시설 : 1중, 차광, 보온 겸용

· 2중 공기막 구조(투광량 저조, 여름철 고온장해), 필름도 미셀사에서 시공

· 난방방식 : 중유 온풍난방기, 히팅펌프(10마력, 12대) 병용

→ 외부기온 4.5℃ 까지 히팅펌프 이용, 4.5℃ 미만은 온풍기 이용

- 온도관리 : 16~17℃

· 1월 평균기온 : -3~4℃(최저기온 -7℃)

→ 난방비 : 전기요금, 유류비 합계 2억원/년(10~4월) 소요

- 재배관리

· 재배품종 : 4종(적색 쿠프라, 황색 단단, 주황색 오렌지그로리, 오렌지아)

· CO<sub>2</sub> 공급 : 환기시 400ppm, 밀폐시 600~700ppm

· 평균 수확량 : 12~13t/10a

· 금년은 3, 4월 일사량 부족으로 작황 저조 : 10t/10a 수확 예상

- 직원수 : 17명(정직원 2, 기간제 15)

### ○ 소각장 폐열 이용 시스템 시찰

- 폐열 이용 시스템 구조

· 소각장 폐열 발생 : 시스템 이용 95℃ 난방수 공급

→ 소각장에서 시내 도로까지 시에서 관리 : 400m

· 난방수 이용 : 도로에서 재배하우스까지 농장주 관리

→ 내부 열교환기(95 → 60~65℃) 까지 농장주 관리 : 20m

→ 하우스 내부 각 동별 농장주 관리 : 200m

- 폐열 이용 파프리카 재배면적 : 80a('05년부터 이용 중)

· 시에서 농업용 및 공공목적으로 공원, 목욕탕 등 운영하여 용량 부족

- 이용가능연한 : 30년
- 난방비 : 250만원/월
  - 국내 파프리카 생산비 중 난방비 비중이 35~40% 차지하나 폐열 시스템 이용 시 20%로 절감 가능
  - 열교환기, 시설자재 등은 본인 부담
  - 기온이 너무 저하되면 온풍난방기 병행 이용
- 일본 내 폐열 이용 시스템 활용의 유일한 사례
  - 난방비 절감의 효과가 있으나 시설 설치비용 부담으로 확산 미흡
  - 폐열, 온천수 이용 등 난방 효율 증진 위한 환경시스템 활용 미흡

## 6) 이바라키현 농업종합센터 방문 결과

- 가. 일 시 : 5월 1일(금) 10:00
- 나. 장 소 : 이바라키현 카사마시 안쿄
- 다. 면 담 자 :金子賢一(원예연구소 야채연구실 실장)
- 라. 수행내용 : 이바라키현 시설원예 현황 및 에너지절감기술 시찰
  - 이바라키현 농업종합센터 원예연구소 연구 현황
    - 조직 : 연구조정 및 6개 연구실
    - 인원 : 34명(정직원 28, 참여연구원 6)
    - 면적 : 본관(4,567㎡), 유리온실(2,280㎡), 하우스(2,350㎡), 과수원(8.4ha) 등 40ha
    - 과수연구실 : 배, 포도 등 주요과수 신품종 육성 및 다수확 생산기술 개발
    - 야채연구실 : 딸기 등 신품종 육성, 생력화 재배기술 개발
    - 화훼연구실 : 환경제어 및 생산성 향상 기술 개발
    - 토양비료연구실 : 시비기술 개발, 저투입 지속농법 비배관리 기술 개발 등
  - 원예연구소 농업에너지절감기술 연구 현황
    - 이바라키현은 농업생산 전국 2위이나 경영비 중 연료비 비중(과망 32, 장미 31% 등) 과중
    - 유류비는 7년전에 최고 이후 하락하였으나 최근 가격 상승 중
    - 농업에너지절감 위해 보온기술에 중점 연구 추진 중
    - 농업에너지저감 무가온기술
      - 재배하우스 내 이중커튼, 2중터널 방식으로 무가온으로 적은 유지
      - 공기막하우스 : 수확기간 단축, 연료비 30% 절감 효과
      - 펌프로 공기 주입하여 보온효과가 높으나 호광성 식물 재배 곤란
      - 유리온실 공기막 보온필름 부착, 출입문, 측창 등 비닐 설치하여 열 손실 억제
      - 축열주머니 활용 터널재배
      - 수막하우스 : 노즐 분사 방식으로 잠열을 이용하여 야냉육묘에 적용
    - 농업에너지절감 가온기술
      - 히트펌프 : 저온성채소
      - 국부가온 : 딸기는 크라운, 토마토는 생장점 부분에 조정
      - 온풍기 연통 개량 : 배출가스를 순환시켜 난방비 절감
    - 농업에너지절감기술 보급 및 확대

- 보급체계 : 기술개발은 각 현 내 연구소 → 보급 확대는 정부
- 연구개발 → 실증연구 → 보급사업 → 정책사업으로 확대
- 현 종합연구센터 내 기술체계과에서 연구 및 보급 병행

## 7) 신주쿠교엔 대온실 방문 결과

- 가. 일 시 : 5월 3일(일) 10:00
- 나. 장 소 : 도쿄 신주쿠구 나이토마치
- 다. 수행내용 : 신주쿠교엔 대온실 에너지절감기술 시찰
  - 신주쿠교엔 : 1906년 완성, 황실정원으로 1949년부터 일반에 공개
    - 영국풍경식, 프랑스식 정형, 일본 정원으로 구성
  - 신주쿠교엔 대온실
    - 열대저지대, 건조지, 열대습지 식물관, 오키나와관 등 운영
    - 에너지절감기술
      - 전면 유리로 설치하여 수광량을 높여 최저가온으로 운영
      - 냉방방식 : 천창 강제환기, 차광스크린으로 냉방비 절감
  - 신주쿠교엔 유리온실
    - 냉방효율 증진기술 : 외부 천창, 측창에 차광망 설치

## 8) 중국 상해 도시녹색공정유한공사 방문 결과

- 가. 일 시 : 5월 5일(화) 10:00
- 나. 장 소 : 상해시 민행구 검천로
- 다. 면 담 자 : Qiang Zhou(도시녹색공정유한공사 선임연구원)
- 라. 수행내용 : 도시녹색공정유한공사 시설원예단지 및 에너지절감기술 시찰
  - 도시녹색공정유한공사 시설원예단지 시찰
    - 온실시설 전문시공 : 600억/년('12년까지 1,000ha 설치, 수출 110ha)
    - 국가시설농업공정 연구센터 운영
      - 연구센터 시설면적 : 2ha,      · 유리온실 높이 : 10m
      - 시설설치 : 네덜란드와 공동
      - 딸기 등 과채류 신품종 생육특성 및 재배관리 기술 개발
      - 화훼류 수경재배 기술 개발
      - 유리온실 이용 생태관광농원 운영
  - 농업에너지절감기술 시찰
    - 난방관리 : 동계 최저기온이 -2℃로 히트펌프 이용 17~18℃ 유지  
→ 지중열히트펌프 : 108m 깊이 4공(난방 2, 냉방 2)
    - 냉방방식 : 팬 & 패드 방식, 30% 외부차광망 설치
    - 시설내부 외부공기 흡입식 닥트 공급방식으로 냉난방 온도 조정
    - 물탱크 이용 냉난방수 공급 : 2개(난방 600, 냉방 400t)
    - 산광필름, 외부 차광망 설치로 냉방비 절감

## 9) 온령서광현대농업유한공사 방문 결과

가. 일 시 : 5월 6일(수) 10:00

나. 장 소 : 절강성 온령시

다. 면 담 자 : 張荷生(온령서광현대농업유한공사 대표)

라. 수행내용 : 관광농원 시설원예단지 및 에너지절감기술 시찰

### ○ 관광농원 시설원예단지 시찰

- 관광, 체험, 숙박, 문화체험, 레저 등 종합관광농원 , 면적 : 600ha
- 재배작물 : 엽채류 수경재배, 오이, 토마토 등 과채류 재배
- 절강성 중점육성 프로그램으로 '14년도에 농원 조성  
→ 하반기 중국 농업부에 사업지원 요청 계획

### ○ 농업에너지절감기술 시찰

- 난방방식 : 최저기온이 영하로 떨어지지 않아 온풍 난방기 이용 최소난방
- 냉방방식 : 팬 & 패드 방식으로 고온기 강제냉방, 차광스크린 이용

## 10) 절강성 농업과학원 방문 결과

가. 일 시 : 5월 7일(목) 09:30

나. 장 소 : 절강성 항주시 강간구

다. 면 담 자 : 張成浩(농업과학원 채소연구소 연구원/교수)

라. 수행내용 : 채소연구소 연구 현황 및 에너지절감기술 시찰

### ○ 농업과학원 채소연구소 연구 현황

- 절강성 농업현황 : 인구 5,500만명 중 농업인구 36.7%로 2,021만('13)
- 절강성 시설재배 면적 : 50만ha(과수 포함)
- 채소연구소 : 채소, 시설원예 분야 중심으로 2002년도에 건립
  - 조직 : 채소육종, 재배기술 등 10팀, 연구인력 : 50명
- 품종육성 : 과채류 중심으로 신품종 육성하여 중국 전역 재배 확대  
→ 종자판매 : 1,000만 위안 수입(육성자 인센티브 40% 수여)
- 수경재배 : 배란다용 채소로 최근 증가 추세
- 수박 재배면적이 증가하여 품종 육성 및 재배기술 개발 연구 강화
  - 중소과(2kg) 생산하여 연중 3~4기작 가능
  - 눈에 2년 정도 재배하고 이동하여 파이프 자재 불필요

### ○ 농업에너지절감분야 연구 현황

- 시설원예는 산동성을 중심으로 북부지역에서 발전
- 절강성은 기온 및 일조량이 좋아 흑벽하우스로 무가온 시설재배 발달
  - 공정화 육묘용 일광온실(흑벽하우스) : 폭 10~12m, 과채류 육묘용
  - 양방향 일광온실 : 중앙부분 벽돌, 남향 채소, 북향 버섯 재배
  - 연속형 일광온실 : 경사지에 연속해서 일광온실 설치, 토지이용효율 증진
  - 지중형 일광온실 : 광투과성 7~10% 제고, 동계 25~30℃ 보온 효과



- 수막시설 : 동계기간 5℃ 상승효과 있으나 기온이 높아 가동이 적음
- 하우스 시설비 : 흑벽 10만, 벽돌 하우스 20만원/200평
- 하우스 냉방방식 : 팬 & 패드, 외부 차광망
- 농업에너지절감 국제협력 공동연구 추진 협의
  - 농업에너지절감 분야 국제협력 공동연구 프로젝트과제 추진
    - 한국에서 검증된 재배기술 소개, 모델하우스 개발 등 과제 개발
    - 농민보다 농업회사를 대상으로 신기술 도입하는 것이 가능함
    - 관광농원 딸기재배 시 행잉재배 등 신기술 투입 공동연구 추진
  - 국내 연구소, 농업 관련 회사 등과 중국 절강성농업과학원, 농업회사 등 국제협력 추진
  - 정기적인 국제공동행사 개최 협의
    - 금년 9월 한·중 농업에너지절감 국제 심포지엄 국내 개최 추진

## 11) 시사점

- 국내 시설원예 여건과 유사한 일본, 중국의 에너지절감기술, 생산성 향상기술 및 정책 동향 파악으로 국내 농가 정책지원 기반 확립
- 한·중·일 시설원예 전문가 인적네트워크 구축 및 공동현안 대처 협의로 에너지절감 국제공동연구 협력체계 강화
- 동북아 최신 에너지절감기술 조사, 분석으로 농가 실증연구에 활용

## 12) 특이사항

- 한·중·일 시설원예 전문가 네트워크 구축으로 금후 국제공동연구 추진 및 현안사항 지원 협조 가능
  - 사업단 중심으로 농업에너지절감 분야 국제공동연구 과제 응모 협의
- 금년 하반기(9월) 농업에너지절감사업 추진 관련 국제 공동 심포지엄 개최 추진
  - 일본 NARO, 중국 절강성 등 국제 시설원예전문가 초청
- 소각장 폐열이용시스템 현황 및 재배방식 시찰로 국내 농업에너지절감 신기술 도입 및 정책지원 검토

## 13) 차기 출장 시 개선사항 및 계획

- 난방비 절감 위한 동계생산용 시설단지 시찰 통해 다양한 문제점 및 해결방안 모색
  - 저비용 고효율 에너지절감 선진기술의 철저한 모니터링 필요
- 고온기 재배작물 고품질 생산 위한 온도저하기술 국내농가 도입 추진

나. 네덜란드, 스페인 시설농업 에너지절감 기술동향조사 및 인적네트워크 구축(2015.11.10.~11.18)

□ 목 적

- 네덜란드, 스페인 시설원예 농업에너지절감 연구개발 동향조사
- 한·네·스 시설원예 전문가 인적 네트워크 구축 및 활용

□ 출장국가, 출장자 및 출장기간

- 출장국가 : 네덜란드, 스페인
- 출장자 및 출장기간

출 장 자	소 속	직급/직위	출 장 기 간
전 희	원예특작과학원	농업연구관	2015.11.10.~11.18(9일간)
신 용 습	경북농업기술원	농업연구관	2015.11.10.~11.18(9일간)
김 치 선	전북농업기술원	농업연구관	2015.11.10.~11.18(9일간)

□ 수행내용

- 네덜란드 시설원예 현황 조사
- 네덜란드 시설원예 연구개발 현황 조사
- 네덜란드 시설원예 농가사례 조사
- 네덜란드 시설원예 에너지이용 실태 조사
- 스페인 시설원예 기술현황 조사
- 스페인 시설원예 산업동향 조사

□ 출장성과

- 유럽 선진 시설원예 에너지절감 정책, 연구개발 및 산업동향 반영
- 에너지절감사업 연구 성과의 국내 시설농가 정책지원 기반 확립
- 한·네·스 시설원예 전문가 인적네트워크 구축 및 공동현안 대처 협의로 에너지절감 국제공동연구 협력체계 강화

## 1) 네덜란드 와겐닝겐대학연구센터(WUR) 방문 결과

가. 일 시 : 11월 11일(수) 09:00

나. 장 소 : Ede-Wageingen

다. 면 담 자 : 허승오(WUR 농진청 상주연구원)

라. 수행내용 : 시설원에 현황 및 WUR 연구개발 현황 조사

### ○ WUR 연혁

- 와겐닝겐 농업대학과 국가 농업연구센터(DLO) 통합(1997)

·와겐닝겐대학과 연구센터의 법적 지위를 유지한 채 농업대학의 기능과 역할을 향상시키기 위해 하나로 통합하여 운영함

·지도기능은 상업농을 기반으로 민영화 실시(PTC, DLV)

### ○ 기능 및 임무

- 연구센터 : 식물과학, 축산, 수의, 농생명, 농업경영, 수산, 임업 분야

\*시설원에 실용화, 미래대비 연구 등 세계 최고 수준 연구 역량 보유

- 농업대학 : 집나지엄(학사, 석사, 박사 과정), 호게스쿨(전문 과정)

\*석사, 박사 과정 학생의 10%는 해외 유학생으로 구성(순위 45위)

(현재, 한국인 석사 7명, 박사 3명 연수 중임)

### ○ 조직, 인력 및 예산

- 조직 : 본부(Ede-Wageningen)와 전국에 30개의 연구소로 구성

- 인력 : 연구센터 4000명, 대학(학부과정 4500, 석사 4500, 박사 700)

- 예산 : 국가 50%, EU 및 국제공동연구비 50%

\*산업체와 실시하는 10개 공동연구는 연구비를 반반 부담하고 있음

- 인적자원 : 연구개발자, 행정지원자, 기술자, 단순노동자로 구성

- 협의체 : 정부, 연구기관, 산업체가 모여 방향, 도르맵, 계획 수립

### ○ 농업에너지절감분야 연구개발 및 실용화 현황

- 지열 이용 병합발전소에서 온수를 공급받아 운영하는 난방시스템

·농가 연합체에서 발전소를 직접 운영하면서 난방 에너지로 활용

- 복합 자연열 이용 시스템 개발하여 간척지 적용성 검토 및 해외 수출

·태양열, 지열, 공기열 등 자연열을 저장 이용하는 기술 개발

## 2) 시설원에 종합연구센터(Unifarm) 방문 결과

가. 일 시 : 11월 11일(수) 10:00

나. 장 소 : 와겐닝겐 농업연구센터 뒤쪽에 위치

다. 안 내 자 : 허승오 박사

라. 수행내용 : 시설원에 연구 현장 견학 청취 및 에너지절감 기술 조사

### ○ 시설원에 종합연구센터 견학

- 농생명 : 형질전환 기술을 이용한 바나나 신품종 개발

(토마토에서 Black Sigatoka 저항성 유전자 추출하여 바나나에 도입)

- 광이용 : LED 이용 과실의 촉진 등 국부 광 조사 기술

- 바이오 : 하천변에 자연적으로 자라고 있는 억새 에탄올 추출 기술

- 천 적 : 천적 곤충 개발 및 이용(산업화가 활성화 되어 있음)
- 토 양 : 퇴적 지역에 대한 토성, 토질 등 분석 기술
- 곤 충 : 적은 사료로 큰 부가가치를 올릴 수 있는 미래 식량 연구
- 미생물 : 길항작용에 대한 연구 및 친환경 기술 개발
- 배양액 : 양분 이용률을 제고하기 위해 성분별 양액 공급 체계
- 해조류 : 바이오 메스가 큰 해양식물을 이용한 사료 및 비료 개발
- 농기계 : 온실 자동화, 로지스틱스, 수확 및 관리 기술
- 기후변화 : 기상 이상에 대한 환경과 식물 변화 연구
- 식품 재활용 : 30% 이상 버려지는 음식물 쓰레기의 비료화
- 산학협동연구 : 종자, 식품, 자재 등 100여 개 기업체 가입
- 농업에너지절감 종합시스템 개발 기술 조사
  - 목적 : 종합 환경 계측, 조절 및 활용 시스템 개발
  - 구성 : 기상측정, 복합환경조절, 냉난방, 농기계, 자동화 시설 등
  - 활용 : 각각 분리된 작업 체계를 종합적으로 관리하여 효율 증대
- 관찰 및 고찰 결과
  - 종합연구센터를 여러 개의 연구개발 시험에 적합하도록 구분하였음
  - 연구온실에 대한 환경관리를 전문가가 담당하여 비효율적인 부분을 제거하여 에너지 및 인력 손실을 최소화하고 있음
  - 규모를 최소화 하여 공간 활용도를 극대화 하고 비용을 줄임
  - 실험에 참여하는 작업자의 피로를 줄이기 위한 시설이 구축됨
  - 국내 대학, 연구기관의 시험시설 운영에 벤치마킹이 될 것임

### 3) 농업 혁신센터 방문 및 세미나 참석 결과

가. 일 시 : 11월 11일(수) 14:00

나. 장 소 : 와젠닝겐 기술혁신센터(Impulse)

다. 참석자 : ICT 관련 대학, 연구소, 산업체 전문가 등 100여명  
(사회과학, 환경과학, 농생명, 식물과학, 동물과학 분야)

마. 주 제 : 혁신기술 공유(Sharing innovation-Smart industry)

- 주요 내용
  - 지리정보 활용 기술에 대한 이용 및 활용 제고 방안
  - 신제품 개발에 대한 농가보급 및 산업화 강화 방안
  - 신축성 포장용기 개발에 대한 효율성 분석 및 활용 방안
- 관찰 및 고찰 결과
  - 농업과학기술의 개발과 활용도를 증대하기 위해 개발과정에서 인문, 사회, 문화 분야의 전문가를 참여시켜 학문간 소통을 증진하고 있음
  - 개발자의 오류를 줄이고 사고의 한계를 늘릴 수 있는 프로그램임

#### 4) 신 시설원예 단지(Agriport A7) 방문 결과

- 가. 일 시 : 11월 12일(목) 10:00
- 나. 장 소 : Agriport 611, 1775 TK. Middelmeer
- 다. 안 내 자 : Petra Barendse (대표, 시설원예 전문가)
- 라. 수행내용 : 시설원예 산업 현장 및 에너지절감 기술 조사
  - 시설원예 단지 조성 배경
    - 추진 배경 : 서남쪽(로테르담) 지가 상승 및 도시화로 단지 이전
    - 사회 여건 : 지속 가능한 지역(충분한 면적, 기업정신 투철)
    - 기후 조건 : 네덜란드에서 광 및 기온이 시설원예에 적합함
  - 단지 현황
    - 조성 연도 : 2006년(Royal Pride 등 2개), 2007년(4개), 2008년(3개)
    - 전체 면적 : 850ha(유리온실)
    - 온실 형태 : 벤로형 유리온실(측고 6m, 폭 6.4m, 길이 200m)
    - 온실 섹터 : 재배작물별 10ha 규모
    - 산업체 수 : 9개 업체(Barendse DC 등)
    - 에너지 원 : 천연가스(자체 발전), 지열
    - 운영 철학 : “지역과 자연과 함께”(상생, 협력)
  - 관찰 및 고찰 결과
    - 초지를 활용한 저비용 시설원예 단지
    - 친환경 원예작물 생산에 적합한 기상 조건 보유
    - 암스테르담 및 주요 독일 도시 등 대량 소비처를 확보하고 있음
    - 기존 교통망을 이용하여 물류비용을 획기적으로 줄일 수 있는 곳임

#### 5) 파프리카 농가 방문 결과

- 가. 일 시 : 11월 12일(목) 11:00
- 나. 장 소 : Agriport 611, 1775 TK. Middelmeer
- 다. 안 내 자 : Petra Barendse (대표, 시설원예 전문가)
- 라. 수행내용 : 시설원예 농장 현황 및 운영 철학 조사
  - 시설원예 단지 규모
    - 전체 면적 : 50ha (자체 사업 설계를 바탕으로 금융권 지원)
    - 온실 면적 : 30ha (축산 초지에 유리온실 및 열병합시설 설치)
    - 재배 작물 : 파프리카(오렌지계 10ha, 적색계 10), 방울토마토(10ha)
    - 전략 상품 : 오렌지계 품종 집중(상품명 Paprico)
    - 출하 물량 : 일일 30톤(파프리카, 토마토)
    - 유통 지역 : 수출(독일 등 95%), 내수(5%)
    - 에너지 원 : 천연가스 이용 발전(전기), 지역 소재 지열
  - 생산 현황
    - 재배 작형 : 11월 정식(연중 일조량이 가장 적은 시기임)
    - 작물 제거 : 섹터별 2-3일(기계적 작업 실시)

- 정식 기간 : 섹터별 2-3일(75명 인력 활용)
  - 재식 거리 : 1.0m×0.3m (50만주/10ha)
  - 평균 과중 : 5-6개/kg(중과종)
  - 재배 배지 : 파프리카(락울), 토마토(코코피트)
  - 락울 업체 : Grodan, Cultilene
  - 유묘 가격 : 1.25유로/주(파프리카)
  - 포장 작업 : 세척, 분리, 상자별 포장, 운반 작업이 자동화됨
  - 유통 거리 : 암스테르담 시내와 스키폴 공항까지 30분 소요
  - 정리 작업 : 부직포 깔기 → 줄기 절단 → 식물체 분쇄 → 토양 환원
- 관찰 및 고찰 결과
- 생산 및 수확 작업 자동화로 인력 소모 줄이고 있음
  - 작업자에 대한 인간적인 배려로 근로 의욕 증족(회교도 기도실)
  - 농과계 학생의 실습장 활용으로 인력 공급 및 교육장 활용
  - 인근 주민의 사업장과 초등학교의 쉼터 역할
  - 전세계 방문객을 위한 다양한 체험 프로그램 운영
  - 미래 지향적인 개발 프로그램 존치(신규 온실 시설 등)

## 6) 지열 발전소 방문 결과

- 가. 일 시 : 11월 12일(목) 13:00  
 나. 장 소 : Agriport A7, 1775 TK. Middelmeer  
 다. 설치연도 : 2007년  
 라. 수행내용 : 시설원에 단지 인근 지열 발전소 현황 및 운영실태 조사

- 시설 규모
- 발전 용량 : 240MW(인근 20만 가구 이용 가능)
  - 매설 깊이 : 2.5km(주봉 깊이 300m, 온수봉 2개, 냉수봉 2개)
  - 수온 조건 : 90℃(회수조 수온 34℃)
  - 온수 길이 : 14km(공급조 7km, 회수조 7km)
  - 토양 구조 : 진흙과 모래로 구성된 퇴적토
  - 유지 관리 : 분야별 전문가 운영 체계
- 시설 활용
- Agriport A7 지역 온실 난방 및 지역주민 전기 공급(9개 공급조)
  - 인근에 신축 중인 마이크로소프트웨어(MS) 사업장에 전기 공급예정
- 관찰 및 고찰 결과
- 바다와 강물이 만나는 지점에서 지하수를 개발하여 이용하고 있어, 국내에서 유사한 토양 조건이 있는 새만금 간척지에 심근 천공으로 지열을 이용하면 친환경 자연 에너지 이용 기술이 될 것임

## 7) 천연가스 열병합 발전시설 운영 현황

- 배경

- 북해도의 풍부한 천연가스를 이용한 자체 발전 시스템 구축
- 청정 에너지인 전기를 자체 생산하여 온실난방 및 지역에 공급
- 지역에 필요한 전기 공급에도 기여하여 지역사회 공동체 역할
- 에너지 이용 구성 체계
  - 가스 → CHP(Combined Heat Power) → 전기, CO2, 열 공급
  - 발전기 제작사 : 오스트리아 Jenbacher 사
- 이용 실태 및 여건
  - 1970년대부터 정책적인 천연가스 개발 이용으로 난방에너지 및 발전으로 온실 난방과 이산화탄소 공급은 물론 산업용 전기를 공급하고 있음
  - 하지만 2007년부터 시작된 경제불황과 친환경 정책으로 천연가스를 이용하는 사례가 점차 감소되고 있음
- 관찰 및 고찰 결과
  - 천연가스 사용 감소로 온실 난방과 이산화탄소 공급이 어려워 대체 수단 강구가 필요한 실정이고, 이에 따라 온실 작물 생산비가 가중될 것으로 여겨짐

## 8) 스페인 알메리아 원예협동조합 방문 결과

- 가. 일 시 : 11월 16일(월) 10:40
- 나. 장 소 : Paraje Pisaica de la Virgen 04240 Viator, Almeria
- 다. 면 담 자 : Antonio Martin(대표) 등
- 라. 인 터 넷 : [amartin@unicagroup.es](mailto:amartin@unicagroup.es), [www.unicagroup.es](http://www.unicagroup.es)
- 마. 수행내용 : 스페인 알메리아 원예협동조합 운영 및 시설 현황 조사
  - UNICA 조합 현황
    - 회원사 : Parque Natural, CASUR, FERVA, COHORSAN, CABASE, EL GROUPO, COTA 120, MUR, UNICA
    - 조합원(농가), 작업(하역, 세척, 선별, 저장 등), 관리(유통, 판매 등)
    - 운영인력 : 200-500명(비수기 12월-1월)
  - 시설 현황
    - 원예작물 생산물 하역실 : 20톤/hr. (창고 5000톤)
    - 생산물 자동 세척시설 : 세척로봇(5톤/hr.) 4대
    - 과중별 자동 선별기 : 2.5톤/hr. × 8대
    - 과중별 자동 포장기 : 2.5톤.hr. × 4개 라인
    - 예냉실 : 8-9℃ 유지, 에틸렌가스제거시설(MATEK)
  - 운영 현황
    - 취급 작목 : 토마토 등 12 작물
    - 수출국 : 유럽 전역 12개국(프랑스, 독일, 포르투갈, 헝가리, 폴란드 등)
    - 하루 처리 물량 : 300-500톤(토마토, 파프리카, 오이, 호박 등 순서)
    - 조합 종사 인력 : 220명

<원예작물 취급 현황, 2014/2015>

구분	거래품목(상품)	종류(색깔)
고추류	고추(Sweet, Hot, Chilly) 단고추(Bell Pepper)	적색, 황색, 오렌지색, 녹색 적색, 황색, 오렌지색
토마토	완숙(Garland, Kumato) 미니(Cherry, Plum) 송이(Cocktail, Vine)	검정색(자색) 적색, 황색, 오렌지색, 분홍색 적색, 황색, 오렌지색, 분홍색
박과류	수박(Fashion, Seedless) 호박(Zucchini) 멜론(Yellow, Galia) 오이(Pepino Almeria)	(과육)적색, 황색 (과육)백색 (과육)적색, 백색, 황색 (과육)백색
기타	상추, 아스파라가스, 아티초크, 브로콜리, 풋콩	

○ 관찰 및 고찰 결과

- 생산자(농민)의 권리를 향상시키기 위해 여러 조합을 합쳐서 운영
- 내수(30%)는 물론 수출 물량(70%)을 늘려 국제경쟁력을 향상시킴

9) 스페인 엘히도 온실단지 방문 결과

- 가. 일 시 : 11월 16일(월) 13:30
- 나. 장 소 : El Jido, Almeria
- 다. 방문농장 : BLASMIRA S.L. 등
- 라. 단지규모 : 25,000ha(세계 최대 단일 비닐하우스 단지)
- 마. 수행내용 : 스페인 알메리아 엘히도 지역 시설 현황 조사

○ 지역 특성 및 현황

- 지중해 연안과 시에라 네바다 산악 지대에 위치하고 있음
- 일조량이 풍부하고 토양 양분이 풍부한 지역임
- 오렌지, 올리브, 포도 등 전통 농업의 영세성을 탈피하기 위해 온실

○ 시설 구조 및 특성

- 대부분 포도 지주(목재, 철골, 콘크리트)를 이용한 평지붕형 구조
- 지붕은 투명필름으로 피복하고, 측면은 방충망과 직조필름으로 피복
- 단동과 연동 구분이 없이 필지별로 전체를 피복한 온실 형태  
(시설규모 :높이 1.8-3.0m, 폭 20-300m, 길이 100-500m)

○ 시설환경 특성 및 관리 실태

- 천창(폭 0.8-1.0m, 길이 30-50m)과 측창(폭 1.0-1.5m)으로 환기 실시
- 보온비가 1.1 이하로 태양열 집열효과가 매우 큰 구조물임



- 포도과수원 지주와 플라스틱필름으로 구성되어 자동화 시설이 곤란
- 작물 재배
  - 대부분 토양에서 토마토, 파프리카, 오이, 가지 등 과채류 생산
  - 부족한 수자원을 공급하기 위해 직경 80cm 콘크리트관 사용
  - 빗물과 지하수를 저장하기 위해 노천수조(2×20-30×50m) 조성
- 특이사항
  - 네바다 산맥 밑에 경사식 플라스틱 온실 단지 확대 조성
  - 세계적인 종자, 농약, 비료, 농자재 회사 입주하여 생산비 절감
- 관찰 및 고찰 결과
  - 생산자(농민)의 권리를 향상시키기 위해 여러 조합을 합쳐서 운영
  - 내수(30%)는 물론 수출 물량(70%)을 늘려 국제경쟁력을 향상시킴

## 10) 시사점

- 시설종류와 생산기반이 다른 네덜란드, 스페인의 에너지절감기술, 생산성 향상기술 및 정책 동향 파악으로 국내 농가 정책지원 기반 확립
- 한·네·스 시설원예 전문가 인적네트워크 구축 및 공동현안 대처 협의로 에너지절감 국제공동연구 협력체계 강화
- 유럽 최신 에너지절감기술 조사, 분석으로 농가 실증연구에 활용

## 12) 건의사항

- 신재생 에너지를 이용하여 시설원예 에너지를 해결하고 나아가 인근 지역에 전기를 공급하는 지열병합 발전소를 운영하고 있는 네덜란드의 사례를 국내 실정에 맞게 수정하여 국제 경쟁력이 있는 시설단지 조성
  - 새만금에 지열 및 폐열을 이용한 신재생 에너지 시설원예단지 조성
- 내년 하반기(10월) 추진 관련 국제 공동 심포지엄 개최 추진
  - 일본, 중국, 네덜란드, 스페인 등 시설원예전문가 초청
- 국내 시설원예 현실에 적합한 냉난방 기술 개발 및 실용화
  - 공기열교환 냉난방시스템, 탄소섬유발열 및 탄소봉 난방시스템

## 13. 차기 출장 시 개선사항 및 계획

- 실증연구 지역의 지도/연구 담당자를 대상으로 농업에너지절감 패키지 기술에 대한 이해와 선진국 사례 모니터링 연수 프로그램 추진
  - 저비용 고효율 에너지절감 선진기술의 철저한 모니터링 필요
- 주요 시설원예 국가 생산단지에 대한 농업 공학적 분석 및 운영방안 조사
- 고온기 재배작물 고품질 생산위한 온도저하기술 국내농가 도입 추진

(참고 1) 네덜란드 시설원예 현황(요약)

- 출처 : 네덜란드 시설원예 산업 동향  
(세계농업 제173호, 1-14, 2015(1))

□ 시설원예 역사

- 2차 세계대전 직후(1945-1965)
  - 정부 주도의 시설원예 초기 구축 시대
  - 토양분석, 병충해방제, 지표 관수 연구 추진
  - 상추, 토마토, 오이 토양 재배
- 산업화 시기(1965-1980)
  - 기계화, 환경조절로 생산성 비약적 증대
  - 천연가스 사용 난방 보편화, 전기 이용 환기 실시
  - 절화, 분화, 토마토 생산 면적 및 수량 증가
- 현대화 시기(1980-현재)
  - 컴퓨터 이용 환경조절 및 자동화 실시
  - 인공배지, 점적관수, 수경재배, 탄산가스 시비, 인공광 실용화
  - 토마토, 파프리카 생산성 증대

□ 시설원예 산업 동향(2011 기준)

- 생산면적 : 149,368ha(시설 10,311 노지 139,067)
  - 난방면적 9,473ha(92%)
- 농 가 수 : 11,146(시설 4,463 노지 6,683)
- 생 산 액 : 86억 유로(농업생산액 39%)
- 농업비중 : 국가 총생산액 12%
- 종자수출 : 15억 유로
- 채소수출 : 42억 유로
- 고용인원 : 40만명

□ 시설원예 기술개발 방향

- 지하수 및 빗물에 대한 관리와 양액 순환 기술 실용화
- 신재생 에너지 활용 비중을 높이고 내구성을 강화함
- 광 이용률을 높이기 위한 국부 광 조사 기술 실용화

(참고 2) 스페인 시설원예 현황(요약)

- 출처 : 스페인의 최신기술 동향(생물환경조절, 82-98, 2003(10))

□ 시설원예 역사

- 1기(1965-1975)
  - Almeria 지역에서 500ha 규모로 토마토, 멜론, 오이 등 생산
- 2기(1977-1985)
  - F<sub>1</sub>종자, 점적관수, 관비기술, 비닐보급 등으로 급증(14,000ha)
- 3기(1989-1990)
  - 수경재배와 Sierra Nevada 지역의 관개수 공급으로 상업농 급증
- 4기(1995-현재)
  - 시설 구조개선, 환경제어 등으로 Dalias, El Jido 지역 대규모 설치

□ 시설원예 산업 동향

- 기후조건 : 평균 기온 17.7°C, 연간 강수량 250-350mm
- 시설면적 : 54,000ha(Almeria, Murcia, Cataluna, Canarias 지역)
- 생산액 : 142억 유로(채소 38%)
- 수출액 : 12억 유로(Almeria 지역)
  - 주로 독일, 프랑스, 영국, 네덜란드에 수출하고 북미에 2-5% 수출
- 주요작물 : 토마토, 멜론, 오이, 파프리카 등
- 온실업체 : Inverca, Unicom(Salobreja), Olivajes(Motrill)

□ 시설원예 기술 동향

- 비닐하우스 구조 및 환기 개선
  - 평탄형(Parral, 7-9유로/m<sup>2</sup>) 시설의 철판기둥 및 천장 환기 개선
  - 아치형(Multitunnel, 18-21유로/m<sup>2</sup>) 시설의 배지경 기술
- 병충해 방제 기술
  - 바이러스의 원인을 제공하는 온실가루이 침투습성 및 방제 기술

□ 시설원예 기술개발 방향

- 지하수 및 빗물에 대한 관리와 바닷물 대형 역삼투압 기술 개발
- 저비용 배지를 이용한 수경재배 기술 등

다. 일본 에너지절감 산업기술 동향조사 및 세미나 개최(2016.4.4.~4.9)

□ 목 적

- 일본 시설원에 농업에너지절감 연구개발 및 산업체 동향조사
- PO계 필름이 딸기, 참외 시설환경에 미치는 영향 구명

□ 출장국가, 출장자 및 출장기간

- 출장국가 : 일본
- 출장자 및 출장기간

출 장 자	소 속	직 급	출 장 기 간
김 영 철	원예특작과학원	농업연구관	2016.04.04.~04.09(6일간)
전 희	원예특작과학원	농업연구관	2016.04.04.~04.09(6일간)

□ 수행내용

- 일본 시설원에 에너지절감 기술개발 및 산업현황 조사 : NARO
- 일본 시설원에 에너지절감 연구개발 동향 조사 : 야채화훼연구소
- 일본 시설원에 농가 방문 및 이용사례 조사 : 사이타마
- 광환경 개선 필름 개발 연구동향 조사 : 스미토모화학연구소
- PO계 필름의 광환경 개선 및 에너지절감 효과 세미나 참석 : 산테라

□ 출장성과

- 일본 시설원에 에너지절감 정책, 연구개발 및 산업동향 반영
- 일본 에너지절감사업 연구성과의 국내 농가 정책지원 기반 확립
- 시설원에 전문가 인적네트워크 구축 및 공동현안 대처 협의로  
에너지절감 국제공동연구 협력체계 강화

## 1) 일본 야채화훼연구소 방문 결과

- 가. 일 시 : 4월 5일(화) 13:00~16:00
- 나. 장 소 : 이바라키현 쓰쿠바시 과학센터
- 다. 면 담 자 : 안동혁(야채다업연구소 상급연구원)
- 라. 방 문 자 : 김영철 단장 외 4명
- 마. 수행내용 : 에너지절감 신기술 동향 및 정책방향 조사

### ○ 야채화훼연구소 최근 변화 동향

- 농림수산성 농연구구(NARO) 산하 국립연구개발법인(2015)
  - 농업식품산업기술융합연구기구(약칭: 농연구구, naro)의 민영화로 인한 인적·시스템적 문제점을 개선하기 위해 국립기관임을 명시함(2015)
  - 차 연구를 과수와 합치고, 채소와 화훼 연구를 합쳐서 연구기능을 조정하고, 연구소 명칭을 연구부문(UNIT)으로 개칭함(2016)  
(야채화훼연구부문, Institute of Vegetable and Floriculture Science)
- 미에현에 있었던 야채다업연구소 본부를 명칭변경과 함께 쓰쿠바로 옮기고, 미에현에는 지소를 둠(2016.4.1.)
  - ※농연구구는 농림수산성 산하 농업연구기관으로 5년마다 개혁을 실시하여 인적, 행정적으로 변화를 추구하고 있음(예산체계 불변)

### ○ 기능 및 임무

- 시설원예 연구 : 시설 채소, 화훼 품종개발 및 재배 기술 개선
- 노지작물 연구 : 노지 채소, 화훼 품종개발 및 재배 기술 개선

### ○ 시설원예 분야 최근 연구동향

- 연구 목표 : 품종개발, 생력화, 에너지절감, 생산성 향상 등  
(토마토의 경우 55톤 이상 중장기 수량 목표를 설정함)
- 연구 내용 : 에너지절감, 식물공장, ICT 이용 기술 개발 등
- 연구 방향 : 정밀농업, 과학적 제어 기술 개발
- 주요 연구 프로그램(주관)
  - 토마토 양액재배 품종 개발 및 저단밀식 기술(타끼이종묘)
  - 파프리카 품종개발 및 양액재배 기술(가네코종묘)
  - 식물공장 실증연구 장소 : 쓰쿠바시, 에히메현, 지바대학, 미에현, 오사카부립대학, 큐슈 오키나와현
  - 오이 다회전 재배기술 : 가네코종묘
    - ※히트펌프, 환기팬(일본전기), 엽면살포제(동해물산)
- 유비쿼터스 환경제어시스템 : 냉난방기에 CPU 부착  
(통신규격을 통일하여 유지관리비용을 절감할 수 있음)

- 최근 식물공장 수출 방안 마련에 국가적으로 추진하고 있음
  - 내각(국무회의) : 첨단 연구개발 추진 설정
  - 농림수산성 : 전국 실증 추진(4ha 단지, 10개소, 2016년 3월)
  - 산업계 : 해외 수출 전개
- 생력화 기술
  - 수량 및 작업정보 수집시스템 개발
  - 착과, 수확, 운반 로봇 개발
  - 환경계측제어시스템 개발(UECS)
- 비파괴 연속 균락생육정보 진단 기술
  - 게임기 이용 온라인 생육진단정보 및 환경조절 기술 개발
  - ICT 이용기술(규격 표준화, 정보 공유화)
- 에너지절감 기술
  - 지중열(지표 1~2m 하부 열교환기 설치 이용 기술)
  - 국부냉난방(근권, 생장점 이동 냉난방기술)
  - 재생가능 에너지 이용 기술(목재, 가스 등)
  - 기타(지열, 바이오, 폐열, 태양광, 보온 기술 등)
- 재해부흥 산업
  - 쓰나미, 지진 대비 시설원예단지 유지 방안 등

## 2) 일본 지바대학 식물공장 방문 결과

- 가. 일 시 : 4월 6일(수) 10:00~15:00
- 나. 장 소 : 지바현 소재 농대 실습농장(환경건강과학센터)
- 다. 안 내 자 : 안동혁 박사
- 라. 방 문 자 : 김영철 단장 외 4명
- 마. 수행내용 : 식물공장 현장방문 및 에너지절감기술 조사

### ○ 농림수산성 지정 식물공장 보급 확대 센터 개요

- 목적 : 시설원예 실용화 기술 개발 및 보급
- 시작 : 평성 21년
- 형태 : 업체별 시설유형을 달리한 온실에서 작물 재배시험
- 참여 : 전농(일본 농협) 등 62개 업체
- 담당 : 오시오 교수(지바대학 식물공장 담당)

### ○ 시설 냉방기술 개발(이와타니)

- 가정용 냉방기(24대), 공업용 냉방기(12대) 적용성 검토 : 2000m<sup>2</sup>
- 가정용 냉방기가 열전환계수(COP) 측면에서 우수하고 저렴함
- 여름철 토마토 생산성 제고를 위한 밀식재배 기술 개발
- ※국내 산업체(LG전자 등)와 관련정보 공유 및 산업화 방안 협의 필요

○ 토마토 잔사체 처리 기술(STAR)

- 90℃ 유산발효 처리로 악취가 없음
- 토마토 잔사체 처리 능력 : 1주일/ha(=500kg/일)
- 비료사용 허가 문제로 현재는 노지에 살포하고 있으나 액비화 추진
- 토마토 수확 후 잔사체의 생체중 대비 건물중이 20% 정도임
- 최종 처리된 분말상태의 잔사체의 pH 5 정도임

※바이오메스 활용 기술 국내 도입 검토 필요

(특히 토마토, 참외, 오이 등 바이러스 억제 기대)

○ 토마토 간이 양액재배 시스템(전농)

- 식물공장형 간이 미니토마토 양액재배 기술 개발
- 세무냉방(Fan & pad + Mist 시스템)
- 8월 정식하여 장기재배 실시
- 스트로폼 상자 재배(버미큘라이트+피트모스 혼합배지)
- 미니토마토 품종 전시장으로 활용(홍보 등)
- 설치가 간편하여 벼 육묘장으로 병행 사용
- 황색 네트유인트랩 사용(해충밀도 조사 편리)

※온실 내부 에너지절감 기술 교육장 설치 시스템 도입 검토 필요

○ 토마토 ICT 이용 기술(미쓰비시수지아크릴)

- 토마토 양액재배 기술(NFT 시스템)
- 증산속도를 실시간으로 계측하여 광합성 제어
- EC 조절로 고당도 토마토 생산
- 하엽 제거로 착색 촉진
- UV 투과 방지 필름 사용으로 벌 비산능력 저하(착과제 사용)
- 대형히트펌프를 설치하여 냉난방 실시
- 환경 및 광합성 요인을 빅데이터 활용하여 투입 에너지를 산정함

※광에너지(광질) 이용에 기초 자료로 활용

○ 압력스티로폼 반원형 식물공장(미라이)

- 방식 : 밀폐형(4단)
- 작물 : 포기상추(일시 수확용)
- 광원 : 형광등, LED(적색, 청색)
- 재배 : 담액(스티로폼 배드)
- 생산 : 하루 400주(백화점 직거래)

- 가격 : 차별화되어 있지 않음
  - 추세 : 식물공장을 이용한 상추 출하가 늘고 있음
- ※에너지 및 생산비(시설비) 절감 대안으로 활용

### 3) 산테라 지바공장 방문 및 광환경 개선 필름 세미나 개최 결과

- 가. 일 시 : 4월 7일(목) 14:00~17:20
- 나. 장 소 : 지바현 소재 산테라 생산공장 회의실
- 다. 안 내 자 : Negawa(산테라 필름 전문가)
- 라. 방 문 자 : 김영철 단장 등 4명
- 마. 수행내용 : 광에너지 변환 필름 생산 공정 견학 및 세미나 개최

#### ○ 산테라 회사 개요

- 설립연도 : 1955. 7. 4.
- 사 원 수 : 130명(2014 기준)
- 자 본 금 : 301백만엔(2014 기준)
- 모 회 사 : 스미토모화학
- 생산품목 : PE, PO 필름 및 조광필름(외기온에 따라 투광을 변화)
- 지바공장 : 14,900m<sup>2</sup>(PE, PO 각각 2개 생산라인), 직원 26명
- 큐슈공장 : 22,200m<sup>2</sup>(PE 2개, PO 1개 생산라인), 직원 46명
- 생산체계 : 24시간 가동(3교대), 생산 및 보관 자동화 시스템

#### ○ 광환경 필름의 특성 및 딸기, 참외 에너지절감 패키지기술 효과

<필름특성 설명 : 산테라 네가와 부장>

- PO필름 : 플라스틱과 고무 성분의 플라스토마필름(보온, 무적성 우수)
- 조광필름 : PO계 필름으로 외기온 22℃에서 투명도와 산광성이 변함

<시험성적 발표 : 경북농업기술원 이지은>

- 딸기 : 패키지(PO필름+다겹보온+국부난방), 에너지 절감 27.8%
- 참외 : 패키지(PO필름+기능성보온+단동 연결), 초기수량 증대 68%

(질의응답 요약)

- PO필름의 투명도가 높아 PE 대비 일사량 투과율이 12% 정도 높았음
- 조광필름의 투명도 변화시점(Switch point)는 17℃에서 22℃로 조정됨
- 조광필름의 온도에 따른 투명도 변화 원인은 수지특성이 다른 것임
- 여름철 조광필름의 일사량 투과율이 광질에 따라 다를 수 있음
- 본 세미나 발표 시험성적은 중간결과이므로 최종성과 경제성 분석으로 농가에 기술(제품)이 보급되어야 함



#### 4) 스미토모화학 연구소 방문 결과

- 가. 일 시 : 4월 8일(금) 10:00~11:20
- 나. 장 소 : 지바현
- 다. 안 내 자 : Moriguchi(산테라 농업용필름 연구부장)
- 라. 방 문 자 : 김영철 단장 등 14명
- 마. 수행내용 : 플라스틱 수지 생산 및 농업용필름 생산 공정 견학

##### ○ 플라스틱 수지 생산공장

- 설립 연도 : 1916(100주년)
- 종업원 수 : 1,300명
- 공장 규모 : 66만평(1구역 14, 2구역 40, 기타 12)
- 종합 화학물 : PE, PVC, EVA, MMA, PO 등 생산
- 에너지 기능 재료 : 타이어, 리튬이온전지 등 생산
- 건강 농업 부분 : 농약, 비료 생산
- 의약 부분 : 각종 의약품 생산
- 연구 시스템 : 6개 사업 부분의 유기적인 연계(하이브리드 시스템)
- 안전 관리 : 출입차량에 대해 정전기 제거 실시

##### ○ 기능성필름 특성 세미나 개최 결과

- 조광필름은 일반필름과는 달리 온도에 따라 비닐하우스에 들어오는 직달광 투과를 제한하고 산란광 비율을 높이기 광효율이 저하되지 않음
- 그러나, 여름철 고온을 극복하기 위해서는 작물별 광포화점에 따라 차열망 또는 차광망을 이용하는 것이 바람직함
- 일본은 PVC 필름의 폐기(소각)에 따른 다이옥신과 가소제(환경호르몬) 사용 문제로 PE를 주 성분으로 하는 PO계 필름이 확대보급되고 있음
- 현재 기능성 PO계 필름은 일본에서 생산되고 있고, 국내 수입 물량에 대해 수입업체에서 환경부담금(250원/kg)을 지불하고 있음
- 한편, 필름의 무적성은 다층구조나 코팅방식에 의해 지속성이 유지되고 있으며, 지속성 평가는 생산회사별로 실내검증으로 이루어짐
- 국내 농업용필름의 생산관리는 산자부가 이용보급은 농식품부가 하고 있고, 플라스틱협동조합에서 평가업무를 담당하고 있는 실정임

#### 5) 조광필름 피복 시설농가 방문 결과

- 가. 일 시 : 4월 8일(금) 14:00~15:00
- 나. 장 소 : 사이타마현
- 다. 안 내 자 : Negawa(산테라 필름 전문가)
- 라. 방 문 자 : 김영철 단장 등 16명
- 마. 수행내용 : 조광필름 피복 농가 현황 및 작물 재배 실태 조사

○ 농가현황

- 시설 현황 : 12동(7×30m) \*측고 2.0m 동고 3.8m
- 골조 자재 : 직경 25mm 아연도구조강관, 설치간격 50cm
- 피복 자재 : 조광필름(0.15mm) \*피복시기 2016. 1. 8.
- 재배 토양 : 사질양토(화산회토)
- 재배 작물 : 풋콩(맥주 안주용)
- 멀칭 자재 : 흑색 천공 PE 필름(0.03mm 두께)
- 측면 환기 : 수동 권취식 개폐 방식
- 천창 환기 : 수동 권취식 개폐 방식(유니버설조인트 사용)
- 방충 방법 : 측면(0.01mm), 출입문(0.03mm)
- 동간 멀칭 : 흑색 직조 PP 필름(물 빠침 양호)

○ 관찰 및 농가 질의응답(요약)

- 조광필름을 설치하고 풋콩재배에 광환경이 미치는 영향에 대해 3개월 동안 관찰을 하였으나 지금까지 광량과 광질 측면에서 특이사항을 발견할 수 없었으며, 5월부터 주간에 하우스 내부가 고온으로 올라가는 것을 억제할 수 있을 것으로 기대함
- 콩 수확 후에 차광망 설치 없이도 여름철 시금치를 재배할 예정임
- 하우스 천장의 개폐장치는 환기를 물론 작기 사이에 비를 하우스 내부에 유입시켜 토양에 남아있는 염기를 세척하는데 이용
- 태풍에 대비하여 하우스 길이를 30m 정도로 짧게 하였음
- 농기구 보관 및 작업동 천창피복은 차열필름(흰색+녹색)을 사용
- 출입문 잠금을 간이식 걸이로 하여 개폐관리를 쉽게 하였음
- 측면 개폐측 밖에 방충망을 설치하여 바람에 안정적임

6) 농자재 판매장 방문 결과

- 가. 일 시 : 4월 8일(금) 15:10~16:00
- 나. 장 소 : 사이타마현
- 다. 안 내 자 : Negawa(산테라 필름 전문가)
- 라. 방 문 자 : 김영철 단장 등 16명
- 마. 수행내용 : 일본 시설원예 단지 소재 농자재 판매실태 조사

○ 농자재 판매장 현황

- 매장 구성 : 농자재, 생활자재, 건축자재, 주차장 등
- 채소 종자 : 무, 배추, 상추, 토마토, 스위트콘 등
- 화훼 종자 : 백일홍, 채송화, 사루비아 등 가정원예용이 많음
- 소 농기구 : 삽, 괭이, 전지가위, 톱, 모종삽 등 크기가 다양함
- 농약 종류 : 살충제, 살균제 등이 소포장 단위로 판매되고 있음
- 비료 종류 : 실내(4중 복비 판매), 실외(소석회, 용비 등 판매)
- 채소 모종 : 양배추, 브로콜리, 딸기 등(품종이 표기됨)

- 과수 모종 : 블루베리, 살구, 복숭아, 매실, 뽕나무 등 접목묘
- 화훼 모종 : 팬지, 베고니아, 페츄니아 등 개별포트
- 허브 모종 : 바실, 라벤더, 로즈마리 등

○ 관찰 결과

- 농기구는 종류와 크기가 다양하여 재배방식에 따라 독농가는 물론 도시농업을 초보자가 이용하기에 편리하도록 진열되어 있었음
- 농약은 국내에서 인기가 많은 흰가루약(다이아스톤) 등 방제가 어려운 병충해 농약이 많았음
- 비료는 크기에 따라 판매 장소를 분리하여 소비자가 쉽게 이용할 수 있도록 하였으며 포장단위가 클수록 국내보다 가격이 저렴하였음
- 화훼는 종자류, 구근류, 모종류가 구분되어 판매되고 있었으며 가격이 국내보다 저렴하였음
- 기타 생활자재의 대부분이 목재를 이용하여 가격이 국내보다 저렴하였고 다양하였음

## 7) 시사점

- 일본의 시설원예를 비롯한 농업에너지절감 기술향상, 연구개발 및 정책방향 분석으로 향후 국제 에너지 수급불안에 따른 대응방안을 강구하기 위한 자료로 활용코자 함
- 시설원예용 피복자재를 개선으로 저비용으로 에너지를 절감하고 이용기술을 개발할 수 있도록 협력체계를 강화시켜야 함
- 일본 농가의 에너지절감기술 조사, 분석으로 농가 실증연구에 활용

## 8) 기타 사항

- 농업에너지절감을 위한 중앙정부, 지자체, 농가 및 산업체 협의회를 구성하되 지속 가능하기 위해 민간위주의 운영체계가 필요함
- 가칭 농림축산식품부 산하 “농업에너지절감 패키지기술협의회” 발족으로 지속가능한 에너지절감 대책 및 생산성 향상 지원 정책 추진
- 정부는 정책과 연구개발 분야의 담당자(부서)를 지정하여 현장에서 필요한 내용을 지속적으로 모니터링하여 지원하고 육성하여야 함

## 라. 종합 결론

- ① 일본의 선진화된 농업에너지절감 연구개발 현황을 야채화훼연구소 시설원예 연구 파트와 지바대학 식물공장을 견학할 수 있었고, 스미토모화학연구소에서 신소재를 이용한 광 에너지 이용 기술을 조사하였고 시설농가의 다양한 에너지절감 기술을 조사할 수 있었음
- ② 에너지절감 기술, 정책 동향과 산업화 동향 등 당초 목적인 조사를 수행하였고, 광환경 개선 필름의 딸기, 참외 재배결과를 토대로 효과를 분석 할 수 있었음
- ③ 본 여행을 통하여 일본의 에너지절감 정책, 기술, 연구개발 및 농가의 실태를 분석한 결과 국내 농업에너지절감 기술 개발 및 확산을 위한 지속적인 기구가 필요할 것으로 사료됨

## 제 7 장 연구시설·장비 현황

\* 아래 시험용 농기자재는 실증연구기관과 실증농가의 협약에 의거 실증연구를 위해 농가에 설치한 것으로 농기자재는 농가에 귀속하게 되어 실증연구 수행 및 연구 종료 후 농가 교육장으로 활용하게 되어 있음. 따라서 국가과학기술종합정보시스템 장비 등록 취지에 맞지 않아 실증연구기관에서 별도의 대장으로 관리하고 있음

(표) 실증기관별 시험용 농기자재 설치 내역

실증연구기관	책임자	물품명	개수	가격(천원)	내용연수	비고
시설원예연구소	권진경	알루미늄커튼	1	10,800	10	합안
		국부난방장치	1	8,000	15	합안
		포그시스템	1	9,000	8	합안
		근권냉방장치	1	5,800	12	합안
강원농업기술원	원재희	다겹보온커튼	2	20,218	10	속초, 삼척
		근권난방	2	5,326	12	속초, 삼척
		수막시설	1	4,826	10	속초
		배기열회수형 환기장치	2	7,425	10	속초, 삼척
		환기계측기	2	7,000	5	속초, 삼척
경기농업기술원	심상연	지중저수열시스템	2	120,000	10	안성, 파주
		환기계측기	2	7,000	5	안성, 파주
충북농업기술원	노재관	공기열히트펌프	2	30,000	10	청주, 진천
		전열선	2	1,600	10	청주, 진천
		수막시설	1	4,000	10	청주
		공기막단열재	1	10,000	5	청주
		환기계측기	2	7,000	5	청주, 진천
충남농업기술원	김경제	알루미늄커튼	1	10,800	10	부여
		국부난방장치	1	8,000	15	부여
		포그시스템	1	9,000	8	부여
		근권냉방장치	1	5,800	12	부여
전북농업기술원	김치선	보온다겹커튼	2	37,913	10	임실, 남원
		열회수난방장치	2	29,680	10	임실, 남원
		환기계측기	2	7,600	5	임실, 남원

(표) 실증기관별 시험용 농기자재 설치 내역

실증연구기관	책임자	물품명	개수	가격(천 원)	내용연수	비고
전남농업기술원	손동모	상부개폐식 다겹보온커튼	2	18,000	10	장성, 영광
		축열식 공기열히트펌프	2	64,000	10	장성, 함평
		복합환경제어기	1	12,000	10	장성
		전기발열선	3	10,000	10	장성, 영광, 담양
		순환식수막장치	1	24,000	10	담양
경북농업기술원	신용습	기능성보온덮개	1	458	10	성주
		연결하우스	1	1,000	10	성주
		공기순환팬	1	1,100	5	성주
		전열선	1	7,000	10	고령
		환경계측기	1	7,000	5	성주
경남농업기술원	정완규	수평보온커튼	3	5,355	10	진주, 창녕
		수직보온커튼	3	1,993	10	진주, 창녕
		공기유동장치	3	1,889	5	진주, 창녕
		SH원적외열선	1	11,406	5	진주
		온풍덕트	1	8,206	5	진주
		온수보일러	1	5,666	10	창녕
		환경계측기	1	7,000	5	진주
원예특작과학원	김영철	열화상카메라	1	14,000	10	완주
		환경계측기	10	15,000	5	완주
		광환경계측기	6	12,000	5	완주
		분쇄기	2	420	5	완주
		당도계	2	740	5	완주
		계측기(저울)	2	650	5	완주

## 제 8 장 참고문헌

1. Briassoulis, D., D. Waaijenberg, J. Gratraud, and B. von Eslner. 1997a. Mechanical properties of covering materials for greenhouse; part1, general overview. *J. agric Engng Res.* 67:81-96.
2. Briassoulis, D., D. Waaijenberg, J. Gratraud, and B. von Eslner. 1997b. Mechanical properties of covering materials for greenhouse; part2, quality assessment. *J. agric Engng Res.* 67:171-217.
3. Gracia, J.L., De la Plaza, L.M. Narvas, R.M. Benavente and L. Luna. 1998. Evaluation of the feasibility of alternative energy sources for greenhouse heating. *J. Agric. Engng Res.* 69:107-114.
4. Gosselin, A. and M.J. Trudel. 1983. Interactions between air and root temperatures on greenhouse tomato: I. growth, development and yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108(6):901-905.
5. Kang, Y.K., Y.S. Ryou, G.C. Kang, Y. Paek, and Y.J. Kim. 2007. Heating performance of horizontal geothermal heat pump system for protected horticulture. *J. of Biosystems Eng.* 32(1):30-36(in Korean).
6. Kawasaki, Y., K. Suzuki, K. Yasuba, and M. Takaichi. 2011. Effect of local air heating by a hanging duct near the tomato shoot apex and flower clusters on vertical temperature distribution, fruit yield and fuel consumption. *Hort. Res. (Japan)* 10(3):395-400(in Japanese).
7. Kawashima, H., M. Takaichi, M. BaBa, K. Yasui and Y. Nakano. 2008. Effects of energy saving and the reduction of carbon dioxide emissions with a hybrid-heating system using an air-to-air heat pump for greenhouse heating. *Bulletin of the National Institute of Vegetable and Tea Science* 7:27-36(in Japanese).
8. Kim, S.E., S.Y. Sim, S.D. Lee, and Y.S. Kim. 2010. Appropriate root-zone temperature control in perlite bag culture of tomato during winter season. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28(5):783-789(in Korean).
9. Kwon, J.K., J.H. Lee, N.J. Kang, K.H. Kang, and Y.H. Choi. 2004. Effects of covering materials and methods on heat insulation of a plastic greenhouse and growth and yield of tomato. *J. of Bio-Environment Control* 13(4):251-257(in Korean).
10. Kwon, J.K., G.H. Kang, J.P. Moon, Y.K. Kang, C.K. Kim, and S.J. Lee. 2013. Performance Improvement of an Air Source Heat Pump by Storage of Surplus Solar Energy in Greenhouse. *Protected Horticulture and Plant Factory* 22(4):328-334(in Korean).
11. Kwon, J.K., G.H. Kang, J.P. Moon, T.S. Lee, and S.J. Lee. 2015. Effect of growing part following local heating for cherry tomato on temperature distribution of crop and fuel consumption. *Protected Horticulture and Plant Factory* 24(3):217-225(in Korean).
12. Lee, M.Y., S.J. Hwang, and B.R. Jeong. 2001. Growth and yield of hydroponic rose

- 'little marble' as affected by root zone temperature and heating method in winter season. *Journal of Bio-Environment Control* 10(1):61-68(in Korean).
13. Lee, S.Y., H.J. Kim, H. Chun, S.H. Yun, Y.I. Nam, and J.G. Lim. 2003. Energy saving by use of pull&roll multi layer type screen system on greenhouse. *Kor. Res. .Soc. Pretected Hort.* 16(1):1-6(in Korean)
  14. M. Teitel, M. Atias, M. Barak (2010). Gradients of temperature, humidity and CO<sub>2</sub> along a fan-ventilated greenhouse. *Biosystems engineering* 106 : 166-174.
  15. Matsuura, S. et al.(2004) Effect of horizontal airflow by circulation fan on disease incidence, growth and yield of tomato forcing culture in vinyl-house. *Hiroshima Kenritsu Nougyou Gijutus* 76 : 11-17.
  16. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). 2014a. Greenhouse status for the vegetable grown in facilities and the vegetable productions in 2013. ed. Sejong, Korea(in Korean).
  17. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). 2014b. Cultivation status of floricultural crop in 2013. ed. Sejong, Korea(in Korean).
  18. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). 2016c, Enforcement guidance on MAFRA enterprise. <http://manual.agrix.go.kr/home/index.php>(in Korean).
  19. Sato, K. and N. Kitajima. 2010. Local heating temperature effects on the growth and yield of strawberries [Fragaria] in high-bench culture. *Fukuoka Agricultural Research Center Report* (29):27-32(in Japanese).
  20. Sone, K., K. Dan, M. Okimura, and E. Ktanai. 2007. Effect of temperature treatment of crown party on flower-bud formation in ever-bearing strawberry. *Soc. Hort. Sci. (Japan)* 6(1):423(in Japanese).
  21. Tong, Y., T. Kozai, N. Nishioka, and K. Ohyama. 2011. Greenhouse heating using heat pumps with a high coefficient performance(COP). *Biosystems Engineering* 106:405-411.
  22. Willits, D.H. and Y.R. Gurjer. 2004. Heat pumps for the heating and night-cooling of greenhouse crops: a simulation study. *Trans. of the ASAE* 47(2):575-584.
  23. 김희준, 리혁, 강태환, 한충수, 조성찬 (2014). 원격외선 난방시스템이 방울토마토 생육에 미치는 영향. *바이오시스템공학* 34(3) : 161-166.
  24. 강금춘, 이시영, 백이 (2009). 전기난방기 난방방식에 따른 특성 구명 연구, 국립원예특작과학원 시험연구보고서. 2008-6 : 608-626.
  25. 유인호, 윤남규, 조명환, 류희룡, 문두경 (2014). 유동팬이 설치된 온실 내 기류 및 기온분포 해석을 위한 CFD 모델 개발. *CNU Journal of Agricultural Science* 41(3) : 416-472.

## 첨부 1 자재별 특성과 경제성분석 기초자료

### (유리온실) 시설원예연구소

#### ○ 패키지 기술에 사용된 단위 기술의 비용 및 특성

단위 기술	내구성 (년)	사설비 (천원/10a)	수리비 (천원/10a)	연이자 (천원/10a)	특성(제원)
알루미늄커튼	10	10,800	해당없음	324	○ (XLS 18 FIREBREAK) : 천창 차광 및 보온용 - 재질 : 알루미늄(75%)+폴리에스터(보온72%, 차광 86%) ○ (ILS ALU) : 측면 권취용 - 재질 : 알루미늄(95%)+폴리에스터(보온72%, 차광 96%)
국부난방장치	15	8,000	해당없음	240	○ 온수보일러(150kw), 지온호스(15mm), 온도제어기, 순환펌프(pu-954m)
포그시스템	8	9,000	해당없음	270	○ 콤프레서, 노즐, 물탱크, 온습도 조절장치
근권냉방장치	12	5,800	해당없음	174	○ 전기보일러셋+PE+연결 밸브

#### ○ 에너지 사용량 및 이산화탄소 배출 절감량 비교(시험기간 : 2016. 10. 6~ 3. 12)

과제명 (기관)		에너지 사용량		에너지 절감량		이산화탄소 배출 절감량 (tCO <sub>2</sub> /10a)	비고
		등유 (L/10a)	전기 (kWh/10a)	등유 (L/10a)	전기 (kWh/10a)		
연동I (충남)	패키지I	1,836		1,876		4.58009	토마토
	패키지II						
	대조	3,712					

\*면세유 실태 : 농가 계약 단가(등유 670원/L), 부여지역 판매 단가(등유 670원/L)  
전기 사용 기준 : 저압(39.2원/kWh), 고압(41.9원/kWh)

#### ○ 생산성(수확기간 : 2016. 12. 23~ 2017. 5. 02)

과제명 (기관)		수량 (kg/10a)	조수입 (원//10a)	품질(당도 등)	작물
연동I (충남)	패키지I	7,482	15,106,860	당도 7.2, 경도 0.73	토마토
	패키지II				
	대조	6,402	14,283,990	당도 7.3, 경도 0.73	



## (연동하우스) 충남농업기술원

### ○ 패키지 기술에 사용된 단위 기술의 비용 및 특성

단위 기술	내구성 (년)	시설비 (천원/10a)	수리비 (천원/10a)	연이자 (천원/10a)	특성(제원)
알루미늄커튼	10	10,800	해당없음	324	○ (XLS 18 FIREBREAK) : 천창 차광 및 보온용 - 재질 : 알루미늄(75%)+폴리에스터(보온72%, 차광 86%) ○ (ILS ALU) : 측면 권취용 - 재질 : 알루미늄(95%)+폴리에스터(보온72%, 차광 96%)
국부난방장치	15	8,000	해당없음	240	○ 온수보일러(150kw), 지온호스(15mm), 온도제어기, 순환펌프(pu-954m)
포그시스템	8	9,000	해당없음	270	○ 콤프레서, 노즐, 물탱크, 온습도 조절장치
근권냉방장치	12	5,800	해당없음	174	○ 전기보일러셋+PE+연결 벨브

### ○ 에너지 사용량 및 이산화탄소 배출 절감량 비교(시험기간 : 2016. 10. 6~ 3. 12)

과제명 (기관)	에너지 사용량		에너지 절감량		이산화탄소 배출 절감량 (tCO <sub>2</sub> /10a)	비고
	등유 (L/10a)	전기 (kWh/10a)	등유 (L/10a)	전기 (kWh/10a)		
연동I (충남)	패키지I	1,836		1,876	4.58009	토마토
	패키지II					
	대조	3,712				

\*면세유 실태 : 농가 계약 단가(등유 670원/L), 부여지역 판매 단가(등유 670원/L)

전기 사용 기준 : 저압(39.2원/kWh), 고압(41.9원/kWh)

### ○ 생산성(수확기간 : 2016. 12. 23~ 2017. 3. 20)

과제명 (기관)	수량 (kg/10a)	조수입 (원//10a)	품질(당도 등)	작물	
연동I (충남)	패키지I	4,094	15,106,860	당도 7.0, 경도 0.72	토마토
	패키지II				
	대조	3,871	14,283,990	당도 7.0, 경도 0.72	

## (연동하우스) 경기농업기술원

○ 패키지 기술에 사용된 단위 기술의 비용 및 특성

단위 기술	내구성 (년)	사설비 (천원/10a)	수리비 (천원/10a)	연이자 (천원/10a)	특성(제원)
지중저수열시 스템	10	120,000	120	360	- 가동방식 : 온실냉난방 설정온도 설정 자동운전 등 - 구성 : 지하수탱크+히트펌프+축열조+FCU - 히트펌프 30RT, 침적코일 열교환기 30RT, 열원탱크 40Ton, FCU 100W, 온수탱크 2Ton
다접보온커튼	10	10,000	10	30	- 재질 : 부직포(0.5mm, PP), 화학솜(100온스) 등 - 조성 : 부직포 2매 + 화학솜 - 예인식 개폐장치(기어 1식, 구동모터 1대, 개폐축 40mm)

○ 에너지 사용량 및 이산화탄소 배출 절감량 비교(시험기간 : '16.10.1.~'17.3.21.)

과제명 (기관)		에너지 사용량		에너지 절감량		이산화탄소 배출 절감량 (tCO <sub>2</sub> /10a)	비고
		등유 (L/10a)	전기 (kWh/10a)	등유 (L/10a)	전기 (kWh/10a)		
연동II (경기)	패키지	-	57,927	12,000 (29.29696)	-	2.04231	국화
	대조	12,000	-	-	57,927 (27.25465)	-	

\*면세유 실태 : 농가 계약 단가(등유 원/L), 지역 판매 단가(등유 원/L)

전기 사용 기준 : 저압(39.2원/kWh), 고압(41.9원/kWh)

## (연동하우스) 전북농업기술원

### ○ 패키지 기술에 사용된 단위 기술의 비용 및 특성

단위 기술	지역	내구성 (년)	시설비 (천원/10a)	수리비 (천원/10a)	연이자 (천원/10a)	특성(제원)
보온 다겹 커튼	남원	10	20,803	20.803	624.09	- 재질 : 부직포(0.5mm, PP), 화학솜(100온스) 등 - 조성 : 부직포 50g+마트지+솜 3온스+마트지+부직포50g
	임실	10	17,110	17.11	513	- 개폐장치(베어링 25mm, 드럼 φ 48, 감속모터 삼상 2HP, 개별모터 중대형 2대)
열회수형 화기 장치 2대	남원	10	14,830 (1대당 6,500)	14.83	444.9	- 재질 : 칼라강판 - 난방능력 : 6만kcal - 제원 : 1,800×900×1,700cm
	임실	10	14,850	14.85	445.5	- 제어장치 : 온도, 시간제어 및 4단 변온

### ○ 에너지 사용량 및 이산화탄소 배출 절감량 비교(시험기간 : 2016. 9. 7~ 2017. 5.25)

연동 비닐하우스 에너지 패키지 기술개발 (전북도원)		에너지 사용량		에너지 절감량		이산화탄소 배출 절감량 (tCO <sub>2</sub> /10a)	비고
		등유 (L/10a)	전기 (kWh/10a)	등유 (L/10a)	전기 (kWh/10a)		
연동Ⅲ (전북)	패키지I	3,000	5,897	1,900 (4.63869)	-	4.22300	딸기
	대조	4,900	5,015	-	882 (0.41498)		
	패키지I	4,200	6,755	2,010 (4.90724)		4.650852	토마토
	대조	6,210	6,210		545 (0.25642)		

\*면세유 실태 : 농가 계약 단가(등유 655원/L), 지역 판매 단가(등유 655원/L) / 적용가 402.19원/L  
전기 사용 기준 : 저압(39.2원/kWh), 고압(41.9원/kWh) / 56.7원 기준(농업용 전기)

### ○ 생산성(수확기간 : 2016.11.~2017.6.)

과제명 (기관)	수량 (kg/10a)	조수입 (원//10a)	품질(당도 등)	작물 및 수확기간	
연동Ⅲ (전북)	패키지I	4,158	26,868,996	평균 착과수 5.5개, 당도 10.2°Brix, 상품률 92%	딸기 ('16.11~'17.5)
	대조	3,669	23,709,078	평균 착과수 4.9개, 당도 9.8°Brix, 상품률 86%	
	패키지I	5,476	14,916,624	평균 착과수 3.3개, 당도 4.9°Brix, 상품률 95.3%	토마토 ('17.3~'17.6)
	대조	4,725	12,870,900	평균 착과수 2.8개, 당도 4.9°Brix, 상품률 92.6%	

\* 딸기 가격 6,462원/kg(2015 지역별 농산물 소득자료, 전북),  
토마토 가격 2,724원/kg(2015 지역별 농산물 소득자료, 전남)

## (단동하우스) 충북농업기술원

### ○ 패키지 기술에 사용된 단위 기술의 비용 및 특성

단위 기술	내구성 (년)	사설비 (천원/10a)	수리비 (천원/10a)	연이자 (천원/10a)	특성(제원)
권취식 다접보온커튼	10	10,000 (1,000)	10	30	- 재질 : 마트, 부직포, 니들펀칭, 양면띠폴 - 조성 : 5겹(마트+부직포+니들펀칭+양면띠폴+마트) - 개폐장치(모터구동(DC, 300W))
공기열 히트펌프	10	30,000 (3,000)	30	90	- 구성 : 히트펌프(10R/T), 급탕보일러, 축열통(5ton) 일, 순환펌프, 자동제어장치, 배관유동휠, 속도제어기 - 구동방식 : 공기 대 물 방식(전기, 등유)
전열선	10	1,600 (160)	1.6	4.8	- 열선재질 : 테프론, 실리콘, CN합금(7가닥 집합체) - 난방방식 : 발열선 자체 발열
수막시설	10	4,000 (400)	4	12	- 수막방식 : 분사호스로 2중피복비닐 위 수막형성 - 살수량 : 200L/min./10a - 관리방법 : 노즐에 분사되는 살수량 조절
공기막단열재 (바우어덕트)	5	10,000 (5,000)	50	150	- 재질 : PET, 알루미늄, 타포린마대직물 - 보온성 : 56.3~60.1% - 열전도도(W/m·℃) ;0.047 72~0.051 07

### ○ 에너지 사용량 및 이산화탄소 배출 절감량 비교(시험기간 : 12월~익년 3월)

과제명 (기관)	에너지 사용량		에너지 절감량		이산화탄소 배출 절감량 (tCO <sub>2</sub> /10a)	작물	
	경유, 등유 (L/10a)	전기 (kWh/10a)	유류 (L/10a)	전기 (kWh/10a)			
단동 I (충북)	'15	패키지 I	285	13,754	54	9,528	딸기 ( '15.1.17-3.31 )
		패키지 II	216	11,375	123	11,907	
		패키지 III	177	12,372	162	10,910	
		IV	290	6,873	49	16,409	
		대조구	339	23,282			
	'16	패키지	1,488	13,982	513	8,454	딸기 ( '15.12.3-3.25 )
		대조구	2,001	22,436	312,930원	354,222원	
		패키지	969	12,396	1,147	11,593	토마토 ( '15.12.24-3.31 )
		대조구	2,116	803	699,670원	485,746원	
	'17	패키지	963	11,356	751	5,468	딸기 ( '16.12.6-3.31 )
		대조구	1,714	16,824	458,110원	229,109원	
		패키지	2,345	15,229	3581	-13,825	토마토 ( '17.1.4-3.16 )
대조구		5,926	1,404	2,184,410 원	-579,267 원		

\*면세유 : 경유 42.14원/L, 등유 402.19원/L  
전력단가 : (41.9원/kWh)

※ 참고사항(년도별 패키지 조합)

과제명 (기관)		패키지 조합		작물
단동 I (충북)	'15	패키지 I	반사필름+전열선	딸기 ( '15.1.17-3.31)
		패키지 II	다겹보온커튼+전열선	
		패키지 III	반사필름+전열선+다겹보온커튼	
		IV	공기열히트펌프	
		대조구	경유난방+수막	
	'16	패키지	공기열히트펌프+전열선+다겹보온커튼	딸기 ( '15.12.3-3.25)
		대조구	등유난방+수막	
		패키지	공기열히트펌프+전열선+다겹보온커튼	토마토 ( '15.12.24-3.31)
		대조구	등유난방	
	'17	패키지	공기열히트펌프+바우어덕트+다겹보온커튼	딸기 ( '16.12.6-3.31)
		대조구	“	
		패키지	공기열히트펌프+바우어덕트+다겹보온커튼	토마토 ( '17.1.4-3.16)
대조구		“		

- 바우어덕트(공기막단열재)

○ 생산성

과제명 (기관)		수량 (kg/10a)	조수입 (원//10a)	당도(Brix°)	작물	
단동 I (충북)	'15	패키지 I	2,843	18,308,920	10.1	딸기 ( '15.1.17-3.31)
		패키지 II	2,958	19,049,520	9.9	
		패키지 III	2,920	18,804,800	9.9	
		IV	2,869	18,476,360	10.2	
		대조구	2,818	18,147,920	10.4	
	'16	패키지	2,805	18,064,200 (+1,398,000)	9.2	딸기 ( '15.12.3-3.25)
		대조구	2,588	16,666,720	9.7	
		패키지	2,019	6,075,171 (+370,000)	8.8	토마토 ( '16.4.19-6.1)
		대조구	1,896	5,705,064	8.9	
	'17	패키지	2,741	17,652,040 (+225,400)	9.4	딸기 ( '16.12..6-3.31)
		대조구	2,706	17,426,640	9.1	
		패키지	3,239	9,746,151 (+478,431)	9.7	토마토 ( '17.1.4-3.16)
대조구		3,080	9,267,720	9.5		

※ 참고(단가) : 2015 농축산물소득자료집(농촌진흥청)

- 딸기(6,440/kg), 방울토마토(3,009원/kg)

## (단동하우스) 전남농업기술원

### ○ 패키지 기술에 사용된 단위 기술의 비용 및 특성

단위 기술	내구성 (년)	시설비 (천원/10a)	수리비 (천원/10a)	연이자 (천원/10a)	특성(제원)
상부개폐식 다겹보온커튼 (장성, 영광)	10	18,000	18	54	- 재질 : 부직포(0.5mm, PP), PE폼(2mm) 등 - 조성 : 마트지 2겹 + 부직포 2겹 + PE폼 1겹 - 개폐장치(기어 , 구동모터 , 개폐축 mm)
축열식 공기열히트펌프 (장성, 함평)	10	64,000	64	192	- 규격 : 소비전력 20kw/h, 축열탱크 30ton - 냉매 : R407C - 축열방식 : 공기 대 물 축열 방식
복합환경제어기 (장성)	10	12,000	12	36	- 사용센서 : 외부온도, 일사량, 감우, 실내온도, 습도 등 - 채널 수 : 24채널 - 개폐조절 방식 : 개폐 및 작동시간 비례제어 방식
전기발열선 (장성, 영광, 담양)	10	10,000	10	30	- 규격 : 20W/h/m, 1동당 설치량 : 2,000m - 구성 : 전기발열선 + 온도컨트롤장치
순환식수막장치 (담양)	10	24,000	24	72	- 구성 : 보일러, 순환물탱크, 수막용 분수호스 등 - 보일러 사용연료 : 등유

### ○ 에너지 사용량 및 이산화탄소 배출 절감량 비교 (시험기간 : 2016. 9. ~ 2017. 4. 30.)

과제명 (기관)	에너지 사용량		에너지 절감량		이산화탄소 배출 절감량 (tCO2/10a)	비고
	등유 (L/10a)	전기 (kWh/10a)	등유 (L/10a)	전기 (kWh/10a)		
단동Ⅱ (전남)	패키지Ⅰ	0	16,009	4,237	-15,087	딸기 대조:영광
	패키지Ⅱ	770	17,268	3,467	-16,346	
	패키지Ⅲ	0	10323	4,237	-9,401	
	대조	4,237	922	-	-	
	패키지Ⅰ	-	6,173	795.7	-6,173	방울 토마토
	대조	795.7	-	-	-	
	패키지Ⅱ	-	4,017	-	3,456	토마토
	대조	-	7,563	-	-	

\*딸기에 적용된 패키지 기술

패키지 I : 상부개방형 다겹보온커튼 + 전기발열선(영광)

패키지 II : 순환식수막장치 + 전기발열선(담양)

패키지 III : 상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프 + 복합환경제어장치(장성)

대 조 : 수막 + 등유온수보일러

\*토마토에 적용된 패키지 기술

패키지 I : 권취형 다겹보온커튼 + 전기발열선

대 조 : 권취형 다겹보온커튼 + 등유온풍기

패키지 II : 예인식 다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프

대 조 : 예인식 다겹보온커튼 + 방열판 + 전기발열선

\*면세유 실태 : 농가 계약 단가(등유 450원/L), 지역 판매 단가(등유 원/L)

전기 사용 기준 : 저압(39.2원/kWh), 고압(41.9원/kWh)

○ 생산성 및 품질 (수확기간 : 2016. 11. ~ 2017. 5.)

과제명 (기관)	수량 (kg/10a)	조수입 (원//10a)	품질(당도, ° Bx)	작물	
단동II (전남)	패키지 I	4,412	45,403,892	9.6	딸기
	패키지 II	3,455	53,333,108	12.9	
	패키지 III	5,315	54,696,665	9.8	
	대 조	3,780	38,899,980	9.4	
	패키지 I	2,278	8,862,946	6.7	방울토마토
	대 조	2,391	9,301,708	6.6	
	패키지 II	4,930	15,543,786	5.8	토마토
	대 조	4,369	13,775,205	5.5	

## (단동하우스) 강원농업기술원

### 1. 딸기 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발

○ 패키지 기술에 사용된 단위 기술의 비용 및 특성

단위 기술	내구성 (년)	사설비 (천원/10a)	수리비 (천원/10a)	연이자 (천원/10a)	특성(제원)
다점보온커튼	10	20,218	20	61	- 천창 : 5겹, 슝6온스 - 측면 및 마감지 : 5겹, 슝8온스 - 보온개폐기 : 사이버스타1044(1034) - 개폐장치 : 예인로프 25mm, 또는 낙하선줄 $\phi$ 4mm 권취식 - 천창 권취축 : $\phi$ 33.5mm*2.1T - 측면 권취축 : $\phi$ 25.4mm*1.5T
근권난방	12	5,326	4	13	- 운영방식 : 전기식 축열보일러, 유류보일러 병행 운영 - 전기식 축열보일러 : 1.5t - 유류보일러 : 50,000kcal/h - 순환모터 : 220v, 1Hp
수막시설	10	4,826	5	15	- 전기양수기 : 220v, 1Hp - 원수탱크 : P.E.원형, 3,000L - 여과기 : 50mm - 주배관 : HDPE D40, 스프링클러 배관 : LD관 D25
배기열회수형 환기장치	10	7,425	7	22	- 모델 : HRVL - 전기식보일러 : 60,000kcal/h - 연료소비량 : 3kw - 최대전류 : 30A - 정격전압주파수 : 220v/380v

○ 에너지 사용량 및 이산화탄소 배출 절감량 비교  
(시행기간 : '16.12 ~ '17.02)

(시행기간 : '16.12 ~ '17.02)

과제명 (기관)	에너지 사용량		에너지 절감량		이산화탄소 배출 절감량 (tCO <sub>2</sub> /10a)	비고 (농가명)
	등유 (L/10a)	전기 (kWh/10a)	등유 (L/10a)	전기 (kWh/10a)		
단동III (강원)	패키지I		6,308			딸기 (동해시 백승태)
	패키지II	550	8,457			
	대 조		9,322			
	기 존	1,500	7,994			
	패키지I	1,012	7,364			딸기 (삼척시 김동환)
	패키지II	553	9,040			
	대 조	2,353				

\*난방유 가격 : 면세등유 402.19원/L ('16년 면세등유 평균가격)

전력 단가(농사용(을)-고압) : kwh당 53~60원(70kW 기본요금 1,210원/kW 포함) 적용

\*동해시 백승태 - 패키지 I : 다점보온커튼 + 근권난방 + 수막시설

패키지 II : 다점보온커튼 + 근권난방 + 수막시설 + 배기열회수형환기장치

대 조 구 : 다점보온커튼 + 근권난방

기 존 : 팬코일난방('14/'15 재배기준)

\*삼척시 김동환 - 패키지 I : 2중비닐 + 다점보온커튼 + 근권난방 + 수막시설

패키지 II : 2중비닐 + 다점보온커튼 + 근권난방 + 수막시설 + 배기열회수형환기장치

대 조 구 : 1중비닐 + 다점보온커튼 + 유류온풍기



○ 생산성

(수확기간 : '16.12~'17.04)

과제명 (기관)		수량 (kg/10a)	조수입 (원//10a)	품질(당도 등)	작물
단동Ⅲ (강원)	패키지Ⅰ	3,466	24,262	당도 7.2 산도 1.4 경도 0.16	딸기 (동해시 백승태)
	패키지Ⅱ	3,788	26,516	당도 7.7 산도 1.4 경도 0.17	
	대 조	3,208	22,456	당도 7.2 산도 1.3 경도 0.15	
	패키지Ⅰ	4,398	30,786	당도 8.7 산도 1.6 경도 0.17	딸기 (삼척시 김동환)
	패키지Ⅱ	4,067	28,469	당도 8.7 산도 1.6 경도 0.17	
	대 조	2,147	15,029	당도 7.3 산도 1.5 경도 0.19	

2. 토마토 시설하우스 에너지절감 패키지가 기술 모델 개발

○ 패키지 기술에 사용된 단위 기술의 비용 및 특성

단위 기술	내구성 (년)	시설비 (천원/10a)	수리비 (천원/10a)	연이자 (천원/10a)	특성(제원)
다접보온커튼	10	3,977	4	12	- 알루미늄보온권취스크린(ILS ALU/차광 99%, 보온 75%) - 측면개폐모터 : DC24V - 개폐축과이프 : ϕ25.4mm*1.5T
근권난방	12	8,299	7	21	- 유류보일러 : 50,000kcal/h - 순환모터 : 220v, 1Hp
알루미늄히트방열관	10	5,471	5	16	- 재질 : 고순도 알루미늄(AL6030) - 재원 : 직경 25A*외경 100mm*길이 6m, 날개수 20개 - 유류보일러 : 200,000kcal/h
배기열회수형 환기장치	10	6,793	7	20	- 모델 : HRVL - 전기식보일러 : 60,000kcal/h - 연료소비량 : 3kw - 최대전류 : 30A - 정격전압주파수 : 220v/380v

○ 에너지 사용량 및 이산화탄소 배출 절감량 비교

(시험기간 : '16.12~'17.02)

과제명 (기관)		에너지 사용량		에너지 절감량		이산화탄소 배출 절감량 (tCO <sub>2</sub> /10a)	비고
		등유 (L/10a)	전기 (kWh/10a)	등유 (L/10a)	전기 (kWh/10a)		
단동Ⅲ (강원)	패키지Ⅰ	3,448	7,526				토마토 (강릉시 김병운)
	대 조	2,832	8,547				

\*난방유 가격 : 면세등유 402.19원/L ('16년 면세등유 평균가격)

전력 단가(농사용(을)-고압) : kwh당 53~60원(70kW 기본요금 1,210원/kW 포함) 적용

\*패키지 I : 다접보온커튼 + 근권난방 + 알루미늄히트방열관 + 배기열회수형환기장치

대 조 구 : 다접보온커튼 + 근권난방 + 알루미늄히트방열관

○ 생산성

(수확기간 : '17.03~'17.04)

과제명 (기관)		수량 (kg/10a)	조수입 (원//10a)	품질(당도 등)	작물
단동Ⅲ (강원)	패키지Ⅰ	10,820.7	32,462	당도 5.5 경도 0.9	토마토 (강릉시 김병운)
	대 조	9,478.7	28,436	당도 5.2 경도 0.9	

## (단동하우스) 경북농업기술원

[참외 고도화 패키지 기술]

○ 고도화 패키지 기술에 사용된 단위 기술의 비용 및 특성

단위 기술	내구성 (년)	시설비 (천원/10a)	수리비 (천원/10a)	연이자 (천원/10a)	특성(제원)
기능성보온덮개	10	458	0.45	1.35	- 재질 : 부직포(55g), 화학솜(15온스), 알루미늄코팅부직포(35g) 등 - 조성 : 부직포 2겹+알루미늄코팅부직포 1겹 + 화학솜
연결하우스	10	1,000	1	3	- 재질 : 비닐하우스 구조용(SPVHS, SPVHS-AZ) 파이프 또는 동등 이상 - 방법 : 단동 아치형 하우스 10동 측면 연결동 설치
탄산가스발생제	-	60	해당없음	-	- 재료 : 탄산나트륨과 탄산암모늄에 촉매제를 이용한 탄산가스발생제품 또는 동등 이상 - 방법 : 탄산가스발생제 20봉(100g/봉) 시설 상단부 설치
공기순환팬	5	1,100	2.2	6.6	- 성능 : 소형프로펠러 팬(용량 30m <sup>3</sup> /min) 또는 바닥면적 당 0.6m <sup>3</sup> /min 기준 - 방법 : 하우스 길이 100m일 경우 10대를 작물 상단 1~1.5m 높이에 W형으로 2줄 설치 후 시설 내부 온도 33±2℃ 이상일 경우 가동(동절기 기준)

○ 생산성(수확기간 : 2017. 3. ~ 5)

과제명 (기관)		상품수량 (kg/10a)	조수입 (원/10a)	상품과율(%)	작물
단동IV (경북)	고도화 패키지	1,402	7,930,250	87.2	참외
	대조	1,229	6,955,380	85.7	

\* 단가 : 시설참외 5,658원/kg(3~5월 평년 평균), 2016 농업과학기술 경제성분석 기준자료집

## (단동하우스) 경남농업기술원

### <패키지 1> SH원적외열선

	SH원적외열선	소형전기온풍난방	수평보온커튼	수직다겹보온커튼	공기유동장치
투입기술	○	X	○	○	○
대 조	X	○	X	X	X

### ○ 패키지 기술에 사용된 단위 기술의 비용 및 특성

단위 기술	내구성 (년)	시설비 (천원/10a)	수리비 (천원/10a)	연이자 (천원/10a)	특성(제원)
수평보온커튼	10	5,355	5.4	16.0	- 재질 : 알루미늄스크린(알루미늄, 연사, 폴리에틸렌) - 성능 : BJ85(중앙절개식, 보온율 44%, 차광율 85%) - 개폐장치(기어: 40A 35조, 구동모터: 3상 380v 400w, 개폐축: 481mm*21)
수직보온커튼	10	1,993	2.0	6.0	- 재질 : 측면다겹보온지(오리털) - 개폐장치(모터: DC24V, 100V)
공기유동장치	10	1,889	1.9	8.5	- 성능 : 시간온도자동 제어, 130W, 47m <sup>3</sup> /분
SH원적외열선	10	11,406	11.4	34.2	- 성능 : 나노합금열선(AC380V, 41.5W/m), 맞춤형 발열체 - 제어장치 : 60kw부하 자동온도제어

\* 시험구 1,920m<sup>2</sup> 기준 열선 설치 내역 (1년차 1,300m 설치, 2년차 482m 추가 설치)

### ○ 에너지 사용량 및 이산화탄소 배출 절감량 비교(시험기간 : 2017. 8. 29 ~ 2017. 4. 20)

과제명 (기관)	에너지 사용량		에너지 절감량		이산화탄소 배출 절감량 (tCO <sub>2</sub> /10a)	비고
	등유 (L/10a)	전기 (kWh/10a)	등유 (L/10a)	전기 (kWh/10a)		
단동V (경남)	패키지 I	-	53,572	-	11,176	고추
	대조	-	64,748	-	-	

### ○ 생산성(수확기간 : 2017. 10. 16 ~ 2017. 4. 20)

과제명 (기관)	수량 (kg/10a)	조수입 (원//10a)	상품율 (%)	작물	
단동V (경남)	패키지 I	8,114	42,322,624	86.7	고추
	대조	7,405	38,624,480	86.3	

※ 생산단가 : 2015년 농축산물소득자료집(경남, 시설고추, 5,216원/kg)

<패키지 2> 온풍덕트개선

	수평보온커튼	공기유동장치	온풍(알루미늄)덕트	비닐덕트
투입기술	O	O	O	X
대 조	X	O	X	O

○ 패키지 기술에 사용된 단위 기술의 비용 및 특성

단위 기술	내구성 (년)	시설비 (천원/10a)	수리비 (천원/10a)	연이자 (천원/10a)	특성(제원)
수평보온커튼	10	5,906	5.9	17.7	- 재질 : 알루미늄스크린(알루미늄, 연사, 폴리에틸렌) - 성능 : BJ85(중앙절개식, 보온율 44%, 차광율 85%) - 개폐장치(기어: 40A 35조, 구동모터: 3상 380v 400w, 개폐축: 481mm*21)
공기유동장치	10	1,929	1.9	5.8	- 성능 : 시간온도자동 제어, 130W, 47m <sup>3</sup> /분
온풍덕트	5	8,206	16.4	49.2	- 재질 : 알루미늄 시트(측면, 후면) - 개폐장치(측면부 모터: 96w)

○ 에너지 사용량 및 이산화탄소 배출 절감량 비교(시험기간 : 2017. 9. 27 ~ 2017. 4. 20)

과제명 (기관)	에너지 사용량		에너지 절감량		이산화탄소 배출 절감량 (tCO <sub>2</sub> /10a)	비고
	등유 (L/10a)	전기 (kWh/10a)	등유 (L/10a)	전기 (kWh/10a)		
단동V (경남)	패키지 II	5,198	-	143	-	고추
	대조	5,341	-	-	-	

○ 생산성(수확기간 : 2017. 12. 06 ~ 2017. 4. 20)

과제명 (기관)	수량 (kg/10a)	조수입 (원//10a)	상품율 (%)	작물	
단동V (경남)	패키지 II	4,180	21,802,880	99.1	고추
	대조	4,467	23,299,872	98.3	

※ 생산단가 : 2015년 농축산물소득자료집(경남, 시설고추, 5,216원/kg)

### <패키지 3> 온수배관개선

	스텐주름온수배관	PE배관	수평보온커튼	수직다겹보온커튼	공기유동장치
투입기술	O	X	O	O	O
대 조	X	O	O	X	X

#### ○ 패키지 기술에 사용된 단위 기술의 비용 및 특성

단위 기술	내구성 (년)	시설비 (천원/10a)	수리비 (천원/10a)	연이자 (천원/10a)	특성(제원)
수평보온커튼	10	6,328	6.3	18.9	- 재질 : 알루미늄스크린(알루미늄, 연사, 폴리에틸렌) - 성능 : BJ85(중앙절개식, 보온율 44%, 차광율 85%) - 개폐장치(기어: 40A 35조, 구동모터: 3상 380v 400w, 개폐축: 481mm*21)
수직보온커튼	10	2,596	2.6	7.8	- 재질 : 측면다겹보온지(오리털) - 개폐장치(모터: DC24V, 100V)
공기유동장치	10	2,134	2.1	6.4	- 성능 : 시간온도자동 제어, 130W, 47m <sup>3</sup> /분
온수보일러	10	5,666	5.7	17.0	- 성능 : KCS3000 전기보일러(120kw), 발열량(111.750kcal/h) - 온도조절기능 : 온수조절 4단변온, 히터조절 3단변온
온수난방배관	5	4,964	4.9	14.9	- 재질 : 스텐주름관 15mm - 설치위치 : 2열/이랑, 하단부 설치

#### ○ 에너지 사용량 및 이산화탄소 배출 절감량 비교(시험기간 : 2017. 9. 13 ~ 2017. 4. 20)

과제명 (기관)		에너지 사용량		에너지 절감량		이산화탄소 배출 절감량 (tCO <sub>2</sub> /10a)	비고
		등유 (L/10a)	전기 (kWh/10a)	등유 (L/10a)	전기 (kWh/10a)		
단동V (경남)	패키지 III	-	2,776	-	340	0.15997	고추(피망)
	대조	-	3,116	-	-	-	

#### ○ 생산성(수확기간 : 2017. 12. 21 ~ 2017. 4. 20)

과제명 (기관)		수량 (kg/10a)	조수입 (원/10a)	상품율 (%)	작물
단동V (경남)	패키지 III	5,401	28,171,616	99.1	
	대조	4,919	25,657,504	98.3	

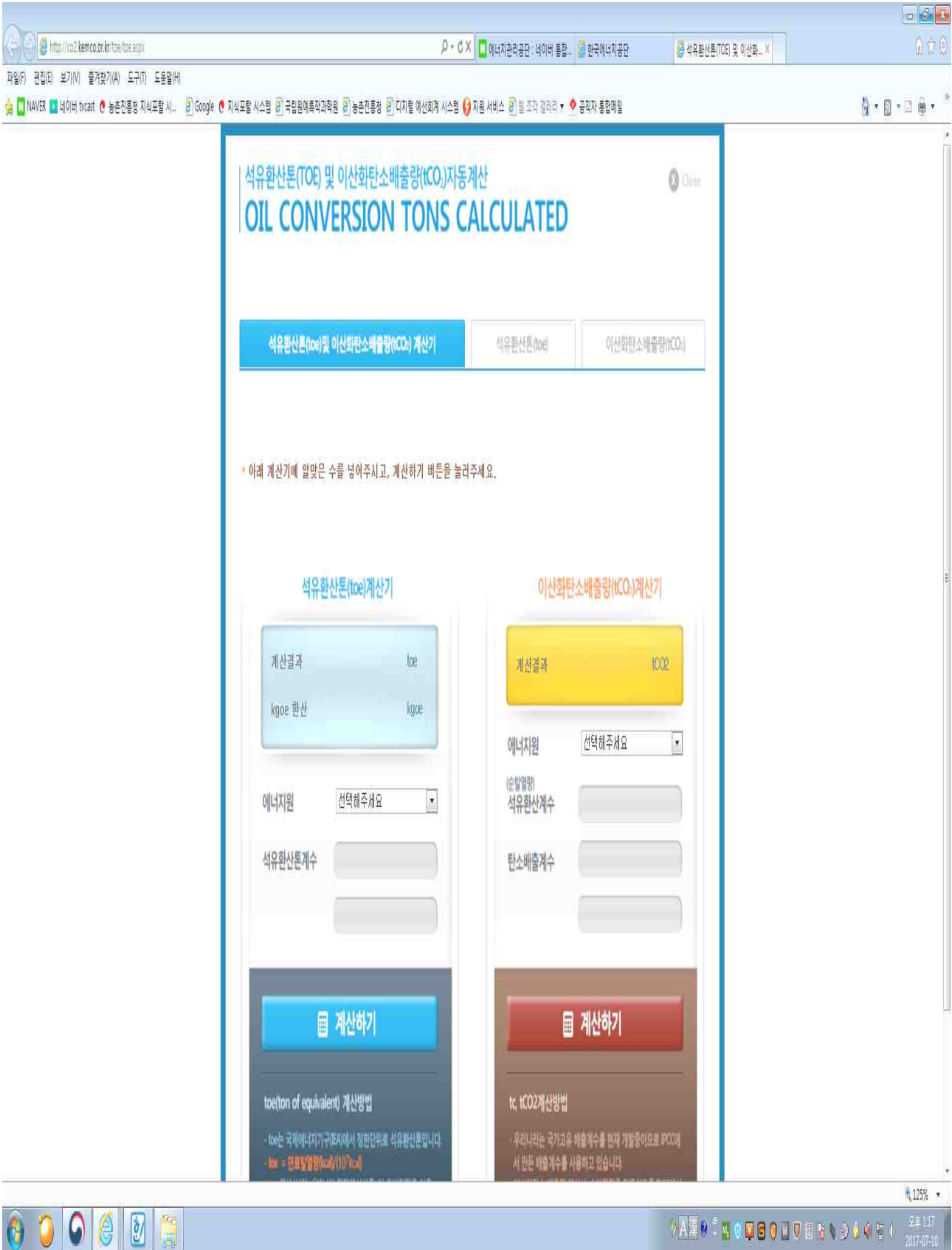
※ 생산단가 : 2015년 농축산물소득자료집(경남, 시설고추, 5,216원/kg)

첨부 2 이산화탄소 배출량 산정자료

○ 농업에너지절감 패키지 기술별 에너지절감 및 온실가스 저감효과(예시)

과제명 (기관)		에너지 사용량		에너지 절감량 (이산화탄소배출량)		이산화탄소 배출 절감량 (tCO <sub>2</sub> )	비고
		등유(L)	전기 (kWh)	등유(L)	전기 (kWh)		
연동 I (충남)	패키지	1,836	-	1,876	-	4.58009	토마토
	대조	3,712	-	-	-	-	
연동 II (경기)	패키지	-	57,927	12,000	-	2.04231	국화
	대조	12,000	-	-	57,927	-	
연동 III (전북)	패키지	3,000	5,897	1,900	-	4.22379	딸기
	대조	4,900	5,015	-	882	-	
단동 I (충북)	패키지	963	11,356	751	5,468	4.58953	딸기
	대조	1,714	16,824	-	-	-	
단동 II (전남)	패키지	-	10,323	4,237	-	5.92110	딸기
	대조	4,237	922	-	9,401	-	
단동 III (강원)	패키지	553	9,040	1,800	-	0.14122	딸기
	대조	2,353	-	-	9,040	-	
단동 IV (경북)	패키지	26	-	191	-	0.46631	딸기
	대조	217	-	-	-	-	
단동 V (경남)	패키지	33,412	11,745	5,068	619	3.89572	풋고추
	대조	38,480	12,364	-	-	-	
유리 (시설)	패키지	-	35,082	14,071	-	18.01832	파프리카
	대조	14,071	364	-	34,718	-	

○ 한국에너지공단 사이트 : 기후변화대응/온실가스배출량 자동계산



○ 에너지종류별 석유환산 기준표

구분	기준 단위	석유환산톤계수 (kgoe)	석유환산톤 (toe)
등유	1 ℓ	0.879	0.00088
경유	1 ℓ	0.901	0.0009
전기	1kWh	0.23	0.00023
B-C유	1 ℓ	0.995	0.001
천연가스(LNG)	1kg	1.304	0.0013
도시가스(LPG)	1Nm <sup>3</sup>	1.5	0.0015
원유	1kg	1.075	0.00108
국내무연탄	1kg	0.465	0.00047
수입무연탄	1kg	0.655	0.00066
코크스	1kg	0.705	0.00071

\*kgoe(kg of oil equivalent : 1kgoe = 10,000kcal = 4.187E5 JOULE

\*toe(ton of equivalent) : 연료발열량(kcal/107kcal)

○ 에너지종류별 탄소배출 기준표

구분	기준 단위	석유환산계수	탄소배출계수	CO <sub>2</sub> 배출량 (tCO <sub>2</sub> )
등유	1 ℓ	0.820	0.812	0.00244
경유	1 ℓ	0.842	0.837	0.00258
전기	1kWh	0.230	-	0.00047
B-C유	1 ℓ	0.936	0.875	0.003
천연가스(LNG)	1kg	1.178	0.637	0.00275
도시가스(LPG)	1Nm <sup>3</sup>	1.38	0.713	0.00361
원유	1kg	1.01	0.829	0.00307
국내무연탄	1kg	0.74	0.783	0.00212
수입무연탄	1kg	0.492	1.100	0.00198
코크스	1kg	0.7	1.210	0.00311

\*tc, tCO<sub>2</sub> : IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 개발 배출계수



## 에너지열량 환산기준(2011.12.30. 개정)

구분	에너지원	단위	총 발열량			순 발열량		
			MJ	kcal	석유환산톤 (10 <sup>3</sup> toe)	MJ	kcal	석유환산톤 (10 <sup>3</sup> toe)
석유	원유	kg	44.9	10,730	1.073	42.2	10,080	1.008
	휘발유	ℓ	32.6	7,780	0.778	30.3	7,230	0.723
	등유	ℓ	36.8	8,790	0.879	34.3	8,200	0.820
	경유	ℓ	37.7	9,010	0.901	35.3	8,420	0.840
	B-A유	ℓ	38.9	9,290	0.929	36.4	8,700	0.870
	B-B유	ℓ	40.5	9,670	0.967	38.0	9,080	0.908
	B-C유	ℓ	41.6	9,950	0.995	39.2	9,360	0.936
	프로판	kg	50.4	12,050	1.205	46.3	11,050	1.105
	부탄	kg	49.6	11,850	1.185	45.6	10,900	1.090
	나프타	ℓ	32.3	7,710	0.771	30.0	7,160	0.716
	용제	ℓ	33.3	7,950	0.795	31.0	7,410	0.741
	항공유	ℓ	36.5	8,730	0.873	34.1	8,140	0.814
	아스팔트	kg	41.5	9,910	0.991	39.2	9,360	0.936
	윤활유	ℓ	39.8	9,500	0.950	37.0	8,830	0.883
	석유코크스	kg	33.5	8,000	0.800	31.6	7,550	0.755
	부생연료유1호	ℓ	36.9	8,800	0.880	34.3	8,200	0.820
부생연료유2호	ℓ	40.0	9,550	0.955	37.9	9,050	0.905	
가스	천연가스(LNG)	kg	54.6	13,040	1.304	49.3	11,780	1.178
	도시가스(LNG)	Nm <sup>3</sup>	43.6	10,430	1.043	39.4	9,420	0.942
	도시가스(LPG)	Nm <sup>3</sup>	62.8	15,000	1.500	57.7	13,780	1.378
석탄	국내무연탄	kg	18.9	4,500	0.450	18.6	4,450	0.445
	수입무연탄(연료)	kg	21.0	5,020	0.502	20.6	4,920	0.492
	수입무연탄(원료)	kg	24.7	5,900	0.590	24.4	5,820	0.582
	유연탄(연료)	kg	25.8	6,160	0.616	24.7	5,890	0.589
	유연탄(원료)	kg	29.3	7,000	0.700	28.2	6,740	0.674
	아역청탄	kg	22.7	5,420	0.542	21.4	5,100	0.510
	코크스	kg	29.1	6,960	0.696	28.9	6,900	0.690
전기 등	전기(발전기준)	kWh	8.8	2,110	0.211	8.8	2,110	0.211
	전기(소비기준)	kWh	9.6	2,300	0.230	9.6	2,300	0.230
	신탄	kg	18.8	4,500	0.450	-	-	-

1. 총발열량이란 연료의 연소과정에서 발생하는 수증기의 잠열을 포함한 발열량을 말한다.
2. 순발열량이란 연료의 연소과정에서 발생하는 수증기의 잠열을 제외한 발열량을 말한다.
3. 석유환산톤(toe)이란 원유 1톤이 갖는 열량으로 107kcal를 말한다.
4. 석탄의 발열량은 인수식을 기준으로 한다.
5. 최종에너지 사용자가 사용하는 전기에너지를 열에너지로 환산할 경우에는 1kWh=850kcal를 적용한다.
6. 1cal=4.1868J, Nm<sup>3</sup>은 0°C 1기압 상태의 단위체적을 말한다.
7. 에너지원별 발열량(MJ)은 소수점 아래 둘째 자리에서 반올림한 값이며, 발열량(kcal)은 발열량(MJ)으로부터 환산한 후 1의 자리에서 반올림한 값이다. 두 단위 간 상충될 경우 발열량(MJ)이 우선한다.

## 에너지열량 환산기준(총발열량, 개정 전)

에너지원	단위	총 발열량		석유환산계수
		kcal	MJ환산	
원유	kg	10,750	45.0	1.075
휘발유	ℓ	8,000	33.5	0.800
실내등유	ℓ	8,800	36.8	0.880
보일러등유	ℓ	8,950	37.5	0.895
경유	ℓ	9,050	37.9	0.905
B-A유	ℓ	9,300	38.9	0.930
B-B유	ℓ	9,650	40.4	0.965
B-C유	ℓ	9,900	41.4	0.990
프로판	kg	12,050	50.4	1.205
부탄	kg	11,850	49.6	1.185
나프타	ℓ	8,050	33.7	0.805
용제	ℓ	7,950	33.3	0.795
항공유	ℓ	8,750	36.6	0.875
아스팔트	kg	9,900	41.4	0.990
윤활유	ℓ	9,250	38.7	0.825
석유코크스	kg	8,100	33.9	0.810
부생연료유1호	ℓ	8,850	37.0	0.885
부생연료유2호	ℓ	9,700	40.6	0.970
천연가스(LNG)	kg	13,000	54.5	1.300
도시가스(LNG)	Nm <sup>3</sup>	10,550	44.2	1.055
도시가스(LPG)	Nm <sup>3</sup>	15,000	62.8	1.500
국내무연탄	kg	4,650	19.5	0.465
수입무연탄	kg	6,550	27.4	0.655
유연탄(연료)	kg	6,200	26.0	0.620
유연탄(원료)	kg	7,000	29.3	0.700
아역청탄	kg	5,350	22.4	0.535
코크스	kg	7,050	29.5	0.705
전력	kWh	2,150	9.0	0.215
신탄	kg	4,500	18.8	0.450

1. 총발열량이란 연료의 연소과정에서 발생하는 수증기의 잠열을 포함한 발열량을 말한다.
2. 석유환산계수란 연료의 에너지원별 열량을 석유환산계수(TOE)로 환산하기 위한 계수이며 TOE(ton of equivalent)는 원유 1톤에 해당하는 열량으로 약 10<sup>7</sup>kcal를 말함. 즉 1kg=10,000kcal 임
3. 최종 에너지사용 기준으로 전력량을 환산하는 경우에는 1kWh=850kcal를 적용한다.
4. 에너지원별 실측결과는 50kcal에서 반올림한다.
5. 석탄의 발열량은 인수식 기준을 적용하여 측정한다.
6. 1cal= 4.1868J로 한다.
7. MJ= 10<sup>6</sup>J로 한다.
8. Nm<sup>3</sup>은 0°C 1기압 상태의 체적을 말한다.

## 에너지열량 환산기준[이산화탄소배출량 계산 시 순발열량 적용]

에너지원	단위	순 발열량		석유환산계수
		kcal	MJ환산	
원유	kg	10,100	42.3	1.010
휘발유	ℓ	7,400	31.0	0.740
실내등유	ℓ	8,200	34.3	0.820
보일러등유	ℓ	8,350	35.0	0.835
경유	ℓ	8,450	35.4	0.845
B-A유	ℓ	8,750	36.6	0.875
B-B유	ℓ	9,100	38.1	0.910
B-C유	ℓ	9,350	39.1	0.935
프로판	kg	11,050	46.3	1.105
부탄	kg	10,900	45.7	1.090
나프타	ℓ	7,450	31.2	0.745
용제	ℓ	7,350	30.8	0.735
항공유	ℓ	8,200	34.3	0.820
아스팔트	kg	8,350	39.1	0.835
윤활유	ℓ	8,650	36.2	0.865
석유코크스	kg	7,850	32.9	0.785
부생연료유1호	ℓ	8,350	35.0	0.835
부생연료유2호	ℓ	8,200	38.5	0.820
천연가스(LNG)	kg	11,750	49.2	1.175
도시가스(LNG)	Nm <sup>3</sup>	9,550	40.0	0.955
도시가스(LPG)	Nm <sup>3</sup>	13,800	57.8	1.380
국내무연탄	kg	4,600	19.3	0.460
수입무연탄	kg	6,400	26.8	0.640
유연탄(연료)	kg	5,950	24.9	0.595
유연탄(원료)	kg	6,750	28.3	0.675
아역청탄	kg	5,000	20.9	0.500
코크스	kg	7,000	29.3	0.700
전력	kWh	2,150	9.0	0.215
신탄	kg	-	-	-

1. 총발열량이란 연료의 연소과정에서 발생하는 수증기의 잠열을 포함한 발열량을 말한다.
2. 석유환산계수란 연료의 에너지원별 열량을 석유환산계수(TOE)로 환산하기 위한 계수이며 TOE(ton of equivalent)는 원유 1톤에 해당하는 열량으로 약 10<sup>7</sup>kcal를 말함. 즉 1kg= 10,000kcal 임
3. 최종 에너지사용 기준으로 전력량을 환산하는 경우에는 1kWh=850kcal를 적용한다.
4. 에너지원별 실측결과는 50kcal에서 반올림한다.
5. 석탄의 발열량은 인수식 기준을 적용하여 측정한다.
6. 1cal= 4.1868J로 한다.
7. MJ= 10<sup>6</sup>J로 한다.
8. Nm<sup>3</sup>은 0°C 1기압 상태의 체적을 말한다.

## 탄소배출계수(IPCC)

연료구분			탄소배출계수	
			kg C/GJ	Ton C/TOE
액체 화석연료	1차 연료	원유	20.00	0.829
		천연액화가스(NGL)	17.2	0.630
	2차 연료	휘발유	18.90	0.783
		항공가솔린	18.90	0.783
		등유	19.60	0.812
		항공유	19.50	0.808
		경유	20.20	0.837
		중유	21.10	0.875
		LPG	17.20	0.713
		납사	20.00	0.829
		아스팔트(Bitumen)	22.00	0.912
		윤활류	20.00	0.829
		Petroleum Coke	27.50	1.140
		Refinery Feedstock	20.00	0.829
고체화석연료	1차 연료	무연탄	26.80	1.100
		유연탄(원료)	25.80	1.059
		유연탄(연료)	25.80	1.059
		갈탄	27.60	1.132
		Peat	28.90	1.186
	2차 연료	BKB & Patent Fuel	25.80	1.059
		Coke	29.50	1.210
기체 화석연료		LNG	15.30	0.637
바이오메스	고체바이오메스		29.90	1.252
	액체바이오메스		20.00	0.837
	기체바이오메스		30.60	1.281

1. 전력의 이산화탄소배출계수 0.45171 tCO<sub>2</sub>/MWh(0.4525 tCO<sub>2</sub>eq/MWh) 사용 (전력거래소 2010년 발전단 기준)
2. 전력의 이산화탄소배출계수 0.47051 tCO<sub>2</sub>/MWh(0.4714 tCO<sub>2</sub>eq/MWh) 사용 (전력거래소 2010년 사용단 기준)
3. tCO<sub>2</sub>eq 이란? CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 배출량을 포함한 양

○ 농업용 면세유류 공급 현황 및 이산화탄소 배출량(2014)

구분	면세유 공급량 (k l)	이산화탄소 배출량 (tCO2)
휘발유	79,094	164,178.03
등유	187,163	456,942.24
경유	1,344,849	3,475,221.61
중유	30,449	91,340.66
운할유	341	896.60
LPG	2,794	10,065.53
계	1,644,690	4,107,304.01

※ 농업용 면세유류 공급실적

연도	휘발유 (k l)	등유 (k l)	경유 (k l)	중유 (k l)	운할류 (k l)	LPG (t)	계
1990	51,270	151,765	436,671	-	9,693	-	649,399
1995	128,567	274,792	1,015,658	43,194	6,516	-	1,468,727
2000	136,494	437,848	1,614,406	101,376	6,990	2,533	2,299,647
2007	124,562	334,494	1,933,271	78,679	6,070	1,036	2,478,112
2008	91,009	264,053	1,565,934	78,728	4,560	1,128	2,005,412
2010	70,212	215,363	1,561,529	73,004	462	2,767	1,923,337
2011	68,910	191,670	1,481,054	62,546	388	2,455	1,807,023
2012	72,152	197,080	1,444,244	44,793	371	2,629	1,761,269
2013	76,545	193,178	1,396,597	36,882	364	3,002	1,706,568
2014	79,094	187,163	1,344,849	30,449	341	2,794	1,644,690

### 첨부 3 연차별 현장평가 결과

## 농업에너지절감 실증연구 현장평가회 개최 결과(강원)

#### □ 행사 개요

- 목적 : 농업에너지절감 실증과제 추진사항 현장점검 및 보급확산
- 일시 : 2015. 3. 12.(목) 16:00~20:00
- 장소 : 강원도 속초시 노학동 김\*\* 농가 포장
- 참석 : 27명(사업단, 강원도원, 속초시센터, 춘천시센터, 농민 등)
- 내용 : 실증농가 패키지기술 투입 및 운영 현황 등

#### □ 평가회 결과

- 사업 추진배경 설명
  - 농업에너지절감사업단은 창조농업 촉진과제로 실증연구 형태로 추진
  - 기존 단위기술을 패키지형태로 묶어서 시너지효과를 도출코자 함
  - 실증효과를 분석하여 우수한 기술은 정책에 반영하여 확산시킴
- 지역 현안연계 방안
  - 평창 동계올림픽 선수촌 지정 식품 공급기지과 연계하여 추진
  - 다른 지역 특산품 생산과도 연계하여 사업이 추진되기를 희망함
- 현장 보고 및 평가 내용
  - 경사식 다점보온과 지중난방의 효과로 '14.11월부터 '15.1월까지 전기료를 61% 절감하는 것으로 나타남
  - 경유난방의 경우 '15. 2월까지 67% 절감됨
  - 목표온도관리로 1화방 수량이 전년대비 70% 정도 많았음
  - 지역 특성을 살려 중국, 동남아 여행객 대상으로 현장체험 실시
- 문제점
  - 통로에 반사필름을 설치한 경우 생육초기에는 작물 성장을 촉진시켰으나 수확기에 과실이 물러지는 경향이 나타남
  - 경사식 수막시설의 경우 생육초기에는 보온효과로 작물 성장을 촉진시켰으나 중기부터는 철분에 의한 오염으로 투광율이 떨어짐

#### □ 금후계획

- 패키지기술별 특성과 효과를 분석하여 효율적인 종합기술 개발
- 반사필름과 수막시설의 한계점을 분석하여 대안을 마련함
- 2차년도 신규사업 계획 수립 및 추진방안 마련

## □ 행사 개요

- 목적 : 농업에너지절감 실증과제 추진사항 현장점검 및 보급확산
- 일시 : 2015. 3. 18.(수) 11:00~15:00
- 장소 : 경기도 안성시 대덕면 명당리 262-2
- 참석 : 63명(사업단, 경기/충북/충남/도원, 안성시센터, 농민 등)
- 내용 : 실증농가 패키지기술 투입 및 운영 현황 등

## □ 평가회 결과

- 시험개요
  - 시험장소 : 경기도 안성시 대덕면 명당리 262-2
  - 시험작물 : 방울토마토(토양재배)
  - 시험시설 : 연동비닐하우스(2,600)
  - 시험처리 : 다겹보온 + 지중저수열장치(제습시설 겸용)
  - 기존처리 : 다겹보온 + 경유온풍난방
  - 재배개요 : 정식('14.10.4), 수확('15.1월~)
- 시험결과
  - 작물생육('15.3.13) : 시험구에서 마디수는 많았고, 마디길이가 짧았음
  - 시설환경('15.2.5-3.13) : 시험구에서 기온은 높았고, 습도는 낮았음
  - 난방비용('15.2.5-3.13) : 기존방식에 비하여 56.6% 절감됨  
\*시험구(3,810 kw/10a, 194,626원), 기존구(561L/10a, 448,740원)
  - 특이사항 : 일몰 후 다겹보온커튼이 닫히고 발생한 안개를 시스템에 부착한 제습시스템 가동으로 10분 이내에 제거함
- 질의응답 내용
  - 발열원리 : (시설내외에 있는 에너지를 머금은) 물의 증발 시 열 발생
  - 시설비 : 9,000만원/10a(농가보급형 기준)
  - 설치면적 축소 : 물탱크를 지중에 매설할 경우 반으로 줄일 수 있음
  - 보급방안 : 친환경 에너지 기술로서 정부 지원 제시(50% 보조)
  - 단지화할 경우 설치비용 : 공동 배관 이용으로 절감될 수 있음

## □ 금후계획

- 방울토마토 수확량 및 품질 조사
- 지중저수열시스템 효과 모니터링

## □ 행사 개요

- 목적 : 농업에너지절감 실증과제 추진사항 현장점검 및 보급확산
- 일시 : 2015. 4. 01.(수) 14:00~16:00
- 장소 : 전라남도 장성군 남면 덕성리 728
- 참석 : 50명(사업단, 원예원, 전남도원, 장성군센터, 농민 등)
- 내용 : 실증농가 패키지기술 투입 및 운영 현황 등

## □ 평가회 결과

- 시험개요
  - 시험장소 : 전라남도 장성군 남면 덕성리 728
  - 시험작물 : 토마토
  - 시험시설 : 단동 비닐하우스
  - 시험시기 : 2015년 1월 ~ 2015년 10월
  - 시험처리 : 포그냉방 + 국부난방
  - 기존처리 : 무냉방 + 경유난방
  - 조사내용 : 온실 온·습도, 일사량, 엽 수분, 토양온도, 생육 및 수량
- 시험결과
  - 시설환경 : 대비구보다 처리구에서 주간기온은 낮았고, 야간기온 및 주·야간습도는 높았음.
  - 토마토 생육

구분	경경(mm)	초장(cm)	엽장(cm)	엽폭(cm)	착화수(화)
처리	6.9	35.8	19.4	13.4	2.7
대비	6.7	35.8	20.0	13.6	2.8

## □ 기대효과

- 종합 패키지화 된 에너지 절감기술 조기 보급으로 난방 효율향상 및 난방비 25% 절감

## □ 금후계획

- 시설공사 완료후 생육조사 및 환경모니터링
- 2차년도 신규사업 계획 수립 및 추진방안 마련



## □ 행사 개요

- 목적 : 농업에너지절감 실증과제 추진사항 현장점검 및 보급확산
- 일시 : 2015. 4. 10.(금) 11:00~15:00
- 장소 : 충북 청주시 상당구 가덕면 노동두산길 61-16
- 참석 : 30명(사업단, 충북도원, 농업기술센터, 농민 등)
- 내용 : 실증농가 패키지기술 투입 및 운영 현황 등

## □ 평가회 결과

- 시험개요
  - 시험장소 : 충북 청주시 상당구 가덕면 노동두산길 61-16
  - 시험작물 : 딸기(설향)
  - 시험시설 : 단동 비닐하우스
  - 시험시기간 : 2014년 11월 ~ 2015년 5월
  - 시험처리 : 공기열히트펌프 등 4처리
  - 기존처리 : 경유난방 + 수막
  - 조사내용 : 온실 온·습도, 일사량, 생육 및 수량
- 시험결과
  - 공기열히트펌프와 반사필름+다겹보온+전열선 처리에서 평균기온과 최저기온, 지온이 높았고, 생육과 품질이 우수하였음
    - 청주 : 공기열히트펌프+보조난방
    - 진천 : 공기열히트펌프+보조난방=반사필름+전열선+다겹보온커튼
  - 대조구(경유난방+수막)에 비해 처리구에서 청주의 경우 35~60%, 진천의 경우 45~78% 정도 에너지가 절감되었음
  - 시험에 사용된 보온커튼의 경우 여름철에 차광과 차열이 가능해 냉방효과를 기대할 수 있고, 공기열히트펌프로 적극적인 냉방도 가능함  
(단, 공기열히트펌프의 가동시간을 줄여 내부모터를 보호하기 위해 보조 난방시설이 필요함)

## □ 금후계획

- 지속적인 실증농가 모니터링 및 현장 교육장 활용
- 패키지모델 확대(반사필름+전열선+다겹보온커튼, 공기열히트펌프+보조난방)

## □ 행사 개요

- 목적 : 농업에너지절감 실증과제 평가 및 에너지절감기술 교찰
- 기간 : 2015. 4. 15. ~ 4. 16
- 장소 : 시설원예연구소(경남 함안 소재) 등
- 참석 : 47명(정책기관, 사업단, 실증기관, 대학 등)
- 내용 : 농업에너지절감 실증과제 시험결과 발표 및 평가 등
  - 평가과제 : 유리온실 에너지절감 패키지기술 등 6과제
  - 평가내용 : 패키지기술 투입 현황, 에너지 절감 효과 및 작물 생육 등
  - 평가위원 : 위원장(김영철 원예작물부장), 위원(경북대 김진현 교수 등 9명)

## □ 평가 일정

행사 구분	일시	행사 내용	비고
실증과제 평가회	<b>4/15(수)</b>	<b>&lt;실증과제 수행 결과 보고 및 평가&gt;</b>	
	13:00~13:20	○ 참석자 등록	사무국(전희)
	13:20~13:30	○ 사업단장 인사, 소개 및 진행순서 안내	사무국(전희)
	13:30~14:00	○ 유리온실 에너지절감 패키지기술 개발	시설(전종길)
	14:00~14:30	○ 연동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 개발 I	경기(심상연)
	14:30~15:00	○ 연동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 개발 II	충남(김경제)
	15:00~15:10	○ 휴식 및 다과	-
	15:10~15:40	○ 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 개발 I	강원(김영진)
	15:40~16:10	○ 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 개발 II	충북(김주형)
	16:10~16:40	○ 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 개발 III	전남(니택상)
	16:40~17:40	○ 종합심사평	단장(김영철)
	17:40~17:50	○ 2015년도 사업추진일정 안내	사무국(전희)
18:00~18:30	○ 이동	사무국(전희)	
18:30~20:30	○ 석식 및 정보교환	시설(조일환)	
현장 워크숍	<b>4.16(목)</b>	<b>&lt;시설원에 연구 현장 방문 및 토론&gt;</b>	
	09:30~10:10	○ 지중저수열시스템 연구현장 방문 및 토론	시설(전종길)
	11:20~11:50	○ 시설원에 에너지절감 기술 현장 방문(하동 등)	시설(전종길)
	12:00~13:00	○ 중식(남해)	사무국(전희)
	13:00~	○ 해산	단장(김영철)

○ 실증과제 추진 현황, 문제점(지적사항) 및 개선방안

과제 【실증연구기관】	추진현황	문제점 및 지적사항	개선방안
유리온실 에너지 절감 패키지기술 【시설원예연구소】	·장소; 경남 함안 ·기간; '14.11-'15.6 ·기술; 지중저수열 등 ·작물; 파프리카 ·정식; '15.3월 ·수확; '15.6월~	·근권난방에 따른 작 물체 노화 우려 ·보온커튼 재질에 대 한 특성 명기 ·지중저수열장치 의 효과 및 경제성 의문	·수경배지에 적정 수 온유지하여 순환시킴 ·보온커튼 재질에 따 른 보온성 구멍 필요 ·난방용량 충분, 냉방은 부족, 경제성은 추후 분석
연동비닐 하우스 에너지절감 패키지기술(Ⅰ) 【충남도원】	·장소; 충남 천안 ·기간; '14.11-'15.8 ·기술; 저압식포그 등 ·작물; 토마토 ·정식; '15.2월 ·수확; '15.5월~	·시험시설 설치 지연 으로 난방효과분석 미흡 ·적산 환경요인 측정 값 제시 필요 ·2차년도 사업계획에 전문가 검토 요망	·1차년도에는 냉방효 과 분석, 2차년도에 난방효과 정밀분석 ·계측센서 고정설치 ·정책 및 기술 전문 가의 세부계획 심의
연동비닐 하우스 에너지절감 패키지기술(Ⅱ) 【경기도원】	·장소; 경기 안성 ·기간; '14.10-'15.6 ·기술; 지중저수열 등 ·작물; 방울토마토 ·정식; '11.9월 ·수확; '15.1월~	·온실 높이별 기온 편차가 너무 큼 ·지역특성상 흑한기 난방온도가 제한됨 ·온실내 습도가 낮게 관리되는 원인은?	·공기교반기 설치로 편차를 줄일 수 있음 ·에너지절감 효과가 큰 화훼 적용 검토 ·팬코일(4m 간격)에 의해 결로수가 제거됨
단동비닐 하우스 에너지절감 패키지기술(Ⅰ) 【충북도원】	·장소; 청주, 진천 ·기간; '14.11-'15.5 ·기술; 공기열히트 등 ·작물; 딸기 ·정식; '14.9월 ·수확; '14.11월	·농가별 작물생육이 차이가 나는 이유? ·2차 에너지인 전기는 주난방으로는 곤란함	·진천의 경우 모종 상태가 좋지 않아서 초기생육이 저조하였 으나 효과는 비슷함 ·패키지기술로 보조 난방으로 이용
단동비닐 하우스 에너지절감 패키지기술(Ⅱ) 【전남도원】	·장소; 담양,장성,영광,함평 ·기간; '14.11-'15.6 ·기술; 다겹보온 등 ·작물; 딸기, 토마토 ·정식; '14.9~1월 ·수확; '14.11월~	·수막시설 지연 원인 및 대책은? ·시험결과에 측정(조 사) 일시 표시 요망 ·냉방처리 시 습도가 높을 경우 대책은?	·딸기 수확기라 설치 가 곤란하여 지연됨 (2년차에 정밀조사) ·서면자료에 조사일 을 표기할 것 ·2년차에 제습기 설치
단동비닐 하우스 에너지절감 패키지기술(Ⅲ) 【강원도원】	·장소; 강원 속초(3) ·기간; '14.11-'15.6 ·기술; 다겹보온 등 ·작물; 딸기 ·정식; '14.9월 ·수확; '14.11월~	·농가별 생육차이 이유 ·수막시설 적용성 ·2차년 계획	·지역여건으로 일사, 기온 차이로 생육차 이를 보였음 ·속초지역은 수자원, 수질이 불량함 ·삼척(딸기), 춘천(토 마토) 등 사업 확대

# 농업에너지절감사업 실증연구 현장평가회 개최 결과(경북)

일시 : 2016. 2. 23.(화)

보고자

채소과 농업연구관 전희

## □ 행사 개요

- 목적 : 딸기 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 효과 검증 및 확산
- 일시 : 2016. 2. 23.(화) 10:40~15:00
- 장소 : 경북 고령군 대가야읍 대가야로 1482
- 참석 : 원예원, 경북/충북/경남도(원), 고령센터, 작목반, 농산업체 등 65명
- 주관 : 경북농업기술원, 고령군농업기술센터, 농업에너지절감사업단

## □ 주요 평가 결과

### ○ 실증농가 현황

- 생산시설 : 단동비닐하우스(10개동), 3,500㎡
- 재배작물 : 딸기(장희), 고설수경재배, 정식('15.9.1)
- 출하방법 : 농협판매 2.5억원, 현장체험 2.5억원(6차산업 농가)

### ○ 패키지기술 설치 현황

- 보온 : 알루미늄스크린+부직포40g+부직포40g+마트(300×300)
- 난방 : 국부난방(지제부 20w/m 전열선 설치)
- 외피 : 1중(PO계 필름 0.15mm), 2중(0.06PE→0.08PO)
- ※대조구 : 수막보온(수온 13°C)+온수난방(경질PE관)

### ○ 에너지절감 및 환경개선 효과

- 에너지 절감율 : 27.8%('15.12.1~'16.2.15)
- 야간기온 상승 : 측면 1.9°C, 중앙 1.8°C
- 광합성 유효광 : PE 대비 27.8% 높음('16.2.15 12:00)
- ※설정온도(야간)가 같아 수량 및 품질 차이는 없었음

### ○ 실증농가 소감 및 자체 평가내용

- 전년도 수막재배에 비하여 확실히 에너지가 절감되고 있음
- 기온 및 습도 등 환경개선으로 잿빛곰팡이 발생이 적었음
- 측면에 다겹보온장치를 설치·운영하여 냉해를 받지 않았음

## □ 성주과채류시험장 방문 및 협의 결과

- PO계 필름 2중 설치효과 분석을 위한 모델 고도화 방안 협의
- 딸기 및 참외 등 연구현장 견학 및 현지 농가 문제점 토론
- 사업단 일본 방문 시 에너지절감 효과 세미나 추진 협의('16.3월말)

# 농업에너지절감사업 실증연구 현장평가회 개최 결과(경남)

일시 : 2016. 2. 25.(목)

보고자

채소과 농업연구관 전희

## □ 행사 개요

- 목적 : 풋고추 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 효과 검증 및 확산
- 일시 : 2016. 2. 25.(목) 10:40~15:00
- 장소 : 경남 진주시 문산읍 이곡리 1290-2
- 참석 : 원예원, 경남/경북/경기/충남도원, 진주센터, 작목반, 농산업체 등 40명
- 주관 : 경남농업기술원, 진주농업기술센터, 농업에너지절감사업단

## □ 주요 평가 결과

### ○ 실증농가 주소 및 시설면적

농가명	정식	시설면적	패키지기술(설치일)	에너지절감 및 생산성 비교
이장만	녹광 (9.16)	3,200㎡	수평/수직 스크린(10.21), 공기유동장치(10.23), 스텐레스방열관(11.9)	-비용절감 39.7% -수량 차이없음
성병기	청양 (8.24)	5,000㎡	수평 스크린(10.12), 공기유동장치(10.20), 알루미늄공기덕트/벽(10.23)	-비용절감 35.6% -수량 차이없음
구교영	롱그린 (10.9)	3,000㎡	수평/수직 스크린(10.17), 공기유동장치(10.19), 나노합금열선(10.16)	-비용절감 12.8% -수량증대 8.2%

- 조사기간 : 2015.11.14. ~ 2016.2.3.

### ○ 주요 현장 토론내용

- 대형단동시설의 지붕이 낮아 수평스크린 설치 농가가 제한될 수 있음
- 공기유동팬은 기온 교반 및 습도 제거에 효과가 뛰어남
- 알루미늄공기덕트는 ICT 이용하여 시설환경에 따라 조절이 가능함
- 스텐레스방열관은 설치비용은 많으나 방열량, 내구성이 우수함
- 나노합금열선의 소재 및 원적외선 특성 구명이 필요함

## □ 기타사항

- 경남 첨단교육센터(ATEC) 방문 및 에너지절감 기술 견학

# 농업에너지절감사업 실증연구 현장평가회 개최 결과(전남)

일시 : 2016. 2. 29.(월)

보고자

채소과 농업연구관 전희

## □ 행사 개요

- 목적 : 딸기 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 효과 검증 및 확산
- 일시 : 2016. 2. 26.(금) 10:40~14:00
- 장소 : 전남 장성군 진원면 용산리 413-9
- 참석 : 원예원, 전남/경남도원, 장성센터, 작목반, 농산업체 등 49명  
(사업단 : 전희, 이철희, 박성옥, 송미혜, 금보라)
- 주관 : 전남농업기술원, 장성농업기술센터, 농업에너지절감사업단

## □ 농가 현황 및 평가 결과

### ○ 실증농가 현황

- 생산시설 : 단동비닐하우스(4개동), 2,520㎡
- 재배작물 : 딸기(설향), 고설수경재배, 정식('15.9.2)
- 출하방법 : 광주 등 대도시 도매시장 및 농협계통 출하

### ○ 패키지기술 설치 현황

- 보온 : 상부 개방형 다겹보온(마트지 2매, 폴리폼 2매, )
- 난방 : 축열식 공기열교환기(20RT, 30톤)
- 외피 : 1중(PE 필름 0.1mm), 2중(PE 0.06mm)
- ※대구조 : 수막보온(수온 13°C)+등유 온풍난방

### ○ 에너지절감 및 환경개선 효과

- 에너지 절감율 : 81%('16.1.25~'16.2.23)
- 습도조절 효과 : 엽수분 함량이 2배 정도 낮아 병해발생 적음
- 광투과율 향상 : 12% 높음('16.2.23 12:00)

※기온 및 배지 내 지온은 같고 수량 및 품질 차이는 없었음

### ○ 실증농가 소감 및 자체 평가내용

- 결로억제로 잿빛곰팡이 발생이 눈에 띄게 적었음
- 측면 다겹보온 강화로 시설 내 양방향 기온상승이 이루어짐
- 여름철 기온상승 억제 효과 및 조기 정식 기대함
- 초기수량 증대로 농가소득 향상(11월 초 3만원/kg 출하)

## □ 금후계획

- 열교환기 활용으로 고온기 냉방효과 및 정식기 단축 검토

# 『유리온실 냉난방 패키지 기술』 현장평가회 결과보고

일 시 : '16. 3. 4(금)

보고자

시설원예연구소 전종길

## □ 개 요

- 일 시 : 2016. 03. 03(목) 14:00~17:30
- 장 소 : 국립원예특작과학원 시설원예연구소(함안)
- 참 석 자 : 농업에너지절감사업단 김영철 단장, 농업기술센터, 업체농업인, 도원 실증연구 책임자 등 40여명

## □ 행사내용

- 온실 냉난방 패키지 기술 소개
  - 냉난방 패키지의 구성, 특징, 작물재배 효과, 난방비 절감 등
- 냉난방 패키지 현장 설명 및 연시
  - 휴대폰에 의한 온실 환경 모니터링 및 난방시스템 원격제어 연시
  - 첨단 하이브리드 냉난방시스템 기능 설명, 태양열 축열 등 연시

## □ 현장 요구사항

- 시설원예용 뿐만 아니라 축사, 버섯재배사 등 개발 확대 보급 필요
- 기존 지열시스템보다 저렴하지만 설치비를 30% 정도 줄이는 것이 좋음
- 기존 지열시스템과 호환성 기능 구비, 정책지원에 의한 조기 보급

## □ 설문조사결과(설문지 참석자 20명)

- 냉난방 패키지 기술 실용성 : 매우 우수 70%, 우수 30%, 필요성 95%
- 사용 편리성 : 우수 95%, 보통 5%, 보급 가능성 : 높음 80%, 보통 20%
- 정부지원 관계없이 구입 20%, 정부 지원 시 80%

## □ 주요 언론보도 : 파이낸셜뉴스, 이투데이 등 5건('15년 3월 3일자)

## □ 금후계획

- 조기 보급을 위한 정책부서 및 관련 기관과의 협의
- 농식품부 에너지이용효율화사업으로 설치 지원되고 있는 지중열 냉·난방시스템과 연계하여 확대 보급을 위한 농식품부와 협의 계획

# 『연동하우스 에너지절감기술 실증농가』 현장평가회 결과보고

일 시 : '16. 3. 10.(목)

보고자

채소과 농업연구관 전희

## □ 개 요

- 일 시 : 2016. 03. 08.(화) 14:00~18:00
- 장 소 : 경기 파주시 적성면 담안길 38-8
- 참 석 자 : 농업에너지절감사업단, 경기도원 실증연구 책임자,  
파주시 농업기술센터, 관련업체, 농업인 등 40여명

## □ 재배개요

### ○ 현장실증 내용

- 다겹보온커튼+지중저수열시스템 설치 효과
- 대조구 : 다겹보온커튼+병커C 온수난방

### ○ 재배개요

정식일	작목(품종)	재배방식	비고
'15.11.02.	국화(그린드림 등)	토경재배	재배면적 10a

- 재배시설 : 1-2W형 3연동 비닐하우스
- 지중저수열시스템 : 착공('15.10.12.), 완공 및 시운전('15.11.06.)

## □ 시험성적

- 국화생육 : 양호한 생육 중이며, 지중저수열시스템 처리에서 생육이 좋았음
- 에너지 비용 67% 절감(조사기간 : '15.10.1.~'16.2.3.)

난방처리	전기소모량	기름소모량	환산금액	비고
다겹보온커튼+ 지중저수열시스템	13,737 (kw/10a)	1,000 (L/10a)	1,234,470원	농사용 39.2원 기본요금 : 70kw*1,150원 면세등유 650/L
다겹보온커튼+ 병커C 온수난방	1,006 (kw/10a)	8,600 (L/10a)	3,740,883원	병커C유 430/L
절감액			2,506,413원	<b>67%절감</b>

## □ 농가반응 및 금후계획

- 하우스 잉여열 재활용하고 제습효과가 높아 국화재배에 만족함
- 시범사업 대상농가 생육관리 지도 및 현장 교육장으로 활용



# 『연동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술』 현장평가 결과

일 시 : '16. 3. 10(목)

보고자

채소과 농업연구관 전희

## □ 개 요

- 목 적 : 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 확립 및 확산
- 일 시 : 2016. 03. 09(수) 14:00~16:00
- 장 소 : 전북 남원시 신정동 431-3
- 참석자 : 농업에너지절감사업단, 전북농업기술원, 남원농업기술센터, 산업체, 딸기 작목반 등 31명

## □ 행사내용

- 연동 비닐하우스 난방 패키지 기술(다겹보온+복합난방)
  - 예인식 다겹보온커튼 설치(12.17) : 2중(마트지 3매 + 폴리폼 2매)
  - 복합난방기 설치(12.22) : 등유 난방 + 제습 + CO<sub>2</sub> 공급
  - 딸기재배 : 품종(설향), 정식(9.10), 수확(11.20~), 3화방 수확 중)
- 에너지절감 및 딸기 생산성 향상 효과
  - 대조구(등유난방+1중 부직포 보온) 보다 30% 에너지비용 절감
  - 제습효과로 습도와 광 환경이 개선되어 딸기 수량 5% 증가

## □ 현장 요구사항

- 보온력이 개선된 다겹보온시스템 농가 보조 확대(농식품부 정책건의 사항)
- 다겹보온재의 내구성을 강화시킬 수 있도록 기술 개선(자외선안정제 사용 등)
- 복합난방기에 일사량에 따른 4단 변온제어기 설치 요구(산업체 지원 약속)
- 단동 비닐하우스 딸기 난방에 필요한 온수난방 필요(경남 실증연구 중)
- 조조가온 기술 필요(제습 및 결로수 제거를 위해 일출 후 20~30분 가온)
- 기타 딸기 여름철 준고냉지 육묘 필요성 제기(조합 공동사업으로 추진)

## □ 금후계획

- 복합난방기 변온관리시스템 설치 보완(3월 중순)
- 딸기 수량 및 에너지절감 효과 구명(5월 하순)

# 『단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술』 현장평가 결과

일 시 : '16. 3. 17(목)

보고자

채소과 농업연구관 전희

## □ 개 요

- 목 적 : 단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 확립 및 확산
- 일 시 : 2016. 03. 17(목) 10:40~14:00
- 장 소 : 경북 성주군 월항면 월항로 322-83
- 참석자 : 농업에너지절감사업단, 경북농업기술원, 성주군, 참외작목반, 경북마이스터농업대학 등 77명

## □ 행사내용

- 참외 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지 기술
    - 패키지 : PO계 필름(0.15mm)+기능성보온덮개(알루미늄)+연결하우스
    - PO계 필름 : 0.15mm Polyolefin film(Santera, Japan)
    - 기능성보온덮개: 백색부직포+화학솜+알루미늄코팅부직포+흑색부직포
    - 연결하우스 : 남쪽 단동형 하우스 10동 연결(작물 재배 공간)
    - 참외재배 : 품종(참사랑꿀참외/에이스트좌), 정식(12.14)
  - 에너지절감 및 참외 생산성 향상 효과
    - 시설환경 개선으로 인한 야간 지온 1.0~2.2℃ 상승
    - 개화율 50%p 증가, 수확소요일수 7일 단축, 초기 수확량 68%증가
- \*참외 줄기가 2일간 10cm 정도 신장하도록 광, 온도, 수분을 조절(박진순 명장)

## □ 농가반응 및 현장 요구사항

- 온도에 따라 투명도가 변하는 변온필름 시설의 광환경이 생각보다 좋음
- 알루미늄코팅 다겹보온재의 효과 우수하여 보온재의 두께 축소 기대됨
- 단동연결형 에너지절감기술 모델을 성주군 자체 사업에 반영 요구

## □ 금후계획

- 패키지기술 투입 하우스 하계 참외 생육, 수량 및 품질 분석
- 3년차 계획 수립 및 확대방안 마련(정책지원 건의 등)

# 『강원지역 에너지절감 패키지 기술』 현장평가 결과

일 시 : '16. 4. 1(금)

보고자

채소과 농업연구관 전희

## □ 개 요

- 목 적 : 단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 확립 및 확산
- 일 시 : 2016. 4. 1(금) 11:00~14:00
- 장 소 : 강원 인제군 원대리 우정영농조합법인
- 참석자 : 농업에너지절감사업단, 강원농업기술원, 인제군, 삼척군, 동해시, 토마토작목반 등 27명

## □ 행사 내용

- 토마토 에너지절감 패키지 기술
  - 시험시설 : 양지봉온실(PO필름 피복) 1000㎡, 양액재배(암면배지)
  - 패키지 : 알루미늄스크린+나노램프방열관+측면다겹보온+근권난방

### ○ 에너지절감 및 참외 생산성 향상 효과

- 에너지절감 효과 : 80.7% 난방비용 절감

(광이 부족하고 혹한기 -30℃까지 내려가는 지역이나 보온을 강화하여 난방비를 절감하였음)

- 나노방열관의 야간습도방지로 곰팡이병 발생 억제

## □ 시험 농가반응 및 당부사항

- 인제에서 알루미늄스크린, 근권난방, 측면다겹보온으로 기존 온풍난방기 사용을 하지 않아 에너지 비용을 크게 절감할 수 있었음(토마토)
- 동해지역에서 야간온도관리가 어려워 생리장애로 작황이 부진하였으나, 다겹보온으로 생산성이 향상되었고 직거래로 고소득을 얻음(딸기)
- 에너지절감을 기반으로 지역 여건과 환경을 고려하여 채소 자급 달성을 하고, 생산성 향상으로 소득을 제고하기 바람

## □ 금후계획

- 2018 동계올림픽에 고품질 식자재 공급 기지로 활용(지자체 지원)

# 『연동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술』 현장평가 결과

일 시 : '16. 4. 13(수)

보고자

채소과 농업연구관 전희

## □ 개 요

- 목 적 : 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 확립 및 확산
- 일 시 : 2016. 4. 12(화) 14:00~16:00
- 장 소 : 충남 부여군 양화면 수원리 350-5
- 참석자 : 농기평, 농업에너지절감사업단, 충남농업기술원, 부여군, 서천군, 토마토작목반 등 26명

## □ 행사 내용

- 토마토 연동 비닐하우스 에너지절감 패키지 기술
  - 시험시설 : 연동 3,325㎡, 양액재배(펄라이트배지)
  - 패키지 : 알루미늄스크린+국부냉난방+(대조, 온풍난방+근권난방+보온커튼)
  - 재배개요 : 품종(유니콘), 정식(1.31), 야간온도(14℃ 유지)
- 에너지절감 및 참외 생산성 향상 효과
  - 에너지절감 효과(2.15~3.15) : 29% 에너지 비용 절감
  - 토마토 일일 성장량 비교(정식후 30일간) : 19% 증가

## □ 농가반응 및 현장 요구사항

- 알루미늄 스크린과 근권난방으로 기존 온풍난방기 사용을 거의 사용하지 않을 정도로 에너지 비용을 절감할 수 있었음
- 축열식 온냉수 장치와 저압식 포그 냉방시설을 이용한 여름철 냉방효과를 구명하여 고온기 생산성을 향상시키고자 함
- 시험시설 설치로 흑한기 시험성적을 얻기 위해 3년차 고도화 시험을 수행하여 신뢰성 있는 결과가 도출되기를 바램

## □ 금후계획

- 세무냉방기술 투입으로 하우스 하계 토마토 생육, 수량 및 품질 분석

# 『단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술』 현장평가 결과

일 시 : '16. 4. 27(수)

보고자

채소과 농업연구관 전희

## □ 개 요

- 목 적 : 단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 확립 및 확산
- 일 시 : 2016. 04. 27(수) 11:00~14:00
- 장 소 : 충북 괴산군 불정면 신흥1길 토마토공동작업장 및 농가
- 참석자 : 원예원, 충북도원, 괴산군, 작목반, 농산업체 등 48명

## □ 행사내용

- 토마토 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지 기술
  - 패키지 기술 : 공기열히트펌프+국부난방+다접보온
  - 공기열히트펌프 : 공기 대 물 방식, 축열조(10RT), 유류난방(보조)
  - 국부난방 : 실리콘 코팅 전열선(측면설치)
  - 다접보온 : 부직포 및 화학솜 등 5겹, 권취방식
  - 토마토 정식 : 방울토마토(미니찰, 1.4/1.13), 토마토(호용, 12.24)
- 에너지절감 및 참외 생산성 향상 효과(음성 소이, 괴산 불정)
  - 에너지효율 증대로 난방비 41.7~50.2% 절감
  - 토마토 생육 촉진으로 초기 수량 8~9% 증대

## □ 농가반응 및 현장 요구사항

- 에너지효율이 높고 생육차이가 있어 정부보조율을 높여주기 바람(신중섭)
- 외기온 -9℃까지 보조난방(유류) 가동이 없었고 -20℃까지 안정(곽호섭)
- 설치 후 관리가 용이하고 시설환경이 안정적이어서 조기재배 가능(지경수)
- 에너지절감 효과가 클 것으로 예상되는 화훼분야에 확대 바람(요구사항)

## □ 기타사항(화훼분야 확대 검토)

- 탄소발열체 이용 에너지절감 기술 적용 사례 확인(음성 화훼농가)
  - 설치가 용이하고 비용이 저렴하며 열효율이 높음(내구성 검토 필요)
- 실증연구 반영 및 에너지절감 효과 구명 검토(세부협의 필요)

# 2017 농업에너지절감 실증연구 현장평가회 개최 결과

## □ 개요

- 목적 : 농업에너지절감 패키지기술 실증연구 평가 및 확산 기반 조성
- 기간 : 2017. 2. 15. ~ 2017. 4. 4. (9회)
- 장소 : 실증연구과제 실시 농가 포장 등(남원 등 9개소)
- 참석 : 농식품부, 사업단, 실증연구기관 및 시설원에 농가 등 510명
- 주최 : 국립원예특작과학원 농업에너지절감사업단, 8개 농업기술원

## □ 추진 일정

실증기관	(지역)	작물 (품종)	패키지기술	인원	일시
전북도원	(남원)	딸기 (설향)	○2중다겹보온+열회수환기장치	77	2.15(수) 10:30~14:30(4)
	(임실)	토마토 (339)	○2중다겹보온+열회수환기장치	45	3.22(수) 10:30~14:30(4)
전남도원	(장성)	딸기 (설향)	○상부개방다겹보온+공기열히트펌프	84	2.22(수) 10:30~14:30(4)
경기도원	(파주)	국화	○지중저수열(보조물탱크)+다겹보온	54	3.29(수) 10:30~14:30(4)
충북도원	(청주)	딸기 (설향)	○공기열히트펌프+다겹보온+덕트개선	55	3.30(목) 11:00~14:00(3)
충남도원	(부여)	토마토	○국부냉난방장치+AL스크린+다겹보온	26	3.28(화) 14:00~16:00(2)
강원도원	(삼척)	딸기 (설향)	○다겹보온+근권난방+수막+열회수장치	48	4.4(화) 11:00~14:00(3)
경북도원	(성주)	참외 (참다복)	○기능성보온재+연결동+탄산시바+유동팬	76	3.28(화) 14:00~16:00(2)
경남도원	(진주)	풋고추 (청양)	○공기유동장치+다겹보온+덕트개선	45	3.28(화) 14:00~16:00(2)
계				510	28시간

## □ 주요결과

- 에너지절감 및 생산성 향상 효과 확인
  - 에너지 비용 절감 : 지중열교환패키지(77~82%), 기타(11~45%)
  - 수량 증대 : 참외(45%), 토마토(33%), 딸기(4~35%), 풋고추(10%)
  - 농가 반응 : 에너지절감 효과는 좋으나, 초기 투자비가 많아 정부 지원 필요
- 홍보 성과 : 37건(계속 모니터링 중)
  - 중앙지 2건, 지방지 25건, 전문지 7건, 블로그 3건

## □ 금후계획 : 경제성 분석 및 정책건의(5건)

# 『연동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술』 현장평가 결과

일 시 : '17. 2. 15.(수)

보고자

채소과 농업연구관 전희

## □ 개 요

- 목 적 : 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 평가 및 확산
- 일 시 : 2017. 2. 15.(수) 11:00~14:00
- 장 소 : 전북 남원시 신정동 431-3
- 참석자 : 농업과학원, 원예특작과학원, 전북/경북/경남농업기술원, 남원농업기술센터, 산업체, 딸기 작목반 등 51명

## □ 행사내용

- 연동 비닐하우스 난방 패키지 기술 평가
  - 패키지기술 구성 : 2중 다겹보온시설 + 열회수형환기장치
  - 가온병행 열회수환기장치 설치(12.17) : 2대
  - 실시간 환경계측장치 설치(12.22) : 온습도 계측 및 실시간 모니터링
  - 딸기재배 : 품종(설향), 정식(9.6), 수확(11.15 ~, 3화방 수확 중)
- 에너지절감 및 딸기 생산성 향상 효과(2년차 종합성적)
  - 대조구(등유난방+1중 부직포 보온) 보다 30% 에너지비용 절감
  - 제습효과로 습도와 광 환경이 개선되어 딸기 수량 5% 증가

## □ 평가결과 및 현장 요구사항

- 2중 다겹보온커튼의 보온력은 1중 보다 30% 정도 절감되었음
- 다겹보온재의 내구성을 강화시킬 수 있도록 폴리폼을 제외시킴
- 복합난방기에 일사량에 따른 4단 변온제어기 설치로 경비 절감
- 열수회수형장치의 제습효과가 탁월하여 병 발생이 감소함
- 시설내 잉여 에너지를 이용하기 위해 축열물질 활용 제의

## □ 금후계획

- 딸기 수량 및 에너지절감 효과 구명(5월 하순)
- 종합평가 심의자료 및 정책건의 자료 제출(6월)

# 『연동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술』 현장평가 결과

일 시 : '17. 3. 22.(수)

보고자

채소과 농업연구관 전희

## □ 개 요

- 목 적 : 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 평가 및 확산
- 일 시 : 2017. 3. 22.(수) 15:00~16:30
- 장 소 : 전북 임실군 청웅면 1245
- 참석자 : 원예특작과학원, 전북/경남/충남농업기술원, 임실농업기술센터, 토마토 작목반 등 38명

## □ 행사내용

- 연동 비닐하우스 난방 패키지 기술 평가
  - 패키지기술 : 다겹보온시설+열회수형환기장치+AL스크린+PO필름
  - 가온병행 열회수환기장치 설치('16.12.18) : 2대
  - 실시간 환경계측장치 설치('16.12.23) : 온습도 계측 및 실시간 모니터링
  - 토마토재배 : 품종(339), 정식('17.1.22), 수확('17.2.15 ~, 2화방 수확 중)
- 에너지절감 및 딸기 생산성 향상 효과
  - 대조구(등유난방+1중 부직포 보온) 보다 40% 에너지비용 절감
  - 제습효과로 습도와 광 환경이 개선되어 토마토 수량 15% 증가

## □ 평가결과 및 현장 지도내용

- 열수회수형장치의 제습효과가 탁월하여 곰팡이병 발생이 감소함
- 복합난방기에 일사량에 따른 4단 변온제어기 설치로 경비 절감
- 연동하우스 지붕이 낮아 다단재배 한계를 극복하기 위해 하부 토마토 착과를 받치는 받침대 설치할 것(7단 ~ 9단 재배 가능)
- 최상부 화방 위로 2~3매 정도 엽수 확보하면 수량 15% 증대
- 농가 기술보급 확산을 위해 행정정보조사업 확대 실시 요구

## □ 금후계획

- 토마토 수량 및 에너지절감 효과 구명(5월 하순)



# 『ICT 이용 딸기 에너지절감 패키지 기술』 현장평가회 개최 결과

일 시 : '17. 2. 23.(목)

보고자

채소과 농업연구관 전희

## □ 개 요

- 목 적 : 딸기 단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 평가 및 확산
- 일 시 : 2017. 2. 22.(수) 10:00~14:10
- 장 소 : 전남 장성군 진원면 용산리 413-9
- 참 석 : 원예특작과학원, 전남/전북/강원/경기/경북농업기술원, 장성농업기술센터, 산업체, 딸기 작목반 등 64명

## □ 실증모델 평가회 내용 및 결과

- ICT 이용 딸기 단동 비닐하우스 난방 패키지 기술 설치 내용
  - 패키지기술 : 상부개폐식 다겹보온시설 + 공기열교환장치
  - ICT 이용기술 : 복합환경제어장치(실시간 모니터링 및 제어)
  - 딸기재배 : 품종(설향), 정식(9.6), 수확(11.15 ~, 3화방 수확 중)
- 에너지절감 및 딸기 생산성 향상 효과
  - 인근 선진농가(등유난방+다겹보온시설) 보다 22.4% 에너지비용 절감
  - 대조구(등유난방+수막시설) 보다 82.0% 에너지비용 절감
  - 투광성 개선과 균일한 온도제어로 딸기 수량 11.1% 증가
  - 권취형 보온커튼 대비 채광성 16.1% 증가(655/563 MJ/m<sup>2</sup>)
  - 일평균 노동력 24% 절감(77/101 분/10a)
- ICT 지원센터 운영 현황(전남농업기술원)
  - 스마트팜과 연계하여 전남농업기술원과 농가를 연계한 복합환경제어 시스템 설치로 시설환경을 실시간으로 제어하여 에너지를 절감하고 있음

## □ 금후계획

- ICT 이용 환경제어시설 특성 및 에너지절감 효과 설명(3월, 농식품부)
- 딸기 생육, 수량 및 시설환경 성적 도출(5월)
- 실증모델 종합성적 제출 및 정책자료 수정보완(6월)

# 『단동하우스 에너지절감 패키지 기술』 현장평가회 개최 결과

일 시 : '17. 3. 30.(목)

보고자

채소과 농업연구관 전희

## □ 개 요

- 목 적 : 딸기 단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 평가 및 확산
- 일 시 : 2017. 3. 30.(목) 11:00~14:00
- 장 소 : 충북 청주시 상당구 가덕면 노동리 39
- 참 석 : 원예특작과학원, 충북농업기술원, 청주시농업기술센터, 산업체, 딸기 작목반 등 50명

## □ 실증모델 평가회 내용 및 결과

- 에너지절감 패키지 기술 투입 내역
  - 패키지 : 공기열히트펌프+측면알루미늄덕트+다점보온커튼
  - 대조구 : 온풍난방+수막재배
  - 시설구조 : 단동형비닐하우스(폭 7m, 측고 2m, 길이 90m)
  - 재배형태 : 딸기(고설재배), 토마토(토양재배)
- 에너지절감 및 생산성 향상 효과
  - 에너지 비용 절감 : 딸기(40.1%), 토마토(48.5%)
  - 수량 증가 : 딸기(5%), 토마토(4%)
- 시설환경 및 생육 특성
  - 평균습도 : 청주(76.3~82.0%), 음성(77.6~79.2%)
  - 평균온도 : 청주(10.8~14.0℃), 음성(12.0℃ 16.7℃)
  - 패키지구에서 딸기는 초장이 크고, 토마토는 엽수가 많아 촉진되었음
- 농가반응 : 시설환경이 제어되어 병해발생이 적고 생육이 촉진됨

## □ 금후계획

- 충북지역 딸기 토마토 에너지절감 패키지 기술 확산보급

# 『토마토 에너지절감 패키지 기술』 현장평가회 개최 결과

일 시 : '17. 3. 28.(화)

보고자

채소과 농업연구관 전희

## 개요

- 목 적 : 토마토 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 평가 및 확산
- 일 시 : 2017. 3. 28.(화) 14:00~15:20
- 장 소 : 충남 부여군 양화면 수원리
- 참 석 : 원예특작과학원, 충남농업기술원, 부여군농업기술센터, 산업체, 충남토마토연구회 등 31명

## 실증모델 평가회 내용 및 결과

- 에너지절감 패키지 기술 투입 내역
  - 패키지 : 온풍난방+천창다겹보온커튼+알루미늄커튼+국부냉난방
  - 대조구 : 온풍난방+천창다겹보온커튼(2중)+근권냉난방
  - 시설구조 : 연동형비닐하우스(폭 7m, 측고 3m, 길이 95m, 4연동)
- 에너지절감 및 생산성 향상 효과
  - 대조구에 비하여 에너지 비용이 49.5% 절감됨('16.11.13~'17.3.12)
  - 토마토 수량 : 패키지(4,094 kg/10a), 대조구(3,871 kg/10a)
- 경제성 분석 결과(부분시산법, 10a)
  - 손실비용 : 1,610,000원(농기자재 연간 비용)
  - 이익증가 : 2,268,269원(에너지 절감 및 수량 증가분)
  - 추정수익 : 658,269원

## 금후계획

- 충남지역 토마토 수경재배 면적 확대와 난방유 사용 증가에 따른 에너지절감 패키지 기술 확산보급

# 『참외 단동 에너지절감 패키지 기술』 현장평가회 개최 결과

일 시 : '17. 3. 31.(금)

보고자

채소과 농업연구관 전희

## □ 개 요

- 목 적 : 참외 단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 평가 및 확산
- 일 시 : 2017. 3. 31.(금) 11:00~14:20
- 장 소 : 경북 성주군 월항면 월항로 322-83
- 참 석 : 원예특작과학원, 경북농업기술원, 성주군농업기술센터, 산업체, 경북참외사업단 등 76명

## □ 실증모델 평가회 내용 및 결과

- 에너지절감 패키지 기술 투입 내역
  - 패키지 : 기능성보온덮개+연결하우스+탄산가스발생제+공기순환팬
  - 대조구 : 다겹보온덮개
  - 시설구조 : 단동형비닐하우스(폭 6m, 측고 1.8m, 길이 90m)
  - 재배형태 : 토양재배
- 시설환경 개선 및 생산성 향상 효과
  - 기능성보온덮개 단열 효과 : 2.3℃ 높았음
  - 연결하우스 효과 : 낮 동안 열을 가두어 두고, 작업성이 뛰어나
  - 탄산가스발생제 : 광합성을 10.9%p 증가
  - 공기순환팬 : 하단부 기온 1~2℃ 상승, 엽온 5.3℃ 상승
  - 패키지 기술로 초기 수확량이 45%p 증가됨
- 농가반응 : 환경 개선효과로 참외 초기 수확량이 증가되었음

## □ 활용계획

- 경북지역 단동형 비닐하우스를 이용한 에너지 효율 향상 효과를 참외 재배 농가에 확산보급

# 『딸기 단동 에너지절감 패키지 기술』 현장평가회 개최 결과

일 시 : '17. 4. 4.(화)

보고자

채소과 농업연구관 전희

## □ 개 요

- 목 적 : 딸기 단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 평가 및 확산
- 일 시 : 2017. 4. 4.(화) 11:00~13:50
- 장 소 : 강원도 삼척시 근덕면 삼척로 3937-25
- 참 석 : 원예특작과학원, 강원농업기술원, 삼척시농업기술센터, 딸기작목반 등 41명

## □ 실증모델 평가회 내용 및 결과

### ○ 에너지절감 패키지 기술 투입 내역

- 패키지 : 권취식다겹보온커튼+근권난방+열회수형장치
- 대조구 : 2중피복+유류난방
- 시설구조 : 단동형비닐하우스(폭 7m, 측고 2m, 길이 45m)
- 재배형태 : 고설재배

### ○ 에너지절감 및 생산성 향상 효과

- 패키지 기술이 대조구에 비하여 45~54% 정도 에너지 비용이 절감됨
- 딸기에서 29% 정도 수량이 증가되었음

### ○ 시설환경 개선 효과

- 다겹보온커튼 : 보온성 확보 및 습기를 빨아들여 제습효과가 뛰어남
- 열회수형장치 : 80% 정도 난방능력이 있어 난방을 병행함

### ○ 농가반응 : 환경 개선효과로 딸기 초기 수확량이 증가되었음

## □ 활용계획

- 동해지역 단동형 비닐하우스를 이용한 에너지 효율 향상 효과를 딸기 재배 농가에 확산보급(삼척출신 강원도의회 의원 참석으로 확산분위기 고조)

## 1. 태양광에너지 이용 기술

### ☐ 정의

- 태양광 발전은 태양의 빛에너지를 변환시켜 전기를 생산하는 발전기술
  - 햇빛을 받으면 광전효과에 의해 전기를 발생하는 태양전지를 이용한 발전방식
- 태양광 발전시스템은 태양전지로 구성된 모듈과 축전지 및 전력변환장치로 구성됨

### ☐ 태양광 발전원리

- 태양전지
  - 금속과 반도체의 접촉면 또는 반도체의 pn접합에 빛을 조사하면 광전효과에 의해 광기전력이 일어나는 것을 이용한 것
  - 금속과 반도체의 접촉을 이용한 것은 셀렌광전지, 아황산구리 광전지가 있고, 반도체 pn접합을 사용한 것은 태양전지로 이용되고 있는 실리콘광전지가 있음
- PN 접합 발전원리
  - 태양전지는 실리콘으로 대표되는 반도체이며 반도체기술의 발달과 반도체 특성에 의해 자연스럽게 개발됨
  - 전기적 성질이 다른 N(negative)형의 반도체와 P(positive)형의 반도체를 접합시킨 구조로 2개의 반도체 경계 부분을 PN접합(PN-junction)이라 일컫음
  - 태양전지에 태양빛이 닿으면 태양빛은 태양전지 속으로 흡수되며, 흡수된 태양빛이 가지고 있는 에너지에 의해 반도체내에서 정공(正孔:hole)(+)과 전자(電子:electron)(-)의 전기를 갖는 입자(정공, 전자)가 발생하여 각각 자유롭게 태양전지 속을 움직이지만, 전자(-)는 N형 반도체쪽으로, 정공(+)은 P형 반도체쪽으로 모이게 되어 전위가 발생하게 되며 이 때문에 앞면과 뒷면에 붙여 만든 전극에 전구나 모터와 같은 부하를 연결하게 되면 전류가 흐르게 되는 데 이것이 태양전지의 PN접합에 의한 태양광발전의 원리

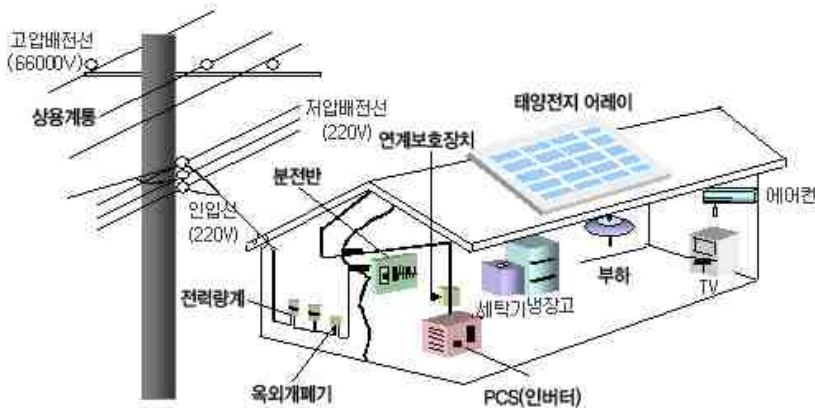
### (개발역사)

- 1839년 : E.Becquerel(프랑스)이 최초로 광전효과(Photovoltaic effect)를 발견
- 1870년대 : 광전효과(H. Hertz) 이후 효율 1~2%의 Se cell이 개발되어 사진기의 노출계에 사용
- 1940년~1950년대 : 초고순도 단결정실리콘을 제조할 수있는 Czochralski process가 개발됨
- 1954년 : Bell Lab.에서 효율 4%의 실리콘 태양전지를 개발
- 1958년 : 미국의 Vanguard 위성에 최초로 태양전지를 탑재한 이후 모든 위성에 태양전지를 사용
- 1970년대 : 태양전지의 연구개발 및 상업화에 수십억 달러가 투자되면서 상업화가 급진전
- 현재 : 태양전지효율 15% 이상, 수명 20년 이상, 모듈가격 \$1/W 내외

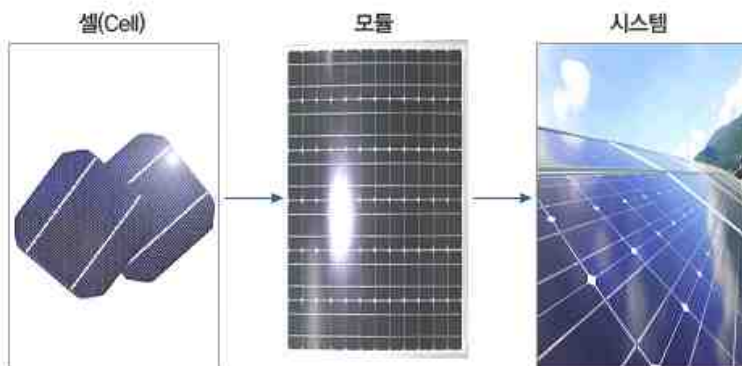
<PN접합에 의한 태양광 발전의 원리>

	<p>대표적인 결정질 실리콘 태양전지는 실리콘에 보론(boron:붕소)을 첨가한 P형 실리콘반도체를 기본으로 하여 그 표면에 인(phosphorous)을 확산시켜 N형 실리콘 반도체층을 형성함으로써 만들어짐. 이 PN접합에 의해 전계(電界)가 발생함</p>
	<p>이 태양전지에 빛이 입사되면 반도체내의 전자(-)와 정공(+)이 여기되어 반도체 내부를 자유로이 이동하는 상태가 됨</p>
	<p>자유로이 이동하다가 PN접합에 의해 생긴 전계에 들어오게 되면 전자(-)는 N형 반도체에, 정공(+)은 P형 반도체에 이르게 됨. P형 반도체와 N형반도체 표면에 전극을 형성하여 전자를 외부 회로로 흐르게 하면 전류가 발생됨</p>

○ 태양광 특징 및 구성



(태양광 시스템 구성도)



## 2. 태양열에너지 이용 기술

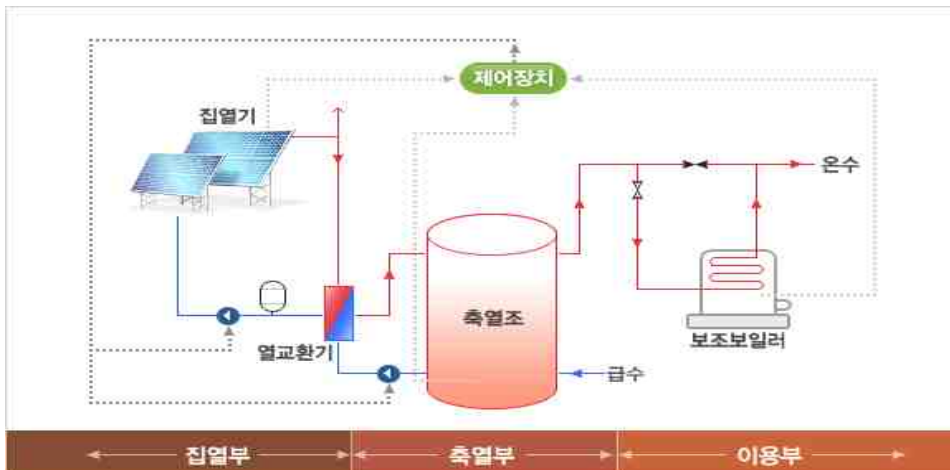
### ☐ 정의

- 태양광선의 파동성질을 이용하는 태양에너지 광열학적 이용분야로 태양열의 흡수·저장·열변환 등을 통하여 건물의 냉난방 및 급탕 등에 활용하는 기술
- 태양열 이용기술의 핵심은 태양열 집열기술, 축열기술, 시스템 제어기술, 시스템 설계기술 등이 있음

### ☐ 시스템 구성 및 집열기 종류

#### ○ 시스템 구성

- 집 열 부 : 태양열 집열이 이루어지며, 집열온도는 집열기의 열손실율과 집광장치에 따라 결정됨
- 축 열 부 : 열 시점과 집열량이 이용시점과 부하량에 일치하지 않기 때문에 필요한 일종의 버퍼 역할을 할 수 있는 열저장 탱크
- 이 용 부 : 태양열 축열조에 저장된 태양열을 효과적으로 공급하고 부족할 경우 보조열원 에 의해 공급
- 제 어 장 치 : 태양열을 효과적으로 집열 및 축열하고 공급, 태양열 시스템의 성능 및 신뢰성 등에 중요한 역할을 해주는 장치



※ 태양열에너지는 에너지밀도가 낮고 계절별, 시간별 변화가 심한 에너지이므로 집열과 축열기술이 가장 기본이 되는 기술임

#### ○ 태양열시스템 구성 요소





○ 태양열 이용기술 분류

- 태양열 시스템은 열매체의 구동장치 유무에 따라서 자연형과 설비형으로 구분. 전자는 온실, 트롬월과 같이 남측의 창문이나 벽면 등 주로 구조물을 활용하여 태양열을 집열하는 장치이며, 후자는 집열기를 별도 설치해서 열매체 구동장치를 활용해서 태양열을 집열하는 시스템
- 집열 또는 활용온도에 따라 저온용, 중온용, 고온용으로 분류

(집열기, 축열방법 및 이용분야)

구분	자연형	설비형		
	저온용	중온용	고온용	
활용온도	60°C이하	100°C이하	300°C이하	300°C이상
집열부	자연형시스템 공기식집열기	평판형집열기	PTC형집열기, *CPC형집열기, 진공관형집열기	Dish형집열기, Power Tower
축열부	Tromb Wall (자갈, 현열)	저온축열 (현열, 잠열)	중온축열 (잠열, 화학)	고온축열 (화학)
이용분야	건물공간난방	냉난방·급탕, 농수산(건조, 난방)	건물 및 농수산, 냉·난방, 담수화, 산업공정열, 열발전	산업공정열, 열발전, 우주용, 광촉매폐수처리, 광화학, 신물질 제조

\*PTC(parabolic trough solar collector), CPC(compound parabolic collector)

- 이용분야를 중심으로 분류하면 태양열 온수급탕시스템, 태양열 냉난방 시스템, 태양열 산업공정열 시스템, 태양열 발전 시스템 등이 있음

### 3. 풍력에너지 이용 기술

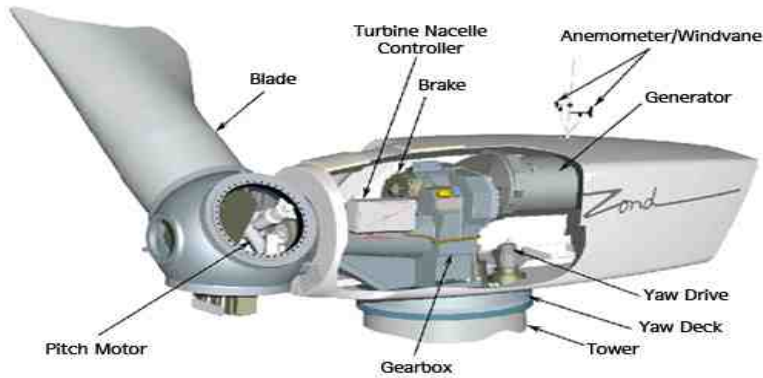
정의

- 풍력은 바람에너지를 변환시켜 전기를 생산하는 발전 기술

특징 및 시스템 구성

- 풍력이 가진 에너지를 흡수, 변환하는 운동량변환장치, 동력전달장치, 동력 변환장치, 제어 장치 등으로 구성
  - 기계장치부 : 바람으로부터 회전력을 생산하는 Blade(회전날개), Shaft(회전축)를 포함한 Rotor(회전자), 이를 적정 속도로 변환하는 증속기(Gearbox)와 기동·제동 및 운용 효율성 향상을 위한 Brake, Pitching & Yawing System등의 제어장치로 구성
  - 전기장치부 : 발전기 및 기타 안정된 전력을 공급하는 장치로 구성
  - Pitch Control : 날개의 경사각(pitch) 조절로 출력을 능동적 제어
  - Stall Control : 한계풍속 이상이 되었을 때 양력이 회전날개에 작용하지 못하도록 날개의 공기역학적 형상에 의한 제어

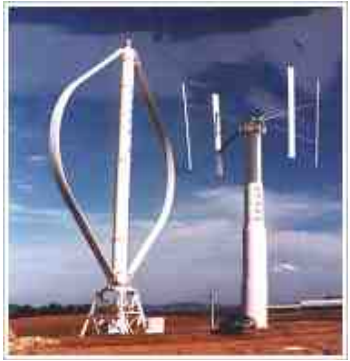



○ 풍력발전 시스템



○ 풍력발전 시스템 분류

구조상 분류 (회전축)	수평축 풍력시스템(HAWT) : 프로펠라형
	수직축 풍력시스템(VAWT) : 다리우스형, 사보니우스형
운전방식	정속운전(fixed roter speed type) : 통상 Geared형
	가변속운전(variable roter speed type) : 통상 Gearless형
출력제어방식	Pitch(날개각) Control
	Stall(失速) Control
전력사용방식	계통연계(유도발전기, 동기발전기)
	독립전원(동기발전기, 직류발전기)

○ 회전축 방향 및 운전방식에 따른 분류

			
수직축 발전기	수평축 발전기	geared 형	gearless 형
회전축 방향 차이		기아 유무	
<p>* 수직축은 바람의 방향과 관계가 없어 사막이나 평원에 많이 설치하여 이용이 가능하지만 소재가 비싸고 수평축 풍차에 비해 효율이 떨어지는 단점이 있음, 수평축은 간단한 구조로 이루어져 있어 설치하기 편리하나 바람의 방향에 영향을 받음</p> <p>- 중대형급 이상은 수평축을 사용하고, 100kW급 이하 소형은 수직축도 사용됨</p>			

#### 4. 연료전지 이용 기술

##### 정의

- 연료전지는 수소와 산소의 화학반응으로 생기는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 기술 ( $H_2 + 1/2O_2 \rightarrow H_2O + \text{전기}$ )
  - 생성물이 전기와 순수(純水)인 발전효율 30~40%, 열효율 40% 이상으로 총 70~80%의 효율을 갖는 신기술임

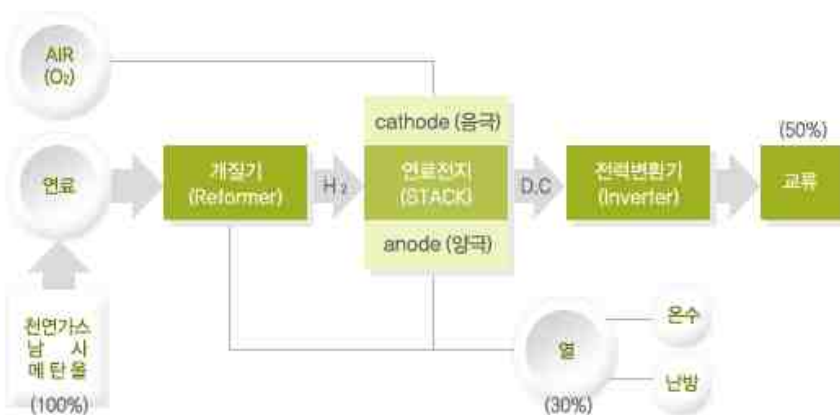
##### 연료전지 발전원리

- 연료중 수소와 공기중 산소가 전기 화학 반응에 의해 직접 발전
  - (1단계) 연료극에 공급된 수소는 수소이온과 전자로 분리
  - (2단계) 수소이온은 전해질층을 통해 공기극으로 이동, 전자는 외부회로를 통해 공기극으로 이동
  - (3단계) 공기극 쪽에서 산소이온과 수소이온이 만나 반응물(물)을 생성  
⇒최종적인 반응은 수소와 산소가 결합하여 전기, 물 및 열 생성
- 연료전지 종류 : 전해질 종류에 따라 연료전지를 구분

구분	알칼리	인산형	용융염형	고체산화물형	고분자전해질형	직접매탄올
전해질	알칼리	인산염	탄산염	세라믹	이온교환막	이온교환막
동작온도 (°C)	120이하	250이하	700이하	1200이하	100이하	100이하
효율(%)	85	70	80	85	75	40
용도	우주발사체 전원	중형건물 (200kW)	중대형건물 (100kW-MW)	소중대용량 발전 (1kW-MW)	가정상업용 (1~10kW)	소형이동 (1kW 이하)
특징	-	CO 내구성 큼, 열병합대응 가능	발전효율 높음, 내부개질 가능, 열병합대응	발전효율 높음, 내부개질 가능, 복합발전	저온작동, 고출력밀도	저온작동, 고출력밀도

##### 시스템 구성

- 연료전지 발전 구성도



- 개질기(Reformer) : 화석연료(천연가스, 메탄올, 석유 등)로 부터 수소를 발생시키는 장치. 시스템에 악영향을 주는 황(10ppb이하), 일산화탄소(10ppm이하) 제어 및 시스템 효율향상을 위한 compact가 핵심기술
- 스택(Stack) : 원하는 전기출력을 얻기 위해 단위전지를 수십장, 수백장 직렬로 쌓아 올린 본체. 단위전지 제조, 단위전지 적층 및 밀봉, 수소공급과 열회수를 위한 분리판 설계·제작 등이 핵심기술
- 전력변환기(Inverter) : 연료전지에서 나오는 직류전기(DC)를 우리가 사용하는 교류(AC)로 변환시키는 장치
- 주변보조기기(BOP: Balance of Plant) : 연료, 공기, 열회수 등을 위한 펌프류, Blower, 센서 등을 말하며, 연료전지에 특성에 맞는 기술이 미비함

### ○ 각 연료전지 발전 현황

- 알칼리형(AFC : Alkaline Fuel Cell)
  - : 1960년대 군사용(우주선 : 아폴로 11호)으로 개발. 순 수소 및 순 산소를 사용
- 인산형(PAFC : Phosphoric Acid Fuel Cell)
  - : 1970년대 민간차원에서 처음으로 기술개발된 1세대 연료전지로 병원, 호텔, 건물 등 분산형 전원으로 이용. 현재 가장 앞선 기술로 미국, 일본에서 실용화 단계에 있음
- 용융탄산염형(MCFC : Molten Carbonate Fuel Cell)
  - : 1980년대에 기술개발된 2세대 연료전지로 대형발전소, 아파트단지, 대형건물의 분산형 전원으로 이용. 미국, 일본에서 기술개발을 완료하고 성능평가 진행 중(250kW 상용화, 2MW 실증)
- 고체산화물형(SOFC : Solid Oxide Fuel Cell)
  - : 1980년대에 본격적으로 기술개발된 3세대로서, MCFC보다 효율이 우수한 연료전지, 대형발전소, 아파트단지 및 대형건물의 분산형 전원으로 이용. 최근 선진국에서는 가정용, 자동차용 등으로도 연구를 진행하고 있으나 우리나라는 다른 연료전지에 비해 기술력이 가장 낮음
- 고분자전해질형(PEMFC: Polymer Electrolyte Membrane)
  - : 1990년대에 기술개발된 4세대 연료전지로 가정용, 자동차용, 이동용 전원으로 이용. 가장 활발하게 연구되는 분야이며, 실용화 및 상용화도 타 연료전지보다 빠르게 진행되고 있음
- 직접메탄올연료전지(DMFC : Direct Methanol Fuel Cell)
  - : 1990년대 말부터 기술개발된 연료전지로 이동용(핸드폰, 노트북 등) 전원으로 이용. 고분자전해질형 연료전지와 함께 가장 활발하게 연구되는 분야임

## 5. 수소에너지 이용 기술

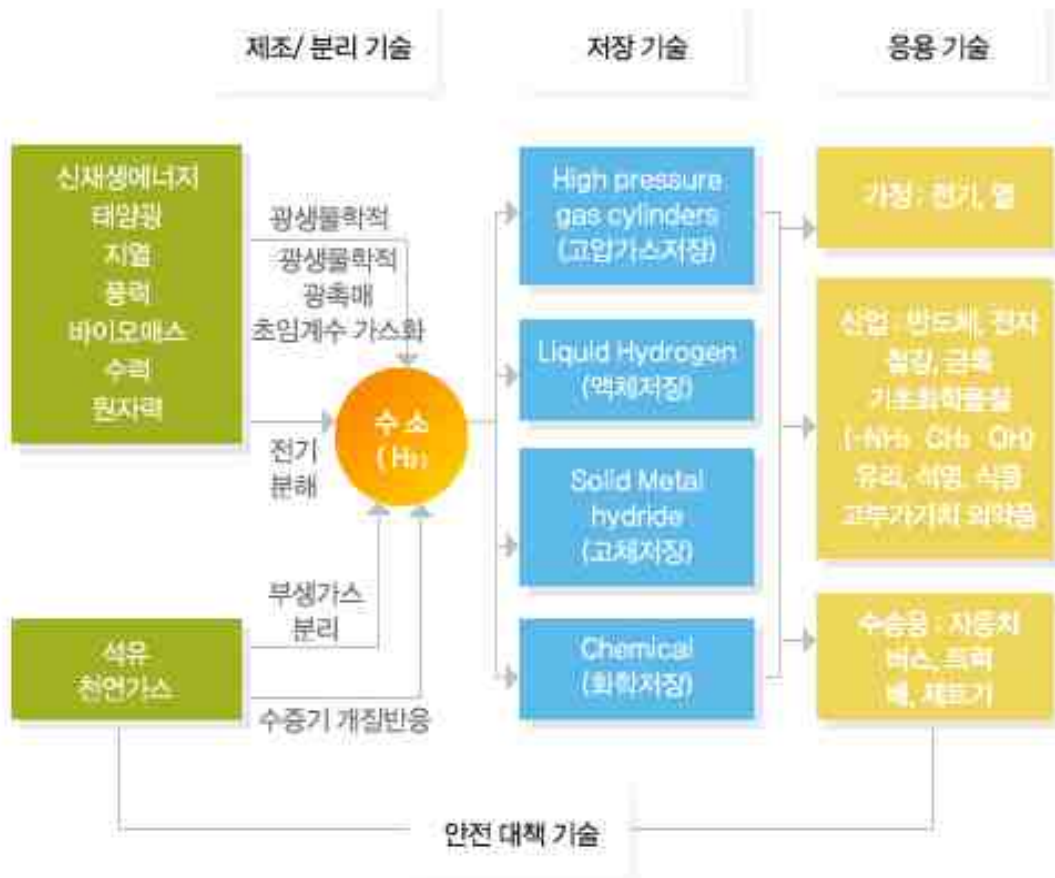
### □ 정의

- 수소에너지기술은 물, 유기물, 화석연료 등의 화합물 형태로 존재하는 수소를 분리, 생산해서 이용하는 기술
  - 수소는 물의 전기분해로 가장 쉽게 제조할 수 있으나 입력에너지(전기에너지)에 비해 수소 에너지의 경제성이 너무 낮으므로 대체전원 또는 촉매를 이용한 제조기술 연구

### ※에너지 보존법칙 상 입력 에너지(수소생산)가 출력 에너지(수소이용)보다 큰 근본적인 문제가 있음

- 수소는 가스나 액체로 수송할 수 있으며 고압가스, 액체수소, 금속수소화물 등의 다양한 형태로 저장 가능함
- 현재 수소는 기체상태로 저장하고 있으나 단위 부피당 수소저장밀도가 너무 낮아 경제성과 안정성이 부족하여 액체 및 고체저장법을 연구 중

### □ 수소에너지 시스템



☐ 수소에너지 기술별 개발내용

대분류	중분류	기술개발내용
제조	물로부터 수소제조	전기분해(SPE, 태양광, 풍력 등 대체전원이용 등)
		저온열분해(산화물, 유황화합물, 염화물, 불화물, 요드화물 등)
		광촉매(금속산화물, 페롭스카이트, 제올라이트 등)
		바이오(광합성 직·간접, 혐기발효, 광합성 발효 등)
	화석연료로부터 수소제조	수증기개질(상용화 되어 있음)
		플라즈마 개질(반응기, 플랜트 건설) → 미국 상용화
		고온열분해(이론정립, 촉매, 반응기) → 미국 개발단계
수소정제	고순도 수소 제조(PSA, MH이용 등) → 선진국 기술확립	
저장	물리적 저장	기체저장(상용화 되어 있음)
		액체저장(저장용기, 극저온 연구 등) → 독일 상용화
		고체저장(재료, 고용량저장, 무게 등) → 일부 상용화
		CNT(재료, 합성, 공정기술 등) → 선진국 개발단계
	화학적 저장	CO <sub>2</sub> 이용 메탄올, 에탄올 합성(상용화 되어 있음)
이용 및 관리	이용	가정(전기, 열), 산업(반도체, 전자, 철강 등), 수송(자동차, 배, 비행기)→ 수소의 제조, 저장기술이 확립되지 않아 실용화된 사례가 없음
	안전대책	역화방지 등

## 6. 바이오에너지 이용 기술

### 정의

- 바이오에너지 이용기술이란 바이오매스(Biomass, 유기성 생물체를 총칭)를 직접 또는 생·화학적, 물리적 변환과정을 통해 액체, 가스, 고체연료나 전기·열에너지 형태로 이용하는 화학, 생물, 연소공학 등의 기술을 일컫음

### 종류 및 변환

- 바이오에너지 기술 분류

대분류	중분류	기술내용
바이오액체연료 생산기술	연료용 바이오 에탄올 생산기술	당질계, 전분질계, 목질계
	바이오디젤 생산기술	바이오디젤 전환 및 엔진적용기술
	바이오매스 액화기술 (열적전환)	바이오매스 액화, 연소, 엔진이용기술
바이오매스 가스화기술	혐기소화에 의한 메탄가스화 기술	유기성 폐수의 메탄가스화 기술 및 매립지 가스 이용 기술 (LFG)
	바이오매스 가스화기술 (열적전환)	바이오매스 열분해, 가스화, 가스화 발전 기술
	바이오 수소 생산기술	생물학적 바이오 수소 생산기술
바이오매스생산, 가공기술	에너지 작물 기술	에너지 작물 재배, 육종, 수집, 운 반, 가공 기술
	생물학적 CO2 고정화 기술	바이오매스 재배, 산림녹화, 미세조 류 배양기술
	바이오 고형연료 생산, 이용기술	바이오 고형연료 생산 및 이용기술 (왕겨탄, 칩, RDF(폐기물연료) 등)

- 바이오에너지 변환시스템

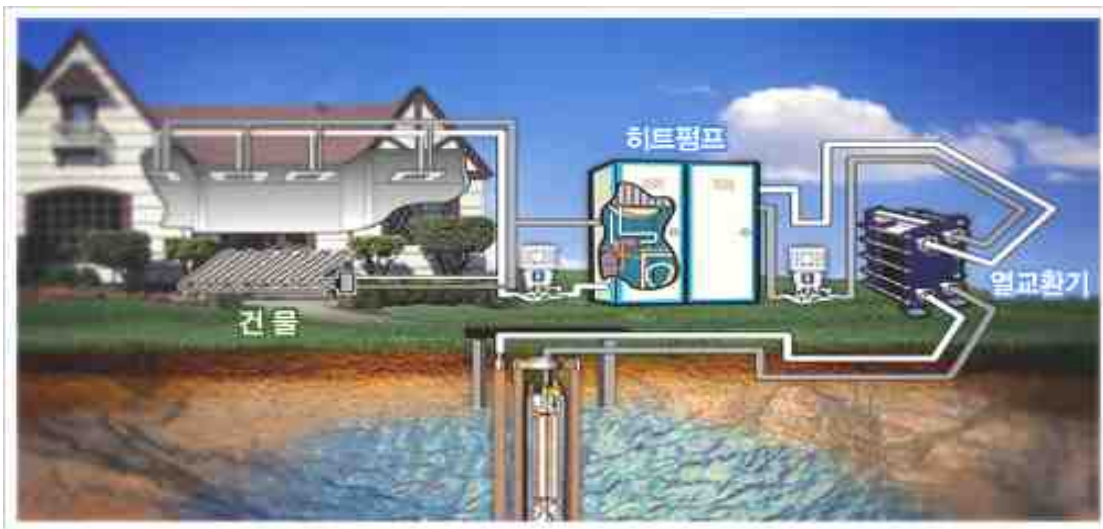


## 7. 지열에너지 이용 기술

### □ 정의

- 지열에너지는 물, 지하수 및 지하의 열 등의 온도차를 이용하여 냉·난방에 활용하는 기술
- 태양열의 약 47%가 지표면을 통해 지하에 저장되며, 이렇게 태양열을 흡수한 땅속의 온도는 지형에 따라 다르지만 지표면 가까운 땅속의 온도는 개략 10°C~20°C정도 유지해 열펌프를 이용하는 냉난방시스템에 이용
- 우리나라 일부지역의 심부(지중 1 ~ 2 km) 지중온도는 80 °C 정도로서 직접 냉난방에 이용 가능

### □ 시스템 구성



- 지열시스템의 종류는 대표적으로 지열을 회수하는 파이프(열교환기) 회로구성에 따라 폐회로(Closed Loop)와 개방회로(Open Loop)로 구분됨
  - 일반적으로 적용되는 폐회로는 파이프가 폐회로로 구성되어 있는데, 파이프내에는 지열을 회수(열교환)하기 위한 열매가 순환되며, 파이프의 재질은 고밀도폴리에틸렌이 사용됨
  - 폐회로시스템(폐쇄형)은 루프의 형태에 따라 수직, 수평루프시스템으로 구분되는데 수직으로 100~150m, 수평으로는 1.2~1.8m정도 깊이로 묻히게 되며 상대적으로 냉난방부하가 적은 곳에 쓰임
  - 개방회로는 온천수, 지하수에서 공급받은 물을 운반하는 파이프가 개방되어 있는 것으로 풍부한 수원지가 있는 곳에서 적용 될 수 있음
  - 폐회로가 파이프내의 열매(물 또는 부동액)와 지열source가 열교환 되는 것에 비해 개방회로는 파이프내로 직접 지열source가 회수되므로 열전달효과가 높고 설치비용이 저렴한 장점이 있으나 폐회로에 비해 보수가 필요한 단점이 있음



## 8. 석탄 가스화 및 액화 복합기술

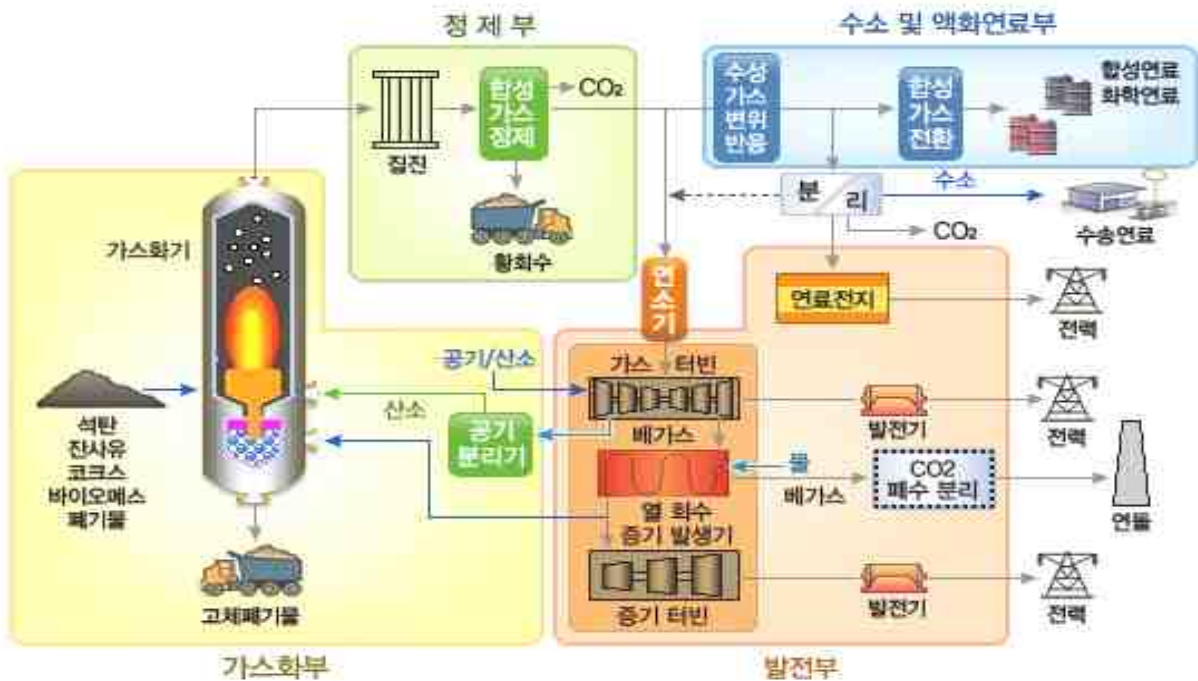
### □ 정의

- 가스화 복합발전기술(IGCC: Integrated Gasification Combined Cycle)은 석탄, 중질잔사유 등 저급원료를 고온·고압의 가스화기에서 수증기와 함께 한정된 산소로 불완전연소 및 가스화시켜 일산화탄소와 수소가 주성분인 합성가스를 만들어 정제공정을 거친 후 가스터빈 및 증기터빈 등을 구동하여 발전하는 신기술
- 석탄액화기술은 고체 연료인 석탄을 휘발유 및 디젤유 등의 액체연료로 전환시키는 기술로 고온 고압의 상태에서 용매를 사용하여 전환시키는 직접액화 방식과, 석탄가스화 후 촉매 상에서 액체연료로 전환시키는 간접액화 기술이 있음

### □ 특징 및 시스템

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 고효율 발전</li> <li>- SOx를 95%이상, NOx를 90% 이상 저감하는 환경친화기술</li> <li>- 다양한 저급연료(석탄, 중질잔사유, 폐기물 등)를 활용한 전기생산 가능, 화학플랜트 활용, 액화연료생산 등 다양한 형태의 고부가가치의 에너지화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 소요 면적이 넓은 대형 장치산업으로 시스템 비용이 고가이므로 초기 투자비용이 높음</li> <li>- 복합설비로 전체 설비의 구성과 제어가 복잡하여 연계시스템의 최적화, 시스템 고효율화, 운영 안정화 및 저비용화가 요구됨</li> </ul>

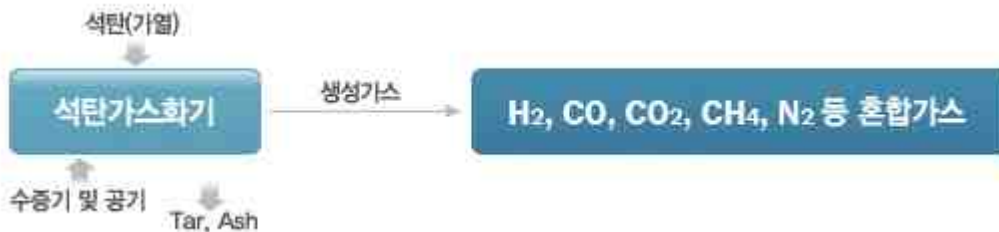
- 석탄이용기술은 가스화부, 가스정제부, 발전부 등 3가지 주요 Block과 활용 에너지의 다변화를 위해 추가되는 수소 및 액화연료부 등으로 구성됨



□ 기술 분류

○ 석탄가스화 기술

- 석탄을 고온·고압 상태의 가스화기에서 한정된 산소와 함께 불완전연소시켜 CO와 H<sub>2</sub>가 주 성분인 합성가스를 생성하는 기술로 전체 시스템 중 가장 중요한 부분으로 석탄 종류 및 반응조건에 따라 생성가스의 성분과 성질이 달라지며 건식가스화 기술과 습식가스화 기술이 있음



○ 가스정제 공정

- 생성된 합성가스를 고효율 청정발전 및 청정에너지에 사용할 수 있도록 오염가스와 분진 (H<sub>2</sub>S, HCl, NH<sub>3</sub> 등) 등을 제거하는 기술



○ 가스터빈 복합발전 시스템

- 정제된 가스를 사용 1차로 가스터빈을 돌려 발전하고, 배기 가스열을 이용하여 보일러로 증기를 발생시켜 증기터빈을 돌려 발전하는 방식

○ 수소 및 액화 연료 사용

- 연료전지의 원료로 사용할 수 있도록 합성가스로부터 수소를 분리하는 기술과 생성된 합성가스의 촉매 반응을 통해 액체연료인 합성석유를 생산하는 기술

**9. 폐기물에너지 이용 기술**

□ 정의

- 폐기물에너지는 폐기물을 변환시켜 연료 및 에너지를 생산하는 기술
- 사업장 또는 가정에서 발생하는 가연성 폐기물 중 에너지 함량이 높은 폐기물을 열분해에 의한 오일화, 성형 고체 연료의 제조기술, 가스화에 의한 가연성 가스 제조기술 및 소각에

의한 열회수 기술 등의 가공·처리 방법을 통해 고체 연료, 액체 연료, 가스 연료, 폐열 등을 생산하고, 이를 산업 생산활동에 필요한 에너지로 이용될 수 있도록 재생에너지를 생산하는 기술

□ 종류

○ 성형고체연료(RDF)

- 종이, 나무, 플라스틱 등의 가연성 폐기물을 파쇄, 분리, 건조, 성형 등의 공정을 거쳐 제조된 고체연료

주) RDF : Refuse Derived Fuel

○ 폐유 정제유

- 자동차 폐윤활유 등의 폐유를 이온정제법, 열분해 정제법, 감압증류법 등의 공정으로 정제하여 생산된 재생유

○ 플라스틱 열분해 연료유

- 플라스틱, 합성수지, 고무, 타이어 등의 고분자 폐기물을 열분해하여 생산되는 청정 연료유

○ 폐기물 소각열

- 가연성 폐기물 소각열 회수에 의한 스팀생산 및 발전으로의 이용 등

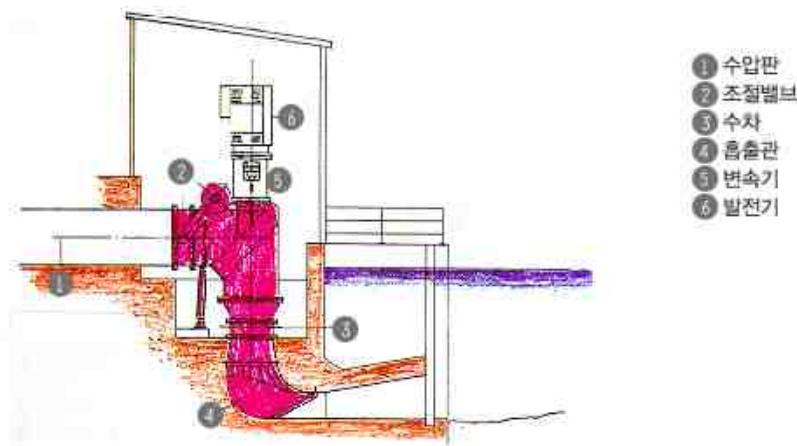
**10. 수력에너지 이용 기술**

□ 정의

- 수력발전은 물의 유동 및 위치에너지를 이용하여 발전
- 2005년 이전에는 시설용량 10MW이하를 소수력으로 규정하였으나, 신규 법(신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법)에서는 소수력을 포함한 수력 전체를 신재생에너지로 정의함
- 신·재생에너지 연구개발 및 보급 대상은 주로 발전설비용량 10MW이하를 대상으로 하고 있으며, 발전차액지원제도는 5MW이하를 지원하고 있음

□ 구성 및 시스템

- 구성도



○ 발전 시스템



○ 소수력의 가장 중요한 설비는 수차(turbine)이며, 설비별 특징은 다음과 같음

수차의 종류		특징
충동수차	펠톤(Pelton)수차, 튀고(Turgo)수차, 오스버그(Ossberger)수차	-수차가 물에 완전히 잠기지 않음 -물은 수차의 일부 방향에서만 공급되며, 운동에너지만을 전환함
반동수차	프란시스(Francis)수차	-수차가 물에 완전히 잠김
	프로펠러수차 카플란(Kaplan)수차, 튜브라(Tubular)수차, 벌브(Bulb)수차, 림(Rim)수차	-수차의 원주방향에서 물이 공급됨 -동압(dynamic pressure) 및 정압(static pressure)이 전환됨

○ 소수력 발전 분류

- 소수력발전은 하천이나 저수지의 물을 낙차에 의한 위치에너지를 이용하여 수차의 회전력을 발생시키고, 수차와 직결되어 있는 발전기에 의해서 전기에너지를 생산하는 방식으로 설비용량, 낙차 및 발전방식에 따라 분류

분류			비교
설비용량	Micro hydropower, Mini hydropower, Small hydropower	100kW 미만, 100~1,000kW, 1,000~10,000kW	국내의 경우 소수력발전은 저낙차, 터널식 및 댐식으로 이용(예:방우리,금강 등)
낙차	저낙차(Low head), 중낙차(Medium head), 고낙차(High head)	2~20m, 20~150m, 150m 이상	
발전방식	수로식(run-of-river type), 댐식(Storage type), 터널식(Tunnel type)	하천경사가 급한 중·상류지역, 하천경사가 작고 유량이 큰 지점, 하천의 형태가 오메가(Ω)인 지점	

## 11. 해양에너지 이용 기술

### 정의

- 해양에너지는 해양의 조수·파도·해류·온도차 등을 변환시켜 전기 또는 열을 생산하는 기술로써 전기를 생산하는 방식은 조력·파력·조류·온도차 발전 등이 있음
  - 조력발전 : 조석간만의 차를 동력원으로 해수면의 상승하강운동을 이용하여 전기를 생산하는 기술
  - 파력발전 : 연안 또는 심해의 파랑에너지를 이용하여 전기를 생산하는 기술
  - 조류발전 : 해수의 유동에 의한 운동에너지를 이용하여 전기를 생산하는 발전기술
  - 온도차발전 : 해양 표면층의 온수(예 : 25~30°C)와 심해 500~1000m정도의 냉수(예 : 5~7°C)와의 온도차를 이용하여 열에너지를 기계적 에너지로 변환시켜 발전하는 기술

### 시스템



### 종류 및 입지 조건

- 에너지 이용방식에 따라 조력, 파력, 온도차발전으로 구분되며 기타 해류발전, 근해 풍력발전, 해양 생물자원의 에너지화 및 염도차발전 등이 있음

구분	조력발전	파력발전	조류발전	온도차발전
입지 조건	평균조차 : 3m이상, 폐쇄된 만의 형태, 해저 지반이 강고, 에너지 수요처와 근거리	자원량이 풍부한 연안, 육지에서 거리 30km미만, 수심 300m미만의 해상, 항해, 항만 기능에 방해되지 않을 것	조류의 흐름이 2m/s 이상인 곳, 조류흐름의 특징이 분명한 곳	연중 표·심층수와 온도차가 17°C 이상인 기간이 많을 것, 어업 및 선박 항행에 방해되지 않을 것

## 12. 수열에너지 이용 기술

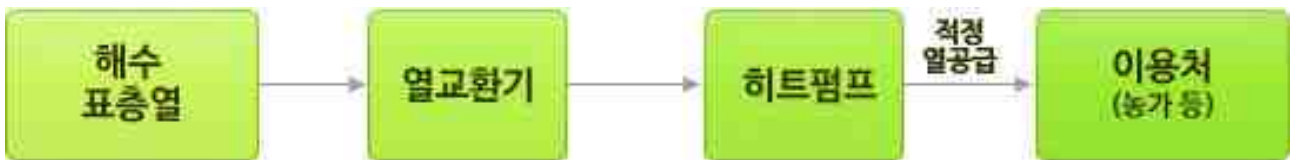
### □ 정의

- 해수의 표층의 열을 히트펌프를 이용하여 냉·난방에 활용하는 기술

(주요 활용사례)

- 온배수열을 시설원에 또는 양식장 등의 난방열원으로 공급하여 생물성장을 촉진하고 화훼, 열대과일 등 고부가 작물 생산
- \* 온배수열은 발전소의 발전기를 냉각하는 동안 데워진 물(해수)이 온도가 상승된 상태에서 보유하고 있는 열에너지( $\Delta t$  7~8°C)

### □ 시스템 구성



### □ 수열 전망

- FTA 체결에 따른 농가지원 대책의 일환으로 저렴한 온배수 에너지를 재생에너지로 지정하여 농가에너지비용 저감정책에 활용

○ 이용 현황(2012)

업체	온배수배출량 (억톤/년)	온배수 활용량 (억톤/년)	온배수열량 (천toe/년)	온배수활용열량 (천toe/년)	비고
화력발전 5개사	286	1.94(0.68%)	21,482	130(0.61%)	양식, 원예, LNG 기화

# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “농업에너지절감모델개발 사업단 실증연구과제(과제명 : 유리온실 에너지절감 패키지기술 개발)”의 최종 보고서로 제출합니다.

2017년 9월 일

실증연구기관명 : 국립원예특작과학원  
시설원예연구소

실증연구책임자 : 권진경





# 요 약 문

## I. 제 목

유리온실 에너지절감 패키지가 기술 개발

## II. 연구성과 목표 대비 실적

본 과제의 연구개발 목표는 시설원에 농가 에너지절감 및 고품질 생산을 위한 유리온실 에너지절감 패키지가 기술 모델 실증연구 및 기술보급 확산으로 농가 경쟁력을 제고하는데 있으며, 구체적으로 기존 유류난방 대비 난방비 30% 절감, 수량 및 품질 개선으로 농가소득 15% 증대를 목표로 하였다. 연구 내용으로 유리온실 주 작목인 파프리카와 토마토를 대상으로 지중열원 히트펌프, 유리온실용 다겹보온커튼, 근권부 난방시스템으로 구성된 난방패키지 모델과 지중열원 히트펌프, 차광막, 포그냉방시스템으로 구성된 냉방패키지 모델을 개발하여 냉난방 성능시험 및 작물 생육시험을 수행하였다. 실증시험 결과 파프리카 난방 시 관행 온실 대비 난방비 87% 절감, 파프리카 냉방 시 수확량 12% 증수 효과를 확인하였으며, 토마토 난방 시 난방비 76% 절감 효과를 확인하였다. 기술보급 확산을 위해 개발기술의 경제성 분석 및 현장평가회를 개최하였으며, 농식품부 정책제안을 통해 기술보급 및 활용 방안을 제시하였다.

## III. 연구개발의 목적 및 필요성

국내 시설원예 농업은 농가 경영비 중 광열비 비중이 20~40%를 차지할 정도로 에너지 다소비 산업으로 변모하고 있다. 시설원예 면적 중 가온재배 면적은 2013년 기준 16,177ha로 전체의 30.2%를 점하고 있으며 최근 10년간 시설원예 전체 면적이 4.6% 증가하는 동안 가온재배 면적은 30.8% 증가하는 등 꾸준한 증가세를 유지해 왔다. 그럼에도 불구하고 난방에너지의 소비구조는 유류난방이 전체의 84.8%로 대부분을 차지하며 편향된 소비구조를 가지고 있어 국제유가의 변동성에 취약한 구조를 가지고 있다. 한편 국내 시설원예작물의 수출액은 4,300억원('12)으로 전체 농산물 수출액의 8% 점유하고 있으며 파프리카, 토마토, 멜론, 딸기가 채소 수출의 35% 차지하고 있다. 최근 파프리카의 시설면적과 생산량 증가율이 시설작물 중 가장 높은 추세를 보여 왔으나 고온기 및 혹한기의 생산량 저하는 대외 신뢰도 및 수출경쟁력 약화의 원인이 되고 있어 안정적 생산기술의 개발이 요구되고 있다.

국내에서 시설원예 에너지절감과 관련한 기술은 히트펌프의 농업시설 이용기술, 원예시설용 다겹보온커튼 등의 보온력 향상 기술, 근권부, 생장점 등 작물의 온도민감 기관 국소난방 기술 이 연구되어 왔다. 유리온실에 재배되는 고부가가치 농산물의 안정적 생산을 위해서는 지금까지 개발된 시설원예 냉난방 관련 에너지절감기술의 적용효과를 극대화할 필요가 있으며 이를 위해서는 고효율 공조기의 적용과 더불어 보온성 향상, 열분배 기술 등을 복합적으로 활용할 필요가 있다. 또한 현장에서 체감할 수 있는 시설 및 작목 맞춤형 기술의 개발과 보급을 위해 농림축산식품부의 에너지절감기술 보급사업과 연계한 에너지절감 패키지 기술의 개발과 확산이 요구된다.

## IV. 연구개발 내용 및 범위

유리온실 보온력 향상을 위하여 알루미늄 박막, 흡습부직포 등 6겹으로 구성된 유리온실용 권

취식 다겹보온커튼을 개발하여 함안 시설원예연구소 소재 벤로형 유리온실(461m<sup>2</sup>)에 설치하였으며 일반 부직포 보온커튼이 설치된 온실과 야간 온·습도를 조사, 비교하였다. 지중열 이용 난방 시스템의 온수를 이용하여 수경재배 베드의 근권부를 난방하기 위한 장치를 설계, 제작하였다. 베드 하부에 온수용 엑셀(XL) 배관(Ø20mm)을 2열로 배치하여 온수를 순환하며 미설치된 대조구와 근권부의 야간온도를 조사, 비교하였다. 유리온실용 지중열 이용 및 태양열 축열이 가능한 냉난방시스템 설계, 제작하였으며 시스템은 물탱크, 열교환기, 히트펌프, 축열장치, 팬코일유닛 등으로 구성하였다. 지중열 이용 냉난방 시스템의 난방용량은 90,720kcal/h(30RT), 축열조 용량은 46m<sup>3</sup>이며, 물탱크 축열은 지하수열과 온실내 태양잉여열을 회수하여 수온을 확보하였다. 유리온실용 난방패키지는 상기의 다겹보온커튼, 근권부 난방장치, 지중열 시스템으로 구성하였으며, 냉방패키지는 차광스크린, 지중열 시스템 및 저압 포그노즐을 이용한 포그시스템으로 구성하였다. 난방패키지 시험은 난방패키지가 적용된 온실과 유류보일러 및 일반 보온커튼이 설치된 대조구 온실에 대해 수행하였으며, 냉방패키지 시험은 냉방패키지가 적용된 온실과 차광스크린과 자연환기를 실시한 대조구 온실에 대해 수행하였다. 시험작물은 파프리카(쿠프라)와 토마토(신품종 244)를 대상으로 하였으며 파프리카는 난방패키지와 냉방패키지 적용시험을 모두 수행하였으며, 토마토는 연구기간을 고려하여 난방패키지 시험만 수행하였다. 주요조사 항목은 시험구별 온습도, 난방성능계수(COP), 에너지사용량 및 비용, 작물생육, 수확량 등이며, 유리온실 냉난방 패키지 기술의 적용성을 평가하기 위하여 대조구 온실과 설치비 및 난방비 절감액을 대상으로 경제성 분석을 수행하였다.

## V. 연구개발결과

유리온실용 다겹보온커튼 장치를 설치한 온실은 일반 보온커튼을 설치한 대조구 대비 평균 2.2°C 높은 온도와 9% 낮은 상대습도를 나타냈으며, 근권난방장치를 설치한 처리구는 미설치된 대조구보다 야간의 근권온도가 평균 4.7°C 더 높게 나타나 보온력 향상과 근권부 국소난방의 효과가 확인되었다. 지중열 이용 시스템의 난방시험 결과 온실 난방설정온도는 21°C 기준  $\pm 1.2^\circ\text{C}$ 으로 설정온도를 잘 유지하였으며 생산 난방에너지와 소비전력으로 계산한 난방COP는 3.7~3.8로 나타났다. 파프리카 재배 온실에 난방패키지 기술을 적용한 결과 10a당 연료소모량은 유류난방기가 설치된 대조구에서는 경유 14,071L와 전력 364kWh이 소비되었으며, 패키지기술이 적용된 처리구에서는 전력 35,082kWh이 소비되어 난방비 환산 시 약 87%의 난방비가 절감되는 것으로 나타났다. 쿠프라 품종에 대한 생육조사 결과 초장, 엽수, 경경 등에서 처리구와 대조구간에 T-검정 유의수준 0.05에서는 유의한 것으로 나타났으나 전체적으로 생육적인 측면에서 큰 차이가 없는 것으로 판단되었다. 차광스크린, 지중열 냉방시스템, 포그 시스템으로 구성된 냉방패키지 적용시험 결과 냉방패키지 온실은 대조구 온실보다 주간온도가 평균 2.5°C 낮게 나타났으며 상대습도는 6.5% 높게 나타났다. 생육조사 결과 초장, 엽록소에서 처리구와 대조구간에 T-검정 유의수준 0.05에서는 유의한 것으로 나타났으나 전체적으로 생육적인 측면에서 큰 차이가 없었으며 10a당 파프리카 상품과 수량은 대조구에서 579.1kg, 처리구에서 649.2kg으로 나타나 대조구에 비해 12.1% 증수되는 것으로 나타났으며 상품과율은 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 토마토 재배 유리온실에 대한 난방패키지 적용 시험 결과, 지중열 난방시스템의 평균 난방성능계수는 3.47로 나타났으며 10a당 난방비용은 대조구에서는 17,789천 원, 난방패키지 기술 적용 온실은 4,232천 원이 소요되어 난방비는 76%가 절감되는 것으로 나타났다. 토마토 생

육은 엽수와 경경에서 처리구와 대조구 간에 T-검정 유의수준0.01 등에서는 유의한 차이가 있었으나 전체 생육은 큰 차이가 없었으며 수확량에서는 유의한 차이가 발생하지 않았다. 파프리카 재배 유리온실에 대한 난방, 냉방 패키지 기술 적용시의 경제성 분석을 수행한 결과 1ha당 연간 총비용은 6,195만원, 증가되는 이익은 하절기 파프리카 증수와 난방비 절감으로 10,929만원으로 연간 4,734만원의 이익이 발생하는 것으로 분석되었다.

## VI. 연구성과 및 성과활용 계획

- 시설원예 고효율 냉난방용 패키지 공조시스템 생산을 위한 산업체 기술정보 제공
  - 개발기술 특허출원 및 산업체 기술이전(㈜티알엑서지), 농업용 공조기 업체 기술이전 확대
- 유리온실 냉난방 패키지 기술의 농가 보급 확대를 위한 농림축산식품부 정책제안
  - 농업에너지절감 패키지기술 실증모델 보급(농림축산식품부 원예경영과)
  - 유리온실 냉난방패키지 기술 실증모델 보급(농림축산식품부 원예경영과)
- ‘유리온실 냉난방 패키지기술 적용에 의한 에너지절감 및 생육개선 효과’ 논문투고 계획
- 고효율 유리온실 냉난방 기술보급으로 농가소득 향상 및 고품질 안정 생산에 기여

## SUMMARY

Glasshouse heating and cooling package technologies to improve energy usage efficiency in winter and promote plant growth in summer were developed. Heating package system was composed of the geothermal source heat pump with heating capacity of 105kW, the aluminum multi-layer thermal curtain with six layers of different materials and the root zone local heater with XL pipes of  $\phi$  20mm. Venlo-type glasshouse(461m<sup>2</sup>) with the heating package system was compared with the same type and area control glasshouse with the light oil boiler, the usual non-woven fabric thermal curtain and without root zone local heater with respect to the glasshouse inside temperature, relative humidity, crop growth, yield and heating energy consumption. The cooling package system was composed of the geothermal source heat pump of cooling mode operation, the shading screen and the evaporative cooling system using low pressure 2-fluid fog nozzle. The application effect of cooling package system was estimated by comparison with the conventional natural ventilation and shading screen with respect to the glasshouse inside temperature, humidity, crop growth and yield. The results of heating test in paprika cultivation glasshouse showed that the air temperature in glasshouse with aluminum multi-layer curtain was maintained 2.2°C higher than that of control glasshouse in un-heating night time and the temperature in bed with root zone local heating was 4.7°C higher than that in bed without local heating. Average heating coefficient of performance(COP<sub>h</sub>) of the geothermal source heat pump used in paprika cultivation glasshouse was 3.7 and the glasshouse inside temperature was maintained at 21°C of heating set up temperature in winter nighttime. The heating energy consumptions per 10a were measured at 14,071L of light oil and 364kWh of electric power for the control glasshouse and 35,082kWh for the glasshouse applied heating package system, resulting, as a results, the heating cost of the glasshouse applied heating package system was 87 percent lower than the control glasshouse. The growths of paprika in glasshouses of control and applied heating package system did not show any significant difference. The results of cooling tests in paprika cultivation glasshouses showed that the average air temperature and yield in the glasshouse applied the cooling package system were 2.5°C lower and 12% higher than those of the control house respectively. The heating cost in the tomato cultivation glasshouse applied the heating package system was 76% lower than that of control glasshouse and the differences of yield and growth between the control and test glasshouses were not significant .

# 제 1 장 실증과제의 개요 및 성과목표

본 실증과제의 연구개발 목표는 시설원에 농가 에너지절감 및 고품질 생산을 위한 유리온실 에너지절감 패키지기술 모델 실증연구 및 기술보급 확산으로 농가 경쟁력을 제고하는데 있으며, 구체적 목표로 고효율 유리온실 난방 기술 적용으로 기존 유류난방 대비 난방비 30% 절감, 수량 및 품질 개선으로 농가소득 15% 증대를 목표로 하였다.

실증연구에 투입된 패키지 기술은 기 개발 개별기술인 고효율 난방기, 보온성 향상, 국소 난방, 저비용 증발난방 등의 기술을 조합하여 유리온실에 대한 적용성을 높였으며 유리온실 주작목인 파프리카와 토마토를 대상으로 지중열원 히트펌프, 유리온실용 다겹보온커튼, 근권부 난방시스템으로 구성된 난방패키지 모델과 지중열원 히트펌프, 차광막, 포그냉방시스템으로 구성된 냉방패키지 모델을 제시하였다.

각 냉·난방 패키지 기술에 대한 성능시험 및 작물 생육 실증시험을 수행한 결과, 파프리카 난방 시 관행 온실 대비 난방비 87% 절감, 파프리카 냉방 시 수확량 12% 증수 효과를 확인하였으며, 토마토 난방 시 난방비 76% 절감 효과를 확인하였다. 기술보급 확산을 위해 개발기술의 경제성 분석을 실시하고 농식품부에 정책제안(2건)을 하여 기술보급 및 활용 방안을 제시하였다. 기술 홍보 및 평가를 위해 도농업기술원, 농업인, 관련 업체를 대상으로 현장평가회를 2회 개최하였으며, 농업전문지 등을 대상으로 24건의 언론홍보를 수행하였다. 개발기술과 관련하여 지식재산권(특허)을 출원하였으며 출원 특허에 대해 농업용 공조기 생산업체에 기술이전(유상)을 1건 완료하였다.

## ○ 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	연구개발 내용	달성도 (%)
- 파프리카 재배 유리온실 에너지절감 패키지 기술 개발	- 유리온실 파프리카 재배 에너지 절감 냉·난방 패키지 기술 개발 · 난방/냉방 패키지 시스템 구성 · 냉·난방 성능시험 및 생육조사	100
- 토마토 재배 유리온실 에너지절감 패키지 기술 개발	- 유리온실 토마토 재배 에너지절감 난방 패키지 기술 개발 · 난방패키지 성능시험 및 생육조사	100
- 유리온실 에너지절감 패키지기술 개발 및 보급 확산	- 파프리카, 토마토 재배 유리온실 에너지 절감 패키지 기술 보완 및 활용방안 제시 · 경제성 분석 및 현장평가회 개최	100

## ○ 정량적 성과목표 및 실적

구 분	지식재산권		논문		학술 발표	기술 이전	교육 지도	세미나 등	현장 평가회	자료 발간	정책 활용	영농 활용	홍보 전시	기타
	출원	등록	SCI	비 SCI										
최종목표	2			2	4	1	3	3	1	1	1	2	4	2
연구기간 내 달성실적	1			-	3	1	2	2	2	2	2	-	24	1
달성율(%)	50			-	75	100	67	67	100	100	100	-	100	50

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

국내 시설원예 농업은 상당한 자본과 기술 투입이 요구될 뿐 아니라 농가 경영비 중 광열비 비중이 20~40%를 차지할 정도로 에너지 다소비 산업으로 변모하고 있다(RDA, 2008). 시설원예는 1990년대 초 정부의 시설현대화 정책으로 빠른 증가세를 이어와 2005년 생산액 기준으로 노지재배를 추월하였다. 시설원예 면적 중 가온재배 면적은 2013년 기준 채소 13,980ha, 화훼 2,197ha로 전체의 27.4%, 86.1%를 차지하고 있으며, 최근 10년간 시설원예 전체 면적이 4.6% 증가하는 동안 가온재배 면적은 30.8% 증가하는 등 꾸준한 증가세를 유지해 왔다. 시설원예의 난방에너지의 소비구조는 유류가 전체의 84.8%로 대부분을 차지하여 편향된 소비구조로 국제 유가의 변동성에 취약한 구조이며, 지열을 포함한 신재생에너지의 비중은 0.88%로 미미한 수준인 반면 에너지 단가가 낮은 농사용 전력의 사용면적이 연간 20%씩 급속히 증가하고 있는 실정이다(MAFRA, 2014a, b). 한편 국내 시설원예작물의 수출액은 4,300억원('12)으로 전체 농산물 수출액의 8% 점유하고 있으며 파프리카, 토마토, 멜론, 딸기가 채소 수출의 35% 차지하고 있다. 최근 파프리카의 시설면적과 생산량 증가율이 시설작물 중 가장 높은 추세를 보여 왔으나 고온기 및 후한기의 생산량 저하는 대외 신뢰도 및 수출경쟁력 약화의 원인이 되고 있어 안정적 생산기술의 개발이 요구되고 있다.

국내에서 시설원예 에너지절감과 관련한 기술은 히트펌프, 펠릿난방기와 같은 난방비 절감형 냉난방기 이용기술, 기능성 피복재 등의 보온력 향상기술, 온도민감부 국소가온, 변온관리, 일몰 후 가온 등 에너지절감형 온도관리기술 등으로 분류할 수 있다. 난방에너지 절감형 공조기 이용기술로 히트펌프를 농업시설용 난방기로 활용하기 위한 적용성 평가 연구(Gracia 등, 1988; Willits와 Gurjer, 2004)가 수행되었으며, 국내에서 원예시설에 적용하기 위한 지열원 히트펌프 개발(Kang 등, 2007; Ryou 등, 2008)과 시설원예용 고효율 공기열원 히트펌프 개발(Kwon 등, 2013)과 관련한 연구가 수행되었다. 일본에서는 히트펌프의 초기투자비 부담 경감과 엄한기 안정적 시설 난방을 위해 공기열원 히트펌프와 중유난방기를 병용하는 하이브리드 히트펌프 시스템의 개발 및 현장적용 연구(Kawashima 등, 2008; Tong 등, 2011)가 수행되었으며 네폰, 히타치 등의 공조기 업체에서 농업용 하이브리드 히트펌프 시스템을 시판 중에 있다.

원예시설의 보온성 향상기술의 개발 및 현장적용 연구와 관련하여 시설 피복재의 재료에 따른 열적, 물리적 특성과 보온성능을 분석한 연구(Briassoulis 등, 1997a; Briassoulis 등, 1997b)가 수행되었으며 단동 비닐온실에서 내외부 다겹보온커튼 및 일반 보온커튼의 설치조건에 따른 온실 내부의 온도유지 능력과 작물의 수확량을 분석한 연구(Kwon 등, 2004)와 가온재배 온실의 대부분을 차지하고 있는 연동 비닐온실에 적용하기 위한 자동 수평예인권취식 다겹보온커튼 시스템의 개발과 난방연료 절감 및 수확량 개선 분석 연구(Lee 등, 2003)가 수행되었다.

재배시설의 전체 공간난방에 소요되는 과도한 에너지사용을 절감하고 작물의 온도민감기관을 집중 냉난방하는 국소냉난방 관련 기술은 주로 근권부를 대상으로 하였으나(Gosselin과 Trudel, 1983; Lee 등, 2001; Kim 등, 2010) 최근 온실의 난방 관리온도를 관행 대비 4°C 정도 낮게 관리할 수 있는 딸기 관부 국소난방기술(Sone 등, 2007; Sato와 Kitajima, 2010), 유인성 작물인 토마토의 작물체 하부를 상대적 저온으로 관리할 수 있는 토마토 생장부 국소난방기술(Kawasaki 등, 2011; Kwon 등, 2015) 등으로 대상이 확대되고 있다.

이상과 같이 다양한 기능을 기반으로 한 시설원예 냉난방 관련 에너지절감기술이 개발되어

왔으나 에너지절감효과를 극대화하기 위해서는 고효율 냉난방 공조기의 적용과 함께 보온성 향상, 열분배 등 에너지절감 관련 기술이 복합적으로 적용될 필요가 있다. 유리온실에 재배되는 고부가가치 농산물은 비교적 높은 온도로 관리되는 경우가 많으므로 저비용, 안정 생산을 위해서는 지금까지 개발된 시설원에 냉난방 관련 에너지절감기술의 복합적 활용과 적용효과에 대한 분석이 요구된다. 또한 농림축산식품부에서는 농가의 경영비 부담 경감을 위해 지열원, 공기열원, 폐열원 히트펌프 등의 농업용 히트펌프와 다겹보온커튼, 열회수환기장치 등 원예시설에 복합적으로 적용될 수 있는 다양한 에너지절감시설에 대한 설치비 지원 사업을 수행 중에 있다(MAFRA, 2016c).

본 연구에서는 최근 신축온실의 대부분을 차지하고 있는 벤로형 유리온실을 대상으로 적합한 냉난방 패키지기술 모델의 제시와 적용성 평가를 목표로 하였으며, 지중열 히트펌프, 유리온실용 알루미늄 다겹보온커튼, 수경재배 배지 국소가온용 온수배관을 조합한 난방패키지시스템과 지중열 히트펌프, 알루미늄 차광막, 포그냉방시스템을 조합한 냉방패키지시스템을 구성하여 유리온실 주작목인 파프리카와 토마토를 대상으로 냉난방 성능, 에너지절감 효과, 작물생육에 미치는 영향 등을 분석하였다. 또한 시설원예 현장에서의 활용성 증대와 에너지절감기술의 확산을 위해서는 농림축산식품부의 에너지절감기술 보급사업과 연계한 시설 및 작목 맞춤형 냉난방 패키지 기술의 개발과 보급을 위한 정책반영이 요구되고 있다.

# 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

## 제1절 유리온실 난방패키지 기술 개발

### 1. 유리온실용 난방패키지 모델 구성

#### 가. 유리온실용 다겹보온커튼 설치 및 성능평가

본 연구의 시험 대상 온실을 그림 1에 나타내었으며 온실은 경남 함안군 함안면 시설원에 연구소 소재 벤로형 유리온실(35°13'57"북, 128°25'19"동, 표고 45m)로 난방패키지 적용 온실과 대조구 온실 모두 각각 동고 5.5m, 폭 6.4m, 길이 36m의 온실 2동씩으로 구성되어 461m<sup>2</sup>의 면적을 가지며 방향은 모두 남북동이다. 두 온실 모두 상부에는 차광막 1층과 부직포 보온커튼 2층이 공통으로 설치되어 있다.

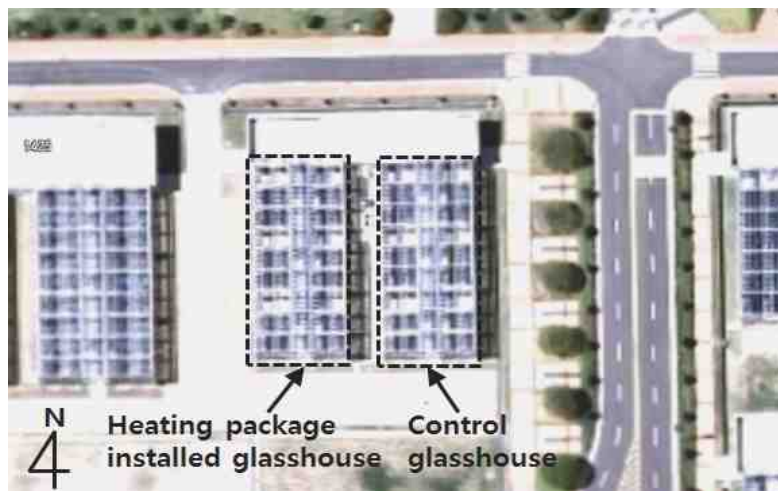


그림 1. 냉난방 패키지 적용온실 및 대조구 온실

국내의 단동 및 연동 비닐하우스에 설치하기 위한 다겹보온커튼 시스템은 개발되어 보급되고 있으나 벤로형 유리온실과 같이 다지붕 형태의 유리온실은 설치공간에 의한 그늘 발생, 각종 냉난방기, 순환팬 등의 환경조절장치, 유인선, 기존의 차광막 등과의 간섭 등으로 다겹보온커튼을 설치하기가 어렵다. 본 연구에서 적용된 다겹보온커튼은 아래의 그림 2과 같이 부식방지보온필름+중착 알루미늄+알루미늄 박막+부식방지 보온필름+방수부직포+흡수부직포로 구성된 6겹으로 약 2mm 두께이다. 보온커튼의 개폐는 권취축의 끝에 장착된 개폐모터의 구동에 의해 보온커튼이 권취축에 말리거나 펴지는 방식으로 야간 난방시의 커튼 전장과 주간 상부 말아올림이 수행되는 권취식 다겹보온커튼장치이다. 다겹보온커튼 시스템은 온실의 측면부에 전장되며 온실 상부는 기존의 알루미늄 차광막과 부직포의 3중 보온커튼으로 단열이 이루어진다. 그림 3에는 본 연구의 난방패키지 기술이 투입된 파프리카 재배 벤로형 유리온실에 알루미늄 다겹보온커튼이 설치된 장면이며, 그림 4은 파프리카 재배 대조구 온실에 부직포와 마트지를 조합한 일반 보온커튼이 설치된 상태를 보여주고 있다.



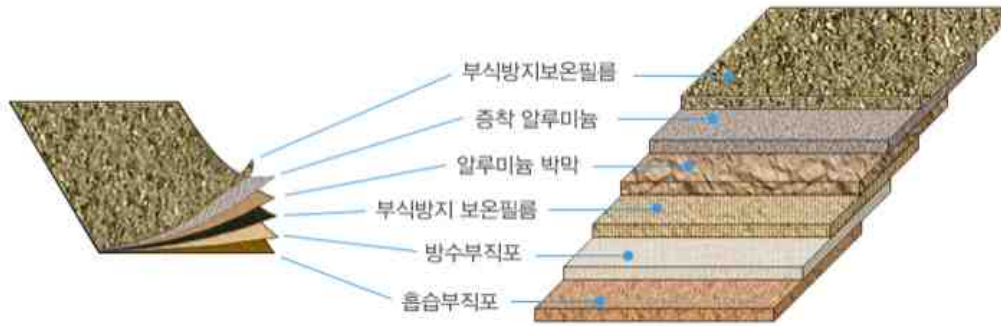


그림 2. 알루미늄 다겹보온커튼의 재질 구성



그림 3. 다겹보온커튼장치 설치장면(처리구)



그림 4. 일반 보온커튼장치 설치장면(대조구)

유리온실용 다겹보온커튼의 보온성능을 평가하기 위해 처리구에는 알루미늄 다겹보온커튼장치를, 대조구에는 일반 부직포 보온커튼장치를 각각 설치하고 온실 내 야간 온·습도 변화 조사하였다. 주간에는 두 온실 모두 보온커튼을 말아올려 태양복사에너지가 온실내에 유입되도록 하였으며 야간에는 보온커튼을 전장하여 무가온 상태에서 온실 내부의 온도변화로 보온성능을 평가하였다. 시험결과 야간에 외기온이 3.6℃에서 -6℃까지 변화하는 동안 알루미늄 다겹보온커튼이 설치된 처리구의 평균 온도는 2.9℃, 일반 보온커튼이 설치된 대조구의 평균 온도는 0.8℃로 나타나 알루미늄 다겹보온커튼 처리구에서 평균 2.2℃가 높게 나타나 보온성능이 상대적으로 높은 것으로 분석되어으며 이때 상대습도는 처리구의 기온이 높아 대조구에 비해 약 9% 낮게 나타났다. 알루미늄 다겹보온커튼은 적외선 반사로 인해 자체의 단열성은 높으며, 일반 6겹 다겹보온커튼에 비해 부피가 작은 것이 장점이나 가격이 상대적으로 높고 신축성이 적어 권취를 반복함에 따라 주름이 발생하며 커튼 측면부, 모서리부의 틈새가 발생하기 쉬운 단점이 확인되어 보온력 향상을 위해 재료와 설치방법에 대한 보완이 필요한 것으로 판단되었다.

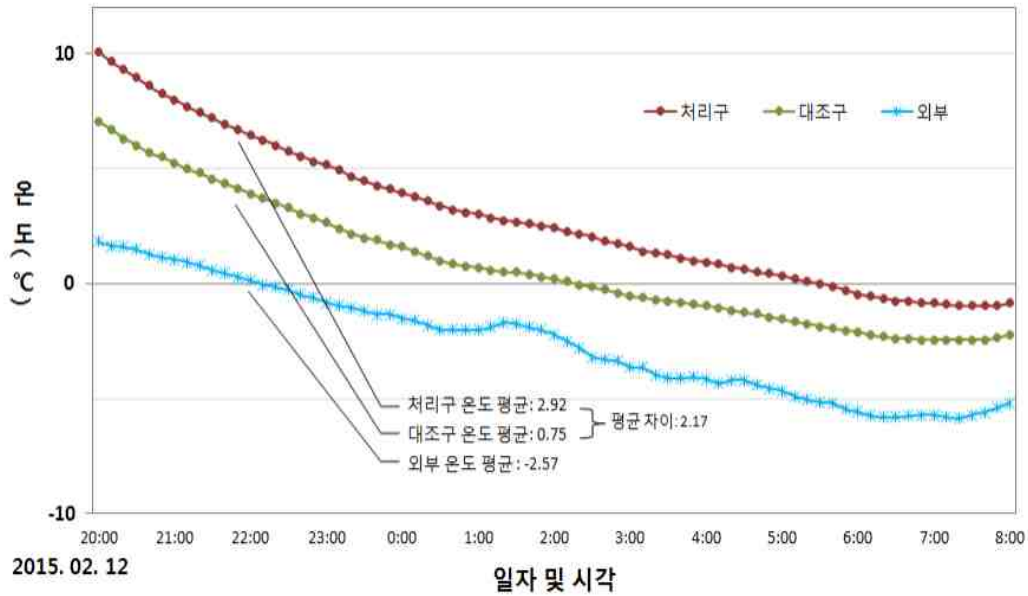


그림 5. 다겹보온커튼(처리구) 및 보온커튼(대조구)의 온실 온도 비교 그래프

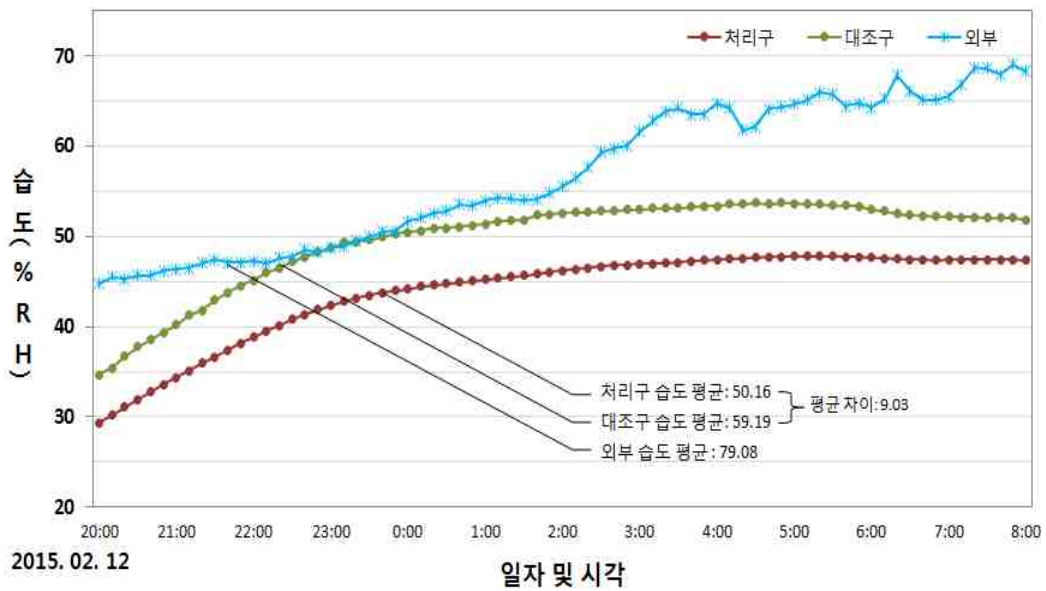


그림 6. 다겹보온커튼(처리구) 및 보온커튼(대조구)의 습도 비교 그래프

#### 나. 유리온실용 지중열 태양열 이용 냉난방 시스템 설계 제작 및 현장설치

유리온실 냉난방 공조기로 적용한 지중열 이용 및 태양열 축열 가능 히트펌프를 설계, 제작 하였다. 지중열 히트펌프의 작동원리는 지하수와 연계된 물탱크 내에 열교환용 코일(증발기)을 설치하고, 코일 관내의 열교환용 냉매가 고온고압 등에 의한 상변화로 탱크 내 물에서 에너지를 흡수 및 증폭시켜 부하측(온실)에 전달하여 작물재배용으로 난방하며 주간에는 온실내의 태양 잉여열을 팬코일유닛을 이용하여 물탱크로 공급하는 축열기능을 구비하고 있다.

시스템의 구성은 지하 물탱크(48톤/10a), 히트펌프(105kW), 축열장치, 팬코일유닛 등이며 아래 그림에 난방운전과 역사이클에 의한 냉방운전의 흐름도를 나타내었다.

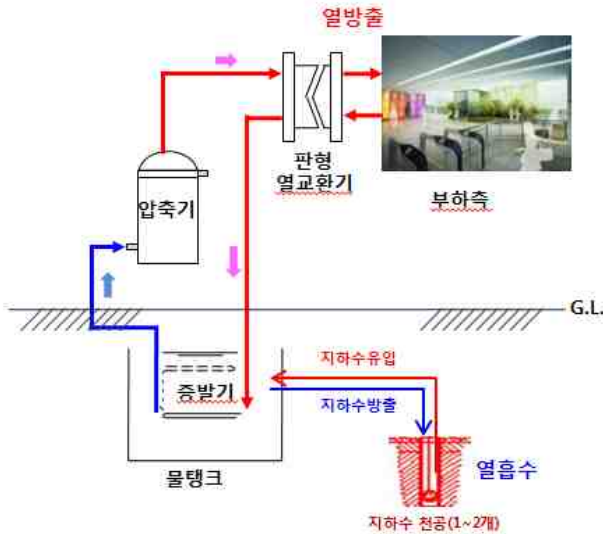


그림 7. 난방시스템의 흐름도

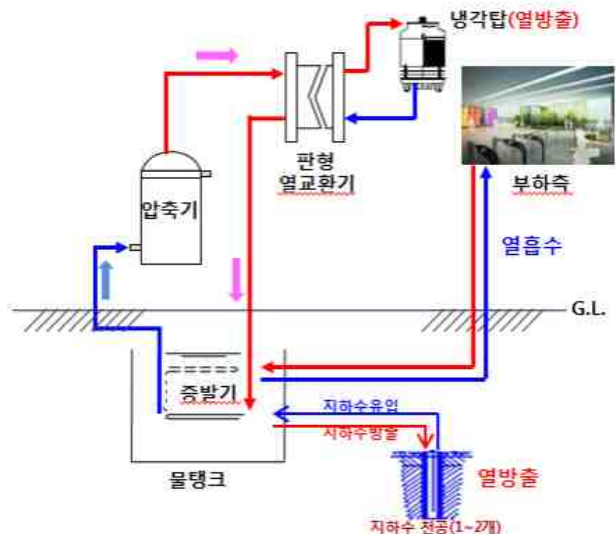


그림 8. 냉방시스템의 흐름도

적용된 시스템의 특징은 지하 물탱크의 지하수열과 주간에 축열된 태양 잉여열을 활용함으로써 시스템 효율이 일반 지열원 히트펌프에 비해 높다. 또한 지중에 열교환기를 매설하지 않고 지하물탱크에 저장한 지하수를 열원으로 바로 이용하므로 일반 수직 또는 수평 밀폐형 지열원 히트펌프에 비해 설치비와 설치 소요기간이 대폭 단축되고 열교환기 설치에 요구되는 공간도 크게 줄일 수 있다. 부가적으로 천공 등의 작업이 필요 없으므로 지질특성을 고려할 필요가 없으며 시스템 원격관리 가능하며 부품수의 감소로 유지보수가 용이하고 과열/과냉 열교환 방식으로 잔류가스를 최소화함으로써 시스템 성능 향상되는 장점이 있다.

지중열 이용 냉난방 시스템은 상기의 다겹보온커튼이 설치된 시험용 벤로형 온실에 설치하여 난방패키지를 구성하였다. 시스템의 난방용량은 90,720kcal/h(30RT, 105kW)이며 지중에 설치한 물탱크 용량은 48m<sup>3</sup>로 운전 시 지하수는 40톤을 채워 가동한다. 주간에 물탱크 내에 축열되는 온실내 태양잉여열의 난방열량은 전체 난방부하의 20%(겨울철)에서 40%(봄,가을) 정도로 분석되나 실제 가동 시 팬코일유닛의 성능, 지하수의 상대적 온도, 일기 등에 따라 편차가 클 것으로 판단된다.



히트펌프(2대) 및 열원탱크



열교환용 팬코일유닛(FCU)





온수탱크 및 배관



쿨링타워 및 지하 물탱크(20톤×2대)



양액공급시스템(PRIVA社)



알루미늄 방열판

그림 9. 지중열 냉난방시스템 난방패키지 적용온실 설치

#### 다. 근권난방장치 설치 및 성능평가

재배작물의 근권부 국소 가온을 위해 수정재배 베드의 슬라브 하부에 온수용 엑셀(XL) 배관(Ø200mm)를 2열로 설치하였다. 근권부 난방 시에는 지중열 히트펌프 시스템의 축열조에서 온수를 공급받아 통수하며 하절기에는 지하수 또는 냉방수를 순환하여 냉방 활용 가능하다.

근권부 난방장치 설치 유무에 따른 수정재배 베드 근권부 온도를 비교하기 위해 수정재배 베드에 근권난방장치를 설치한 처리구와 미설치한 대조구에 대해 야간 근권부 온도를 측정하였다. 측정결과 그림 10과 같이 야간 외기온이 -1℃에서 4.5℃까지 변화할 때, 수정재배 베드에 근권난방장치가 설치된 처리구의 평균 온도는 23.1℃, 미설치된 대조구의 평균 온도는 18.4℃로 처리구에서 평균 4.7℃가 높게 나타나 겨울철 작물재배 시 근권난방효과를 기대할 수 있는 것으로 판단되었다.

## 2. 유리온실용 난방패키지 모델 성능평가

### 가. 파프리카 재배 유리온실 적용효과

#### (1) 난방성능 및 성능계수 분석

지중열 이용 히트펌프, 알루미늄 다겹보온커튼, 근권난방장치로 구성된 난방패키지 기술의 성능평가를 수행하였다. 시험작물은 파프리카(쿠프라)이며 처리구는 난방패키지 기술이 투입된 벤로형 유리온실(461m<sup>2</sup>)과 대조구는 유류온수보일러와 일반 보온커튼이 설치된 동일 형태 및 면적의 유리온실조건을 대상으로 하였다. 주요 조사내용은 시험구별 온도, 연료소모량, 난방비, 물생육 등이며 측정에 사용된 계측기는 온도의 경우 백급저항온도계(PT-100Ω)를, 연료소모량은 미소유량계(Diaphragm-type, SSO-8) 및 전자식 전력량계(OMWH-121-A)를 사용하였고,

작물 생육 및 수량조사는 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분석기준에 준하여 실시하였다. 유류비 산정에 있어서 면세경유의 가격은 2015년도 2~3월 가격인 800원/L을, 전력단가는 농사용전력(을)을 기준으로 기본요금을 포함하여 kWh당 43원을 적용하였다. 히트펌프 시스템의 난방성능계수(COP)의 산정은 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

$$COP = \frac{P_W \cdot V_W \cdot C_W \cdot (T_{W,o} - T_{W,i})}{P_{HP}}$$

여기서, COP : 성능계수, P<sub>HP</sub> : 히트펌프의 소비 전력(kW), P<sub>w</sub> : 열전달매체의 밀도 (kg/m<sup>3</sup>), V<sub>w</sub> : 열전달매체의 체적 유량(m<sup>3</sup>/h), C<sub>w</sub> : 열전달매체의 비열 (kcal/kg · °C), T<sub>w,i</sub>, T<sub>w,o</sub> : 응축기 입 · 출구 열전달매체온도(°C)

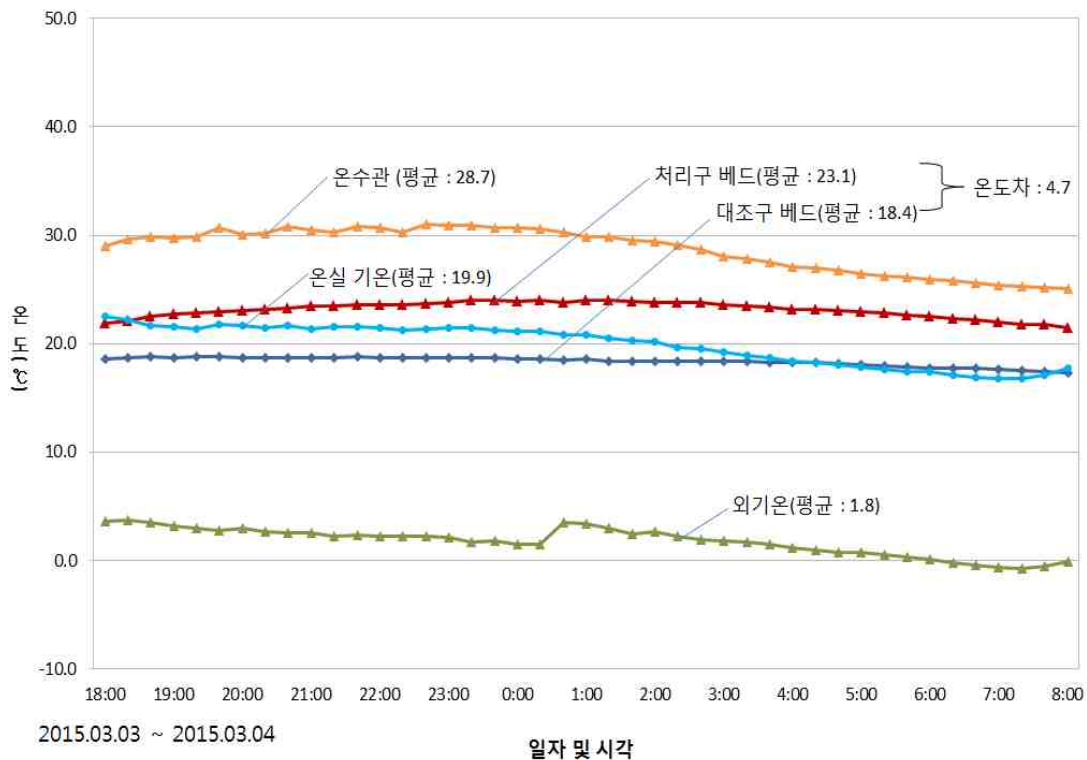


그림 10. 근권난방장치 설치 유무(처리구, 대조구)에 따른 온도 비교

시험결과 난방패키지 기술 투입온실의 온실내부 기온은 2015년 3월 12일 외기온이 -0.02~4.6°C인 야간에 온실 내 난방기의 설정온도가 21°C일 때, 온실 내 온도는 최저 19.8°C에서 최고 22.2°C로 ±1.2°C 내의 편차를 보여 난방온도를 잘 유지하였으며, 이때 지중열 이용 시스템에 의한 평균 생산에너지는 77,793.8kcal/h, 소비전력은 20,536.8kcal/h로 나타나 평균 난방성능계수(COP)는 3.8로 나타났다. 또한 2015년 2월 26일부터 4월 7일까지 40일간 히트펌프에서 생산된 난방 평균 열량이 75,991kcal/h이었으며, 난방 운전기간 소비전력을 환산한 열량은 20,537kcal/h으로 나타나 평균 난방 성능계수(COP)는 3.7로 분석되었다.

표 1 지중열 이용 시스템 난방 성능계수(COP) 분석

시간 (h)	외기온 (°C)	온실 내 온도(°C)	열교환 입구 온도(°C)	열교환 출구 온도(°C)	생산에너지 (kcal/h)	소비전력 (kcal/h)	난방성능계수 (COP)
1:00	3.3	20.9	35.9	38.2	75330.0	20536.8	3.7
2:00	1.8	20.8	35.2	37.6	75870.0	20536.8	3.7
3:00	2.5	20.8	34.1	36.5	76680.0	20536.8	3.7
4:00	2.0	20.7	32.9	35.2	76950.0	20536.8	3.7
5:00	1.1	20.5	31.8	34.2	79515.0	20536.8	3.9
6:00	0.4	20.2	30.8	33.2	78435.0	20536.8	3.8
7:00	-0.02	19.8	30.2	32.6	80190.0	20536.8	3.9
8:00	0.8	20.1	30.2	32.7	79380.0	20536.8	3.9
평균	1.5	20.5	32.6	35.0	77793.8	20536.8	3.8

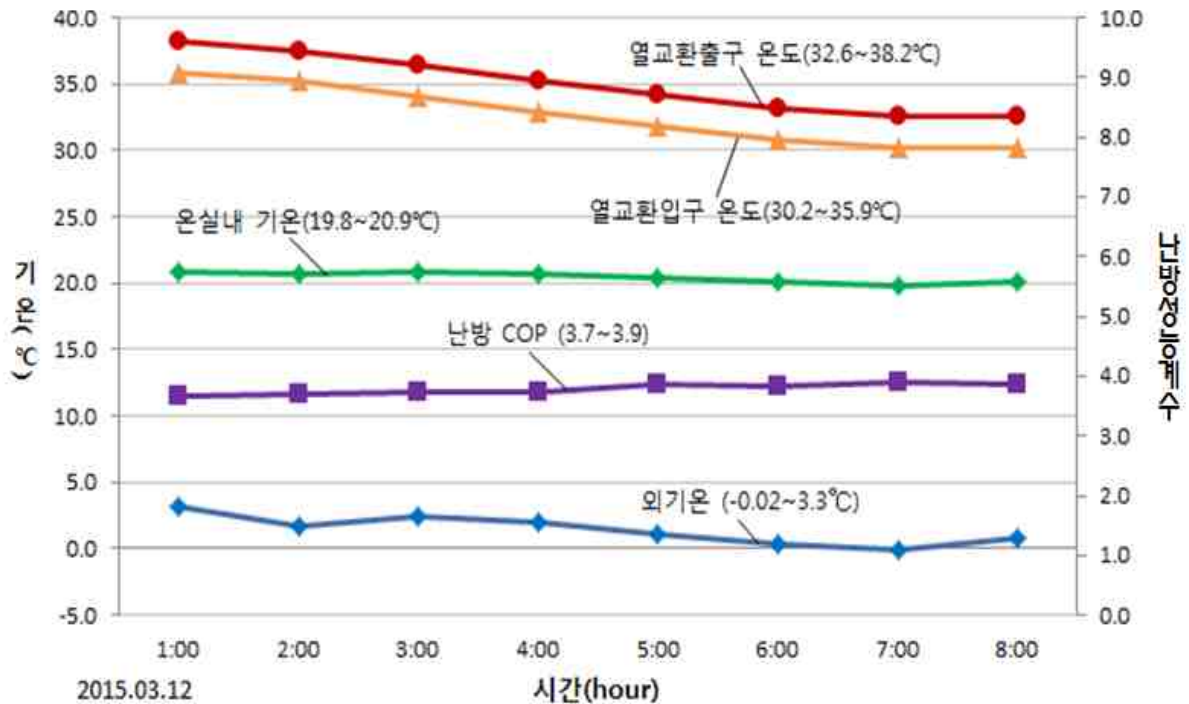


그림 11. 온실 온도 및 난방성능계수(COP) 변화

표 2 지중열 이용 시스템 평균 난방성능계수(COP)

난방 운전기간	2015.02.26.~2015.04.07.(40일)
난방 소비전력	합계 : 20,537kcal/h - 히트펌프 : 11.19kW×2대 - 교반기 펌프 : 1.5kW×1대
생산 에너지	평균 : 75,991kcal/h
난방 성능계수	평균 : 3.7

※ 에너지 단위 변환: 1kW = 860kcal/h 기준

난방패키지기술 적용에 의한 난방비 절감효과를 분석하기 위해 10a당 시험구별 연료소모량을 조사하였으며 각 연료별 단가를 적용하여 난방비용을 계산하였다. 유류온수보일러가 설치된 대조구에서는 경유 14,071L와 364kWh의 전력이 소모되었으며, 난방패키지기술이 적용된 처리구에서는 35,082kW의 전력이 소비되었으며 이를 난방비로 환산한 결과 대조구는 10a당 11,272천원, 처리구는 1,509천원이 소요되어 난방패키지기술에 의한 난방비 절감효과는 약 87%인 것으로 분석되었다.

표 3 시험구별 연료소모량 및 난방비용 분석 (10a 기준)

구 분	대조구		처리구
	유류사용량(L)	전력소비량(kWh)	전력소비량(kWh)
연료소모량 (L, kW)	14,071	364	35,082
난방비(천원)	11,256	16	1,509
합 계(천원)	11,272 (A)		1,509 (B)
비 고(B/A)	0.13		

※ 유류비(2015년 2~3월 평균 가격) : 1L당 800원 적용  
 전력단가(농업용‘을’ 기준) : kWh당 43원 적용, 조사기간 : 2015.2.26~4.7(40일간)

**(2) 파프리카 생육 분석**

시험에 사용된 파프리카 품종인 쿠프라를 2015년 2월 26일에 정식 후 1차 생육조사를 3월 9일에, 2차 생육조사를 4월 28일에 각각 실시한 결과, 초장, 엽수, 경경 등에서 처리구와 대조구 간에 T-검정 유의수준 0.05에서는 유의한 것으로 나타났으나 전체적으로 생육적인 측면에서 큰 차이가 없는 것으로 판단되었다. 다만 처리구가 대조구에 비해 파프리카 수확이 약 7일 정도 조기 수확 가능한 것으로 나타났으며 이는 처리구가 난방패키지 기술에 의한 정밀 환경관리 영향으로 사료되나 정확한 분석을 위해 추후 반복시험이 필요한 것으로 판단되었다.

표 4 파프리카 시험구별 생육조사 결과

구분	처리구						대조구					
	초장 (cm)	엽수 (매)	경경 (mm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽록소	초장 (cm)	엽수 (매)	경경 (mm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽록소
1차 조사	27.4	11.8	4.0	10.1	5.5	46.3	30.0	12.7	4.2	11.1	5.9	49.1
2차 조사	99.2	43.3	12.6	16.8	8.6	64.2	99.1	42.8	13.2	18.5	9.2	62.5
평균 차이	71.8	31.6*	8.5	6.7	3.1	17.9*	69.1	30.2	9.0*	7.4	3.3	13.4

※ 파종 : 2014.01.05. 정식 : 2015.2.26. 생육조사 : 1차(2015.3.9.), 2차(2015.4.28.)

\* : T 검정 유의수준 0.05에서 유의함을 나타냄.

표 5 생육조사 결과에 대한 통계검정

구분		기술통계량		T-검정		
		평균	표준편차	t	유의 확률	차이의95% 신뢰구간
초장(cm)	처리구	71.8	8.5	1.478	0.1448	(-0.8550, 5.7316)
	대조구	69.3	7.5			
엽수(매)	처리구	31.6	2.2	3.6091*	0.0005	(0.7463, 2.5728)
	대조구	29.9	2.3			
경경(mm)	처리구	8.5	0.8	-2.1407*	0.035	(-0.7477, -0.0280)
	대조구	8.9	0.9			
엽장(cm)	처리구	6.7	1.6	-1.5552	0.123	(-1.2950, 0.1576)
	대조구	7.3	1.9			
엽폭(cm)	처리구	3.1	0.8	-0.6598	0.511	(-0.4693, 0.2352)
	대조구	3.2	0.9			
엽록소	처리구	18.0	10.5	2.2966*	<.0001	(0.7195, 9.9421)
	대조구	12.6	12.0			

※ \*은 T 검정 유의수준 0.05에서 유의함을 나타냄.



<처리구>

<대조구>

그림 12. 파프리카 생육 상태

표 6 파프리카 시험구별 생육조사 결과

구분	처리구						대조구					
	초장 (cm)	엽수 (매)	경경 (mm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽록소	초장 (cm)	엽수 (매)	경경 (mm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽록소
1차 조사	33.3	15.1	4.2	10.5	5.8	48.3	34.6	14.9	4.3	11.0	6.0	53.0
2차 조사	101.0	42.9	12.3	16.7	9.0	63.8	98.6	42.9	12.2	17.3	9.2	60.1
평균 차이	67.6*	27.8	8.1	6.2	3.2	15.5*	64.0	28.0	7.9	6.3	3.2	7.1

※ 파종 : 2014.12.17. 정식: 2015.2.26. 생육조사 : 1차(2015.3.9.), 2차(2015.4.28.)



표 7 생육조사 결과에 대한 통계검정

구분		기술통계량		T-검정		
		평균	표준편차	t	유의 확률	차이의95%신뢰구간
초장(cm)	처리구	67.6	7.8	2.7873*	0.006	(1.0404, 6.1463)
	대조구	64.0	6.3			
엽수(매)	처리구	27.8	2.5	-0.588	0.557	(-1.1639, 0.6305)
	대조구	28.0	2.4			
경경(mm)	처리구	8.1	0.9	1.0943	0.276	(-0.1619, 0.5619)
	대조구	7.9	1.1			
엽장(cm)	처리구	6.2	1.6	-0.544	0.587	(-0.7576, 0.4309)
	대조구	6.3	1.7			
엽폭(cm)	처리구	3.2	1.0	-0.492	0.623	(-0.4101, 0.2467)
	대조구	3.2	0.9			
엽록소	처리구	15.5	11.0	4.2122*	<.0001	(4.4333, 12.3001)
	대조구	7.1	10.8			

(주) \*은 T 검정 유의수준 0.05에서 유의함을 나타냄.



<처리구>

<대조구>

그림 13. 파프리카 생육 상태

#### 나. 토마토 재배 유리온실 적용효과

##### (1) 난방성능 및 성능계수 분석

난방패키지 시스템을 증온성 작물인 토마토 재배 유리온실에 적용하여 난방성능 및 난방에너지절감효과를 분석하였다. 처리구와 대조구는 파프리카 적용시험과 동일하며 토마토 품종은 과형과 경도가 우수하고 병저항성이 높은 신품종 244를 선정하였다. 처리구에는 난방 패키지인 다겹보온커튼+지중열 이용 난방시스템+근권난방장치를 설치하고, 대조구에는 부직포와 유류온수보일러가 설치된 상태에서 야간 온도의 경우 시험구 난방기 설정온도를 17℃로 하였을 때 시험구별 온·습도 변화 조사하였다.

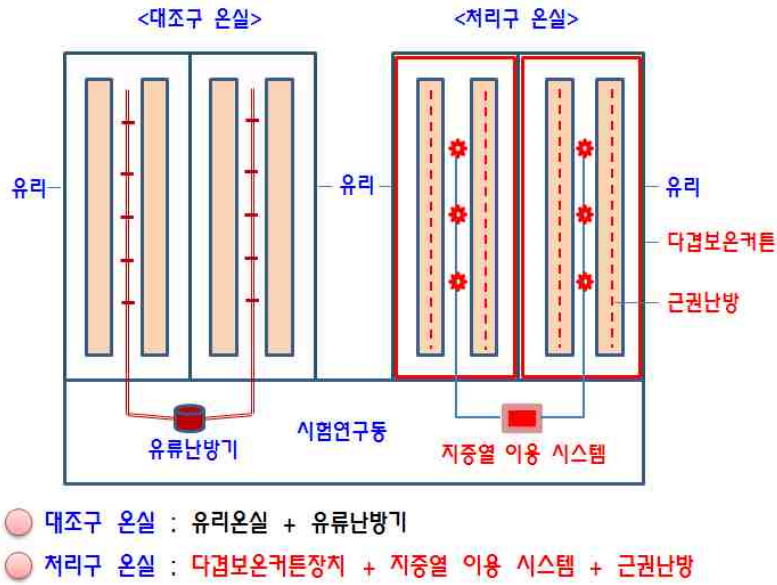


그림 14. 유리온실 난방 패키지 구성도

시험결과 야간 온도의 경우 외부 평균 기온이 0.5℃일 때 대조구 평균 온도는 17.7℃, 처리구의 온도는 17.8℃로 유사하게 나타났으며, 야간 습도는 외부 평균 습도가 69.0%일 때 대조구의 평균 습도는 56.4%, 처리구의 평균 습도는 49.6%로 대조구에 비해 6.8% 낮게 나타났다. 주간 온도는 외부 평균 온도가 11.9℃일 때 대조구 및 처리구의 각각 평균 온도는 25.2℃, 25.1℃로 차이가 없었으며, 상대습도는 외부 평균 습도가 40.6%일 때 대조구 평균 습도는 42.2%로 큰 차이가 없었으나 처리구에서는 49.1%로 약간 높게 나타났다.

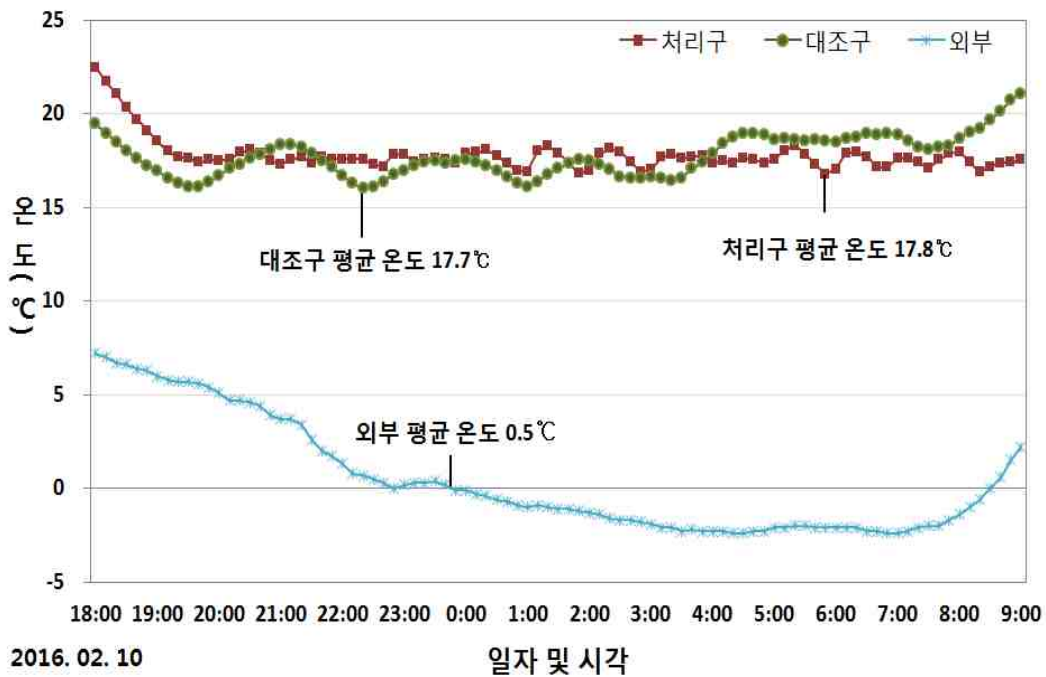


그림 15. 시험온실 처리구와 대조구간 야간 온도 비교

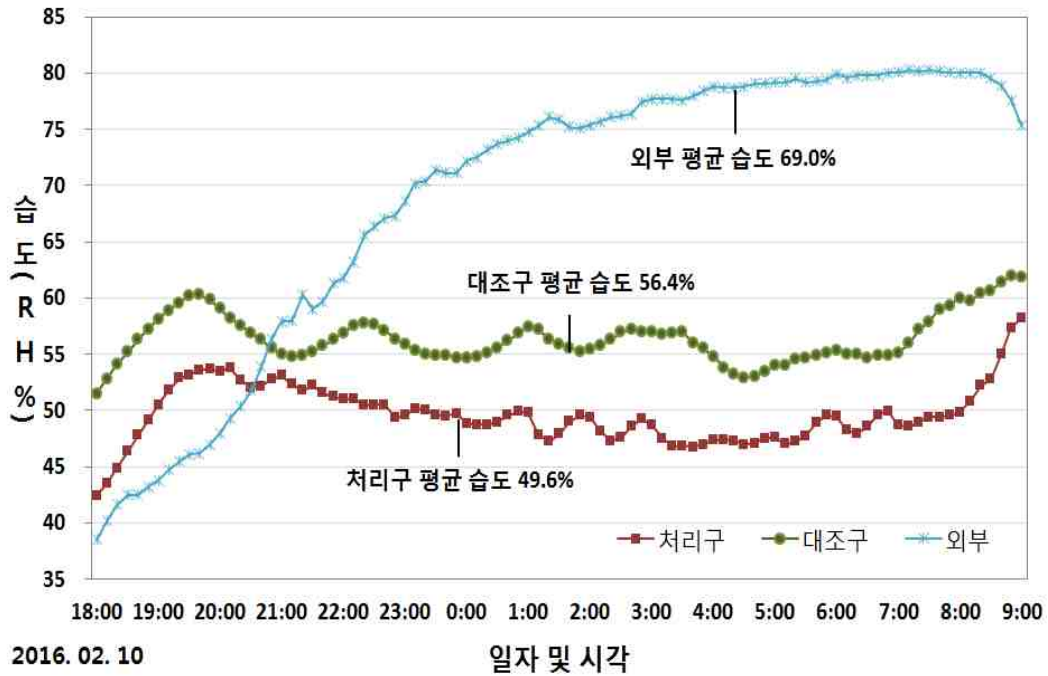


그림 16. 시험온실 처리구와 대조구간 야간 습도 비교

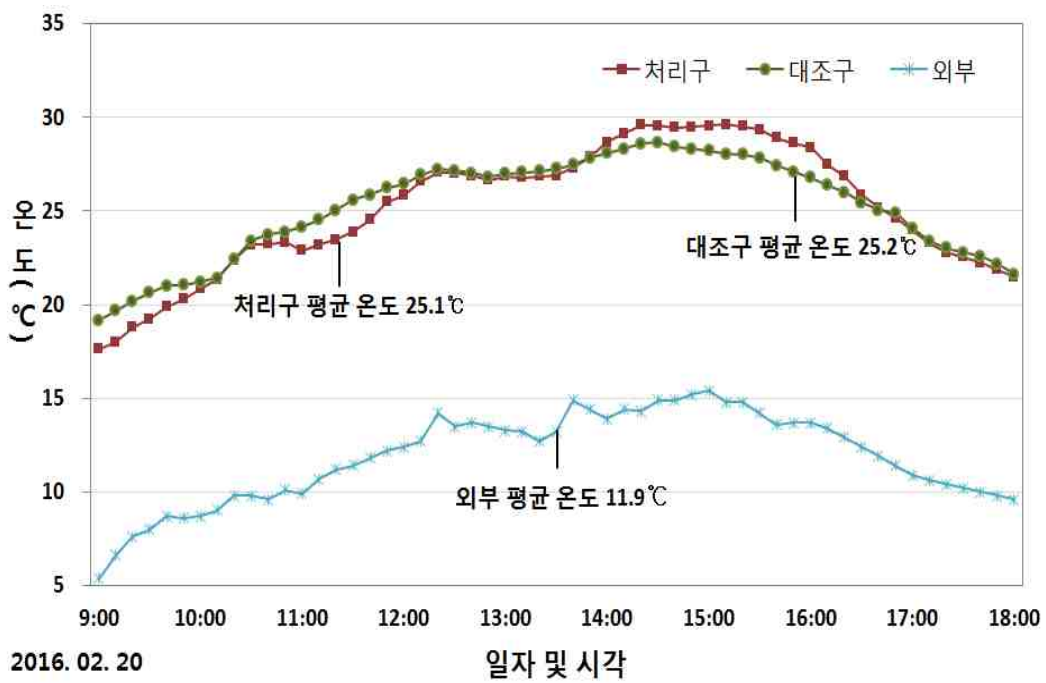


그림 17. 시험온실 처리구와 대조구간 주간 온도 비교

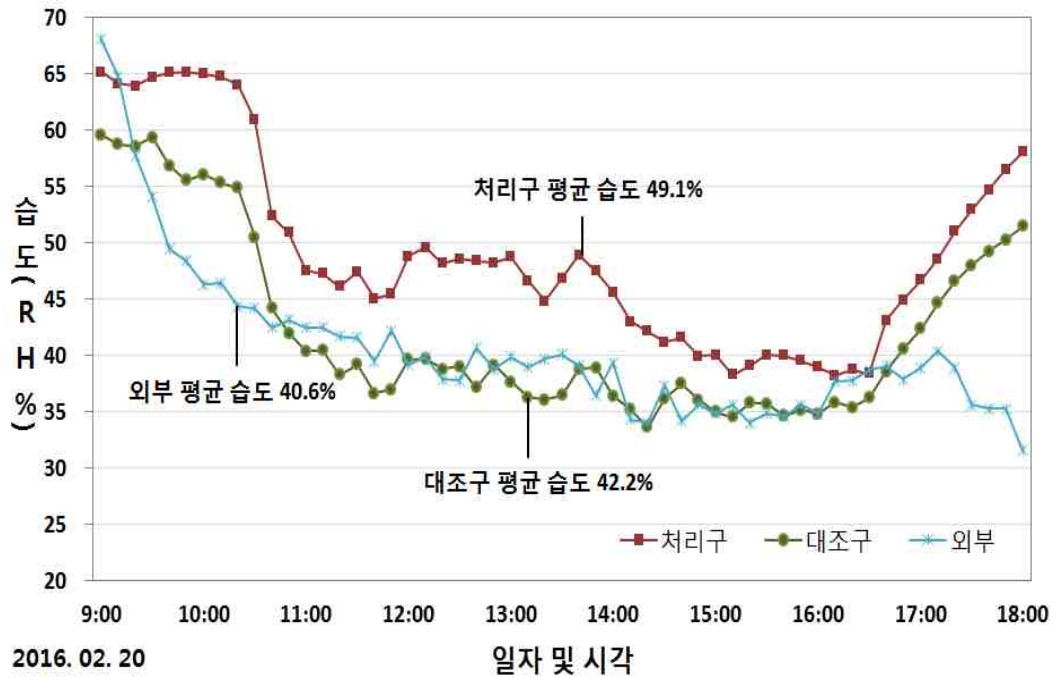


그림 18. 시험온실 처리구와 대조구간 주간 습도 비교

토마토 재배시험에서 지중열 히트펌프 시스템의 성능계수를 분석한 결과 2016년 2월 13일부터 2월 24일까지 11일간 히트펌프에서 생산된 난방 열량이 15,816,000kcal이었으며, 난방 운전기간 소비전력은 5300kWh로 나타나 평균 시스템 난방 성능계수(COPh)는 3.47로 분석되었다.

표 8 시스템 난방 성능계수(COPh)

난방 운전기간	2016. 02. 13. ~ 02. 24.(11일)
난방 소비전력	합계 : 5300kWh - 히트펌프 : 11.19kW×2대 - 교반기 펌프 : 1.5kW×1대
생산 에너지	15,816,000kcal
평균 난방 성능계수	3.47

※ 에너지 단위 환산: 1kW = 860kcal/h 기준

토마토 재배 유리온실에 난방패키지 기술 적용에 따른 난방에너지 및 비용 절감효과를 분석하였다. 2015년 12월 10일부터 2016년 3월 7일까지 약 3개월간 10a당 시험구별 연료소모량은 유류난방기가 설치된 대조구에서는 경유 25,374L와 624kW의 전력이 소모되어 17,789천 원의 난방비가 소요되었으며, 패키지기술이 적용된 처리구에서는 98,427kW의 전력이 소비되어 4,232천 원의 난방비가 소요되었다. 따라서 난방패키지 적용은 관행 난방온실 대비 약 76%의 난방비용 절감효과가 있는 것으로 분석되었다.

표 9 시험구별 연료소모량 및 난방비 비교

(10a 기준)

구 분	대조구		처리구
	유류사용량(L)	전력소비량(kWh)	전력소비량(kWh)
연료소모량 (L, kW)	25,374	624	98,427
난방비(천원)	17,762	27	4,232
합 계(천원)	17,789 (A)		4,232 (B)
비 고(B/A)	0.24		

※ 유류비(2015년 12 ~ 2016. 3월 평균 가격) : 1L당 700원 적용

전력단가(농업용) : kWh당 43원 적용, 조사기간 : 2015.12.10.~ 2016.03.07.(약 3개월간)

**(2) 토마토 생육 및 수확량 분석**

토마토 동양계 신품종인 244를 2015년 9월 23일에 정식 후 2015년 10월 15일부터 11월 29일 까지 4차례 생육조사를 실시하였다. 아래 표에서 보는 바와 같이 생육조사 결과 정식 후 23일 (1차)에서 정식 후 66일(4차)이 경과 후의 초장 차이는 처리구에서 1cm 컸으며, 엽장, 엽폭, 경경에서는 약간 작게 나타났으며, 엽수는 약간 크게 나타났다. 엽수와 경경에서 처리구와 대조 구간에 T-검정 유의수준0.01 등에서는 유의한 것으로 나타났다.

표 10 토마토 시험구별 생육조사 결과

날 짜	구분	초장(cm)	엽장(cm)	엽폭(cm)	엽수(매)	경경(mm)
2015-10-15 (1차)	처리구	51.1	36.7	25.2	12.5	7.7
	대조구	51.0	35.7	24.2	13.1	7.4
2015-10-29 (2차)	처리구	90.1	42.5	39.3	18.1	12.1
	대조구	86.6	42.5	39.3	18.0	12.0
2015-11-11 (3차)	처리구	114.9	43.3	40.5	21.3	12.9
	대조구	115.7	43.2	40.8	21.5	12.9
2015-11-29 (4차)	처리구	140.6	44.0	41.5	23.7	13.4
	대조구	139.5	44.0	41.6	23.6	13.9
4차-1차 차이	처리구	89.5	7.3	16.3	11.2	5.7
	대조구	88.5	8.3	17.4	10.5	6.5

표 11 생육조사 결과에 대한 통계검정

구 분		기술통계량		T-검정		
		평균	표준편차	t	유의 확률	차이의 95%신뢰구간
초장(cm)	처리구	89.6	11.2	0.81679	0.415	(-1.5477, 3.7366)
	대조구	88.5	8.3			
엽장(cm)	처리구	7.3	4.5	-1.863	0.0639	(-2.2392, 0.06323)
	대조구	8.4	4.1			
엽폭(cm)	처리구	16.3	5.9	-1.5625	0.1197	(-2.7055, 0.3129)
	대조구	17.4	5.4			
엽수(매)	처리구	11.2	1.6	3.7078***	0.0003	(0.3425, 1.1204)
	대조구	10.5	1.3			
경경(mm)	처리구	5.7	2.0	-2.7777**	0.006	(-1.2957, -0.2201)
	대조구	6.5	2.1			

(단) \*은 유의수준 0.05에서 유의함을 나타냄.  
 \*\*은 유의수준 0.01에서 유의함을 나타냄.  
 \*\*\*은 유의수준 0.001에서 유의함을 나타냄.



<처리구>



<대조구>

그림 19. 토마토 생육 비교

2015년 12월 10일부터 2016년 2월 12일까지 토마토 수량조사를 실시한 결과 10a당 토마토 상품과 수량은 대조구에서 2,319.1kg, 처리구에서 2,352.1kg으로 나타나 대조구에 비해 1.4% 증수되는 것으로 나타났다. 상품과율은 대조구에서 97.3%, 처리구에서 98.1%로 나타나 대조구에 비해서 약간 높게 나타났다. 대조구와 처리구간 수량 차이가 없는 것은 난방 온도가 비슷하고, 환경에 비교적 덜 민감한 토마토 품종 특성 요인인 것으로 사료된다. 이때 T검정 5% 유의수준에서 분석결과 처리구와 대조구간에 유의성이 없는 것으로 나타났다.

표 12 시험구별 토마토(244) 수량조사

(10a 기준)

구 분	상 품 과	
	수량(kg)	상품과율(%)
대조구 (유류난방, A)	2,319.1	97.3
처리구 (난방패키지, B)	2,352.1	98.1
비교 (B/A*100)	101.4	100.8

※ 수확시기: 2015.12.10.~2016.02.12.(9회 수확, 수확일 : 2015.12.10, 12.16, 12.23, 12.30, 2016.1.7., 1.15, 1.27, 2.4, 2.12.)

유의성 검정 : T 검정, 5% 유의수준에서 유의성 없음





<처리구>

<대조구>

그림 20. 토마토 수확기 비교

처리구와 대조구의 토마토 244 품종에 대한 평균 당도는 4.8~4.9°Brix로 비슷하게 나타났으며, 정식 후 첫 수확시기인 1차 조사 시에는 4.4°Brix 였으나 2~3월에는 기온 상승에 따라 당도도 5.2~5.4°Brix로 높아지는 경향을 나타내었다.

표 13 토마토 당도 조사

날 짜	처리구		대조구	
	개수	정상과 당도(°Brix)	개수	정상과 당도(°Brix)
2015-12-10 (1차)	90	4.4	75	4.4
2015-12-16 (2차)	85	4.8	91	4.9
2015-12-23 (3차)	142	4.9	194	4.7
2015-12-30 (4차)	180	4.7	197	4.6
2016-01-07 (5차)	97	4.9	93	5.1
2016-01-15 (6차)	138	5.1	85	5.1
2016-01-27 (7차)	98	4.8	219	4.9
2016-02-04 (8차)	131	4.0	124	4.1
2016-02-12 (9차)	154	5.4	138	5.3
2016-03-14 (10차)	224	5.2	195	5.4
합계 및 평균	1,339	4.8	1411	4.9

## 제2절 유리온실 냉방패키지 기술 개발

### 1. 유리온실용 냉방패키지 모델 구성 및 성능시험

#### 가. 유리온실용 냉방패키지 설계 및 설치

벤로형 유리온실에 적용하기 위한 냉방패키지 시스템을 설계하고 시험온실에 설치하였다. 냉방패키지는 지중열 히트펌프 시스템을 냉방사이클로 운전하며 주간 온실 내 태양복사를 최소화하기 위한 알루미늄 차광스크린과 포그노즐을 이용한 증발 냉방시스템으로 구성하였다. 대조구 온실은 벤로형 온실의 동고 천창을 이용한 자연환기와 알루미늄 차광스크린을 이용하여 온도조절을 하였다. 차광스크린은 알루미늄 스크린으로 차광률 30%와 60%의 2중 커튼을 사용하였으며 지중열 히트펌프 시스템은 난방용 시스템의 역사이클 냉방 운전으로 축냉조에 냉방수를 생산한 후 이를 36대의 팬코일유닛으로 순환시켜 온실을 냉방하였다. 포그시스템은 2류체 저압 포그 노즐로 일반 미스트의 물방울 직경은 1,000  $\mu\text{m}$  정도인데 비하여 입자 직경을 약 40  $\mu\text{m}$  이하로 분사할 수 있어 기화잠열에 의한 냉방효과가 크다.

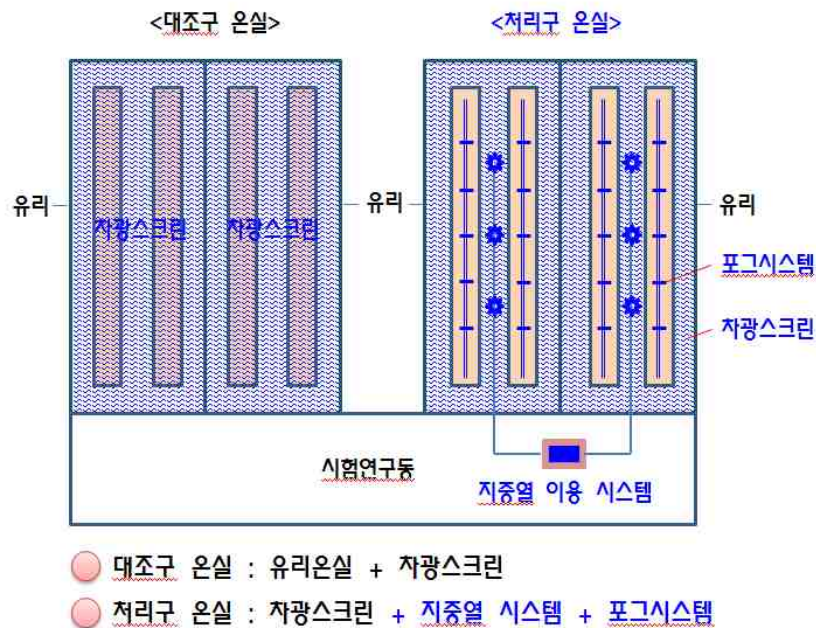


그림 21. 유리온실 냉방 패키지 시험구 배치



<차광스크린>

<지중열 냉방시스템>

<포그시스템>

그림 22. 유리온실 냉방 패키지 시스템 구성



### 나. 유리온실용 냉방패키지 성능시험

시험 작물은 파프리카(쿠프라)이며 처리구와 대조구 온실에 대해 하절기 시험구별 온습도, 작물 생육 및 수량을 조사하였다. 처리구에는 냉방 패키지인 알루미늄 차광스크린+지중열 이용 냉방시스템+포그시스템을 설치하고, 대조구에는 알루미늄 차광스크린만 설치된 상태에서 낮동안 온실 온도가 30℃ 이상일 때 각각 장치가 작동된 상태에서 온실 내 온·습도 변화 조사하였다. 시험 결과 외부 평균 기온이 36.0℃일 때 차광스크린을 전장하고 자연환기를 실시한 대조구 온실의 평균 온도는 36.8℃로 나타났으며, 냉방 패키지의 처리구 온실에서는 34.3℃로 주간 온도는 최대 4~5℃, 평균 2.5℃ 낮게 관리되는 것으로 분석되었다. 주간의 습도는 외부 평균 습도가 58.6%일 때 대조구 평균 습도는 58.8%, 처리구의 평균 습도는 기온 하강으로 64.5%로 나타나 약 6.5% 높은 것으로 나타났다. 야간 온도는 비슷한 온도분포를 나타내었으며, 야간 습도는 외부 평균 습도가 87.3%일 때 대조구 온실의 평균 습도는 85.9%, 처리구 온실의 평균 습도는 77.0%로 약 8.9% 낮게 나타났다.

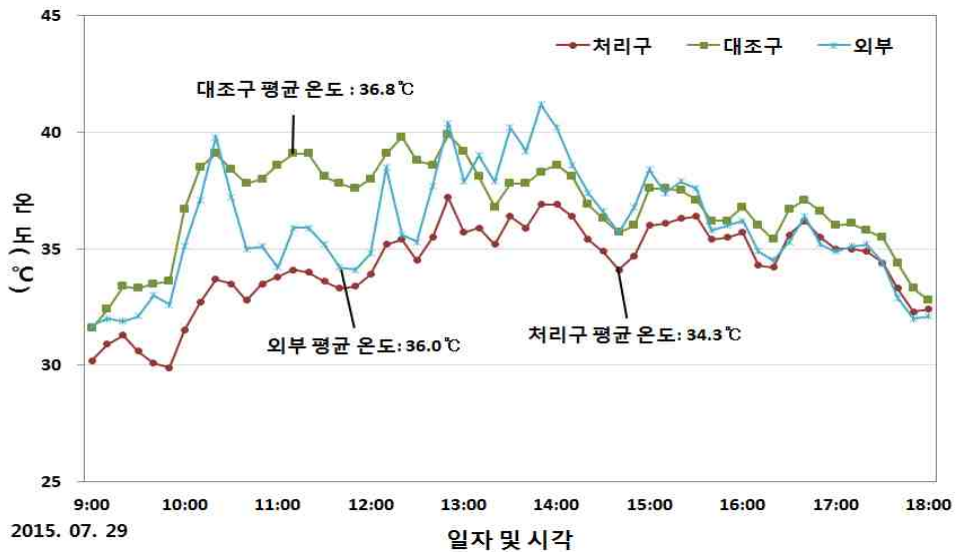


그림 23. 시험온실 처리구와 대조구간 주간 온도 비교

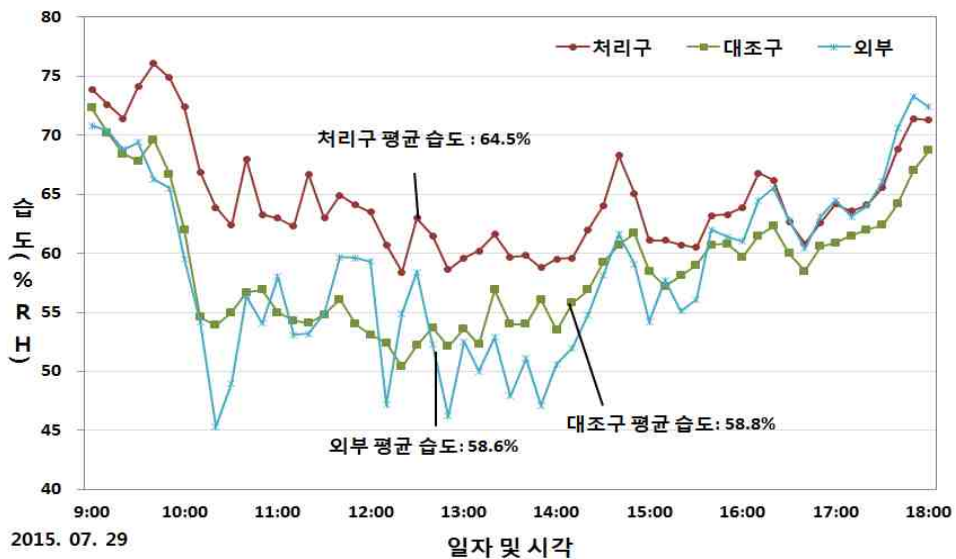


그림 24. 시험온실 처리구와 대조구간 주간 습도 비교

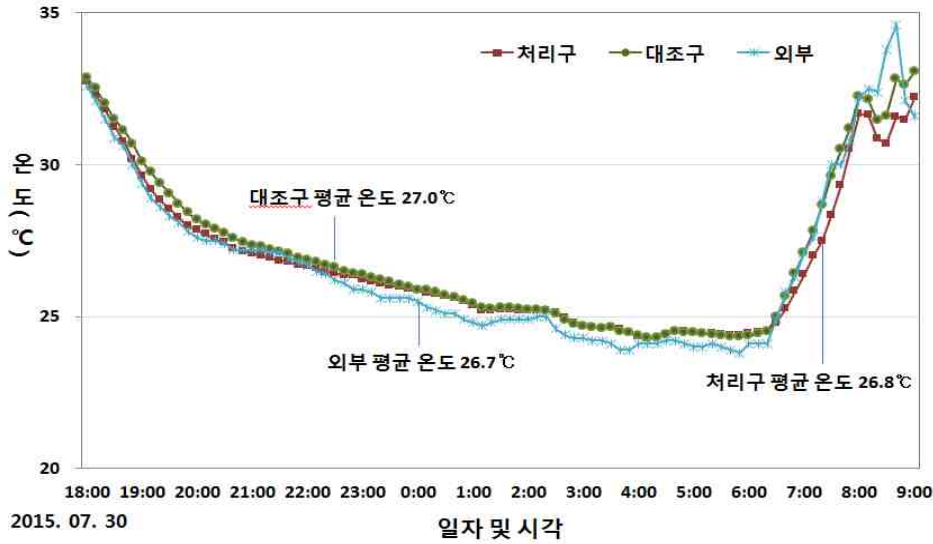


그림 25. 시험온실 처리구와 대조구간 야간 온도 비교

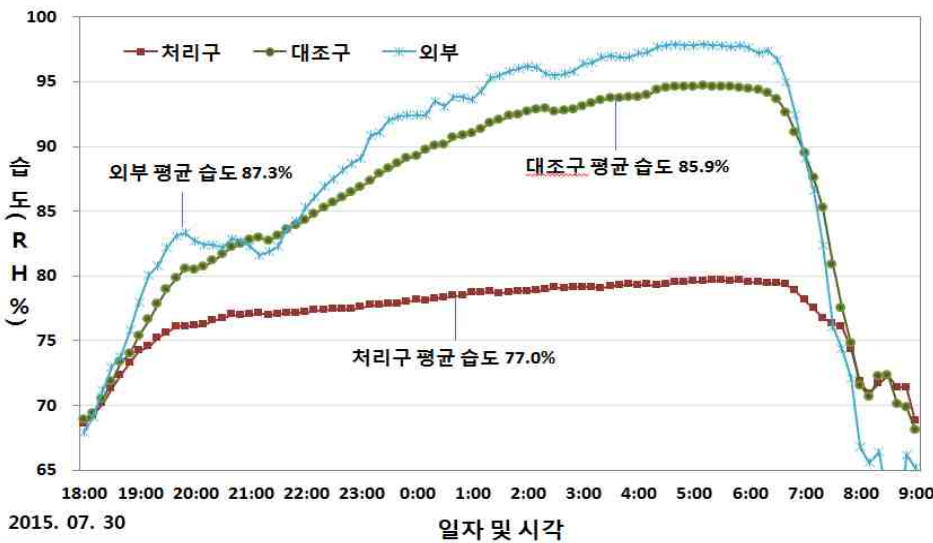


그림 26. 시험온실 처리구와 대조구간 야간 습도 비교

## 2. 냉방 시 파프리카 생육 조사

파프리카(쿠프라)에 대하여 2015년 7월 23일부터 8월 12일까지 수확량 조사를 실시하였다. 이 기간 동안 10시~오후 3시경의 온실내 온도는 33°C~42°C가 유지되어 차광스크린과 천측창을 열고 자연환기를 실시하고, 냉방패키지가 설치된 처리구에는 차광스크린과 지중열 히트펌프 냉방 및 포그 냉방을 실시하였다. 이때 포그시스템의 설치가 늦어지고, 포그시스템 초기 작동 시 고압으로 인한 노즐부 파손 등으로 실제 시험시간은 짧았다. 온실 내 냉방패키지 시험구의 냉방 설정온도는 32°C로 설정하였으며, 온실 내 온도는 32°C~35°C를 유지하는 것으로 나타났다. 대조구의 온도는 33°C~42°C로 나타나 평균 대조구보다 처리구에서 온실내 기온은 2°C~4°C 낮게 유지되었다. 10a 당 파프리카 상품과 수량은 대조구에서 579.1kg, 처리구에서 649.2kg으로 나타나 대조구에 비해 12.1% 증수되는 것으로 나타났으며 상품과율은 대조구에서 90.0%,

처리구에서 91.8%로 나타나 대조구에 비해서 약간 높은 것으로 나타났다. 이때 T검정 5% 유의수준에서 분석결과 쿠프라 품종에 대한 유의성이 없는 것으로 나타났다.

표 14 시험구별 파프리카(쿠프라) 수량조사 (10a 기준)

구 분	상 품 과	
	수량(kg)	상품과율(%)
대조구 (일반, A)	579.1	90.0
처리구 (냉방패키지, B)	649.2	91.8
비고 (B/A*100)	112.1	102.0

※ 수확시기: 2015.7.23.~8.12(3회 조사, 조사일 : 7.29, 8.6, 8.12)  
 유의성 검정 : T 검정, 5% 유의수준에서 유의성 없음

표 15 파프리카 유의성 검정(T-검정)

구 분	기술통계량		T-검정		
	무게 평균 (g)	표준편차	t	유의 확률	차이의95%신뢰구간
대조구	129.9	24.5	0.6886	0.4918	(-4.0579, 8.4165)
처리구	127.7	23.1			



<처리구>



<대조구>

그림 27. 파프리카 수확기 비교

파프리카의 품질조사 결과 과고 및 과폭은 처리구에 비해 대조구에서 약간 높게 나타났으나 과육두께와 당도에서는 대조구에 비해 처리구에서 약간 높게 나타났다.

표 16 여름철 파프리카의 품질조사

구 분	과고(mm)	과폭(mm)	심 실 수 (개)	과육두께(mm)	당도(°Brix)
처리구	83.8	72.2	3.3	6.1	6.2
대조구	86.5	73.6	3.2	5.7	6.0

※ 파프리카(쿠프라) 샘플수 : 처리구 132개, 대조구 103개  
 조사기간 : 1차(2015.7.29.), 2차(2015.8.06.), 3차(2015.8.12.) 합계 평균값

### 제3절 유리온실 에너지절감 패키지 기술개선 및 보급확산

#### 1. 유리온실 에너지절감 패키지 기술 경제성 검토

유리온실에서 파프리카와 토마토 재배 시 냉·난방 패키지 기술 적용 온실과 일반 유리온실 재배 시와 비교하였을 때의 경제성 검토 결과 패키지 적용 온실 ha당 설치는 133,000만 원으로 나타났으며, 이에 따른 연간 감가상각비 등 연간 총고정비 4,095만 원과 여름철 냉방비 2,100만 원을 합하여 연간 총비용은 6,195만 원으로 나타났으며, 패키지 기술을 적용에 따른 이익적 요소로 여름철 파프리카 증수에 의한 소득 증가가 3,779만 원과 유류난방 대비 난방비 절감액이 7,150만 원으로 나타나 연간 총 증가수입은 10,929만 원으로 연간 추정수익액은 4,734만 원으로 나타났다.

표 18 경제성 분석

(단위: 만 원/ha)

손실적 요소(A)	이익적 요소(B)
o 증가되는 비용:	o 증가되는 이익
- 감가상각비 3,122	- 여름철 파프리카 증수 3,779
- 수리보수비 389	- 난방비 절감 7,150
- 고정자본이자 584	
연간 총고정비 4,095	
- 여름철 냉방비 2,100	연간 총 증가수입(B) : 10,929
연간 총 비용(A) 6,195	
o 추정수익액(B-A) = 4,734만원/년	

\* 시험연구내역과 분석자료

- 온실용 냉난방 패키지 설치비: 133,000만원/ha
  - ha당 설치비 : 지중열 냉난방시스템 88,000만원, 알루미늄 다겹보온커튼(일반 다겹보온 6겹 포함) 18,000만원, 근권난방장치 2,000만원, 포그시스템 7,000만원, 팬코 일유닛 4,000만원, 차광스크린 14,000만원
- 내구년수 : 히트펌프, 부대장치 12년, 물탱크 및 열교환 25년, 다겹보온커튼 및 차광스크린 10년, 근권난방장치 12년, 포그시스템 8년
- 잔존율: 0 %, 수리비: 1%, 연이율: 3 %
- 난방기 연간 가동시간: 1,100시간 기준 시
- 면세유: 800원/L 적용, 전력 단가 kW당 43원(기본요금 포함) 적용

#### 2. 유리온실 냉난방 패키지 성능 및 편의성 개선

##### 가. 모바일폰에 의한 원격 모니터링 및 제어기능 추가

기상이변에 의한 온실 환경의 급격한 변화 시 신속한 대응 및 편리성 향상을 위해 휴대폰 또는 원격지 PC에 의한 온실 환경 모니터링 및 원격제어가 가능하도록 구비하였다. 온실 환경 모니터링 및 제어 요소는 온실 내 온도, 습도, 냉·난방시스템 가동 상태, 다겹보온커튼 작동 상태, 순환팬 가동 여부 등이다. 제어요소별 작동성 실증시험 결과 냉·난방 시스템의 정지에서

가동은 약 16초 후에 작동되는 것으로 나타났다. 이는 냉·난방 시스템 제어판의 신호입력에 따른 시스템 작동 예열 등에 의한 소요시간으로 나타났으며, 냉·난방시스템의 정지, 다검보온커팅 작동, 순환팬 작동은 3~4초 후에 작동되는 것으로 나타났다.



<원격제어 및 모니터링 요소> <모바일폰 제어> <제어화면> <현장시연>

그림 28. 시스템 모니터링 및 원격제어 시스템

### 나. 공기열/태양열 이용 냉·난방시스템 기능 추가

지중열 히트펌프의 성능개선을 위해 공기열과 태양열을 이용하는 열원 하이브리드 히트펌프 시스템을 추가하였다. 지중열원 및 공기열원 히트펌프의 난방용량은 각각 30, 20RT이다. 지중열원 히트펌프는 48m<sup>3</sup>의 지하 저수조(저수량 40톤)에 유입된 지하수의 열원과 팬코일유닛을 이용하여 온실 내 주간 태양잉여열을 수집하여 저수조에 축열한 열량을 물-물 형식 히트펌프를 이용하여 축열조에 45℃의 난방수로 저장한다. 지하 저수조의 지하수는 수온이 기준 이상 하강하면 지중으로 함양하거나 외부로 배수하며 지하수 사용량을 감소시키고 지중열원 히트펌프의 성능향상을 위해 공기열원 히트펌프를 활용하였다. 공기열 히트펌프는 공기-물 형식으로 주간에 외기온 5℃ 이상에서 작동하며 축열조의 난방수를 생산하거나 지하 저수조의 수온을 상승시킴으로써 야간의 지중열원 히트펌프의 성능을 향상시킨다. 공기열원 히트펌프의 상부에는 이중진공관형 태양열 집열기(1800L×20개, 14,000kcal/hr)를 설치하였으며 집열기와 연결된 리저버의 온도가 20℃ 이상일 때 공기열원 히트펌프의 증발기 출구 냉매라인을 리저버로 전환시켜 냉매의 완전 증발이 가능하도록 하였다. 난방성능시험은 작물을 재배하지 않는 상기의 유리온실에서 2016.3.28.~4.1.간 수행되었다. 공기열원 히트펌프는 주간에, 지중열원 히트펌프는 야간의 난방시간대에 운전되었으며 지중열원 히트펌프의 시스템 난방 COP는 3.53, 공기열원 히트펌프는 2.29로 나타나 지중열원 히트펌프의 성능이 54% 더 높은 것으로 나타났다. 야간의 최저 외기온 2.1℃ 조건에서 온실내부의 난방설정온도는 유지 되었으며 축열조의 설정온도 45℃도 유지되었다. 지중의 지하수 저수조의 수온은 15시 정도에 공기열원 히트펌프의 생산열량과 온실내부의 태양잉여열 공급으로 22℃까지 상승하여 일반적인 지하수 수온보다 상당히 높게 유지 가능하였다.



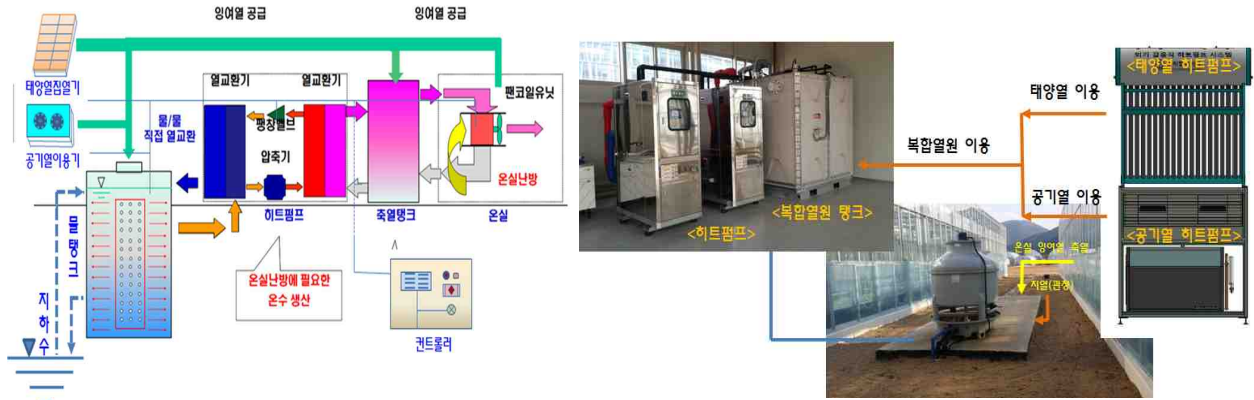


그림 29. 복합열원 이용 난방시스템 구성도

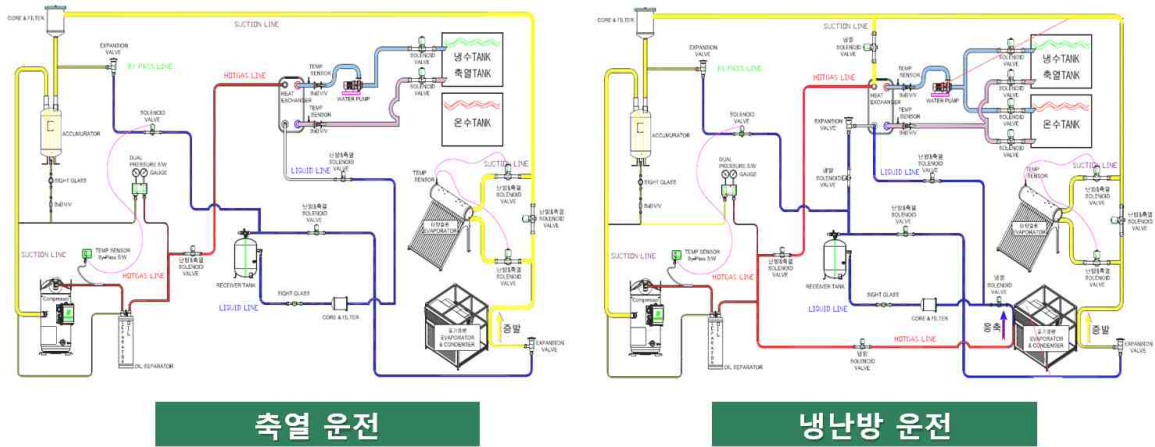


그림 30. 복합열원 이용 난방시스템 운전 계통도



그림 31. 복합열원 이용 난방시스템 설치

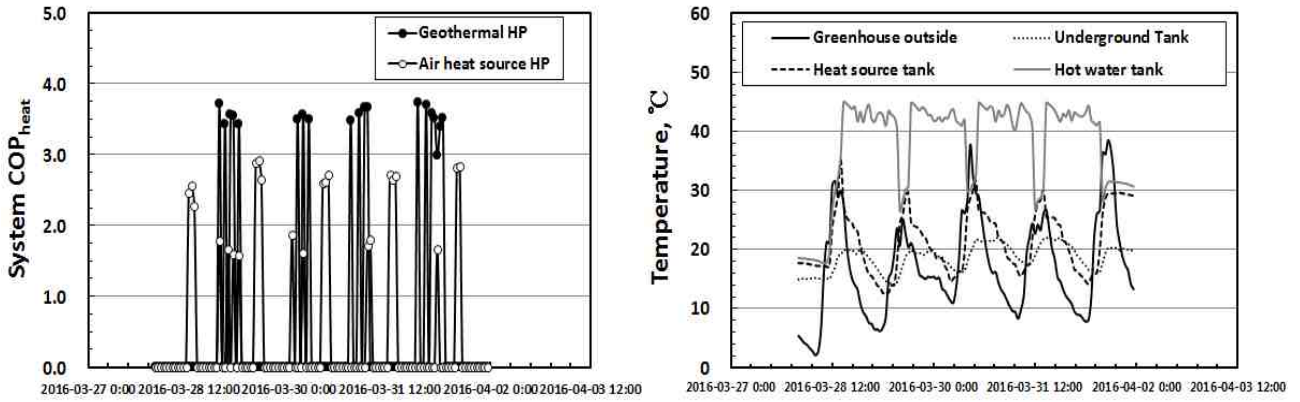


그림 32. 복합열원 이용 난방시스템 성능계수 및 각 구성부 온도 변화

#### 다. 태양광발전을 이용한 냉난방 시스템 보조 전력원 설치

온실 냉난방 공조 및 환경관리 시스템에 요구되는 전력의 보조 전력원으로 활용하기 위해 태양광 발전 시스템을 설치하였다. 발전 패널은 농가용 보급모델 등으로 활용되고 있는 단결정 질 실리콘 계열 패널(LG 260Wp)로 설치 장소는 냉난방패키지 실증시험 온실의 작업동 상부공간을 이용하였다. 발전 설비는 축전지를 사용하지 않는 상계형으로 설치하였다. 태양광 발전모듈은 260W 패널을 60매 설치하여 총 15.6kW로 하였으며 교류전압 출력을 위한 인버터는 5.5kW 용량을 3대 설치하였다. 태양광 발전 장치의 보조 전력원으로써의 활용성을 평가하기 위해 발전량을 조사하였으며 6월 1일~7월 30일의 2개월간 누적발전량은 3,590kWh, 일평균 누적발전량은 59.8kWh로 나타났다. 태양광 발전시스템의 총 설치규모가 15.6kW이므로 위의 하절기 일평균 누적발전량은 표준시험조건(STC)에서 최대 전력생산량 기준 3.8시간을 가동한 것으로 높은 효율이며, 온실내부에서 냉난방기 등 전력소비량이 큰 기계를 제외하면 활용 가능성이 있을 것으로 판단된다. 그러나 우리나라의 지리적 여건상 동절기 일사량은 봄철의 52% 정도로 낮으며 일조시간 역시 감소하는 반면 온실의 난방부하는 동절기에 최대가 되므로 전기난방기의 에너지원으로는 경제성이 낮은 것으로 판단된다. 설치 태양광 패널의 공칭작동 셀온도 (NOTC) 조건에서의 최대 발전량은 190W로 일반적인 온실의 동절기 최대난방부하인 120,000kcal/hr/10a을 대응하기 위해서는 일반 전기난방기의 경우 약 750장, 히트펌프(COP=3.0)의 경우 약 250장의 태양광 패널이 필요하며 동절기의 낮은 일사량을 고려하면 이보다 약 5배의 태양광 발전 패널이 필요하게 되므로 일반 전기난방기의 전력원으로 활용 시 태양광 패널의 설치면적은 온실면적의 약 10배를 요구하는 것으로 분석되었다.



<태양광발전 패널>

<제어반 및 인버터>

<내부 전력망 연결>

그림 33. 온실 환경관리 시스템 보조 전력용 태양광발전 시스템

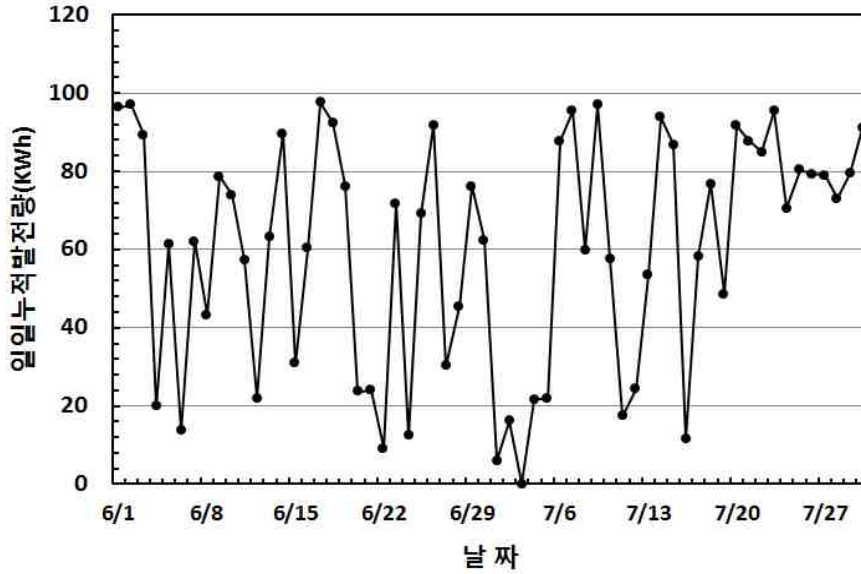


그림 34. 태양광 발전장치의 일별 누적발전량

### 3. 현장평가회 개최

#### 가. 1차 현장평가회 개최

- 일 시 : 2015. 4. 15(수) 16:30~17:30
- 장 소 : 시설원예연구소 유리온실 난방패키지 시험포장
- 참석자 : 농업에너지절감 사업단, 도원(강원 등 5개도), 농업인, 업체 등 50명
- 개발기술 소개
  - 유리온실 에너지절감 난방패키지 기술 특징, 실증시험 결과 등
- 유리온실 에너지절감 난방패키지 기술 특징, 실증시험 결과 설명
  - 유리온실 에너지절감을 위한 난방패키지 설치
  - 2015년 2월 26일부터 약 40일간 히트펌프 평균 성능계수(COP)는 3.7로 나타났음
  - 같은 기간에 10a당 시험구별 연료소모량은 유류난방기가 설치된 대조구에서는 경유 14,071L와 전력 364kW, 패키지기술이 적용된 처리구에서는 전력 35,082kW이 소비되어 난방비로 환산한 결과 약 87%의 난방비가 절감되는 것으로 나타남
  - 파프리카의 생육조사 결과 처리구와 대조구간 초장, 엽수, 경경 등에서 T-검정 유의수준 0.05에서 유의한 것으로 나타났으나 전체적으로 생육적인 측면에서 큰 차이가 없는 것으로 판단됨
- 질의 응답
  - 지중열 이용 냉난방시스템 설치비용을 더 낮출 수는 없는지?
    - ☞ 보급되고 있는 수직밀폐형 지열시스템에 비해 지중열 이용 냉난방시스템이 온실 1ha당 설치비용을 약 7억 원 정도 줄일 수 있도록 최저 단가로 낮춘 상태임. 금후 대량 보급 시 가능할 것으로 사료됨.
  - 기존 지열 히트펌프시스템과 비교 시 난방비 절감 효과 및 시공기간은 ?
    - ☞ 수직밀폐형 지열 히트펌프시스템에 비해 난방비 절감 효과는 약 10% 크며, 시공기간은 약 1/4로 단축시킬 수 있음.



## 나. 2차 현장평가회 개최

- 일 시 : 2016. 3. 3(목) 14:00~16:00
- 장 소 : 시설원예연구소 유리온실 난방패키지 시험포장
- 참석자 : 농업에너지절감 사업단 단장, 각 도원 실증연구 책임자, 농업인, 업체 등 40여명
- 개발기술 소개
  - 유리온실 냉·난방 패키지의 구성, 특징, 작물재배 효과, 난방비 절감 등
- 유리온실 냉난방 패키지 기술 특징, 실증시험 결과 설명
  - 경유난방기 대비 난방비 약 70% 절감, 난방 성능계수(COP)는 약 3.7, 여름철 온실 온도 4~5℃ 하강, 여름철 파프리카 생육 양호
- 원격제어 기능이 구비된 지중열 이용 시스템 연시
  - 핸드폰으로 냉·난방시스템 가동 및 중지, 다겹보온커튼 및 순환팬 가동 및 중지 연시
- 지중열 이용 시스템 기능 보완
  - 지열 및 태양잉여열 이용뿐만 아니라 공기열, 태양열을 이용할 수 있는 기능 추가
  - 복합열원 이용 하이브리드 냉난방시스템의 설치비는 수직밀폐형 지열히트펌프시스템 설치비의 약 65% 수준(ha당 설치비 : 지열히트펌프시스템 16.3억 원, 하이브리드 시스템 10.5억 원)
- 현장 요구사항
  - 시설원예용 뿐만 아니라 축사, 버섯재배사 등 개발 확대 보급 필요
  - 기존 지열시스템보다 저렴하지만 설치비를 30% 정도 줄이는 것이 좋음
  - 기존 지열시스템과 호환성 기능 구비, 정책지원에 의한 조기 보급
- 설문조사결과(설문지 참석자 20명)
  - 냉난방 패키지 기술 실용성 : 매우 우수 70%, 우수 30%, 필요성 95%
  - 사용 편리성 : 우수 95%, 보통 5%, 보급 가능성 : 높음 80%, 보통 20%
  - 정부지원 관계없이 구입 20%, 정부 지원 시 80%
- 언론보도 : 파이낸셜뉴스, 이투데이 등 5건('16년 3월 3일자)



<유리온실 에너지절감 패키지 기술 설명>



<냉난방 패키지 현장 설명>

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1절 : 연구개발 목표 및 연구개발 수행내용

연구개발 목표		연구개발 내용	달성도 (%)
1차년도 (2014~ 2015)	○ 유리온실 난방 패키지기술 설계·제작	· 유리온실용 다겹보온커튼장치 설계·제작 · 수경재배 베드 근권난방장치 설계·제작 · 지중열 이용 냉난시스템 설계·제작 ⇒ 난방패키지 : 다겹보온커튼+지중열 이용 시스템+수경재배 베드 근권난방장치	100
	○ 유리온실 파프리카 재배 시 난방 패키지 기술 성능시험	· 유리온실 다겹보온커튼 설치 효과 분석 · 근권난방장치 설치 시 근권부 온도조사 · 지중열 이용 시스템 등을 이용한 난방 패키지기술 성능시험	100
2차년도 (2015~ 2016)	○ 유리온실 파프리카 재배 시 난방패키지 기술 효과 구명	· 난방패키지: 차광스크린+지중열 난방시스템 +포그시스템 · 시험작물: 파프리카 · 조사내용: 온·습도, 연료소모량, 수량 등 · 난방패키지 기술 효과 검토	100
	○ 유리온실 토마토 재배 시 난방패키지 기술 효과 구명	· 난방패키지: 다겹보온커튼+지중열 난방시스템+근권난방 · 시험작물: 토마토 · 조사내용: 온·습도, 난방성능계수(COP), 연료비, 작물 생육 및 수량 · 난방패키지 기술 효과 검토	100
	○ 유리온실 패키지기술 경제성 분석	· 작물별 패키지기술에 대한 경제성 검토 - 작물: 파프리카, 토마토 - 내용: 설치비, 연료비, 수량 고려 발생수익	100
	○ ICT 기반 온실 원격환경제어 실증시험	· 제어수단 : 핸드폰 또는 사용자 PC · 원격제어 요소 : 천·측창, 냉난방장치, 차광 및 보온 커튼 등 · 주요조사내용 : 제어요소별 작동성 등	100
	○ 유리온실 패키지기술 개선 및 효율향상	· 지중열 냉난방 시스템 성능 향상기술 - 공기열/태양열 이용 열원하이브리드 시스템 · 태양광 발전을 이용한 냉난방시스템 보조 전력원 설치	100

2절 관련분야의 기술발전예의 기여도

본 과제의 연구개발 목표는 시설원예 농가 에너지절감 및 고품질 생산을 위한 유리온실 에너지절감 패키지기술 모델 실증연구 및 기술보급 확산으로 농가 경쟁력을 제고하는데 있으며, 구체적으로 기존 유류난방 대비 난방비 30% 절감, 수량 및 품질 개선으로 농가소득 15% 증대를 목

표로 하였다. 연구 내용으로 유리온실 주 작목인 파프리카와 토마토를 대상으로 지중열원 히트펌프, 유리온실용 다접보온커튼, 근권부 난방시스템으로 구성된 난방패키지 모델과 지중열원 히트펌프, 차광막, 포그냉방시스템으로 구성된 냉방패키지 모델을 개발하여 냉난방 성능시험 및 작물 생육시험을 수행하여 파프리카 난방 시 관행 온실 대비 난방비 87% 절감, 파프리카 냉방 시 수확량 12% 증수 효과를 확인하였으며, 토마토 난방 시 난방비 76% 절감 효과를 확인하였다. 기술보급 확산을 위해 개발기술의 경제성 분석 및 현장평가회를 개최하였으며, 농식품부 정책제안을 통해 기술보급 및 활용 방안을 제시하였다. 국내외 농업시설의 에너지절감기술 관련 연구나 개발 방향은 히트펌프 등의 고효율 공조기, 시설의 보온성 향상기술, 온도관리 기술 등의 개별 기술을 중심으로 발전해 왔으나 농업시설의 에너지이용효율 향상을 위해서는 시설 또는 작목에 적합한 기 개발 기술의 복합적 적용 역시 요구되고 있다. 본 연구결과는 향후 작목 또는 시설 맞춤형 고효율 에너지절감기술의 개발을 위한 기초자료를 제공할 수 있을 것이다.

## 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

- 시설원예 고효율 냉난방용 패키지 시스템 생산을 위한 관련 산업체 기술정보 제공
  - 개발기술 특허출원 및 산업체 기술이전 완료(㈜티알엑서지)
- 유리온실 냉난방 패키지 기술의 농가 보급 확대를 위한 농림축산식품부 정책제안
  - 농업에너지절감 패키지기술 실증모델 보급(2015, 농림축산식품부 원예경영과)
  - 유리온실 냉난방패키지 기술 실증모델 보급(2016, 농림축산식품부 원예경영과)
- ‘유리온실 냉난방 패키지기술 적용에 의한 에너지절감 및 생육개선 효과’ 등 논문투고 계획
  - 2016년 하반기 농업시설관련 학회 논문투고 및 학술발표 계획
- ‘작목 맞춤형 난방에너지 절감형 복합 환경관리 기술 개발’ 관련 후속 연구 계획
  - 농촌진흥청 기관과제로 추진, 신규과제 수요조사 응모
- 고효율 유리온실 냉난방 기술보급으로 농가소득 향상 및 고품질 안정 생산에 기여

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

해당사항 없음

## 제 7 장 참고문헌

1. Briassoulis, D., D. Waaijenberg, J. Gratraud, and B. von Eslner. 1997a. Mechanical properties of covering materials for greenhouse; part1, general overview. J. agric Engng Res. 67:81-96.
2. Briassoulis, D., D. Waaijenberg, J. Gratraud, and B. von Eslner. 1997b. Mechanical properties of covering materials for greenhouse; part2, quality assessment. J. agric Engng Res. 67:171-217.

3. Gracia, J.L., De la Plaza, L.M. Narvas, R.M. Benavente and L. Luna. 1998. Evaluation of the feasibility of alternative energy sources for greenhouse heating. *J. Agric. Engng Res.* 69:107-114.
4. Gosselin, A. and M.J. Trudel. 1983. Interactions between air and root temperatures on greenhouse tomato: I. growth, development and yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108(6):901-905.
5. Kang, Y.K., Y.S. Ryou, G.C. Kang, Y. Paek, and Y.J. Kim. 2007. Heating performance of horizontal geothermal heat pump system for protected horticulture. *J. of Biosystems Eng.* 32(1):30-36(in Korean).
6. Kawasaki, Y., K. Suzuki, K. Yasuba, and M. Takaichi. 2011. Effect of local air heating by a hanging duct near the tomato shoot apex and flower clusters on vertical temperature distribution, fruit yield and fuel consumption. *Hort. Res. (Japan)* 10(3):395-400(in Japanese).
7. Kawashima, H., M. Takaichi, M. BaBa, K. Yasui and Y. Nakano. 2008. Effects of energy saving and the reduction of carbon dioxide emissions with a hybrid-heating system using an air-to-air heat pump for greenhouse heating. *Bulletin of the National Institute of Vegetable and Tea Science* 7:27-36(in Japanese).
8. Kim, S.E., S.Y. Sim, S.D. Lee, and Y.S. Kim. 2010. Appropriate root-zone temperature control in perlite bag culture of tomato during winter season. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28(5):783-789(in Korean).
9. Kwon, J.K., J.H. Lee, N.J. Kang, K.H. Kang, and Y.H. Choi. 2004. Effects of covering materials and methods on heat insulation of a plastic greenhouse and growth and yield of tomato. *J. of Bio-Environment Control* 13(4):251-257(in Korean).
10. Kwon, J.K., G.H. Kang, J.P. Moon, Y.K. Kang, C.K. Kim, and S.J. Lee. 2013. Performance Improvement of an Air Source Heat Pump by Storage of Surplus Solar Energy in Greenhouse. *Protected Horticulture and Plant Factory* 22(4):328-334(in Korean).
11. Kwon, J.K., G.H. Kang, J.P. Moon, T.S. Lee, and S.J. Lee. 2015. Effect of growing part following local heating for cherry tomato on temperature distribution of crop and fuel consumption. *Protected Horticulture and Plant Factory* 24(3):217-225(in Korean).
12. Lee, M.Y., S.J. Hwang, and B.R. Jeong. 2001. Growth and yield of hydroponic rose 'little marble' as affected by root zone temperature and heating method in winter season. *Journal of Bio-Environment Control* 10(1):61-68(in Korean).
13. Lee, S.Y., H.J. Kim, H. Chun, S.H. Yun, Y.I. Nam, and J.G. Lim. 2003. Energy saving by use of pull&roll multi layer type screen system on greenhouse. *Kor. Res. .Soc. Pretected Hort.* 16(1):1-6(in Korean)
14. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). 2014a. Greenhouse status for the vegetable grown in facilities and the vegetable productions in 2013. ed. Sejong, Korea(in Korean).

15. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). 2014b. Cultivation status of floricultural crop in 2013. ed. Sejong, Korea(in Korean).
16. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). 2016c, Enforcement guidance on MAFRA enterprise. <http://manual.agrix.go.kr/home/index.php>(in Korean).
17. Sato, K. and N. Kitajima. 2010. Local heating temperature effects on the growth and yield of strawberries [Fragaria] in high-bench culture. Fukuoka Agricultural Research Center Report (29):27-32(in Japanese).
18. Sone, K., K. Dan, M. Okimura, and E. Ktanai. 2007. Effect of temperature treatment of crown party on flower-bud formation in ever-bearing strawberry. Soc. Hort. Sci. (Japan) 6(1):423(in Japanese).
19. Tong, Y., T. Kozai, N. Nishioka, and K. Ohyama. 2011. Greenhouse heating using heat pumps with a high coefficient performance(COP). Biosystems Engineering 106:405-411.
20. Willits, D.H. and Y.R. Gurjer. 2004. Heat pumps for the heating and night-cooling of greenhouse crops: a simulation study. Trans. of the ASAE 47(2):575-584.



## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “농업에너지절감모델개발사업단 실증연구과제(과제명 : 연동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발 I)”의 최종 보고서로 제출합니다.

2017년 9월 일

실증연구기관명 : 충남농업기술원과채연구소

실증연구책임자 : 김 경 제





# 요 약 문

## I. 제 목

연동 비닐하우스 에너지절감 패키지가 기술 모델 개발(I)

## II. 연구성과 목표 대비 실적

본 과제의 연구개발 목표는 토마토 연동 비닐하우스 에너지절감 패키지가 기술 모델 개발 실증 연구 및 기술보급 확산을 위한 농가 경쟁력을 제고 하는데 있으며, 1995년 이후 지어진 연동형 비닐하우스에 국부난방 및 알루미늄커튼을 이용하여 구체적으로 난방비 절감과 수량 및 품질 개선을 목표로 하였다. 연구 내용으로는 연동하우스에서 주로 재배 되고 있는 토마토를 대상으로 하였으며, 난방 장치로는 온풍기난방과 보온시설로는 천창다겹보온커튼(2중)과 다겹보온커튼(측면)에 베드난방이 되어있는 시설에, 패키지로 알루미늄커튼을 측면과 천창에 설치하였으며 난방원을 온풍기대신 국부난방장치로 구성된 패키지로 구성하여 재배시험을 수행하였다. 실증시험 결과 난방비 50.5% 절감, 17%의 수량 증수 효과를 보았으며, 기술보급 확산을 위해 개발기술의 경제성 분석 및 현장평가회를 개최하였으며, 농식품부 정책제안을 통해 기술보급 및 활용 방안을 제시하였다.

## III. 연구개발의 목적 및 필요성

우리나라의 시설원예의 농가 경영비 중 광열비가 20~40%를 차지하고 있고 특히 토마토 시설재배면적은 2016년 현재 6,976ha를 점유하고 있다. 토마토 재배농가에서는 경영비중 난방비가 33%에 달하고 있어, 난방비 가중으로 최저생육 온도로 유지하여 재배를 함으로서 생산에 많은 저해 요인이 되고 있기도 하다. 에너지 절감기술 개발이 많은 방면에서 이루어져 다겹보온커튼, 지중저수열 장치, 피복자재 축열시스템 등 농가에 보급되고 있으나 하우스 구조에 따른 보온력 개선 및 에너지 절감의 차이가 심하다. 온실난방은 주로 태양열, 온풍기, 지열 등 다양한 열원이 난방에 사용되고 있으나 94%가 유류난방기에 편중되어 국제유가 변동에 크게 좌우되고 있다. 따라서 이러한 열원의 손실을 방지 시키는 방법이 가장 중요하다.

국내에서는 알루미늄 공급이 증가됨에 따라 알루미늄에 대한 물리적 난방 특성에 대한 연구가 진행되어, 시설하우스에서 이용 하고 있는 보온커튼의 종류, 두께, 물리적 특성 및 광학적 특성을 분석하였으며(Chang 등 1996) 온실용 습 쉬는 알루미늄스크린의 물리적 특성 연구(Choi 등 2014)가 이루어져 차광 보온제를 이용한 작물의 성장 특성에 대한 연구가 이루어지고 있다. 이러한 기 개발된 자재와 에너지절감 기술 중 현장에 적응성이 높은 난방비 절감을 위한 패키지를 이용한 기술을 90년대 지어진 측고가 낮은 연동하우스에 적용하여 토마토재배를 함으로서 패키지 효과를 극대화하여 이를 구명한 기술 개발 및 보급이 필요한 실정이다.

또한 같은 시설에 고온기에 재배 가능한 시설을 설치함으로써 우리나라와 같이 계절에 따른 온도 차이가 많고 연동하우스로 되어 있으나 측고가 낮고 대부분 2000년대 이전에 지어진 하우스 내에서 토마토 시설재배를 할 때 이에 적합한 냉난방기술을 패키지화 하였다.

국내에서 시설원예 에너지절감과 관련한 연구로는 다겹보온커튼, 알루미늄호일 이용 등의 보

온력 향상 기술, 근권부, 생장점 등 국소난방 기술, 식물체 전체를 고른 온도 분포로 유지할 수 있는 국부난방 기술, 또한 냉방기술로는 근권부 냉방과 지상부 온도를 떨어트리는 방법으로 압력 노즐에 의한 방법, 송풍식연무법, 팬앤드 패드 방법, 고압식 분무법, 저압식 분무법 등 여러 방법이 연구되어 왔다. 그러나 시설환경이 떨어지는 연동하우스에서 재배되는 토마토 농산물의 안정적 생산을 위해서는 지금까지 개발된 시설원에 냉난방 관련 에너지절감기술의 효과를 팩키지화하여 극대화 할 필요가 있다. 또한 이러한 기술의 개발로 에너지절감 패키지 기술의 확산 보급이 필요하다.

#### IV. 연구개발 내용 및 범위

토마토 재배 연동하우스 중 2중으로 된 천창다겹보온커텐과 측면에 1중 다겹보온커텐이 설치되어 있고, 난방은 온풍기를 이용한 방법이 설치된 기존의 2연동하우스에서 실험하였다. 1개 연동은 대조구(3,300m<sup>2</sup>)로 다른 1연동은 보온력 증강을 위해 기존의 권취식 다겹보온 커텐에 측면에는 보온, 천창에는 차광과 보온이 되는 알루미늄 커튼을 설치하였고, 난방은 온풍기 난방방법을 국부난방 방법으로 전환 한 하우스를 처리구(3,300m<sup>2</sup>)로 하여 온도, 습도, 광 환경을 조사를 하여 비교하였다.

국부난방 방법은 수경재배 베드오프 5cm 부위에 지상으로부터 15cm부위에 1줄, 그 위로 10cm 부위에 1줄, 총 두 줄을 베드양쪽에 검은색 Ø15mm PE 파이프를 설치하여 온수 순환 난방을 했고, 미설치된 온풍 난방을 하는 대조구 하우스와 야간온도를 조사 비교하였다. 고온기 재배를 위한 냉방패키지는 수경재배 베드의 근권부를 냉방하기 위한 장치로 자루베드 하부에 PE 배관(Ø15mm)을 2열로 배치하여 16℃의 냉수를 순환시켜 근권부 온도를 관리하였고, 지상부는 저압 포그 노즐을 이용한 포그 시스템을 설치하였다. 대조구는 일반 보온커텐이 설치된 온실에서 수행하였다. 환경조사는 남북동 하우스에 북쪽입구로부터 5m, 45m, 85m지점에서 측정을 하였으며, 설치 높이는 센서부위가 1.2m부위에서 측정 되도록 하였다. 시험품종은 10월 정식 재배에서는 방울토마토 『TY요요』 와 6월 정식 재배에서는 방울토마토 『유니콘』를 대상으로 하여 난방패키지와 냉방패키지 적용 시험을 수행하였다. 주요조사 항목은 온습도, 광, 생장량, 에너지사용량 및 비용, 생육, 수량 등이며, 연동하우스 냉난방 패키지 기술의 적용성을 평가하기 위하여 대조구 온실과 부분시산법을 이용한 경제성 분석을 수행하였다.

#### V. 연구개발 결과

야간에 하우스 내 열화상 카메라로 촬영 결과 처리구의 베드부분 식물체의 온도는 10.4~21.3℃ 온도 분포를 보이는 반면 대조구는 9.3~13.4℃의 온도 분포를 보여 국부난방처리가 효과가 좋았다. 천창 보온 스크린은 처리구는 8.6~12.7℃의 온도분포를 보이는 반면 대조구는 3.8~7.9℃의 온도 분포를, 하우스 측면 커텐 부분 중 처리구는 7.9~12℃의 온도 분포를 보이는 반면 대조구는 5.1~10.5℃의 온도 분포를 보여 열손실이 아주 컸음을 볼 수 있다. 정식 후 90일 생육조사 결과 초장은 팩키지 처리가 컸으며, 엽면적도 넓은 경향 이었으며, 건물중도 무거운 편이었고, 화방수도 9개로 많았다. 생장량을 비교한 결과 30일, 60일, 90일 처리 간 생장량 차이는 없었으나 생육일수 간 생장량 차이가 있어 60일에서 생장 속도가 가장 빨랐다. 국부난방 처리로 인한 평균온도 차이 비교한 결과, 대조구는 통로와 수간 온도 차이가 없는 반면 국부난방의 경우 통로 보다는 수간에서 온도가 0.5℃ 높았다. 국부난방처리 효과를 볼 때 처리구는 온

도가 일정하게 유지되고 있는 반면 대조구는 온도 유지 폭이 불안정하고 컸다. 당도와 경도는 처리 간 차이가 없었으나 수량은 통계처리 결과 0.05에서 유의한 차이가 있어, 7,482kg/10a로 처리구가 17%의 수량 증가 효과가 있고, 10a당 난방비용은 대조구에서는 2,487천원, 난방패키지기술 적용 온실은 1,230천 원이 소요되어 난방비는 50.5%가 절감되는 것으로 나타났다. 토마토 연동하우스에 대한 난방패키지 기술 적용시의 경제성 분석을 수행한 결과 10a당 3,072천원 증가되는 이익이 발생하는 것으로 분석되었다.

또한 여름재배를 위한 2016년 8. 9일 조사한 패키지 효과를 보면 기온은 3℃ 하강한 효과가 있었고 배지 온도는 현격한 차이가 나 9℃나 낮게 관리 되고 있었다. 엽온도 처리구가 대조구에 비해 4.1℃ 낮게 유지되었다. 엽수도 확연하게 차이가 나 4.1매나 처리구가 많아 전체적으로 생육차이가 많이 나는 편이었다. 정식 후 짧은 기간임에 불구하고 화방수 차이는 1.8개로 현격하게 차이가 나 전체적으로 처리구의 생육이 많이 좋다는 것을 알 수 있다. 수량 면에서도 큰 차이가 나 대조구 대비 2,114kg/10a의 수확을 하여 64%의 수량 증가 요인이 되었다. 따라서 여름철 토마토 재배 시 저압식 포그 시스템, 근권부 냉방을 한다면 충분히 여름재배가 가능 할 것이다.

## VI. 연구성과 및 성과활용 계획

- 유리온실 냉난방 패키지 기술의 농가 보급 확대를 위한 농림축산식품부 정책제안
  - 연동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 지원(농림축산식품부 원예경영과)
- ‘차광제와 이류체 포그시스템을 이용한 고온기 시설 내 환경관리’ 논문투고
- 토마토 연동하우스 패키지 기술보급으로 농가소득 향상 및 고품질 안정 생산에 기여

## SUMMARY

Multi-span plastic greenhouse cooling / heating package technologies to improve energy efficiency were developed. The heating package consists of a local heating system that circulates hot water by installing black Ø15 mm PE pipes on both sides of the bed, a side insulating aluminum curtain, and a ceiling insulated / shading aluminum screen. The cooling package consists of a cooling system that circulates cold water at 16 ° C in two rows of PE piping (Ø15mm) at the bottom of the bed and a fog system using low pressure fog. The double skylight multi-layer insulation curtain and the single multi-layer insulation curtain are installed on the side, and the heating is compared with the existing multi-span greenhouse equipped with the method using the hot air fan.

The temperature of the nighttime plant in winter was 10.4 ~ 21.3 ° C, while the temperature in the control was 9.3 ~ 13.4 ° C, so local heating treatment was effective. Screen and side curtains have also shown significant savings in terms of heat loss.

There was a statistically significant difference in the number of treatments between 7,482kg/10a. The heating cost per 10a was 2,487,000 won for the control and the greenhouse for the heating package technology was 1,230,000 won, which resulted in 50.5% savings in heating costs. As a result of the economic analysis, it was analyzed that the increase in profits amounted to 3,072,000 won per 10a.

In addition, the cooling package technology was effective in decreasing the summer temperature by 3 ° C, and the temperature of the medium was controlled to be 9 ° C or lower. Leaf temperature was maintained at 4.1 ° C lower than that of control. The yield of 2,114 kg / 10a compared to the control was increased by 64%.

# 제 1 장 실증과제의 개요 및 성과목표

본 실증과제의 연구개발 목표는 연동하우스 토마토재배 농가 에너지절감 및 고온기 재배를 위한 패키지기술 모델 실증연구 및 기술보급 확산으로 농가 경쟁력을 제고 하는데 있으며, 겨울철 재배 패키지기술 기술 적용으로 기존 유통난방 대비 난방비 30% 절감, 수량 10% 증진과 고온기 재배에 패키지를 이용 수량 10% 증대를 목표로 하였다.

실증연구에 투입된 패키지 기술은 겨울철재배에 기 개발된 기술 중 온풍난방에 2중의 천창다겹보온 커튼과 측면에 다겹보온커튼이 설치된 하우스를 대조구로하고 처리구는 대조구에 천창 부분에 알루미늄커튼과 측면 알루미늄커튼을 설치하고 국부난방 장치를 설치한 하우스를 처리구로 하였다.

고온기 재배를 위한 냉방패키지는 수경재배 베드의 근권부를 냉방하기 위한 장치로 자루베드 하부에 온수용 PE파이프 배관(Ø16mm)을 2열로 배치하여 16℃의 냉수를 순환시켜 근권부 온도를 관리하였고, 지상부는 저압 포그 노즐을 이용한 포그시스템을 설치하였다. 대조구는 일반 보온커튼이 설치된 온실과 비교하여 그 효과를 보고 모델로 제시 하였다.

## ○ 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	연구개발 내용	달성도 (%)
- 토마토의 온실 냉난방비 절감 패키지 기술 실증 및 확산	- 연동하우스 토마토 재배하우스 에너지 절감 난방 패키지 기술 개발 · 난방 패키지 구성 및 생육 및 수량 조사	100
	- 연동하우스 토마토 재배하우스 냉방 패키지 기술 개발 · 냉방 패키지 구성 및 조사	100
- 연동하우스 에너지절감 패키지기술 개발 및 보급 확산	- 연동하우스 토마토 재배하우스 에너지 절감 패키지 기술 보완 및 활용방안 제시 · 경제성 분석 및 현장평가회 개최	100

## ○ 정량적 성과목표 및 실적

구 분	지식재산권		논문		학술 발표	기술 이전	교육 지도	세미나 등	현장 평가회	자료 발간	정책 활용	영농 활용	홍보 전시	기타
	출원	등록	SCI	비 SCI										
최종목표				0	1	0	0	0	2	1	1	0	2	
연구기간 내 달성실적				1	2	0	0	0	2	1	1	0	2	
달성율(%)				100	100	100			100	100	100	-	100	

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

시설원에 면적은 시설현대화 정책 이 시작된 1990년대 초기부터 급속하게 증가되기 시작 하였고 그와 더불어 토마토의 시설재배도 급격히 증가되어 2015년 현재 시설재배 면적은 52,526ha로 증가 되었고 토마토의 시설재배는 6,976ha로 전체 시설재배 면적의 8%를 점유하고 있으며 난방은 시설원예에서 난방은 유류가 84%를 점유 하듯 토마토재배에서도 대부분 유류를 사용하고 있는 실정이다. 토마토 재배시 난방에너지를 절감하기 위해서는 난방시스템 및 설치방식의 개선과 석유 대체 에너지 이용에 의한 난방연료 절감, 보온과 단열성이 높은 피복소재의 활용, 시설구조의 개선 및 하우스 내 투광량의 극대화를 들 수 있으나 온실내로 들어오는 햇빛은 가능한 많이 들어오게 하고 유입된 에너지는 빠져나가지 못하게 하는 여러 가지의 보온용 자재가 개발 되어 이용되고 있다. 보온소재로 가장 보편적으로 이용 되는 부직포는 단섬유와 장섬유 부직포로 나누어 지는 데 그 중 polyeste와 장섬유로 만들어진 것이 보온커튼 재료로 쓰이며 재료로 쓰이며 단섬유 부직포는 두껍게 제조하여 보온덮개 재료로 사용되고 있다(Kwon 등, 1999; Okada 1985). 일반적으로 보온효과를 높이기 위해서는 피복 매수를 늘리고 전열저항이 크며 밀폐성이 높은 자재를 사용 하는 것이 유리하다(Athanasios and Xiuming, 1997; Briassoulis, 1997a; Briassoulis, 1997b). 다겹보온 덮개는 측고가 낮은 연동하우스 설치 시 설치비용이 다소 많이 소요되나 난방비를 크게 줄일 수 있어 (Kwon 등 1999). 이용면적이 크게 증가 되어 되어 왔다.

원예시설의 보온성 향상기술의 개발 및 현장적용 연구과 관련하여 시설 피복재의 재료에 따른 열적, 물리적 특성과 보온성능을 분석한 연구(Briassoulis 등, 1997a; Briassoulis 등, 1997b)가 수행되었으며, 연동 비닐온실에 적용하기 위한 자동 수평예인권취식 다겹보온커튼 시스템의 개발과 난방연료 절감 및 수확량 개선 분석 연구(Lee 등, 2003)가 수행되었다. 시설보온소재와 기술이 향상됨에 따라 시설의 보온성능 향상 기술과 관련하여 피복재의 물리적 특성에 따른 보온성능 분석(Briassoulis 등, 1997a; Briassoulis 등, 1997b) 등 시험이 활발하게 수행 되었다 또한 근권온도에 대한 연구도 많이 진행되어 토마토의 전 생육기간동안 최적의 근권온도를 25℃ 전후로 보고하고 있다(Adams et al., 2001; Jones, 1999; Kafkafi, 2001; Kennedy and Pegg, 1990). 근권온도를 25℃ 전후로 관리하는 것이 토마토의 생육과 수확량에 가장 좋은 것으로 알려져 있으나(Díaz-Pérez et al., 2007; Kenndy et al., 2008), 우리나라에서 혹한기와 혹서기에 근권온도를 25℃로 유지 시키는 것은 경제적인 면에서 경쟁력이 부족하다. 따라서 경제성을 확보하면서 토마토의 생육과 수확량을 최적화 할 수 있는 적절한 방법들을 모색해야 한다. Kim et al.(2010) 은 저온기에 적절한 근권온도 관리로 일출 2시간 전후에 근권온도를 20℃로 관리가 작물의 생육과 수확에 가장 좋았다고 보고한 바 있다. 고온기에 근권 온도를 낮추기 위한 방법으로는 배지를 냉방하는 방법(Choi et al., 2001; Giuffrida, 2001; Verma, 1979)과 공급되는 배양액의 온도를 낮게 관리하는 방법(Asher et al., 1965; Calatayud et al., 2008) 등이 있다.

에너지를 절감 하기위한 국소냉난방 관련 많은 연구가 근권부를 대상으로 활발하게 진행되었다(Gosselin과 Trudel, 1983; Lee 등, 2001; Kim 등, 2010).

이와 같이 다양한 기술이 발달되어 왔으나 에너지절감 효과를 효율화 하기 위해서는 이러한 기술을 하우스에 맞게 설치 이용되어야 한다. 토마토의 경우 하우스에서 재배 되는 고부가치의 작물로 생산되는데 많은 에너지가 소요되는 많은 온도를 필요로 한다. 따라서 보다 저비용, 안정 생산을 위해서는 지금까지 개발된 시설원예 냉난방 관련 에너지절감기술의 복합적 활용이

요구된다. 따라서 본 연구에서는 토마토 재배를 하고 있는 오래전에 지어진 대부분 연동하우스에 적합한 냉난방 패키지기술 모델과 그 효과를 구명 하였으며, 알루미늄커튼, 온수이용한 국부난방장치를 조합한 난방패키지시스템과 수경재배 배지 국소냉방용 온수배관을 조합한 냉방패키지시스템과 포그냉방시스템을 조합한 냉방패키지시스템을 구성하여 토마토를 대상으로 에너지절감 효과, 작물생육에 미치는 영향 등을 분석하였다. 이러한 다양한 패키지 기술을 에너지절감기술의 확산을 위해서는 에너지절감기술 보급사업과 연계한 정책반영이 요구된다.

### 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

#### 제1절 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 모델 개발 가. 겨울철재배 에너지절감 패키지가

##### 1) 시험처리

그림 1) 대조구



그림 2) 처리구(대조구+국부냉난방+알루미늄 커텐)

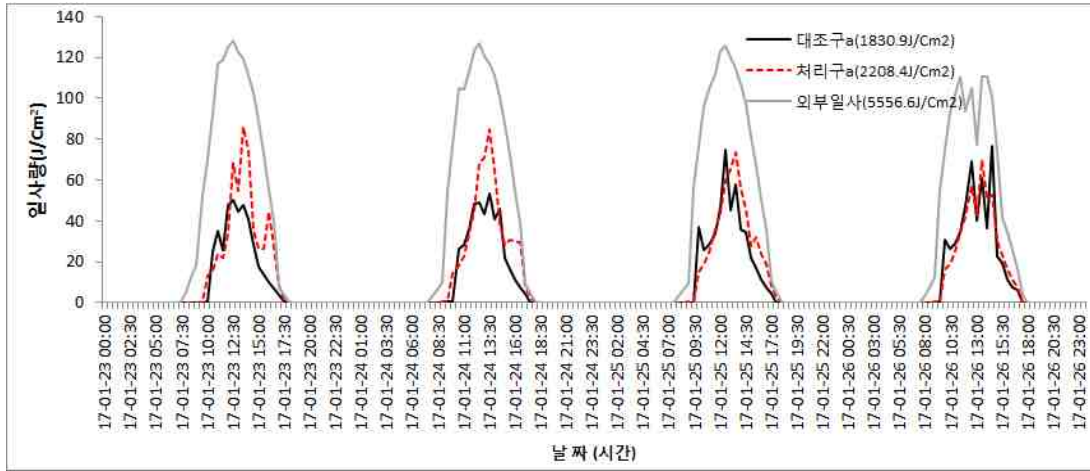




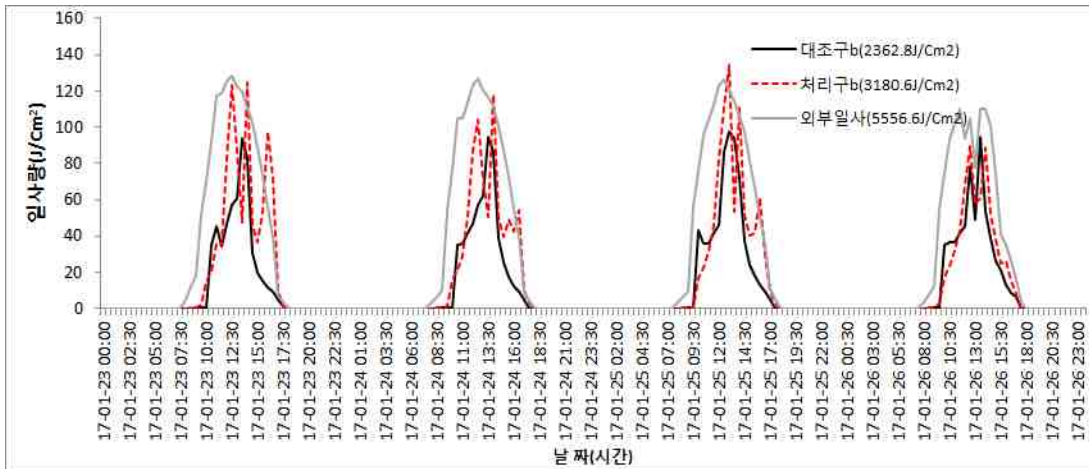
## 2) 재배 환경 조사

### 그림 3) 일사량

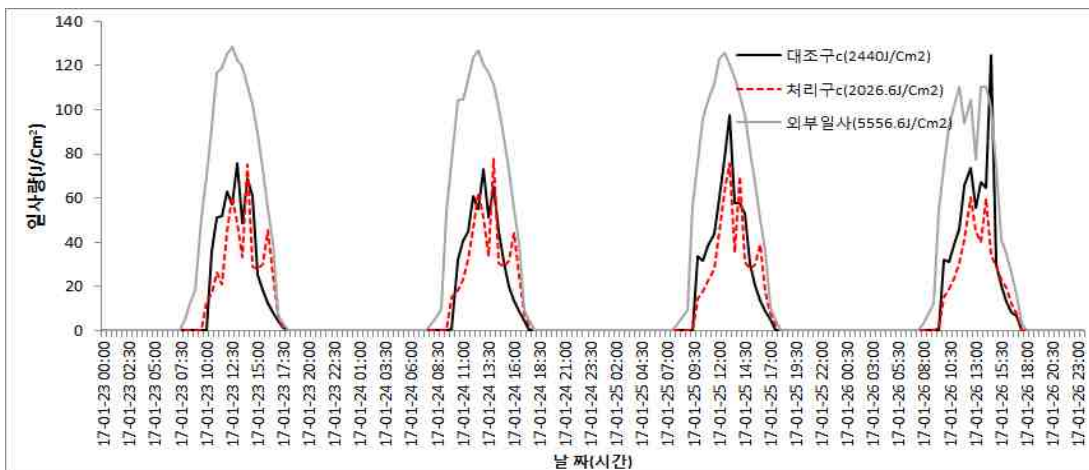
<a 지점>



<b 지점>



<c 지점>



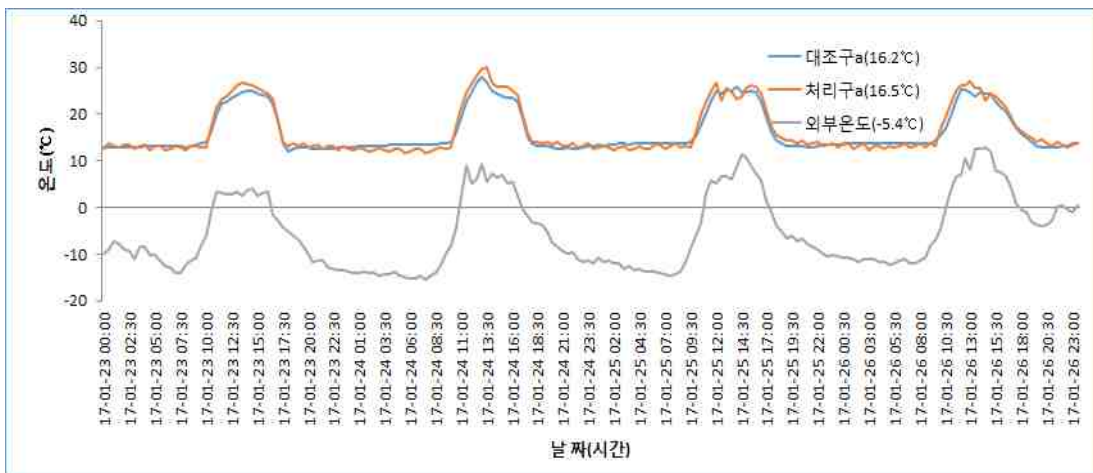
※ 측정 높이 : 하우스 지면으로부터 1.2m

측정 지점 : A지점(입구로부터 5m지점, 북쪽), B지점(45m지점), C지점(85m지점, 남쪽)

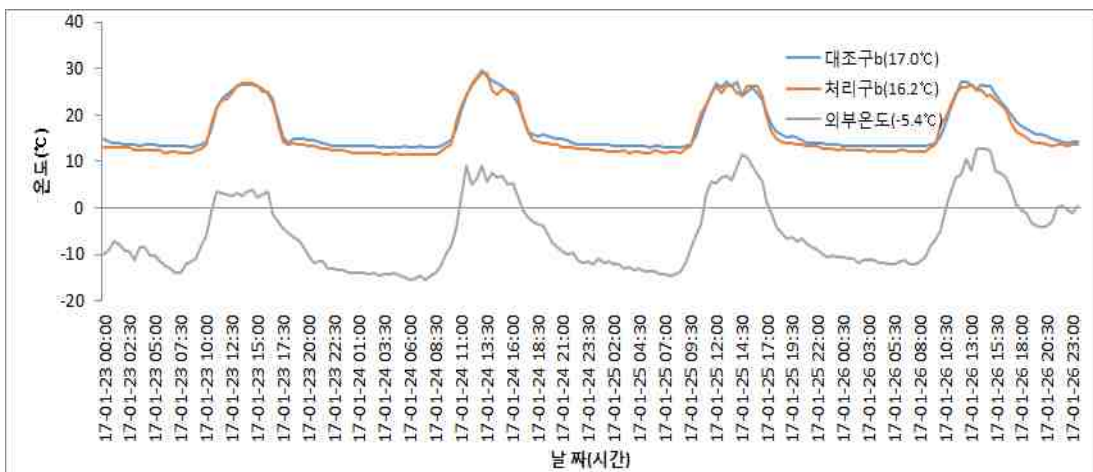
재배 환경조사 결과 일사량은 남북하우스에서 남쪽 방향인 a지점조사에서 외부일사량 대비 지상으로부터 1.2m 식물체부위에 투과되는 광량은 37%가 되었고, 처리별로는 처리구가 대조구에 비하여 광투과량이 많았다. 중간지점인 b지역에서의 광투과량은 55%, c지역에서의 광투과량은 41%의 광투과량을 보였고 a, b조사 지역에서는 처리구에 광투과량이 많았고, c지역에서는 대조구에 투과량이 많았다. 위치별로는 b지역이 광투과량이 가장 많았고 다음이 남쪽인 a지역 순이었다.

그림 4) 온도

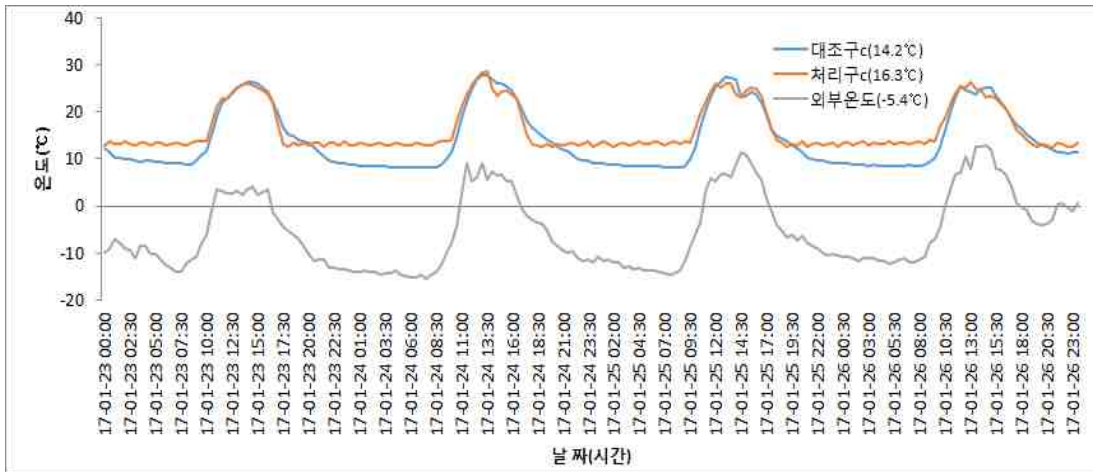
<a 지점>



<b 지점>



<c 지점>



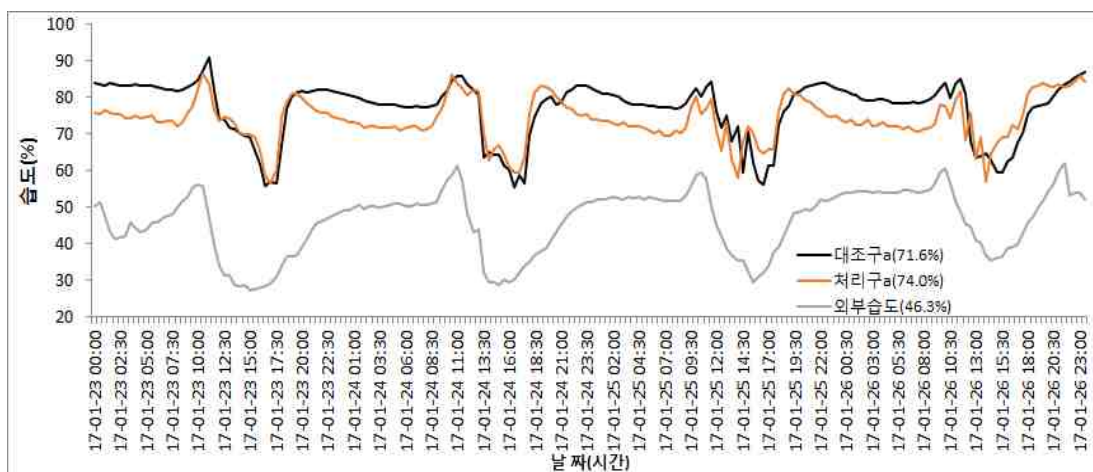
※ 측정 높이 : 하우스 지면으로부터 1.2m

측정 지점 : A지점(입구로부터 5m지점, 북쪽), B지점(45m지점), C지점(85m지점, 남쪽)

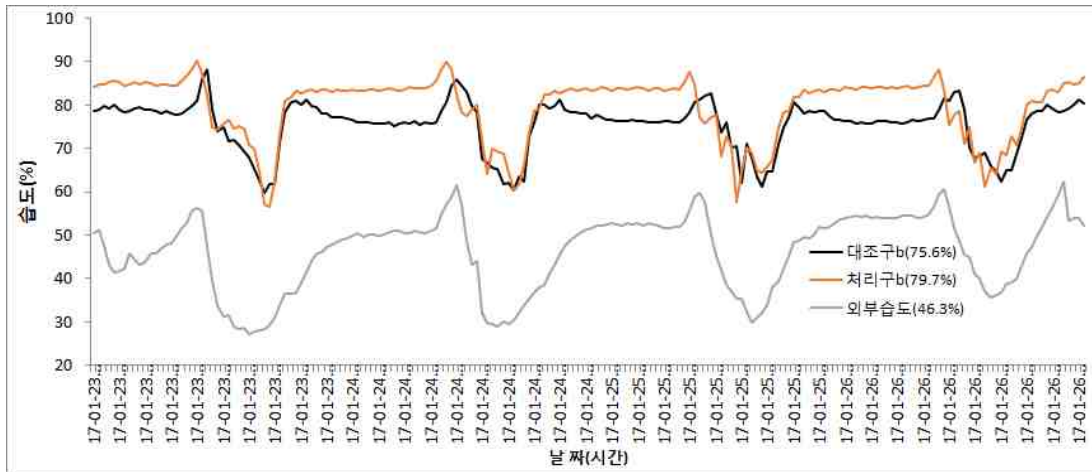
온도 측정결과 평균온도는 a지점에서는 온도 분포가 대조구, 처리구 모두 같게 유지되었고, b 지점에서는 대조구가 약간 높은 경향을 보였으나, 이 원인은 낮에 일사량이 다른 지점보다 높아 평균온도를 올리는 원인이 된 것을 알 수 있으며, 북쪽지점인 c지점은 처리구는 16.3°C로 위치에 관계없이 같은 온도를 유지하는 반면, 대조구는 14.2°C의 낮은 온도를 보여 그림과 같이 밤의 온도가 낮게 유지가 되었음을 알 수 있다. 이와 같이 평균온도가 낮은 것은 하우스의 위치와 알루미늄 피복의 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

그림 5) 습도

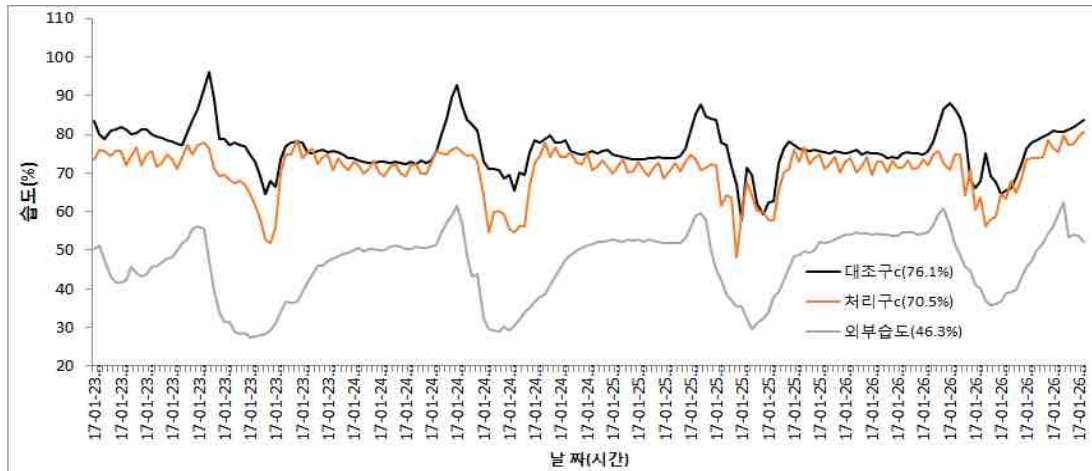
<a 지점>



<b 지점>



<c 지점>



※ 측정 높이 : 하우스 지면으로부터 1.2m

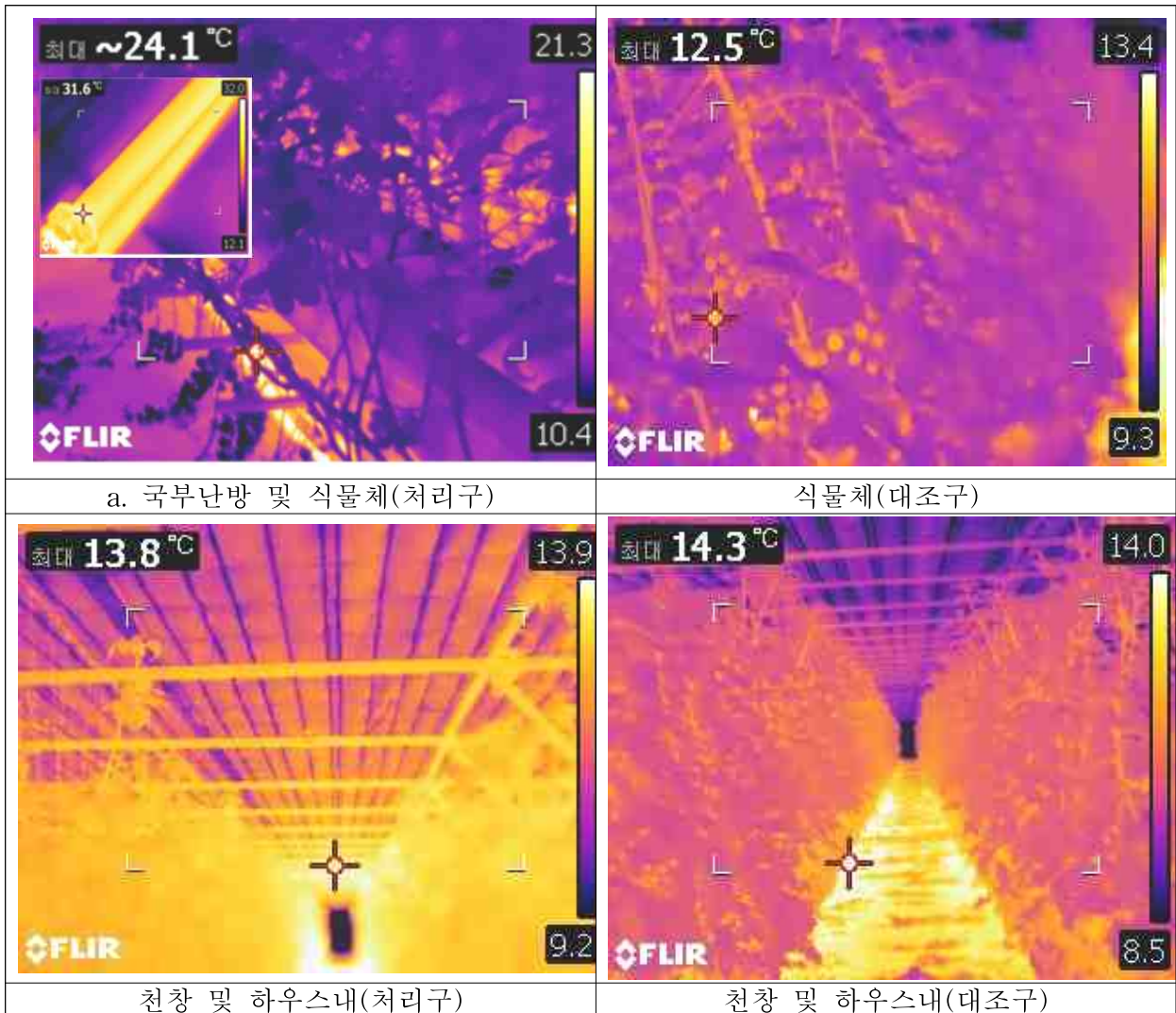
측정 지점 : A지점(입구로부터 5m지점, 북쪽), B지점(45m지점), C지점(85m지점, 남쪽)

습도는 위치별로 a, b 지점은 처리구에서 약간 높게 유지되는 반면, c 지점은 대조구가 약간 높았으나 전체적으로 70.5~79%에서 유지 관리 되었다.

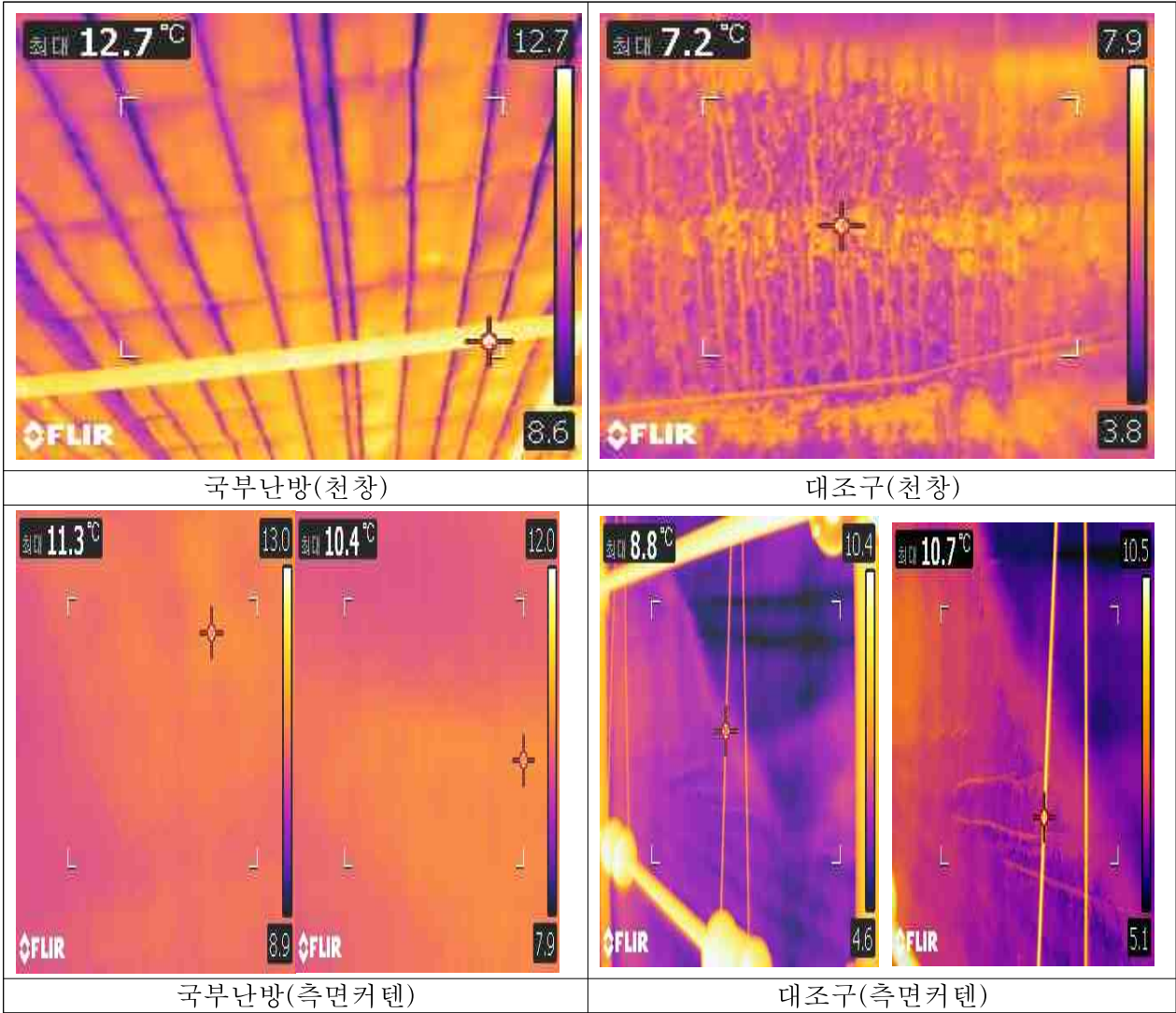


### 3) 팩키지처리 효과 조사

그림 6) 하우스내 야간 온도 분포조사



야간에 하우스 내 열화상 카메라로 촬영 결과 처리구의 베드부분 식물체에 온도는 10.4~21.3°C 온도 분포를 보였으며 특히 온수가 지나가는 PE파이프부근은 30°C가 넘었다. 반면 대조구는 9.3~13.4°C의 온도 분포를 보여 국부난방 처리가 최고 7.9°C까지 차이가 나 토마토 생육에 많은 영향을 주는 것을 알 수 있으며, 이는 토마토에 착과된 과일의 크기와 숙기에 영향을 주어 숙기를 보다 빠르게 하는 역할을 하는 것으로 생각된다. 천창보온 스크린은 촬영에서 처리구는 8.6~12.7°C의 온도분포를 보이는 반면 대조구는 3.8~7.9°C의 온도 분포를 보여 처리 차이가 큰 것을 볼 수 있었다.



하우스 측면 커튼 부분 중 처리구는 7.9~12°C의 온도 분포를 보이는 반면 대조구는 5.1~10.5°C의 온도 분포를 보여 열손실이 아주 클 수 있음을 볼 수 있어 이것이 에너지 소비의 큰 요인 중 하나 일 것으로 생각 된다. 또한 하우스 내 평균온도 조사결과에서도 온풍기의 영향이 작게 미치는 북쪽지역에서의 온도 편차는 크게 나타나는 것을 보여 피복제의 역할이 에너지 절감에 큰 역할을 한다는 것을 알 수가 있다.

### 3) 국부난방 처리 효과

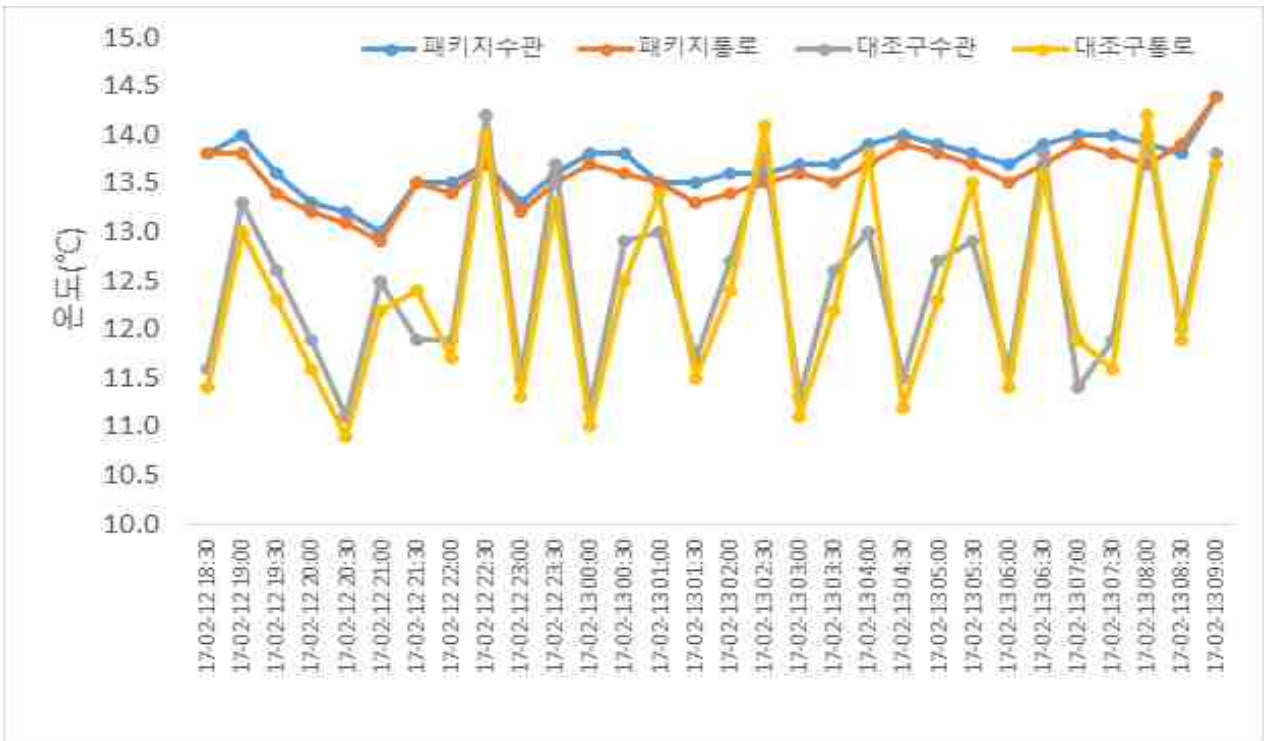
표 1. 국부난방 처리 평균 온도 차이 비교

구 분	통 로	수 간
대 조 구	13.4	13.4
국부난방	13.6	13.9(0.5↑)

※ 온도차 조사 : 18:30~08:00시간동안 평균 온도차(1. 20~1.25)

국부난방 처리 평균온도 차이 비교한 결과 대조구는 통로와 수간 온도 차이가 없는 반면 국부난방의 경우 통로 보다는 수간에서 온도가 0.5℃ 높았다. 이로 볼 때 온풍난방보다 국부난방이 에너지 이용 효율 면에서 크다 할 수 있다. 특히 과일 성장과 숙기에 요인이 되는 적산온도를 볼 때 과일이 가장 많이 달려 있는 부분이 베드부분에 집중되어 있어 이 부분의 온도가 높게 형성 되어 국부난방의 효과는 큰 것으로 보인다. 보다 세밀히 검정하기 위해서는 앞으로 식물체 위치별 높이별 조사가 필요 하겠지만 지상부로부터 1.2m부위에서 측정된 05℃의 국부난방효과는 실제적으로 그 효율이 더 클 것으로 판단된다.

그림 7. 국부난방 처리 효과



국부난방처리 효과를 볼 때 처리구는 온도가 일정하게 유지되고 있는 반면 대조구는 온도 유지 폭이 불안정하고 커, 토마토 생육에 처리구에 비해 억제적 영향을 주어 수량에 직접적 영향을 줄 것으로 생각된다.

#### 4) 토마토 생육 및 수량

표 2. 정식 후 90일 생육특성

처 리	초장 (cm)	경경 (mm)	엽면적 (cm <sup>2</sup> )	건물중(g/주)			화방수 (개/주)
				합계	엽중	경중	
대조구	297	14.5	6,015	61.5	38.0	23.5	8.5
팩키지	302	14.9	6,652	63.2	39.0	24.2	9

정식 후 90일 생육조사 결과 경경에는 차이가 없었지만 초장이 팩키지 처리가 길었으며 엽면적도 넓어 전체적 생육이 좋았고 건물중도 무거운 편이었고, 화방수도 9개로 많았다.

표 3. 성장량 비교(g/m<sup>2</sup>/일)

처 리	30일	60일	90일
대 조 구	0.48	0.85	0.68
팩 키 지	0.49	0.86	0.69

성장량을 비교한 결과 30일, 60일, 90일처리간 성장량 차이는 없었으나 생육일수 간 성장량 차이가 있어 60일에서 성장 속도가 가장 컸다. 이것은 90일에서는 과일 착과량이 많고 과일 익는 속도가 빨라져 영양성장보다 생식생장이 앞서 나타나는 경향으로 생각되며 만약 전체적으로 생장이 늦어지는 겨울철이라면 90일에서 성장속도가 많았을 것이라 생각된다.

표 4. 수량 및 품질

구 분	수 량 (kg/10a)	당 도 (°Brix)	경 도 (g/)
대조구	6,402(100)	7.0	0.72
팩키지	7,482(117)	7.0	0.72
LSD(5%)	163.7		
CV(%)	1.9		

※ 수량조사기간 : 2016. 12. 23~2017. 5. 02

당도와 경도는 처리 간 차이가 없었으나 수량은 통계처리결과 유의성 수준 0.05에서 유의한 차이가 있어 7,482kg/10a로 처리구가 17%의 수량 증가 효과가 있고, 10a당 난방비용은 대조구에서는 2,487천원, 난방패키지기술 적용 온실은 1,230천 원이 소요되어 난방비는 50.5%가 절감되는 것으로 나타났다. 토마토 연동하우스에 대한 난방패키지 기술 적용시의 경제성 분석을 수행한 결과 10a당 3,072천원, 증가되는 이익이 발생하는 것으로 분석되었다.



## 나. 여름철재배 패키지기술 효과

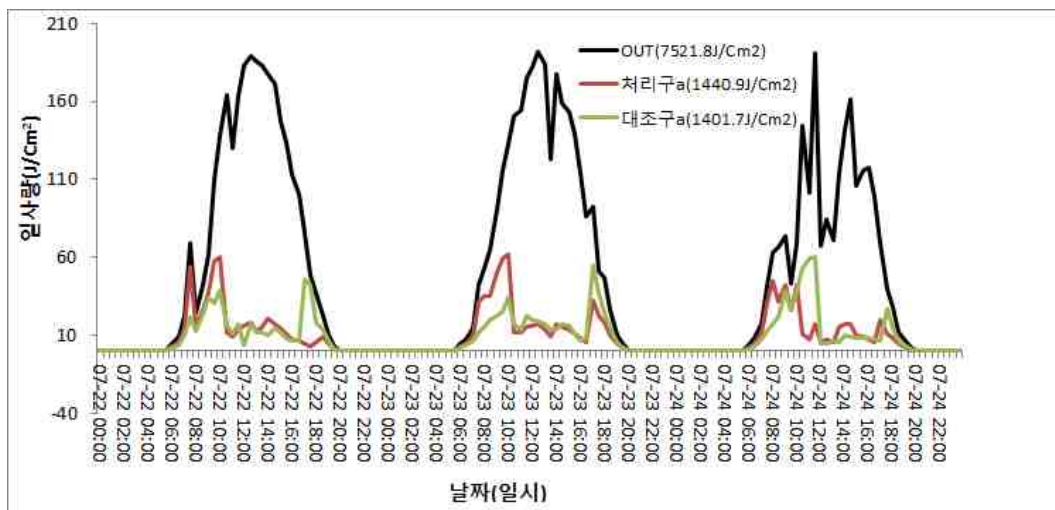
그림 8) 여름재배 패키지 장치



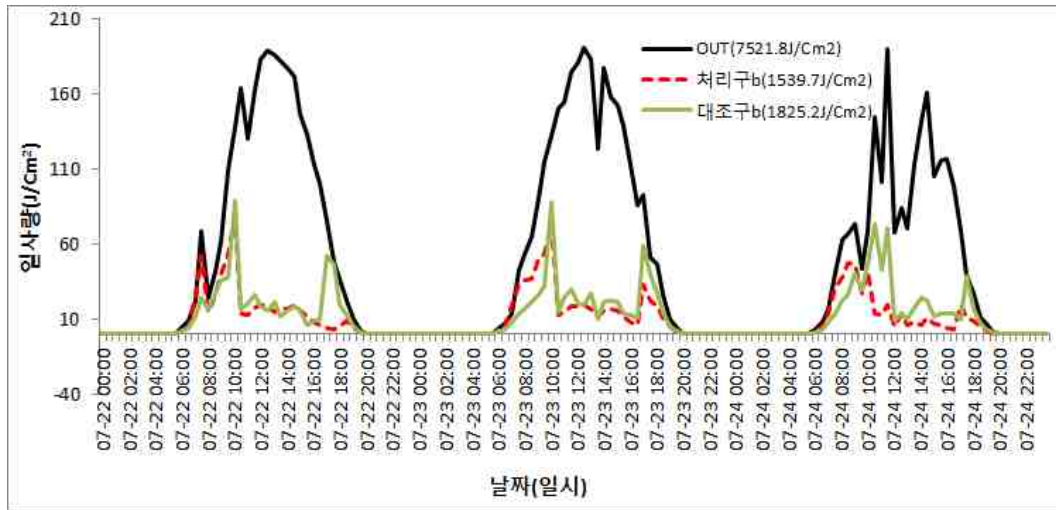
### 1) 재배 환경 조사

그림 9) 일사량

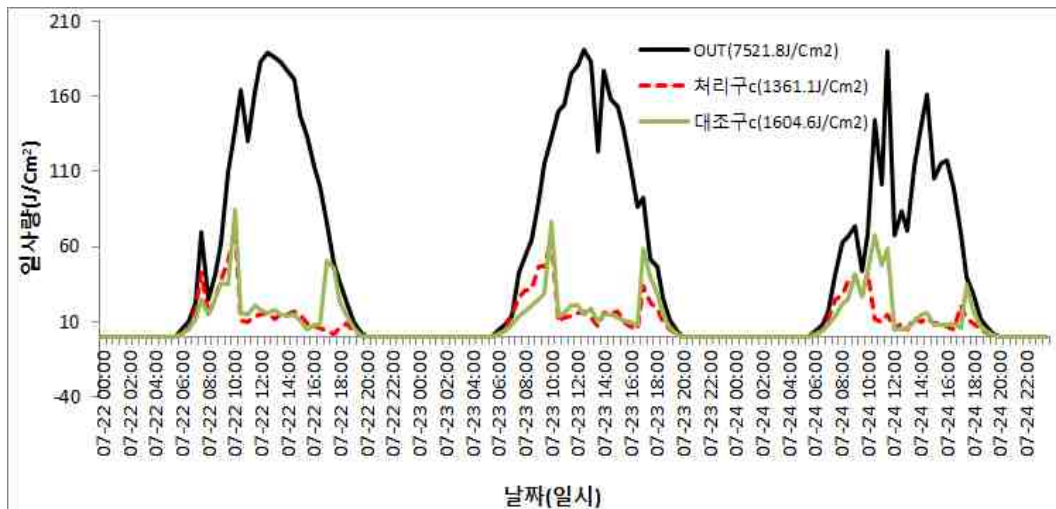
<a 지점>



<b 지점>



<c 지점>



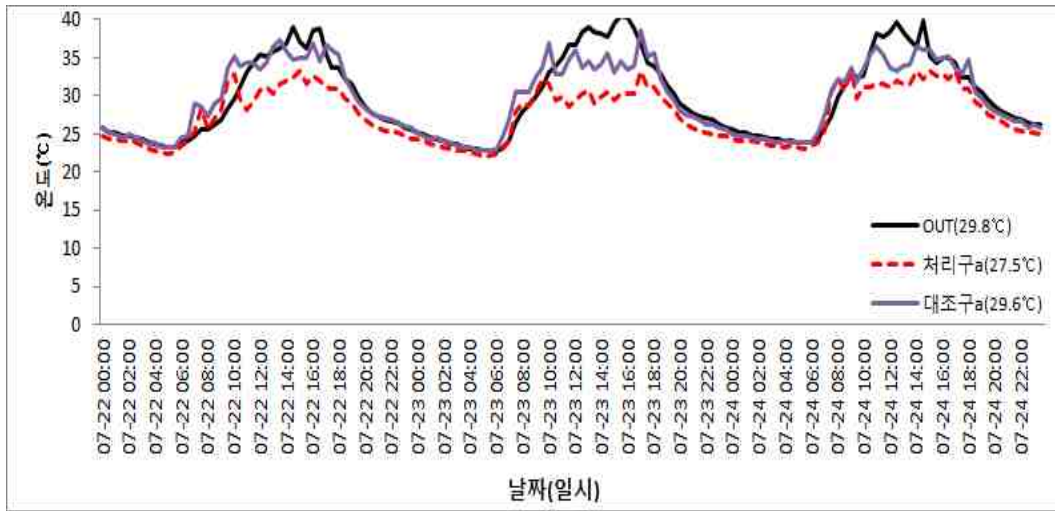
※ 측정 높이 : 하우스 지면으로부터 1.2m

측정 지점 : A지점(입구로부터 5m지점, 북쪽), B지점(45m지점), C지점(85m지점, 남쪽)

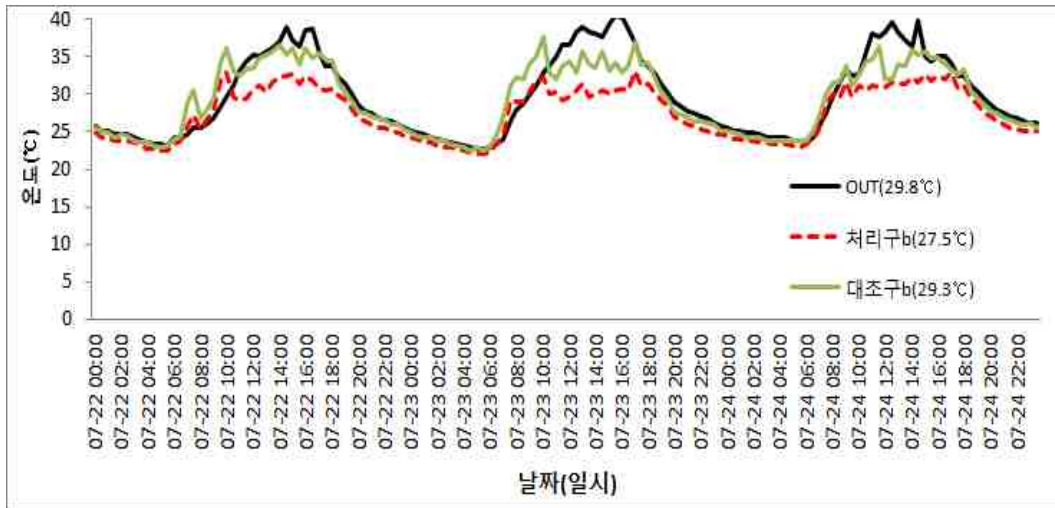
a지점은 치리구 대조구 비슷한 일사량 이었고 온도 및 식물체 관리를 위한 차광을 한 결과 투광 정도는 20% 식물체에 되었고, b지점은 치리구 대비 대조구가 투광량이 약간 많았고 전체적으로는 23% 이었다. c지점에서 2와 같이 투광정도가 비슷하여 20%의 빛이 하우스에 들어왔으며, 전체적으로는 중간위치인 b지점이 투광량이 많았으며 차광에 의한 투광량은 20~23% 정도였다.

그림 10) 온도

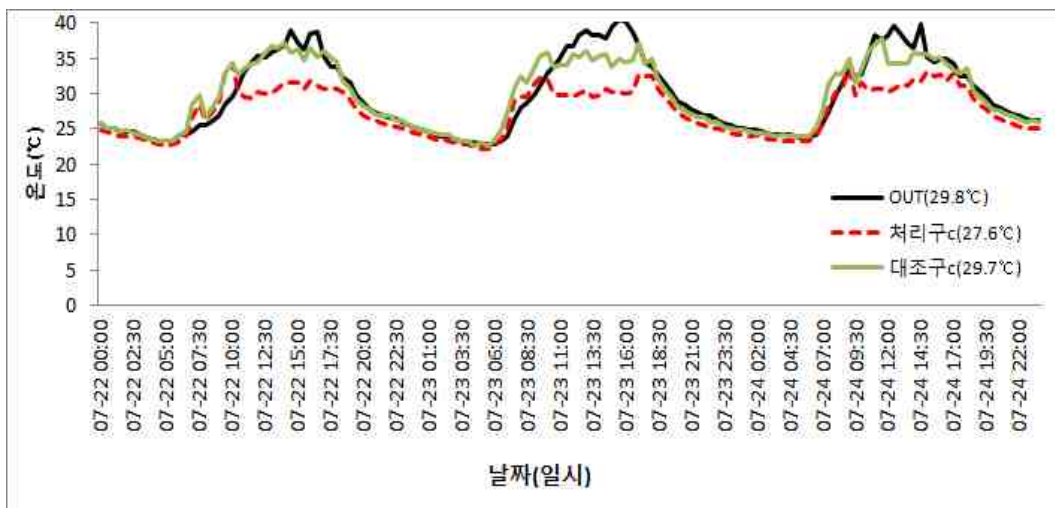
<a 지점>



<b 지점>



<c 지점>



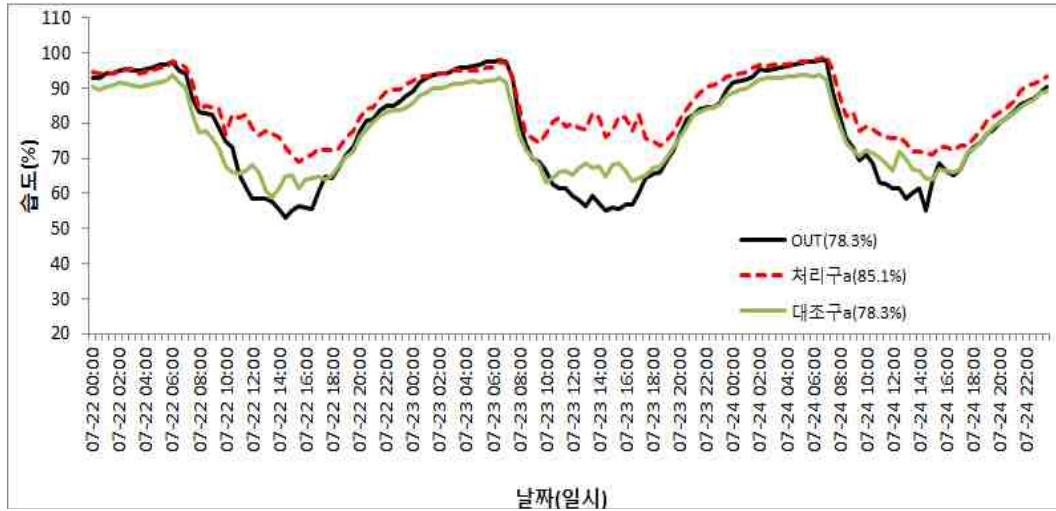
※ 측정 높이 : 하우스 지면으로부터 1.2m  
 측정 지점 : A 지점(입구로부터 5m지점, 북쪽), B지점(45m지점), C지점(85m지점, 남쪽)



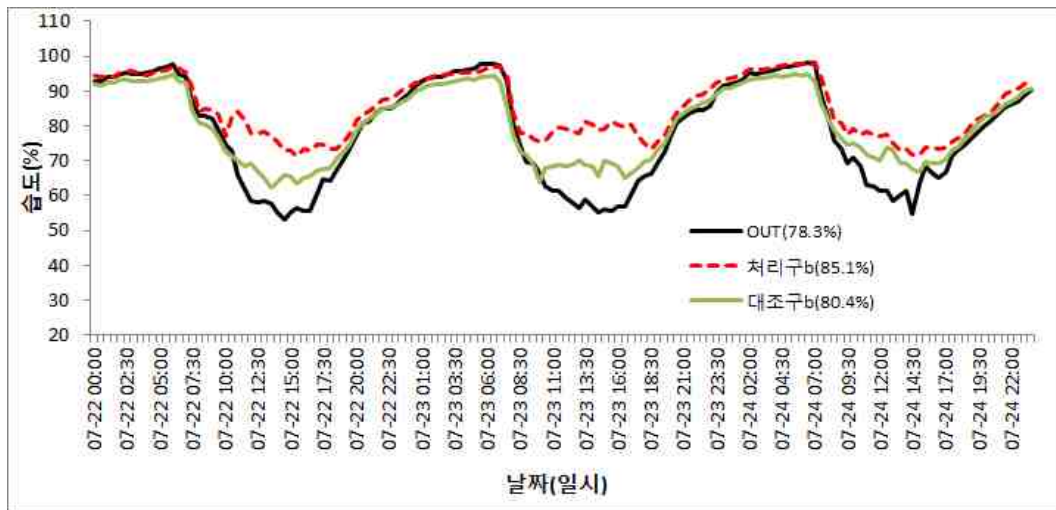
하우스 내 온도는 a, b 지점 모두 처리구가 2.2℃ 정도 낮은 온도 분포를 보였으나 대조구는 외기온도와 같은 온도를 유지 하는 것으로 보였다. 측정 위치별로 온도 차이가 나지 않았다.

그림 11) 습도

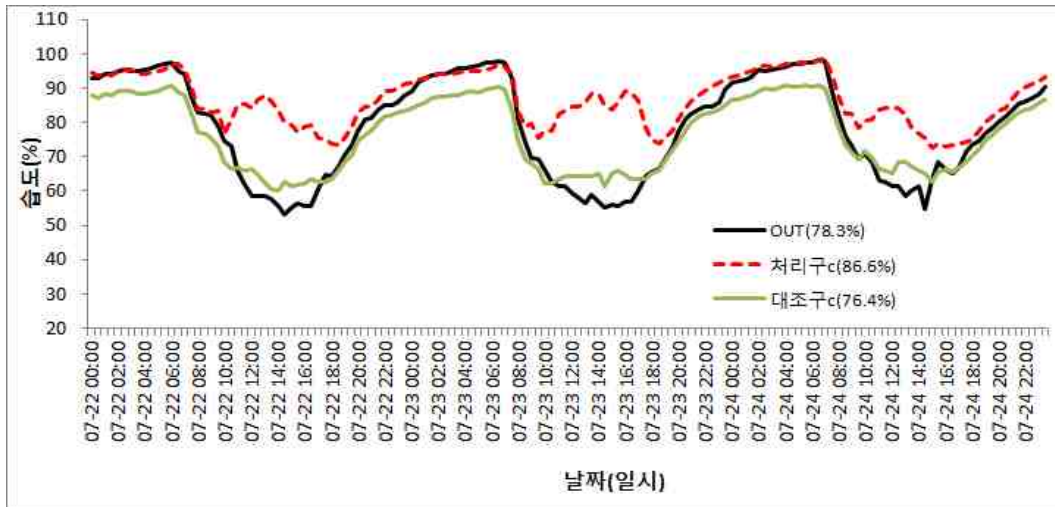
<a 지점>



<b 지점>



<c 지점>

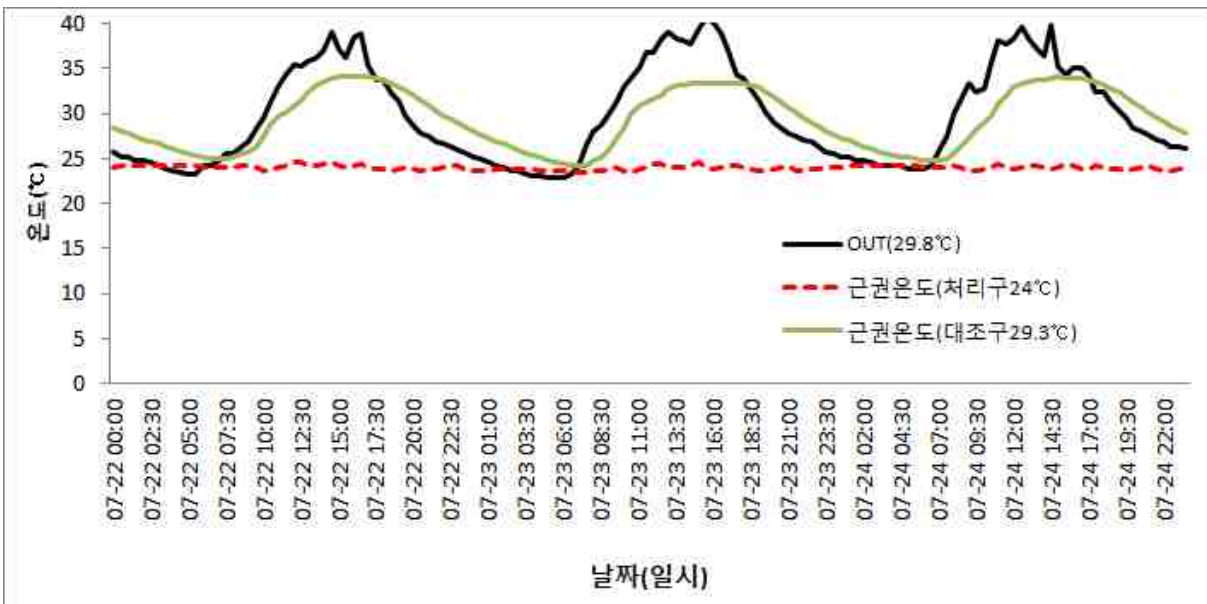


※ 측정 높이 : 하우스 지면으로부터 1.2m

측정 지점 : A지점(입구로부터 5m지점, 북쪽), B지점(45m지점), C지점(85m지점, 남쪽)

여름철 재배시 평균습도는 외기보다 내부가 높은 편이었으나 처리구는 약 8%가 습도가 높게 관리 되었다. 이것은 주간에 온도 저하 및 생육을 위한 저압식 포그시스템을 운영한 결과이며, 처리차이에서 보아도 전체적으로 대조구에 비해 처리구 습도가 높게 유지 되었다. 위치별 조사에서는 처리구는 위치별 차이가 없었으나 대조구는 가운데 부분인 b부분에서 습도가 가장 높게 유지되는 것을 볼 수 있다.

그림 12) 근권 온도



근권온도 조사에서 대조구가 외기온도 보다 근권온도가 0.5°C 낮게 나타났으나 외부온도와 큰 차이 없이 거의 비슷한 온도를 유지 하였으나 처리구는 16°C 냉수를 지하부 PE 파이프를 통한 온도관리로 24°C를 유지하여 지상부 생육에 좋은 많은 영향을 주는 것으로 생각 된다.

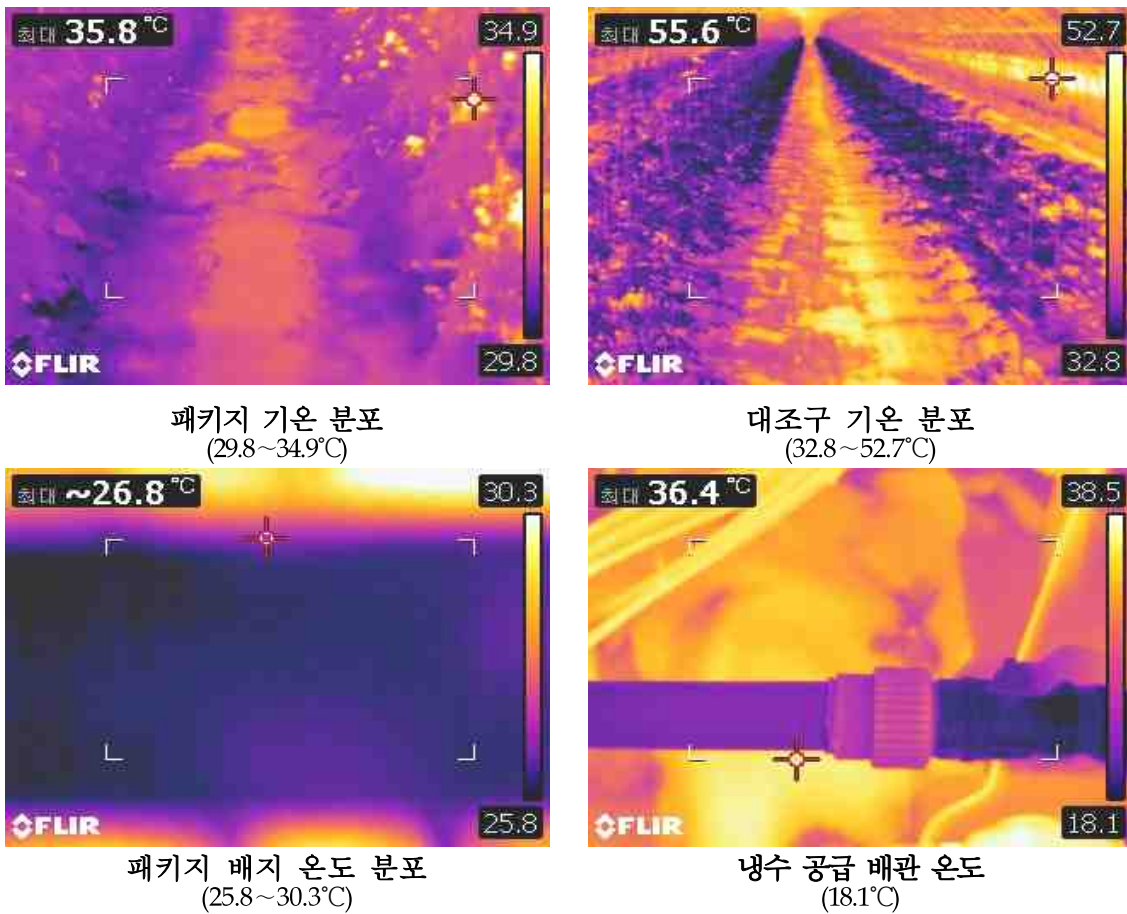
표 5. 냉방 패키지 시설 효과 조사

처리내용	기온(°C)	배지온도(°C)	엽온(°C)	엽수(매)	화방수(개)
패키지	29.8	25.8	29.7	15.6	4.3
대조구	32.8	34.8	33.8	11.5	2.5
차이	△3.0	△9.0	△4.1	4.1	1.8

※ 조사일 : 8. 9

여름채배를 위한 2016년 8. 9일 조사한 패키지 효과를 보면 기온은 3°C 하강한 효과가 있었고 배지 온도는 현격한 차이나 9°C나 낮게 관리 되고 있었다. 엽온도 처리구가 대조구에 비해 4.1°C 낮게 유지되었다. 엽수도 확연하게 차이나 4.1매나 처리구가 많아 전체적으로 생육 차이가 많이 나는 편이었다. 정식 후 짧은 기간임에 불구하고 화방수 차이는 1.8개로 현격하게 차이나 전체적으로 처리구의 생육이 많이 좋다는 것을 알 수 있다.

그림 13) 열화상 카메라 비교



열화상 카메라로 하우스내 온도 분포를 촬영한 결과 패키지는 위치에 따라 29.8°C~34.9°C의 온도 분포를 보이는 반면 대조구는 32.8°C~52.7°C의 온도 분포를 보여 토마토 채배에 부적합

한 온도 분포를 보이는 것을 볼 수가 있다. 처리구는 다소 온도가 높지만 식물체 부분의 온도가 30℃이하로 지하부관리와 더불어 환경관리를 한다면 여름재배가 가능 할 수 있는 것으로 생각된다. 특히 팩키지 처리의 배지 온도를 볼 때 25.8℃로 대조구에 비해 9℃이하로 관리가 되어 뿌리생육에는 이상이 없는 것으로 나타나 전체적으로 볼 때 생육은 양호한 편이었다.

그림 14) 팩키지 처리 생육 비교



그림 14와같이 생육상태도 현저한 차이가나 시간이 지날수록 대조구는 시들고 죽어가는 토마토 식물체가 많았으나, 처리구는 온전한 상태로 생육이 되고 있는 것을 볼 수가 있다.

## 2) 품질 및 수량 조사

구 분	수 량		과 수 (개/주)	과 경 (mm)	과 장 (mm)	당 도 (°Brix)	경 도 (kg/cm <sup>2</sup> )
	kg/10a	주/kg					
처리구	2,114 (164)	0.74	42	24.5	27.6	7.0	0.70
대조구	1,286 (100)	0.45	27	23.8	25.7	7.2	0.79

※ 수확기간 : 8. 8 ~ 9.13

수량조사 기간이 짧았으나 과경, 과장에서는 차이가 없었고 과수에는 많은 차이가 났다. 당도 경도는 대조구가 약간 높은 경향이였으나 이것은 식물체가 시들어가며 동시에 과일의 표피가 단단해진 것으로 생각된다. 당도 또한 차이는 없었지만 시들음의 영향이 컸다고 생각된다.

수량면에서도 큰 차이가 나 대조구 대비 2,114kg/10a의 수확을 하여 64%의 수량 증가 요인이 되었으나 만약 수확기간이 길었으면 그 효과는 몇 배가 될 것으로 생각된다. 따라서 여름철 토마토 재배 시 겨울재배와 여름재배에 적합한 알루미늄스크린과, 저압식 포그시스템, 근권부 냉난방장치이용 냉방을 한다면 충분히 여름재배가 가능할 것으로 판단된다.

**제2절 연동하우스 에너지절감 패키지 기술보급 확산**

**1. 연동하우스 에너지절감 패키지 기술 경제성 검토**

연동하우스에서 토마토 재배 시 난방 패키지 기술 적용 온실과 일반 온실 재배와 비교하였을 때의 경제성 검토 결과 패키지 적용 온실 10a당 설치비는 18,800,000원 으로 나타났다.

연간 감가상각비 1,610,000원과 박스가격, 박스작업 인건비 합이 2,181,200원으로 나타났다. 패키지 기술 적용에 따른 이익적 요소로 유류난방 대비 난방비 절감액이 1,268,390원, 수량 증수에 의한 소득액 3,985,200원으로 겨울철 재배에 의한 총 증가수입은 5,253,590원으로 연간 추정 수익액은 3,072,390원으로 나타났다.

○ 경제성분석(부분시산법, 10a)

손실적 요소(A)	이익적 요소(B)
○ 증가되는 비용 - 연동 비닐하우스용 패키지 설치 • 감가상각비 : 1,610,000원 * 알루미늄필름 : 10,800,000원÷10년 = 1,080,000원 * 국부난방 : 8,00,000원÷15년 = 530,000원 * 박스가격 : 1,080kg÷5kg/박스 = 216박스×700원/박스=151,200원 * 박스작업인건비 : 216박스×15분=3,240분÷60분= 54시간÷8시간/인≐7인×60,000원=420,000원 - 계(A) : 2,181,200원	○ 증가되는 이익 - 에너지절감 효과 : 50.5% • 3,712L/작기×670원(등유)=2,487,040×0.51 =1,268,390원 - 수량증가 효과 : 17% • 7,482-6,402kg=1,080kg×3,690원/kg = 3,985,200원 ※ 가격적용 : 3,690원/kg(평년 평균가격) - 계(B) : 1,268,390원+ 3,985,200원=
○ 추정수익액(B-A) = 5,253,590원-2,181,200원= 3,072,390원(패키지 기술적용 효과)	

**2. 기대효과**

가. 에너지 절감 효과

연동 비닐하우스 에너지절감 패키지 기술	적용면적 (ha, 총합)	에너지절감액 (백만원, 추정)
알루미늄커텐(측면,커텐) + 국부난방	96ha (토마토)	637

【산출근거】 : 적용면적\*난방비용\*에너지절감률(%)/100 = 960\*1.3백만원\*0.51

나. 생산성 향상 효과

에너지절감 패키지기술 모델	적용면적 (ha, 추정)	소득 증가액 (백만원, 추정)
알루미늄커텐(측면,커텐) + 국부난방	96ha (토마토)	2,880

【산출근거】 : 적용면적\*소득증가율(%) = 960\*3.0백만원

다. 패키지적용 효과

○ 에너지절감(637백만원)+소득증가(2,880백만원)=3,517백만원/년



연동비닐하우스 겨울재배에 에너지 절감 효과를 보면 51%의 절감효과가 있어 충남 연동하우스 재배면적(96ha)에 적용하면 637백만원의 에너지 절감 효과와 수량 증가에 의한 2,880백만원의 소득증가 효과가 있어 전체적으로 3,517백만원의 패키지 적용 효과를 얻을 수 있었다.

### 3. 현장평가회 개최

#### 가. 1차 현장평가회 개최

- 일 시 : 2016. 4. 12(화) 14:00~16:00
- 장 소 : 충남 부여군 양화면 수원리
- 참석자 : 농업에너지절감 사업단, 농업인, 업체 등 30명
- 개발기술 소개
  - 패키지 기술 : 알루미늄커튼 + 국부냉난방 + 대조구(온풍난방+근권냉난방+보온커튼) 실증시험
- 결과 설명
  - 하우스 내 일사량은 남쪽 방향(C구역)에서 가장 높았다. 하우스 내 위치별 일사량은 남>북>중간 순 이었다.
  - 낮 온도는 일사량과 같은 경향으로 남쪽인 C구역에서 높았고 중간은 낮은 온도 분포를 보였다.
  - 저녁 온도는 패키지 처리는 설정온도 14℃에서 일정하게 유지 되는 반면, 대조구는 온도 유지 폭이 큰 편이었다.
  - 패키지 처리 부분의 습도가 높았다. 이것은 패키지 처리 부분의 다른동에 있는 식물체가 대조구에 비해 큰 것에 의한 영향으로 습도가 높게 유지된 것으로 판단되며, 위치별로 볼 때 C구역이 높았다.
  - 식물체 부위와 통로의 온도는 식물체 부위가 통로 보다 약 0.7℃ 높은 온도 분포를 보였다.
  - 정식 후 60일 생육특성은 대조구, 패키지 처리 모두 처리 간 차이가 없었다.
  - 성장량 비교에서 초기 30일에는 대조구에 비해 패키지 처리가 높은 경향이었으나 60일 조사에서는 차이가 없었다. 이것은 30일 후부터 60일 생육시기에는 바깥 기온이 높아져 야간 난방이 많지 않아 국부난방 효과가 적어진 것으로 사료된다.
  - 에너지 소비량은 2월 15일에서 3월 15일까지 병커A유와 전기사용량으로 환산하였을 때 패키지 처리가 585,078원으로 대조구 815,605원 대비 29.1%의 절감효과가 있는 것으로 조사되었다. 그러나 야간온도가 저온으로 지속되는 12월, 1월, 2월의 소비량을 추후 조사한다면 에너지 절감 효과는 더욱 커질 것으로 사료된다.
- 질의 응답
  - 에너지절감조사 일과 수량조사일이 짧지 않았는지 길었다면 효과가 컸을 텐데?
  - ☞ 설치가 늦어져 정식일이 늦어진 이유로 겨울철 수량 및 에너지 이용 시간이 줄어들어 그 효과는 크게 나타나지 않았으나 질의 한데로 시간이 길었으면 효과는 충분히 커지리라 판단되어 내년 반복 시험으로 결과 도출하겠음

#### 나. 2차 현장평가회 개최

- 일 시 : 2017. 3. 28(화) 14:00~15:20
- 장 소 : 충남 부여군 양화면 수원리
- 참석자 : 농업에너지절감 사업단 단장, 각 도원 실증연구 책임자, 농업인, 업체 등 30여명
- 개발기술 소개
  - 패키지 기술 : 알루미늄커튼 + 국부냉난방 + 대조구(온풍난방+근권냉난방+보온커튼) 실증시험
- 결과 설명

- 위치별 온도조사에서 식물체 부위와 통로의 온도는 식물체 부위가 통로 보다 약 0.5℃ 높은 온도 분포를 보였다.
- 처리별 온도 분포에서 처리구가 대조구에 비해 온도 분포가 높게 되어 있어 과일부위의 적산온도를 높이는 원인이 되어 숙기가 빨라져 화방 진전속도가 빠르게 되는 원인이 된 것으로 생각된다.
- 천장 부분의 온도 측정결과 처리구는 9.2~13.9℃의 분포를 보이는 반면, 대조구는 8.5~14℃의 분포를 보여 대조구의 하우스 내 온도 분포가 불균일한 것으로 나타났다.
- 처리구의 천창스크린 부분 온도는 8.6~12.7℃ 온도 분포를 보이는 반면, 대조구는 3.8~7.9℃로 현저히 떨어지는 것으로 나타났다.
- 측면커튼의 경우 처리구에서 8.9~13℃의 온도 분포를 보이는 반면, 대조구는 5.1~10.5℃의 낮은 온도 분포를 나타냈다. 이 전체를 보았을 때 알루미늄스크린을 이용함으로써 온도 보온 효과가 커짐을 알 수 있었다.
- 하우스 내 온도 분포조사결과 패키지 처리는 하우스 내 온도가 균일하게 유지되는데 비해 온풍난방의 경우 온도 분포가 불안정하게 유지 되는 것으로 나타났다.
- 정식 후 90일 생육특성은 대조구, 패키지 처리에 큰 차이가 없었으나 엽면적 및 화방수가 많아지는 경향이였다.
- 수량조사 결과 패키지 처리가 대조구 대비 17% 생산량 증가 효과가 있었다.
- 에너지절감효과는 유류 사용량 비교 시 패키지 처리가 1,386L 사용으로 대조구 3,712L 사용 대비 50.5% 에너지절감이 가능한 것으로 나타났다.

○ 언론보도 : 중도일보, 충청신문 등 7건('16년 3월 28일자)

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

### 1절 : 연구개발 목표 및 연구개발 수행내용

연구개발 목표		연구개발 내용	달성도 (%)
1차년도 (2014~ 2015)	○ 연동 비닐하우스 에너지 절감 패키지 기술 모델 구축	- 보유기술 : 연동온실(측창 및 천창), 보온 및 차광스크린, 수정재배, 유류난방 - 투입 패키지기술 : 이류체세무냉방, 국부냉난방, 바닥반사	100
	○ 연동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델의 효과검증 및 매니지먼트 기술 확립	- 패키지기술 도입 온실의 계측장치 설계 및 구축 - big data 수집 - 이류체저압세무냉방: 외내기온차, 엽온차, 습도차, 에너지 사용, 생산량 분석	100
2차년도 (2015~ 2016)	○ 토마토의 온실 난방비 절감 패키지기술 실증 및 확산	- 난방패키지 : 알루미늄커텐(천창) + 국부냉난방 + 측면커텐(알루미늄) - 시험작물: 토마토 - 조사내용: 온·습도, 연료소모량, 수량 등 - 난방패키지 효과 분석	100
	○ 토마토의 온실 냉방패키지기술 실증 및 확산	- 난방패키지 : 저압식 이류포그시스템+근권냉방 - 시험작물: 토마토 - 조사내용: 온·습도, 작물생육 및 수량 - 냉방패키지 기술 효과 검토	100
2차년도 (2016~ 2017)	○ 연동하우스 에너지절감 패키지기술개발 및 보급 확산	- 난방패키지 : 알루미늄커텐(천창) + 국부냉난방 + 측면커텐(알루미늄) - 시험작물: 토마토 - 조사내용: 온·습도, 연료소모량, 수량 등 - 난방패키지 기술 효과 분석	100

## 2절 : 관련분야의 기술발전예의 기여도

본 실증과제의 연구개발 목표는 연동하우스 겨울철 토마토재배 농가 에너지절감 및 고온기 재배를 위한 패키지기술 모델 실증연구 및 기술보급 확산으로 농가 경쟁력을 제고하는데 있으며, 겨울철재배 패키지 기술 적용으로 기존 유통난방 대비 난방비 30% 절감, 수량 10% 증진과 고온기 재배에 패키지 이용 재배로 수량 15% 증대를 목표로 하였다.

실증연구에 투입된 패키지 기술은 겨울철재배에 기 개발된 기술 중 온풍난방에 2중의 천창다겹보온 커튼과 측면에 다겹보온커튼이 설치된 하우스를 대조구로하고 처리구는 대조구에 천창 부분에 알루미늄커튼과 측면알루미늄커튼을 설치하고 국부난방 장치를 설치한 하우스를 처리구로 하였다.

고온기 재배를 위한 냉방패키지는 수경재배 베드의 근권부를 냉방하기 위한 장치로 자루베드 하부에 온수용 PE파이프 배관(Ø16mm)을 2열로 배치하여 16℃의 냉수를 순환시켜 근권부온도를 관리하였고 지상부는 저압 포그 노즐을 이용한 포그시스템을 설치하였다. 대조구는 일반 보온커튼이 설치된 온실과 비교하여 그 효과를 보고 모델로 제시 하였다.

시기별로 처리별 각 효과 및 생육 시험을 수행한 결과, 겨울철재배 시 처리구가 관행 연동온실 대비 난방비 50.5% 절감, 수확량 17% 증수 효과를 확인하였으며, 여름철 토마토 재배 시 수확량 64% 증수 효과를 확인하였다. 기술보급 확산을 위해 개발기술의 경제성 분석을 실시하여 농식품부에 정책제안 활용 방안을 제시하였다. 기술 홍보 및 평가를 위해 현장 평가를 2회 개최하였으며, 농업전문지 등을 대상으로 12건의 언론홍보를 하였다. 여름철 재배 효과를 구명한 이류체 포그시스템을 이용한 고온기 시설 내 환경관리에 대한 논문을 1건 게재 하였다.

본 연구결과로 연동형 온실에서 토마토 재배 시 에너지절감효율 증진을 위한 패키지로 이용할 수 있을 것이다.

## 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

- 연동하우스 난방 패키지 기술의 농가 보급 확대를 위한 농림축산식품부 정책제안
  - 연동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 지원(농림축산식품부 원예경영과)
- 연동하우스 국부난방이용 에너지 효율적이용(영농활용)
- ‘차광제와 이류체 포그시스템을 이용한 고온기 시설 내 환경관리’ 논문투고
- 토마토 연동하우스 패키지 기술보급으로 농가소득 향상 및 고품질 안정 생산에 기여

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

해당사항 없음

## 제 7 장   참고문헌

- Adams, S.R., K.E. Cockshul, and C.R.J. Cave. 2001. Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. *Ann. of Bot.* 88:869-877.
- Asher, C.J., P.G. Ozanne, and J.F. Loneragn. 1965. A method for controlling the ionic environment of plant roots. *Soil*
- Athanasios, P. and H. Xiuming. 1997. Effects of three greenhouse cover materials on tomato growth, productivity and energy use. *Scientia Horticulturae* 70:166-169.
- Briassoulis, D., D. Waaijenberg, J. Gratraud, and B. von Eslner. 1997a. Mechanical properties of covering materials for greenhouse; part1, general overview. *J. agric Engng Res.* 67:81-96.
- Briassoulis, D., D. Waaijenberg, J. Gratraud, and B. von Eslner. 1997b. Mechanical properties of covering materials for greenhouse; part2, quality assessment. *J. agric Engng Res.* 67:171-217.
- Calatayud, Á., E. Gorbea, D. Roca, and P.F. Martínez. 2008. Effect of two nutrient solution temperatures on nitrate uptake, nitrate reductase activity, NH<sub>4</sub> concentration and chlorophyll a fluorescence in rose plants. *Environmental Experimental Bot.* 64:65-74.
- Choi, Y.H., J.K. Kwon, H.C. Rhee, D.K. Park, and J.H. Lee. 2001. Effects of night temperatures on growth, yields of tomato and green pepper in the glasshouse cultivation and its impact on heating costs. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 42:385-388.
- Díaz-Pérez, J.C., R. Gitaitis, and B. Mandal. 2007. Effects of plastic mulches on root zone temperature and on the manifestation of tomato spotted wilt symptoms and yield of tomato. *Scientia Horticulturae* 114:90-95.
- Giuffrida, F. 2001. Temperature of substrates in relation to trough characteristics. *Acta Hort.* 559:647-654.
- Gosselin, A. and M.J. Trudel. 1983. Interactions between air and root temperatures on greenhouse tomato: I. growth, development and yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108(6):901-905.
- Jones, J.B. 1999. *Tomato plant culture: in the field, greenhouse and home garden.* CRS Press, Corporate Blvd., Boca Raton, Florida, USA. p. 94.
- Joon, K.K, J.H Lee, N.J Kang, K,H, Kang, and Y.H, Choi. 2004. Effects of Covering Materials and Methods on Heat Insulation of a Plastic Greenhouse and Growth and Yield of Tomato. *J. Bio. Env. Co.* 13(4): 251-257.
- Kafkafi, U. 2001. Root zone parameters controlling plant growth in soilless culture. *Acta Hort.* 554:27-38.
- Kennedy, R., G.F. Pegg, and S.J. Welham. 2008. *Phytophthora cryptogea* root rot of tomato in rockwool nutrient culture: III. Effect of root zone temperature on growth and

yield of winter-grown plants. *Ann. Applied Biol.* 123:563-578.

Kennedy, R. and G.F. Pegg. 1990. *Phytophthora cryptogea* root rot of tomato in rock wool nutrient culture. II. Effect of root zone temperature on infection, sporulation and symptom development. *Ann. Applied Biol.* 117:537-551.

Kim, S.E., S.Y. Sim, S.D. Lee, and Y.S. Kim. 2010. Appropriate Root-Zone Temperature Control in Perlite Bag Culture in Winter. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28:783-789.

Kwon, J.K., Y.H. Choi, D.K. Park, and J.H. Lee. 1999. Effects of covering methods for insulation on heating cost, growth and yield of tomato in greenhouse. *J. Bio. Fac. Env.* 9(1):58-61 (in Korean).

Lee, M.Y., S.J. Hwang, and B.R. Jeong. 2001. Growth and yield of hydroponic rose 'little marble' as affected by root zone temperature and heating method in winter season. *Journal of Bio-Environment Control* 10(1):61-68(in Korean).

Lee, S.Y., H.J. Kim, H. Chun, S.H. Yun, Y.I. Nam, and J.G. Lim. 2003. Energy saving by use of pull&roll multi layer type screen system on greenhouse. *Kor. Res. Soc. Protected Hort.* 16(1):1-6(in Korean)

Verma, B.P. 1979. Container design for reducing root zone temperature. *Proc. Southern Nurs. Assoc. Res. Conf.* 24:179-182.

# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “농업에너지절감모델개발사업단 실증연구과제(과제명 : 연동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 개발 II)”의 최종 보고서로 제출합니다.

2017년 9월 일

실증연구기관명 : 경기도농업기술원

실증연구책임자 : 심상연





# 요 약 문

## I. 제 목

연동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 개발 II

## II. 연구성과 목표 대비 실적

본 과제의 연구개발 목표는 경기지역 시설원에 농가 에너지절감 및 고품질 농산물 생산을 위한 연동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 실증연구 및 기술보급 확산으로 농가 경쟁력을 제고 하는데 있으며, 구체적으로 기존 유류난방 대비 난방비 30% 절감을 목표로 하였다. 연구 내용으로 연동비닐하우스에서 방울토마토와 국화를 대상으로 지중저수열시스템과 다겹보온커튼으로 구성된 난방패키지 모델을 구성하여 농가 현장에서 난방 성능시험 및 작물 생육시험을 수행하였다. 실증시험 결과 토마토 난방 시 관행 온실 대비 난방비 33.4% 절감, 국화 난방 시 난방비 77% 절감 효과를 확인하였다. 기술보급 확산을 위해 개발기술의 경제성 분석 및 현장평가회를 개최하였으며, 농식품부 정책제안을 통해 기술보급 및 활용 방안을 제시하였다.

## III. 연구개발의 목적 및 필요성

국내 시설원에 난방연료의 95%가 유류를 사용하고 있으며, 시설원에 경영비중 난방비가 차지하는 비율이 30~50% 달한다. 특히 장미는 44%, 토마토 축성재배는 36%, 파프리카 시설재배에서는 33%가 난방비가 차지하는 비율이다. 경기지역은 남부지역에 비해 오이재배의 경우 경남지역보다 난방비가 40%이상 더 많이 소요되어 에너지 절감기술의 확대보급이 절실하게 필요한 실정이며 특히 경기도는 수도권 광역 소비시장을 배후로 하고 있어 시설채소의 생산판매가 타지역에 비하여 유리한 조건을 가지고 있어 시설채소 안정생산체계 확립을 위한 동계 난방비 절감기술 개발 및 확산이 필요한 지역이다.

또한 전국 화훼 재배면적 6,538ha 중 41%가 시설재배로 이루어지며 경기도는 화훼재배의 76%가 시설재배를 하고 있다. 시설화훼의 가장 큰 문제점은 판매가격은 정체되어 있으나 농자재 및 난방비 등 생산비가 지속적으로 증가하고 있는 실정이다. 생산비의 증가요인으로는 유가상승으로 인한 난방비 증가, 농업용 전기요금 체계 변화로 전기요금 부담 가중 등을 들 수 있으며, 특히 '12년도 시설장미 재배의 경영비가 23,243천원/10a 소요되었는데 이중 광열동력비가 9,073천원으로 39%를 차지하였으며, 시설국화 재배에서는 경영비 10,570천원/10a 중, 광열동력비가 3,223천원 소요되어 광열동력비가 30%를 차지하는 것으로 조사되었다.

이러한 측면에서 볼 때 지열, 태양광, 풍력 등 신재생에너지를 이용하여 효율적인 에너지 절감 방법이 지속적으로 요구되고 있으며, 또한 현장에서 체감할 수 있는 시설 및 작목 맞춤형 기술의 개발과 보급을 위해 농림축산식품부의 에너지절감기술 보급사업과 연계한 에너지절감 패키지 기술의 개발과 생산현장 적용 연구가 필요한 실정이다.

## IV. 연구개발 내용 및 범위

연동비닐하우스의 에너지절감 패키지기술 개발을 위하여 지중저수열 시스템과 다겹보온커튼의 패키지 기술을 선정하여 1차 년도의 시험장소는 안성시 대덕면 명당리의 1-2W형 연동 비닐하우스

스(동서동)에서 방울토마토를 공시하여 다겹보온커튼+경유온풍난방을 대조구로 두고 다겹보온커튼+지중저수열시스템을 처리구로 하여 재배환경과 에너지소모량을 조사 분석하였다. 지중저수열시스템은 물탱크, 열교환기, 히트펌프, 축열장치, 팬코일유닛 등으로 구성하였다. 난방용량은 TRHP-400W(40RT), 열원탱크 용량은 60ton이며, 물탱크 축열은 지하수열과 온실내 태양잉여열을 회수하여 수온을 확보하였다. 정식일은 2014년 10월 4일, 중간생육조사는 2015년 3월 13일에 하였다. 지중저수열시스템은 2015년 1월 30일 완공하여 2015년 2월 5일부터 3월 13일까지 에너지소모량을 조사하였다. 방울토마토의 품종은 '꼬꼬'(다끼이종묘)를 사용하였으며 재배면적은 2,600m<sup>2</sup>에 시험하였다. 재배형태는 토경재배이며 점적테이프로 관비재배 하였다. 2차 년도의 시험장소는 파주시 적성면 담안길의 1-2W 3연동하우스 2동, 20a에서 국화를 공시하여 다겹보온커튼+병커C유 온수난방을 대조구로 두고 다겹보온커튼+지중저수열시스템을 처리구로 하여 시설내 온.습도 재배환경과 생육, 에너지소모량을 조사 분석하였다. 정식일은 2015년 11월 2일, 중간생육조사는 2016년 2월 3일에 하였다. 지중저수열시스템은 2015년 11월 6일 완공하여 2015년 11월 6일부터 2월 3일까지 에너지소모량을 조사하였다. 국화의 품종은 그린드림, 본본다크, 필링그린, 러빙유 4품종을 사용하였으며 재배면적은 1,000m<sup>2</sup>에 시험하였다. 재배형태는 토경재배 하였다. 3차 년도는 2016년 시험결과에서 부족한 시설을 보완한 고도화시설 투입으로 시험을 수행하였다. 시험장소는 파주시 적성면 담안길의 1-2W형 연동 비닐하우스에서 국화를 공시하여 다겹보온커튼+병커C유 온수난방을 대조구로 두고 다겹보온커튼+지중저수열시스템을 처리구로 하여 재배환경과 에너지소모량을 조사 분석하였다. 다겹보온커튼은 5겹(마트지2, PE폼2, 부직포 1겹)으로 구성되었으며, 지중저수열시스템의 난방용량은 90,720kcal/h(30RT), 히트펌프, PLC제어, 열원탱크 40ton, FCU 32개의 규모로 설치하였다. 정식일은 2016년 12월 21일, 중간생육조사는 2017년 3월 15일에 하였다. 1차 년도 시험에서 도출된 지중저수열시스템의 부족한 열량을 보충하기 위해 고도화 시설로 5톤 물탱크 증설과 지하수 확보를 위한 관정을 증설하여 2016년 10월 1일부터 2017년 3월 21일까지 에너지소모량을 조사하였다. 국화의 품종은 필링화이트, 러빙유, 본본다크 3품종을 공시하여 재배면적 1,000m<sup>2</sup>에 토경재배로 시험하였다. 주요조사 항목은 시험구별 온습도, 에너지사용량 및 비용, 작물생육 등이며, 연동비닐하우스 패키지 기술의 적용성을 평가하기 위하여 대조구 온실과 설치비 및 난방비 절감액을 대상으로 경제성 분석을 수행하였다.

## V. 연구개발결과

1차 년도의 시험결과 지중저수열시스템과 온풍난방처리의 온도변화는 차이가 없었으며 외기온이 -14°C였을 때 시설내 난방설정온도 12°C를 유지하였다. 지중저수열시스템과 온풍난방처리의 지온변화도 차이가 없었으며 지면 30cm 위의 기온은 180cm위의 기온과 비교하여 5°C정도 낮았다. 지중저수열시스템의 습도는 온풍난방처리와 비교하여 2~3% 낮은 수준으로 유지되었다. 생육은 2014년 10월 4일 정식하여 양호한 생육 중이며, 난방 처리간 생육차이는 없었다. 지중저수열시스템의 전기소모량은 3,810kw/10a로 농사용 을요금 39.2원/kw 적용 기본요금(70kw×1,150원)을 적용하여 194,626원이 소요되었으며, 경유온풍기는 561L/10a로 면세유 800원/L을 적용하여 448,740원이 소요되었다. 절감액은 254,114원/10a으로 기존 다겹보온커튼+경유온풍난방 대비 다겹보온커튼+지중저수열시스템 처리가 56.6%의 에너지절감 효과가 있는 것으로 분석되었다. 또한 일몰시 보온커튼을 친후 하우스내부에 온도차이로 안개발생이 심한데 지중저수열시스템의 팬코일을 이용하면 10분 이내에 안개를 효과적으로 제거할 수 있었으며, 하우스내부의 습도를 낮추

어 주어 작업환경을 쾌적하게 유지할 수 있었다. 2차 년도 시험결과 지중저수열시스템과 온수난방처리의 온도변화는 차이가 없었으며 외기온이 -20°C였을 때 시설내 난방설정온도 15°C를 유지하였다. 지중저수열시스템과 온풍난방처리의 지온변화도 차이가 없었다. 지중저수열시스템의 습도는 온수난방처리와 비교하여 10% 높은 수준으로 유지되었다. 생육은 양호하였으며, 지중저수열시스템 처리에서 생육이 좋았다. 지중저수열시스템의 전기소모량은 42,883kw/10a로 농사용을요금 39.2원/kw과 기본요금(70kw×1,150원)을 적용하여 584,470원+등유난방기 1,000L/10a(면세등유 650원/L) 650,000원을 합하여 1,234,470원/10a이 소요되었으며, 병커C유온수난방기는 8,600L/10a로 병커C유 430원/L을 적용하여 3,698,000원+전기 1,006kw/10a(농사용을요금 39.2원/kw, 기본요금3kw×1,150원), 42,883원을 합하여 3,740,883원이 소요되었다. 절감액은 2,506,413원/10a으로 기존 다겹보온커튼+병커C유온수난방 대비 다겹보온커튼+지중저수열시스템 처리가 67%의 에너지절감 효과가 있는 것으로 분석되었다. 3차 년도 시험결과 지중저수열시스템과 온수난방처리의 온도변화는 차이가 없었으며 외기온이 -18°C까지 내려갔을 때 시설내부 난방설정온도 18°C를 유지하였다. 지중저수열시스템과 온풍난방처리의 지온변화도 차이가 없었다. 지중저수열시스템의 습도 변화도 온수난방처리와 비슷한 수준으로 유지되었다. 국화의 품종별 생육은 양호하였으며, 지중저수열시스템 처리에서 생육이 다소 좋았다. 지중저수열시스템의 전기소모량은 57,927kw/10a로 농사용을요금 39.2원/kw과 기본요금(70kw×1,150원)을 적용하여 2,316,720원/10a이 소요되었으며, 병커C유 온수난방은 12,000L/10a로 병커C유 500원/L을 적용하여 6,000,000원이 소요되었다. 절감액은 3,683,280원/10a으로 기존 다겹보온커튼+병커C유 온수난방 대비 다겹보온커튼+지중저수열시스템 처리가 61%의 에너지절감 효과가 있는 것으로 분석되었으며 농가에서 주로사용하고 있는 경유난방을 적용하여 분석하면 경유 12,000L/10a로 면세경유 825원/L을 적용하여 9,900,000원이 소요되고, 절감액은 7,583,280원/10a으로 77%의 난방비절감 효과가 있는 것으로 분석되었다.

## VI. 연구성과 및 성과활용 계획

- 시설원예 및 에너지절감 관련 기업의 기술발전으로 온실산업 경쟁력 강화
- 에너지절감 패키지기술의 농가 보급 확대를 위한 농림축산식품부 정책제안
  - 국화 연동비닐하우스 에너지절감패키지 기술보급(농림축산식품부 원예경영과)
- 에너지절감 패키지기술의 농가 보급 확대를 위한 영농활용(경기도)
  - 지중저수열시스템과 다겹보온커튼 패키지기술을 이용한 연동비닐하우스 에너지절감
- ‘연동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 적용 효과’ 논문발표
- ‘연동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 현장적용 효과’ 언론 홍보
- 연동비닐하우스 에너지절감 패키지기술보급으로 농가소득 향상 및 고품질 안정 생산에 기여

## SUMMARY

The R & D objective of this project is to enhance the competitiveness of farm households by demonstrating and disseminating technology model of interlocking plastic house energy saving package for energy saving of horticultural farmhouse in Gyeonggi area and production of high quality agricultural products. In the interlocking plastic house, The heating performance test and the crop growth test were conducted at the farm site by constructing the heating package model composed of the underground water heat system and the multi - layer insulation curtain. As a result of the verification test, it was confirmed that 77% reduction in heating cost compared to the conventional greenhouse in tomato heating and 33.4% reduction in heating cost in heating the chrysanthemum were confirmed. In order to disseminate the technology, the economic analysis of the developed technology and the on - site evaluation meeting were held three times, and 39 media were promoted in the agricultural magazines. In addition, the suggestion of the Ministry of Agriculture, Forestry, Livestock and Livestock Food Policy and the method of dissemination and utilization of the technology through institutional farming were suggested. In the test site, chrysanthemum was exposed at 1-2W type greenhouse in Paju, and the cultivation environment and energy consumption were investigated by using multi - layer insulation curtain + hot water heating as control and multi - layer insulation curtain + underground low - temperature system. The official date is November 2, 2015, and the intermediate growth survey was made on February 3, 2016. The underground hydrothermal system was completed on November 6, 2015 and the energy consumption was examined from November 6 to February 3, 2015. There was no difference in the temperature change between the underground hydrothermal system and the hot water heating process, and the heating set point was maintained at 15 °C when the outdoor temperature was -20 °C. There was no difference in the temperature change between the underground hydrothermal system and hot air heating process. The humidity of the underground water heat system was maintained at 10% lower than that of the hot water heating system. Growth was good and growth was good in the treatment of underground hydrothermal system. The electricity consumption of the underground water heat system was 57,927kw / 10a, and it was 2,316,720 won / 10a by adding 46,200 won to 2,270,720 won by applying the basic rate (70kw × 1,150 won) and the rate of 39.2 won / kw for agricultural use. 12,000L / 10a and kerosene 825 won / L, respectively, and it took 9,900,000 won. The savings amounted to 7,583,280 won / 10a, and it was analyzed that the existing multi-layer insulation curtain + multi-layer insulation curtain compared to hot water heating + underground low-temperature system treatment had energy saving effect of 77%. As a result of the economical analysis, it is found that the underground water generation system (Durability 10 years: 120,000,000 ÷ 10 years) = 12,000,000 won, repair cost 120,000 + interest 360,000 = 480,000 won, chrysanthemum management additional labor cost: 1,500,000 won, (Durability 6 years \* conversion rate 1.7: 3,200,000 ÷ 6 years \* 1.7) = 906,670 won, 13,980,000 won - 906,670 won = 13,073,330 won was calculated as the loss amount, the energy saving cost was 7,583,280 won and the product income was 48,600,000 won And the estimated profit was 43,109,950 won.

# 제 1 장 실증과제의 개요 및 성과목표

본 과제의 연구개발 목표는 경기지역 시설원예 농가 에너지절감 및 고품질 농산물 생산을 위한 연동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 실증연구 및 기술보급 확산으로 농가 경쟁력을 제고 하는데 있으며, 구체적으로 기존 유류난방 대비 난방비 30% 절감을 목표로 하였다. 연구 내용으로 연동비닐하우스에서 방울토마토와 국화를 대상으로 지중저수열시스템과 다겹보온커튼으로 구성된 난방패키지 모델을 구성하여 농가 현장에서 난방 성능시험 및 작물 생육시험을 수행하였다. 실증시험 결과 토마토 난방 시 관행 온실 대비 난방비 77% 절감, 국화 난방 시 난방비 33.4% 절감 효과를 확인하였다. 기술보급 확산을 위해 개발기술의 경제성 분석 및 현장평가회를 3회 개최하였으며, 농업전문지 등을 대상으로 39건의 언론홍보를 수행하였다. 또한 농림축산식품부 정책제안과 기관 영농활용을 통해 기술보급 및 활용 방안을 제시하였다.

## ○ 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	연구개발 내용	달성도 (%)
- 경기지역 연동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발 및 실증연구(토마토)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 토마토 연동 비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 투입</li> <li>- 다겹보온커튼시설+지중저수열 시스템 시설 투입</li> <li>○ 시설내부 온·습도 등 기상환경 분석</li> <li>○ 토마토 생육 특성 조사 분석</li> <li>○ 난방유 및 전기 에너지절감효과 분석</li> </ul>	100
- 경기지역 연동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발 및 실증연구(국화)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국화 연동 비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 투입</li> <li>- 다겹보온커튼시설+지중저수열 시스템 시설 투입</li> <li>○ 시설내부 온·습도 등 기상환경 분석</li> <li>○ 국화 생육 특성 조사 분석</li> <li>○ 난방유 및 전기 에너지절감효과 분석</li> </ul>	100
- 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 고도화기술 투입 및 실증연구(국화, 토마토)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국화, 토마토 연동 비닐하우스 에너지절감 패키지 고도화기술 투입</li> <li>- 다겹보온커튼시설+지중저수열 시스템 시설 투입</li> <li>- 보조 물탱크 설치 등 고도화 시설 투입</li> <li>○ 시설내부 온·습도 등 기상환경 분석</li> <li>○ 국화, 토마토 생육 특성 조사 분석</li> <li>○ 난방유 및 전기 에너지절감효과 분석</li> </ul>	100

## ○ 정량적 성과목표 및 실적

구 분	지식재산권		논문		학술 발표	기술 이전	교육 지도	세미나 등	현장 평가회	자료 발간	정책 활용	영농 활용	홍보 전시	기타
	출원	등록	SCI	비 SCI										
최종목표					3				3		1	1	3	20
연구기간 내 달성실적					3				3		1	1	39	29
달성율(%)					100				100		100	100	1300	145

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

국내 시설원예 농업은 상당한 자본과 기술 투입이 요구될 뿐 아니라 농가 경영비 중 광열비 비중이 20~40%를 차지할 정도로 에너지 다소비 산업으로 변모하고 있다(RDA, 2008). 시설원예는 1990년대 초 정부의 시설현대화 정책으로 빠른 증가세를 이어와 2005년 생산액 기준으로 노지재배를 추월하였다. 시설원예 면적 중 가온재배 면적은 2013년 기준 채소 13,980ha, 화훼 2,197ha로 전체의 27.4%, 86.1%를 차지하고 있으며, 최근 10년간 시설원예 전체 면적이 4.6% 증가하는 동안 가온재배 면적은 30.8% 증가하는 등 꾸준한 증가세를 유지해 왔다. 시설원예의 난방에너지의 소비구조는 유류가 전체의 84.8%로 대부분을 차지하여 편향된 소비구조로 국제 유가의 변동성에 취약한 구조이며, 지열을 포함한 신재생에너지의 비중은 0.88%로 미미한 수준인 반면 에너지 단가가 낮은 농사용 전력의 사용면적이 연간 20%씩 급속히 증가하고 있는 실정이다(MAFRA, 2014a, b). 한편 국내 시설원예작물의 수출액은 4,300억원('12)으로 전체 농산물 수출액의 8% 점유하고 있으며 파프리카, 토마토, 멜론, 딸기가 채소 수출의 35% 차지하고 있다. 최근 파프리카의 시설면적과 생산량 증가율이 시설작물 중 가장 높은 추세를 보여 왔으나 고온기 및 혹한기의 생산량 저하는 대외 신뢰도 및 수출경쟁력 약화의 원인이 되고 있어 안정적 생산기술의 개발이 요구되고 있다.

국내에서 시설원예 에너지절감과 관련한 기술은 히트펌프, 펠릿난방기와 같은 난방비 절감형 냉난방기 이용기술, 기능성 피복재 등의 보온력 향상기술, 온도민감부 국소가온, 변온관리, 일몰 후 가온 등 에너지절감형 온도관리기술 등으로 분류할 수 있다. 난방에너지 절감형 공조기 이용기술로 히트펌프를 농업시설용 난방기로 활용하기 위한 적용성 평가 연구(Gracia 등, 1988; Willits와 Gurjer, 2004)가 수행되었으며, 국내에서 원예시설에 적용하기 위한 지열원 히트펌프 개발(Kang 등, 2007; Ryou 등, 2008)과 시설원예용 고효율 공기열원 히트펌프 개발(Kwon 등, 2013)과 관련한 연구가 수행되었다. 일본에서는 히트펌프의 초기투자비 부담 경감과 엄한기 안정적 시설 난방을 위해 공기열원 히트펌프와 중유난방기를 병용하는 하이브리드 히트펌프 시스템의 개발 및 현장적용 연구(Kawashima 등, 2008; Tong 등, 2011)가 수행되었으며 네폰, 히타치 등의 공조기 업체에서 농업용 하이브리드 히트펌프 시스템을 시판 중에 있다.

원예시설의 보온성 향상기술의 개발 및 현장적용 연구과 관련하여 시설 피복재의 재료에 따른 열적, 물리적 특성과 보온성능을 분석한 연구(Briassoulis 등, 1997a; Briassoulis 등, 1997b)가 수행되었으며 단동 비닐온실에서 내외부 다겹보온커튼 및 일반 보온커튼의 설치조건에 따른 온실 내부의 온도유지 능력과 작물의 수확량을 분석한 연구(Kwon 등, 2004)와 가온재배 온실의 대부분을 차지하고 있는 연동 비닐온실에 적용하기 위한 자동 수평예인권취식 다겹보온커튼 시스템의 개발과 난방연료 절감 및 수확량 개선 분석 연구(Lee 등, 2003)가 수행되었다.

재배시설의 전체 공간난방에 소요되는 과도한 에너지사용을 절감하고 작물의 온도민감기관을 집중 냉난방하는 국소냉난방 관련 기술은 주로 근권부를 대상으로 하였으나(Gosselin과 Trudel, 1983; Lee 등, 2001; Kim 등, 2010) 최근 온실의 난방 관리온도를 관행 대비 4℃정도

낮게 관리할 수 있는 딸기 관부 국소난방기술(Sone 등, 2007; Sato와 Kitajima, 2010), 유인성 작물인 토마토의 작물체 하부를 상대적 저온으로 관리할 수 있는 토마토 생장부 국소난방기술(Kawasaki 등, 2011; Kwon 등, 2015) 등으로 대상이 확대되고 있다.

이상과 같이 다양한 기능을 기반으로 한 시설원예 냉난방 관련 에너지절감기술이 개발되어 왔으나 에너지절감효과를 극대화하기 위해서는 고효율 냉난방 공조기의 적용과 함께 보온성 향상, 열분배 등 에너지절감 관련 기술이 복합적으로 적용될 필요가 있다. 유리온실에 재배되는 고부가가치 농산물은 비교적 높은 온도로 관리되는 경우가 많으므로 저비용, 안정 생산을 위해서는 지금까지 개발된 시설원예 냉난방 관련 에너지절감기술의 복합적 활용과 적용효과에 대한 분석이 요구된다. 또한 농림축산식품부에서는 농가의 경영비 부담 경감을 위해 지열원, 공기열원, 폐열원 히트펌프 등의 농업용 히트펌프와 다겹보온커튼, 열회수환기장치 등 원예시설에 복합적으로 적용될 수 있는 다양한 에너지절감시설에 대한 설치비 지원 사업을 수행 중에 있다(MAFRA, 2016c).

본 연구에서는 연동형비닐하우스를 대상으로 적합한 에너지절감패키지기술 모델의 제시와 현장적용성 평가를 목표로 하였으며, 지중저수열시스템, 다겹보온커튼을 조합한 난방패키지시스템을 구성하여 토마토와 국화를 대상으로 시설내 온도와 습도, 에너지절감 효과, 작물생육 등을 분석하였다. 또한 현장에서의 활용성 증대와 에너지절감기술의 확산을 위해서는 농림축산식품부의 에너지절감기술 보급사업과 연계한 시설 및 작목 맞춤형 냉난방 패키지 기술의 개발과 보급을 위한 정책반영이 요구되고 있다.

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제1절 토마토 연동비닐하우스 에너지절감패키지 기술 현장적용

#### 1. 시험 개요

본 연구는 토마토 연동비닐하우스의 에너지절감 패키지기술 개발을 위하여 지중저수열 시스템과 다겹보온커튼의 패키지 기술을 선정하여 시험장소는 안성시 대덕면 명당리의 1-2W형 연동 비닐하우스(동서동)에서 방울토마토를 공시하여 다겹보온커튼+경유온풍난방을 대조구로 두고 다겹보온커튼+지중저수열시스템을 처리구로 하여 재배환경과 에너지소모량을 조사 분석하였다. 지중저수열시스템은 물탱크, 열교환기, 히트펌프, 축열장치, 팬코일유닛 등으로 구성하였다. 난방용량은 TRHP-400W(40RT), 열원탱크 용량은 60ton이며, 물탱크 축열은 지하수열과 온실내 태양잉여열을 회수하여 수온을 확보하였다. 경유 온풍난방기의 설정온도는 12℃로 설정하였다. 정식일은 2014년 10월 4일, 중간생육조사는 2015년 3월 13일에 하였다. 지중저수열시스템은 2015년 1월 30일 완공하여 2015년 2월 5일부터 3월 13일까지 에너지소모량을 조사하였다. 방울토마토의 품종은 '꼬꼬'(다끼이종묘)를 사용하였으며 재배면적은 2,600m<sup>2</sup>에 시험하였다. 재배형태는 토경재배이며 점적테이프로 관비재배 하였다. 주요조사항목으로 난방에너지소모량, 시설내 온·습도, 생육 등을 조사하였다.



그림 1. 현지시험 농가 전경 과 지중저수열 시스템, 팬코일 유닛

#### 2. 결과 및 고찰

2015년 2월 5일부터 3월 13일 까지의 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온풍난방+다겹보온커튼 처리의 온실내부 기온변화 그래프를 비교해 보면 두 처리간 온도 차이는 없었으며 외기온이 -14℃까지 내려가도 지중저수열시스템의 난방에 문제가 없이 설정 온도를 유지할 수 있었다(그림 2).

그림 3의 2015년 2월 5일부터 3월 13일 까지의 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온풍난방+다겹보온커튼 처리의 지온변화도 두 처리간 차이가 없었으며 지면 30cm 위의 기온은 180cm위의 기온과 비교하여 5℃정도 낮은 기온분포를 나타내어 수직높이 간의 온도 분포가 불균일 한 상태인 것을 알 수 있었다.

그림 4의 2015년 2월 5일부터 3월 13일 까지의 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온풍난방+다겹보온커튼 처리의 습도는 온풍난방+다겹보온커튼처리와 비교하여 지중저수열시스템+다겹보온커튼 처리에서 약간 낮은 수준으로 유지되었다.



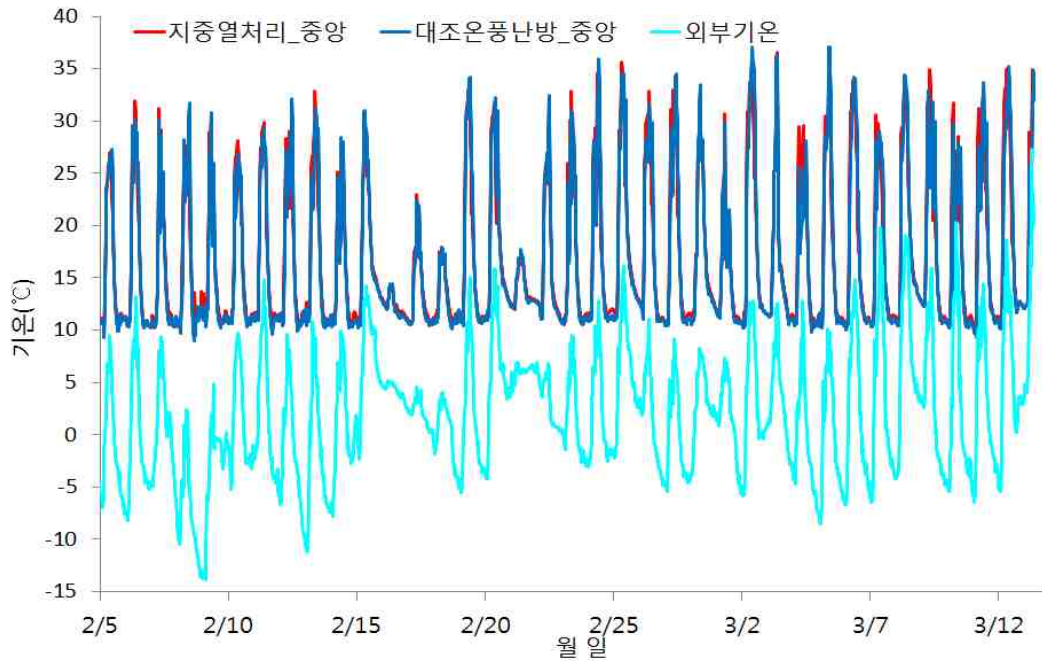


그림 2. 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온풍난방+다겹보온커튼 처리의 온도변화 비교(조사기간 : 2. 5.~3. 13.)

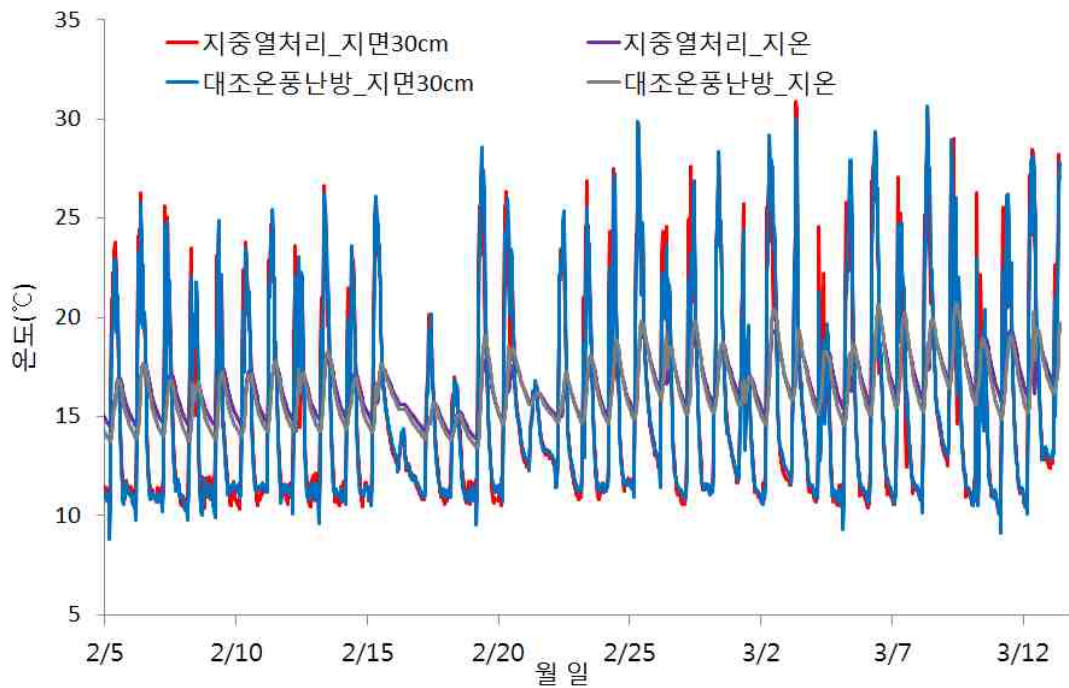


그림 3. 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온풍난방+다겹보온커튼 처리의 지온변화 비교(조사기간 : 2. 5.~3. 13.)

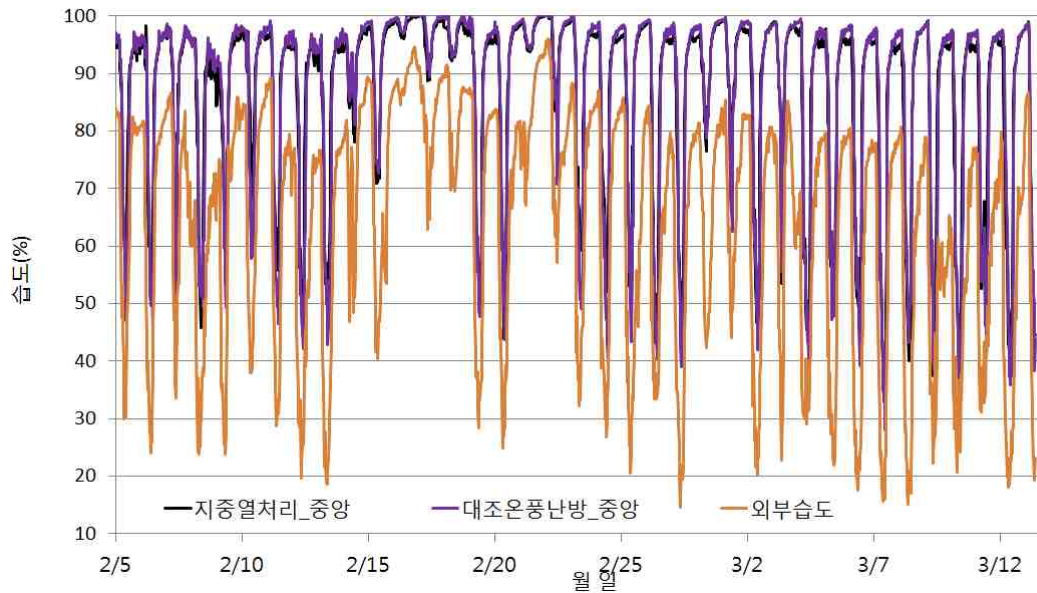


그림 4. 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온풍난방+다겹보온커튼 처리의 습도 변화 비교(조사기간 : 2. 5.~3. 13.)

표 1. 토마토 생육

(조사일 : 3월 13일)

처 리	초 장 (cm)	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	경 경 (mm)	마디수 (개)	절간장 (cm)
다겹보온커튼 + 지중저수열시스템	243	28.4	26.6	11.3	44.9	5.4
다겹보온커튼 + 경유온풍난방	256	30.2	27.4	11.1	42.4	6.0

※ 일몰시 보온커튼 친후 하우스내부에 온도차이로 안개발생이 심한데 지중저수열시스템을 이용하면 10분 이내에 안개를 효과적으로 제거할 수 있음.

토마토의 생육은 2014년 10월 4일 정식하여 양호한 생육 중이며, 2015년 3월 13일 중간 생육 조사 결과 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온풍난방+다겹보온커튼 처리간 생육차이는 없는 것으로 조사되었다(표 1).

표 2에서 지중저수열시스템+다겹보온커튼 처리의 전기소모량은 3,810kw/10a로 농사용 을요금 39.2원/kw을 적용하고 기본요금(70kw×1,150원)을 적용하면 194,626원이 소요 되었으며, 경유온풍기+다겹보온커튼 처리는 경유소모량이 561L/10a가 소요되어 면세유 가격 800원/L을 적용하면 448,740원이 소요되었다. 에너지 절감액은 254,114원/10a으로 기존 경유온풍난방+다겹보온커튼 대비 지중저수열시스템+다겹보온커튼 처리가 56.6%의 에너지절감 효과가 있는 것으로 조사 되었다.

표 2. 에너지 소모량 비교(조사기간 : 2/5~3/13)

난방처리	전기소모량 (kw/10a)	경유소모량 (L/10a)	환산금액 (원)	비 고
다겹보온커튼 + 지중저수열시스템	3,810	-	194,626	농사용을 39.2원 기본요금 70kw*1,150원
다겹보온커튼 + 경유온풍난방	-	561	448,740	면세유 800원/L
절감액			254,114	56.6% 절감

### 3. 현장평가회 개최

가. 개최일시 : 2015년 3월 18일(수) 11:00~15:00

나. 장 소 : 안성시 대덕면 명당리 262-2, 조효동 농가

다. 참 석 자 : 63명(농업인, 관련업체, 유관기관 공무원 등)

라. 종합토의 내용

- 설치비는 얼마입니까? 고가의 설치비로 아무리 기계의 성능이 좋아도 농가에서 설치할 수 있겠는가? 정부보조가 필요하다.(작목반원, 현지실증농가)
  - 현재는 보급용 시스템으로 300평당 9천만원 임.(티알엑서지 이동건 사장), 시스템은 3년간 실증운영이 끝난 후 농축산식품부에서 외부용역을 주어 타당성이 있는사업은 정책사업으로 50%, 지자체보조를 받게되면 자부담 20~30%로 설치 가능할 것임.(전희 사무국장)
- 시스템의 컨트롤 패널이 큰 이유는 무엇인지 줄일 수는 없는가?(충남도원 박상규)
  - 연구용으로 제작한 패널이므로 시험과정에서 시험장비를 추가로 설치 할 수 있도록 공간을 비워놓아 큰 것임. 현장에 보급되는 제품은 반으로 줄어들 것임. 또한 스마트폰 제어도 가능함.(티알엑서지 김동현 지사장)
- 지중열 시스템 설치 후 생육차이는 없는가?(연구개발부장)
  - 2월 5일 시스템 가동당시 이미 토마토가 다 큰 상태여서 생육차이가 없었음. 정식하여 어릴 때부터 시험해야 효과가 있을 것 임.(실증시험 조효동 농가), 2차 년도 모니터링 사업에서는 정식초기부터 생육차이를 조사하겠음.(경기도원 심상연)
- 지중열시스템 만으로 보조가온 없이 난방이 가능한가?(작목반 농가)
  - 2013년과 2014년에 고양시의 난농가에서 시험한 결과 외기온이 -19℃까지 내려가도 20℃까지 실내온도를 유지할 수 있었음. 중요한 것은 시스템의 용량을 난방설계 온도에 맞도록 충분히 설치하는 것임.(시설원예연구소 전종길)
- 현재 실증시험 면적에 들어간 시스템 용량으로 난방가능 온도는 얼마인가?(전희 사무국장)
  - 현재 실증시험 면적은 600평 용량으로 설계되었으며 외기온도가 -15℃일 때 실내온도를 18℃까지 유지가능함. 중요한 요인은 단열효과가 좋은 보온시설로 다겹보온커튼 등이 설치되어 에너지손실을 막아야 난방효과가 크게 나타날 것임.(티알엑서지 김동현 지사장)
- 농가별로 개별 설치하는 것 보다 중앙난방방식으로 단지화 하여 설치하는 것이 설치비나 에너지절감효과가 크지 않은가?(강봉구 충북원예연구과장)
  - 창조농업 관련하여 정부에서 정책적으로 단지화하여 설치하면 설치비와 운영면에서 에



너지 절감효과가 있을 것임.(티알엑서지 이동건 사장), 새롭게 시작되는 시설단지에서는 가능하겠지만 현재 떨어져 있는 시설에는 배관 시설비와 지나가는 땅 문제 등 재산권과 관련하여 해결하기 힘든 문제점이 많아 현실적으로 중앙난방방식으로는 설치하기 어려움.(원예축산기술팀장 김진규)



그림 5. 토마토 에너지절감 패키지기술 현장적용 연구 현장평가 전경

#### 4. 금후 계획

- 지중저수열시스템 2년차 모니터링 조사
- 시범사업 대상농가 생육관리 지도 및 현장 교육장으로 활용
- 에너지절감 기술 홍보를 통한 조기 확대보급

## 제2절 국화 연동비닐하우스 에너지절감패키지 기술 현장적용

### 1. 시험 개요

2차 년도의 시험은 시험 1과 2로 나누어 국화 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 모델 개발과 시험 2로 1차 년도 수행한 토마토 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 모델개발 모니터링으로 나누어 수행하였다.

#### <시험 1> 국화 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 모델 개발

먼저 시험1 국화 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술의 시험장소는 파주시 적성면 담안길의 1-2W 3연동하우스 2동, 20a에서 국화를 공시하여 다겹보온커튼+병커C유 온수난방을 대조구로 두고 다겹보온커튼+지중저수열시스템을 처리구로 하여 시설내 온·습도 재배환경과 생육, 에너지소모량을 조사 분석하였다. 정식일은 2015년 11월 2일, 중간생육조사는 2016년 2월 3일에 하였다. 지중저수열시스템은 2015년 11월 6일 완공하여 2015년 11월 6일부터 2월 3일까지 에너지소모량을 조사하였다. 국화의 품종은 그린드림, 본본다크, 필링그린, 러빙유 4품종을 사용하였으며 재배면적은 1,000m<sup>2</sup>에 시험하였다. 재배형태는 토경재배 하였다. 다겹보온커튼은 5겹(마트지2, PE폼2, 부직포 1겹)으로 구성되었으며, 지중저수열시스템의 난방용량은 90,720kcal/h(30RT), 히트펌프, PLC제어, 열원탱크 40ton, FCU 64개의 규모로 설치하였다.

수확은 2016년 4월 1일부터 2016년 5월 6일까지 하였으며, 주요조사항목은 시설환경(기온, 지온, 습도 등), 생육조사(초장, 경경 등), 유류사용량 등을 조사하였다.



그림 6. 국화 연동비닐하우스 에너지절감기술 패키지 모델개발 시험포장 전경

#### <시험 2> 토마토 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 모델 개발(모니터링)

시험2 토마토 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 모델 개발 모니터링의 시험장소는 안성시 대덕면 명당리 조효동 농가에서 시험작물 토마토(방울)를 공시하여 다겹보온커튼+경유온풍난방을 대조구로 두고 다겹보온커튼+지중저수열시스템을 처리구로 하여 재배환경과 에너지소모량을 조사 분석하였다. 경유 온풍난방기의 설정온도는 12℃로 설정하였다. 지중저수열시스템은 물탱크, 열교환기, 히트펌프, 축열장치, 팬코일유닛 등으로 구성하였다. 난방용량은 TRHP-400W(40RT), 열원탱크 용량은 60ton이며, 물탱크 축열은 지하수열과 온실내 태양잉여열을 회수하여 수온을 확보하였다. 정식일은 2015년 10월 4일 하였으며, 방울토마토의 품종은 ‘꼬꼬’(다끼이종묘)를 사용하였다. 재배면적은 2,600m<sup>2</sup>에 시험하였다. 재배형태는 토경재배이며 점적테이프로 관비재배 하였다. 주요조사항목으로 난방에너지소모량, 시설내 온·습도, 생육 등을 조사하였다.





그림 7. 토마토 연동비닐하우스 에너지절감기술 패키지 모델개발 모니터링 시험포장 전경

## 2. 결과 및 고찰

### <시험 1> 국화 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 모델 개발

2016년 1월 13일부터 2월 3일 까지의 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온수난방(병커C)+다겹보온커튼 처리의 온실내부 기온변화 그래프를 비교해 보면 지중저수열시스템+다겹보온커튼 처리가 다소 낮게 유지 되었으며, 외기온이  $-20^{\circ}\text{C}$ 까지 내려가도 지중저수열시스템의 난방에 문제가 없이 설정 온도를 유지할 수 있었다(그림 8).

그림 9의 2016년 1월 13일부터 2월 3일 까지의 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온수난방(병커C)+다겹보온커튼 처리의 지온변화도 두 처리간 차이가 없었으며  $14^{\circ}\text{C}$ 정도 수준에서 유지 되고 있는 것을 알 수 있었다.

그림 10의 2016년 1월 13일부터 2월 3일 까지의 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온수난방(병커C)+다겹보온커튼 처리의 습도는 온수난방(병커C)+다겹보온커튼처리와 비교하여 지중저수열시스템+다겹보온커튼 처리에서 습도가 20%정도 높게 유지되어 환기가 필요한 것으로 판단 되었다.

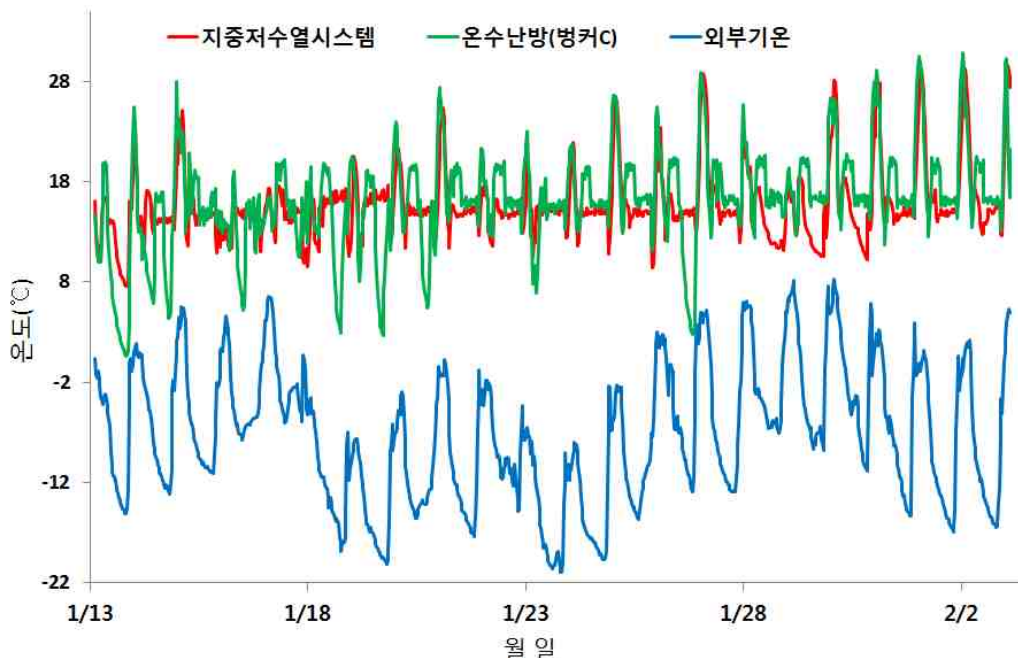


그림 8. 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온수난방(병커C)+다겹보온커튼 처리의 온도변화 비교(조사기간 : 1. 13.~2. 3.)

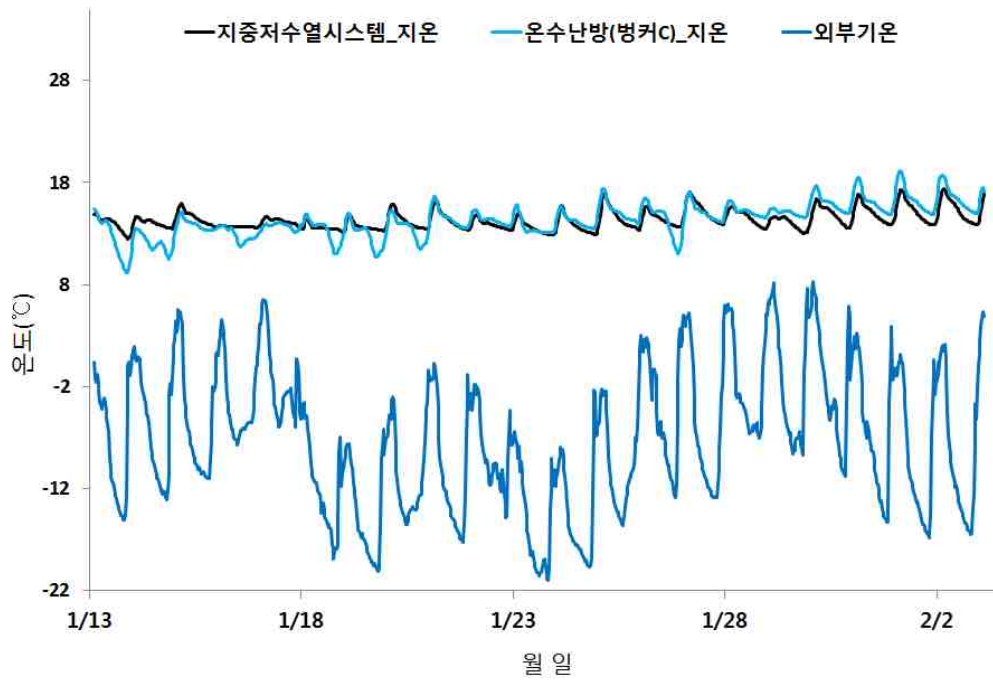


그림 9. 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온수난방(병커C)+다겹보온커튼 처리의 지온변화 비교(조사기간 : 1. 13.~2. 3.)

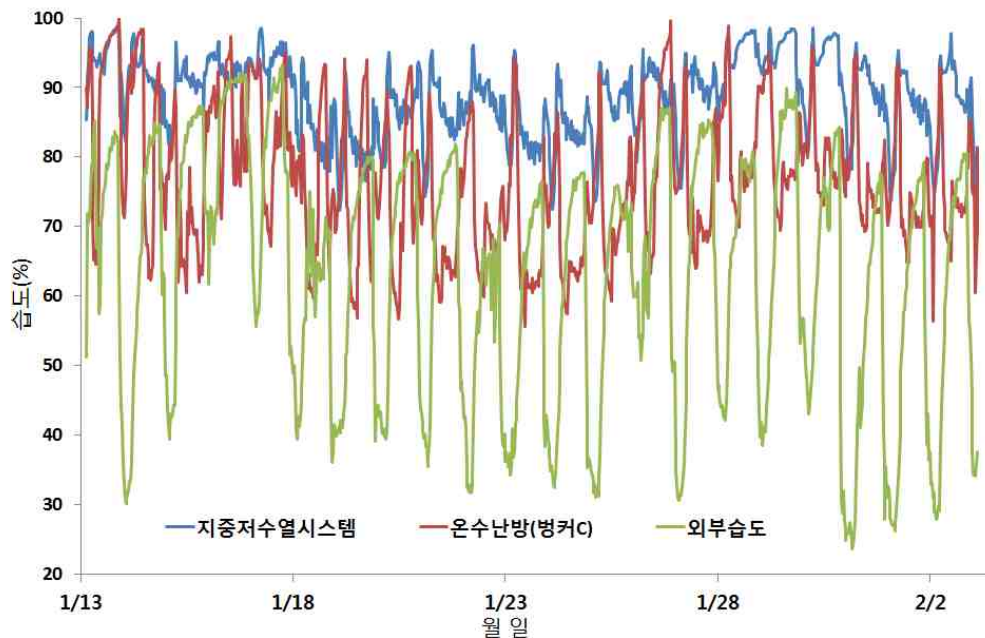


그림 10. 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온수난방(병커C)+다겹보온커튼 처리의 습도변화 비교(조사기간 : 1. 13.~2. 3.)

국화의 생육은 2015년 11월 2일 정식하여 양호한 생육 중이며, 2016년 2월 3일 중간 생육조사

결과 지중저수열시스템+다겹보온커튼 처리에서 생육이 다소 좋은 것으로 조사되었다(표 3).

표 4에서 지중저수열시스템+다겹보온커튼 처리의 전기소모량은 13,737kw/10a로 농사용 을요금 39.2원/kw을 적용하고 기본요금(70kw×1,150원)을 적용하면 1,234,470원이 소요 되었으며, 온수난방+다겹보온커튼 처리는 기름소모량이 8,600L/10a가 소요되어 병커C 가격 430원/L을 적용하면 3,740,883원이 소요되었다. 에너지 절감액은 2,506,413원/10a으로 기존 온수난방+다겹보온 커튼 대비 지중저수열시스템+다겹보온커튼 처리가 67%의 에너지절감 효과가 있는 것으로 조사되었다.

부분시산법으로 경제성 분석결과 손실적 요소(A)로 지중저수열 시스템(자부담 20%, 내구연한 15년 :  $119,080,000 \times 20\% \div 15년$ ) = 1,587,700원, 온풍난방기(내구연한 6년\*환산율2.5 :  $3,200,000 \div 6년 \times 2.5$ ) = 1,333,250원이 산출되어 1,587,700원-1,333,250원 = 254,450원이 손실액으로 계산되었고, 이익적요소(B)로 에너지절감비용 2,506,400원이 산출되어 추정수익액(B-A)은 2,251,950원으로 분석 되었다(표 5).

표 3. 국화 생육 비교

(조사일 : 2월 3일)

처 리	그린드립		본본다크		필링그린		리빙유	
	초 장 (cm)	경 경 (mm)	초 장 (cm)	경 경 (mm)	초 장 (cm)	경 경 (mm)	초 장 (cm)	경 경 (mm)
다겹보온커튼 + 지중저수열시스템	56.2	7.6	87.4	8.4	66.2	12.6	60.6	10.8
다겹보온커튼 + 온수난방(병커C)	39.6	4.6	76.6	5.4	63.6	9.8	56.0	7.0

표 4. 에너지 소모량 비교(조사기간 : '15.10.1.~'16.2.3.)

난방처리	전기소모량 (kw/10a)	기름소모량 (L/10a)	환산금액 (원)	비 고
다겹보온커튼 + 지중저수열시스템	13,737	1,000	1,234,470	농사용을 39.2원 기본요금 70kw*1,150원 면세등유 650원/L
다겹보온커튼 + 온수난방(병커C)	1,006	8,600	3,740,883	병커C유 430원/L
절감액			2,506,413	67% 절감



표 5. 경제성분석(부분계산법)

손실적요소(A)	이익적요소(B)
·지중저수열 시스템(자부담 20%, 내구연한 15년 : $119,080,000 \times 20\% \div 15\text{년} = 1,587,700\text{원}$ ·온풍난방기(내구연한 6년*환산율2.5 : $3,200,000 \div 6\text{년} \times 2.5 = 1,333,250\text{원}$ · $1,587,700\text{원} - 1,333,250\text{원} = 254,450\text{원}$	에너지절감비용 - 2,506,400
소계 254,450	소계 2,506,400
추정수익액(B-A)=2,251,950	

**<시험 2> 토마토 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 모델 개발(모니터링)**

2015년 12월 8일부터 2016년 2월 4일 까지의 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온풍난방+다겹보온커튼 처리의 온실내부 기온변화 그래프를 비교해 보면 지중저수열시스템+다겹보온커튼 처리가 다소 높게 유지 되었으며, 외기온이 -19℃까지 내려가도 지중저수열시스템의 난방에 문제가 없이 설정 온도를 유지할 수 있었다(그림 11).

그림 12의 2015년 12월 8일부터 2016년 2월 4일 까지의 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온풍난방+다겹보온커튼 처리의 지온변화는 온풍난방+다겹보온커튼 처리에서 다소 높았으며, 16℃정도 수준에서 유지 되고 있는 것을 알 수 있었다.

그림 13의 2015년 12월 8일부터 2016년 2월 4일 까지의 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온풍난방+다겹보온커튼 처리의 습도는 온풍난방+다겹보온커튼처리와 비교하여 지중저수열시스템+다겹보온커튼 처리에서 습도가 10%정도 낮게 유지되었다.

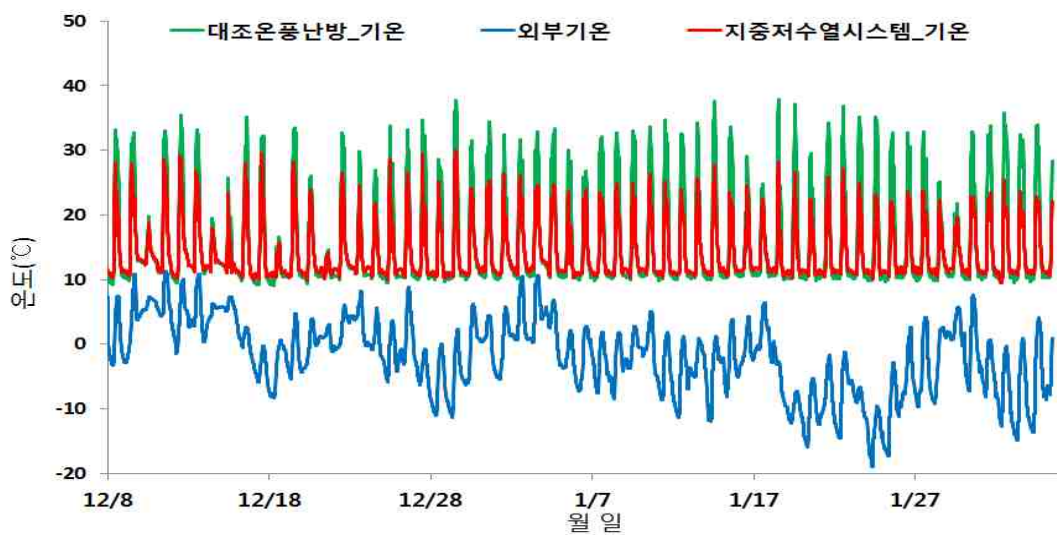


그림 11. 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온풍난방+다겹보온커튼 처리의 온도변화 비교(조사기간 : '15. 12. 8.~ '16. 2. 4.)

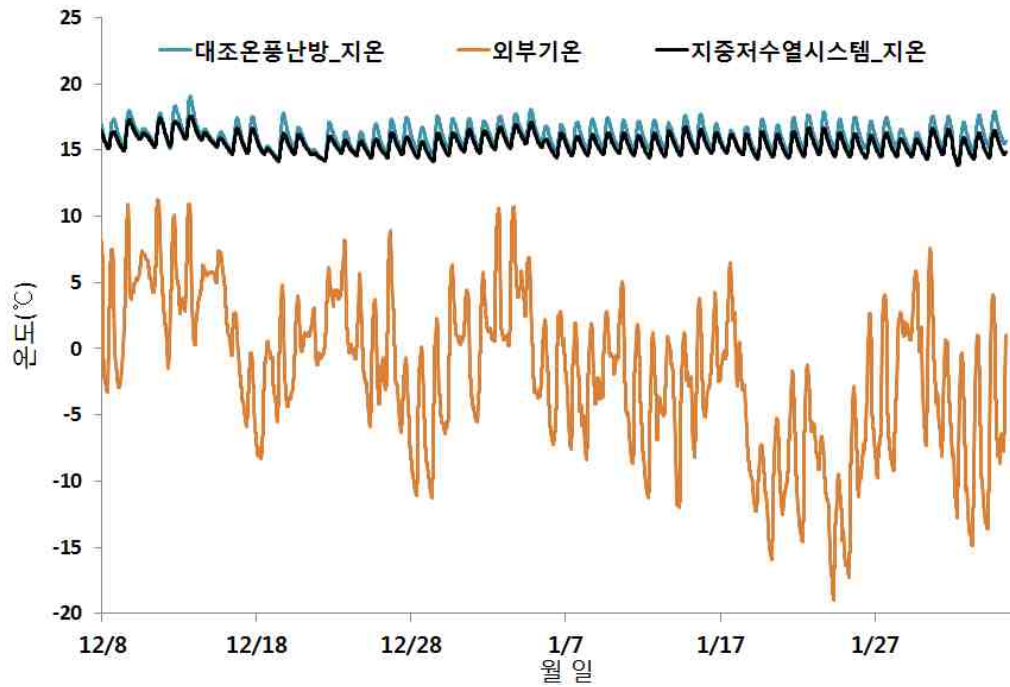


그림 12. 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온풍난방+다겹보온커튼 처리의 지온변화 비교(조사기간 : '15. 12. 8. ~ '16. 2. 4.)

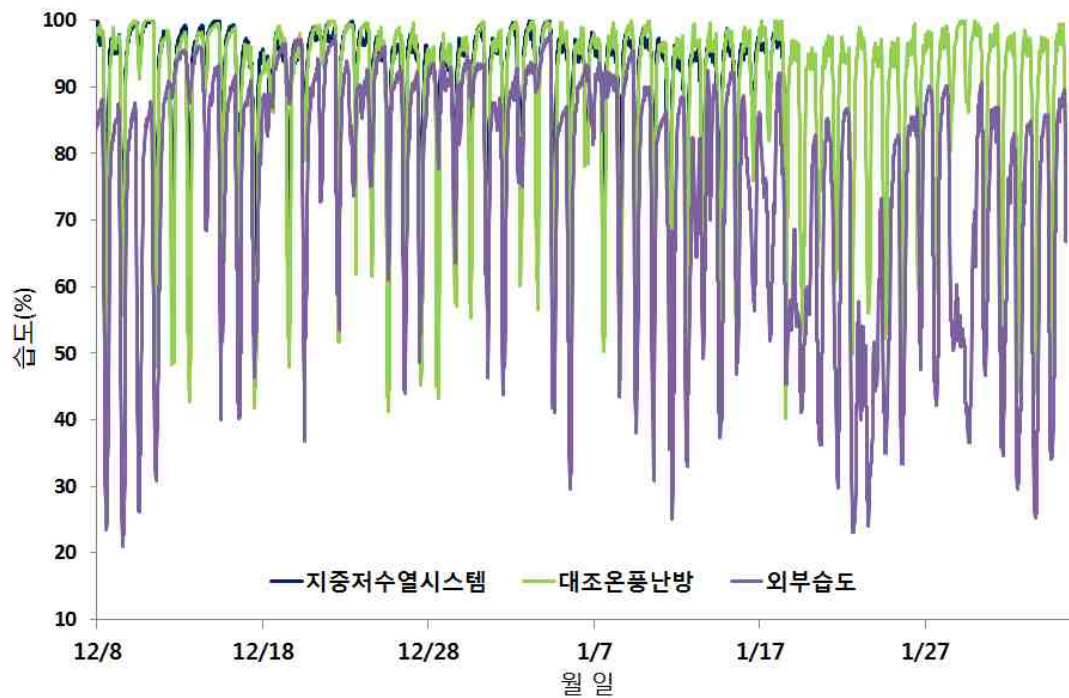


그림 13. 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온풍난방+다겹보온커튼 처리의 습도변화 비교(조사기간 : '15. 12. 8. ~ '16. 2. 4.)

토마토의 생육은 2015년 10월 4일 정식하여 양호한 생육 중이며, 2016년 2월 4일 중간 생육조사 결과 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온풍난방+다겹보온커튼 처리간 생육차이가 없는 것으로 조사되었다(표 6).

표 7에서 지중저수열시스템+다겹보온커튼 처리의 전기소모량은 12,120kw/10a로 농사용 을요금 39.2원/kw을 적용하고 기본요금(70kw×1,150원)을 적용하면 610,955원이 소요 되었으며, 온풍난방+다겹보온커튼 처리는 기름소모량이 1,688L/10a가 소요되어 면세경유 가격 1,040원/L을 적용하면 1,755,000원이 소요되었다. 에너지 절감액은 1,144,045원/10a으로 기존 온풍난방+다겹보온커튼 대비 지중저수열시스템+다겹보온커튼 처리가 65.2%의 에너지절감 효과가 있는 것으로 조사되었다.

부분시산법으로 경제성 분석결과 손실적 요소(A)로 지중저수열 시스템(자부담 20%, 내구연한 15년 :  $119,080,000 \times 20\% \div 15년$ ) = 1,587,700원, 온풍난방기(내구연한 6년\*환산율2.5 :  $3,200,000 \div 6년 \times 2.5$ ) = 1,333,250원이 산출되어 1,587,700원-1,333,250원 = 254,450원이 손실액으로 계산되었고, 이익적요소(B)로 에너지절감비용 1,144,000원이 산출되어 추정수익액(B-A)은 연간 889,550원으로 분석 되었다(표 8).

표 6. 토마토 생육

(조사일 : 2월 4일)

처 리	초 장 (cm)	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	경 경 (mm)	마디수 (개)	절간장 (cm)
다겹보온커튼 + 지중저수열시스템	202	40.4	35.2	11.8	36.8	5.5
다겹보온커튼 + 경유온풍난방	209	39.8	35.6	11.4	34.8	6.0

표 7. 에너지 소모량 비교(조사기간 : 11월 1일 ~ 2월 4일)

난방처리	전기소모량 (kw/10a)	경유소모량 (L/10a)	환산금액 (원)	비 고
다겹보온커튼 + 지중저수열시스템	12,120	-	610,955	농사용을 39.2원 기본요금 70kw*1,150원
다겹보온커튼 + 경유온풍난방	-	1,688	1,755,000	경유 1,040원/L
절감액			1,144,045	65.2% 절감

표 8. 경제성분석(부분시산법)

손실적요소(A)	이익적요소(B)
·지중저수열 시스템(자부담 20%, 내구연한 15년 : $119,080,000 \times 20\% \div 15\text{년} = 1,587,700\text{원}$ ·온풍난방기(내구연한 6년*환산율2.5 : $3,200,000 \div 6\text{년} \times 2.5 = 1,333,250\text{원}$ · $1,587,700\text{원} - 1,333,250\text{원} = 254,450\text{원}$	에너지절감비용 - 1,144,000
소계 254,450	소계 1,144,000
추정수익액(B-A)=889,550	

### 3. 현장평가회 개최

가. 개최일시 : 2016년 3월 8일(화) 14:00~18:00

나. 장 소 : 파주시 적성면 담안길 38-8, 구광회 농가

다. 참석자 : 45명(농업인, 관련업체, 유관기관 공무원 등)

라. 종합토의 내용

- 낮 동안에 축열된 물탱크의 물이 한번 순환하면 온도가 많이 낮아져 효과가 떨어지는데 효과적으로 축열탱크의 물을 데울 수 있는 방법은 무엇인가?(국화작목반원, 현지실증농가)
  - 축열탱크의 물이 온실을 순환해도 금방 온도가 떨어지는 것은 아니며 히트펌프는 낮은 온도의 물에서도 열교환을 통해서 에너지를 얻을 수 있음, 또한 차가워진 축열탱크의 물을 지하수를 올려서 교체하는 방식으로 축열탱크의 온도를 유지할 수 있음.(티알엑서지 김동현 이사장), 현재 시설원예연구소에서 다각도로 열원을 흡수 할 수 있도록 태양열과 공기열, 지중저수열, 온실 잉여열 등을 복합으로 사용할 수 있는 축열장치를 시험중에 있으며, 계속 보완 되어 농가가 사용하는데 애로사항이 없도록 현장에 보급될 것이며, 스마트폰 제어도 가능함.(에너지사업단 김영철 단장)
- 지중열시스템을 정책사업화 했을 때 감가상각비와 자부담비용을 감안하여 경제성은 있는가?(원예연구과장)
  - 정책사업화 되었을 때 자부담 비율을 신재생에너지 사업 수준의 20%가 될 수 있도록 노력 중이며 이 시스템을 설치하게 되면, 국제유가에 영향을 상대적으로 적게 받게 되고, 생육적온을 연료비 부담 없이 맞추어 주어 고품질 농산물과 수량증대로 충분한 투자 경쟁력을 가질 수 있음.(에너지사업단 김영철 단장)
- 지중열시스템 만으로 보조가온 없이 난방이 가능한가?(파주 농가)
  - 시스템의 용량을 난방설계 온도에 맞추도록 충분히 설치하는 것이 중요한데 소면적 보다는 대면적일수록 설치비 부담이 적어지고, 축열탱크도 지상설치보다 지하로 설치하여 탱크 위 공간은 작업실이나 주차장으로 사용할 수 있는 장점이 있음.(티알엑서지 김동현



지사장), 경제적인 난방설계로 일시적인 온도하강을 대비하여 유류 보조난방기를 설치해야 하며, 열 교환탱크에 히터봉 등을 설치하여 효율을 높이는 방법도 있음.(경기도원 심상연)



그림 14. 현장평가회 개최식



그림 15. 지중저수열시스템, 국화 생육 및 에너지절감효과 설명



그림 16. 농가 의견 청취 및 현지시험포장 관찰

### 제3절 연동비닐하우스 에너지절감패키지 고도화기술 현장적용

#### 1. 시험 개요

3차 년도의 시험도 시험 1과 2로 나누어 국화 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 고도화 기술 과 시험 2로 2차 년도 수행한 토마토 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 고도화기술 모니터링으로 나누어 수행하였다.

#### <시험 1> 국화 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 고도화 기술

3차 년도는 2016년 시험결과에서 부족한 시설을 보완한 고도화시설 투입으로 시험을 수행하였다. 시험장소는 과주시 적성면 담안길의 1-2W형 연동 비닐하우스에서 국화를 공시하여 다겹보온커튼+병커C유 온수난방을 대조구로 두고 다겹보온커튼+지중저수열시스템을 처리구로 하여 재배환경과 에너지소모량을 조사 분석하였다. 다겹보온커튼은 5겹(마트지2, PE폼2, 부직포 1겹)으로 구성되었으며, 지중저수열시스템의 난방용량은 90,720kcal/h(30RT), 히트펌프, PLC 제어, 열원탱크 40ton, FCU 64개의 규모로 설치하였다. 정식일은 2016년 12월 21일, 중간생육 조사는 2017년 3월 15일에 하였다. 1차 년도 시험에서 도출된 지중저수열시스템의 부족한 열량을 보충하기 위해 고도화 시설로 5톤 물탱크 증설과 지하수 확보를 위한 관정을 증설하여 2016년 10월 1일부터 2017년 3월 21일까지 에너지소모량을 조사하였다. 국화의 품종은 필링화이트, 러빙유, 본본다크 3품종을 공시하여 재배면적 1,000m<sup>2</sup>에 토경재배로 시험하였다. 주요조사 항목은 시험구별 온습도, 에너지사용량 및 비용, 작물생육 등이며, 연동비닐하우스 패키지 기술의 적용성을 평가하기 위하여 대조구 온실과 설치비 및 난방비 절감액을 대상으로 경제성 분석을 수행하였다.



그림 17. 국화 에너지절감 패키지 고도화기술 시험포장 전경

#### <시험 2> 토마토 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 고도화기술(모니터링)

시험2 토마토 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 고도화기술 모니터링의 1, 2년차 시험장소인 안성시 대덕면 명당리 조효동 농가에서 시험작물 토마토(방울)를 공시하여 다겹보온커튼+경유 온풍난방을 대조구로 두고 다겹보온커튼+지중저수열시스템을 처리구로 하여 재배환경과 에너지소모량을 조사 분석하였다. 경유 온풍난방기의 설정온도는 12℃로 설정하였다. 지중저수열시스템은 물탱크, 열교환기, 히트펌프, 축열장치, 팬코일유닛 등으로 구성하였다. 난방용량은 TRHP-400W(40RT), 열원탱크 용량은 60ton이며, 물탱크 축열은 지하수열과 온실내 태양잉여



열을 회수하여 수온을 확보하였다. 고도화 시설로 5톤 물탱크를 증설하였다. 정식일은 2015년 9월 24일 하였으며, 방울토마토의 품종은 ‘유니콘’을 사용하였다. 재배면적은 2,600m<sup>2</sup>에 시험하였다. 재배형태는 토경재배이며 점적테이프로 관비재배 하였다. 주요조사항목으로 난방에너지 소모량, 시설내 온·습도, 생육 등을 조사하였다.



그림 18. 토마토 에너지절감 패키지 고도화기술 시험포장 전경

## 2. 결과 및 고찰

### <시험 1> 국화 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 고도화기술

2016년 9월 7일부터 2017년 3월 15일 까지의 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온수난방(병커C)+다겹보온커튼 처리의 온실내부 기온변화 그래프를 비교해 보면 처리간 온도변화 차이가 없었으며, 외기온이 -18℃까지 내려가도 지중저수열시스템의 난방에 문제가 없이 설정 온도를 유지할 수 있었다(그림 19).

그림 20의 2016년 9월 7일부터 2017년 3월 15일 까지의 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온수난방(병커C)+다겹보온커튼 처리의 습도는 온수난방(병커C)+다겹보온커튼처리와 비교하여 지중저수열시스템+다겹보온커튼 처리에서 습도가 비슷하게 유지되었다.

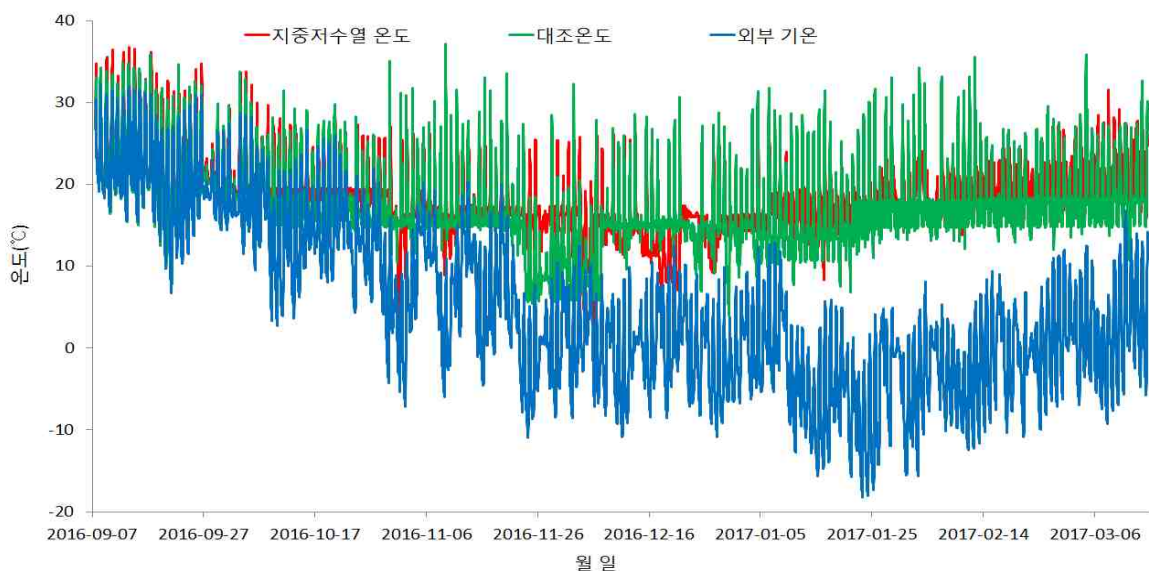


그림 19. 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온수난방(병커C)+다겹보온커튼 처리의 온도변화 비교(조사기간 : '16. 9. 7.~ '17. 3. 15.)

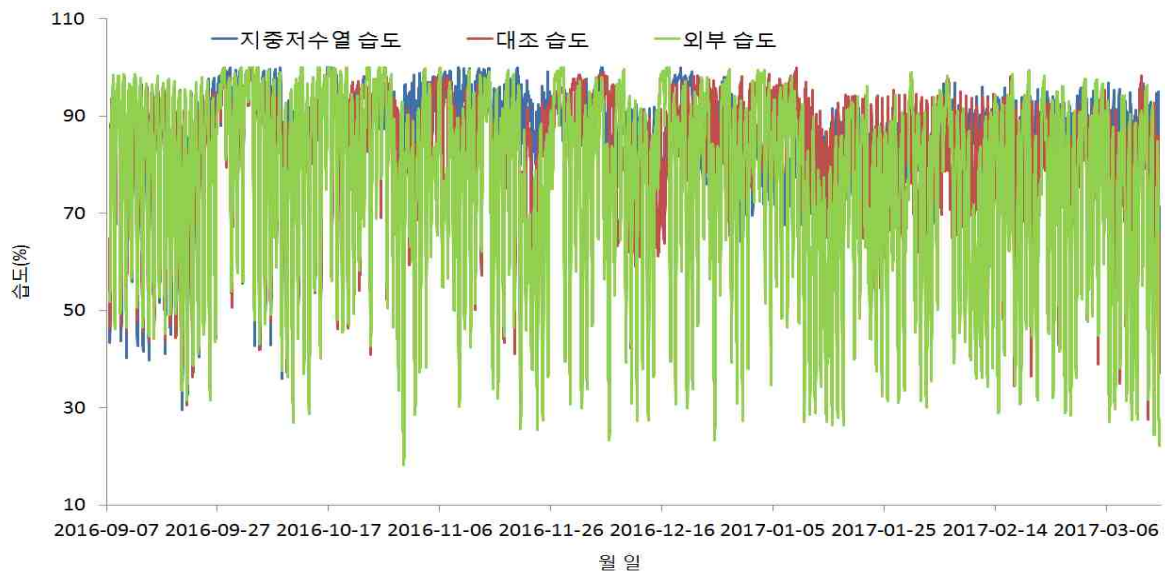


그림 20. 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온수난방(병커C)+다겹보온커튼 처리의 습도변화 비교(조사기간 : '16. 9. 7. ~ '17. 3. 15.)

국화의 생육은 2016년 12월 21일 정식하여 양호한 생육 중이며, 2017년 3월 15일 중간 생육조사 결과 지중저수열시스템+다겹보온커튼 처리에서 생육이 다소 좋은 것으로 조사되었다(표 9).

국화의 수량은 표 10에서 보는 바와 같이 본분다크 와 대조로 소국을 비교했을 때 수량이 10a당 8,400단과 6,000단으로 소국의 수량이 28.6% 적었다. 조수입은 본분다크가 9,000원/단, 소국이 4,500원/단 으로 차이가 나서 본분다크는 75,600,000원/10a을 소국은 27,000,000원/10a을 벌어서 본분다크품종의 소득이 48,600,000원/10a이 많았다.

표 11에서 지중저수열시스템+다겹보온커튼 처리의 전기소모량은 57,927kw/10a로 농사용 을요금 39.2원/kw을 적용하고 기본요금(70kw×1,150원)을 적용하면 2,316,720원이 소요 되었으며, 온수난방+다겹보온커튼 처리는 기름소모량이 12,000L/10a가 소요되어 등유로 환산하면 825원/L을 적용하여 9,900,000원이 소요되었다. 에너지 절감액은 7,583,280원/10a으로 기존 온수난방+다겹보온커튼 대비 지중저수열시스템+다겹보온커튼 처리가 77%의 에너지절감 효과가 있는 것으로 조사되었다. 더불어 이산화탄소 배출 절감도 2.04231 tCO<sub>2</sub>/10a되는 것으로 분석되었다.

부분시산법으로 경제성 분석결과 손실적 요소(A)로 지중저수열 시스템(내구연한 10년 : 120,000,000÷10년) = 12,000,000원, 수리비 120,000 + 이자 360,000 = 480,000원, 국화 관리 추가 인건비 : 1,500,000원, 온풍난방기(내구연한 6년\*환산율1.7 : 3,200,000÷6년\*1.7) = 906,670원, 13,980,000원-906,670원 = 13,073,330원이 손실액으로 계산되었고, 이익적요소(B)로 에너지절감비용 7,583,280원과 생산물 소득 48,600,000원이 산출되어 추정수익액(B-A)은 43,109,950원으로 분석 되었다(표 12).



표 9. 국화 생육

(조사일 : 3월 15일)

처리 품종	다겹보온커튼 + 지중저수열시스템					다겹보온커튼 + 병커C온수난방				
	초 장 (cm)	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	경 경 (mm)	엽 수 (개)	초 장 (cm)	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	경 경 (mm)	엽 수 (개)
필링화이트	90.3	10.2	5.4	7.7	40.3	81.7	10.4	6.0	6.9	40.0
러빙유	89.6	12.0	6.6	7.5	38.4	73.2	11.2	6.4	6.6	37.2
본본다크	67.2	11.0	6.1	5.0	26.6	71.4	9.8	6.0	3.9	28.2

표 10. 국화 수량

		수량 (단/10a)	조수입 (천원/10a)	수량지수
2년차	패키지Ⅱ (보본다크)	8,400	75,600	100.0
	대조 (소국)	6,000	27,000	71.4

표 11. 에너지 소모량 비교(조사기간 : '16.10.1.~'17.3.21.)

난방처리	전기소모량 (kw/10a)	기름소모량 (L/10a)	환산금액 (원)	이산화탄소 배출절감 (tCO <sub>2</sub> /10a)
다겹보온커튼 + 지중저수열시스템	57,927	-	2,316,720	2.04231
다겹보온커튼 + 병커C 온수난방	-	12,000	9,900,000	
절감액 (등유 사용시)			7,583,280	77% 절감

- 지중저수열시스템 = 전기소모량 57,927kw/10a(농사용 을요금 39.2원/kw, 기본요금 70kw\*1,150원), 46,000원 + 2,270,720원 = 2,316,720원
- 등유 온수난방 = 등유 12,000L/10a(면세유 825원/L), 9,900,000원

표 12. 경제성 분석

손실적요소(A)	이익적요소(B)
·지중저수열 시스템(내구연한 10년) : $120,000,000 \div 10년 = 12,000,000원$ ·수리비 120,000 + 이자 360,000 = 480,000원 ·국화 관리 추가 인건비 : 1,500,000원 ·온풍난방기(내구연한 6년*환산율1.7) : $3,200,000 \div 6년 * 1.7 = 906,670원$ ·13,980,000원-906,670원 = 13,073,330원	에너지절감비용 - 7,583,280 생산물 소득 - 48,600,000원
소계 13,073,330원	소계 56,183,280원
추정수익액(B-A) = 43,109,950원/10a(동계작형)	

<시험 2> 토마토 연동비닐하우스 에너지절감 패키지 고도화기술(모니터링)

2016년 10월 21일부터 2017년 3월 13일 까지의 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온풍난방+다겹보온커튼 처리의 온실내부 기온변화 그래프를 비교해 보면 지중저수열시스템과 대조 온풍난방 처리의 야간 온도는 최저 13℃로 관리 되었으며, 주간 온도는 35℃가 넘지 않도록 비교적 균일하게 온도관리가 되었다(그림 21).

그림 22의 2016년 10월 21일부터 2017년 3월 13일 까지의 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온풍난방+다겹보온커튼 처리의 습도는 온풍난방+다겹보온커튼처리와 비교하여 지중저수열시스템+다겹보온커튼 처리에서 습도가 10%정도 낮게 유지되었다.

토마토의 생육은 2016년 9월 24일 정식하여 양호한 생육 중이며, 2017년 3월 13일 중간 생육 조사 결과 지중저수열시스템+다겹보온커튼 처리에서 생육차이가 없었다(표 12).

토마토의 수량은 표 13에서 보는 바와 같이 패키지처리 와 대조로 비교했을 때 수량이 10a당 4,601kg/10a와 동일하게 나왔다.

표 14에서 지중저수열시스템+다겹보온커튼 처리의 전기소모량은 29,506kw/10a로 농사용 을요금 39.2원/kw을 적용하고 기본요금(70kw×1,150원)을 적용하면 1,237,135원이 소요 되었으며, 온풍난방+다겹보온커튼 처리는 기름소모량이 2,250L/10a가 소요되어 등유로 환산하면 825원/L을 적용하여 1,856,250원이 소요되었다. 에너지 절감액은 619,115원/10a으로 기존 온풍난방+다겹보온커튼 대비 지중저수열시스템+다겹보온커튼 처리가 33.4%의 에너지절감 효과가 있는 것으로 조사되었다.

부분시산법으로 경제성 분석결과 손실적 요소(A)로 지중저수열 시스템(내구연한 10년 :  $120,000,000 \div 10년 = 12,000,000원$ , 수리비 120,000 + 이자 360,000 = 480,000원, 온풍난방기(내구연한 6년\*환산율1.7 :  $3,200,000 \div 6년 * 1.7 = 906,670원$ , 12,480,000원-906,670원 = 11,573,330원이 산출되었고, 이익적요소(B)로 에너지절감비용 619,115원이 산출되어 추정수익액(B-A)은 △ 10,954,215원으로 분석 되었다(표 15).

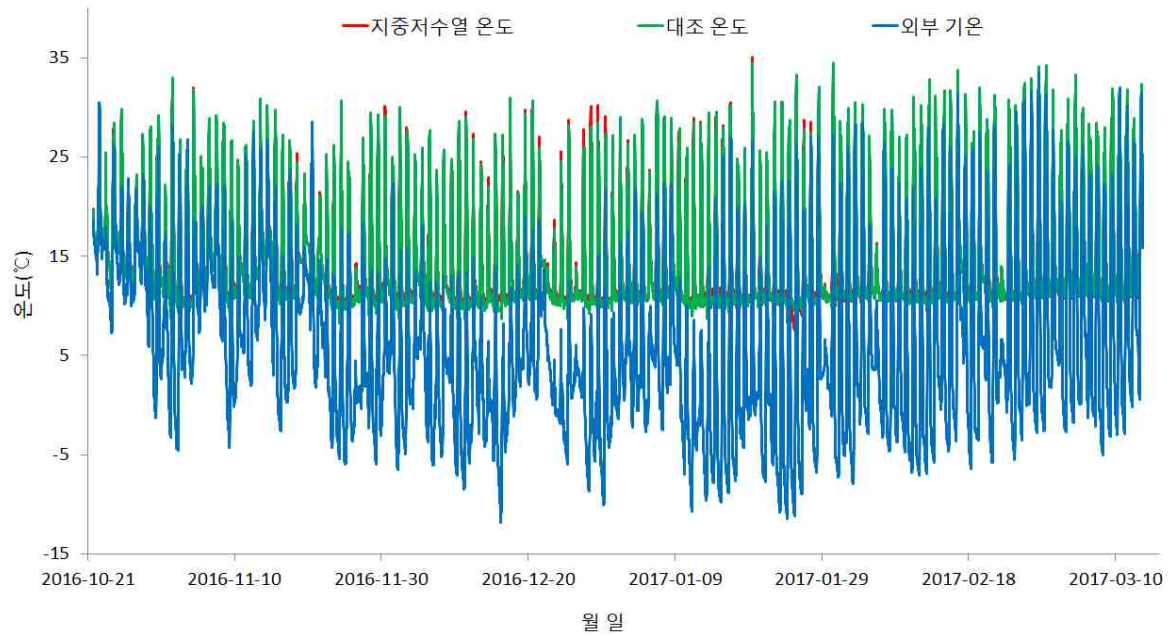


그림 21. 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온풍난방+다겹보온커튼 처리의 온도변화 비교(조사기간 : '16. 10. 21.~ '17. 3. 13.)

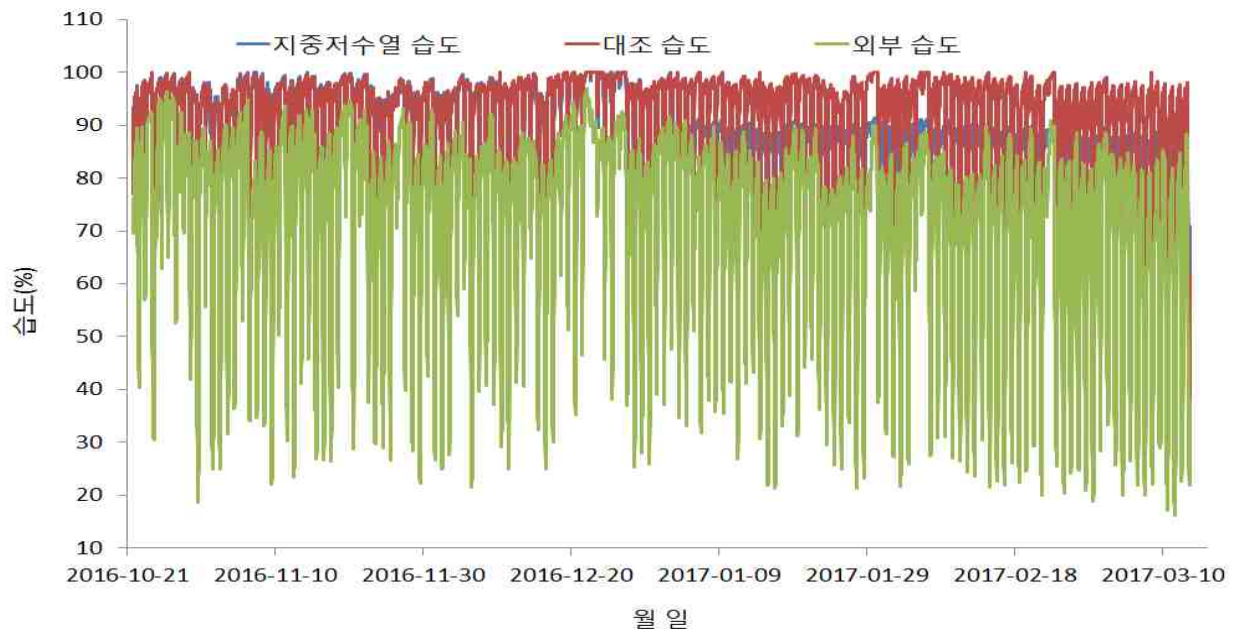


그림 22. 지중저수열시스템+다겹보온커튼과 온풍난방+다겹보온커튼 처리의 습도변화 비교(조사기간 : '16. 10. 21.~ '17. 3. 13.)

표 12. 토마토 생육

(조사일 : 3월 13일)

처 리	초 장 (cm)	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	경 경 (mm)	마디수 (개)	절간장 (cm)
다겹보온커튼 + 지중저수열시스템	288	37.9	37.0	12.6	36.5	7.9
다겹보온커튼 + 경유온풍난방	277	36.0	35.5	13.4	38.7	7.2

표 13. 토마토 수량

		수량 (단/10a)	조수입 (천원/10a)	수량지수
3년차	패키지	4,601	10,279	100.0
	대조	4,601	10,279	100.0

표 14. 에너지 소모량 비교(조사기간 : 10/21~3/21)

난방처리	전기소모량 (kw/10a)	경유소모량 (L/10a)	환산금액 (원)	비 고
다겹보온커튼 + 지중저수열시스템	29,506	-	1,237,135	농사용을 39.2원 기본요금 70kw*1,150원
다겹보온커튼 + 경유온풍난방	-	2,250	1,856,250	면세경유 825원/L
절감액			619,115	33.4% 절감

- 지중저수열시스템 = 전기소모량 29,506kw/10a(농사용 을요금 39.2원/kw, 기본요금 70kw\*1,150원), 1,237,135원
- 경유온풍난방 = 경유 2,250L/10a(경유 825원/L), 1,856,250원

표 15. 경제성 분석

손실적요소(A)	이익적요소(B)
·지중저수열 시스템(내구연한 10년 : $120,000,000 \div 10년 = 12,000,000원$ ·수리비 $120,000 + 이자 360,000 = 480,000원$ ·온풍난방기(내구연한 6년*환산율1.7 : $3,200,000 \div 6년 * 1.7 = 906,670원$ · $12,480,000원 - 906,670원 = 11,573,330원$	에너지절감비용 - 619,115원
소계 11,573,330원	소계 619,115원
추정수익액(B-A) = $\Delta 10,954,215원 / 10a$	

### 3. 현장평가회 개최

가. 개최일시 : 2017년 3월 29일(수) 10:30~14:00

나. 장 소 : 파주시 적성면 담안길 38-8, 구광회 농가

다. 참석자 : 57명(농업인, 관련업체, 유관기관 공무원 등)

라. 종합토의 내용

- 기온이 낮은 날은 저수탱크의 열원을 다 사용하고 모자랄 텐데, 난방용량이 부족한 경우 그에 따른 대책은 무엇인가?(채원병 농가)
  - 경제성을 감안하여 지중저수열시스템의 용량은 증설한계가 있으며 일정 용량 이상의 부족한 난방부분은 유류 온풍난방기 등을 설치하여 부족분을 보완하여야 함(티알엑서지 김동현 지사장, 전희 사무국장)
- 지중저수열시스템을 정책사업화 하여 정부 60%, 지자체 20%, 자부담비용이 20%로 보급된다고 하나, 농가 입장에서는 큰 비용이므로 2~3% 정도로 낮추어 주었으면 좋겠다(적성면장)
  - 정책사업화 되어 자부담 비율은 20%인데 이중 10%는 용자이고, 10%만 우선 부담하면 되므로 농가 입장에서 부담은 경감 될 것으로 보임(전희 사무국장)
- 여름철에 지중저수열시스템의 냉방성능은 설치되지 않은 하우스에 비해 국화생육에 어떠한 차이가 있는가?(원예연구과장)
  - 꽃 색에 차이가 있으며 냉방장치를 가동한 하우스에서 꽃 색이 선명하게 나오는 편임(구광회 현지시험 농가)
- 병커씨유 난방은 50~60℃ 물이 순환하고 지중저수열은 40℃ 물이 순환하는데 난방수 온도에 따른 문제점은 없는가?(원예연구과장)
  - 지중저수열시스템은 팬코일이 많이 설치되어 있어 온도를 빨리 올릴 수 있어 문제없으며, 병커씨난방은 60~70℃의 물을 순환시켜도 팬코일이 적게 설치되어 온도가 잘 안 올라 감(구광회 현지시험 농가)
- 추운날에는 물탱크 물이 빨리 식어서 전기세가 많이 나오지 않는가? 또한 흐리고 눈이 오는 날에는 열교환이 이루어지지 않아 전기세가 많이 나올 것 같은데 어떤지?(적성 농가)

- 시스템의 용량이 있어 최대한 가동해도 일정액을 넘지 않으며(현지농가의 경우 한달 50만원 정도), 나머지 난방용량 부족분은 유류 난방기를 이용하여 보충해 주어야 함.(티알엑서지 김동현 이사장)
- 지중저수열 시스템은 꼭 연동하우스에만 설치해야 하는가? 단동하우스에는 설치하지 못하는지?(적성 농가)
- 시설가동효율과 작물재배 환경 등 경제성 문제로 단동하우스에 설치하는 것은 적합하지 않으며, 정책사업조건에 맞지 않으므로 정책적인 지원대상 아님(경기도원 심상연)



그림 23. 현장평가회 개최식



그림 24. 지중저수열시스템 성능 설명 및 국화 생육 관찰



그림 25. 농가 의견 청취 및 현지시험포장 관찰



## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1절 : 연구개발 목표 및 연구개발 수행내용

연구개발 목표		연구개발 내용	달성도 (%)
1차년도 (2014~ 2015)	○ 경기지역 연동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발 및 실증연구(토마토)	○ 토마토 연동 비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 투입 - 다겹보온커튼시설+지중저수열 시스템 시설 투입 ○ 시설내부 온·습도 등 기상환경 분석 ○ 토마토 생육 특성 조사 분석 ○ 경유 및 전기 에너지절감효과 분석	100
2차년도 (2015~ 2016)	○ 경기지역 연동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발 및 실증연구(국화, 토마토)	○ 국화 연동 비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 투입 - 다겹보온커튼시설+지중저수열 시스템 시설 투입 ○ 시설내부 온·습도 등 기상환경 분석 ○ 국화 생육 특성 조사 분석 ○ 난방유 및 전기 에너지절감효과 분석	100
		○ 토마토 연동 비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 투입 1차년도 모니터링 - 온·습도, 생육, 에너지 절감 분석	100
3차년도 (2016~ 2017)	○ 경기지역 연동 비닐하우스 에너지절감 패키지 고도화 기술 실증연구(국화, 토마토)	○ 국화 연동 비닐하우스 에너지절감 패키지 고도화 기술 투입 - 다겹보온커튼시설+지중저수열 시스템 시설 투입 ○ 시설내부 온·습도 등 기상환경 분석 ○ 국화 생육 특성 조사 분석 ○ 난방유 및 전기 에너지절감효과 분석	100
		○ 토마토 연동 비닐하우스 에너지절감 패키지 고도화 기술 투입 2, 3차년도 모니터링 - 온·습도, 생육, 에너지 절감 분석	100

### 2절 관련분야의 기술발전예의 기여도

본 과제의 연구개발 목표는 경기지역 시설원에 농가 에너지절감 및 고품질 농산물 생산을 위한 연동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 실증연구 및 기술보급 확산으로 농가 경쟁력을 제고 하는데 있으며, 구체적으로 기존 유류난방 대비 난방비 30% 절감을 목표로 하였다. 연구 내용으로 연동비닐하우스에서 방울토마토와 국화를 대상으로 지중저수열시스템과 다겹보온커튼으로 구성된 난방패키지 모델을 구성하여 농가 현장에서 난방 성능시험 및 작물 생육시험을 수행하였다. 실증시험 결과 토마토 난방 시 관행 온실 대비 난방비 77% 절감, 국화 난방 시 난방비 33.4% 절감 효과를 확인하였다. 기술보급 확산을 위해 개발기술의 경제성 분석 및 현장평가회를 3회 개최하였으며, 농업전문지 등을 대상으로 39건의 언론홍보를 수행하였다. 또한 농림축산식품부 정책제안과 기관 영농활용을 통해 기술보급 및 활용 방안을 제시하였다. 본 연구결과는 향후 작목 또는 시설 맞춤형 고효율 에너지절감기술의 개발을 위한 기초자료를 제공할 수 있을 것이다.

## 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

- 시설원예 및 에너지절감 관련 기업의 기술발전으로 온실산업 경쟁력 강화
- 에너지절감 패키지기술의 농가 보급 확대를 위한 농림축산식품부 정책제안
  - 국화 연동비닐하우스 에너지절감패키지 기술보급(농림축산식품부 원예경영과)
- 에너지절감 패키지기술의 농가 보급 확대를 위한 영농활용(경기도)
  - 지중저수열시스템과 다겹보온커튼 패키지기술을 이용한 연동비닐하우스 에너지절감
- ‘연동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 적용 효과’ 논문발표
- ‘연동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 현장적용 효과’ 언론 홍보
- 연동비닐하우스 에너지절감 패키지기술보급으로 농가소득 향상 및 고품질 안정 생산에 기여

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

해당사항 없음

## 제 7 장 참고문헌

1. Briassoulis, D., D. Waaijberg, J. Gratraud, and B. von Eslner. 1997a. Mechanical properties of covering materials for greenhouse; part1, general overview. J. agric Engng Res. 67:81-96.
2. Briassoulis, D., D. Waaijberg, J. Gratraud, and B. von Eslner. 1997b. Mechanical properties of covering materials for greenhouse; part2, quality assessment. J. agric Engng Res. 67:171-217.
3. Gracia, J.L., De la Plaza, L.M. Narvas, R.M. Benavente and L. Luna. 1998. Evaluation of the feasibility of alternative energy sources for greenhouse heating. J. Agric. Engng Res. 69:107-114.
4. Gosselin, A. and M.J. Trudel. 1983. Interactions between air and root temperatures on greenhouse tomato: I. growth, development and yield. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108(6):901-905.
5. Kang, Y.K., Y.S. Ryou, G.C. Kang, Y. Paek, and Y.J. Kim. 2007. Heating performance of horizontal geothermal heat pump system for protected horticulture. J. of Biosystems Eng. 32(1):30-36(in Korean).
6. Kawasaki, Y., K. Suzuki, K. Yasuba, and M. Takaichi. 2011. Effect of local air heating by a hanging duct near the tomato shoot apex and flower clusters on vertical temperature distribution, fruit yield and fuel consumption. Hort. Res. (Japan) 10(3):395-400(in Japanese).
7. Kawashima, H., M. Takaichi, M. BaBa, K. Yasui and Y. Nakano. 2008. Effects of energy saving and the reduction of carbon dioxide emissions with a hybrid-heating system



- using an air-to-air heat pump for greenhouse heating. Bulletin of the National Institute of Vegetable and Tea Science 7:27-36(in Japanese).
8. Kim, S.E., S.Y. Sim, S.D. Lee, and Y.S. Kim. 2010. Appropriate root-zone temperature control in perlite bag culture of tomato during winter season. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 28(5):783-789(in Korean).
  9. Kwon, J.K., J.H. Lee, N.J. Kang, K.H. Kang, and Y.H. Choi. 2004. Effects of covering materials and methods on heat insulation of a plastic greenhouse and growth and yield of tomato. J. of Bio-Environment Control 13(4):251-257(in Korean).
  10. Kwon, J.K., G.H. Kang, J.P. Moon, Y.K. Kang, C.K. Kim, and S.J. Lee. 2013. Performance Improvement of an Air Source Heat Pump by Storage of Surplus Solar Energy in Greenhouse. Protected Horticulture and Plant Factory 22(4):328-334(in Korean).
  11. Kwon, J.K., G.H. Kang, J.P. Moon, T.S. Lee, and S.J. Lee. 2015. Effect of growing part following local heating for cherry tomato on temperature distribution of crop and fuel consumption. Protected Horticulture and Plant Factory 24(3):217-225(in Korean).
  12. Lee, M.Y., S.J. Hwang, and B.R. Jeong. 2001. Growth and yield of hydroponic rose 'little marble' as affected by root zone temperature and heating method in winter season. Journal of Bio-Environment Control 10(1):61-68(in Korean).
  13. Lee, S.Y., H.J. Kim, H. Chun, S.H. Yun, Y.I. Nam, and J.G. Lim. 2003. Energy saving by use of pull&roll multi layer type screen system on greenhouse. Kor. Res. Soc. Protected Hort. 16(1):1-6(in Korean)
  14. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). 2014a. Greenhouse status for the vegetable grown in facilities and the vegetable productions in 2013. ed. Sejong, Korea(in Korean).
  15. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). 2014b. Cultivation status of floricultural crop in 2013. ed. Sejong, Korea(in Korean).
  16. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). 2016c, Enforcement guidance on MAFRA enterprise. <http://manual.agrix.go.kr/home/index.php>(in Korean).
  17. Sato, K. and N. Kitajima. 2010. Local heating temperature effects on the growth and yield of strawberries [Fragaria] in high-bench culture. Fukuoka Agricultural Research Center Report (29):27-32(in Japanese).
  18. Sone, K., K. Dan, M. Okimura, and E. Ktanai. 2007. Effect of temperature treatment of crown party on flower-bud formation in ever-bearing strawberry. Soc. Hort. Sci. (Japan) 6(1):423(in Japanese).
  19. Tong, Y., T. Kozai, N. Nishioka, and K. Ohyama. 2011. Greenhouse heating using heat pumps with a high coefficient performance(COP). Biosystems Engineering 106:405-411.
  20. Willits, D.H. and Y.R. Gurjer. 2004. Heat pumps for the heating and night-cooling of greenhouse crops: a simulation study. Trans. of the ASAE 47(2):575-584.



## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “농업에너지절감모델개발사업단 실증연구과제(과제명 : 연동 비닐하우스 에너지절감 패키지 기술개발Ⅲ)”의 최종의 보고서로 제출합니다.

2017년 9월 일

실증연구기관명 : 전라북도농업기술원

실증연구책임자 : 김치선



# 요 약 문

## I. 제 목

연동 비닐하우스 에너지절감 패키지 기술개발(III)

## II. 연구성과 목표 대비 실적

본 과제의 연구개발 목표는 전북지역 시설원예 농가의 에너지 절감 패키지 기술개발을 통하여 연동 비닐 하우스 에너지절감 패키지기술 모델 실증연구 및 기술보급 확산으로 농가 경쟁력 제고와 소득향상에 두었다. 연구 내용으로 시설하우스 주 작목인 토마토와 딸기를 대상으로 다겹보온커튼, 열회수형환기장치로 구성된 패키지 모델을 개발하고자 작물 생육시험을 수행하였다. 실증시험 결과 딸기 재배시 에너지 비용이 33.6% 절감과 수량이 13.3% 증가되었고, 토마토 재배에서는 난방비 27.7% 절감과 수량이 15.9% 증가되는 효과를 확인하였다. 기술보급 확산을 위해 개발기술의 경제성 분석 및 현장평가회를 3회 개최하였으며, 학술발표 1건, 현지 기술지도 4회, 홍보 3건을 하였고 농식품부 정책제안을 통해 기술보급 및 활용 방안을 제시하였다.

## III. 연구개발의 목적 및 필요성

국민 소득 수준 향상으로 곡물 중심의 농산물에서 육류와 더불어 신선 채소 등의 수요가 증가하고 있는 실정이다. 소비자의 수요에 대응하기 위해 일반 노지재배에서 시설재배로 재배방식이 바뀌어 연중 공급할 수 있는 작부체계를 개선해 연중 공급할 수 있는 생산체제로 전환되었다. 특히 원예작물은 저장성이 높지 않아 수확기간을 연장하거나 단경기에 출하하기 위해 재배환경을 조절해야 한다. 작물 생육온도에 적합한 환경을 조성하기 위해 보온시설을 설치해 출하시기를 당기거나 혹은 늦췄으며 재배 및 가온기술 등의 발달로 가온재배를 통해 연중 공급할 수 있는 생산체계를 갖추기 시작했고, 시설재배 면적도 증가해 시설재배 농가는 높은 소득을 올릴 수 있었다. 연중 공급할 수 있는 생산시설도 발달해 다양한 보온시설과 가온시설을 이용해 작물을 재배할 수 있게 됐다. 작물을 재배하는 시설 내·외부의 피복 및 보온시설을 개선하거나, 다양한 난방연료와 시설을 이용해 작물에 적합한 온도를 맞추기 위해 가온재배를 했다. 난방연료의 대부분을 화석연료에 의존하는 시설재배 작목의 난방비는 국제 유가에 직접적인 영향을 받는다. 국제유가 상승은 시설재배 농가의 경영비를 상승시켜 농가의 작목 선택과 영농에 중요한 의사결정 요인이 되고 있다. 이러한 농업여건의 변화로 환경을 보존하면서 난방비를 절감할 수 있는 가온재배 기술 도입의 필요성이 대두되고 있으며, 시설원예 농가의 난방비 상승이 농업경영에 미치는 영향이 커지고 있다. 따라서 전북지역 시설하우스 재배시 에너지를 절감할 수 있는 패키지를 개발하고 보급할 필요가 있다.

## IV. 연구개발 내용 및 범위

연동 비닐하우스에 에너지 절감을 위하여 5점으로 구성된 보온다겹커튼과 하우스 내 습도를 조절할 수 있는 열회수형환기장치 설치하였다. 시험작물은 딸기(설향)와 토마토(339)를 대상으로 현장실증 사업을 추진하였다. 주요조사 항목은 시험구별 작물생육, 수확량, 에너지사용량 및 비용 등이며, 연동비닐하우스 에너지 절감 패키지 기술의 적용성을 평가하기 위하여 대조구 온

실과 설치비 및 난방비 절감액을 대상으로 경제성 분석을 수행하였다.

## V. 연구개발결과

전북지역에서 시설재배시 난방비 절감을 위한 에너지 패키지 기술을 개발하기 위하여 농가 실증 시험을 전북 남원시와 임실군 2개소에서 보온다겹커튼과 열회수형환기장치를 설치하여 2015년부터 2017년까지 2년 동안 시험을 수행하였다. 대상 작물은 딸기(남원시)와 토마토(임실군) 2작물이었다. 딸기의 시험 품종은 “설향” 이었고 정식은 9월에 딸기전용상토(코이어 배지)에 하여 고설재배로 다음해 6월 하순까지 재배관리 하였다. 시험 수행기간 중 시설 내 온도관리는 열회수형환기장치를 이용하여 야간 최저온도를  $10\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 관리하였고 기타 재배는 농가 관행에 준하여 관리하였다. 지상부 생육조사 결과 초장은 35.5cm, 엽수는 9.2매, 근관부 직경은 18.2mm이었고 6화방까지 평균 착과수는 5.5개, 당도는  $10.2^{\circ}$  Brix로 나타났다. 에너지 패키지 투입농가와 관행농가와의 생산량을 비교해 본 결과 에너지 패키지 투입농가의 10a당 생산량이 4,158kg으로 관행농가 3,669kg에 비해 13.3% 증가되었다. 전기 및 유류 사용량 비교에서 에너지 패키지 투입농가의 총에너지 사용금액은 1,519,504원이 들어간 반면 관행농가는 2,288,414원이 들어 관행대비 에너지 사용비용이 33.6% 절감되었다. 에너지 절감패키지 기술 투입시 부분시산법에 의한 경제성분석 결과 2,035,551원의 수익이 발생되었다. 토마토의 시험 품종은 “339” 이었고 정식은 1월에 코이어 배지에 정식하여 6월 하순까지 재배관리 하였다. 시험 수행기간 중 시설 내 온도관리는 야간 최저온도를  $15\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 관리하였고 기타 재배는 농가 관행에 준하여 관리하였다. 지상부 생육조사 결과 초장은 220cm, 경경은 11.3mm, 절간수는 26.5개 이었고 6화방까지 평균 착과수는 3.3개, 당도는  $4.9^{\circ}$  Brix로 나타났다. 에너지 패키지 투입농가와 관행농가와의 생산량을 비교해 본 결과 에너지 패키지 투입농가의 10a당 생산량이 5,476kg으로 관행농가 4,725kg에 비해 15.9% 증가되었다. 전기 및 유류 사용량 비교에서 에너지 패키지 투입농가의 총에너지 사용금액은 1,972,232원이 들어간 반면 관행농가는 2,729,141원이 들어 관행대비 에너지 사용비용이 27.7% 절감되었다. 에너지 절감패키지 기술 투입시 부분시산법에 의한 경제성 분석 결과 1,724,259원의 수익이 발생되었다. 따라서 전북지역에서 시설재배시 에너지 절감을 위한 패키지로써 보온다겹커튼과 열회수형환기장치를 하면 작물생육과 품질 향상에 효율적이고 에너지 절감에 유리할 것으로 판단되었다.

## VI. 연구성과 및 성과활용 계획

- 연동 비닐하우스 에너지 절감 패키지 농가 보급 확대를 위한 농림축산식품부 정책제안
  - 농업에너지절감 패키지기술 실증모델 보급(연동비닐하우스)(2016, 농림축산식품부 원예경영과)
- ‘전북지역 딸기 연동하우스 에너지 절감 패키지기술 투입 효과’ 학술발표
  - 2016년 한국원예학회 학술발표
- 현장기술지도 4회
- 홍보 3건
- 전북지역 시설하우스 에너지절감 패키지 기술개발로 농가 경영비 절감 및 소득향상에 기여

## SUMMARY

The area of controlled horticulture in Korea has increased rapidly, reaching 52,526ha in 2015, more than twice that of the 1990s. Accordingly, the area of heating in winter and the use of oil has increased in order. As oil usage accounts for 66 percent, the heating energy source for warming greenhouse is vulnerable to the fluctuation of the international oil price. More than 45 percent of agricultural energy in Korea is used for warming greenhouse. In order to develop the energy package technology to reduce the heating cost for protected cultivation in Jeonbuk area, a multi-layer thermal curtain and a heat recovery ventilator were installed at two locations in Namwon-si and Imsil-gun, and the test was conducted for two years from 2015 to 2017. The target crops were strawberry(Namwon-si) and tomato(Imsil-gun). “Seolhyang” strawberry transplanted in september using a strawberry-specialized medium (coir) and cultivated until the end of June at elevated hydroponic system. During the test period, temperature in the greenhouse was controlled at  $10\pm 2^{\circ}\text{C}$  during night time using the heat recovery ventilator and the other cultivation was managed according to the general practice. As a result of investigation in aboveground part's growth characteristics, plant height, leaf number, crown diameter was 35.5cm, 9.2ea, 18.2mm respectively. The average number of fruit setting was 5.5ea and soluble solid content was  $10.2^{\circ}$  Brix until 6<sup>th</sup> flower cluster. As a result of comparing production amount per 10a between energy package input farm and conventional farm, production of energy package input farm was 4,158kg, which was 13.3 percent higher than that of the conventional farm's 3,669kg. The amount of total energy(electricity and oil) consumption of the farm entering the energy package was 1,519,504won, while the conventional farm was 2,288,414won. This means energy package reduced the energy usage cost by 33.6% compared with the convention. On the basis of economic analysis by partial budgeting, the revenue of introducing energy saving package technology was 2,035,551won. “339” tomato transplanted in January using coir medium and cultivated until the end of June. During the test period, the temperature in the greenhouse was controlled at  $15\pm 2^{\circ}\text{C}$  during night time and the other cultivation was managed according to the general practice. As a result of investigation in aboveground part's growth characteristics, plant height, stem thickness, number of nodes was 220cm, 11.3mm, 26.5ea respectively. And the average number of fruit setting was 3.3ea and soluble solid content was  $4.9^{\circ}$  Brix until 6<sup>th</sup> flower cluster. As a result of comparing production amount per 10a between energy package input farm and conventional farm, production of energy package input farm was 5,476kg, which was 15.9 percent higher than that of the conventional farm's 4,725kg. The amount of total energy(electricity and oil) consumption of the farm entering the energy package was 1,972,232won, while the conventional farm was 2,729,141won. This means energy package reduced the energy usage cost by 27.7% compared with the convention. On the basis of economic analysis by partial budgeting, the revenue of introducing energy saving package technology was 1,724,259won. Therefore, based on these results, using heat insulation multilayer curtain and heat recovery type ventilator as a package for energy saving in Jeonbuk area's facility cultivation is considered to be beneficial to crop growth, quality improvement and energy saving.

# 제 1 장 실증과제의 개요 및 성과목표

본 과제의 연구개발 목표는 전북지역 시설원예 농가의 에너지 절감 패키지 기술개발을 통하여 연동 비닐 하우스 에너지절감 패키지기술 모델 실증연구 및 기술보급 확산으로 농가 경쟁력 제고와 소득향상에 두었다. 연구 내용으로 시설하우스 주 작목인 토마토와 딸기를 대상으로 다겹보온커튼, 열회수형환기장치로 구성된 패키지 모델을 개발하고자 작물 생육시험을 수행하였다. 실증시험 결과 딸기 재배시 에너지 비용이 33.6% 절감과 수량이 13.3% 증가되었고, 토마토 재배에서는 난방비 27.7% 절감과 수량이 15.9% 증가되는 효과를 확인하였다. 기술보급 확산을 위해 개발기술의 경제성 분석 및 현장평가회를 3회 개최하였으며, 학술발표 1건, 현지 기술지도 4회, 홍보 3건을 하였고 농림축산식품부 정책제안을 통해 기술보급 및 활용 방안을 제시하였다.

## ○ 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	연구개발 내용	달성도 (%)
○ 전북 연동형 하우스 과채류 에너지 절감 패키지 기술 개발	- 전북 딸기·토마토 에너지 절감 패키지 기술 확립 - 현지 적응형 에너지 절감 모델 개발 . 에너지 절감 패키지 : 보온다겹커튼+열회수형 환기장치	100

## ○ 정량적 성과목표 및 실적

구 분	지식재산권		논문		학술 발표	기술 이전	교육 지도	현장 평가회	세미나 등	영농 활용	정책 활용	홍보 전시	기 타
	출원	등록	SCI	비 SCI									
최종목표					1		4				1	2	
당해 연도	목표				1		4					2	
	실적				1		4	3			1	3	
달성율(%)					100		100	100			100	150	



## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

국민 소득 수준 향상으로 곡물 중심의 농산물에서 육류와 더불어 신선 채소 등의 수요가 증가하고 있는 실정이다. 소비자의 수요에 대응하기 위해 일반 노지재배에서 시설재배로 재배방식이 바뀌어 연중 공급할 수 있는 작부체계를 개선해 연중 공급할 수 있는 생산체제로 전환되었다. 특히 원예작물은 저장성이 높지 않아 수확기간을 연장하거나 단경기에 출하하기 위해 재배환경을 조절해야 한다. 작물 생육온도에 적합한 환경을 조성하기 위해 보온시설을 설치해 출하시기를 당기거나 혹은 늦췄으며 재배 및 가온기술 등의 발달로 가온재배를 통해 연중 공급할 수 있는 생산체계를 갖추기 시작했고, 시설재배 면적도 증가해 시설재배 농가는 높은 소득을 올릴 수 있었다. 연중 공급할 수 있는 생산시설도 발달해 다양한 보온시설과 가온시설을 이용해 작물을 재배할 수 있게 됐다. 작물을 재배하는 시설 내·외부의 피복 및 보온시설을 개선하거나, 다양한 난방연료와 시설을 이용해 작물에 적합한 온도를 맞추기 위해 가온재배를 했다. 난방연료의 대부분을 화석연료에 의존하는 시설재배 작목의 난방비는 국제 유가에 직접적인 영향을 받는다. 국제유가 상승은 시설재배 농가의 경영비를 상승시켜 농가의 작목 선택과 영농에 중요한 의사결정 요인이 되고 있다. 이러한 농업여건의 변화로 환경을 보존하면서 난방비를 절감할 수 있는 가온재배 기술 도입의 필요성이 대두되고 있으며, 시설원예 농가의 난방비 상승이 농업경영에 미치는 영향이 커지고 있다. 시설원예 농업 경영자의 입장에서 난방비용의 절감은 소득증대와 경쟁력 확보면에서 매우 중요한 요소가 되고 있다(R.D.A, 2007; 2008; 2009). 시설원예 경영비에서 난방비는 30~35%를 차지하여 있고 난방연료의 91%가 유류를 사용하고 있어 국제유가 상승시 난방을 해야 하는 시설채소 농가에 큰 부담이 되고 있는 실정이다. 화석에너지 사용 급증으로 인하여 환경오염 및 이산화탄소 배출량이 늘어남에 따라 기후 온난화가 빠르게 진행되어 있어 전 세계적으로 이산화탄소 배출량을 줄일 수 있는 방법을 강구하고 있는 상황이다. 교토의정서 발효에 따른 온실가스 감축을 위한 새로운 환경친화형 에너지원 개발이 필요하고 저탄소 녹색성장 기본법 시행에 따른 새로운 친환경 농자재 및 농법개발이 필요한 실정이다. 정부에서는 에너지이용효율화사업의 일환으로 다겹보온커튼, 순환식 수막재배시설, 열회수형환기장치, 자동 보온덮개, 배기열 회수장치 등을 지원하고 있고 에너지 절감시설이 다양하게 보급되고 있지만 시설의 형태, 온도반응에 따른 작물의 분류 등에 따라 적용되는 에너지 절감시설이 달라지고 있다. 국내에서 시설 농업의 난방비 절감 시스템에 관한 연구(오문근, 1999.)는 피복자재별 열점감율, 보온 방법 개선 사례, 연료비 절감 사례, 보온 및 난방시스템 보완에 대해서 보고하였다. 단동 비닐온실에서 내외부 다겹보온커튼 및 일반 보온커튼의 설치조건에 따른 온실 내부의 온도유지 능력과 작물의 수확량을 분석한 연구(Kwon 등, 2004)와 가온재배 온실의 대부분을 차지하고 있는 연동 비닐온실에 적용하기 위한 자동 수평예인권취식 다겹보온커튼 시스템의 개발과 난방연료 절감 및 수확량 개선 분석 연구(Lee 등, 2003)가 수행되었다. 또한 최근에는 지열을 이용하는 난방방식 개선과 히트펌프를 이용한 난방, 펠릿 난방기 이용, 기능성보온자재 개발 등 다양하게 연구가 진행되고 있다(Choi. *et al.*, 2013, Kim *et al.*, 2009, Kwon *et al.*, 2013, Lee *et al.*, 2011, Yoon *et al.*, 2012). 국외 연구 현황으로서 시설 피복재의 재료에 따른 열적, 물리적 특성과 보온성능을 분석한 연구(Briassoulis 등, 1997a; Briassoulis 등, 1997b)가 수행되었다. 재배시설의 전체 공간난방에 소요되는 과도한 에너지사용을 절감하고 작물의 온도민감기관을 집중 냉난방하는 국소냉난방 관련 기술은 주로


근권부를 대상으로 하였으나(Gosselin과 Trudel, 1983) 딸기 관부 국소난방기술(Sato와 Kitajima, 2010), 토마토의 작물체 하부를 상대적 저온으로 관리할 수 있는 토마토 생장부 국소난방기술(Kawasaki 등) 등으로 대상이 확대되고 있다. 네덜란드는 온실용 난방에너지 활용을 위해 지하 계간축열시스템 도입 및 히트펌프시스템과 연계 태양에너지와 지열을 최대 활용하기 위한 실증연구를 수행하고 있다. 일본의 경우 미래지향 기술혁신 사업으로 시설원에 탈석유 혁신 추진 사업으로 전기, 열, 이산화탄소 동시 이용 시스템 온실을 도입하고 있다. 프랑스 등 유럽에서는 투광성 연질 피복자재를 이용하여 이중 단열층을 형성하고 외부 공기를 주기적으로 주입하고 내외부 온도차를 최소화함으로써 습도환경 등을 조절할 수 있는 온실 모델 상용화가 진행되고 있다. 미국에서는 온실 커버의 재료특성에 따라 내부의 결로현상이나 광 환경에 대한 측정 분석연구가 진행되고 있으며, 환기 모델에 의한 에너지 수지에 대한 연구, 보온커튼을 통한 공기 유출입량 비율에 따른 시설 내부 환경변화 연구, 다습한 환경조건에서도 작물 생산성 저하를 방지하기 위해 보온커튼 정밀제어 연구 등 온실의 보온 및 난방에너지 절감을 위한 선도적인 연구들이 수행 중에 있다.

### 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

#### 제1절 전북지역 딸기 연동하우스 에너지 절감 패키지 기술 개발

시설하우스 재배시 에너지를 절감하기 위한 실증사업 농가 선정은 전라북도 14개 시·군 농업기술센터에 희망 농가 선정을 의뢰한 결과 익산시, 남원시, 진안군, 임실군에서 사업 신청을 하였다. 농가실증사업 신청을 한 4개 시·군을 대상으로 전북농업기술원에서 현지 농가 실태조사를 실시하여 사업에 적합한 농가를 선정한 후 다시 서류심사를 통해 최종적으로 남원시 딸기 재배농가와 임실군 토마토 농가를 선정하였다. 전북지역에서 시설하우스 에너지 절감 패키지 구성은 보온다겹커튼과 열회수형환기장치로 정하였다. 에너지 절감 패키지 선정 이유는 시설 하우스의 보온 효과가 뛰어나고 난방비 절감 효과가 좋은 다겹보온커튼이 설치비와 단가 등을 반영하였을 때 40%의 비용이 절감된다는 연구결과를 참고하였다. 또한 겨울철 시설 재배시 가장 문제가 되고 있는 시설 내 과습으로 인한 병해 발생률이 많아 이를 해결하기 위해 습도 조절이 가능하고 난방이 가능한 열회수형환기장치를 선정하였다(표 1).

표 1. 투입된 패키지의 주요특성

투입 패키지	사진	주요특성
보온다겹커튼		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 재질 : 부직포(0.5mm, PP), 화학솜(100온스) 등</li> <li>- 조성 : 부직포 50g+마트지+솜 3온스+마트지+부직포50g</li> <li>- 개폐장치(베어링 25mm, 드럼 <math>\phi</math> 48, 감속모터 삼상 2HP, 개별모터 중대형 2대)</li> </ul>
열회수형환기장치		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 재질 : 칼라강판</li> <li>- 난방능력 : 6만kcal</li> <li>- 제원 : 1,800×900×1,700cm</li> <li>- 제어장치 : 온도, 시간제어 및 4단 변온</li> </ul>

남원의 에너지절감 실증사업은 딸기 고설재배를 하고 있는 농가를 선정하여 보온다겹커튼과 열회수형환기장치를 설치하여 시험을 2015년부터 2017년까지 수행하였다. 딸기 품종은 설향이었고 코이어 배지에 9월 상순에 정식하였고 수확은 11월부터 그 다음해 5월까지 하였다. 남원 지역의 기상을 딸기 축성재배 기간을 2015년 9월부터 2016년 5월까지와 2016년 9월부터 2017년 5월까지의 구분하여 평균온도를 비교해 본 결과 2015년도 축성재배 하였을 때 약간 높았고 강수량은 719.9mm로 2016년도 축성재배 기간 보다 33.3mm가 많았으나 강우일수는 2016년도 축성재배할 때가 100일로 2015년도보다 7일 많았다. 일조시간은 185시간으로 같게 나타났다(표 2).

표 2. 남원 외부 기상환경

구분	평균온도 (°C)	최저온도 (°C)	최고온도 (°C)	강수량 (mm)	강우일수 (일)	일조시간 (hr)
2015년 9월	20.0	14.7	26.2	64.1	6	222.5
2016년 9월	21.8	18.0	26.5	216.6	15	139.0
2015년 10월	14.4	8.6	22.1	106.2	5	231.3
2016년 10월	15.7	11.7	20.6	210.5	12	112.3
2015년 11월	9.9	6.3	14.7	93.7	17	69.2
2016년 11월	7.4	2.0	13.6	19.1	9	166.3
2015년 12월	3.3	-1.0	8.6	49.3	14	128.2
2016년 12월	2.2	-2.8	8.3	46.5	10	147.6
2016년 1월	-1.2	-5.3	3.8	30.0	11	137.2
2017년 1월	-0.4	-5.6	5.7	14.1	13	182.4
2016년 2월	1.2	-4.0	7.5	48.5	9	186.2
2017년 2월	1.1	-4.9	7.6	52.3	12	194.0
2016년 3월	6.9	0.3	14.1	72.5	5	232.3
2017년 3월	5.6	-1.0	12.8	33.5	11	212.4
2016년 4월	14.3	8.0	21.3	165.4	13	198.6
2017년 4월	13.4	6.3	21.0	64.2	10	239.6
2016년 5월	18.6	12.0	25.6	90.2	13	263.0
2017년 5월	18.0	10.9	25.8	29.8	8	273.1

재배기간 배지내의 환경을 조사한 결과(표 3.) 평균 수분은 25%. ECEC(dS/m)는 0.9, 배지내의 온도는 15°C, pH는 6.4이었다.

표 3. 재배 배지 내 환경 데이터

배 지	수분(%)	EC(dS/m)	온도(°C)	pH
코이어배지	28.5	0.9	15.0	6.4

딸기 재배 기간 중 지상부 생육특성(표 4.)을 패키지 투입한 농가와 대조구로 구분하여 조사한 결과 패키지 투입한 처리구에서 지상부의 생육이 우수하였으나 통계적인 유의성은 보이지 않았다.

표 4. 지상부 생육특성

처리	초장 (cm)	엽수 (매)	엽병장 (cm)	엽폭 (cm)	근관부 직경 (mm)
투입	35.5	9.2	24.4	9.4	18.2
대조	30.2	8.5	23.1	9.2	18.1

수확한 과의 특성(표 5.)을 비교해 본 결과 패키지 투입한 처리구에서 과중과 경도가 높게 나타났으나 과고는 대조구에서 약간 높게 나타났다.

표 5. 수확과 특성

처리	품종	과중(g)	과고(mm)	과폭(mm)	경도(N, $\phi$ 3mm)
투입	설향	22.8±4.9	44.1±4.3	35.4±3.9	2.63±4.30
대조		22.3±5.2	44.6±4.5	35.1±3.9	2.52±4.21

화방당 착과수를 비교해 본 결과 패키지 투입 처리구 1화방에서 6.5개로 가장 많았고 2화방에서 5화방까지는 평균 5.5개이었고 6화방에서는 4.6개로 가장 낮게 나타났다. 대조구에서도 1화방에서 착과수 5.8개로 가장 많았으나 화방이 진행될수록 착과수는 감소되는 경향을 보였다. 패키지 투입 처리구가 대조구보다도 화방당 착과수는 전체적으로 높게 나타는 경향을 보였다(표 6).

표 6. 화방당 착과수

처리	1화방 착과수(개)	2화방 착과수(개)	3화방 착과수(개)	4화방 착과수(개)	5화방 착과수(개)	6화방 착과수(개)
투입	6.5±1.2	5.7±0.9	5.5±0.8	5.5±0.8	5.2±0.7	4.6±0.5
대조	5.8±1.1	5.5±0.9	5.3±0.8	4.9±0.8	4.2±0.7	3.5±0.5

9월에 정식하여 11월 중순부터 수확을 시작하여 화방당 당도를 조사한 결과(표 7.) 패키지 투입 처리구 1화방에서 11.3° Brix로 가장 높게 나타났으며 화방이 전개될수록 당도는 낮아졌다. 대조구에서도 같은 경향을 보였고 패키지 투입 처리구에서 당도가 높게 나왔다.

표 7. 화방당 평균 당도(° Brix)

처리	1화방	2화방	3화방	4화방	5화방	6화방
투입	11.3±0.4	10.5±0.5	10.2±0.4	10.1±0.4	9.8±0.4	9.5±0.4
대조	10.5±0.4	10.0±0.5	10.1±0.4	10.1±0.4	9.2±0.4	9.0±0.4

에너지 절감 패키지 기술을 투입하고 현장 평가회를 2016년 3월과 2017년 2월에 남원시 신정동에 위치한 농가실증포장에서 에너지절감사업단과 농업기술원, 농업기술센터 관련 공무원, 시설원예재배가를 대상으로 총 2회 실시하였다. 현장 평가회는 에너지절감 사업단에서 사업 추진지와 배경을 설명하고 에너지 패키지 투입 자재에 대한 설명, 사업 추진 경과와 시설 견학을 하였다. 본 실증사업을 수행한 재배가의 의견은 보온다점커튼과 열회수형환기장치 설치로 연료비 절감이 30% 이상되어 경제적으로 도움이 많이 되었고 하우스 내의 습도 관리가 용이하여 잿빛곰팡이 발생이 없어서 매우 효율적인 패키지라고 평가하였다. 평가회에 참석한 시설원예 재배농가들은 에너지 절감 패키지 사업을 확대 추진하여 줄 것을 요구하였다.



그림 1. 남원 딸기 에너지 절감 패키지 사업 현장평가회

딸기 축성재배시 가온을 하는 시기는 10월부터 이루어지기 때문에 이 시기부터 다음해 수확이 종료되는 5월 까지 에너지 사용량을 조사한 결과는 표 8과 같다. 에너지 절감 패키지 처리구의 전기 사용량은 5,879Kw로 이를 가격으로 환산해 보면 247,084원(농업용 전기 Kw당 41.9원 적용)이 들어갔고, 등유는 3,000L로 1,272,420원(면세유 등유 1L 424.14원 적용)이 들어가 총 에너지 사용금액으로는 1,519,504원이 들어갔다. 에너지절감 패키지 처리농가와 대조구 농가의 에너지 사용 금액과 상호 비교해 보면 에너지 절감 패키지 처리농가에서 768,910원이 절감되어

에너지가 33.6% 절감되었으며 이산화탄소 배출 절감이 4.22300tCO<sub>2</sub>/10a되었다.

표 8. 에너지 절감 패키지 처리구와 대조구의 에너지 사용량 비교(2016. 10 ~ 2017. 5)

처리	전기사용량		유류사용량		총에너지 사용금액 (원)	이산화탄소 배출 절감량 (tCO <sub>2</sub> /10a)	에너지 절감률 (%)
	사용량 (Kw)	금액 (원)	사용량 (L)	금액 (원)			
패키지투입	5,897	247,084	3,000	1,272,420	1,519,504	4.22300	33.6
대조	5,015	210,128	4,900	2,078,286	2,288,414		

\* 농업용 전기 사용기준 : 41.9원/kWh, 면세유 등유 : 402.19원/L

딸기 축성재배시 9월에 정식하면 수확을 11월부터 시작되는데 이 시기부터 다음해 수확이 종료되는 5월까지의 수량을 조사한 결과는 표 9와 같다. 에너지 절감 패키지 처리구의 상품수량이 10a당 4,158kg이었고 대조농가의 상품수량은 3,669kg으로 에너지 절감 패키지 처리구에서 13.3%의 수량이 증수되었다. 수량이 증수된 이유는 에너지 절감 패키지 처리구의 열회수형환기 장치 사용으로 인해 시설 내 습도를 조절 할 수 있어서 잿빛곰팡이병 발생이 없었기 때문인 것으로 판단된다.

표 9. 에너지 절감 패키지 처리구와 대조구의 수량 비교(2016. 11 ~ 2017. 5)

처리	품종	생산기간	상품수량 (kg/10a)	조수입 (원/10a)	수량지수(%)
패키지투입	설향	'16.11~' 17.5.27	4,158	26,868,996	113.3
대조	설향	'16.11~' 17.5.27	3,669	23,709,078	100

시설하우스 내에서 딸기 재배시 에너지 절감 패키지 기술 적용 하우스와 일반 농가와의 경제성 검토 결과 에너지 패키지 적용 하우스와 대조농가의 연간비용을 계산(패키지 적용-대조)하여 손실적 요소로 연간 총 고정비용은 1,785,923원, 인건비 추가 비용 261,520원, 포장재 추가 비용 49,000원으로 나타났으며, 패키지 기술을 적용에 따른 이익적 요소로는 에너지 절감 비용 768,910원, 농약비 절감 비용 135,000원, 농약방제 노동비 절감 비용 689,166원, 생산 수량 증가에 따른 증가 수입 3,159,918원으로 연간 추정 수익액은 2,035,551원으로 나타났다(표 10., 11.).

표 10. 경제성 분석(부분시산법)

손실적요소(A)	이익적요소(B)
○ 연간총고정비용: 1,785,923원 - 감가상각비 : 1,363,300 - 수리비 : 13,633 - 고정이자 : 408,990 ○ 수확 인건비용 : 261,520원 - 여 7,472원×35시간= 261.520원 ○ 포장재 비용 : 49,000원 - 500원×98개 = 49,000원	○ 에너지절감비용(33.6%) : 768,910원 - 대조 2,288,414원- 투입 1,519,504원 =1,174,872원 ○ 농약비 절감 : 135,000원 - 살균제 3종 ×18,000원×3회=135,000원 ○ 농약방제 노동력 절감 : 68,166원 - 남 12,756원×6시간=76,536원 ○ 생산수량 증대(11.3%) : 3,159,918원 - 489kg ×6,462원 = 3,159,918원
소계 2,096,443원	소계 4,131,994원
추정수익액(B-A)=2,035,551원	

\* 2015년 지역별 농산물 소득자료(전북, 딸기) : 노동비 : 남자 12,756원, 여 7,472원/일, 단가 : 6,462원/kg, 포장비 : 500원

표 11. 설치비, 감가상각비, 수리비, 이자, 연간비용 조사

처리	10a기준	내구성 (년)	설치비 (천원)	감가상각비 (천원/년)	수리비 (천원/년)	고정이자 (천원/년)	연간비용 (천원)
패키지	보온다겹커튼	10	20,803	2,080.3	20.803	624.09	2,725.193
	열회수형환기장치	10	14,830	1,483	14.83	444.9	1,942.73
대조	보온다겹커튼	10	15,500	1,550	15.5	465	2,030.5
	등유난방기	10	6,500	650	6.5	195	851.5
패키지-대조				1,363.3	13.633	408.99	1,785.923

## 제2절 전북지역 토마토 연동하우스 에너지 절감 패키지 기술 개발

임실의 에너지절감 실증사업은 토마토를 재배하고 있는 농가를 선정하여 보온다겹커튼과 열회수형환기장치를 설치하여 시험을 2016년부터 2017년까지 수행하였다. 토마토 품종은 339이었고 코이어 배지에 1월 상순에 정식하였고 수확은 3월부터 6월까지 하였다. 임실 지역의 기상을 토마토 재배 기간을 2016년 1월부터 6월까지와 2017년 1월부터 6월까지의 구분하여 평균온도를 비교해 본 결과 2017년도 재배하였을 때 0.4℃ 높았고 강우일수가 3일 많았고 강수량은 45mm가 많았다. 일조시간은 2016년도가 27시간 많았다(표 12.).

표 12. 임실 외부 기상환경

구분	평균온도 (℃)	최저온도 (℃)	최고온도 (℃)	강수량 (mm)	강우일수 (일)	일조시간 (hr)
2016년 1월	-2.7	-7.5	3.1	36.1	13	123.3
2017년 1월	-1.5	-7.3	5.1	8.6	9	153.3
2016년 2월	-0.1	-5.7	6.2	42.4	11	163.1
2017년 2월	-0.1	-6.3	6.8	39.4	13	187.1
2016년 3월	5.5	-1.7	13.4	61.1	6	216.7
2017년 3월	4.0	-3.0	12.1	32.6	6	207.6
2016년 4월	13.2	6.2	21.1	186.1	13	191.1
2017년 4월	12.2	4.7	20.6	54.0	10	236.0
2016년 5월	17.5	10.3	25.3	108.8	9	254.9
2017년 5월	16.8	9.0	25.0	43.1	7	258.6
2016년 6월	21.6	16.8	27.3	67.2	14	147.5
2017년 6월	20.9	14.3	28.4	52.5	9	215.5

재배기간 배지내의 환경을 조사한 결과(표 13.) 평균 수분은 38.2%. EC(dS/m)는 2.5, 배지내의 온도는 18.6℃, pH는 5.5이었다.

표 13. 재배 배지 내 환경 데이터

배 지	수분(%)	EC(dS/m)	온도(℃)	pH
코이어배지	38.2	2.5	18.6	5.5

토마토 재배 기간 중 지상부 생육특성(표 14.)을 패키지 투입한 농가와 대조구로 구분하여 조사한 결과 패키지 투입한 처리구에서 지상부의 생육이 우수하였으나 통계적인 유의성은 보이지 않았다.

표 14. 지상부 생육특성

처리	품종	초장 (cm)	경경 (mm)	절간수 (개/주)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)
패키지	339	220.4	11.3	26.5	49.4	47.5
대조	339	215.6	11.1	26.3	49.2	47.5

수확한 과의 특성(표 15.)을 비교해 본 결과 패키지 투입한 처리구에서 과중이 증가하는 경향을 보였으나 과고, 과폭, 당도는 처리간 차이를 보이지 않았다.

표 15. 수확과 특성

처리	품종	과중(g)	과고(mm)	과폭(mm)	당도(° Brix)
패키지	339	220.4	11.3	26.5	4.94
대조	339	215.4	11.5	26.1	4.92

화방당 착과수를 비교해 본 결과 패키지 투입 처리구와 대조 농가 모두 화방당 착과수를 평균 3개 정도를 착과기준으로 정하여 1화방에서 6화방 까지 관리하였다. 에너지 절감 패키지 투입 농가의 평균 착과수는 3.3개이었으나 대조 농가의 평균 착과수는 2.9개로 약간 적었다. 토마토의 착과수도 초기에는 기준으로 관리가 용이하였으나 화방이 진행될수록 착과수는 감소되는 경향을 보였다(표 16.).

표 16. 화방당 착과수

처리	1화방 착과수(개)	2화방 착과수(개)	3화방 착과수(개)	4화방 착과수(개)	5화방 착과수(개)	6화방 착과수(개)
투입	3.5±1.5	3.3±1.1	3.2±0.9	3.3±0.8	3.2±0.7	3.2±0.6
대조	3.2±1.2	3.0±1.0	3.0±0.8	2.7±0.8	2.5±0.8	2.5±0.5

토마토를 1월 정식하여 3월부터 수확을 시작하여 수확과 특성을 비교해 본 결과 패키지 투입 처리구와 대조구에서 차이는 보이지 않았다. 평균 과중은 220g, 과고는 11mm, 과폭은 26.5mm, 당도는 4.9°Brix를 보였다(표 17).

표 17. 토마토 수확과 생육특성

처리	품종	과중(g)	과고(mm)	과폭(mm)	당도(° Brix)
패키지	339	220.4	11.3	26.5	4.94
대조	339	215.4	11.5	26.1	4.92

에너지 절감 패키지 기술을 투입하고 현장 평가회를 2017년 3월에 임실군 청웅면 위치한 농가 실증포장에서 에너지절감사업단과 농업기술원, 농업기술센터 관련 공무원, 시설원예재배가를 대상으로 실시하였다(그림 2.). 현장 평가회는 에너지절감 사업단에서 사업 추진 배경을 설명하고 에너지 패키지 투입 자재에 대한 설명, 사업 추진 경과와 시설 견학을 하였다. 본 실증사업을 수행한 재배가의 의견은 보온다겹커튼과 열회수형환기장치 설치로 연료비가 27% 절감되어 경제적으로 도움이 많이 되었고 하우스 내의 습도 관리가 용이하여 잿빛곰팡이 발생이 없어서 매우 효



올적인 패키지라고 평가하였다. 평가회에 참석한 시설원예 재배농가들은 에너지 절감 패키지 사업을 확대 추진하여 줄 것을 건의하였다.



그림 2. 임실 토마토 에너지 절감패키지 사업 현장평가회

토마토를 1월에 정식하여 수확이 종료되는 6월까지 에너지 사용량을 조사는 결과는 표 18과 같다. 에너지 절감 패키지 처리구의 전기 사용량은 6,755Kw로 이를 가격으로 환산해 보면 283,034원(농업용 전기 Kw당 41.9원 적용)이 들어갔고, 등유는 4,200L로 1,689,196원(면세유 등유 1L 424.14원 적용)이 들어가 총에너지 사용금액으로는 1,972,232원이 들어갔다. 에너지절감 패키지 처리농가와 대조구 농가의 에너지 사용 금액과 상호 비교해 보면 에너지 절감 패키지 처리농가에서 756,909원이 절감되어 에너지가 27.7% 절감되었으며 이산화탄소 배출 절감이 4.650852tCO<sub>2</sub>/10a되었다.

표 18. 에너지 절감 패키지 처리구와 대조구의 에너지 사용량 비교(2017. 1 ~ 2017. 6)

처리	전기사용량		유류사용량		총에너지 사용금액 (원)	이산화탄소 배출 절감량 (tCO <sub>2</sub> /10a)	에너지 절감률 (%)
	사용량 (Kw)	금액 (원)	사용량 (L)	금액 (원)			
패키지투입	6,755	283,034	4,200	1,689,198	1,972,232	4.650852	27.7
대조	5,527	231,581	6,210	2,497,560	2,729,141		

토마토 수확을 3월부터 시작하여 재배가 종료된 6월까지의 수량을 조사한 결과는 표 19와 같다. 에너지 절감 패키지 처리구의 상품수량이 10a당 5,476kg이었고 대조농가의 상품수량은 4,725kg으로 에너지 절감 패키지 처리구에서 15.9%의 수량이 증수되었다. 수량이 증수된 이유는 에너지 절감 패키지 처리구의 열회수형환기장치 사용으로 인해 시설 내 습도를 조절 할 수 있어서 잿빛곰팡이병 발생이 없었기 때문인 것으로 판단된다.

표 19. 에너지 절감 패키지 처리구와 대조구의 수량 비교(2017. 1 ~ 2017. 6)

처리	품종	생산기간	상품수량 (kg/10a)	조수입 (원/10a)	수량지수 (%)
패키지투입	339	'17.3.9.~'17.6.15.	5,476	14,916,624	115.9
대조	339	'17.3.9.~'17.6.15.	4,725	12,870,900	100

시설하우스 내에서 토마토 재배시 에너지 절감 패키지 기술 적용 하우스와 일반 농가와의 경제성 검토 결과 에너지 패키지 적용 하우스와 대조농가의 연간비용을 계산(패키지 적용-대조)하여

손실적 요소로 연간 총 고정비용은 1,151,595원, 인건비 추가 비용 170,888원, 포장재 추가 비용 91,000원으로 나타났으며, 패키지 기술을 적용에 따른 이익적 요소로는 에너지 절감 비용 1,174,872원, 농약비 절감 비용 135,000원, 농약방제 노동비 절감 비용 68,166원, 생산 수량 증가에 따른 증가 수입 1,759,704원으로 연간 추정 수익액은 1,724,259원으로 나타났다(표 20., 21.).

표 20. 경제성 분석(부분시산법)

손실적요소(A)	이익적요소(B)
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연간총고정비용: 1,151,595원</li> <li>- 감가상각비 : 996,000</li> <li>- 수리비 : 11,085</li> <li>- 고정이자 : 298,500</li> <li>○ 수확 인건비용 : 170,888원</li> <li>- 남 11,361원×8시간= 90,888원</li> <li>- 여 8,000원×10시간= 80,000원</li> <li>○ 포장재 비용 : 91,000원</li> <li>- 700원×130개 = 91,000원</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 에너지절감비용(27.7%) : 1,174,872원</li> <li>- 대조 2,729,141원- 투입 1,972,232=1,174,872원</li> <li>○ 농약비 절감 : 135,000원</li> <li>- 살균제 3종 ×18,000원×3회=135,000원</li> <li>○ 농약방제 노동력 절감 : 68,166원</li> <li>- 남 11,361원×6시간=68,166원</li> <li>○ 생산수량 증대(11.1%) : 1,759,704원</li> <li>- 646kg ×2,724원 = 1,759,704원</li> </ul>
소계 1,413,483원	소계 3,137,742원
추정수익액(B-A)=1,724,259원	

\* 2015년 지역별 농산물 소득자료(전남, 토마토) : 노동비 : 남자 11,361원, 여 8,000원/일, 단가 : 2,724원/kg, 포장비 : 700원

표 21. 설치비, 감가상각비, 수리비, 이자, 연간비용 조사

처리	10a기준	내구성 (년)	설치비 (천원)	감가상각비 (천원/년)	수리비 (천원/년)	고정이자 (천원/년)	연간비용 (천원)
패키지	보온다접커튼	10	17,110	1,711	17.11	513	2,241.11
	열회수형환기장치	10	14,850	1,485	14.85	445.5	1,931.985
대조	보온다접커튼	10	15,500	1,550	15.5	465	2,170
	등유난방기	10	6,500	650	6.5	195	851
패키지-대조				996	9.96	298.5	1,151.595

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1절 : 연구개발 목표 및 연구개발 수행내용

연구개발 목표	연구개발 내용	달성도 (%)
○ 전북 연동형 하우스 과채류 에너지 절감 패키지 기술 개발	- 전북 딸기·토마토 에너지 절감 패키지 기술 확립 - 현지 적응형 에너지 절감 모델 개발 . 에너지 절감 패키지 : 보온다겹커튼+열회수형 환기장치	100

2절 관련분야의 기술발전예의 기여도

본 과제의 연구개발 목표는 전북지역 시설원예 농가의 에너지 절감 패키지 기술개발을 통하여 연동 비닐 하우스 에너지절감 패키지기술 모델 실증연구 및 기술보급 확산으로 농가 경쟁력을 확보하고 소득향상에 두었다. 연구 내용으로 시설하우스 주 작목인 토마토와 딸기를 대상으로 다 겹보온커튼, 열회수형환기장치로 구성된 패키지 모델을 개발하고자 작물 생육시험을 수행하였다. 실증시험 결과 딸기 재배시 에너지 비용이 33.6% 절감과 수량이 13.3% 증가되었고, 토마토 재배에서는 난방비 27.7% 절감과 수량이 15.9% 증가되는 효과를 확인하였다. 본 연구결과는 향후 작목 또는 시설 맞춤형 고효율 에너지절감기술의 개발을 위한 기초자료를 제공할 수 있을 것이다. 기술보급 확산을 위해 개발기술의 경제성 분석 및 현장평가회를 3회 개최하였으며, 학술발표 1건, 현지 기술지도 4회, 홍보 3건을 하였고 농림축산식품부에 정책제안을 통해 기술보급 및 활용 방안을 제시하였다. 본 연구결과는 향후 작목 또는 시설 맞춤형 고효율 에너지절감기술의 개발을 위한 참고자료로 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

## 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

- 연동 비닐하우스 에너지 절감 패키지 농가 보급 확대를 위한 농림축산식품부 정책제안
  - 농업에너지절감 패키지기술 실증모델 보급(연동비닐하우스)(2016, 농림축산식품부 원예경영과)
- ‘전북지역 딸기 연동하우스 에너지 절감 패키지기술 투입 효과’ 학술발표
  - 2016년 한국원예학회 학술발표
- 현장기술지도 4회
- 홍보 3건
- 전북지역 시설하우스 에너지절감 패키지 기술개발로 농가 경영비 절감 및 소득향상에 기여

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

해당사항 없음

## 제 7 장 참고문헌

1. Briassoulis, D., D. Waaijenberg, J. Gratraud, and B. von Eslner. 1997a. Mechanical properties of covering materials for greenhouse; part1, general overview. *J. agric Engng Res.* 67:81-96.
2. Briassoulis, D., D. Waaijenberg, J. Gratraud, and B. von Eslner. 1997b. Mechanical properties of covering materials for greenhouse; part2, quility assessment. *J. agric Engng Res.* 67:171-217.
3. Choi, m. k., S. W. Yun, and Y. C. Yoon. 2013. Analysis of surplus solar energy in wide span type greenhouse -case study based on Jinju area - . *J. Agric. & Life Sci.* 47: 197-207.
4. Gosselin, A. and M.J. Trudel. 1983. Interactions between air and root temperatures on greenhouse tomato: I . growth, development and yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108(6):901-905.
5. Kawasaki, Y., K. Suzuki, K. Yasuba, and M. Takaichi. 2011. Effect of local air heating by a hanging duct near the tomato shoot apex and flower clusters on vertical temperature distribution, fruit yield and fuel consumption. *Hort. Res. (Japan)* 10(3):395-400(in Japanese)
6. Kim, J. H., T. W. Kim, K. D. Nah, T. S. Kim, I. J. Kim, and S. H. Chung. 2009. Study on temperature variation by greenhouse soil warmung system using solar thermal energy(1) - temperature variation of soil warming-. *J. Biosystems Eng.* 34:190-196.
7. Kwon, J. K., G. C. Kang, J. P. Moon, Y. K. Kang, C. K. Kim, and S. J. Lee. 2013. Performance improvement of an ait source heat pump by storage of surplus solar energy in greenhouse. *Protected Hort. Plant Fac.* 22: 328-334.
8. Lee. H. S., Y. S. Ryou, J. P. Moon, N. K. Yun, J. K. Kwon, S. L. Lee, and K. M. Kim. 2011. Solar energy storage effectiveness on double layered single span plastic greenhouse. *J. Biosystems Eng.* 36: 217-222.
9. R.D.A. 2007. Water Curtain Technique of Plastic Greenhouse.
10. R.D.A. 2008. Energy Reducing Guide Book of Agricultural Greenhouse.
11. R.D.A. 2009. Diagnosis Casebook of Heat Loss at Agricultural Facilities.
12. Sato, K. and N. Kitajima. 2010. Local heating temperature effects on the growth and yield of strawberries [Fragaria] in high-bench culture. *Fukuoka Agricultural Research Center Report (29):27-32(in Japanese).*
13. Yoon, Y. C., S. J. Kwon, H. T. Kim, Y. J. Kim, and W. M. Suh. 2012. Analysis of surplus solar energy in greenhouse based on setting temperature. *J. Agric. & Life Sci.* 46: 195-206
14. 농촌진흥청. 2015. 지역별 농산물 소득 자료.
15. 오문근. 1999. 시설 농업의 난방비 절감 시스템에 관한 연구. 농협대학교 협동조합경영연구소, <협동조합경영연구> (22): 101-132.

## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “농업에너지절감모델개발사업단 실증연구과제( 과제명 : 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델개발 I)”의 최종의 보고서로 제출합니다.

2017년 9월 일

실증연구기관명 : 충청북도농업기술원

원예연구과

실증연구책임자 : 노 재 관



# 요 약 문

## I. 제 목

단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발(I)

## II. 연구성과 목표 대비 실적

본 과제의 연구개발 목표는 충북지역 시설원에 농가의 에너지 절감 패키지기술개발을 통하여 단동비닐하우스 에너지절감 모델 실증연구 및 기술보급 확산으로 농가 경쟁력 제고와 소득향상에 두었다. 연구내용은 단동비닐하우스 주 작목인 딸기와 토마토를 대상으로 공기열히트펌프, 단 공기막단열재(덕트개선), 다겹보온커튼으로 구성된 패키지 모델을 개발하고자 작물 생육시험을 수행하였다. 농가실증시험 결과 딸기 양액재배시 에너지비용이 38.1% 절감과 수량이 7% 증대되었고, 토마토 토경재배에서는 에너지 비용이 35.3% 절감과 수량 16% 가 증대되는 효과를 확인하였다. 기술보급 확산을 위해 개발기술의 경제성 분석 및 현장평가회를 3회 개최하였으며, 학술발표 4건, 현지기술지도 및 홍보 3건 18회, 도 자체 영농기술정보로 2건을 하였으며 농식품부 정책제안을 통해 기술보급 및 활용방안을 제시 하였다.

## III. 연구개발의 목적 및 필요성

최근 국제유가의 상승으로 시설원예농가들은 난방비가 과중되어 동계 작물재배시 난방비 절감을 위해 일부농가들은 축성재배로 전환하거나 최소난방 등의 형태로 재배하고 있는 실정이다. 난방연료의 95%가 유류를 사용하고 있는 시설작물의 경영비 중 난방비가 차지하는 비율이 30~50%정도 차지하고 있으며, 경영비 상승은 재배농가의 작목선택과 영농에 중요한 의사결정 요인이 되고 있다. 이러한 농업여건의 변화로 환경을 보존하고 난방비를 절감할 수 있는 가온기술 도입의 필요성이 대두되고 있다. 그 동안 동계 시설원에 재배를 위해 대부분 등유난방과 다중피복, 보온덮개 및 수막시설 등을 통한 보온으로 품질향상과 경영비 절감을 위해 노력하여 왔으나, 난방비 과다지출 및 보온자재들의 보온효과 불확실 등으로 농업인들은 어려움을 겪어 왔다. 그러므로 동계 작물 재배시 에너지를 절감할 수 있는 충북지역에 적합한 새로운 패키지 모델을 개발하여 연중 생산체계를 농가에 보급할 필요가 있다.

## IV. 연구개발 내용 및 범위

단동비닐하우스 에너지 절감 농가 실증연구는 대기 중의 공기가 지닌 열을 축열하여 시설의 공조열원으로 사용할 수 있는 공기열히트펌프(보조 열원 추가)와 알루미늄, pet, 직조증착필름 등으로 구성하여 보온성, 열전도율 등을 증가시켜 하우스 양측창에 설치한 '공기막단열재' 및 5겹으로 구성된 다겹보온커튼을 하우스 내에 설치하였다. 시험작물은 딸기는 설향, 토마토는 미니찰 등을 공시품종으로 하였으며, 딸기는 고설양액재배, 토마토는 토경재배로 시험을 추진하였다.

주요 조사항목은 처리별 기상환경, 작물생육, 과실 특성 및 수량, 에너지 사용량 및 비용 등이며, 단동비닐하우스 에너지 절감 패키지 기술의 적용성을 평가하기 위해 대조구 비닐하우스의 기상환경, 생육 및 수량, 난방비 절감액과 경제성 등을 비교 분석하였다.

## V. 연구개발결과

### 〈딸기 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발〉

겨울철 원예작물재배시 경영비 중 난방비가 차지하는 비중은 30~50%를 나타내어 국제유가 상승시 재배농가에 큰 부담이 되고 있다. 시설딸기 재배는 보통 등유난방과 다중피복, 보온재 및 수막시설 등을 설치하여 품질향상과 경영비 절감을 위해 노력하였으나, 난방비 과중 및 보온자재들의 효과 불확실 등으로 농업인들은 어려움을 겪고 있다. 이러한 농민들의 애로기술을 해결하기 위해 충북에서 많이 재배되고 형태인 단동비닐하우스를 대상으로 농가실증 연구를 3년간 수행하였다. 1년차는 청주 및 진천지역에서 농가 2개소를 선정하고 수막시설, 경유난방보일러를 이용한 대조구와 공기열히트펌프, 국부난방 및 기타 가·보온자재로 구성된 다양한 패키지구 처리로 시험하였다. 품종은 설향으로 2015년 9월10일, 9월12일에 각각 정식 후 고설수경베드 재배로 수행한 결과, 하우스내 평균온도는 처리간 청주는 비슷하였지만, 진천은 패키지구에서 4.2°C정도 높았다. 평균습도도 청주는 일정하게 유지였지만, 진천은 처리간 10%이상 차이를 보였다. 딸기 생육은 청주, 진천 모두 패키지구에서 대조구보다 양호하였고, 정식 후 재배기간 중 유류 및 전기 사용량은 패키지가 대조구보다 진천은 45~78.5%, 청주는 35~60% 에너지가 절감되었으며, 과실 수량은 대조구에 비해 패키지가 2~48%로 처리간 큰 차이를 나타내었다. 2차년도는 전년도 패키구를 보완하여 공기열히트펌프에 전열선과 수막을 조합한 패키지처리와 수막, 등유난방을 한 대조구 처리로 시험하였다. 실증연구를 수행한 결과, 청주, 진천 모두 패키지가 대조구보다 생육이 좋았으며, 주당수량도 많아 5-17%의 수량이 증대되었고, 재배기간 중 유류 및 전기 사용량은 청주 41.1%, 진천은 35.5% 정도 패키지구에서 에너지절감 효과를 나타내었다. 고도화 실증시험으로 3차년도는 전년도 전열선 대신 덕트개선, 다겹보온커튼 보완한 공기열히트펌프, 다겹보온커튼, 덕트개선을 조합한 패키지구와 수막과 등유난방보일러를 이용한 대조구를 처리하고, 하우스내 기상환경을 기상종합센서(aM-21 Series)조사하였다. 하우스내 평균온도는 10.8~14.0°C, 평균습도는 76.3~82%정도 이었으며, 과실의 당도는 패키지가 0.3Brix 더 높았다. 재배기간 중 패키지가 대조구보다 수량은 7% 증수되고, 전기, 유류사용량은 38.1% 절감되었다. 이 상과 같이 충북지역 딸기 단동비닐하우스 재배시 에너지절감 및 수량증대 효과가 있는 패키지 조합은 공기열히트펌프, 다겹보온커튼, 공기막단열재(덕트개선)으로 나타났다. 이것은 앞으로 시설딸기재배 농가의 경영비 절감으로 소득증대에 큰 도움이 될 것으로 기대되지만 재배농가의 영농 및 시설관리 기술도 매우 중요하다고 생각된다.

### 〈토마토 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발〉

충북지역 동절기 토마토재배는 대부분 등유난방보일러와 기타 보온재를 이용하며 있으나 난방기, 다양한 보온재들을 패키지화한 기술 연구는 거의 없어, 본 시험은 지금까지 여러종류의 에너지절감 기자재들중 우수한 기술을 단동비닐하우스에 패키지로 구성하여 농가현장에서 시험을 수행하였다. 실증농가는 음성 1개소, 괴산 2개소로 선정한 후 방울토마토는 '미니찰'과 일반토마토는 '호용'를 시험품종으로 음성 및 괴산에서 2015년 12월 24일 부터 2016년 1월 13일에 정식하고 대조구는 등유난방보일러를, 패키구는 공기열히트펌프, 다겹보온커튼, 전열선을 조합으로 처리하였다. 그 결과 하우스내 평균온도는 괴산 불정은 11.9~18°C, 괴산 청안은 11.9~16.2°C, 음성 소이는 14.4~17.8°C정도를 유지하였으며, 괴산 불정에서 가장 낮은 온도를 보여 지역적 차이를 나타내었다. 생육은 괴산 불정, 음성 소이 순으로 양호하였다. 정식 후 3월 하순까지의 생육기간 중 전기 및 유류 사용량은 두 지역 모두 대조구보다 패키지구에서 26.5~50.2%의 에너지절감 효과를 나타내었으며, 수량도 괴산 불정은 3%, 괴산 청안은 2%, 음성 소이는 6% 증대되었다. 또한 과실의 당도는 5.2°Brix~ 9.4°Brix로 처리별 큰 차이를 나타내었다. 2차년도는 시설고도화 일환으로 전년도에 성과 좋은 음성 1개소를 선정하고 공기열히트펌프에 다겹보온커튼, 공기막단열재(덕트개선)를 보완 설치한 패키지구와 등유난방보일러를 이용한 대조구로 처리한 후 시



험하였다. 기상종합센서기로 하우스내 기상환경 조사 결과, 평균온도는 12.0~16.7℃, 습도는 77.6~79%를 나타내었으며, 과실의 수량은 패키지가 대조구보다 주당 수량이 많아 16% 증수되었고, 재배기간 중 전기 및 유류사용량은 패키지가 대조구보다 35.3% 정도 에너지가 절감되었다. 이상 결과와 같이 충북지역 단동비닐하우스 토마토 토경재배 시 패키지 기술을 이용할 경우 대조구 보다 난방비 절감은 물론 수량도 증대되어 앞으로 재배농가 소득 증대에 기여할 것으로 생각된다.

## VI. 연구성과 및 성과활용 계획

### ○ 연구성과

가. 실용적 성과 : 영농활용 2건('16)

- 시설딸기 에너지절감 패키지기술 처리효과, 시설토마토 에너지절감 패키지기술 처리효과

나. 학술적 성과 : 논문발표 4건

-2015(1) : 가온 및 보온방법이 딸기 '설향'의 생육, 과실의 품질 및 수량에 미치는 영향

-2016(2) : 충북지역 딸기 단동하우스 에너지절감 패키지기술 투입효과,

충북지역 동계 토마토 재배시 농업에너지절감 패키지기술 처리효과

2017(1) : 딸기 단동비닐하우스 패키지기술 이용 에너지절감 효과

다. 기타 성과

- 현장평가회 : 3회(2015, 2016, 2017),

- 홍보활동(3건, 총 18회) : 2015( 5 회), 2016( 8 회), 2017( 5 회)

### ○ 연구활용계획

가. 농업에너지절감 실증농가 재배 컨설팅 및 시설관리 등 지속적인 사후관리

나. 시설원예작물 재배농가의 견학코스 및 현장 교육장으로 활용

다. 에너지절감 패키지기술 적용 효과 홍보로 농가 조기 확대 보급

## SUMMARY

### 1. Single-span plastic greenhouse of strawberry energy saving package technology model development

Heating cost is the biggest burden for farmers when international oil price increases because heating cost proportionates up to 30~50% in operation cost in horticultural cultivation during winter. Kerosene heating, multi-layer covering, warming materials, and waterproof equipment were adapted to increase quality and reduce operation cost in protected cultivation of strawberry. But farmers are undergoing lots of difficulties because of heavy heating cost and uncertainty of warming materials. To solve these difficulties of farmers, research on agricultural site have been conducted in single-span plastic greenhouse which is widely used in Chungbuk province for 3 years. At 1st year, the experiment was designed into control, which is consisted with waterproof equipment and diesel heating, and package treatment, which is consisted with air heat pump, local heating, and extra heating, warming equipment, in Cheongju and Jincheon area. Plant material, Sulhyang, was planted in high bed hydroponics at September 10 and 12, 2015. As a result, average temperature was similar in Cheongju area, But average temperature was higher up to 4.2°C at package treatment in Jincheon area. Average humidity was also similar in Cheongju area, but in Jincheon area, up to 10% difference was measured between treatments. Growth was better at package treatment both Cheongju and Jincheon area. The amount of oil and electricity usage was reduced at package treatment up to 45.0~78.5% in Jincheon area, and 35.0~60.0% in Cheongju area. Fruit yield showed big difference, increased at package treatment up to 2~48%. At 2nd year, the experiment was designed into control, which is consisted with waterproof equipment and kerosene heating, and package treatment, which is consisted with air heat pump, electricity heating wire, and waterproof equipment adjusted from 1st year. As a result, growth was better at package treatment both Cheongju and Jincheon area. Fruit yield per plant increased at package treatment up to 5~17% both Cheongju and Jincheon area. The amount of oil and electricity usage was reduced at package treatment up to 41.1% in Cheongju area, and 35.5% in Jincheon area during cultivation. At 3th year, experiment was enhanced. control was only used kerosene heating and package treatment was modified from last years, and was consisted of air heat pump, multi-layer warming curtain, and improved duct. Weather environment in greenhouse was measured by weather intergrated sensor(aM-21 Series). Average temperature and humidity in greenhouse were 10.8-14.0°C, 76.3-82% respectively. Total sugar content was higher up to 0.3 Brix at package treatment. The yield incresed up to 7% at package

treatment. The amount of oil and electricity usage was reduced up to 38.1% at package treatment during cultivation. With these result, the suitable package combination was air heat pump, multi-layer warming curtain, and improved duct(air-layer insulator) for reducing energy and increasing yield at single-span plastic greenhouse of strawberry cultivation in Chungbuk province. This result is promising to increase income by reducing operation cost of protected strawberry cultivation farmers, but cultivation and management technique are also important.

## **2. Single-span plastic greenhouse of tomato energy saving package technology model development**

In Chungbuk province, kerosene boiler and extra warming materials are mostly used at tomato cultivation during winter season. But package technique with varied warming materials has not been conducted. Thus this experiment was conducted on agricultural site with selected equipments whose effect was proved for 2 years. Agricultural site nominated at a site in Eumseong, and 2 site in Guisan. Plant material, cherry tomato 'Minichal' and tomato ' Hoyong' were planted from December 24th, 2015 to January 13th, 2016 at Eumseong and Guisan. the experiment was designed into control with kerosene boiler, and package treatment, which is consisted with air heat pump, multi-layer warming curtain, and electricity heating wire. As a result, average temperature was 11.9~18.0°C at Guisan Buljung, Cheongan and 14.4~17.8°C at Eumseong Soi. As lower temperature was measured at Guisan Buljung, regional difference was reported. Growth was better at Guisan Buljung than Eumseong Soi. The amount of oil and electricity usage was reduced at package treatment up to 26.5~50.2% both area from planting to late March. The yield increased 2% at Guisan Cheongan, 3% at Guisan Buljung, 6% at Eumseong Soi. Total sugar content in fruit, was 5.2~9.4 Brix, showed remarkable difference among treatments. At 2nd year, package treatment modified with air heat pump, multi-layer warming curtain, and improved duct(air-layer insulator) to enhance the experiment. And control consisted with kerosene boiler. Weather condition in green house was measured by weather intergrated sensor. Average temperature was 12.0~16.7°C and average humidity was 77.6~79.0%. Fruit yield increased up to 16% at package treatment. The amount of oil and electricity usage was reduced at package treatment up to 35.3%. With these result, package treatment would be effective at farmers income as reducing heating cost and increasing yield at single-span plastic greenhouse soil cultivation in Chungbuk province.

# 제 1 장 실증과제(세부과제 포함)의 개요 및 성과목표

본 연구과제의 목표는 충북지역 시설원예 농가들에 대해 에너지 절감 효과 및 생산성 향상 등을 구명하기 위하여 지역에서 가장 많은 재배되고 있는 시설형태인 단동비닐하우스를 대상으로 실증연구를 수행하였으며, 그 성과에 대해 기술을 보급하고 확산시켜 재배 농가들의 경쟁력 제고와 소득향상에 있다.

실증연구는 동절기 주작목인 딸기, 토마토를 대상으로 단동비닐하우스 대상으로 딸기는 관행적으로 사용하고 있는 온풍난방보일러와 수막시설, 기타 단위 보온시설의 조합인 패키지로 구성하여 3년에 걸쳐 수행하였고, 토마토는 난방보일러를 이용한 관행재배와 공기열히트펌프 장치에 보온력 등이 우수한 단위기술을 접목하고 패키지화하여 실증시험을 수행하였다. 작물 및 패키지 처리에 따른 시기별 성과를 기반으로 마지막 년차에는 패키지 기술을 고도화시켜 기상환경, 생육 및 수량, 에너지 절감 효과 등을 조사한 결과, 딸기는 관행 대비 패키지에서 7% 수량이 증대되었고, 유류 및 전기사용량 등 에너지는 38.1% 절감 되었고, 토마토는 관행 대비 패키지에서 수량이 16% 증대하였고, 에너지는 35.3% 절감 되었음을 확인하였다. 시설원예농가에 기술보급 및 확산을 위해 실증연구 기간 동안 현장평가회를 매년 개최하였으며, 영농기술정보 및 정책제안, 학술발표 및 홍보활동 등도 수행하였다. 이렇게 개발된 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술은 앞으로 재배농가들에게 보급되고, 농가경영비 절감 기술의 기초자료로 활용되기를 기대한다.

## ○ 연구개발 목표 및 내용

연구개발목표	연구개발 내용	달성도 (%)
딸기 단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 모델개발	○ 딸기 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 개발 - 패키지별 에너지절감효과 실증시험	100
토마토 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델개발	○ 토마토 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 개발 - 패키지별 에너지절감효과 실증시험	100
딸기 및 토마토 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 고도화 및 확산	○ 딸기,토마토 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 고도화 연구 - 패키지 고도화에 따른 에너지 절감 효과 구명	100

## ○ 연구성과 목표 대비 실적

구 분	지식재산권		논문		학술 발표	영농 활용	교육 지도	현장평가회	기술 인증	인력 양성	정책 활용	홍보 전시	기 타
	출원	등록	SCI	비 SCI									
최종목표				1	4	2		2				3	
1차년도	목표												
	실적				1		1	1				1	
2차년도	목표				1	1		1				1	
	실적				2	2		1				1	
3차년도	목표				2	1		1				1	
	실적				1		1	1				1	
소 계	목표			1	3	2		2				3	
	실적				4	2	2	3				3	

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

우리나라 시설원예농업은 시설현대화 정책이 시작된 1990년대 초기부터 빠르게 증가되어 2005년도에는 생산액을 기준으로 노지재배를 추월하였다.

시설채소중 과채류는 엽채류, 근채류와는 달리 지난 1990년과 비교할 때 재배면적이 거의 변동이 없으나, 생산량은 90%이상 크게 증가하였는데 이것은 동절기에도 재배할 수 있는 시설재배면적의 급속한 증가와 관련 있어, 오이 81%, 참외 98%, 딸기 98% 그리고 토마토, 풋고추, 파프리카는 100%가 시설에서 재배되고 있고, 이중 토마토는 가장 큰 폭으로 증가하고 있다.

2015년도 우리나라 시설재배면적은 52,526ha로 증가하였는데, 그중 딸기 6,306ha, 토마토 6,976ha가 재배되어 전체 시설재배 면적의 25.3% 차지하고 있다.

시설재배에 사용되는 난방연료는 국내에서 유류가 84.8%로 대부분 차지하고 있어 국제원유 유가의 변동에 취약한 구조를 갖고 있다. 그밖에 에너지 단가가 낮은 농사용 전력은 연간 20%로 사용면적이 점차 증가하고 있으며 지열, 태양열 등을 포함한 신재생에너지는 0.9%차지하여 아직 미흡한 실정이다(MAFRA, 2014 a, b).

그 동안 시설원예 에너지절감 연구는 수평예인권취식 다겹보온커튼, 중앙권취식보온터널 자동개폐장치, 단동형 외부 보온덮개 등의 보온력 향상 기술과 석탄온풍난방기, 페타이어보일러, 연탄난방기, 순환식 수막시스템, 지하수 이용 냉방시스템 등 유류 대체 연료를 이용한 냉·난방기술을 개발하는 등 에너지 이용 효율 향상 기술 연구가 꾸준히 추진되고 있다.

원예시설의 보온성 향상기술의 개발 및 현장적용 연구는 시설피복재의 재료에 따른 열적 물리적 특성과 보온성을 분석한 연구(Briassoulis 등 1997a; (Briassoulis 등 1997b)와 단동형 플라스틱 하우스에서 내·외부 다겹보온커튼과 일반 보온커튼의 설치조건에 따른 하우스 내부의 온도유지 능력과 수확량 분석에서 저온기 다겹보온덮개를 이중하우스 외부에 피복하고 내부는 커튼자재를 사용하면 남부지역에서는 토마토를 최소 난방으로 작물을 재배할 수 있다는 보고(Kwon 등, 2004)와 연동 비닐온실에 적용하기 위한 자동 수평예인권취식 다겹보온커튼 시스템의 개발과 난방연료절감 및 수확량 개선 분석 연구(Lee 등, 2003)와 다겹보온덮개는 단일 보온자재와 비교하여 보온 특성이 우수하다(Chung 등, 2009)는 연구 등이 수행되었다.

그리고 히트펌프를 농업시설용 냉방기로 활용하기 위한 적용성 연구(Gracia 등,1988; Willits와 Gurjer, 2004)와 대기중의 공기가 가진 열을 축열, 축냉하여 시설의 공조열원으로 사용할 수 있는 공기열원 히트펌프 개발 연구(Kwon 등, 2013), 복사에너지인 원적외선의 가열 메커니즘을 도입한 원적외선 하우스 난방시스템의 난방효과와 하우스 난방방식에 따른 작물의 생육비교 분석(Kim 등, 2009), 적외선 난방등을 이용한 난방이 작물 딸기의 생육과 난방비에 미치는 영향보고(An 등, 2013)등이 국내에서 수행되었으며, 일본에서는 히트펌프 초기투자비 부담 경감과 엄한기

안정적인 시설 난방을 위해 공기열 히트펌프와 중유난방기를 병용하는 하이브리드 히트펌프 시스템의 개발 및 현장적용 연구(Kawashima 등, 2008 ; Tong 등,2011)등이 이루어졌다.

이렇게 국내외에서 시설원에 에너지절감 기술에 대한 단편기술과 보온자재 등 다각적인 연구가 진행되어 왔으나, 개발기술 등은 각 요인별로 각각 이루어졌고 효과에 대한 검토가 미진하였으며, 소규모 연구에 의존하는 한계가 있었다.

본 연구는 충북지역 딸기 및 토마토 단동비닐하우스 농가포장에서 동절기 에너지 절감 적합한 단위기술들을 패키지화하여 농가 재배현장에 접목하여 작목별 에너지절감 패키지 기술 모델을 개발코저 수행하였다.

# 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

## 1. 딸기 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기능 모델 개발

충북지역 동절기 딸기재배는 대부분 난방비가 적게 드는 수막보온재배 형태에 흑한기 재배를 위한 보조난방으로 경유온풍기를 주로 사용하였는데 최근 국제 유가상승에 따른 생산비를 증가시키는 주요인으로 작용하여(Kim과 Cho, 2002), 경유온풍기보다 난방비 부담이 적은 난방방법이 필요한데 적외선을 이용한 난방 또한 고려되어야 할 대상이다(Itagi 등, 1978; Kavga 등, 2008). 가열된 공기의 대류를 이용한 난방과 다르게 적외선 난방등은 복사선의 형태로 식물체, 토양이나 온실골조 등의 물체에 직접적으로 에너지를 전달하고 이러한 에너지가 2차적으로 공기를 데운다는 보고(Biom과 Ingratta, 1981), 단동 수막 비닐하우스에 보조난방으로 경유온풍기와 적외선 난방등을 설치하고 생육 및 수량과 난방비 절감을 연구(An 등, 2013)한 연구가 보고된 바 있으나, 단편기술들을 패키지로 구성하여 효과를 구명한 연구는 아직 미미한 실정이다. 본 연구는 충북지역 단동비닐하우스 재배농가 중 2개소를 시군·농업기술센터의 추천을 받아 청주, 진천지역에 각각 1개소를 선정하고, 수막, 경유난방보일러를 이용한 대조구(관행)와 지금까지 사용된 난방, 보온자재들 중 우수한 단편기술들을 패키지화하기 위해 공기열히트펌프, 하우스 내 양쪽 측창부분에 전열선 등 우수 국부난방 기술들을 조합하여 구성된 패키지구 4처리로 시험하였다. 두 지역 모두 설향 품종으로 2015년 9월 10일, 9월 12일에 각각 정식하였고, 고설수경재배로 수행하였다.

하우스내 평균온도의 경우(그림 1) 청주지역은 패키지구 중 공기열히트펌프 및 반사필름, 전열선, 다겹보온커튼 처리가 대조구 및 기타 패키지구 보다 높은 온도를 나타내었고, 진천은 공기열히트펌프구에서 일시적으로 2015년 1월 하순부터 2월 상순까지 4.2°C정도 차이를 나타내었다. 최저온도는 두 지역 모두 공기열히트펌프 및 반사필름+전열선+다겹보온커튼 패키지구에서 높았으며, 경유난방보일러+수막 처리한 대조구에서 낮은 경향 나타내었다(그림 2).

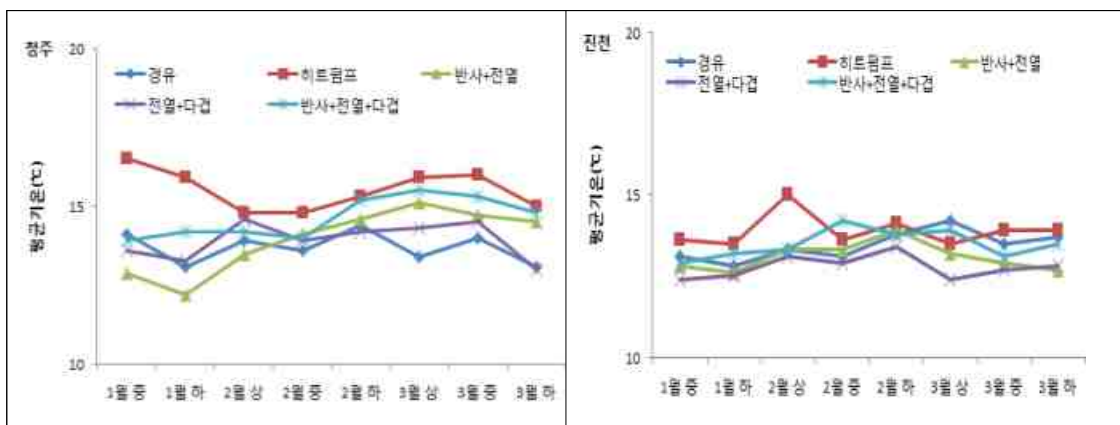


그림 1. 처리별 하우스 내 평균온도 변화

- ※ I: 경유(경유난방+수막), II: 반사필름 + 전열선, III: 전열선 + 다겹보온커튼,  
IV: 반사필름 + 전열선 + 다겹보온커튼, V: 공기열 히트펌프

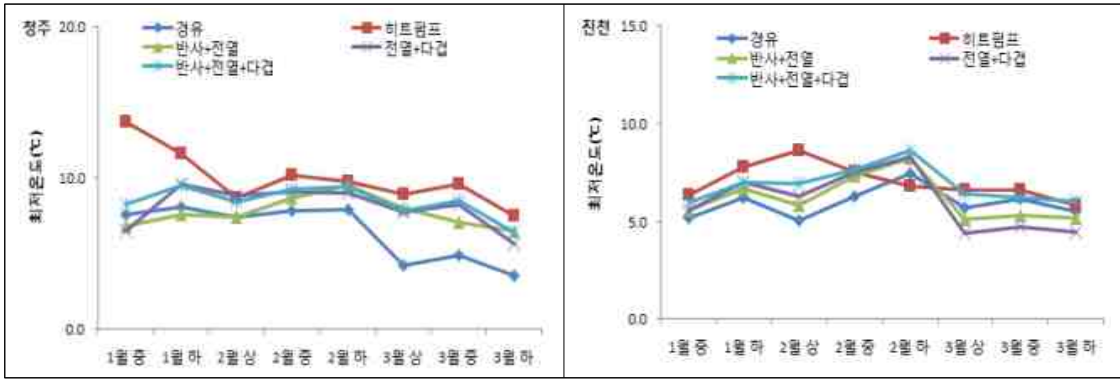


그림 2. 처리별 하우스 내 최저온도 변화

고설딸기재배 상토의 지온 변화는 그림 3, 4와 같은데 재배상 상토의 평균지온, 최저지온은 두 지역 모두 대조구보다 패키지구에서 높은 경향을 보였고, 공기열히트펌프 및 반사필름, 전열선, 다겹보온커튼 처리시 높게 나타났다.

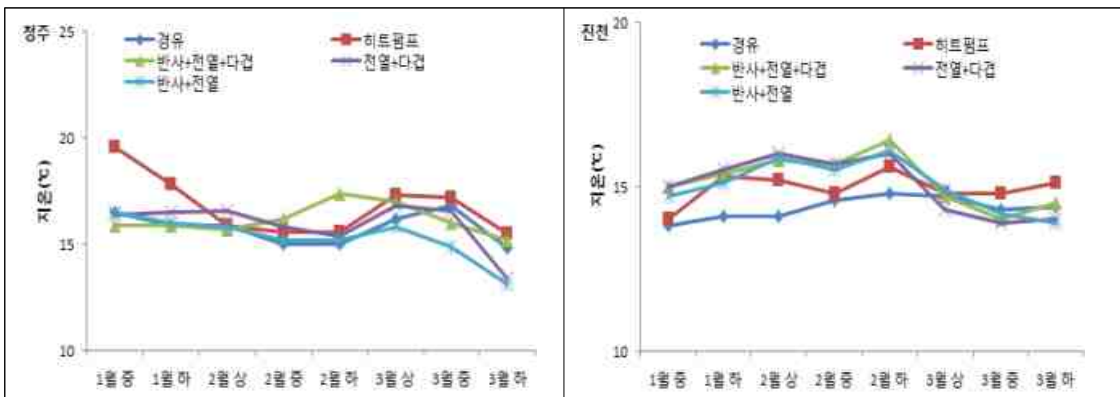


그림 3. 처리별 재배상토의 평균지온 변화

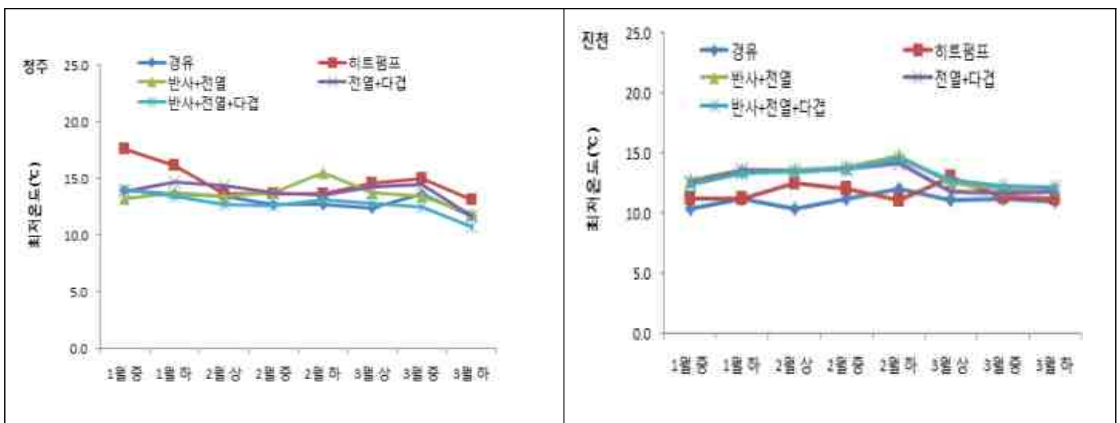


그림 4. 처리별 재배상토의 최저지온 변화

단동비닐하우스 패키지처리별 딸기 생육은 표 1과 같이 청주는 대조구에서 초장, 엽장, 엽폭 등이 커 대체적으로 패키지구 비해 초기 생육이 양호하였으며, 진천지역은 공기열히트펌프에서 초장, 경경, 엽장, 엽폭 등 생육이 양호하게 나타났다.



표 1. 처리별 생육상황

지역	처리 내용	초장 (cm)	경경 (mm)	엽수 (매/주)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	화폭 (cm)	엽병장 (cm)	근관부 직경 (cm)
청주	I <sup>z</sup>	29.5	3.3	10.4	10.9	8.7	2.8	16.2	16.4
	II	27.2	3.0	12.1	9.4	7.4	2.9	15.2	17.0
	III	27.2	3.2	12.8	9.5	7.4	2.7	15.9	26.1
	IV	28.1	3.2	10.9	9.8	7.7	2.8	16.2	17.3
	V	26.8	3.3	12.7	9.5	7.6	2.6	15.4	24.8
진천	I	23.9	3.0	11.9	8.8	6.8	2.8	13.2	20.4
	II	21.4	2.9	9.3	7.9	6.1	2.8	11.9	17.4
	III	20.1	3.0	9.3	8.4	6.8	3.0	11.0	19.0
	IV	22.6	2.9	9.9	8.6	6.7	3.0	12.4	19.2
	V	25.3	3.1	10.3	9.1	7.1	2.6	14.6	19.5

※ <sup>z</sup> I: 대조구(관행, 경유난방+수막), II: 반사필름 + 전열선, III: 전열선 + 다겹보온커튼, IV: 반사필름 + 전열선 + 다겹보온커튼, V: 공기열 히트펌프

표 2는 처리별 시설딸기의 착화수(표 2)조사 결과로 청주는 공기열히트펌프> 반사필름+전열선> 반사필름+전열선+다겹보온커튼순으로, 진천은 반사필름+전열선+다겹보온커튼 및 공기열히트펌프에서 높은 경향으로 2~3화방에서 가장 많은 착화수를 보였다. 이렇게 실증지역별 착화수 차이는 실증농가의 재배기술 및 하우스 기상환경 관리기술로 생각된다.

표 2. 처리별 딸기 화방별 착화수

지역	처리내용	화방별 착화수					계
		2	3	4	5	6	
청주	I	6.1	10.9	8.2	1.4	0.4	27.0
	II	7.1	10.6	7.7	3.8	1.1	30.3
	III	12.7	5.4	5.1	2.9	0.3	26.4
	IV	11.4	8.6	6.1	3.1	0.4	29.6
	V	11.4	10.1	7.4	3.5	1.1	33.5
진천	I	8.9	6.8	5.5	2.2	-	19.4
	II	8.6	7.6	5.2	2.4	-	19.8
	III	8.8	5.4	3.6	2.0	-	15.8
	IV	8.4	7.6	5.8	2.6	-	20.4
	V	8.1	7.6	6.3	2.3	-	20.3

수확한 과실의 특성조사 결과(표 3) 두 지역 모두 대조구보다 패키지구에서 과실의 당도, 경도가 높았고, 평균과중에 의한 수량은 패키지가 대조구보다 청주는 2~5%, 진천은 8~48%의 더 높게 나타났다. 과실의 산도에서 청주는 처리간 비슷하였으나, 진천은 대조구가 패키지구보다 약간 높은 경향을 나타내었으며 진천이 청주보다 높은 산도를 유지하였다.

표 3. 지역 및 처리별 과실의 특성

지역	처리내용	과장 (cm)	과폭 (cm)	평균과중 (g)	당도 (°Brix)	경도 (kg/cm <sup>2</sup> )	산도 (%)	수량지수
청주	I	4.5	3.4	22.1	10.4	0.24	4.0	100
	II	4.5	3.5	23.3	10.1	0.27	4.1	105
	III	4.4	3.5	23.2	9.9	0.30	4.1	105
	IV	4.4	3.5	22.9	9.9	0.26	4.0	104
	V	4.3	3.4	22.5	10.2	0.27	3.8	102
진천	I	3.5	2.7	12.0	9.9	0.59	5.1	100
	II	3.6	2.9	14.4	9.2	0.49	5.2	120
	III	3.4	2.8	13.0	9.7	0.55	4.7	108
	IV	4.0	3.2	16.3	9.4	0.47	4.7	135
	V	3.9	3.1	17.8	11.1	0.47	4.6	148

딸기를 정식한 후 2016년 3월 하순까지 재배기간 중 소요되는 유류 및 전기소모량은 시설 자체별 측정기를 설치하였으며 그 결과 표 4와 같다. 청주 및 진천 모두 대조구에서 전기사용량 및 유류 사용량이 많았는데 청주는 공기열히트펌프 처리시, 진천은 반사필름+전열선+다겹보온커튼에서 에너지 절감율이 가장 크게 나타났다. 이 결과 청주는 패키지가 대조구보다 35.0~60.0%, 진천은 45.0~78.5%로 크게 에너지가 절감되었으며, 청주보다 진천에서 효과를 보였으며, 공기열히트펌프 및 반사필름 + 전열선 + 다겹보온커튼 처리에서 가장 효과가 높게 나타났다.

표 4. 지역 및 처리별 전기 및 유류소모량

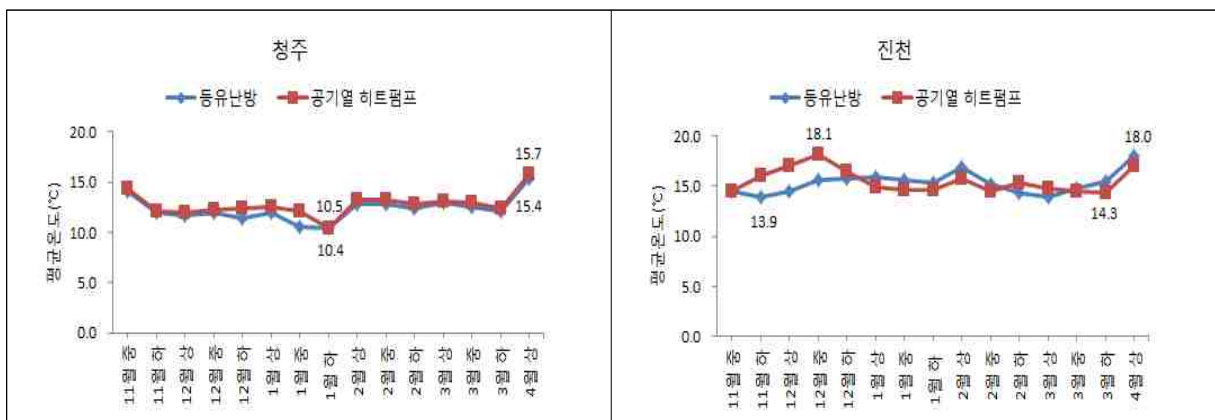
지역	처리 내용	전기 사용량		유류 사용량		에너지 사용금액(원)	에너지 절감율(%)
		사용량 (kw)	금액 (원)	사용량 (L)	금액 (원)		
청주	I	23,282	912,650	339	318,660	1,231,310	0
	II	13,754	539,160	285	267,900	807,060	35
	III	11,375	445,900	216	203,040	648,940원	47.3
	IV	12,372	484,980	177	166,380	651,360원	47.1
	V	6,873	269,420	290	272,600	542,020	60
진천	I	22,683	889,170	881	828,140	1,717,310	0
	II	13,833	542,250	-	-	542,250	68.4
	III	10,879	426,460	-	-	426,460	75.2
	IV	9,442	370,130	-	-	370,130	78.5
	V	12,665	496,460	476	447,440	943,900	45

※ 전기(전력단가) : kw-39.2원(농업을), 유류(경유) : 1L-940원(면세유)

이상 결과와 같이 단동비닐하우스에서 경유난방보일러를 대조구와 공기열히트펌프 및 전열선 반사필름 등의 자재를 조합한 패키지처리에 따른 1차년도 실증시험 결과, 패키지 기술을 투입시 대조구보다 난방비 절감과 수량이 증대되어 재배농가의 소득 증대에 효과가 클 것으로 생각된다.

지역별 실증농가에 대한 2차년도 모니터링 실증연구는 전년도 패키지처리 중 우수한 공기열히트펌프, 하우스 양측면 차가운 공기를 보완하기 위해 국부난방(전열선) 및 수막 처리한 패키지처리와 등유난방보일러와 수막을 조합으로 하는 대조구 등 2처리로 수행하였다. 딸기 품종은 설향이며, 정식은 청주는 2015년 9월12일, 진천은 2015년 9월 10일 각각 실시하였다. 지역 및 처리에 따른 하우스 내 기상환경(그림 5)에서 평균온도는 청주는 패키지구가 대조구 보다 약간 높게 나타났으나, 진천은 패키지구가 12월 중순까지 평균온도가 18.1°C까지 높아졌다가 약간 떨어지는 경향을 나타내었다.

지역별 하우스내 최고온도에서 청주, 진천 모두 비슷한 경향을 보이다가 2월 하순경 일시에 높게 나타났으며, 평균습도는 청주에서 처리간 차이가 비교적 적었으나, 진천은 1월 중순부터 4월상순까지 대조구보다 패키지처리에서 더 높은 경향 보여 처리간 큰 차이를 보였으며 실증농가에 병충해 방제 독려 및 기상환경에 더욱 힘쓰도록 당부하는 등 재배관리의 어려움을 해결하였다.



※ 등유난방(무처리) : 등유난방+수막 / 공기열히트펌프(패키지) : 공기열히트펌프+전열선+수막  
 그림 5. 지역별 하우스 내 평균온도 변화

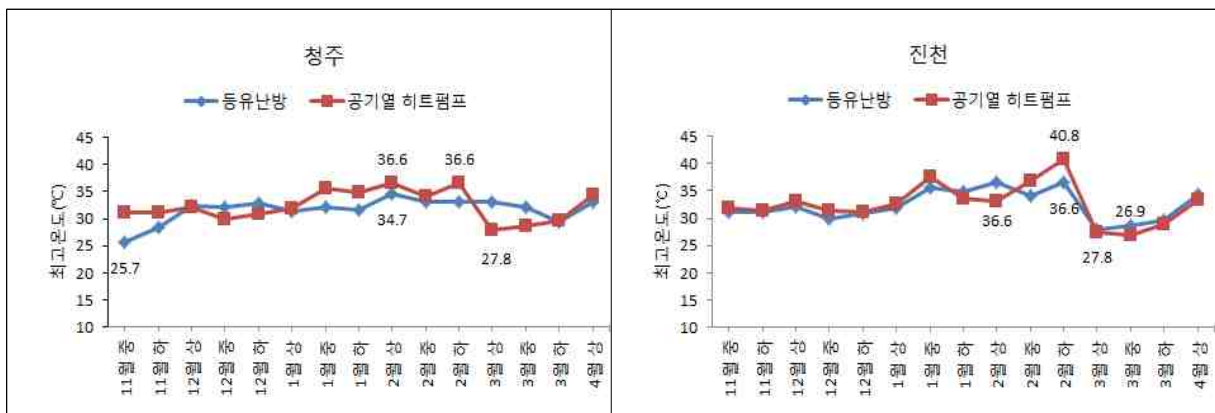


그림 6. 지역별 하우스내 최고온도 변화

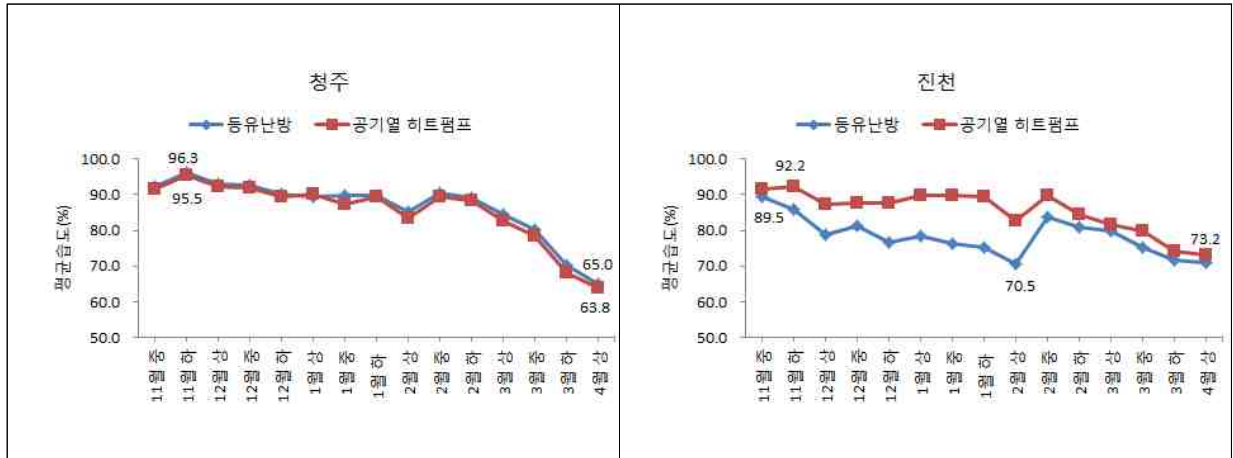


그림 7. 지역별 하우스내 평균습도 변화

딸기의 생육은 표 5와 같이 청주는 초장, 엽수, 엽장 등이 패키지처리가 대조구보다 컸지만, 잎의 엽록소 함량은 비슷한 경향을 보였고, 진천지역은 엽장, 엽폭 등 패키지 처리에서 대조구 보다 생육이 양호하게 나타났으며, 엽록소 함량도 약간 높게 나타났다. 그러므로 청주, 진천 모두 패키지가 대조구보다 생육이 양호한 것을 알수 있었다.

표 5. 지역 및 처리별 생육상황

지역	처리내용	초장 (cm)	엽수 (매/주)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	화폭 (cm)	근관부 직경(cm)	엽록소함량 (SPAD값)
청주	I	23.8	6.8	9.8	8.5	3.3	20.9	45.4
	II	24.8	7.1	10.3	8.6	3.0	20.5	45.2
진천	I	21.7	9.0	9.1	8.0	3.0	17.3	44.4
	II	22.7	8.8	10.2	8.6	3.1	18.9	46.2

※ I: 대조구(등유난방+수막), II: 패키지(공기열히트펌프 + 전열선 + 수막)

표 6. 지역 및 처리별 전기 및 유류 사용량

지역	처리 내용	전기 사용량		유류 사용량		에너지 사용금액(원)	에너지 절감율(%)
		사용량 (kw)	금액 (원)	사용량 (L)	금액 (원)		
청주	I	22,436	879,487	2,001	1,240,620	2,120,107	0
	II	13,982	325,235	1,488	922,560	1,247,795	41.1
진천	I	21,581	845,965	2,702	1,675,240	2,521,205	0
	II	16,856	660,743	1,559	966,580	1,627,323	35.5

※ 전기(전력단가) : kw-39.2원(농업을), 유류(등유) : 1L-620원(면세유)

딸기 재배기간중 전기 및 유류사용을 조사한 결과(표. 6) 청주 및 진천지역 모두 전기 및 유류 사용량에서 대조구가 패키지구보다 많은 양을 사용되어 패키지 처리할 경우 청주는 44.1%, 진천은 35.5% 에너지 절감효과를 보였다.

청주 및 진천지역의 과실특성 및 수량조사 결과(표 7, 그림 8)로 청주지역은 과실의 과장, 과폭 등이 대조구 보다 패키지구에서 컸으며 주당수량도 많아 수량이 패키지구에서 17%증대되었으나, 당도는 낮게 나타나 품질은 다소 떨어졌지만, 진천의 경우 과실특성이 양호하고 당도가 0.3 °Brix 정도 패키지구에서 높게 나타났고 수량도 5% 증대되어 품질 및 수량면에서 양호한 결과를 나타내었다.

표. 7 지역 및 처리별 과실 품질특성 및 수량

지역	처리 내용	과장 (mm)	과폭 (mm)	당도 (°Brix)	경도 (kg/m <sup>3</sup> )	주당과중 (g)	수량 (kg/10a)	수량지수 (%)
청주	I	43.4	34.9	9.7	0.22	299.7	2,547	100
	II	45.3	35.8	9.2	0.21	350.6	2,980	117
진천	I	42.7	34.0	8.9	0.23	206.5	1,755	100
	II	43.7	36.3	9.2	0.22	216.9	1,844	105

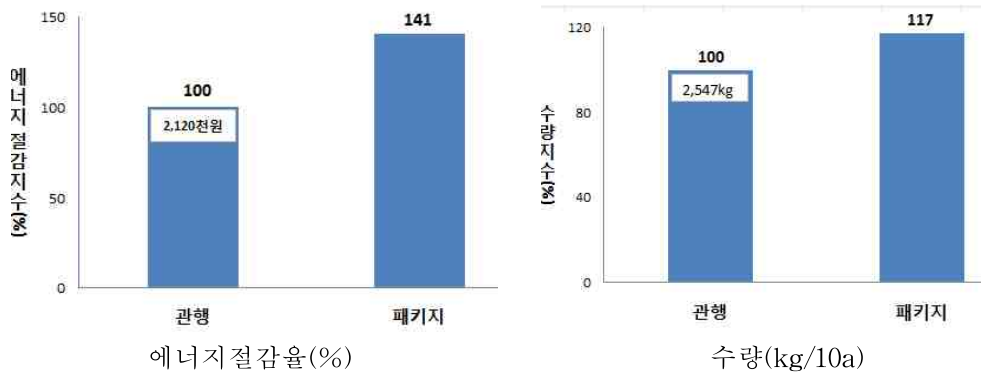


그림 8. 딸기 패키지 기술 처리효과(청주)

이상 실증연구 결과와 같이 딸기 단동비닐하우스 재배시 에너지절감 패키지 기술 투입으로 관행 대비 에너지 절감 41%, 수량 17% 증수되어 농가에 보급할 경우 경영비 절감 및 수량증대로 농가소득 증대에 기여할 것으로 생각된다. 그 동안 사용했던 딸기 수막재배는 앞으로 지하수 고갈에 따른 물 부족으로 인해 충북 전 지역에 보급은 곤란할 것으로 사료되는 바 이것을 보완할 수 있는 새로운 패키지 기술 개발이 필요할 것으로 판단된다

3차년도 실증연구는 고도화 농가실증 시험으로 1~2차년도 실증지역 중 우수한 결과를 얻은 청주 1개소를 선정하여 전년도 패키지 기술 중 국부난방(전열선)을 공기막단열재(덕트개선)으로, 수막은 다겹보온커튼으로 변경하여 공기열히트펌프, 공기막단열재(덕트개선), 다겹보온커튼을 패키지로 구성하고, 대조구는 등유난방보일러에 수막재배로 하여 시험을 실시하였다. 이때 처리별

하우스내 기상환경조사를 위하여 하우스 내 중앙 부근에 작물 생육선단 지점에 맞게 높이를 조절을 한 기상종합센서(aM-21 Series)를 설치한 후 설향 품종으로 2016년 9월 2일 정식하였다.



(공기열히트펌프)



(공기막단열재(덕트개선))



(다겹보온커튼)

그림 9. 고도화를 위한 시설설치 전경



(딸기재배 전경)



(기상종합센서 설치)

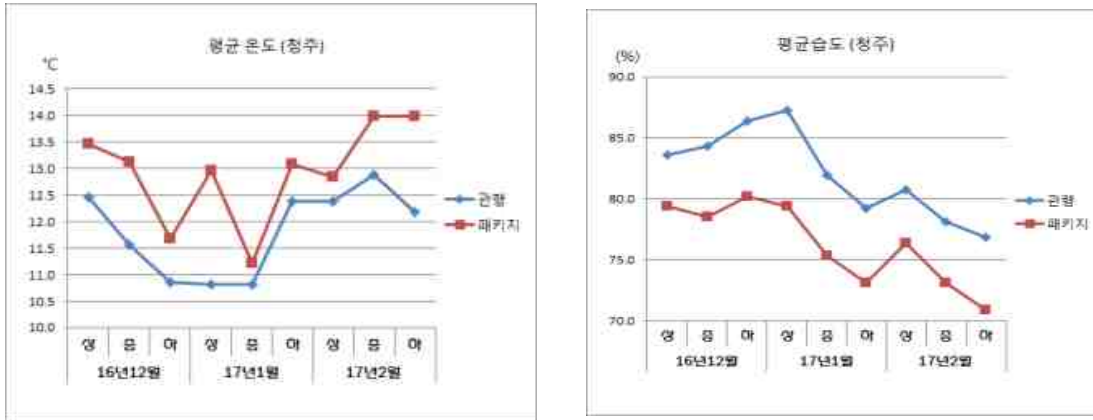
그림 10. 딸기 단동하우스 농가실증포장 전경

딸기 단동비닐하우스에 사용되는 패키지 기술은 공기열히트펌프, 공기막단열재, 다겹보온커튼과 등유난방보일러와 수막으로 재배하는 대조구(관행)등 2처리로 하우스내 기상환경을 조사한 결과 그림 9, 10, 11, 12와 같다.

2016년 12월 상순부터 2017년 2월 하순까지 하우스 내 평균온도는 청주지역은 10.8~14.0℃를 나타내었는데, 패키지처리가 대조구보다 더 높은 평균온도를 유지하였고, 평균습도는 처리간 76.3~82.0%를 나타내었는데 이때 패키지구가 대조구보다 더 낮은 습도를 보여 처리 간 차이를 알 수 있었다.

하우스 내 재배작물의 생육에 영향을 주는 광량은 처리별 기상종합센서를 설치하고 각각 측정한 결과, 2017년 1월 상순를 제외하고 처리간 큰 차이를 보이지 않았으나 모든 처리는 딸기 재배기간이 길어질수록 광량이 증가하여 생육 중반으로 갈수록 작물의 생육이 왕성한 것을 알 수 있었다.





※ 패키지구 : 공기열히트펌프+공기막단열재+다겹보온커튼, 관행(대조구) : 등유난방+수막  
 그림 11. 하우스내 평균온도 및 습도 변화

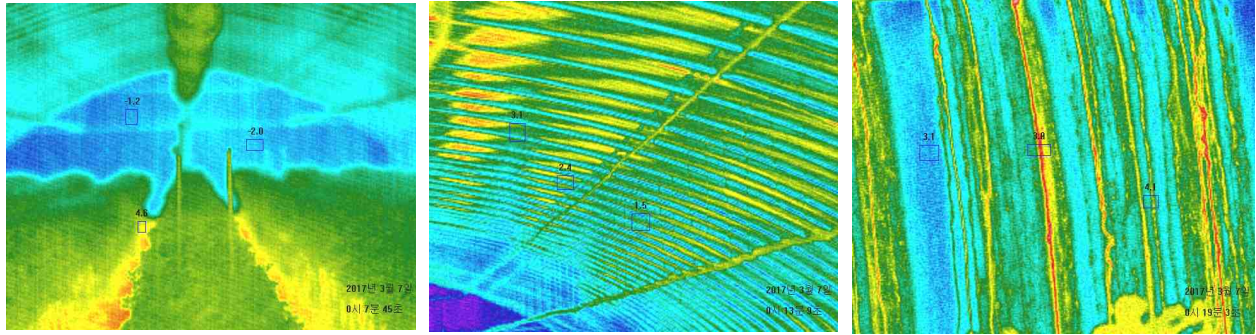


그림 12. 하우스내 처리별 광량( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) 변화

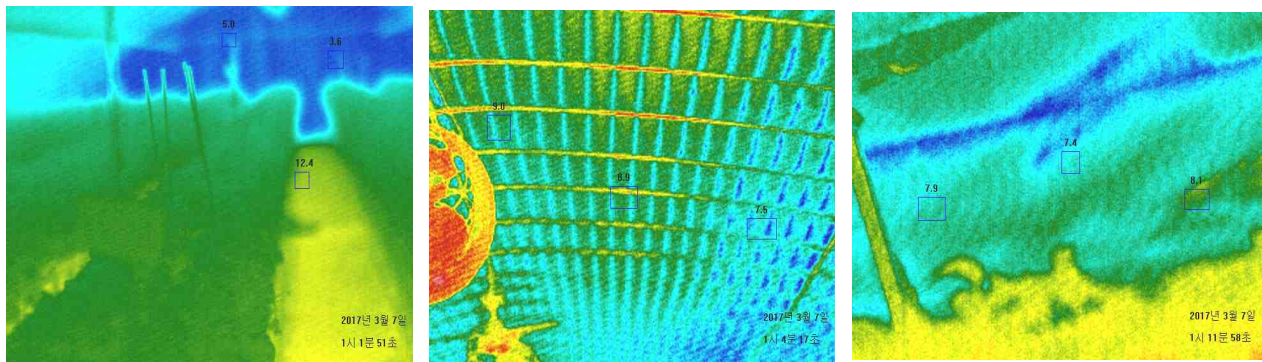
고도화를 위한 패키지구와 대조구 처리에 따른 딸기의 생육조사 결과(표. 8), 패키지구가 초장, 경경 및 엽장 등이 대조구 보다 많아 전반적인 생육이 양호하였다. 딸기 생육기간 중 난방비 절감용 패키지 설치 및 대조구 하우스 내 부위별 열손실 취약부에 대해 일정한 지점을 열적 외선 카메라를 설치하여 야간온도를 측정된 결과(그림 13)와 같이 패키지구는 대조구보다 하우스 내 야간온도가 재배 시험포장 내, 천창, 측창 등 전체적으로 5.1°C 더 높은 평균온도를 유지하고 있었다.

표 8. 처리별 생육상황

처리내용	초장 (cm)	경경 (mm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽병장 (mm)	엽수 (매/주)
대조구	15.9	21.8	10.6	9.2	12.9	24.0
패키지	17.4	22.1	11.5	9.0	14.0	22.8



재배상(1.3°C)	천창(2.3°C)	측창(3.7°C)
- 대조구 -		



재배상(7°C)	천창(7.8°C)	측창(7.8°C)
- 패키지구 -		

※ 측정시간 : 2017. 3. 7.(0시-1시경)

그림 13. 열화상카메라 하우스내 부위별 야간온도(평균값) 변화

과실의 특성 및 수량(표 9)은 패키지구가 대조구보다 과장, 과폭 등이 크고 당도도 0.3°Brix 더 높아 품질이 좋았으며, 수량도 대조구에 비해 7% 증수되었다. 이것은 3년차에 딸기 고도화를 위한 패키지구의 시설보완으로 하우스내 기상환경이 좋아졌기 때문으로 생각된다.

표 9. 처리별 과실 특성 및 수량

처리내용	과장 (mm)	과폭 (mm)	경도 (kg/cm <sup>3</sup> )	당도 (°Brix)	주당수량 (g)	수량 (kg/10a)	수량 지수
대조구	41.9	34.1	0.20	9.1	406	3,462	100
패키지	47.8	36.2	0.25	9.4	435	3,698	107



표 10. 처리별 수확과에 따른 상품화율

처리내용	상품과		비상품과		총수확과		상품화율 (%)
	과중	개수	과중	개수	과중	개수	
대조구	689.7	31	61.8	9	751.5	40	100
패키지	763.7	34	3.8	1	767.5	35	110

2017년부터 1월 26일부터 2월 8일까지 2주 동안 수확한 딸기의 상품화율을 조사한 결과 표 10과 같다. 에너지 절감을 위한 패키지구는 대조구에 비해 수확과수는 적게 나타났으나 상품과중이 높았으며, 대조구는 수확과수는 많았으나 비상품과가 많아 발생되어 패키지구가 대조구보다 8% 상품화율이 높게 나타나고 품질이 우수하였다.

표 11. 처리별 전기 및 유류 사용량

처리내용	전기 사용량		유류 사용량		에너지 사용 금액(원)	에너지 절감율(%)	이산화탄소 배출절감량 (tCO <sub>2</sub> /10a)
	사용량 (kw)	금액 (원)	사용량 (L)	금액 (원)			
대 조 구	16,824	704,926	1,714	689,354	1,394,280	0	0
패키지구	11,356	475,816	963	387,309	863,125	38.1	4.40619

※ 전기(전력단가) : kw-41.9원(농업을), 유류(등유) : 1L-402.19원(면세유)

표 11과 같이 딸기 단동비닐하우스 재배시 전기사용량 및 유류사용량은 대조구에서 모두 높게 나타나 패키지구가 38.1%가 절감되었으며, 이산화탄소 배출절감량도 많았다.

단동비닐하우스에서 딸기 고설재배시 대조구(관행)와 난방패키지기술 비교하였을 때 부분예산법으로 경제성 검토 결과 패키지 적용 하우스는 10a당 손실적 요소 중 감가상각비 1,500천원, 수리보수비, 고정자본이자는 60천원이며, 인건비, 포장비는 284천원으로 연간 총 비용은 1,844천원으로 이익적요소의 수량증수 2,360천원, 난방비 절감 531천원 등 연간 총 증가 수입 2,891천원과 비교하면 연간 추정수익액은 10a당 연간 1,047천원으로 나타났다.

표 12. 시설딸기 경제성 분석

(단위: 천원/10a)

손실적요소(A)	이익적요소(B)
▷ 증가되는 비용 - 감가상각비 : 1,500 - 수리보수비 : 15 - 고정자본이자 : 45 ※ 연간 총고정비 = 1,560 - 인건비 : 234 - 포장비 : 50 연간 총비용(A) = 1,844	▷ 증가되는 이익 - 수량증수 : 2,360 - 난방비 절감 : 531  연간 총 증가수입(B) = 2,891
○ 추정 수익액(B-A) = 1,047천원/년	

※ 공기열히트펌프 15,000천원(50%보조시)

※ 인건비 : 여 6,710원×35시간=234,850원, 포장비 : 500원×100개=50,000원 (2015 농축산물소득자료집)

※ 수량증수 : 236kg/10a, 딸기 단가(시판) 10,000원/kg

이상 3년동안 추진한 연구결과를 종합하면 충북지역 단동비닐하우스 딸기 재배시 패키지 기술인 공기열히트펌프, 공기막단열재(덕트개선), 다겹보온커튼 기술을 적용하면 동절기 딸기 재배농가의 에너지 절감은 물론 수량을 증대시켜 농가소득 증대에 큰 도움이 될 것으로 생각되지만, 금후 보급농가들의 작물 재배 및 시설환경관리 기술도 매우 중요할 것으로 여겨진다.

## 2. 토마토 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발

충북지역 동절기 토마토재배는 대부분 등유난방보일러와 등유난방보일러에 기타 보온재를 이용하여 재배되고 있으나, 난방기 및 다양한 보온자재들에 대한 효과 검증이 거의 없어 이들 난방 및 보온자재들을 이용한 패키지기술 연구는 미미한 실정으로 재배농가들의 애로기술로 대두되고 있다. 본 시험은 지금까지 사용된 난방, 보온자재들 중 우수한 단위기술들을 단동비닐하우스에 패키지로 구성하여 효과를 검증하기 위해 농가현장에서 시험하였다.



(공기열히트펌프)



(국부난방 : 전열선)

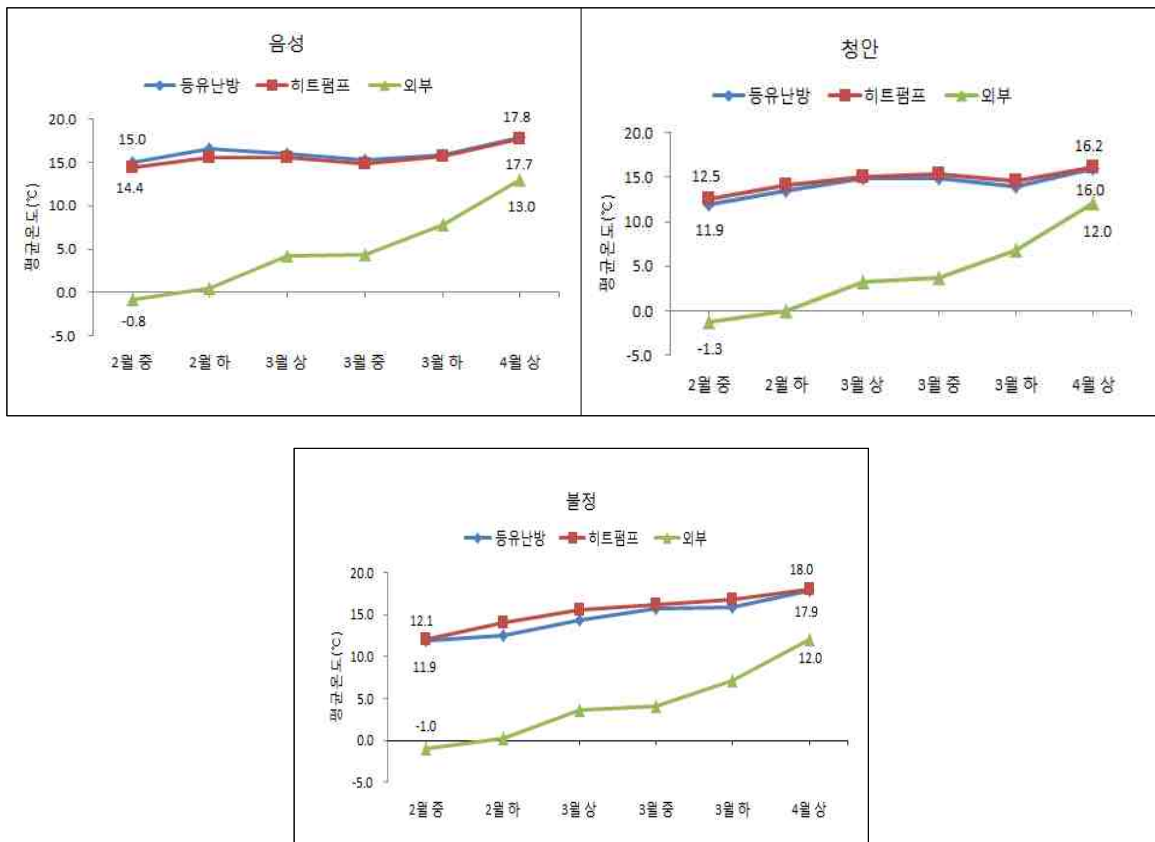


(다겹보온커튼)

그림 1. 토마토 에너지절감 시설 설치 전경

1차년도 토마토 실증시험은 시군농업기술센터의 추천을 받아 음성 1개소, 괴산 2개소로 선정된 후 각각 방울토마토는 '미니찰'과 일반토마토는 '호용'를 시험품종으로 하여 2015년 12월 24일부터 2016년 1월 13일에 각각 정식하였다. 대조구는 등유난방보일러를, 패키지구는 공기열히트펌프, 국부난방(전열선), 다겹보온커튼을 조합으로 하여 지역별 패키지 시설을 설치 한 후 실증연구를 수행하였다.

단동비닐하우스에서 2016년 2월 중순에서 4월 상순까지 토마토 재배 중 하우스내 평균온도는 괴산군 불정면 11.9~18°C, 괴산군 청안면 11.9~16.2°C, 음성 소이면 14.4~17.8°C이었으며, 하우스 외부온도는 -1.3°C로 시작하여 점차 온도가 높아지는 양상을 보였다. 하우스내의 최고온도는 2월중~하순경에는 지역간 큰 차이를 나타냈으나, 2월 하순경 외부 최고온도는 괴산 불정은 11.6°C, 음성 및 괴산 청안은 12.4~14°C로 나타내어 하우스내 최고온도는 비슷한 경향을 나타내었다.



※ 등유난방 (대조구), 공기열히트펌프(공기열히트펌프+전열선+다겹보온커튼), 외부(하우스 밖)

그림 2. 지역 및 처리별 평균온도 변화

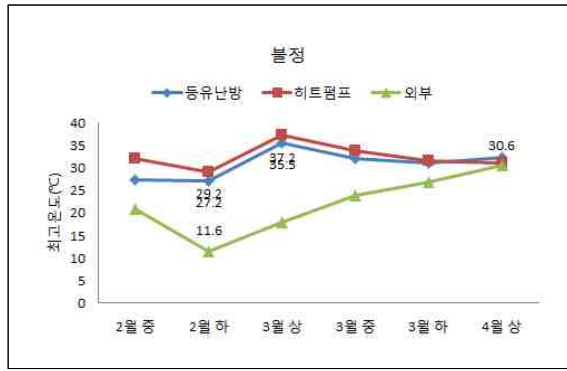
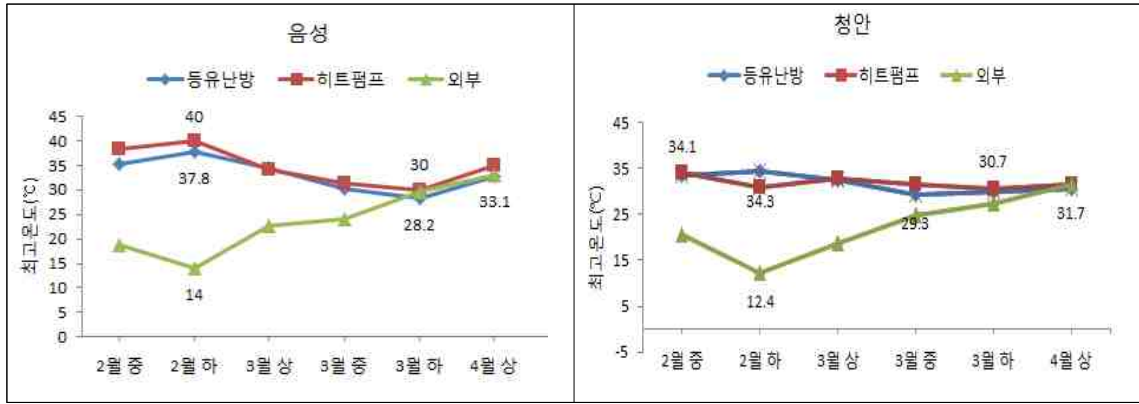
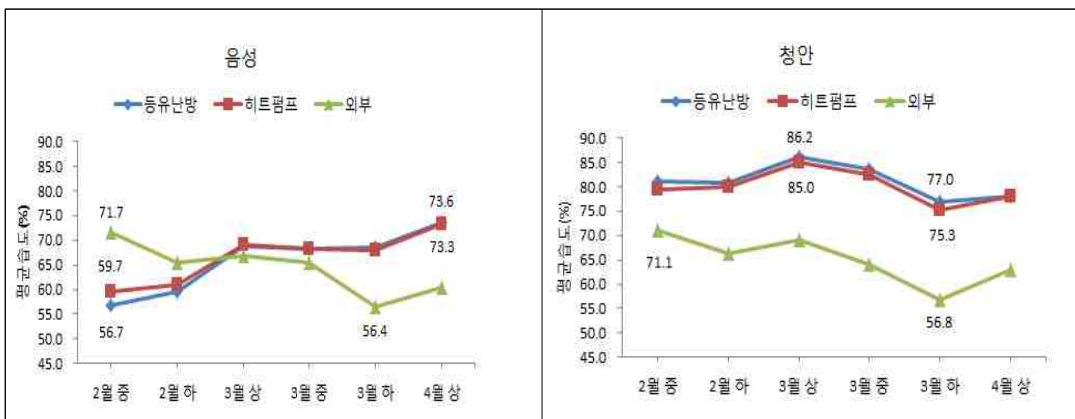


그림 3. 지역 및 처리별 최고온도 변화

실증지역별 하우스 내 평균습도 및 외부습도 변화(그림 4)에서 음성지역은 외부습도는 56~72%, 하우스내 대조구는 57~73%, 패키지구는 60~74%로 나타나 처리간 습도는 비슷하게 나타났으며, 괴산군 청안면은 대조구와 패키지구는 75~86%로 비슷한 습도를 나타내었지만, 외부습도는 56~71%로 낮게 나타나 큰 차이를 보였다. 괴산 불정면은 2월 하순경 낮은 습도를 유지하다가 3월 상순경부터는 패키지구 > 대조구 > 외부 순으로 습도가 높게 유지되었다.



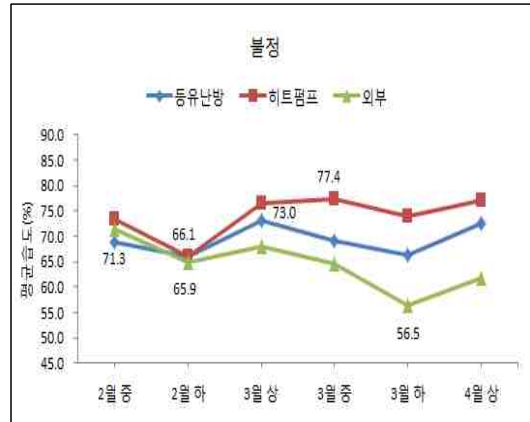


그림 4. 지역 및 처리별 평균습도 변화

지역 및 처리별 토마토 생육에서 음성 및 괴산 불정은 초장, 경경, 엽장 및 마디수 등 수량 구성 요소들이 대조구보다 패키지구에서 많아 생육이 양호하였으나, 괴산 청안은 패키지가 대조구 보다 초장, 엽수 등이 더 적어 생육이 저조하였는데 이것은 패키지 설치 자재중에서 일부자재의 작동불량으로 온도등 관리가 불량하여 발생된 것으로 생각되었다. 토마토 생육에 대해 Fujishige 등(1991)은 지온 25°C에서 가장 좋으며, 15°C이하에서는 현저히 억제된다고 하였지만, 본 시험은 하우스내 온도를 15°C로 설정하고 지역 및 처리별 생육(표 1)에는 큰 문제가 나타나지 않았다. 잎의 엽록소 함량은 처리간 차이가 거의 없었으나, 토마토 육묘시 일평균온도가 증가 할수록 엽록소 함량이 감소된다는 Park 등(1996)의 보고와는 다르게 본 실험에서는 품종 및 처리간 큰 차이를 보이지 않았다.

표 1. 지역 및 처리별 생육상황

지역	처리 내용	초장 (cm)	경경 (mm)	엽수 (매)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	착화수 (개)	화폭 (cm)	마디수 (개)	엽록소함량 (SPAD값)
음성	I	68.8	9.6	63.9	10.7	6.1	7.1	2.9	12.0	45.1
소이	II	75.6	9.9	60.0	11.2	5.7	9.6	3.4	12.7	46.5
괴산	I	94.0	12.8	102.4	13.5	8.3	5.8	4.8	18.7	47.4
청안	II	78.1	11.2	88.9	11.6	6.5	5.9	5.0	15.3	50.3
괴산	I	77.1	8.0	56.8	9.6	5.1	6.7	2.3	16.1	43.9
불정	II	95.0	9.5	81.1	12.1	6.4	6.4	2.7	17.9	41.1

※ I : 대조구(등유난방), II : 패키지구(공기열히트펌프 + 전열선 + 다겹보온커튼)

재배기간 중 과실특성 및 수량(표 2)에서 음성은 패키지가 대조구보다 과장, 과폭 및 주당 수량이 많아 6% 수량이 증대되었고, 과실 당도도 0.2°Brix 높게 나타났다. 괴산 청안 및 불정

은 대조구보다 패키지구에서 생육이 약간 양호하여 괴산 청안은 2%, 괴산 불정은 3% 정도의 수량이 증대되었으며, 당도는 처리간 차이가 거의 없었다.

표 2. 지역 및 처리별 과실의 품질특성 및 수량

지역	처리 내용	과장 (mm)	과폭 (mm)	과육두께 (mm)	주당수량 (g/주)	당도 (brix)	수량(kg/10a)	
							수량	수량지수
음성 소이	I	35.9	28.5	3.3	2,432	9.2	6,810	100
	II	36.7	28.6	3.5	2,585	9.4	7,238	106
괴산 청안	I	62.2	83.3	6.0	3,439	5.2	9,629	100
	II	63.3	83.0	6.5	3,520	5.4	9,856	102
괴산 불정	I	35.8	29.6	3.2	1,721	7.7	4,987	100
	II	35.9	30.2	3.4	1,781	7.6	4,818	103

단동하우스에 토마토를 정식한 후 3월 30일까지의 생육기간 중에 사용된 전기 및 유류사용량을 조사한 결과 표 3와 같이 전기사용량은 모든 지역에서 패키지가 대조구보다 많았고, 유류사용량은 대조구에서 많이 소비되었음을 알 수 있었으며, 음성은 패키지가 대조구보다 50.2%, 괴산 청안은 26.5%, 괴산 불정은 41.7% 각각 에너지 절감되어, 음성지역에서 가장 많은 효과를 나타내었다.

표 3. 지역 및 처리별 토마토 전기 및 유류사용량

구분	처리 내용	전기 사용량		유류 사용량		에너지 사용금액(원)	에너지 절감율(%)
		사용량(kw)	금액(원)	사용량(L)	금액(원)		
음성 소이	I	803	31,470	3,472	2,152,640	2,184,110	0
	II	12,396	485,919	969	600,780	1,086,699	50.2
괴산 청안	I	473	18,546	2,116	1,311,920	1,330,466	0
	II	14,926	585,099	634	393,080	978,179	26.5
괴산 불정	I	439	17,209	1916	1,187,920	1,205,129	0
	II	17,844	99,497	973	603,260	702,757	41.7

※ 전기관련 : 39.2원/kw (농업을), 등유(면세유) : 620원/L

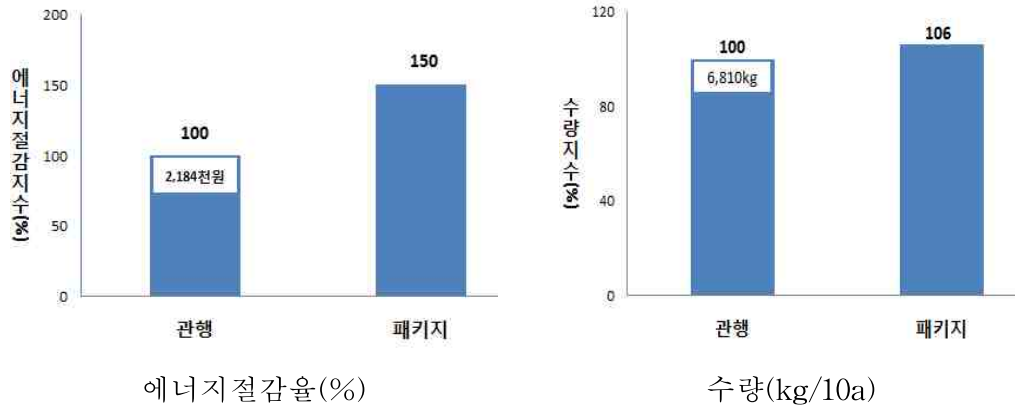


그림 5. 토마토 패키지 기술 투입효과

동절기 토마토 단동비닐하우스 재배 시 패키지기술 투입시 대조구인 등유난방보일러보다 에너지가 50% 절감되고, 수량은 6% 증대되어 이 결과(그림 5.)는 농가의 경영비 절감과 수량증대로 소득 증대에 큰 효과가 있으나, 농가 보급시 시설설치 비용이 많은 소요되므로 개발된 패키지 기술을 활용하기 위해서는 정부차원의 지원방안 모색이 필요하다고 생각된다.

고도화 실증연구를 위해 2차년도에는 전년도 토마토 실증농가 3개소 중에서 에너지 절감 및 수량 증대 효과가 좋았던 음성군 소이면 1개소를 선정하여 실증연구를 수행하였다. 단동비닐하우스에서 전년도 패키지기술 중 국부난방(전열선)을 공기막단열재(덕트개선)로 변경하여 양쪽 측창에 설치한 다음 공기열히트펌프, 다겹보온커튼와 함께 조합을 구성한 패키지구, 등유난방보일러를 사용한 대조구를 처리하여 실증시험을 수행하였다.

하우스내 기상환경을 조사하기 위해 기상종합센서를 하우스 중앙 지점에 각각 1대씩 설치하여 조사하였으며, 토경재배로 방울토마토인 ‘미니찰’ 품종을 공시하여 2016년 9월 27일 정식하였다. 토마토를 정식한 후 2016년 12월 상순부터 2017년 2월 하순까지 재배기간 중 하우스 내 기상환경변화는 표 4, 표 5 등과 같다. 처리별 평균온도는 패키지에서 12.0~15.6°C였으나, 대조구(관행)에서는 13.6~16.7°C로 조사되어 대조구에서 조금 높은 경향을 보였다.

그러나 하우스 외부온도는 -4.7~2.6°C를 보여 하우스 내부 평균온도와의 차이가 14.0°C로 큰 차이를 나타내었다. 평균습도는 대조구가 패키지구보다 5.7% 높았으며, 두 처리 모두 재배기간이 길어질수록 평균습도는 낮아지는 경향을 보였다(표 4, 표 5).

하우스내의 작물생육과 밀접한 광량(표 6)은 2월 상순 1146  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  재배기간을 제외하고 패키지구가 대조구보다 11.2  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  더 높은 광량으로 나타나 이것은 작물의 생육에 영향을 주었을 것으로 생각된다. 이상같이 외부온도 및 비닐하우스 내의 평균온도, 평균습도 및 광량 변화 등 기상환경변화는 생육에 매우 중요한 요소이므로 동절기 시설재배시 단동비닐하우스 구조에 난방기, 보온자재 등 패키지를 구성하고 작물을 관리하는 것은 매우 중요하다고 생각된다.

표 4. 처리별 평균온도 변화

구 분	2016년 12월			2017년 1월			2017년 2월			평균 (°C)
	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	
대조구	13.6	14.3	14.2	14.9	15.0	16.3	13.6	16.7	15.3	14.8
처리구 패키지구	12.6	12.7	12.0	13.4	13.4	14.3	14.6	15.3	15.6	13.8
외부온도	1.2	0.7	-1.7	2.6	-4.7	-5.0	-1.9	0.07	1.4	-0.7

※ 대조구(관행) : 등유난방, 패키지구 : 공기열히트펌프+공기막단열재(덕트개선)+다겹보온커튼

표 5. 처리별 평균습도 변화

구 분	2016년 12월			2017년 1월			2017년 2월			평균 (°C)
	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	
대조구	83.6	84.3	86.4	87.3	81.9	79.2	80.8	78.1	76.8	82.0
패키지구	79.4	78.5	80.2	79.4	75.4	73.1	76.4	73.1	70.9	76.3

표 6. 처리별 광량(PPF) 변화

구 분	2016년 12월			2017년 1월			2017년 2월			평균 (μmol/m <sup>2</sup> /s)
	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	
대조구	45.3	49.0	42.2	50.0	53.4	72.3	114.6	83.4	88.2	66.5
패키지구	56.6	64.4	47.2	65.3	61.7	87.7	91.6	109.7	114.9	77.7

토마토 처리별 초기 생육조사 결과 표 7와 같이 대조구인 등유난방보일러와 패키지구는 초장, 경경, 엽장, 엽폭, 엽수 등이 서로 비슷하게 나타나 처리간 차이가 적게 나타났다.

표 7. 처리별 생육상황

처리내용	초장 (cm)	경경 (mm)	엽장 (매/주)	엽폭 (cm)	엽수 (cm)	마디수 (개/주)
대조구	147.6	13.4	14.7	8.4	256.0	24.7
패키지구	145.6	12.6	14.7	8.3	238.1	24.9

과실 특성 및 수량은 표 8과 같이 패키지구는 과실의 과장, 과폭, 당도 등이 높고, 주당수량도 250g 더 많아 대조구보다 수량이 16% 증대 되었으며, 과실의 당도도 0.2°Brix 더 높게 나타나 품질이 양호하였다. 이것은 하우스 내 재배환경이 패키지구가 대조구보다 적절한 결과로 생각된다.



표 8. 처리별 과실 특성 및 수량

처리내용	과장 (mm)	과폭 (mm)	과육두께 (mm)	당도 (Brix)	주당수량 (g/주)	수량 (kg/10a)	수량 지수
대 조 구	32.5	24.6	3.8	9.5	1,600	4,480	100
패키지구	33.0	25.1	3.9	9.7	1,850	5,180	116

2017년도 토마토 재배기간 중 전기 및 유류사용량을 조사한 결과 표 9와 같다. 전기사용량은 패키지구에서, 유류사용량은 대조구에서 더 많이 사용되었으며, 두 처리간 에너지 사용액은 패키지구에서 860,975원 적게 소요되어 대조구보다 에너지 35.3% 절감 효과를 보였다. 또한, 처리별 이산화탄소 배출절감량은 패키지구가 대조구보다 높게 나타났다.

표 9. 처리별 전기 및 유류 사용량

처리내용	전기 사용량		유류 사용량		에너지 사용 금액(원)	에너지 절감율(%)	이산화탄소 배출절감량 (tCO <sub>2</sub> /10a)
	사용량 (kw)	금액 (원)	사용량 (L)	금액 (원)			
대 조 구	1,404	58,828	5,926	2,383,378	2,442,206	0	6.50466
패키지구	15,229	638,095	2,345	943,136	1,581,231	35.3	8.90263

※ 전기(전력단가) : kw-41.9원(농업을), 유류(등유) : 1L-402.19원(면세유)

충북지역 단동비닐하우스에서 방울토마토 토경재배시 패키지기술과 대조구(관행)와 비교하였을 때 부분예산법으로 경제성 검토 결과(표 12) 패키지 적용 비닐하우스는 10a당 손실적 요소중 감가상각비 1,500천원, 수리보수비, 고정자본이자 60천원이며, 인건비, 포장비는 228천원으로 연간 총 손실비용은 1,179천원이었으며, 이익적 요소인 수량증수 2,106천원, 난방비 절감 861천원으로 연간 총 증가 수입이 2,967천원과 비교하면 연간 추정수익액은 10a당 연간 1,179천원으로 나타났다.

표 10. 토마토 경제성 분석

(단위: 천원/10a)

손실적요소(A)	이익적요소(B)
▷ 증가되는 비용 - 감가상각비 : 1,500 - 수리보수비 : 15 - 고정자본이자 : 45 ※ 연간 총고정비 = 1,560 - 인건비 : 141 - 포장비 : 87 연간 총비용(A)= 1,788	▷ 증가되는 이익 - 수량증수 : 2,106 - 난방비 절감 : 861  연간 총 증가수입(B)= 2,967
○ 추정 수익액(B-A)=1,179천원/년	

※ 인건비 ; 141,604원(남 9,858원×8시간=78,864원, 여 6,274원×10시간=62,740원)

포장비 : 700원×125개 = 87,500원

※ 수량증수 : 700kg×3,009원= 2,106,300원 (방울토마토 판매단가: 3,009원/kg)

※ 2015 농축산물소득자료집

이상 결과를 종합하면 토마토 단동비닐하우스 토경재배시 공기열히트펌프, 공기막단열재, 다겹 보온커튼 조합인 패키지 기술을 사용하면 대조구인 등유난방보다 에너지절감 효과 및 수량 증대 효과가 우수하여 앞으로 충북 등 중부지역에서 동절기 방울토마토를 재배할 경우 재배 농업인들의 생산비를 절감시키는 등 농가소득 증대에 크게 기여할 것으로 생각된다.

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

- 가. 충북지역 딸기, 토마토 단동비닐하우스 난방 패키지 기술 현장 실용화(영농정보 2건)
- 나. 시설재배 난방비 절감 패키지 기술 이용 에너지 절감 효과 구명  
→ 본 연구결과 동절기 난방 패키지 조합 적용 재배농가 활용가능
- 다. 농가실증에 의한 에너지 절감 현장 연구로 농가경영비 감소 및 소득증대 기여
- 라. 동절기 난방비 절감을 위한 패키지 적용으로 품질 및 수량증대

연구개발 목표	연구개발내용	달성도 (%)
□ 협동과제 : 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발( I )		100
○ 딸기 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 농가실증 연구	- 딸기 단동비닐하우스 고설재배시 패키지기술 (공기열히트펌프+공기막단열재+다겹보온커튼) 투입 시 대조구(등유난방+수막)보다 에너지는 38.1% 절감, 수량은 7% 증대	100
○ 토마토 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 농가실증 연구	- 토마토 단동비닐하우스 토경재배시 패키지 기술(공기열히트펌프+공기막단열재+다겹보온커튼) 투입 시 대조구(등유난방)보다 에너지는 35.3% 절감, 수량은 16% 증대	100

## 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

- 가. 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 정보 농업현장 제공(리후렛, 브로셔 등)
- 나. 딸기, 토마토 시설재배농가 에너지절감 패키지기술 홍보로 지역확산 및 보급
- 다. 농업기술센터 및 작목반 현장교육장, 견학코스로 활용
- 라. 딸기 동절기 재배시 에너지절감 패키지기술 투입에 따른 효과(논문투고 예정)
- 마. 실증농가 현장방문 및 컨설팅 지속 추진으로 사후관리 강화

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

해당없음

## 제 7 장 참고문헌

1. An, J.U., An, C.G., Hwang, Y.H., Toon, H.S., Chang, Y.H., Shon, G.M., Jeong, B. R., 2013. Effect of Heating by Infrared Heating Lamps on Growth of Strawberry and Heating Cost. *protected Horticulture and plant Factory*, Vol, 22, No. 4:355-360, December.
2. Blom, T.H.J. and F.J. Ingrarra. 1981. The use of low intensity infrared for greenhouse heating in southern Ontario. *Acta Hort.* 115:205-216
3. Briassoulis, D., D. Waaigenberg, J. Gratraud, and B. von Eslner. 1997a. Mechanical properties of covering materials for greenhouse; part1, general overview. *J. agric Engng Res.* 67:81-96., Briassoulis, D., D. Waaigenberg, J. Gratraud, and B. von Eslner. 1997b. Mechanical properties of covering materials for greenhouse; part2, quality assessment. *J. agric EngngRes.* 67:171-217.
4. Chung, S., D. Kim, S. Lee, S. Nam, and Y. Lee. 2009. Heat insulation characteristics of multi layer materials for greenhouse. *Journal of Bio-Environment Control*, 18(4):341-347
5. Fujishige, N., T. Sugiyama and R. Ogata. 1991. Effect of root temperature on the flower formation and fruit yield of tomatoes. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 60: 97-103 (in Japanese)
6. Gracia, J.L., De la Plaza, L.M. Narvas, R.M. Benavente and L. Luna. 1998. Evaluation of the feasibility of alternative energy sources for greenhouse heating. *J. Agric. Engng Res.* 69:107-114
7. Itagi, T. and M. Takahashi. 1978. Studies on the practical use of infrared heater in greenhouse. *Bull. Kanagawa Hort. Expt. Sta.* 25:45-51.
8. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 42(4):385-388. 2001. Effects of Night Temperatures on Growth, Yields of Tomato and Green Pepper in the Glasshouse Cultivation and Its Impact on Heating Costs. Young Hah Choi, Joon Kook Kwon, Han Cheol Rhee, Dong Kum park, and Jae Han Lee
9. Kawashima, H., M. Takaichi, M. BaBa, K. Yasui and Y. Nakano. 2008. Effects of energy saving and the reduction of carbon dioxide emissions with a hybrid-heating

- system using an air-to-air heat pump for greenhouse heating. Bulletin of the National Institute of Vegetable and Tea Science 7:27-36(in Japanese)., Tong, Y., T. Kozai, N. Nishioka, and K. Ohyama, 2011. Greenhouse heating using heat pumps with a high coefficient performance(COP). Biosystems Engineering 106:405-411.
10. Kavga, A., S. Pantelakis, Th. Panidis, and V. Bontozoglou. 2008. Investigation of the potential of long wave radiation
  11. Kim, S.G. and C.K. Cho. 2002. Management counterplan and protected horticulture affected by rising of oil prices. Kor. Res. Soc. Protected Hort. 15:1-8
  12. Kim, H.J., Kang T.H., Ning, W.F., Han, C.S., Cho, S.C., 2009. Growth Characteristics of Cherry Tomato in Greenhouse using Far Infrared Heating Systems. J. of Biosystems Eng. Vol 34. No. 3. pp.161~166
  13. Kwon, J.K., J.H. Lee, N.J. Kang, K.H. Kang, and Y.H. Choi. 2004. Effects of covering materials and methods on heat insulation of a plastic greenhouse and growth and yield of tomato. J. of Bio-Environment Control 13(4):251-257(in Korean).
  14. Kwon, J.K., G.H. Kang, J.P. Moon, Y.K. Kang, C.K. Kim, and S.J. Lee. 2013. Performance Improvement of an Air Source Heat Pump by Storage of Surplus Solar Energy in Greenhouse. Protected Horticulture and Plant Factory 22(4):328-334(in Korean).
  15. Lee, S.Y., H.J. Kim, H. Chun, S.H. Yun, Y.I. Nam, and J.G. Lim. 2003. Energy saving by use of pull&roll multi layer type screen system on greenhouse. Kor. Res. Soc. Protected Hort. 16(1):1-6(in Korean)
  16. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). 2014a. Greenhouse status for the vegetable grown in facilities and the vegetable productions in 2013. ed. Sejong, Korea(in Korean)., Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). 2014b. Cultivation status of floricultural crop in 2013. ed. Segong, Korea(in Korean).
  17. Pak, H.Y., K.C. Son, E.G. Gu, K.B. Lim, and B.H. Kim. 1996. Effect of different day and night temperature regimes on the growth of hot pepper plug seedlings. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 37:617-621.
  18. Willits, D.H. and Y.R. Gurfer. 2004. Heat pumps for the heating and night-cooling of greenhouse crops: a simulation study. Trans. of the asae 47(2):575-584.



# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “농업에너지절감모델개발사업단 실증연구과제(과제명 : 단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술개발 II)”의 최종 보고서로 제출합니다.

2017년 9월 일

실증연구기관명 : 전라남도농업기술원  
원예연구소

실증연구책임자 : 손 동 모





# 요 약 문

## I. 제 목

단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술개발 II

## II. 연구성과 목표 대비 실적

본 과제의 연구개발 목표는 원예작물 재배용 시설온실의 에너지 비용절감을 목표로 추진하였으며, 본 세부과제는 전라남도 지역에 가장 많이 보급된 단동형 비닐하우스에 적용할 수 있는 에너지절감 패키지들의 에너지 이용효율을 구명하고 정립하는데 목표를 가지고 있다. 연구작목으로는 딸기와 토마토로 진행되었으며, 딸기는 담양, 영광, 장성 3개소에, 토마토는 장성과 함평에서 추진되었다. 담양에는 「전기발열선+순환식수막장치」, 영광은 「상부개방형 다겹보온커튼 + 전기발열선」 장성에는 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프」를 설치하여 조사하였다. 토마토를 재배하는 장성에는 「권취형다겹보온커튼+전기발열선」을 설치하여 「권취형다겹보온커튼+경유온풍기」를 사용하는 포장과 비교하였으며, 함평에서는 「예인식 다겹보온커튼+축열식 공기열히트펌프」와 「예인식 다겹보온커튼+비축열식 공기열히트펌프」를 설치하여 비교하였다. 실증시험 결과 5겹의 보온소재를 사용하는 다겹보온커튼을 사용할 경우 총 에너지 비용을 약 50%가량 감소시킬 수 있었으며, 등유보일러를 1KW당 860Kcal의 열량을 생산하는 COP1의 전기발열선 등으로 교체하는 경우 낮은 전기요금으로 총 난방연료비를 50% 감소시킬 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한 COP1의 전기발열선을 전기이용효율이 우수한 공기열히트펌프로 교체하는 경우 다시 전기사용량을 30%가량 절감할 수 있었으며, 축열을 야간 보다는 주간에 축열을 할 경우 전기발열선을 사용하는 것보다 40%가량 더 에너지를 절감할 수 있었다. 본 연구에서는 또한 각 시설장비 및 난방장비를 복합적으로 제어하여 난방에너지 이용효율을 높이기 위해 복합환경제어기를 설치하는 경우 에너지 효율을 7% 향상시키는 외에도 환기조절 노동력도 줄일 수 있었다.

## III. 연구개발의 목적 및 필요성

최근 한국 시설원예 산업의 가장 큰 문제점은 단연 시설투자비, 인건비, 난방연료비 등이 생산비의 가장 큰 비중을 차지하고 있어 시설원예 농가들의 경영상황을 악화시키고 있다. 시설가온재배 면적은 2015년 15,878ha로 전체의 30.2%를 차지하고 있다. 우리나라의 에너지 소비량은 고온성 작물인 파프리카, 토마토, 아열대 작물 등의 보급으로 지속적으로 증가하고 있다. 2000년대 이전에는 유류가격이 저렴하여 난방기 사용의 편의성으로 인해 화석에너지에 대한 의존이 높았다. 현재 우리나라는 세계적인 에너지 수입국으로 「신에너지 및 재생에너지 개발 이용 보급 촉진법」제4조, 「에너지이용 합리화법」제36조(폐열의 이용), 「농어업 및 식품산업기본법」제8조(농어업의 구조개선과 지속가능한 발전), 「자유무역협정 체결에 따른 농어업인 등의 지원에 관한 특별법」제5조(농어업등의 경쟁력 향상을 위한 지원)의 조항과 같이 모든 분야에 에너지 비용을 줄일려는 노력이 이어지고 있다. 2008년 이후 세계 경제위기와 함께 일시적으로 국제유가가 하락세

를 보이고 있으나 점차 경제가 회복세로 돌아서면서 장기적인 유가는 지속적으로 상승할 거라고 예상하고 있다. 화석에너지 부존량 감소와 기후변화와 관련하여 탄소 배출에 대한 국제적 규제로 국내에서도 보다 효율적인 에너지원 사용방법과 개발을 위해 각종 R&D투자와 정부지원이 꾸준히 이루어지고 있다. 이와 맞물려 농업분야에서도 시설투자에 최소화하여 시설 감가상각비용을 줄여 농가부담을 줄이면서도 에너지 이용효율을 높일 수 있는 시스템 개발이 절실한 실정이다. 본 연구에서는 1차적으로 난방열 손실을 줄이기 위한 다겹보온커튼 이용효과를 구명하고, 전기사용량 대비 발열효율이 낮은 전기발열선부터 축열식 공기열히트펌프, 순환식 수막장치 등 지금까지 개발된 다양한 난방요인들에 대한 평가를 실시하였다.

#### IV. 연구개발 내용 및 범위

##### - 딸기 난방에너지절감 패키지 기술개발

딸기에서는 3가지 에너지 절감 패키지 구성에 대해 연구개발을 실시하였으며, 영광지역에서는 보온재로 마트지, 부직포, PE폼으로 구성된 다겹보온커튼을 상부개방이 가능한 넥앰피니언 구조에 접목해 권취형으로 상부에 말려 고정되어 그림자가 지는 권취식 다겹보온커튼을 상부개방형 다겹보온커튼을 적용하고 난방은 기존의 등유보일러를 전기발열선으로 교체하여 추가 보온재 없이 등유온수보일러와 수막만을 사용하는 관행온실의 에너지비용과 생육, 수량등을 조사하였다. 담양에서는 관행 수막+소형등유온풍기만을 사용하는 포장과 비교분석하였다. 이때 사용된 전기발열선의 용량은 1M당 20W전기를 소모하는 규격의 발열선을 사용하였다. 마지막으로 2차년도에 장성에서 실시한 상부개방형 다겹보온커튼+축열식 공기열히트펌프 패키지 조합은 상부개방형 다겹보온커튼은 영광과 동일한 규격으로 설치하였고, 축열식 공기열히트펌프는 20KW급 공기대물방식을 채택하여 사용하였다. 축열조의 용량은 30톤으로 설치하였다. 3차년도에는 기 설치된 「상부개방형 다겹보온커튼+축열식공기열히트펌프」 난방에너지절감 패키지에 복합환경제어장치를 설치하여 고도화 하는 연구를 실시하였으며, 복합환경제어장치를 설치를 통한 에너지절감효율 증진과 생산성 향상 정도를 측정하였다.

##### - 토마토 난방에너지절감 패키지 기술개발

토마토에서는 2가지 패키지 구성을 만들어 실험을 실시하였으며, 장성 남면에서는 권취형 다겹보온커튼과 등유온풍기를 사용하는 포장과 등유온풍기를 전기발열선으로 개선하여 설치한 2포장을 비교분석 하였으며, 함평에서는 예인식 다겹보온커튼과 비축열식(공기 대 공기방식)공기열히트펌프를 사용하는 포장과 비축열식공기열히트펌프를 축열식 히트펌프로 개선한 포장을 비교 분석하였다. 본 시험에서 사용한 전기발열선은 영광, 담양에서 사용한 전기발열선 규격과 동일한 제품을 사용하였다. 관행포장에서 사용한 비축열식 히트펌프는 일본 미쯔비시사의 R104A 냉매를 사용하는 20KW급 공기열 히트펌프이며 실험에 사용된 축열식 공기열 히트펌프는 앞서 장성에서 설치한 축열식 공기열 히트펌프를 사용하였다. 추후 모든 패키지 구성에 대한 경제성 분석을 실시하였다.

## V. 연구개발결과

담양지역에서 실시한 에너지절감 패키지 구성별 에너지 사용량 조사는 총 204일동안 추진되었으며 「순환식수막장치+전기발열선」의 전기사용량은 24,509KW, 유류사용량은 1,193리터가 사용되었다. 1일 평균 난방연료비는 총 9,328원이 소요되었으며, 관행처리구인 「수막+등유방열기」 조합의 전기사용량은 총 1,485KW, 등유는 1,196리터가 사용되어 총 난방연료비는 1일 평균 4,146원이 소요되었다. 영광에서 215일동안 실시한 「수막+등유온수보일러」 조합의 전기사용량은 1,363KW, 유류사용량은 5,909리터가 사용되어 1일평균 10a당 난방연료비 18,156원이 소요되었으며 처리구인 「상부개방형 다겹보온커튼 + 전기발열선」의 전기사용량은 215일 동안 24,080KW를 사용해 난방비용은 10a당 1일 평균 5,152원이 소요되었다.

장성 내 방울토마토 재배농가에서 실시한 에너지절감 패키지 조합별 난방연료 사용량 조사는 처리구인 「권취식 다겹보온커튼 + 전기발열선」 조합의 전기사용량은 101일동안 13,539KW를 사용해 1일평균 6,166원이 소요되었다. 대조구인 「권취식 다겹보온커튼 + 등유온풍기」의 유류사용량은 1,689리터를 사용하였다. 난방연료비는 1일평균 10,961원이 소요되었다. 함평에서 실시한 에너지절감 패키지 처리구와 대조구의 에너지 사용량은 처리구인 「예인식 다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프」 패키지의 전기사용량은 138일동안 10a당 19,197kw를 소요되었으며 대조구인 「예인식 다겹보온커튼 + 비축열식 공기열히트펌프」은 57일동안 20,306kw가 소요되었다. 이에 따른 에너지 비용은 처리구가 1일평균 6,399원 대조구는 16,387원이 소요되었다. 장성 진원 딸기농가에서 실시한 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프 + 복합환경제어장치」 패키지의 10a당 전기사용량은 138일동안 10,323kw 이었으며, 에너지비용은 1일평균 3,441원소요되었다. 「권취형 다겹보온커튼 + 수막 + 등유온수보일러」의 전기사용량은 204일동안 725L, 유류사용량은 2,155KW가 사용되어 1일평균 난방연료비는 7,030원이 소요되었다. 실험 조사된 에너지절감 패키지 구성별 1일평균 탄산가스 배출량은 「수막+등유온수보일러」이 70kg이 발생하는 것으로 계산되었으며, 담양에서 실시한 「순환식수막장치+전기발열선」이 70.7kg, 영광에서 실시한 「상부개방형 다겹보온커튼 + 전기발열선」이 52.6kg, 장성에서 실시한 「권취식 다겹보온커튼 + 전기발열선」이 63.6kg, 권취형 다겹보온커튼 + 등유온풍기가 76.0kg으로 조사되었다. 함평에서 실시한 「예인식 다겹보온커튼 + 비축열식 공기열히트펌프」는 가장 높은 167.4kg이 발생하는 것으로 조사되었다. 반면 축열식 공기열히트펌프를 사용한 경우에는 65.4kg으로 조사되었다. 장성 진원 딸기농가에서 실시한 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프 + 복합환경제어장치」는 가장 적은 35.2kg으로 탄산가스가 발생하는 것으로 조사되었다.

## VI. 연구성과 및 성과활용 계획

- 단동비닐하우스 에너지 절감 패키지 기술 농림축산식품부 정책제안 2건
  - 상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프 보급 ('16)
  - 상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프 + 복합환경제어장치 보급 ('17)
- '유리온실 냉난방 패키지기술 적용에 의한 에너지절감 및 생육개선 효과' 등 논문투고 계획
  - 2017년 하반기 농업시설환경 관련 학회 논문투고 및 학술발표 추진예정
- 넥애피니언 상부개방형 다겹보온커튼 산업체 기술정보 제공
  - 기술정보 공개 및 개발기술 기술이전 추진예정
- 농가 및 관계 공무원 교육 홍보
  - 개발 기술 보급을 위한 시군 농업기술센터 등 관계기관 교육 추진 예정

## SUMMARY

The total energy consumption of the energy saving package in Damyang area was 204 days, and the electricity consumption of 24,509KW and 1,193 liters of the circulating water filtration device and electric heating line were used. Total electricity consumption of water film + kerosene radiator was 1,485KW and 1,196 liters of kerosene was used, and total heating fuel cost was 4,146 won per day. It was conducted in glory for 215 days. Electricity consumption of “water film + kerosene hot water boiler“ was 1,363KW and oil consumption was 5,909 liters. The heating fuel cost per 10a per day was 18,156 won. The amount of electricity used for the treatment of “Top Open Type Multi - layer Insulating Curtain + Electric Heating Line“ was 24,080 KW for 215 days and the heating cost was 5,152 won per 10a per day. The amount of heating fuel used by the energy saving package combination in the blossoming tomato farmers in the wall was estimated to be 6,166 won per day using 13,539KW for 101 days for the combination of Winding type multi-layer heating curtain + electric heating line. and 1,689 liters of oil was used in the control “multi-layer heat insulating curtain + kerosene heat fan“. The average heating cost per day was 10,961 won. The electric energy consumption package of the “energy saving package“ pulling bundle heat curtain + regenerative air heat pump “package in Hampyeong took 19,197kw per 10a for 138 days. The “pull-type multi-layer insulation curtain + non-regenerative air heat pump“ took 20,306kw for 57 days. The electricity consumption per 10a of package combination of “upper open type multi-layer heat insulation curtain + regenerative air heat pump + hybrid environment control device package“ performed at Jangseon Jinwon strawberry farmhouse was 10,323kw for 138 days and energy cost was 3,441 won per day on an average. Electricity consumption of “Winding type multi-layer heating curtain + water film + kerosene hot water boiler“ was 725L for 204 days and 2,155KW for oil consumption, and the average heating fuel cost per day was 7,030 won. The average daily carbon dioxide emission was calculated as 70 kg of “water film + kerosene hot water boiler“, 70.7 kg of “circulating water membrane device + electric heating line“ carried out in Damyang, Heating line “52.6kg, the“ winding type multi-layer insulation curtain + electric heating line “carried out by Changsheng was 63.6kg, and the winding type multi-layer insulating curtain + kerosene fan was 76.0kg. It was found that 167.4kg was the highest in “Yes Recognized Multi-layer Insulating Curtain + Non-regenerative Air-to-Air Heat Pump“ conducted by Hampyeong. On the other hand, 65.4kg was used when using the regenerative air heat pump. It was found that carbon dioxide gas was generated at the smallest amount of 35.2kg in the “upper open type multi-layer insulating curtain + regenerative air heat pump + combined environment control device“ conducted by Jangseon Jinwon strawberry farmhouse.

# 제 1 장 실증과제의 개요 및 성과목표

국내에 가장 많은 비중을 차지하고 있는 단동형 비닐하우스에 접목할 수 있는 에너지절감 패키지는 많지 않은 실정이다. 본 과제의 연구개발과제의 목표는 남부지역 단동비닐하우스 겨울작형에서 활용할 수 있는 난방 에너지절감 패키지별 에너지비용 절감율을 분석하고 가장 효과적인 패키지 구성을 찾아내고 보급하여 농산물 가격 경쟁력을 확보하는데 목표를 가지고 있다. 실질적 목표는 유류난방대비 50%이상의 난방연료비 절감과 생산성 및 품질을 개선하는데 목표를 가지고 실시되었다. 남부지역은 북부지역과 달리 겨울작형동안의 외기온도 수준이 -10℃ ~ 10℃ 범위내에 있다. 그러나 공기열히트펌프도 온도가 급격히 낮아지는 야간에 직접난방을 하거나 축열하는 것은 익히 잘 알려져 있듯이 효율성이 떨어지는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 축열식 공기열히트펌프를 이용하여 온도가 상승하는 주간에 축열하여 야간에 사용하는 방법으로 에너지절감을 구현하였으며, 축열된 열은 난방용 팬코일 유니트를 이용하여 온실 내부로 열을 전달하였다. 난방기기 외 보온시설은 난방장치를 제외하고 가장 중요한 에너지절감 요소로 손꼽힌다. 가장 효율성이 높다고 알려진 다겹보온커튼을 소재로 사용하여 관행적으로 사용된 상부로 말려서 그림자를 발생시키는 권취형 다겹보온커튼을 측면으로 내려 그림자를 제거한 상부개방형 다겹보온커튼을 적용하여 시설 내 태양열 에너지 유입을 확장하고, 광합성 효율을 높이면서 생산성 향상도 기대할 수 있게 하였다. 조사결과 관행 등유온수보일러와 수막을 사용하는 포장에 비해 난방비용은 74%절감되었으며, 생산성은 7% 증가되었다. 여기에 3차년도에 개발된 에너지절감 시설에 복합환경제어기를 접목함으로써 난방연료비 절감율은 관행 대비 81%로 생산성은 관행대비 11%로 향상되는 것으로 확인되었다.

개발기술의 보급을 위해 개발기술의 경제성 분석 및 현장평가회를 개최하였으며, 농식품부 정책건의 실시하였다. 농업 에너지절감기술 관련 연구나 개발 방향은 히트펌프 등의 고효율 공조기, 시설의 보온성 향상기술, 온도관리 기술 등의 개별 기술을 중심으로 발전해 왔으며 최근 농업시설의 에너지이용효율 향상을 위해서는 해당 장치들의 효율적 사용을 위해 복합환경제어기 접목되고 있다. 본 과제의 주요연구결과는 우리나라에 가장 많이 보급된 단동형 비닐하우스에 접목할 수 있는 고효율 에너지절감기술개발을 위한 기초자료를 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## ○ 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	연구개발 내용	달성도 (%)
- 딸기 단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술개발	- 딸기 난방에너지절감 기술개발 · 설치장비 성능시험 및 생육조사	100
- 토마토 단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술개발	- 토마토 난방 에너지 절감 기술개발 · 설치장비 성능시험 및 생육조사	100
- 개발 에너지절감 패키지기술 개발 및 보급 확산	- 절감 패키지 기술 보완 및 활용방안 제시 · 경제성 분석 및 현장평가회 개최	100

## ○ 정량적 성과목표 및 실적

구 분	지식재산권		논문		학술 발표	기술 거래	교육 지도	세미나 등	현장 평가회	자료 발간	정책 활용	영농 활용	홍보
	출원	등록	SCI	비 SCI									
최종목표	-	-	-	1	2	-	3	-	3	-	1	-	3
연구기간 내 달성실적	-	-	-	-	2	-	3	-	3	-	2	3	3
달성율(%)	-	-	-	-	100	-	100	-	100	-	200	300	100

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

시설원에 재배에 있어서 유류비는 경영비의 18%에서 45% 정도로 작목에 따라 다르지만 대체로 높은 비중을 차지하고 있으며, 난방연료의 대부분을 화석연료에 의존하는 시설재배 작목의 난방비는 국제유가에 직접적인 영향을 받는다. 최근 국제유가 상승은 시설재배 농가의 경영비를 상승시켜 농가의 작목 선택과 영농에 중요한 의사결정 요인이 되고 있다. 시설채소 면적은 2015년 기준 전국 52,526ha 이며, 최근 10년간 시설원에 전체 면적이 4.6% 증가하는 동안 가온재배 면적은 30.8% 증가하는 등 꾸준한 증가세를 유지해 왔다.(MAFRA, 2015). 단동온실에는 보온을 위해 다중피복(33.8%), 보온덮개(24.6%), 수막시설(12.7%) 및 다겹보온커튼(11.0%) 등이 사용되고 있으며, 연동온실에는 부직포커튼(41.0%), 다겹보온커튼(33.2%) 및 알루미늄스크린(6.4%) 등이 사용되고 있다. 이와 같이 대부분의 온실들이 열손실을 줄이기 위한 보온시설을 갖추고 있으며, 난방을 하는 시설면적도 30.4%를 차지하고 있다(MAFRA, 2014). 우리나라는 시설원에 생산비 중 난방비가 차지하는 비중이 30~40%내외로 매우 높고 난방유류를 전량 수입에 의존하고 있어 채소류 수출의 국제 경쟁력 면에서도 크게 불리한 입장이기때문에 난방비를 절감할 수 있는 방안들이 절실히 요구되고있다(Lee et al., 2011). 시설원예의 난방에너지의 소비구조는 유류가 전체의 84.8%로 대부분을 차지하여 편향된 소비구조로 국제유가의 변동성에 취약한 구조이며, 지열을 포함한 신재생에너지의 비중은 0.88%로 미미한 수준인 반면 에너지 단가가 낮은 농사용 전력의 사용면적이 연간 20%씩 급속히 증가하고 있는 실정이다(MAFRA, 2014a, b). 최근 유가변동을 포함, 아열대 작물 등 고온성 작물재배의 확대로 지속적인 난방에너지 소비가 지속적으로 상승하고 있어 이에 대한 연구수요가 많아지고 있다.

이러한 농업여건의 변화로 환경을 보존하면서 난방비를 절감할 수 있는 가온재배 기술 도입의 필요성이 대두되고 있으며, 시설원예 농가는 2009년부터 지열히트펌프 시설을 집중적으로 설치하기 시작했다. 지열히트펌프는 농림부의 '농어업에너지이용효율화사업'의 지원대상 기종에 포함되어 '11년 현재 218ha의 시설에 보급되어 있으며, 경유온풍난방기 대비 약 78%의 난방비 절감효과가 있으나, 과도한 설치비가 보급의 걸림돌로 작용하고 있어 보급률은 전체 가온면적의 1.4%로 정체되어 있는 실정이다. 한편 대기중의 공기가 가진 열을 축열, 축냉하여 시설의 공조열원으로 사용할 수 있는 공기열원 히트펌프 역시 '12년부터 농림부의 지원대상 기종에 신규 포함되었으나, 시설의 난방부하가 최대가 되는 동절기 심야시간에 성능이 가장 낮아지는 기술상의 한계와 증발기 착상으로 인한 성능저하 등, 보급 확대를 위해 해결해야 할 기술상의 문제가 남아 있다.(권 등, 2013)

최근 우리나라의 가장 많은 면적을 차지하는 시설인 단동형 비닐하우스에 적합한 냉난방 패키지 기술 모델의 제시하고자 각 기관에서 다양한 연구를 추진하였으며, 보온재로 사용되는 다겹보온커튼의 구조, 순환식 수막장치 등과 직접적 난방열량을 공급하는 전기발열선, 축열식 히트펌프등의 난방자재를 기존의 관행 포장과 비교분석하여 경제성이 높은 패키지 기술 및 조합을 찾는 노력을 하고 있다.

# 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

## 제3절 단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술개발 II

### 1. 전남지역 단동비닐하우스 에너지 절감 패키지

#### 가. 딸기 단동비닐하우스 보조난방 효과 구명 및 모델 개발

본 연구는 담양과 영광에서 추진되었으며 담양 월산면 소재 시험 대상 온실위치는 그림1.과 같으며 「순환식수막장치+전기발열선」를 설치하여 지하수를 이용한 「수막+간이온풍기(5만 kcal/h)」를 이용하는 포장과 비교하였다. 본 패키지 기술에 사용된 순환식 수막장치는 지하에 저수 3톤규모 저수탱크를 설치하고 1중과 2중 피복필름 사이에 분무호스를 설치하여 살포된 뒤 저수탱크로 회수되는 형태로 구성되었으며, 전기발열선은 2중 셋가래 양단에 각각 10줄씩 설치하였다. 전기발열선의 전력소비량은 1m당 20W로 1동당 20KW의 전력이 소비되도록 설계되었다. 영광 딸기 재배농가도 담양과 같은 규격으로 전기발열선이 설치되고 순환식 수막장치 대신 상부개방형 다겹보온커튼을 적용하였다. 상부개방형 다겹보온커튼은 넥앤피니언 타입의 기어를 이용해 기존의 중앙으로 커튼이 말려올라가 그림자가 지는 권취식 다겹보온커튼과 달리 양 측면으로 내려오면서 그림자가 발생하지 않은 커튼이다.



그림 1. 「순환식수막장치+전기발열선」 설치장소(담양)



그림 2. 상부개방형 다겹보온커튼 + 전기발열선 설치장소(영광)





< 상부개방형다겹보온커튼 + 전기발열선 >

<PE이중피복필름 + 경유온풍기>

그림 3. 담양 소재 시험농가 처리구 및 대조구 온실



< 상부개방형다겹보온커튼 + 전기발열선 >

<이중피복필름 + 경유온풍기>

그림 4. 영광 소재 시험농가 처리구 및 대조구 온실

### 1) 1차년도 시험연구결과

#### 가) 순환식 수막장치, 전기발열선 패키지 조합

순환식 수막장치 및 전기발열선과 일반수막+방열기 시설의 내부환경은 표 1.과 같으며 지하수만 사용하는 일반수막과 저열량 방열기를 사용하는 것에 비해 에너지가 투입되는 순환식수막+전기발열선 패키지가 상대적으로 온도는 높고 상대습도는 낮은 경향을 보였다. 「순환식수막+전기발열선」의 1월 평균 야간온도는 8℃이었으며, 2월 평균 야간온도는 8.6℃이었다. 반면 일반수막의 경우 1월 평균 야간온도가 7.2℃이었으며 2월에는 8.4℃를 기록하였다.

표 1. 온실 내부 환경 변화

월	주야	순환식수막장치 + 전기발열선			수막 + 방열기		
		온도 (°C)	습도 (%)	지온 (°C)	온도 (°C)	습도 (%)	지온 (°C)
1월	주간	18.0	66.5	14.7	20.4	64.5	14.8
	야간	8.0	92.3	14.1	7.2	99.7	13.5
2월	주간	21.1	57.2	16.6	23.6	47.6	17.8
	야간	8.6	96.4	16.2	8.4	98.6	16.0
3월	주간	22.0	55.3	17.8	22.7	50.6	19.5
	야간	9.2	97.9	17.4	9.2	98.1	18.1

각 시설별 생육특성은 [표 2] 와 같이 조사되었으며 「수막+방열기」이 「순환식수막+전기발열선」에 비해 상대적으로 초장, 분지수, 엽장, 엽병 등 영양기관의 발달이 저조하였는데 초장의 경우 「수막+방열기」대조구가 31.8cm로 처리구인 「순환식수막+전기발열선」33.8cm에 비해 2cm가 짧았으며, 엽장은 0.6cm, 엽폭은 1.3cm, 관부두께는 1mm가 상대적으로 짧거나 얇았다.

표 2. 담양지역 에너지절감 패키지 처리 및 대조구의 생육특성

적용기술	초장 (cm)	분지 수 (ea/plant)	엽병 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (ea/plant)	관부두께 (mm)
순환식수막장치+ 전기발열선	33.8	1.7	21.7	12.1	19.7	9.2	21.4
수막+방열기	31.8	1.9	20.3	11.5	18.4	10.0	20.4

각 시설별 생육특성은 [표 2] 와 같이 조사되었으며 「수막+방열기」이 「순환식수막+전기발열선」에 비해 상대적으로 초장, 분지수, 엽장, 엽병 등 영양기관의 발달이 저조하였는데 초장의 경우 「수막+방열기」대조구가 31.8cm로 처리구인 「순환식수막+전기발열선」33.8cm에 비해 2cm가 짧았으며, 엽장은 0.6cm, 엽폭은 1.3cm, 관부두께는 1mm가 상대적으로 짧거나 얇았다.

표 3. 담양지역 에너지절감 패키지 처리 및 대조구의 수확과실의 특성

적용기술	과중 (g)	과장 (mm)	과폭 (mm)	가용성 고형물함량 (° Bx)	수량 (kg/10a)
순환식수막장치+ 전기발열선	23.7	50.5	35.1	12.7	1,205
수막+방열기	25.7	49.3	36.2	12.4	1,125

각 기술별 수확과 및 수량특성은 표 3과 같다. 과중의 경우 「수막+방열기」이 「순환식수막+전기발열선」에 비해 상대적으로 무거운 경향을 보였는데 「수막+방열기」이 25.7g으로 「순환식수막+전기발열선」 23.7g에 비해 약 8%가 낮은 것으로 조사되었다. 이는 적산온도 상승속도가 상대적으로 「순환식수막+전기발열선」이 빨라 과실의 성숙기간이 짧아진 이유라고 판단되었다. 각 적용기술별 가용성 고형물 함량은 통계적인 유의성을 찾을 수 없었으며, 「순환식수막+전기발열선」이 12.7° Bx로 조사되었다. 수량은 난방에너지가 투입된 「순환식수막+전기발열선」이 많았으며, 10a기준 1,205kg이 생산되었다.

표 4. 담양지역 에너지절감 패키지 처리 및 대조구의 에너지 사용량 비교

<조사기간 : 2016. 1. 15. ~ 2016. 3. 31.>

적용기술	전기 사용량 (KW/10a)	유류 사용량 (l /10a)	총 난방연료비 (원/10a)	일 난방연료비 (원/10a)	난방연료비 절감효과 (%)	총 CO <sub>2</sub> 배출량 (tCO <sub>2</sub> )	일 CO <sub>2</sub> 배출량 (kg-CO <sub>2</sub> /day)
순환식수막장치+ 전기발열선	7,241	423	608,036	8,000	- 231	4.4	58.4
수막+간이방열기	1,197	198	183,762	2,418	-	1.1	13.8

난방연료비 산정 기준 : 등유 650원/리터, 전기 43원/kw기준(기본요금 포함)

탄산가스 배출량 산정기준 : 등유 0.00244 t-CO<sub>2</sub>/L, 전기 0.00047t-CO<sub>2</sub>/kwh

각 기술별 에너지 사용량은 「순환식수막+전기발열선」 패키지가 전기 7,241kw, 유류 423.3L를 사용하여 총 608,036원 난방비용이 소요되었으며, 「수막+방열기」는 전기 1,197KW, 유류는 198L가 사용되어 183,762원 소요되었다. 탄산가스 배출량도 전기와 등유사용량이 높았던 「순환식수막+전기발열선」 조합이 4.4톤이 발생해 「수막+간이방열기」 조합에 비해 4.2배가 높았다. 1일 난방연료비는 10a당 「순환식수막+전기발열선」이 8,000원이 소비되었으며, 「수막+간이방열기」는 2,418원이 소요되었다. 1일 탄산가스 발생량은 처리구가 58kg-CO<sub>2</sub>가 발생하였으며 대조구가 13.8kg이 발생하였다. 우물용 펌프를 이용하는 수막으로 얻는 열에너지 이용으로 탄산가스 방출이 적었지만 지하수를 이용하는 방법으로 인근지역 지하수 고갈문제와 맞물려 있어 지양해야 될 방법으로 인식되고 있다.

#### 나) 상부개방형 다겹보온커튼과 전기발열선 패키지 조합

영광에서 실시한 실험온실의 시설 내부 환경은 표 3과 같으며 딸기 재배농가들이 관행적으로 사용하는 등유보일러와 패키지 기술인 「상부개방형 다겹보온커튼+전기발열선」 조합을 생육, 수량, 난방비 등을 비교하였다. 월별 시설 내부 환경조건을 살펴보면 1월 주간평균온도는 두 처리 모두 21℃ 내외를 유지하였으며, 2월에는 「상부개방형 다겹보온커튼+전기발열선」 패키

지가 8.5℃, 등유보일러가 7.4℃를 기록해 「상부개방형 다겹보온커튼+전기발열선」가 1.1℃가 높았다. 시설 내부 상대습도 또한 야간온도가 높게 유지된 「상부개방형 다겹보온커튼+전기발열선」이 2월 기준 95.8%로 등유보일러 98.3%에 비해 상대적으로 낮게 유지되는 경향을 나타냈다.

표 5. 영광지역 처리구 및 대조구의 시설 내외부 환경조건

월	구분	상부개방다겹보온커튼 + 전기발열선			등유보일러		
		온도 (℃)	습도 (%)	지온 (℃)	온도 (℃)	습도 (%)	지온 (℃)
1월	주간	21.0	63.4	16.2	21.1	68.3	16.7
	야간	8.7	92.5	14.5	7.3	98.1	14.1
2월	주간	24.1	51.1	16.4	24.0	53.9	18.7
	야간	8.5	95.8	14.3	7.4	98.3	15.5
3월	주간	24.3	47.3	17.5	23.3	49.9	19.3
	야간	9.8	95.2	15.7	9.8	97.3	17.0

시험기간 동안의 작물의 생육은 두 처리 모두 유의적인 차이가 발생하지 않았으며, 이는 시설 내부 환경조건을 난방을 통해 유사하게 관리하였기 때문이라고 판단되었다. 「상부개방형 다겹보온커튼+전기발열선」 패키지 내 생육한 딸기의 초장은 평균 26.8cm이었으며 등유보일러 처리에서 생육한 식물체는 27.8cm로 1cm가 더 컸다. 분지 수는 「상부개방형 다겹보온커튼+전기발열선」이 1.9개, 등유보일러가 1.7개 이었다. 관부두께는 「상부개방형 다겹보온커튼+전기발열선」는 14.1mm, 등유보일러 15.4mm로 조사되었다.

표 6.. 영광지역 딸기 재배온실 처리구 및 대조구 생육특성

적용기술	초장 (cm)	분지 수 (ea/plant)	엽병 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (ea/plant)	관부두께 (mm)
상부개방다겹보온커튼 + 전기발열선	26.8	1.9	17.6	9.3	15.5	10.7	14.1
등유보일러+수막	27.8	1.7	17.6	10.2	17.2	10.9	15.4

각 처리별 수확과실의 특성 및 수량은 표 7과 같으며, 과실중은 등유보일러가 17.5g, 「상부개방형 다겹보온커튼 + 전기발열선」이 16.2g으로 상대적으로 등유보일러가 1.3g이 더 무거운 경

향을 나타냈는데 이는 담양과 같이 등유보일러의 경우 시설 내 일평균 온도 저하로 인한 과실의 수확 소요일가 증가하였기 때문이라고 판단되었다.

표 7. 영광지역 딸기 재배온실 처리구 및 대조구 과실특성 및 수량

적용기술	과중 (g)	과장 (mm)	과폭 (mm)	가용성 고형물함량 (° Bx)	수량 (kg/10a)
상부개방다겹보온커튼 + 전기발열선	16.2	41.9	31.6	10.9	1,826
등유보일러+수막	17.5	43.9	32.3	11.0	1,575

「상부개방형다겹보온커튼+전기발열선」과 「등유보일러+수막」 패키지 조합의 에너지 사용량 및 탄소배출량은 표 7과 같으며 「등유보일러+수막」의 유류사용량은 1,672리터로 난방연료비로 사용된 에너지 비용은 총 1,107,086원, 탄소배출량은 4.31톤으로 조사되었다. 반면 조사기간 동안 전기사용량은 「상부개방형다겹보온커튼+전기발열선」이 8,071KW로 에너지 사용비용은 371,266원, 탄소배출량은 3.8톤으로 조사되었다. 에너지 비용은 약 66%가 감소되었으며, 탄소배출량은 12% 감소하였다. 조사기간동안 일 난방연료비는10a당 처리구가 약 6,275원이 소요되었으며, 대조구가 약 14,628원이 소요되었다. 1일 탄산가스 배출량은 처리구가 49.9kg, 대조구가 56.4kg으로 대조구에 비해 처리구가 6.5kg 감소하였다.

표 8. 영광지역 처리시설의 에너지사용량 및 탄소배출량

적용기술	전기 사용량 (KW/10a)	유류 사용량 (l/10a)	총 난방연료비 (원/10a)	일 난방연료비 (원/10a)	난방연료비 절감효과 (%)	총 CO <sub>2</sub> 배출량 (tCO <sub>2</sub> )	일 CO <sub>2</sub> 배출량 (kg-CO <sub>2</sub> /day)
상부개방다겹보온커튼 + 전기발열선	8,071	-	371,266	6,275	66.5	3.8	49.9
등유보일러+수막	441	1,672	1,107,086	14,628	-	4.1	56.4

난방연료비 산정 기준 : 등유 650원/리터, 전기 43원/kw기준(기본요금 포함)

탄산가스 배출량 산정기준 : 등유 0.00244 t-CO<sub>2</sub>/L, 전기 0.00047t-CO<sub>2</sub>/kwh

#### 나. 토마토 단동하우스 냉·난방효과 구명 및 모델개발

토마토 단동형 비닐하우스에 관한 본 연구는 장성과 함평에서 추진되었으며 장성군 소재 시험 대상 온실위치는 그림1.과 같으며 「권취식다겹보온커튼+전기발열선」를 설치하여 「권취식다겹보온커튼+등유온풍기」를 이용하는 포장과 생육 및 에너지 사용량을 비교하였다. 다겹보온커튼의 소재는 마트지2+부직포2+PE폼1으로 구성된 소재를 사용하였으며, 전기발열선의 전력



소비량은 1m당 20W로 1동당 20KW의 전력이 소비되도록 설계되었다. 재배품목 및 품종은 방울토마토로 「베타티니」를 사용하였다.

함평 소재 토마토 재배농가는 「예인식다겹보온커튼+축열식 공기열히트펌프」 패키지를 「예인식다겹보온커튼+비축열식 히트펌프」와 비교하였다. 축열식 히트펌프는 소비전력이 20KW/h 규격을 사용하였으며, 공기 대 물방식이며 냉매가스는 R407C를 사용하는 히트펌프이다. 축열탱크는 20톤 규모의 FRP 축열탱크를 온실 내부에 설치하여 실험을 수행하였다. 비축열식 히트펌프는 R410 냉매가스를 사용하는 히트펌프로 실외기와 실내기로 구성하여 실험을 실시하였다.



그림 5. 「권취식다겹보온커튼+전기발열선」 설치장소(장성)



그림 6. 전기발열선과 저압포그장치



그림 7. 「예인식 다겹보온커튼+축열식공기열히트펌프」 설치장소(함평)



그림 8. 축열식 공기열 히트펌프와 팬코일 유닛 (처리구)



그림 9. 비축열식 공기열 히트펌프와 실내기 (대조구)

가) 권취식 다겹보온커튼, 전기발열선, 저압포그장치 패키지(장성)

장성에서 실시한 「다겹보온커튼+전기발열선」과 대조군인 「다겹보온커튼+등유온풍기」의 시설 내부 환경조건은 유의적인 차이가 발생하지 않았으며, 3월 야간온도는 「다겹보온커튼+전기발열선」이 10.6℃, 「다겹보온커튼+등유온풍기」이 10.4℃로 유사하였으며, 외부온도가 상승하는 4월에는 「다겹보온커튼+전기발열선」이 11.8℃, 「다겹보온커튼+등유온풍기」이 11.9℃로 처리간의 유의적인 차이가 발생하지 않았다.

표 9. 패키지 구성별 온실 내부환경 차이 (장성, 토마토)

월	구분	다겹보온커튼 + 전기발열선			다겹보온커튼 + 등유온풍기		
		온도 (℃)	습도 (%)	지온 (℃)	온도 (℃)	습도 (%)	지온 (℃)
2월	주간	20.0	65.8	16.8	21.1	62.4	16.4
	야간	9.8	92.8	15.8	10.0	91.5	15.6
3월	주간	21.7	59.7	17.6	23.1	55.0	17.3
	야간	10.6	97.5	15.8	10.4	97.0	16.6
4월	주간	22.2	55.8	18.4	23.6	52.8	18.4
	야간	11.8	99.8	17.0	11.9	98.0	17.9

각 패키지 기술별 생육특성을 살펴보면 초장의 경우 「다겹보온커튼+전기발열선」이 206.3cm, 「다겹보온커튼+등유온풍기」이 218cm로 약 12.3cm가 상대적으로 더 길었으며 줄기 두께도 「다겹보온커튼+등유온풍기」이 13.4mm로 더 두꺼웠다. 절간장도 등유온풍기를 사용한

처리보다 전기발열선을 사용한 포장인 7.8cm로 다소 긴 경향을 나타냈다. 이는 등유온풍기에 비해 상대적으로 높은 습도의 영향을 받은 것이라 판단되었다. 반면 전체적인 영양기관의 발달은 등유온풍기를 사용한 처리가 상대적으로 우수하였다.

**표 10. 방울토마토의 에너지절감 패키지 구성별 생육특성 차이 (장성, 방울토마토)**

적용기술	초장 (cm)	줄기 두께 (mm)	절간장 (cm)	엽수 (매)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)
다겹보온커튼 + 전기발열선	206.3	13.2	7.8	26.6	34.6	28
다겹보온커튼 + 등유온풍기	218.6	13.4	7.6	28.9	33.6	26.6

「다겹보온커튼+전기발열선」 과중은 15.5g으로 「다겹보온커튼+등유온풍기」 13.1g에 비해 16%가 무거웠다. 과중이 무거울수록 과장이 더 길어지는 경향이었으며 가용성 고형물의 함량은 두 시설 간의 유의적인 차이가 발생하지 않았지만 전기발열선 처리구가 상대적으로 높은 경향을 나타냈다. 단위면적 수량은 「다겹보온커튼+전기발열선」 1,556kg/10a, 「다겹보온커튼+등유온풍기」가 1,185kg/10a로 「다겹보온커튼+전기발열선」 처리구가 약 31%가 높은 경향을 나타냈다.

**표 11. 방울토마토의 에너지절감 패키지 구성별 과실특성 차이 (장성, 방울토마토)**

처 리	과장 (mm)	과폭 (mm)	과중 (g)	가용성고형물 함량 (° Bx)	10a수량 (kg/10a)
권취식 다겹보온커튼+ 전기발열선	35.7	27.5	15.5	7.8	1,556
권취식 다겹보온커튼+ 등유온풍기	33.7	25.6	13.1	7.7	1,185

〔표 12〕는 각 시설별 유류 및 전기사용량을 나타내며, 「권취형 다겹보온커튼+전기발열선」이 전기 7,366kw를 사용해 2개월동안 338,866원을 사용한 반면 「권취형 다겹보온커튼+전기발열선」은 등유 694리터를 사용해 453,796원이 소요되어 등유보일러를 사용한 것 대비 24.4%의 에너지 비용 절감효과가 발생했다. 난방연료비 비용은 「권취형 다겹보온커튼 + 전기발열선」이 338,866원으로 451,100원을 사용한 등유온풍기에 비해 24.4%가 절감되었다. 반면 탄소 배출량은 전기발열선이 3.5톤으로 등유온풍기 1.7톤에 비해 약 2배가 많았다. 난방요구열량이 낮은 경우에는 전기를 사용하는 것이 오히려 탄산가스 배출량이 다소 높아지는 것으로 나타났다. 1일 탄산가스 배출량으로 환산할 경우 「권취형 다겹보온커튼+전기발열선」이 1일 64kg, 대조구인 「권취형 다겹보온커튼+등유온풍기」는 95.5kg이 발생하는 것으로 조사되었다.



표 12. 에너지절감 패키지 구성별 에너지 사용량 및 탄소배출량 (장성, 방울토마토)

<조사기간 : 2016. 2. 3. ~ 2016. 3. 28.>

적용기술	전기 사용량 (KW/10a)	유류 사용량 (l/10a)	총 난방연료비 (원/10a)	일 난방연료비 (원/10a)	난방연료비 절감효과 (%)	총 CO <sub>2</sub> 배출량 (tCO <sub>2</sub> )	일 CO <sub>2</sub> 배출량 (kg-CO <sub>2</sub> /day)
권취식다겹보온커튼 + 전기발열선	7,366	-	338,866	6,275	24.4	3.5	64.1
권취식다겹보온커튼 + 등유온풍기	-	694	451,100	14,628	-	1.7	95.5

난방연료비 산정 기준 : 등유 650원/리터, 전기 43원/kw기준(기본요금 포함)

탄산가스 배출량 산정기준 : 등유 0.00244 t-CO<sub>2</sub>/L, 전기 0.00047t-CO<sub>2</sub>/kwh

나. 고온기 저압포그장치 냉방장치 냉방효과

2015년 5월 14일부터 6월 21일까지 실시한 고온기 저압포그를 이용한 냉방 시 시설 내부 환경조건은 포그냉방처리구가 주간평균 온도가 26.7℃로 무처리 30.6℃에 비해 3.9℃가 낮았다. 야간의 내부온도 및 습도, 지온은 각 처리별로 유의적인 차이가 발생하지 않았다. 시설내부 주간 상대습도는 포그냉방이 49.4%로 무처리 45.7%에 비해 3.7%가 높았다.

표 13. 저압포그장치 후 시설내부 기상환경 (장성, 방울토마토)

주/야	처 리	내부온도 (℃)	내부습도 (%)	지온 (℃)	엽 수분 (INDEX)	비 고
주간	포그냉방	26.7	49.4	25.1	2.8	외부 온·습도 : 29℃, 47.3%
	무 처 리	30.6	45.7	24.7	0.5	
야간	포그냉방	19.5	71.7	23.7	9.7	외부 온·습도 : 20.6℃, 71.9%
	무 처 리	20.6	71.9	23.7	3.3	

냉방에 따른 생육특성은 포그냉방 처리의 초장은 173cm로 무처리 154cm에 비해 19cm가 더 컸으며, 총 줄기의 생체중도 133g으로 무처리 121g에 비해 약 10%가 무거웠다. 엽의 생체중도 같은 경향으로 조사되었으며, 포그냉방이 197g, 무처리가 128g으로 포그냉방을 실시한 포장의 식물체가 영양기관 생체중이 무거운 경향을 보였다.

표 14. 저압포그장치 설치에 따른 생육특성 비교 (장성, 방울토마토)

처 리	초장 (cm)	줄기 두께 (mm)	줄기무게 (g)	절간장 (cm)	엽수 (매)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽생체중 (g)	화방수 (개)
포그냉방	173	10.8	133	7.74	22.4	35.6	31.2	197	6.9
무처리	154	11.3	121	7.24	21.3	29.6	27.1	128	6.6

표 15는 저압포그장치 설치에 따른 과실 및 수량특성을 나타낸다. 각 처리별 과실 및 수량차이는 포그냉방 처리구는 평균과장이 10.6g, 무처리의 경우 9.0g으로 1.6g이 더 무거웠으며, 과장과 과폭도 포그냉방 처리구가 더 큰 경향을 보였다. 반면 가용성 고형을 함량은 포그냉방이 7.4° Bx, 무처리구가 8.3° Bx로 0.9° Bx가 상대적으로 낮아지는 것으로 조사되었다. 단위면적 수량은 포그냉방 처리구가 6,420kg/10a로 무처리 5,010kg/10a보다 28%가 상승되는 것으로 조사되었다.

표 15. 저압포그장치 설치에 따른 과실 및 수량특성 비교 (장성, 방울토마토)

처 리	과장 (mm)	과폭 (mm)	과중 (g)	가용성고형물함량 (° Bx)	수확과수 (개/주)	주당수량 (kg/주)	10a수량 (kg/10a)	백분위 (%)
포그냉방	36.5	25.6	10.6	7.4	231	4.3	6,420	128
무처리	35.4	24.7	9.0	8.3	191	3.3	5,010	100

가) 예인식 다겹보온커튼, 축열식 히트펌프 패키지 (합평)

합평에서 실시한 「다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프」 및 「다겹보온커튼 + 비축열식 공기열히트펌프」 패키지 기술의 시설 내부 환경은 [표 16] 과 같으며, 비축열식 히트펌프가 저온 하에서 열효율 저하에 따라 상대적으로 낮은 온도가 유지되었다. 1월 야간 평균온도는 「다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프」이 14.6℃, 「다겹보온커튼 + 비축열식 공기열히트펌프」 처리구가 10.6로 완숙토마토를 생산하는 적온에 접근하지 못하였다. 위와 같이 시설 내부 온도가 낮은 이유는 비축열식 히트펌프의 경우 지속적인 열 탈취로 인한 열교환기 제상시간이 길어져 열효율이 떨어진 데 기인한다고 판단되었다. 2월 및 3월에서 축열식 히트펌프에 비해 상대적으로 낮은 온도가 유지되었는데 3월에는 외부기온 상승에 따라 축열식 히트펌프 처리구 온도와의 편차가 적어지는 경향을 나타냈다.

표 16. 처리별 시설내부 환경조건 (합평, 토마토)

월	구분	예인식 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프		예인식 다겹보온커튼 + 비축열식공기열히트펌프	
		온도 (°C)	상대습도 (%)	온도 (°C)	상대습도 (%)
1월	주간	18.6	72.4	18.3	70.3
	야간	14.6	76.9	10.6	82.9
2월	주간	19.5	77.0	19.6	76.4
	야간	15.2	91.8	12.6	93.0
3월	주간	27.2	70.7	28.2	75.2
	야간	15.2	91.7	13.7	90.3

각 패키지 시설에 따른 생육특성은 [표 17] 과 같으며 초장의 경우 축열식 히트펌프 처리구가 187.4cm, 비축열식 히트펌프 사용포장이 159.3cm로 야간 저온으로 인한 생육부진이 발생하였다. 절간장, 엽장, 엽폭, 줄기두께, 엽수 모두 상대적으로 낮은 경향을 나타냈다.

**표 17. 축열식 및 비축열식 히트펌프 종류에 따른 생육특성 (합평, 토마토)**

적용기술	초장 (cm)	절간장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	줄기 두께 (cm)	엽수 (ea/plant)
예인식 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프	187.4	10.7	47.7	44.3	15.2	17.6
예인식 다겹보온커튼 + 비축열식공기열히트펌프	159.3	10.0	40.6	37.7	14.3	16.0

「다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프」의 과중은 143.1g, 「다겹보온커튼 + 비축열식 공기열히트펌프」은 135.2g으로 5.8%가 무거웠다. 「다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프」 조합이 과장 및 과폭 모두 상대적으로 큰 경향을 보였다. 가용성 고형물 함량은 유의적인 차이가 발생하지 않았다. 수량은 「다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프」 조합이 4,559kg으로 「다겹보온커튼 + 비축열식 공기열히트펌프」 3,726kg 대비 22.3%가 높았다.

**표 18. 축열식 및 비축열식 히트펌프 종류에 따른 과실특성 및 수량 (합평, 토마토)**

적용기술	과중 (g)	과장 (mm)	과폭 (mm)	가용성 고형물함량 (° Bx)	수량 (kg/10a)	수량지수 (%)
예인식 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프	143.1	49.5	69.8	5.7	4,559	122
예인식 다겹보온커튼 + 비축열식공기열히트펌프	135.2	45.4	64.0	5.9	3,726	100

[표 19] 는 각 히트펌프 시설별 전기사용량은 축열식 히트펌프가 9793kw, 비축열식 히트펌프가 20,306kw로 「다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프」 조합은 450,476원이 소요되었으며, 「다겹보온커튼 + 비축열식 공기열히트펌프」 조합은 934,071이 사용되어 약 59%의 에너지 비용 절감이 가능하였다. 1일 난방연료비로 환산하면 처리구가 10a당 약 7,903원이 소요되었으며, 비축열히트펌프를 사용한 대조구가 16,387원이 소요된 것으로 조사되었다.

표 19. 축열식 및 비축열식 히트펌프 종류에 따른 에너지 사용량 및 탄소배출량 (합평, 토마토)

<조사기간 : 2016. 1. 26. ~ 2016. 3. 23.>

적용기술	전기 사용량 (KW/10a)	유류 사용량 (l /10a)	총 난방연료비 (원/10a)	일 난방연료비 (원/10a)	난방연료비 절감효과 (%)	총 CO <sub>2</sub> 배출량 (tCO <sub>2</sub> )	일 CO <sub>2</sub> 배출량 (kg-CO <sub>2</sub> /day)
예인식 다겹보온커튼 + 축열식히트펌프	9,793	-	450,476	7,903	59	4.60	80.7
예인식 다겹보온커튼 + 비축열식히트펌프	20,306	-	934,071	16,387	-	9.54	167.4

난방연료비 산정 기준 : 등유 650원/리터, 전기 43원/kw기준(기본요금 포함)

탄산가스 배출량 산정기준 : 등유 0.00244 t-CO<sub>2</sub>/L, 전기 0.00047t-CO<sub>2</sub>/kwh

**다. 딸기 상부개방형 다겹보온커튼, 축열식 공기열히트펌프 패키지 적용효과 구명**

딸기 단동형 비닐하우스 에너지절감패키지에 관한 본 연구는 장성에서 추진되었으며 시험 대상 온실위치는 그림1.과 같으며 「상부개방형 다겹보온커튼+축열식 공기열히트펌프」를 설치하여 「권취식다겹보온커튼+등유온수보일러」를 이용하는 포장과 생육 및 에너지 사용량을 비교하였다. 상부개방형 다겹보온커튼은 넥애피니언 타입의 기어를 이용해 기존의 중앙으로 커튼이 말려올라가 그림자가 지는 권취식 다겹보온커튼과 달리 양 측면으로 내려오면서 그림자가 발생하지 않은 커튼이다. 축열식 히트펌프는 공기 대 물방식이며 냉매가스는 R407C를 사용하는 히트펌프이다. 축열탱크는 30톤 규모의 FRP 축열탱크를 온실 외부에 설치하여 연구를 수행하였다. 대조구의 등유온수보일러는 11만kcal/h용량의 온수형 보일러이며 난방시에는 팬코일유니트에 온수를 순환시키는 형태이며 각 처리에서 에너지사용량과 생육량 등을 조사하였다.



그림 10. 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프」 설치장소(장성)



그림 11. 권취형 다겹보온커튼 및 등유온수보일러 (대조구)



그림 12. 상부개방형 다겹보온커튼 및 축열식 공기열히트펌프(처리구)

장성 딸기 고설 수경재배 농가에서 실시한 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식 공기열 히트펌프」와 「권취식 다겹보온커튼 + 등유 온수보일러」 조합의 시설 내부 환경은 처리간에 유의적인 차이는 발생하지 않았다. 1월 평균 야간온도는 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식 공기열 히트펌프」이 9.5℃이었으며, 「권취식 다겹보온커튼 + 등유 온수보일러」 조합은 10.1로 다소 높았지만 온수보일러 온도설정이 1℃ 높게 설정되어 발생한 차이였다. 외부평균온도가 가장 낮았던 2월 야간 평균온도는 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식 공기열 히트펌프」이 10.5℃, 「권취식 다겹보온커튼 + 등유 온수보일러」 조합이 10.2로 처리간에 유의적인 차이가 발생하지 않았다. 시설 내부 상대습도는 온수온풍을 이용하는 등유 온수보일러 처리구가 3~4%가량 높은 경향을 나타냈다.

표 20. 처리별 시설 내부환경변화 (장성, 딸기)

월	구분	상부개방형다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프			권취식다겹보온커튼+수막 + 등유온수보일러		
		온도 (℃)	습도 (%)	배지온도 (℃)	온도 (℃)	습도 (%)	배지온도 (℃)
1월	주간	20.0	62.9	14.5	20.6	61.0	15.0
	야간	9.5	94.7	13.8	10.1	91.7	14.1
2월	주간	21.2	52.6	15.7	22.4	51.7	15.2
	야간	10.5	94.0	14.9	10.2	91.2	14.6
3월	주간	20.5	52.1	15.9	21.7	51.3	15.2
	야간	10.2	94.0	15.0	10.4	90.5	14.6

두 패키지 기술의 생육특성은 표 21과 같으며, 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식 공기열 히트펌프」 조합보다 「권취식 다겹보온커튼 + 등유 온수보일러」 조합이 다소 도장하는 경향을 나타냈는데 외부 광량이 적고 권취식 다겹보온커튼에 의한 차광효과에 기인한다고 판단되었다. 엽병의 경우 「권취식 다겹보온커튼 + 등유 온수보일러」 조합이 19.5cm로 15.7cm인 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프」에 비해 24%가 더 길어 영양생장 혹은 도장을 예측할 수 있었다.

표 21. 에너지절감 패키지 적용에 따른 생육특성 변화 (장성, 딸기)

적용기술	초장 (cm)	분지 수 (ea/plant)	엽병 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (ea/plant)	관부두께 (mm)
상부개방형다겹보온커튼 +축열식공기열히트펌프	24.1	1.9	15.7	8.7	14.3	12.0	16.0
권취식다겹보온커튼 + 수막 + 등유온수보일러	27.8	2.7	19.5	9.9	16.3	12.4	15.8

각 처리별 과 특성을 살펴보면 평균과중은 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트 펌프」 이 18.4g으로 「권취식 다겹보온커튼 + 등유 온수보일러」 조합 17.5g에 비해 다소 높은 경향을 나타냈으며, 딸기의 품질을 좌우하는 가용성 고형물 함량은 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프」 조합이 9.2° Bx로 대조구 8.5° Bx에 비해 약 8%가 향상되었다. 단위 면적당 수량은 처리구가 4,527kg/10a로 대조구 4,231kg에 대비하여 약 7%가 향상되었다.

**표 22. 에너지절감 패키지 적용에 따른 과실특성 및 수량 (장성, 딸기)**

적용기술	과중 (g)	과장 (mm)	과폭 (mm)	가용성 고형물함량 (° Bx)	수량 (kg/10a)	수량지수 (%)
상부개방형다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프	18.4	42.1	32.8	9.2	4,527	107
권취식다겹보온커튼 + 수막 + 등유온수보일러	17.5	41.2	32.7	8.5	4,231	100

에너지절감 패키지 기술 적용에 따른 에너지 사용량 및 탄소배출량은 표 22와 같으며 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식 공기열 히트펌프」의 에너지 비용은 총 전기사용량이 5,966kw로 290,004원이 사용된 반면 「상부개방형 다겹보온커튼 + 수막 + 등유온수보일러」 조합은 유류 779리터를 사용해 총 506,294원의 에너지 비용이 사용되었다.

「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식 공기열 히트펌프」의 에너지 절감율은 권취식 다겹보온커튼 + 등유 온수보일러」 조합에 비해 43.6%가 절감되었으며, 관행 등유온수보일러를 단독으로 사용하는 온실에 비해서는 약 74%가 절감되었다. 탄소배출량은 처리구가 2.8톤 대조구가 1.9톤으로 조사되었다. 총 조사기간동안 일 난방연료비는 10a당 처리구인 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식 공기열 히트펌프」가 4,158원이 소요되었으며, 대조구인 「상부개방형 다겹보온커튼 + 수막 + 등유온수보일러」는 8,066원이 소요되었다. 관행 난방구성인 수막+등유온수보일러를 사용하는 영광의 경우 1일 난방연료비가 14,567원이 소요되었다.

**표 23. 에너지절감 패키지 적용에 따른 에너지 사용량 및 탄소배출량 (장성, 딸기)**

<조사기간 : 2016. 1. 25. ~ 2016. 3. 31.>

적용기술	전기 사용량 (KW/10a)	유류 사용량 ( l /10a)	총 난방연료비 (원/10a)	일 난방연료비 (원/10a)	난방연료비 절감효과 (%)	총 CO <sub>2</sub> 배출량 (tCO <sub>2</sub> )	일 CO <sub>2</sub> 배출량 (kg-CO <sub>2</sub> /day)
상부개방형다겹보온 + 축열식공기열히트 펌프	5,966	-	274,436	4,158	48.4(A대비) 75.2(B대비)	2.8	42.5
권취식다겹보온커튼 + 수막 + 등유온수보일러(A)	565	779	532,340	8,066	51.9(B대비)	2.2	32.8
수막 + 등유보일러(B,영광)	441	1,672	1,107,086	14,567	-	4.3	56.4

난방연료비 산정 기준 : 등유 650원/리터, 전기 43원/kw기준(기본요금 포함)

탄산가스 배출량 산정기준(IPCC) : 등유 0.00244 t-CO<sub>2</sub>/L, 전기 0.00047t-CO<sub>2</sub>/kwh



## 1) 3차년도 주요연구결과

### 가. 딸기 단동비닐하우스 보조난방 효과 구명 및 모델 개발

본 연구는 담양과 영광에서 추진되었으며 2차년도에 이어 3차년도 또한 동일한 방법으로 조사 실시하였다. 담양 월산면 소재 시험온실은 「순환식수막장치+전기발열선」를 설치하여 지하수를 이용한 「수막+간이온풍기(5만kcal/h)」를 이용하는 포장과 비교하였다. 본 패키지 기술에 사용된 순환식 수막장치는 지하에 저수 3톤규모 저수탱크를 매설하여 1중과 2중 피복필름 사이에 분무호스를 설치하여 살포된 뒤 저수탱크로 회수되는 형태로 구성되었으며, 전기발열선은 2중 셋가래 양단에 각각 10줄씩 설치하였다. 전기발열선의 전력소비량은 1m당 20W로 1동당 20KW의 전력이 소비되도록 설계되었다. 영광 딸기 재배농가도 담양과 같은 규격으로 전기발열선이 설치되고 순환식 수막장치 대신 상부개방형 다겹보온커튼을 적용하였다. 상부개방형 다겹보온커튼은 넥앤피니언 타입의 기어를 이용해 기존의 중앙으로 커튼이 말려올라가 그림자가 지는 권취식 다겹보온커튼과 달리 양 측면으로 내려오면서 그림자가 발생하지 않은 커튼이다.

#### 1) 순환식 수막장치 + 전기 발열선 (담양)

표 24은 실험이 진행된 담양지역의 외부기온은 1월 최저 -7.9℃이 가장 낮은 온도였으며, 가장 높은 온도는 4월 30℃가 가장 높은 온도로 나타났다. 각 처리별 시설내부온도는 「순환식 수막장치+전기발열선」 패키지는 12월부터 4월까지 평균 12 ~ 18℃이었으며, 「수막+간이방열기」는 13 ~ 18℃로 유사하였다. 지온도 모든 처리가 14 ~ 21℃ 범위로 유사하게 유지되었다.



표 24. 에너지절감 패키지 구성별 시설 내 환경조건 (담양, 딸기)

월	구분	외부 기온 (°C)	순환식수막장치 + 전기발			수막 + 방열기		
			온도 (°C)	습도 (%)	지온 (°C)	온도 (°C)	습도 (%)	지온 (°C)
12월	최저	-7.6	4.60	14.7	10.0	4.80	16.4	10.1
	최고	17.3	29.9	97.5	20.3	30.9	99.0	21.3
	평균	2.8	12.0	78.1	14.3	13.1	79.8	14.6
1월	최저	-10.7	4.50	19.0	9.7	4.80	23.6	9.8
	최고	16.6	33.5	95.7	20.1	35.3	97.9	20.4
	평균	2.0	12.2	78.0	14.3	13.1	81.7	14.5
2월	최저	-5.3	5.00	20.5	10.4	5.20	22.2	11.4
	최고	15.7	31.9	97.2	19.9	32.5	99.0	20.9
	평균	2.9	13.0	77.5	15.2	14.1	79.7	15.5
3월	최저	-2.4	5.90	16.0	11.9	5.50	18.2	12.9
	최고	20.6	30.3	97.3	21.6	34.0	98.9	22.6
	평균	7.4	14.1	75.0	16.0	15.1	76.2	17.0
4월	최저	3.5	6.70	16.8	15.6	6.30	16.8	14.6
	최고	30.4	38.9	96.9	29.1	41.6	97.8	28.0
	평균	15.1	18.0	70.2	21.2	18.9	70.3	20.7

담양에서 실시한 에너지절감 패키지 구성별 생육특성은 표 25와 같으며 초장은 처리구인 「순환식수막장치+전기발열선」이 35.9cm, 대조구인 「수막+방열기」가 34.8cm로 조사되었으며, 분지수는 처리구가 1.5개, 대조구가 1.9개로 조사되었다. 주당 엽수는 처리구가 6.6개, 대조구가 9.7개로 대조구가 상대적으로 높게 유지되었다. 반면 관부의 두께는 처리구인 「순환식수막장치+전기발열선」가 20.8mm로 대조구인 「수막+방열기」 18.7mm보다 11.2%가 높은 것으로 조사되었다.

표 25. 에너지절감 패키지별 생육특성 (담양, 딸기)

적용기술	초장 (cm)	분지 수 (ea/plant)	엽병 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (ea/plant)	관부두께 (mm)
순환식수막장치+ 전기발열선	35.9	1.5	22.4	13.4	22.4	6.6	20.8
수막+방열기(관행)	34.8	1.9	22.2	12.6	21.0	9.7	18.7

〔표 26〕는 에너지절감 패키지 구성별 과실 및 수량특성을 나타낸다. 과중은 「순환식수막장치+전기발열선」이 24.9g, 「수막+방열기」이 24.8g으로 유사하게 조사되었으며, 과장, 과폭 모두 유사한 경향을 나타냈다. 가용성 고형물 함량은 처리구가 12.9° Bx, 대조구가 13.9° Bx로 대조구가 상대적으로 높은 경향을 나타냈지만, 통계적인 유의성을 나타내지는 않았다. 상품수량은 처리구인 「순환식수막장치+전기발열선」이 3,455kg/10a로 대조구인 「수막+방열기」 3,116kg/10a보다 11% 가량 높게 조사되었다.

**표 26. 에너지절감 패키지별 과실 및 수량특성 (담양, 딸기)**

적용기술	과중 (g)	과장 (mm)	과폭 (mm)	가용성 고형물함량 (° Bx)	상품과율 (%)	상품수량 (kg/10a)	수량지수
순환식수막장치+ 전기발열선	24.9	49.6	35.9	12.9	91.8	3,455	111
수막+방열기(관행)	24.8	50.2	36.1	13.9	92.8	3,116	100

담양지역에서 실시한 에너지절감 패키지 구성별 에너지 사용량 및 탄소배출량은 [표 27] 과 같으며 「순환식수막장치+전기발열선」의 전기사용량은 17,268KW, 유류사용량은 770리터로 난방연료비는 총 661,948원이 소요되었으며, 관행처리구인 「수막+간이방열기」 조합의 전기사용량은 총 998KW, 유류는 288리터로 총 난방연료비는 661,948원으로 조사되었다. 동일기간 영광에서 실시한 「수막+등유온수보일러」 조합의 전기사용량은 922KW, 유류사용량은 4,237리터로 총 난방연료비 2,796,462원이 소요되었는데 「순환식수막장치+전기발열선」은 영광 관행구대비 56%가 절감되었으며, 「수막+방열기」는 76%가 절감되었다. 탄산가스 배출량은 「순환식수막장치+전기발열선」가 영광 처리구 대비 0.9톤이 절감되었다.

**표 27. 에너지절감 패키지별 에너지 사용량 및 탄소배출량 (담양, 딸기)**

<조사기간 : 2016. 11. 25. ~ 2017. 4. 2.>

적용기술	전기 사용량 (KW/10a)	유류 사용량 (l /10a)	총 난방연료비 (원/10a)	일 난방연료비 (원/10a)	난방연료비 절감효과 (%)	총 CO <sub>2</sub> 배출량 (tCO <sub>2</sub> )	일 CO <sub>2</sub> 배출량 (kg·CO <sub>2</sub> /day)
순환식수막장치+ 전기발열선(T)	17,268	770	1,294,828	10,116	56	9.9	78.1
수막+방열기(C)	998	288	661,948	5,171	76	2.6	20.1
수막+등유보일러 (영광)	922	4,237	2,796,462	20,118	-	10.8	77.5

난방연료비 산정 기준 : 등유 650원/리터, 전기 43원/kw기준(기본요금 포함)

탄산가스 배출량 산정기준(IPCC) : 등유 0.00244 t-CO<sub>2</sub>/L, 전기 0.00047t-CO<sub>2</sub>/kwh

## 2) 상부개방 다겹보온커튼 + 전기발열선 (영광)

영광에서 실시한 에너지절감 패키지 조합은 「상부개방형 다겹보온커튼 + 전기발열선」 조합이며 대조군으로 팬코일유니트를 이용해 난방을 하는 「등유온수보일러+수막」와 비교하였다. [표 28]은 패키지 조합별 시설 내부 환경조건을 나타내고 있다. 「상부개방형 다겹보온커튼 + 전기발열선」의 내부온도는 시험기간동안 최저온도 5.5, 최고온도 39.0℃로 나타났으며 12월부터 4월까지 일평균온도는 13.4℃에서 15.6℃를 수준에서 관리되었으며, 「등유보일러+수막」

는 최저 4.7℃, 최고 40.9℃로 처리구에 비해 다소 온도편차가 크게 나타났으며, 일평균온도는 13.4℃에서 17.2℃ 범위에서 관리되었는데 처리구의 경우 다겹보온커튼을 난방에 이용하면서 내부 온도편차의 범위가 다소 적어졌다고 판단된다. 지온은 「상부개방형 다겹보온커튼 + 전기 발열선」 상부개방형 다겹보온커튼을 사용한 처리구가 평균 14.5℃에서 16.4℃를 나타낸 반면 대조구는 12.5℃에서 13.4℃로 다소 낮은 경향을 보였다.

표 28. 에너지절감 패키지별 시설 내부 환경조건 (영광, 딸기)

월	구분	상부개방다겹보온커튼 + 전기발열선			등유보일러+수막		
		온도 (℃)	습도 (%)	지온 (℃)	온도 (℃)	습도 (%)	지온 (℃)
12월	최저	7.5	33.0	12.3	6.30	40.0	9.00
	최고	40.2	96.7	17.9	37.8	79.4	20.7
	평균	15.6	79.4	14.5	13.8	69.7	12.5
1월	최저	5.5	26.9	10.0	4.70	36.2	8.50
	최고	39.0	97.5	17.7	40.9	79.3	18.1
	평균	13.4	81.7	13.6	13.2	69.7	12.6
2월	최저	6.0	22.9	10.4	4.90	26.2	8.50
	최고	38.5	97.1	17.8	39.8	79.8	19.4
	평균	13.7	78.0	14.0	13.4	67.8	12.7
3월	최저	5.1	17.4	10.0	3.90	20.1	8.50
	최고	36.8	98.2	18.5	39.3	80.0	18.8
	평균	14.2	71.2	14.6	14.4	63.1	13.4
4월	최저	6.4	38.2	13.5	5.00	18.0	9.70
	최고	29.6	96.2	19.3	42.7	80.6	19.8
	평균	14.2	81.0	16.4	17.2	61.6	16.6

영광지역 에너지절감 패키지 구성별 생육특성은 [표 29] 과 같으며 초장은 「상부개방형 다겹 보온커튼 + 전기발열선」가 31.7cm, 「수막 + 등유온수보일러」가 22.4cm 이었으며, 분지수는 처리구가 2.7개, 대조구가 2.4로 처리구가 0.3개 많았다. 엽장과 엽폭은 상호 비슷한 경향을 보였으며, 엽수는 처리구가 15.8개 대조구가 16.1개로 조사되었다. 관부두께도 처리구가 19.8mm, 대조구가 18.7mm로 조사되었다. 생육특성 지표에서는 대부분 「상부개방형 다겹보온커튼 + 전기발열선」이 생육이 더 우수한 경향을 보였다.

표 29. 에너지절감 패키지별 생육특성 (영광, 딸기)

적용기술	초장 (cm)	분지 수 (ea/plant)	엽병 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (ea/plant)	관부두께 (mm)
상부개방다겹보온커튼 + 전기발열선	31.7	2.7	20.0	11.6	19.9	15.8	19.8
수막+등유온수보일러	22.4	2.4	19.6	11.5	19.5	16.1	18.7

〔표 30〕는 영광지역에 적용한 에너지절감 패키지별 과실특성 및 수확특성을 나타내었다. 「상부개방형 다겹보온커튼 + 전기발열선」의 과중은 23.5g으로 대조구인 「수막 + 등유온수보일러」보다 0.7g이 더 무거웠다. 과장 및 과폭 과중과 비슷한 경향을 보였으며, 가용성 고형물 함량은 처리구가 9.6° Bx로 대조구 9.4° Bx보다 0.2° Bx가 높은 경향을 보였다. 상품과율은 처리구가 89.0%로 대조구인 「수막 + 등유온수보일러」 82.3%보다 6.7%가 높았다.

표 30. 에너지절감 패키지별 수확특성 (영광, 딸기)

적용기술	과중 (g)	과장 (mm)	과폭 (mm)	가용성 고형물 함 량 (° Bx)	상품과율 (%)	수량 (kg/10a)	수량지수 (%)
상부개방다겹보온커튼 + 전기발열선	23.5	45.9	35.7	9.6	89.0	4,412	117
수막 + 등유보일러	22.8	42.4	35.2	9.4	82.3	3,780	100

〔표 31〕은 에너지 절감 패키지별 에너지 사용량 및 탄산가스 배출량을 나타낸 표이다. 「상부개방형 다겹보온커튼 + 전기발열선」의 전기사용량은 16,009KW로 난방비용은 10a당 736,407원이었으며 탄산가스 배출량은 7.5톤으로 조사되었다. 「수막 + 등유온수보일러」의 전기사용량은 922KW, 유류사용량은 4237리터로 총 난방연료비용은 2,796,462원으로 조사되었다. 1일 난방연료비는 처리구인 「상부개방형 다겹보온커튼 + 전기발열선」이 약 5,298원이 소요되었으며, 대조구인 수막+등유온수보일러가 약 20,118원이 소요되었다.

표 31. 에너지절감 패키지별 에너지 사용량 및 탄산가스 배출량 (영광, 딸기)

<조사기간 : 2016. 11. 15. ~ 2017. 4. 3.>

적용기술	전기 사용량 (KW/10a)	유류 사용량 (l/10a)	총 난방연료비 (원/10a)	일 난방연료비 (원/10a)	난방연료비 절감효과 (%)	총 CO <sub>2</sub> 배출량 (tCO <sub>2</sub> )	일 CO <sub>2</sub> 배출량 (kg-CO <sub>2</sub> /day)
상부개방다겹보온 + 전기발열선	16,009	-	736,407	5,298	73.7	7.5	54.1
수막 + 등유온수보일러 (관행)	922	4,237	2,796,462	20,118	-	10.8	77.5

난방연료비 산정 기준 : 등유 650원/리터, 전기 43원/kw기준(기본요금 포함)

탄산가스 배출량 산정기준 : 등유 0.00244 t-CO<sub>2</sub>/L, 전기 0.00047t-CO<sub>2</sub>/kwh

가. 토마토 단동 하우스 냉·난방 효과 구명 및 모델개발

1) 권취식 다겹보온커튼 + 전기발열선 난방비용 절감효과

실험기간 동안 장성지역에 월별 기상변화는 [표 32] 과 같다. 1월의 최저기온은 -10.1℃로 가장 낮았으며 최고온도는 3월 22℃로 가장 높았다. 1월 평균기온은 0.7℃ 2월 평균기온은 1.8℃, 3월 평균기온은 5.6℃로 가장 높았다. 처리구인 「권취식 다겹보온커튼 + 전기발열선」의 내부온도는 2월 7.5℃가 가장 낮았으며, 최고온도는 45℃까지 상승하였다. 반면 「권취식 다겹보온커튼 + 등유온풍기」의 최저온도는 12월 6.1℃로 가장 낮았으며, 3월 최저온도는 8.9℃로 가장 높았다. 실험기간동안 시설내부 지온은 「권취식 다겹보온커튼 + 전기발열선」은 일평균 15.6 ~ 18.9℃에서 유지되었으며, 「권취식 다겹보온커튼 + 등유온풍기」가 15.3 ~ 20.2℃로 유지되는 경향을 보였다.

표 32. 에너지절감 패키지별 시설내부 환경변화 (장성, 방울토마토)

월	구분	외부온도 (℃)	다겹보온커튼 + 전기발열선			다겹보온커튼 + 등유온풍기		
			온도 (℃)	습도 (%)	지온 (℃)	온도 (℃)	습도 (%)	지온 (℃)
12월	최저	-7.3	7.5	16.1	12.2	6.1	20.5	12.7
	최고	17.8	41.4	95.9	20.8	37.9	99.8	19.3
	평균	3.1	14.8	81.0	15.6	14.2	83.4	15.3
1월	최저	-10.1	8.0	10.4	10.3	7.1	16.1	10.2
	최고	16.5	45.7	94.7	20.4	44.9	99.1	19.4
	평균	0.7	13.6	76.4	14.2	14.8	80.0	14.1
2월	최저	-7.8	7.5	7.3	10.9	7.3	10.1	10.4
	최고	16.4	38.3	94.9	19.1	35.4	98.2	17.4
	평균	1.8	12.5	75.9	13.5	14.7	79.8	13.5
3월	최저	-6.4	8.6	16.5	14.6	8.9	16.8	15.7
	최고	22.3	34.9	92.6	23.3	37.2	95.4	25.8
	평균	5.6	19.1	67.3	18.9	19.4	67.7	20.2

〔표 33〕는 토마토 에너지절감 패키지 구성별 생육특성을 나타내는 표이다. 「권취식 다겹보온커튼 + 전기발열선」의 초장은 194.2cm로 「권취식 다겹보온커튼 + 등유온풍기」 200.1cm보다 약 5.9cm가 작았다. 줄기두께는 처리구 10.1mm, 대조구 10.2mm로 유사하였으며, 절간장은 대조구가 7.0cm로 0.3cm 길었다. 엽수는 처리구 29.2매, 대조구 28.5매이며, 엽장과 엽폭 다른 영양기관의 경향과 같이 대조구가 더 긴 경향을 나타냈다.

표 33. 에너지절감 패키지별 생육특성 (장성, 방울토마토)

적용기술	초장 (cm)	줄기 두께 (mm)	절간장 (cm)	엽수 (매)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)
권취식 다겹보온커튼 + 전기발열선	194.2	10.1	6.7	29.2	38.4	31.6
권취식 다겹보온커튼 + 등유온풍기(관행)	200.1	10.2	7.0	28.5	40.9	32.7

장성지역에 실시한 에너지절감 패키지 기술별 과실 및 수량특성은 〔표 34〕과 같으며, 평균 과중은 「권취식 다겹보온커튼 + 전기발열선」 조합이 12.4g, 「권취식 다겹보온커튼 + 등유온풍기」이 12.0g으로 0.4g 가벼웠으며, 가용성 고형물 함량은 처리구가 6.7° Bx, 대조구가 6.6° Bx로 유의적인 차이가 발생하지 않았다. 상품과율은 대조구가 96.2%, 처리구가 97.9% 처리구가 대조구에 비해 1.7%가 높았다. 상품수량은 처리구가 10a당 1,434kg으로 대조구 1,367kg보다 높았다.

표 34. 에너지절감 패키지별 과실 및 수량특성 (장성, 방울토마토)

적용기술	과장 (mm)	과폭 (mm)	과중 (g)	가용성 고형물 함량 (° Bx)	상품과율 (%)	상품수량 (kg/10a)	수량지수 (%)
권취식 다겹보온커튼 + 전기발열선	33.6	25.1	12.4	6.7	97.9	1,434	104
권취식 다겹보온커튼 + 등유온풍기(관행)	32.4	24.9	12.0	6.6	96.2	1,367	100

〔표 35〕는 장성 방울토마토 재배농가에서 실시한 에너지절감 패키지 조합별 난방연료 사용량 및 탄소 배출량을 나타낸 표이다. 처리구인 「권취식 다겹보온커튼 + 전기발열선」 조합의 전기사용량은 6,173KW이었으며, 대조구인 「권취식 다겹보온커튼 + 등유온풍기」의 유류사용량은 995리터를 사용하였다. 난방연료비는 처리구가 283,958원, 대조구는 655,950원이 소요되었다. 예상되는 탄산가스 배출량은 처리구인 「권취식 다겹보온커튼 + 전기발열선」 조합이 2.9톤,

대조구인 「권취식 다겹보온커튼 + 등유온풍기」가 2.5톤으로 오히려 전기발열선을 사용한 처리구가 0.4톤이 더 소모되었다.

표 35. 에너지절감 패키지별 에너지 사용량 및 탄소 배출량 (장성, 방울토마토)

<조사기간 : 2016. 11. 22. ~ 2017. 1. 8.>

적용기술	전기 사용량 (KW/10a)	유류 사용량 ( l /10a)	총 난방연료비 (원/10a)	일 난방연료비 (원/10a)	난방연료비 절감효과 (%)	총 CO <sub>2</sub> 배출량 (tCO <sub>2</sub> )	일 CO <sub>2</sub> 배출량 (kg-CO <sub>2</sub> /day)
권취식 다겹보온커튼 + 전기발열선	6,173	0	283,958	6,042	56.7	2.9	61.7
권취식 다겹보온커튼 + 등유온풍기(관행)	200	995	655,950	13,956		2.5	53.7

난방연료비 산정 기준 : 등유 650원/리터, 전기 43원/kw기준(기본요금 포함)

탄산가스 배출량 산정기준 : 등유 0.00244 t-CO<sub>2</sub>/L, 전기 0.00047t-CO<sub>2</sub>/kwh

## 2) 다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프 (합평)

실험기간 동안 합평지역의 월별 기상변화는 [표 36] 과 같다. 1월의 최저기온은 -10.1℃로 가장 낮았으며 최고온도는 32.2℃로 나타났다. 12월 평균기온은 3.1℃, 1월 평균기온은 0.7℃ 2월 평균기온은 1.8℃, 3월 평균기온은 5.6℃로 가장 높았다. 처리구인 「예인식 다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프」의 시설 내부온도는 2월 10.0℃가 가장 온도로 조사되었으며, 3월에 최고온도는 37℃까지 상승하였다. 반면 「예인식 다겹보온커튼+전기발열선+방열기」 관행구의 시설 내 최저온도는 4월 2.5℃로 가장 낮았으며, 3월 최저온도는 8.9℃로 가장 높았다. 실험기간동안 시설내부 지온은 「예인식 다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프」가 일평균 15.3 ~ 19.4℃에서 유지되었으며, 「예인식 다겹보온커튼+전기발열선+방열관」이 15.5 ~ 19.9℃로 유지되는 경향을 보였다. 시설 내 상대습도는 처리구가 외부온도 및 일사량이 높은 3월에 18%로 가장 낮은 습도를 기록하였으며, 외부온도가 낮고 일조량이 적은 1월에 평균 87.5%로 가장 낮은 경향을 보였다. 반면 관행구는 시설 내 온도관리가 미흡하여 주간에 높은 온도로 상승하는 경향이 높아 3월에 10.4%로 가장 낮은 습도를 기록하였으며, 온도 및 일조량이 높은 4월로 갈수록 평균 상대습도가 낮아지는 경향을 보였다. 지온 역시 시설 내부온도의 영향을 받아 움직이는 경향을 나타냈으며, 처리구가 일 평균 11.7 ~ 18.8℃로 유지되었으며, 관행구인 「예인식 다겹보온커튼+전기발열선+방열관」은 10.1 ~ 18.8℃로 처리구와 유사한 경향을 나타냈다.

표 36. 에너지절감 패키지별 시설 내부 환경 (함평, 토마토)

월	구분	외부 온도 (°C)	예인식 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프			예인식 다겹보온커튼 + 전기발열선+방열기		
			온도 (°C)	습도 (%)	지온 (°C)	온도 (°C)	습도 (%)	지온 (°C)
12월	최저	-7.3	9.20	37.7	12.4	9.10	30.9	11.0
	최고	17.8	36.0	99.2	17.9	39.1	97.3	19.5
	평균	3.1	16.7	83.6	14.4	15.6	87.7	14.4
1월	최저	-10.1	10.7	36.8	11.7	10.0	26.6	11.6
	최고	16.5	37.0	98.8	16.8	38.3	98.2	19.5
	평균	0.7	15.3	87.5	14.2	15.5	85.3	14.4
2월	최저	-7.8	10.0	26.6	11.8	8.60	24.4	12.7
	최고	16.4	37.4	99.0	19.0	41.6	94.6	19.7
	평균	1.8	16.2	82.3	15.0	16.4	79.3	15.2
3월	최저	-6.4	10.5	18.0	13.7	7.10	10.4	10.1
	최고	22.3	34.4	97.6	24.4	39.7	94.7	20.1
	평균	5.6	18.9	78.2	17.5	18.6	70.9	16.9
4월	최저	-2.0	10.2	18.0	13.6	2.50	5.1	15.0
	최고	32.2	34.5	98.5	26.4	39.3	91.8	25.2
	평균	12.6	19.4	75.7	18.8	19.9	60.2	18.8

[표 37] 은 적용된 에너지절감 패키지 시설 및 관행처리구의 주요생육특성을 나타낸다. 처리구인 「예인식 다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프」가 설치된 포장의 토마토의 초장은 최종 242cm 이었으며, 「예인식 다겹보온커튼+전기발열선+방열관」은 198cm로 처리구가 약 44cm 더 길었다. 절간장은 처리구가 7.6cm, 관행구가 7.1cm이었다. 엽장은 처리구가 44.7mm, 관행구가 36.2mm이었다. 엽폭은 처리구가 47.4mm, 관행구가 36.3mm로 11.1mm가 더 넓은 경향을 나타냈다. 줄기두께는 처리구와 관행구 모두 11.0mm로 동일하였다. 엽수는 처리구인 「예인식 다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프」이 32.7개, 관행구가 28.1개로 처리구가 4.6개 더 많은 경향을 나타냈다.



표 37. 에너지절감 패키지별 생육특성 (함평, 토마토)

적용기술	초장 (cm)	절간장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	줄기 두께 (cm)	엽수 (ea/plant)
예인식 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프	242	7.6	44.7	47.4	11.0	32.7
예인식 다겹보온커튼 + 전기발열선+방열판	198	7.1	36.2	36.3	11.0	28.1

적용된 패키지 및 관행처리구의 과실특성은 [표 38] 과 같다. 과중은 처리구인 「예인식 다겹보온커튼+전기발열선+방열판」이 155g, 대조구인 「예인식 다겹보온커튼+전기발열선+방열판」이 141g으로 9.9%가 높았다. 과장은 처리구가 52.5mm, 대조구가 51.8mm로 조사되었다. 과폭은 처리구가 70.1mm, 대조구가 68.6mm이었다. 가용성 고형물 함량은 처리구인 「예인식 다겹보온커튼+전기발열선+방열판」가 5.8° Bx, 대조구인 「예인식 다겹보온커튼+전기발열선+방열판」가 5.5° Bx로 0.3° Bx 높았다. 상품과율은 처리구가 98.4%, 대조구가 95.6%로 처리구가 2.8%가 높았다. 단위면적 수량은 처리구가 10a당 4,929kg 대조구가 4,368kg으로 대조구에 비해 12.8%가 증수되었다.

표 38. 에너지절감 패키지별 과실 및 수량특성 (함평, 토마토)

적용기술	과중 (g)	과장 (mm)	과폭 (mm)	가용성 고형물함량 (° Bx)	상품과율 (%)	수량 (kg/10a)	수량지수 (%)
예인식 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프	155	52.2	70.1	5.8	98.4	4,929	113
예인식 다겹보온커튼 + 전기발열선+방열판	141	51.8	68.6	5.5	95.6	4,368	100

함평에서 실시한 에너지절감 패키지 처리구와 대조구의 에너지 사용량 및 탄소배출량은 [표 39] 와 같으며 처리구인 「예인식 다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프」 패키지의 전기사용량은 10a당 9,404kw를 사용하였으며 대조구인 「예인식 다겹보온커튼+전기발열선+방열판」은 16,146kw가 소요되었다. 이에 따른 에너지 비용은 처리구가 432,584원 대조구는 742,716원으로 난방연료비 비용은 약 42%가 절감되었다. 전기 사용량에 따른 탄산가스 배출량은 대조구인 「예인식 다겹보온커튼+전기발열선+방열판」가 7.6톤으로 처리구 4.4톤보다 3.2톤이 더 배출되었다. 1일평균 난방연료비는 처리구가 10a당 5,341원이었으며, 대조구가 9,169원이었다. 1일 탄산가스 배출량은 처리구가 54.6kg, 대조구가 93.7kg으로 조사되었다.

표 39. 에너지절감 패키지별 에너지 사용량 및 탄소배출량 (합평, 토마토)

<조사기간 : 2016. 12. 06. ~ 2017. 2. 25.>

적용기술	전기사용량 (KW/10a)	에너지비용 (원/10a)	일 난방연료비 (원/10a)	난방연료비 절감효과 (%)	총 CO <sub>2</sub> 배출량 (tCO <sub>2</sub> )	일 CO <sub>2</sub> 배출량 (kg-CO <sub>2</sub> /day)
예인식 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프	9,404	432,584	5,341	41.8	4.4	54.6
예인식 다겹보온커튼 + 전기발열선+방열판	16,146	742,716	9,169	-	7.6	93.7

난방연료비 산정 기준 : 등유 650원/리터, 전기 43원/kw기준(기본요금 포함)

탄산가스 배출량 산정기준 : 등유 0.00244 t-CO<sub>2</sub>/L, 전기 0.00047t-CO<sub>2</sub>/kwh

#### 다. 딸기 단동비닐하우스 난방 패키지기술 에너지 절감효과 및 생산성 구명

장성에서 실시한 딸기 단동비닐하우스에 접목한 에너지절감 패키지 기술은 「상부개방형 다겹 보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프 + 복합환경제어기」이다. 이 패키지는 2차년도에 설치한 상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프 조합에 에너지 효율을 높이고 시설 내부 환경조건을 개선하는데 사용할 수 있는 복합환경제어기를 추가한 조합이다. 딸기를 재배하는 단동비닐하우스의 단열재로 사용되는 보온커튼 일반적으로 다겹보온커튼을 사용한다. 다겹보온커튼의 작동은 일반적으로 2중 혹은 3중 아치형 파이프에 중심으로 말려 올라가는 형태로 작동한다. 낮 동안 중앙에 위치하기 때문에 태양고도에 따라 그림자가 발생하여 광 수광율이 낮아지는 문제점을 가지고 있다. 본 문제점을 해결하기 위해 동일한 다겹보온커튼을 상부에 위치하지 않게 하고 측면에 위치하게 함으로써 채광량을 향상시켰다. 가온장치는 기존 사용한 11만 kcal 용량의 등유온수보일러를 20kw급 축열식 공기열히트펌프(하이그린에너지)로 교체하였다. 사용된 축열식 공기열히트펌프에 사용된 냉매는 R407C 냉매를 사용하며 주간 축열온도는 55℃, 야간축열온도는 47℃하여 축열효율이 낮은 야간에 작동하는 것을 억제하였다. 또한 난방 에너지 공급은 외부의 일사량에 맞추어 시설 내로 유입된 광량이 일중 600J/cm<sup>2</sup> 이하에서는 설정 야간온도 8℃ 보다 1℃ 낮추어 공급되도록 설정하여 난방에너지를 절약하도록 하였다. 복합환경제어기는 설정온도에 맞는 환경조건을 맞추어 작동하면서 겨울철 급격한 환경변화에 따른 시설 내부 열에너지를 외부로 빼앗기는 것을 예방하도록 설정하였고, 시설 내 다겹보온커튼과 연결하여 일사량에 맞추어 다겹보온커튼이 개폐되게 함으로써 시설 내 채광율이 극대화 되도록 설정하여 추진하였다.

연구기간동안 시설 외부온도는 최저 -7.9℃, 최고 20.6℃ 를 기록하였으며, 일평균온도는 1월 이 2.0℃, 2월 2.9℃, 3월이 7.4℃ 조사되었다. 처리구의 시설내부온도는 일평균 13.1℃ ~ 14.1℃ 까지 유지되었으며, 대조구는 12.9℃ ~ 14.1℃ 로 유지되었다. 딸기 수경재배에 이용된 코코 피트 배지 내 온도는 처리구와 대조구 모두 13.4℃ ~ 14.9℃ 로 유사범위 내에서 재배되었다.

표 40. 시설 내외부 환경 (장성, 딸기)

월	구분	외부 온도 (°C)	상부개방형다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프 + 복합환경제어장치			권취식다겹보온커튼 + 수막 + 등유온수보일러		
			온도 (°C)	습도 (%)	지온 (°C)	온도 (°C)	습도 (%)	지온 (°C)
1월	최저	-7.9	11.6	79.3	10.3	10.4	63.2	10.4
	최고	14.8	16.9	94.9	16.2	19.2	99.1	17.8
	평균	2.0	13.3	84.3	13.5	12.9	88.3	13.4
2월	최저	-5.3	8.3	74.0	12.0	7.3	41.2	11.0
	최고	15.7	14.7	93.3	17.8	14.4	96.9	17.7
	평균	2.9	13.1	83.7	14.5	12.9	84.3	14.1
3월	최저	-2.4	12.3	72.0	11.9	12.6	73.5	11.8
	최고	20.6	15.3	91.6	18.3	15.0	93.5	18.1
	평균	7.4	14.1	79.2	14.9	14.1	80.9	14.9

각 에너지절감 패키지별 생육특성은 [표 42] 와 같으며 처리구인 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프 + 복합환경제어장치」 패키지 조합의 생육특성 중 초장은 23.1cm로 나타났으며, 대조구인 「권취형 다겹보온커튼 + 수막 + 등유온수보일러」는 25.8cm로 조사되었다. 분지수는 처리구가 주당 평균 2.4개이었으며, 대조구는 2.5개로 조사되었다. 엽병장은 처리구가 12.5cm, 대조구가 14.1cm로 조사되었다. 엽수는 처리구인 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프 + 복합환경제어장치」가 주당 14.6개, 대조구인 「권취형 다겹보온커튼 + 수막 + 등유온수보일러」가 15.3개로 조사되었으며, 관부두께는 처리구가 19.2mm, 대조구가 18.0mm로 측정되었다.



그림 13. 일누적광량센서 설치 및 조사지점

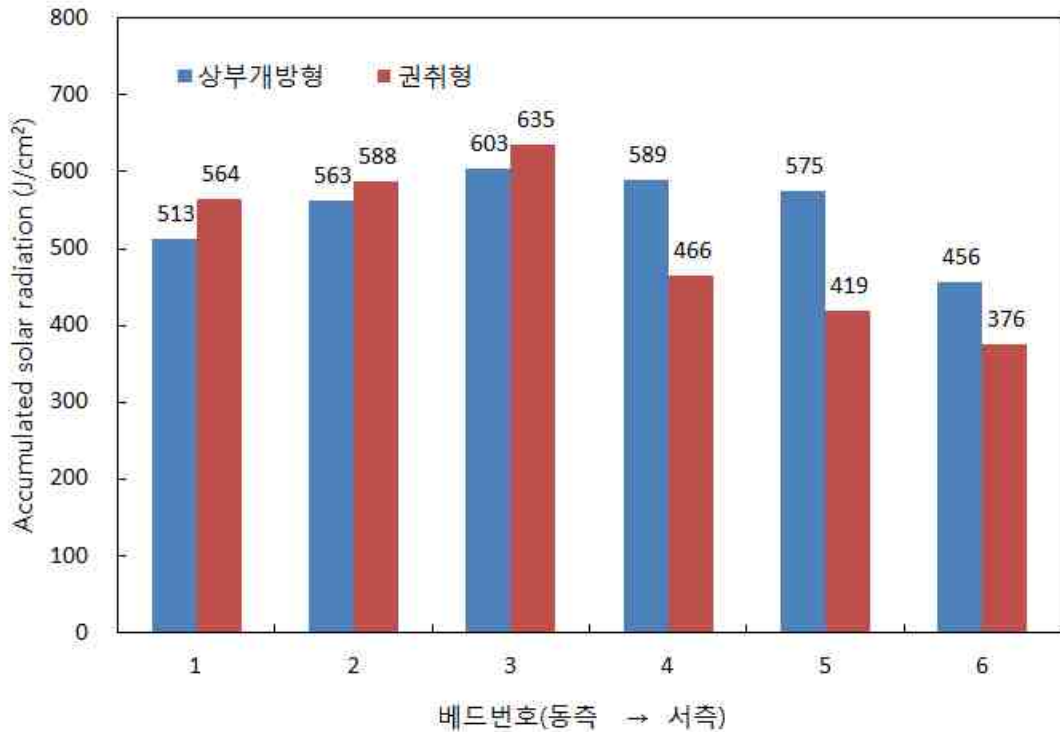


그림 14. 커튼 개폐방식에 따른 지점별 일누적광량

〔그림 13〕는 패키지 구성별 다겹보온커튼 개폐방식에 따른 시설 내 수광량을 조사하기 위해 설치한 센서의 위치를 나타내는 그림이며, 〔그림 14〕는 다겹보온커튼 개폐방식에 따른 딸기 재배베드가 하루 중에 수광하는 광량을 측정된 자료이다. 측정결과 시설 중앙에 위치한 3번 베드가 가장 수광량이 높은 경향을 보였으며, 양측면에 위치할수록 일중광량이 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 처리별 시설 내 일중 수광량은 서쪽베드일수록 차이가 컸는데 최고 37%까지 권취형 다겹보온커튼의 차광율이 높아지는 것으로 조사되었다. 약 21일간 조사한 결과 상부개방형 다겹보온커튼은 15,715J/cm<sup>2</sup>가 적산된 반면, 권취형 다겹보온커튼은 13,531J/cm<sup>2</sup>이 적산되어 처리구인 상부개방형 다겹보온커튼이 약 16% 내부수광량이 증가하는 것으로 조사되었다.

표 41. 에너지절감 패키지별 생육특성 (장성, 딸기)

적용기술	초장 (cm)	분지 수 (개/plant)	엽병장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (개/plant)	관부두께 (mm)
상부개방형다겹보온커튼 +축열식공기열히트펌프 +복합환경제어장치	23.1	2.4	12.5	10.0	14.6	14.6	19.2
권취식다겹보온커튼 + 수막 + 등유온수보일러	25.8	2.5	14.1	10.6	16.1	15.3	18.0
수막+등유보일러 (영광)	30.4	2.4	19.6	11.5	19.5	16.1	18.7

각 에너지절감 패키지별 과실특성은 [표 42] 와 같으며 처리구인 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프 + 복합환경제어장치」 패키지 조합의 평균과중은 27.8g 대조구는 25.5g으로 조사되었다. 처리구 수확과실의 과장은 46.4mm, 과폭은 38.4mm이었으며, 대조구의 과장은 43.4mm, 과폭은 35.2mm이었다. 가용성 고형물 함량은 처리구가 9.8° Bx, 대조구는 8.6° Bx로 조사되었다. 처리구의 가용성 고형물 함량의 증가는 다겹보온커튼 개방방식의 변화로 과실로 당 집적이 증가되어 향상된 것으로 추정되었다. 패키지별 상품과율은 처리구가 92.8%, 대조구가 91.1%로 조사되었으며, 상품수량은 처리구인 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프 + 복합환경제어장치」가 10a당 5,315kg, 대조구인 「권취형 다겹보온커튼 + 수막 + 등유온수보일러」가 4,725kg으로 조사되었다.

**표 42. 에너지절감 패키지별 과실 및 수량특성 (장성, 딸기)**

<조사기간 : 2016. 11. 15. ~ 2017. 4. 2.>

적용기술	과중 (g)	과장 (mm)	과폭 (mm)	가용성 고형물 함량 (° Bx)	상품과율 (%)	수량 (kg/10a)	수량 지수
상부개방형다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프 +복합환경제어장치	27.8	46.4	38.4	9.8	92.8	5,315	141
권취식다겹보온커튼 + 수막 + 등유온수보일러	25.5	43.4	35.2	8.6	91.1	4,725	125
수막 + 등유보일러 (영광)	22.8	42.4	35.2	9.4	82.3	3,780	100

각 에너지절감 패키지별 에너지 사용량 및 탄소배출량은 [표 43] 와 같으며 처리구인 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프 + 복합환경제어장치」 패키지 조합의 10a당 전기 사용량은 10,323kw 이었으며, 에너지비용은 474,858원으로 조사되었다. 대조구인 「권취형 다겹보온커튼 + 수막 + 등유온수보일러」의 전기사용량은 725L, 유류사용량은 2,155L로 총 사용된 에너지 비용은 1,434,100원으로 조사되었다. 등유보일러와 수막만을 사용하는 영광지역 대조구는 전기사용량은 922KW, 유류사용량은 4,237L로 총 사용된 에너지 비용은 2,793,696원으로 조사되었다. 장성지역 처리구인 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프 + 복합환경제어장치」 패키지는 영광지역 대조구에 비해 약 81%의 난방연료비가 절감되었으며, 「권취형 다겹보온커튼 + 수막 + 등유온수보일러」 패키지는 약 60.3%가 절감되었다. 각 패키지 구성별 탄산가스 배출량을 조사한 결과 영광지역 대조구 10.8ton/10a에 비해 장성지역 처리구 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프 + 복합환경제어장치」 패키지는 4.9ton이 발생하여 영광지역에 비해 약 5.9ton이 절감되었다.

표 43. 에너지절감 패키지별 에너지 사용량 및 탄소 배출량 (장성, 딸기)

<조사기간 : 2016. 11. 15. ~ 2017. 4. 2.>

적용기술	전기 사용량 (KW/10a)	유류 사용량 ( l /10a)	총 난방연료비 (원/10a)	일 난방연료비 (원/10a)	난방연료비 절감효과 (%)	총 CO <sub>2</sub> 배출량 (tCO <sub>2</sub> )	일 CO <sub>2</sub> 배출량 (kg-CO <sub>2</sub> /day)
상부개방형다겹보온 + 축열식 히트펌프 +복합환경제어장치	10,323	-	474,858	3,441	83.0	4.9	35.2
권취식다겹보온커튼 + 수막 + 등유온수보일러	725	2,155	1,434,100	10,392	48.7	5.6	40.6
등유보일러 + 수막 (영광)	922	4,237	2,793,696	20,118	-	10.8	77.5

난방연료비 산정 기준 : 등유 650원/리터, 전기 43원/kw기준(기본요금 포함)

탄산가스 배출량 산정기준 : 등유 0.00244 t-CO<sub>2</sub>/L, 전기 0.00047t-CO<sub>2</sub>/KW

라. 종합평가

담양지역에서 실시한 에너지절감 패키지 구성별 에너지 사용량 조사는 총 204일동안 추진되었으며 「순환식수막장치+전기발열선」의 전기사용량은 24,509KW, 유류사용량은 1,193리터가 사용되었다. 1일 평균 난방연료비는 총 9,328원이 소요되었으며, 관행처리구인 「수막+등유방열기」 조합의 전기사용량은 총 1,485KW, 등유는 1,196리터가 사용되어 총 난방연료비는 1일 평균 4,146원이 소요되었다. 영광에서 215일동안 실시한 「수막+등유온수보일러」 조합의 전기사용량은 1,363KW, 유류사용량은 5,909리터가 사용되어 1일평균 10a당 난방연료비 18,156원이 소요되었으며 처리구인 「상부개방형 다겹보온커튼 + 전기발열선」의 전기사용량은 215일 동안 24,080KW를 사용해 난방비용은 10a당 1일 평균 5,152원이 소요되었다.

장성 내 방울토마토 재배농가에서 실시한 에너지절감 패키지 조합별 난방연료 사용량 조사는 처리구인 「권취식 다겹보온커튼 + 전기발열선」 조합의 전기사용량은 101일동안 13,539KW를 사용해 1일평균 6,166원이 소요되었다. 대조구인 「권취식 다겹보온커튼 + 등유온풍기」의 유류사용량은 1,689리터를 사용하였다. 난방연료비는 1일평균 10,961원이 소요되었다. 함평에서 실시한 에너지절감 패키지 처리구와 대조구의 에너지 사용량은 처리구인 「예인식 다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프」 패키지의 전기사용량은 138일동안 10a당 19,197kw를 소요되었으며 대조구인 「예인식 다겹보온커튼 + 비축열식 공기열히트펌프」은 57일동안 20,306kw가 소요되었다. 이에 따른 에너지 비용은 처리구가 1일평균 6,399원 대조구는 16,387원이 소요되었다. 장성 진원 딸기농가에서 실시한 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프 + 복합환경제어장치」 패키지 조합의 10a당 전기사용량은 138일동안 10,323kw 이었으며, 에너지비용은 1일평균 3,441원소요되었다. 「권취형 다겹보온커튼 + 수막 + 등유온수보일러」의 전기사용량은 204일동안 725L, 유류사용량은 2,155KW가 사용되어 1일평균 난방연료비는 7,030원이 소요되었다. 실험 조사된 에너지절감 패키지 구성별 1일평균 탄산가스 배출량은 「수막+등유온수보일

러」이 70kg이 발생하는 것으로 계산되었으며, 담양에서 실시한 「순환식수막장치+전기발열선」이 70.7kg, 영광에서 실시한 「상부개방형 다겹보온커튼 + 전기발열선」이 52.6kg, 장성에서 실시한 「권취식 다겹보온커튼 + 전기발열선」이 63.6kg, 권취형 다겹보온커튼 + 등유온풍기가 76.0kg으로 조사되었다. 함평에서 실시한 「예인식 다겹보온커튼 + 비축열식 공기열히트펌프」는 가장 높은 167.4kg이 발생하는 것으로 조사되었다. 반면 축열식 공기열히트펌프를 사용한 경우에는 65.4kg으로 조사되었다. 장성 진원 딸기농가에서 실시한 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프 + 복합환경제어장치」는 가장 적은 35.2kg으로 탄산가스가 발생하는 것으로 조사되었다.

**표 44. 총 조사기간 동안 패키지별 난방연료비 및 탄소 배출량**

작목	설치 장소	난방 패키지	조사 일수	유류 사용량 (L/10a)	전기 사용량 (KW/10a)	일 탄소배출량 (kg · CO <sub>2</sub> /d/10a)	일평균 난방연료비 (원/10a)
딸기	담양 월산	순환식수막+전기발열선	204	1,193	24,509	70.7	9,328
	담양 월산	수막+간이방열기	204	1,196	1,485	17.7	4,146
	영광 대마	상부개방다겹보온+전기발열선	215	0	24,080	52.6	5,152
	영광 대마	수막+등유보일러	215	5,909	1,363	70.0	18,156
	장성 진원	상부개방+축열히트펌프	66	0	5,966	42.5	4,158
	장성 진원	상부개방+축열히트+복합환경	138	0	10,323	35.2	3,441
	장성 진원	권취다겹+수막+등유	204	2,155	725	27.4	7,030
토마토	장성 남면	권취식다겹보온+전기발열선	101	0	13,539	63.0	6,166
	장성 남면	권취식다겹보온+등유온풍기	101	1,689	200	41.7	10,961
	함평 해보	예인식다겹보온+축열식히트펌프	138	0	19,197	65.4	6,399
함평 해보	예인식다겹+비축열식히트펌프	57	0	20,306	167.4	16,387	
함평 해보	예인식다겹+전기발열선+방열판	81	0	16,146	93.7	9,169	

### 제3절 단동비닐하우스에 적합한 에너지절감 패키지 기술 및 보급확산

#### 1. 단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 경제성 검토

연구기간동안 단동비닐하우스 접목한 에너지절감 패키지 중 난방에너지 및 난방연료비 절감율이 우수하고 탄소배출량까지 낮아 농가보급에 가장 효율적인 패키지는 장성 진원면에서 실시한 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프 + 복합환경제어장치」 패키지 구성이 가장 효율적인 것으로 조사되었다. 본 개발 패키지와 관행 대조구인 영광에서 실시한 「등유보일러+수막」 과 비교하여 경제성을 분석한 결과는 [표 45] 와 같다.

표 45. 에너지절감 패키지별 과실 및 수량특성 (장성, 50a 기준, 천원)

손실적 요소(A)		이익적요소(B)	
● 증가되는 비용 :	52,038	● 증가되는 이익 :	112,083
- 감가상각비 :	27,982	- 증수에 따른 소득증가	99,142
- 수리보수비 :	13,991	- 난방비절감	9,388
- 고정자본이자 :	8,394	- 인건비절감	3,553
- 재료 및 인건비 증가 :	1,671		

● 추정수익액(B-A) = 60,045천원/년

- 에너지절감 패키지 설치비 : 133,000만원/50a
  - 축열식 공기열히트펌프 88,000만원
  - 축열탱크 88,000만원
  - 상부개방형 다겹보온커튼 18,000만원
  - 팬코일유니트 2,000만원
- 내구년수 : 축열식 공기열히트펌프 10년, 물탱크 및 팬코일유니트 10년, 다겹보온커튼 및 차광스크린 10년, 부대시설 10년
- 잔존율: 0 %, 수리비: 1%, 고정자본이자: 3 %
- 난방기 연간 가동시간: 1,100시간 기준 시
- 면세유: 430원/L 적용, 전력 단가 kW당 43원(기본요금 포함) 적용

경제성 검토 결과 총 시설비는 27,982만 원 소요되었으며, 이에 따른 연간 감가상각비 등 연간 총고정비 2,798만원, 수리보수비 1,399만원, 고정자본이자 839만원, 수량증가에 따른 재료 및 인건비 증가가 167만원으로 조사되어 총 증가되는 비용은 5,204만원이 증가되는 것으로 조



사되었으며, 시설투자에 따른 증가되는 이익은 시설개선에 따른 소득증가가 9,914만원, 난방비 절감 938만원, 복합환경제어기 접목에 따른 인건비 절감이 약 355만원으로 총 11,208만원이 증가하는 것으로 조사되었다. 이에 따라 추정수익액은 6,004만원이 발생할 수 있을 것으로 조사되었다. 농림축산식품비에서 실시하고 있는 농업에너지효율화 사업이 농가에 50%를 지원하고 있어 이를 적용할 경우 농가부담이 경감되고 농가소득은 위 분석자료보다 향상 될 수 있을 것으로 판단된다.

### 3. 현장평가회 개최

#### 가. 1차 현장평가회 개최

- 일 시 : 2015. 4. 1. 16:30 ~ 17:30
- 장 소 : 전남 장성군 남면 덕성리 728
  - 에너지절감 패키지 구성 : 권취형다겹보온커튼+전기발열선+저압포그장치
- 참석자 : 농업에너지절감 사업단, 도원(강원 등 5개도), 농업인, 업체 등 49명
- 개발기술 소개
  - 에너지절감 패키지사업 취지 및 방향 설명(전남농업기술원 나택상)
  - 시설원에 에너지절감 기술 활용사례 (농촌진흥청 농업공학부 강금춘 연구관)
- 유리온실 에너지절감 난방패키지 기술 특징, 실증시험 결과 설명
  - <발표>
    - 시설원에 에너지절감 기술 및 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 대한 시험추진 방향 설명(원예연구소 나택상)
    - 시설원에 에너지절감기술 활용 방법 발표 (국립농업과학원 농업공학부 강금춘 연구관)
  - <현장 질의응답 및 토의 내용>
    - 효과적인 사업추진을 위해서 시험확대 요구(시험농가)
      - 시험작목과 시험장소를 확대하여 에너지절감 효과 거양
    - 에너지절감이 농가소득 증대 획기적인 방법임(김영철 부장)
      - 농축산식품부와 협의하여 사업확대에 최선을 다 하겠음.



#### 나. 2차 현장평가회 개최

- 일 시 : 2016. 2. 26.(금) 10:30~14:30
- 장 소 : 장성군 진원면 용산리 413-9 김인중 농가
  - 적용기술 : 상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프(20kw)
    - 상부개방형 다겹보온커튼 : 무그림자, 관행(권취식) 대비 채광률 상승
    - 냉 · 난방 공기열히트펌프 : 난방비절감, 고온기 냉방 가능

- 참석자 : 농업에너지절감 사업단 단장, 각 도원 실증연구 책임자, 농업인, 업체 등 49명
- 시설환경 개선 및 에너지 절감 효과
  - 관행(PE 이중필름 + 수막 + 등유온풍기) 대비 난방비용 81% 절감
  - 권취식 다겹보온커튼 대비 상부개방 다겹보온커튼 채광량 12.5% 향상
  - 수량 및 품질은 내부 환경이 동일해 차이 없었음
- 평가회 참석자 반응
  - (적용농가) 등유 대비 에너지 비용이 80%이상 절감이 가능하고 냉방기능으로 정식기를 단축해 11월 상순까지 수확기를 앞당길 수 있을 것으로 예상되어 1화방에서 25%의 조수익을 더 올릴 수 있을 것으로 기대
  - (타 시군 참석농가) 상부개방형 다겹보온커튼의 경우 딸기 뿐 만아니라 단동형하우스에서 재배하는 모든 작목에 적용할 수 있을 것으로 판단되어 도입 여부 타진
  - (농업기술센터) 수출딸기는 연중 안정생산이 중요해 온도가 상승하는 4 ~ 5월에 냉방기능을 이용해 과실의 경도 및 당도 저하를 개선할 수 있을 것으로 기대(곡성군농업기술센터).
  - (농촌진흥청 국립원예특작과학원) 에너지절감 뿐만 아니라 상부개방형 다겹보온커튼 사용에 따른 채광량 상승, 여름철 냉방까지 가능해 금후 생산성과 경제성 분석 결과를 토대로 정책제안 예정



### 다. 3차 현장평가회 개최

- 일 시 : 2017. 2. 22.(수) 10:00~14:30
- 장 소 : 장성군 진원면 용산리 413-9
  - 적용기술 : 상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프(20kw)+복합환경제어기
    - 상부개방형 다겹보온커튼 : 무그림자, 관행(권취식) 대비 채광률 상승
    - 냉 · 난방 공기열히트펌프 : 난방비절감, 고온기 냉방 가능
    - 복합환경제어장치 : 시설 내 열원관리 난방효율 증진 가능
- 참석자 : 농업에너지절감 사업단 단장, 각 도원 실증연구 책임자, 농업인, 업체 등 64명
- 시설환경 개선 및 에너지 절감 효과
  - 난방연료비 : 수막+등유보일러(관행) 대비 82% 절감(1,832,300원/10a → 329,310원)
    - ※ 권취식다겹보온커튼+수막+등유보일러(영광) 대비 54% 절감
  - 채광량 : 권취형 보온커튼 대비 16.1% 향상(563MJ/m<sup>2</sup> → 655)
  - 생산성 : 대조구 대비 11% 증가(2,074kg/10a → 1,866kg)
  - 노동력 : 일 평균 24% 절감(101분/10a → 77분)

○ 평가회 참석자 반응

- (적용농가) 축열식 공기열히트펌프에 복합환경제어기를 더해 에너지 효율은 더 높아져 좋고, 사람이 조절하기 힘든 온·습도도 정확히 관리해줘 생산성도 향상 될 것으로 예상한다. 무엇보다 노동력이 많이 감소해 만족하고 전남도원 ICT기술을 통한 적극적인 지원에 만족
- (타 시군 참석농가) 상부개방형 다점보온커튼의 경우 딸기 뿐 만아니라 단동형하우스에서 재배하는 모든 작목에 적용할 수 있을 것으로 판단되나, 작목별 개선연구가 필요할 것으로 사료됨.
- (농촌진흥청 국립원예특작과학원) 에너지절감 패키지 기술에 ICT복합환경제어시스템을 적용 시 경제성 분석 충분히 이루어져야 할 것으로 사료되며 도출결과를 토대로 정책제안 예정



## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

### 1절 : 연구개발 목표 및 연구개발 수행내용

연구개발 목표		연구개발 내용	달성도 (%)
1차년도 (2014~ 2015)	○ 단동형 비닐하우스 패키지 구성 설계 · 제작	○ 에너지 절감 패키지 구성별 4개시군 4개소 - 딸기 · 영광 : 상부개방형 다겹보온커튼+전기발열선 ※ 대조 : 등유보일러+수막 · 담양 : 순환식수막장치+전기발열선 ※ 대조 : 수막+등유온풍기 - 토마토 · 장성 : 권취형다겹보온커튼+전기발열선 ※ 대조 : 권취형다겹보온커튼+등유온풍기 · 함평 : 예인식다겹보온커튼+축열식공기열히트펌프 ※ 대조 : 예인식다겹보온커튼+비축열식공기열히트펌프	100
2차년도 (2015~ 2016)	○ 단동형 비닐하우스 에너지절감 패키지 설치효과 분석	○ 에너지 절감 패키지 구성별 4개시군 4개소 - 딸기 · 영광 : 상부개방형 다겹보온커튼+전기발열선 ※ 대조 : 등유보일러+수막 · 담양 : 순환식수막장치+전기발열선 ※ 대조 : 수막+등유온풍기 - 토마토 · 장성 : 권취형다겹보온커튼+전기발열선 ※ 대조 : 권취형다겹보온커튼+등유온풍기 · 함평 : 예인식다겹보온커튼+축열식공기열히트펌프 ※ 대조 : 예인식다겹보온커튼+비축열식공기열히트펌프 ○ 조사내용: 시설 내 온·습도, 연료소모량, 수량 등	100
	○ 딸기 단동비닐하우스 축열식 공기열히트펌프 난방시스템 설계 및 설치	○적용 에너지 절감 패키지 상부개방형 다겹보온커튼+축열식공기열히트펌프 ○ 시험지역 및 작물 : 장성 진원 / 딸기 ○ 조사내용: 시설환경, 에너지사용량, 수량특성 등	100
	○ 상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프 난방시스템 효과 분석	○적용 에너지 절감 패키지 상부개방형 다겹보온커튼+축열식공기열히트펌프 ○ 시험지역 및 작물 : 장성 진원 / 딸기 ○ 조사내용: 시설환경, 에너지사용량, 수량특성 등	100

연구개발 목표		연구개발 내용	달성도 (%)
1차년도 (2016~ 2017)	○ 단동형 비닐하우스 에너지절감 패키지 설치효과 분석	○ 에너지 절감 패키지 구성별 4개시군 4개소 - 딸기 · 영광 : 상부개방형 다겹보온커튼+전기발열선 ※ 대조 : 등유보일러+수막 · 담양 : 순환식수막장치+전기발열선 ※ 대조 : 수막+등유온풍기 - 토마토 · 장성 : 권취형다겹보온커튼+전기발열선 ※ 대조 : 권취형다겹보온커튼+등유온풍기 · 함평 : 예인식다겹보온커튼+축열식공기열히트펌프 ※ 대조 : 예인식다겹보온커튼+비축열식공기열히트펌프 ○ 조사내용: 시설 내 온·습도, 연료소모량, 수량 등	100
	○ 에너지절감 패키지 고도화	○고도화 대상 패키지 : 장성 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프」 ○고도화 내용 : 복합환경제어 시스템 ○ 시험지역 및 작물 : 장성 진원 / 딸기	100
	○ 에너지절감 패키지 고도화 시설 효과 분석	○적용 실시한 에너지 절감 패키지 「상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식공기열히트펌프」 + 복합환경제어시스템 ○ 시험지역 및 작물 : 장성 진원 / 딸기 ○ 조사내용: 환경, 에너지량, 노동력, 수량특성 등	100

## 2절 관련분야의 기술발전의 기여도

국내에 가장 많은 비중을 차지하고 있는 단동형 비닐하우스에 접목할 수 있는 에너지절감 패키지는 많지 않은 실정이다. 본 과제의 연구개발과제의 목표는 남부지역 단동비닐하우스 겨울작형에서 활용할 수 있는 난방 에너지절감 패키지별 에너지비용 절감율을 분석하고 가장 효과적인 패키지 구성을 찾아내고 보급하여 농산물 가격 경쟁력을 확보하는데 목표를 가지고 있다. 실질적 목표는 유류난방대비 50%이상의 난방연료비 절감과 생산성 및 품질을 개선하는 데 목표를 가지고 실시되었다. 남부지역은 북부지역과 달리 겨울작형동안의 외기온도 수준이  $-10^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$  범위내에 있다. 그러나 공기열히트펌프도 온도가 급격히 낮아지는 야간에 직접난방을 하거나 축열하는 것은 익히 잘 알려져 있듯이 효율성이 떨어지는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 축열식 공기열히트펌프를 이용하여 온도가 상승하는 주간에 축열하여 야간에 사용하는 방법으로 에너지

절감을 구현하였으며, 축열된 열은 난방용 팬코일 유닛을 이용하여 온실 내부로 열을 전달하였다. 난방기기 외 보온시설은 난방장치를 제외하고 가장 중요한 에너지절감 요소로 손꼽힌다. 가장 효율성이 높다고 알려진 다겹보온커튼을 소재로 사용하여 관행적으로 사용된 상부로 말려서 그림자를 발생시키는 권취형 다겹보온커튼을 측면으로 내려 그림자를 제거한 상부개방형 다겹보온커튼을 적용하여 시설 내 태양열 에너지 유입을 확장하고, 광합성 효율을 높이면서 생산성 향상도 기대할 수 있게 하였다. 조사결과 관행 등유온수보일러와 수막을 사용하는 포장에 비해 난방비용은 74%절감되었으며, 생산성은 7% 증가되었다. 여기에 3차년도에 개발된 에너지절감 시설에 복합환경제어기를 접목함으로써 난방연료비 절감율은 관행 대비 81%로 생산성은 관행대비 11%로 향상되는 것으로 확인되었다.

개발기술의 보급을 위해 개발기술의 경제성 분석 및 현장평가회를 개최하였으며, 농식품부 정책건의 실시하였다. 농업 에너지절감기술 관련 연구나 개발 방향은 히트펌프 등의 고효율 공조기, 시설의 보온성 향상기술, 온도관리 기술 등의 개별 기술을 중심으로 발전해 왔으며 최근 농업시설의 에너지이용효율 향상을 위해서는 해당 장치들의 효율적 사용을 위해 복합환경제어가 접목되고 있다. 본 과제의 주요연구결과는 우리나라에 가장 많이 보급된 단동형 비닐하우스에 접목할 수 있는 고효율 에너지절감기술개발을 위한 기초자료를 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

- 단동비닐하우스 에너지 절감 패키지 기술 농림축산식품부 정책제안 2건
  - 상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프 보급 ('16)
  - 상부개방형 다겹보온커튼 + 축열식 공기열히트펌프 + 복합환경제어장치 보급 ('17)
- '유리온실 냉난방 패키지기술 적용에 의한 에너지절감 및 생육개선 효과' 등 논문투고 계획
  - 2017년 하반기 농업시설환경 관련 학회 논문투고 및 학술발표 추진예정
- 넥애피니언 상부개방형 다겹보온커튼 산업체 기술정보 제공
  - 기술정보 공개 및 개발기술 기술이전 추진예정
- 농가 및 관계 공무원 교육 홍보
  - 개발 기술 보급을 위한 시군 농업기술센터 등 관계기관 교육 추진 예정

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

해당사항 없음

## 제 7 장 참고문헌

1. ChoeC.H,A Study on the Economic Analysis of Cooling-Heating System Using Ground Source Heatina public library, thesis for degree of Kwangwoon University, The Korea Solar Energy Society, Vol.32,No.1,2012,pp64 ~ 66.
2. LeeD.C,Economic Research of Colling-Heating System Using Ground Source Heatina publiclibrary,thesisfordegreeofKwangwoonUniversity,2012
3. SeoC.Y,A Selection of Geat Source System by LCC Analysis :A Case Study of National Gogeung Youth Space Experience Center,forde gree of Hanyang University, 2009, pp44-45.
4. RyuY.S, Establishment of ClimateRegion by Recent30-yearTemperatureRange in SouthKoreaArea,The Korea Solar Energy Society Vol. 31,No.2,2011,pp376 ~ 382.
5. Kim M.G, Design standards for greenhouse environment(II), Rural Research Institute, 1997, p54 ~ 56.
6. S.J. Sterling and M.R. Collins, “Feasibility analysis of an indirect heat pump assisted solar domestic hot water system”, Applied Energy, Vol. 93, 2012, pp. 11-17
7. H. Li and H. Yang, “Study on performance of solar assisted air source heat pump systems for hot water production in Hong Kong”, Applied Energy, Vol. 87, 2010, pp. 2818-2825
9. J.A. Duffie and W.A. Beckman, Solar engineering of thermal processes, New York, Willey, 1991, pp. 686-732.
10. H. Jaber and R.L. Webb, “Design of Cooling Towers by the Effective-NTU Method”, Journal of Heat Transfer, Vol. 111, 1989, pp. 837-843.





## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “농업에너지절감모델개발사업단 실증연구과제(과제명 : 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 개발Ⅲ)”의 최종 보고서로 제출합니다.

2017년 9월 일

실증연구기관명 : 강원도농업기술원  
원예연구과

실증연구책임자 : 원재희



# 요 약 문

## I. 제 목

단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 개발(Ⅲ)

## II. 연구성과 목표 대비 실적

본 과제의 연구개발 목표는 강원지역 시설원에 농가 에너지절감 및 고품질 생산을 위한 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 실증연구 및 기술보급 확산으로 농가 경쟁력을 제고시키는데 있으며, 구체적으로 기존 유류난방 대비 난방비 30% 절감, 수량 및 품질 개선으로 농가 소득 15% 증대를 목표로 하였다. 연구 내용으로 강원도 동계기간 시설원에 주 작목인 딸기와 토마토를 대상으로 동해안 지역 딸기 단동 비닐하우스는 기존 보온시설인 2중 비닐과 난방기 외에 기 개발된 에너지절감기술인 다겹보온커튼, 근권난방, 수막시설로 구성된 패키지 모델과 토마토 유리온실은 기존 보온시설인 온수관 난방기 외에 기 개발된 에너지절감기술인 트러스밀폐형 천창스크린, 다겹보온커튼, 나노탄소섬유 램프로 구성된 패키지 모델을 개발하여 패키지기술 투입 시설별 기상환경 분석, 생육 및 과실 특성 분석, 수량 및 경제성 분석 등을 수행하였다. 실증시험 결과 딸기 난방 시 관행 단동 비닐하우스 대비 난방비 48.4% 절감, 수확량 34.2% 증수 효과를 확인하였으며, 토마토 난방 시 관행 유리온실 대비 난방비 74.6% 절감, 수확량 10.3% 증수 효과를 확인하였다. 기술보급 확산을 위해 개발기술의 경제성 분석 및 현장평가회를 개최하였으며, 농식품부 정책제안을 통해 기술보급 및 활용 방안을 제시하였다.

## III. 연구개발의 목적 및 필요성

강원도 동해안지역은 해양성 기후의 영향으로 고위도인 속초부터 주산지인 동해, 삼척 지역까지 딸기 재배면적이 계속 증가하고 있고, 토마토의 경우 여름재배로 10월까지만 수출하고 있으나 수출업체 측에서는 11월 이후라도 수확만 가능하다면 수출을 계속해서 추진할 수 있다고 동계 생산을 요청하고 있는 실정이다. 그러나 강원지역은 시설채소 동계재배 시 과중한 난방비의 부담으로 작물을 최저생육온도에 맞춰 최저난방을 하여 재배하다 보니 생산성이 저하되고, 아예 반축성 재배작형으로 전환하는 경우도 있는 등 농가 소득증대 및 수출확대에 지장을 주고 있으며, 2018년 동계올림픽 개최 전·후로 해서 직·간접으로 관련 농산물의 수요 증가가 예상되고 있으나 동계작형의 생산성 저하로 타 지역에서 도입해야 되는 실정이다.

따라서 동계기간 난방비 비중을 낮추면서 과채류를 안정생산하기 위해서는 시설원에 현장에서 가장 보편적으로 에너지절감을 위해 기 개발된 기술을 패키지화하여 난방비 절감기술 적용모델을 개발하고 확산하는 것이 필요하다. 현재 에너지 다소비형 구조로 설계된 단동 비닐하우스에 현장에서 바로 체감이 가능한 단동형 에너지절감기술의 모델 개발이 절실한데, 기 개발된 기술들은 단용으로만 처리되다 보니 전체적인 패키지화에 비해 효율이 떨어지므로 패키지화된 모델을 개발하고자 본 연구를 수행하였다. 향후, 에너지절감 패키지기술 모델을 개발 확산하여 강원지역에서 동계기간 지속적으로 고품질 과채류 생산이 가능한 안정생산체계를 확립하도록 하겠다.

#### IV. 연구개발 내용 및 범위

딸기 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발연구는 강원도 속초시 노학동 응골 딸기재배단지 농가에서 기존 보온시설인 2중 비닐과 난방기 외에 기 개발된 에너지절감기술인 다겹보온커튼, 근권난방, 수막시설을 패키지로화하여 최대한의 에너지효율을 증진하여 난방비를 절감시키면서 생산성을 향상시키고자 농가 실증연구를 수행하였다. 실증농가 하우스는 광폭 2중 비닐하우스(폭 9m, 동고 4.2m)이고, 딸기 재배품종은 '설향' 품종을 사용하였다. 패키지기술 처리는 1개소에 패키지A(다겹보온커튼), 패키지B(다겹보온커튼 + 근권난방), 패키지C(다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설) 처리를 설치하였다.

토마토 유리온실 에너지절감 패키지기술 모델 개발연구는 강원도 인제군 인제읍 과채류재배단지 농가에서 기존 보온시설인 온수관 난방기 외에 기 개발된 에너지절감기술인 트러스밀폐형 천창스크린, 다겹보온커튼, 나노탄소섬유 램프를 패키지로화 하여 최대한의 에너지효율을 증진하여 난방비를 절감시키면서 생산성을 향상시키고자 농가 실증연구를 수행하였다. 실증농가 시설은 연동형 유리온실(폭 9, 동고 7m)이고, 토마토 재배품종은 '다볼' 품종을 사용하였다. 패키지기술로는 1개소에 패키지(트러스밀폐형 천창스크린 + 다겹보온커튼 + 나노탄소섬유 램프) 처리를 설치하였다.

주요 조사항목은 시험구별 온·습도 등 기상환경, 에너지사용량 및 비용, 작물생육, 수확량 등이며, 패키지 기술의 적용성을 평가하기 위하여 대조구 시설과 설치비 및 난방비 절감액을 대상으로 경제성 분석을 수행하였다.

#### V. 연구개발결과

딸기 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 투입 시설의 에너지 절감 효과를 보면 기존 시설(대조구-전기온풍기) 이용 시 12월부터 익년 1월까지 사용되었던 에너지 사용량과 전기요금이 10a당 30,118kWh, 1,531천원이었으나, 패키지기술(다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설) 투입 시 에너지 사용량이 14,552kWh로 790천원이 나와 48.4%의 에너지 절감효과가 있었다. 딸기 '설향' 품종의 수량 특성을 보면 시설 내 기온이 높아 생육이 빨랐던 패키지기술 처리구에서 딸기의 수확과수 및 평균과중이 가장 높아 상품수량이 기존 시설 대비 34.2% 증수하였고, 판매금액은 33,139천원/10a으로 가장 높았다. 재식주수는 10a당 10,000주를 정식하였고, 해당 지역 농협에 실제로 납품하였던 평균단가 1kg 1팩 당 10,000원을 기준으로 분석하였다. 동해안지역 단동 비닐하우스에서 딸기 재배 시 난방 패키지 기술 적용 비닐하우스와 일반 비닐하우스 재배 시를 비교하였을 때 부분예산법으로 경제성 검토 결과 패키지 적용 비닐하우스 ha당 설치비는 303,699천원이었으며, 이에 따른 연간 감가상각비 등 연간 총고정비 30,661천원과 인건비 2,636천원, 포장비 539천원을 합하여 연간 총비용은 33,836천원이었으며, 패키지 기술을 적용에 따른 이익적 요소로 딸기 증수에 의한 소득 증가가 105,100천원과 전기온풍기 대비 난방비 절감액이 7,416천원으로 나타나 연간 총 증가수입은 112,516천원으로 연간 추정수익액은 78,680천원이었다.

토마토 유리온실 에너지절감 패키지기술 투입 시설의 예지 절감 효과를 보면 기존 시설(대조구-온수관난방) 이용 시 12월부터 익년 2월까지 사용되었던 에너지 사용량과 난방요금이 10a당 9,000 ℓ, 3,620천원이었으나, 패키지기술(트러스트밀폐형 천창스크린 + 다겹보온커튼 + 나노탄소섬유 램프) 투입 시 에너지 사용량이 17,280kWh로 난방요금이 920천원이 소요되어 74.6%의 에너지 절감효과가 있었다. 난방유 가격은 2016년도 면세등유 가격을 조사하여 평균값을 기준으로 계산하였다. 토마토 '다볼' 품종의 수량 특성을 보면 기존 시설에 비해 시설 내부 기온이 높아 생육이 빨랐던 패키지기술 처리구에서 토마토의 수확과수 및 평균과중이 높아 상품수량이 기존 시설 대비 10.3% 증수하였고, 판매금액은 60,178천원/10a으로 높았다. 재식주수는 10a당 2,000주를 정식하였고, 농가 평균 판매단가 5kg 1박스 당 20,000원을 기준으로 분석하였다. 유리온실에서 토마토 재배 시 난방 패키지 기술 적용 시설과 일반 시설 재배 시를 비교하였을 때 부분에 산법으로 경제성 검토 결과, 패키지 적용 유리온실 ha당 설치비는 373,804천원이었으며, 이에 따른 연간 감가상각비 등 연간 총고정비 38,876천원과 인건비 830천원, 포장비 253천원을 합하여 연간 총비용은 39,959천원이었다. 패키지 기술을 적용에 따른 이익적 요소로 토마토 증수에 의한 소득 증가가 56,280천원과 온수관난방 대비 난방비 절감액이 27,002천원으로, 연간 총 증가수입은 83,282천원으로 연간 추정수익액은 43,323천원이었다.

## VI. 연구성과 및 성과활용 계획

- 정책부처 제안(농식품부 농업에너지이용효율화사업)
  - 딸기 단동비닐하우스 에너지절감을 위한 패키지시설 지원(다겹보온커튼+근권난방+수막시설)
- 영농활용
  - 동해안 딸기 단동하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발('15)  
(다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설)
  - 강원지역 토마토 시설하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발('16)  
(다겹보온커튼 + 트러스트밀폐형 천창스크린 + 나노탄소섬유 램프)
- 논문 발표
  - 강원 동해안지역 딸기 단동하우스 농업에너지절감 패키지기술 효과('15.5.21. 한국원예학회)
  - 강원지역 동계 토마토 재배 시 농업에너지절감 패키지기술 효과('16.5.26. 한국원예학회)
  - 동해안지역 딸기 동계재배 시 농업에너지절감 패키지기술 효과('17.5.25. 한국원예학회)
- 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 보급으로 농가소득 향상 및 고품질 안정 생산에 기여

## SUMMARY

The acreage of strawberry cultivation in East sea region of Gangwon province has been increased, which utilizing maritime warm climate in winter season. The summer season tomato farms usually produce their exportable products until October, but tomato export firms have inclined to request winter season tomato cultivation for year round export, nowadays even after November. The greenhouse cultivation practice in winter season in Gangwon province requires huge heating costs, which prevent the farms from increasing their income and expanding export because of low productivity. Hence, the needs for developing package technology of saving heating costs combining several popular heating and heat insulation technology have been increased at the winter season greenhouse fields. It has been necessary to develop adaptation models of heating costs saving technology and disseminate these models. This study was accomplished to develop energy saving package technology models for greenhouse cultivation of strawberry and glasshouse cultivation of tomato during winter season. The combined packages for existing double vinyl house and electric fan heater in single-span plastic house type strawberry cultivation are adapted with supplementary heating technology packages of such as multi-layer thermal curtains, root zone heating system, and water curtain system. The amount of energy consumption in conventional practice was 30,118kwh electric power per 10a, but that of greenhouse utilizing package heating and heat insulation technology was 14,552kwh per 10a, which means saving 48.4% of heating costs. The strawberry yield of package technology applied greenhouse was increased 34.2% comparing with electric fan heated single-span plastic house. As of adaptation of package heating and heat insulation technology, total heating costs was 39,959 thousand won per hectare and total revenue was 112,516 thousand won per hectare. The year round profit was calculated as 78,680 thousand won per hectare. In case of tomato glass house cultivation experiment, the package technology of the truss closed roof window screen, multi-layer thermal curtains, and carbon nano-fiber lamps applied to existing hot water pipe heating system. The amount of energy usage in existing glass house was 9kl as of kerosene per 10a. The energy usage of package technology applied tomato glass house was 17,280kwh electric power, which saved 74.6% of heating costs comparing with existing hot water pipe heating glass house. The yield of package technology increased 10.3%. The application of heating package technology resulted in year round profit of 43,323 thousand won per hectare, which calculated by total revenue 83,282 thousand won and total cost 39,959 thousand won per hectare. The economic analysis and field evaluation for developed package technology were accomplished for technology diffusion and extension. The policy proposal was suggested to Ministry of Agriculture, Food and Rural affairs(MAFRA) for extension of package technology and utilization strategy. Afterward, through technology dissemination and extension of energy saving package technology models, the establishment of constant and stable production system of high quality fruit vegetables during winter season in Gangwon province will be put in force sooner or later.

# 제 1 장 실증과제의 개요 및 성과목표

본 실증과제의 연구개발 목표는 강원지역 시설원예 농가 에너지절감 및 고품질 생산을 위한 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 실증연구 및 기술보급 확산으로 농가 경쟁력을 제고시키는데 있으며, 구체적으로 기존 유류난방 대비 난방비 30% 절감, 수량 및 품질 개선으로 농가소득 15% 증대를 목표로 하였다.

실증연구는 강원도 동계기간 시설원예 주 작목인 딸기와 토마토를 대상으로 동해안지역 딸기 단동 비닐하우스는 기존 보온시설인 2중 비닐과 난방기 외에 기 개발된 에너지절감기술인 다겹보온커튼, 근권난방, 수막시설로 구성된 패키지 모델과 토마토 유리온실은 기존 보온시설인 온수관 난방기 외에 기 개발된 에너지절감기술인 트러스밀폐형 천창스크린, 다겹보온커튼, 나노탄소섬유 램프로 구성된 패키지 모델을 제시하였다.

각 작목별 패키지 기술에 대한 성능시험 및 작물 생육 실증시험을 수행한 결과, 딸기 난방 시 관행 단동 비닐하우스 대비 난방비 48.4% 절감, 수확량 34.2% 증수 효과를 확인하였으며, 토마토 난방 시 관행 유리온실 대비 난방비 74.6% 절감, 수확량 10.3% 증수 효과를 확인하였다. 기술보급 확산을 위해 개발기술의 경제성 분석을 실시하고 농식품부와 강원도에 정책제안(2건)을 하여 기술보급 및 활용 방안을 제시하였다. 기술 홍보 및 평가를 위해 도농업기술원, 농업인, 관련 업체를 대상으로 현장평가회를 3회 개최하였으며, 농업전문지 등을 대상으로 24건의 언론홍보를 수행하였다. 개발기술과 관련하여 영농활용 2건, 학술발표 3건을 완료하였다.

## ○ 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	연구개발 내용	달성도 (%)
- 딸기 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발	- 딸기 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 개발 · 패키지기술 투입(속초 등 3시군 5개소) · 기상환경, 생육, 과실 특성, 수량, 경제성 분석	100
- 토마토 시설하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발	- 토마토 시설하우스 에너지절감 패키지기술 개발 · 패키지기술 투입(속초 등 3시군 5개소) · 기상환경, 생육, 과실 특성, 수량, 경제성 분석	100
- 딸기 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 실증모델 고도화 및 확산	- 딸기 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 고도화 및 활용방안 제시 · 패키지기술 추가 투입(동해,삼척 2시군 2개소) · 수량 및 경제성 분석, 현장평가회 개최	100

## ○ 정량적 성과목표 및 실적

구 분	지식재산권		논문		학술 발표	기술 이전	교육 지도	세미나 등	현장 평가회	자료 발간	정책 활용	영농 활용	홍보 전시	기타
	출원	등록	SCI	비SCI										
최종목표				1	2				3		2	2	6	
연구기간 내 달성실적				-	3				3		-	2	16	
달성율(%)				0	150				100		0	100	267	

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

연중 고품질 농산물을 생산하기 위하여 도입된 시설재배는 토마토, 파프리카, 딸기 등의 작목을 중심으로 매년 면적이 급증하고 있다. 특히 강원도는 상대적으로 온도가 낮아 하절기에는 잇점이 있으나 동절기에는 난방을 위하여 많은 에너지가 투입되고 있다. 농가경영비에서 차지하는 영농광열비의 증가는 결국 농업인의 부담을 증가 시켜 대외 경쟁력을 떨어뜨리는 요인으로 작용 된다. 따라서 시설재배에서 에너지를 최소한으로 사용하면서 최대의 수량을 낼 수 있는 기술의 개발 및 적용이 시급하다.

전 세계의 시설원예 산업은 현재까지 네덜란드가 선도하고 있다. 우리나라와 네덜란드의 온실 환경을 파프리카 재배온실에서 비교해 보면 우리나라가 광량은 19.8% 많고, 24시간 평균온도는 비슷하며 수분부족은 더 높아 건조하게 유지된다. 그러나 우리나라 온실에서는 온도 및 수분부족분의 일중 변화폭이 심하여 불균일한데, 이는 작물의 생육에 부정적 영향을 끼쳐 생산성이 낮아지는 결과를 초래한다(Jeong 등, 2009). 따라서 우리나라에 적합한 시설을 개발하기 위하여 많은 연구가 이루어 졌다. Nam 등(2014)은 우리나라에서 유리온실과 플라스틱온실을 비교한 결과 유리온실의 규격을 따르는 플라스틱 온실이 우리나라에서는 합리적일 것으로 판단하였고, 이러한 온실에서 난방 방식은 온수난방 방식에 알루미늄 스트린을 보온커튼으로 사용하고, 냉방은 증발냉각시스템을 적용하는 것이 효과적이라고 하였다. 또한 토마토 등의 재배를 위한 플라스틱온실을 개발하였다(Yu 등, 2012). 새로 개발한 온실은 기존 온실인 1-2W형 온실과 비교하여 폭은 7m로 동일하지만 측고가 4.5m로 기존의 2.7m와 비교하여 1.8m 더 높아 안정적 시설 내 환경관리에는 유리하지만 난방면적의 증가로 에너지가 투입되어 보온성이 우수한 다겹보온커튼 등이 도입되었다.

현재 시설원예의 난방방식은 화석연료를 대부분 사용하고 있다. 이러한 화석연료의 사용을 억제하기 위하여 지하수, 태양열, 지열, 소각열 등 신재생에너지의 사용에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 지하수를 이용한 수막재배 시스템은 저온기 온실에서 많이 사용하는 방법으로 Chung등(2016)은 지하수의 수량은 강수량 등에 따라 큰 차이가 있을 수 있어 수막재배 지역의 지하수 개발 가능량을 산정하여 도입하는 것이 중요하다고 보고하였다. 또한 제한적인 지하수의 사용을 위한 순환식 수막재배 시스템에서의 적정수온은 외부온도의 변화, 재배작물 등에 따라 다르게 결정해야 한다(Kim 등, 2015). 난방에너지를 획기적으로 절감하기 위하여 온실 내 지중에 저장된 열을 이용하는 방법을 개발하는 것은 매우 중요하다. 이러한 열은 바로 사용가능한 에너지로 히트펌프 등과 연계할 경우 효과가 크다. 히트펌프는 크게 수직형과 수평형으로 나눌 수 있는데 수평형이 수직형 보다는 경제적이다. 따라서 수평형 지열히트펌프의 실용화를 위한 연구로 히트펌프의 냉난방성능, 지온변화 및 분포, 토양열류 등을 측정 및 분석하여 난방설계의 기준을 제시하였다(Shin과 Nam, 2016). 또한 온실에서 잉여 태양에너지의 사용을 위한 축열조 사용시 적정 팬코일유닛(FCU)의 대수를 산출하였고(Yun 등, 2016), 지하수를 이용한 히트펌프 시스템의 적용성도 검토되었다(Kim, 2013). 또한, 대체 에너지 개발을 위하여 소각시설 여열의 활용성을 검토하였는데 경제성을 위하여 시설원예단지과 폐기물 소각시설 사이의 거리를 경제성 판단의 핵심요인으로 분석되었다(Lee 등, 2015). 이외에도 가열된 공기의 대류를 이용한 난방방식이 아닌 복사선 이용하여 직접적으로 온실 내 토양, 식물, 골조 등의 물체에 에너지를 공급하고 2차적으로 공기를 데우는 적외선 난방등의 활용성 검토하여 온풍난방기보다 62.2%의 난방비를 절감하는 효과가 있었다(An 등, 2013). Kim 등(2012)은 시설원예 난방



에너지 절감을 위하여 지열과 태양광에 대한 경제성 분석결과 금후 각각의 시스템을 적용하는 것 보다는 지열-태양광의 연계프로그램을 운영이 필요하고, 신재생 에너지 시설에 대한 우대를 필요한 정책으로 판단하였다.

시설재배에 사용하는 비닐피복자재는 광투과율, 보온력 등에 미치는 영향이 매우 크다. 그 간 하우스의 비닐피복자재는 PE 필름이 많이 사용되었으나, 기능성 필름인 PO필름이 최근 많이 사용되고 있다. PO 필름은 자외선 흡수율이 높고, 광합성 유효광의 투과율도 높으며, 재배 기간 중 광합성 유효광 투과율의 감소도 PE필름 보다 적어 작물의 생산성이 향상되는 효과가 있다(Kwon 등, 2014). 현재 대부분의 시설재배농가들은 시설의 보온을 위하여 이중 혹은 삼중의 비닐을 사용하고 있다. 이러한 다중 비닐 피복시 비닐 사이의 공기층을 밀폐시켜 일정한 압력을 유지함으로써 난방부하의 대부분을 차지하는 관류전열량을 줄일 수 있는 공기막 이중피복방식도 개발되었다. 이러한 공기막 이중피복방식 사용시 공기층 내의 온도는 공기막이 단열층을 역할을 하기 때문에 주입공기의 온도에 따른 차이는 발견되지 않았으며(Kim 등, 2013), 피복방법 및 피복방식에 따른 보온, 광투과성 등에 대하여 비교분석 되었다(Lee 등 2012, Lee 등 2013).

시설의 보온을 위한 보온재에 대한 연구도 많이 진행되었다. 시설원예의 초기에는 사용되고 있는 폴리프로필렌계 등 다양한 보온커튼재의 인장능력, 보온률 등 물리적 특성을 조사하였다(Chang 등, 1996). 온실 보온을 위한 보온재는 각각의 물리적 특성뿐만 아니라 사용하는 방법에 따라 보온능력은 큰 차이가 있을 수 있다. 따라서 보온재 사용시 적합한 앞뒷면 색깔, 뒤집어 씌울 경우, 재료가 설치 방향 등에 따른 보온 특성을 조사하였고(Kim 등, 2009), 알루미늄 반사단열재의 설치위치와 광택부의 설치방향에 따른 보온효과를 조사하였다(Kim 등, 2007). 또한 최근에는 다겹보온자재가 많이 사용되고 있다. 따라서 동절기에 대규모 연동하우스를 대상으로 기존의 부직포, 알루미늄스크린 등과 다겹보온커튼의 효과를 상대적으로 비교한 결과 다겹보온보온자재의 보온성이 우수하여 경유온풍기의 난방 소모량이 46% 절감되었으나, 두께가 두꺼워 자동개폐장치를 구성하기 어려운 단점도 발견되었다(Lee 등, 2007). 다겹보온덮개는 단일 보온자재와 비교하여 보온 특성이 우수하여(Chung 등, 2009), 다겹보온덮개를 이중하우스의 외면체 피복하고, 내부 커튼자재의 사용으로 남부지방에서 토마토를 최소난방 혹은 무가온으로 생산할 수 있었다(Kwon 등, 2004)고 보고하였다.

시설원예 온실 전체를 냉난방 하는데는 많은 에너지가 소요된다. 따라서 작물생육에 중요한 근권 혹은 생장점 부근의 온도를 조절하고 효과를 검토하는 많은 연구가 이루어졌다. 근권온도의 중요성에 대하여 Park 등(2010)은 온실기온의 변화에 따른 딸기 고설 배지내의 근권온도 하강에 대한 모델을 개발하였고, Jun 등(2008)은 딸기의 근권온도에 따른 지상부 생육을 관찰하여 근권온도의 중요성에 대하여 언급하였다. 여름철 고온기 재배시 근권냉방을 위하여 초기에는 배지와 스티로폼베드사이에 XL파이프를 매설하여 냉수를 순환시키는 방법을 사용하여 수량의 증가를 도모하였다(Choi 등, 2014). 그러나 최근에는 공기순환 덕트를 이용한 국소냉방 기술에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 공기 순환 덕트를 이용한 냉방기술은 근권부 배지의 냉방뿐만 아니라 온실 내 공기 흐름에 영향을 주어 지상부 온도 분포와 엽온 등에 긍정적 영향을 줄 수 있다는 장점이 있다(Choi 등, 2015). 따라서 덕트 냉방의 처리시간에 따른 작물의 생리적 반응에 대한 연구도 진행되었다(Choi 등, 2013). 또한 효과적인 근권 냉방을 위하여 증발 냉각방식의 이용가능성도 검토되었다. 증발냉각방식은 배지 주위에 물을 공급한 후 송풍하

여 증발잠열에 의해 배지의 온도를 낮추는 방식이다(Kim 등, 2010). 저온기 근권난방의 효과를 검토하여 최적 근권난방온도의 설정(Rhee 등, 2001), 하루 중 난방 시간(Kim 등, 2010) 등의 기술이 확립되었다. 그러나 이러한 보일러를 이용한 온수 순환식 근권난방은 난방면적이 클 경우 일정한 온도관리가 어려워 배지 온도의 변화폭이 클수 있다. 따라서 이를 개선하기 위하여 전열선이 삽입된 온수관의 효과도 검토된바 있다(Kim 등, 2010). 국소냉난방에 관한 연구는 대부분 근권부의 환경을 개선하기 위한 연구가 대부분 이루어 졌다. 그러나 최근에는 국내에서도 생장점 주위의 온도를 제어하는 국소난방에 대한 효과가 검토되었다. 검토결과 방울토마토에서 생장점 추종 국소난방으로 관행 바닥덕트 난방구와 비교하여 23.7%의 에너지 절감효과가 있는 것으로 확인되었다(Kwon 등, 2015).

이와 같이 시설원에 에너지 절감을 위한 연구는 크게 시설구조 개선, 화석연료 이외의 경제적인 에너지원의 개발과 활용, 비닐 및 보온자재에 관한 연구, 온도에 민감한 국소난방 기술개발 등의 연구가 진행되었다. 그러나 이러한 개발 기술들은 각 요인별로 각각 이루어져 시너지 효과에 대한 검토가 이루어지지 않았으며, 대부분 소규모 시험에 의존한 한계가 있었다. 따라서 현재까지 개발된 기술의 종합적 투입을 통한 경제성 분석을 바탕으로 에너지절감 효율을 높이는 모델의 개발이 필요하다. 따라서 본 연구는 에너지 절감기술의 파급효과 극대화를 위하여 재배농가를 대상으로 한 실증시험을 수행하고자 시행되었다.

### 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

#### 제1절 딸기 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발

##### 1. 딸기 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발(1년차)

###### 가. 에너지절감 패키지기술 투입

본 연구의 시험 대상 지역은 강원도 속초시 노학동 응골 딸기재배단지 3개소 0.6ha에서 실시하였다. 응골 딸기작목반은 1.8ha 면적에서 체험 위주의 현장 판매가 주를 이루고 있으며, 홈페이지를 운영하는 등 적극적인 마케팅을 펼치고 있다. 각각의 농가 사진들은 그림 1에서 나타내었으며, 실증연구를 하였던 3농가들의 기술 투입 전 모습이다.



김\*\*(1126-1번지)



채\*\*(515번지)



김\*\*(510번지)

그림 1. 농가 하우스 현황

##### (1) 실증연구 수용농가(김\*\*) 투입기술 현황

먼저 속초시 노학동 1126-1번지 김\*\* 농가는 0.19ha 면적에서 농업에너지절감 패키지기술을 투입하여 실증연구를 수행하였다. 그림 2와 같이 아치형 단동 광폭비닐하우스(폭 9, 동고 4.2m)에 기 확보기술로 2중 비닐피복과 다겹보온커튼, 고설재배벤치, 주난방은 전기온풍기를 이용하고 있었다. 여기에 패키지기술로 다겹보온커튼, 근권난방, 수막시설, 반사필름을 처리별로 투입하였다. 우선 수막시설을 위해 암반관정을 파 수원을 확보하였고, 하우스 2중 비닐 위로 분사호스를 설치하여 물을 흘려보내는 방식으로 수막시설을 설치하였다. 그리고 수막시설을 설치하면서 동계기간 과습에 의한 잿빛곰팡이병 발생을 억제하기 위해 하우스 내부에 유동팬과 출입구 양면에 강제환풍기를 설치하였다. 근권난방은 17kWh 축열식 전기보일러를 설치하고 성형베드 내부에 지온호스를 설치하여 근권 온도를 15℃가 유지되도록 설치하였다. 고설베드 하단에는 알루미늄반사필름을 설치하였고, 권취식 5중 다겹보온커튼을 지붕과 하우스 측면에 설치하였다. 또한 2014년도 2월에 2m 이상의 폭설이 내렸을 때 하우스 양측면으로 눈이 쌓여 해가 떴을 때 측창이 열리지 않아 하우스 내부 온도가 올라가 딸기 생육에 영향을 미쳤던 것을 대비하기 위해 눈이 쌓여도 하우스 측창을 열 수 있게 측창을 2중으로 설치하였고, 작업장 라운딩 하우스도 보온 효율을 높이기 위해 5중 다겹보온커튼을 설치하였다(그림 3).

표 1. 김\*\* 농가 하우스 현황 및 기 확보기술

장 소	재배 작목	영농 경력	하우스 현황	기 확보기술
강원도 속초시 노학동 1126-1	딸기	10년	○ 아치형 단동 광폭비닐하우스 4동(폭 9, 길이 54, 동고 4.2m) ○ 재배면적 : 0.19ha	○ 2중 피복 ○ 고설재배벤치 ○ 전기온풍기 2중(11.5, 7kW)



2중 피복 광폭비닐하우스



고설재배벤치



전기온풍기(11.5kWh)

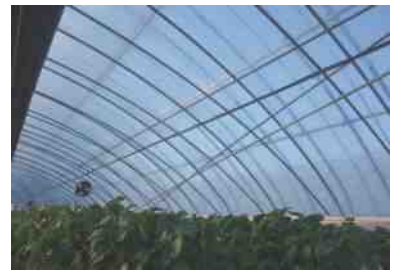
그림 2. 농가(김\*\*) 하우스 현황 및 기 확보기술



권취식다겹보온커튼



근권난방시설



수막시설



반사필름시설



내부환기시설



라운드작업장 보온마감

그림 3. 패키지기술 시설 투입(김\*\* 농가)

## (2) 실증연구 수용농가(채\*\*) 투입기술 현황

속초시 노학동 515번지 채\*\* 농가는 0.17ha 면적에서 농업에너지절감 패키지기술을 투입하여 실증연구를 수행하였다. 그림 4와 같이 아치형 단동 광폭비닐하우스(폭 9, 둥고 4.2m)에 기 확보기술로 2중 비닐피복과 다겹보온커튼, 고설재배벤치, 주난방은 유류온풍기를 이용하고 있었다. 여기에 다겹보온커튼이 설치되어 있었던 3동과 2중 비닐만 있었던 2동을 대상으로 패키지기술을 투입하였다. 패키지기술로는 다겹보온커튼시설로 수평예인식 5중 다겹보온커튼과 수평예인식 알루미늄보온커튼을 설치하였고, 다겹보온커튼이 없는 하우스는 권취식 5중 다겹보온커튼을 지붕과 하우스 측면에 설치하였으며, 라운드 작업장의 보온마감을 하였다(그림 5).

표 2. 채\*\* 농가 하우스 현황 및 기 확보기술

장소	재배 작목	영농 경력	하우스 현황	기 확보기술
강원도 속초시 노학동 515	딸기	9년	○ 아치형 단동 광폭비닐하우스 5동(폭 9, 길이 40, 동고 4.2m) ○ 재배면적 : 0.17ha	○ 2중 피복 ○ 고설재배벤치 ○ 유류온풍기(100,000kW/h)



2중 피복 광폭비닐하우스



고설재배벤치



유류온풍기(100,000kW/h)

그림 4. 농가(채\*\*) 하우스 현황 및 기 확보기술



권취식 다겹보온커튼



수평예인식 다겹보온커튼



수평예인식 알루미늄커튼



라운드작업장 보온마감



보온커튼 개폐축 교체



커튼개폐용 콘트롤박스

그림 5. 패키지기술 시설 투입(채\*\* 농가)

**(3) 실증연구 수용농가(김\*\*) 투입기술 현황**

속초시 노학동 510번지 김\*\* 농가는 0.24ha 면적에서 농업에너지절감 패키지기술을 투입하여 실증연구를 수행하였다. 그림 6과 같이 아치형 단동 광폭비닐하우스(폭 9, 동고 4.2m)에 기 확보기술로 2중 비닐피복과 다겹보온커튼, 고설재배벤치, 주난방은 유류온풍기를 이용하고 있었다. 여기에 패키지기술로는 다겹보온커튼시설로 수평예인식 5중 다겹보온커튼과 수평예인식 알루미늄보온커튼을 설치하였고, 라운드 작업장의 보온마감을 하였다(그림 7).



표 3. 김\*\* 농가 하우스 현황 및 기 확보기술

장소	재배 작목	영농 경력	하우스 현황	기 확보기술
강원도 속초시 노학동 510	딸기	9년	○ 아치형 단동 광폭비닐하우스 4동(폭 9, 길이 72, 동고 4.2m) ○ 재배면적 : 0.24ha	○ 2중 피복 ○ 고설재배벤치 ○ 유류온풍기(100,000kW/h)



2중 피복 광폭비닐하우스



고설재배벤치



유류온풍기(100,000kW/H)

그림 6. 농가(김\*\*) 하우스 현황 및 기 확보기술



수평예인식 다겹보온커튼



수평예인식 알루미늄커튼



라운드작업장 보온마감



커튼개폐용 콘트롤박스



처리구별 시험구 배치



시설 기상환경 측정장치

그림 7. 패키지기술 시설 투입(김\*\* 농가)

그림 8은 농업에너지절감 패키지기술 투입농가별 재배 전경이다. 김\*\* 농가는 수막, 근권난방, 반사필름, 다겹보온커튼이 패키지기술로 투입되었다. 또한, 어린이 체험행사를 위해 시범적으로 1동을 2단 재배로 설치하였다. 특히 다른 농가들에 비해 고설베드의 높이가 40cm 이상 높게 설치되어 있는 모습이다. 채\*\* 농가와 김\*\* 농가 모두 수평예인식 다겹보온커튼과 수평예인식 알루미늄커튼이 투입된 모습이다.



김\*\* 농가



채\*\* 농가



김\*\* 농가

그림 8. 농업에너지절감 패키지기술 투입농가별 재배 전경

나. 에너지절감 패키지기술 투입 시설별 기상환경

(1) 패키지기술 투입 시설 내 온·습도 변화

패키지기술이 투입된 각각의 하우스 내부에는 기상환경을 측정하고자 기상환경장치를 설치하여 패키지기술 투입에 따른 기상환경변화로서 온도, 습도, 근권온도, 일사량 등을 측정하였다(그림 9).



그림 9. 기상환경장치 설치

동계기간('14.12 ~ '15.02) 속초시의 외부기온을 보면, 2월 8일, 9일이 영하 10℃ 이하로 떨어져 가장 추웠다. 따라서 패키지기술 투입별 기상환경 조사는 2월 8일, 9일 2일간을 대상으로 분석하였다(그림 10).

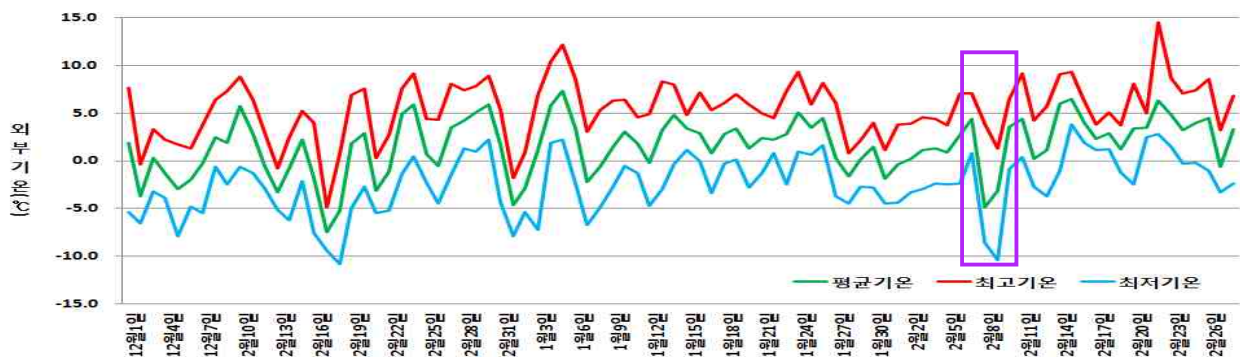


그림 10. 속초시 동계기간('14.12 ~ '15.02) 외부기온(평균, 최고, 최저)

※ 자료출처 : 기상청(<http://www.kma.go.kr>)

김\*\* 농가의 패키지기술 투입 시설 내 온도를 보면, 기존시설에 패키지 B(다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설 + 반사필름) 처리구가 16℃ 이상을 유지하여 내부 온도가 가장 높았고, 패키지 A(다겹보온커튼 + 반사필름) 처리구가 10℃ 이하로 기온이 떨어져 야간온도가 6~10℃ 이상 차이가 나서 난방 효과가 가장 낮았다. 시설 내 습도도 온도와 같이 패키지 B 처리구가 가장 높았다(그림 11).

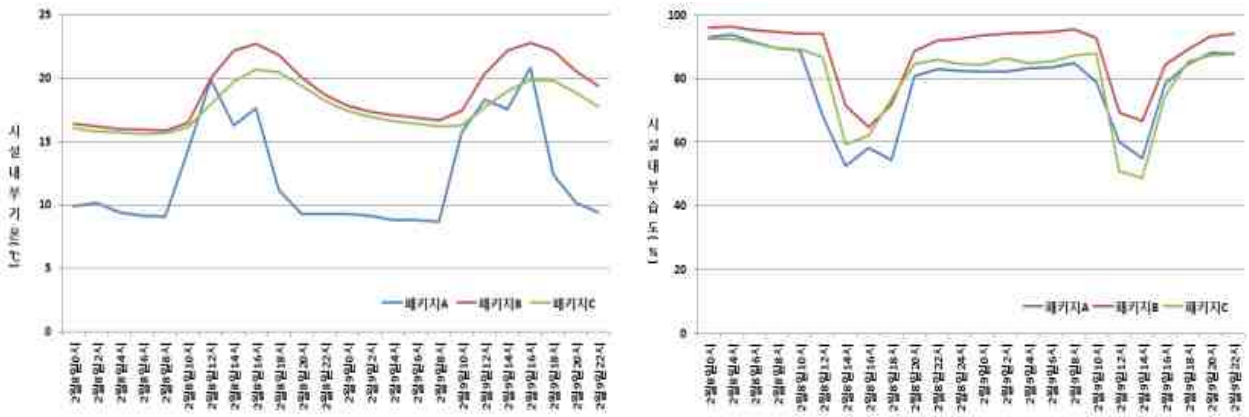


그림 11. 패키지기술 투입 시설 내 온도 및 습도(김\*\* 농가)

- ※ 패키지 A : 다겹보온커튼+반사필름
- 패키지 B : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설+반사필름
- 패키지 C : 다겹보온커튼+근권난방+반사필름

채\*\* 농가와 김\*\* 농가의 패키지기술 투입 시설 내 온도를 보면, 두 농가 모두 야간에 보온력이 뛰어난 수평예인식 다겹보온커튼 처리구가 수평예인식 알루미늄보온커튼 처리구에 비해 온도가 높았으나, 주간온도는 김\*\* 농가에서 일사량이 높았던 알루미늄보온커튼 처리구가 높았다(그림 12). 시설 내 습도는 두 농가 모두 포습력이 낮은 수평예인식 알루미늄보온커튼 처리구가 높았다(그림 13).

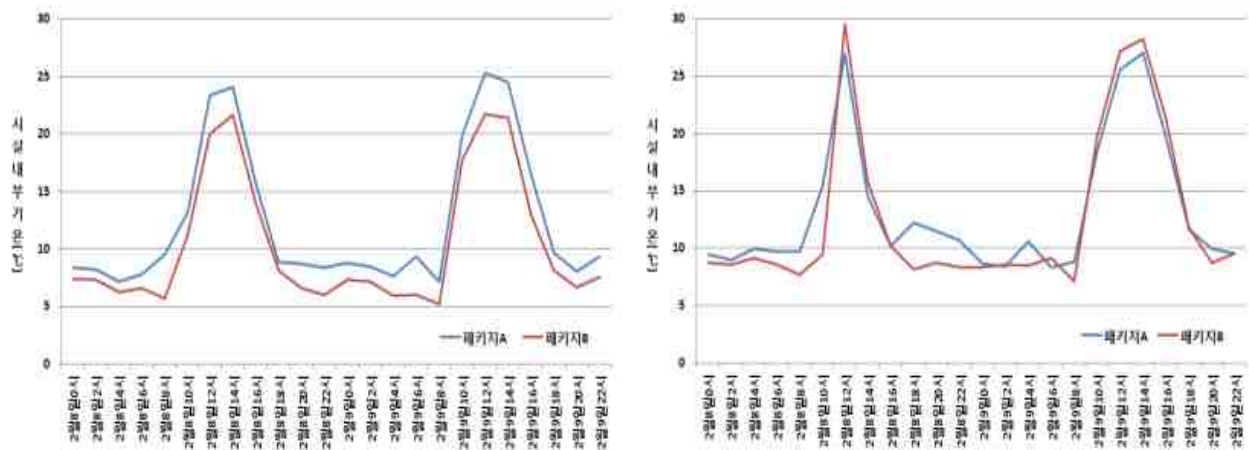


그림 12. 다겹보온커튼 투입별 시설 내 온도(좌 : 채\*\*, 우 : 김\*\* 농가)

- ※ 패키지 A : 다겹보온커튼 + 수평예인식 다겹보온커튼,
- 패키지 B : 다겹보온커튼 + 수평예인식 알루미늄보온커튼



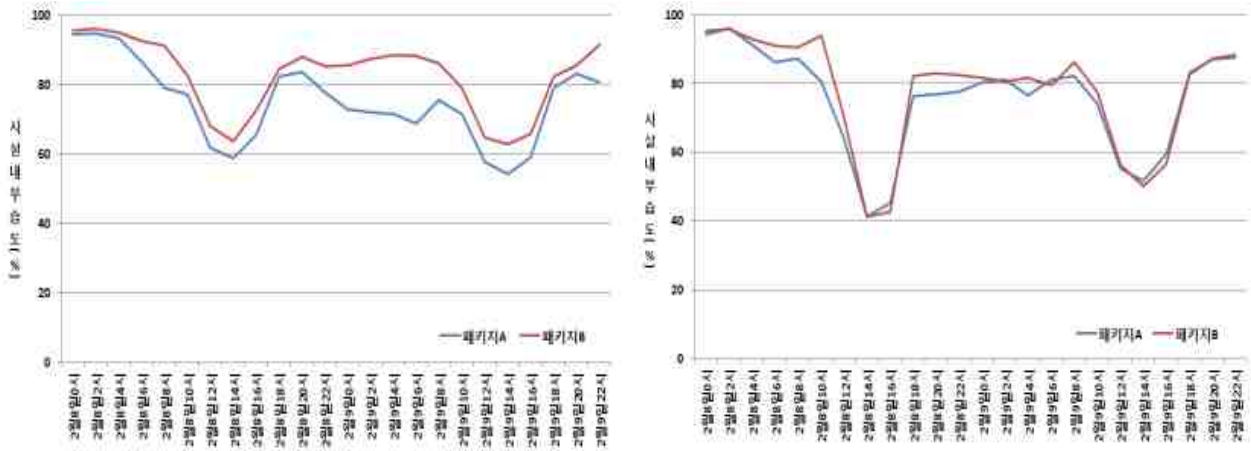


그림 13. 다겹보온커튼 투입별 시설 내 습도(좌 : 채\*\*, 우 : 김\*\* 농가)

※ 패키지 A : 다겹보온커튼 + 수평예인식 다겹보온커튼,  
패키지 B : 다겹보온커튼 + 수평예인식 알루미늄보온커튼

**(2) 패키지기술 투입 시설 내 일사량 및 베드내부 온도 변화**

김\*\* 농가의 패키지기술 투입 시설 내 일사량은 다겹보온커튼과 반사필름만 설치된 패키지 A 처리구가 주간에 가장 높았고, 수막시설이 설치된 패키지B 처리구가 가장 낮았다. 이는 수막처리 시 지하수 내 철분이 함유되어 있어 비닐에 얼룩이 져서 광투과율이 떨어졌기 때문인 것으로 사료된다. 베드내부의 온도는 근권난방이 설치된 패키지B와 C처리구가 근권난방 시 15℃ 설정온도에 따라 야간에 12℃ 정도를 유지하다 주간에 상승하였고, 근권난방이 설치되지 않았던 패키지A 처리구는 베드 내부의 온도가 야간에 서서히 낮아졌다가 주간에 서서히 다시 올라가는 패턴으로 주·야간 온도 변화의 폭이 작았고, 특히 야간은 시설 내 온도보다 높아 호흡량 증가가 예측되었다(그림 14).

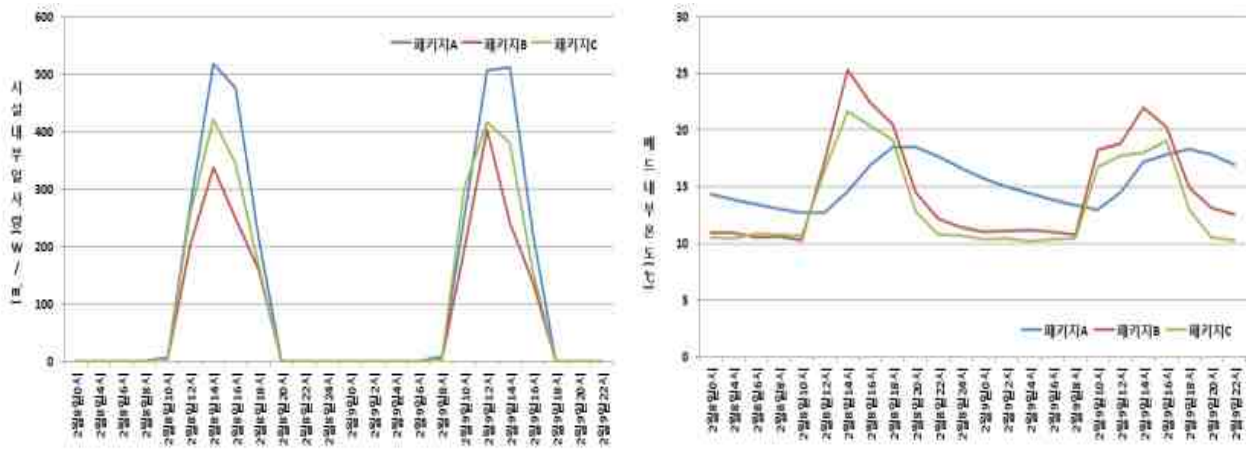


그림 14. 패키지기술 투입 시설 내 일사량 및 베드내부 온도(김\*\* 농가)

※ 패키지 A : 다겹보온커튼+반사필름  
패키지 B : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설+반사필름  
패키지 C : 다겹보온커튼+근권난방+반사필름

김\*\* 농가의 패키지기술 투입 시설 내 일사량은 주간에 반사율이 높은 알루미늄 보온커튼이 높았으나, 채\*\* 농가는 알루미늄 보온커튼 하우스가 하단에 설치되어 있어서 오후시간에 워터 하우스로 인한 그늘이 생겨 오히려 낮았다(그림 15).

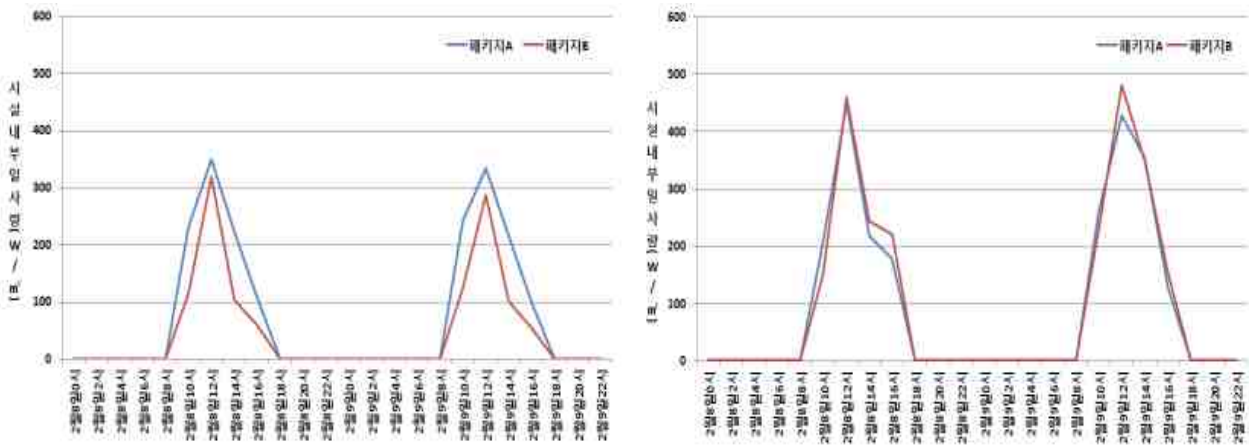


그림 15. 다겹보온커튼시설 투입별 시설 내 일사량(좌 : 채옥례, 우 : 김기춘 농가)

※ 패키지 A : 다겹보온커튼 + 수평예인식 다겹보온커튼,  
패키지 B : 다겹보온커튼 + 수평예인식 알루미늄보온커튼

#### 다. 에너지절감 패키지기술 투입 시설별 딸기 생육 및 과실 특성

##### (1) 패키지기술 투입 시설별 딸기 생육 및 화방 특성

농가별 딸기의 생육특성을 표 4에서 살펴보면, 시설 내 온도가 가장 높은 김\*\* 농가에서 초장, 엽장, 엽병장 등의 생육이 가장 좋았는데, 이는 묘 구입 시부터 양묘 선택에 의한 초기 생육의 차이가 컸기 때문인 것으로 사료된다. 패키지기술 투입 시설별로는 기존의 시설을 이용하여 시설공사에 영향을 받지 않아 초기 생육이 양호했던 다겹보온커튼과 반사필름이 처리된 패키지A가 초장, 엽장, 엽병장, 근관부 직경 등의 생육특성이 가장 양호하였다.

농가별 딸기의 화방 특성을 표 5에서 살펴보면, 김\*\* 농가는 4화방까지 화방이 출현하였으나 채\*\*, 김\*\* 농가는 2화방까지 출현되어 시설 내 온도 차이로 인해 생육이 지연되었다.

표 4. 실증연구 농가별 딸기 생육 특성

(조사일 : 2015. 3.11.)

농 가	패키지기술	초장 (cm)	엽			엽병장 (cm)	근관부직경 (mm)
			수(매)	장(cm)	폭(cm)		
김**	A(다겹+반사)	42.9±4.7	19.4±8.4	12.9±1.8	10.4±1.6	33.1±5.7	42.8±12.4
	B(다겹+근권+수막+반사)	33.9±4.5	16.7±5.1	11.6±2.1	9.4±1.8	25.9±3.2	38.6±9.2
	C(다겹+근권+반사)	35.2±4.5	19.5±9.2	12.3±1.6	9.6±1.6	27.6±3.8	41.7±12.4
채**	A(다겹+다겹수평)	13.2±3.1	13.9±5.6	8.2±0.9	6.6±0.8	10.7±1.8	25.8±7.4
	B(다겹+다겹알루미늄수평)	16.6±3.4	16.0±5.1	7.4±1.2	5.9±1.1	11.0±2.2	28.9±6.8
김**	A(다겹+다겹수평)	16.7±3.6	15.0±6.5	8.5±1.5	6.8±1.5	12.9±2.0	31.2±8.7
	B(다겹+다겹알루미늄수평)	13.3±2.6	14.5±5.1	7.5±1.7	5.9±1.4	11.5±1.3	31.5±6.8

표 5. 실증연구 농가별 딸기 화방 특성

(조사일 : 2015. 1.13. ~ 3.11.)

농 가	패키지기술	제1화방 착과수(개)	제2화방 착과수(개)	제3화방 착과수(개)	제4화방 착과수(개)	계(개)
김**	A(다겹+반사)	13.4±3.2	6.0±2.0	6.9±2.4	6.0±2.7	32.3
	B(다겹+근권+수막+반사)	12.3±2.8	6.1±3.4	5.4±2.3	5.7±2.1	29.5
	C(다겹+근권+반사)	11.8±2.5	5.9±1.8	6.4±1.9	5.6±2.3	29.7
채**	A(다겹+다겹수평)	7.8±1.4	5.1±2.0	-	-	12.9
	B(다겹+다겹알루미늄수평)	6.7±1.2	5.8±1.7	-	-	12.5
김**	A(다겹+다겹수평)	7.4±1.3	5.3±2.4	-	-	12.7
	B(다겹+다겹알루미늄수평)	7.8±1.8	4.7±1.8	-	-	12.5

(2) 패키지기술 투입 시설별 딸기 과실 특성

실증연구 기간 동안 딸기는 매주 수확을 하여 과실 특성변화를 조사하였다. 우선 김\*\* 농가의 패키지기술 투입 시설별 딸기의 과장, 과폭, 과중을 보면, 패키지 A 처리구가 가장 높았으나 처리별로 차이는 없었고, 1화방 후기 가장 작아졌다가 2화방 이후 증가하여 서서히 작아지는 경향을 나타냈다. 과중도 2화방 이후 감소하는 경향을 나타냈다. 당도는 시설 내 기온이 낮았던 패키지 A 처리구가 가장 높았으나 산도는 처리별로 차이가 없었으며, 외부기온이 상승되면서 당도는 낮아졌고 산도는 증가하였다. 경도는 당도와 같이 외부기온이 상승하면서 낮아지는 특성을 보였으며, 과탁의 변화는 일정한 경향을 나타내지 않았다(그림 16, 17, 18).

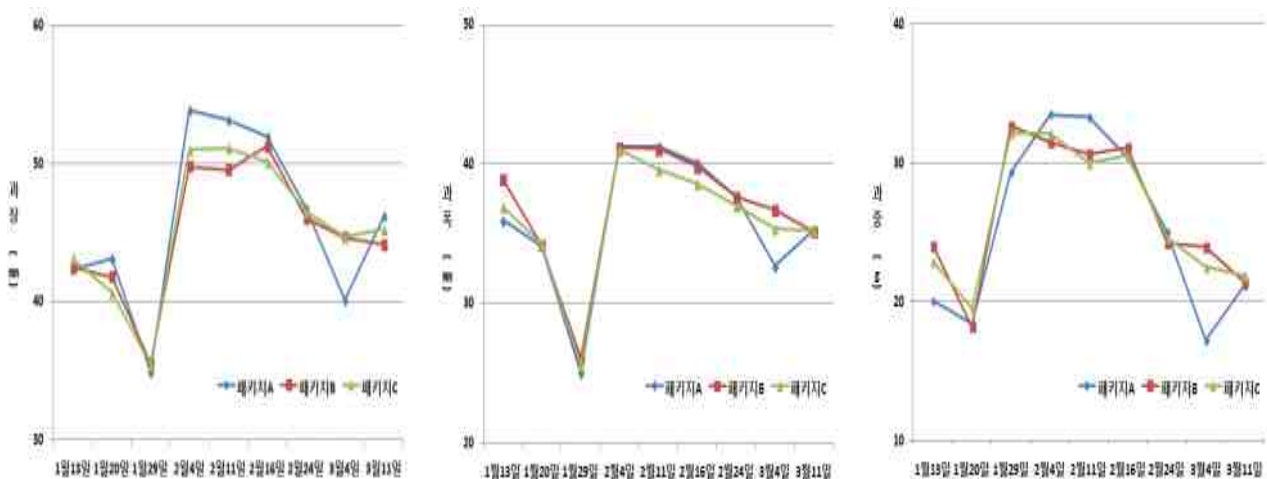


그림 16. 패키지기술 투입농가(김\*\*)의 딸기 과장, 과폭, 과중 변화(2015. 1.13 ~ 3.11)

- ※ 패키지 A : 다겹보온커튼+반사필름
- 패키지 B : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설+반사필름
- 패키지 C : 다겹보온커튼+근권난방+반사필름

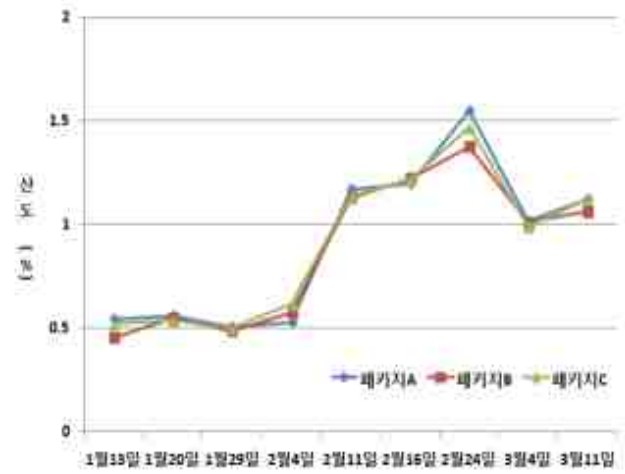
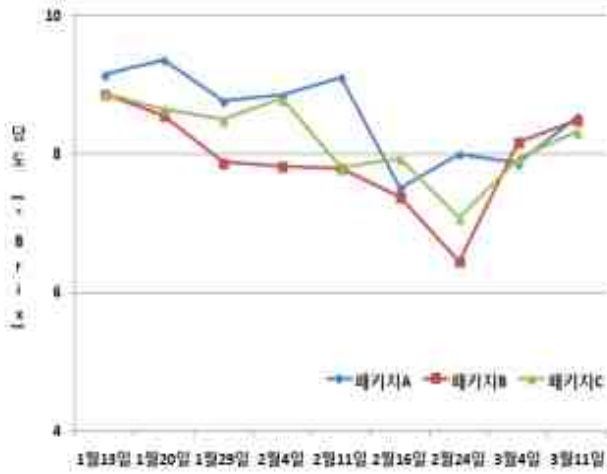


그림 17. 패키지기술 투입농가(김\*\*)의 딸기 당도, 산도 변화(2015. 1.13 ~ 3.11)

- ※ 패키지 A : 다겹보온커튼+반사필름
- 패키지 B : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설+반사필름
- 패키지 C : 다겹보온커튼+근권난방+반사필름

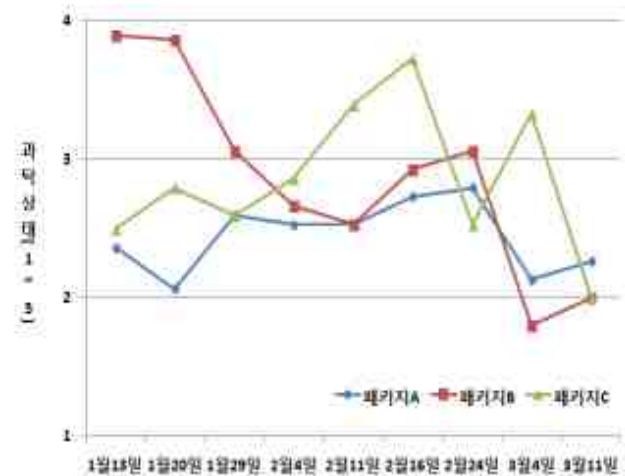
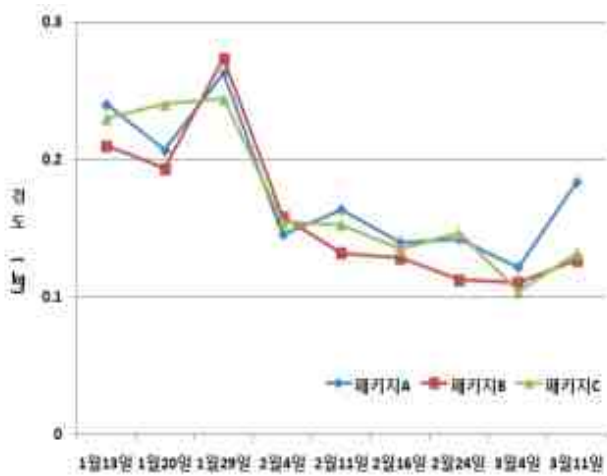


그림 18. 패키지기술 투입농가(김\*\*)의 딸기 경도, 과탁 변화(2015. 1.13 ~ 3.11)

- ※ 패키지 A : 다겹보온커튼+반사필름
- 패키지 B : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설+반사필름
- 패키지 C : 다겹보온커튼+근권난방+반사필름

채\*\* 농가의 패키지기술 투입 시설별 딸기의 과실특성을 보면, 수평에인식 알루미늄보온커튼시설 투입 하우스에서 수확한 딸기의 과중이 높았고, 당도가 11°Brix로 가장 높았다. 외부기온이 상승하면서 과실의 당도는 점차 감소하는 경향이었으나 일사량이 좋은 알루미늄 보온커튼 처리구가 다겹보온커튼 처리구 보다 높았다. 경도는 감소하였고, 산도는 증가하는 경향이었으며, 과탁은 벌어지는 정도가 낮아졌다(그림 19, 20, 21).

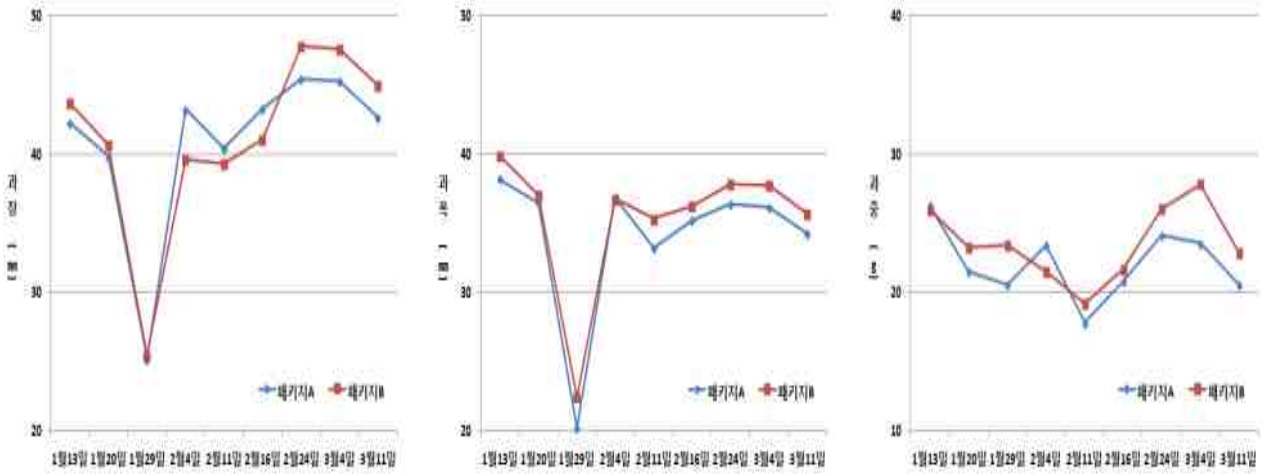


그림 19. 다겹보온커튼시설 투입농가(채\*\*)의 딸기 과장, 과폭, 과중 변화(2015. 1.13 ~ 3.11)

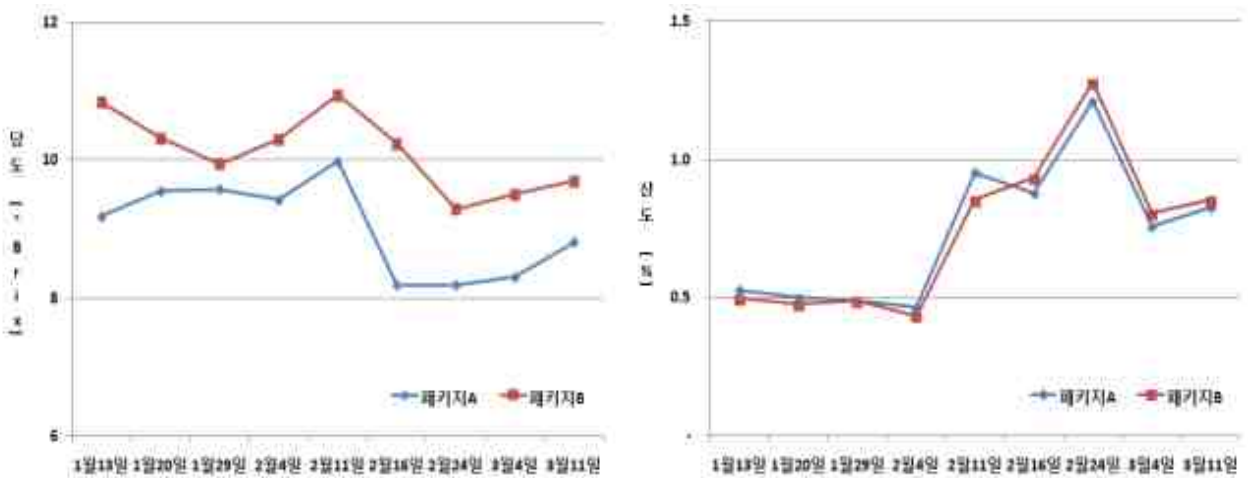


그림 20. 다겹보온커튼시설 투입농가(채\*\*)의 딸기 당도, 산도 변화(2015. 1.13 ~ 3.11)

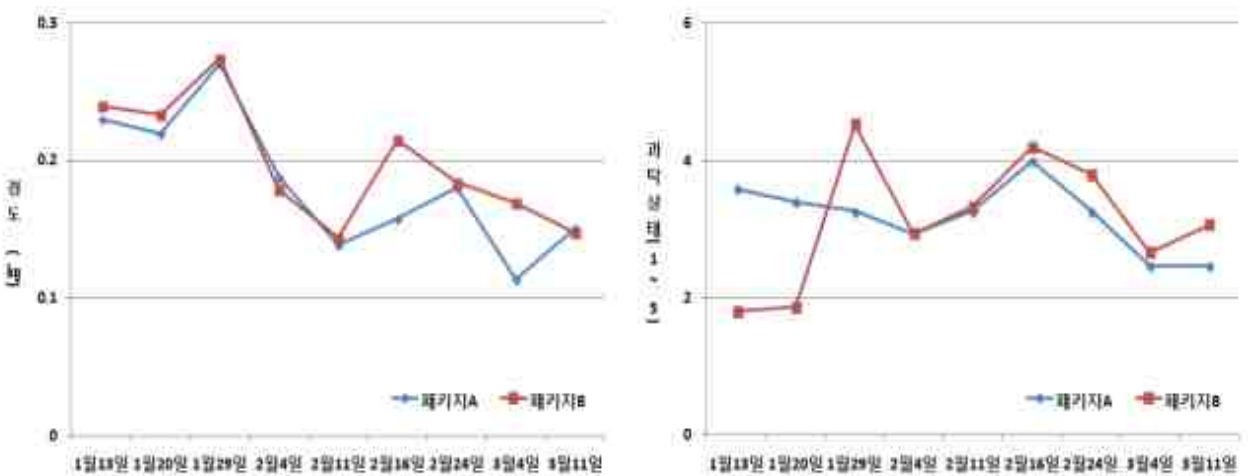


그림 21. 다겹보온커튼시설 투입농가(채\*\*)의 딸기 경도, 과다량 변화(2015. 1.13 ~ 3.11)

※ 패키지 A : 다겹보온커튼 + 수평예인식 다겹보온커튼,  
 패키지 B : 다겹보온커튼 + 수평예인식 알루미늄보온커튼



김\*\* 농가의 패키지기술 투입 시설별 딸기의 과실특성을 보면, 채\*\* 농가와 마찬가지로 일사량이 높았던 알루미늄보온커튼시설 투입 하우스에서 수확한 딸기가 과중이 높았고, 당도와 경도가 높았으며, 외부기온의 상승으로 과실의 크기가 작아졌으며, 과실의 품질도 떨어졌다(그림 22, 23, 24).

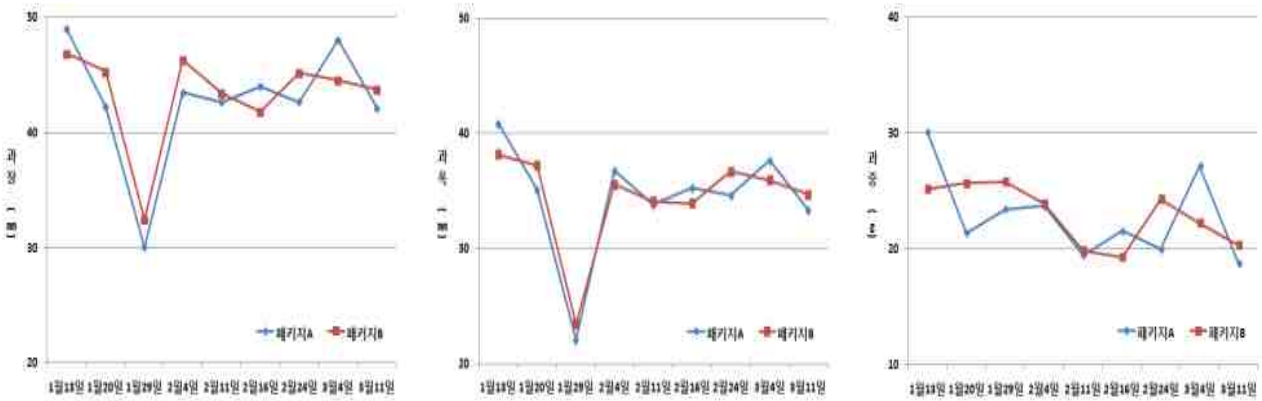


그림 22. 다겹보온커튼시설 투입농가(김\*\*)의 딸기 과장, 과폭, 과중 변화(2015. 1.13 ~ 3.11)

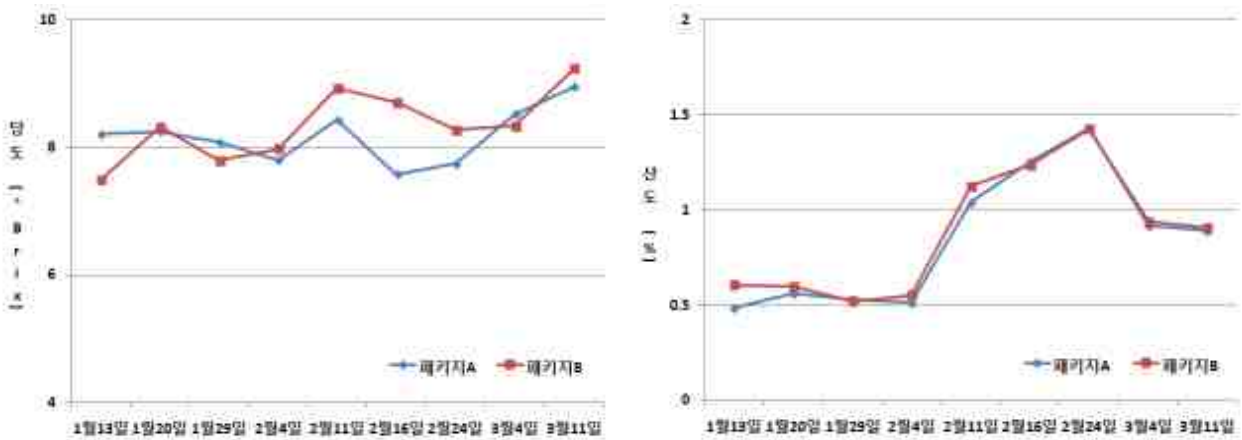


그림 23. 다겹보온커튼시설 투입농가(김\*\*)의 딸기 당도, 산도 변화(2015. 1.13 ~ 3.11)

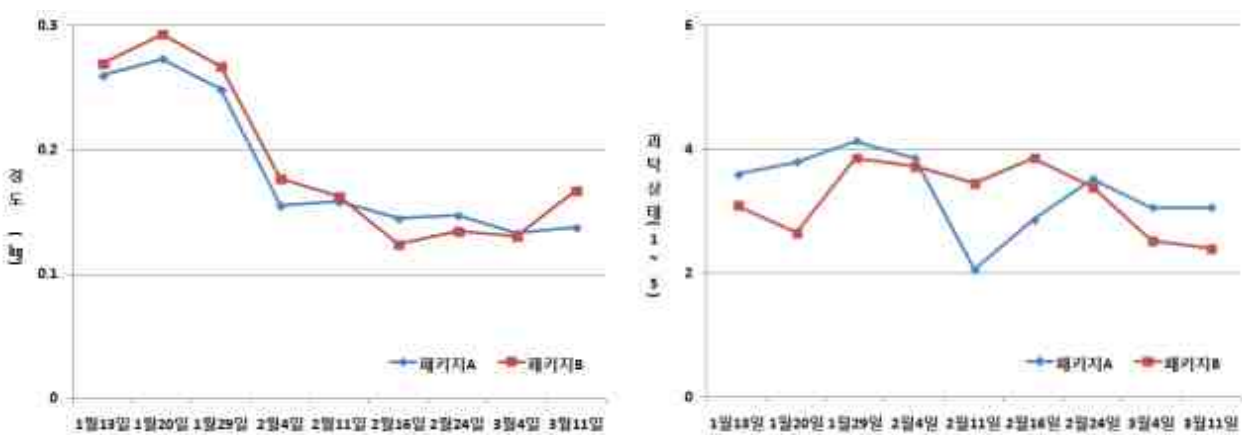


그림 24. 다겹보온커튼시설 투입농가(김\*\*)의 딸기 경도, 과탁 변화(2015. 1.13 ~ 3.11)

※ 패키지 A : 다겹보온커튼 + 수평예인식 다겹보온커튼,  
 패키지 B : 다겹보온커튼 + 수평예인식 알루미늄보온커튼

**라. 에너지절감 패키지기술 투입 시설별 딸기 수량 특성 및 경제성 분석**

**(1) 패키지기술 투입 시설별 딸기 수량 특성**

농가별 딸기의 수량 특성을 보면 시설 내 기온이 높아 생육이 빨랐던 김\*\* 농가의 패키지 기술 투입 처리구에서 딸기의 수확량이 높았으며, 기온이 낮았던 채\*\* 농가는 수확과수가 적어 상품수량이 다른 농가에 비해 낮았다. 패키지기술 처리별로 딸기의 수량 특성을 보면, 시설 내부 기온이 가장 높았던 김\*\* 농가의 패키지 B 처리구가 평균과중이 22.0g으로 다른 처리구에 비해 상품수량이 가장 높았으며, 다겹보온커튼 처리구 보다는 알루미늄보온커튼 처리구가 수확량이 작게 나타났다(표 6).

판매금액을 보면 김\*\* 농가의 경우 다겹보온커튼, 수막, 근권난방 등 패키지기술이 모두 투입된 B 처리구가 평균과중이 높고 상품수량이 높아 판매금액이 44,368천원/10a으로 가장 높았다. 채\*\* 농가는 수량이 가장 낮았으며, 수평예인식 알루미늄보온커튼 처리구에서 23,669천원으로 가장 판매금액이 낮았다. 세 농가 모두 재식주수는 10a당 10,000주를 정식하였고, 속초 농협에 실제로 납품하였던 평균단가 16,000원/1kg을 기준으로 조사하였다(표 6).

표 6. 실증연구 농가별 딸기 수량특성(2015. 1.21 ~ 3.18)

농 가	패키지기술	수확과수 (개/10주)	평균과중 (g)	상품수량 (kg/10a)	판매금액 (천원/10a)
김**	A(다겹+반사)	134.7±26.0	16.8±3.0	2,205.7	35,291
	B(다겹+근권+수막+반사)	126.3±9.5	22.0±1.2	2,773.0	44,368
	C(다겹+근권+반사)	125.7±19.0	20.6±1.1	2,599.3	41,589
채**	A(다겹+다겹수평)	97.3±7.0	18.7±1.0	1,820.7	29,131
	B(다겹+다겹알루미늄수평)	72.0±8.2	20.6±0.3	1,479.3	23,669
김**	A(다겹+다겹수평)	113.3±23.9	19.8±1.7	2,215.3	35,445
	B(다겹+다겹알루미늄수평)	116.0±14.8	17.3±1.9	2,029.0	32,464

※ 재식주수 : 10,000주/10a, 판매가격 : 16,000원/1kg(농협 평균 납품단가)

**(2) 패키지기술 투입 시설별 경제성 분석**

패키지기술 투입 시설별 에너지 절감 효과를 보면 김\*\* 농가의 경우 전년도 기존 시설 이 용시 2013년 12월부터 2014년 1월까지 사용되었던 에너지 사용량과 전기요금이 24,094kWh, 1,241천원이었으나, 패키지기술 투입 시 모든 처리구가 에너지 사용량이 줄어 전기요금이 절감되었고, 특히 패키지 B 처리구는 에너지 사용량이 11,641kWh로 643천원이 부과되어 48.2%의 에너지 절감효과가 있었다. 채\*\*, 김\*\* 농가의 경우 기존 다겹보온커튼에 수평예인식 다겹보온 커튼을 추가하였을 때 난방유 요금이 938,795원/10a으로 56.6% 절감효과가 있었으며, 다겹보온 커튼 없이 2중 비닐만 되어 있었던 하우스에 권취식 다겹보온커튼과 수평예인식 알루미늄보온 커튼을 투입하였을 때 기름을 625.3ℓ 사용하여 난방유 요금이 447천원 나와 전년 대비 78.6%의 절감효과를 나타냈다. 또한 기존 권취식 다겹보온커튼에 수평예인식 다겹보온커튼을 투입하였을 때 44.4% 절감효과를 나타냈고, 수평예인식 알루미늄보온커튼 처리구는 시설 내 기온이 낮아 난방효율이 16.9%로 떨어졌다. 난방유 가격은 2014년 11월부터 2015년 2월까지의 면세등 유 가격을 조사하여 평균값인 715원으로 기준으로 계산하였다(표 7, 8).

표 7. 패키지기술시설 투입에 따른 에너지 절감 효과(김\*\* 농가, '14.12 ~ '15. 1월)

패키지기술	에너지 사용량 (kwh/10a)	전기요금 (원/10a)	절감율 (%)
기존('13.12 ~ '14.1월)	24,094.0	1,241,720	0
기존+패키지 A	19,424.0	1,147,580	7.6
기존+패키지 B	11,641.4	643,720	48.2
기존+패키지 C	17,464.6	965,780	22.2

※ 전력 단가(농사용(을)) : kwh당 52~59원(기본요금 포함) 적용

※ 기 존 : 2중비닐, 다겹보온커튼, 전기온풍기

패키지 A : 다겹보온커튼(측면포함)+반사필름

패키지 B : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설+반사필름

패키지 C : 다겹보온커튼+근권난방+반사필름

표 8. 다겹보온커튼시설 투입에 따른 에너지 절감 효과('14.12 ~ '15. 2월)

농 가	패키지기술	에너지 사용량 (ℓ/10a)	난방유요금 (원/10a)	절감율 (%)
채**	기존(2중비닐, 다겹보온, 유류온풍기) : '13.12 ~ '14.2월	3,028.3	2,165,235	0
	- 기존+다겹수평보온커튼	1,313.0	938,795	56.6
	기존(2중비닐, 수평커튼, 유류온풍기)	2,920.3	2,088,015	0
	- 기존+다겹+다겹수평알루미늄보온커튼	625.3	447,090	78.6
김**	기존(2중비닐, 다겹보온, 유류온풍기) : '13.12 ~ '14.2월	2,943.4	2,104,531	0
	- 기존+다겹수평보온커튼	1,636.7	1,170,241	44.4
	- 기존+다겹수평알루미늄보온커튼	2,445.1	1,748,247	16.9

※ 난방유 가격 : 면세등유 715원/ℓ('14.11 ~ '15. 2월 면세등유 평균가격)

## 2. 에너지절감 패키지기술 모델 개발 실증연구 수용농가 모니터링(2년차)

2년차에는 딸기 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발 및 확산을 위하여 1년차 실증재배 농가 3개소에서 모니터링을 수행하였다.

### 가. 에너지절감 패키지기술 투입 시설별 기상환경

동계기간('15.12 ~ '16. 2월) 속초시의 외부기온을 보면 1월 23~24일에 영하 15℃ 이하로 가장 기온이 낮았다. 따라서 패키지기술 투입별 기상환경 조사는 2월 8일, 9일 2일간을 대상으로 분석하였다(그림 25).



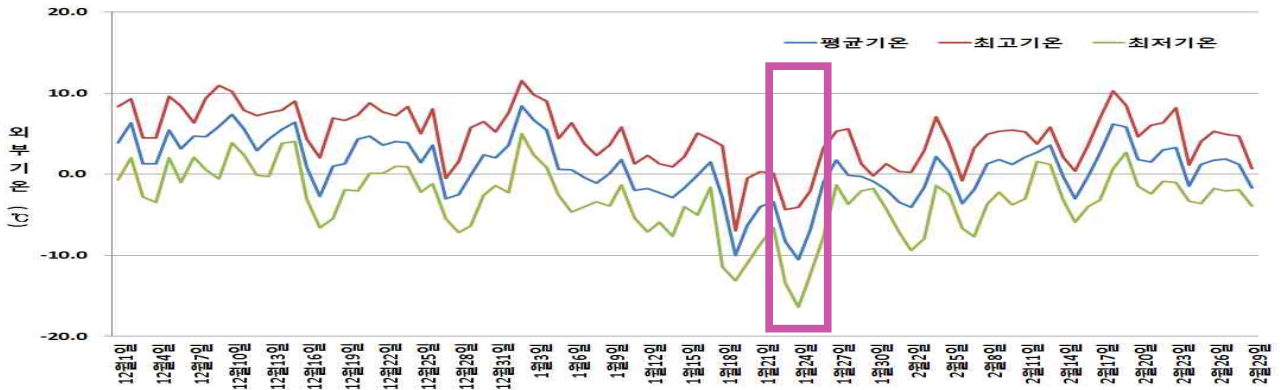


그림 25. 속초시 동계기간('15.12 ~ '16.02) 외부기온(평균, 최고, 최저)

※ 자료출처 : 기상청 (<http://www.kma.go.kr>)

김\*\* 농가의 패키지기술 투입 시설 내 온도를 보면, 패키지(다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설) 처리구가 기존(다겹보온커튼 + 근권난방) 처리구보다 내부온도가 최고 3°C 높았고 주야간 모두 습도가 높았으며 시설 내 일사량이 높았다(그림 26, 27).

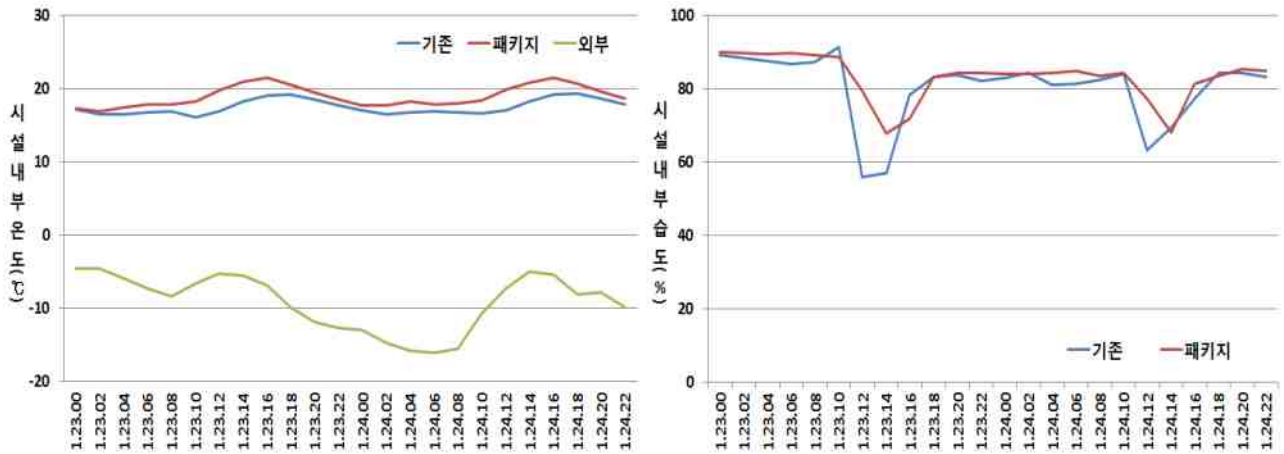


그림 26. 패키지기술 투입농가(김\*\*) 시설 내 온도 및 습도(2016. 1.23 ~ 1.24)

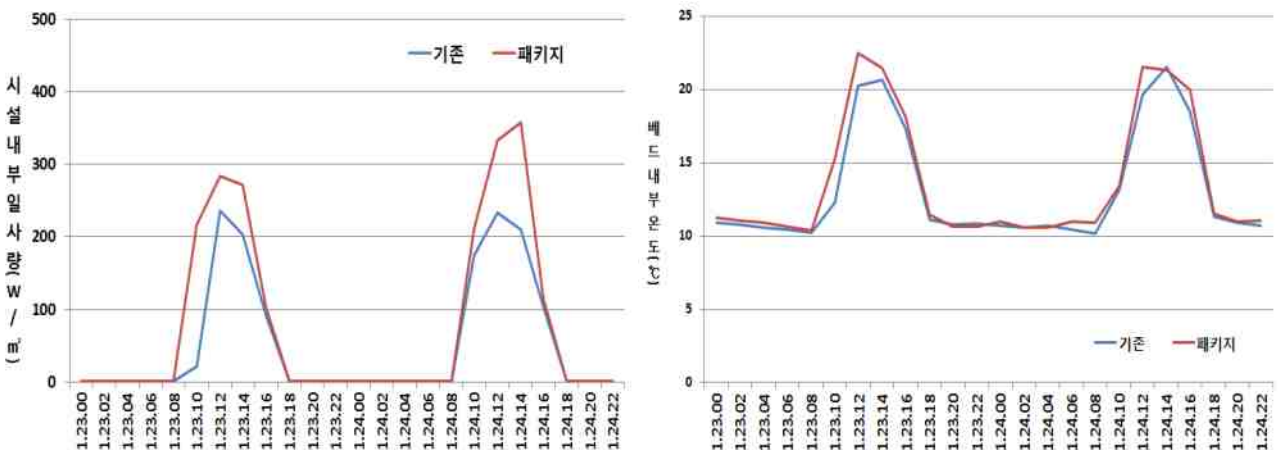


그림 27. 패키지기술 투입농가(김\*\*) 시설 내 일사량 및 베드내부 온도(2016. 1.23 ~ 1.24)

※ 기 존 : 다겹보온커튼+근권난방

패키지 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설

채\*\* 농가의 패키지기술 투입 시설 내 온도를 보면, 알루미늄 다겹보온커튼 처리구가 다겹보온커튼 처리보다 내부 온도가 높았으나 습도는 낮았고 일사량이 높았다. 김\*\* 농가는 알루미늄 다겹보온커튼 처리구가 다겹보온커튼 처리구보다 내부 온도, 습도 및 일사량이 높았다(그림 28, 29).

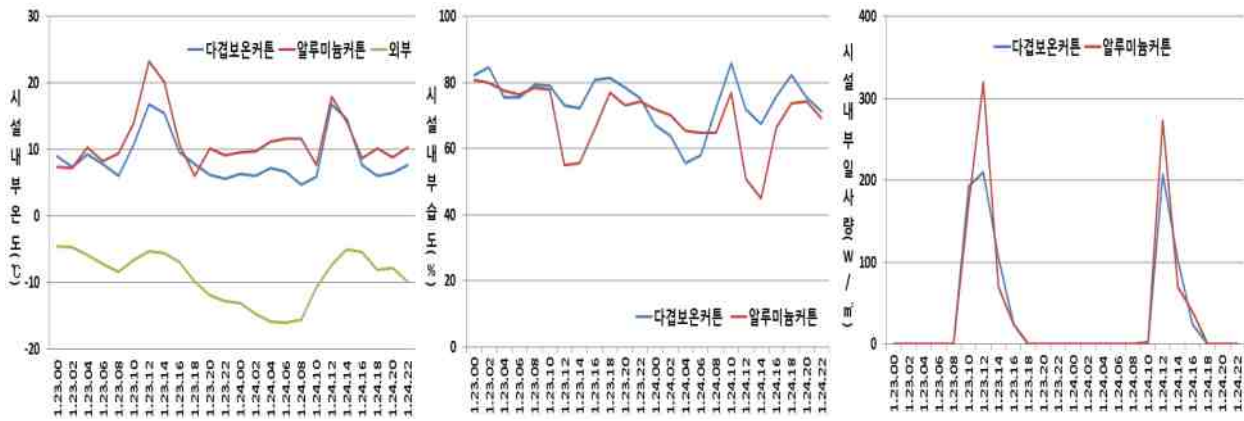


그림 28. 다겹보온커튼 투입농가(채\*\*) 시설 내 온도, 습도 및 일사량(2016. 1.23 ~ 1.24)  
 ※ 다겹보온커튼 : 다겹보온커튼 + 수평예인식 다겹보온커튼,  
 알루미늄커튼 : 다겹보온커튼 + 수평예인식 알루미늄보온커튼

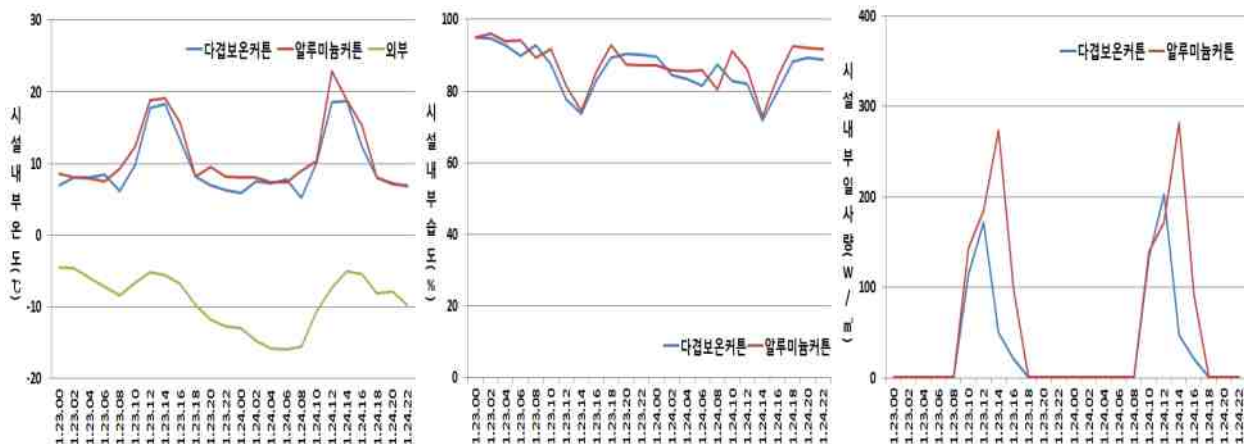


그림 29. 다겹보온커튼 투입농가(김\*\*) 시설 내 온도, 습도 및 일사량(2016. 1.23 ~ 1.24)  
 ※ 다겹보온커튼 : 다겹보온커튼 + 수평예인식 다겹보온커튼,  
 알루미늄커튼 : 다겹보온커튼 + 수평예인식 알루미늄보온커튼

나. 에너지절감 패키지기술 투입 시설별 딸기 생육 및 과실 특성

(1) 패키지기술 투입 시설별 딸기 생육 및 화방 특성

딸기의 생육 및 화방특성을 표 9, 10에서 살펴보면, 김\*\* 농가에서는 시설 내 온도가 높았던 패키지(다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설) 처리구가 기존(다겹보온커튼 + 근권난방) 처리구보다 초장, 엽장, 엽병장 등의 생육이 양호하였고, 화방별 착과수가 높아 수확과수가 증가하였다. 채\*\* 농가는 재배기간이 경과됨에 따라 알루미늄 다겹보온커튼 처리구가 다겹보온커튼 처리보다 과중이 감소하였으나 당도 및 경도가 증가하였고 산도가 감소하는 경향을 나타냈다.

김\*\* 농가는 생육 및 화방 출현에서 다겹보온커튼 처리구보다 알루미늄 다겹보온커튼 처리구가 높았다.

표 9. 실증연구 농가별 딸기 생육 특성

농 가	패키지기술	초장 (cm)	엽			엽병장 (cm)	근관부직경 (mm)
			수(매)	장(cm)	폭(cm)		
김**	기 존(다겹+근권)	24.8±3.5	15.8±4.8	11.3±1.4	9.3±1.4	21.6±3.3	37.0±8.2
	패키지(다겹+근권+수막)	26.0±5.5	18.0±8.3	10.4±1.4	8.2±1.8	23.7±4.6	37.3±9.8
채**	다겹보온커튼 (다겹+다겹수평)	16.0±2.7	12.2±3.1	10.2±1.2	8.5±1.1	15.9±1.4	29.7±3.6
	알루미늄커튼 (다겹+다겹알루미늄수평)	16.7±1.6	12.8±3.4	11.4±0.7	9.4±1.1	16.8±1.1	30.4±4.8
김**	다겹보온커튼 (다겹+다겹수평)	16.0±2.7	10.7±3.6	10.3±1.1	8.4±1.1	15.3±2.0	26.4±5.6
	알루미늄커튼 (다겹+다겹알루미늄수평)	18.3±2.76	11.6±4.7	11.0±1.1	9.0±1.0	17.5±1.6	29.3±5.2

※ 조사일 : 김\*\* 농가('16. 3.11), 채\*\*, 김\*\* 농가('16. 3.09)

표 10. 실증연구 농가별 딸기 화방 특성

농 가	패키지기술	제1화방 착과수(개)	제2화방 착과수(개)	제3화방 착과수(개)	제4화방 착과수(개)	계(개)
김**	기 존(다겹+근권)	8.0±3.6	6.1±2.5	5.7±2.2	3.3±2.0	23.1
	패키지(다겹+근권+수막)	8.6±2.4	5.8±2.3	6.1±2.7	5.4±2.3	25.9
채**	다겹보온커튼 (다겹+다겹수평)	9.1±3.0	9.2±2.8	5.9±3.2	-	24.2
	알루미늄커튼 (다겹+다겹알루미늄수평)	8.6±2.3	10.7±2.8	5.2±4.0	-	24.5
김**	다겹보온커튼 (다겹+다겹수평)	7.3±3.4	9.8±3.4	4.3±3.3	-	21.4
	알루미늄커튼 (다겹+다겹알루미늄수평)	8.2±2.2	11.4±2.7	4.6±3.4	-	24.2

※ 조사일 : 김\*\* 농가('16. 1.13 ~ 4.06), 채\*\*, 김\*\* 농가('15.12.10 ~ '16. 3.09)

## (2) 패키지기술 투입 시설별 딸기 과실 특성

모니터링 기간 동안 딸기는 매주 수확을 하여 과실 특성변화를 조사하였다. 우선 김\*\* 농가의 패키지기술 투입 시설별 딸기의 과장, 과폭, 과중을 보면 기존(다겹보온커튼 + 근권난방) 처리구보다 패키지(다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설) 처리구가 높았다. 채\*\* 농가는 재배기간이 경과됨에 따라 알루미늄 다겹보온커튼 처리구가 다겹보온커튼 처리보다 당도가 감소하고 산도가 증가하는 경향을 나타냈다. 김\*\* 농가는 재배기간이 경과됨에 따라 알루미늄 다겹보온커튼 처리구가 다겹보온커튼 처리보다 당도 및 경도가 증가하고 산도가 감소하는 경향을 나타냈다(그림 30~38).

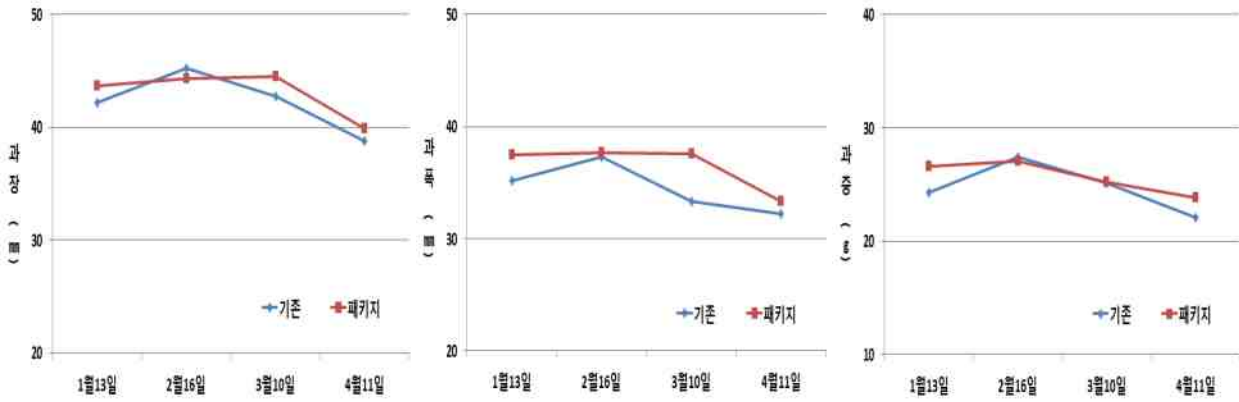


그림 30. 패키지기술 투입농가(김\*\*)의 딸기 과장, 과폭, 과중 변화(2016. 1.13 ~ 4.11)  
 ※ 기 존 : 다겹보온커튼+근권난방  
 패키지 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설

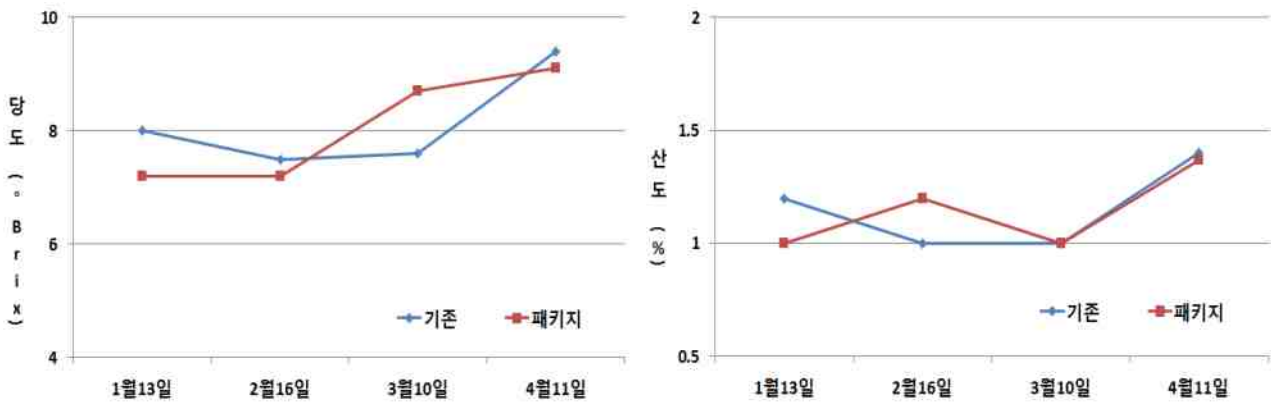


그림 31. 패키지기술 투입농가(김\*\*)의 딸기 당도, 산도 변화(2016. 1.13 ~ 4.11)  
 ※ 기 존 : 다겹보온커튼+근권난방  
 패키지 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설

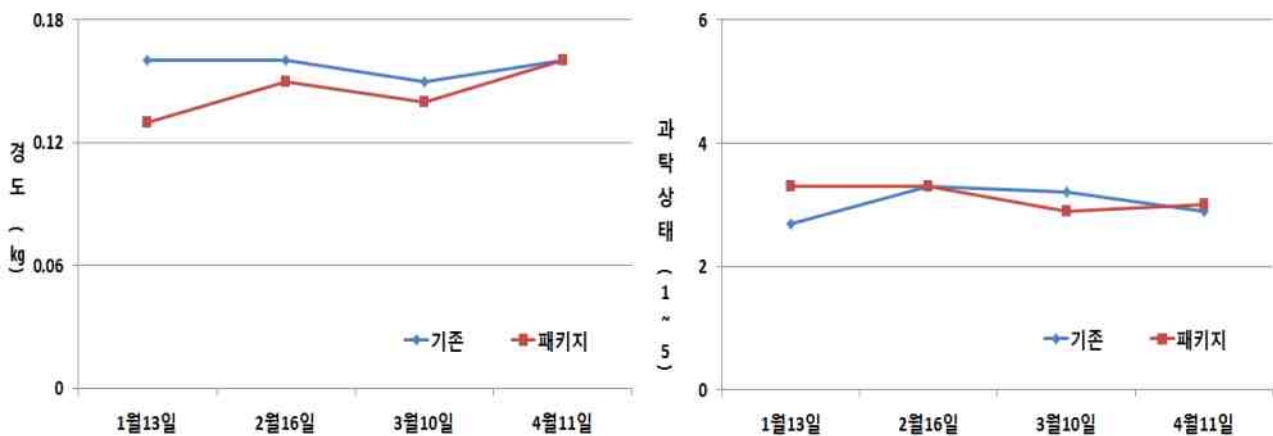


그림 32. 패키지기술 투입농가(김\*\*)의 딸기 경도, 과탁 변화(2016. 1.13 ~ 4.11)  
 ※ 기 존 : 다겹보온커튼+근권난방  
 패키지 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설

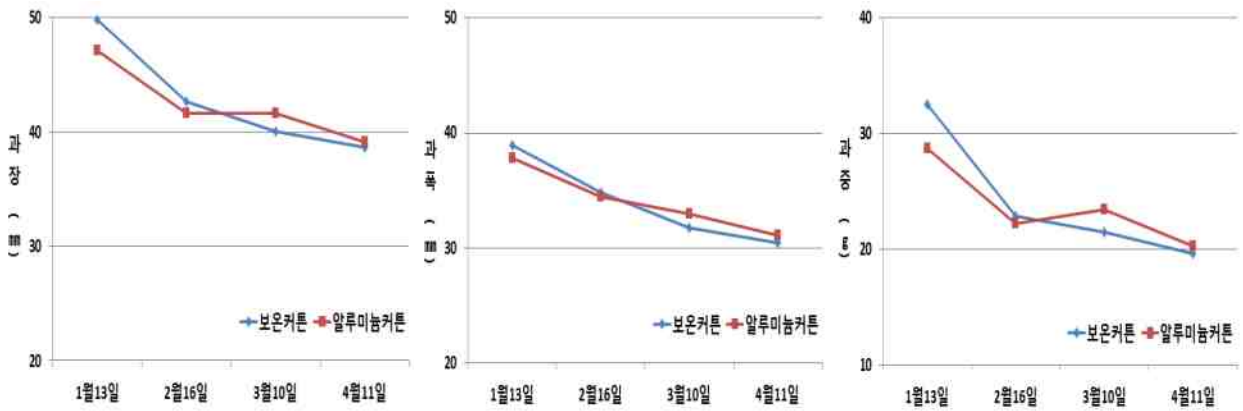


그림 33. 패키지기술 투입농가(채\*\*)의 딸기 과장, 과폭, 과중 변화(2016. 1.13 ~ 4.11)

※ 다겹보온커튼 : 다겹보온커튼 + 수평에인식 다겹보온커튼,  
 알루미늄커튼 : 다겹보온커튼 + 수평에인식 알루미늄보온커튼

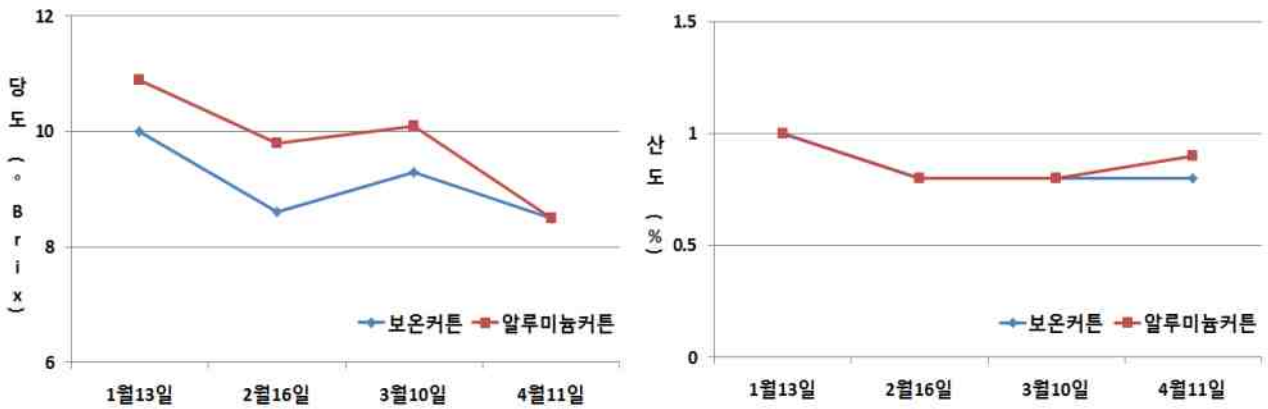


그림 34. 패키지기술 투입농가(채\*\*)의 딸기 당도, 산도 변화(2016. 1.13 ~ 4.11)

※ 다겹보온커튼 : 다겹보온커튼 + 수평에인식 다겹보온커튼,  
 알루미늄커튼 : 다겹보온커튼 + 수평에인식 알루미늄보온커튼

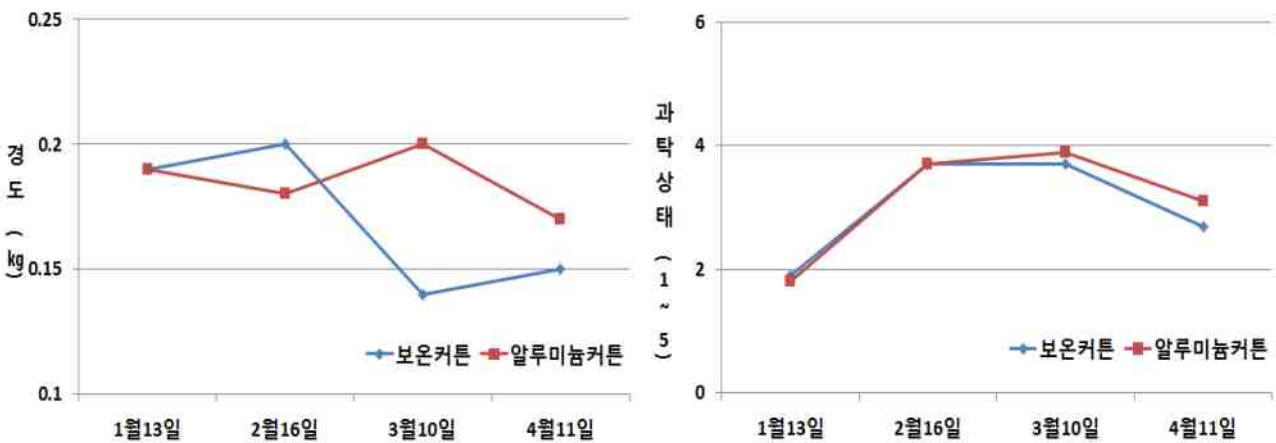


그림 35. 패키지기술 투입농가(채\*\*)의 딸기 경도, 과탁 변화(2016. 1.13 ~ 4.11)

※ 다겹보온커튼 : 다겹보온커튼 + 수평에인식 다겹보온커튼,  
 알루미늄커튼 : 다겹보온커튼 + 수평에인식 알루미늄보온커튼

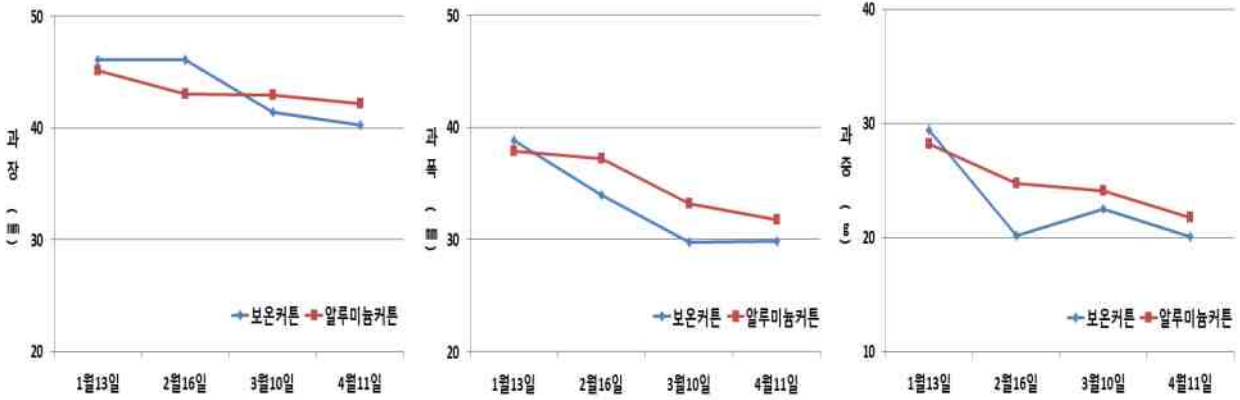


그림 36. 패키지기술 투입농가(김\*\*)의 딸기 과장, 과폭, 과중 변화(2016. 1.13 ~ 4.11)

※ 다겹보온커튼 : 다겹보온커튼 + 수평에인식 다겹보온커튼,  
 알루미늄커튼 : 다겹보온커튼 + 수평에인식 알루미늄보온커튼

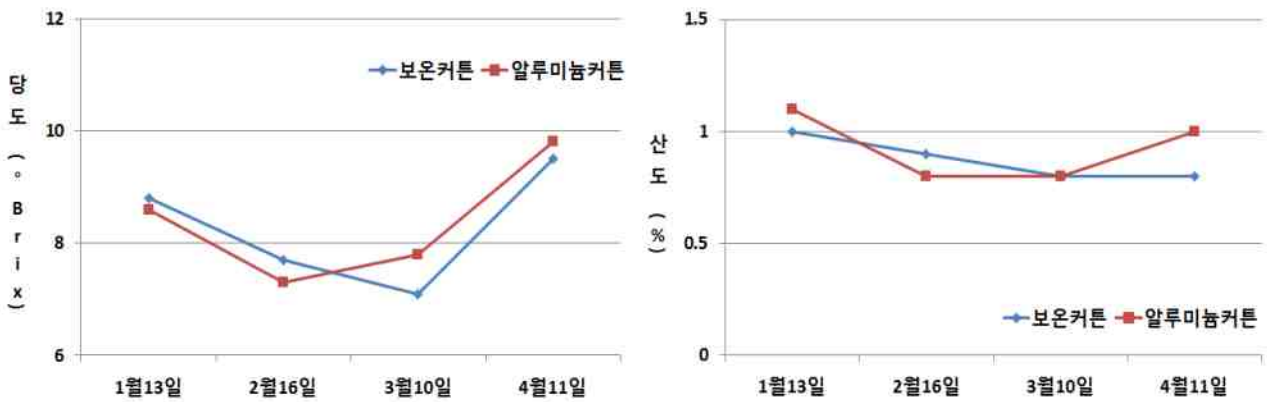


그림 37. 패키지기술 투입농가(김\*\*)의 딸기 당도, 산도 변화(2016. 1.13 ~ 4.11)

※ 다겹보온커튼 : 다겹보온커튼 + 수평에인식 다겹보온커튼,  
 알루미늄커튼 : 다겹보온커튼 + 수평에인식 알루미늄보온커튼

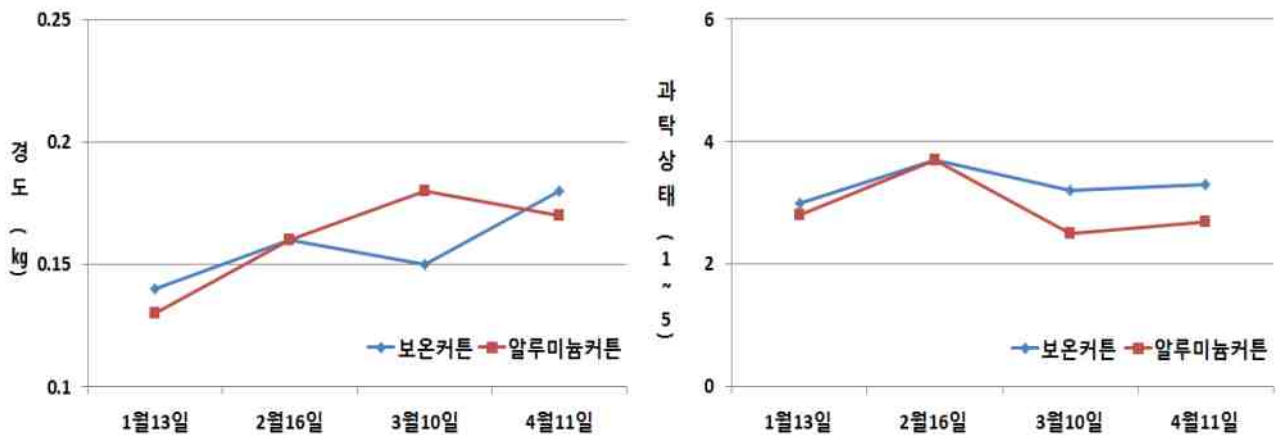


그림 38. 패키지기술 투입농가(김\*\*)의 딸기 경도, 과탁 변화(2016. 1.13 ~ 4.11)

※ 다겹보온커튼 : 다겹보온커튼 + 수평에인식 다겹보온커튼,  
 알루미늄커튼 : 다겹보온커튼 + 수평에인식 알루미늄보온커튼



## 다. 에너지절감 패키지기술 투입 시설별 딸기 수량 특성 및 경제성 분석

### (1) 패키지기술 투입 시설별 딸기 수량 특성

딸기의 수량 특성을 보면 김\*\* 농가에서는 시설 내 온도가 높아 생육이 빨랐던 패키지기술 (다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설) 처리구에서 딸기의 화방당 착과수가 높아 수확과수가 증가하여 평균수량이 10.5% 증가하였다. 채\*\* 농가는 다겹보온커튼 처리구에 비해 알루미늄 다겹보온커튼 처리구의 수량이 8.3% 증가하였다. 김\*\* 농가 또한 다겹보온커튼 처리구에 비해 알루미늄 다겹보온커튼 처리구의 수량이 12.0% 증가하였다(표 11).

판매금액을 보면 김\*\* 농가의 경우 다겹보온커튼, 근권난방, 수막시설 등 패키지기술이 모두 투입된 처리구가 평균과중이 높고 상품수량이 높아 판매금액이 29,160천원/10a으로 가장 높았다. 채\*\* 농가와 김\*\* 농가의 경우는 다겹보온커튼보다 알루미늄 다겹보온커튼을 추가한 처리구의 평균과중이 높고 상품수량이 높아 판매금액이 각각 24,465천원/10a, 29,743천원/10a이었다. 세 농가 모두 재식주수는 10a당 10,000주를 정식하였고, 해당 지역 농협에 실제로 납품하였던 평균단가 1kg 1팩 당 7,500원을 기준으로 분석하였다(표 11).

표 11. 실증연구 농가별 딸기 수량특성

농 가	패키지기술	수확과수 (개/10주)	평균과중 (g)	상품수량 (kg/10a)	판매금액 (천원/10a)
김**	기 준(다겹+근권)	151.0	23.3	3,518.3	26,387
	패키지(다겹+근권+수막)	160.0	24.3	3,888.0	29,160
채**	다겹보온커튼 (다겹+다겹수평)	139.3	21.6	3,012.7	22,595
	알루미늄커튼 (다겹+다겹알루미늄수평)	142.0	23.0	3,262.0	24,465
김**	다겹보온커튼 (다겹+다겹수평)	157.0	21.0	3,300.3	24,752
	알루미늄커튼 (다겹+다겹알루미늄수평)	173.7	22.8	3,965.7	29,743

※ 재식주수 : 10,000주/10a, 판매가격 : 7,500원/1kg(농협 평균 납품단가)

※ 수확시기 : 김\*\* ('16. 1.11 ~ 4.20), 채\*\* ('15.12.26 ~ '16. 4.16), 김\*\* ('15.12.21 ~ '16. 4.16)

### (2) 패키지기술 투입 시설별 경제성 분석

동해안지역 단동 비닐하우스에서 딸기 재배 시 각 농가별 시설조건에 적합한 패키지 기술을 적용하여 기존 일반재배 시와 비교하였을 때의 경제성 검토 결과 김\*\* 농가의 경우 기존 (다겹보온커튼 + 근권난방) 처리구보다 패키지기술(다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설) 처리구에서 패키지 적용 10a당 설치비는 30,370천원이었으며, 이에 따른 연간 감가상각비 등 연간 총고정비 3,903천원과 겨울철 난방비 966천원을 합하여 연간 총비용은 4,869천원이었으며, 패키지 기술을 적용에 따른 이익적 요소로 겨울철 딸기 증수에 의한 소득 증가가 2,773천원과 난방비 절감액이 897천원으로 나타나 연간 총 증가수입은 3,670천원으로 연간 추정수익액은 -1,199천원/10a이었다. 채\*\* 농가의 경우 다겹보온커튼 처리구에 비해 알루미늄 다겹보온커튼 처리구에서 10a당 패키지시설 설치 및 난방 비용 3,185천원보다 수량 증가 및 난방비 절감에

따른 이익 발생으로 1,425천원/10a의 수익이 발생하였고, 김\*\* 농가의 경우도 마찬가지로 다겹 보온커튼 처리구에 비해 알루미늄 다겹보온커튼 처리구에서 10a당 패키지시설 설치 및 난방 비용 3,608천원보다 수량 증가 및 난방비 절감에 따른 이익 발생으로 2,317천원/10a의 수익이 발생하였다(표 12).

표 12. 경제성 분석(부분시산법)

농 가	손실적 요소(A)	이익적 요소(B)
김**	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 비용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 다겹보온커튼(내구연한 7년) : 2,888,286원</li> <li>커튼, 파이프, 제어함 등 설치 20,218,000원/10a</li> <li>- 근권난방(내구연한 10년) : 532,620원</li> <li>보일러, 호스, 모터 등 설치 5,326,200원/10a</li> <li>- 수막시설(내구연한 10년) : 482,570원</li> <li>양수기, 비닐, 물탱크 등 설치 4,825,700원/10a</li> <li>- 에너지 사용비용 : 965,580원/10a</li> </ul> </li> <li>○ 계(A) : 4,869,056원/10a</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 이익비용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수량증가 : 369.7kg</li> <li>(3,518.3 → 3,888.0kg/10a)</li> <li>369.7kg×7,500원 = 2,772,750원</li> <li>- 난방비용 절감 : 897,000원/10a</li> </ul> </li> <li>○ 계(B) : 3,669,750원/10a</li> </ul>
	○ 추정수익액(B-A) = 3,669,750원 - 4,869,056원 = -1,199,306원/10a	
채**	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 비용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 알루미늄에인커튼(내구연한 7년) : 2,438,066원</li> <li>보일러, 호스, 모터 등 설치 17,066,465원/10a</li> <li>- 에너지 사용비용 : 746,640원/10a</li> </ul> </li> <li>○ 계(A) : 3,184,706원/10a</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 이익비용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수량증가 : 249.3kg</li> <li>(3,012.7 → 3,262.0kg/10a)</li> <li>249.3kg×7,500원 = 1,869,750원</li> <li>- 난방비용 절감 : 2,740,345원/10a</li> </ul> </li> <li>○ 계(B) : 4,610,095원/10a</li> </ul>
	○ 추정수익액(B-A) = 4,610,095원 - 3,184,706원 = 1,425,389원/10a	
김**	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 비용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 알루미늄에인커튼(내구연한 7년) : 2,438,066원</li> <li>보일러, 호스, 모터 등 설치 17,066,465원/10a</li> <li>- 에너지 사용비용 : 1,170,241원/10a</li> </ul> </li> <li>○ 계(A) : 3,608,307원/10a</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 이익비용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수량증가 : 665.4kg</li> <li>(3,300.3 → 3,965.7kg/10a)</li> <li>665.4kg×7,500원 = 4,990,500원</li> <li>- 난방비용 절감 : 934,290원/10a</li> </ul> </li> <li>○ 계(B) : 5,924,790원/10a</li> </ul>
	○ 추정수익액(B-A) = 5,924,790원 - 3,608,307원 = 2,316,483원/10a	

### 3. 에너지절감 패키지기술 모델 확산(2년차)

딸기 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 확산을 위하여 2년차에 추가로 동해, 삼척 딸기 재배농가에 패키지기술을 적용하여 실증연구를 수행하였다.

#### 가. 에너지절감 패키지기술 투입

본 연구의 시험 대상 지역은 강원도 동해시와 삼척시 근덕면 맹방 딸기재배단지 2개소 0.4ha에서 실시하였다. 두 지역 모두 체험 위주의 현장 판매가 주를 이루고 있으며, 인근 관광지를 방문하는 관광객들을 대상으로 적극적인 마케팅을 펼치고 있다. 각각의 농가 사진들은 그림 39에서 나타내었으며, 실증연구를 하였던 2농가들의 기술 투입 전 모습이다.





백\*\*(동해시)



김\*\*(삼척시)

그림 39. 농가 하우스 현황

**(1) 실증연구 수용농가(백\*\*) 투입기술 현황**

먼저 동해시 봉정1길 7번지 백\*\* 농가는 0.2ha 면적에서 농업에너지절감 패키지기술을 투입하여 실증연구를 수행하였다. 그림 40과 같이 아치형 단동 광폭비닐하우스(폭 8.5, 동고 3.5m)에 기 확보기술로 2중 비닐피복과 고설재배벤치, 수막시설, 주난방은 유류온풍기를 이용하고 있었다. 여기에 패키지기술로 다겹보온커튼과 근권난방시설을 투입하였다. 우선 근권난방은 17kWh 축열식 전기보일러를 설치하고 성형베드 내부에 관을 설치하여 15℃ 온도를 유지하도록 설치하였고, 권취식 5중 다겹보온커튼을 지붕과 하우스 측면에 설치하였다(그림 41).

표 13. 백\*\* 농가 하우스 현황 및 기 확보기술

장 소	재배 작목	영농 경력	하우스 현황	기 확보기술
강원도 동해시 봉정1길 7	딸기	5년	○ 아치형 단동 광폭비닐하우스 3동(폭 8.5, 길이 77, 동고 3.5m) ○ 재배면적 : 0.2ha	○ 2중 피복, 수막시설 ○ 고설재배벤치 ○ 유류온풍기(100,000kWh)



2중 피복 광폭비닐하우스



고설재배벤치



유류온풍기(100,000kWh)

그림 40. 농가(백\*\*) 하우스 현황 및 기 확보기술



기존 수막시설 이용



권취식다겹보온커튼



근권난방

그림 41. 패키지기술 시설 투입(백\*\* 농가)

**(2) 실증연구 수용농가(김\*\*) 투입기술 현황**

삼척시 근덕면 삼척로 3937-25번지 김\*\* 농가는 0.2ha 면적에서 농업에너지절감 패키지 기술을 투입하여 실증연구를 수행하였다. 표 13과 그림 42과 같이 아치형 단동 광폭비닐하우스 (폭 9, 동고 4m)에 기 확보기술로 2중 비닐피복과 고설재배벤치, 수막시설, 주난방은 유류온풍기를 이용하고 있었다. 여기에 패키지기술로 다겹보온커튼과 근권난방시설을 투입하였다. 우선 근권난방은 17kWh 축열식 전기보일러를 설치하고 성형베드 내부에 관을 설치하여 15℃ 온도를 유지하도록 설치하였고, 권취식 5중 다겹보온커튼을 지붕과 하우스 측면에 설치하였다(그림 43).

표 14. 김\*\* 농가 하우스 현황 및 기 확보기술

장소	재배 작목	영농 경력	하우스 현황	기 확보기술
강원도 삼척시 근덕면 삼척로 3937-25	딸기	20년	○ 아치형 단동 광폭비닐하우스 3동 - 2동(폭 9, 길이 76, 동고 4m) - 1동(폭 11, 길이 72, 동고 4.2m) ○ 재배면적 : 0.2ha	○ 2중 피복, 수막시설 ○ 고설재배벤치 ○ 유류온풍기(100,000kW)



2중 피복 광폭비닐하우스



고설재배벤치



유류온풍기(100,000kW)

그림 42. 농가(김\*\*) 하우스 현황 및 기 확보기술



기존 수막시설 이용



권취식다겹보온커튼



근권난방

그림 43. 패키지기술 시설 투입(김\*\* 농가)

그림 44는 농업에너지절감 패키지기술 투입농가별 재배 전경이다. 동해시 백\*\* 농가와 삼척시 김\*\* 농가 모두 패키지기술로 하우스 지붕과 측면에 권취식 5중 다겹보온커튼과 근권난방 시설로는 17kW 축열식 전기보일러가 설치된 모습이다.



백\*\*(동해시)



김\*\*(삼척시)

그림 44. 농업에너지절감 패키지기술 투입농가별 재배 전경

나. 에너지절감 패키지기술 투입 시설별 기상환경

(1) 동해시 패키지기술 투입 시설 내 온·습도, 일사량 및 베드내부 온도 변화

패키지기술이 투입된 각각의 하우스 내부에는 기상환경을 측정하고자 기상환경장치를 설치하여 온도, 습도, 지중온도 및 일사량을 측정하여 패키지기술 투입에 따른 기상환경변화를 측정하였다. 동계기간('15.12 ~ '16.02) 동해시의 외부기온을 보면, 1월 23일, 24일이 영하 10℃ 이하로 떨어져 가장 추웠다. 따라서 패키지기술 투입별 기상환경 조사는 1월 23일, 24일 2일간을 대상으로 분석하였다(그림 45).

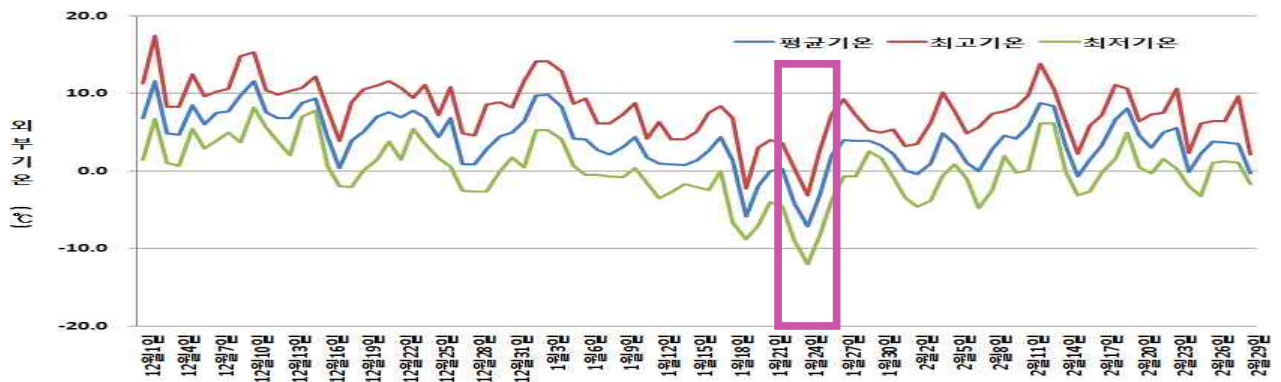


그림 45. 동해시 동계기간('15.12 ~ '16.02) 외부기온(평균, 최고, 최저)

※ 자료출처 : 기상청(<http://www.kma.go.kr>)

백\*\* 농가의 패키지기술 투입 시설 내 온도를 보면, 기존시설에 패키지기술(다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설) 처리구가 야간에도 10℃ 이상을 유지하여 난방 효과가 있었으나 시설 내 습도는 낮았다(그림 46, 47).

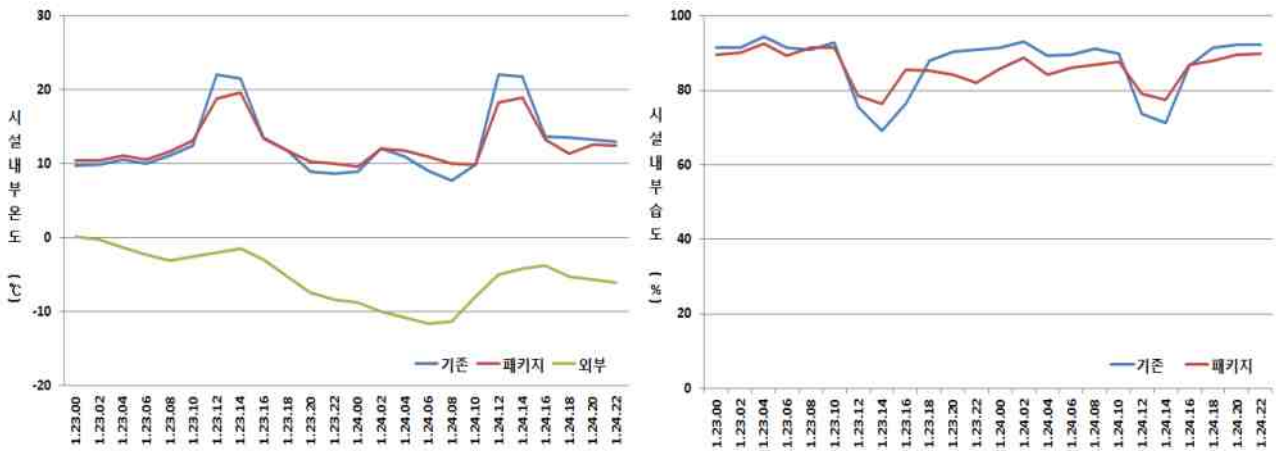


그림 46. 패키지기술 투입농가(백\*\*) 시설 내 온도 및 습도(2016. 1.23 ~ 1.24)

※ 기 준 : 다겹보온커튼+근권난방  
 패키지 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설

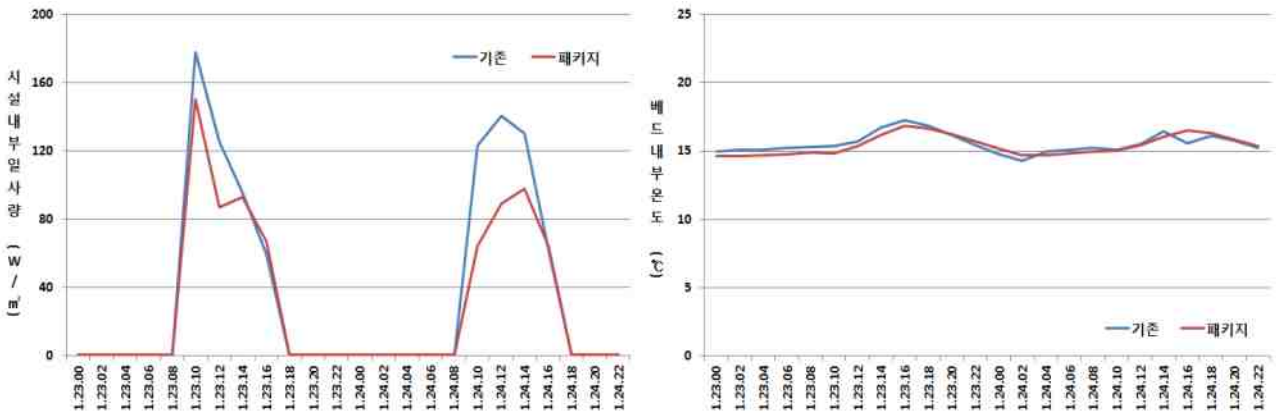


그림 47. 패키지기술 투입농가(백\*\*) 시설 내 일사량 및 베드내부 온도(2016. 1.23 ~ 1.24)

(2) 삼척시 패키지기술 투입 시설 내 온·습도, 일사량 및 베드내부 온도 변화

동계기간('15.12 ~ '16.02) 삼척시의 외부기온을 보면, 1월 23일, 24일이 영하 10℃ 이하로 떨어져 가장 추웠다. 따라서 패키지기술 투입별 기상환경 조사는 1월 23일, 24일 2일간을 대상으로 분석하였다(그림 48).

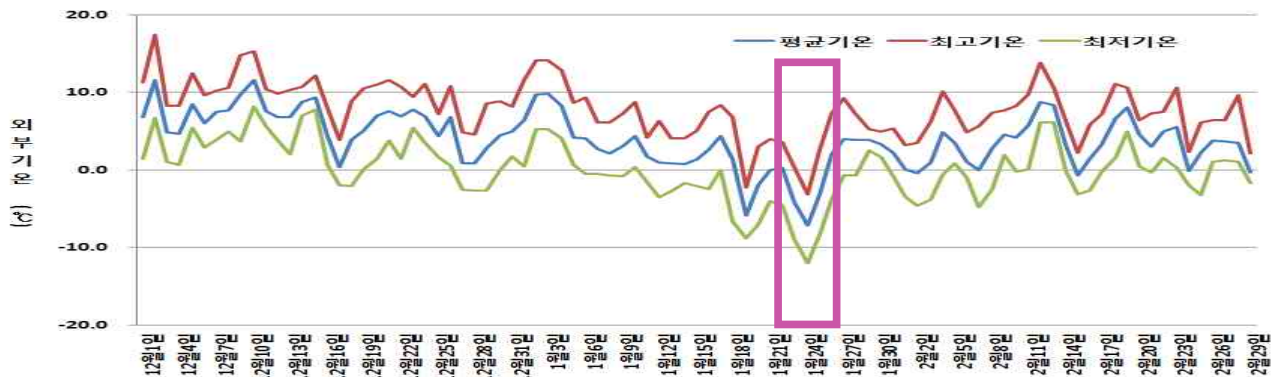


그림 48. 삼척시 동계기간('15.12 ~ '16.02) 외부기온(평균, 최고, 최저)

※ 자료출처 : 기상청(<http://www.kma.go.kr>)



김\*\* 농가의 패키지기술 투입 시설 내 온도를 보면, 기존시설에 패키지기술(다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설) 처리구가 야간에도 10℃ 이상을 유지하여 난방 효과가 있었으며, 다겹보온커튼이 없는 기존 처리보다 야간 온도가 3℃ 이상 높았다(그림 49, 50).

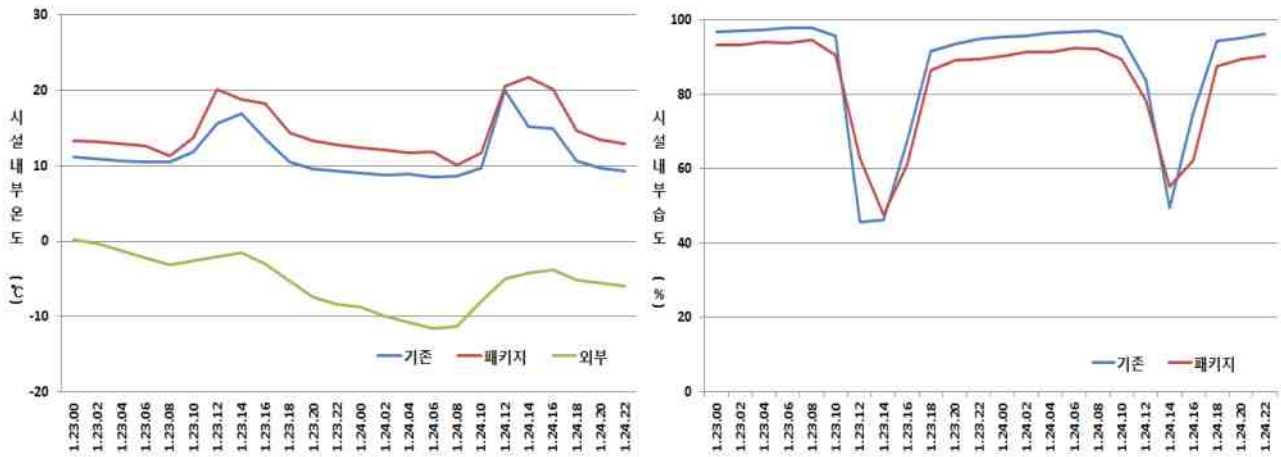


그림 49. 패키지기술 투입농가(김\*\*) 시설 내 온도 및 습도(2016. 1.23 ~ 1.24)

※ 기 준 : 근권난방+수막시설  
패키지 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설

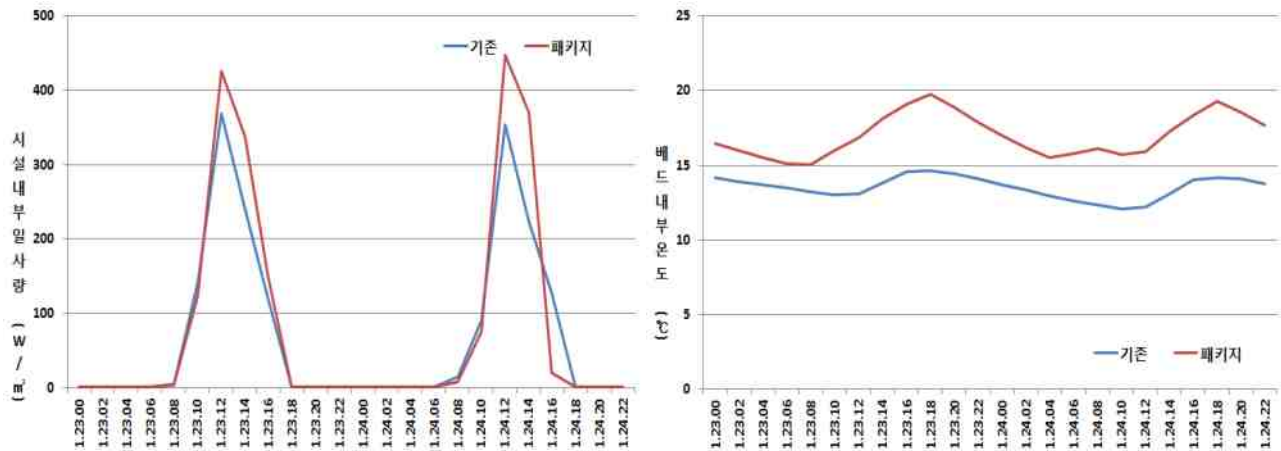


그림 50. 패키지기술 투입농가(김\*\*) 시설 내 일사량 및 베드내부 온도(2016. 1.23 ~ 1.24)

※ 기 준 : 근권난방+수막시설  
패키지 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설

#### 다. 에너지절감 패키지기술 투입 시설별 딸기 생육 및 과실 특성

##### (1) 패키지기술 투입 시설별 딸기 생육 및 화방 특성

농가별 딸기의 생육 및 화방 특성을 표 15, 16에서 살펴보면, 동해시 백\*\* 농가에서는 기존 시설에 수막시설을 추가한 패키지기술 투입 처리구가 생육이 양호하였으며, 삼척시 김\*\* 농가도 마찬가지로 다겹보온커튼을 추가한 패키지기술 투입 처리구가 생육이 양호하였으며 화방당 착과수가 12% 이상 증가하였다.

표 15. 실증연구 농가별 딸기 생육 특성

(조사일 : 2016. 3.10.)

농 가	패키지기술	초장 (cm)	엽			엽병장 (cm)	근관부직경 (mm)
			수(매)	장(cm)	폭(cm)		
동해시 백**	기 존(다겹+근권)	17.8±3.4	10.6±4.7	10.9±1.2	8.8±1.2	18.6±2.6	26.2±6.7
	패키지(다겹+근권+수막)	20.9±4.5	12.8±5.0	11.7±0.8	9.8±0.9	19.5±2.4	30.4±9.3
삼척시 김**	기 존(근권+수막)	13.9±2.0	10.8±2.5	7.2±0.7	5.6±0.9	12.0±1.5	27.6±3.7
	패키지(다겹+근권+수막)	15.5±2.0	9.5±2.6	7.3±0.8	5.8±0.8	13.4±1.3	25.3±3.3

표 16. 실증연구 농가별 딸기 화방 특성

(조사일 : 2015.12.10. ~ 2016. 3.10.)

농 가	패키지기술	제1화방 착과수(개)	제2화방 착과수(개)	제3화방 착과수(개)	제4화방 착과수(개)	계(개)
동해시 백**	기 존(다겹+근권)	8.2±1.5	11.8±3.5	7.2±3.6	4.3±1.3	31.5
	패키지(다겹+근권+수막)	8.3±1.1	11.8±3.5	7.0±3.1	5.7±3.0	32.8
삼척시 김**	기 존(근권+수막)	6.7±1.9	3.4±1.6	3.9±2.1	4.3±1.6	18.3
	패키지(다겹+근권+수막)	7.4±2.4	5.3±2.1	4.4±1.9	3.4±1.7	20.5

(2) 패키지기술 투입 시설별 딸기 과실 특성

실증연구 기간 동안 딸기는 매주 수확을 하여 과실 특성변화를 조사하였다. 우선 동해시 백\*\* 농가 딸기의 과장, 과폭, 과중 등 과실 특성을 보면, 기존시설에 수막시설을 추가한 패키지 기술 투입 시설의 과중이 높았고, 삼척시 김\*\* 농가의 경우도 기존시설에 다겹보온커튼을 추가한 패키지기술 투입 시설의 과중이 높게 나타나 품질 향상 효과가 있었다(그림 51~56).

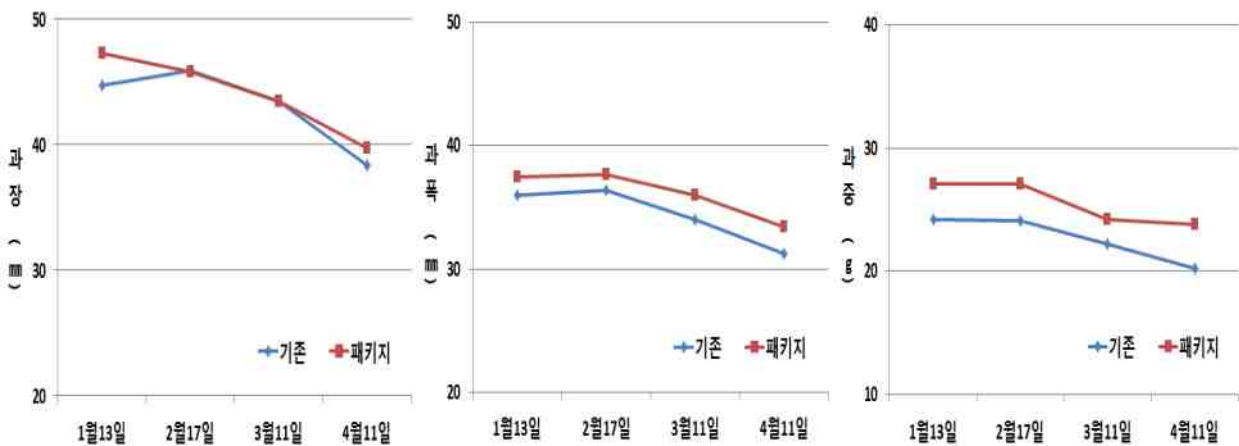


그림 51. 패키지기술 투입농가(백\*\*)의 딸기 과장, 과폭, 과중 변화(2016. 1.13 ~ 4.11)

※ 기 존 : 다겹보온커튼+근권난방

패키지 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설

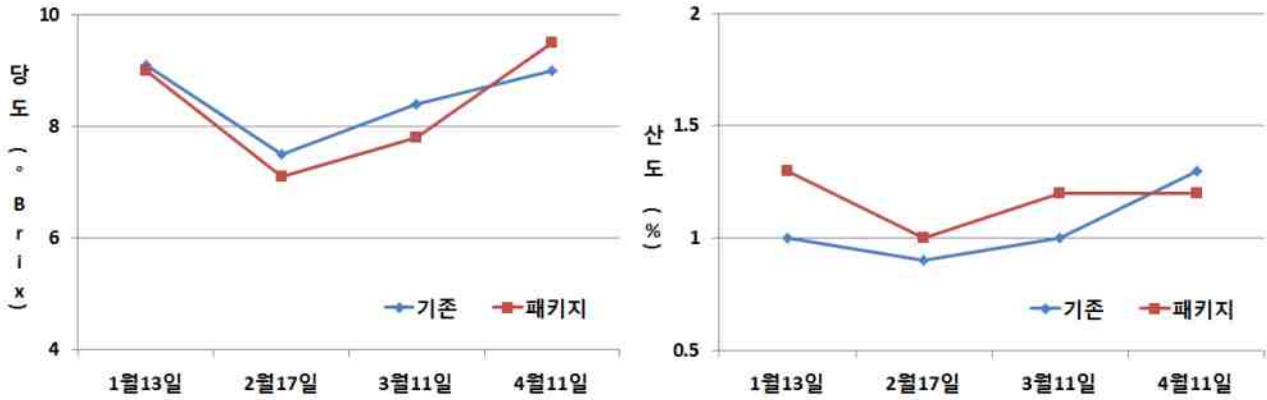


그림 52. 패키지기술 투입농가(백\*\*)의 딸기 당도, 산도 변화(2016. 1.13 ~ 4.11)

※ 기 존 : 다겹보온커튼+근권난방

패키지 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설

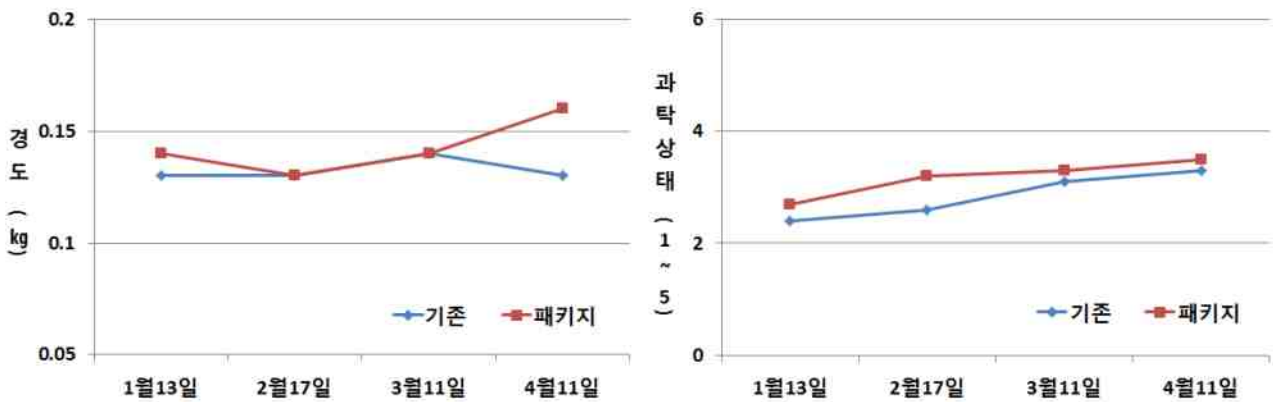


그림 53. 패키지기술 투입농가(백\*\*)의 딸기 경도, 과탁 변화(2016. 1.13 ~ 4.11)

※ 기 존 : 다겹보온커튼+근권난방

패키지 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설

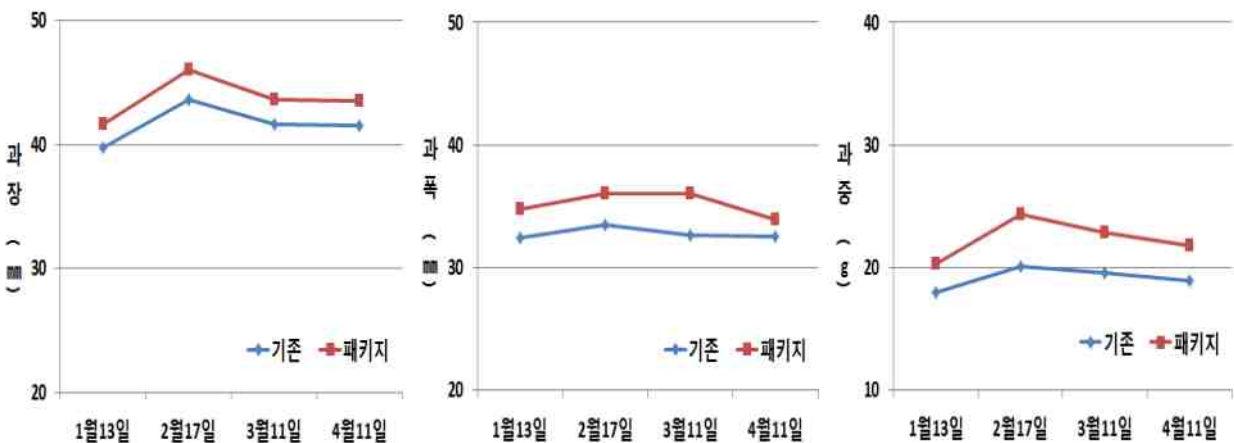


그림 54. 패키지기술 투입농가(김\*\*)의 딸기 과장, 과폭, 과중 변화(2016. 1.13 ~ 4.11)

※ 기 존 : 근권난방+수막시설

패키지 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설

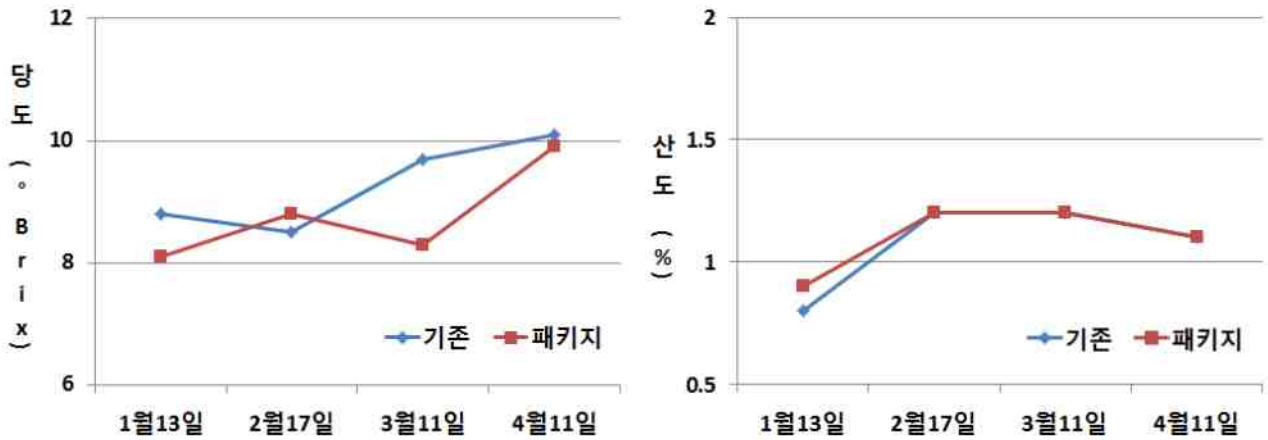


그림 55. 패키지기술 투입농가(김\*\*)의 딸기 당도, 산도 변화(2016. 1.13 ~ 4.11)

※ 기 존 : 근권난방+수막시설

패키지 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설

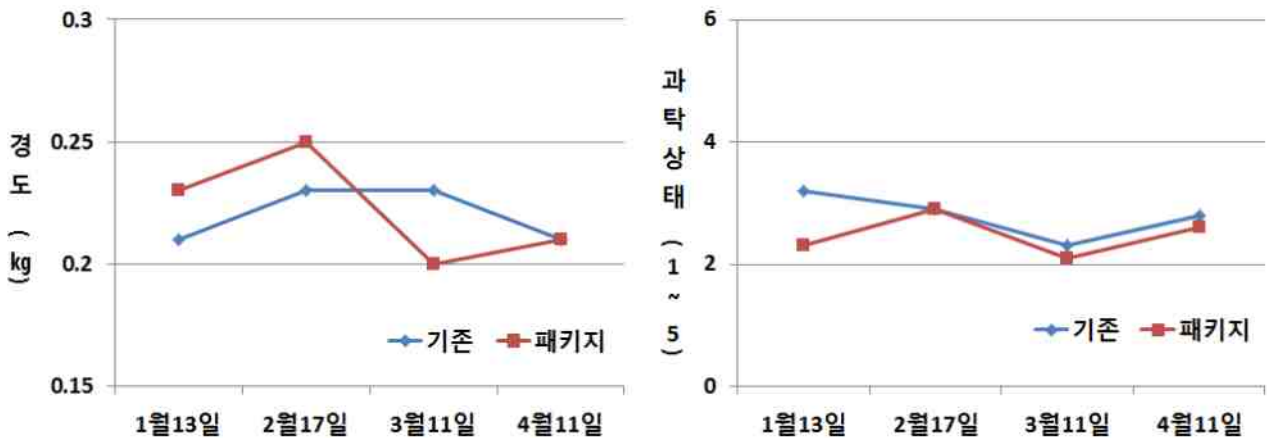


그림 56. 패키지기술 투입농가(김\*\*)의 딸기 과장, 과폭, 과중 변화(2016. 1.13 ~ 4.11)

※ 기 존 : 근권난방+수막시설

패키지 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설

## 라. 에너지절감 패키지기술 투입 시설별 딸기 수량 특성 및 경제성 분석

### (1) 패키지기술 투입 시설별 딸기 수량 특성

농가의 패키지기술 처리별로 딸기의 수량 특성을 보면 동해시 백\*\* 농가의 경우 기존 시설에 비해 시설 내부 온도가 높았던 패키지기술 처리구가 평균과중이 21.6g으로 기존 처리구에 비해 상품수량이 19.3% 더 높았고, 삼척시 김\*\* 농가의 경우도 마찬가지로 기존 시설에 비해 시설 내부 온도가 높았던 패키지기술 처리구가 평균과중이 20.7g으로 기존 처리구에 비해 상품수량이 19.3% 더 높았다(표 17).



판매금액을 보면 동해시 백\*\* 농가의 경우 다겹보온커튼, 수막, 근권난방 등 패키지가공이 모두 투입된 처리구가 평균과중이 높고 상품수량이 높아 판매금액이 40,250천원/10a으로 가장 높았다. 삼척시 김\*\* 농가는 수량이 동해시 백\*\* 농가보다 낮았으며, 다겹보온커튼, 수막, 근권 난방 등 패키지가공이 모두 투입된 처리구에서 판매금액이 36,225천원/10a이었다. 두 지역 모두 재식주수는 10a당 10,000주를 정식하였고, 해당 지역 농협에 실제로 납품하였던 평균단가 1kg 1팩 당 7,500원을 기준으로 분석하였다(표 17).

표 17. 실증연구 농가별 딸기 수량특성

농 가	패키지가공	수확과수 (개/10주)	평균과중 (g)	상품수량 (kg/10a)	판매금액 (천원/10a)
동해시 백**	기 준(다겹+근권)	222.0	20.3	4,498.7	33,740
	패키지(다겹+근권+수막)	249.0	21.6	5,366.7	40,250
삼척시 김**	기 준(근권+수막)	199.8	19.9	4,048.8	30,366
	패키지(다겹+근권+수막)	224.1	20.7	4,830.0	36,225

※ 재식주수 : 10,000주/10a, 판매가격 : 7,500원/1kg(농협 평균 납품단가)

※ 판매시기 : 동해시 백\*\* 농가('16.01.16 ~ 05.05), 삼척시 김\*\* 농가('15.12.21 ~ '16.05.07)

## (2) 패키지가공 투입 시설별 경제성 분석

패키지가공 투입 시설별 에너지 절감 효과를 보면 동해시 백\*\* 농가의 경우 전년도 기준 시설에서 사용되었던 에너지 사용량과 난방요금이 7,993.9kWh, 1,500 ℓ, 1,515천원이었으나, 패키지가공 투입 시 에너지 사용량이 6,336.1kWh로 난방요금이 350천원 부과되어 76.9%의 에너지 절감효과가 있었다. 삼척시 김\*\* 농가의 경우 전년도 기준 시설에서 사용되었던 에너지 사용량과 난방요금이 6,425.9kWh, 2,857.1 ℓ, 2,398천원이었으나, 패키지가공 투입 시 에너지 사용량이 9,076.6kWh로 난방요금이 501.9천원이 부과되어 79.1%의 에너지 절감효과가 있었다. 난방유 가격은 2014년 12월부터 2015년 2월까지의 면세경유 가격을 조사하여 평균값인 715원으로 기준으로 계산하였다(표 18).

표 18. 패키지가공시설 투입에 따른 난방비 절감 효과('15.12 ~ '16. 2월)

농 가	패키지가공	에너지 사용량 (kwh, ℓ/10a)	난방요금(등유+전기) (원/10a)	절감율 (%)
동해시 백**	기 준(다겹+근권)	7,993.9kwh, 1,500 ℓ	1,514,530	0
	패키지(다겹+근권+수막)	6,336.1kwh	350,360	76.9
삼척시 김**	기 준(근권+수막)	6,425.9kwh, 2,857.1 ℓ	2,398,190	0
	패키지(다겹+근권+수막)	9,076.6kwh	501,900	79.1

※ 기존난방의 경우 '15년 작황이 좋지 않아 유류난방은 1월만 사용함

난방유 가격 : 면세등유 715원/ℓ('15.12 ~ '16. 2월 면세등유 평균가격)

동해안지역 단동 비닐하우스에서 딸기 재배 시 각 농가별 시설조건에 적합한 난방 패키지 기술을 적용하여 기존 일반재배 시와 비교하였을 때의 경제성 검토 결과, 동해시 백\*\* 농가의 경우 기존(다겹보온커튼 + 근권난방) 처리구보다 패키지기술(다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막 시설) 처리구에서 패키지 적용 10a당 설치비는 18,677천원이었으며, 이에 따른 연간 감가상각비 등 연간 총 고정비 2,482천원과 겨울철 난방비 350천원을 합하여 연간 총비용은 2,832천원이었으며, 패키지 기술을 적용에 따른 이익적 요소로 겨울철 딸기 증수에 의한 소득 증가가 6,510천원과 난방비(전기요금) 절감액이 1,164천원으로 나타나 연간 총 증가수입은 7,674천원으로 연간 추정수익액은 4,842천원/10a이었다. 삼척시 김\*\* 농가의 경우 기존(근권난방 + 수막 시설) 처리구보다 패키지기술(다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설) 처리구에서 패키지 적용 10a당 설치비는 27,284천원이었으며, 이에 따른 연간 감가상각비 등 연간 총고정비 3,742천원과 겨울철 난방비 502천원을 합하여 연간 총비용은 4,244천원이었으며, 패키지 기술을 적용에 따른 이익적 요소로 겨울철 딸기 증수에 의한 소득 증가가 5,859천원과 난방비(전기요금) 절감액이 1,896천원으로 나타나 연간 총 증가수입은 7,755천원으로 연간 추정수익액은 3,511천원/10a이었다(표 19).

표 19. 경제성 분석(부분시산법)

농 가	손실적 요소(A)	이익적 요소(B)
동해시 백**	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 비용</li> <li>- 다겹보온커튼(내구연한 7년) : 2,047,650원</li> <li>   커튼, 파이프, 제어함 등 설치 14,333,550원/10a</li> <li>- 근권난방(내구연한 10년) : 434,391원</li> <li>   보일러, 호스, 모터 등 설치 4,343,910원/10a</li> <li>- 에너지 사용비용 : 350,360원/10a</li> <li>○ 계(A) : 2,832,401원/10a</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 이익비용</li> <li>- 수량증가 : 868.0kg</li> <li>   (4,498.7 → 5,366.7kg/10a)</li> <li>   868.0kg×7,500원 = 6,510,000원</li> <li>- 난방비용 절감 : 1,164,170원/10a</li> <li>○ 계(B) : 7,674,170원/10a</li> </ul>
	○ 추정수익액(B-A) = 7,674,170원 - 2,832,401원 = 4,841,769원/10a	
삼척시 김**	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 비용</li> <li>- 다겹보온커튼(내구연한 7년) : 3,378,795원</li> <li>   커튼, 파이프, 제어함 등 설치 23,651,565원/10a</li> <li>- 근권난방(내구연한 10년) : 363,194원</li> <li>   보일러, 호스, 모터 등 설치 3,631,942원/10a</li> <li>- 에너지 사용비용 : 501,900원/10a</li> <li>○ 계(A) : 4,243,889원/10a</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 이익비용</li> <li>- 수량증가 : 781.2kg</li> <li>   (4,048.8 → 4,830.0kg/10a)</li> <li>   781.2kg×7,500원 = 5,859,000원</li> <li>- 난방비용 절감 : 1,896,290원/10a</li> <li>○ 계(B) : 7,755,290원/10a</li> </ul>
	○ 추정수익액(B-A) = 7,755,290원 - 4,243,889원 = 3,511,401원/10a	

#### 4. 에너지절감 패키지기술 모델 고도화(3년차)

딸기 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발 및 확산을 위하여 2년차에 추가했던 실증재배 농가(동해, 삼척) 2개소에서 3년차에 배기열회수형 환기장치를 추가로 설치하여 실증연구 고도화를 추진하였다.

##### 가. 실증연구 수용농가 투입기술 현황

본 연구의 시험 대상 지역은 2년차 딸기 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발 실증연구 수용농가인 강원도 동해시와 삼척시 근덕면 맹방 딸기재배단지 2개소 0.4ha에서 실시하였다. 3년차에는 두 지역 모두 2년차 패키지기술((다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설)에 추가로 배기열회수형 환기장치를 설치하여 실증연구를 고도화하였다(표 20).

표 20. 실증농가 하우스 현황 및 투입기술 개요

시험장소 (농가명)	시설규모	패키지기술	
		기 확보기술	개선 내용
강원도 동해시 봉정1길 7 (백**)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 아치형 단동 광폭비닐하우스</li> <li>○ 재배면적 : 0.2ha</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2중피복, 수막시설</li> <li>○ 고설재배벤치</li> <li>○ 유류온풍기 (100천kcal/h)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 다겹보온커튼 : 3동 (5중, 권취식, 측면 다겹보온커튼)</li> <li>○ 근권난방 : 2동 (축열식 전기보일러 17kWh)</li> <li>○ 배기열 회수형 환풍장치 : 1동 (60천kcal/h) ※3년차 추가</li> </ul>
강원도 삼척시 근덕면 삼척로 3937-25 (김**)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 아치형 단동 광폭비닐하우스</li> <li>○ 재배면적 : 0.2ha</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2중피복, 수막시설</li> <li>○ 고설재배벤치</li> <li>○ 유류온풍기 (100천kcal/h)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 다겹보온커튼 : 2동 (5중, 권취식, 측면 다겹보온커튼)</li> <li>○ 근권난방 : 2동 (축열식 전기보일러 17kWh)</li> <li>○ 배기열 회수형 환풍장치 : 1동 (60천kcal/h) ※3년차 추가</li> </ul>

나. 에너지절감 패키지기술 투입 시설별 기상환경

(1) 동해시 패키지기술 투입 시설 내 온·습도 및 일사량 변화

패키지기술이 투입된 각각의 하우스 내부에는 기상환경을 측정하고자 기상환경장치를 설치하여 온도, 습도 및 일사량을 측정하여 패키지기술 투입에 따른 기상환경변화를 측정하였다. 동계기간('16.12 ~ '17.04) 동해시의 외부기온을 보면, 1월 24일, 25일이 영하 10℃ 이하로 떨어져 가장 추웠다. 따라서 패키지기술 투입별 기상환경 조사는 1월 24일, 25일 2일간을 대상으로 분석하였다(그림 57).

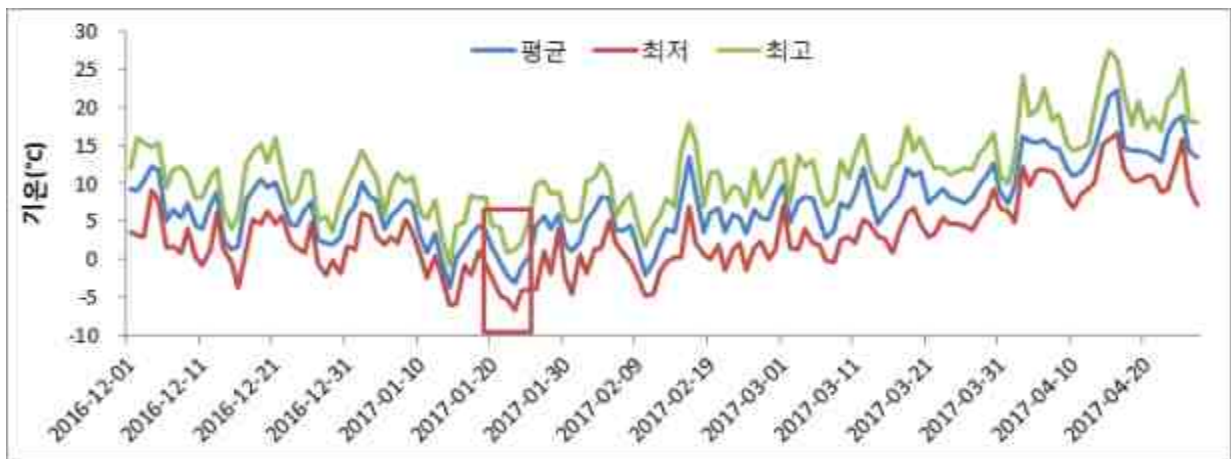


그림 57. 동해시 동계기간('16.12.01 ~ '17. 4.27) 외부기온(평균, 최고, 최저)

※ 자료출처 : 기상청(<http://www.kma.go.kr>)

백\*\* 농가의 패키지기술 투입 시설 내 온도를 보면, 기존시설에 패키지2 (다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설 + 배기열회수형 환기장치) 처리구가 야간에도 10℃ 이상을 유지하여 난방 효과가 있었으나 시설 내 습도는 낮았다(그림 58, 59).

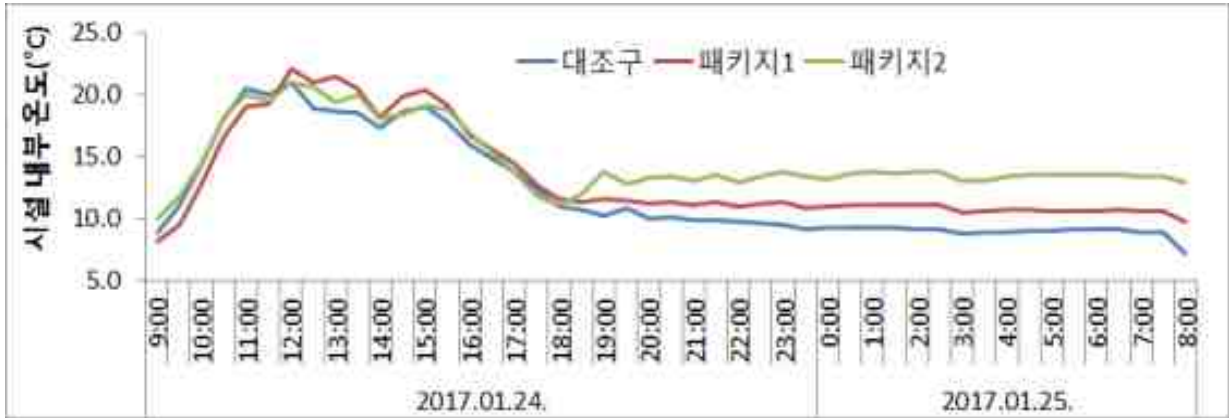


그림 58. 패키지기술 투입농가(백\*\*) 시설 내 온도(2017. 1.24 ~ 1.25)

- ※ 대조구 : 다겹보온커튼+근권난방
- 패키지1 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설
- 패키지2 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설+배기열회수형환기장치

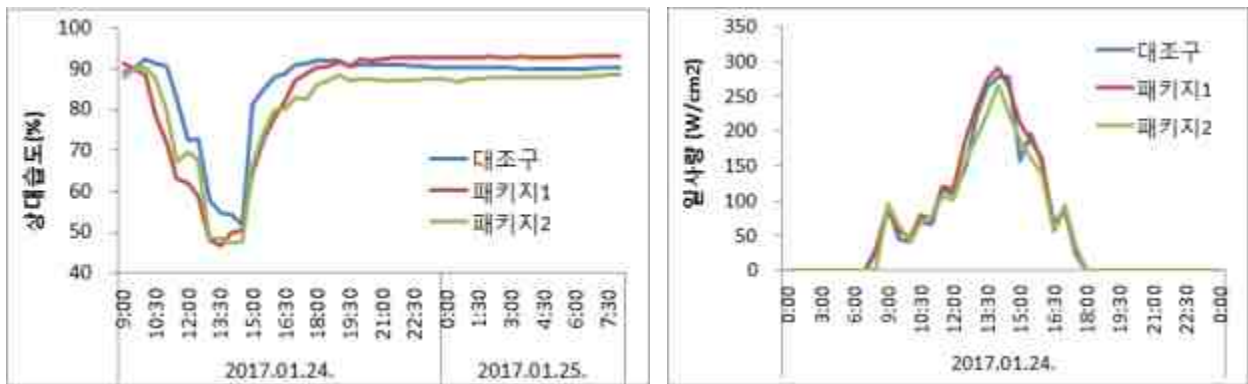


그림 59. 패키지기술 투입농가(백\*\*) 시설 내 상대습도 및 일사량(2017. 1.24 ~ 1.25)

(2) 삼척시 패키지기술 투입 시설 내 온·습도 및 일사량 변화

동계기간('16.12 ~ '17.04) 삼척시의 외부기온을 보면, 1월 23일, 24일이 영하 10℃ 이하로 떨어져 가장 추웠다. 따라서 패키지기술 투입별 기상환경 조사는 1월 23일, 24일 2일간을 대상으로 분석하였다(그림 60).

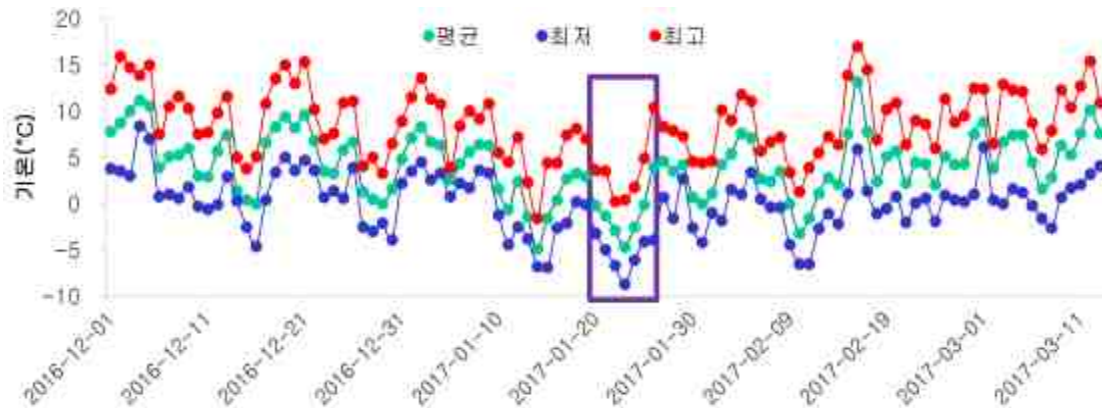


그림 60. 삼척시 동계기간('16.12.01 ~ '17.04.11) 외부기온(평균, 최고, 최저)

※ 자료출처 : 기상청 (<http://www.kma.go.kr>)

김\*\* 농가의 패키지기술 투입 시설 내 온도를 보면, 기존시설에 패키지2 (2중비닐 + 다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설 + 배기열회수형 환기장치) 처리구가 야간에도 10℃ 이상을 유지하여 난방 효과가 있었으나 시설 내 습도는 낮았다(그림 61, 62).

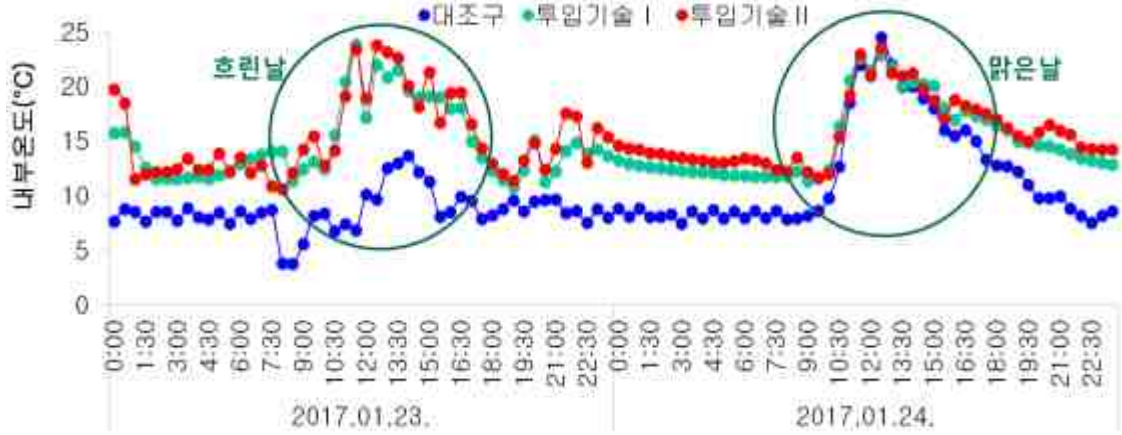


그림 61. 패키지기술 투입농가(김\*\*) 시설 내 온도(2017. 1.23 ~ 1.24)

※ 대조구 : 1중비닐+다겹보온커튼+온풍난방

패키지1 : 2중비닐+다겹보온커튼+근권난방+수막시설

패키지2 : 2중비닐+다겹보온커튼+근권난방+수막시설+배기열회수형환기장치

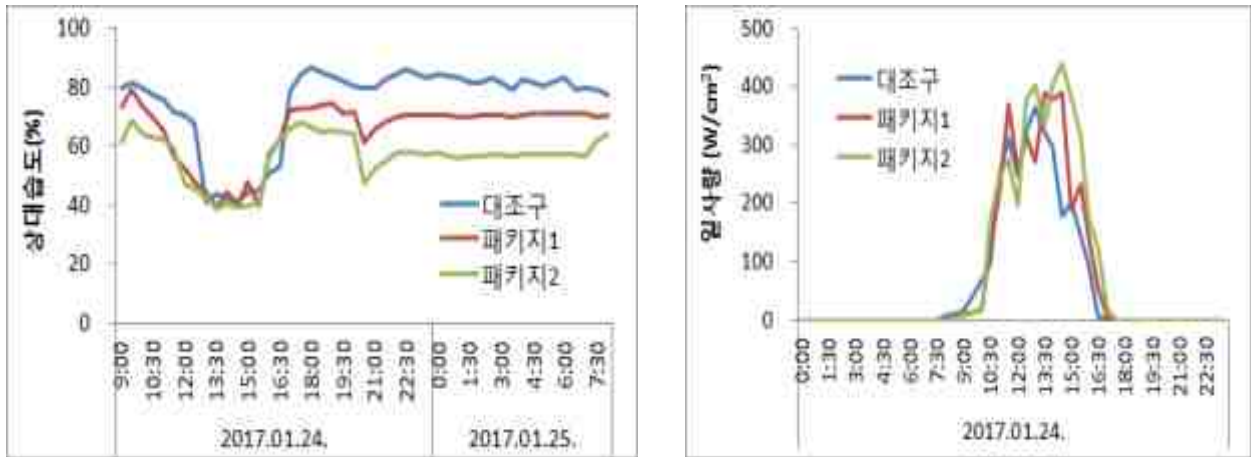


그림 62. 패키지기술 투입농가(김\*\*) 시설 내 상대습도 및 일사량(2017. 1.23 ~ 1.24)

#### 다. 에너지절감 패키지기술 투입 시설별 딸기 생육 및 과실 특성

##### (1) 패키지기술 투입 시설별 딸기 생육 및 화방 특성

농가별 딸기의 생육 및 화방 특성을 표 21, 22에서 살펴보면, 동해시 백\*\* 농가에서는 기존 시설(대조구, 패키지1)에 배기열회수형 환기장치를 추가한 패키지2 처리구의 생육 및 화방 당 착과수가 우수하였으며, 삼척시 김\*\* 농가도 마찬가지로 배기열회수형 환기장치를 추가한 패키지2 처리구가 생육이 양호하였으며 화방 당 착과수가 대조구(1중비닐 + 다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설)에 비해 15.9% 이상 증가하였다.



표 21. 실증연구 농가별 딸기 생육 특성

농 가	패키지기술	초장 (cm)	엽			엽병장 (cm)	근관부직경 (mm)
			수(매)	장(cm)	폭(cm)		
동해시 백**	대조구 (다겹+근권)	19.8±2.4	15.7±1.9	7.9±0.2	6.5±0.2	13.4±1.4	19.6±3.3
	패키지1(다겹+근권+수막)	23.9±1.0	19.1±2.1	8.0±0.3	6.4±0.5	14.4±1.1	20.6±2.0
	패키지2(다겹+근권+수막 +환기장치)	20.6±0.7	20.8±8.0	7.8±0.5	6.4±0.3	14.8±0.5	21.7±2.2
삼척시 김**	대조구 (1중+다겹+온풍)	19.4±3.5	15.0±3.1	7.5±0.5	6.1±0.3	13.2±1.3	26.5±5.5
	패키지1(2중+다겹+근권 +수막)	15.1±1.9	15.2±3.7	7.3±0.3	5.8±0.4	14.7±2.7	23.5±3.4
	패키지2(2중+다겹+근권 +수막+환기장치)	12.6±1.1	10.8±1.5	6.8±0.4	5.6±0.5	12.3±0.4	24.5±5.8

※ 조사시기 : 동해시 백\*\* 농가('17. 4.27), 삼척시 김\*\* 농가('17. 4.11)

표 22. 실증연구 농가별 딸기 화방별 착과수(개)

농 가	패키지기술	제1화방	제2화방	제3화방	제4화방	제5화방	제6화방	계
동해시 백**	대조구 (다겹+근권)	8.1	7.2	6.2	4.0	3.6	1.5	30.6
	패키지1(다겹+근권+수막)	9.3	6.1	4.8	4.3	3.5	3.1	31.2
	패키지2(다겹+근권+수막 +환기장치)	9.6	8.4	5.7	3.6	4.1	2.2	33.5
삼척시 김**	대조구 (1중+다겹+온풍)	5.0	10.9	5.0	3.8	3.2	3.5	31.4
	패키지1(2중+다겹+근권 +수막)	5.1	10.7	7.8	5.7	2.9	2.2	34.4
	패키지2(2중+다겹+근권 +수막+환기장치)	5.9	11.1	8.0	4.6	3.7	3.0	36.4

※ 조사시기 : 동해시 백\*\* 농가('16.11.24 ~ '17. 4.27), 삼척시 김\*\* 농가('16.11.24 ~ '17. 4.11)

(2) 패키지기술 투입 시설별 딸기 과실 특성

실증연구 기간 동안 딸기는 매주 수확을 하여 과실 특성변화를 조사하였다. 우선 동해시 백\*\* 농가 딸기의 과장, 과폭, 과중 등 과실 특성을 보면, 기존시설에 배기열회수형 환기장치를 추가한 패키지2 시설의 과중이 높았고, 삼척시 김\*\* 농가의 경우는 기존시설에 2중비닐과 수막 시설을 추가한 패키지1 시설의 과중이 높게 나타나 품질 향상 효과가 있었다(그림 63~68).

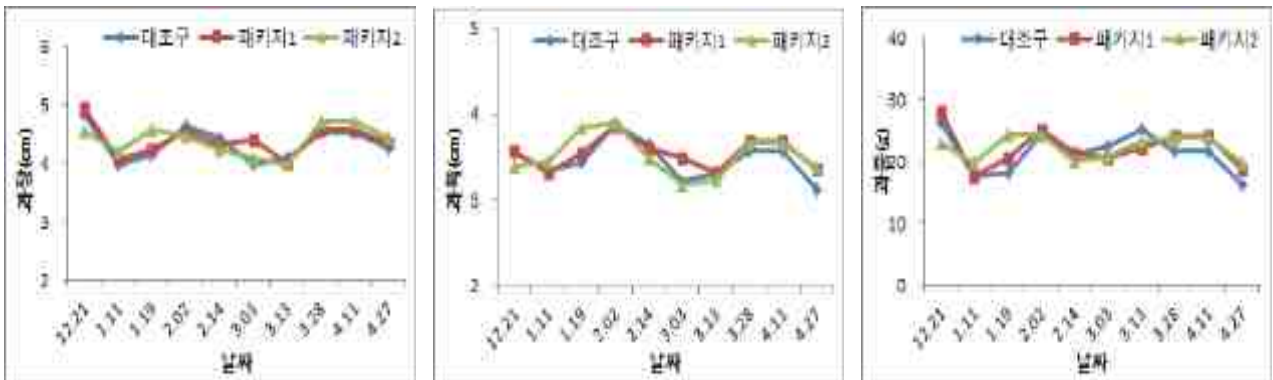


그림 63. 패키지기술 투입농가(백\*\*)의 딸기 과장, 과폭, 과중 변화(2016.12.21 ~ 2017. 4.27)

※ 대조구 : 다겹보온커튼+근권난방  
 패키지1 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설  
 패키지2 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설+배기열회수형환기장치

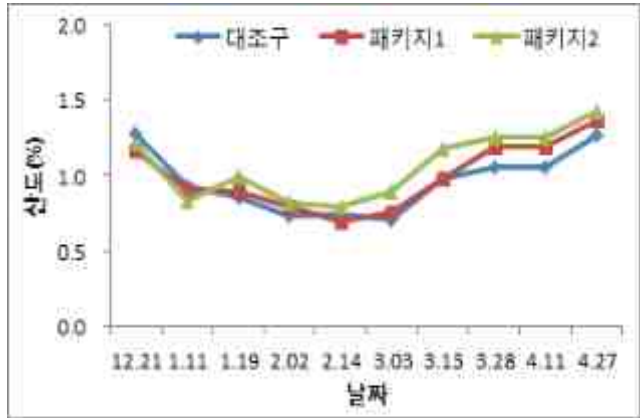
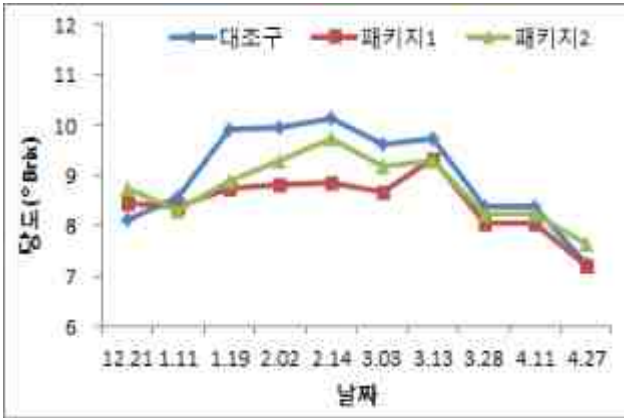


그림 64. 패키지기술 투입농가(백\*\*)의 딸기 당도, 산도 변화(2016.12.21 ~ 2017. 4.27)

- ※ 대조구 : 다겹보온커튼+근권난방
- 패키지1 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설
- 패키지2 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설+배기열회수형환기장치

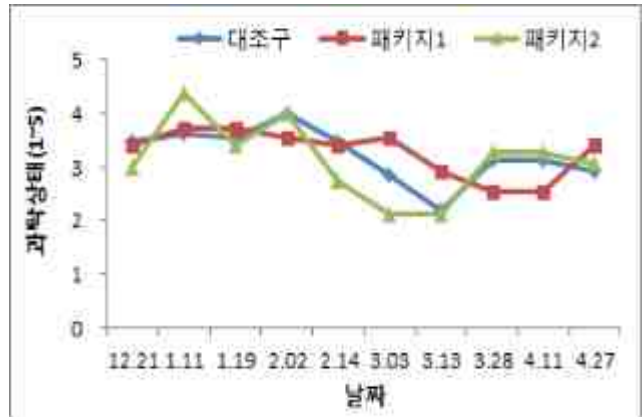
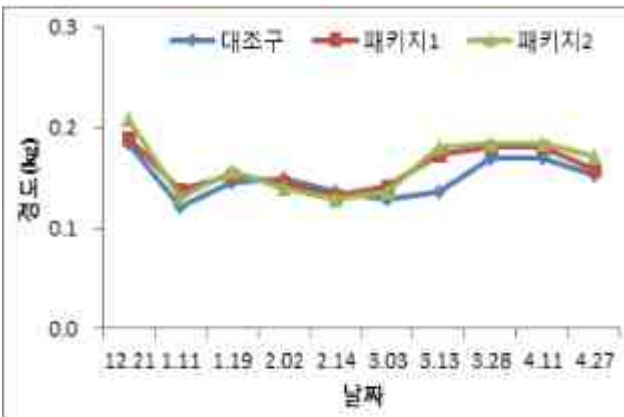


그림 65. 패키지기술 투입농가(백\*\*)의 딸기 경도, 과실 변화(2016.12.21 ~ 2017. 4.27)

- ※ 대조구 : 다겹보온커튼+근권난방
- 패키지1 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설
- 패키지2 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설+배기열회수형환기장치

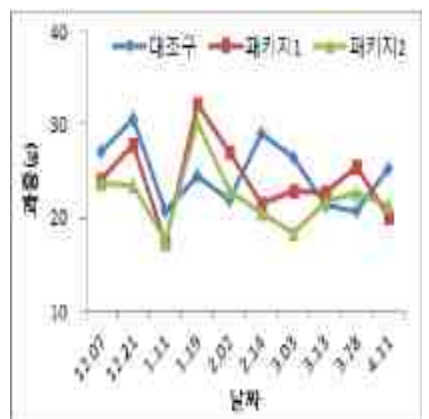
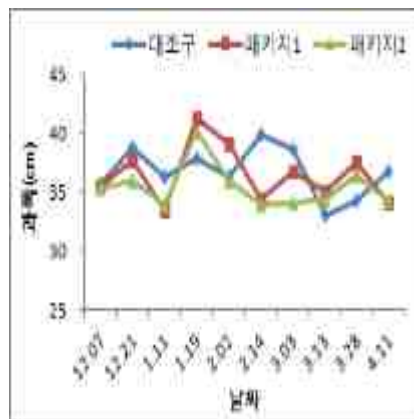
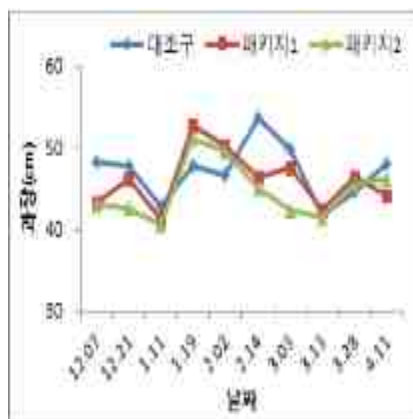


그림 66. 패키지기술 투입농가(김\*\*)의 딸기 과장, 과폭, 과중 변화(2016.12. 7 ~ 2017. 4.11)

- ※ 대조구 : 1중비닐+다겹보온커튼+온풍난방
- 패키지1 : 2중비닐+다겹보온커튼+근권난방+수막시설
- 패키지2 : 2중비닐+다겹보온커튼+근권난방+수막시설+배기열회수형환기장치

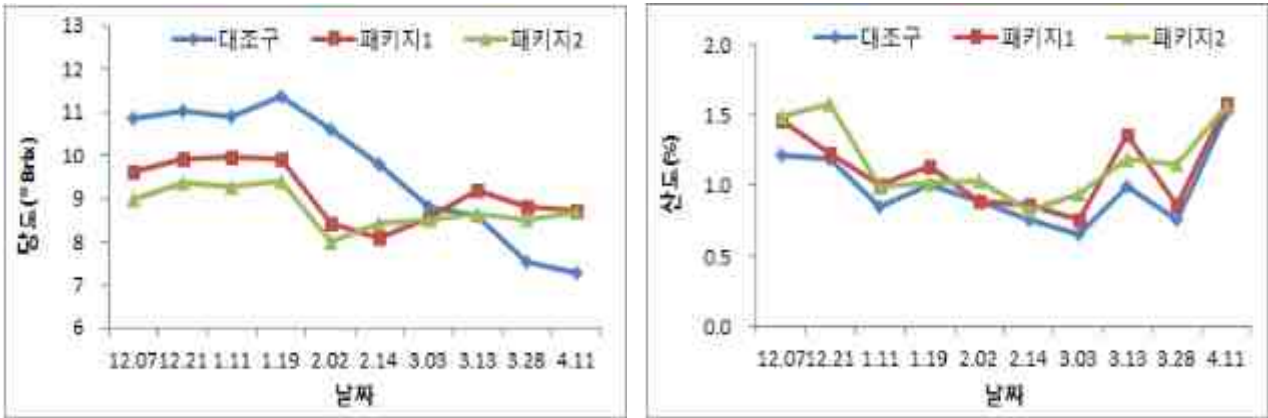


그림 67. 패키지기술 투입농가(김\*\*)의 딸기 당도, 산도 변화(2016.12. 7 ~ 2017. 4.11)

※ 대조구 : 1중비닐+다겹보온커튼+온풍난방

패키지1 : 2중비닐+다겹보온커튼+근권난방+수막시설

패키지2 : 2중비닐+다겹보온커튼+근권난방+수막시설+배기열회수형환기장치

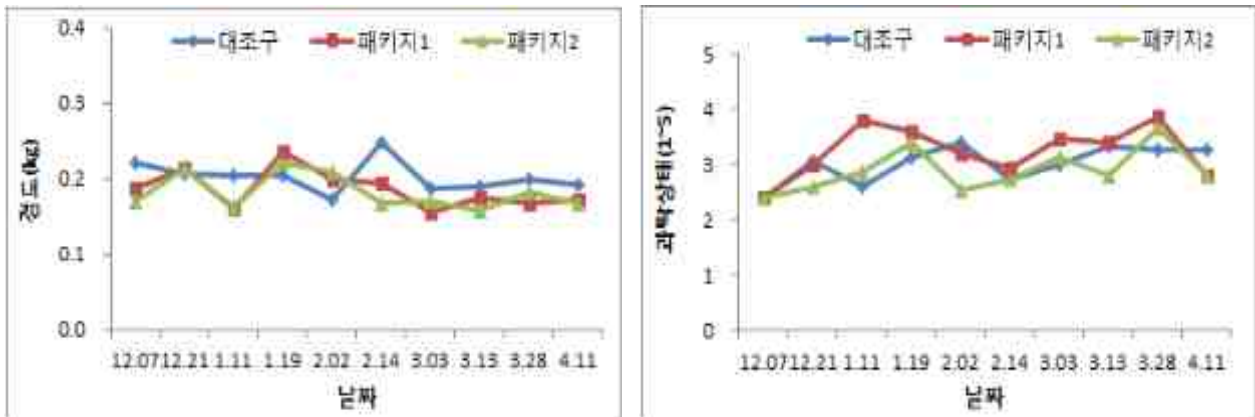


그림 68. 패키지기술 투입농가(김\*\*)의 딸기 과장, 과폭, 과중 변화(2016.12. 7 ~ 2017. 4.11)

※ 대조구 : 1중비닐+다겹보온커튼+온풍난방

패키지1 : 2중비닐+다겹보온커튼+근권난방+수막시설

패키지2 : 2중비닐+다겹보온커튼+근권난방+수막시설+배기열회수형환기장치

## 라. 에너지절감 패키지기술 투입 시설별 딸기 수량 특성 및 경제성 분석

### (1) 패키지기술 투입 시설별 딸기 수량 특성

농가의 패키지기술 처리별로 딸기의 수량 특성을 보면 동해시 백\*\* 농가의 경우 기존 시설에 비해 시설 내부 기온이 높았던 패키지2(다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설 + 배기열회수형 환기장치) 처리구가 평균과중이 20.5g으로 대조구에 비해 상품수량이 18% 더 높았고, 삼척시 김\*\* 농가의 경우는 기존 시설에 비해 시설 내부 기온이 높았던 패키지1(2중비닐 + 다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설) 처리구가 수확과수가 많아서 대조구에 비해 상품수량이 2배 더 높았다. 특히 대조구의 경우 설정온도까지 유지가 어려워 난방비 부담으로 저온관리함으로써 수량이 상대적으로 매우 낮았고, 배기열회수형 환기장치는 고습도 조건에서 외부공기의 유입으로 적정 온·습도 유지가 다소 어려워 수량이 상대적으로 낮았다(표 23).



판매금액을 보면 동해시 백\*\* 농가의 경우 다겹보온커튼, 근권난방, 수막시설, 배기열회수형 환기장치 등 패키지기술이 모두 투입된 패키지2 처리구가 평균과중이 높고 상품수량이 높아 판매금액이 26,530천원/10a으로 가장 높았다. 삼척시 김\*\* 농가는 수량이 동해시 백\*\* 농가보다 많았으며, 2중비닐, 다겹보온커튼, 근권난방, 수막시설 등의 패키지기술이 투입된 패키지1 처리구에서 판매금액이 30,786천원/10a으로 가장 높았다. 두 농가 모두 재식주수는 10a당 10,000주를 정식하였고, 가락동농수산물시장 평균단가 7,000원/1kg('16.12~'17.04)을 기준으로 조사하였다(표 23).

표 23. 실증연구 농가별 딸기 수량특성

농 가	패키지기술	수확과수 (개/주)	평균과중 (g)	상품수량		판매금액 (천원/10a)
				(kg/10a)	지수	
동해시 백**	대조구 (다겹+근권)	16.0	20.1	3,208	100	22,456
	패키지1(다겹+근권+수막)	17.2	20.2	3,466	108	24,262
	패키지2(다겹+근권+수막 +환기장치)	18.5	20.5	3,790	118	26,530
삼척시 김**	대조구 (1중+다겹+온풍)	9.7	22.1	2,147	100	15,029
	패키지1(2중+다겹+근권 +수막)	21.1	20.8	4,398	205	30,786
	패키지2(2중+다겹+근권 +수막+환기장치)	20.6	19.8	4,067	189	28,469

※ 재식주수 : 10,000주/10a

※ 판매가격 : 7,000원/1kg(가락동농수산물도매시장 평균가격. 설향 - '16.12~'17.04)

※ 판매시기 : 동해시 백\*\* ('16.12.12 ~ '17.04.27), 삼척시 김\*\* 농가('16.12.01 ~ '17.04.11)

## (2) 패키지기술 투입 시설별 경제성 분석

패키지기술 투입 시설별 에너지 절감 효과를 보면 동해시 백\*\* 농가의 경우 전년도 기존 시설(팬코일난방)에서 사용되었던 에너지 사용량과 난방요금이 7,994kWh, 1,500ℓ, 1,080천원이었으나, 다겹보온커튼, 근권난방, 수막시설 등 패키지기술이 모두 투입된 패키지1 처리구의 에너지 사용량이 6,308kwh로 난방요금이 397천원 부과되어 63.3%의 에너지 절감효과가 있었다. 삼척시 김\*\* 농가의 경우는 전년도 기존 시설(1중비닐 + 다겹보온커튼 + 온풍난방기)에서 사용되었던 에너지 사용량과 난방요금이 2,353ℓ, 946천원 이었으나, 2중비닐, 다겹보온커튼, 근권난방, 수막시설 등의 패키지기술이 투입된 패키지1 처리구에서 에너지 사용량이 9,040kwh, 553ℓ로 난방요금이 749천원이 부과되어 20.8%의 에너지 절감효과가 있었다. 다만, 배기열회수형 환기장치를 추가한 처리구의 경우 고습도 조건에서 외부공기의 유입으로 에너지 사용량이 증가하는 문제가 발생하여 에너지 절감효과가 없었다. 난방유 가격은 2016년도 면세등유 가격을 조사하여 평균값을 기준으로 계산하였다(표 24).

표 24. 패키지기술시설 투입에 따른 에너지 절감 효과('16.12 ~ '17. 2월)

농 가	패키지기술	에너지사용량 (kwh, ℓ/10a)	난방요금(전기+등유) (원/10a)	절감률 (%)
동해시 백**	기 존 (팬코일난방)	7,994kwh, 1,500 ℓ	1,080,425	0
	대조구 (다겹+근권)	9,322kwh	540,883	49.9
	패키지1(다겹+근권+수막)	6,308kwh	396,819	63.3
	패키지2(다겹+근권+수막 +환기장치)	8,457kwh, 550 ℓ	720,402	33.3
삼척시 김**	대조구 (1중+다겹+온풍)	2,353 ℓ	946,353	0
	패키지1(2중+다겹+근권 +수막)	9,040kwh, 553 ℓ	749,383	20.8
	패키지2(2중+다겹+근권 +수막+환기장치)	7,364kwh, 1,012 ℓ	854,143	9.7

※ 기 존 : 2중비닐 + 팬코일난방('14/'15 재배기준)

※ 난방유 가격 : 면세등유 402.19원/L ('16년 면세등유 평균가격)

※ 전력 단가(농사용(을)-고압) : kwh당 58~63원(70kW 기본요금 1,210원/kW 포함) 적용

동해안지역 단동 비닐하우스에서 딸기 재배 시 각 농가별 시설조건에 적합한 난방 패키지 기술을 적용하여 기존 일반재배 시와 비교하였을 때의 경제성 검토 결과 동해시 백\*\* 농가의 경우 기존(팬코일난방) 처리구보다 패키지기술2(다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설 + 배기 열회수형 환기장치) 처리구에서 패키지 적용 10a당 설치비는 30,928천원이었으며, 이에 따른 연간 감가상각비 등 연간 총고정비 3,707천원과 겨울철 난방비 720천원을 합하여 연간 총비용은 4,428천원이었으며, 패키지 기술을 적용에 따른 이익적 요소로 겨울철 딸기 증수에 의한 소득 증가가 4,074천원과 난방비(전기요금) 절감액이 360천원으로 나타나 연간 총 증가수입은 4,434천원으로 연간 추정수익액은 7천원/10a이었다(표 25).

삼척시 김\*\* 농가의 경우 대조구(1중비닐 + 다겹보온커튼 + 온풍기)보다 패키지기술1(2중비닐 + 다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설) 처리구에서 패키지 적용 10a당 설치비는 24,050천원이었으며, 이에 따른 연간 감가상각비 등 연간 총고정비 2,405천원과 겨울철 난방비 749천원을 합하여 연간 총비용은 3,154천원이었으며, 패키지 기술을 적용에 따른 이익적 요소로 겨울철 딸기 증수에 의한 소득 증가가 15,757천원과 난방비(전기요금) 절감액이 197천원으로 나타나 연간 총 증가수입은 15,954천원으로 연간 추정수익액은 12,800천원/10a이었다(표 25).

표 25. 경제성 분석(부분시산법)

구 분	손실적 요소(A)	이익적 요소(B)
동해시 백** (패키지1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 비용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 다겹보온커튼(내구연한 7년) : 2,047,650원 커튼, 파이프, 제어함 등 설치 14,333,550원/10a</li> <li>- 근권난방(내구연한 10년) : 434,391원 보일러, 호스, 모터 등 설치 4,343,910원/10a</li> <li>- 수막시설 : 482,570원 (설치비 4,825,700원/10a, 내구연한 10년)</li> <li>- 에너지 사용비용 : 396,819원/10a</li> </ul> </li> <li>○ 계(A) : 3,361,430원/10a</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 이익비용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수량증가 : 258.0kg (3,208 → 3,466kg/10a) 258.0kg×7,000원 = 1,806,000원</li> <li>- 난방비용 절감 : 683,607원/10a</li> </ul> </li> <li>○ 계(B) : 2,489,607원/10a</li> </ul>
	○ 추정수익액(B-A) = 2,489,607원 - 3,361,430원 = -871,823원/10a	
동해시 백** (패키지2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 비용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 다겹보온커튼(내구연한 7년) : 2,047,650원 커튼, 파이프, 제어함 등 설치 14,333,550원/10a</li> <li>- 근권난방(내구연한 10년) : 434,391원 보일러, 호스, 모터 등 설치 4,343,910원/10a</li> <li>- 수막시설 : 482,570원 (설치비 4,825,700원/10a, 내구연한 10년)</li> <li>- 배기열회수형환풍기 : 742,500원 (설치비 7,425,000원/10a, 내구연한 10년)</li> <li>- 에너지 사용비용 : 720,402원/10a</li> </ul> </li> <li>○ 계(A) : 4,427,513원/10a</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 이익비용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수량증가 : 582.0kg (3,208 → 3,790kg/10a) 582.0kg×7,000원 = 4,074,000원</li> <li>- 난방비용 절감 : 360,023원/10a</li> </ul> </li> <li>○ 계(B) : 4,434,023원/10a</li> </ul>
	○ 추정수익액(B-A) = 4,434,023원 - 4,427,513원 = 6,510원/10a	
삼척시 김** (패키지1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 비용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 3중 하우스 : 1,559,230원 (설치비 15,592,300원/10a, 내구연한 10년)</li> <li>- 근권난방 : 363,194원 (설치비 3,631,942원/10a, 내구연한 10년)</li> <li>- 수막시설 : 482,570원 (설치비 4,825,700원/10a, 내구연한 10년)</li> <li>- 에너지 사용비용 : 749,383원/10a</li> </ul> </li> <li>○ 계(A) : 3,154,377원/10a</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 이익비용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수량증가 : 2,251kg (2,147 → 4,398kg/10a) 2,251kg×7,000원 = 15,757,000원</li> <li>- 난방비용 절감 : 196,970원/10a</li> </ul> </li> <li>○ 계(B) : 15,953,970원/10a</li> </ul>
	○ 추정수익액(B-A) = 15,953,970원 - 3,154,377원 = 12,799,593원/10a	
삼척시 김** (패키지2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 비용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 3중 하우스 : 1,559,230원 (설치비 15,592,300원/10a, 내구연한 10년)</li> <li>- 근권난방 : 363,194원 (설치비 3,631,942원/10a, 내구연한 10년)</li> <li>- 수막시설 : 482,570원 (설치비 4,825,700원/10a, 내구연한 10년)</li> <li>- 배기열회수형환풍기 : 742,500원 (설치비 7,425,000원/10a, 내구연한 10년)</li> <li>- 에너지 사용비용 : 854,143원/10a</li> </ul> </li> <li>○ 계(A) : 4,001,637원/10a</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 이익비용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수량증가 : 1,920kg (2,147 → 4,067kg/10a) 1,920kg×7,000원 = 13,440,000원</li> <li>- 난방비용 절감 : 92,210원/10a</li> </ul> </li> <li>○ 계(B) : 13,532,210원/10a</li> </ul>
	○ 추정수익액(B-A) = 13,532,210원 - 4,001,637원 = 9,530,573원/10a	

※ 동해시 백\*\* 농가 - 패키지1 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설

패키지2 : 다겹보온커튼+근권난방+수막시설+배기열회수형환기장치

※ 삼척시 김\*\* 농가 - 패키지1 : 2중비닐+다겹보온커튼+근권난방+수막시설

패키지2 : 2중비닐+다겹보온커튼+근권난방+수막시설+배기열회수형환기장치

## 5. 동해안지역 딸기 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발

### 가. 배경 및 필요성

강원지역은 시설채소 동계재배 시 과중한 난방비 절감을 위하여 최저 생육온도에 맞춰 최저난방을 하여 생산성이 저하되거나 아예 반축성 재배작형으로 전환하는 경우도 많다. 그러나 강원도는 2018년 동계올림픽 개최 전·후로 해서 직·간접으로 관련 농산물의 수요 증가가 예상되고 있으나 동계작형의 생산성 저하로 타 지역에서 반입해야 하는 실정이다. 따라서 동계기간 난방비 비중을 절감하면서 과채류를 안정생산하기 위해서는 시설원예 현장에서 가장 보편적인 기술을 패키지화하여 난방비 절감기술 적용모델을 개발하고 확산하는 것이 필요하다. 현재 에너지 다소비형 구조로 설계된 단동 비닐하우스에 현장에서 바로 체감이 가능한 단동형 에너지절감기술의 모델 개발이 절실한데, 기 개발된 기술들은 단용으로만 처리되다 보니 전체적인 패키지화에 비해 효율이 떨어지므로 패키지화된 모델을 개발하고자 본 연구를 수행하였다.

### 나. 활용 내용

#### (1) 패키지기술 투입 시설별 딸기 수량 특성

본 에너지절감 패키지기술 모델 개발연구는 강원도 속초시 노학동 응골 딸기재배단지 농가에서 기존 보온시설인 2중 비닐과 난방기 외에 기 개발된 에너지절감기술인 다겹보온커튼, 근권난방, 수막시설을 패키지화 하여 최대한의 에너지효율을 증진하여 난방비를 절감시키면서 생산성을 향상시키고자 농가 실증연구를 수행하였다. 실증농가 하우스는 광폭 2중 비닐하우스(폭 9m, 동고 4.2m)이고, 딸기 재배품종은 ‘설향’ 품종을 사용하였다. 패키지기술 처리는 1개소에 패키지A(다겹보온커튼), 패키지B(다겹보온커튼 + 근권난방), 패키지C(다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설) 처리를 설치하였다. 처리별 딸기 ‘설향’ 품종의 수량 특성을 보면 시설 내 기온이 높아 생육이 빨랐던 패키지C(다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설) 처리구에서 딸기의 수확과 수 및 평균과중이 가장 높아 상품수량이 대조구 대비 34.2% 증수하였다(표 25).

판매금액을 보면 다겹보온커튼, 근권난방, 수막시설 등 패키지기술이 모두 투입된 패키지C 처리구가 평균과중이 높고 상품수량이 높아 판매금액이 33,139천원/10a으로 가장 높았다. 재식주수는 10a당 10,000주를 정식하였고, 해당 지역 농협에 실제로 납품하였던 평균단가 1kg 1팩당 10,000원을 기준으로 분석하였다(표 26).

표 26. 패키지기술 투입시설 딸기 수량특성(속초시, 김\*\* 농가)

패키지기술	수확과수 (개/10주)	평균과중 (g)	상품수량 (kg/10a)	판매금액 (천원/10a)
대조구(전기온풍기)	134.7	16.8	2,263.0	22,630
패키지 A(다겹보온커튼)	148.2	18.5	2,738.2	27,382
패키지 B(다겹보온커튼+근권난방)	138.4	22.0	3,036.8	30,368
패키지 C(다겹보온커튼+근권난방+수막시설)	143.2	23.2	3,313.9	33,139

※ 재식주수 : 10,000주/10a, 판매가격(2년 평균) : 10,000원/1kg(농협 평균 납품단가)

※ 수확시기(2년 평균) : 1년차('14.12 ~ '15.04), 2년차('15.12 ~ '16.04)

**(2) 패키지기술 투입 시설별 경제성 분석**

패키지기술 투입 시설별 에너지 절감 효과를 보면 기존 시설(대조구-전기온풍기) 이용 시 12월부터 익년 1월까지 사용되었던 에너지 사용량과 전기요금이 10a당 30,118kWh, 1,531천원이었으나, 패키지기술 투입 시 모든 처리구가 에너지 사용량이 줄어 전기요금이 절감되었고, 특히 패키지C(다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설) 처리구는 에너지 사용량이 14,552kWh로 790천원이 나와 48.4%의 에너지 절감효과가 있었다(표 27).

표 27. 패키지기술시설 투입에 따른 에너지 절감 효과(속초시, 김\*\* 농가)

패키지기술	에너지 사용량 (kwh/10a)	전기요금 (원/10a)	절감율 (%)
대조구(전기온풍기)	30,117.5	1,531,111	0
패키지 A(다겹보온커튼)	24,277.1	1,252,871	18.2
패키지 B(다겹보온커튼+근권난방)	21,834.5	1,136,507	25.8
패키지 C(다겹보온커튼+근권난방+수막시설)	14,551.8	789,554	48.4

※ 난방시기(2년 평균) : 1년차('14.12 ~ '15.01), 2년차('15.12 ~ '16.01)

※ 전력 단가(농사용(을)-고압) : kwh당 51~54원(70kW 기본요금 1,210원/kW 포함) 적용

동해안지역 단동 비닐하우스에서 딸기 동계재배 시 난방 패키지 기술 적용 비닐하우스와 일반 비닐하우스 재배 시를 비교하였을 때 부분예산법으로 경제성 검토 결과 패키지 적용 비닐하우스 ha당 설치비는 303,699천원이었으며, 이에 따른 연간 감가상각비 등 연간 총고정비 30,661천원과 인건비 2,636천원, 포장비 539천원을 합하여 연간 총비용은 33,836천원이었으며, 패키지 기술을 적용에 따른 이익적 요소로 딸기 증수에 의한 소득 증가가 105,100천원과 전기온풍기 대비 난방비 절감액이 7,416천원으로 나타나 연간 총 증가수입은 112,516천원으로 연간 추정수익액은 78,680천원이었다(표 28, 표 29).

표 28. 단동 비닐하우스 패키지 기술 경제성 분석(속초시, 김\*\* 농가)

(단위: 천원/ha)

손실적 요소(A)	이익적 요소(B)
○ 증가되는 비용 : - 감가상각비           29,482 - 수리보수비            295 - 고정자본이자         884 * 연간 총고정비       30,661 - 인건비                 2,636 - 포장비                 539 연간 총 비용(A) :     33,836	○ 증가되는 이익 : - 딸기 증수             105,100 - 난방비 절감         7,416  연간 총 증가수입(B) : 112,516
○ 추정 수익액(B-A) = 78,680천원/년	

표 29. 시험연구내역과 분석자료

- 비닐하우스용 냉난방 패키지 설치비: 303,699천원/ha

구 분	내구성 (년)	설치비 (천원)	감가상각비 (천원/연)	수리비 (천원/연)	고정이자 (천원/연)	연간비용 (천원)
다겹보온커튼	10	202,180	20,218	202	607	21,027
근권난방	12	53,262	4,439	44	133	4,616
수막시설	10	48,257	4,826	48	145	5,019
계	-	303,699	29,482	295	884	30,661

※ 잔존율 : 0 %, 수리비 : 1%, 연이율 : 3 % 적용

#### 다. 기대 효과

지난 3년간 농업에너지절감 패키지기술 모델개발 실증연구사업을 수행한 결과 도출한 강원도 동해안지역 딸기 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델은 기존의 2중 비닐 피복과 전기온풍기 난방시설에 다겹보온커튼, 근권난방 및 수막시설을 패키지로 설치하면 단편적인 시설 투입보다 수량 증대(34.2%) 및 난방비 절감효과(48.2%)가 커서 연간 추정수익액이 78,680천원/ha으로 적합한 모델인 것으로 판단되었다. 향후 농업에너지절감 패키지기술 표준화 모델을 확립하여 강원 동해안지역 딸기 재배농가의 생산성을 향상하고 경쟁력을 제고시키도록 확대 보급할 계획이다. 다만, 이러한 에너지절감을 위한 시설투자에는 반드시 농가의 기본시설이 패키지 기술을 투입할 수 있는 여건을 갖추고 있어야 하고, 농가가 적정 재배기술을 갖추고 있어야만 패키지기술 투입에 따른 생산성 향상이 병행되어 경제성이 있다.

## 제2절 토마토 시설하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발

### 1. 토마토 시설하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발(2~3년차)

#### 가. 에너지절감 패키지기술 투입

2년차에 토마토를 대상으로 한 시설하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발을 위하여 강릉, 인제 토마토 재배농가에 패키지기술을 적용하여 실증연구를 수행하였다. 본 연구의 시험 대상 지역은 강원도 강릉시와 인제군 토마토 재배단지 2개소 0.4ha에서 실시하였다. 각각의 농가 사진들은 그림 69에서 나타내었으며, 실증연구를 하였던 2농가들의 기술 투입 전 모습이다.



김\*\*(강릉시)



장\*\*(인제군)

그림 69. 농가 하우스 현황

#### (1) 실증연구 수용농가(김\*\*) 투입기술 현황

먼저 강릉시 구정면 미륵굴길 37-1번지 김\*\* 농가는 0.3ha 면적에서 농업에너지절감 패키지기술을 투입하여 실증연구를 수행하였다. 그림 70과 같이 아치형 단동 광폭비닐하우스 3동(폭 13.5, 동고 5.8m - 2동, 폭 10.5, 동고 6.5m - 1동)에 기 확보기술로 2중 비닐피복과 다겹보온커튼, 양액재배, 주난방은 유류온풍기를 이용하고 있었다. 여기에 패키지기술로 알루미늄방열관을 3동의 비닐하우스 각 측면에 2줄씩 설치하였으며, 양액재배 베드 내 근권난방 및 배기 열회수형 환기장치를 설치하였다. 근권난방은 3동의 비닐하우스에 17kWh 축열식 전기보일러를 설치하였고, 열회수형 환기장치는 2동의 비닐하우스에 60,000kcal 규모로 설치하였다(그림 71).

표 30. 김\*\* 농가 하우스 현황 및 기 확보기술

장 소	재배 작목	영농 경력	하우스 현황	기 확보기술
강원도 강릉시 구정면 미륵굴길 37-1	토마토	30년	○ 아치형 단동 광폭비닐하우스 3동 - 2동(폭 13.5, 길이 70, 동고 5.8m) - 1동(폭 10.5, 길이 84, 동고 6.5m) ○ 재배면적 : 0.3ha	○ 2중 피복, 다겹보온 ○ 양액재배 ○ 유류온풍기(100,000kWh)



2중 피복 광폭비닐하우스



양액재배베드



유류온풍기(100,000kWh)

그림 70. 농가(김\*\*) 하우스 현황 및 기 확보기술



알루미늄방열관



근권난방



배기열회수형 환기장치

그림 71. 패키지기술 시설 투입(김\*\* 농가)

**(2) 실증연구 수용농가(장\*\*) 투입기술 현황**

인제군 인제읍 안삼재길 149-8번지 장\*\* 농가는 0.1ha 면적에서 농업에너지절감 패키지 기술을 투입하여 실증연구를 수행하였다. 그림 72와 같이 연동형 유리온실(폭 9, 동고 7m)에 기 확보기술로 양액재배시설, 주난방은 온수관난방(갈탄 등)을 이용하고 있었다. 여기에 트러스 밑 폐형 LS 천창스크린, 다겹보온커튼을 설치하였고 나노탄소섬유 램프를 10a에 80개를 설치하였다(그림 73).

표 31. 장\*\* 농가 온실 현황 및 기 확보기술

장소	재배 작목	영농 경력	하우스 현황	기 확보기술
강원도 인제군 인제읍 안삼재길 149-8	토마토	10년	○ 연동형 온실 2동 (폭 9, 길이 54, 동고 7m) ○ 재배면적 : 0.1ha	○ 양액재배 ○ 온수관난방(갈탄 등)



연동형 온실



양액재배, 온수관난방



갈탄보일러

그림 72. 농가(장\*\*) 온실 현황 및 기 확보기술





트러스밀폐형 천창스크린



다겹보온커튼



나노탄소섬유 램프

그림 73. 패키지기술 시설 투입(장\*\* 농가)

나. 에너지절감 패키지기술 투입 시설별 기상환경

(1) 강릉시 패키지기술 투입 시설 내 온·습도, 일사량 및 베드내부 온도 변화

패키지기술이 투입된 각각의 시설 내부에는 기상환경을 측정하고자 기상환경장치를 설치하여 온도, 습도 및 일사량을 측정하여 패키지기술 투입에 따른 기상환경변화를 측정하였다.

강릉시 김\*\* 농가의 패키지기술 투입 시설 내 온도를 보면, 기존시설에 패키지기술(배기열 회수형 환기장치) 처리구가 기존보다 야간온도가 1℃ 정도 높게 유지되었고, 습도는 최고 30% 이상 낮게 관리되어 제습효과가 우수하였다(그림 74, 그림 75).

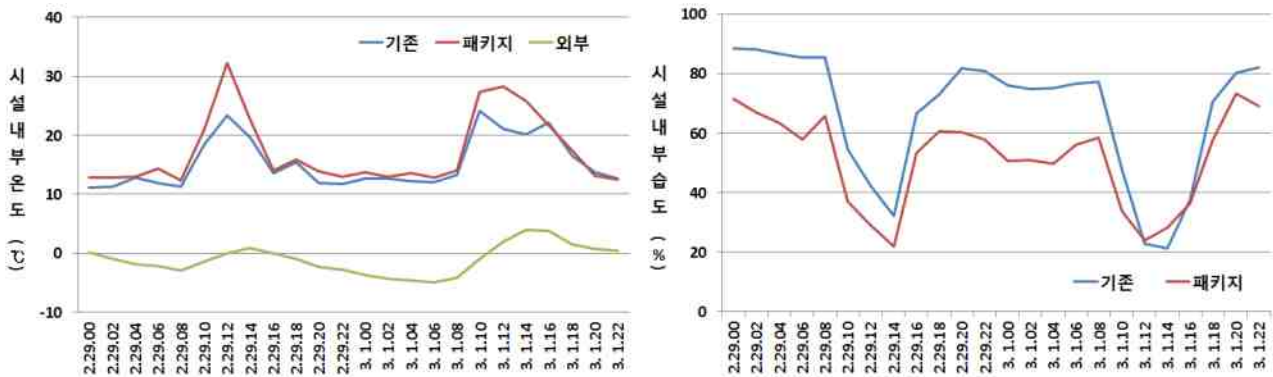


그림 74. 패키지기술 투입농가(김\*\*) 시설 내 온도 및 습도(2017. 2.29 ~ 3. 1)

※ 기 존 : 다겹보온커튼+근권난방+알루미늄방열관

패키지 : 다겹보온커튼+근권난방+알루미늄방열관+열회수형환기장치

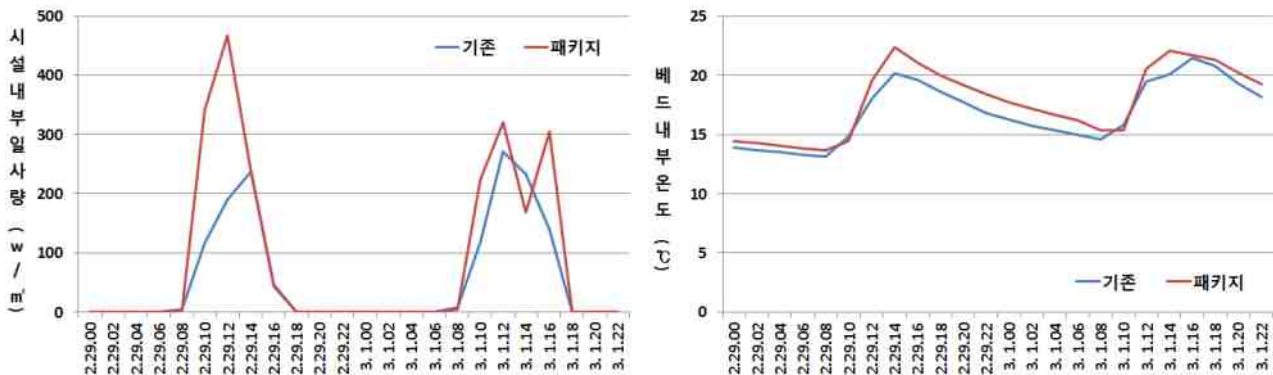


그림 75. 패키지기술 투입농가(김\*\*) 시설 내 일사량 및 베드내부 온도(2017. 2.29 ~ 3. 1)

(2) 인제군 패키지기술 투입 시설 내 온·습도, 일사량 및 베드내부 온도 변화

패키지기술이 투입된 각각의 시설 내부에는 기상환경을 측정하고자 기상환경장치를 설치하여 온도, 습도, 일사량 등 패키지기술 투입에 따른 기상환경변화를 측정하였다. 동계기간('15.12 ~ '16.02) 인제군의 외부기온을 보면, 1월 24일, 25일이 영하 18℃ 이하로 떨어져 가장 추웠다. 따라서 패키지기술 투입별 기상환경 조사는 1월 24일, 25일 2일간을 대상으로 분석하였다(그림 76).

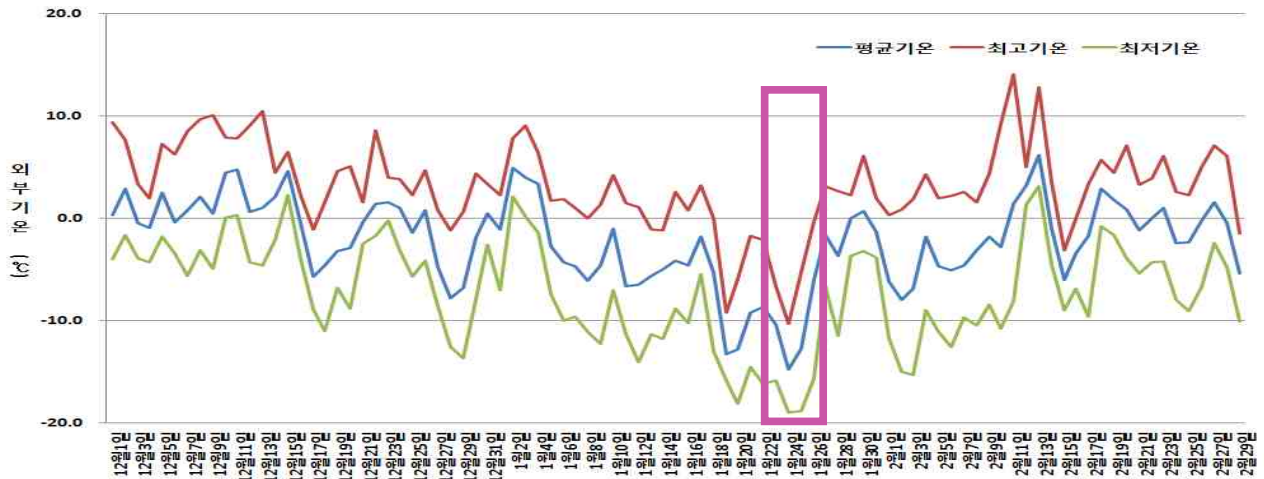


그림 76. 인제군 동계기간('15.12 ~ '16.02) 외부기온(평균, 최고, 최저)

※ 자료출처 : 기상청 (<http://www.kma.go.kr>)

장\*\* 농가의 패키지기술 투입 시설 내 온도를 보면, 기존시설에 패키지기술(천창스크린 + 다겹보온커튼 + 나노탄소섬유 램프) 처리구가 기존 온수관 난방보다 2℃ 정도 높게 난방 효과가 있었으며 시설 내 야간 상대습도는 최고 20% 낮게 나타나 제습효과가 우수하였다(그림 77).

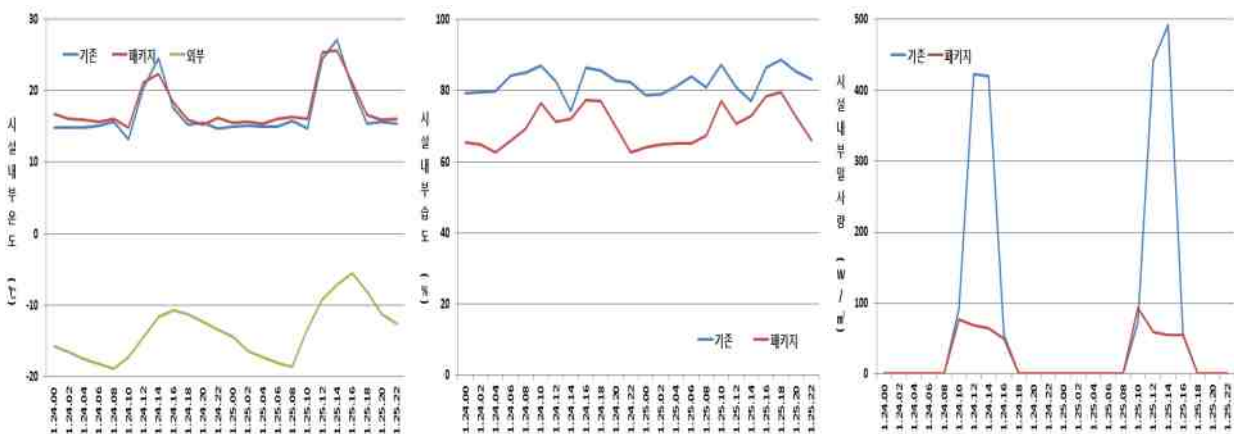


그림 77. 패키지기술 투입농가(장\*\*) 시설 내 온도, 습도 및 일사량(2016. 1.24 ~ 1.25)

※ 기 준 : 온수관난방

패키지 : 트러스밀폐형 천창스크린+다겹보온커튼+나노탄소섬유 램프

### 다. 에너지절감 패키지기술 투입 시설별 토마토 생육 및 과실 특성

#### (1) 패키지기술 투입 시설별 토마토 생육 및 절간장 특성

농가별 토마토의 생육 및 절간장 특성을 표 32, 33, 34에서 살펴보면, 강릉시 김\*\* 농가에서는 기존 환기장치가 없는 처리구(다겹보온커튼 + 근권난방 + 알루미늄 방열판)에서 초장, 절간장 등이 길어 도장하는 경향을 나타냈으며, 기존 시설에 배기열회수형 환기장치를 추가한 패키지기술 투입 처리구가 생육이 양호하였고, 인제군 장\*\* 농가에서는 기존 온수관 난방에서 초장, 절간장 등이 길어 도장하는 경향을 나타냈으며, 기존 시설에 트러스밀폐형 천창스크린, 다겹보온커튼, 나노탄소섬유 램프를 추가한 패키지기술 투입 처리구가 생육이 양호하였다.

표 32. 실증연구 농가별 토마토 생육 특성

농 가	패키지기술	초장 (cm)	엽			경경 (mm)
			수(매)	장(cm)	폭(cm)	
강릉시 김**	기 존(다겹+근권+방열판)	241.0±11.3	25.3±1.4	37.4±2.6	43.3±5.3	9.6±1.2
	패키지(다겹+근권+방열판+환기장치)	233.1±18.0	24.3±1.2	37.7±3.6	43.4±4.5	7.9±1.2
인제군 장**	기 존(온수관난방)	412.8±11.1	35.7±2.3	47.7±1.9	36.2±4.1	10.6±1.3
	패키지(천창스크린+다겹+램프)	382.1±12.6	35.2±1.2	47.8±4.2	40.7±3.1	9.9±1.2

※ 조사일 : 강릉시 김\*\* 농가('17. 4.11), 인제군 장\*\* 농가('16. 3.09)

표 33. 실증연구 농가별 토마토 절간장 특성(1~5화방까지)

농 가	패키지기술	1화방까지 절간장(cm)	1~2화방 절간장(cm)	2~3화방 절간장(cm)	3~4화방 절간장(cm)	4~5화방 절간장(cm)
강릉시 김**	기 존 (다겹+근권+방열판)	31.8±5.3	39.4±9.8	33.1±8.8	36.0±3.5	34.9±5.1
	패키지 (다겹+근권+방열판+환기장치)	31.6±2.3	34.7±10.0	32.8±8.0	37.3±2.4	34.7±3.0
인제군 장**	기 존(온수관난방)	57.6±6.2	30.3±4.2	28.6±3.4	29.4±4.9	30.3±7.5
	패키지 (천창스크린+다겹+램프)	58.8±5.0	28.1±4.8	24.8±6.8	28.9±3.4	26.1±4.6

※ 조사일 : 강릉시 김\*\* 농가('17. 1.18 ~ 4.11), 인제군 장\*\* 농가('16. 1.12 ~ 3.09)

표 34. 실증연구 농가별 토마토 절간장 특성(6~9화방까지)

농 가	패키지기술	5~6화방 절간장(cm)	6~7화방 절간장(cm)	7~8화방 절간장(cm)	8~9화방 절간장(cm)
강릉시 김**	기 존(다겹+근권+방열판)	31.3±3.8	31.7±3.2	-	-
	패키지(다겹+근권+방열판+환기장치)	31.1±4.5	34.0±2.7	-	-
인제군 장**	기 존(온수관난방)	27.9±8.6	42.4±7.9	44.6±6.4	40.3±8.3
	패키지(천창스크린+다겹+램프)	29.4±5.2	36.0±9.7	35.8±6.7	39.0±8.4

※ 조사일 : 강릉시 김\*\* 농가('17. 1.18 ~ 4.11), 인제군 장\*\* 농가('16. 1.12 ~ 3.09)

## (2) 패키지기술 투입 시설별 토마토 과실 특성

실증연구 기간 동안 토마토는 매주 수확을 하여 과실 특성변화를 조사하였다. 우선 강릉시 김\*\* 농가 토마토의 과장, 과폭, 과중 등 과실 특성을 보면, 기존시설에 배기열회수형 환기장치를 추가한 패키지기술 투입 시설의 과장, 과폭, 과중이 높았고, 인제군 장\*\* 농가의 경우도 기존시설에 트러스밀폐형 천창스크린, 다겹보온커튼, 나노탄소섬유 램프를 추가한 패키지기술 투입 시설의 과장, 과폭, 과중이 높게 나타나 품질 향상 효과가 있었다(그림 78~81).

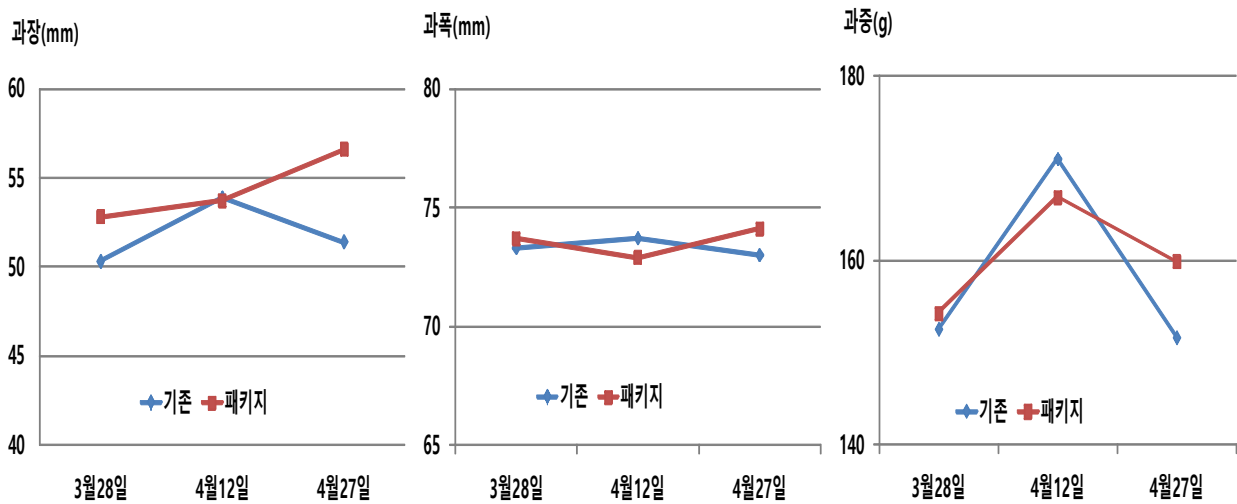


그림 78. 패키지기술 투입농가(김\*\*)의 토마토 과장, 과폭, 과중 변화(2016. 5.02 ~ 6.16)

※ 기 존 : 다겹보온커튼+근권난방+알루히트방열관

패키지 : 다겹보온커튼+근권난방+알루히트방열관+열회수형환기장치

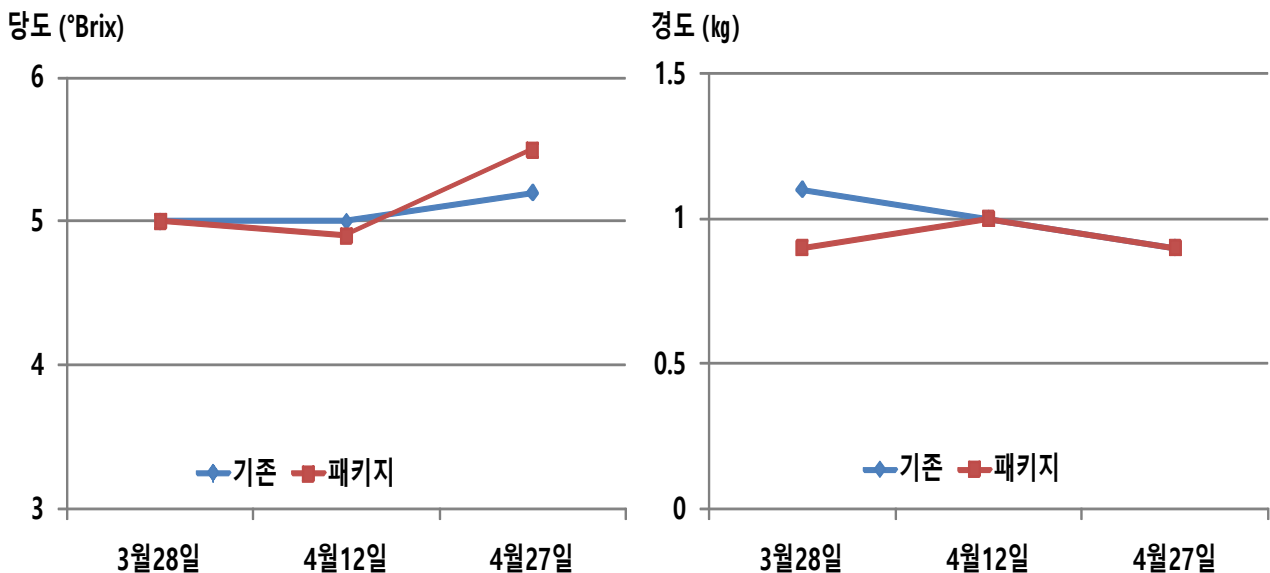


그림 79. 패키지기술 투입농가(김\*\*)의 토마토 당도, 경도 변화(2016. 5.02 ~ 6.16)

※ 기 존 : 다겹보온커튼+근권난방+알루히트방열관

패키지 : 다겹보온커튼+근권난방+알루히트방열관+열회수형환기장치

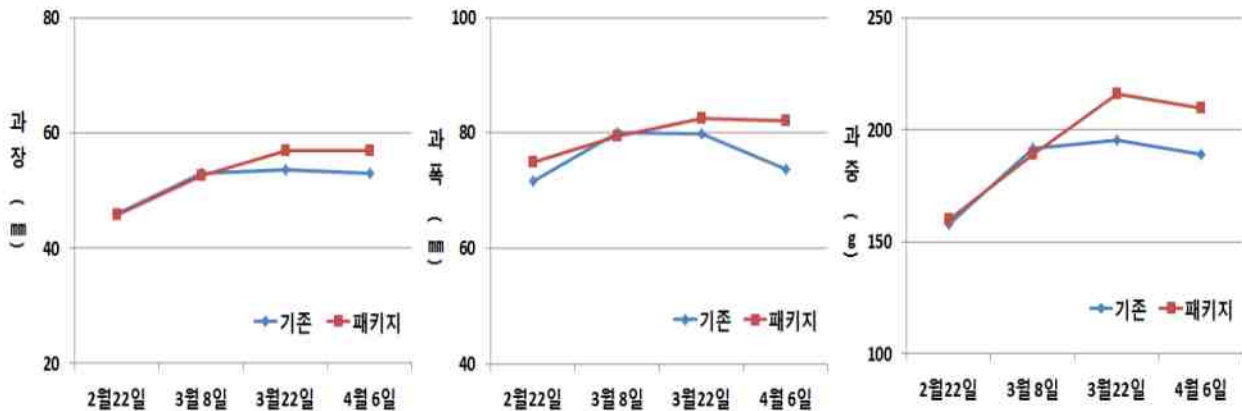


그림 80. 패키지기술 투입농가(장\*\*)의 토마토 과장, 과폭, 과중 변화(2016. 2.22 ~ 4.06)

※ 기 존 : 온수관난방

패키지 : 트러스밀폐형 천창스크린+다겹보온커튼+나노탄소섬유 램프

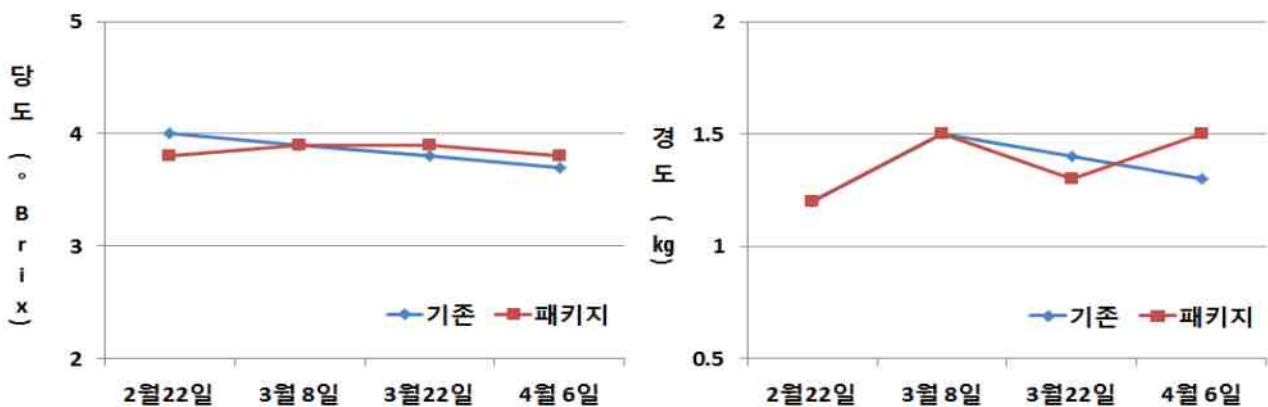


그림 81. 패키지기술 투입농가(장\*\*)의 토마토 당도, 경도 변화(2016. 2.22 ~ 4.06)

## 라. 에너지절감 패키지기술 투입 시설별 토마토 수량 특성 및 경제성 분석

### (1) 패키지기술 투입 시설별 토마토 수량 특성

농가의 패키지기술 처리별로 토마토의 수량 특성을 보면 강릉시 김\*\* 농가의 경우 기존 시설에 비해 시설 내부 기온이 높았던 패키지기술 처리구가 평균과중이 147.1g으로 기존 처리구에 비해 상품수량이 14.2% 더 높았고, 인제군 장\*\* 농가의 경우도 마찬가지로 기존 시설에 비해 시설 내부 기온이 높았던 패키지기술 처리구가 평균과중이 193.4g으로 기존 처리구에 비해 상품수량이 10.3% 더 높았다(표 35).

판매금액을 보면 강릉시 김\*\* 농가의 경우 다겹보온커튼, 근권난방, 알루미늄 방열판, 열회수형 환기장치 등 패키지기술이 모두 투입된 처리구가 평균과중이 높고 상품수량이 높아 판매금액이 32,462천원/10a으로 높았다. 재식주수는 10a당 2,000주를 정식하였고, 가락동 농수산물도매시장 평균단가 5kg 1박스 당 15,000원을 기준으로 조사하였다. 인제군 장\*\* 농가는 기존 시설에 트러스밀폐형 천창스크린, 다겹보온커튼, 나노탄소섬유 램프가 모두 투입된 패키지기술 투입 처리구에서 판매금액이 60,178천원/10a으로 높았다. 재식주수는 10a당 2,000주를 정식하였고, 가락동 농수산물도매시장 평균단가 5kg 1박스 당 20,000원을 기준으로 조사하였다(표 35).

표 35. 실증연구 농가별 토마토 수량특성

농 가	패키지기술	수확과수 (개/3.3㎡)	평균과중 (g)	상품수량 (kg/10a)	판매금액 (천원/10a)
강릉시 김**	기 존(다겹+근권+방열관)	224.4	140.8	9,478.7	28,436
	패키지(다겹+근권+방열관+환기장치)	245.2	147.1	10,820.7	32,462
인제군 장**	기 존(온수관난방)	248.0	183.3	13,637.5	54,550
	패키지(천창스크린+다겹+램프)	259.3	193.4	15,044.6	60,178

※ 재식주수 : 2,000주/10a

※ 판매가격 : 강릉시 15,000원/5kg, 인제군 20,000원/5kg

※ 수확시기 : 강릉시 김\*\* 농가('17.03.28 ~ 04.27), 인제군 장\*\* 농가('16. 2.22 ~ 5.02)

**(2) 패키지기술 투입 시설별 경제성 분석**

패키지기술 투입 시설별 난방비 절감 효과를 보면 강릉시 김\*\* 농가의 경우 2년차에는 패키지기술 투입 및 정식시기가 늦어져 동계기간 에너지절감 효과를 분석할 수 없었고, 3년차에 모니터링하였는데, 기존 시설에서 사용되었던 에너지 사용량과 난방요금이 8,547kWh, 2,832 ℓ, 1,642천원이었으나, 패키지기술 투입 시 에너지 사용량과 난방요금이 7,526kWh, 3,448 ℓ, 1,842천원이 소요되어 결국 에너지 사용량이 12.1% 증가하여 난방비 절감효과가 없었다. 인제군 장\*\* 농가의 경우 전년도 기존 시설에서 사용되었던 에너지 사용량과 난방요금이 9,000 ℓ, 3,620천원이었으나, 패키지기술 투입 시 에너지 사용량이 17,280kWh로 난방요금이 920천원이 소요되어 74.6%의 에너지 절감효과가 있었다. 난방유 가격은 2016년도 면세등유 가격을 조사하여 평균값을 기준으로 계산하였다(표 36).

표 36. 패키지기술시설 투입에 따른 난방비 절감 효과

농 가	패키지기술	에너지사용량 (ℓ, kWh/10a)	난방요금 (원/10a)	절감율 (%)
강릉시 김**	기 존(다겹+근권+방열관)	8,547kwh, 2,832 ℓ	1,642,488	0
	패키지(다겹+근권+방열관+환기장치)	7,526kwh, 3,448 ℓ	1,841,596	△12.1
인제군 장**	기 존(온수관난방)('14~'15)	9,000 ℓ	3,619,710	0
	패키지(천창스크린+다겹+램프)	17,280kWh	919,528	74.6

※ 난방시기 : 강릉시 김\*\* 농가('16.12 ~ '17.02), 인제군 장\*\* 농가('15.12 ~ '16.02)

※ 난방유 가격 : 면세등유 402.19원/L ('16년 면세등유 평균가격)

※ 전력 단가(농사용(을)-고압) : kwh당 53~60원(70kW 기본요금 1,210원/kW 포함) 적용

강원도에서 토마토 재배 시 각 농가별 시설조건에 적합한 난방 패키지 기술을 적용하여 기존 일반재배 시와 비교하였을 때의 경제성 검토 결과 강릉시 김\*\* 농가의 경우 기존(다겹보온커튼 + 근권난방 + 알루미늄 방열관) 처리구보다 패키지기술(다겹보온커튼 + 근권난방 + 알루미늄 방열관 + 열회수형 환기장치) 처리구에서 패키지 적용 10a당 설치비는 20,563천원이었으며, 이에 따른 연간 감가상각비 등 연간 총 고정비용은 2,056천원과 겨울철 난방비 1,842천원을 합하여 연간 총 비용은 3,898천원이었으며, 패키지 기술을 적용에 따른 이익적 요소로 토마토 증수에 의한 소득 증가가 4,026천원과 난방비 증가액이 199천원으로 나타나 연간 총 증가수입은 3,827천원으로 연간 추정수익액은 -71천원/10a이었다. 인제군 장\*\* 농가의 경우 기존(온수관난방) 처리구보다 패키지기술(트러스밀폐형 천창스크린 + 다겹보온커튼 + 나노탄소섬유 램프) 처리구에서 패키지 적용 10a당 설치비는 37,380천원이었으며, 이에 따른 연간 감가상각비 등 연간 총 고정비 4,513천원과 겨울철 난방비 920천원을 합하여 연간 총 비용은 5,432천원이었으며, 패키지 기술을 적용에 따른 이익적 요소로 겨울철 토마토 증수에 의한 소득 증가가 5,628천원과 난방비 절감액이 2,700천원으로 나타나 연간 총 증가수입은 8,329천원으로 연간 추정수익액은 2,896천원/10a이었다(표 37).

표 37. 경제성 분석(부분시산법)

농 가	손실적 요소(A)	이익적 요소(B)
강릉시 김**	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 비용 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 근권난방(내구연한 10년) : 829,922원</li> <li>보일러, 호스, 모터 등 설치 8,299,220원/10a</li> <li>- 알루미늄방열관(내구연한 10년) : 547,136원</li> <li>방열관 설치 5,471,366원/10a</li> <li>- 열회수형 환풍기(내구연한 10년) : 679,250원</li> <li>환풍기 설치 6,792,500원/10a</li> <li>- 에너지 사용비용 : 1,841,596원/10a</li> </ul> </li> <li>○ 계(A) : 3,897,904원/10a</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 이익비용 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수량증가 : 1,342kg</li> <li>(9,478.7 → 10,820.7kg/10a)</li> <li>1,342kg×3,000원 = 4,026,000원</li> <li>- 난방요금 : -199,108원/10a</li> </ul> </li> <li>○ 계(B) : 3,826,892원/10a</li> </ul>
	○ 추정수익액(B-A) = 3,826,892원 - 3,897,904원 = -71,012원/10a	
인제군 장**	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 비용 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 다겹보온커튼(내구연한 7년) : 568,170원</li> <li>커튼, 파이프, 제어함 등 설치 3,977,194원/10a</li> <li>- 천창스크린(내구연한 7년) : 2,014,808원</li> <li>보일러, 호스, 모터 등 설치 14,103,658원/10a</li> <li>- 나노탄소램프(내구연한 10년) : 1,929,952원</li> <li>램프, 제어함 등 설치 19,299,523원/10a</li> <li>- 에너지 사용비용 : 919,528원/10a</li> </ul> </li> <li>○ 계(A) : 5,432,458원/10a</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증가되는 이익비용 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수량증가 : 1,407.1kg</li> <li>(13,637.5 → 15,044.6kg/10a)</li> <li>1,407.1kg×4,000원 = 5,628,400원</li> <li>- 난방요금 절감 : 2,700,182원/10a</li> </ul> </li> <li>○ 계(B) : 8,328,582원/10a</li> </ul>
	○ 추정수익액(B-A) = 8,328,582원 - 5,432,458원 = 2,896,124원/10a	



## 2. 토마토 유리온실 에너지절감 패키지기술 모델 개발

### 가. 배경 및 필요성

강원지역은 시설채소 동계재배 시 과중한 난방비 절감을 위하여 최저 생육온도에 맞춰 최저난방을 하여 생산성이 저하되거나 아예 반축성 재배작형으로 전환하는 경우도 많다. 그러나 강원도는 2018년 동계올림픽 개최 전·후로 해서 직·간접으로 관련 농산물의 수요 증가가 예상되고 있으나 동계작형의 생산성 저하로 타 지역에서 반입해야 하는 실정이다. 따라서 동계기간 난방비 비중을 절감하면서 과채류를 안정생산하기 위해서는 시설원예 현장에서 가장 보편적인 기술을 패키지화하여 난방비 절감기술 적용모델을 개발하고 확산하는 것이 필요하다. 현재 에너지 다소비형 구조로 설계된 단동 비닐하우스에 현장에서 바로 체감이 가능한 단동형 에너지절감기술의 모델 개발이 절실한데, 기 개발된 기술들은 단용으로만 처리되다 보니 전체적인 패키지화에 비해 효율이 떨어지므로 패키지화된 모델을 개발하고자 본 연구를 수행하였다.

### 나. 활용 내용

#### (1) 패키지기술 투입 시설별 토마토 수량 특성

본 에너지절감 패키지기술 모델 개발연구는 강원도 인제군 인제읍 과채류 재배단지 농가에서 기존 보온시설인 온수관 난방기 외에 기 개발된 에너지절감기술인 트러스밀폐형 천창스크린, 다겹보온커튼, 나노탄소섬유 램프를 패키지화 하여 최대한의 에너지효율을 증진하여 난방비를 절감시키면서 생산성을 향상시키고자 농가 실증연구를 수행하였다. 실증농가 시설은 연동형 유리온실(폭 9, 동고 7m)이고, 토마토 재배품종은 ‘다불’ 품종을 사용하였다. 패키지기술로는 1개소에 패키지(트러스밀폐형 천창스크린 + 다겹보온커튼 + 나노탄소섬유 램프) 처리를 설치하였다. 토마토 ‘다불’ 품종의 수량 특성을 보면 기존 시설에 비해 시설 내부 기온이 높아 생육이 빨랐던 패키지기술 처리구에서 토마토의 수확과수 및 평균과중이 높아 상품수량이 기존 처리구 대비 10.3% 증수하였다(표 38).

판매금액을 보면 기존시설에 트러스밀폐형 천창스크린, 다겹보온커튼, 나노탄소섬유 램프가 모두 투입된 패키지기술 투입 처리구에서 판매금액이 60,178천원/10a으로 높았다. 재식주수는 10a당 2,000주를 정식하였고, 가락동 농수산물도매시장 평균단가 5kg 1박스 당 20,000원을 기준으로 분석하였다(표 38).

표 38. 패키지기술 투입시설 토마토 수량특성(인제군, 장\*\* 농가)

패키지기술	수확과수 (개/3.3m <sup>2</sup> )	평균과중 (g)	상품수량 (kg/10a)	판매금액 (천원/10a)
기 준(온수관난방)	248.0	183.3	13,637.5	54,550
패키지 (천창스크린+다겹보온커튼+나노탄소섬유램프)	259.3	193.4	15,044.6	60,178

※ 재식주수 : 2,000주/10a

※ 판매가격 : 20,000원/5kg(가락동 농수산물도매시장 평균 가격)

※ 수확시기 : '16. 2.22 ~ 5.02



**(2) 패키지기술 투입 시설별 경제성 분석**

패키지기술 투입 시설별 에너지 절감 효과를 보면 기존 시설(대조구-온수관난방) 이용 시 12월부터 익년 2월까지 사용되었던 에너지 사용량과 난방요금이 10a당 9,000ℓ, 3,620천원이었으나, 패키지기술(트러스밀폐형 천창스크린 + 다겹보온커튼 + 나노탄소섬유 램프) 투입 시 에너지 사용량이 17,280kWh로 난방요금이 920천원이 소요되어 74.6%의 에너지 절감효과가 있었다. 난방유 가격은 2016년도 면세등유 가격을 조사하여 평균값을 기준으로 계산하였다(표 39).

표 39. 패키지기술시설 투입에 따른 난방비 절감 효과(인제군, 장\*\* 농가)

농 가	패키지기술	에너지사용량 (ℓ, kWh/10a)	난방요금 (원/10a)	절감율 (%)
인제군 장**	기 준(온수관난방)('14~'15)	9,000ℓ	3,619,710	0
	패키지(천창스크린+다겹+램프)	17,280kWh	919,528	74.6

※ 난방시기 : '15.12 ~ '16.02

※ 난방유 가격 : 면세등유 402.19원/L ('16년 면세등유 평균가격)

※ 전력 단가(농사용(을)-고압) : kwh당 53~60원(70kW 기본요금 1,210원/kW 포함) 적용

유리온실에서 토마토 재배 시 난방 패키지 기술 적용 시설과 일반 시설 재배 시를 비교하였을 때 부분예산법으로 경제성 검토 결과 패키지 적용 유리온실 ha당 설치는 373,804천원이었으며, 이에 따른 연간 감가상각비 등 연간 총고정비 38,876천원과 인건비 830천원, 포장비 253천원을 합하여 연간 총비용은 39,959천원이었으며, 패키지 기술을 적용에 따른 이익적 요소로 토마토 증수에 의한 소득 증가가 56,280천원과 온수관난방 대비 난방비 절감액이 27,002천원으로 나타나 연간 총 증가수입은 83,282천원으로 연간 추정수익액은 43,323천원이었다(표 40, 41).

표 40. 유리온실 패키지 기술 경제성 분석(인제군, 장\*\* 농가)

(단위: 천원/ha)

손실적 요소(A)	이익적 요소(B)
○ 증가되는 비용 : - 감가상각비 37,380 - 수리보수비 374 - 고정자본이자 1,121 * 연간 총고정비 38,876 - 인건비 830 - 포장비 253 연간 총 비용(A) 39,959	○ 증가되는 이익 : - 토마토 증수 56,280 - 난방비 절감 27,002  연간 총 증가수입(B) : 83,282
○ 추정 수익액(B-A) = 43,323천원/년	

표 41. 시험연구내역과 분석자료

- 비닐하우스용 냉난방 패키지 설치비: 373,804천원/ha

구 분	내구성 (년)	설치비 (천원)	감가상각비 (천원/연)	수리비 (천원/연)	고정이자 (천원/연)	연간비용 (천원)
다겹보온커튼	10	39,772	3,977	40	119	4,136
천창스크린	10	141,037	14,104	141	423	14,668
나노탄소섬유램프	10	192,995	19,300	193	579	20,071
계	-	373,804	37,380	374	1,121	38,876

※ 잔존율 : 0 %, 수리비 : 1%, 연이율 : 3 % 적용

#### 다. 기대 효과

지지난 3년간 농업에너지절감 패키지기술 모델개발 실증연구사업을 수행한 결과 도출한 강원도 토마토 유리온실 에너지절감 패키지기술 모델은 기존의 온수관 난방시설에 트러스밀폐형 천창스크린, 다겹보온커튼 및 나노탄소섬유 램프를 패키지로 설치하면 단편적인 시설 투입보다 수량 증대(10.3%) 및 난방비 절감효과(74.6%)가 커서 연간 추정수익액이 43,323천원/ha으로 가 적합한 모델인 것으로 판단되었다. 향후 농업에너지절감 패키지기술 표준화 모델을 확립하여 강원도 토마토 재배농가의 생산성을 향상하고 경쟁력을 제고시키도록 확대 보급할 계획이다. 다만, 이러한 에너지절감을 위한 시설투자에는 반드시 농가의 기본시설이 패키지 기술을 투입할 수 있는 여건을 갖추고 있어야 하고, 농가가 적정 재배기술을 갖추고 있어야만 패키지기술 투입에 따른 생산성 향상이 병행되어 경제성이 있다.

### 제3절 현장평가회 개최

#### 1. 1차 현장평가회 개최

- 일 시 : 2015. 3.12(목), 16:00~18:00
- 장 소 : 강원도 속초시 노학동 에너지절감 모델개발 실증농가
- 참석자 : 25명(국립원예특작과학원, 딸기작목반, 속초시농업기술센터 등)
- 개발기술 소개
  - 딸기 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 특징, 실증시험 결과 등
- 딸기 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 특징, 실증시험 결과 설명
  - 단동비닐하우스 에너지절감을 위한 난방패키지 설치(다겹보온커튼, 근권난방, 수막시설)
  - 에너지 절감 효과를 보면 기존 시설(전기온풍기) 이용시 '13년 12월부터 '14년 1월까지 사용되었던 에너지 사용량과 전기요금인 24,094kWh, 1,241천원이었으나, 패키지(다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설) 처리구는 에너지 사용량이 11,641kWh로 643천원이 나와 48.2%의 에너지 절감효과가 있었음
  - 딸기 수량 특성을 보면 시설 내 기온이 높아 생육이 빨랐던 패키지기술 투입 처리구에서 평균과중이 22.0g으로 상품수량이 가장 많아, 판매금액이 44,368천원/10a으로 높게 나타났음. 재식주수는 10a당 10,000주를 정식하였고, 속초 농협에 실제로 납품하였던 평균단가 16,000원/1kg을 기준으로 조사하였음.



< 패키지기술 투입 내용 및 기대효과 설명 >



< 에너지절감 실증농가 현장평가 >



< 에너지절감 패키지기술 모델개발 사업 홍보 >



< 에너지절감 패키지기술 실증농가 홍보 >

그림 82. 1차 현장 평가회 개최(2015. 3. 12)

## 2. 2차 현장평가회 개최

### □ 행사 개요

- 일 시 : 2016. 4. 1(금), 11:00~13:00
- 장 소 : 강원도 인제군 인제읍 안삼재길 149-8(우정영농, 대표 : 장\*\*)
- 참석자 : 40명(도의회 남평우 의원, 농업기술원 박홍규 원장, 원예원 김영철 단장 등)

### □ 현장평가 내용

- 과제명 : 농업에너지절감 모델개발 사업(농림부 창조농업 우선추진과제)
  - 목 적 : 강원지역 농업에너지 절감 패키지기술 모델 개발 및 확산
  - 실증연구 : 동계 토마토 고품질 생산 패키지기술 모델 개발
  - 사업규모 : 10a(300평), 50백만원(국비)
  - 패키지기술 투입 : 다겹보온커튼, 트러스트밀폐형 알루미늄 천창스크린, 나노탄소섬유 램프
- 토마토 시설하우스 에너지절감 패키지기술 특징, 실증시험 결과 설명
  - 시설하우스 에너지절감을 위한 난방패키지 설치
  - 에너지 절감 효과를 보면 기존 시설(전기온풍기) 이용시 '15년 12월부터 '16년 2월까지 사용되었던 에너지 사용량과 난방요금이 9,000ℓ, 3,620천원 이었으나, 패키지 처리구는 에너지 사용량이 17,280kWh로 920천원이 나와 74.6%의 에너지 절감효과가 있었음
  - 딸기 수량 특성을 보면 시설 내 기온이 높아 생육이 빨랐던 패키지기술 투입 처리구에서 평균과중이 193.4g으로 상품수량이 10.3% 더 많아, 판매금액이 60,178천원/10a으로 높게 나타났음. 재식주수는 10a당 2,000주를 정식하였고, 가락동 농수산물도매시장 평균 단가 5kg 1박스 당 20,000원을 기준으로 조사하였음
- 인제군 원대리 동계 토마토단지 수경재배 현황 : 1.4ha
  - 품종 : 유럽계 '다블'(정식 - 11월 20일)
  - 토마토 출하 : '16년 2월 20일 첫 출하
  - 평균 출하단가 : 2,600원/kg(평년 대비 130% ↑)
  - 현재 3월까지 50톤(125백만원) 출하 → 5월 중순까지 170톤, 425백만원

### □ 금후계획

- 전년 대비 난방비 80.6% 절감 : 도내 토마토단지 절감모델 확대
- 동계올림픽 연계 토마토 등 강원도에서 생산한 과채류 공급



< 에너지절감 패키지기술 효과 설명 >



< 현장 워크숍 >

그림 83. 2차 현장 평가회 개최(2016. 4. 1)

### 3. 3차 현장평가회 개최

#### □ 행사 개요

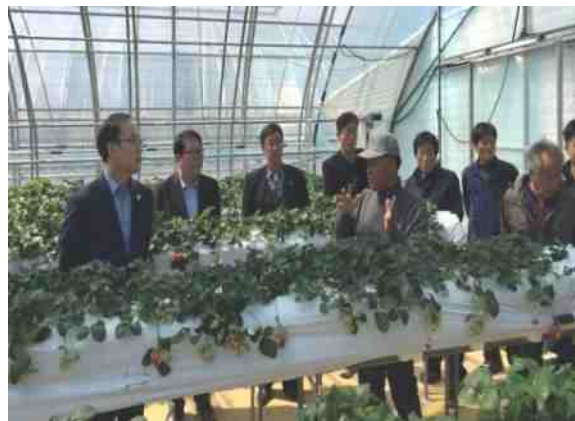
- 일 시 : 2017. 4. 4(화), 11:00~13:00
- 장 소 : 강원도 삼척시 근덕면 삼척로 3937-25 (김\*\* 농가)
- 참석자 : 40명(딸기 농가, 국립원예특작과학원, 농업기술원, 농업기술센터 등)

#### □ 현장평가 내용

- 과 제 명 : 농업에너지절감 모델개발 사업
- 세부과제명 : 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 개발(Ⅲ)
- 현장평가회 내용
  - 에너지절감 모델개발 추진 경과 및 패키지기술 설명
  - 실증연구 재배포장 견학 및 기대효과 설명
  - 현장평가 및 에너지절감 패키지기술 모델 확대보급 방안 협의 등
- 딸기 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 특징, 실증시험 결과 설명
  - 단동비닐하우스 에너지를 위한 난방패키지 설치 (2중비닐, 다겹보온커튼, 근권난방, 수막시설, 배기열회수형 환기장치)
  - 에너지 절감 효과를 보면 기존 시설(1중비닐 + 다겹보온커튼 + 온풍난방기) 이용시 '16년 12월부터 '17년 2월까지 사용되었던 에너지 사용량과 난방요금이 2,353ℓ, 1,529천원 이었으나, 패키지(2중비닐 + 다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설) 처리구는 에너지 사용량이 9,040kWh, 553ℓ로 난방요금이 830천원이 나와 46%의 에너지 절감효과가 있었음
  - 딸기 수량 특성을 보면 시설 내 기온이 높아 생육이 빨랐던 패키지기술 투입 처리구에서 대조구에 비해 상품수량이 2배 더 높았고, 판매금액은 30,786천원/10a으로 높게 나타났다. 재식주수는 10a당 10,000주를 정식하였고, 가락동농수산물시장 평균단가 7,000원/kg('16.12~'17.04)을 기준으로 조사하였음
- 언론보도(9건) : 강원도민일보(4.5), 강원신문(4.4), 국제뉴스(4.4), 프레시안(4.4), 이뉴스투데이(4.3), 농촌여성신문(4.4), 한국뉴스연합통신 엔사이드(4.4), 드림저널(4.4), 전국매일신문(4.4)



< 에너지절감 패키지기술 효과 설명 >



< 에너지절감 실증농가 현장평가 >

그림 84. 3차 현장 평가회 개최(2017. 4. 4)

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

### 제1절 : 연구개발 목표 및 연구개발 수행내용

연구개발 목표		연구개발 내용	달성도 (%)
1차년도 (2014~ 2015)	○딸기 단동 비닐 하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발	○ 딸기 단동 비닐하우스 패키지기술 투입(속초 3개소) - 패키지기술시설 투입 · 다겹보온커튼+근권난방+수막+반사필름 · 다겹보온커튼+근권난방+반사필름 · 다겹보온커튼+반사필름 - 다겹보온커튼시설 투입 · 다겹보온커튼+수평예인식 다겹보온커튼 · 다겹보온커튼+수평예인식 알루미늄보온커튼 ○ 패키지기술 투입 시설 기상환경 분석 - 조사내용 : 온도, 습도, 지중온도, 일사량 등 ○ 딸기 생육 및 과실 특성 분석 - 생육특성 : 초장, 엽장, 엽폭, 엽수, 엽병장 등 - 과실특성 : 과장, 과폭, 과중, 당도, 경도, 산도, 과탁 등 ○ 딸기 수량 및 경제성 분석 - 수량특성 : 화방수, 개화수, 착과수, 과중 등 - 경제성 분석 : 전기, 경유 사용량 등	100
2차년도 (2015~ 2016)	○딸기 단동 비닐 하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발	○ 1년차 모니터링(속초 3개소) - 조사내용 : 기상환경, 생육, 과실품질, 수량, 경제성 등 ○ 2년차 절감모델 확산(동해, 삼척 2개소) - 패키지기술시설 투입 · 다겹보온커튼+근권난방+수막 · 다겹보온커튼+근권난방 - 조사내용 : 기상환경, 생육, 과실품질, 수량, 경제성 등	100
	○토마토 시설하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발	○ 토마토 시설하우스 패키지기술 투입(강릉, 인제 2개소) - 단동 비닐하우스 패키지기술시설 투입 · 다겹보온커튼+근권난방+알루미늄방열관 · 다겹보온커튼+근권난방+알루미늄방열관+열회수형환기장치 - 유리온실 패키지기술시설 투입 · 천창스크린+다겹보온커튼+나노탄소섬유 램프 ○ 패키지기술 투입 시설 기상환경 분석 - 조사내용 : 온도, 습도, 지중온도, 일사량 등 ○ 토마토 생육 및 과실 특성 분석 - 생육특성 : 초장, 엽장, 엽폭, 엽수, 엽병장, 경경 등 - 과실특성 : 과장, 과폭, 과중, 당도, 경도 등 ○ 토마토 수량 및 경제성 분석 - 수량특성 : 화방수, 개화수, 착과수, 과중 등 - 경제성 분석 : 전기, 경유 사용량 등	100
3차년도 (2016~ 2017)	○토마토 시설하우스 에너지절감 패키지 기술 모델 개발	○ 2년차 모니터링(강릉, 인제 2개소) - 조사내용 : 기상환경, 생육, 과실품질, 수량, 경제성 등	100
	○딸기 단동 비닐 하우스 에너지절감 패키지기술 실증 모델 고도화 및 확산	○ 3년차 절감모델 고도화 및 확산(동해, 삼척 2개소) - 패키지기술시설 투입 · 다겹보온커튼+근권난방+수막 · 다겹보온커튼+근권난방+수막+배기열회수형 환기장치 - 조사내용 : 기상환경, 생육, 과실품질, 수량, 경제성 등	100



## 제2절 : 관련분야의 기술발전예의 기여도

본 과제의 연구개발 목표는 강원지역 시설원예 농가 에너지절감 및 고품질 생산을 위한 단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 실증연구 및 기술보급 확산으로 농가 경쟁력을 제고시키는데 있으며, 구체적으로 기존 유류난방 대비 난방비 30% 절감, 수량 및 품질 개선으로 농가소득 15% 증대를 목표로 하였다. 연구 내용으로 강원도 동계기간 시설원예 주 작목인 딸기와 토마토를 대상으로 동해안지역 딸기 단동 비닐하우스는 기존 보온시설인 2중 비닐과 난방기 외에 기 개발된 에너지절감기술인 다겹보온커튼, 근권난방, 수막시설로 구성된 패키지 모델과 토마토 유리온실은 기존 보온시설인 온수관 난방기 외에 기 개발된 에너지절감기술인 트러스밀폐형 천창스크린, 다겹보온커튼, 나노탄소섬유 램프로 구성된 패키지 모델을 개발하여 패키지기술 투입 시설별 기상환경 분석, 생육 및 과실 특성 분석, 수량 및 경제성 분석 등을 수행하였다. 실증시험 결과 딸기 난방 시 관행 단동 비닐하우스 대비 난방비 48.4% 절감, 수확량 34.2% 증수 효과를 확인하였으며, 토마토 난방 시 관행 유리온실 대비 난방비 74.6% 절감, 수확량 10.3% 증수 효과를 확인하였다. 기술보급 확산을 위해 개발기술의 경제성 분석 및 현장평가회를 개최하였으며, 농식품부 정책제안을 통해 기술보급 및 활용 방안을 제시하였다. 국내의 농업시설의 에너지절감기술 관련 연구나 개발 방향은 히트펌프 등의 고효율 공조기, 시설의 보온성 향상기술, 온도관리 기술 등의 개별 기술을 중심으로 발전해 왔으나 농업시설의 에너지이용효율 향상을 위해서는 시설 또는 작목에 적합한 기 개발 기술의 복합적 적용 역시 요구되고 있다. 본 연구결과는 향후 작목 또는 시설 맞춤형 고효율 에너지절감기술의 개발을 위한 기초자료를 제공할 수 있을 것이다.

## 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

- 정책부처 제안(농식품부 농업에너지이용효율화사업)
  - 딸기 단동비닐하우스 에너지절감을 위한 패키지시설 지원(다겹보온커튼+근권난방+수막시설)
- 영농활용
  - 동해안 딸기 단동하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발('15)  
(다겹보온커튼 + 근권난방 + 수막시설)
  - 강원지역 토마토 시설하우스 에너지절감 패키지기술 모델 개발('16)  
(다겹보온커튼 + 트러스트밀폐형 천창스크린 + 나노탄소섬유 램프)
- 논문 발표
  - 강원 동해안지역 딸기 단동하우스 농업에너지절감 패키지기술 효과('15.5.21. 한국원예학회)
  - 강원지역 동계 토마토 재배 시 농업에너지절감 패키지기술 효과('16.5.26. 한국원예학회)
  - 동해안지역 딸기 동계재배 시 농업에너지절감 패키지기술 효과('17.5.25. 한국원예학회)

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

해당사항 없음

## 제 7 장 참고문헌

1. An, J., C. An, Y. Hwang, H. Yoon, Y. Chang, G. Shon, and B. Jeong. 2013. Effect of heating by infrared heating lamps on growth of strawberry and heating cost. Protected Horticulture and Plant Factory, Vol. 22, No. 4:355-360.
2. Chang, Y., K. Oh, S. Kim, J. Jeun, K. Kang, and D. Chyong. 1996. Study on the physical property of thermal curtains for greenhouse. J. Bio. Fac. Env. 5(1) : 34-52.
3. Choi, K., J. Ko, E. Choi, H. Rhee, S. Lee, and Y. Lee. 2013. The effect of root zone cooling at night on substrate temperature and physiological response of paprika in hot climate. Protected Horticulture and Plant Factory, Vol. 22, No. 4:349-354.
4. Choi, K., J. Ko, H. Yoo, E. Choi, H. Rhee, and Y. Lee. 2014. Effect of cooling timing in the root zone on substrate temperature and physiological response of sweet pepper in summer cultivation. Kor. J. Hort. Sci. Thchnol. 32(1):53-59.
5. Choi, K., E. Jang, H. Rhee, K. Yeo, E. Choi, I. Kim, and Y. Lee. 2015. Effect of root zone cooling using the air duct on temperatures and growth of paprika during hot temperature period. Protected Horticulture and Plant Factory, Vol. 24, No. 3:243-251.
6. Chung, S., D. Kim, S. Lee, S. Nam, and Y. Lee. 2009. Heat insulation characteristics of multi layer materials for greenhouse. Journal of Bio-Environment Control, 18(4):341-347.
7. Chung, I., and S. Chang. 2016. Analysis and evaluation of hydrological components in a water curtain cultivation site. J. Korea Water Resour. Assoc. Vol. 49, No. 9. pp. 731-740.



8. Jeong, W., D. Myoung, and J. Lee. 2009. Comparison of climatic conditions of sweet pepper' s greenhouse between korea and the netherlands. *Journal of Bio-Environment Control*, 18(3):244-252.
9. Jun, H., J. Hwang, M. Son, and D. Choi. 2008. Effect of root zone temperature on root and shoot growth of strawberry. *Journal of Bio-Environment Control*, 17(1):14-19.
10. Kim, Y., J. Park, M. Huh, S. Lee, and S. Jeong. 2007. Effectiveness of the aluminum thermal screens depending on the allocation type. *Journal of Bio-Environment Control*, 16(4):284-290.
11. Kim, Y., S. Lee, and B. Jeong. 2009. Analysis of the insulation effectiveness of the thermal insulator by the installation methods. *Journal of Bio-Environment Control*, 18(4):332-340.
12. Kim, K., Y. Ha, K. Lee, D. Park, S. Kwon, W. Choi, and S. chung. 2010. Development of temperature control technology of root zone using multi-line heating methods in the strowberry hydroponics. *Journal of Bio-Environment Control*, 19(4):189-194.\
13. Kim, S., S. Sim, S. Lee, and Y. Kim. 2010. Appropriate root-zone temperature control in perlite bag culture of tomato during winter season. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28(5):783-789.
14. Kim, K., Y. Ha, K. Lee, D. Park, S. Kwon, J. Park, and S. Chung. 2010. Development of temperature control techonlogy of root zone using evaporative cooling methods in the strawberry hydroponics. *Journal of Bio-Environment Control*, 19(4):184-188.
15. Kim, T., and Y. Yoon. 2012. Evaluation of applicability of renewable energy in controlled horticulture farms(Centering on economic analysis of geothermal · solar powered). *Korea Journal of Organic Agriculture* Volume 20, Number 3: 267-282.
16. Kim, H., J. Jeon, Y. Paek, S. Lee, N. Yun, and J. Yoo. 2013. Characteristics of heat transmission variation by air space thickness and injected air temperature in air-inflated double layers film. *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* Vol. 55, No. 6, pp. 121-125.
17. Kim, J. 2013. An Experimental study on applying heat pump system to facility horticulture house. *Journal of the Korea Society for Power System Engineering*, Vol. 17, No. 6, pp. 88-94.
18. Kim, H., J. Jeon, Y. Paek, H. Pyo, J. Jeong, and Y. Kim. 2015. Analysis of temperature changes in greenhouses with recirculated water curtain system. *Protected Horticulture and Plant Factory*, Vol. 24, No. 2:93-99.
19. Kwon, J., J. Lee, N. Kang, K. Kang, and Y. Choi. 2004. Effects of covering materials and methods on heat Insulation of a plastic greenhouse and growth and yield of tomato. *Journal of Bio-Environment Control*, 13(4):251-257.

20. Kwon, J., B. Khoshimkhujjev, K. Park, H. Choi, J. Lee, and In. Yu. 2014. Optical characteristics of two new functional films and their effect on leaf vegetables growth and yield. *Protected Horticulture and Plant Factory*, Vol. 23, No. 4:314-320.
21. Kwon, J., G. Kang, J. Moon, T. Lee, and S. Lee. 2015. Effect of growing part following local heating for cherry tomato on temperature distribution of crop and fuel consumption. *Protected Horticulture and Plant Factory*, Vol. 24, No. 3:217-225.
22. Lee, S., H. Kim, H. Chun, S. Yum, and H. Lee. 2007. Comparison of heat insulation characteristics of multi-layer thermal screen and development of churtain system. *Journal of Bio-Environment Control*, 16(2):89-95.
23. Lee, H., S. Sim, and Y. Kim. 2012. Characteristics of temperature, humidity and PPF distribution by covering method and environmental control in double covering greenhouse. *Journal of Bio-Environment Control*, 21(1):1-11.
24. Lee, H., Y. Kim, S. Sim, J. Lee, and Souleymane Diop. 2013. Estimation of heat insulation and light transmission performance according to covering methods of plastic greenhouses. *Protected Horticulture and Plant Factory*, Vol. 22, No. 3: 270-278.
25. Lee, J., I. Hyun, and K. Lee. 2015. Utilization of heat from waste-incineration facility for heating large-scale horticultural facilities. *Korea Journal of Air-Conditioning Engineering*. Vol. 27, No. 8, pp. 418-425.
26. Nam, S., H. Shin, D. Seo and I. Yu. 2014. Comparative analysis on environment contral systems for glasshouses and plastic houses. *CNU Journal of Agricultural Science*. Vol. 41, No. 3, pp. 251-258.
27. Park, J., Y. Ha, K. Kim, D. Park, K. Lee, H. Jun, S. Kwon, W. Choi, and S. Chung. 2010. Modeling of medum temperature drops of the elevated-bench hydroponics for strawberry cultivation during low temperature season. *Journal of Bio-Environment Control*, 19(3):123-129.
28. Rhee, H., K. Kang, K. Kweon, and Y. Choi. 2001. Effect of root zone temperature during the night on the growth and yield of perlite cultured tomato in winter. *Journal of Bio-Environment Control*, 10(1):30-35.
29. Shin, H., and S. Nam. 2016. Experimental study on the characteristics of ground heat exchange in heating greenhouses. *Protected Horticulture and Plang Factory*, Vol. 25, No. 3:218-223.
30. Yu, I., E. Lee, M. Cho, H. Ryu, and Y. Kim. 2012. Development of multi-span plastic greenhouse for tomato cultivation. *Journal of Bio-Environment Control*, 21(4):428-436.
31. Yun, S., M. Choi, H. Kim, D. Kang, S. Lee, J. Son, and Y. Yoon. 2016. Estimation of the required number of fan coil unit for surplus solar energy revovery of greenhouse. *Protected Horticulture and Plant factory*, Vol. 25, No. 2:83-88.

# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “농업에너지절감모델개발사업단 실증연구과제(과제명 : 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 개발 IV)”의 최종 보고서로 제출합니다.

2017년 9월 일

실증연구기관명 : 경북농업기술원  
성주참외과채류연구소  
실증연구책임자 : 신용습



# 요 약 문

## I. 제 목

단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 개발(IV)

## II. 연구성과 목표 대비 실적

본 과제의 연구개발 목표는 경북지역에 적합한 시설원예 농가 에너지절감 및 고품질 생산을 위한 단동비닐온실 패키지기술 모델 실증연구 및 기술보급 확산으로 농가 경쟁력을 제고하는데 있으며, 구체적으로 기존 유류난방 대비 난방비 70% 절감, 수량 및 품질 개선으로 농가소득 10% 증대를 목표로 하였다. 연구 내용으로 경북 지역의 주 작목인 참외와 딸기를 대상으로 하였다.

참외는 무가온 재배작형으로 에너지이용 효율을 극대화시켜 보온 효율을 높이는 패키지 모델을 구성하였다. PO계 필름, 기능성 보온덮개, 연결하우스로 구성된 패키지 모델과 기존 패키지 기술에 탄산가스발생제, 공기순환팬을 설치하여 고도화 패키지 모델을 실증 연구하였다. 패키지 실증 결과 참외 축성재배시 시설 에너지 이용 효율 극대화를 위해 보온성과 광 투과율이 높은 PO계 필름과 단열 효과가 뛰어난 알루미늄코팅 보온덮개 이용할 경우 수확수요일수는 7일 단축되고, 3~4월 초기 수확량이 47% 증가하여 생산성 향상되었다. 연결하우스는 단동형의 장점에 연동형의 효과를 가져와 시설 내 환경 관리가 용이하고 본포관리, 수확운반 시설 등의 작업 환경을 개선하여 노동력을 절감할 수 있다.

딸기는 고령지역에서 많이 이용되고 있는 2중 단동비닐하우스 수막시설, 온수보일러(등유)를 개선하기 위해 PO계 필름, 다겹보온커튼, 국부난방(전열선)으로 구성된 패키지 모델을 개발하였다. 패키지 실증 결과 딸기 축성재배시 관행 대비 난방비 88% 절감, 수확량 33% 증수 효과를 확인하였다. 기술보급 확산을 위해 개발기술의 경제성 분석 및 현장평가회를 개최하였으며, 농식품부 정책제안을 통해 기술보급 및 활용 방안을 제시하였다.

## III. 연구개발의 목적 및 필요성

우리나라 최종 에너지 소비량은 2000~2013년간 연평균 2.7% 증가하였고, 농업·농촌 에너지 소비 역시 화석에너지의 사용 증가로 지속적으로 증가하고 있다. 농산물 생산은 많은 노동력을 필요로 하며, 현재 농촌의 인력 부족 문제와 생산성 증대를 위해 농기계 이용이 보편화되고 있으며 이는 에너지 사용량 증가로 연결되고 있다.

시설원예 면적이 급격하게 증가하여 2013년 51,058ha로 90년대보다 2배 이상 늘어났고, 겨울철 난방 재배하는 시설 면적도 6배 이상 증가하여 전체의 27%인 13,980ha이며, 가온온실의 난방에너지원은 유류 이용이 66%(경유 72%)로 국제 유가의 변동성에 취약한 구조이고, 우리나라의 농업에너지 중 약 45% 이상이 시설원예의 난방에 사용되고 있다. 정부에서는 에너지이용 효율화사업의 일환으로 다겹보온커튼, 순환식 수막재배시설, 열회수형 환기장치, 자동 보온덮개, 배기열 회수장치 등을 지원하고 있다. 에너지 절감시설이 다양하게 보급되고 있지만 시설의 형태, 온도반응에 따른 작물의 분류 등에 따라 적용되는 에너지 절감시설이 달라져야 한다.

2012년 기준 에너지 절감시설은 3만 9,466ha가 보급되었고, 단동온실에 다중피복이 가장 많은 36.5%, 보온덮개 27.5%, 수막시설 14.3% 순이다. 에너지 절감시설들의 난방비 절감효과는 열회수형 환기장치, 다겹보온커튼, 순환식 수막보온커튼이 46~64%를 절감하는 효과가 있으나, 설치비와 단가 등을 반영하였을 때 다겹보온커튼이 비용 40% 절감되는 효과가 있다. 신재생에너지에 대한 일부 수요가 있지만 설치비용이 비싸고, 유지·보수의 A/S 문제 등으로 이용을 기피하고 있는 실정이다.

딸기는 저온성 작물로 수막재배 등에 의한 보온에 의존하고 있으나, 최근에는 저온기의 안정 생산을 위해 난방에너지를 투입하는 농가가 증가하고 있으므로, 지하수 자원의 보존이나 난방에너지 절감을 위해 재배시설의 보온력 강화하는 수단이 절실히 요구되고 있다. 대부분의 시설 딸기 재배농가에서 하우스의 기본적인 피복재로 PE(polyethylene) 필름을 사용하고 있는데 필름의 투명도가 낮아 다중으로 사용할 경우 저온기에 투광량이 부족해 생리장해의 원인이 되기도 한다.

시설 참외는 조기수확을 위해 12~1월경 저온기에 정식하고 12온스 이상의 다겹보온덮개를 이용하여 무가온으로 재배하고, 10월까지 연장재배가 가능한 작물이다. 저온기 재배시 참외 정식 전 후 지온 확보를 위해 보온, 광투광성, 비닐 피복 또는 제거노동력 경감 등의 이유로 PO(polyolefine) 필름 보급이 확대되고 있는 추세이다.

시설원예는 작물재배 특성상 관수 및 방제작업이 빈번하고 온실의 보온을 위해 밀폐도가 높은 피복자재를 사용하기 때문에 야간 상대습도가 90% 이상이 되고, 온실의 온도가 노점 이하로 내려하면 공기 중 수분이 작물 표면에 물방울 형태로 모아서 각종 병해 발생의 원인이 된다. 따라서 현장에서 체감할 수 있는 시설 및 작목 맞춤형 기술의 개발과 보급을 위해 농림축산식품부의 에너지절감기술 보급사업과 연계한 에너지절감 패키지 기술의 개발과 확산이 요구된다.

#### IV. 연구개발 내용 및 범위

참외 단동비닐하우스의 보온력 향상을 위하여 기존에 입증된 기술들을 패키지화하여 동절기 참외 재배에 적합한 에너지 이용 효율을 향상시키기 위함이다. 패키지 기술 내용은 PO계 필름, 기능성 보온덮개, 연결하우스를 조합하였다. PO계 필름은 0.15mm 두께의 보온성이 높은 장기성 필름으로 5년 이상 사용이 가능하고, 기능성 보온덮개는 백색부직포 55g, 화학솜 15온스, 알루미늄코팅부직포 35g, 흑색부직포 55g으로 기존 보온덮개 구성에서 알루미늄 코팅 부직포가 1겹 더 추가되었다. 알루미늄코팅부직포는 알루미늄 순도 99.9% 이상의 소재를 압축 분사하여 도포한 방식으로 투습도가 3,927g/m<sup>2</sup>24h로 높아 시설 원예작물의 습공기 관리에 유리하고, 단열(IR 반사율) 효과도 78~95%로 높은 편이다. 연결하우스는 단동비닐하우스 한쪽 측면을 하우스파이프를 이용하여 T자형으로 10동을 연결하였다. 고도화 패키지 기술은 기존 패키지 기술 조합인 기능성 보온덮개, 연결하우스에 탄산가스발생제와 공기순환팬을 추가하였다. 탄산가스발생제는 고체분말형 고농도 탄산가스 발생제로 100m 하우스 내부 상단에 5m 간격으로 20봉(100g/봉)을 설치하여 1개월 가량 사용이 가능하고, 설치시기는 1~2월경으로 착과 후부터 환기가 어려운 저온기에 실시하는 것이 중요하다. 공기순환팬은 용량은 바닥면적 당 0.6m<sup>2</sup>/min 기준으로 소형프로펠러 팬(용량 30m<sup>3</sup>/min)을 이용하여 하우스 길이 100m일 경우 10대를 작물상단부 1~1.5m 높이에 W형으로 2줄을 설치하였고, 공기 흐름 방향은 열원에서 공기를 불러

내서 다시 돌아오는 방향으로 배치하였다. 동절기를 기준으로 시설 내부 온도가  $33\pm 2^{\circ}\text{C}$  이상 일 때 작동되도록 하였다. 주요조사 항목은 온습도, 일사량, 열분포, 작물생육, 수확량 등이며, 패키지 기술을 평가하기 위하여 대조구를 대상으로 경제성 분석을 수행하였다.

딸기 단동비닐하우스의 패키지 기술은 다겹보온커튼, 국부난방(전열선), PO계 필름으로 조합하였다. 다겹보온커튼은 총 4겹으로 알루미늄코팅 스크린 1겹, 부직포(40g) 2겹, 마트지(300×300) 1겹으로 구성되어 있다. 다겹보온커튼 설치 구조는 기존의 2중 구조 내부에 3중 골조를 설치하고 중앙부에는 감아올림식으로 개폐기를 설치하고, 측면부는 슬라이딩식으로 개폐기를 설치하였다. 국부난방은 열원을 실내에 놓고 국부적으로 덥히는 난방법으로 농업용 전열선(20w/m)을 열원으로 하여 지제부 중앙에 1줄로 설치하였고, 지온(깊이 15cm)을  $12^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였다. PO(polyolefine)계 필름은 1중 외피복재는 0.15mm 두께의 보온성이 높은 장기성 연질 필름으로 5년 이상 사용이 가능한 수입산 필름이고, 2중 내피복재는 0.08mm 두께의 PO계 필름을 사용하였다. 주요조사 항목은 온습도, 에너지사용량 및 비용, 작물생육, 수확량 등이며, 패키지 기술을 평가하기 위하여 대조구와 설치비 및 난방비 절감액을 대상으로 경제성 분석을 수행하였다.

## V. 연구개발결과

참외 단동비닐하우스의 패키지 기술 적용시 광투과율이 높은 PO계 필름과 단열 효과가 뛰어난 알루미늄 코팅 기능성 보온덮개로 인해 주간 평균 기온과 지온이 관행 대비  $0.1\sim 2.6^{\circ}\text{C}$ ,  $1.8\sim 3.1^{\circ}\text{C}$  상승하였고, 야간 평균 기온과 지온도 관행 대비  $1.1\sim 3.2^{\circ}\text{C}$ ,  $1.0\sim 2.2^{\circ}\text{C}$  상승하였다. 동절기 일일 누적일사량 또한 12% 증가하였다. 보온력 향상으로 인해 생육이 양호하였고, 이로 인해 수확소요일수 7일 단축되었고, 수확량 또한 47% 증수하였다. 연결하우스는 단동형의 장점에 연동형의 효과를 가져와 시설 내 환경 관리가 용이하고 본포관리, 수확운반 시설 등의 작업 환경을 개선하여 노동력을 절감할 수 있었다. 패키지 적용 단동비닐하우스 10a 당 연간 총비용은 1,147천원으로 나타났으며, 패키지 기술 적용에 따른 이익적 요소로 수량 증수에 의한 소득 증가가 2,542천원과 연결하우스 사용으로 노동력과 방제비 등의 절감으로 178천원을 절감하여 연간 총 증가수입은 2,720천원으로 연간 추정 수익액은 1,573천원의 수익이 발생하였다.

참외의 기존 패키지 기술에서 탄산가스 발생제와 공기순환팬을 추가로 투입하여 고도화 패키지 기술을 적용할 경우 야간 표면 방출온도를  $2.3^{\circ}\text{C}$  단열시켰고, 공기순환팬의 공기 유동으로 인해 더운 공기가 아래로 내려와 주간 평균기온  $1\sim 2^{\circ}\text{C}$  상승하였고, 탄산가스발생제의 탄산시비로 인해 광합성율도 10.9% 증가해 초기 수확량이 14% 증수하였다. 고도화 패키지 적용 단동비닐하우스 10a 당 연간 총비용은 605천원으로 나타났으며, 고도화 패키지 기술 적용에 따른 이익적 요소로 수량 증수에 의한 소득 증가가 975천원과 연결하우스 사용으로 노동력과 방제비 등의 절감으로 178천원을 절감하여 연간 총 증가수입은 1,153천원으로 연간 추정수익액은 548천원의 수익이 발생하였다. 기존 패키지 기술에 비해 높은 수익이 나지 않은 것은 무가온 재배의 특성상 외피복 자재에 따라 기온이 많은 영향을 받기 때문이다.

딸기 단동비닐하우스의 패키지 기술 적용시 광투과율이 높은 PO계 필름과 단열 효과가 뛰어난 알루미늄 다겹보온커튼으로 인해 맑은 날 일일 누적일사량이  $3,719\text{W}\cdot\text{m}^2$ 로 관행 대비 13.3% 많았다. 패키지 처리구의 총수확량은  $2,590\text{kg}/10\text{a}$ 이고, 상품수량은  $2,561\text{kg}/10\text{a}$ 로 관행

대비 33% 증수하였다. 딸기 단가를 9,243원/kg 적용하였을 때 조수입 또한 관행 대비 5,842천원 증대하였다. 패키지 적용 단동비닐하우스 10a 당 설치비는 12,500천원으로 나타났으며, 이에 따른 연간 감가상각비 등 연간 총고정비는 2,593천원과 국부난방시 사용된 전기사용료 45천원과 수확량 증가로 인한 인건비와 포장비 117천원을 합하여 연간 총비용은 2,939천원으로 나타났으며, 패키지 기술 적용에 따른 이익적 요소로 수량 증수에 의한 소득 증가가 5,842천원과 난방비 절감으로 126천원을 절감하여 연간 총 증가수입은 5,968천원으로 연간 추정 수익액은 3,029천원의 수익이 발생하였다.

## VI. 연구성과 및 성과활용 계획

- 참외 단동비닐하우스 고도화 패키지 기술의 농가 보급 확대를 위한 농림축산식품부 정책제안
- 시설 참외 에너지 이용 효율 극대화 매뉴얼 발간(2017.5.29.) 및 1,000부 배부
- ‘경북지역 참외 단동비닐하우스 에너지이용 효율 극대화 패키지 투입 효과’ 논문투고 계획
- 에너지이용 효율 극대화 단동비닐하우스 패키지 기술보급으로 농가소득 향상 및 고품질 안정 생산에 기여



## SUMMARY

The purpose of this study is to develop a package technology model to maximize energy use efficiency of horticultural farmers in Gyeongbuk area and to produce high quality agricultural products. A system suitable for single-type greenhouse was obtained for korean melon and strawberry. The package model of korean melon without heating was composed of PO film, functional heat insulation cover and connection house. In advanced package model, a carbon dioxide gas generator and an air circulation fan were installed in the existing package technology. The strawberry energy saving package model consisted of PO film, multi-layer insulation curtain, and local heating (heating line) to improve thermal insulation. As a result of the package test in the greenhouse for korean melon cultivation, the nighttime temperature of the greenhouse with the aluminum coated thermal insulation cover was maintained at 1.1°C higher than the temperature of the control. Daily cumulative solar radiation was  $3,585 \text{ w} \cdot \text{m}^{-2}$ , which was 12% higher than the control. The package model shortened the number of harvest days by seven days, and the initial yield(March~April) increased by 47%. The economic analysis of the package technology showed a profit of 1,573,000won/10a. As a result of the advanced package technology test, the photosynthetic rate was  $26.21 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  due to the carbonate fertilization effect, which was 10.9% higher than the control. On a clear day when the air circulation was started, the temperature of the lower part of the facility was 1~2°C higher than the control. The initial yield of advanced package model also increased by 14%. The economic analysis of advanced package technology showed a profit of 548,000won/10a. Strawberry package technology reduced heating costs by 88% compared to waterproof equipment and increased yield by 33%. The economic analysis of the package technology showed a profit of 3,029,000won/10a.

# 제 1 장 실증과제의 개요 및 성과목표

본 실증과제의 연구개발 목표는 경북지역 시설원예 농가 에너지 이용 효율 극대화 및 고품질 생산을 위한 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 모델 실증연구 및 기술보급 확산으로 농가 경쟁력을 제고하는데 있으며, 구체적으로 기존 유류난방 대비 난방비 70% 절감, 수량 및 품질 개선으로 농가소득 10% 증대를 목표로 하였다. 연구 내용으로 경북 지역의 주 작목인 참외와 딸기를 대상으로 하였다.

실증연구에 투입된 패키지 기술은 기 개발 개별기술인 광투과율 및 보온성 향상, 국부난방, 시설환경 개선 등의 기술을 조합하여 단동비닐하우스에 대한 적용성을 높였다. 무가온 재배인 참외의 경우 PO계필름, 기능성 보온덮개, 연결하우스로 구성된 패키지 모델과 기존 패키지 기술에 탄산가스발생제, 공기순환팬을 설치하여 고도화 패키지 모델을 제시하였다. 딸기의 경우 보온력 향상을 위해 PO계 필름, 다겹보온커튼, 국부난방(전열선) 패키지 모델을 제시하였다.

각 패키지 기술에 대한 성능시험 및 작물 생육 실증시험을 수행한 결과, 참외 패키지 기술 투입시 관행 대비 초기 수확량 47% 증수 효과를 확인하였으며, 고도화 패키지 기술 투입시 14% 증수하였다. 딸기 수막시설 대비 난방비 88% 절감하였고, 수확량 또한 33% 증수하였다. 기술보급 확산을 위해 개발기술의 경제성 분석을 실시하고 농식품부에 정책제안(1건)을 하여 기술보급 및 활용 방안을 제시하였다. 기술 홍보 및 평가를 위해 유관기관, 농업인, 관련 업체를 대상으로 현장평가회를 3회 개최하였으며, 농업전문지 등을 대상으로 3건의 언론홍보를 수행하였다.

## ○ 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	연구개발 내용	달성도 (%)
- 경북 단동비닐하우스 참외 에너지 이용 효율 패키지 기술 개발	- 무가온 재배 참외 에너지 이용 패키지 기술 개발 · 보온성 향상 시스템 구성 · 성능시험 및 생육조사	100
- 경북 단동비닐하우스 딸기 에너지절감 패키지 기술 개발	- 수막시설 대비 딸기 에너지절감 패키지 기술 개발 · 광환경 개선·보온성 향상 시스템 구성 · 성능시험 및 생육조사	100
- 경북 단동비닐하우스 참외 에너지 이용 효율 고도화 패키지 기술 개발	- 참외 재배 에너지이용 효율 패키지 기술 보완 및 활용방안 제시 · 시설환경 개선 추가 기술 구성 · 경제성 분석	100

## ○ 정량적 성과목표 및 실적

구 분	논문		학술 발표	교육 지도	자료발간	정책 활용	영농 활용	홍보 전시
	SCI	비 SCI						
최종목표	-	1	4	5	0	0	0	4
연구기간 내 달성실적	-	1	4	5	1	1	1	3
달성율(%)	-	100	100	100	100	100	100	75

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

우리나라 시설재배는 채소류가 중심이 되어 발전하였는데 채소류의 시설재배면적을 보면 1970년에는 3,727ha이었으나, 30년이 지난 2000년에는 90,627ha로서 24배 이상 증가하였고, 그 이후 다시 감소하여 2015년에는 61,330ha를 기록하고 있다. 1980년대 이후 백색혁명의 계기로 농자재 산업이 발달하면서 농업용 플라스틱 필름의 공급이 용이해지고, 철재 파이프 공급이 확대됨으로써 시설재배면적이 급격히 증가하였다. 이 시기에 많은 채소재배가 노지에서 시설재배로 전환되었다(농림축산식품부, 2016).

시설원예 면적 중 가온재배 면적은 2013년 기준 채소 13,980ha, 화훼 2,197ha로 전체의 27.4%, 86.1%를 차지하고 있으며, 최근 10년간 시설원예 전체 면적이 4.6% 증가하는 동안 가온재배 면적은 30.8% 증가하는 등 꾸준한 증가세를 유지해 왔다. 시설원예의 난방에너지의 소비구조는 유류가 전체의 84.8%로 대부분을 차지하여 편향된 소비구조로 국제유가의 변동성에 취약한 구조이며, 지열을 포함한 신재생에너지의 비중은 0.88%로 미미한 수준인 반면 에너지 단가가 낮은 농사용 전력의 사용면적이 연간 20%씩 급속히 증가하고 있는 실정이다(MAFRA, 2014a, b).

2015년 시설채소 온실의 주요 지역별 시설유형을 살펴보면, 경남이 9,646ha로 전국 대비 18.3%로 시설채소 온실이 가장 많았고, 경북 17.6%, 충남 14.5% 순이었다. 주요 3개 지역에서 비닐하우스가 가장 많으며 전국 대비 51%를 차지하였다. 비닐하우스를 단동과 연동으로 구분하여 지역별 면적을 살펴보면, 경북이 비닐하우스 전체 면적은 경남보다 378ha 적으나, 단동 비닐하우스 면적은 8,603ha로 전국에서 가장 많고 대부분 터널형이며, 연동비닐하우스는 경남이 1,218ha로 가장 많았다. 가온 방식에 따라 경북은 다른 지역에 비해 86.3%가 무가온 방식으로 재배를 하고 있는 반면, 경남은 40.8%가 가온 방식으로 재배를 하고 있다. 무가온 재배 특성상 보온자재와 외피복재에 대한 농자재 관심도가 높아 경북은 타지역에 비해 보온덮개와 광투과율과 보온성이 높은 PO계 필름의 이용률이 높은 편이다(농림축산식품부, 2016).

원예시설의 보온성 향상기술의 개발 및 현장적용 연구와 관련하여 시설 피복재의 재료에 따른 열적, 물리적 특성과 보온성능을 분석한 연구(Briassoulis 등, 1997a; Briassoulis 등, 1997b)가 수행되었으며 단동 비닐온실에서 내외부 다겹보온커튼 및 일반 보온커튼의 설치조건에 따른 온실 내부의 온도유지 능력과 작물의 수확량을 분석한 연구(Kwon 등, 2004)와 가온재배 온실의 대부분을 차지하고 있는 연동 비닐온실에 적용하기 위한 자동 수평예인권취식 다겹보온커튼 시스템의 개발과 난방연료 절감 및 수확량 개선 분석 연구(Lee 등, 2003)가 수행되었다.

재배시설의 전체 공간난방에 소요되는 과도한 에너지사용을 절감하고 작물의 온도민감기관을 집중 냉난방하는 국소냉난방 관련 기술은 주로 근권부를 대상으로 하였으나(Gosselin과 Trudel, 1983; Lee 등, 2001; Kim 등, 2010) 최근 온실의 난방 관리온도를 관행 대비 4°C 정도 낮게 관리할 수 있는 딸기 관부 국소난방기술(Sone 등, 2007; Sato와 Kitajima, 2010), 유인성 작물인 토마토의 작물체 하부를 상대적 저온으로 관리할 수 있는 토마토 생장부 국소난방기술(Kawasaki 등, 2011; Kwon 등, 2015) 등으로 대상이 확대되고 있다.

이상과 같이 다양한 기능을 기반으로 한 시설원예 냉난방 관련 에너지절감기술이 개발되어 왔으나 에너지절감효과를 극대화하기 위해서는 고효율 냉난방 공조기의 적용과 함께 보온성 향상, 열분배 등 에너지절감 관련 기술이 복합적으로 적용될 필요가 있다. 유리온실에 재배되

는 고부가가치 농산물은 비교적 높은 온도로 관리되는 경우가 많으므로 저비용, 안정 생산을 위해서는 지금까지 개발된 시설원에 냉난방 관련 에너지절감기술의 복합적 활용과 적용효과에 대한 분석이 요구된다. 또한 농림축산식품부에서는 농가의 경영비 부담 경감을 위해 지열원, 공기열원, 폐열원 히트펌프 등의 농업용 히트펌프와 다겹보온커튼, 열회수환기장치 등 원예시설에 복합적으로 적용될 수 있는 다양한 에너지절감시설에 대한 설치비 지원 사업을 수행 중에 있다(MAFRA, 2016c).

본 연구에서는 경북 지역의 대표 시설원예 작물인 참외와 딸기에 적합한 패키지 기술 모델의 제시와 적용성 평가를 목표로 하였다. 참외는 무가온 재배작형으로 에너지이용 효율을 극대화시켜 보온 효율을 높이는 패키지 모델을 구성하였다. PO계 필름, 기능성 보온덮개, 연결하우스로 구성된 패키지 모델과 기존 패키지 기술에 탄산가스발생제, 공기순환팬을 설치하여 고도화 패키지 모델을 실증 연구하였다. 딸기는 2중 단동비닐하우스 수막시설, 온수보일러(등유)를 개선하기 위해 PO계 필름, 다겹보온커튼, 국부난방(전열선)으로 구성된 패키지 모델을 개발하였다. 또한 시설원예 현장에서의 활용성 증대와 에너지절감기술의 확산을 위해서는 농림축산식품부의 에너지절감기술 보급사업과 연계한 시설 및 작목 맞춤형 에너지 이용 효율 패키지 기술의 개발과 보급을 위한 정책반영이 요구되고 있다.

# 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

## 제1절 경북지역 단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 개발

### 1. 경북 딸기 에너지절감 패키지 기술 개발

#### 가. 패키지 기술 현장실증 내용

##### (1) 실증 재배 환경

본 실증연구 장소는 경북 고령군 대가야읍 대가야로이고, 실증 연구에 사용된 품종은 장희 (*Fragaria × ananassa* Duch cv. Akihime)이며 노지에서 차근육묘한 모종이다. 재배작형은 축성재배작형이고, 정식일은 2015년 9월 1일이며, 수확기간은 2015년 11월 12일에서 2016년 2월 28일까지 동절기에 영향을 받는 수확량을 조사하였다. 시설 형태는 단동 아치형 2중 비닐하우스로 폭 9m, 높이 3.5m, 길이 50m이며, 시설방향은 남북방향이며, 수막재배가 가능한 시설이다. 재배방법은 고설 양액재배이고, 배지는 딸기전용 원예상토를 충진하였다. 정식 방법은 베드 위에 2줄씩 18cm 내외 간격으로 정식하였다. 야간의 온도관리는 경유 온수보일러(엑셀파이프)를 이용하여 최저 기온 7℃로 설정하였다.



그림 1. 딸기 실증 재배장소

##### (2) 패키지 기술

패키지 투입 기술은 기존에 입증된 기술들은 패키지와화하여 다겹보온커튼, 국부난방(전열선), PO계 필름으로 조합하였고, 관행구로는 수막재배와 1중 외피복재 0.08mm EVA필름, 2중 내피복재 0.06mm EVA필름이다. 난방방법은 경유 엑셀파이프 온수보일러를 사용하였다.

패키지 투입 기술을 상세히 살펴보면 다겹보온커튼은 총 4겹으로 알루미늄코팅 스크린 1겹, 부직포(40g) 2겹, 마트지(300×300) 1겹으로 구성되어 있다. 알루미늄 코팅 스크린은 알루미늄 순도 99.9% 이상의 소재를 압축 분사하여 도포한 방식으로 투습도가 3,927g/m<sup>2</sup>24h로 높아 시설 원예작물의 습공기 관리에 유리하고, 단열(IR 반사율) 효과도 78~95%로 높은 편이다. 다겹보온커튼 설치 구조는 기존의 2중 구조 내부에 3중 골조를 설치하고 중앙부에는 감아올림식으로 개폐기를 설치하고, 측면부는 슬라이딩식으로 개폐기를 설치하였다. 기존의 다겹보온커튼이 중앙에 모두 감길 경우 주간에 온실 내부 그림자가 넓게 발생하여 일조량을 충분히 확보하기

가 어렵고, 개폐시 모터에 과부하가 걸리는 것을 개선하기 위해 화학섬을 사용하지 않고 단열 효과가 높은 소재를 활용하여 보온커튼을 얇고 가볍게 구성하였다. 국부난방은 열원을 실내에 놓고 국부적으로 덥히는 난방방법으로 농업용 전열선(20w/m)을 열원으로 하여 지체부 중앙에 1줄로 설치하였고, 지온(깊이 15cm)을 12℃로 설정하였다. PO(polyolefine)계 필름은 0.15mm 두께의 보온성이 높은 장기성 연질필름으로 5년 이상 사용이 가능한 수입산 필름이고, 1중 외 피복재로 설치하였으나 효과가 미비하여 2016년 2월 8일 이후 0.08mm 두께의 PO계 필름을 2중 내피복재로 교체하였다.

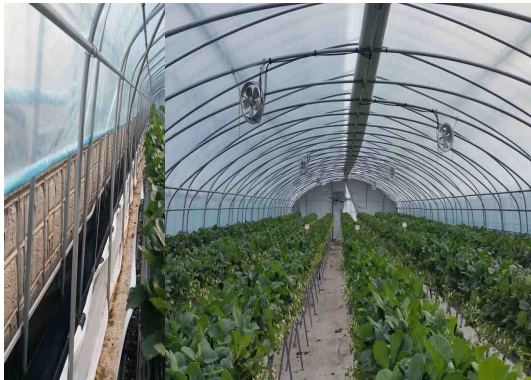


그림 2. 다겹보온커튼(3중 골조)



그림 3. 국부난방(지체부 전열선)



그림 4. PO필름 외피복재



그림 5. 대조구(곡부 2줄 수막재배)

## 나. 패키지 기술 투입 효과

### (1) 시설환경 변화

딸기는 저온성 작물로 수막재배 등에 의한 보온에 의존하고 있으나, 외부기온이 영하 10℃까지 떨어지는 날은 영상의 온도를 유지하기가 어렵다. 최근에는 저온기의 안정생산을 위해 난방에너지를 투입하는 농가가 증가하고 있으므로, 지하수 자원의 보존이나 난방에너지 절감을 위해 재배시설의 보온력 강화하는 수단이 절실히 요구되고 있다.

딸기 축성재배 작형의 보온 시기는 10월 하순이나 11월 초순에 보온하면 되는데 이때가 2화방의 화아분화가 이루어진 이후가 된다. 보온 후 온도 관리는 보온이 시작되면 주간 온도를 30~35℃ 정도가 될 수 있도록 온도를 1주일~10일간 높게 유지시키고 다음부터는 서서히 온도를 내려서 25℃ 내외로 관리하면 된다. 주간 온도는 환기를 시키면 문제되지 않으나 12~2월 초순까지 밤의 저온이 가장 큰 문제가 된다. 야간에는 영하의 기온으로 내려가지 않도록 보온에 힘써야 하며, 야간 최저온도를 7℃ 이상은 유지해야 생육에 지장이 없다.



시설 내부의 기온을 알아보기 위해 시설 중앙에 1.5m 높이(식물체 생육 부위)에 온도계(HOBO, USA)를 설치하여 1시간 간격으로 조사하였다. 주간 평균기온은 9~17시까지이고, 야간 평균기온은 18~8시를 측정하였고, 외부기온은 기상청(고령 관측지점) 자료를 활용하였다(그림 6). 동절기에는 일조량이 부족하기 때문에 광투과율이 높은 PO계 필름을 이용하여 낮 기온을 최대한 높이기 위해 설치하였으나 2중 필름이 EVA필름으로 피복되어 효과가 미비하였다. 야간 온도는 온수보일러 난방으로 인해 최저 온도를 7°C로 설정하여 패키지와 관행 처리구 모두 적정 범위의 기온에서 재배가 되었다. PO계 필름 효과를 높이기 위해 1중(0.15mm)과 2중(0.08mm) 모두 PO계 필름으로 교체하였고, 2016년 2월 1일 패키지 처리구에서 2중 EVA필름을 제거하고 2016년 2월 7일 PO계 필름으로 교체하는 과정에서 일시적으로 냉해를 받았다.

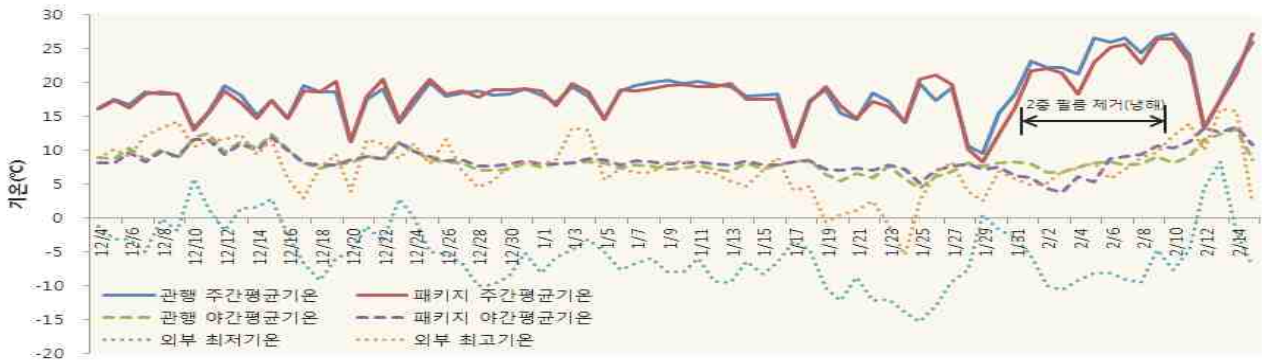


그림 6. 시설 내부 주간간 기온과 외부 최고·최저 기온 비교

동절기에는 주간에도 외부 기온이 매우 낮기 때문에 측창 개폐를 실시하는 시간이 적어 시설 내부의 이산화탄소 함량은 8시 이후 급격하게 감소하여 16시경에는 100~150ppm을 유하였다(그림 7). 탄산시비는 시설 내에서 인위적으로 공기환경을 조절하면서 탄산가스를 공급하여 작물의 생육을 촉진시키는 것이다. 이산화탄소 시용 효과는 작물의 광합성과 관련이 깊은 온도, 광도, 습도, 공기 유동 및 무기영양 상태에 따라 다르게 나타난다. 특히 저온, 저광도보다 고온, 고광도에서 시용 효과가 높다. 일반적으로 이산화탄소를 시용한 양만큼 그대로 효과가 나타나는 것은 아니다. 그리고 장기간 이산화탄소를 시용하면 오래된 잎에서부터 광합성속도가 저하되어 가고, 작물의 증산이 억제되며, 잎의 노화가 촉진되기 때문이다. 또한 작물의 종류에 따라서는 고농도의 이산화탄소를 시용하면 작물에 생육장해를 주는 경우도 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 작물의 종류별 효과적인 이산화탄소 시용기술 확립이 필요하다.

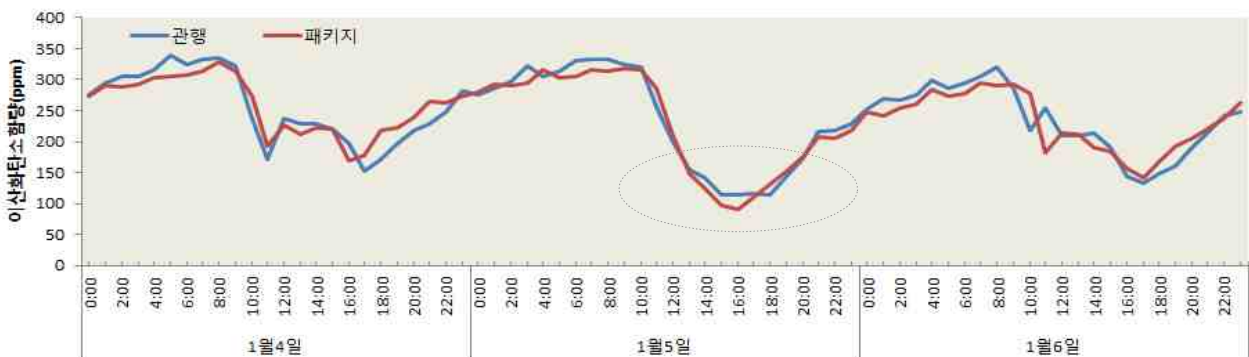


그림 7. 시설 내부 이산화탄소 함량 일변화

빛은 전자파로 이루어진 에너지로서 각기 일정한 에너지를 가지고 있다. 이 중 우리 눈으로 볼 수 있는 가시광선은 380~780nm의 파장 영역을 가지고 있고, 300~1,100nm 파장 영역은 지표면에 도달하는 태양광의 95% 이상 에너지를 차지하고 있는 것으로 알려져 있다. 작물의 생육은 이러한 광 파장에 따라 다양하게 반응한다. 그중 가시광선이 작물생육에 가장 큰 영향을 미친다. 즉 610~700nm의 적색광은 광합성 작용과 일장 효과를 촉진시키고, 700~800nm의 근적외광은 많은 경우에 적색광의 효과를 소멸시키며, 800nm 이상의 적외선은 열 이외의 효과는 없다.

시설 내외부의 광분포를 조사한 결과(표 1), 자외선 영역인 UV는 패키지 처리구에서 1.26 W·m<sup>-2</sup>로 매우 낮았으나, 광합성유효복사량 영역인 PAR는 패키지 처리구가 관행보다는 34.2% 광투과율이 높았다. 열선의 역할을 하는 장파장 영역인 FR 또한 390W·m<sup>-2</sup>로 관행보다 36.6% 광투과율이 높았다.

표 1. 시설 내외부 광분포 특성

과장 처리	UV (W·m <sup>-2</sup> )		PAR (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )		FR (W·m <sup>-2</sup> )	
	맑은 날	흐린 날	맑은 날	흐린 날	맑은 날	흐린 날
패키지	1.26±0.01	0.86±0.01	1,233±9	278±1	390.0±8.4	90.1±4.4
관행	2.87±0.01	1.38±0.01	919±4	304±2	285.5±1.4	96.0±0.5
외부	4.69±0.01	2.22±0.01	1,704±2	409±1	522.6±0.3	125.2±0.2

※ 조사일 : 맑은 날 2016. 2. 15. 12:30, 흐린 날 2016. 1. 5. 12:30

※ 측정 파장범위 : Ultra Violet 315~400nm, Photosynthetically Active Radiation 400~700nm, Far Red 400~1,050nm

시설의 내부에 형성되는 광 환경은 노지의 그것과는 다르다. 기초피복자재를 통과하는 동안 광질이 달라지고, 광량이 감소되는 등의 변화가 있다. 일장의 경우도 외면 피복에 의해 달라질 수가 있다. 작물이 태양광을 받는 수광량은 빛의 강도와 수광 시간, 수광 면적에 의해 결정되며 일사량은 단위시간당 단위면적이 받는 방사에너지 밀도로 나타낸다.

피복자재에 따른 일사량의 변화를 알아보기 위해 맑은 날(2016년 2월 15일)과 흐린 날(2016년 2월 13일)의 일변화를 1시간 간격으로 측정하였다(그림 8). 맑은 날은 하루 중 12시경이 패키지 처리구에서 671W·m<sup>-2</sup>로 가장 높은 일사량을 나타내었고, 일일 누적일사량이 3,719W·m<sup>-2</sup>로 관행 대비 13.3% 많았다. 광투과율이 높은 PO계 필름의 영향으로 일사량이 많았으나 흐린 날에는 처리 간에 큰 차이가 없었다.

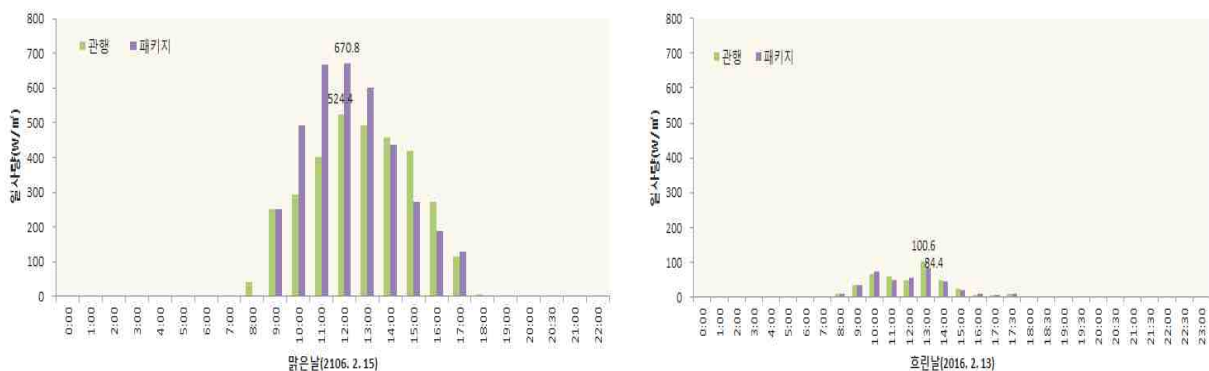


그림 8. 시설 내부 일사량(300~1,100nm)의 일변화



패키지 기술에서 1중 0.15mm PO계 필름과 2중 0.06mm EVA필름 피복시 PO계 필름의 성능이 저하되어, 2월경 2중 0.08mm PO계 필름으로 교체하였다. 교체 전과 교체 후 야간 평균기온과 지온을 조사한 결과(표 2), 교체 전에는 야간 기온 편차가 0.4~0.7℃이었고, 야간 지온 편차는 0~0.7℃였으나, 교체 후에는 야간 기온 편차는 1.8~1.9℃이고, 야간 지온 편차는 0.4~1.5℃였다. 주간에 광을 최대한 많이 받은 PO계 필름의 효과와 야간 다겹보온커튼의 영향으로 인해 관행과 편차가 더 크게 발생하였다.

표 2. 2중 PO필름 교체 전후에 따른 야간 평균 기온 및 지온 비교

처리	날짜	야간평균기온(℃)						야간평균지온(℃)					
		동쪽측면부			중앙부			동쪽측면부			중앙부		
		패키지(A)	관행(B)	편차(A-B)	패키지(A)	관행(B)	편차(A-B)	패키지(A)	관행(B)	편차(A-B)	패키지(A)	관행(B)	편차(A-B)
교체 전	1. 9	7.6	7.1	0.5	7.9	7.2	0.7	12.4	12.5	-0.1	13.3	12.7	0.6
	1.10	7.7	7.2	0.6	8.1	7.3	0.9	12.7	12.6	0.1	13.3	12.6	0.7
	1.11	7.8	7.6	0.2	8.2	7.7	0.5	12.6	12.5	0.0	13.2	12.5	0.7
	평균	7.7	7.3	0.4	8.1	7.4	0.7	12.5	12.5	0.0	13.3	12.6	0.7
교체 후	2. 9	10.7	9.1	1.6	10.7	9.2	1.4	15.1	14.3	0.8	15.3	15.7	-0.4
	2.10	10.1	8.4	1.7	10.3	8.5	1.7	16.2	14.3	1.8	16.6	15.7	0.9
	2.11	10.9	8.7	2.2	11.0	8.9	2.1	16.4	14.6	1.8	16.7	16.1	0.6
	평균	10.6	8.7	1.9	10.6	8.9	1.8	15.9	14.4	1.5	16.2	15.8	0.4

※ 기온 측정지점 : 지면 1.5m 높이(식물체 부위), 지온 측정지점 : 지하부 15cm 부위, 야간평균 : 18:00~08:00



그림 9. 패키지 기술 투입 후 작물생육 변화

(2) 작물 수량 및 품질

딸기의 월별 수확량과 과실품질을 2015년 11월 12일에서 2016년 2월 29일까지 패키지 기술의 영향을 받는 동절기 4개월 동안 조사하였다(그림 10). 패키지 처리구의 총수확량은

2,372.1kg/10a이고, 관행 처리구는 2,462.7kg/10a로 수확량이 90.6kg 더 많았지만 처리간에 유의성은 없었다. 11월~1월까지의 정화방 과실의 수확기간으로 96% 이상의 높은 상품과율을 나타내었지만 2월 이후 상품과율이 급격하게 하락하였으나 처리 간에 차이는 없었다.

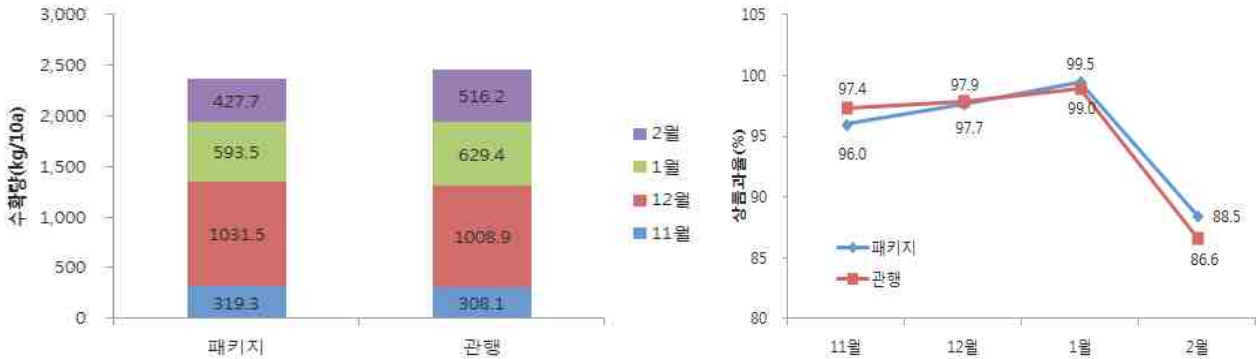


그림 10. 패키지 기술 투입 후 월별 수확량 및 과신품질

수확 과실의 월별 과실 특성을 조사한 결과(표 3), 동절기 기간 동안 패키지 처리구의 당도 9.1°Brix, 산도 0.6%, 경도 217.7g/Φ5mm로 관행보다 0.2°Brix, 0.1%, 15.6g/Φ5mm 더 높았으나 처리 간에 유의성은 없었다. 일반적으로 과즙에 함유되고 있는 당의 비율(농도)을 당도라고 부른다. 당도의 표시방법은 가용성 고형물 함량, Brix값, 당조성에 의한 각 성분의 함량 등으로 표시하는 방법이 있다. 가용성고형물은 과즙 중에 녹아 있는 당, 산, 아미노산, 수용성 펙틴 등을 함유하여 측정하고 있다. 그러나 과즙 중에는 당이 대부분을 차지하고 있기 때문에 가용성 고형물 함량으로 당도의 대체처리를 하고 있다. Brix값은 당용굴절계를 사용하여 자당의 중량 백분율에 상당하는 굴절률로부터 당도를 측정한다. Brix값은 측정이 간단하고 측정에 필요한 양도 1ml 이하의 적은 양으로 가능하기 때문에 당도의 대체치로서는 아주 편리하다. 그러나 산도 빛을 굴절하기 때문에 레몬 등 산 함량이 높은 과일, 토마토 가공품과 같이 식염을 첨가한 것, 시차 굴절계의 당성분이 많은 스위트콘 등에서는 당도에 오차가 크게 나타난다. 당조성을 정확하게 하게 분석하기 위해서는 고속액체크로마토그래피(HPLC)법에서 styrene, divinylbenzene 계 강산성 양이온교환수지를 충전한 칼럼을 사용하여 시차굴절계로 분석하는 것이 필요하다.

표 3. 패키지 기술 투입 후 월별 과신품질

처리	시기	당도 (°Brix)	산도 (%)	경도 (g/Φ5mm)
패키지	12월	8.4	0.6	181.5
	1월	9.4	0.6	287.6
	2월	9.4	0.5	184.0
	평균	9.1	0.6	217.7
관행	12월	8.7	0.6	173.8
	1월	9.0	0.6	245.6
	2월	9.0	0.4	187.0
	평균	8.9	0.5	202.1

(3) 에너지 이용 변화

보온은 시설 내로 들어오는 빛은 가능한 많이 들어오게 하고 유입된 열은 빠져나지 못하도록 효과적으로 유지하는 것이 보온 기술의 요점이다. 본 패키지 기술 또한 보온에 목적을 두고 있으며, 외부 환경에 영향을 받지만 가능한 많은 양의 햇빛이 시설 내부로 들어와 온도를 높이고 다겹보온커튼을 이용해 단열하는 것이 난방에너지를 절감하는 방법이다.

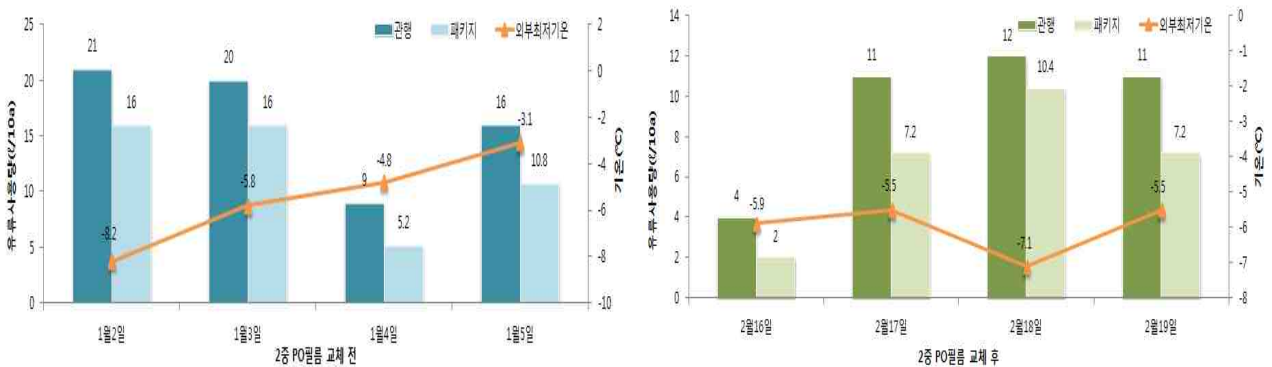
패키지 기술 투입에 따른 난방비 절감 효과를 분석하기 위해 10a당 시험구별 연료소모량을 15일 간격으로 조사하였다(표 4). 12월 1일~15일에는 외부 기온이 높게 형성되어 유류사용량이 적었고, 일조량이 양호하여 다겹보온커튼의 보온 효과가 높아 유류절감률이 44.1%로 높았다. 일조량이 부족하고 주간에도 영하의 기온이 유지되는 시즌에는 패키지 처리구에서 오히려 유류사용량이 더 많았다. 연구 수행 중 PO계 필름 교체로 인한 영향을 받았지만 동절기 4개월 동안의 패키지 기술 투입에 따른 유류절감률은 27.8%이며, 국부난방을 위해 전열선 전력사용량은 1,667.6kw/10a였다.

표 4. 온수보일러 유류(등유) 및 국부난방(전열선) 전력사용량

시 기	유류사용량(ℓ/10a)		유류절감률 (%)	전열선 전력사용량 (kw/10a)
	관행	패키지		
12월 1일~12월15일	63.0	35.2	44.1	168.6
12월16일~12월31일	248.0	249.6	-0.6	190.2
1월 1일~ 1월15일	302.0	269.6	10.7	309.4
1월16일~ 1월31일	352.0	264.4	24.9	497.2
2월 1일~ 2월15일	182.0	9.2	94.9	185.2
2월16일~ 2월29일	78.0	56.8	27.2	317.0
합 계	1,225.0	884.8	27.8	1,667.6

※ 패키지 처리구 2중 PO필름 교체 : 2.1~2.15, 야간온도 7°C 온수 보일러 이용

동절기 가능한 많은 양의 빛을 받기위해 1중 외피복재로 0.15mm 두께의 PO계 필름을 피복하였지만 효과가 미비하여 2월 상순경에 2중 내피복재도 0.08mm 두께의 PO계 필름으로 교체하여 일별 유류사용량을 비교해 보았다(그림 11). 패키지 처리구가 관행에 비해 유류사용량은 적었으나 2중 PO계 필름의 교체로 인해 교체 후 유류절감률이 33.1%로 교체 전과 비교했을 때 3.5% 증가하였다.



### 그림 11. 2중 PO필름 교체 전후 일별 유류사용량 비교

#### (4) 열분포

시설 내부의 열손실 진단이나 열 환경 등을 평가하기 위해 적외선 열화상카메라를 이용하였다. 적외선 열화상카메라의 원리는 우리 주위에 존재하는 모든 물체들은 모두 절대온도 영도 (-273℃) 이상의 온도를 갖고 있으며, 각 물체에서는 그 온도에 상응하는 열에너지(적외선)를 방사하고 있다. 물체에서 방사되는 적외선은 열화상 카메라 광학렌즈를 통과하여 카메라 내부의 검출기로 모아지며 검출기는 적외선을 전기신호로 변화하고 이것을 온도에 해당하는 화상으로 표현한다. 즉 물체의 표면온도를 수 만개의 점으로 온도에 따라 그림처럼 표현할 수 있다.

2016년 2월 15일 12시부터 다음날 6시까지의 시설 내부의 열분포를 시간별로 확인해 보았다(그림 12). 12시경 패키지 처리구는 보온성이 높은 PO계 필름의 영향으로 피복필름, 식물체, 바닥면 또한 표면온도가 높은 것을 확인할 수 있었고, 이로 인해 18시경 다겹보온커튼의 보온 효과로 인해 수막을 가동하고 있는 관행에 비해 높은 열분포를 나타내었다. 다음날 6시경을 제외하고는 패키지 처리구에서 시설 내부 열분포가 높은 경향을 나타내었다.

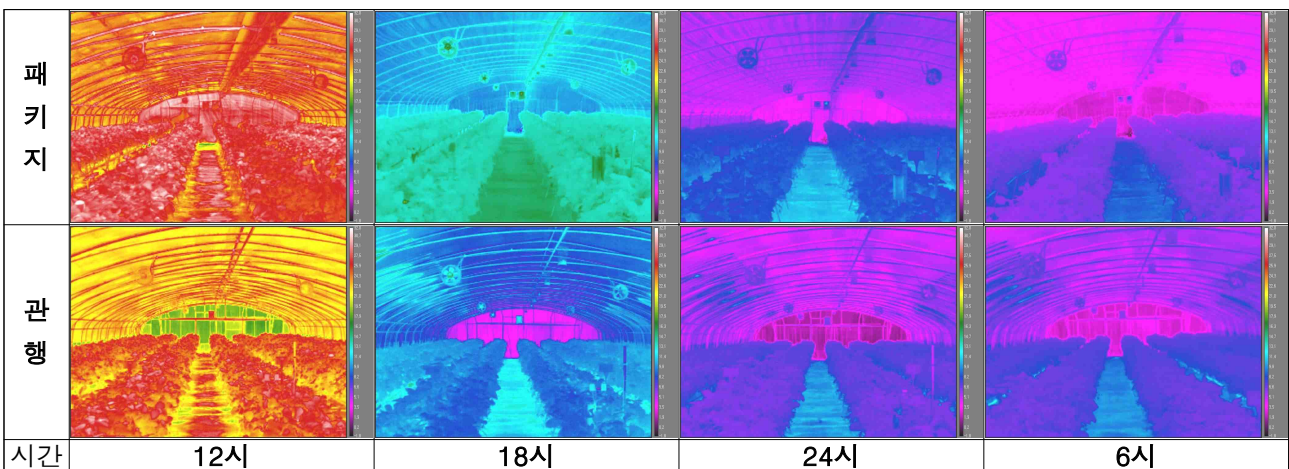


그림 12. 시간 변화에 따른 시험포장 내부 열화상 이미지 비교(온도범위 : -1.8~32℃)

2016년 2월 15일 24시경 시설 내부에 위치별로 열분포를 확인한 결과(그림 13), 패키지 처리구는 동쪽과 중앙 상단부 모두 다겹보온커튼으로 인해 열분포가 고르게 형성되었으나, 관행 처리구는 수막이 분사되는 동쪽 상단부는 열분포가 높게 유지되었으나 수막이 분사되는 형태에 따라 불균일하게 형성되었고, 중앙 상단부는 물 부족으로 인해 외부 기온에 그대로 노출되고 있었다. 관행 처리구의 측면부 또한 수막이 표면에 균일하게 내려오지 않아 식물체의 온도 또한 패키지 처리구에 비해 낮은 온도를 방출하였다.



패키지			
관행			
위치	동쪽 상단부	중앙 상단부	측면부

그림 13. 24시경 시설 내부 위치별 열화상 이미지 비교(온도범위 : -1.0~11℃)

2016년 2월 15일 18시경 수막시설의 물 분사 형태를 확인해 보기 위해 열화상 카메라로 촬영하였다(그림 14). 노즐의 막힘없이 고르게 물이 분사되면 (A)와 같은 형태를 나타내지만 노즐이 막히게 되면 (B)와 같은 형태로 물이 분사되어 수온 13℃의 보온 효과를 기대할 수가 없다. C에서와 같이 수막 효과를 받지 못한 구역에서는 낮은 야간 온도로 인해 냉해를 입을 가능성이 높다.

수막 분사 형태(A)	노즐부위 막힘 현상(B)	수막 보온 모습(C)

그림 14. 수막시설 분사 형태별 열화상 이미지 비교

## 2. 경북 참외 에너지절감 패키지 기술 개발

시설 참외는 조기 수확을 위해 11~12월경 저온기에 정식하고 12온스 이상의 다겹보온덮개를 이용하여 무가온으로 재배가 가능하며, 10월까지 연장재배를 하는 작목이다. 저온기에 정식할 때 가장 중요한 것은 새 뿌리가 자랄 수 있는 지온을 확보하는 것이며, 전 생육기간 동안 20℃ 전후가 적당하고 최저 15℃ 이상이 되어야 한다. 따라서 축성재배 작형시 참외 정식 전 지온을 확보하기 위해 보온성, 광투과성, 비닐 피복 또는 노동력 경감 등의 이유로 연결강화 비닐인 PO계 필름의 보급이 확대되고 있는 추세이다.

PO계 필름은 5년 이상 장기간 사용이 가능하며, 매년 필름을 교체하는 노동력의 절감은 물론 소각에 따른 다이옥신 등 각종 유해물질 배출을 줄일 수 있다. 저온기 참외 재배에 적용할 경우 보온성, 방적성, 광 투과성 등이 향상되어 활착축진, 숙기단축, 품질향상, 수량증가 및 농가 소득증대에 기여하고 있다. 국내 상당수의 농가가 장기성 필름으로 일본산 PO필름을 이용하고 있는 실정이며, 국산 PO필름도 최근 양산되어 농가보급이 시작되고 있는 단계이다.

참외에 이용되고 있는 다겹보온덮개는 대체로 화학솜(9온스~15온스) 1겹, 부직포 2겹으로 모두 3겹으로 이루어져 있다. 지역에 따라 보온덮개의 두께 차이는 있으나 무가온 재배시 최소한 12온스 이상은 사용하여야 과실의 발효과를 줄이고 상품과율을 높일 수 있다. 참외 주산지 지역에서는 자동개폐 장치를 이용하여 보온덮개를 일시에 덮고 벗기므로 생력화에 많은 도움을 주고 있어 참외 재배에 필수 장비로 이용되고 있으며, 보온덮개는 오랜 기간 사용하면 보온력이 떨어지므로 5~7년 정도 사용 후 교체하는 것이 좋다.

연결하우스는 단동하우스의 한쪽 면을 연결하여 단동하우스의 장점에 연동하우스의 효과를 가져와 벌통과 환기 등의 재배관리가 용이하고 농작업의 노동력이 절감되는 등의 장점이 있다. 참외 연결하우스의 도입에 따른 경영성과 분석 결과 수량 증가, 수정용 별 감소, 흰가루병 방제 농약비 절감, 노동력 절감 등의 이익적 요소로 인해 10a 당 816천원의 수익이 발생하였다.

### 가. 패키지 기술 현장실증 내용

#### (1) 실증 재배 환경

본 현장실증 장소는 경북 성주군 월항로이고, 실증 연구에 사용된 품종은 참사랑꿀참외를 접수로 하고 에이스토좌호박을 대목으로 하여 편연합접을 실시한 모종을 사용하였다. 재배작형은 축성재배 작형이고, 정식일은 2015년 12월 14일이며, 수확기간은 2016년 2월 28일에서 4월 30일까지 동절기에 영향을 받는 초기 수확량을 조사하였다. 시설형태는 단동 아치형 1중 비닐하우스로 폭 6.3m, 높이 2.5m, 길이 80m이며, 시설 방향은 남북방향이다.



그림 15. 참외 실증 재배장소

## (2) 패키지 기술

본 실증연구는 기존에 입증된 기술들은 패키지화하여 동절기 참외 재배에 적합한 에너지 이용 효율을 향상시키기 위함이다. 패키지 기술 내용은 PO계 필름, 기능성 보온덮개, 연결하우스를 조합하였고, 대조구로는 EVA필름, 15온스 보온덮개를 이용하였다.

패키지 투입 기술을 상세히 살펴보면 PO계 필름은 0.15mm 두께의 보온성이 높은 장기성 필름으로 5년 이상 사용이 가능하고, 외부 온도에 따라 혼탁도(Haze) 값이 변동하는 특징을 가진 수입산 필름이다. 외부온도가 낮을 때는 필름의 투명도에 변화가 없으나 20℃ 이상의 온도로 올라가면 혼탁도가 높아져 시설 내부의 산란율이 높아지는 특징이 있다. 기능성 보온덮개는 백색부직포 55g, 화학솜 15온스, 알루미늄코팅부직포 35g, 흑색부직포 55g으로 기존 보온덮개 구성에서 알루미늄 코팅 부직포가 1겹 더 추가되었다. 알루미늄코팅부직포는 알루미늄 순도 99.9% 이상의 소재를 압축 분사하여 도포한 방식으로 투습도가 3,927g/m<sup>2</sup>24h로 높아 시설 원예작물의 습공기 관리에 유리하고, 단열(IR 반사율) 효과도 78~95%로 높은 편이다. 연결하우스는 단동비닐하우스 한쪽 측면을 하우스파이프를 이용하여 T자형으로 10동을 연결하였다. 연결하우스는 시설환경 관리가 용이하고 농작업의 편의성을 높여 노동력을 절감의 효과가 있어 최근 참외재배 농가에서 많이 이용하고 있는 추세이다.

대조구는 기존의 참외 농가에서 많이 이용되고 있는 0.08mm 두께의 삼중EVA필름이며, 매년 교체하여 사용하고 있는 실정이다. 보온덮개는 백색부직포 55g, 화학솜 15온스, 흑색부직포 55g으로 3겹으로 구성하였다.



그림 16. 외피복재(좌PO, 우EVA)

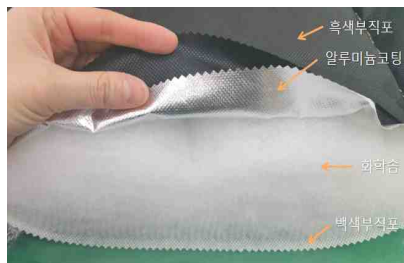


그림 17. 기능성 보온덮개



그림 18. 연결하우스

### 나. 패키지 기술 투입 효과

#### (1) 시설환경 변화

저온기에 참외 온도관리를 생육시기별로 보면 정식기 및 교배기에서 과실비대기의 온도가 가장 중요하다. 정식기에 유효온도를 확보하지 못하면 활착에 많은 시일이 걸리고 온도분포에 따라 생육이 불균일해지기 때문에 이후의 관리에 노력이 많이 들고 어려움이 따른다. 그리고 교배기와 과실비대기의 온도가 낮으면 착과와 과실비대가 불량해지고 열과가 생기기 쉽다.

시설 내부의 이랑 위치에 따른 일평균 기온과 지온의 변화를 1월~3월까지 살펴보았다(그림 19). 일반적으로 남북방향의 하우스에서는 동쪽이랑의 기온이 높은 경향이며, 패키지의 동쪽이랑 기온과 지온이 가장 높았다. 참외 최적의 생육 지온은 20~25℃이며, 대조구에서도 20℃ 이상의 적정 지온은 유지하였으나, 패키지의 지온이 항상 높은 경향을 나타내어 초기 생육 활착 및 착과 및 비대에도 영향을 미쳐 생산성 향상에 기여한 것을 알 수 있다.



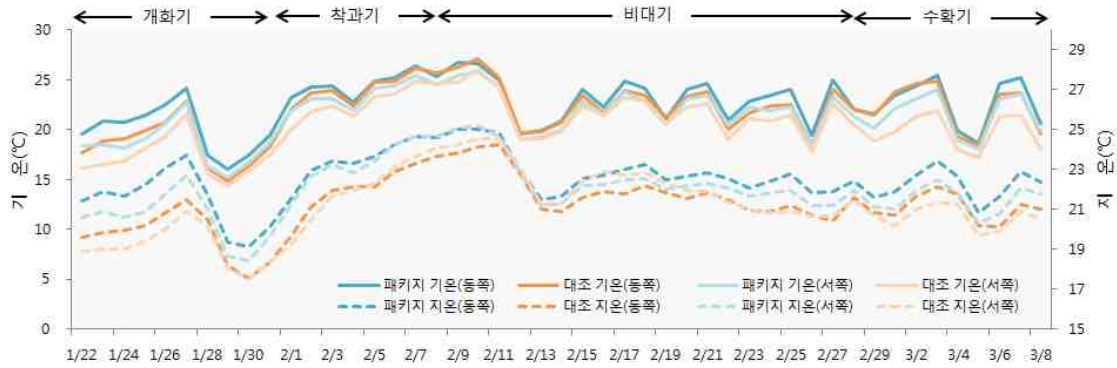


그림 19. 시설 내부 이랑 위치별 일평균 기온 및 지온 변화(2016년)

동절기 시설 내부 중앙부와 외부 기온의 일변화를 3일간 살펴보았다(그림 20). 외부 낮 기온이  $-5.5^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서도 시설 내부는  $23^{\circ}\text{C}$  이상이었고, 낮 기온이 영상일 경우에는 약  $30^{\circ}\text{C}$  이상의 온도까지 상승하였다. 동절기에는 14시경이 가장 높은 온도를 나타내고 16시 이후부터 온도가 급격하게 떨어지며 야간에는 외부와 거의 비슷한 기온을 나타내었다.

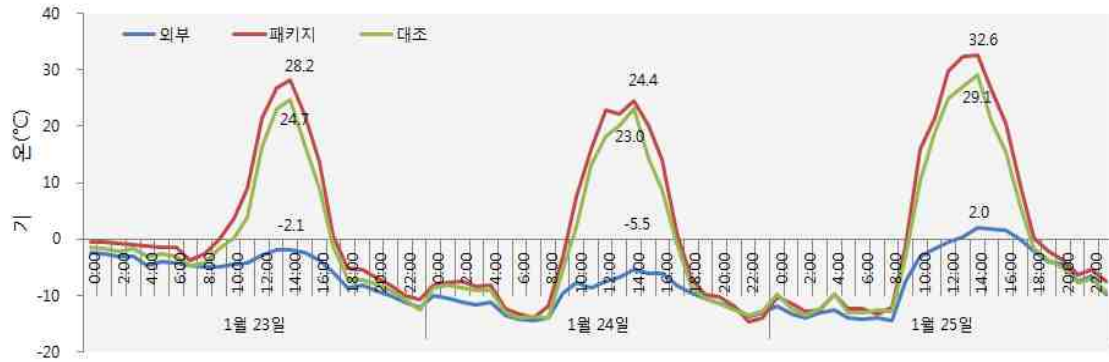


그림 20. 시설 내부 중앙부와 외부기온의 일변화

참외는 고온성작물로서 낮 온도  $30^{\circ}\text{C}$  전후에서 생육이 왕성하고 일시적으로는  $40^{\circ}\text{C}$ 까지 고온이 되어도 생육에 큰 지장이 없으나 장기간 계속되면 고온장해를 받게 되며 화아분화, 착과 등에 영향을 끼친다. 밤 온도는  $18\sim 20^{\circ}\text{C}$ 가 생육적온이다.

동절기 시설 내·외부의 주간과 야간의 평균 기온과 지온을 월별로 비교해 보면(표 ), 패키지가 주간 평균 기온과 지온 모두 대조구 대비  $0.1\sim 2.6^{\circ}\text{C}$ 와  $1.8\sim 3.1^{\circ}\text{C}$  높게 유지되었고, 야간에서도  $1.1\sim 3.2^{\circ}\text{C}$ 와  $1.0\sim 2.2^{\circ}\text{C}$  높게 유지되었다. 주간의 기온과 지온은 PO계 필름의 영향을 받은 것으로 생각되고, 야간의 기온과 지온은 낮에 축적한 열을 밤에 기능성 보온덮개로 단열 효과를 높인 것으로 생각된다.



표 5. 동절기 시설 내·외부 주야간 평균 기온 및 지온 비교

시간	월 별	외부기온 (°C)	평균기온(°C)			평균지온(°C)		
			패키지(A)	대 조(B)	편차(A-B)	패키지(A)	대 조(B)	편차(A-B)
주간 (10:00~ 17:00)	12월	-5.1	34.8	32.2	2.6	24.4	21.3	3.1
	1월	-1.0	28.3	26.9	1.4	22.3	19.6	2.7
	2월	-8.5	30.2	30.1	0.1	22.3	20.5	1.8
야간 (18:00~ 09:00)	12월	-4.9	20.7	17.5	3.2	24.4	22.2	2.2
	1월	-8.5	17.6	15.7	1.9	22.2	20.6	1.6
	2월	-0.6	19.0	18.0	1.1	22.2	21.2	1.0

※ 측정일자 : 12월(25-29일), 1월(22-26일), 2월(24-28일)  
 ※ 측정지점 : 동쪽이랑 보온덮개 내부 중앙(기온-지상부 15cm 높이, 지온-지하부 15cm 깊이)

그림 21의 시설 내부 중앙부 일사량과 이산화탄소 함량의 일변화를 살펴보면, 패키지의 일일 누적일사량이 3,585w/m<sup>2</sup>로 대조구보다 12% 많았고, 이산화탄소 함량은 패키지가 항상 낮게 유지되었으며, 광 투과가 가장 많은 14시에는 227~263ppm으로 대기 중의 350ppm 이산화탄소 함량 보다 낮게 유지되었다.

환기가 거의 없는 동절기의 하우스에서 식물의 광합성이 왕성한 조건으로 약 30분간 진행되면 실내의 탄산가스가 부족하게 되어 이러한 탄산가스 부족이 광합성을 제한하게 된다. 이러한 조건에서는 광, 온도, 습도 등의 환경요인이 만족된다 하더라도 탄산가스의 부족으로 인하여 광합성 작용이 제대로 이루어지지 못하게 된다. 따라서 환기가 되지 않는 시설재배의 경우에는 탄산가스를 공급해주면 광합성을 더욱 왕성하게 하여 생육을 촉진시키고 생산물의 품질을 향상시킬 수 있다.

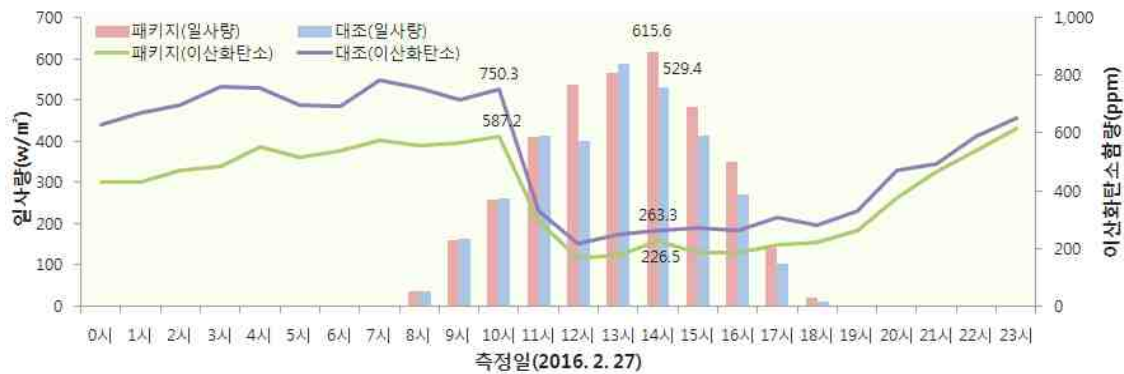


그림 21. 시설 내부 중앙부 일사량과 이산화탄소 함량 변화

(2) 열분포

시설 내부의 열손실 진단이나 열 환경 등을 평가하기 위해 적외선 열화상카메라를 이용하였다. 적외선 열화상카메라의 원리는 우리 주위에 존재하는 모든 물체들은 모두 절대온도 영도(-273°C) 이상의 온도를 갖고 있으며, 각 물체에서는 그 온도에 상응하는 열에너지(적외선)를 방사하고 있다. 물체에서 방사되는 적외선은 열화상 카메라 광학렌즈를 통과하여 카메라 내부의 검출기로 모아지며 검출기는 적외선을 전기신호로 변화하고 이것을 온도에 해당하는 화상

으로 표현한다. 즉 물체의 표면온도를 수 만개의 점으로 온도에 따라 그림처럼 표현할 수 있다.

2016년 2월 24일 동절기 참외 시설 내부의 열 분포를 시간별로 확인해 보았다(그림 22). 14시경 동쪽이랑의 열이 높게 분포되어 있고, 이랑 내부의 식물체에서 방출하는 열은 패키지가 높게 유지되었다. 보온덮개를 덮은 야간에는 보온덮개의 박음선 사이로 열이 새고 있는 것을 확인할 수 있었고, 대조에서 하우스 측면부를 살펴보면 보온덮개 내부에서 열이 많이 새어 나오는 것을 확인하였다.

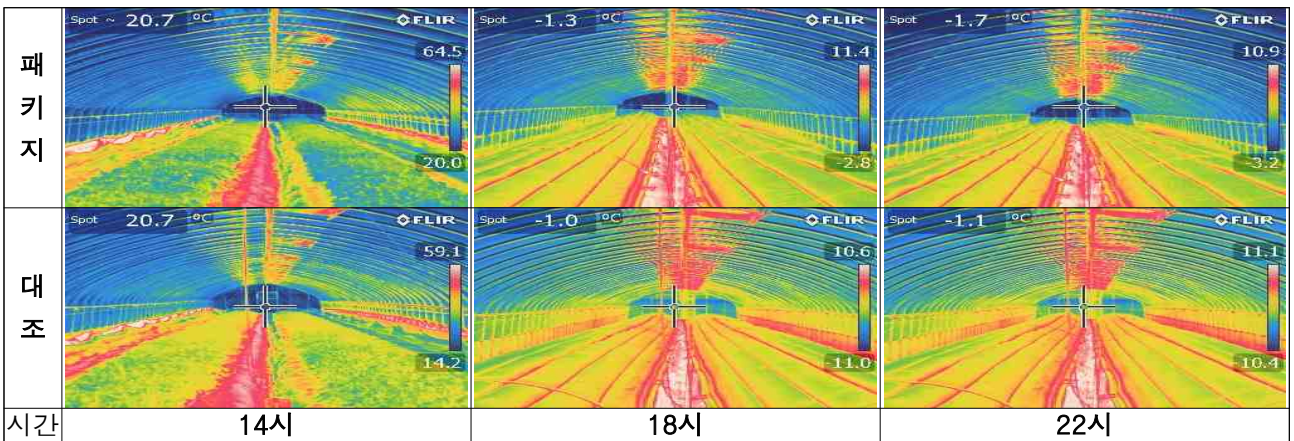


그림 22. 시간변화에 따른 시설 내부 열화상 이미지 비교

야간 22시경에 시설 내부를 부위별로 적외선 열화상카메라로 확인해 보았다(그림 23). 대조 필름은 결로 현상으로 인해 물이 흘러내리는 형상을 띄었고, 방출 온도 또한  $-13.7^{\circ}\text{C}$ 로 매우 낮았으나, 보온성이 높은 패키지 필름은 내층의 코팅 성능으로 인해 결로 현상은 적었고 방출 온도는  $-4.2^{\circ}\text{C}$ 로 높은 편이었다.

참외를 재배할 때 과실 비대기에는 야간 터널내부의 과도한 습기가 병해를 발생시키기 때문에 터널 비닐에 구멍을 뚫어서 습공기를 관리하는 경우가 많다. 대조 보온덮개는 터널비닐을 뚫은 부위에서 열이 손실되고 있었으나, 패키지 기능성 보온덮개는 알루미늄 코팅 부직포로 인해 단열되고 있는 것을 확인할 수 있었다. 본 실증에 사용된 알루미늄 코팅 부직포는 투습도 또한 높아서 열은 잡아주고 습기는 방출할 수 있는 성능을 가지고 있어 재배 작기 동안 병해 발생에 문제가 없었다.

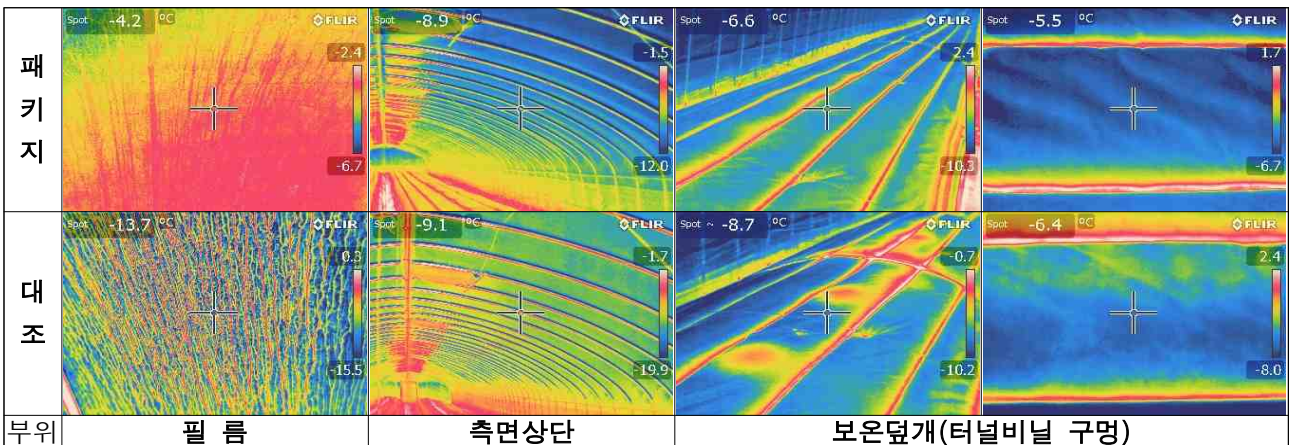


그림 23. 야간 시설 내부 열화상 이미지 비교



(3) 생육반응

정식 후 30일경 생육을 조사한 결과(표 6), 패키지가 초장 97.6cm, 마디수 17.7개로 절간장이 길어지는 경향이었고, 엽장, 엽폭, 장폭비는 차이가 없었다. 대조구에 비해 높은 기온과 지온으로 인해 초기 생육이 왕성하였고, 웃자라는 경향은 아니었다. 그러나 물 관리를 잘못하게 되면 영양생장이 우세하여 암꽃이 잘 생기지 않을 수 있으므로 온도를 높게 관리할 때는 주의해야 한다.

표 6. 패키지 투입 식물 생육 반응

처리내용	초장 (cm)	마디수 (개)	절간장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	장폭비
패키지	97.6 a <sup>z</sup>	17.7 a	5.5 a	11.3 a	10.8 a	1.05 a
대 조	63.1 b	13.5 b	4.7 b	10.9 a	10.6 a	1.03 a

\* 생육조사일 : 2016. 1. 13(정식 후 30일)

<sup>z</sup>Mean separation within columns by DMRT at 5% level.

개화율은 정식 후 42일경에 패키지가 80%에 도달하여 대조구 보다 45%p 높았고, 조기 활착으로 인해 개화기 또한 당겨진 것으로 생각된다(그림 24). 생육 변화(그림 25)에서도 정식 후 70일경 과실 착색기에 도달하였고, 79일경에는 과실 수확이 가능한 것을 육안으로 확인할 수 있었다.

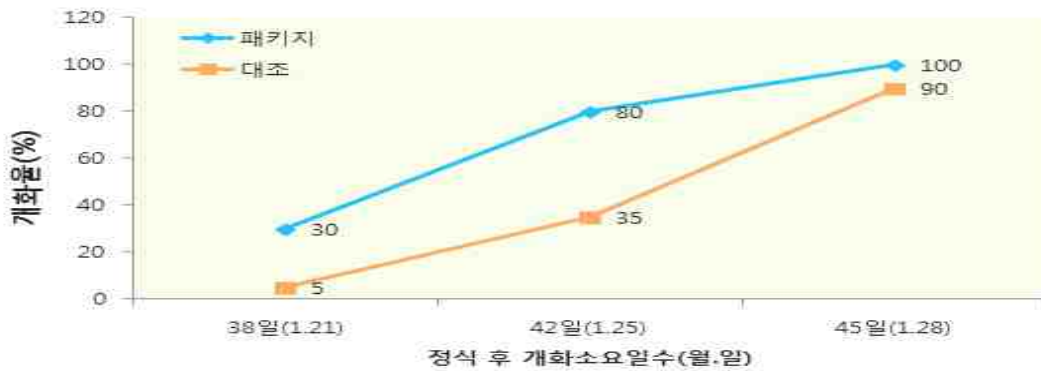


그림 24. 패키지 투입 개화 특성

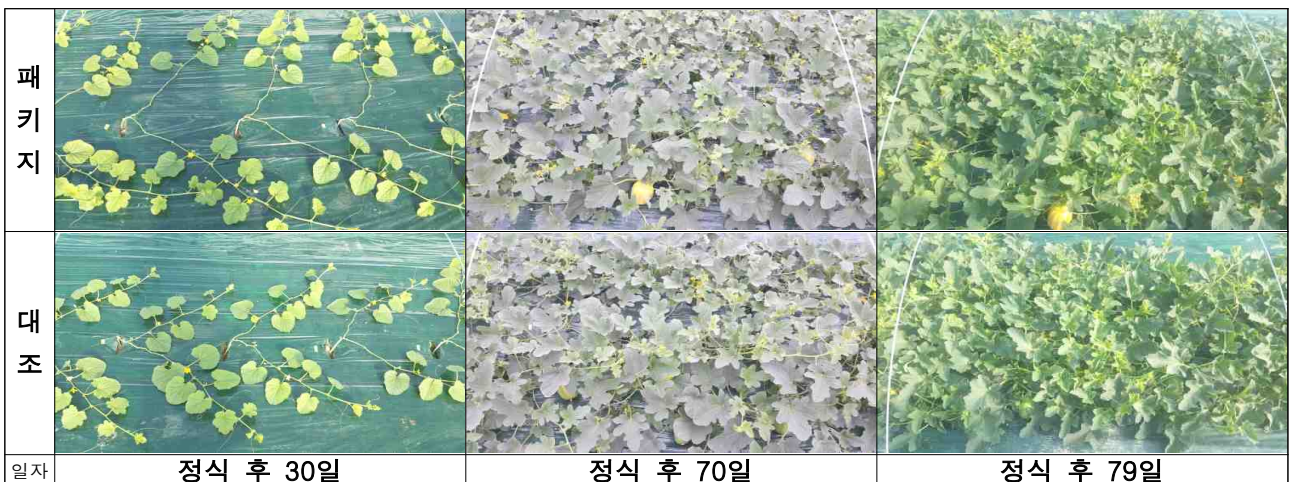


그림 25. 패키지 투입 생육 변화

과실 수확 특성을 비교해 보면(표 7), 패키지가 빠른 개화로 인해 첫수확 소요 일수가 76일로 대조구 보다 7일 단축되었고 이로 인해 초기 수확량이 1,734kg/10a로 대조구 보다 47% 증수하였다.

참외 월별 가격 동향을 보면 단경기인 봄철에 높은 가격대를 형성한 후 5월 이후부터 급격하게 하락하여 7월 이후부터 완만한 하락세를 보인다. 따라서 봄철 많은 물량을 생산하기 위해 재배농가들이 정식 시기를 11~12월로 앞당기는 추세이며, 참외 착과 및 비대기의 중요한 재배 시기가 1~2월로 낮은 일조와 온도 조건에 놓이게 된다.

**표 7. 패키지 투입 후 수확량**

처리내용	첫수확소요일수 (일)	평균과중 (g)	수확과수 (개/10a)	초기수확량 (kg/10a)	수확지수
패키지	76	340.7	5,090	1,734.0	147
대 조	83	339.8	3,480	1,182.6	100

※ 수확소요일수 : 정식~첫수확일, 수확시기 : 2016. 2. 28 ~ 4. 30 까지

(4) 경제성분석

조기 수확을 위해 저온기에 광투과율과 보온성이 높은 PO계 필름과 단열 효과가 뛰어난 기 능성 보온덮개를 이용하고 시설 환경 관리와 농작업의 편의성을 위해 연결하우스를 설치할 경 우 부분시산법을 이용하여 경제성을 분석해 보았다(표 8). 패키지 적용 단동비닐하우스 10a 당 설치비는 4,568천원으로 나타났으며, 이에 따른 연간 감가상각비 등 연간 총고정비는 846천원 과 수확량 증가로 인한 인건비와 포장비 301천원을 합하여 연간 총비용은 1,147천원으로 나타 났으며, 패키지 기술 적용에 따른 이익적 요소로 수량 증수에 의한 소득 증가가 2,542천원과 연결하우스 사용으로 노동력과 방제비 등의 절감으로 178천원을 절감하여 연간 총 증가수입은 2,720천원으로 연간 추정수익액은 1,573천원의 수익이 발생하였다.

**표 8. 경제성 분석(부분시산법)**

손실적 요소(A)		이익적 요소(B)	
o 증가되는 비용		o 증가되는 이익	
- 감가상각비	814,000원	- 수량증가	2,541,954원
- 수리보수비	3,000원	551.4kg/10a × 4,610원 =	2,541,954원
- 고정자본이자	13,000원	- 수정용 벌 감소	120,381원
* 연간 총고정비	846,000원	- 병방제 농약비 절감	3,785원
- 인건비	201,000원	- 노동력 절감	53,632원
- 포장비	100,000원		
- 연간 총 비용(A) :	1,147,000원	- 연간 총 증가수입(B) :	2,719,752원
o 추정 수익액(B-A) =	1,572,752원		

※ 단가 : 2016년 3~4월 평균 참외(중품, 10kg)가격, 서울시농수산식품공사

※ 연결하우스 영농활용 참고자료 활용 : 참외 연결하우스의 활용 만족도와 경영성과, 2013

\* 시험연구내역과 분석자료

구분	내구성 (년)	설치비 (천원/10a)	감가상각비 (천원/년)	수리비 (천원/년)	고정이자 (천원/년)	연간비용 (천원)
PO계 필름	5	3,110	622	6	19	647
기능성보온덮개	5	458	92	-	3	95
연결하우스	10	1,000	100	1	3	104
계		4,568	814	3	13	846

※잔존율: 0 %, 수리비: 1%, 연이율: 3 %

(5) 패키지 기술 투입 효과 요약

참의 축성재배시 시설 에너지 이용 효율 극대화를 위해 보온성과 광 투과율이 높은 PO계 필름과 단열 효과가 뛰어난 알루미늄코팅 보온덮개 이용할 경우 수확수요일수는 7일 단축되고, 3~4월 초기 수확량이 47% 증가하여 생산성 향상되었다. 연결하우스는 단동형의 장점에 연동형의 효과를 가져와 시설 내 환경 관리가 용이하고 본포관리, 수확운반 시설 등의 작업 환경을 개선하여 노동력을 절감할 수 있다.

## 제2절 경북지역 단동비닐하우스 에너지절감 고도화 패키지 기술 개발

### 1. 경북 참외 에너지절감 고도화 패키지 기술 개발

시설 참외는 조기 수확을 위해 11~12월경 저온기에 정식하고 12온스 이상의 다겹보온덮개를 이용하여 무가온으로 재배가 가능하며, 10월까지 연장재배를 하는 작목이다. 시설 참외는 단동비닐하우스에서 재배하며 동절기 환경 관리는 대부분 환기통에 의지하고 있어 환기 부족으로 인해 하우스 내부 이산화탄소 농도가 200~250ppm로 급격히 낮아지면서 광합성이 원활하게 이루어지지 않는다. 이러한 시설 환경 관리는 동절기 시설 내 불균일한 기온 분포와 다습한 환경을 유도하게 된다. 따라서 고도화 패키지 기술은 시설 환경을 개선하기 위해 탄산가스 발생제를 이용하여 탄산시비를 실시하고 공기순환팬을 설치하여 시설 내부의 기온 분포를 균일하게 하는 것이 추가적으로 필요하다.

탄산시비는 시설 내에서 인위적으로 공기환경을 조절하면서 탄산가스를 공급하여 작물의 생육을 촉진시키는 것이다. 이산화탄소 시용 효과는 작물의 광합성과 관련이 깊은 온도, 광도, 습도, 공기 유동 및 무기영양 상태에 따라 다르게 나타난다. 특히 저온, 저광도보다 고온, 고광도에서 시용 효과가 높다. 일반적으로 이산화탄소를 시용한 양만큼 그대로 효과가 나타나는 것은 아니다. 그리고 장기간 이산화탄소를 시용하면 오래된 잎에서부터 광합성속도가 저하되어 가고, 작물의 증산이 억제되며, 잎의 노화가 촉진되기 때문이다. 또한 작물의 종류에 따라서는 고농도의 이산화탄소를 시용하면 작물에 생육장애를 주는 경우도 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 작물의 종류별 효과적인 이산화탄소 시용기술 확립이 필요하다.

온실 내 환경 요인들의 균일성을 개선하는 가장 유망한 기술 중의 하나로 온실에서 공기 유동률을 높이는 방법이 가장 효과적이다. 공기 순환은 온실 내 CO<sub>2</sub> 농도, 기온을 좀 더 균일하게 만들어 줌으로써 증산과 광합성 과정에서 균일한 생육을 촉진시킨다. 더욱이 작물체 잎 부근의 공기 흐름을 증가시키는 것은 엽면경계층 저항을 감소시켜 잎과 주변 공기 간에 에너지, 수증기, CO<sub>2</sub> 등의 흐름을 개선하는 효과가 있다.

수평팬 유도 공기순환은 일정한 간격으로 팬을 설치하여 온실 전체의 공기를 순환시키는 방법으로 유지비, 초기 투자비가 적게 들고 공기 순환 또는 열 분배에 효율적이다. 수평적인 공기 흐름을 만들기 위해서는 작물 군락 위에 팬을 설치하는 것이 가장 유용하고, 최소 기류 속도는 0.2m/s이고, 적정 기류속도는 0.3~0.5m/s이며, 1.0m/s를 초과해서는 안 된다. 따라서 팬의 선택과 배치는 매우 신중하게 이루어져야 한다.

#### 가. 고도화 패키지 기술 현장실증 내용

##### (1) 실증 재배 환경

본 현장실증 장소는 경북 성주군 월항로이고, 실증 연구에 사용된 품종은 참다복꿀참외를 접수로 하고 왕중왕호박을 대목으로 하여 편엽합점을 실시한 모종을 사용하였다. 재배는 축성재배 작형이고, 정식일은 2016년 12월 14일이며, 수확기간은 2017년 3월 1일에서 5월 5일까지 동절기에 영향을 받는 초기 수확량을 조사하였다. 시설형태는 단동 아치형 1중 비닐하우스로 폭 6.3m, 높이 2.5m, 길이 80m이며, 시설 방향은 남북방향이다.

## (2) 고도화 패키지 기술

본 실증연구는 전년도에 실증 연구한 패키지 기술을 고도화하여 동절기 참외 재배에 적합한 에너지 이용 효율을 극대화시키기 위함이다. 고도화 패키지 기술 내용은 기존 패키지 기술 조합인 기능성 보온덮개, 연결하우스에 탄산가스발생제와 공기순환팬을 추가하였고, 대조구로는 PO계 필름, 15온스 보온덮개를 이용하였다.

패키지 투입 기술을 상세히 살펴보면 기능성 보온덮개는 백색부직포 55g, 화학솜 15온스, 알루미늄코팅부직포 35g, 흑색부직포 55g으로 기존 보온덮개 구성에서 알루미늄 코팅 부직포가 1겹 더 추가되었다. 알루미늄코팅부직포는 알루미늄 순도 99.9% 이상의 소재를 압축 분사하여 도포한 방식으로 투습도가 3,927g/m<sup>2</sup>24h로 높아 시설 원예작물의 습공기 관리에 유리하고, 단열(IR 반사율) 효과도 78~95%로 높은 편이다. 연결하우스는 단동비닐하우스 한쪽 측면을 하우스파이프를 이용하여 T자형으로 10동을 연결하였다. 연결하우스는 시설환경 관리가 용이하고 농작업의 편의성을 높여 노동력을 절감의 효과가 있어 최근 참외재배 농가에서 많이 이용하고 있는 추세이다. 탄산가스발생제는 고체분말형 고농도 탄산가스 발생제(탄산솔, 에코텍)로 100m 하우스 내부 상단에 5m 간격으로 20봉(100g/봉)을 설치하여 1개월 가량 사용이 가능하고, 설치 시기는 1~2월경으로 착과 후부터 환기가 어려운 저온기에 실시하는 것이 중요하다(그림 26). 설치와 사용방법이 간편하지만 탄산가스 농도 및 발생시간을 조절하는 것은 어렵다. 공기순환팬은 용량은 바닥면적 당 0.6m<sup>2</sup>/min 기준으로 소형프로펠러 팬(용량 30m<sup>3</sup>/min)을 이용하여 하우스 길이 100m일 경우 10대를 작물 상단부 1~1.5m 높이에 W형으로 2줄을 설치하였고, 공기 흐름 방향은 열원에서 공기를 불어내서 다시 돌아오는 방향으로 배치하였다(그림 28). 동절기를 기준으로 시설 내부 온도가 33±2℃ 이상일 때 작동되도록 하였다.

대조구는 기존 패키지에서 이용된 0.15mm 두께의 PO계 필름이며 보온성이 높은 장기성 필름으로 5년 이상 사용이 가능하고, 외부 온도에 따라 혼탁도(Haze) 값이 변동하는 특징을 가진 수입산 필름이다. 보온덮개는 백색부직포 55g, 화학솜 15온스, 흑색부직포 55g으로 3겹으로 구성하였다.



그림 26. 탄산가스발생제

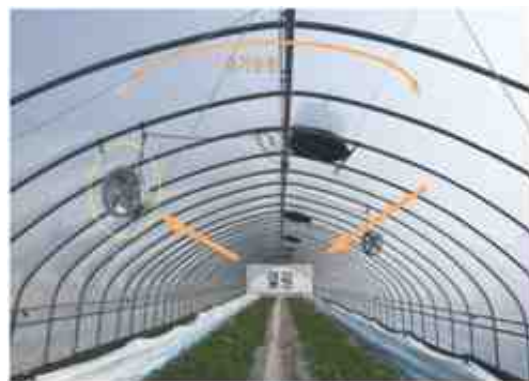


그림 27. 공기순환팬

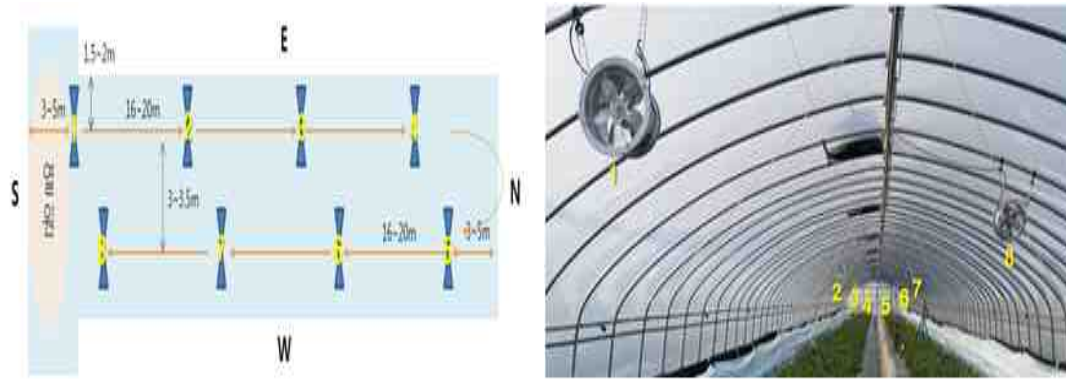


그림 28. 공기순환팬 배치도(좌)와 설치 전경(우)

## 나. 고도화 패키지 기술 투입 효과

### (1) 기능성 보온덮개

야간 22시경 보온 덮개 표면에서 방출되는 온도를 적외선 열화상 카메라로 촬영한 후 그림 29에서와 같이 점선 면적으로 열 분석하였다(표 9). 고도화 패키지는 평균온도  $-4.6^{\circ}\text{C}$ 로 대조구 보다  $-2.3^{\circ}\text{C}$  낮았다. 이것은 기능성 보온덮개의 알루미늄 코팅 부직포의 단열 효과로 인해 표면으로 열 손실이 적게 되는 것을 뜻한다.

표 9. 야간 보온덮개 표면 방출 온도

처리내용	평균온도(°C)	중앙온도(°C)	최대온도(°C)	최소온도(°C)
고도화패키지(A)	$-4.6 \pm 0.4$	-4.7	-3.1	-5.2
대 조(B)	$-2.3 \pm 0.5$	-2.3	-1.0	-3.4
편차(A-B)	-2.3	-2.4	-2.1	-1.8

※ 측정조건 : 2017. 2. 15. 22시경(3지점 평균), 적외선카메라(Emissivity 0.95)

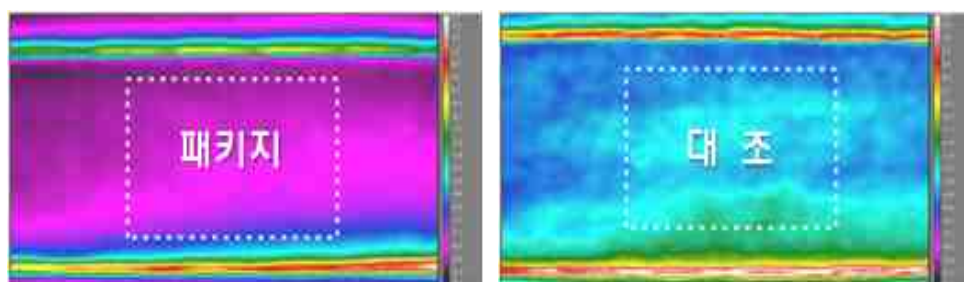


그림 29. 보온덮개 표면 열분석(점선 : 분석면적, 온도범위 :  $-5.7 \sim 2.3^{\circ}\text{C}$ )

보온덮개의 박음선 사이의 열 손실 분포를 확인하기 위해 그림 30과 같이 점선 길이로 히스토그램 방식으로 열 분석하였다. 고도화 패키지의 보온덮개는 박음선 가까이에서 열 손실이 많았으나, 대조구의 보온덮개는 박음선 사이 전체적으로 열이 새어나가고 있는 것을 확인할 수 있다.



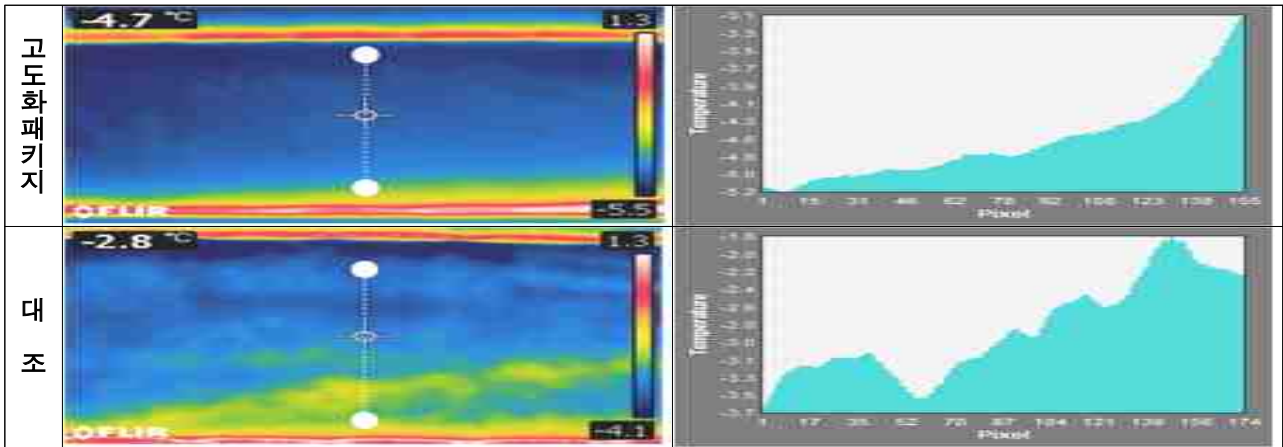
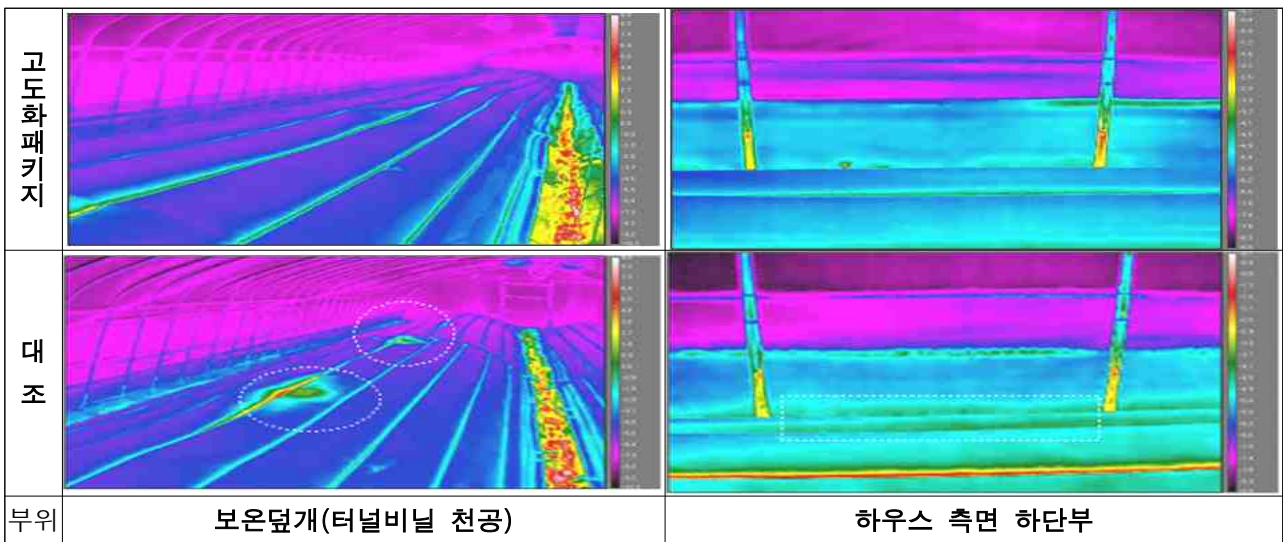


그림 30. 보온덮개 표면 방출 온도 히스토그램(점선 : 분석 pixel)

참외를 재배할 때 과실 비대기에는 야간 터널내부의 과도한 습기가 병해를 발생시키기 때문에 터널 비닐에 구멍을 뚫어서 습공기를 관리하는 경우가 많다. 대조 보온덮개는 터널비닐을 뚫은 부위에서 열이 손실되고 있었으나, 고도화 패키지 기능성 보온덮개는 알루미늄 코팅 부식포로 인해 단열되고 있는 것을 확인할 수 있었다(그림 31). 본 실증에 사용된 보온덮개는 전년도에 사용한 제품이며, 사용 2년차에서도 성능에 문제는 없었다. 또한 알루미늄 코팅 부식포는 투습도 또한 높아서 열은 잡아주고 습기는 방출할 수 있는 성능을 가지고 있어 재배 작기 동안 병해 발생에 문제가 없었다.



※ 측정일시 : 2017년 2월 15일 22시경, 적외선카메라(Emissivity 0.95)

그림 31. 야간 시설 내부 열분포 비교 비교

## (2) 탄산가스발생제

시설 내의 공기 환경은 노지와 다르다. 특히 이산화탄소가 부족하기 쉬우며, 시간과 위치에 따라 농도 분포가 다른 것이 특징이다. 시설 내에서 인위적으로 공기 환경을 조절하면서 이산화탄소를 공급하여 작물의 생육을 촉진시키는 것을 탄산시비(carbon dioxide enrichment)라고 한다. 시설원예에서는 이러한 탄산시비를 통하여 작물의 품질을 향상시키고 수량을 증대시킬

수가 있다. 이산화탄소 시비량은 작물의 종류, 생육단계 및 광도, 수분 등의 환경조건에 따라 다르다. 시설 내에 유지해야 될 이산화탄소의 농도는 다른 조건이 적당한 경우 대개 500~1,000ppm 정도이다.

본 실증연구에 사용한 탄산가스발생제(탄산솔)는 기존의 연구에서 10a 당 20봉지(100g/봉)를 설치하여 동절기 환기가 잘 이루어지지 못하는 시기에 6일 동안 측정하였다(그림 32). 낮 시간에 중앙부에서는 220ppm을 유지하였으나 터널 내부 식물체가 광합성을 하고 있는 부위에서 고도화 패키지는 600~800ppm이었고, 대조구는 410ppm 내외를 유지하였다.



※ 측정지점 : 시설 중앙 바닥~45cm 높이, 터널 이랑~15cm 높이(식물체 부위)

그림 32. 시설 중앙 및 터널 내부 이산화탄소 함량 변화

광합성은 식물생장의 환경요인에 대한 변화의 가장 효율적인 평가방법으로 다양한 작물에서 생산성 평가를 위한 중요한 지표로 활용되고 있다. 광합성은 작물의 생육단계, 광, 온도, CO<sub>2</sub>, 수분 등 다양한 요인의 영향을 받게 된다.

탄산시비 효과를 확인해 보기 위해 2017년 2월 15일 12시경 광합성 능력을 비교한 결과(표 10), 고도화 패키지는 광합성율이 26.21 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 대조구 보다 10.9% 높았고, 세포 내 CO<sub>2</sub> 농도는 271.3 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{mol}^{-1}$ 로 낮은 경향이였지만, 기공전도도, 증산율, 잎의 증기압차는 차이가 없었다.

표 10. 고도화 패키지 투입 후 광합성능력 비교

처리내용	광합성률 ( $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	기공전도도 ( $\text{molH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	증산율 ( $\text{mmolH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	세포 내 CO <sub>2</sub> 농도 ( $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{mol}^{-1}$ )	증기압차(잎) (kPa)
고도화패키지	26.21 a <sup>z</sup>	0.61 a	9.38 a	271.3 b	1.88 a
대 조	23.64 b	0.63 a	8.64 a	287.4 a	1.66 a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by DMRT at 5% level.

엽록소는 녹색식물의 엽록체 속에서 빛에너지를 흡수하여 이산화탄소를 유기화합물인 탄수화물로 동화시키는 데 쓰이기 때문에 광합성에서 가장 중요한 구실을 하고 있는 물질이다.

고도화 패키지 투입 후 엽록소 함량을 비교해 본 결과(표 11), 고도화 패키지가 1.35mg/g으로 대조구 보다 16.4% 더 높았다. 엽록소 함량의 증가로 인해 광합성률 또한 증가한 것으로 생각된다.

**표 11. 고도화 패키지 투입 후 엽록소함량 비교**

처리내용	총엽록소 (mg/g fresh wt.)	엽록소 a (mg/g fresh wt.)	엽록소 b (mg/g fresh wt.)
고도화패키지	1.35 a <sup>z</sup>	0.98 a	0.37 a
대 조	1.16 b	0.85 b	0.31 b

※ 시료채취 : 2017년 2월 15일 성엽 10매

<sup>z</sup>Mean separation within columns by DMRT at 5% level.

(3) 공기순환팬

시설의 환기란 실내외의 공기를 서로 바꾸어 주는 것을 말한다. 이러한 환기는 시설 내의 온도와 습도를 조절하며, 이산화탄소를 공급하고 유해가스를 배출하는 기능을 담당한다. 그러나 동절기에는 낮은 외부기온으로 인해 포복재배인 참외의 낮 시간의 환기 방법은 환기통에 의지하고 있다. 이에 시설 내 온도 분포가 불균일하고, 정체된 공기로 인해 가스 환경 또한 원활하게 배출되지 못하고 있다.

시설 내 환경 요인들의 균일성을 개선하는 가장 유망한 기술 중의 하나로 공기 유동률을 높이는 방법이 보고되고 있다. 공기 순환은 시설 내 CO<sub>2</sub> 농도, 기온을 좀 더 균일하게 만들어 줌으로써 증산과 광합성 과정에서 균일한 생육을 촉진시킨다. 더욱이 식물체 잎 부근의 공기 흐름을 증가시키는 것은 엽면경계층 저항을 감소시켜 잎과 주변 공기 간에 에너지, 수증기, CO<sub>2</sub> 등의 흐름을 개선하는 효과가 있다.

단동 아치형 비닐하우스에 2줄로 설치한 공기순환팬의 풍속을 상단부와 하단부(식물체 부위)에서 거리별로 조사하였다(표 12). 공기순환팬에서 멀어질수록 풍속은 느려졌으나, 환기통에만 의지하는 대조구에 비해 공기 유동이 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다. 상대습도 또한 대조구에 비해 고도화 패키지가 낮은 경향을 나타내었다. 공기순환팬의 가동으로 인해 공기 유동이 이루어지고는 있으나 참외 시설에 적합한 공기순환팬의 용량 및 배치에 대한 정밀한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

**표 12. 시설 내 공기유동 거리별 비교**

처리 내용	측정 거리	상 단		하 단	
		풍속(m/s)	상대습도(%)	풍속(m/s)	상대습도(%)
고도화 패키지	4m	0.93±0.15	33.6±0.8	0.41±0.03	36.0±2.6
	8m	0.41±0.03	32.6±1.9	0.33±0.06	36.3±6.8
	12m	0.42±0.03	30.7±2.2	0.21±0.04	34.1±6.1
대 조		0.24±0.09	40.7±1.8	0.17±0.07	40.3±10.7

※ 측정기간 : 2017.2.14~15, 2017.3.18 12시경(각 처리별 10분), 풍속계 : 무지향성 열선 probe 0~5m/s

※ 측정거리 : 공기순환팬 사이 간격 16m 기준

공기순환팬이 가동되는 맑은 날을 기준으로 1월과 2월의 주간 평균 기온을 수직으로 조사하였다(표 13). 식물체가 생육하고 있는 하단부의 기온은 고도화 패키지가 대조구 보다 1월과 2월 모두 2.0℃, 1.0℃ 높았다. 두 처리 모두 중단부의 온도가 가장 높았고 고도화 패키지는 수직 분포 상 편차가 가장 적었다.

**표 13. 주간(10~17시) 시설 내부 위치별 평균 기온**

처리내용	1월 주간 평균기온(°C)			2월 주간 평균기온(°C)		
	상단	중단	하단	상단	중단	하단
고도화패키지(A)	26.9	28.4	27.6	31.0	32.2	32.5
대 조(B)	25.5	28.5	25.6	30.1	32.7	31.5
편 차(A-B)	1.4	-0.1	2.0	0.9	-0.5	1.0

※ 측정기간 : 맑은 날 기준 - 2017 년 1월(1, 3, 4, 7, 8, 10, 11일), 2월(1, 2, 3, 4, 6, 7, 9일)

엽면경계층은 잎 표면을 덮고 있는 10m 이하의 얇은 공기층을 말한다. 엽면에서 공기의 흐름은 잎과의 마찰 때문에 느리게 된다. 이 경계층의 두께는 잎의 세포와 주변 공기 간에 이루어지는 열, 수증기 및 CO<sub>2</sub> 확산속도를 결정한다. 잎 주변의 공기가 정체되면 잎 표면에 두꺼운 엽면경계층이 생기게 되어 CO<sub>2</sub>의 유입과 수증기의 발산이 억제된다. 엽면경계층 저항은 풍속이 증가할수록 감소하므로 잎에서의 증발, 열전달, CO<sub>2</sub> 이동이 증가한다.

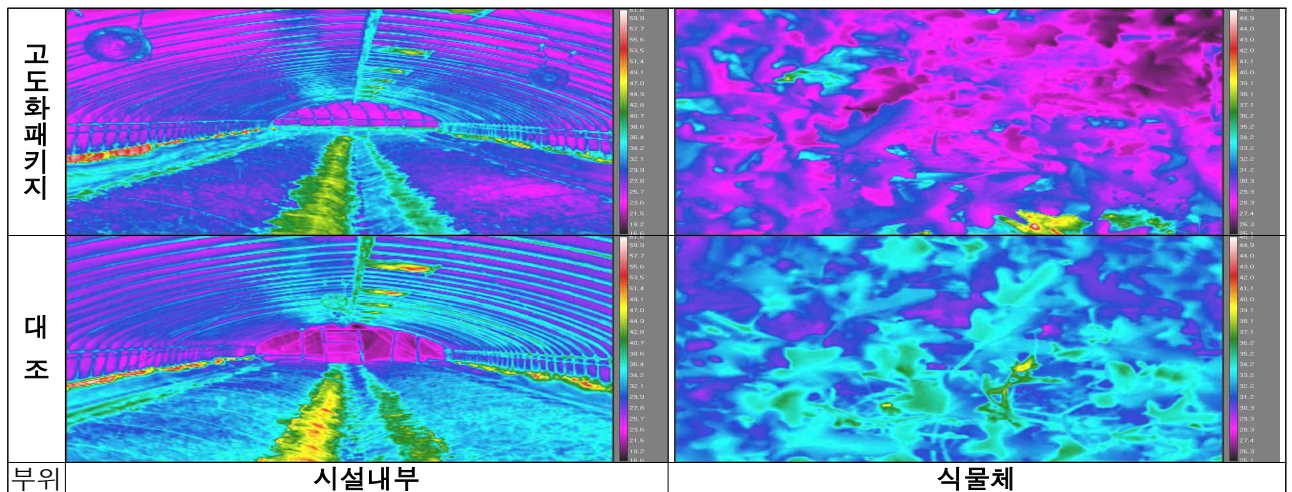
공기 유동으로 인한 엽온을 알아보기 위해 적외선 열화상카메라를 이용하여 잎 표면 방출 온도를 조사하였다(표 14). 고도화 패키지가 28.6°C로 대조구에 비해 5.3°C 낮았으며, 이는 공기 순환팬의 공기 유동으로 인해 엽면경계층의 증발 및 열전달에 영향을 미쳐 하강한 것으로 생각된다.

**표 14. 잎 표면 방출 온도**

처리내용	평균온도(°C)	중앙온도(°C)	최대온도(°C)	최소온도(°C)
고도화패키지(A)	28.6±0.6	28.6	29.8	27.5
대 조(B)	33.9±0.6	34.1	35.3	32.5
편차(A-B)	-5.3	-5.5	-5.5	-5.0

※ 측정조건 : 2017. 2. 15. 12시경(5개체 평균), 적외선카메라(Emissivity 0.95)

공기순환팬이 가동되는 12시경에 시설 내부의 열 분포를 확인하기 위해 적외선 열화상카메라로 열분석하였다(그림 32). 고도화 패키지가 낮은 온도인 보라색 분포가 시설 내부에 가장 많았고 식물체의 엽온 또한 대조구 보다 낮은 온도로 분포되었다.



※ 측정일시 : 2017년 2월 15일 12시경, 적외선카메라(Emissivity 0.95)

**그림 33. 야간 시설 내부 열분포 비교**



(4) 생육반응

정식 후 20일경 생육을 조사한 결과(표 15), 고도화 패키지가 초장 41.9cm, 마디수 10.2개로 가장 길었고, 엽장, 엽폭 또한 길이 잎이 넓은 경향을 나타내었으나 장폭비는 처리 간에 차이가 없었다. 정식 후 57일경 조사한 개화율 또한 큰 차이가 없었다.

표 15. 고도화 패키지 투입 식물 생육 반응

처리내용	초장 (cm)	마디수 (개)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	장폭비	개화율 (%)
고도화패키지	41.9 a <sup>2</sup>	10.2 a	10.6 a	10.7 a	1.00 a	95
대 조	31.5 b	8.9 b	9.5 b	9.4 b	1.01 a	90

※ 생육조사일 : 2017. 1. 4(정식 후 20일), 개화조사일 : 2017. 2. 10(정식 후 57일)

<sup>2</sup>Mean separation within columns by DMRT at 5% level.

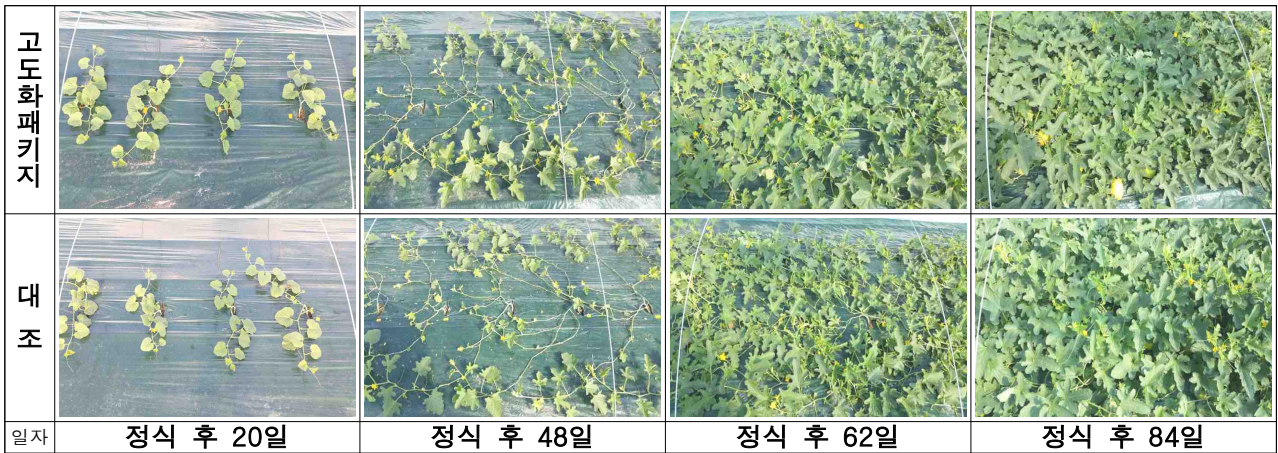


그림 34. 고도화 패키지 투입 생육 변화

과실 초기 수확 특성을 비교해 보면(표 16), 고도화 패키지 초기 수확량이 1,607.9kg/10a로 대조구 보다 12% 증수하였고, 상품과율 또한 1.5% 더 높아서 상품과 수확지수가 14% 더 높았다.

표 16. 고도화 패키지 투입 수확량

처리내용	초기수확량 (kg/10a)	상품수량 (kg/10a)	상품과율 (%)	평균상품과중 (g)	상품과 수확지수
고도화패키지	1,607.9	1,401.6	87.2	344.1	114
대 조	1,434.3	1,229.3	85.7	346.0	100

※ 수확기간 : 2017. 3.1~ 5. 5 까지

(5) 경제성 분석

기존의 패키지 기술에 동절기 시설 환경을 개선하기 위해 탄산가스발생제와 공기순환팬을 설치할 경우 부분시산법을 이용하여 경제성을 분석해 보았다(표 17). 고도화 패키지 적용 단동 비닐하우스 10a 당 설치비는 2,618천원으로 나타났으며, 이에 따른 연간 감가상각비 등 연간 총고정비는 488천원과 수확량 증가로 인한 인건비와 포장비 117천원을 합하여 연간 총비용은

605천원으로 나타났으며, 고도화 패키지 기술 적용에 따른 이익적 요소로 수량 증수에 의한 소득 증가가 975천원과 연결하우스 사용으로 노동력과 방제비 등의 절감으로 178천원을 절감하여 연간 총 증가수입은 1,153천원으로 연간 추정수익액은 548천원의 수익이 발생하였다. 기존 패키지 기술에 비해 높은 수익이 나지 않은 것은 무가온 재배의 특성상 외피복 자재에 따라 기온이 많은 영향을 받기 때문이다.

**표 17. 경제성 분석(부분시산법)**

손실적 요소(A)		이익적 요소(B)	
o 증가되는 비용		o 증가되는 이익	
- 감가상각비	472,000원	- 수량증가	974,873원
- 수리보수비	3,000원	172.3kg/10a × 5,658원 =	974,873원
- 고정자본이자	13,000원	- 수정용 벌 감소	120,381원
* 연간 총고정비	488,000원	- 병방제 농약비 절감	3,785원
- 인건비	67,000원	- 노동력 절감	53,632원
- 포장비	50,000원		
- 연간 총 비용(A) : 605,000원		- 연간 총 증가수입(B) : 1,152,671원	
o 추정 수익액(B-A) = 547,671원			

\* 2016 농업과학기술 경제성 분석 기준자료집 : 내구연한, 농업노임(여자), 생산 단가(시설참외 2015 평년 3~5월)  
 \* 연결하우스 영농활용 참고자료 활용 : 참외 연결하우스의 활용 만족도와 경영성과, 2013

**\* 시험연구내역과 분석자료**

구분	내구성 (년)	설치비 (천원/10a)	감가상각비 (천원/년)	수리비 (천원/년)	고정이자 (천원/년)	연간비용 (천원)
기능성보온덮개	5	458	92	-	3	95
연결하우스	10	1,000	100	1	3	104
탄산가스발생제	-	60	60	-	-	60
공기순환팬	5	1,100	220	2	7	229
계		2,618	472	3	13	488

**(6) 고도화 패키지 투입 기술효과 요약**

참외 특성재배시 기능성 보온덮개와 연결하우스 시설에 탄산가스발생제와 공기순환팬을 추가로 투입하여 대조구(PO계 필름+보온덮개) 기술과 비교하였다. 기능성 보온덮개 이용할 경우 야간 표면 방출온도를 2.3℃ 단열시켰고, 공기순환팬의 공기 유동으로 인해 더운 공기가 아래로 내려와 주간 평균기온 1~2℃ 상승하였고, 탄산가스발생제의 탄산시비로 인해 광합성율도 10.9% 증가해 초기 수확량이 14% 증수하였다.

따라서 무가온으로 단동비닐하우스에서 재배하는 참외는 동절기에 기존 패키지 기술(PO계 필름+기능성 보온덮개+연결하우스)과 고도화 패키지 기술(탄산가스발생제+공기순환팬)을 접목하면 에너지 이용 효과는 극대화 될 것이라고 생각한다.

## 2. 경북 딸기 에너지절감 패키지 기술 모니터링

### 가. 패키지 기술 모니터링 내용

#### (1) 실증 재배 환경

본 실증연구 장소는 경북 고령군 대가야읍 대가야로이고, 실증 연구에 사용된 품종은 설향 (*Fragaria × ananassa* Duch cv. Sulhang)이며 노지에서 차근육묘한 모종이다. 재배작형은 축성재배 작형이고, 정식일은 2016년 9월 7일이며, 수확기간은 2016년 12월 22일에서 2017년 3월 27일까지 동절기에 영향을 받는 수확량을 조사하였다. 시설 형태는 단동 아치형 2중 비닐하우스로 폭 9m, 높이 3.5m, 길이 50m이며, 시설방향은 남북방향이며, 수막재배가 가능한 시설이다. 재배방법은 고설 양액재배이고, 배지는 딸기전용 원예상토를 충진하였다. 정식 방법은 베드 위에 2줄씩 18cm 내외 간격으로 정식하였다. 야간의 온도관리는 경유 온수보일러(엑셀파이프)를 이용하여 최저 기온 7℃로 설정하였다.

#### (2) 패키지 기술 모니터링

패키지 투입 기술은 기존에 입증된 기술들은 패키지화하여 다겹보온커튼, 국부난방(전열선), PO계 필름으로 조합하였고, 관행구로는 수막재배와 1중 외피복재 0.08mm EVA필름, 2중 내피복재 0.06mm EVA필름이다. 난방방법은 경유 엑셀파이프 온수보일러를 사용하였다.

패키지 투입 기술을 상세히 살펴보면 다겹보온커튼은 총 4겹으로 알루미늄코팅 스크린 1겹, 부직포(40g) 2겹, 마트지(300×300) 1겹으로 구성되어 있다. 알루미늄 코팅 스크린은 알루미늄 순도 99.9% 이상의 소재를 압축 분사하여 도포한 방식으로 투습도가 3,927g/m<sup>2</sup>24h로 높아 시설 원예작물의 습공기 관리에 유리하고, 단열(IR 반사율) 효과도 78~95%로 높은 편이다. 다겹보온커튼 설치 구조는 기존의 2중 구조 내부에 3중 골조를 설치하고 중앙부에는 감아올림식으로 개폐기를 설치하고, 측면부는 슬라이딩식으로 개폐기를 설치하였다. 기존의 다겹보온커튼이 중앙에 모두 감길 경우 주간에 온실 내부 그림자가 넓게 발생하여 일조량을 충분히 확보하기가 어렵고, 개폐시 모터에 과부하가 걸리는 것을 개선하기 위해 화학솜을 사용하지 않고 단열 효과가 높은 소재를 활용하여 보온커튼을 얇고 가볍게 구성하였다. 국부난방은 열원을 실내에 놓고 국부적으로 덥히는 난방방법으로 농업용 전열선(20w/m)을 열원으로 하여 지체부 중앙에 1줄로 설치하였고, 지온(깊이 15cm)을 12℃로 설정하였다. PO(polyolefine)계 필름은 1중 외피복재는 0.15mm 두께의 보온성이 높은 장기성 연질필름으로 5년 이상 사용이 가능한 수입산 필름이고, 2중 내피복재는 0.08mm 두께의 PO계 필름을 사용하였다.

### 나. 패키지 기술 모니터링 결과

#### (1) 시설환경 변화

딸기는 저온성 작물로 수막재배 등에 의한 보온에 의존하고 있으나, 외부기온이 영하 10℃까지 떨어지는 날은 영상의 온도를 유지하기가 어렵다. 최근에는 저온기의 안정생산을 위해 난방에너지를 투입하는 농가가 증가하고 있으므로, 지하수 자원의 보존이나 난방에너지 절감을 위해 재배시설의 보온력 강화하는 수단이 절실히 요구되고 있다.

딸기 축성재배 작형의 보온 시기는 10월 하순이나 11월 초순에 보온하면 되는데 이때가 2화

방의 화아분화가 이루어진 이후가 된다. 보온 후 온도 관리는 보온이 시작되면 주간 온도를 30~35℃ 정도가 될 수 있도록 온도를 1주일~10일간 높게 유지시키고 다음부터는 서서히 온도를 내려서 25℃ 내외로 관리하면 된다. 주간 온도는 환기를 시키면 문제되지 않으나 12~2월 초순까지 밤의 저온이 가장 큰 문제가 된다. 야간에는 영하의 기온으로 내려가지 않도록 보온에 힘써야 하며, 야간 최저온도를 7℃ 이상은 유지해야 생육에 지장이 없다.

시설 내부의 온도 분포를 알아보기 위해 시설 중앙과 동쪽 측면부에 1.5m 높이(식물체 생육부위) 기온과 베드 15cm 깊이 지온을 조사하기 위해 온도계(TR-71ui, Japan)를 1시간 간격으로 설치하였다(그림 35). 주간은 9~17시까지이고, 야간은 18~8시를 기준으로 일변화를 7일 동안 조사한 결과이다. 주야간 모두 패키지 처리구의 온도가 관행보다 더 높게 유지되었고 하우스 방향으로 인해 오전에는 동쪽 측면부의 기온이 중앙부 보다 높았으나 정오를 지나서는 기온이 낮아지는 경향을 나타내었다. 야간 지온은 패키지 처리구에서 중앙부와 측면부에 편차가 있었으나 관행보다 높은 경향을 나타내었다.

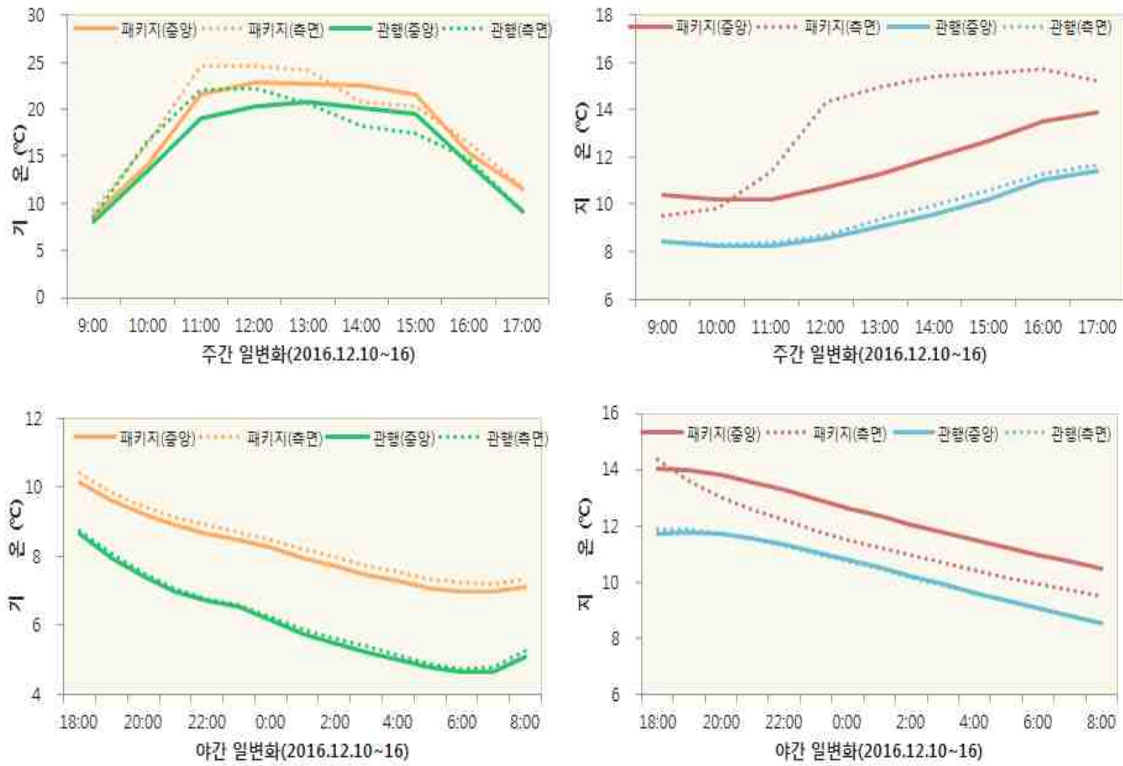


그림 35. 시설 중앙과 측면 부위의 주야간 기온과 지온의 일변화

## (2) 작물 수량 및 품질

수확 과실의 월별 과실 특성을 조사한 결과(표 18), 동절기 기간 동안 패키지 처리구의 당도 9.9°Brix, 산도 0.65%, 경도 239g/Φ5mm로 관행보다 당도는 0.9°Brix 낮았으나, 산도 0.08, 6g/Φ5mm 더 높았으나 처리 간에 유의성은 없었다. 일반적으로 과즙에 함유되고 있는 당의 비율(농도)를 당도라고 부른다. 당도의 표시방법은 가용성 고형물 함량, Brix값, 당조성에 의한 각 성분의 함량 등으로 표시하는 방법이 있다. 가용성고형물은 과즙 중에 녹아 있는 당, 산, 아미노산, 수용성 펙틴 등을 함유하여 측정하고 있다. 그러나 과즙 중에는 당이 대부분을 차지하고 있기 때문에 가용성 고형물 함량으로 당도의 대체처리를 하고 있다. Brix값은 당용굴절계를 사



용하여 자당의 중량 백분율에 상당하는 굴절률로부터 당도를 측정한다. Brix값은 측정이 간이하고 측정에 필요한 양도 1ml 이하의 적은 양으로 가능하기 때문에 당도의 대체치로서는 아주 편리하다. 그러나 산도 빛을 굴절하기 때문에 레몬 등 산 함량이 높은 과일, 토마토 가공품과 같이 식염을 첨가한 것, 시차 굴절계의 당성분이 많은 스위트콘 등에서는 당도에 오차가 크게 나타난다. 당조성을 정확하게 하게 분석하기 위해서는 고속액체크로마토그래피(HPLC)법에서 styrene, divinylbenzene 계 강산성 양이온교환수지를 충전한 칼럼을 사용하여 시차굴절계로 분석하는 것이 필요하다.

**표 18. 패키지 기술 모니터링 월별 과실특성**

처 리	시 기	당 도(°Brix)	산 도(%)	경 도(g/15mm)
패 키 지	12월	9.1±0.6	0.71±0.09	200±44
	1월	10.4±0.9	0.61±0.19	279±72
	2월	10.3±0.8	0.62±0.14	238±62
	평균	9.9±0.7	0.65±0.06	239±40
관 행	12월	10.0±0.8	0.53±0.17	204±52
	1월	10.9±1.2	0.58±0.14	272±61
	2월	11.5±0.6	0.59±0.14	223±59
	평균	10.8±0.8	0.57±0.03	233±35

딸기의 수확량은 2016년 12월 22일에서 2017년 3월 27일까지 패키지 기술의 영향을 받는 동절기 4개월 동안 조사하였다(표 19). 패키지 처리구의 총수확량은 2,590kg/10a이고, 상품수량은 2,561kg/10a로 관행 대비 33% 증수하였다. 딸기 단가를 9,243원/kg 적용하였을 때 조수입 또한 관행 대비 5,842천원 증대하였다.

**표 19. 패키지 기술 모니터링 수확량**

처리내용	총수확량(kg/10a)	상품수량(kg/10a)	상품과율(%)	조수입(원/10a)	수확지수
패 키 지	2,590	2,561	98.9	23,671,320	133
대 조	1,980	1,929	97.4	17,829,750	100

※ 단가 : 딸기 9,243원/kg(연평균 평균), 2016 농업과학기술 경제성분석 기준자료집

### (3) 에너지 이용 변화

보온은 시설 내로 들어오는 빛은 가능한 많이 들어오게 하고 유입된 열은 빠져나지 못하도록 효과적으로 유지하는 것이 보온 기술의 요점이다. 본 패키지 기술 또한 보온에 목적을 두고 있으며, 외부 환경에 영향을 받지만 가능한 많은 양의 햇빛이 시설 내부로 들어와 온도를 높이고 다겹보온커튼을 이용해 단열하는 것이 난방에너지를 절감하는 방법이다.

패키지 기술 투입에 따른 난방비 절감 효과를 분석하기 위해 10a당 시험구별 연료소모량을 1개월 간격으로 조사하였다(표 20). 12월과 2월에는 외부 기온이 높게 형성되어 유류사용량이 적었고, 1월에는 관행 처리구에서 유류사용량이 210ℓ로 가장 많았으나 패키지 처리구는 24ℓ로 관행 대비 유류절감률이 88.6%로 가장 높았다. 동절기 3개월 동안의 유류절감률은 88%이며, 국부난방을 위해 전열선 전력사용량은 1,139.4kw/10a였다.

**표 20. 온수보일러 유류(등유) 및 국부난방(전열선) 전력사용량**

시 기	유류사용량(ℓ/10a)		유류절감률 (%)	전열선 전력사용량 (kw/10a)	외부최저 기온(℃)	외부최고 기온(℃)
	관행	패키지				
12월 1일~12월31일	3.0	0.8	73.3	394.0	-4.3	9.2
1월 1일~ 1월31일	210.0	24.0	88.6	493.2	-7.5	7.0
2월 1일~ 2월28일	4.0	1.2	70.0	252.1	-6.2	9.6
합 계(평균)	217.0	26.0	(88.0)	1,139.4	(-6.0)	(8.6)

(4) 경제성 분석

패키지 기술 투입시 부분시산법을 이용하여 경제성을 분석해 보았다(표 21). 패키지 적용 단 동비닐하우스 10a 당 설치비는 12,500천원으로 나타났으며, 이에 따른 연간 감가상각비 등 연간 총고정비는 2,593천원과 국부난방시 사용된 전기사용료 45천원과 수확량 증가로 인한 인건비와 포장비 117천원을 합하여 연간 총비용은 2,939천원으로 나타났으며, 패키지 기술 적용에 따른 이익적 요소로 수량 증수에 의한 소득 증가가 5,842천원과 난방비 절감으로 126천원을 절감하여 연간 총 증가수입은 5,968천원으로 연간 추정 수익액은 3,029천원의 수익이 발생하였다.

**표 21. 경제성 분석(부분시산법)**

손실적 요소(A)		이익적 요소(B)	
o 증가되는 비용		o 증가되는 이익	
- 감가상각비	2,500,000원	- 수량증가	5,841,576원
- 수리보수비	18,000원	632kg/10a × 9,243원 =	5,841,576원
- 고정자본이자	75,000원	- 난방비 절감	126,060원
* 연간 총고정비	2,593,000원	191ℓ/10a × 660원 =	126,060원
- 전기사용료	44,665원		
- 인건비	201,000원		
- 포장비	100,000원		
- 연간 총 비용(A) :	2,938,665원	- 연간 총 증가수입(B) :	5,967,636원
o 추정 수익액(B-A) = 3,028,971원			

\* 2016 농업과학기술 경제성 분석 기준자료집 : 내구연한, 농업노임(여자), 생산 단가(딸기 연평년 평균)  
 \* 유류 단가 : 등유 660원/L, 전기사용기준 : 저압(39.2원/kWh)

\* 시험연구내역과 분석자료

구분	내구성 (년)	설치비 (천원/10a)	감가상각비 (천원/년)	수리비 (천원/년)	고정이자 (천원/년)	연간비용 (천원)
다겹보온커튼	5	7,500	1,500	15	45	1,560
전열선국부난방	5	1,500	300	3	9	312
PO필름	5	3,500	700	-	21	721
계		12,500	2,500	18	75	2,593

\*잔존율: 0 %, 수리비: 1%, 연이율: 3 %

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

### 제1절 연구개발 목표 및 연구개발 수행내용

연구개발 목표	연구개발 내용	달성도 (%)
- 경북 단동비닐하우스 참외 에너지 이용 효율 패키지 기술 개발	- 무가온 재배 참외 에너지 이용 패키지 기술 개발 · 보온성 향상 시스템 구성 · 성능시험 및 생육조사	100
- 경북 단동비닐하우스 딸기 에너지절감 패키지 기술 개발	- 수막시설 대비 딸기 에너지절감 패키지 기술 개발 · 광환경 개선· 보온성 향상 시스템 구성 · 성능시험 및 생육조사	100
- 경북 단동비닐하우스 참외 에너지 이용 효율 고도화 패키지 기술 개발	- 참외 재배 에너지이용 효율 패키지 기술 보완 및 활용방안 제시 · 시설환경 개선 추가 기술 구성 · 경제성 분석	100

### 제2절 관련분야의 기술발전예의 기여도

본 과제의 연구개발 목표는 경북지역에 적합한 시설원에 농가 에너지절감 및 고품질 생산을 위한 단동비닐온실 패키지기술 모델 실증연구 및 기술보급 확산으로 농가 경쟁력을 제고하는데 있으며, 구체적으로 기존 유류난방 대비 난방비 70% 절감, 수량 및 품질 개선으로 농가소득 10% 증대를 목표로 하였다. 연구 내용으로 경북 지역의 주 작목인 참외와 딸기를 대상으로 하였다.

참외는 무가온 재배작형으로 에너지이용 효율을 극대화시켜 보온 효율을 높이는 패키지 모델을 구성하였다. PO계 필름, 기능성 보온덮개, 연결하우스로 구성된 패키지 모델과 기존 패키지 기술에 탄산가스발생제, 공기순환팬을 설치하여 고도화 패키지 모델을 실증 연구하였다. 패키지 실증 결과 참외 축성재배시 시설 에너지 이용 효율 극대화를 위해 보온성과 광 투과율이 높은 PO계 필름과 단열 효과가 뛰어난 알루미늄코팅 보온덮개 이용할 경우 수확수요일수는 7일 단축되고, 3~4월 초기 수확량이 47% 증가하여 생산성 향상되었다. 연결하우스는 단동형의 장점에 연동형의 효과를 가져와 시설 내 환경 관리가 용이하고 본포관리, 수확운반 시설 등의 작업 환경을 개선하여 노동력을 절감할 수 있다.

딸기는 고령지역에서 많이 이용되고 있는 2중 단동비닐하우스 수막시설, 온수보일러(등유)를 개선하기 위해 PO계 필름, 다겹보온커튼, 국부난방(전열선)으로 구성된 패키지 모델을 개발하였다. 패키지 실증 결과 딸기 축성재배시 관행 대비 난방비 88% 절감, 수확량 33% 증수 효과를 확인하였다. 본 연구결과는 향후 작목 또는 시설 맞춤형 고효율 에너지절감기술의 개발을 위한 기초자료를 제공할 수 있을 것이다.

## 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

- 참외 단동비닐하우스 고도화 패키지 기술의 농가 보급 확대를 위한 농림축산식품부 정책제안
- 시설 참외 에너지 이용 효율 극대화 매뉴얼 발간(2017.5.29.) 및 1,000부 배부
- ‘경북지역 참외 단동비닐하우스 에너지이용 효율 극대화 패키지 투입 효과’ 논문투고 계획
- 에너지이용 효율 극대화 단동비닐하우스 패키지 기술보급으로 농가소득 향상 및 고품질 안정 생산에 기여

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

해당없음

## 제 7 장 참고문헌

1. Briassoulis, D., D. Waaijenberg, J. Gratraud, and B. von Eslner. 1997a. Mechanical properties of covering materials for greenhouse; part1, general overview. J. agric Engng Res. 67:81-96.
2. Briassoulis, D., D. Waaijenberg, J. Gratraud, and B. von Eslner. 1997b. Mechanical properties of covering materials for greenhouse; part2, quality assessment. J. agric Engng Res. 67:171-217.
3. Gosselin, A. and M.J. Trudel. 1983. Interactions between air and root temperatures on greenhouse tomato: I. growth, development and yield. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108(6):901-905.
4. Kawasaki, Y., K. Suzuki, K. Yasuba, and M. Takaichi. 2011. Effect of local air heating by a hanging duct near the tomato shoot apex and flower clusters on vertical temperature distribution, fruit yield and fuel consumption. Hort. Res. (Japan) 10(3):395-400(in Japanese).
5. Kim, S.E., S.Y. Sim, S.D. Lee, and Y.S. Kim. 2010. Appropriate root-zone temperature control in perlite bag culture of tomato during winter season. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 28(5):783-789(in Korean).
6. Kwon, J.K., J.H. Lee, N.J. Kang, K.H. Kang, and Y.H. Choi. 2004. Effects of covering materials and methods on heat insulation of a plastic greenhouse and growth and yield of tomato. J. of Bio-Environment Control 13(4):251-257(in Korean).
7. Kwon, J.K., G.H. Kang, J.P. Moon, T.S. Lee, and S.J. Lee. 2015. Effect of growing part following local heating for cherry tomato on temperature distribution of crop and fuel consumption. Protected Horticulture and Plant Factory 24(3):217-225(in Korean).
8. Lee, M.Y., S.J. Hwang, and B.R. Jeong. 2001. Growth and yield of hydroponic rose 'little marble' as affected by root zone temperature and heating method in winter season.

- Journal of Bio-Environment Control 10(1):61-68(in Korean).
9. Lee, S.Y., H.J. Kim, H. Chun, S.H. Yun, Y.I. Nam, and J.G. Lim. 2003. Energy saving by use of pull&roll multi layer type screen system on greenhouse. Kor. Res. Soc. Protected Hort. 16(1):1-6(in Korean)
  10. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). 2014a. Greenhouse status for the vegetable grown in facilities and the vegetable productions in 2013. ed. Sejong, Korea(in Korean).
  11. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). 2014b. Cultivation status of floricultural crop in 2013. ed. Sejong, Korea(in Korean).
  12. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). 2016c, Enforcement guidance on MAFRA enterprise. <http://manual.agrix.go.kr/home/index.php>(in Korean).
  13. Sato, K. and N. Kitajima. 2010. Local heating temperature effects on the growth and yield of strawberries [Fragaria] in high-bench culture. Fukuoka Agricultural Research Center Report (29):27-32(in Japanese).
  14. Sone, K., K. Dan, M. Okimura, and E. Ktanai. 2007. Effect of temperature treatment of crown party on flower-bud formation in ever-bearing strawberry. Soc. Hort. Sci. (Japan) 6(1):423(in Japanese).
  15. 농림축산식품부. 2016. 2015 시설채소 온실현황 및 채소류 생산실적.



# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “농업에너지절감모델개발사업단 실증연구과제(과제명 : 단동하우스 에너지절감 패키지기술 개발V)”의 최종의 보고서로 제출합니다.

2017 년 9월 일

실증연구기관명 : 경남농업기술원

실증연구책임자 : 정 완 규





# 요 약 문

## I. 제 목

단동 비닐하우스 에너지절감 패키지기술 개발

## II. 연구성과 목표 대비 실적

구 분	지식재산권		논문		학술 발표	기술 거래	교육 지도	사업 화	기술 인증	영농 활용	정책 활용	홍보 전시	기 타
	출원	등록	SCI	비 SCI									
최종	목표				3					2		8	6
	실적				3					2	2	13	6
달성율(%)					100					100	100	160	100

## III. 연구개발의 목적 및 필요성

### □ 연구개발 목적

- 경남지역 풋고추 생산을 위한 시설하우스 난방비 절감 패키지 기술 모델 개발 실증연구 및 확산으로 농가 경쟁력 제고

### □ 연구개발 필요성

- 경남 채소재배 면적은 27,606ha이고, 38.8%가 시설재배임('15)
- 경남 시설온실 9,646ha 중 단동비닐하우스(8,304ha) 비중이 높음
- 경남 시설온실의 40.8%가 가온재배를 하며 유류사용 의존도가 높음
- 2010년 이후 시설원예 산업 생산은 안정적이거나 농가 경영비 중 난방비중이 30~40%에 달해 유류난방을 대체할 수 있는 에너지시설 보급이 시급함

#### IV. 연구개발 내용 및 범위

연구개발범위	연구개발내용
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 에너지절감 기술 모델개발 및 실증</li> <li>- 경남지역 시설포고추재배용 단동 비닐하우스 에너지 절감 패키지기술 설정 및 효과 분석</li> </ul>	<p>단동 비닐하우스 시설재배 난방방법별 효율적인 에너지 절감방법을 구명</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 단동 비닐하우스 시설포고추 가온재배 3농가 선정</li> <li>&lt;패키지 I&gt;               <ul style="list-style-type: none"> <li>· SH원적외열선+수평·수직보온커튼+공기유동장치</li> <li>· 대조 : 소형온풍난방</li> </ul> </li> <li>&lt;패키지 II&gt;               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 온풍(알루미늄)덕트+수평보온커튼+공기유동장치</li> <li>· 대조 : 비닐덕트+공기유동장치</li> </ul> </li> <li>&lt;패키지 III&gt;               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 스텐주름온수배관+수평·수직보온커튼+공기유동장치</li> <li>· 대조 : PE배관(중방위)+수평보온커튼</li> </ul> </li> <li>○ 1년차 결과분석 후 2년차 시설 개선 적용</li> <li>○ 기존활용방법과 패키지기술 방법 에너지절감, 생산성 향상 등 비교 분석</li> </ul>

#### V. 연구개발결과

- 소형전기온풍기 이용 농가에 패키지기술 I (SH원적외열선, 수평·수직보온커튼, 공기유동장치)을 적용한 결과 10a 기준으로 대조온실보다 9.6% 수량이 증가하였으며 전력사용량도 26,610kw가 절감되었다. 이는 수평·수직보온커튼의 차광 및 보온효과, 공기유동장치의 순환효과 외에 SH원적외열선을 작물 하부에 설치함에 따라 토양온도가 상승하여 근권부 생육 등에 좋은 영향을 미친 결과로 판단됨
- 온풍비닐덕트와 공기유동장치를 이용하는 농가에 패키지기술 II(온풍알루미늄덕트, 수평보온커튼, 공기유동장치)를 적용한 결과 1년차에는 10a 기준으로 대조온실보다 6.7% 수량이 증가하였고 이산화탄소배출량도 감소하였으나 2년차에는 실증온실의 수량이 6.4% 감소하고 유류비가 오히려 증가하는 문제가 발생하였다. 이는 알루미늄덕트의 재질이나 내구성 문제로 온풍이 덕트의 끝부분까지 영향을 미치지 못해서 난방효율이 떨어진 것으로 추측됨
- 전기온수보일러(PE배관 중방위)와 수평보온커튼을 이용하는 농가에 패키지기술 III(스텐주름온수배관, 수평·수직보온커튼, 공기유동장치)를 적용한 결과 1년차에는 실증온실의 수량은 증가되었으나 사용 온수량이 많아지면서 에너지절감효과는 없었다. 2년차에는 난방효율 향상을 위해 실증온실과 대조온실에 전기온수보일러를 각각 설치하고 스텐주름관의 증설 및 하부 이동으로 10a를 기준으로 대조온실보다 9.8% 증가하고 에너지도 절감되었다. 이는 스텐주름관의 난방효율도 높았지만 작물하부로 위치를 이동시킴에 따라 토양온도가 1~2°C 정도 상승한 결과로 판단됨

#### VI. 연구성과 및 성과활용 계획

- 본 연구를 통해 시설고추재배시 단동에너지절감 패키지 기술 세가지를 제안하였음
- 경제성분석결과 수량 증가 및 에너지절감 효과가 있었던 기술은 농가에 보급사업 추진 예정임

## SUMMARY

The vegetable farming area of Gyeongnam-do in 2015 is 27,606ha and the ratio of protected cultivation is 38.8%. The cultivation area under heated plastic house is 3,934ha and oils cover approximately 79.0% of energy sources. Increase of international oil prices affected management cost and it is most important factor in agricultural income. This study was conducted to inform horticultural structure system for energy saving. We presented three systems of saving energy cost, the first package is far-infrared heating lines, thermal screen and air flow fan, the second is aluminum duct, thermal screen, and the last is electric boiler with stainless heating water pipe, air flow fan. The result say that installation of these systems improved yield and reduced the cost of heating.

# 제 1 장 실증과제의 개요 및 성과목표

## 1. 연구개발 목적

- 시설원예에서 농가소득의 불안정 요소로 작용하는 난방비 부담 해소를 위해 기존 농가시스템에 새로운 기술을 도입하여 농가경영비 절감하고 시설현대화에 기여하고자 함
- 경남지역 풋고추 생산을 위한 시설하우스 난방비 절감 패키지 기술 모델 개발 실증연구 및 확산으로 농가 경쟁력 제고

## 2. 연구개발 필요성

- 2015년 전국 채소 재배면적 224,959ha중 시설채소는 61,330ha이고 경남은 27,606ha중 38.8%인 10,698ha가 시설채소 재배임(농림축산식품부, 2014)
- 시설풋고추 전국 재배면적은 4,878ha이고 경남은 1,488ha로 전국 1위 수준임
- 경남 시설온실 9,646ha 중 9,584ha가 비닐하우스이고 연동이 1,218ha, 단동비닐하우스가 8,304ha로 비중이 높은편임
- 경남 시설온실의 40.8%인 3,934ha가 가온재배를 하며 에너지원으로 고체연료가 217ha, 전기 576ha, 유류난방이 3,111ha로 유류사용 의존도가 높은편임
- 에너지의 90% 이상을 수입에 의존하고 있어서 국제 에너지 가격변동에 취약함
- 경남 시설고추 10a 당 농가경영비는 14,848,752원이고 영농광열비가 4,597,983원으로 그 비중이 가장 높은 수준임
- 시설풋고추 재배온실은 낮은 광폭형 온실로 다른 작물에 비해 현대화 미흡한 실정이고 난방비 절감을 위해 비교적 요금이 저렴한 농업용 전기를 활용한 전기온수난방, 전기온풍난방으로 전환하는 경우가 많았음
- 2010년 이후 시설원예 산업 생산은 안정적이나 농가 경영비 중 난방비중이 30~40%에 달해 유류난방을 대체할 수 있는 에너지시설 보급이 시급함
- 단기적으로는 에너지 절감형 농자재 보급 및 시설현대화를 통해 선진국 수준의 높은 생산성 유지 필요하고 장기적으로는 신재생에너지의 활용방향 제시

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 1. 국내 기술개발 현황

- 국제 원유가격 상승에 따른 농촌진흥청, 농림축산식품부에서 2009년부터 에너지 이용 효율화 대책을 수립하여 에너지 절감시설 설치 지원(농촌경제연구원, 2016)
  - 보온력 향상 : 다겹보온커튼, 중앙권취식 보온터널 개폐장치 설치로 일괄개폐가 가능하여 소요시간 10분 이내로 단축되고 난방비 40~50% 절감
  - 에너지효율 향상 : 온풍난방 회수장치, 온풍난방 열교환기 등 열이용효율 높여 18% 난방비 절감, 이중 덕트는 송풍 온도 편차를 줄여 온실온도 균일하게 유지
  - 유류대체 에너지 : 고체연료 난방기, 수막재배시설로 30~40% 난방비 절감, 지열히트펌프 설치로 78% 에너지 절감
- 수막재배기술은 1984년 국내 도입되어 1991년에 1,160ah, 2001년에는 7,241ha 보급하였으며 수막보온시스템은 지하수 및 각종 폐수를 활용하여 피복 비닐위에 살수하여 단열효과를 높임. 순환식 수막시스템 도입 시 비순환식 대비 17,788톤/년/2,000m<sup>2</sup>의 지하수 절약으로 ha당 26,524천원 절약효과(농진청, 2006)
- 원적외선 난방시스템은 등유 온풍 난방시스템보다 온실내부 상하 온도편차가 적으며 방울 토마토의 생육 및 수량을 좋게 하고 난방비용은 34.5~41.4% 정도 감소됨(김희준 등, 2016)
- 전기온풍기의 덕트 길이에 따른 온풍온도 및 풍속은 난방방식에 따른 차이보다 송풍팬의 용량에 따른 차이가 크고 열원으로부터 멀어질수록 덕트에서 토출되는 온풍온도는 1m당 약 0.4~1°C씩 저하됨(시설원예시험장, 2008)
- 온실 내 기온편차로 인해 작물생육이 불균일하여 수량 및 품질이 떨어지고 재배간이 길어지는 문제가 있어 유동팬의 배치 및 용량에 따른 온실내 기상요인 분포를 해석하기 위한 CFD 모델 개발(유인호 등, 2014)
- 토마토 반촉성재배시 전기보일러 이용 온수순환 가온재배에서 경유보일러 이용 축열물주머니내 온수순환 가온 대비 연료비 54%, 온풍 가온 대비 84% 절감(충북농업기술원, 2008)

### 2. 국외 기술개발 현황

- 시설 내 온도, 습도, 이산화탄소 농도 등 기상요소가 작물의 고른 생육에 영향을 주는 주요 인자임. 온도, 습도, 이산화탄소 농도 변화는 순환팬의 공기흐름에 따라 변화되므로 그에 따른 예측 모델 연구(M. Teitel et al., 2010)
- 공기유동팬 설치로 시설내 토마토 잎표면 이슬이 30% 감소하여 곰팡이균 발생 감소(Matsuura, S, et al., 2004)

# 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

## 1. 연구개발 내용

### 가. 현지 실증시험 농가 선정

시설팻고추 주산지 농업기술센터 담당자 협의를 통해 진주 2지역, 창녕 1지역을 실증농가로 선정하였으며 기존의 난방방법을 개선하는 3가지의 패키지기술로 실험을 수행하였다.

표 1. 현지 실증농가 현황

실증기술	주 소	농가명	면적(m <sup>2</sup> )	하우스 형태	기존 난방방법
패키지 I	진주 금산	김**	3,200(2동)	광폭형, 단동	소형 전기온풍기
패키지 II	진주 문산	이**	5,000(2동)	광폭형, 단동	유류 온풍기
패키지 III	창녕 도천	김**	3,000(2동)	1/2형, 단동	전기온수기

### 나. 패키지 기술 상세내역과 단위 기술의 비용 및 특성

난방 에너지원으로 소형전기온풍기를 사용하는 패키지 I의 농가는 SH원적외열선(나노열선), 수평·수직보온커튼, 공기유동장치를 2015년 10월에 설치 완료하였고 열효율 향상을 위해 2년차에 열선을 추가 설치하였다. 패키지 II 농가는 유류 온풍기를 기반으로 비닐 덕트 대신 알루미늄 덕트를 사용하였고 수평보온커튼, 공기유동장치를 설치하였다. 패키지 III 농가는 전기 온수 보일러에 PE재질의 배관을 온실 중방위에 설치하여 난방하였는데, 스텐주름관을 작물 하부로 이동시키고, 수평·수직보온커튼, 공기유동장치를 설치하였다. 1년차에는 온수 보일러 1대로 대조, 실증 온실을 모두 가동하였으나 열효율을 고려하여 2년차에는 온실 개별로 설치하여 실험을 수행하였다.

표 2. 실증온실 투입 기술 내역

		실증온실	대조온실
패 키 지 I	면적	1,920m <sup>2</sup>	1,280m <sup>2</sup>
	시설내역	- SH원적외열선 - 수평보온커튼 - 수직다겹보온커튼 - 공기유동장치	- 소형전기온풍난방
	개선사항(2년차)	* 열선 추가 설치(1년차 : 1,300m, 2년차: 482m 추가 설치)	
패 키 지 II	면적	2,540m <sup>2</sup>	2,460m <sup>2</sup>
	시설내역	- 온풍(알루미늄)덕트 - 수평보온커튼 - 공기유동장치	- 온풍(비닐)덕트 - 공기유동장치
	면적	1,500m <sup>2</sup>	1,500m <sup>2</sup>
패 키 지 III	시설내역	- 스텐주름온수배관(하위) - 수평보온커튼 - 수직다겹보온커튼 - 공기유동장치	- PE온수배관(중방위) - 수평보온커튼
	개선사항(2년차)	* 온수배관 800m 추가 설치, 전기온수보일러 실증, 대조 온실 개별 가동	

표 3. 패키지 기술에 사용된 단위 기술의 비용 및 특성

단위 기술	내구성 (년)	시설비 (천원/10a)	수리비 (천원/10a)	연이자 (천원/10a)	특성(제원)	
패키지 I	수평보온커튼	10	5,355	5.4	16.0	- 재질 : 알루미늄스크린(알루미늄, 연사, 폴리에틸렌) - 성능 : BJ85(중양절개식, 보온율 44%, 차광율 85%) - 개폐장치(기어: 40A 35조, 구동모터: 3상 380v 400w1)
	수직보온커튼	10	1,993	2.0	6.0	- 재질 : 측면다겹보온지(오리털) - 개폐장치(모터: DC24V, 100V)
	공기유동장치	10	1,889	1.9	8.5	- 성능 : 시간온도자동 제어, 130W, 47m <sup>3</sup> /분
	SH원적외열선	10	11,406	11.4	34.2	- 성능 : 나노합금열선(AC380V, 41.5W/m), 맞춤형 발열체 - 제어장치 : 60kw이하 자동온도제어
패키지 II	수평보온커튼	10	5,906	5.9	17.7	- 재질 : 알루미늄스크린(알루미늄, 연사, 폴리에틸렌) - 성능 : BJ85(중양절개식, 보온율 44%, 차광율 85%) - 개폐장치(기어 40A 35조, 구동모터 3상 380v 400w, 개폐축 48.1mm*2.1)
	공기유동장치	10	1,929	1.9	5.8	- 성능 : 시간온도자동 제어, 130W, 47m <sup>3</sup> /분
	온풍덕트	5	8,206	16.4	49.2	- 재질 : 알루미늄 시트(측면, 후면) - 개폐장치(측면부 모터: 96w)
패키지 III	수평보온커튼	10	6,328	6.3	18.9	- 재질 : 알루미늄스크린(알루미늄, 연사, 폴리에틸렌) - 성능 : BJ85(중양절개식, 보온율 44%, 차광율 85%) - 개폐장치(기어: 40A 35조, 구동모터: 3상 380v 400w)
	수직보온커튼	10	2,596	2.6	7.8	- 재질 : 측면다겹보온지(오리털) - 개폐장치(모터: DC24V, 100V)
	공기유동장치	10	2,134	2.1	6.4	- 성능 : 시간온도자동 제어, 130W, 47m <sup>3</sup> /분
	온수보일러	10	5,666	5.7	17.0	- 성능 : KCS3000 전기보일러(120kw), 발열량(111.750kcal/h) - 온도조절기능 : 온수조절 4단변온, 히터조절 3단변온
	온수난방배관	5	4,964	4.9	14.9	- 재질 : 스텐주름관 15mm - 설치위치 : 2열/이랑, 하부위치

그림 1. 패키지 I 설치온실 및 대조온실



<대조온실>



<실증온실>



그림 2. 패키지 II 설치온실 및 대조온실



<대조온실>



<실증온실>



그림 3. 패키지Ⅲ 설치온실 및 대조온실



<대조온실>



<실증온실>



다. 실증온실의 작물 경종 개요

표 4. 경종개요

실증기술	경종개요	재배작물
패키지 I	1년차 : 정식 (2015. 8. 24), 수확 (2015. 10. 16 ~ 2016. 6. 10) 2년차 : 정식 (2016. 8. 29), 수확 (2016. 10. 16 ~ 2017. 4. 20)	고추
패키지 II	1년차 : 정식 (2015. 9. 16), 수확 (2015. 12. 01 ~ 2016. 6. 10) 2년차 : 정식 (2016. 9. 27), 수확 (2016. 12. 06 ~ 2017. 4. 20)	고추
패키지Ⅲ	1년차 : 정식 (2015. 10. 9), 수확 (2015. 12. 21 ~ 2016. 6. 10) 2년차 : 정식 (2016. 9. 13), 수확 (2016. 12. 21 ~ 2017. 4. 20)	고추 피망

라. 주요조사방법

실증온실과 대조온실의 내부 환경변화는 고정형 복합환경센서(aM-21ALS, WISE Sensing Inc.)를 각 2대씩 설치 후 측정하였다. 에너지 사용량은 패키지 I 과 Ⅲ은 온실별 전력량계 설치 후 전력소모량을 비교하였고 패키지 II는 온풍기 가동시간 및 유류사용량을 각기 환산하여 측정하였다. 생육은 온실별로 3지점으로 나눠 조사하였고 1년차의 수량은 수확 선별 10kg 박스포장 후 그 출하량을 전수 조사하였으며 2년차는 3반복으로 나눠 표본조사하였다.

2. 연구결과

<1년차>

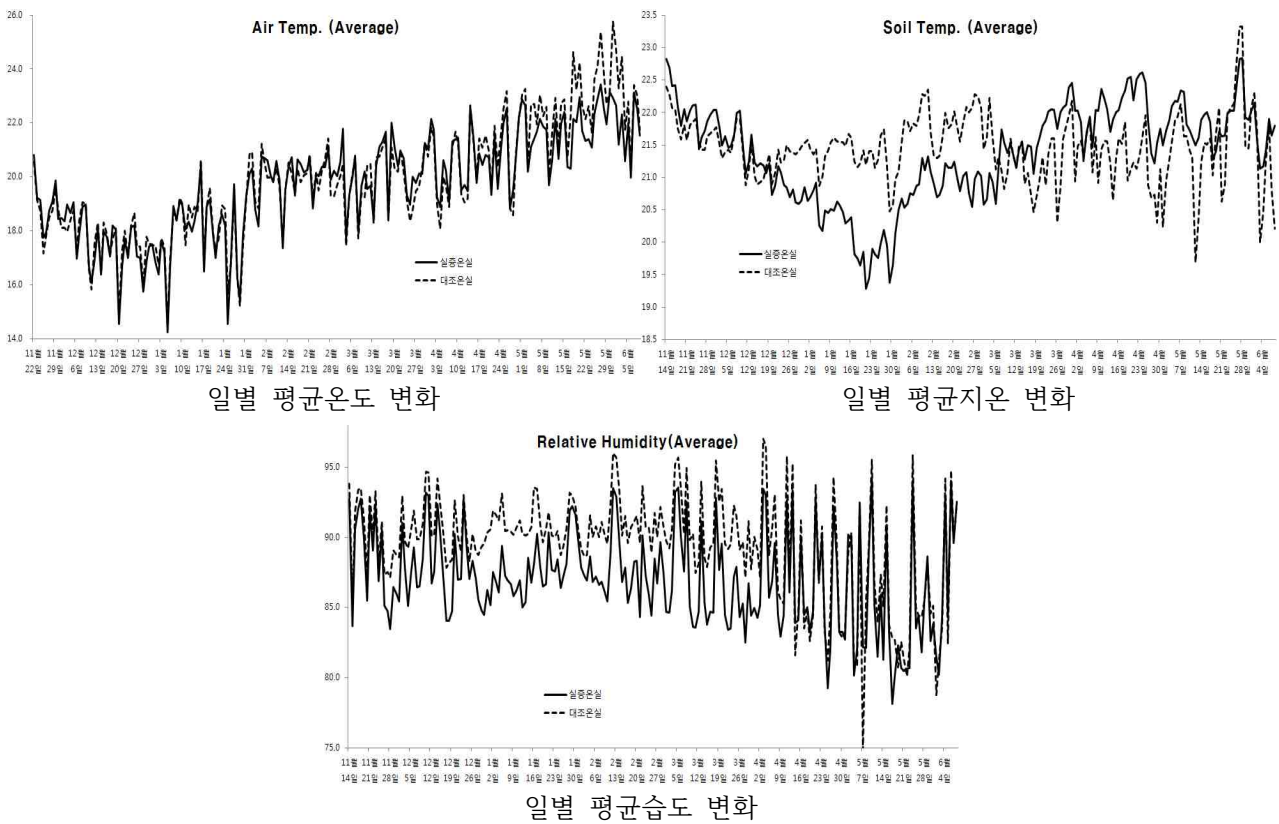
가. 패키지 기술 I

(1) 온실 내부 환경변화

시험기간 중 실증온실과 대조온실의 온실 내부 환경변화를 조사한 결과, 일별 평균 온도는 유사한 패턴의 변화를 보였으나, 4월 중순부터 대조온실의 온도가 높게 나타났다. 평균지온의 경우 12월 하순부터 대조온실이 높게 나타나다가 3월부터는 낮은 경향이었는데, 이는 열선의 열효율이 토양온도를 증가시키는데 큰 영향을 미치지 못한 것으로 보이며 습도의 경우 대조온실이 전반적으로 높게 유지되는 경향이였다.



그림 4. 일별 온실내부 환경 변화(2015. 11. 22. ~ 2016. 6. 8.)



(2) 생육 및 수량

시기별 생육조사를 한 결과 초장, 엽장, 엽폭, 경경, 분지수 등에서 실증온실과 대조온실간 차이는 없었으며 실증온실의 수량은 10a기준 10.267kg으로 대조온실보다 5% 감소되어 조수입도 감소하는 결과를 나타내었다. 이는 12월중순부터 2월까지 실증온실의 평균지온이 대조온실보다 낮게 유지되면서 수량에 영향을 미친 것으로 판단된다. 그러나 전력사용량은 대조온실과 비교하여 26,610(kw/10a) 절감되어 10a 당 1,116천원의 이익적요소가 발생하였으며 이산화탄소 배출량도 12.53459tCO2 절감되었다.

표 5. 시기별 생육특성

조사일 (월.일)		초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	분지수 (개)	경경 (mm)
10.20	실증온실	122.2	19.1	5.6	10.3	15.2
	대조온실	124.6	16.0	5.5	10.0	15.9
12.02	실증온실	150.1	12.3	4.2	16.2	17.9
	대조온실	150.2	12.2	4.1	16.1	19.2
01.29	실증온실	172.1	12.3	3.7	20.3	19.6
	대조온실	176.0	12.6	3.9	20.8	21.7
04.06	실증온실	196.8	11.8	3.5	26.7	22.7
	대조온실	197.9	11.5	3.5	27.4	23.8

표 6. 상품수량 및 조수입

	수량 (kg/10a)	조수입 (천원/10a)	수량지수
실증온실	10,267	53,552	95.2
대조온실	10,789	56,275	100.0

\* 생산단가 : 2015년 농축산물소득자료집(경남, 시설고추, 5,216원/kg)

표 7. 에너지 사용량 및 절감효과

	에너지사용량 전기(kw/10a)	에너지절감량 전기(kw/10a)	이산화탄소 배출 절감량 (tCO <sub>2</sub> /10a)	금액 (원/10a)
실증온실	53,945	26,641	12.53459	2,260,296
대조온실	80,586	-	-	3,376,553

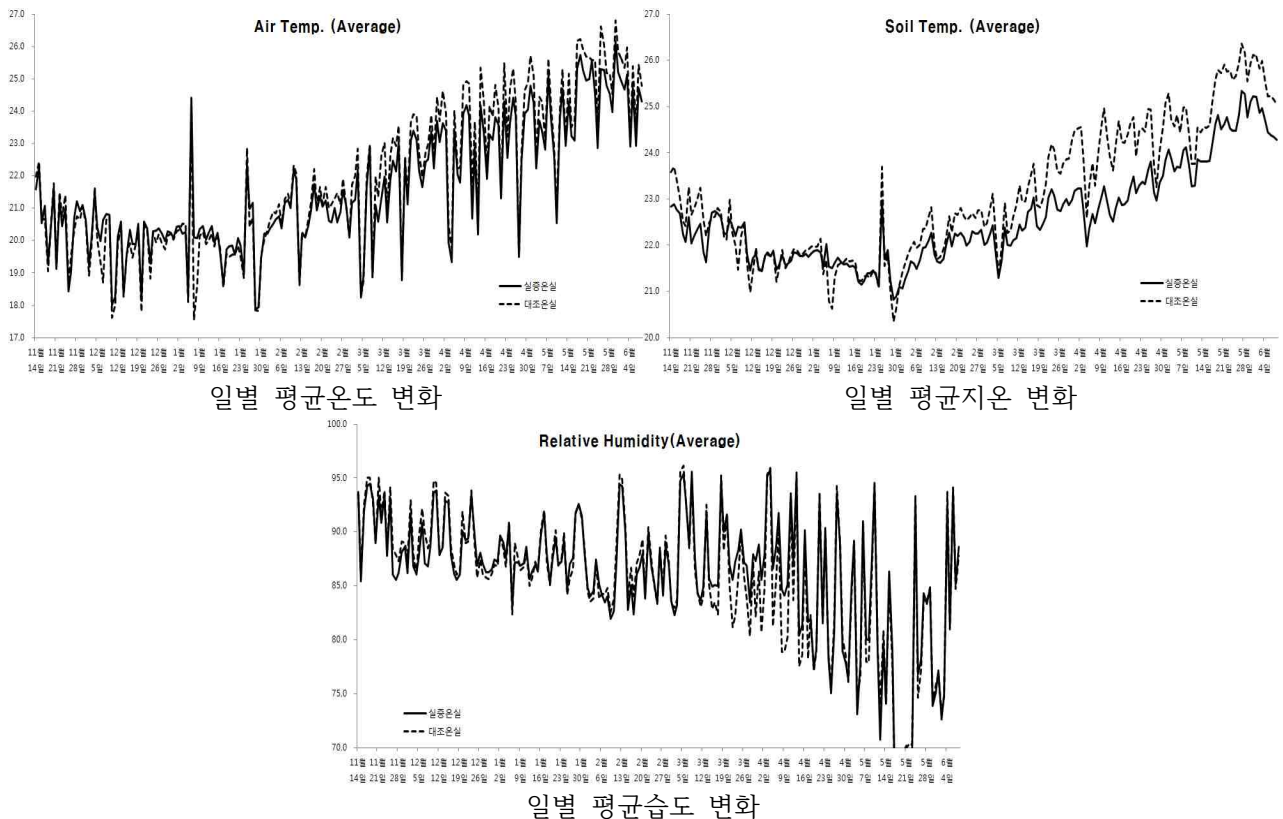
\* 전기사용기준 : 고압(41.9원/kWh)

나. 패키지 기술Ⅱ

(1) 온실 내부 환경변화

시험기간 중 실증온실과 대조온실의 온실 내부 환경변화를 조사한 결과, 일별 평균 온도는 2월 중순부터 대조온실의 온도가 약간 높게 나타났다. 평균지온의 경우 조사기간동안 대조온실이 높게 나타나는 경향이었고, 습도는 실증온실이 전반적으로 높게 유지되는 경향이였다.

그림 5. 일별 온실내부 환경 변화(2015. 11. 22. ~ 2016. 6. 8.)



(2) 생육, 수량 및 에너지 절감

시기별 생육조사를 한 결과, 초장, 엽장, 엽폭, 경경, 분지수 등 생육특성이 실증온실이 대조 온실보다 양호하였으며 실증온실의 수량은 10a기준 3,694kg으로 대조온실보다 6.7% 증수되어 조수입이 증가하였다. 그리고 유류사용량은 B-C유인 대조온실과 비교하여 10a 당 111천원의 이익적요소가 발생하였으며 이산화탄소 배출량도 4.29878tCO<sub>2</sub> 절감되었다.

표 8. 시기별 생육특성

조사일 (월.일)		초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	분지수 (개)	경경 (mm)
10.20	실증온실	70.3	16.1	5.6	5.1	8.7
	대조온실	65.2	14.0	4.8	4.8	7.6
12.23	실증온실	111.0	15.6	5.5	11.6	11.4
	대조온실	103.2	15.4	5.3	10.6	10.6
01.29	실증온실	120.7	14.8	5.0	14.0	12.1
	대조온실	107.4	14.3	4.8	13.5	11.6
04.06	실증온실	169.1	15.0	4.8	21.6	14.3
	대조온실	147.5	13.3	4.2	20.2	13.5

표 9. 상품수량 및 조수입

	수량 (kg/10a)	조수입 (천원/10a)	수량지수
실증온실	3,694	19,268	106.7
대조온실	3,464	18,068	100.0

\* 생산단가 : 2015년 농축산물소득자료집(경남, 시설고추, 5,216원/kg)

표 10. 에너지 사용량 및 절감효과

	에너지사용량		이산화탄소 배출량 (tCO <sub>2</sub> /10a)	금액 (원/10a)
	유류(L/10a)	MJ		
실증온실	3,826	140,804	9.34085	1,538,779
대조온실	4,542	189,213	13.63963	1,649,882

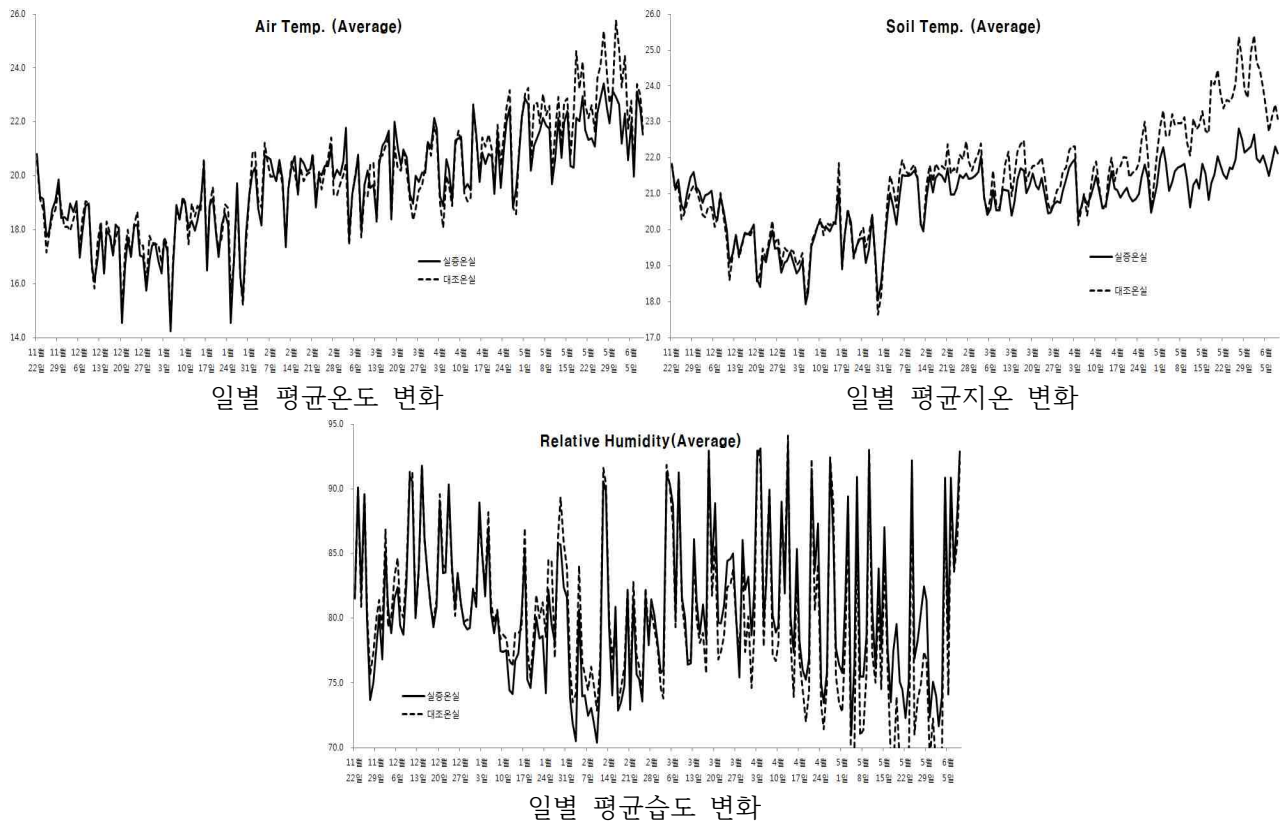
\* 실증온실(등유: 402.19원/L), 대조온실(B-C유:363.25원/L)

다. 패키지 기술Ⅲ

(1) 온실 내부 환경변화

시험기간 중 실증온실과 대조온실의 온실 내부 환경변화를 조사한 결과, 일별 평균 온도는 시험구와 대조구 모두 유사한 패턴의 형태를 보였으며 평균지온은 대조온실이 높게 나타나는 경향이었고 습도의 경우 실증온실이 전반적으로 높게 유지되었다.

그림 6. 일별 온실내부 환경 변화(2015. 11. 22. ~ 2016. 6. 9.)



(2) 생육, 수량 및 에너지 절감

시기별 생육조사를 한 결과 초장, 엽장, 엽폭, 경경, 분지수 등에서 실증온실이 대조온실보다 생육이 양호하였으며 실증온실의 수량은 10a기준 10,894kg으로 대조온실보다 8.4% 증수되어 조수입이 증가하였다. 그러나, 전력사용량은 대조온실과 비교하여 실증온실의 경우 188(kw/10a) 증가하여 이산화탄소 배출량 절감도 없었다.

표 11. 시기별 생육특성

조사일 (월.일)		초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	분지수 (개)	경경 (mm)
11.06	실증온실	42.4	13.0	3.9	3.3	7.4
	대조온실	38.4	11.4	3.5	3.0	7.1
12.02	실증온실	65.8	16.7	5.0	6.8	11.0
	대조온실	58.4	15.2	4.6	6.1	10.4
02.04	실증온실	82.3	15.9	5.0	10.1	14.4
	대조온실	76.7	14.4	4.5	9.4	14.6
04.19	실증온실	148.9	18.9	5.7	18.8	20.0
	대조온실	128.5	16.7	4.9	17.1	20.2

표 12. 상품수량 및 조수입

	수량 (kg/10a)	조수입 (천원/10a)	수량지수
실증온실	10,894	56,823	108.4
대조온실	10,047	52,405	100.0

\* 생산단가 : 2015년 농축산물소득자료집(경남, 시설고추, 5,216원/kg)

표 13. 에너지 사용량 및 절감효과

	온수사용량 (L)	에너지사용량 전기(kw/10a)	에너지절감량 전기(kw/10a)	이산화탄소 배출 절감량 (tCO <sub>2</sub> /10a)	금액 (원/10a)
실증온실	4,769	3,633	-	-	152,239
대조온실	4,612	3,445	188	0.08845	144,355

\* 전기사용기준 : 고압(41.9원/kWh)

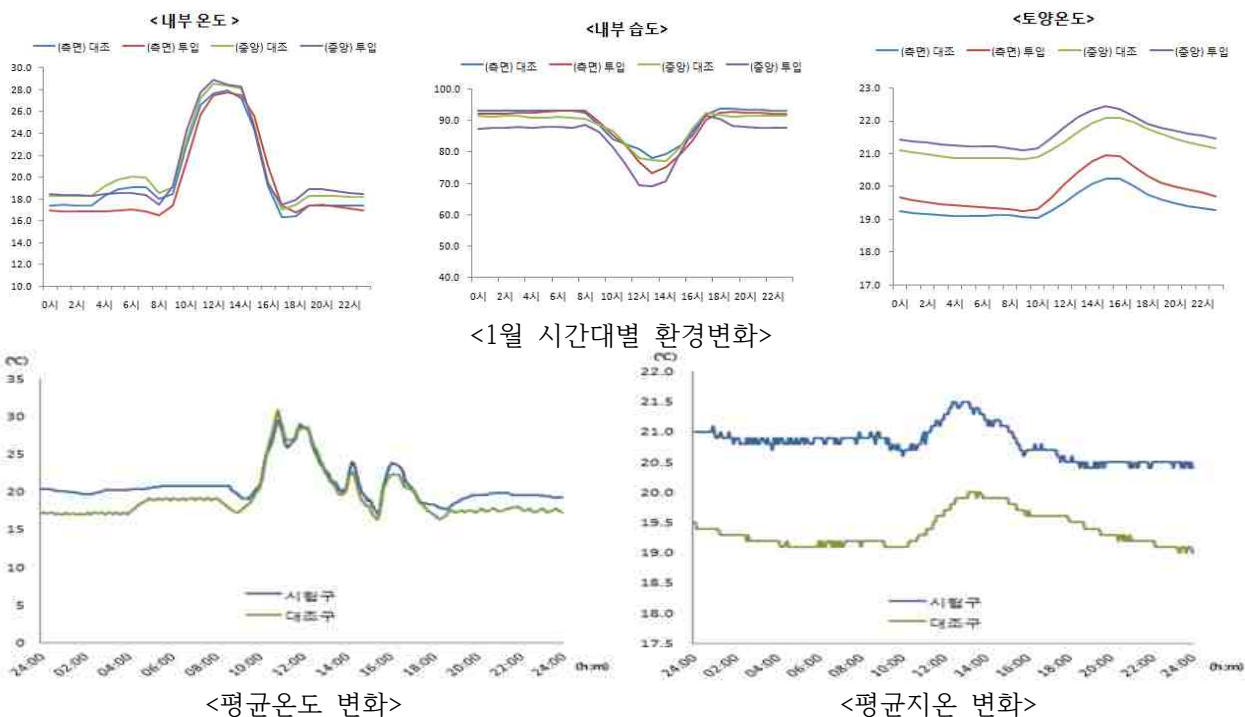
<2년차>

가. 패키지 기술 I

(1) 온실 내부 환경변화

시험기간 중 실증온실과 대조온실의 온실 내부 환경변화를 조사한 결과, 1월의 시간대별 온실 내부 환경 변화에서 측면부가 중앙부보다 온도는 낮게 나타났으며 하루 중 한낮의 습도가 실증 온실에서 낮게 나타났다. 특히 토양온도는 대조온실과 비교하여 1~2°C가량 높게 나타났으며 내부 온도와 마찬가지로 측면부보다 중앙부 온도가 높게 나타났다.

그림 7. 일별 온실내부 환경 변화



(2) 생육, 수량 및 에너지 절감

시기별 생육조사를 한 결과, 초장, 엽크기, 경경, 분지수 등에서 실증온실과 대조온실간 큰 차이는 없었으나 초장은 대조온실이 높게 나타났으며 중앙부의 생육이 측면부 생육보다 좋았다. 실증온실의 수량은 10a기준 8,114kg으로 대조온실보다 9.6% 증수효과가 있었으며 실증온실 중앙부가 가장 수량이 높고, 대조온실 중앙, 실증온실 측면, 대조온실 측면의 순으로 나타났다. 전력사용량은 대조온실과 비교하여 11,176(kw/10a) 절감되어 이산화탄소 배출량은 5.25831tCO2 절감하였다.

표 14. 시기별 생육특성

조사일 (월.일)		초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	분지수 (개)	경경 (mm)	
02.16	실증온실	196.8	10.1	4.5	22.7	17.6	
	대조온실	195.5	9.7	4.8	22.8	19.1	
04.19	실증온실	측면부	211.5	7.9	3.4	29.9	21.5
		중앙부	223.5	8.0	3.6	28.3	20.0
		평균	217.5	8.0	3.5	29.1	20.8
	대조온실	측면부	230.0	8.9	4.0	29.5	22.0
		중앙부	235.1	8.5	3.6	29.3	20.9
		평균	232.6	8.7	3.8	29.4	21.5

표 15. 상품수량 및 조수입

		전체수량 (kg/10a)	상품수량 (kg/10a)	상품율 (%)	수량지수	조수입 (원//10a)
실증온실	측면부	8,550	7,482	87.5	112.3	
	중앙부	10,166	8,746	86.0	107.3	
	평균	9,358	8,114	86.7	109.6	42,322,624
대조온실	측면부	7,779	6,659	85.6	100.0	
	중앙부	9,383	8,150	86.9	100.0	
	평균	8,581	7,405	86.3	100.0	38,624,480

\* 생산단가 : 2015년 농축산물소득자료집(경남, 시설고추, 5,216원/kg)

표 16. 에너지 사용량 및 절감효과(시험기간 : 2017. 8. 29 ~ 2017. 4. 20)

	에너지사용량 전기(kw/10a)	에너지절감량 전기(kw/10a)	이산화탄소 배출 절감량 (tCO2/10a)	금액 (원/10a)
실증온실	53,572	11,176	5.25831	2,244,667
대조온실	64,748	-	-	2,712,941

\* 전기사용기준 : 고압(41.9원/kWh)

(3) 경제성 분석

패키지 I 투입기술에 설치된 수평·수직 보온커튼, 공기유동장치, SH원적외열선과 대조온실에 설치된 소형전기온풍기의 설치비 및 감가상각비를 산정한 결과 연간총고정비는 대조온실과 비교

하여 실증온실에서 1,255,443원이 소모되었다. 이를 바탕으로 경제성 분석을 한 결과, 설치비 및 증수에 따른 인건비 상승분 등 손실액은 10a 당 1,506천원이었고 수량증가 및 에너지 절감에 따른 이익 금액은 4,166천원으로 총 수익액은 2,660천원 이었다.

표 17. 시설비, 감가상각비, 수리비, 이자

	10a 기준	내구연한	설치비	감가상각비	수리비	고정이자	연간비용
패 키 지 I	수평커튼	10	5,355,100	535,510	5,355	16,065	556,930
	수직커튼	10	1,993,000	199,300	1,993	5,979	207,272
	공기유동장치	10	1,889,000	188,900	1,889	5,667	196,456
	SH원적외열선	10	11,405,900	1,140,590	11,406	34,218	1,186,214
대조	소형전기온풍기	7	6,000,000	857,143	8,571	25,714	891,428
	(SH-소형온풍기)		5,405,900	283,447	2,834	8,503	294,785

감가상각비 : 1,207,157원/ 수리보수비 : 12,072원/ 고정자본이자 : 36,215원  
 \* 연간총고정비 : 1,255,443원

표 18. 경제성 분석 (부분시산법, 천원/10a)

손실적 요소(A)		이익적 요소(B)	
O 증가되는 비용 :		O 증가되는 이익 :	
- 감가상각비		- 수량	증수
- 수리보수비	1,207.16		3,698.14
- 고정자본이자	12.07	- 난방비 절감	468.27
* 연간 총고정비	36.21		4166.41
- 인건비	1,255.44	연간 총 증가수입(B) :	
- 포장비	164.69		
	85.08		
총 비용(A) :	연간 1506.21		
O 추정 수익액(B-A) : 2660.2천원/년			

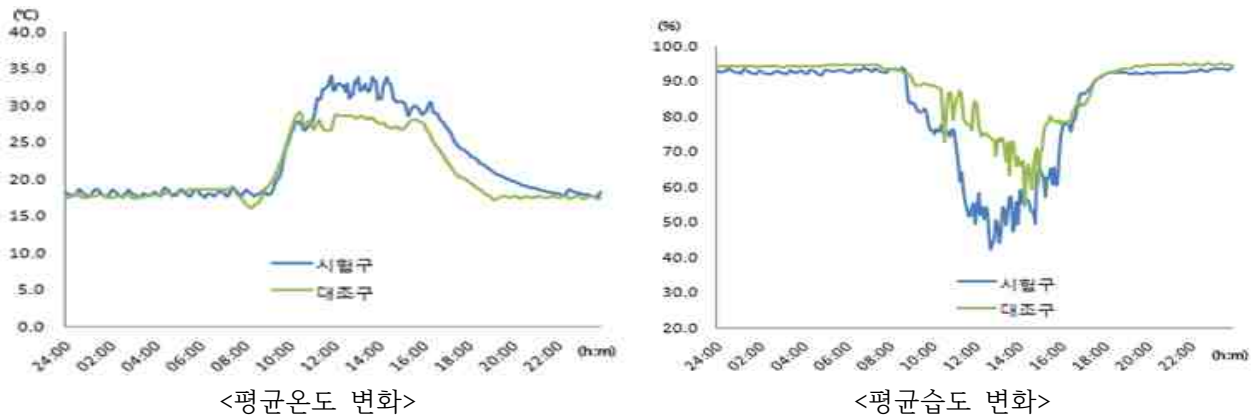
※ 노동비 : 2015년 농축산물소득자료집(경남, 시설고추, 6,653kg/10a, 1,545천원 )/포장비 : 1,200원/박스

## 나. 패키지 기술 II

### (1) 온실 내부 환경변화

시험기간 중 실증온실과 대조온실의 온실 내부 환경변화를 조사한 결과, 시간대별 환경변화에 큰 차이가 없었고 평균 온도는 실증온실이 높은 경향이었고 평균 습도는 대조온실이 높았다.

그림 8. 온실내부 환경 변화



(2) 생육, 수량 및 에너지 절감

시기별 생육조사를 한 결과 초장, 엽크기, 경경, 분지수 등에서 실증온실이 대조온실보다 생육이 좋았으나 실증온실의 수량은 10a기준 4,180kg으로 대조온실보다 6.4% 감소하였다. 그리고 유류사용량은 B-C유인 대조온실과 비교하여 유류사용량과 이산화탄소 배출량은 줄었으나, 유류비 차이로 오히려 비용절감 효과는 없었다.

표 19. 시기별 생육특성

조사일 (월.일)		초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	분지수 (개)	경경 (mm)	
02.16	실증온실	148.3	10.7	4.5	17.4	12.2	
	대조온실	118.6	10.2	4.2	15.2	10.8	
04.19	실증온실	측면부	181.0	11.1	4.7	25.0	15.6
		중앙부	204.6	11.7	4.7	25.3	13.9
		평균	192.8	11.4	4.7	25.1	14.7
	대조온실	측면부	192.6	10.5	4.5	24.7	15.9
		중앙부	162.95	11.3	4.6	22.1	12.4
		평균	177.8	10.9	4.5	23.4	14.1

표 20. 상품수량 및 조수입

		전체수량 (kg/10a)	상품수량 (kg/10a)	상품율 (%)	수량지수	조수입 (원//10a)
투입기술	측면부	5,476	4,551	83.1	93.6	
	중앙부	4,500	3,809	84.7	93.6	
	평균	4,988	4,180	99.1	93.6	21,802,880
대조기술	측면부	6,143	4,862	79.2	100.0	
	중앙부	4,795	4,072	84.9	100.0	
	평균	5,469	4,467	98.3	100.0	23,299,872

\* 생산단가 : 2015년 농축산물소득자료집(경남, 시설고추, 5,216원/kg)



표 21. 에너지 사용량 및 절감효과

	에너지사용량 유류(L/10a)	MJ	이산화탄소 배출량 (tCO2/10a)	금액 (원/10a)
실증온실	5,198	191,285	31.84	2,090,584
대조온실	5,341	222,506	38.85	1,940,118

\* 실증온실(등유: 402.19원/L), 대조온실(B-C유:363.25원/L)

(3) 경제성 분석

패키지Ⅱ 투입기술에 설치된 수평커튼, 공기유동장치, 알루미늄덕트와 대조온실에 설치된 비닐덕트의 설치비 및 감가상각비를 산정한 결과 연간총고정비는 대조온실과 비교하여 실증온실에서 1,956,970원이 소모되었다. 이를 바탕으로 경제성 분석을 한 결과, 설치비 및 수량감소 등 손실액은 10a 당 3,604천원이어서 경제적 이득은 없었다.

표 22. 시설비, 감가상각비, 수리비, 이자

	10a 기준	내구연한	설치비	감가상각비	수리비	고정이자	연간비용
패키지Ⅱ	수평커튼	10	5,906,000	590,600	5,906	17,718	614,224
	알루미늄덕트	5	8,205,512	1,641,102	16,411	49,233	1,706,746
대조	비닐덕트	2	700,000	350,000	3,500	10,500	364,000
(알루미늄-비닐)				1,291,102	12,911	38,733	1,342,746

감가상각비 : 1,881,702원/ 수리보수비 : 18,817원/ 고정자본이자 : 56,451원

\* 연간총고정비 : 1,956,970원

표 23. 경제성 분석 (부분시산법, 천원/10a)

손실적 요소(A)		이익적 요소(B)	
O 증가되는 비용 :		O 증가되는 이익 : 없음	
- 감가상각비	1,881.70	- 연간 총 증가수입(B)	
- 수리보수비	18.82		
- 고정자본이자	56.45		
* 연간 총고정비	1,956.97		
- 수량 감수	1,497.00		
- 난방비 증가	150.28		
연간 총 비용(A) :	3604.25		
O 추정 수익액(B-A) : 없음 (3604,25천원/년 손실)			

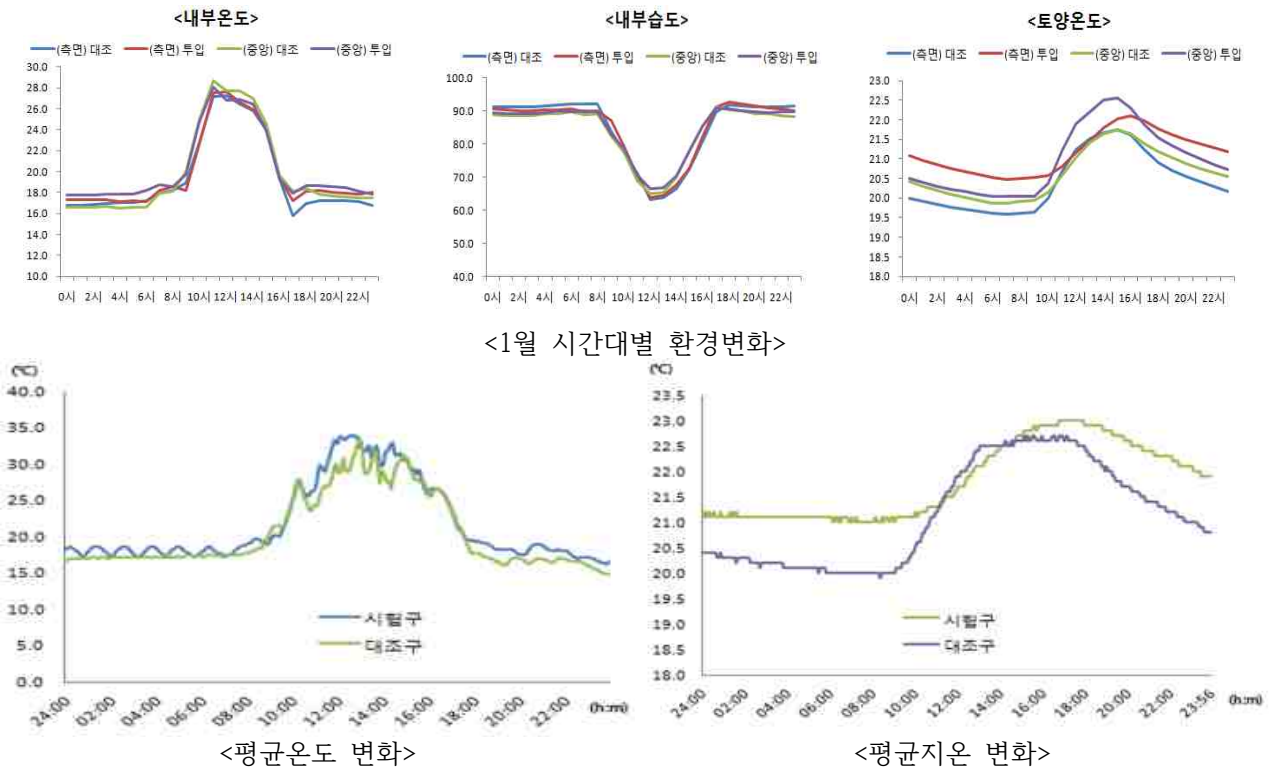
\* 노동비 : 2015년 농축산물소득자료집(경남, 시설고추, 6,653kg/10a, 1,545천원 )

다. 패키지 기술 III

(1) 온실 내부 환경변화

시험기간 중 실증온실과 대조온실의 온실 내부 환경변화를 조사한 결과, 일별 평균 온도는 시험구와 대조구 모두 유사한 패턴의 형태를 보였으며 평균온도 및 지온은 실증온실이 높게 나타나는 경향이었으며 1월 시간대별 토양온도는 투입기술 중앙부, 측면, 대조기술 중앙부, 측면순으로 나타났다.

그림 9. 일별 온실내부 환경 변화



(2) 생육, 수량 및 에너지 절감

시기별 생육조사를 한 결과 초장, 엽크기, 경경, 분지수 등에서 실증온실과 대조온실간 큰 차이는 없었으며 경경을 제외하고 실증온실이 생육정도가 양호하였다. 실증온실의 수량은 10a기준 5,401kg으로 대조온실보다 9.8% 증수되어 조수입이 증가하였다. 그리고 전력사용량은 대조온실과 비교하여 340(kw/10a) 감소하여 0.1599tCO<sub>2</sub>의 이산화탄소 배출량을 절감하였다.

표 24. 시기별 생육특성

조사일 (월.일)		초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	분지수 (개)	경경 (mm)	
02.09	실증온실	129.1	13.1	6.6	20.0	16.1	
	대조온실	132.3	12.7	6.4	20.3	17.4	
04.12	실증온실	측면부	142.5	12.9	6.7	24.4	18.6
		중앙부	149.5	12.7	6.6	23.9	18
		평 균	146.0	12.8	6.7	24.2	18.3
	대조온실	측면부	134.9	11.7	6.2	23.3	19.5
		중앙부	153.4	12.3	6.3	24	19.1
		평 균	144.2	12.0	6.2	23.6	19.3

표 25. 상품수량 및 조수입

		전체수량 (kg/10a)	상품수량 (kg/10a)	상품율 (%)	수량지수	조수입 (원//10a)
투입기술	측면부	5,385	5,332	99.0	109.8	
	중앙부	5,520	5,471	99.1	109.8	
	평 균	5,452	5,401	99.1	109.8	28,171,616
대조기술	측면부	4,957	4,855	97.9	100.0	
	중앙부	5,046	4,982	98.7	100.0	
	평 균	5,002	4,919	98.3	100.0	25,657,504

\* 생산단가 : 2015년 농축산물소득자료집(경남, 시설고추, 5,216원/kg)

표 26. 에너지 사용량 및 절감효과

	에너지사용량 전기(kw/10a)	에너지절감량 전기(kw/10a)	이산화탄소 배출 절감량 (tCO2/10a)	금액 (원/10a)
실증온실	2,776	340	0.15997	116,314
대조온실	3,116	-	-	130,560

\* 전기사용기준 : 고압(41.9원/kWh)

### (3) 경제성 분석

패키지Ⅲ 투입기술에 설치된 수평·수직커튼, 공기유동장치, 스텐주름온수배관과 대조온실에 설치된 PE배관 및 수평커튼의 설치비 및 감가상각비를 산정한 결과 연간총고정비는 대조온실과 비교하여 실증온실에서 711,578원이 소모되었다. 이를 바탕으로 경제성 분석을 한 결과, 설치비 및 수량증가에 따른 인건비 및 포장비 증가액 등 손실액은 10a 당 881천원이었고 수량증가 및 에너지 절감에 따른 이익금액은 2,528천원으로 총 수익액은 1,646천원이었다.

표 27. 시설비, 감가상각비, 수리비, 이자

	10a 기준	내구연한	설치비	감가상각비	수리비	고정이자	연간비용
패키지Ⅲ	수직커튼	10	2,595,700	259,570	2,596	7,787	269,953
	공기유동장치	10	2,134,400	213,440	2,134	6,403	221,977
	스텐주름관	10	4,964,100	496,410	4,964	14,892	516,266
대조	PE배관	5	2,852,100	570,420	5,704	17,113	593,237
	(스텐-PE)		2,112,000	211,200	2,112	6,336	219,648

감가상각비 : 684,210원/ 수리보수비 : 6,842원/ 고정자본이자 : 20,526원

\* 연간총고정비 : 711,578원

표 28.경제성 분석 (부분시산법, 천원/10a)

손실적 요소(A)	이익적 요소(B)
○ 증가되는 비용 :	
- 감가상각비	
- 수리보수비684.21	○ 증가되는 이익 :
6.84	- 수량 증수 2,514.11
- 고정자본이자 20.52	- 난방비 절감 14.24
* 연간 총고정비 711.57	연간 총 증가수입(B) : 2,528.35
- 인건비 111.96	
57.84	
- 포장비881.37	
연간 총 비용(A) :	
○ 추정 수익액(B-A) : 1,646.98천원/년	

※ 노동비 : 2015년 농축산물소득자료집(경남, 시설고추, 6,653kg/10a, 1,545천원 )/포장비 : 1,200원/박스

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

연구개발목표		연구개발내용	달성도 (%)
1차년도 (2015 ~ 2016)	시설פות고추 단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 3종 실증	실증농가 선정, 패키지기술 투입 및 효과 실증 조사 ○ 패키지 1 : SH원적외열선+수평수직보온커튼+공기유동장치 - 대조 : 소형전기온풍난방 - 설치농가 : 진주 금산면 ○ 패키지 2 : 알루미늄덕트 + 수평보온커튼 + 공기유동장치 - 대조 : 비닐온풍덕트난방 + 공기유동장치 - 설치농가 : 진주 문산면 ○ 패키지 3: 스텐온수배관 + 수평수직보온커튼 + 공기유동장치 - 대조 : PE배관중방위 난방 + 수평보온커튼 - 설치농가 : 창녕 도천면 ○ 조사내용 : 온실환경, 에너지사용, 생육 및 수량	100
2차년도 (2016 ~ 2017)	시설פות고추 단동비닐하우스 에너지절감 패키지 기술 개선 3종 실증	패키지 투입기술 개선 및 효과 실증 조사 ○ 패키지 1 : SH원적외열선+수평수직보온커튼+공기유동장치 - 개선사항 : SH원적외열선 추가 증설 ○ 패키지 2 : 알루미늄덕트 + 수평보온커튼 + 공기유동장치 ○ 패키지 3: 스텐온수배관 + 수평수직보온커튼 + 공기유동장치 - 개선사항 : 온수배관 증설, 전기온수보일러 개별설치 ○ 조사내용 : 온실환경, 에너지사용, 생육 및 수량	100

본 연구에서는 패키지기술 I, III 1년차 실험결과를 바탕으로 난방효율을 높이는 방향으로 시설을 개선하여 수량증가와 에너지절감 효과를 보았다. 이들 결과를 바탕으로 농가에 패키지 기술을 보급할 경우 소득증가 효과를 기대할 수 있으리라 판단된다. 광폭형 단동비닐하우스 이용 시설פות고추 축성재배 시 유류온풍, 전기온풍, 전기온수, 연탄 온수 등 다양한 난방방법이 적용되고 있는데, 전기기반 원적외열선을 이용하여 난방을 할 경우, 설치위치에 따른 온도편차나 가동 중단에 따른 작물의 불균일한 생장 등 소형 온풍기의 단점을 보완할 수 있을 것으로 기대된다. 전기온수보일러의 경우 내구연한이 짧은 PE배관을 대신하여 스텐주름관을 사용하여 열효율을 높였고 배관의 위치에 따라 작물 생육에 영향을 미치는 것을 판단되었다. 또한 낙후된 시설פות고추용 광폭형 단동 비닐하우스의 시설을 개선하는 사업을 실시하여 패키지기술 내 농자재 생산업체의 활력을 주도할 수 있으며, 관련 산업이 발전할 것으로 기대된다.

## 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

### 1. 정책 제안 (에너지절감 기술 보급 제안)

본 연구에서 획득한 연구 성과를 기초로 하여 풋고추 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 확산을 위한 온수배관 지원을 정책부서에 제안하고 풋고추 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 확산을 위한 나노원적외열선 지원을 지자체에 각각 제안을 하여 기술 확산 및 보급 사업이 진행될 수 있으리라 생각된다. 또한 관련 자료를 바탕으로 농가에 교육, 지도, 홍보를 실시하여 패키지 기술을 확산시킴과 동시에 탄소 배출권의 농업적 활용 가능성을 제시할 수 있으리라 생각된다.

	주관부처	정책제안 제목
1	농림축산식품부	- 풋고추 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 확산을 위한 온수배관 지원
2	경상남도	- 풋고추 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 확산을 위한 나노원적외열선 지원

### 2. 영농활용

	영농활용 제목
1	풋고추 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술(스텐온수배관+보온커튼+유동팬)
2	풋고추 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술(SH원적외열선+보온커튼+유동팬)

### 3. 홍보자료

번호	홍보유형	매체명	홍보내용	홍보일자
1	신문	연합뉴스	‘경영비 40%’ 시설풋고추 난방비 잡다	2016. 02. 29
2	신문	NEWS1	경남농기원, 에너지절감 패키지기술 개발 추진	2016. 03. 01
3	방송	KBS 창원	농업기술원, 시설풋고추 난방비 절감 기술 개발	2016. 03. 02
4	신문	경남일보	농업기술원, 시설풋고추 농가 난방비 줄인다	2016. 03. 02
5	신문	경남매일	시설풋고추 난방 40% 절감 촉진	2016. 03. 02
6	신문	경남도민신문	도농기원 ‘에너지절감 패키지기술 개발’ 추진	2016. 03. 02
7	신문	한국농어민신문	경남도, 시설풋고추 난방비 절감기술 개발 순항	2016. 03. 04
8	신문	프레시안	경남도농기원, ‘에너지절감 패키지기술개발’ 실증농가 현장평가회 개최	2017. 03. 28
9	신문	뉴스경남	시설풋고추, 실용기술로 승부한다	2017. 03. 28
10	신문	중부뉴스통신	경남도 농업기술원, 시설풋고추 실용기술로 승부	2017. 03. 28
11	신문	경남일보	시설풋고추 에너지절감 실용기술로 만든다	2017. 03. 29
12	신문	경남도민신문	시설풋고추 농가 경영비 실용기술로 ‘승부’	2017. 03. 29
13	신문	열린뉴스	경남도농업기술원, 시설풋고추 실용기술로 승부	2017. 03. 29
14	신문	뉴시스	경남도농기원, 시설풋고추 단동비닐하우스 에너지절감 기술개발	2017. 07. 31
15	신문	NEWS1	경남농기원, 겨울철 시설하우스 에너지 절감 기술개발	2017. 07. 31

#### 4. 학술발표 및 매뉴얼

제 목	
1	시설팍고추 에너지절감 패키지 기술 I : 보온스크린 + 공기유동팬 + 나노합금열선
2	시설팍고추 에너지절감 패키지 기술 II : 보온스크린 + 공기유동팬 + 바우어덕트
3	시설팍고추 에너지절감 패키지 기술 III : 보온스크린 + 공기유동팬 + 온수난방배관개선
4	시설팍고추 에너지절감 패키지 기술 매뉴얼(온수배관)

#### 5. 현장평가회

##### 당당한 경남시대



##### 시설팍고추 에너지절감 패키지기술 개발 현장실증 평가회 추진 결과

업무보고  
'16. 2. 26(금)

『시설팍고추 에너지절감 패키지기술 개발』과제의 패키지기술 실증 효과 등에 대한 현장평가회 추진 결과입니다.

##### 주요내용

- 일시 : 2016. 2. 25(목) 10:30 ~ 15:00
- 장소 : 경남 진주시 문산읍 이곡리 1290-2 이장만 농가 온실, 경남 진주시 금산면 장사리 1326-33 김영희(성병기) 농가 온실  
\* 창원군 도원면 김리연(구교중) 농가는 서류 김도로 대체
- 참석인원 : 48명(시설팍고추 개발농가 30, 에너지절감사업단 5, 경북농업기술원 3, 경기도농업기술원 1, 진주시 1, 농업기술원 8)

##### 실증 에너지절감 패키지기술

- 수평 보온커튼 + 공기유동장치 + 온풍기 덕트 개선 (진주 문산)
- 수평보온커튼 + 수직다점보온커튼 + 공기유동장치 + 나노합금열선 (진주 금산)
- 수평보온커튼 + 수직다점보온커튼 + 공기유동장치 + 온수배관 개선 (창녕)

##### 실증 결과 요약

- 창녕 : 상품수량 8.2% 증수, 생육 양호, 에너지 사용량 차이 없음
- 문산 : 수량차이 없음, 유통사용량 15%, 열량 25%, 유통비 40% 절감
- 금산 : 수량차이 없음, 전력사용량 35%, 전기요금 730원/10a 절감



에너지절감 사업개요 설명

현장 설명 및 토론

##### 주요의견

- 패키지기술의 실증을 통한 에너지절감 효과를 정적으로 농업인 지원에 꼭 활용
- 2차년도 연구사업 수행 시 밴드 등 SNS 통해 공지 필요

수출농식품연구과장  
채소담당 김우일(☎254-1413)

##### 당당한 경남시대



##### 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 개발 실증농가 현장평가회 실시 결과

업무보고  
'17. 3. 28(화)

‘농업에너지절감 모델개발 사업단’ 실증과제인『시설팍고추 단동 비닐 하우스 에너지절감 패키지기술 개발』실증농가 평가회를 통한 성과 확산

##### 개 요

- 일 시 : 2017. 3. 28(화) 11:00 ~ 14:00
- 장 소 : 진주시 금산면 장사리 1326-33(김영희 농가 포장)

##### 평가회 내용(중간연구결과)

	투입기술	성과	농가반응
I	SH원적외열선+ 내부 수평·수직 보온커튼 + 공기유동장치 * 개선사항 : SH원적외열선 500m 증설 (대조 : 소형 전기온풍난방)	· 에너지 13% 절감 · 생산성 1% 정도 증가 (도양은도 상승효과)	· 감량감소 · 발생가능성 · 발생가능성 · 발생가능성
II	온풍덕트 개선 + 내부 수직 보온커튼 + 공기유동장치 (대조 : 유통온풍난방 + 공기유동장치)	· 에너지 5% 절감 · 생산성 향상 효과 없음	· 온풍 덕트 · 내부성 문제
III	온수배관 개선 + 내부 수직 보온커튼 + 공기유동장치 * 개선사항 : 스텔주름관 800m 증설 및 하부이동 (대조 : PE배관 증설위난방)	· 에너지 10% 절감 · 생산성 1% 정도 증가 (도양은도 상승효과)	· 온수배관 · 발생가능성 · 발생가능성



< 실증시험 결과 설명 >

##### 결론

- 경남지역에 적합한 단동비닐하우스 에너지절감 패키지기술 보급 확산

원예연구과장  
채소담당 정완규(☎254-1412)

#### 6. 인력활용/양성

연구인력 활용/양성 성과													
번호	분류	기준년도	인력양성 현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	기간제근로자 채용	2016~2017			8			8			8		

## 제 6 장   참고문헌

1. 김희준, 리혁, 강태환, 한충수, 조성찬 (2014). 원적외선 난방시스템이 방울토마토 생육에 미치는 영향. 바이오시스템공학 34(3) : 161-166.
2. 강금춘, 이시영, 백이 (2009). 전기난방기 난방방식에 따른 특성 구명 연구, 국립원예특작과학원 시험연구보고서. 2008-6 : 608-626.
3. 유인호, 윤남규, 조명환, 류희룡, 문두경 (2014). 유동팬이 설치된 온실 내 기류 및 기온분포 해석을 위한 CFD 모델 개발. CNU Journal of Agricultural Science 41(3) : 416-472.
4. M. Teitel, M. Atias, M. Barak (2010). Gradients of temperature, humidity and CO<sub>2</sub> along a fan-ventilated greenhouse. Biosystems engineering 106 : 166-174.
5. Matsuura, S. et al.(2004) Effect of horizontal airflow by circulation fan on disease incidence, growth and yield of tomato forcing culture in vinyl-house. Hiroshima Kenritsu Nougyou Gijutus 76 : 11-17.



## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 “통합형 농업혁신모델개발 사업단 (사업단명 : 농업에너지절감모델개발)” 의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 통합형 농업혁신모델 사업단(사업단명 : 농업에너지절감모델개발)의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.