

120055  
-01

보안 과제( ), 일반 과제( O ) / 공개( O ), 비공개( )발간등록번호( O )  
농축산자재 산업화기술 개발사업

수중  
플라즈마  
방전  
방식을  
이용한  
고효율  
농업용  
보일러  
개발

발간등록번호

11-1543000-003635-01

# 수중 플라즈마 방전 방식을 이용한 고효율 농업용 보일러 개발

최  
종  
보  
고  
서

2021. 08. 06

2021

주관연구기관 / (주)지에이  
협동연구기관 / 공주대학교

농림식품기술기획평가원  
농림축산식품부

농 립 축 산 식 품 부

(전문기관) 농림식품기술기획평가원

## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “수중 플라즈마 방전 방식을 이용한 고효율 농업용 보일러 개발”  
(개발기간 : 2020. 04. 29 ~ 2021. 04. 28)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2021. 08. 06.

주관연구기관명 : (주)지에이      김 길 호  
협동연구기관명 : 공주대학교      임 경 호



주관연구책임자 : 김 길 호  
협동연구책임자 : 강 태 환



국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

| 최종보고서                |             |                                     |             |   |             |                                    |             |      |  | 보안등급           |  |
|----------------------|-------------|-------------------------------------|-------------|---|-------------|------------------------------------|-------------|------|--|----------------|--|
|                      |             |                                     |             |   |             |                                    |             |      |  | 일반[○], 보안[ ]   |  |
| 중앙행정기관명              |             | 농림축산식품부                             |             |   | 사업명         |                                    | 사업명         |      |  | 농축산지재산업화기술개발사업 |  |
| 전문기관명                |             | 농림식품기술기획평가원장                        |             |   | 사업명         |                                    | 내역사업명)      |      |  |                |  |
| 공고번호                 |             | 농축2020-76호                          |             |   | 총괄연구개발 식별번호 |                                    |             |      |  |                |  |
|                      |             |                                     |             |   | 연구개발과제번호    |                                    |             |      |  | 120055-01      |  |
| 기술분류                 | 국가과학기술 표준분류 |                                     | 1순위 소분류 코드명 | 60 %  | 2순위 소분류 코드명 | 20 %                               | 3순위 소분류 코드명 | 20 % |  |                |  |
|                      | 농림식품과학기술분류  |                                     | 1순위 소분류 코드명 | 60 %  | 2순위 소분류 코드명 | 20 %                               | 3순위 소분류 코드명 | 20 % |  |                |  |
| 총괄연구개발명 (해당 시 작성)    |             | 국문                                  |             |   |             |                                    |             |      |  |                |  |
|                      |             | 영문                                  |             |   |             |                                    |             |      |  |                |  |
| 연구개발과제명              |             | 국문                                  |             | 수중 플라즈마 방전 방식을 이용한 고효율 농업용 보일러 개발   |             |                                    |             |      |  |                |  |
|                      |             | 영문                                  |             | Development of high efficiency agricultural boiler using underwater plasma discharge method |             |                                    |             |      |  |                |  |
| 주관연구개발기관             |             | 기관명 (주지에이)                          |             |   | 사업자등록번호     |                                    |             |      |  |                |  |
|                      |             | 주소 (우)12730 경기도 광주시 초월읍 산수로 709-102 |             |   | 법인등록번호      |                                    |             |      |  |                |  |
| 연구책임자                |             | 성명                                  |             | 김길호   |             | 직위                                 |             | 대표이사 |  |                |  |
|                      |             | 연락처                                 |             | 직장전화  |             | 휴대전화                               |             |      |  |                |  |
|                      |             |                                     |             | 전자우편  |             | 국가연구자번호                            |             |      |  |                |  |
| 연구개발기간               |             | 전체                                  |             | 2020. 04. 29. - 2021. 04. 28. (12개월)  |             |                                    |             |      |  |                |  |
|                      |             | 단계 (해당 시 작성)                        |             | 1단계   |             | YYYY. MM. DD - YYYY. MM. DD( 년 개월) |             |      |  |                |  |
|                      |             |                                     |             | n단계   |             | YYYY. MM. DD - YYYY. MM. DD( 년 개월) |             |      |  |                |  |
| 연구개발비 (단위: 천원)       |             | 정부지원 연구개발비                          |             | 기관부담 연구개발비  |             | 그 외 기관 등의 지원금                      |             |      |  | 연구개발비의 지원금     |  |
|                      |             | 현금                                  |             | 현금  |             | 현금                                 |             | 현금   |  | 합계             |  |
| 총계                   |             | 178,000                             |             | 122,000   |             |                                    |             |      |  | 300,000        |  |
| 1단계                  |             | 1년차                                 |             | 178,000   |             | 122,000                            |             |      |  | 300,000        |  |
|                      |             | n년차                                 |             |   |             |                                    |             |      |  |                |  |
| n단계                  |             | 1년차                                 |             |   |             |                                    |             |      |  |                |  |
|                      |             | n년차                                 |             |   |             |                                    |             |      |  |                |  |
| 공동연구개발기관 등 (해당 시 작성) |             | 기관명                                 |             | 책임자   |             | 직위                                 |             | 휴대전화 |  | 전자우편           |  |
|                      |             | 공주대학교                               |             | 김태환   |             | 부교수                                |             |      |  | 비고             |  |
|                      |             |                                     |             |   |             |                                    |             |      |  | 역할 기관유형        |  |
|                      |             |                                     |             |   |             |                                    |             |      |  | 공동 연구 대학교      |  |
| 위탁연구개발기관             |             |                                     |             |   |             |                                    |             |      |  |                |  |
| 연구개발기관 외 기관          |             |                                     |             |   |             |                                    |             |      |  |                |  |
| 연구개발담당자 실무담당자        |             | 성명                                  |             | 박인철   |             | 직위                                 |             | 전무이사 |  |                |  |
|                      |             | 연락처                                 |             | 직장전화  |             | 휴대전화                               |             |      |  |                |  |
|                      |             |                                     |             | 전자우편  |             | 국가연구자번호                            |             |      |  |                |  |

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2021년 6월 20일

연구책임자: 김길호 (인)  
 주관연구개발기관의 장: 김길호 (인)  
 공동연구개발기관의 장: 임경호 (인)  
 위탁연구개발기관의 장:



농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

## < 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

|                        |   |   |   |                       |                          |                            |           |  |
|------------------------|---|---|---|-----------------------|--------------------------|----------------------------|-----------|--|
| 사업명                    | 농축산자재산업화기술개발사업  |   |   |                       | 총괄연구개발 식별번호<br>(해당 시 작성) |                            |           |  |
| 내역사업명<br>(해당 시 작성)     |   |   |   |                       | 연구개발과제번호                 |                            | 120055-01 |  |
| 기술<br>분류               | 국가과학기술<br>표준분류  | 1순위 소분류 코드명<br>LB0802   | 60<br>%   | 2순위 소분류 코드명<br>LB0805 | 20<br>%                  | 3순위 소분류 코드명<br>LB0203      | 20%       |  |
|                        | 농림식품<br>과학기술분류  | 1순위 소분류 코드명<br>RC0101   | 60<br>%   | 2순위 소분류 코드명<br>RC0102 | 20<br>%                  | 3순위 소분류 코드명<br>AA0204      | 20%       |  |
| 총괄연구개발명<br>(해당 시 작성)   |   |   |   |                       |                          |                            |           |  |
| 연구개발과제명                |   | 수중 플라즈마를 이용한 고효율 농업용 보일러 개발   |   |                       |                          |                            |           |  |
| 전체 연구개발기간              |   | 2020. 04. 29. - 2021. 04. 28. (12개월)  |   |                       |                          |                            |           |  |
| 총 연구개발비                |   | 총300,000천원<br>(정부지원연구개발비:178,000천원, 기관부담연구개발비 :122,000천원,<br>지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원) |   |                       |                          |                            |           |  |
| 연구개발단계                 |   | 기초[ ] 응용[ ] 개발[O]<br>기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]   |   | 기술성숙도<br>(해당 시 기재)    |                          | 착수시점 기준(실험)<br>종료시점목표(시제품) |           |  |
| 연구개발과제 유형<br>(해당 시 작성) |   |   |   |                       |                          |                            |           |  |
| 연구개발과제 특성<br>(해당 시 작성) |   |   |   |                       |                          |                            |           |  |
| 연구개발<br>목표 및 내용        | 최종 목표   |   | 수중 플라즈마 방전을 이용한 고효율 농업용 보일러 70kW 시<br>제품 개발   |                       |                          |                            |           |  |
|                        | 전체 내용   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 고효율 플라즈마 보일러 시제품 설계, 제작 및 성능평가</li> <li>○ 수중 플라즈마 방전 방식을 이용한 고효율 농업용 보일러<br/>난방효율 실증 테스트</li> <li>○ 수중 플라즈마 방전 방식을 이용한 고효율 농업용 보일러<br/>경제성 분석</li> </ul> |                       |                          |                            |           |  |
|                        | 1단계<br>(해당 시 작성)  | 목표  |   |                       |                          |                            |           |  |
|                        |   | 내용  |   |                       |                          |                            |           |  |
| n단계<br>(해당 시 작성)       | 목표  |   |   |                       |                          |                            |           |  |
|                        | 내용  |   |   |                       |                          |                            |           |  |
| 연구개발성과                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연구 결과에 따른 조속한 상품화 개발을 통하여 고효율 플라즈마 보일러 관련<br/>독자적 위치 확보 및 신기술의 전극보일러난방 분야 블루오션 시장 선점</li> <li>○ 플라즈마 방전방식 히터코어 트레인의 설계기술, 전극코어 재료, 다중도금기술<br/>및 플라즈마 보일러 전용 micom controller 설계기술 등 핵심기술이 확보됨에<br/>따라 소재 및 연관 산업으로의 기술적, 경제적 효과 파급</li> <li>○ 플라즈마 보일러는 보일러 기술 분야 선진국인 러시아에서 개발되어 상품화된<br/>기술이지만 기존에 가지고 있는 결함을 완전히 해결할 수 있는 원천기술을 획득<br/>함에 따라 후발주자로서 글로벌 시장에 성공적으로 진출하여 수익 창출</li> <li>○ 종래 미답이었던 수중 플라즈마 현상에 대한 기술적 이해와 분석이 가능함에 따<br/>라 관련 기술인력 양성 및 관련 분야 미래 신기술 개발의 바탕을 마련</li> <li>○ 플라즈마 방전 방식 고효율 보일러의 개발로 국내외 시장의 안정적인 농업용 보<br/>일러 제품 공급이 가능</li> </ul> |   |   |                       |                          |                            |           |  |

|                                      |  |                      |                     |                          |                         |                      |                     |                      |                      |            |            |  |
|--------------------------------------|--|----------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------|------------|--|
| <p>연구개발성과<br/>활용계획 및<br/>기대 효과</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 전극코어 전극코어 재료, 다중도금기술을 확보하여 기존 전극보일러의 결함을 배제하고, R,S,T 및 N상 전부를 활용하면서도 누전이 전혀 없이 안전한 플라즈마 보일러에 대한 원천기술을 획득</li> <li>○ 물 자체가 발열하는 고효율 전극보일러 분야 독자적 원천기술 확보에 따른 다양한 제품 전개로 글로벌 신에너지 산업으로의 적극 진출 가능</li> <li>○ 내수시장 진출 : 고효율 보일러 분야 조달청 등록 후 에너지융합리화사업 진출 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 농업분야 : 비닐하우스 및 온실용 온풍난방 보일러</li> <li>- 어업분야 : 치어, 치패 양식장 수조수 가온용 보일러</li> </ul> </li> <li>○ 해외시장 진출 : 상품화 완료 후 기존에 확보된 바이어를 통한 해외시장 출시 및 유수 농어업용기계전시회에 참가하여 관련업계 메이저 상담 및 수주</li> </ul> |                      |                     |                          |                         |                      |                     |                      |                      |            |            |  |
| <p>연구개발성과의<br/>비공개여부 및 사유</p>        | <p>비공개 사유 : 본 연구개발 성과를 바탕으로 2021년부터 3년간 기술사업화 개발 사업을 추진하므로 주관연구기관의 시제품 설계 및 성능시험 관련 정보 노출이 경쟁사로 하여금 기술모방이 우려됨</p>  |                      |                     |                          |                         |                      |                     |                      |                      |            |            |  |
| <p>연구개발성과의<br/>등록·기탁 건수</p>          | <p>논문</p>  | <p>특허</p>            | <p>보고서<br/>원문</p>   | <p>연구<br/>시설<br/>·장비</p> | <p>기술<br/>요약<br/>정보</p> | <p>소프트<br/>웨어</p>    | <p>표준</p>           | <p>생명자원</p>          |                      | <p>화합물</p> | <p>신품종</p> |  |
|                                      | <p>1</p>   |                      |                     |                          |                         |                      | <p>생명<br/>정보</p>    | <p>생물<br/>자원</p>     | <p>정보</p>            |            | <p>실물</p>  |  |
| <p>연구시설·장비<br/>종합정보시스템<br/>등록 현황</p> | <p>구입<br/>기관</p>   | <p>연구시설<br/>·장비명</p> | <p>규격<br/>(모델명)</p> | <p>수량</p>                | <p>구입<br/>연월일</p>       | <p>구입가격<br/>(천원)</p> | <p>구입처<br/>(전화)</p> | <p>비고<br/>(설치장소)</p> | <p>ZEUS<br/>등록번호</p> |            |            |  |
| <p>국문핵심어<br/>(5개 이내)</p>             | <p>플라즈마</p>  |                      | <p>방전</p>           |                          | <p>난방기</p>              |                      | <p>시설하우스</p>        |                      | <p>에너지</p>           |            |            |  |
| <p>영문핵심어<br/>(5개 이내)</p>             | <p>plasma</p>  |                      | <p>discharge</p>    |                          | <p>heater</p>           |                      | <p>green house</p>  |                      | <p>energy</p>        |            |            |  |

## < 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

별첨 자료 (참고 문헌 등)

## 1. 연구개발과제의 개요

국내 시설하우스 재배면적은 2019년 기준 81,195ha, 난방면적은 15,878ha이고, 이중 화석 연료를 사용하여 난방하는 온실 면적은 13,864ha로서 전체 난방면적의 87%를 차지하고 있다. 특히 겨울철 자동화 온실에서 난방기를 사용하여 채소 및 화훼류를 재배할 경우 생산비 중에 난방비가 차지하는 비중이 40%를 상회하는 실정이다. 국내 시설 농가에서는 동절기 작물을 재배하기 위하여 온풍난방기, 라디에이터, 온수난방, 태양열난방 시스템 등을 사용하고 있고, 이중 농업용 난방기는 유류버너가 장착된 온풍기가 80% 이상 차지하고 있으며, 공통적인 당면 과제는 고품질 작물의 다수확과 온실 난방비 절감에 있다.

전기온풍 난방기는 초겨울과 초봄 등 외부기온이 크게 낮지 않은 시기에 난방효과가 있으나 100kW 초과시 유지비 증가, 한겨울 또는 고온성작물 재배시 발열량 부족 등의 문제점이 있으며, 경유용 온풍 난방기는 최근 급증한 유가로 인해 시설 농가의 난방비 부담이 큰 실정이다. 또한 규모화된 시설하우스의 경우 비닐 덕트를 이용하여 난방용 공기를 이송시키고 있으나, 난방기 입구로부터 배출되는 공기 온도가 50°C 내외로 낮고, 비닐 덕트를 출구 쪽에서의 온도 편차가 크기 때문에 온실내부 기온분포가 균일하지 못한 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 에너지 효율이 높고, 급속가열이 가능하며, 토출 공기의 온도가 높아 시설 온실 내부 온도를 균일하게 유지할 수 있는 수중 플라즈마 방전 방식의 농업용 온풍 난방기를 개발하였다

표 1 국내 시설하우스 난방 면적 (단위 : ha)

| 연도   | 온풍난방 면적 | 온수난방 면적 |     |
|------|---------|---------|-----|
|      |         | 방열관     | 팬코일 |
| 2015 | 11,632  | 1,785   | 397 |
| 2016 | 11,734  | 1,244   | 289 |
| 2017 | 12,300  | 1,249   | 470 |
| 2018 | 12,209  | 1,209   | 446 |

### ○ 수중 플라즈마 방전 방식 고효율 보일러 주요 구성 및 핵심기술

미량의 전해질이 있는 물에 전극을 넣어 교류 전기 에너지를 직접 공급하면 전해수(물+전해질)는 전기분해에 의하여 수소이온(H+)과 수산이온(OH-)으로 분해되면서 동시에 직경 1미크론 이하의 나노 버블(nano bubble)이 발생하여 수중 플라즈마 상태를 형성한다. 전해과정에서 발생된 이온들은 교류전원의 주파수에 따라 전극 극성이 바뀌므로 각 전극과 이온들 간 인력과 반발력에 의하여 진동이 발생되면서 이온 주변 물분자들의 진동 마찰을 유도하고, 이러한 현상으로써 전극의 가열이 아닌 전해수 자체가 발열되는 원리이다. 또한 나노 버블(nano bubble)은 내부 기압이 수십 기압 이상으로 물속에서 폭발할 때 에너지가 발생하여 부가적으로 물을 가열한다.

이 같은 원리의 수중 플라즈마 방전방식 히터는 전극 간 전하 이동, 즉 전류 흐름이 전해질 이온을 매개로 하므로 전해수를 통한 누설전류가 없도록 구조를 갖추는 것이 안전 상 매우 중요하며, 이것은 플라즈마 히터의 R, S, T 상 코어와 하우징에 N상 사이에 상호의 형상 및 물리적 구조에 의하여 결정된다. R, S, T 상 코어와 하우징의 N상 간 플라즈마 방전을 유도하는 것은 전극 보일러 분야의 독자적인 수중 플라즈마 발열기술이며, 누전전압을 1V 이하로 낮추어 가용 전기에너지를 극대화 할 수 있을 뿐 아니라, 나노 버블(nano bubble) 폭발 시 발생하는 에너지가 부가되어 전기에너지의 열에너지로 변환율을 100% 또는 초과하여 발휘할 수 있다.

한편, 수중 플라즈마 발열기술의 핵심 부품으로서 히터코어 재료는 지금까지 스테인레스강, 탄소강 주류를 이루고 있으나, 플라즈마 방전 시 전기분해에 의한 전해부식이 발생하여 히터코어 합금재료 내의 철성분이 석출되어 산화되면서 원수를 오염시킬 뿐 아니라 전해질과 결합 후 히터코어 표면에 고착되면서 방전강도를 저하시키는 치명적 결점으로 작용함. 이러한 문제의 해결을 위하여 히터코어 base metal과 방식도금 방법과 함께 부식현상을 방지할 수 있는 전해수가 개발되어야 한다.

니크롬 발열체는 자체의 온도가 올라서 물을 가열시키므로 발열량은 700kcal/kW 이하 수준이나, 플라즈마 발열체는 물의 상태변화를 동반하므로 발열량이 Joule 발열량인 860kcal/kW 에 이르러 니크롬발열 대비 120~130% 효율이 높으며, 오일 연료비 대비하면 25~30% 에너지 비용을 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

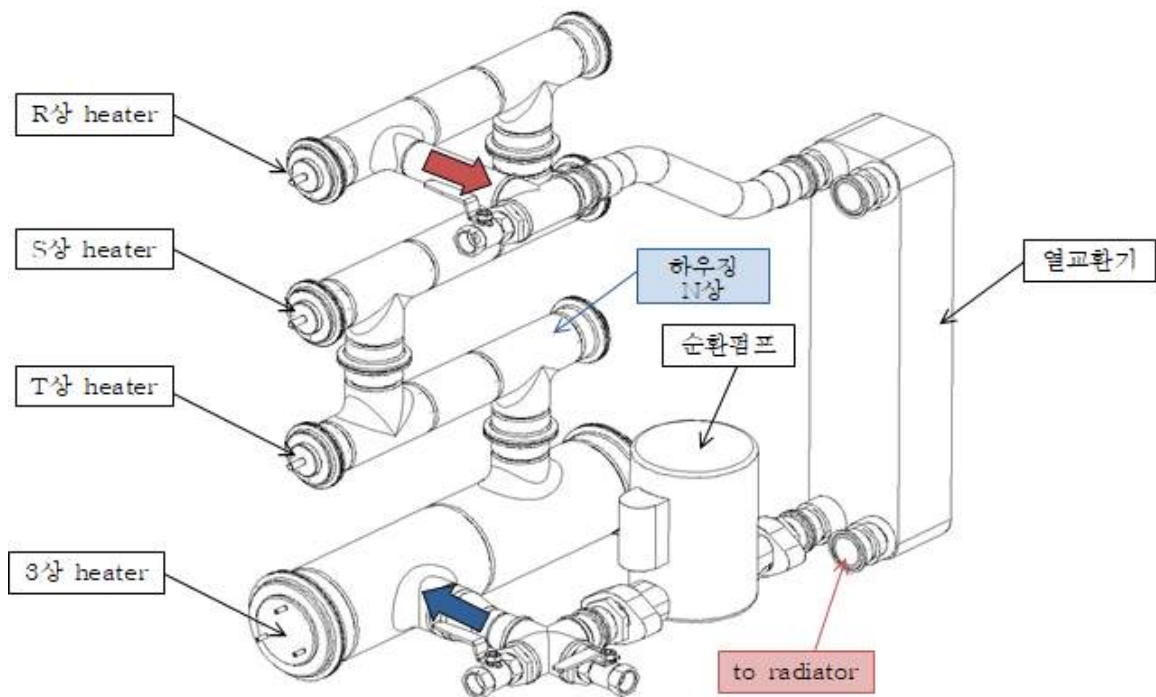


그림 1. 수중 플라즈마 방전 방식 고효율 보일러 주요 구성



## 2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

### 2-1 수중 플라즈마 방전 히터 트레이 설계, 제작

본 연구에서는 수중 플라즈마 방전 방식의 농업용 온풍 난방기 개발을 위한 플라즈마 방전 히터코어 및 이를 채용하여 R,S,T상과 N상 하우징 간 효율적인 방전이 발생하도록 플라즈마 히터코어 트레이를 우선적으로 설계, 제작하였다.

아래 그림은 플라즈마 히터코어 트레이의 기초 성능을 실험하기 위한 40kW급 히터코어 트레이 설계도이다, 본 설계도와 같이 히터코어와 하우징은 동축 구조를 이루어 히터코어의 원주 방사면 전체를 통하여 방전되도록 하며, 이 때 히터코어와 하우징 간 간격은 전하이동의 누설이 없도록 실험적으로 확인된 바 코어직경의 20~35% 범위로 구성한다. 각 상의 연결은 직렬로 구성하여 입수측 상으로부터 출수측 상까지 난방수가 고속으로 흐르는 동안 20°C 이상 충분히 온도가 상승되도록 유도하며, 각 상간의 방전 교차왜곡을 방지하여 누설전류를 최소화 한다.

한편 히터코어 트레이의 입수측에는 T상 히터코어 전단에 R,S,T 3상 히터코어와 N상 하우징이 동시에 구성된 PRE-HEATER를 부가적으로 구성하여 보일러 최초 운전 시 초기 낮은 온도의 난방수를 신속하게 가열하는 목적으로 사용한다. 난방수 입수온도가 설정치에 도달하면 PRE- HEATER에 공급되는 전력은 차단된다.

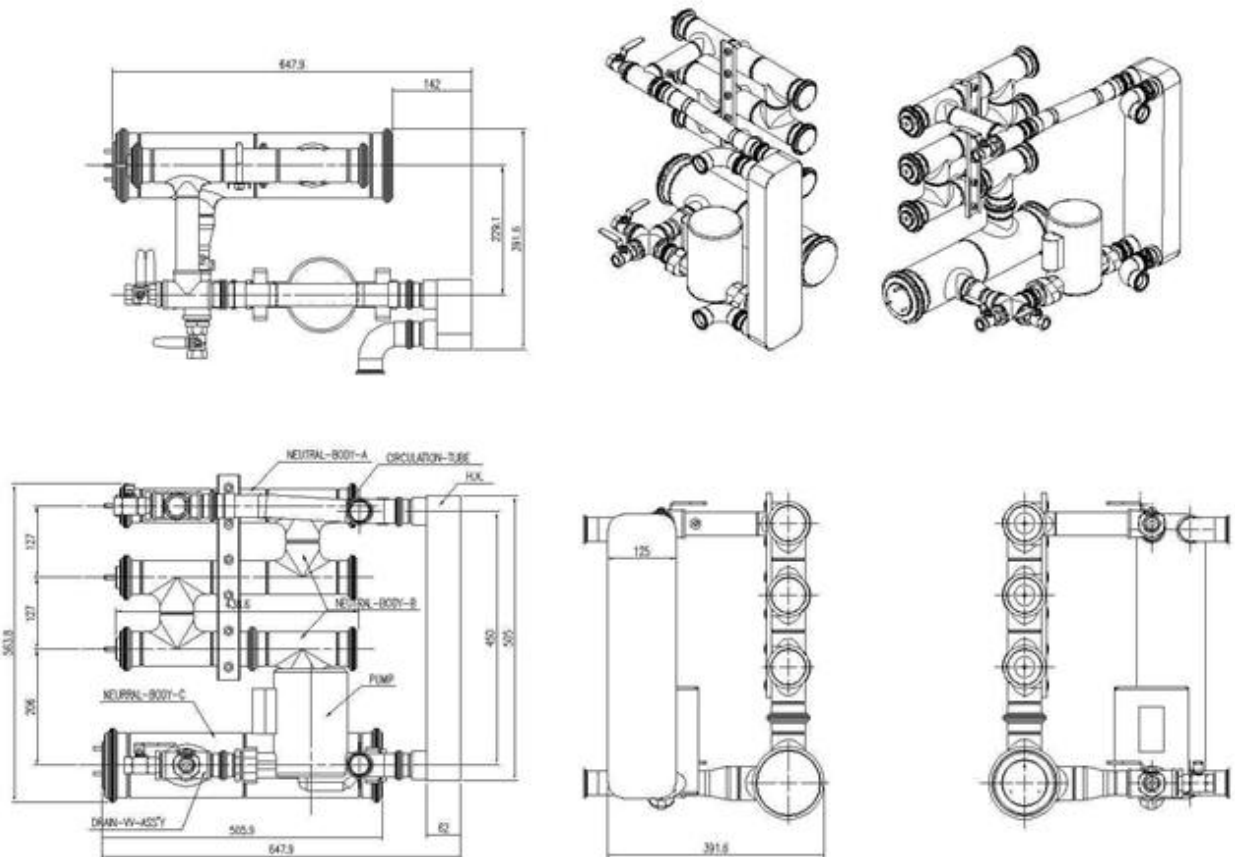


그림 2. 수중 플라즈마 방전 히터코어 트레이 (40kW급) 설계도

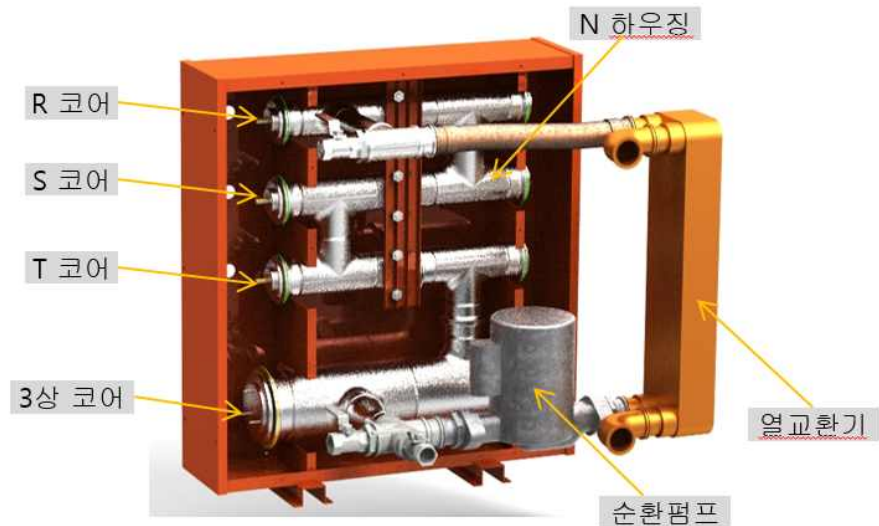


그림 3. 수중 플라즈마 방전 히터코어 트레인 (40kW급) 제작도

## 2-2. 수중 플라즈마 방전 방식 고효율 농업용 보일러 기초성능 평가

가. 플라즈마 히터코어 트레인 발열성능 측정장치

70kW급 플라즈마 방전방식 농업용 보일러 개발을 위한 플라즈마 방전 히터코어 트레인의 발열성능 등 기초 성능을 평가하기 위하여 그림 4와 같은 발열량 40kW급 실험장치를 구성하였다. 발열량을 40kW로 축소한 이유는 70kW급 발열량은 60,000kcal/hr 정도로서 기초성능을 측정하려면 2,000L 이상의 물탱크가 설치되어야 하는 등 방대한 실험장치가 필요지만, 70kW급 대비 모든 구성이 동일하면서 전극봉의 길이만 4/7로 축소된 40kW급을 측정할 경우 1000L 물탱크가 설치되며, 측정치의 특성이 서로 동일하다고 판단되었기 때문이다. 따라서 발열량 40kW급 플라즈마 히터코어 트레인의 발열량, 열효율, 가온시간 및 출수온도 편차 등을 측정하기 위하여 그림과 같이 40kW급 플라즈마 히터코어 트레인에 구성된 50,000kcal/hr 급 열교환기를 경계로 히터코어 트레인 가온수 순환유로와 1톤 난방수 탱크 및 1kgf/cm<sup>2</sup>-100L/min 순환 성능의 순환펌프로 구성된 난방수 순환유로를 조합하여 가온수로부터 난방수로 효율적인 열교환이 이루어지도록 하였다.

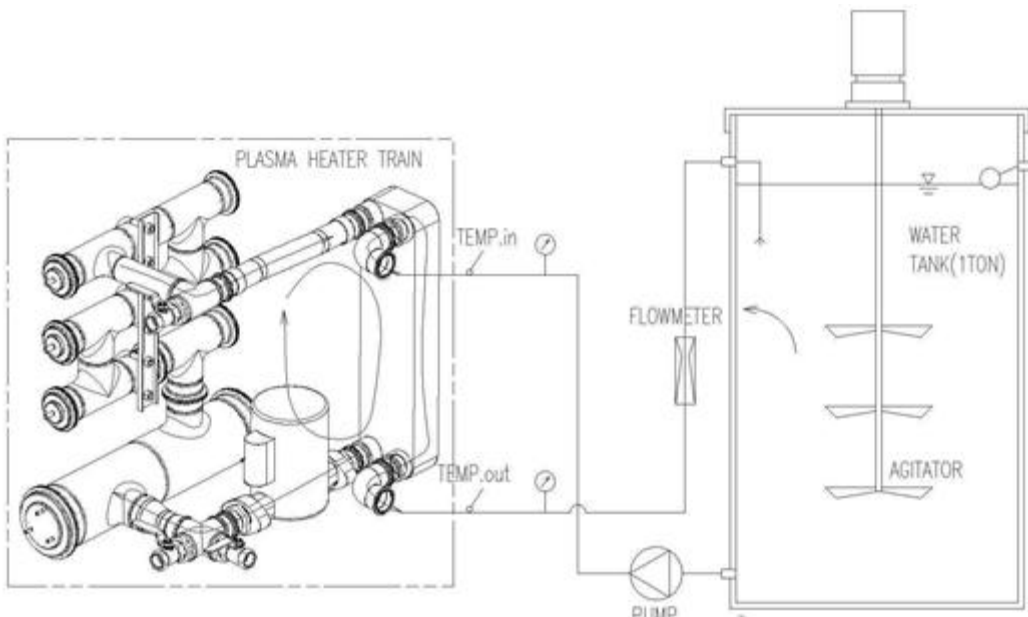


그림 4. 플라즈마 방전 히터코어 트레인 발열성능 실험장치

또한 난방수 순환유로에는 마그네틱 순간유량계 ( LF400AAB,Toshiba, Japan)를 설치하여 난방수 유량을 정밀하게 측정하였고, 열교환기 입출수 온도를 측정하기 위하여 RTD type 온도 센서(JIS규격품, 0.1°C급)를 난방수 유로의 열교환기 입,출수관에 삽입하여 구성하였다.



그림 5. 마그네틱 체적유량계 및 RTD온도센서

나. 플라즈마 히터코어 기초성능 평가

플라즈마 히터코어의 기초성능을 산출하기 위하여 1000L의 물을 유량 89 L/min 을 유지한 상태에서 설정온도 70°C까지 상승시킬 경우 입출수 온도, 유량, 소비전력, 투입열량, 방출열량 및 성능계수를 측정하였다. 40kW급 플라즈마 히터코어는 그림 6과 같이 설계, 제작하였고, 방전부 크기는  $\Phi 37.5 \times 403L$ 이다. 또한 히터코어의 재질을 STS316L와 STS316L + Cu/Pd/Pt 다중도금의 2가지로 제작하여 방식성능과 방전성능에 미치는 영향을 평가하였다.

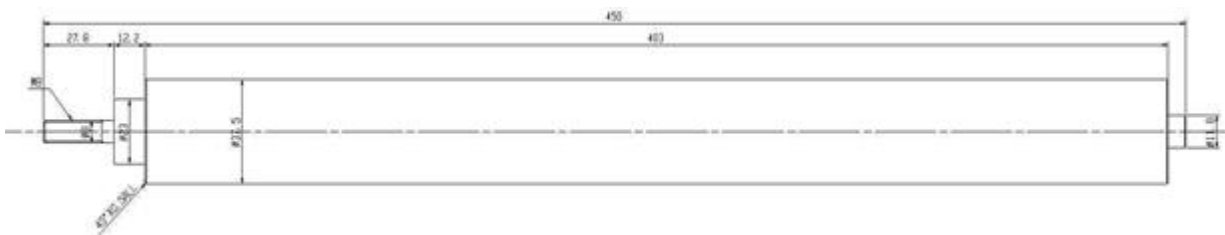


그림 6. 40kW급용 플라즈마 히터코어 형상

RTD온도센서는 디지털 온도표시장치 (T3S1-N4NP1C-N, Autonics)로 연결하여 온도를 측정하였고, 투입 전원의 전력은 디지털전력시험계기(KZT-1, 광성계측기)로 측정하였다. 실험장치가 정상 가동 후 매 5분마다 각 측정항목을 기록하였으며, 측정된 유량과 입,출수 온도 데이터를 이용하여 다음의 식 (1)과 (2)로부터 플라즈마 히터코어 트레인의 발열량과 열효율을 산정한다.

$$\text{발열량(kcal/hr)} = \text{유량(L/min)} \times 60 \times \text{유체밀도(kg/m}^3\text{)} / 1000 \times \text{유체비열(kcal/kg} \cdot \text{°C)} \\ \times \text{난방수 입,출수온도차(°C)} \quad (1)$$

$$\text{COP} = \text{발열량(kcal/hr)} / (\text{소비전력량(kW)} \times 860\text{kcal/kW}) \quad (2)$$

위의 식에서 물의 밀도와 비열은 미국표준연구소(NIST)에서 제공하는 REPPROP ver.9.1을 이용하여 난방수의 입,출수온도 평균값에서의 값을 구하여 사용하였다.

다음의 표는 물탱크의 최초온도 약 40°C에서 70°C 까지 상승될 때 각 전극봉 재질별 성능인자를 5분마다 측정하여 기록한 데이터와 그 측정치로 계산된 투입열량, 발열량 및 성능계수 결과이다.

| 전극봉-ST5316L             |         |        |          |           |           |          |               | 2020.08.13     |      |
|-------------------------|---------|--------|----------|-----------|-----------|----------|---------------|----------------|------|
| time                    | Voltage | Ampere | Tin (°C) | Tout (°C) | Q (l/min) | input kW | input kcal/hr | output kcal/hr | COP  |
| 10:20                   | 384     | 59.1   | 39.1     | 46.2      | 88.8      | 35.38    | 30,426.8      | 37,409.2       | 1.23 |
| 10:25                   | 385     | 60.9   | 42.2     | 49.1      | 85.9      | 36.55    | 31,433.0      | 35,174.3       | 1.12 |
| 10:30                   | 385     | 63.2   | 44.9     | 52.0      | 89.7      | 37.93    | 32,619.8      | 37,762.1       | 1.16 |
| 10:35                   | 384     | 64.5   | 48.2     | 55.2      | 85.3      | 38.61    | 33,204.6      | 35,339.9       | 1.06 |
| 10:40                   | 385     | 68.4   | 51.1     | 58.1      | 87.7      | 41.05    | 35,303.0      | 36,318.7       | 1.03 |
| 10:45                   | 385     | 70.0   | 53.9     | 61.0      | 92.5      | 42.01    | 36,128.6      | 38,795.8       | 1.07 |
| 10:50                   | 386     | 65.9   | 56.2     | 63.3      | 92.4      | 39.65    | 34,099.0      | 38,714.1       | 1.14 |
| 10:55                   | 385     | 67.5   | 59.0     | 65.9      | 92.6      | 40.51    | 34,838.6      | 37,682.8       | 1.08 |
| 11:00                   | 384     | 70.0   | 62.1     | 70.2      | 88.0      | 41.9     | 36,034.0      | 42,768.0       | 1.19 |
| 11:05                   | 385     | 72.5   | 65.0     | 74.1      | 88.1      | 43.51    | 37,418.6      | 47,097.6       | 1.26 |
| 11:10                   | 384     | 73.9   | 66.8     | 75.8      | 89.8      | 44.24    | 38,046.4      | 47,485.0       | 1.25 |
| 11:15                   | 385     | 74.0   | 69.0     | 77.3      | 88.7      | 44.41    | 38,192.6      | 43,203.6       | 1.13 |
|                         |         |        |          |           | average   | 40.5     | 34,812.1      | 39,812.6       | 1.14 |
| 전극봉-ST5316L + Pt coated |         |        |          |           |           |          |               | 2020.08.13     |      |
| time                    | Voltage | Ampere | Tin (°C) | Tout (°C) | Q (l/min) | input kW | input kcal/hr | output kcal/hr | COP  |
| 14:00                   | 384     | 35.2   | 44.3     | 48.3      | 94.3      | 21.07    | 18,120.2      | 22,384.9       | 1.24 |
| 14:05                   | 385     | 35.5   | 46.3     | 50.2      | 94.2      | 21.3     | 18,318.0      | 21,783.2       | 1.19 |
| 14:10                   | 384     | 36.0   | 47.2     | 51.2      | 94.5      | 21.55    | 18,533.0      | 22,375.5       | 1.21 |
| 14:15                   | 386     | 36.5   | 49.3     | 53.4      | 94.3      | 21.96    | 18,885.6      | 23,197.8       | 1.23 |
| 14:20                   | 386     | 52.1   | 52.2     | 57.9      | 94.4      | 31.35    | 26,961.0      | 31,833.1       | 1.18 |
| 14:25                   | 385     | 53.2   | 55.4     | 61.3      | 91.3      | 31.93    | 27,459.8      | 31,812.4       | 1.16 |
| 14:30                   | 385     | 53.2   | 57.2     | 63.2      | 85.0      | 31.93    | 27,459.8      | 30,088.1       | 1.1  |
| 14:35                   | 384     | 53.1   | 59.3     | 66.4      | 83.5      | 31.78    | 27,330.8      | 34,964.6       | 1.28 |
| 14:40                   | 385     | 64.0   | 63.4     | 71.3      | 84.5      | 38.41    | 33,032.6      | 39,272.7       | 1.19 |
| 14:45                   | 384     | 63.3   | 65.3     | 74.4      | 81.5      | 37.89    | 32,585.4      | 43,569.3       | 1.34 |
| 14:50                   | 386     | 62.6   | 67.3     | 75.2      | 81.5      | 37.67    | 32,396.2      | 37,828.8       | 1.17 |
| 14:55                   | 385     | 62.3   | 69.2     | 76.3      | 81.5      | 37.39    | 32,155.4      | 33,957.3       | 1.06 |
|                         |         |        |          |           | average   | 30.4     | 26,103.2      | 31,089.0       | 1.2  |

그림 7 ~ 그림 12는 40kW급 플라즈마 히터코어 트레인의 운전을 시작하여 60분간 측정된 난방수의 입,출수 온도와 유량 및 소비전력 등의 변화를 각 히터코어 별로 나타내었다. 총 1000L의 난방수에 별도의 부하가 연결되어 있지 않아서 난방수는 축열 상태로 실험이 진행되므로 입,출수 온도가 지속적으로 상승하였고, 이 때 5분마다 승온율은 각 코어재질이 동일하게

40~70°C까지 2°C에서 5°C로 비례적으로 상승하였다. 난방수 상한온도를 77°C로 제한하였으므로 70°C 이후 구간에서는 승온율이 감소되었다가 실험이 종료되었다. 이러한 현상은 수중 플라즈마 방전방식의 특성 상 물 자체가 가열되므로 온도 상승에 따라 물의 저항값이 저하되고, 방전전류가 상승하므로 투입전력의 증가에 따른 발열량 증가에 기인한다.

각 소재별 발열성능의 차이는 그림 9, 10, 11, 12과 같으며, 이로써 STS316L 소재에 백금 도금한 코어가 도금하지 않은 코어보다 소비전력은 10.1 kW/h 적게 소비된 것으로 나타났다. 투입열량과 방출열량은 백금 도금한 코어가 각각 26,103 Kcal/h, 31,089 Kcal/h 로 성능계수가 1.20로 나타났고, 도금하지 않은 코어의 경우에는 각각 34,812 Kcal/h, 39,812 Kcal/h 로 성능계수는 1.14로 나타났다. 이와 같은 결과로써 수중 플라즈마 방전방식 히터는 누전전압을 1V 이하로 낮출 수 있다면 가용 전기에너지를 극대화 할 수 있을 뿐 아니라, 나노 버블(nano bubble) 폭발 시 발생하는 에너지가 부가되어 전기에너지의 열에너지로 변환율을 100% 또는 초과하여 발휘할 수 있는 것이 증명되었다. 이같이 수중 플라즈마 방전방식 히터코어의 우수한 발열성능은 당해 과제와 후속 과제로서 진행되고 있는 '수중 플라즈마 방전 방식 농업용 보일러 상품화 기술 개발' 과제의 공식적인 성능시험을 통하여 입증할 계획이다.

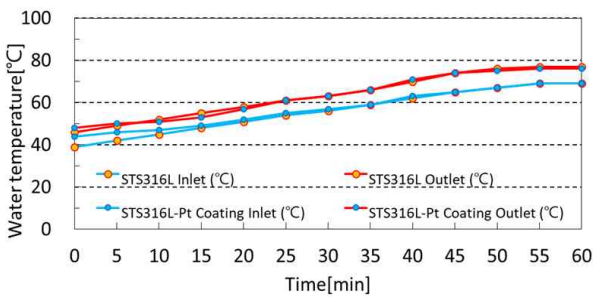


그림 7. 입출수 온도

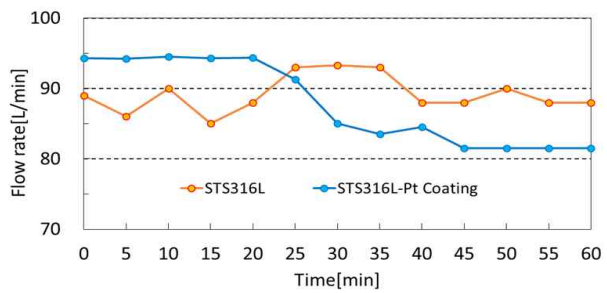


그림 8. 유량

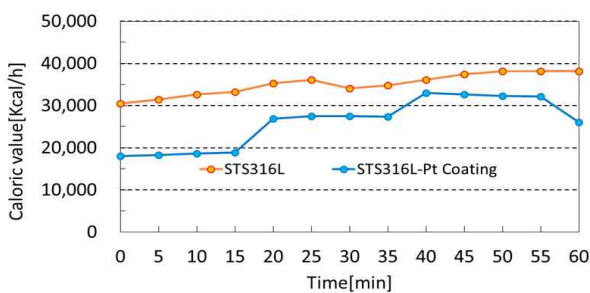


그림 9. 투입열량

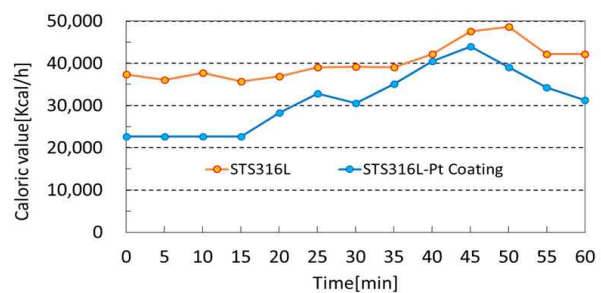


그림 10. 방출열량

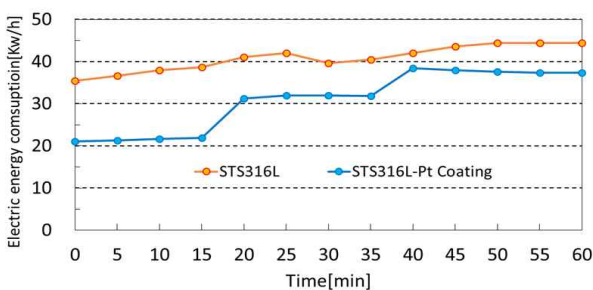


그림 11. 소비전력량

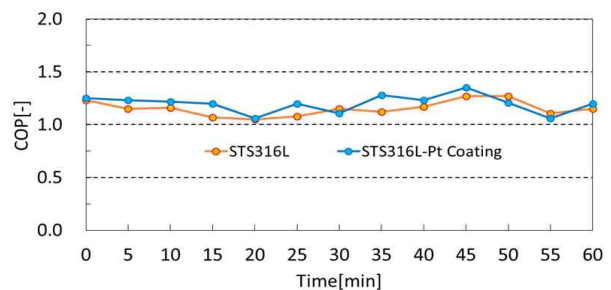


그림 12. 성능계수

#### 다. 플라즈마 히터코어 재질 및 도금성능

별도로 도금하지 않은 STS316L 코어의 경우 플라즈마 방전 중 전기분해에 의한 전해부식이 발생하여 히터코어 합금재료 내의 철성분이 석출되어 산화되면서 가온수의 전해질 농도가 높아짐에 따라 운전시간과 비례하여 전류치가 상승하였다. 반면에 Cu/Pd/Pt 다중도금 코어의 경우에는 운전시간 동안 전류치가 일정하게 유지되는 것을 볼 때 표면의 플라즈마 방전에 대한 내구성이 확보된 것으로 나타났다. 도금규격은 Cu-1 $\mu$ m, Pd-0.5 $\mu$ m, Pt-0.5 $\mu$ m이며, 귀금속 도금 재료비는 70kW 기준 히터코어 당 20만원 정도이다.

STS316L 코어에 대한 지속적 실험 결과, 전기분해로 인하여 발생한 산화철은 원수의 전해질 농도를 높여서 오염시킬 뿐 아니라 그림 13과 같이 원수의 전해질과 결합 후 히터코어 표면에 고착되면서 방전강도를 저하시키는 치명적 결점으로 작용하는 것이 관찰되었다.

한편 STS316L + Cu/Pd/Pt 다중도금 코어의 경우는 처음 200~300시간 정도까지는 전해부식 현상이 없었으나 도금층의 핀홀부 확대에 따른 열화가 발생하면서 base metal의 전해부식이 급속히 발생하는 것이 관찰되었다. 이러한 현상은 스테인레스강으로 제작된 N상의 히터코어 하우징에서도 동일하게 발생하는 것을 확인하였다.

Ni-Cr열선으로 제작된 카트리지형 투입히터의 수명은 Ni-Cr열선의 열화에 따라 끊어지거나 카트리지 외피인 Incoloy sheath에 수중 미네랄이 고착되어 방열성능이 악화될 때 내부 고열에 의하여 파괴됨에 따라 결정되는데 통상 2~3년 이다. 이에 비하여 수중 방전 방식 플라즈마 히터코어는 코어 자체가 발열하는 것이 아닌 난방수 자체가 가열되므로 코어의 열화가 발생하지 않으며, 다만 위에서 설명한 전해부식에 의하여 석출된 철성분과 전해질의 코어표면 고착이 방전효율을 저하시킬 수 있다. 따라서 플라즈마 방전코어 및 히터코어 하우징은 대략 3개월에 한번씩 코어 표면의 고착물질 세척과 청관작업으로써 코어 표면 및 하우징 내면을 원상태로 회복시킬 수 있으며, 표면 마모율이 극히 적으므로 히터코어의 수명은 20년 이상으로 예측할 수 있다. 정기적인 세척과 청관작업에 의한 정량적 표면 마모율 등 코어 수명과 관련된 인자의 평가는 후속 '수중 플라즈마 방전 방식 농업용 보일러 상품화 기술 개발' 과제에서 추진할 예정이다.



그림 13. STS316 히터코어(좌) 부식 및 STS316+Cu/Pd/Pt 다중도금 히터코어(우) 부식

#### 라. 방식용 전해수 적용실험

미국특허 3469074에서는 전극봉 보일러용 전해수로서 나트륨 헥사메타인산염 0.2% 용액을 사용하여 티타늄 전극의 부식을 방지한다고 하였고, 이를 검증하기 위하여 똑같은 용액을 제조하여 상기의 STS316L 플라즈마 히터코어 방전에 적용한 결과, 전해 부식의 속도는 약간 감소하는 차이가 있으나 전해 부식을 방지할 수 없음을 확인하였다. 이는 언급된 특허에서 실험 방법이 직경 1/8" 티타늄 전극을 12" 이격하여 AC240V,50Hz,2A 정도의 전기를 인가했을 때 결

과이며, 이 경우 플라즈마 강도는 본 연구에서 적용하는 AC240V,60Hz,40~100A 및 이격거리 10~15mm와 비교할 때 수십~수백분의 1에 불과한 강도였기 때문에 가능했을 것으로 판단된다. 이외 프로펠렌글리콜 용액을 방식용 전해수로 제시한 문헌도 확인할 수 있었으나, 전해수 용액의 용매 자체가 물이기 때문에 전해 부식이 필연적으로 발생한다고 판단되어 실험을 종료하였다.

마. 플라즈마 방전방식 보일러용 Micom PCB 개발

그림 14는 플라즈마 방전방식 보일러 전용 Micom controller의 개발 시제품을 나타내며, PIC16F77-1/PT chip 기반으로 main pcb와 display pcb로 분리된 H/W를 개발하였고, 보일러 제어반의 magnet contactor 등 전력기기의 제어와 전압, 전류, 난방수 설정온도, 현재온도 등을 표시하도록 S/W를 개발하였다. 개발된 micom pcb controller는 플라즈마 방전방식 보일러의 전 모델에 공히 사용할 수 있다.

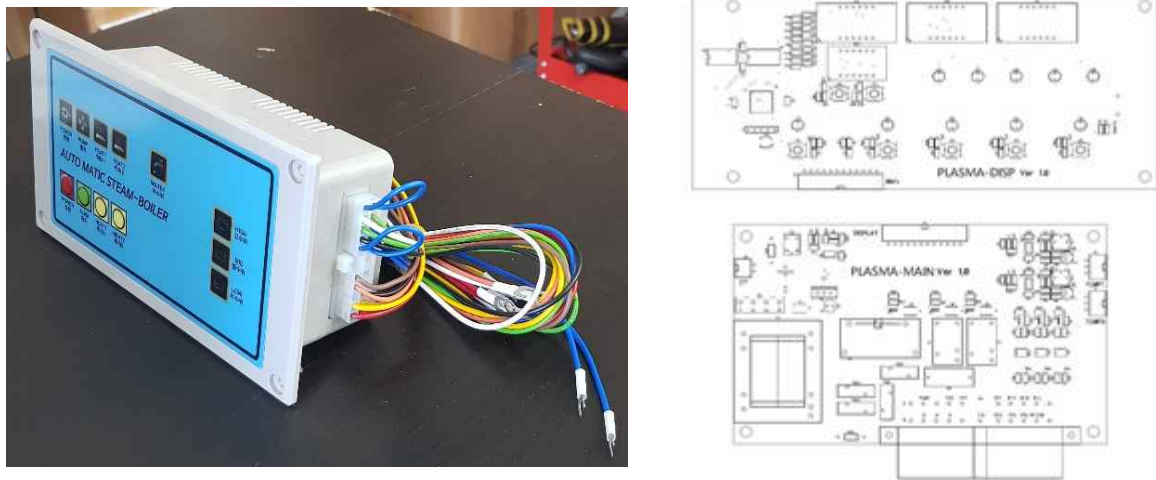


그림 14. 플라즈마 보일러 전용 micom controller 및 PCB 실장도

바. 플라즈마 방전방식 70kW급 농업용 보일러 시제품 개발

그림 15, 16, 17은 플라즈마 방전 히터코어 트레인의 기초성능 실험 결과를 반영하여 설계, 제작된 70kW급 농업용 보일러 시제품의 설계도 및 제작도이다. 시제품은 원예시설하우스에 설치하여 난방성능 실증테스트를 수행하고, 히터코어 발열성능, 방식재료 및 도금 등에 대한 추가 연구를위하여 총 2대를 제작하였다. 시제품에 대한 성능은 시설하우스에 설치 후 난방성능 실증테스트로써 결과를 얻었다.

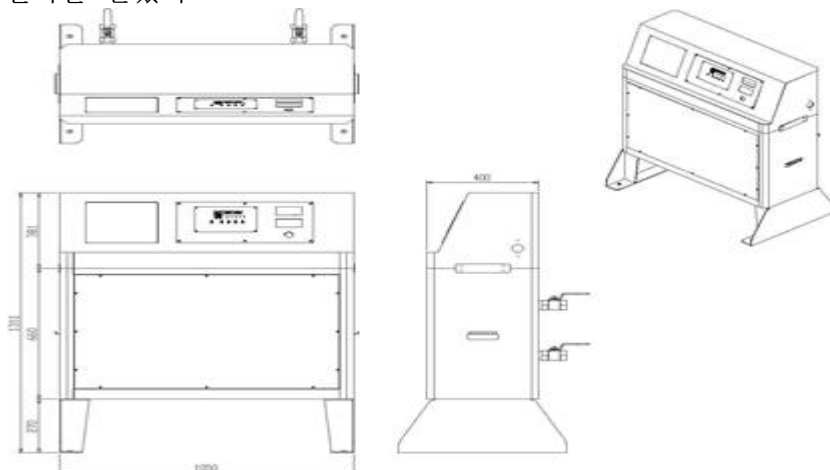


그림 15. 플라즈마 방전방식 70kW급 농업용 보일러 시제품 설계도



그림 16. 플라즈마 방전방식 70kW급 농업용 보일러 시제품

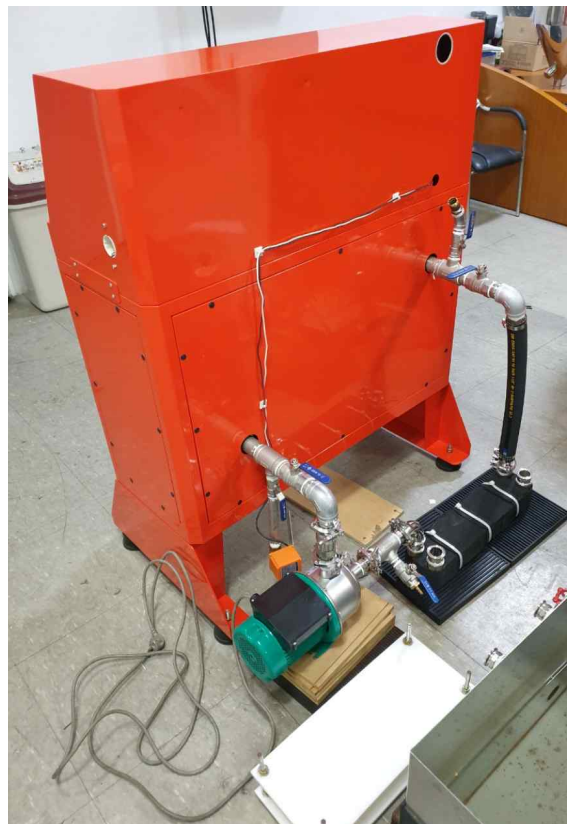


그림 17. 플라즈마 방전방식 70kW급 농업용 보일러 배관 및 내부구조



## 2-3. 수중 플라즈마 방전 방식 고효율 농업용 보일러 실증 테스트 및 경제성 분석

### 가. 재료 및 방법

#### 1) 공시 보일러

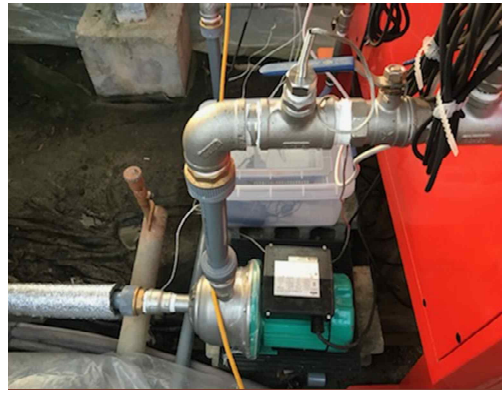
그림 1은 본 실험에 사용한 농업용 고효율 플라즈마 보일러와 일반 시중에 판매되는 상용 전기보일러를 나타낸 것이다.

보일러 실증 테스트에 사용된 보일러는 실험구의 경우 주식회사 (주) GA에서 개발한 수중 플라즈마 방전 방식 보일러(S-70, (주) GA, KOREA)를 사용하였고, 대조구는 일반 시설하우스 농가에서 사용되는 상업용 전기보일러(DBE-100, 대성, KOREA)를 사용하여 실증 테스트를 수행하였다.

그림 2에서 보는 바와 같이 실험구에 설치한 농업용 고효율 플라즈마 보일러는 입수부, 발열부, 출수부 및 제어부로 구성되어 있고, 가열된 물은 출수부에서 배출된 후 하우스 내부의 3군대(전, 중, 후) 설치한 열교환기를 거쳐 하우스 내부 난방에 사용된 후 입수부로 들어온다. 가열된 물의 순환은 0.75 kW 순환펌프(PBI 403 MA, Wilo, KOREA)를 이용하였다.

대조구 하우스에 설치한 상용 전기보일러는 플라즈마 보일러와 유사한 구조이나, 발열부의 경우 일반 코일형 발열기가 설치되어 물을 가열시키는 구조로서 플라즈마 보일러의 발열부와 상이하고, 입출수 및 내부순환 펌프는 동일한 사양의 제품을 사용하였다.

본 실험에 사용한 농업용 고효율 플라즈마 보일러와 일반 상용 전기보일러의 발열량은 70 KWh 로 동일하였다.



(a) 플라즈마 보일러 설치 모습



(b) 상용 전기보일러 설치 모습

그림 1. 실증테스트에 사용된 보일러

## 2) 실험용 하우스

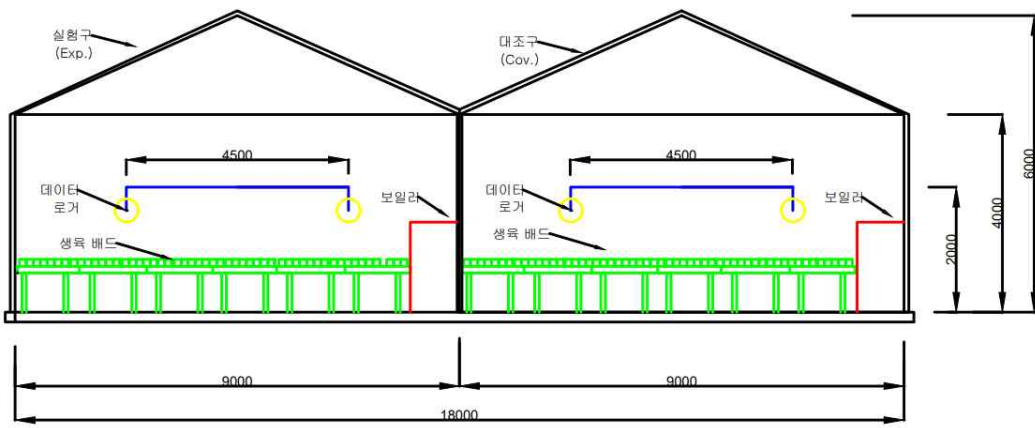
그림 2는 수중 플라즈마 방전 방식 보일러를 설치하여 실증 테스트에 사용된 유리온실의 개략도와 온습도 측정용 센서의 설치 위치를 나타낸 것이다.

그림 1과 같이 보일러 실증 테스트에 사용한 하우스는 36,000×6,000×18,000 mm(L×H×W)크기로서, 하우스 중앙에 3중 단열층을 설치하여 실험구와 대조구로 분리한 후 난방 특성 실험을 수행하였다.

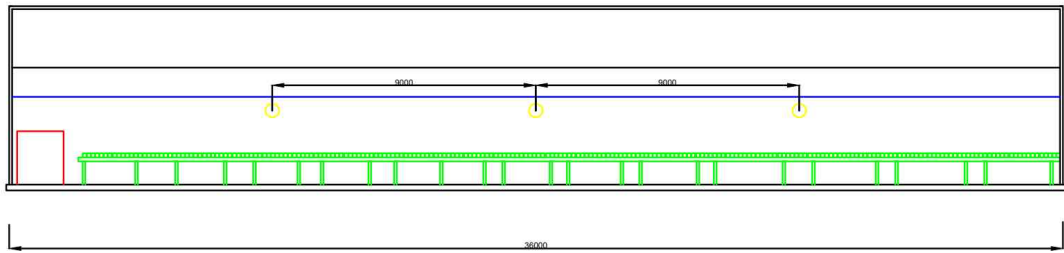
한편, 그림 2에서 보는 바와 같이 실험구와 대조구 하우스 내부의 온습도 측정은 중간 단열제 아래에서 측정하였고, 측정위치는 지상에서 1,800mm, 입구 기준 9,000mm, 18,000mm, 27,000mm에 실험구와 대조구별 각각 6개씩 총 12개의 온습도 측정기(SK-L200THⅡα, SATO, JAPAN)를 설치하였다(그림 3 참조). 온습도 측정주기는 5분 간격으로 측정하였다.



(a) 실험용 하우스 전경



(b) 정면도



(c) 측면도

그림 2. 실증 테스트에 사용된 유리온실 전경과 개략도



그림 3. 실험용 하우스 내부에서 온습도 센서 및 설치모습

### 3) 실험용 보일러 가열 특성 분석용 온도 측정

그림 4는 실험용 보일러의 가열 특성을 분석하기 위해 사용된 온도 데이터 로거(midi LOGGER GL840, GRAPTEC, MALAYSIA)를 나타낸 것이다.

실험용 보일러 난방 특성 분석용 온도 측정은 출수부, 입수부, 하우스 내부에 설치한 열교환기로부터 배출되는 공기온도를 측정하였다.

입출수 온도데이터는 입출수 관에 PT 100 Ω 열전대를 입출수 관에 삽입하여 측정하였고, 열교환기로부터 배출되는 공기온도도 동일한 센서를 이용하여 공기배출구에 설치한 후 측정하였다.

플라즈마 보일러 실증 테스트를 위해 사용된 온도 데이터는 일일기준(2021년 2월 8일)과 일정기간 기준(2021년 2월 8일~ 2021년 2월 28일)으로 나누어 분석하였다. 일반 보일러 데이터 경우에도 일정기간 기준(2021년 2월 8일~ 2021년 2월 28일)로 같은 기간으로 분석하였다. 일정기간에 온도데이터는 동일 시간대의 온도를 평균하여 분석에 이용하였다.



(a) 온도 데이터 로거



(b) 출수관 온도 측정



(c) 입수관 온도 측정



(d) 열교환기 온도 측정

그림 4. 실험용 보일러 가열 특성 분석용 온도 측정

#### 4) 실험용 보일러 소비전력량 측정

실험용 보일러의 소비전력량 측정은 그림 5에서 보는 바와 같이 3상유도전력측정기(HIOKI 3169-20, HIOKI, JAPAN)을 사용하였다.

소비전력량 측정은 실험구와 대조구 보일러를 동시에 시동한 후 1주일 동안 하우스 난방에 사용된 소비전력량을 적산하여 측정하였다.



(a) 본체



(b) 측정선

그림 5. 소비전력 측정기 및 설치모습

#### 5). 작물 재배 실험과 생육 측정

작물 재배실험은 실험대상 작물로 금전수를 이용하였고, 지상에서 1m 높이의 생육배드 위에 500주를 균일하게 배치하여 재배하였으며, 이중 대조구와 실험구에 각각 80주를 무작위로 선정하여 엽장, 엽폭, 수고 등의 생육 변화를 스케일을 이용하여 측정하였다. 또한 분광스펙트럼 측정기 (AVANTES, Spectrometer and Avalight-CAL Line, Netherlands)를 이용하여 반사광을 측정 한 후 정규화식생지수인 NDVI, GNDVI 를 산출하였다. 또한, 작물의 클로로필 함량을 예측할 수 있는 SPAD값을 SPAD 측정기(SPAD-502,KONICA MINOLTA, JAPAN)를 이용하여 측정하였다. 생육 측정은 일주일 간격으로 측정하였다.



(a) 실험용 하우스 내부 모습



(a) 생육 측정 모습



(b)

분광스펙트럼측정



(c) SPAD 측정기



(c) 분광스펙트럼 측정기

그림 6. 생육정보 측정 장면

6) 고효율 농업용 보일러의 열 특성 분석

온실 내의 열 특성은 태양열 및 온풍기로부터의 공급열량과 외부로부터 손실된 열량이 동일하다는 가정 하에 주간과 야간의 경우 식 (1)과 야간의 경우 식(2)를 이용하여 분석하였다.

$$Q_{Solar} + Q_{Hot\ air\ heater} = Q_{Loss - day} + Q_{Soil} \dots\dots\dots(1)$$

$$Q_{Hot\ air\ heater} = Q_{Loss - night} + Q_{Soil} \dots\dots\dots(2)$$

여기서,

- $Q_{Solar}$  : Solar radiation in the greenhouse (kJ/hr)
- $Q_{Hot\ air\ heater}$  : Heat gained from hot heater (kJ/hr)
- $Q_{Loss - day}$  : Heat loss through the greenhouse cover in day (kJ/hr)
- $Q_{Loss - night}$  : Heat loss through the greenhouse cover in night (kJ/hr)
- $Q_{Soil}$  : Heat absorbed and released by the soil in greenhouse (kJ/hr)

공급열량은 주간과 야간의 경우 식 (3)을 이용하여 태양으로부터 공급된 열량( $Q_{Solar}$ )을 산출하였고, 온풍난방기에 의해 공급된 열량( $Q_{Hot\ air\ heater}$ )은 소비전력량을 측정하여 환산한다. 야간의 경우에는 온풍난방기로부터 공급된 열량만을 산출하여 열특성 분석에 사용한다.

$$Q_{Solar} = \tau \times I_s \times A_g \dots\dots\dots(3)$$

여기서,

- $\tau$  : Transmissivity of greenhouse cover
- $I_s$  : Solar radiation on the horizontal surface (kJ/m<sup>2</sup>·hr)
- $A_g$  : Wall area of greenhouse (m<sup>2</sup>)
- $q_{fuel}$  : Consumption of fuel ( $\ell$ )
- $C$  : Caloric value per unit area (kJ/ $\ell$ ·hr)

온실 내 수평면의 태양강도는 청주기상대에서 측정된 일평균 태양강도를 시간대별로 평균하여 이용하였다.

손실열량은 그린 하우스 피복재 외부로 손실되는 열량( $Q_{Loss}$ )을 주간과 야간의 경우 식 (4)를 이용하고, 야간의 경우 식 (5)을 이용하여 산출한다. 또한 지면으로 저장되거나 방열되는 ( $Q_{Soil}$ )은 식 (6)을 이용하여 산출한다.



$$Q_{Loss-day} = A_g \times h_t \times (T_{in} - T_{ambi}) \dots\dots\dots(4)$$

$$Q_{Loss-night} = A_g \times h_t \times (1 - f_r) \times (T_{in} - T_{ambi}) \dots\dots\dots(5)$$

$$Q_{Soil} = \sum_{i=1}^n m_{soil} \times C_{p.soil} \times \Delta T \dots\dots\dots(6)$$

여기서,

- $h_t$  : Heat transfer coefficient of greenhouse cover
- $h_v$  : Ventilation heat transfer coefficient of greenhouse
- $T_{in}$  : Inside temperature of the greenhouse (°C)
- $T_{ambi}$  : Ambient temperature of the greenhouse (°C)
- $A_g$  : Wall area of greenhouse (m<sup>2</sup>)
- $m_{soil}$  : Mass of soil (kg/m<sup>2</sup>·hr)
- $C_{p.soil}$  : Specific heat at constant pressure of soil (0.96kJ/kg·°C)
- $\Delta T$  : Difference temperature between soil layers (°C)
- $f_r$  : Saving factor  
(Aluminum+Polyethylene: 0.55, Non-woven fabric: 0.30)

## 나. 결과 및 고찰

### 1) 주 야간 온풍난방기 및 태양으로부터 온실내부로 공급된 전열량 분석

#### ㄱ) 주 야간 온풍난방기로부터 온실내부로 공급된 전열량 분석( $Q_{Heater}$ )

그림 7은 일일 기준 주간과 야간에 온풍난방기로부터 온실내부로 공급된 시간대 별 전열량과 누적 전열량을 나타낸 것이다.

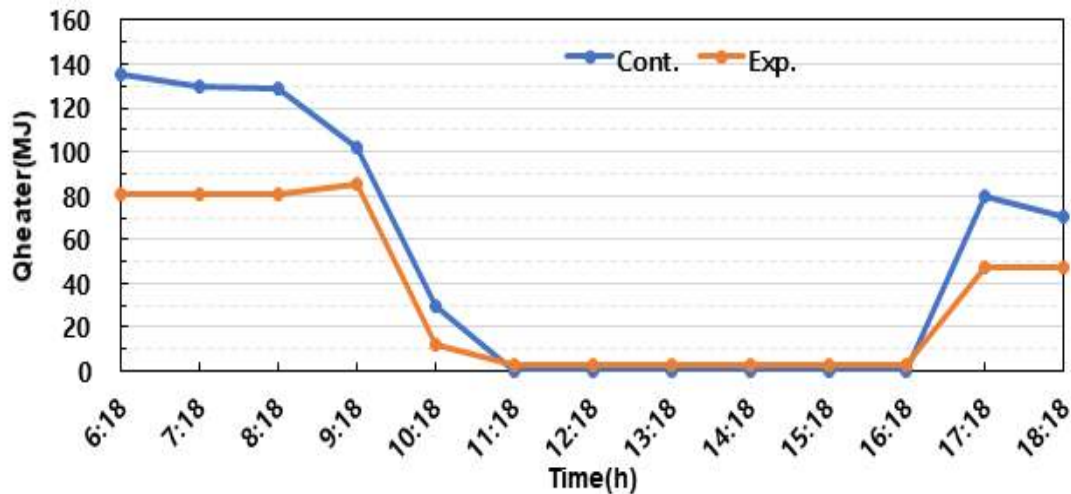
그림 7에서 보는 바와 같이 온풍 난방기로부터 온실내부로 공급된 전열량은 대조구가 실험구보다 높은 것으로 나타났다.

주간 시간대별 대조구의 온풍난방기로부터 온실내부로 공급된 전열량은 최대 127.8 MJ, 최소 70.6 MJ로 나타났다. 실험구의 온풍난방기로부터 온실내부로 공급된 전열량은 최대 82.8 MJ, 최소 47.5 MJ 로 나타나 실험구가 대조구보다 23.1 ~ 44.8 MJ 적게 공급되는 것으로 나타났다.

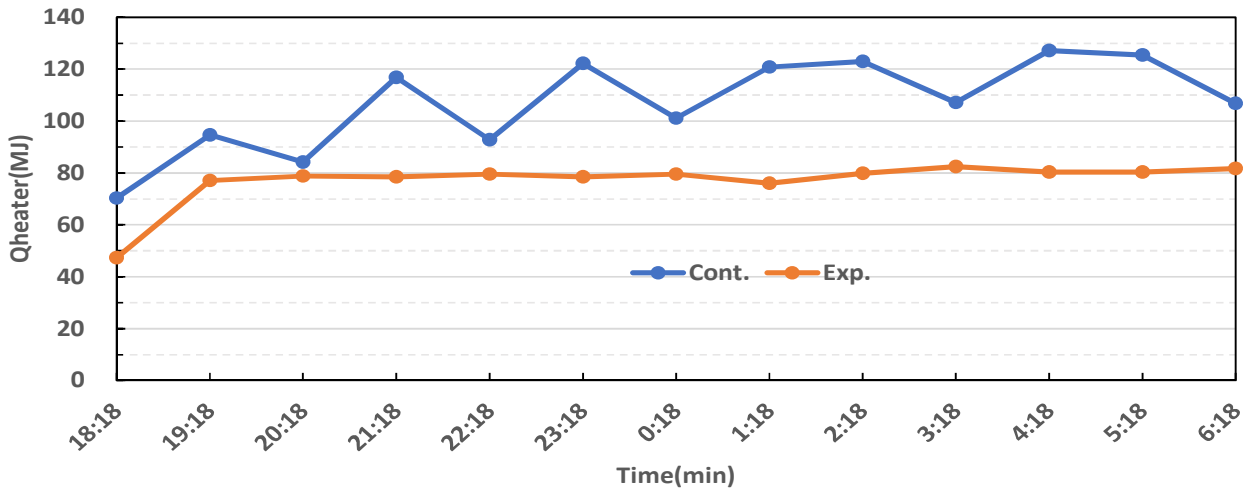
그림 7(c)는 일일 기준 대조구에 공급된 누적 전열량은 1906.1 MJ 이고, 실험구에 공급된 누적 전열량은 1330.1 MJ 로서 실험구가 대조구보다 576 MJ 적게 공급된 것으로 나타났다.

그림 8은 1주일(2021년 02월 08일 ~ 2021년 02월 14일)간의 실험용 하우스에 공급된 누적 전열량을 나타낸 것이다.

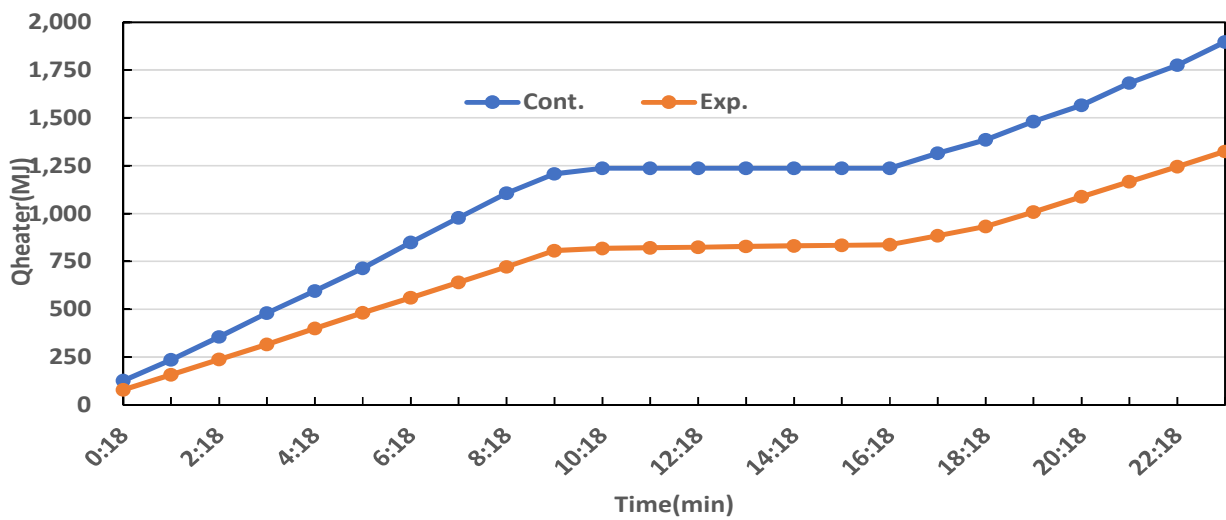
그림 8에서 보는 바와 같이 일주일간 대조구에 공급된 누적 전열량은 10,138.3 MJ 이 공급되었고, 실험구의 경우에는 8,334.0 MJ 의 전열량이 공급되어 실험구가 대조구보다 1,804.3 MJ 적게 공급된 것으로 나타났다.\



(a) 주간



(b) 야간



(c) 누적 공급 전열량

그림 7. 주야간 온풍난방기로부터 온실내부로 공급된 전열량

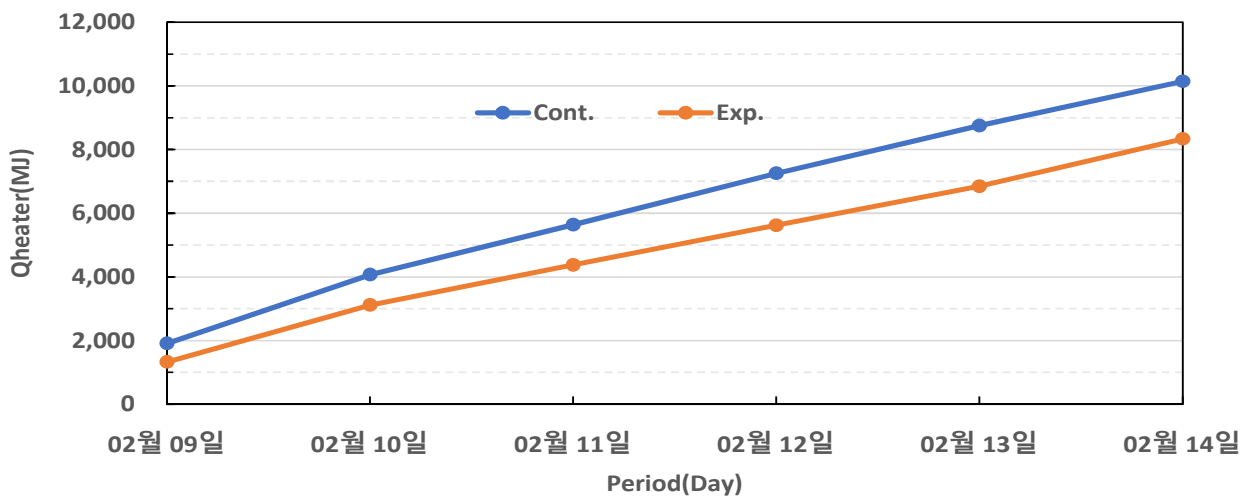


그림 8. 일주일간 주야간 온풍난방기로부터 온실내부로 공급된 누적 전열량

1) 주 야간 태양으로부터 온실내부로 공급된 전열량분석( $Q_{solar}$ )

그림 9와 그림 10은 일일(2021.2.9.) 및 일정기간(2021.2.9.-2021.2.15.) 기준 태양으로부터 실험구 및 대조구 하우스 내부로 공급된 시간대별 열량과 누적 공급열량을 나타낸 것이다. 온실 내 수평명의 태양강도는 청주 기상대에서 측정된 일평균 태양강도를 시간대별로 평균하여 산출하였다.

그림 9에서 보는 바와 같이 일일 기준 실험구 및 대조구 하우스 내부로 공급된 시간대별 공급 열량은 오전 11시에서 오후 3시 사이에 471.5~633 MJ/h 의 열량이 공급된 것으로 나타났다.

또한 일일 기준 누적 공급열량은 그림 9에 나타낸 바와 같이 총 3,956.9 MJ/h의 열량이 실험구와 대조구 하우스 내부로 공급된 것으로 나타났다.

한편 일정기간 기준 실험구 및 대조구 하우스 내부로 공급된 시간대별 공급 열량은 오전 11시에서 오후 2시 사이에 353.6~549.6 MJ/h의 열량이 공급된 것으로 나타났다. 또한 일정기간 기준 누적 공급열량은 그림 10에 나타낸 바와 같이 총 3,182.6 MJ/h 의 열량이 실험구와 대조구 하우스 내부로 공급된 것으로 나타났다.

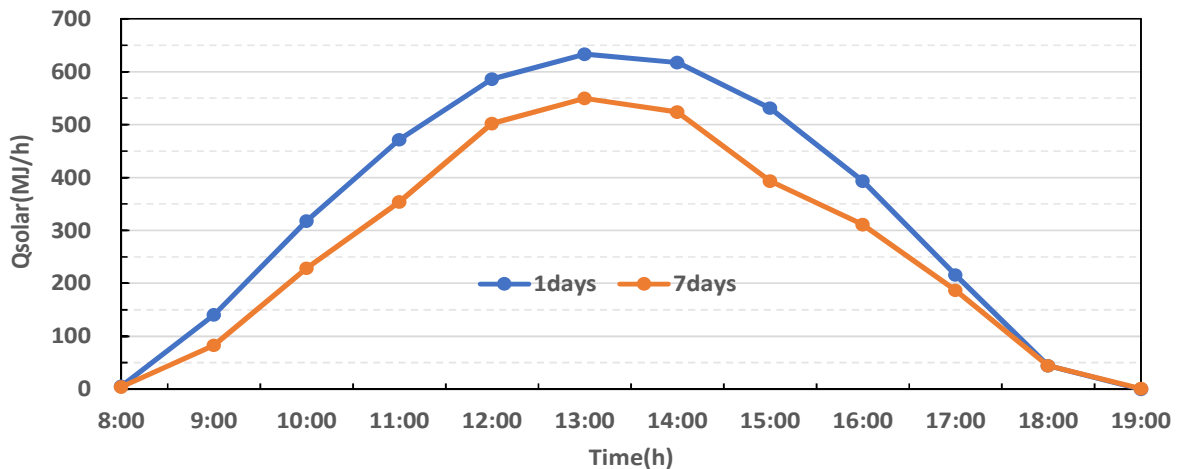


그림 9. 일일 및 일정기간 기준 태양으로부터 공급된 전열량

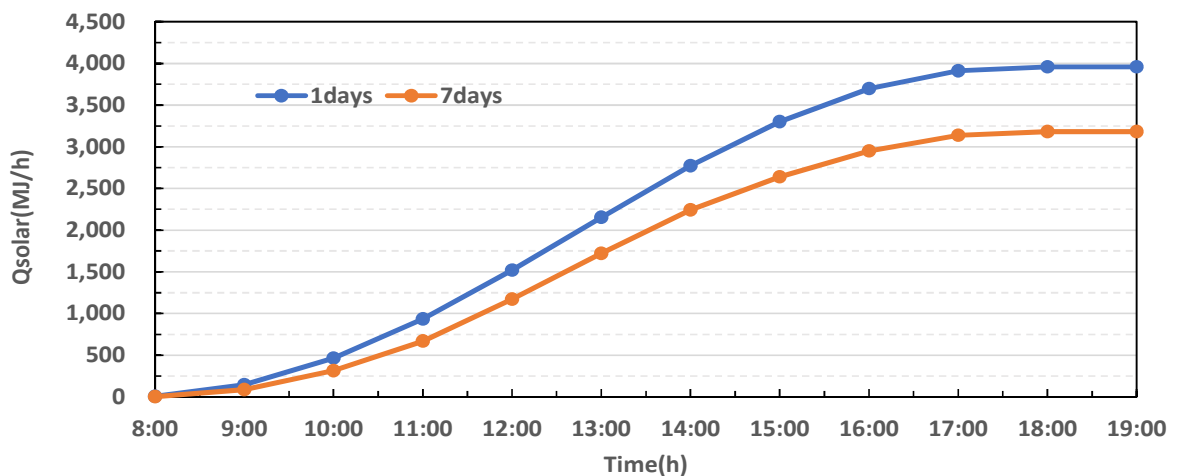


그림 10. 일일 및 일정기간 기준 태양으로부터 공급된 누적 전열량

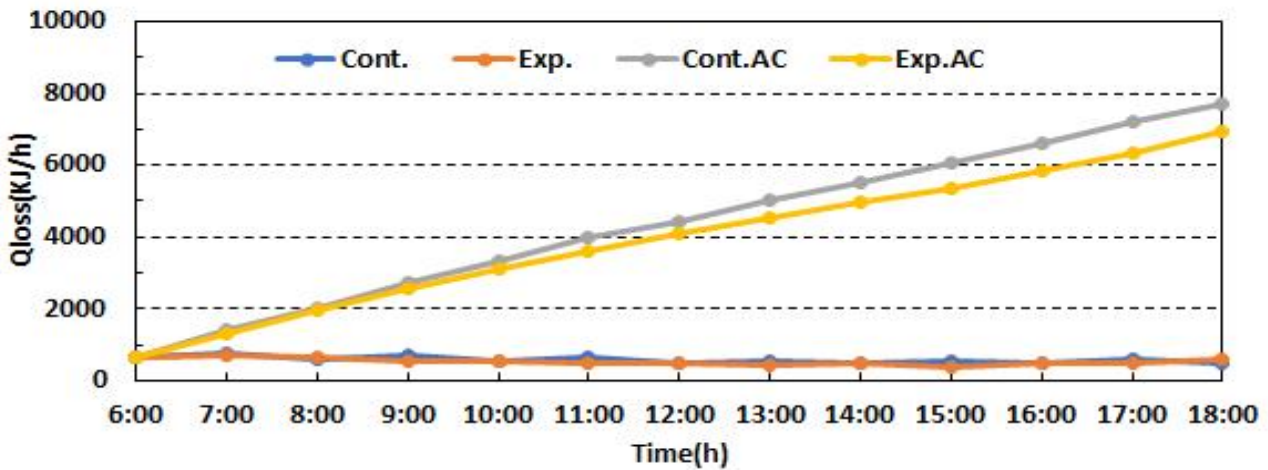
## 2) 주야간 하우스 외부로 손실되는 열량 분석

### ㄱ) 일일 기준 하우스 외피로 손실되는 열량( $Q_{Loss}$ )

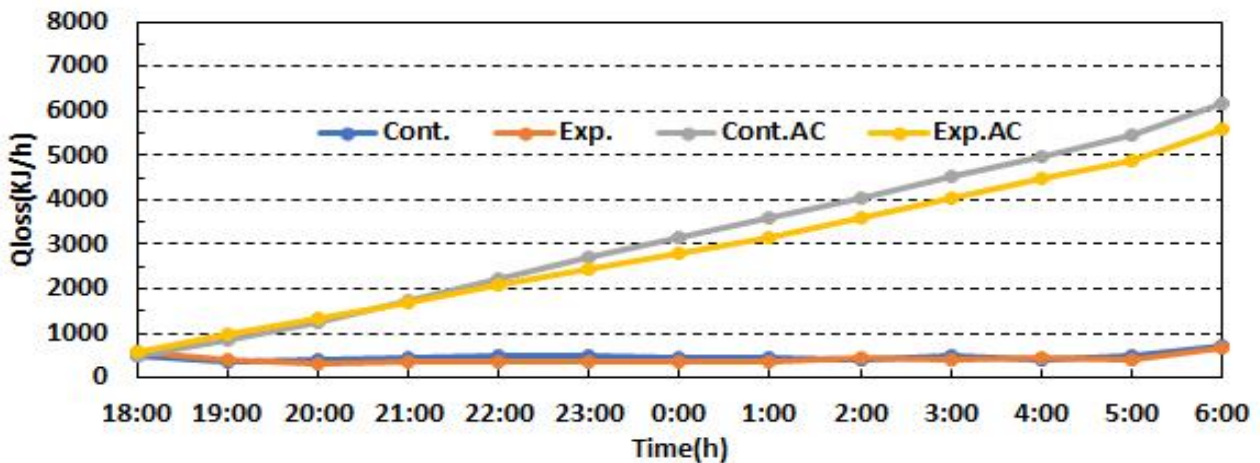
그림 11는 각각 일일 기준 실험구 및 대조구 하우스의 외피를 통해 외부로 방출된 손실열량과 누적 손실열량을 주간(06:00~18:00),야간(18:00~06:00)으로 나타낸 것이다.

그림 11에 나타낸 바와 같이 하우스 외피를 통한 손실열량은 대조구가 실험구보다 더 큰 경향을 보였으나 큰 차이는 없었고, 야간보다 주간에 열 손실이 더 많이 발생하는 것으로 나타났다.

일일 기준 하우스 외피로 손실되는 누적열량이 주간에 실험구는 6946.73 kJ/h 대조구는 7689.72 kJ/h로 나타나 대조구가 실험구보다 약 743 kJ/h의 손실열량이 더 큰 것으로 나타났고, 야간에는 실험구는 5573.59 kJ/h, 대조구는 6154.69 kJ/h 로 나타나 대조구가 실험구보다 약 581.1 kJ/h 더 큰 것으로 나타났다.



(a) 주간



(b) 야간

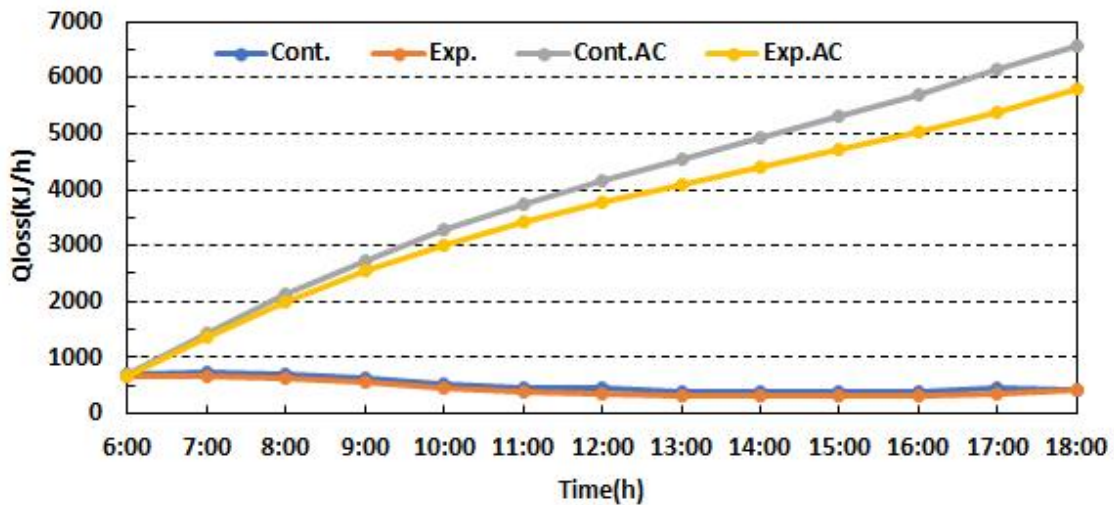
그림 11. 일일 기준 주야간 기준 하우스 외피로 손실되는 열량

ㄴ) 일정 기간 기준 하우스 외피로 손실되는 열량( $Q_{Loss}$ )

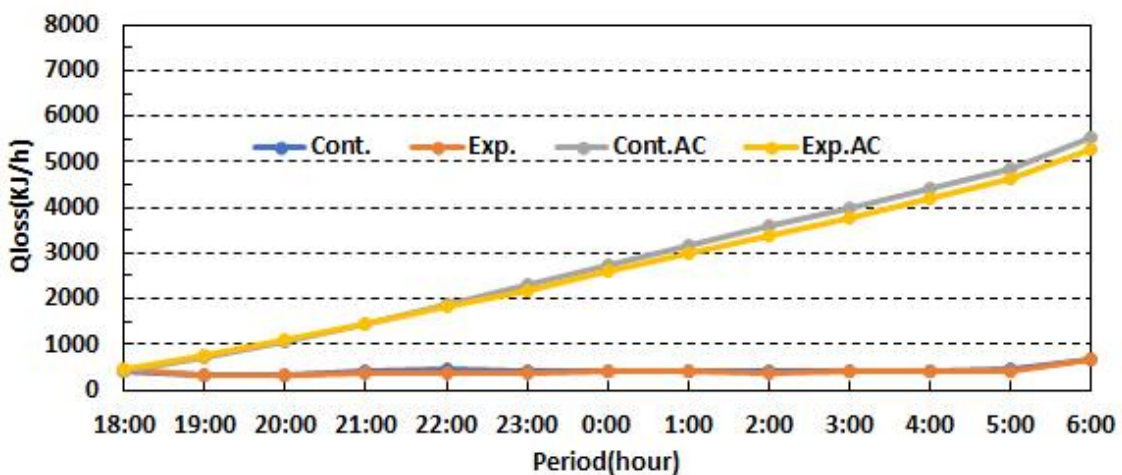
그림 12는 각각 일정 기간 기준 실험구 및 대조구 하우스의 외피를 통해 외부로 방출된 손실열량과 누적 손실열량을 주간(06:00 ~ 18:00), 야간(18:00 ~ 06:00)으로 나타낸 것이다.

그림 12에 나타낸 바와 같이 하우스 외피를 통한 손실열량은 대조구와 실험구에서 동일한 경향을 보였고, 야간보다 주간에 열 손실이 더 많이 발생하는 것으로 나타났으나 큰 차이는 없었다.

일정기간 기준 하우스 외피로 손실되는 누적열량이 주간에 실험구는 5812.58 kJ/h 대조구는 6572.28 kJ/h로 나타나 대조구가 실험구보다 약 759.7 kJ/h의 손실열량이 더 큰 것으로 나타났고, 야간에는 실험구는 5279.31 kJ/h, 대조구는 5518.43 kJ/h 로 나타나 대조구가 실험구보다 약 239.13 kJ/h 더 큰 것으로 나타났다.



(a) 주간



(b) 야간

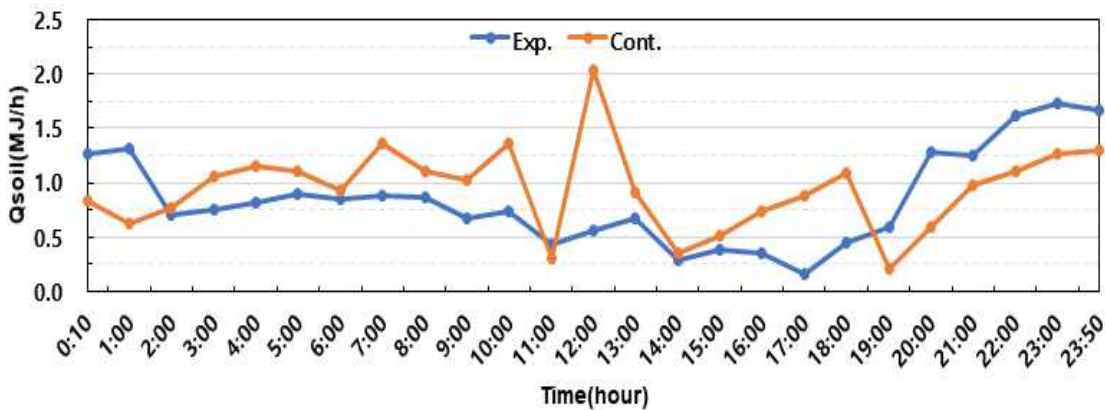
그림 12. 일정 기간 기준 주야간 기준 하우스 외피로 손실되는 열량

ㄷ) 일일 기준 하우스 지면을 통한 손실열량( $Q_{Soil}$ )

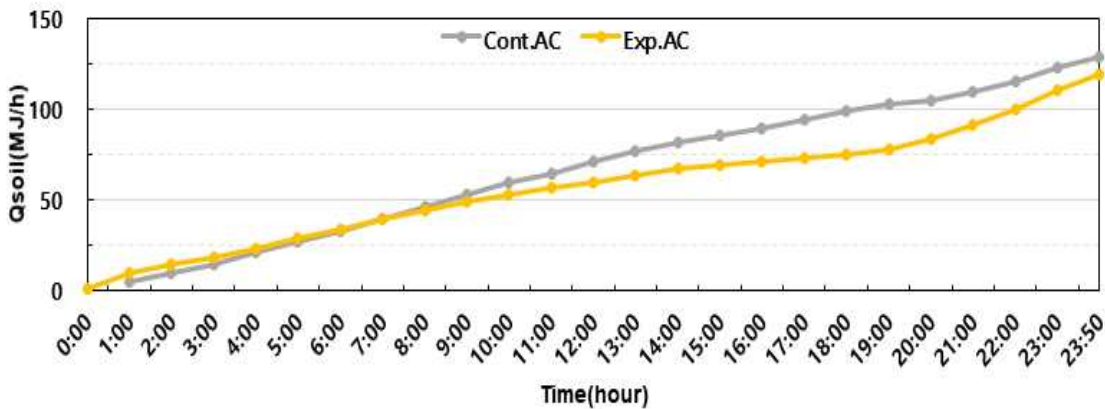
그림 13은 일일 기준 실험구와 대조구의 지면을 통한 열손실량과 누적열손실량을 나타낸 것이다.

그림 13에서 보는 바와 같이 하우스의 지면을 통한 열손실량은 실험구가 대조구보다 약간 많은 경향을 보였으나 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 또한 야간의 경우에는 토양으로부터 하우스 내부 공간으로 열량이 공급되는 경향을 보였고, 주간의 경우에는 토양으로 열량이 공급되어 손실열량이 발생하는 것으로 나타났다.

실험구와 대조구 하우스의 지면을 통한 열손실량은 각각 119.0MJ/h와 129.1MJ/h로서 약 10.1MJ/h 로 대조구가 많은 것으로 나타났다..



(a) 손실열량



(b) 누적 손실열량

그림 13. 일일 기준 하우스 지면을 통한 손실열량

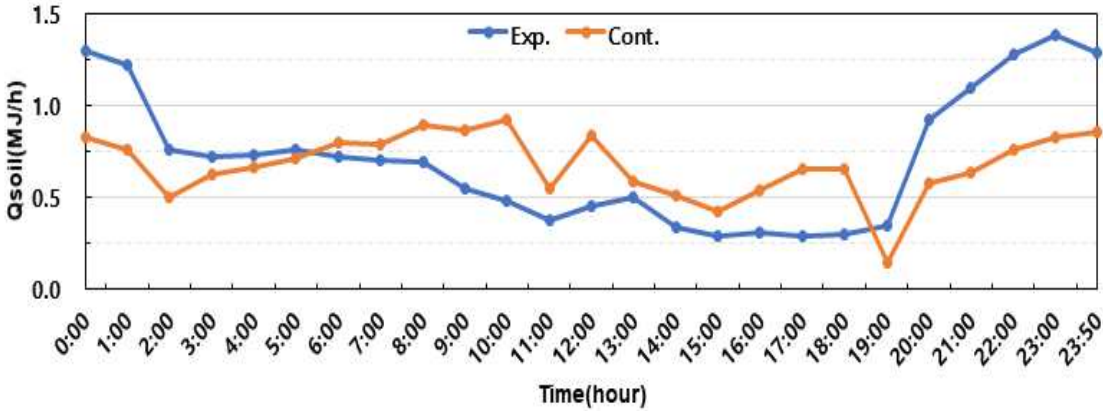
ㄹ) 일정 기간 기준 하우스 지면을 통한 손실열량( $Q_{Soil}$ )

그림 14는 일정 기간 기준 실험구와 대조구의 지면을 통한 열손실량과 누적열손실량을 나타낸 것이다.

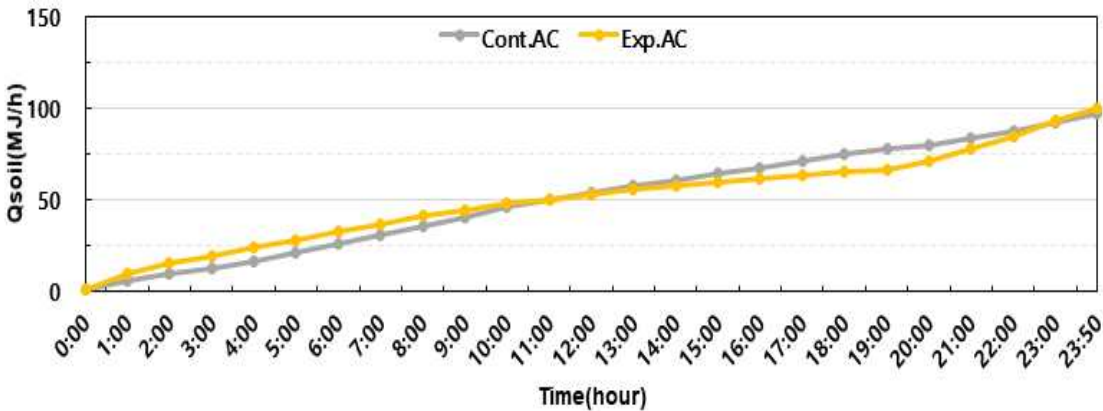
그림 14에서 보는 바와 같이 일일 기준 토양 손실열량과 유사하게 실험구와 대조구에서 큰 차이는 없었고, 실험구와 대조구에서 10시부터 14시 사이에 하우스 내부 공간으로부터 토양으로 열이 손실되는 것으로 나타났고, 그 이후부터 토양으로부터 하우스 내부 공간으로 열량이 공급되는 경향을 보였다.

실험구와 대조구 하우스의 지면을 통한 열손실량은 각각 99.7MJ/h와 97.2MJ/h로서 약

2.5MJ/h 정도 실험구가 대조구보다 손실열량이 많은 것으로 나타났으나 큰 차이는 없었다.



(a) 일정 기간 손실열량



(b) 누적 손실열량

그림 14. 일정 기간 기준 하우스 지면을 통한 손실열량

### 3) 설정온도 기준 온실 내부 온도 변화

#### ㄱ) 일일 기준 야간 온실 내부 온도 변화

그림 15는 일일 기준 온실내의 야간 온도변화를 나타낸 것이다. 본 실험에서 온실 내부온도는 27°C로 설정하였다.

그림 15에서 보는 바와 같이 실험구와 대조구의 내부온도는 오후 20시부터 오전 2시까지는 설정온도보다 높게 나타났고, 이후에는 실험구의 경우 설정온도를 유지했지만 대조구의 경우 큰 온도편차를 나타내었다.

오후 20시부터 오전 2시까지 대조구는 최대 33.8°C 에서 최소 26.2°C의 온도 분포가 나타나고, 실험구는 최대 33.8°C에서 최소 26°C의 온도 분포를 나타내었다. 설정온도 대비 온실내의 온도 편차는 대조구는 최대 6.8°C, 최소 -0.8°C, 평균 3.7°C의 차이를 보였고, 실험구는 최대 6.8°C, 최소 -1°C, 평균 2.4°C의 차이가 난다.

한편, 오전 2시 이후부터는 대조구의 경우 앞선 시간대의 온도 차이를 나타낸 반면 실험구의 경우에는 ±1°C 내외의 온도편차를 나타내었다.



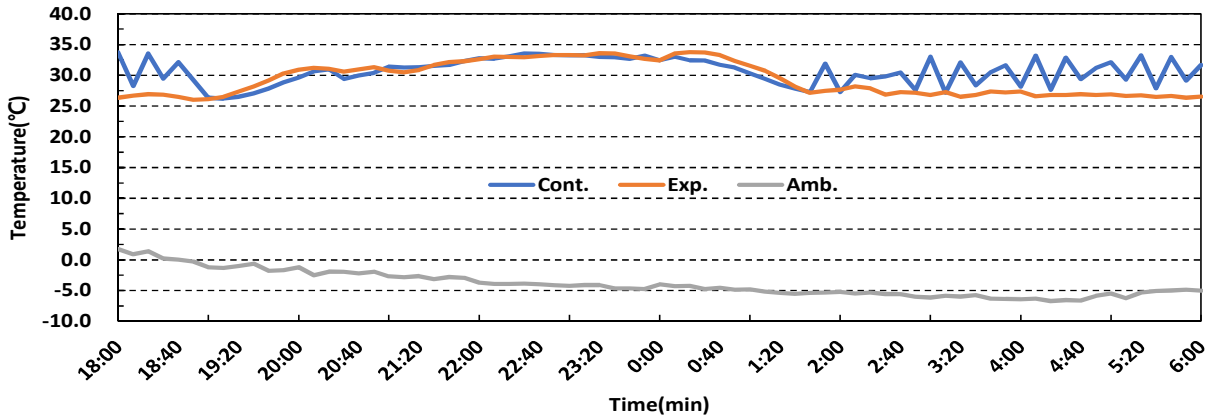


그림 14. 일일 기준 야간 온실내의 온도변화

ㄴ) 일정 기간 기준 야간 온실 내부 온도 변화

그림 14은 일정 기간 기준 야간 온실내의 온도변화를 나타낸 것이다.

그림 15에서 대조구는 최대 33.8°C에서 최소 26°C의 온도분포를 나타내었고, 실험구의 경우에는 최대 32.3°C에서 최소 25.9°C의 온도분포를 나타내었다. 설정온도 대비 대조구, 실험구 온도의 차이는 대조구의 경우는 최대 4.8°C, 최소 -0.5°C, 평균 2.5°C의 차이를 보였고, 실험구는 최대 5.3°C, 최소 -1.1°C, 평균 2.1°C의 차이를 나타내었다.

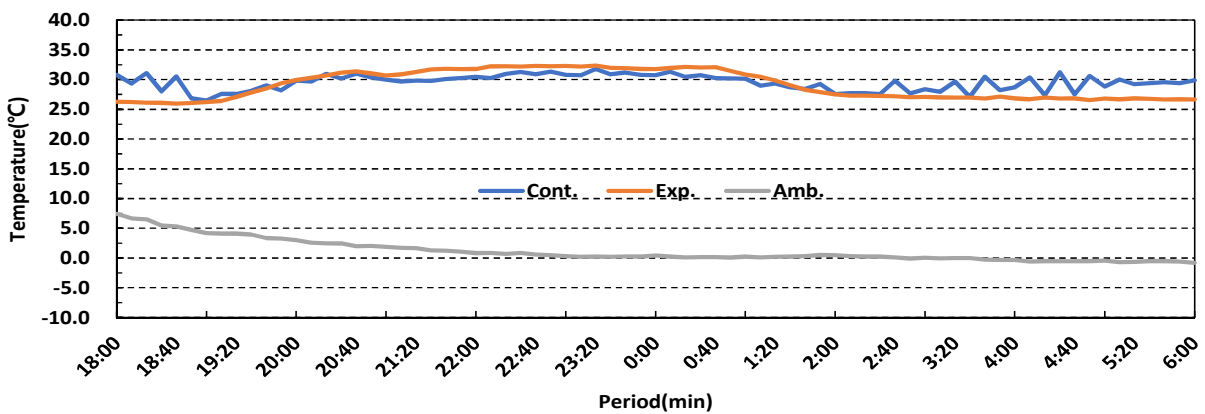


그림 15. 일정 기간 기준 야간 온실내의 온도 변화

4) 전기보일러와 플라즈마 보일러의 출수온도 변화

그림 15는 전기보일러와 플라즈마 보일러의 출수온도 변화를 나타낸 것이다.

그림 15에서 보는 바와 같이 출수온도의 변화는 플라즈마 보일러가 일반 상용 전기보일러보다 출수 온도 변화 폭이 작은 것으로 나타났다.

0:00부터 9:00까지의 출수온도의 변화는 대조구가 최대 83.5°C, 최소 46.5°C, 평균 59.2°C, 온도편차는 37°C로 나타났고, 실험구의 경우에는 최대 68.9°C, 최소 54.5°C, 평균 64.2°C로 온도 편차는 약 14°C로 나타나 플라즈마 보일러가 전기보일러보다 출수온도 편차가 23°C 낮은 것으로 나타났다.

9:00에서 16:00까지는 주간에 가동이 중지된 상태로서 실험구의 경우 출수온도가 천천히 내려가지만 대조구의 경우에는 가동이 중지된 즉시 출수온도가 내려가는 것으로 나타났다.

16:00부터 24:00에서의 출수온도의 변화는 대조구가 최대 91.4°C, 최소 30.1°C, 평균 60°C, 온도편차는 61.3°C로 나타났고, 실험구는 최대 69.4, 최소 54.0, 평균 62.2°C, 15.4°C로 나타났다. 플라즈마 보일러가 전기보일러보다 출수온도 편차가 47.7°C 낮은 것으로 나타났다.

출수 온도에 대한 분포를 살펴보면 대조구 보일러에 경우에는 온도의 변동이 심하고 가동을 멈출 때 출수온도가 빠르게 내려가는 반면 실험구 보일러에 경우 온도의 변동이 적고 가동을 멈출 시 출수온도가 천천히 내려가는 것을 알 수 있다.

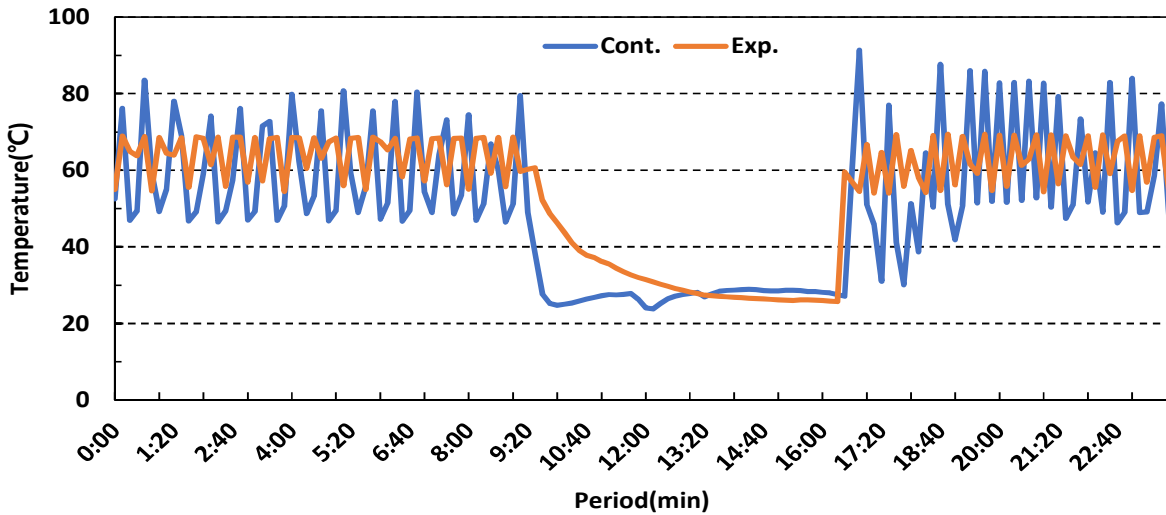


그림 15. 전기보일러와 플라즈마 보일러의 출수온도 변화

5) 전기보일러와 플라즈마 보일러의 설정 출수 온도 상승 시간

그림 16는 전기보일러와 플라즈마 보일러의 설정 출수온도 도달 시간을 비교하여 나타낸 것이다. 그림 15에서 보는 바와 같이 설정 출수온도 도달시간은 플라즈마 보일러가 10분이 소요되는 것으로 나타났고, 일반 상용 전기보일러의 경우에는 약 30분이 소요되는 것으로 나타났다.

이와 같이 설정 출수 온도 도달시간이 플라즈마 보일러가 일반 전기보일러보다 짧은 이유는 플라즈마 보일러 가열 매커니즘이 일반 전기보일러의 전도에 의한 가열 매커니즘보다 우수하기 때문으로 판단된다.

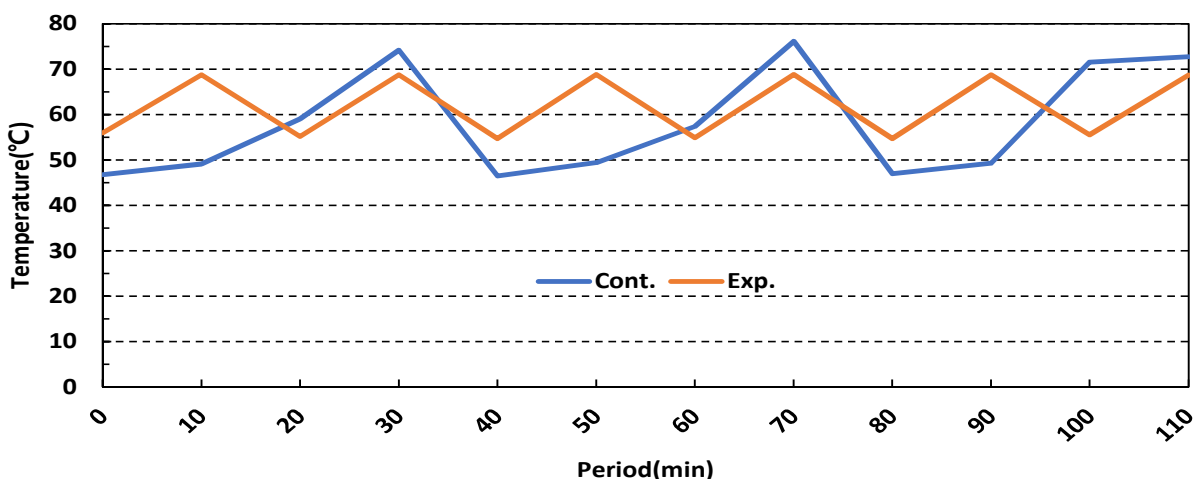


그림 16. 전기보일러와 플라즈마 보일러의 급탕 온도 도달 시간 변화

## 6) 식물 재배 실험

### ㄱ) 정규화식생지수(NDVI)

그림 17은 실험구와 대조구 온실에서 재배한 금전수를 분광스펙트럼 측정기(AVANTES, Spectrometer and Avalight-CAL Line, Netherlands)를 이용하여 7일 간격으로 측정한 정규식생지수(NDVI) 값을 나타낸 것이다.

그림 17에서 보는 바와 같이 실험구인 플라즈마 보일러를 설치 한 구역은 일반적인 전기식 보일러를 설치한 대조구와 비교하여 초반에는 대조구가 높게 나오지만 20년 20월 14일 이후 실험구의 정규식생지수(NDVI)이 높은 것으로 나타났다.

실험구의 정규식생지수값(NDVI)은 평균 0.678 정도를 나타내었고, 대조구의 정규식생지수는 평균 0.632 정도로서 실험구가 대조구와 비교하여 약 0.046 정도 높은 것으로 나타났다.

이와 같이 실험구에서 재배한 금전수의 정규식생지수(NDVI)가 대조구와 비교하여 높은 이유는 실험구 온실이 대조구 온실에 비해 내부온도 변화가 작았기 때문에 생육이 양호한 것으로 판단된다.

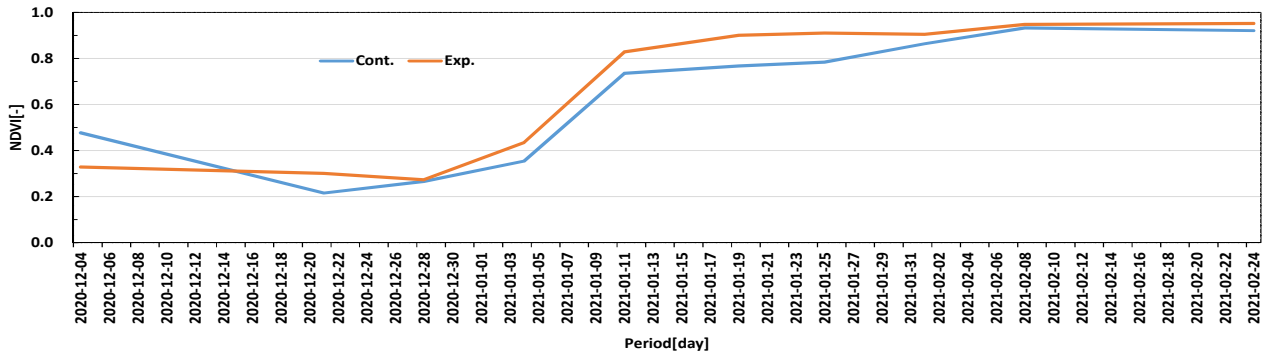


그림 17. 실험구와 대조구의 정규식생지수(NDVI)

### ㄴ) 녹색정규식생지수(GNDVI)

그림 18은 분광스펙트럼 측정기(AVANTES, Spectrometer and Avalight-CAL Line, Netherlands)를 이용하여 7일 간격으로 측정한 녹색정규식생지수(GNDVI) 값을 나타낸 것이다.

그림 18에서 보는 바와 같이 실험구인 플라즈마 보일러를 설치 한 구역은 일반적인 전기식 보일러를 설치한 대조구와 비교하여 대조구는 21년 01월 25일 부터 21년 02월 28일 사이에 감소하는 경향을 보였지만 실험구는 지속적으로 성장하는 경향을 보였다.

실험구의 녹색정규식생지수(GNDVI)은 평균 0.364 정도를 나타내었고, 대조구의 녹색정규식생지수(GNDVI)는 평균 0.301 정도를 나타내 실험구가 대조구와 비교하여 0.063 높게 나타났다.

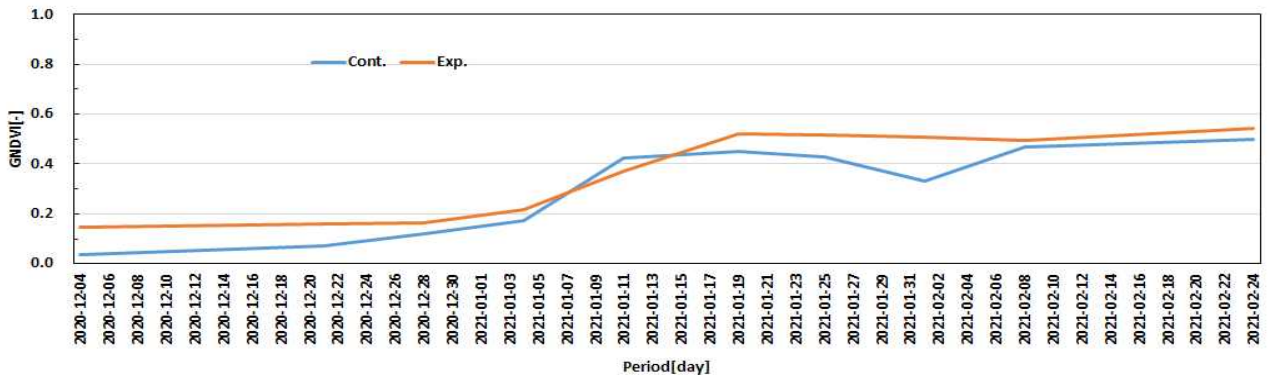


그림 18. 실험구와 대조구의 녹색정규식생지수(GNDVI)

ㄷ) SPAD 값(클로로필 함량)

그림 19은 실험구와 대조구에서 재배한 금전수의 SPAD 값을 나타낸 것이다. 일반적으로 SPAD 값은 작물의 클로로필 함량을 예측할 수 있기 때문에 농업분야의 작물 생육정보로 활용되고 있다.

그림 19에서 보는 바와 같이 금전수의 클로로필 함량을 나타내는 SPAD 값은 2021년 02월 15일 이후 모두 감소하는 경향을 보였으나 실험구가 대조구보다 높은 경향을 나타내었다.

실험구 SPAD값은 평균 59.670정도를 나타내었고, 대조구는 평균 58.352로 나타났다. 이것은 실험구가 대조구와 비교하여 평균값 차이는 1.318 높은 값으로서 전술한 바와 같이 실험구 온실이 대조구와 비교하여 온실 내부온도 변화가 적어 생육이 양호한 것으로 판단된다.

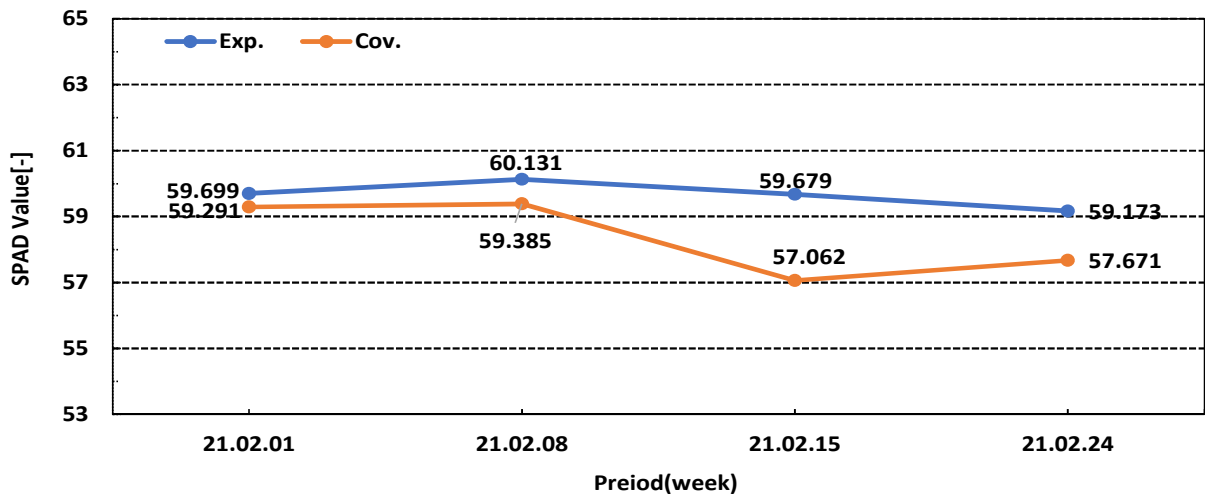


그림 19. 실험구와 대조구의 SPAD값 비교

ㄹ) 수고 성장량

그림 20와 21은 10 주간 실험구와 대조구 온실에서 재배한 금전수의 수고 변화와 누적 성장량을 나타낸 것이다.

그림 20에서 보는 바와 같이 0주차에서는 실험구보다 대조구가 10mm 더 높은 경향을 보였으나 1주차 이후로 부터는 실험구가 급격하게 성장하며 대조구와 비교하여 더 높은 성장량을 나타냈다.

그림 21에서 보는 바와 같이 실험구에서 금전수 누적 수고 성장량은 73.5 mm 이었고, 대조구의 경우에는 53 mm로 나타나 실험구가 대조구 보다 약 20 mm 정도 높이 성장량이 양호한 것으로 나타났다.

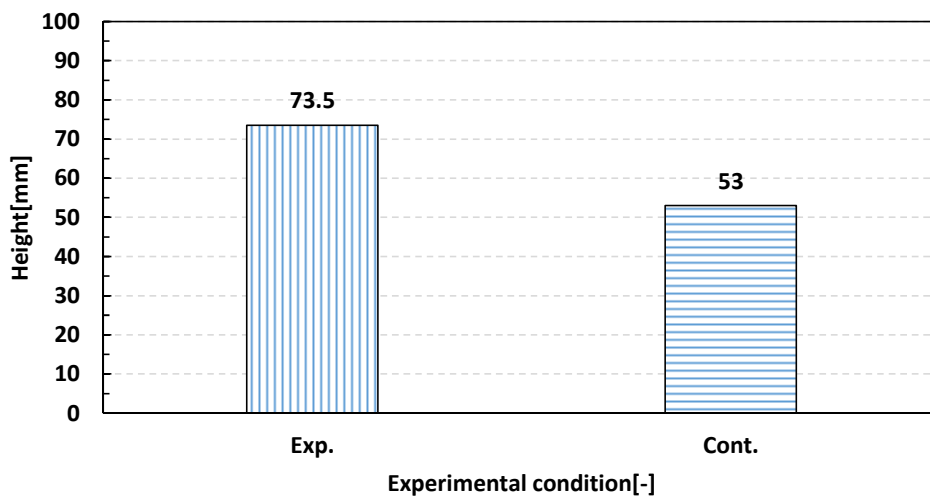


그림 21. 10 주간 금전수 누적 수고(높이) 성장량

ㄹ) 엽장 성장량

그림 22과 23는 실험구과 대조구에서 재배한 금전수 엽장 성장량과 10주간 누적 성장량을 비교하여 나타낸 것이다.

그림 22에서 나타낸 바와 같이 0~3주차에서는 실험구가 대조구보다 엽장 성장량이 더 높은 경향을 나타내었고, 그 이후 기간에서는 성장량 변화가 유사한 것으로 나타났다.

그림 23에서 보는 바와 같이 10주간 실험구 금전수의 누적 성장량은 8.2 mm 이었고, 대조구의 경우에는 6.9 mm 로 나타나 실험구가 대조구 보다 약 1.3 mm 정도 엽장 성장량이 높은 것으로 나타났다.

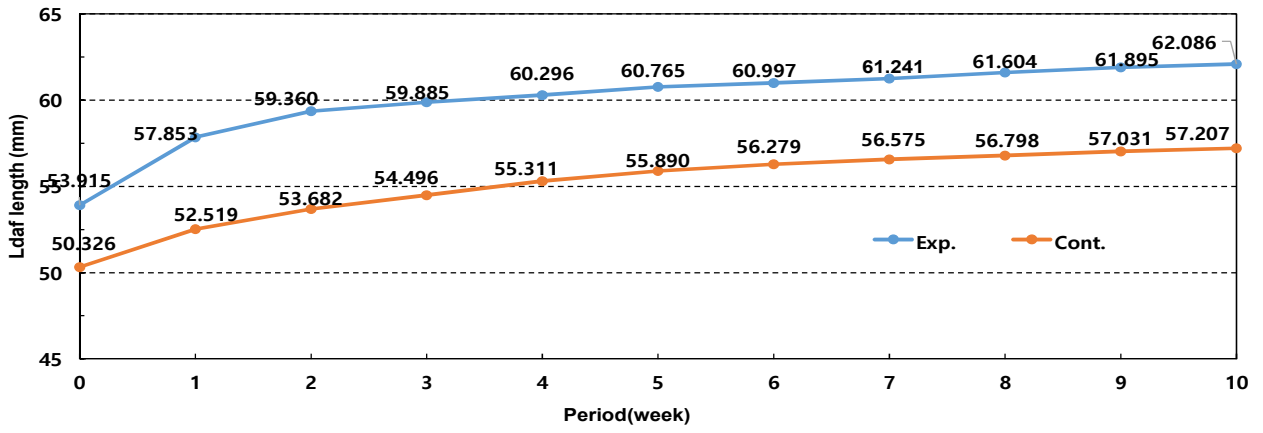


그림 22. 금전수의 엽장 성장량

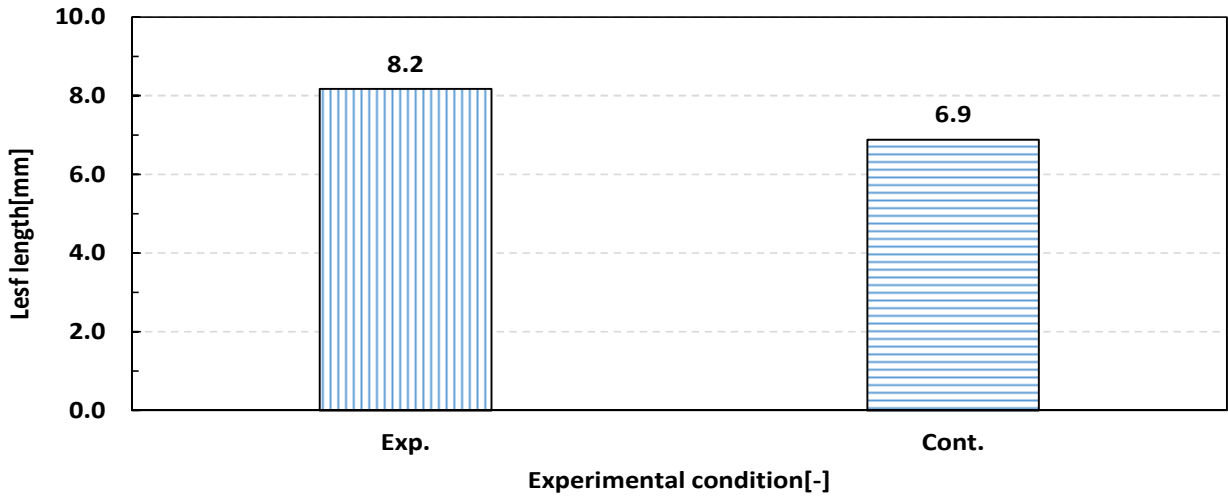


그림 23. 10 주간 금전수 누적 엽장 성장량

ㄴ) 엽폭 성장량

그림 24과 25는 실험구와 대조구의 금전수 엽폭 성장량과 10주간의 누적 성장량을 나타낸 것이다.

그림 24에서 나타낸 바와 같이 실험구와 대조구에서 재배한 금전수의 엽폭 성장량은 유사한 경향을 보였다.

그림 25에서 보는 바와 같이 10 주간의 엽폭 누적 성장량은 실험구와 대조구에서 4 mm로 동일하게 성장한 것으로 나타났다.

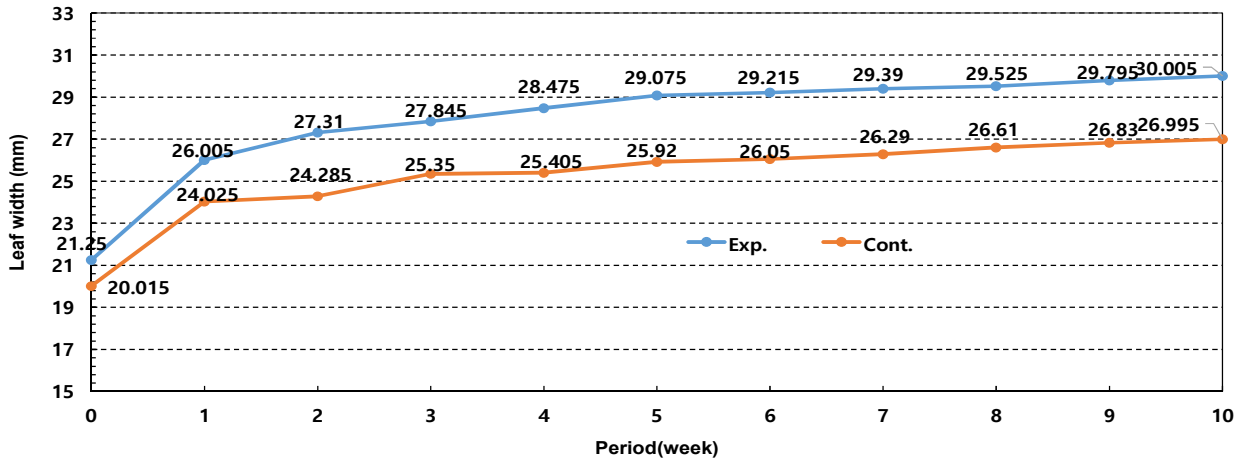


그림 24. 주간 실험구 와 대조구의 엽폭 성장량

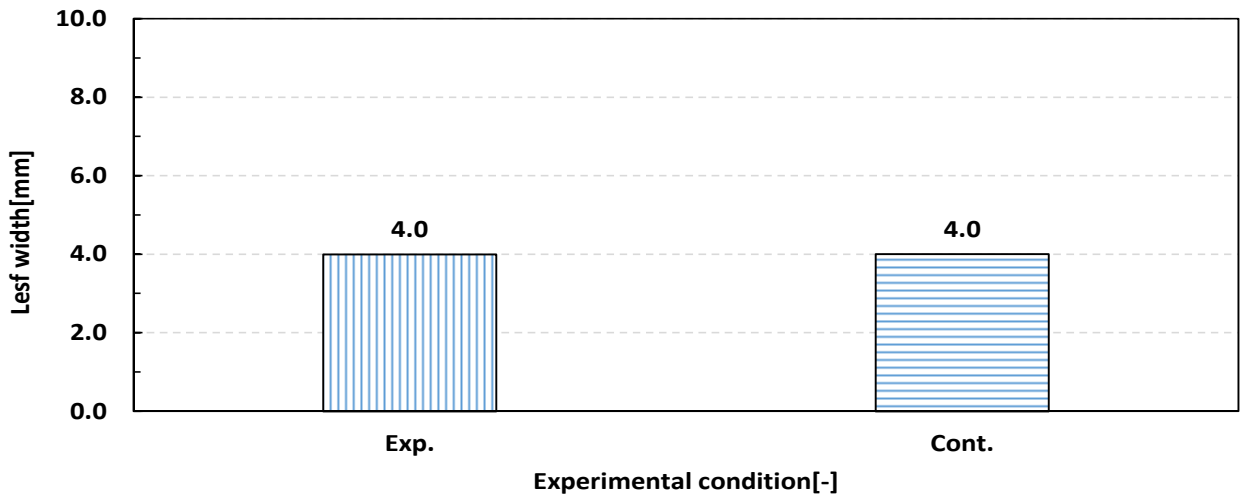


그림 25. 10 주간 금전수 누적 엽장 성장량

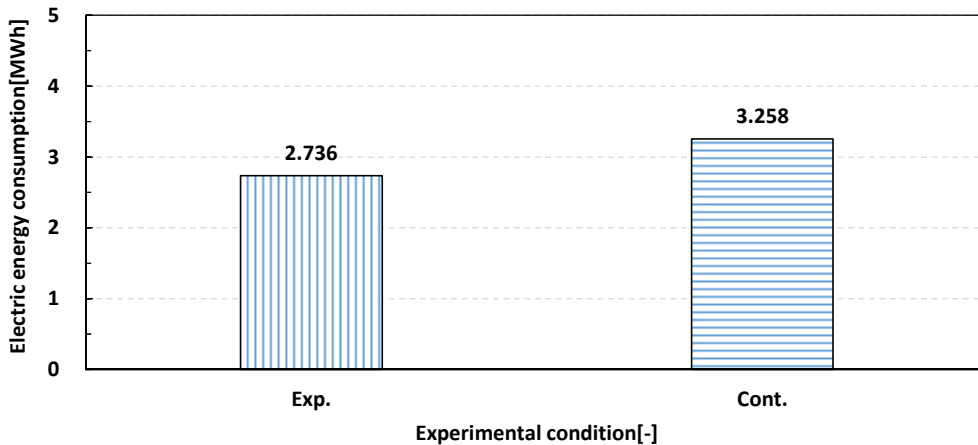
7) 플라즈마 보일러와 일반 보일러의 평균 소비 전력

그림 26는 일정 기간 기준(기간 I: 2021년 02월 01일 ~ 2021년 02월 08일, 기간 II: 2021년 02월 08일 ~ 2021년 02월 14일) 실험구와 대조구 보일러가 소모한 소비 전력량을 나타낸 것이다.

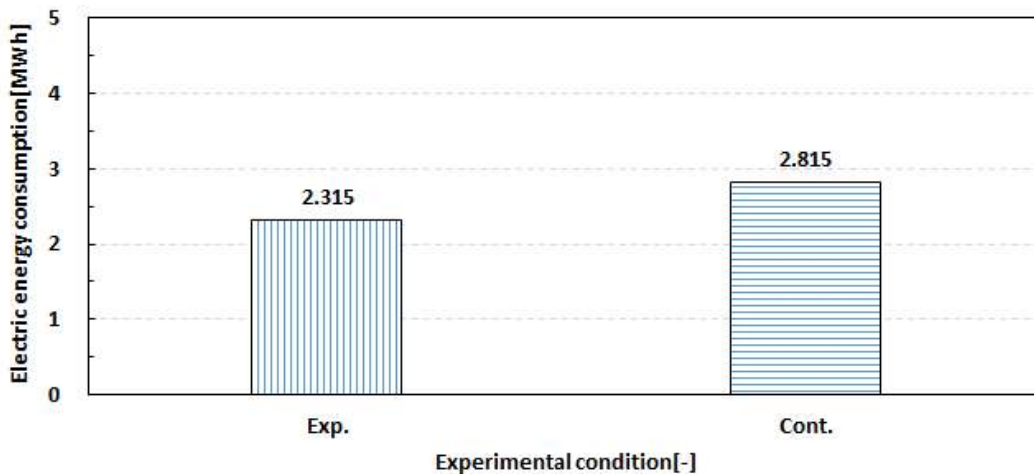
그림 26에 나타낸 바와 같이 온실 내부를 난방하기 위해 사용된 소비전력량은 기간 I과 기간 II 동안 실험구가 대조구보다 더 적게 소비하는 것으로 나타내었다.

기간 I(2021년 02월 01일 ~ 2021년 02월 08일) 플라즈마 보일러와 상용 전기보일러의 소비전력량은 각각 2.736 MWh, 3.258 MWh로서 플라즈마 보일러가 상용 전기보일러보다 약 0.522 MWh 적게 소비되어 약 16.1% 정도 에너지 절감효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 기간 II(2021년 02월 08일 ~ 2021년 02월 14일)에서도 플라즈마 보일러가 상용 전기보일러보다 약 0.500 MWh 적게 소비되어 약 17.8% 정도 에너지 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

이와 같이 플라즈마 보일러가 상용 전기보일러보다 동일한 난방조건에서 에너지 소비량은 적은 이유는 전술한 바와 같이 플라즈마 방식 가열 메커니즘이 일반 전도방식 가열 메커니즘보다 가열 능력이 우수했기 때문으로 판단된다.



(a) 기간 I(2021년 02월 01일 ~ 2021년 02월 08일)



(b) 기간 II(2021년 02월 08일 ~ 2021년 02월 14일)

그림 26. 일정기간 플라즈마 보일러와 상용 전기보일러의 소비 전력량 비교



## 8) 경제성 분석

### ㄱ) 경제성 분석방법

플라즈마 보일러 설치에 따른 경제성 분석은 다음의 항목과 가정을 바탕으로 상용 전기보일러와 비교하여 분석하였다.

- (1) 인건비 포함 보일러 설치비용(100평 기준)
- (2) 보일러 가격(70 kWh 기준)
- (3) 보일러 내구 연수(20년 기준)
- (4) 소비전력량 감소에 따른 이득 비용

### ㄴ) 경제성 분석

#### (a) 기초자료 분석

표 1은 본 연구에 사용된 플라즈마 보일러를 상용 전기보일러와 비교하여 인건비 포함 보일러 설치비용, 보일러 가격, 보일러 내구 연수 기초 조사 자료를 나타낸 것이다.

표 1에서 보는 바와 같이 보일러 설치비용은 플라즈마 보일러와 상용 전기보일러가 100평 기준 2,500,000원이 소비되는 것으로 나타났다. 보일러 가격의 경우 70 kWh 기준 플라즈마 보일러가 12,000,000원, 상용 전기보일러가 6,000,000 이었고, 내구연수는 플라즈마 보일러가 20년, 전기보일러가 5년으로 나타났다.

표 1. 플라즈마 보일러와 상용 전기보일러 경제성 분석

| 구분      | 플라즈마 보일러   | 상용 전기보일러  |
|---------|------------|-----------|
| 설치비용[원] | 2,500,000  | 2,500,000 |
| 가격[원]   | 12,000,000 | 6,000,000 |
| 내구연수[년] | 20         | 5         |

#### (b) 내구연수에 따른 경제성 분석

내구연수에 따른 경제성을 분석해 보면 플라즈마 보일러가 20년으로서 상용 전기보일러의 내수연수 5년보다 4배 높은 것으로 나타나 5년에 1번씩 보일러를 교체할 경우 4번의 보일러 교체와 설치비용이 소요되는 것으로서 20년 기준으로 보일러 설치비용과 보일러 가격은 다음과 같이 산출된다.

- 플라즈마 보일러  
 $2,500,000\text{원}(\text{설치비용}) + 12,000,000\text{원}(\text{보일러 가격}) = 14,500,000\text{원}$
- 상용 전기보일러  
 $\{2,500,000\text{원}(\text{설치비용}) + 6,000,000\text{원}(\text{보일러 가격})\} \times 4\text{회} = 34,000,000\text{원}$

(c) 소비전력량 감소에 따른 이득 비용

경제성 분석 중 소비전력 감소에 대한 전기 요금은 그림 26에 나타난 바와 같이 한국전력공사에서 책정한 농사용 전력 ‘을’ 중 고압(A,B)를 사용하였다. 그 이유는 한국전력공사의 농사용 전력 ‘을’은 ‘농사용 육묘 또는 전조재배에 사용하는 전력으로 계약 전력이 1,000 KW 미만’ 이 농사용 전력으로 정의하고 있고, 본 플라즈마 보일러 실증테스트를 수행한 시설하우스가 여기에 해당되기 때문이다. 또한 1년 중 난방기간은 11월~3월까지 5개월 간 난방을 수행하는 것으로 가정하여 1 KW 당 36.9원을 적용하여 전기요금을 산출하였다.

적용일자 : 2021년 1월 1일

| 구분 |         | 기본요금(원/kW) | 전력량 요금(원/kWh)     |      |
|----|---------|------------|-------------------|------|
| 갑  |         | 360        | 16.6              |      |
| 을  | 저압      | 1,150      | 34.2              |      |
|    | 고압(A,B) | 1,210      | 여름철(6~8월)         | 36.9 |
|    |         |            | 봄·가을철(3~5, 9~10월) | 34.9 |
|    |         |            | 겨울철(11~2월)        | 36.9 |

그림 26. 한국전력공사에서 책정한 농용 전기요금

연간 사용되는 소비 전력 비교는 본 연구 결과인 일주일간 사용된 소비전력을 기준으로 산출하였다. 전술한 바와 같이 플라즈마 보일러를 설치한 실험구의 경우 일주일 간 소비된 소비전력량은 2.76 MWh 이고, 시중에 판매되는 상용 전기보일러를 설치한 대조구의 주간 누적 소비 전력량을 3.25 MWh 이었다. 이와 같은 결과를 바탕으로 연간 전기요금을 산출하면 다음과 같다.

- 플라즈마 보일러  
 $2.76 \text{ MWh} \times 4 \text{ 주} \times 5 \text{ 개월} \times 36.9 \text{ 원} = 2,036,880 \text{ 원}$
- 상용 전기보일러  
 $3.25 \text{ MWh} \times 4 \text{ 주} \times 5 \text{ 개월} \times 36.9 \text{ 원} = 2,398,500 \text{ 원}$

따라서 플라즈마 보일러를 사용할 경우 일반 전기보일러보다 361,620원을 절약할 수 있는 것으로 나타났다.

(다) 플라즈마 보일러 총 이득 비용

플라즈마 보일러 사용에 따른 총 이득비용을 표 2에 나타내었다.

표 2에서 보는 바와 같이 일반 전기보일러 대신 플라즈마 보일러를 설치할 경우 초기 기계가격은 약 2배가 비싸지만 내구연수가 일반 전기보일러와 비교하여 4배 가량 길기 때문에 일반 전기보일러보다는 플라즈마 보일러가 경제적인 것으로 나타났고, 소비전력량 감소에 따른 전기요금도 연간 약 360,000원을 절약할 수 있기 때문에 플라즈마 보일러의 내구연수 20년은

기준으로 총 이득비용을 산출하여 연간 이득비용으로 환산하면 연간 약 1,336,620원의 경제적 효과가 있는 것으로 판단된다.

표 2. 내구연수 20년 기준플라즈마 보일러와 상용 전기보일러 경제성 분석

| 구분                    | 플라즈마 보일러                  | 상용 전기보일러                  |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------|
| 설치비용[원]               | 2,500,000                 | 10,00,000(2,500,000×4회)   |
| 가격[원]                 | 12,000,000                | 24,000,000(6,000,000×4회)  |
| 전기요금[원]               | 40,737,600(2,036,880×20년) | 47,970,000(2,398,500×20년) |
| 총 소요비용[원]             | 55,237,600[A]             | 81,970,000[B]             |
| 이득비용[원]<br>(A - B)    |                           | 26,732,400[C]             |
| 연간 이득비용[원]<br>(C/20년) |                           | 1,336,620                 |

#### 다. 요약 및 결론

농업용 보일러 실증 테스트에 사용된 보일러는 수증 플라즈마 방전 방식을 사용한 보일러를 실험구로 사용하였고, 대조구로는 일반 시중에 사용되고 있는 일반 전기 보일러를 사용하여 농업용 보일러 실증 실험을 진행하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 일주일간 대조구에 공급된 누적 전열량은 10,138.3 MJ/h 이 공급되었고, 실험구의 경우에는 8,334.0 MJ/h 의 전열량이 공급되어 실험구가 대조구보다 1,804.3 MJ/h 적게 공급된 것으로 나타났다.
- 2) 하우스 외피를 통한 손실열량은 대조구와 실험구에서 동일한 경향을 보였고, 야간보다 주간에 열 손실이 더 많이 발생하는 것으로 나타났으나 큰 차이는 없었다.
- 3) 실험구와 대조구 하우스의 지면을 통한 열손실량은 각각 202.07 kJ/h와 0.1 kJ/h로서 약 202 kJ/h 로 약간 많은 것으로 나타났으나 큰 차이는 없었다.
- 4) 실험구와 대조구의 하우스 내부온도는 오후 2시부터 오전 2시까지는 설정온도보다 높게 나타났고, 이후에는 실험구의 경우 설정온도를 유지했지만 대조구의 경우 큰 온도편차를 나타내었다.
- 5) 출수온도 편차는 플라즈마 보일러가 전기보일러보다 23~47.7°C 낮은 것으로 나타났다.
- 6) 설정 출수온도 도달시간은 플라즈마 보일러가 10분이 소요되는 것으로 나타났고, 일반 상용 전기보일러의 경우에는 약 30분이 소요되는 것으로 나타나 플라즈마 보일러 가열 매커니즘이 일반 전기보일러의 전도에 의한 가열 매커니즘보다 우수한 것으로 판단된다.
- 7) 실험구의 정규식생지수값(NDVI)은 평균 0.678 정도를 나타내었고, 대조구의 정규식생지수는 평균 0.632 정도로서 실험구가 대조구와 비교하여 약 0.046 정도 높은 것으로 나타났다.
- 8) 실험구의 녹색정규식생지수(GNDVI)은 평균 0.364 정도를 나타내었고, 대조구의 녹색정규식생지수(GNDVI)는 평균 0.301 정도를 나타나 실험구가 대조구와 비교하여 0.063 높게 나타났다.
- 9) 금전수의 클로로필 함량을 나타내는 SPAD 값은 플라즈마 보일러를 설치한 실험구가 일반 전기보일러를 설치한 대조구보다 높은 경향을 나타내었다.
- 10) 10주간 실험구 금전수의 누적 수고 성장량은 73.5 mm 이었고, 대조구의 경우에는 53 mm 로 나타나 실험구가 대조구보다 약 20 mm 정도 높이 성장량이 양호한 것으로 나타났다.
- 11) 10주간 실험구 금전수의 누적 엽장 성장량은 8.2 mm 이었고, 대조구의 경우에는 6.9 mm 로 나타나 실험구가 대조구 보다 약 1.3 mm 정도 엽장 성장량이 높은 것으로 나타났다.
- 12) 10 주간의 엽폭 누적 성장량은 실험구와 대조구에서 4 mm로 동일하게 성장한 것으로 나타났다.
- 13) 소비전력량은 플라즈마 보일러가 상용 전기보일러보다 약 0.500~0.522 MWh 적게 소비되어 약 16.1~17.8% 정도 에너지 절감효과가 있는 것으로 나타났다.
- 14) 플라즈마 보일러의 내구연구 20년은 기준으로 총 이득비용은 26,732,400원으로 나타났고, 연간 이득비용으로 환산하면 연간 약 1,336,620원의 경제적 효과가 있는 것으로 판단된다.

### 3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

#### 1) 연구수행 결과

##### (1) 정성적 연구개발성과

농가 보급형 발열량 70kW급 고효율 플라즈마 보일러 개발

- ▷ 플라즈마 방전 히터코어 트레인의 고 발열성능 및 열효율 확보
  - 989 ~ 1,032kcal/kW, COP=1.15 ~ 1.2
- ▷ 플라즈마 히터코어용 소재 및 도금방법 개발
  - STS316 + Cu/Pd/Pt 다중도금 히터코어
- ▷ 플라즈마 보일러 제어반 HW, SW 개발
  - HW : PIC16F77-1/PT micom 기반 main PCB 및 display PCB 설계, 제작
  - SW : 전력기기의 제어와 전압, 전류, 난방수 설정온도, 현재온도 등을 센싱, 표시
- ▷ 플라즈마 방전방식 70kW급 농업용 보일러 시제품 개발, 시설하우스 설치, 실증테스트
  - 소비전력량은 상용 전기보일러보다 약 0.500~0.522 MWh 적게 소비되어 약 16.1~17.8% 정도 에너지 절감효과 확인

##### (2) 정량적 연구개발성과(해당 시 작성하며, 연구개발과제의 특성에 따라 수정이 가능합니다)

(단위 : 건, 천원)

| 성과지표명                         |        |         | 연도   |      | 계 | 가중치 (%) |
|-------------------------------|--------|---------|------|------|---|---------|
|                               |        |         | 2020 | 2021 |   |         |
| 전담기관 등록·기탁 지표 <sup>1)</sup>   | 논문     | 목표(단계별) |      |      |   |         |
|                               |        | 실적(누적)  |      |      |   |         |
|                               | 특허     | 목표(단계별) | 1    |      | 1 | 20      |
|                               |        | 실적(누적)  | 1    |      | 1 |         |
|                               | 학술발표   | 목표(단계별) | 1    |      | 2 | 20      |
|                               |        | 실적(누적)  | 1    |      | 1 |         |
| 연구개발과제 특성 반영 지표 <sup>2)</sup> | 기술이전   | 목표(단계별) | 1    |      | 1 | 10      |
|                               |        | 실적(누적)  | 1    |      | 1 |         |
|                               | 고용창출   | 목표(단계별) | 1    |      | 1 | 20      |
|                               |        | 실적(누적)  | 2    |      | 2 |         |
|                               | 시제품 제작 | 목표(단계별) | 1    |      | 1 | 10      |
|                               |        | 실적(누적)  | 1    |      | 1 |         |
|                               | 제품화    | 목표(단계별) | 1    |      | 1 | 20      |
|                               |        | 실적(누적)  | 1    |      | 1 |         |
|                               | 계      | 목표(단계별) | 7    |      | 8 | 100     |
|                               |        | 실적(누적)  | 7    |      | 7 |         |

< 연구개발성과 성능지표 >

| 평가 항목<br>(주요성능 <sup>1)</sup> ) | 단위      | 전체 항목에서<br>차지하는<br>비중 <sup>2)</sup> (%) | 세계 최고        |        | 연구개발 전<br>국내 성능수준 | 연구개발 목표치              |                       | 목표설정<br>근거          |
|--------------------------------|---------|---|--------------|--------|-------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
|                                |         |   | 보유국/<br>보유기관 | 성능수준   | 성능수준              | 1단계 목표<br>(2020-2021) | 1단계 성과<br>(2020-2021) |                     |
| 1 전기입력                         | kW      | 20                                      | 러시아/<br>갈란사  | 70     | 70                | 70                    | 70                    | 동일입력<br>기준          |
| 2 발열량                          | kcal/hr | 20                                      | “            | 57,200 | 51,200            | 59,000                | 69,200                |                     |
| 3 열효율                          | %       | 20                                      | “            | 95     | 85                | 98 이상                 | 115                   |                     |
| 4 히터수명                         | 년       | 20                                      | “            | 5      | 2                 | 20                    | 20                    | 정기세척<br>기준          |
| 5 설정온도<br>도달시간                 | 분       | 10                                      | “            | 10 이내  | 16                | 10 이내                 | 10                    | 급탕 200L,<br>20℃→70℃ |
| 6 급탕방식                         |         | 10                                      | “            | 직수형    | 저탕형               | 직수형                   | 직수형                   |                     |

(3) 세부 정량적 연구개발성과(해당되는 항목만 선택하여 작성하되, 증빙자료를 별도 첨부해야 합니다)

[과학적 성과]

논문(국내외 전문 학술지) 게재

| 번호 | 논문명 | 학술지명 | 주저자명 | 호 | 국명 | 발행기관 | SCIE 여부<br>(SCIE/비SCIE) | 게재일 | 등록번호<br>(ISSN) | 기여율 |
|----|-----|------|------|---|----|------|-------------------------|-----|----------------|-----|
|    |     |      |      |   |    |      |                         |     |                |     |

국내 및 국제 학술회의 발표

| 번호 | 회의 명칭 | 발표자 | 발표 일시 | 장소 | 국명 |
|----|-------|-----|-------|----|----|
|    |       |     |       |    |    |

기술 요약 정보

| 연도 | 기술명 | 요약 내용 | 기술 완성도 | 등록 번호 | 활용 여부 | 미활용사유 | 연구개발기관<br>외 활용여부 | 허용방식 |
|----|-----|-------|--------|-------|-------|-------|------------------|------|
|    |     |       |        |       |       |       |                  |      |

보고서 원문

| 연도 | 보고서 구분 | 발간일 | 등록 번호 |
|----|--------|-----|-------|
|    |        |     |       |

생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

| 번호 | 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명 | 등록/기탁 번호 | 등록/기탁 기관 | 발생 연도 |
|----|------------------------|----------|----------|-------|
|    |                        |          |          |       |

[기술적 성과]

지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

| 번호 | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재)        | 국명   | 출원     |                |                   |          | 등록  |     |       | 기여율 | 활용<br>여부 |
|----|---------------------------------|------|--------|----------------|-------------------|----------|-----|-----|-------|-----|----------|
|    |                                 |      | 출원인    | 출원일            | 출원<br>번호          | 등록<br>번호 | 등록인 | 등록일 | 등록 번호 |     |          |
| 1  | 전극보일러의 구조 및<br>이를 이용한<br>전류제어방법 | 대한민국 | (주)지에이 | 2022.07<br>.26 | 1020210<br>098061 |          |     |     |       | 70% | 여        |

○ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

| 번호 | 제품화 | 방어 | 전용실시 | 통상실시 | 무상실시 | 매매/양도 | 상호실시 | 담보대출 | 투자 | 기타 |
|----|-----|----|------|------|------|-------|------|------|----|----|
| 1  | √   |    |      |      |      |       |      |      |    |    |

저작권(소프트웨어, 서적 등)

| 번호 | 저작권명 | 창작일 | 저작자명 | 등록일 | 등록 번호 | 저작권자명 | 기여율 |
|----|------|-----|------|-----|-------|-------|-----|
|    |      |     |      |     |       |       |     |

신기술 지정

| 번호 | 명칭 | 출원일 | 고시일 | 보호 기간 | 지정 번호 |
|----|----|-----|-----|-------|-------|
|    |    |     |     |       |       |

기술 및 제품 인증

| 번호 | 인증 분야 | 인증 기관 | 인증 내용 |       | 인증 획득일 | 국가명 |
|----|-------|-------|-------|-------|--------|-----|
|    |       |       | 인증명   | 인증 번호 |        |     |
|    |       |       |       |       |        |     |

표준화

○ 국내 표준

| 번호 | 인증구분 <sup>1</sup> | 인증여부 <sup>2</sup> | 표준명 | 표준인증기구명 | 제안주체 | 표준종류 <sup>3</sup> | 제안/인증일자 |
|----|-------------------|-------------------|-----|---------|------|-------------------|---------|
|    |                   |                   |     |         |      |                   |         |

- \* 1 한국산업규격(KS) 표준, 단체규격 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.
- \* 2 제안 또는 인증 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- \* 3 신규 또는 개정 중 해당하는 사항을 기재합니다.

○ 국제 표준

| 번호 | 표준화단계구분 <sup>1</sup> | 표준명 | 표준기구명 <sup>2</sup> | 표준분과명 | 의장단<br>활동여부 | 표준특허<br>추진여부 | 표준개발<br>방식 <sup>3</sup> | 제안자 | 표준화<br>번호 | 제안일자 |
|----|----------------------|-----|--------------------|-------|-------------|--------------|-------------------------|-----|-----------|------|
|    |                      |     |                    |       |             |              |                         |     |           |      |

- \* 1 국제표준 단계 중 신규 작업항목 제안(NP), 국제표준초안(WD), 위원회안(CD), 국제표준안(DIS), 최종국제표준안(FDIS), 국제표준(IS) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- \* 2 국제표준화기구(ISO), 국제전기기술위원회(IEC), 공동기술위원회1(JTC1) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- \* 3 국제표준(IS), 기술시방서(TS), 기술보고서(TR), 공개활용규격(PAS), 기타 중 해당하는 사항을 기재합니다.

[경제적 성과]

시제품 제작

| 번호 | 시제품명                                | 출시/제작일     | 제작 업체명 | 설치 장소            | 이용 분야                                     | 사업화 소요<br>기간 | 인증기관<br>(해당 시) | 인증일<br>(해당 시) |
|----|-------------------------------------|------------|--------|------------------|---|--------------|----------------|---------------|
| 1  | 플라즈마<br>방전방식<br>70kW급<br>농업용<br>보일러 | 2020.11.30 | 자체 제작  | 유니플랜텍,<br>사내 연구실 | 원예시설하우<br>스 난방용<br>발열성능 및<br>히터코어<br>재료연구 | 8개월          |                |               |



### 플라즈마 방전방식 70kW급 농업용 보일러 시제품

#### □ 기술 실시(이전)

| 번호 | 기술 이전 유형 | 기술 실시 계약명                 | 기술 실시 대상 기관 | 기술 실시 발생일 | 기술료 (해당 연도 발생액) | 누적 징수 현황 |
|----|----------|---------------------------|-------------|-----------|-----------------|----------|
| 1  | 내부자금     | 플라즈마보일러 40, 70kW 설계, 제작기술 | (주)지에이      | 2021.5.25 | 5백만원            | 미납       |

\* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

#### □ 사업화 투자실적

| 번호 | 추가 연구개발 투자 | 설비 투자 | 기타 투자 | 합계 | 투자 자금 성격* |
|----|------------|-------|-------|----|-----------|
|    |            |       |       |    |           |

#### □ 사업화 현황

| 번호 | 사업화 방식 <sup>1</sup> | 사업화 형태 <sup>2</sup> | 지역 <sup>3</sup> | 사업화명      | 내용                   | 업체명    | 매출액     |         | 매출 발생 연도 | 기술 수명 |
|----|---------------------|---------------------|-----------------|-----------|----------------------|--------|---------|---------|----------|-------|
|    |                     |                     |                 |           |                      |        | 국내 (천원) | 국외 (달러) |          |       |
| 1  | 자기실시                | 신제품 개발              | 국내              | 플라즈마보일러제조 | 플라즈마 보일러 70kW 설계, 제작 | (주)지에이 | 22,000  |         | 2021     | 10년   |

\* 1□기술이전 또는 자기실시

\* 2□신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등

\* 3□국내 또는 국외

#### □ 매출 실적(누적)

| 사업화명           | 발생 연도 | 매출액    |        | 합계     | 산정 방법  |
|----------------|-------|--------|--------|--------|--------|
|                |       | 국내(천원) | 국외(달러) |        |        |
| 70kW급 플라즈마 보일러 | 2021  | 22,000 |        | 22,000 | 제품 판매가 |
| 합계             |       | 22,000 |        | 22,000 |        |



□ 사업화 계획 및 무역 수치 개선 효과

| 성 과                            |             | 수중 플라즈마 방전방식 농업용 보일러 상품화  |           |           |      |
|--------------------------------|-------------|---|-----------|-----------|------|
| 사업화 계획                         | 사업화 소요기간(년) | 3년  |           |           |      |
|                                | 소요예산(천원)    | 1,478,000   |           |           |      |
|                                | 예상 매출규모(천원) | 현재까지  | 3년 후      | 5년 후      |      |
|                                |             | 22,000  | 1,980,000 | 6,600,000 |      |
|                                | 시장 점유율      | 단위(%)   | 현재까지      | 3년 후      | 5년 후 |
|                                |             |   | 국내        | 1         | 30   |
| 국외                             |             |   | -         | 1 이하      | 5    |
| 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 |             | 플라즈마 방전방식 보일러 30, 60, 90kW급 3종<br>플라즈마 방전방식 히터유닛 10, 20, 30kW급 3종 |           |           |      |
| 무역 수치 개선 효과(천원)                | 수입대체(내수)    | 현재  | 3년 후      | 5년 후      |      |
|                                | 수출          | -   | 1,000,000 | 2,000,000 |      |
|                                |             | -   | 300,000   | 2,700,000 |      |

□ 고용 창출

| 순번 | 사업화명     | 사업화 업체 | 고용창출 인원(명) |       | 합계 |
|----|----------|--------|------------|-------|----|
|    |          |        | 2021년      | 2022년 |    |
| 1  | 플라즈마 보일러 | ㈜지에이   | 2          | 4     | 6  |
| 합계 |          |        |            |       |    |

□ 고용 효과

| 고용 효과 | 구분   | 고용 효과(명) |      |
|-------|------|----------|------|
|       |      | 개발 전     | 개발 후 |
|       | 연구인력 |          | 2    |
|       | 생산인력 |          | -    |
|       | 연구인력 |          | 3    |
|       | 생산인력 |          | 4    |

□ 비용 절감(누적)

| 순번 | 사업화명 | 발생연도 | 산정 방법 | 비용 절감액(천원) |
|----|------|------|-------|------------|
| 합계 |      |      |       |            |

□ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

| 구분    | 사업화명     | 수입 대체      | 수출 증대   | 매출 증대     | 생산성 향상    | 고용 창출 (인력 양성 수) | 기타 |
|-------|----------|------------|---------|-----------|-----------|-----------------|----|
| 해당 연도 | 플라즈마 보일러 | 2024       | 2024    | 2024      | 2024      | 2024            |    |
| 기대 목표 |          | 10,000,000 | 300,000 | 1,980,000 | 1,980,000 | 6               |    |

□ 산업 지원(기술지도)

| 순번 | 내용 | 기간 | 참석 대상 | 장소 | 인원 |
|----|----|----|-------|----|----|
|    |    |    |       |    |    |

□ 기술 무역

(단위: 천원)

| 번호 | 계약 연월 | 계약 기술명 | 계약 업체명 | 계약업체 국가 | 기 징수액 | 총 계약액 | 해당 연도 징수액 | 향후 예정액 | 수출/수입 |
|----|-------|--------|--------|---------|-------|-------|-----------|--------|-------|
|    |       |        |        |         |       |       |           |        |       |

[사회적 성과]

□ 법령 반영

| 번호 | 구분 (법률/시행령) | 활용 구분 (제정/개정) | 명칭 | 해당 조항 | 시행일 | 관리 부처 | 제정/개정 내용 |
|----|-------------|---------------|----|-------|-----|-------|----------|
|    |             |               |    |       |     |       |          |

□ 정책활용 내용

| 번호 | 구분 (제안/채택) | 정책명 | 관련 기관 (담당 부서) | 활용 연도 | 채택 내용 |
|----|------------|-----|---------------|-------|-------|
|    |            |     |               |       |       |

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

| 번호 | 구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서) | 활용 구분 (신규/개선) | 설계 기준/설명서/지침/안내서 명칭    | 반영일      | 반영 내용       |
|----|-----------------------|---------------|------------------------|----------|-------------|
| 1  | 설계기준                  | 신규            | 플라즈마 방전 히터코어 트레이 설계 기준 | 2021.5.1 | 신규 설계기준서 작성 |

□ 전문 연구 인력 양성

| 번호 | 분류 | 기준 연도 | 현황  |    |    |    |    |   |     |     |     |     |    |
|----|----|-------|-----|----|----|----|----|---|-----|-----|-----|-----|----|
|    |    |       | 학위별 |    |    |    | 성별 |   | 지역별 |     |     |     |    |
|    |    |       | 박사  | 석사 | 학사 | 기타 | 남  | 여 | 수도권 | 충청권 | 영남권 | 호남권 | 기타 |
| 1  |    | 2021  |     |    | 4  |    | 3  | 1 |     | 4   |     |     |    |

□ 산업 기술 인력 양성

| 번호 | 프로그램명 | 프로그램 내용 | 교육 기관 | 교육 개최 횟수 | 총 교육 시간 | 총 교육 인원 |
|----|-------|---------|-------|----------|---------|---------|
|    |       |         |       |          |         |         |

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

| 번호 | 중앙행정기관명 | 사업명       | 연구개발과제명                         | 연구책임자 | 연구개발비   |
|----|---------|-----------|---------------------------------|-------|---------|
| 1  | 농업축산식품부 | 기술사업화지원사업 | 수중 플라즈마 방전 방식 농업용 보일러 상품화 기술 개발 | 김길호   | 803,000 |

□ 국제화 협력성과

| 번호 | 구분 (유치/파견) | 기간 | 국가 | 학위 | 전공 | 내용 |
|----|------------|----|----|----|----|----|
|    |            |    |    |    |    |    |

□ 홍보 실적

| 번호 | 홍보 유형 | 매체명 | 제목 | 홍보일 |
|----|-------|-----|----|-----|
|    |       |     |    |     |

□ 포상 및 수상 실적

| 번호 | 종류 | 포상명 | 포상 내용 | 포상 대상 | 포상일 | 포상 기관 |
|----|----|-----|-------|-------|-----|-------|
|    |    |     |       |       |     |       |

[인프라 성과]

□ 연구시설·장비

| 구축기관 | 연구시설/<br>연구장비명 | 규격<br>(모델명) | 개발여부<br>(○/×) | 연구시설·장비<br>종합정보시스템*<br>등록여부 | 연구시설·장비<br>종합정보시스템*<br>등록번호 | 구축일자<br>(YY.MM.DD) | 구축비용<br>(천원) | 비고<br>(설치 장소) |
|------|----------------|-------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------|---------------|
|      |                |             |               |                             |                             |                    |              |               |

\* 「과학기술기본법 시행령」 제42조제4항제2호에 따른 연구시설·장비 종합정보시스템을 의미합니다.

[그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다)

<참고 1> 연구성과 실적 증빙자료 예시

| 성과유형                | 첨부자료 예시  |
|---------------------|--|
| 연구논문                | 논문 사본(저자, 초록, 사사표기)을 확인할 수 있는 부분 포함, 연구개발과제별 중복 첨부 불가) |
| 지식재산권               | 산업재산권 등록증(또는 출원서) 사본(발명인, 발명의 명칭, 연구개발과제 출처 포함)        |
| 제품개발(시제품)           | 제품개발사진 등 시제품 개발 관련 증빙자료                                |
| 기술이전                | 기술이전 계약서, 기술실시 계약서, 기술료 입금 내역서 등                       |
| 사업화<br>(상품출시, 공정개발) | 사업화된 제품사진, 매출액 증빙서류(세금계산서, 납품계약서 등 매출 확인가능 내부 회계자료) 등  |
| 품목허가                | 미국 식품의약국(FDA) / 식품의약품안전처(MFDS) 허가서                     |
| 임상시험실시              | 임상시험계획(IND) 승인서  |

<참고 2> 국가연구개발혁신법 시행령 제33조제4항 및 별표 4에 따른 연구개발성과의 등록·기탁 대상과 범위

| 구분 | 대상             | 등록 및 기탁 범위  |
|----|----------------|---|
| 등록 | 논문             | 국내외 학술단체에서 발간하는 학술(대회)지에 수록된 학술 논문(전자원문 포함)   |
|    | 특허             | 국내외에 출원 또는 등록된 특허정보   |
|    | 보고서원문          | 연구개발 연차보고서, 단계보고서 및 최종보고서의 원문   |
|    | 연구시설<br>장비     | 국가연구개발사업을 통하여 취득한 3천만 원 이상 (부가가치세, 부대비용 포함) 연구시설·장비 또는 공동활용이 가능한 모든 연구시설·장비   |
|    | 기술요약정보         | 연차보고, 단계보고 및 최종보고가 완료된 연구개발성과의 기술을 요약한 정보   |
|    | 생명자원 중<br>생명정보 | 서열·발현정보 등 유전체정보, 서열·구조·상호작용 등 단백질체정보, 유전자(DNA)칩·단백질칩 등 발현체 정보 및 그 밖의 생명정보   |
|    | 소프트웨어          | 창작된 소프트웨어 및 등록에 필요한 관련 정보   |
|    | 표준             | 「국가표준기본법」 제3조에 따른 국가표준, 국제표준으로 채택된 공식 표준정보[소관 기술위원회를 포함한 공식 국제표준화기구(ISO, IEC, ITU)가 공인한 단체 또는 사실표준화기구에서 채택한 표준정보를 포함한다] |
| 기탁 | 생명자원 중<br>생물자원 | 세균, 곰팡이, 바이러스 등 미생물자원, 인간 또는 동물의 세포·수정란 등 동물자원, 식물세포·종자 등 식물자원, DNA, RNA, 플라스미드 등 유전체자원 및 그 밖의 생물자원                     |
|    | 화합물            | 합성 또는 천연물에서 추출한 유기화합물 및 관련 정보   |
|    | 신품종            | 생물자원 중 국내외에 출원 또는 등록된 농업용 신품종 및 관련 정보   |

## 2) 목표 달성 수준

| 추진 목표            | 달성 내용                          | 달성도(%) |
|------------------|--------------------------------|--------|
| ○플라즈마 시제품 전기입력용량 | ○전기입력용량 70kW급 설계, 제작           | 100    |
| ○ “ 발열량 및 열효율    | ○69,200kcal/hr, 115%           | 115    |
| ○ ” 히터수명         | ○20년                           | 100    |
| ○ “ 설정온도 도달시간    | ○급탕 200L 20→40°C, 10분          | 100    |
| ○ ” 전용 컨트롤러      | ○micom 기반 pcb H/W 및 S/W 설계, 개발 | 100    |
| ○방식용 전해수 개발      | ○나트륨 헥사메탄인산염 용액 적용 불가 확인       | 20     |

## 4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성합니다)

### 1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

미국특허 3469074에서는 전극봉 보일러용 전해수로서 나트륨 헥사메탄인산염 0.2% 용액을 사용하여 티타늄 전극의 부식을 방지한다고 하였고, 이를 검증하기 위하여 똑같은 용액을 제조하여 상기의 STS316L 플라즈마 히터코어 방전에 적용한 결과, 전해 부식의 속도는 약간 감소하는 차이가 있으나 전해 부식을 방지할 수 없음을 확인하였다. 이는 언급된 특허에서 실험 방법이 직경 1/8“ 티타늄 전극을 12” 이격하여 AC240V,50Hz,2A 정도의 전기를 인가했을 때 결과이며, 이 경우 플라즈마 강도는 본 연구에서 적용하는 AC240V,60Hz,40~100A 및 이격거리 10~25mm와 비교할 때 1/수십~수백에 불과한 강도였기 때문에 가능했을 것으로 판단된다.

### 2) 자체 보완활동

전해수로서 특정 용액의 적용 가능성이 희박하고, 히터코어의 표면에 백금, 팔라듐, 루테튬과 같은 비활성 특성의 백금족 금속으로 도금을 하여도 부식전위가 높은 base metal의 핀홀을 통한 전해부식은 피할 수 없다. 이러한 현상을 방지할 수 있는 전혀 새로운 방안으로 히터코어의 베이스 재료로서 부식전위가 제로인 부도체를 적용하는 방법으로서 고내열성 엔지니어링 플라스틱 PPS를 적용하는 방법을 발명하였고, 이를 적용한 기술사업화 연구를 계속 진행한다.

### 3) 연구개발 과정의 성실성

당 연구를 성실하게 수행하여 연구개발 목표 대부분을 100% 달성한 바, 1) 농가 보급형 발열량 70kW급 고효율 플라즈마 보일러 시제품을 개발하여 플라즈마 방전 히터 트레인의 발열성능 및 열효율을 989 ~ 1,032kcal/kW, COP=1.15 ~ 1.2와 같이 달성하였다. 2) 플라즈마 히터코어용 소재 및 도금방법으로서 STS316 + Cu/Pd/Pt 다중도금 히터코어를 개발하였다. 3) 플라즈마 보일러 전용 제어반 HW 및 SW 개발하여 전력기기의 제어와 전압, 전류, 난방수 설정온도, 현재온도 등을 센싱, 표시할 수 있다. 4) 플라즈마 방전방식 70kW급 농업용 보일러 시제품을 시설하우스 설치하여 난방 성능 실증테스트 결과 소비전력량은 상용 전기보일러보다 약 0.500~0.522 MWh 적게 소비되어 약 16.1~17.8% 정도 에너지 절감효과를 확인하였다.

## 5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

---

- 플라즈마 방전 방식 고효율 보일러에 대한 제조기술을 선점함으로써 해외 수출 시장 확대 및 기술 우위성 확보
  - 연구 결과에 따른 조속한 상품화 개발을 통하여 고효율 플라즈마 보일러 관련 독자적 위치 확보 및 신기술의 전극보일러난방 분야 블루오션 시장 선점
  - 보일러 기술 분야 선진국인 러시아에서 개발되어 상품화된 기술이지만, 안고 있던 결함을 완전히 해결한 원천기술을 획득함에 따라 후발주자로서 글로벌 시장에 성공적으로 진출하여 수익 창출
  - 종래 미답이었던 수증 플라즈마 현상에 대한 기술적 이해와 분석이 가능함에 따라 관련 기술인력 양성 및 관련 분야 미래 신기술 개발의 바탕을 마련
  - 국내외 농업용 난방기 시장의 규모 확대와 아울러 국내외 시설원예농가에 대한 소비심리를 자극함으로써 구매패턴의 변화를 기대할 수 있음
- 

## 6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

---

- 플라즈마 방전 방식 고효율 보일러의 연구성과를 활용하여 기술사업화 연구를 지속함으로써 3년 내로 10kW, 20kW, 30kW급 플라즈마 보일러 유닛 3종과 발열량 30kW, 60kW, 90kW급 플라즈마 보일러를 개발하여 양산, 내수시장 출시
  - 10kW, 20kW, 30kW급 플라즈마 보일러 유닛 3종과 발열량 30kW, 60kW, 90kW급 플라즈마 보일러의 상품화 완료 후 2023년 하반기부터 기 확보된 바이어를 통한 해외시장 출시
  - 2024년부터 국제농어업용기계전시회 및 에너지기기 관련 전시회에 참가하여 관련업계 메이저 업체 상담 및 수주
  - 플라즈마 방전 방식 고효율 보일러 관련 응용기술 확보 : 10kW~수백kW급 다양한 제품 구현
-

< 연구개발성과 활용계획표(예시) >

| 구분(정량 및 정성적 성과 항목)  |       | 연구개발 종료 후 5년 이내   |
|---------------------|-------|---|
| 국외논문                | SCIE  |   |
|                     | 비SCIE | 1   |
|                     | 계     | 1   |
| 국내논문                | SCIE  |   |
|                     | 비SCIE | 2   |
|                     | 계     | 2   |
| 특허출원                | 국내    | 3   |
|                     | 국외    | 1   |
|                     | 계     | 4   |
| 특허등록                | 국내    | 2   |
|                     | 국외    | 1   |
|                     | 계     | 3   |
| 인력양성                | 학사    | 10  |
|                     | 석사    | 2   |
|                     | 박사    |   |
|                     | 계     | 12  |
| 사업화                 | 상품출시  | 6   |
|                     | 기술이전  | 2   |
|                     | 공정개발  | 1   |
| 제품개발                | 시제품개발 | 6   |
| 비임상시험 실시            |       |   |
| 임상시험 실시<br>(IND 승인) | 의약품   | 1상  |
|                     |       | 2상  |
|                     |       | 3상  |
|                     | 의료기기  |   |
| 진료지침개발              |       |   |
| 신의료기술개발             |       |   |
| 성과홍보                |       |   |
| 포상 및 수상실적           |       | 2   |
| 정성적 성과 주요 내용        |       | 농가 보급형 발열량 70kW급 고효율 플라즈마 보일러 개발<br>▷ 플라즈마 방전 히터 트레인의 고 발열성능 및 열효율 확보<br>- 989 ~ 1,032kcal/kW, COP=1.15 ~ 1.2<br>▷ 플라즈마 히터코어용 소재 및 도금방법 개발<br>- TS316 + Cu/Pd/Pt 다중도금 히터코어<br>▷ 플라즈마 보일러 제어반 HW, SW 개발<br>- HW : PIC16F77-I/PT micom 기반 main PCB 및 display PCB 설계, 제작<br>- SW : 전력기기의 제어와 전압, 전류, 난방수 설정 온도, 현재온도 등을 센싱, 표시<br>▷ 플라즈마 방전방식 70kW급 농업용 보일러 시제품 개발, 시설하우스 설치, 실증테스트<br>- 소비전력량은 상용 전기보일러보다 약 0.500 ~ 0.522 MWh 적게 소비되어 약 16.1 ~ 17.8% 정도 에너지 절감효과 확인 |

< 별첨 자료 >

| 중앙행정기관 요구사항 | 별첨 자료                       |
|-------------|-----------------------------|
| 1.          | 1) 자체평가의견서<br>2) 연구성과 활용계획서 |
| 2.          | 1)<br>2)                    |

[뒷면지]

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농축산자재산업화기술개발사업  
‘수중 플라즈마 방전 방식을 이용한 고효율 농업용 보일러 개발’ 과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부(농림식품기술기획  
평가원)에서 시행한 농축산자재산업화기술개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.