

11-1543
000-002
121-01

간편한 채소 재배가 가능한 가정용 아쿠아포닉스 재배 장치의 개발 최종 보고서

2018

농림축산식품부

첨단생산기술개발사업 R&D Report

발간등록번호

11-1543000-002121-01

간편한 채소 재배가 가능한 가정용 아쿠아포닉스 재배 장치의 개발 최종 보고서

2018 .01. 31.

주관연구기관 / 그린산업(주)
협동연구기관 / 서울대학교

농림축산식품부

2. 제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “간편한 채소 재배가 가능한 가정용 아쿠아포닉스 재배장치의 개발”
(개발기간 : 2016.09.05 ~ 2017.12.31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2018 . 1. 31.

주관연구기관명 : 그린산업(주) 정병홍
협동연구기관명 : 서울대학교 김성철



주관연구책임자 : 이 근 우
협동연구책임자 : 조 성 인

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의
합니다.

3. 보고서 요약서

보고서 요약서

| | | | | | |
|---|--|------------------------------------|-----------------------------|-----------------|--|
| 과제고유번호 | 316079-02 | 해 당 단 계 연구 기 간 | 2차년도 (최종) | 단 계 구 분 | 2차년도/ 2차년도 |
| 연구사업명 | 단 위 사 업 | 농식품기술개발사업 | | | |
| | 사 업 명 | 첨단식품기술개발사업 | | | |
| 연구과제명 | 대 과 제 명 | 간편한 채소 재배가 가능한 가정용 아쿠아포닉스 재배장치의 개발 | | | |
| | 세부 과제명 | 간편한 채소 재배가 가능한 가정용 아쿠아포닉스 재배장치의 개발 | | | |
| 연구책임자 | 이근우 | 해당단계 참 여 연구원 수 | 총: 15명 내부: 15명 외부: 0명 | 해당단계 연구 개발 비 | 정부:200,000천원 민간:67,800천원 계:267,800천원 |
| | | 총 연구기간 참 여 연구원 수 | 총: 15명 내부: 15명 외부: 0명 | 총 연구개발비 | 정부:267,000천원 민간:90,600천원 계:357,600천원 |
| 연구기관명 및 소속부서명 | 주관연구기관 : 그린산업(주) 기업부설연구소 협동연구기관 : 서울대학교 | | | 참여기업명 | |
| 위탁연구 | 연구기관명: | | | 연구책임자: | |
| 요약 | | | | 보고서 면수 | |
| <p>1. 간편한 채소 재배가 가능한 가정용 아쿠아포닉스 재배장치 최종 시제품 2종 개발</p> <p>1)온도제어, 습도제어, 조도제어 범위, 소음 등 공인 시험을 통한 정량적 목표 달성</p> <p>2)무선통신을 통한 채소 재배부 및 양어 양식부 모니터링 및 제어 기능 수행</p> <p>3)메인서버 개발 및 Wi-fi 기반의 무선통신 기술을 적용</p> <p>4)아쿠아포닉스 재배장치의 제어 및 작물 데이터를 메인 서버로 통합하여 빅데이터 분석 및 머신러닝 수행을 위한 최적의 광환경 제어 알고리즘을 개발</p> <p>5)소비대상 및 소비대상의 선호 구매조건을 조사하고 채소재배장치 관련 소모자재를 추천하는 구매유도시스템을 개발</p> <p>2. 지식재산권 확보 및 학술발표</p> <p>1)특허등록 : 양어연계형 채소재배 시스템 및 그의 운용 방법</p> <p>2)특허출원 : 채소재배 시스템용 조명장치 및 이를 포함하는 채소재배 시스템</p> <p>3)학술발표</p> <ul style="list-style-type: none"> - 아쿠아포닉스 시스템의 채소 생육 및 양어부 생육 데이터 획득 시스템 - 자동화된 아쿠아포닉스 시스템 설계와 온도 및 유량제어 평가 | | | | 102 | |

4. 국문 요약문

| | | | | | | D-01 |
|---------------------------|--|--------|------|------|---------|------|
| 연구의 목적 및 내용 | <p>간편한 채소 재배가 가능한 가정용 아쿠아포닉스 재배장치를 개발하여 한정된 생활공간과 여유 시간을 가지는 일반 가정에서도 직접 편리하게 채소를 재배하여 소비하는 경험을 제공한다. 채소재배 경험이 없거나 적은 도시인들을 위하여 다양한 채소종자에 대한 자동재배 기능 시스템을 개발하며, 시스템에서 발생하는 데이터를 메인서버에 구축하고 사용자 편의성을 향상하기 위하여 사용자가 웹페이지에서 실시간으로 확인할 수 있도록 구성하였다. 또한 가동 중인 아쿠아포닉스 재배장치의 제어 및 작물 데이터를 메인 서버로 통합하여, 메인서버에 빅데이터가 구축될 수 있도록 데이터베이스를 설계하였다. 이를 통해 추후 구축된 빅데이터를 기반으로 다양한 작물 및 어종에 대하여 최적의 생육환경을 제어할 수 있는 알고리즘이 개발 가능할 것으로 판단된다. 또한 연구개발 결과물이 소비자 친화적인 특성을 갖도록 하기 위하여, 소비자를 대상으로 한 설문조사 결과를 반영하여 최종개발 장치를 제작하였으며 소비자 구매 유도시스템, 웹페이지를 통한 실시간 모니터링 시스템을 적용하였다.</p> | | | | | |
| 연구개발성과 | <p>연구개발 결과, 메인서버를 기반으로하여 실시간 무선 통신이 가능한 아쿠아포닉스 채소재배장치를 개발하였으며 상추 및 금붕어를 사육결과 정상적으로 생육이 가능함을 확인하였다. 또한 냉동공조 장치를 이용하여 식물 재배부의 생육환경을 제어하고 식물의 광보상점 및 광효율을 고려한 LED의 반사판을 설계하여 적용하였다. 또한 사용자가 실시간으로 생육 정보 및 장치의 상태를 판단할 수 있도록 웹페이지를 개발하고 메인서버와 연동되도록 하였다.</p> <p>연구과제를 수행하면서, “아쿠아포닉스 시스템에서 양액 제어 및 광제어에 따른 재배된 상추의 생육량에 관한 고찰”과 “머신러닝을 통한 아쿠아포닉스 시스템의 채소 생육 및 양어부 자동 환경제어 시스템”을 주제로 논문을 작성중에 있으며, “아쿠아포닉스 시스템의 채소 생육 및 양어부 생육 데이터 획득 시스템”과 “자동화된 아쿠아포닉스 시스템 설계와 온도 및 유량제어 평가”를 주제로 하여 국내외 학술발표를 참여하였다. 또한 “양어연계형 채소재배 시스템 및 그의 운용 방법”, “채소재배 시스템용 조명장치 및 이를 포함하는 채소재배 시스템”에 대한 국내특허를 총 2건 출원 및 1건 등록하였다.</p> | | | | | |
| 연구개발성과의 활용계획 (기대효과) | <p>개발된 채소재배장치를 판매하고 재배장치에 소모되는 소모품을 패키지화한 지속적 수입모델을 형성한다. 개발된 시스템을 기타 특용작물 재배를 위한 재배장치로도 개발이 가능할 것으로 생각되어, 새로운 비즈니스 모델로의 확장 가능성으로 검토한다. 또한 본 재배장치에 적용될 실시간 모니터링 기술 및 무선통신을 기반으로한 빅데이터화 및 이를 통해 개발 가능한 생육알고리즘의 시설재배시스템으로의 확대 방향을 모색하여 농가 수익과 편의성 증대를 목표로 한다. 연구결과에 따른 제어, 모니터링 기술을 기반으로 상품화를 통한 가정용 수경재배 시장에서의 경쟁력이 확보될 것으로 판단된다. 또한 2018년 기준으로 약 10%의 시장을 점유할 경우 18억 이상의 매출을 달성할 수 있을 것으로 기대된다. 최근 채소재배가 어려운 중동지역에 개발 제품의 판로를 확보하여 새로운 시장을 확보할 수 있다. 개발될 재배장치에 적용되는 제어기술, 모니터링 기술, 빅데이터화 기술을 다양한 공조 분야로 확대 적용 가능하다.</p> | | | | | |
| 중심어 (5개 이내) | 가정용 재배기 | 아쿠아포닉스 | 스마트팜 | 빅데이터 | 자동화 시스템 | |

5. 영문 요약문

< SUMMARY >

| | | | | | | D-02 |
|--------------------------|--|------------|------------|----------|----------------------|------|
| Purpose& Contents | <p>We have developed an aquaponic cultivation device for households that can easily grow vegetables, and provide experience of cultivating and consuming vegetables directly in ordinary households with limited living space and leisure time. We develop automatic cultivation function system for various vegetable seeds for urban people who have little or no experience of growing vegetables, build data on the main server in the system, and make it possible for users to check in real time on webpage to improve user convenience . In addition, the database was designed so that big data can be built on the main survey by integrating the control of the running aquaponics cultivation device and the crop data into the main server. Therefore, we can develop an algorithm that can control the optimal growth environment for various crops and fish species based on the big data constructed later. Also, in order to make the research and development products have consumer friendly characteristics, the final development device was built reflecting the results of the questionnaire surveyed by consumers, and a real - time monitoring system using the consumer purchase guidance system and web page was applied.</p> | | | | | |
| Results | <p>As a result of research and development, we have developed an aquaponic vegetable cultivation device capable of real - time wireless communication based on the main server, and confirmed that the cultivation of lettuce and goldfish can grow normally. Also, the reflector of the LED was designed and applied considering the light compensation point and the light efficiency of the plant by controlling the growth environment of the plant growing area by using the refrigeration air conditioner. In addition, we developed a web page so that the user can judge the growth information and the status of the device in real time and interworked with the main server Through this project, two topics would be submitted as a paper. “Discussion about growth degree of lettuce by controlling light and nutrient solution in the aquaponic system.” and “Automatic control of optimal vegetable and fish growing environment by machine learning” and two topics would be submitted to the conference. “Data acquisition system of vegetable and fish growing environment in aquaponic cultivator.” and “Dsicussion about growth degree of lettuce by controlling light in aquaponic system.” and two topics would be submitted as a patent. “Household smart aquaponic cultivation system with heat-pump technique.” and “Mixing device of nutrient from waste and nutrient solution in aquaponic culture.” also, 2 years after the project the product would be sold about as much as 1.8 billion won and more than 20 people be hired. One bachelor and doctor would be trained through this research.</p> | | | | | |
| Expected Contribution | <p>The developed cultivator would be commercialized and the exhaustive materials would be packaged as a continuous profit model. The cultivator could also be developed to grow other crops for a special purpose and new business model should be investigated. Also, the monitoring system and growing algorithm based on machine learning could be applied facility horticulture. Based on the research result of the project, the cultivator can have a market competitiveness. If the cultivator account for 10% of market, sales amount would be more than 1.8 billion won. Also, the cultivator could be very competitive at the mideast market because it is hard to grow vegetable in that region. Controlling, monitoring, big-data technique applied in this project could be applied various air conditioning system.</p> | | | | | |
| Keywords | household cultivator | Aquaponics | Smart farm | Big data | Automation system | |

6. CONTENTS

| | |
|--|----|
| 1. Overview of the project | 7 |
| 2. Status of the technology development in Korea and foreign countries | 14 |
| 3. Research contents and results | 19 |
| 4. Achivement and contributions to related fields | 91 |
| 5. Application of the result | 94 |
| 6. Overseas science and technology information collected during the research process | 94 |
| 7. Security rating of R&D achievement | 94 |
| 8. Research facilities registered in National Science and Technology Comprehensive Information System. | 94 |
| 9. Implementation of safety measures in laboratories based on R & D tasks | 94 |
| 10. Representative research achievements of R & D tasks | 96 |
| 11. ETC | 96 |
| 12. References | 96 |

7. 본문목차

< 목 차 >

| | |
|---|----|
| 1. 연구개발과제의개요 | 7 |
| 2. 국내외 기술개발 현황 | 14 |
| 3. 연구수행 내용 및 결과 | 19 |
| 4. 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 | 91 |
| 5. 연구결과의 활용계획 등 | 94 |
| 6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보 | 94 |
| 7. 연구개발성과의 보안등급 | 94 |
| 8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비현황 | 94 |
| 9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적 | 94 |
| 10. 연구개발과제의 대표적 연구실적 | 96 |
| 11. 기타사항 | 96 |
| 12. 참고문헌 | 96 |

<별첨> 자체평가의견서

1. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

○현재 시장에 개발되어 유통되는 수경재배기는 주로 외부환경과 차단되지 않은 상태에서 재배되는 방식으로 실내의 일정 온도 범위에서만 재배가 가능하다. 온도가 낮은 겨울철이나 온도가 높은 여름에는 재배의 어려움이 있으며, 재배 환경의 제약이 있다. 또한 사용자가 직접 양액을 제조하여 공급하거나 양액을 구매해야 하고 사용자는 채소의 종자별로 어떠한 생육환경을 조사해야하는 지에 대한 정보가 없어 편의성이 떨어지는 상황이다. 이를 개선하고자 계절에 관계없이 재배가 가능하며 별도의 양액구입이 필요 없는 아쿠아포닉스 시스템을 활용한 수경재배 시스템의 개발계획을 수립하였으며 이와 더불어 메인서버 구축 및 데이터 수집 시스템을 개발하여 머신러닝을 기반으로 한 생육 알고리즘을 개발될 가정용 아쿠아포닉스 채소재배장치에 적용하고자 한다, 또한 아쿠아포닉스 시스템을 기반으로 한 수경재배를 통한 가정에서 사용자 친화적이며 친환경적인 채소 재배 뿐만 아니라 실내 도시환경에서 향유하기 힘든 생태환경이 조성된 개발 장치를 가진 제품화하여 실내공간에 어울리는 제품으로 개발하고자 한다.

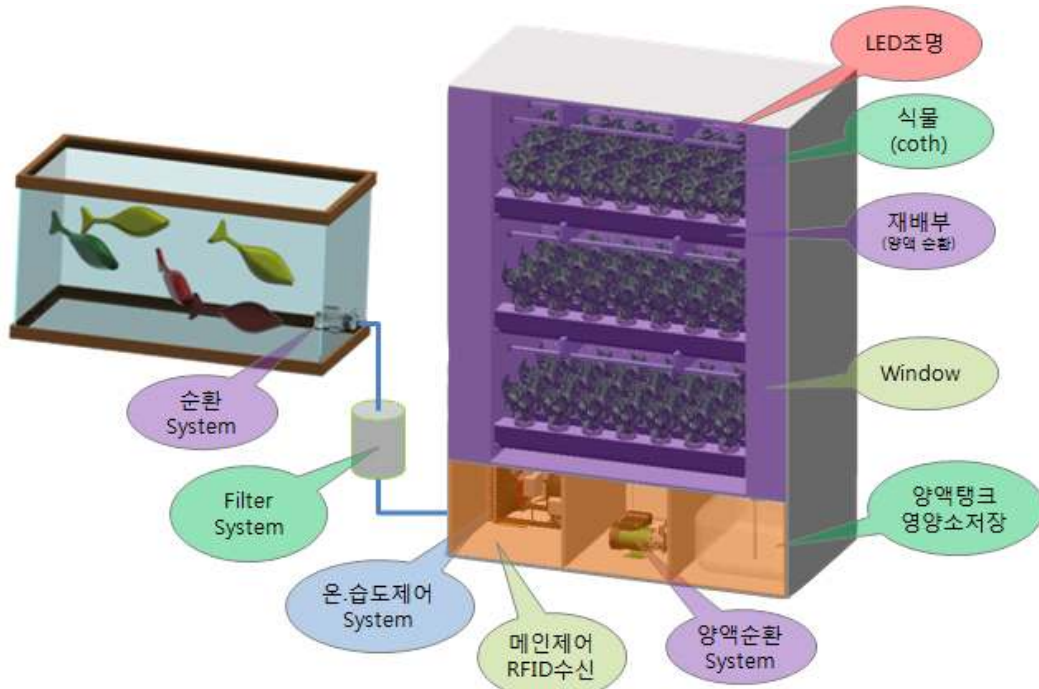


그림 2. 가정용 아쿠아포닉 채소재배장치의 개념도

2. 연구개발의 필요성

○연구 개발 대상의 시장 및 제품 분석 측면

‘연구개발 대상의 국내외 현황’에서 조사한 대로 국내외 채소재배 시장규모 및 실내원예용품 시장 규모가 증가하고 있으며 특히, LED가 장착된 채소재배기의 경우 그 매출이 600%이상 증가한 사례가 있어, 본 연구개발 과제를 통하여 ‘아쿠아포닉 가정용 채소재배기’를 개발되었을 때의 충분한 소비 시장이 확보되어 있는 것으로 판단되며 이를 통한 산업 크기의 증대와 고용창출이 기대된다. 또한 본 연구과제를 통해 개발될 채소재배기와 유사한 제품군의 조사결과 기존의 제품군은 ①수경재배 형태가 아닌 흙을 기반으로 한 채소재배기 이거나, ②완벽한 재배환경제어(온도, 양액, 광량 및 광 조성)가 되지 않거나, ③4인가구가 충분히 섭취할 만큼의 생산량을 공급하지 못하는 등의 문제가 있어 사용자 편의성 및 제품의 효율성, 활용도가 떨어져 개선할 부분이 많은 것으로 판단된다.

○기술적 측면

배양액 농도와 광도가 식물공장에서 재배되는 적축면 상추의 생장에 미치는 영향(차미경 외 2인, 2012)에 따르면, 광도의 세기에 따른 배양액 농도에 따른 생장에 차이가 있어, 상추의 생육, 품질과 생산 효율성을 고려한다면, 광도에 따른 배양액의 농도가 달라져야 한다고 한 바 있어 최적의 생육환경을 위한 광환경 알고리즘을 개발할 필요가 있다. 이러한 알고리즘 개발을 위해서는 다양한 작물 및 다양한 조건에서의 생육환경에 따른 생육정보 데이터가 필요하다. 최근 정보기술 분야는 대규모 데이터베이스 기술 발전, 인터넷 등을 중심으로 한 네트워크 기술 발전, 컴포넌트 형태의 기술 발전, 클라이언트/서버 등으로 인한 다중 사용자 환경 등이 보편화되고 있으며, 이런 주요한 기술과 방법이 농업 시스템 분야에도 적용되고 있다. 데이터베이스를 이용하여 많은 양의 데이터를 한번에 처리하면 작물 생산량을 향상시키는 지식베이스를 얻을 수 있다. 작물, 양어, 양액 등 주위 환경에 맞는 적절한 생육 모델을 작성하는 프로그램을 개발하고 이 프로그램이 데이터가 축적될수록 향상된 성능을 보일 수 있다는 것을 보여주는 것이 빅데이터 시스템 개발의 주요 목적이다.

본 연구에서 개발하게 될 데이터베이스는 각종 생육환경 데이터 각각에 대해 테이블을 만들고 테이블을 이루는 변수들을 지정하게 되는데 이는 본 연구과제에서 개발하게 될 가정용 재배기를 작동시키면서 한 사이클 동안 발생 또는 사용할 수 있는 환경, 장비, 사용자 옵션 전체를 각각의 변수로 지정하게 될 것이다. 각 테이블 간의 상호작용 공식은 원론적으로 정의되어 있고, 머신러닝의 학습 능력에 의해 사용자 정보로부터 수정된다.

또한 본 연구에서 개발하게 될 메인서버 기반의 빅데이터를 위한 데이터베이스는 사용자들로 하여금 최적의 생산을 하는 데에 도움을 줄 수 있는 머신러닝 알고리즘을 개발 할 수 있지만, 그 외에도 원예 전문가들의 개별적인 연구와 사용자들의 재배기 자재 소비 패턴을 추가적으로 종합하면 사용자들에게 더 유용한 정보를 주는 시스템을 제작할 수 있다. 본 연구에서는 기 발표되었거나 앞으로 발표될 아쿠아포닉스 환경제어 관련 학술지 논문들과, 재배기 각 자재별 경제성 분석의 자체 연구 성과를 종합하여 소비자 맞춤형 소모자재 추천 및 구매유도 위젯 시스템을 개발할 것이다. 위젯 형태로 제작하는 이유는 이러한 소기능 제작 프로그램으로 시작해야 시스템을 확장시킬 가능성이 있어서, 통합 프로그램으로는 기능단위로 모든 프로그램을 일일이 찾아서 사용하기 불편한 경우가 있을 수 있다고 판단하였기 때문이다. 그러므로 차후의 확장을 대비해 위젯 형태의 기능을 제공해 좀 더 빠르고 편리하게 여러 가지의 정보를 확인 할 수 있게 하려하기 위함이다.

○사회문화적 측면

실내용 스마트 수경재배기 개발은 국내 주거 문화의 변천(개인주택-도시화 고층화된 아파트)으로 격리되고 삭막한 환경에서 생활을 하고 있는 도시민들에게 계절에 관계없이 녹지를 공급받고 웰빙 문화를 즐길 수 있도록 할 수 있을 것이다. 현재 국내 인구의 71%(통계청 주택 총조사 2010)가 아파트와 연립주택 등 다세대 주거시설에서 거주하고 있으며, 이들 모두가 자연(녹지)에 대한 혜택을 보지 못하고 있는 실정이다. 국내 인구의 71%면 3천5백만에 이르는데 이들을 위한 조그만 녹지 환경을 가정에 공급하여 삭막한 현대인의 삶을 풍요롭게 하고자 한다.

한국인 영양섭취 기준에 따르면 식이섬유의 충분섭취량이 성인 남성의 경우 25g/일 이고 성인 여성의 경우 20g/일로 권장되고 있다. 그런데 2009년 국민건강 영양조사 자료에 의하면 한국인의 식이섬유 평균섭취량은 7.5g/일로서 기준섭취량에 매우 부족한 양으로 조사되고 있다. 식이섬유 섭취는 심혈관질환 및 위장질환, 대장암, 2형 당뇨병, 비만의 위험을 낮추는 효과가 있다. 현대사회의 식문화는 서구적인 저 식이섬유, 고동물성 단백질, 고지방식에 치우쳐 식이섬유 섭취가 더욱 부족한 실정이다. 이러한 현상을 해결할 수 있는 방안으로 가정에서 채소를 직접 키움으로 식이섬유 섭취 기회를 늘려 줄 '아쿠아포닉스 가정용 채소재배기'가 대안이 될 것이다.

○국가 기술 발전 측면

본 사업은 채소재배를 위한 원예 분야의 기술과 아쿠아포닉스 시스템 구축을 위한 수산과학, 재배시스템 구축을 위한 냉동 공조, 소비자 맞춤형 구매유도 시스템 개발 및 광 환경 제어 알고리즘 개발을 위한 정보 저장 및 송신 기술, 빅 데이터 기반의 머신러닝 등의 여러 분야의 기술이 적용되는 융·복합형 사업으로 판단되어 국가 기술 발전 측면에서도 주목할 만한 사업으로 판단된다.

3. 연구개발 범위

○온.습도 제어 시스템

온도와 습도는 식물 생장에 있어 가장 중요한 요소들로 식물재배에는 적절한 온도와 습도의 제어가 필요하다. 일정한 온도를 유지하는 방법은 다양할 수 있으나 소비자의 안정성, 편의성 측면에서 냉동공조 제어 시스템을 적용하는 것이 가장 바람직하다. 개발 제품은 냉·난방제어가 가능한 히트펌프 시스템을 적용하여 일정한 온도를 유지할 수 있으며, 히트펌프 시스템의 온도제어 핵심 부품인 전자식 팽창밸브를 채택하여 실시간 온도에 측정하여 내부 시스템과의 피드백을 통해 제어가 가능하다. 전자식 팽창밸브의 적용으로 설정온도의 오차 범위는 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 이하로 제어가 가능해져 외부환경에 영향을 받지 않는 채소 재배 시스템을 구성할 수 있다. 또한 습도제어와 연계하여 가습장치만으로 제어가 힘든 부분을 냉동공조 제어 시스템을 통해 원활하게 제어할 수 있다. 습도제어는 초음파 가습장치를 적용하여 재배부 내부를 제어하고 히트펌프 시스템과 연계되며, 재배부의 LED 광원에서 발생하는 열을 고려하여 개발을 진행할 것이다.

○LED 광원시스템

LED 광원은 RGB 조합을 통해 재배되는 식물에 가장 적합한 광원을 공급할 수 있으며, 조도 및 광 조성을 자유롭게 조절할 수 있도록 개발되며, LED 광원에서 발생하는 열원은 회수, 방출되는 시스템으로 수조의 온도를 제어하는 열원으로도 활용할 수 있도록 구성된다.

○양액 순환 시스템

채소의 영양소가 되는 양액을 일정량 공급하기 위한 시스템으로 순환방식이며, 양액의 공급은 시스템에 구성된 센서정보와 설정된 순환 주기를 바탕으로 순환되어지며, 수조에서 공급되는 양액의 영양소를 적절한 배합을 통해 공급되어지는 시스템으로 구성된다. 재배부의 양액 공급라인은 배지 역할을 하며, 일정량의 양액을 저장할 수 있는 구조로 구성되며 순환이 가능하다.

○수조 순환 시스템

수조에서 생성되는 양액의 영양소는 분비물과 영양소를 구분하는 필터모듈을 구성하고 순환될 수 있도록 펌프시스템으로 구성되어진다. 양액의 과잉 공급 방지를 위한 제어시스템이 적용된다.

○제어센서

제어를 위해 구성되는 센서는 전체 시스템을 운영하는 중요한 요소로 온도센서, 습도센서, 이산화탄소 센서, 광센서 등으로 재배기 제어요소에 장착되며, 센서의 데이터는 실시간으로 피드백되어 시스템 제어와 데이터 수집을 통한 채소 재배의 빅 데이터로써 활용된다.

○무선통신 제어

1차년도에는, 채소재배부에 장착된 채소의 생육인자에 대한 데이터가 담긴 RFID칩을 채소재배장치가 인식하여 채소재배 알고리즘을 작동하는 시스템이 구성되며, 채소재배장치에서 발생하는 생육 및 제어

데이터들이 메인서버로 전송되어 빅 데이터화되도록 메인서버에 빅 데이터 수집 플랫폼을 구성하도록 하였으나, 메인서버를 통하여 실시간 통신이 가능하므로 추가적인 RFID 장치 없이, Wi-fi를 통해 통신이 가능하도록 구성하였다.

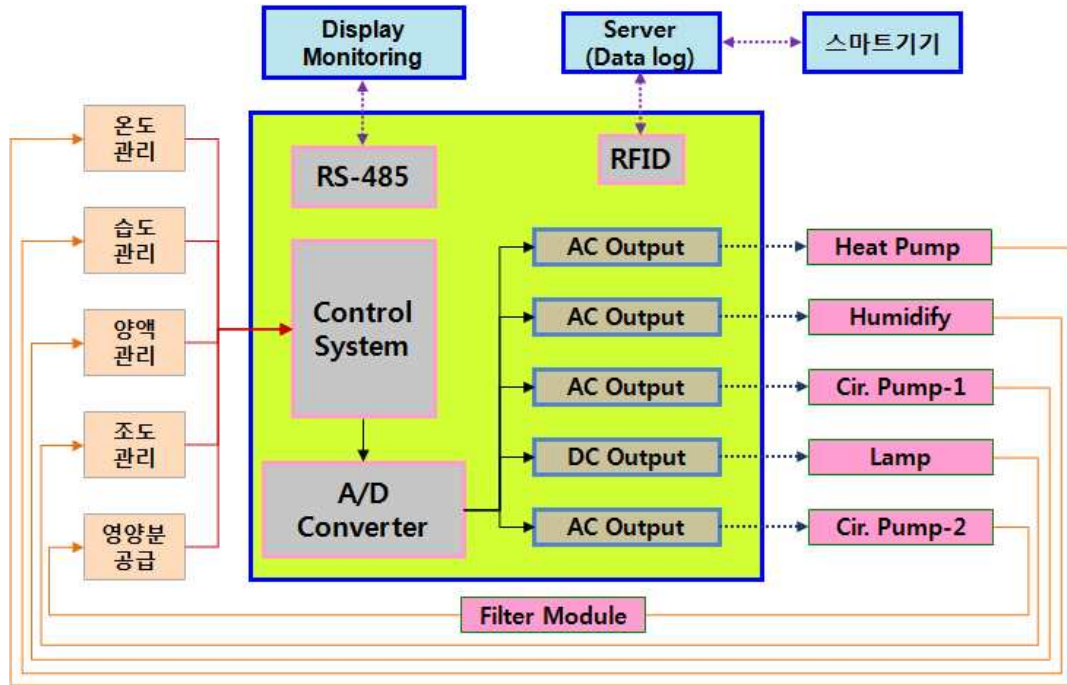


그림 3. 가정용 아쿠아포닉 채소재배장치의 제어 시스템 개념도

○연구개발을 위한 핵심 기술 및 그 적용방향

가. 친환경적인 가정용 채소재배기 개발을 위한 아쿠아포닉 시스템 적용

아쿠아포닉이란 물을 뜻하는 'Aqua'와 수경재배를 뜻하는 'Hydroponics'의 합성어로 일종의 순환 농법이다. 수경재배를 위해서는 농작물에 양액(영양소)이 공급되어야 하는데, 아쿠아포닉 시스템은 이러한 영양소를 식물에게 이로운 비타민을 함유한 물고기의 배설물과 음식찌꺼기를 활용한다. 아래의 그림3과 그림4의 순환 사이클과 같이 우선 물고기가 자라는 어항부의 물이 여과기를 통해 정제되어 저수통으로 흘러가고, 이것이 식물이 심어져 있는 구역으로 옮겨지게 된다. 다음으로 식물의 뿌리부에서 사용된 물(양액)이 다시 필터를 통해 물고기가 자라는 어항부로 순환되는 구조로 오랜 기간 사용된 어항부의 물이 오염되어 물고기가 자라기 어려운 환경이 되는 것을 방지 할 수 있고, 영양소 및 물을 절약하여 식물재배부와 양어부가 결합된 인공생태계가 조성되는 시스템이다. 본 연구과제에서는 이러한 아쿠아포닉 시스템을 기반으로 친환경적인 인공생태계가 조성되어 양어부, 식물 재배부를 결합한 채소재배장치를 개발한다. 이 때, 양어부와 식물 재배부 사이의 순환 시스템 구성에 있어서 불순물 제거에 효과적인 필터 및 여과장치가 장착된 '아쿠아포닉 가정용 채소재배기' 개발이 본 연구과제의 핵심이다.

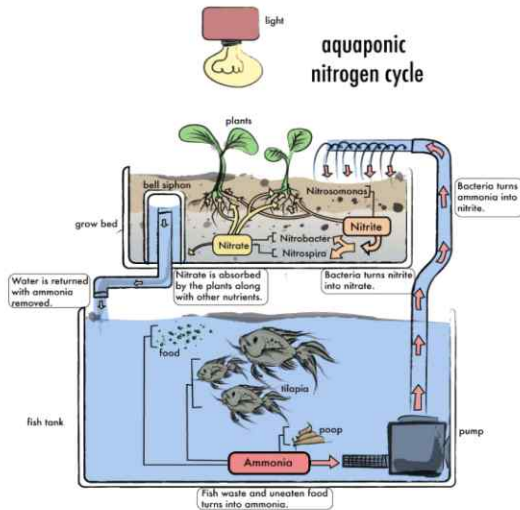


그림 4. 아쿠아포닉스 시스템 모식도

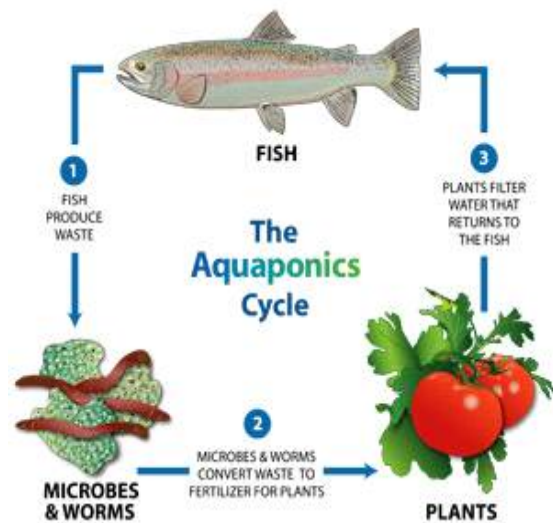


그림 5. 아쿠아포닉스 순환사이클

나. 정밀 온도 제어를 위한 열·유동 분석(전산유체역학) 및 환경(온도) 제어 기술

전산 유체 역학(CFD, Computer Fluid Dynamics)는 일반적인 해의 가 존재하지 않는 유체 역학적 해석을 컴퓨터의 유한요소 해석법을 통해 해결하고자 하는 분야이다. 채소가 종자상태에서부터 발아하는 단계와 발육단계에서는 생육온도가 다르고, 또한 채소 종자의 품종별로 재배환경이 상이할 수 있다. 때문에, 인공적으로 구성된 재배환경의 온도는 제어되어야 하며, 특정 영역에 냉·난방 기능이 집중되어 작물의 생육에 저해되어서는 안 된다. 특정 공간의 열전달 특성 및 온도 분포는 공간의 형상, 재질, 냉·난방 시스템의 성능에 지배적으로 영향을 받는다. 따라서 시작품 및 시제품 제작에 앞서 유한요소해석을 기반으로 한 열전달해석을 수행하여 효과적인 재배시스템의 설계가 진행되어야 한다. 본 연구과제에서는 재배기의 냉방성능, 재질, 내부 구성요소인 LED의 발열 등의 복잡한 환경으로 구성되어 있어 대류, 전도, 복사에 의한 열전도를 고려해야 하며, 이와 관련된 핵심기술인 전산유체역학을 기반으로 한 ‘가정용 아쿠아포닉 채소재배장치’가 개발되어야 한다.

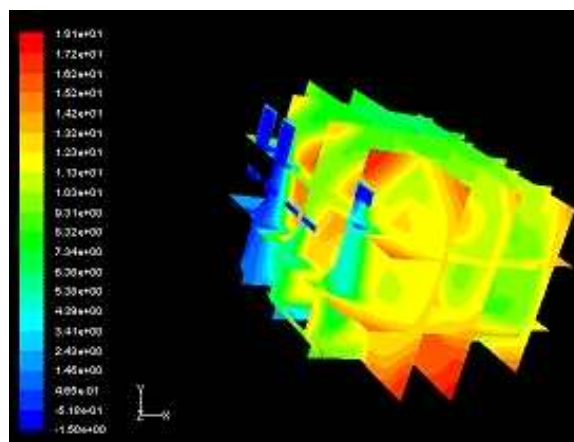


그림 6. 전산유체역학 프로그램을 이용한 열유동 시뮬레이션

다. 재배 작물에 따른 재배환경 제어를 위한 RFID 정보저장 기술 기반의 제어시스템

RFID(Radio Frequency Identification)는 무선 주파수(RF, Radio Frequency)를 이용하여 대상(물건, 사람 등)을 식별할 수 있는 기술로서, 안테나와 칩으로 구성된 RF 태그에 사용 목적에 알맞은 정보를 저장하여 적용 대상에 부착한 후 관독기에 해당하는 RFID 리더를 통하여 정보를 인식하는 방법이다. RFID 기술을 적용된 대상체는 하나의 정보인공물로서 간주되어 사물 간의 협력적인 상황인식을 가능하게 하는 행동이나 칩이라는 개념으로 간주될 수 있다. 본 과제의 목표는 다양한 채소종자에 대한 ‘아쿠아포닉스 재배장치’개발하는 것으로, 개발될 제품에 대해서 종자가 심어진 배양부의 카트리지 채소종자에 대한 기본적인 양액공급, 온도제어, 재배기간 등의 생육정보를 RFID 칩에 저장하고 채소재배기에서 RFID의 칩에 저장된 정보를 인식함과 동시에 빅데이터를 처리할 메인서버에서 개발될 머신러닝 기반의 생육알고리즘이 인식된 정보를 보정하여 생육환경을 조성할 수 있다. 1차년도에는 이러한 RFID를 이용하여 정보를 저장하고자 했으나, 메인서버를 활용하여 Wi-fi 통신을 통해 RFID가 요구되는 기능을 수행할 수 있기 때문에, 추가적인 비용을 발생하는 RFID칩을 제외하였다.

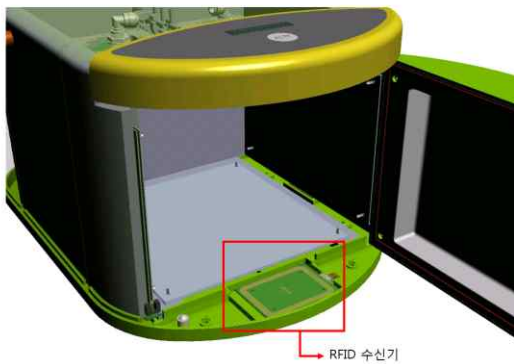


그림 7. 재배기 하단의 RFID 수신 장치



그림 8. 카트리지 및 RFID 칩

라. 수집된 제어 및 작물의 빅 데이터 해석 및 모델 형성을 위한 머신러닝 알고리즘

본 연구에서 개발되는 가정용 재배기의 경우 양어를 활용한 재배시스템을 구축하는 만큼 돌발적인 변화를 처음부터 예측하기는 어렵기 때문에 예상치 못한 작물 생육 피해를 예방하기 위한 알고리즘 개발이 필요하다. 그러나 이러한 상황에 대한 대응을 사용자 개개인의 경험적 지식에 의존하게 될 경우 문제 해결에 취약점을 보인다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 각 기기에서 발생하는 문제들의 개별적인 정보를 모아 종합적으로 처리하는 솔루션이 필요하다. 가정용 농업에 필요한 정보는 정형화된 것부터 비정형화된 것까지 매우 다양한 종류가 존재하며, 매우 용량이 크고 시간이 갈수록 점점 필요한 정보가 증가하는 추세를 보인다. 이러한 특징을 가진 정보들을 모아 처리하는 방법 중 하나로 빅 데이터 마이닝이 있다. 빅 데이터 마이닝이란 데이터를 축적시켜 새로운 규칙성을 찾는 과정을 뜻한다. 사회가 점점 복잡해지고 인터넷의 보급으로 정보의 이동과 가공이 활발해짐에 따라 빅 데이터 마이닝의 필요성은 점점 증가하고 있다. 과거에 비해 개인이 취급하는 정보의 양이 늘어났으며 자연스럽게 시간에 따른 정보 축적량도 늘어날 수밖에 없다. 인터

넷 커뮤니티와 소셜 네트워크 등의 발전도 수많은 데이터 생산을 돕는다. 이렇게 많은 양의 정보를 이용하여 보다 더 정확하고 합리적인 의사결정 또는 예측 시스템을 만들고자 하는 노력이 최근 많은 곳에서 나타나고 있다. 본 연구는 기본적으로 퍼지 추론을 수행하는 머신 러닝의 개발 순서를 따른다. 지식베이스가 완전히 구축되고 시스템이 완성되면 주기적으로 재배기의 상태를 판단하여 데이터를 송수신해야하기 때문에 프로그램은 가능한 빠르고 간단한 알고리즘을 가지고 있어야 한다. 이 프로그램의 성능을 평가하는 시험 기준은 실험실 환경에서 인공적인 상황 변화를 우선적으로 기계가 판단할 수 있도록 하는 시스템을 구축하는 것이 1차 목표이다. 머신러닝 시스템이 판단을 내리는 기준이 되는 입력 요구 데이터는 재배기 센서 시스템을 통해 입력되는 재배환경 정보와 식물 생육 정보, 그리고 양어 환경 생육정보로 구성될 것이다. 머신러닝을 수행하기 위해서는 방대한 양의 데이터가 필요한데, 기 개발된 연구개발 결과물이 보급되어 각 재배장치에서 발생하는 생육환경 및 제어정보가 메인서버에 빅데이터화 된다면 머신러닝의 활용이 가능할 것이다.

2. 국내외 기술개발 현황

D-04

1. 국내 기술 및 시장 수준 현황

통계청의 자료에 따르면, 국내 업체류의 채소 생산량은 아래의 그림8과 같이 변동이 폭이 커 시장가격을 예측하기 어려운 상황이다. 때문에 소비자들은 안정적인 채소를 공급하여 먹기 위하여 가정에서의 채소 재배에 대한 관심이 증가하고 있는 추세이다. 2016년 4월 15일 이데일리의 보도자료에 따르면, 롯데마트의 작년 원예용품 매출은 전년 대비 86%증가하였다고 전해, 실내원예용품의 수요가 증가하고 있는 것으로 판단된다. 2014년 2월 2일 연합뉴스의 보도자료에 따르면, 이마트의 LED가 장착된 채소재배기의 매출은 670%가 증가 했다고 전해 본 과제의 '가정용 아쿠아포닉스 채소재배장치'의 국내 소비시장이 충분히 확보되어 있다고 판단된다.



그림 9. 통계청 업체류 채소 생산량 추이.

가정용으로 사용 가능한 수경 재배기는 농업용으로 많은 발전이 이루어져 오고 있다. 그림10의 (A)는 가장 기본적인 형태의 이동식 채소재배기로 가정의 베란다 및 실외공간에서 재배되는 형태로 초보자 및 바쁜 현대인이 재배하기에 불편함이 있는 형태였다. (B)는 실내공간에서 재배가 가능하도록 LED 장치를 장착하였으나 수경재배 형태 및 밀폐형 시스템이 아니었기 때문에 편의성 및 안전성 측면에서 가정용으로 보급되기에 어려운 환경이었다. 때문에 최근에는 (C)와 같은 밀폐형이며 사용자가 버튼조작으로 온도제어가 가능한 형태로 제품이 보급되고 있는 실정이다. 그러나 이 같은 제품의 경우 재배 규모가 작아 식용으로 사용하기에는 약 20~30일이 소요될 것으로 보여 그 효율성에 문제가 있는 것으로 판단된다.



그림 10. 가정용 채소 재배기, (A) 기본적인 형태의 채소재배기
 (B) 온도 및 관수량이 제어 되는 채소 재배기
 (C) 온도 및 관수량이 제어되는 가정용 수경재배기

Ntis 과제 유사도 분석에 따르면, 창원대학교 안호균 교수는 2014년 중소기업청 지원으로 ‘식물 성장 최적 맞춤형 환경 자동조절 식물 재배기 개발’ 식물 성장속도 최적 맞춤형 LED 광원 및 높이 자동조절 속성 식물재배기 설계 및 시제품제작을 목표로 하여 과제를 수행하였으며, 식물 재배 시스템의 기술 및 서비스 보급 확산으로 인한 해당 산업의 유발효과를 2013년 기준 900원 수준에서 2017년 8000억원 수준에 이를 것으로 전망하였다. 또한, 2015년부터 현재에 이르기까지 상기 과제의 추가 연구로 중소기업청 지원으로 ‘양액분사기능을 갖는 모듈형 스마트 식물재배기 개발’ 과제를 수행하고 있는 것으로 조사되었다. 충북대학교 오명민 교수는 중소기업청의 지원으로 2013년 6월부터 1년간 ‘LED와 산소수를 이용한 고기능성 새싹채소 자동재배기 모듈 개발’과제를 수행하였으며, LED 광원 및 산소수에 의한 새싹채소의 발아율 증진과 기능성 물질을 증가시키는 재배기 모듈 개발을 연구 목표로 하였다. 전남대학교 정관식 교수는 2011년 농림축산식품부 지원으로 ‘친환경 아쿠아포닉스 시스템 개발’연구과제를 수행하였으며, 중소기업청의 지원으로 2014년 6월부터 1년간 ‘지열시스템과 아쿠아포닉스를 융합한 농 수산 시스템 개발’과제를 수행하였다. 에스이랩 유재홍 연구책임자는 중소기업청 지원으로 2013년부터 2년간 ‘한국형 순환식 아쿠아포닉스 스마트제어 시스템 개발’을 수행하였으며, 자동화 시스템이 결합된 한국형 양어-수경재배 모델 개발 자동 제어 시스템과 양어-수경재배 모델 결합 및 시험 재배 냉수성 양어-수경재배 구성 모델 개발 온수성 양어-수경재배 구성 모델 개발을 그 연구 목표로 하였다. 고추냉이와 산천어 온수성 양어 수경재배 구성 모델 및 인삼과 미꾸라지를 결합한 양어-수경재배를 연구하였으며, 원격 관리가 가능한 모니터링 시스템 및 CCTV를 통한 양어 및 재배 상태 원격 모니터링 관리 앱을 개발한 바 있다. 경민대학교 김현우 교수는 2011년 중소기업청 지원으로, 2011년 ‘plasma를 이용한 친환경 도심형 채소 재배기 개발’을 수행하였으며 그 연구목표로 ①비료, 농약 등을 전혀 사용하지 않고 재배할 수 있는 친환경 유기농 채소 재배기 개발, ②Plasma를 이용한 세균억제, 용수 부패 방지

무기질 영양소의 질량에 의한 침전방지 기능 개발 ③산소-Plasma의 생육촉진 기술 개발 및 실내 친환경 습도조절 부가 기능부여 등에 관한 연구를 수행하였다. 농촌진흥청 도시농업팀은 LED 등이 부착된 ‘심지관수형 채소재배기’를 개발하여 양액공급에 전력소모를 줄인 바 있다. 또한 본 연구과제의 제 1협동 연구 책임자인 서울대학교의 조성인 교수는 2011년부터 3년간 농림축산식품부 지원으로 ‘지능형 가정용 새싹채소 자동 재배 시스템 개발’ 과제를 수행하였으며, (1) 새싹채소류의 성장발육 환경 구명 및 생육 프로파일 개발, (2) 새싹채소의 특정 기능성 강화를 위한 기술 개발, (3) 새싹채소별 최적 조건 데이터베이스 구축, (4) 최적 생육 환경 구현 컨트롤러 및 자동 재배 시스템 개발, (5) 새싹채소 살균처리 종자 카트리지 개발, (6) 새싹채소 종류의 인지와 개별 환경 제어가 가능한 지능형 시스템 구현을 목표로 연구를 수행하였다.

2. 국외 기술 및 시장 수준 현황

2015년 8월 10일 LA타임스의 보도자료에 따르면, 롱비치 소재 도시농장인 ‘그로잉 익스피리언스’의 경우 아쿠아포닉을 활용하여 배추, 상추, 미나리, 바질, 박하, 청경채 등을 재배하고 있으며, 카렌 프라이시스 시의원이 “내 손으로 가꾼 농산물을 가족에게 공급하고 싶은 욕구도 높아졌고, 베란다, 옥상 등 우리가 사는 생활공간을 쾌적하게 만들기 위해 베란다 채소, 실내정원 등 인간 중심의 생산적인 여가활동인 도시농업이 점차 확산되고 있다”고 말했으며 LA시에서 도시농업을 적극 권장한다고 보도한 바 있다. 또한 그림 11과 같이, 미국의 statistica가 제시하는 빅데이터 자료에 따르면 2005년부터 미국의 유기농식품 시장은 꾸준히 증가하고 있는 것으로 보인다.

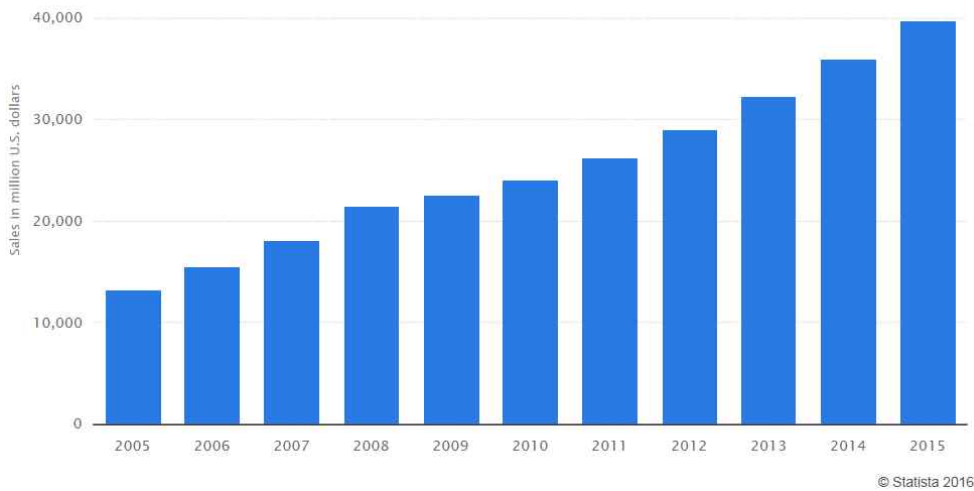


그림 11. 빅데이터에 근거한 미국 유기농 시장의 규모 변화

미국 서부 네바다주의 Urban Hydroponics, Inc(URHY)는 네바다주의 공기업으로 도시용 채소재배장치를 개발 및 판매하고 있다. URHY에서는 재배장치를 판매 후 소비자에게 재배장치에 최적화된 종자, 토양, 양액의 구매를 유도하는 것으로 수익모델을 만들고 있다. 이 기업에서는 아래의 그림12와 같이 식당 및 호텔 등에 판매하기 위한 광, 관수, 온도가 자동으로 제어가 되는 대규모 채소재배 장치를 판매하고 있으며 그림 13과 같이 가정용 채소재배장치를 판매하고 있다. 또한 건물 내부의 복도를 아래의 그림 14와 같이 Living Produce Aisle(LAP)라는 명칭으로 도심 속에 Urban cultivator를 배치시키는 전략을 기획 중에 있는 것으로 조사되었다. 경기도농업기술원에서는 2015년도 두바이식품박람회에 가정용 LED 수경재배기를 출품하여 중동지역 바이어들로부터 큰 관심을 모아 할랄 시장에서도 성공성이 높은 신기술로 판단하였다.



그림 12. 해외의 상업용 식물 재배장치



그림 13. 해외의 가정용 식물 재배기

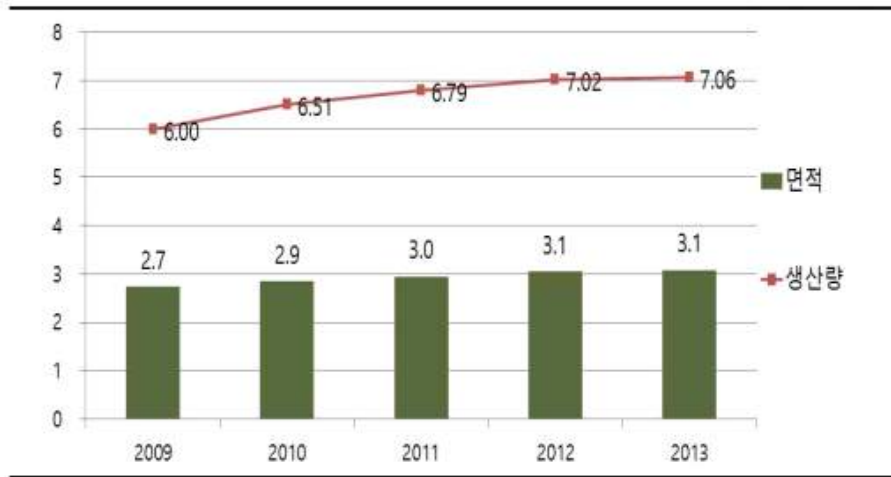


그림 14. 도심지역의 복도에 식물재배기를 적용한 사례

리서치 회사 Conlumino에서 발간한 ‘세계의 가정용품 및 원예용품 소매업 : 시장동향, 소매동향 및 경쟁구도(2014)’에서는 세계의 가정용품 및 원예용품 시장 소매 매출액은 2018년 1조 6000억 달러에 이를 것으로 전망하였고, 국가별 시장규모는 미국이 최대인 한편, 성장률은 중국이 최고이며 2018년에는 21%의 점유율을 획득할 것으로 전망함. 리폼 및 원예용품점이 최대 점유율을 차지하고, 온라인 점포도 빠르게 성장할 것을 전망하였다. 한국농수산물유통공사에서 발간한 ‘2015 농식품 해외시장 맞춤형조사, 중국 신선채소 시장조사’에 따르면, 아래 그림 15와 같이 야채류 면적 및 생산량이 꾸준히 증가하는 추세에 있어 중국의 채소류 시장이 커지고 있음을 확인할 수 있다. 뿐만 아니라 중국 내에서는 중국 소비자들의 소비 수준이 높아지면서 건강에 신경을 쓰는 문화가 보편화 되었고, 이에 친환경 유기농 식품에 대한 관심 및 수요도가 증가하고 있다.

< 야채종자 면적 및 생산량 증가 추이 >

(단위 : 억 묘, 억 톤)



출처 : 중국 산업 정보통 치엔잔(前瞻)산업연구소

그림 15. 중국 야채종자 면적 및 생산량 증가 추이

또한, 한국농수산물유통공사에서 발간한 ‘2015 농식품 해외시장 맞춤형조사, 일본 기능성 상추 시장조사’에 따르면 일본 내에서는 웰빙 트렌드와 핵가족화에 따라 고품질의 안전한 먹거리를 찾는 소비패턴의 변화가 일어나 야채를 즐겨찾기 시작하며, LED 빛을 이용하여 야채의 성분의 함량을 늘려 고영양 엽채류를 생산하며 유통하거나, 한국 요리 붐으로 인해 상추에 대한 인지도가 상승하는 추세라고 보고했다. 그림 16과 같은 빅데이터 기반의 세계 검색량 변화를 보여주는 ‘google trend’의 분석결과를 보면 키워드가 ‘urban cultivator’인 경우 세계적인 검색량이 2011년부터 현재까지 꾸준히 증가하는 추세에 있는 것을 확인 할 수 있어 세계적으로 도시형 채소재배기에 대한 관심이 증가하고 있는 것으로 추정할 수 있다.

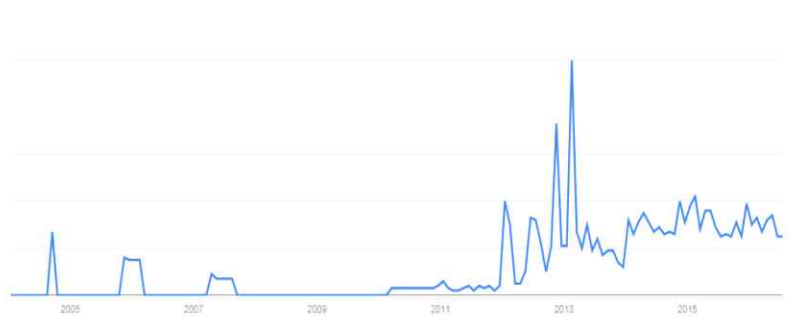


그림 16. 빅데이터 기반의 Google trend 분석(키워드 : urban cultivator)

3. 연구수행 내용 및 결과

D-05

1. 가정용 채소재배 장치의 수요조사

1-(1) 소비자 설문 조사

1-(1)-1 소비자 설문 조사서 작성

본 연구의 사업계획에 기본적인 재배 시스템에 대한 제시는 되었으나, 구체적인 설계와 고려해야 할 사항들을 반영하기 위해 소비자의 입장에서 고려해야 할 내용에 대해 19문항으로 설문을 작성하여 조사를 수행 하였다.

1. 귀하의 성별은 무엇입니까?
2. 귀하의 연령대는 어떻게 되십니까?
3. 귀하의 거주지는 어디십니까?
4. 귀하께서는 현재 주거형태가 어떻게 되십니까?
5. 귀 닥의 구성원 수는 몇 명입니까?
6. 귀하의 직업은 무엇 입니까?
7. 귀 닥의 월평균 소득은 어느 정도 입니까?
8. 귀 닥에서 야채/채소류를 구입하는데 소비하는 비용은 한 달 평균 얼마정도입니까?
9. 귀하께서는 아쿠아포닉스 재배장치에 대해 알고 계십니까?
10. 귀하께서는 아쿠아포닉스 재배장치를 구입할 의향이 있으십니까?
11. 아쿠아포닉스 재배장치 구입 가격대는 얼마정도로 예상하십니까?
12. 가정용 아쿠아포닉스 재배장치의 크기는 어느 정도가 적당하다고 생각하십니까?
13. 아쿠아포닉스 재배장치를 구입할 때, 가장 우선시 하는 부분은 무엇입니까?
14. 귀하께서는 닥에서 직접 재배하고 있는 야채가 있습니까?
15. 아쿠아포닉스 재배장치에서 무엇을 재배하고 싶으십니까?
16. 귀하께서는 닥에서 물고기를 키우고 계십니까?
17. 아쿠아포닉스 재배장치에서 키우고 싶은 어종은 무엇입니까?
18. 귀하께서 아쿠아포닉스 재배장치를 구매하신다면 어디에 설치하고 싶습니까?
19. 조언하고 싶은 의견이 있으시면 부탁드립니다.

1-(1)-2 소비자 설문 조사 결과

조사된 설문을 각 항목별 분석을 통해 소비자의 의견을 정리하였으며, 설문 결과는 시제품 설계 및 제작에 반영하였으며, 가격과 성능적인 측면을 고려하여 실험을 진행할 것이다. 아쿠아포닉스 재배장치에 대한 홍보를 통한 추가 설문이 필요할 것으로 판단되어 2차년도에는 재배장치의 홍보를 실시하고 설문을 진행할 계획이다. 그림 1의 월 평균 야채의 소비 비용을 보면, 평균적으로 5만원 이상의 비용을 야채구입에 소모하는 것으로 확인하였다. 이러한 결과를 반영하여 개발될 재배장치가 경제적으로 합리적일 수 있도록 구성할 계획이다. 또한 개발될 ‘아쿠아포닉 시스템’에 대해서는 소비자가 대부분 모른다고 응답하였는데, 소비시장에 진출하기 위해 ‘아쿠아포닉 시스템’에 대한 긍정적인 효과에 대한 홍보가 필요할 것으로 판단된다. 이와 더불어, 소비자가 아직 잘 모르고 있기 때문에 마케팅 전략에 따라 소비자에게 충분히 매력적으로 다가갈 수 있는 제품이 될 것이라 판단된다. 소개된 아쿠아포닉 시스템의 구매 의향에 대해서는 50% 정도가 ‘모르겠다’라고 응답하였다. 재배장치의 희망가격에 대해서는 40~50만원선이 70%이상으로 가장 큰 비율을 차지하였으나, 가격이 가장 낮은 항목에 집중

된 것으로 판단된다. 제품 구입시에는 제품의 성능과 가격이 가장 큰 구매조건으로 나타나, 판매전략을 성능을 부각할 수 있도록 수립해야 한다고 판단된다. 재배장치에서 기르고자하는 어종은 열대어가족을 이루어, 열대어를 우선적으로 실험에 반영하고자 한다.

| 설문조사 통계 | | | | | | | |
|---------|----------|---|----------|----------|----------|------|------|
| 문항 | 설문요지 | 설문 답변 | | | | | |
| | | 남 | 여 | | | | |
| 1 | 성별 | 69 | 60 | | | | |
| 2 | 연령대 | 10대 | 20대 | 30대 | 40대 | 50대 | 60대↑ |
| | | 3 | 48 | 36 | 34 | 7 | 1 |
| 3 | 거주지 | 전국 | | | | | |
| 4 | 주거형태 | 아파트 | 빌라 | 주택 | 기타 | | |
| | | 71 | 14 | 34 | 10 | | |
| 5 | 구성원 수 | 1명 | 2명 | 3명 | 4명 | 5명 | 기타 |
| | | 18 | 20 | 42 | 39 | 9 | |
| 6 | 직업 | 회사원 | 주부 | 학생 | 전문직 | 기타 | |
| | | 47 | 17 | 38 | 20 | 7 | |
| 7 | 소득 | 1~200 | 2~300 | 3~400 | 4~500 | 500↑ | |
| | | 37 | 25 | 30 | 11 | 25 | |
| 8 | 채소 비용 | 3만원↓ | 5만원↓ | 10만원↓ | 10만원↑ | | |
| | | 23 | 38 | 47 | 21 | | |
| 9 | 재배장치 지식 | 모른다 | 들어 봤다 | 잘 안다 | | | |
| | | 95 | 29 | 5 | | | |
| 10 | 구입 의향 | 있다 | 없다 | 모르겠다 | | | |
| | | 29 | 33 | 66 | | | |
| 11 | 예상 가격 | 40~50 | 50~60 | 60~80 | 80~100 | 기타 | |
| | | 88 | 18 | 7 | 6 | 7 | |
| 12 | 장치 크기 | 40·20·50 | 50·20·70 | 60·30·90 | 60·30·90 | 더 크게 | |
| | | 45 | 40 | 27 | 10 | 3 | |
| 13 | 중요 요소 | 디자인 | 가격 | 성능 | 크기 | | |
| | | 23 | 31 | 71 | 2 | | |
| 14 | 현재 야채 재배 | 있다 | 없다 | | | | |
| | | 29 | 98 | | | | |
| 15 | 희망 품종 | 치마상추 | 꽃상추 | 치커리 | 버섯 | 기타 | |
| | | 23 | 50 | 15 | 41 | 18 | |
| 16 | 현재 어류 사육 | 있다 | 없다 | | | | |
| | | 17 | 111 | | | | |
| 17 | 희망 품종 | 금붕어 | 열대어 | 틸라피아 | 기타 | | |
| | | 21 | 82 | 17 | 8 | | |
| 18 | 설치 장소 | 베란다 | 주방 | 거실 | 기타 | | |
| | | 57 | 4 | 60 | 6 | | |
| 19 | 응답자 의견 | 1. 식물의 수확가능시기에 알람기능이 있었으면 합니다. 2. 제품의 이동설치가 가능했으면 합니다. 3. 기능은 물론이고 다양한 디자인으로 개발 되었으면 합니다. 4. 소비전력이 낮았으면 합니다. | | | | | |

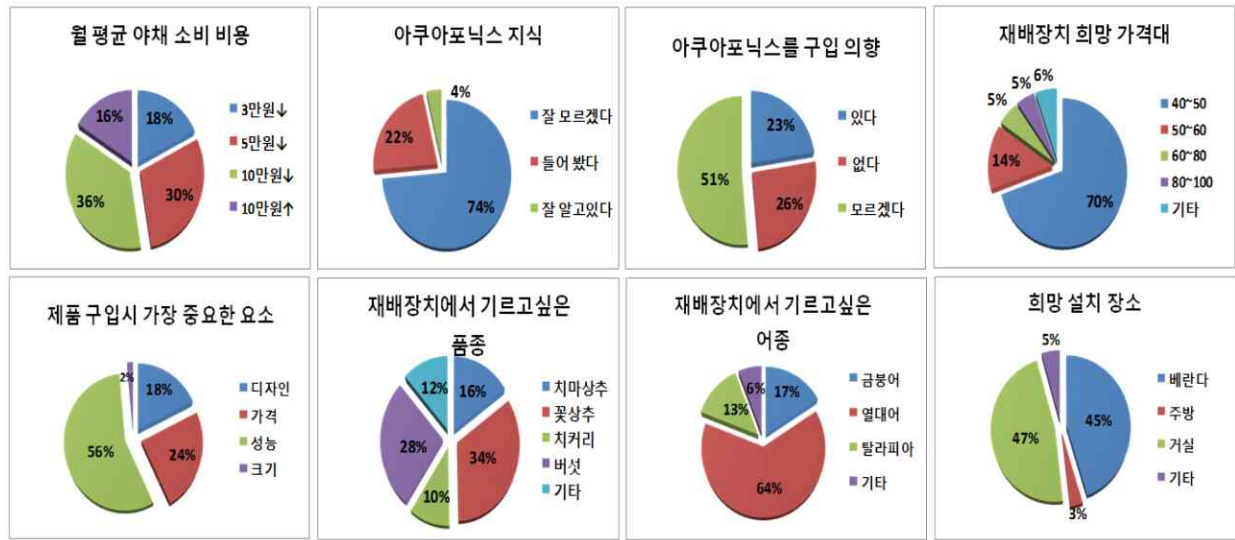


그림 17. 주요 문항별 도표

1-(1)-3 예상 소비자중 구매력인 높은 회사원과 주부를 대상으로 분석

구매력이 높을 것으로 예상되는 회사원과 주부를 대상으로 한 설문에 대해 좀 더 상세히 정리해 보았다. 채소 소비량은 5~10만원/월, 재배장치의 인지에 대해서는 들어보았다는 내용이 다수 포함되어 있으며, 개발될 재배장치의 예상되는 가격에 대해서는 가격이 비싸다는 의견이 많았다. 중요 요소로는 성능을 꼽았으며, 재배작물로는 상추와 버섯이 다수를 차지했고 어종은 열대어가 다수를 차지하였다. 재배장치에 대한 홍보와 가격 경쟁력에 대한 뒷받침이 진행된다면 충분한 판매가 가능할 것으로 판단 된다.

| 주요 대상 설문 통계 | | | | | | |
|-------------|---------|-------|-------|-------|--------|----|
| 문항 | 설문요지 | 설문 답변 | | | | |
| | | 6 | 직업 | 회사원 | 주부 | |
| | | 47 | 17 | | | |
| 8 | 채소 비용 | 3만원↓ | 5만원↓ | 10만원↓ | 10만원↑ | |
| | | 11 | 20 | 23 | 10 | |
| 9 | 재배장치 지식 | 모른다 | 들어봤다 | 잘 안다 | | |
| | | 40 | 19 | 5 | | |
| 10 | 구입 의향 | 있다 | 없다 | 모르겠다 | | |
| | | 16 | 14 | 34 | | |
| 11 | 예상 가격 | 40~50 | 50~60 | 60~80 | 80~100 | 기타 |
| | | 43 | 9 | 1 | 5 | 6 |
| 13 | 중요 요소 | 디자인 | 가격 | 성능 | 크기 | |
| | | 14 | 18 | 30 | 0 | |
| 15 | 희망 품종 | 치마상추 | 꽃상추 | 치커리 | 버섯 | 기타 |
| | | 7 | 27 | 10 | 26 | 2 |
| 17 | 희망 품종 | 금붕어 | 열대어 | 틸라피아 | 기타 | |
| | | 10 | 43 | 7 | 7 | |

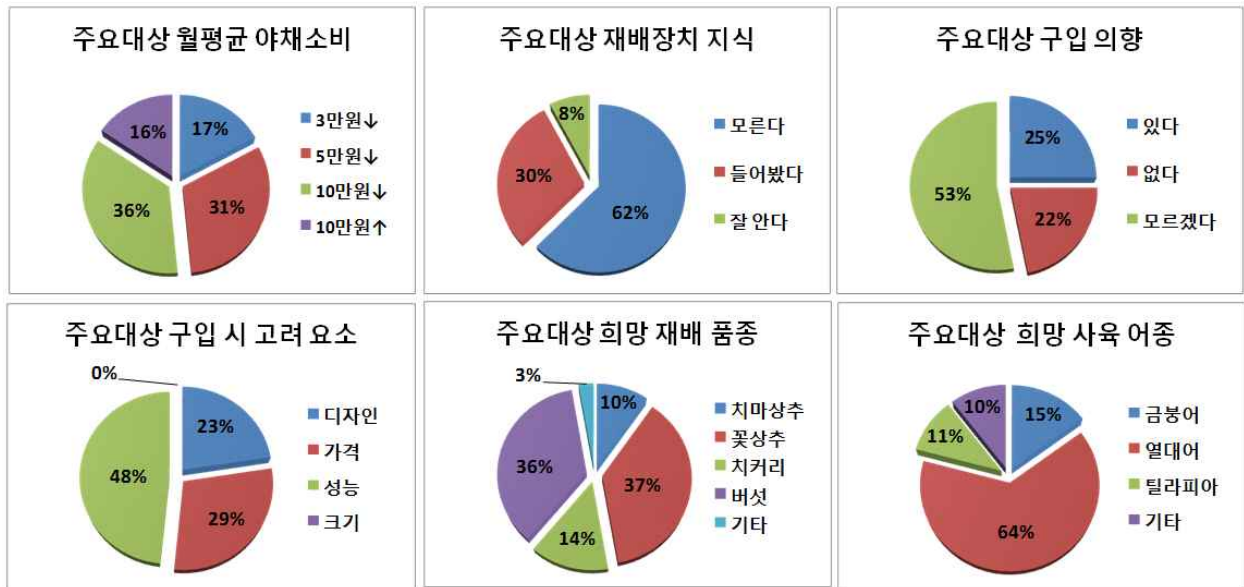


그림 18. 주요 대상에 대한 항목별 도표

2. 최종제품개발을 위한 시작품 설계 및 제작

2-(1) 아쿠아포닉 시스템 기존 사례 및 현장조사

2-(1)-1 현장조사 장소 결정 및 체크리스트 작성

본 연구는 목표에 비해 연구기간이 짧고 생소한 주제를 다루고 있기 때문에 연구의 실효성을 높이고 시행착오를 줄이기 위해서는 기존 사례 방문 및 현장조사가 필수적이다. 그러나 아쿠아포닉 시스템은 비교적 최근에 생겨난 개념으로 국내에서도 관련 연구 및 실험을 공식적으로 진행하고 있는 곳은 몇 군데 되지 않는다. 해당 분야를 전문으로 하는 연구소들을 조사해본 결과 경기도 양평에 위치한 경기도 해양수산자원연구소가 어느 정도 규모를 갖춘 아쿠아포닉 시스템 설비를 갖추고 있는 것으로 확인되어 연구원 협의 후 방문하였다. 이러한 현장 조사를 통하여 본 과제의 목적인 아쿠아포닉 시스템 개발에 대한 구체적 계획을 수립하고자 하였으며, 조사 효율을 높이기 위해 해당 연구소를 방문하기 전 아래와 같은 질문지를 작성하였으나 연구원에게 직접 서면으로 답변을 요구하지는 않았고 이 질문지에 기재된 내용을 중심으로 본 연구팀이 질문하고 해당 연구소의 연구원이 구두로 답변하는 방식을 채택하였다.

1. 해당 시스템에서 키우고 있는 식물종과 양어종은? 그리고 선택 이유는?
2. 아쿠아포닉 시스템을 이용할 경우 식물 재배의 한 사이클은 기간이 어느 정도 되는지?
3. 박테리아 배양부를 설계할 때 어떤 인자들을 고려하였는지?
 - 3-1. 종균 수급 방법, 박테리아 활성화 환경 제어 방법, 박테리아 활성화도 측정법은 어떻게 되며, 어떤 문헌적 근거가 있는 것인지? 기타 여과장치 구성 시 유의사항이 있다면?
4. fish water에 대한 성분조사 및 이온측정을 수행하였는지?
 - 4-1. fish water를 식물에게 공급하는 사이클은 어케 되며, 어떤 근거가 있는지?
 - 4-2. fish water를 식물에게 공급할 때 추가적으로 식물재배용 양액을 주는지?
5. 해당 시스템에서 사용하고 있는 광원과 결정 근거는?
6. 양어 재배시 사료 성분 및 공급량은 어떻게 결정되는지?
 - 6-1. 양어 사료에 미량으로 존재하는 중금속은 식물에게 영향을 미치지 않는 것인지?
7. 기타 아쿠아포닉 시스템으로 실험을 수행할 때의 유의사항이 있다면?
8. 추가적으로 방문해보면 좋을 연구소 또는 연구자가 있다면?

2-(1)-2 경기도 해양수산자원연구소 현장조사

경기도 해양수산자원연구소 소속 연구원과 미리 일정을 협의한 후 2016년 11월 14일에 방문하였다. 해당 연구설비는 경기도에서 ‘친환경 융복합 양식기술 개발 연구’라는 제목으로 2016년부터 2018년까지 진행하는 연구사업의 일환으로 건설되었으며 커다란 온실농업용 하우스 하나를 통째로 아쿠아포닉 시스템을 통한 식물재배에 활용하고 있었다.



그림 19. 경기도수산자원연구소의 아쿠아포닉 시스템이 가동되는 온실 전경

사전에 작성한 체크리스트를 토대로 방문조사 내용을 정리한 결과는 다음과 같다.

1) 해당 시스템에서 키우고 있는 식물종과 양어종

경기도 해양수산자원연구소는 해당 설비에서 상추, 적상추와 메기를 키우고 있었다. 식물종과 양어종 모두 환경변화에 크게 민감하지 않고 적응성이 뛰어나 초기 실험종으로 적합하기 때문에 선택했다고 하였다. 그런데 상추의 경우 일반적인 방법으로 종묘를 구매하면 종묘에 상토가 필연적으로 포함되어 아쿠아포닉 시스템 내에서 흙이 순환하게 되는데, 이는 양어부 생육환경에 치명적일 수 있기 때문에 주의해야 한다고 하였다. 경기도 해양수산 자원연구소는 경기도 농업기술원과 연구제휴를 맺고

비료성분이 없는 재배포트를 개발하여 현재의 시스템에 적용하고 있다고 한다. 따라서 본 연구팀은 상추 배양포트(식물 지지체)를 어떻게 가정용에 맞도록 설계할 수 있는지에 대해 추가적인 연구가 필요할 것으로 전망하였다.



그림 20. 아쿠아포닉시스템에서 재배되는 상추 및 재배포트, 양어부 모습

또한 양어종에 대해 토의한 결과 방문한 연구소의 설비처럼 대규모 순환시스템의 경우에는 메기가 적합한데 가정용 시스템에서 메기를 기르는 것은 미관상의 문제와 생육 효율의 문제가 있을 것으로 판단하였다. 본 연구팀에서 계획하고 있는 가정용 시스템에는 틸라피아가 양어종으로 적합하며, 개발될 시스템에 약 20마리 정도의 새끼를 처음부터 기르기 시작하면 적당할 것으로 생각하였다. 그러나 틸라피아의 경우 식물과 동시 성장에 있어서 영양소 부족 문제가 생길 수도 있을 것이라고 추측하였고, 이는 추후 본 연구팀이 실험을 통해 확인해야 할 부분일 것이다.

2) 식물 재배 사이클

상추는 일반적으로 4주 남짓의 기간으로 재배할 수 있는데, 아쿠아포닉 시스템의 경우 박테리아를 활성화하는 데에도 시간이 걸리고 이를 여과해서 정상적인 순환시스템을 구축하는 데에도 추가적으로 시간이 필요하기 때문에 시스템 전체가 처음부터 상추를 수확하기까지는 6주 정도의 시간이 걸린다고 한다. 해당 연구소는 실험정비 및 추가적인 세팅 기간까지 고려하여 대략 2개월에 한 번의 실험을 수행하고 있다.

3) 박테리아 배양부

해당 연구소는 여과시스템의 경우 부차적인 설계 없이 종균을 포함하고 있는 시중의 제품을 구매하였는데, 이는 대규모 시스템용과 일반 수조용으로 나누어져 있다. 가정에서 흔히 사용되는 수조에 대해 일반적으로 판매되는 여과시스템은 본 연구팀의 설계와는 달리 여과장치와 박테리아 배양부가 분리되어 있지 않은 일체형 구조였다. 여과시스템은 박테리아 활성도를 측정할 수 있도록 되어 있으며, 상기 간략히 서술하였듯이 전체 순환시스템이 정상적으로 작동하기 위해서는 박테리아 활성화 후 약 10일간의 여과기간이 필요하다고 한다. 순환시스템이 작동하고 있는 도중 여과시스템에 걸러진 고형물의 경우에는 식물재배에 필요한 영양소가 다수 함유되어 있을 것으로 생각되며 이를 분쇄 등의 방법으로 다시 순환시스템에 투입시킬 수 있다면 훨씬 효율적인 시스템을 만들 수 있을 것이라는 데에 본 연구팀과 해당 연구소 모두 동의하였다.



그림 21. 수조 및 일반 수조용 여과시스템

4) fish water와 양액

해당 연구소는 fish water의 이온 성분을 실험적으로 분석하고 데이터를 얻는다고 하였다. 수질 분석기는 미국 Hach사의 장비인 DR5000이었으며, 이를 통해 9가지 주요 이온에 대한 데이터를 얻을 수 있었다. 해당 연구소에서 아쿠아포닉 순환시스템으로 실험한 결과 식물재배부에 필요한 용액과 양어부 fish water는 적정 EC값이 크게 차이가 난다고 하였다. 식물재배부는 EC 1~1.5를 적정값으로 갖는 반면 양어부는 0.1 전후의 값이어야 하기 때문에 이를 제어하는 것이 전체 시스템에서 가장 중요한 부분 중의 하나라고 하였다. 또한 박테리아 활성에 따른 pH 저하를 막기 위하여 주기적으로 물을 전부 갈아주거나 중탄산나트륨을 넣어주는 것으로 확인되었다.



그림 22. 미국 Hach사의 수질분석기 DR5000

또한 해당 연구소는 경기도 농업기술원과의 연구협력을 위하여 전체 아쿠아포닉 설비 중 절반은 양액 없이 순환시스템으로만 식물을 기르도록 되어 있었고, 나머지 절반은 경기도 농업기술원이 개발 및 제공한 양액 공급 포트를 사용하여 식물을 재배하는 형태로 되어 있었다. 지난 10월까지 있었던 1차 실험 결과로는 양액을 사용한 시스템이 식물 성장량에서 월등한 우세를 보였으나, 11월에 2차 실험 도중 방문했을 때 육안으로는 큰 차이가 확인되지 않는 상태였다. 또한 적상추가 생육을 다 마친 후에도 적색 빛을 나타내지 못하는 이상 현상이 발견되었는데, 이는 아쿠아포닉형과 양액공급형 모두에서 나타난 현상으로 양액에 의한 문제는 아닌 것으로 판단되었다.



그림 23. 경기도 농업기술원에서 사용중인 양액공급포트

5) 광원

해당 연구소는 식물 재배용 광원으로 형광등을 사용하였으며, 온실농업용 하우스 설비는 바깥에서 태양광을 공급할 수도 있도록 구성되어 있었다. LED에 대한 실험은 수행하지 않은 것으로 확인되었다. 해당 연구소에서 광원부에서 발생하는 문제는 광원부에 물이 튀어 누전되는 현상이 있고 심각한 문제라고 하였다. 이에, 개발될 시스템에서는 광원을 식물재배부와 차단된 환경에 구성하고자한다.

6) 양어 사료공급

해당 연구소에서 메기에게 주는 사료는 아쿠아포닉 시스템 구성과 관련 없이 일반적으로 메기를 양식할 때에 사용하는 사료의 종류 및 공급량 그대로 본 실험에 적용하고 있었다. 해당 연구소의 연구원은 양어 사료의 경우 아쿠아포닉 순환시스템에서 외부에너지가 공급되는 유일한 방식이기 때문에 일반적인 양식방법과 차이를 두어야 할 이유를 찾지 못했다고 설명하였다. 또한 양어 사료에 미량 존재하는 것으로 확인되는 중금속의 경우 대체로 어류의 몸에 축적되기 때문에 순환시스템 내부로 투입되는 경우는 생각하기 어렵다고 하였으며, 이에 대한 실험은 진행하지 않았다고 밝혔다.

7) 기타 유의사항

추가적으로 실험 도중 발견한 유의사항이 있었는지 질문하자 해당 연구원은 순환조 용량 결정 문제를 처음 이야기하였다. 순환조의 용량은 재배부 전체 물 용량의 2배로 잡아야 하는데, 이는 갑작스러운 시스템 정지가 발생했을 때 물이 넘치는 문제로 시스템이 망가지는 일을 막아준다고 한다. 또한 식물재배부의 파이프는 출구부가 입구부의 직경에 비해 커야 순환이 제대로 이루어지고, 그렇지 않은 경우에는 물 배출이 예상대로 이루어지지 않는 문제가 발생했다고 하였다.

2-(2) 시제품 설계

2-(2)-1 1차년도 제어시스템 개념도

시제품 설계에 앞서 제어 시스템에 대한 협동기관과의 협의를 통한 시스템을 설계하고, 시제품 설계 및 제작에 반영 하였다. 그림 8과 같이 개발에 앞선 재배시스템에는 양어부에서 박테리아 배양부로 이어지는 흐름에 여과장치와 박테리아 배양부가 위치하도록 구성하였고, 박테리아 배양부로 양어부의 물이 이동하는 것을 제어하기 위하여 제어 밸브를 구성하였다. 이때, 양어부의 물은 부유물을 제거하기 위하여 여과장치인 F1을 반복적으로 거쳐 순환하다가 check value를 통하여 박테리아 배양부로 양액이 필요할 경우 순환을 중지하도록 설계하였다. 또한 식물재배부에는 각 층마다 광량 및 광조성의 제어가 가능한 LED판넬을 장착하였으며, 각 층은 하단의 냉동공조 장치를 통하여 온습도가 제어되며 온도, 습도, 산소, 이산화탄소가 실시간으로 측정되도록 구상하였다.

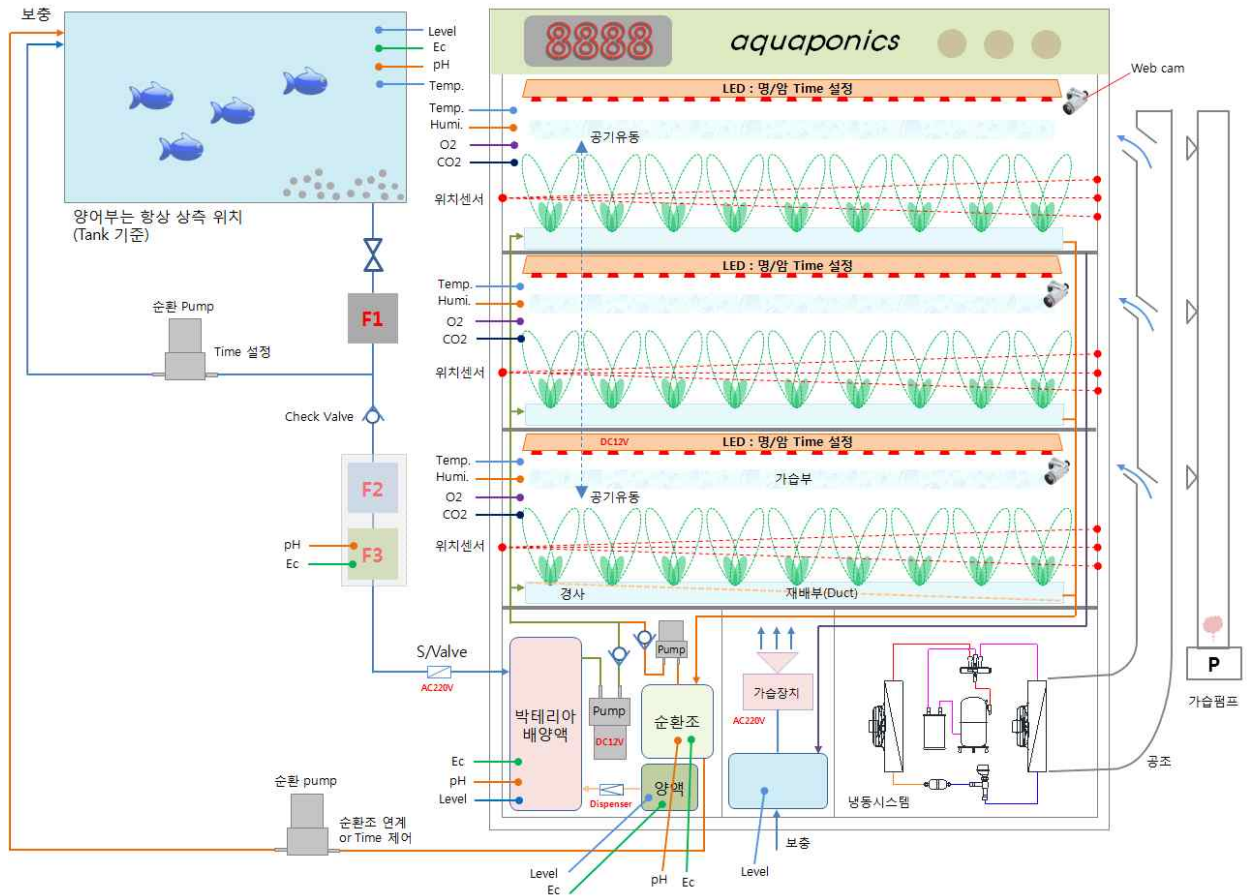


그림 24 . 제어시스템 개념도

위 그림23에서 구상된 시제품에서 박테리아 배양부의 구성은 시제품화를 위한 시스템 실증 테스트 과정에서 간소화 및 효율성을 위하여 별도의 박테리아 배양부가 어항 내부에 위치하도록 변경하였다. 이와 관련한 내용은 ‘3-(1)-2 각 모듈별 제어 알고리즘 구성’에 상세히 기술하였다. 또한, 설계된 1차년도 시스템에서, 식물 재배부의 이산화탄소 및 산소 센서의 경우 시제품 구성에 있어서는 적용 하였으나, 내부공간의 냉난방 제어를 위한 냉동공조 시스템이 외기를 빨아들이고, 가정에서는 별도의 이

산화탄소 제어를 위한 이산화탄소 탱크를 비치하는 것이 현실적으로 바람직하지 않기 때문에, 이산화탄소를 제어하는 것이 적합하지 않고, 이에 따라 식물 재배부의 가스(산소, 이산화탄소) 측정을 위한 센서의 구성은 불필요한 것으로 판단하였다.

2-(2)-2 시제품 외형 설계

시제품 설계는 제어 시스템을 토대로 재배장치의 실험이 용이하도록 프로파일을 활용하여 설계를 진행 하였으며, 소비자의 수요형태를 달리하여 1단, 2단, 2단, 3단으로 재배부를 배치하였다. 2단, 3단의 경우 다양한 채소를 재배할 수 있는 장점이 있으나, 생육 속도가 빠른 옷자람 채소에 대해서는 1단 재배장치를 통한 재배를 실험할 수 있다.

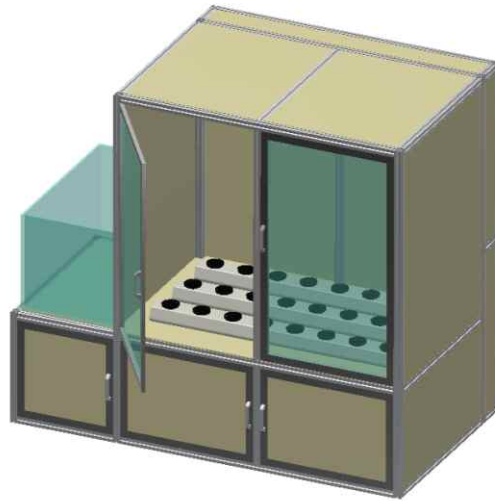


그림 25 . 1단 재배장치 모델링

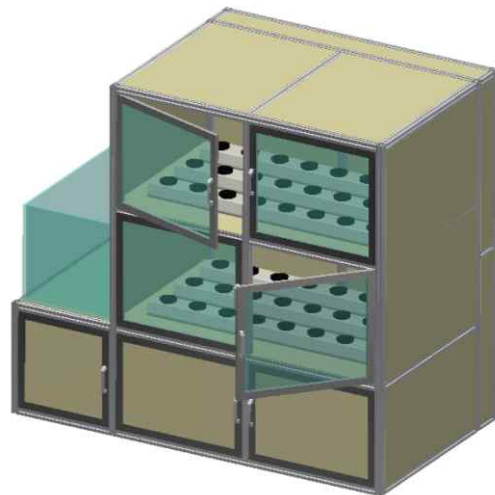


그림 26 . 2단 재배장치 모델링

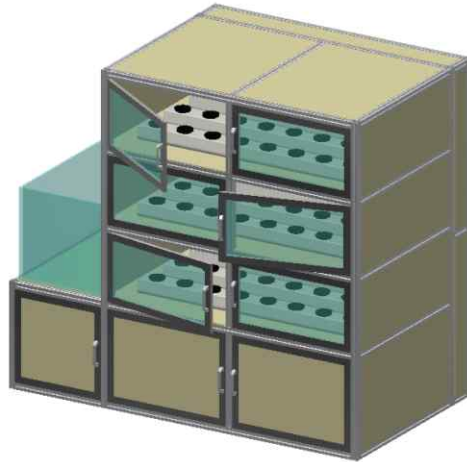


그림 27 . 3단 재배장치 모델링

2-(2)-3 제어 회로 설계

회로 설계는 수동제어 및 자동제어, 모니터링, Wifi 통신이 가능하도록 하였다. 시스템 운영에 필요한 다양한 제어가 가능하고, 협동기관의 연구와 연계되어 통신 및 모니터링, 데이터 전송이 가능하도록 아두이노 프로그램을 적용하여 설계되었다.

- 1)공조기 제어를 통한 온도 제어
- 2)가습장치 제어를 통한 습도제어
- 3)RGBW LED PWM 제어를 통한 광원제어
- 4)박테리아 배양부와 채소재배부의 순환을 위한 Motor 제어
- 5)양액 공급을 위한 정량 토출 제어

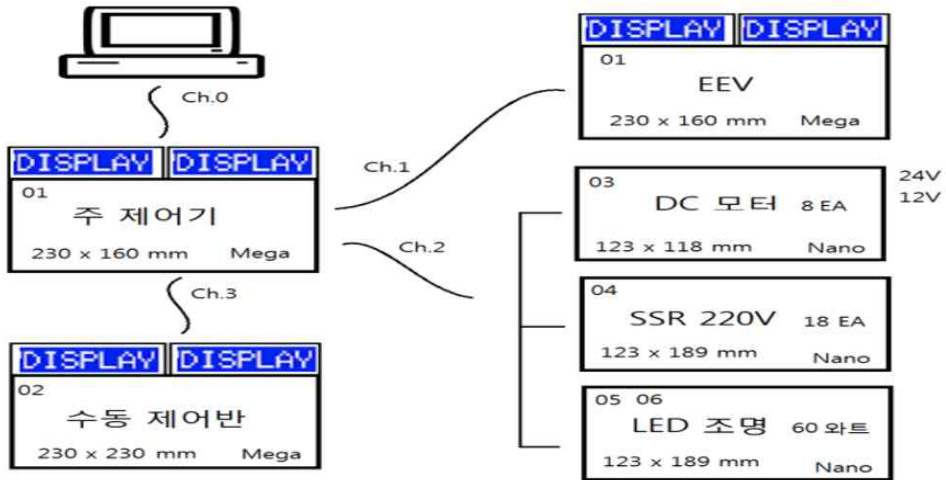


그림 28 . 시제품 모니터링 개념도

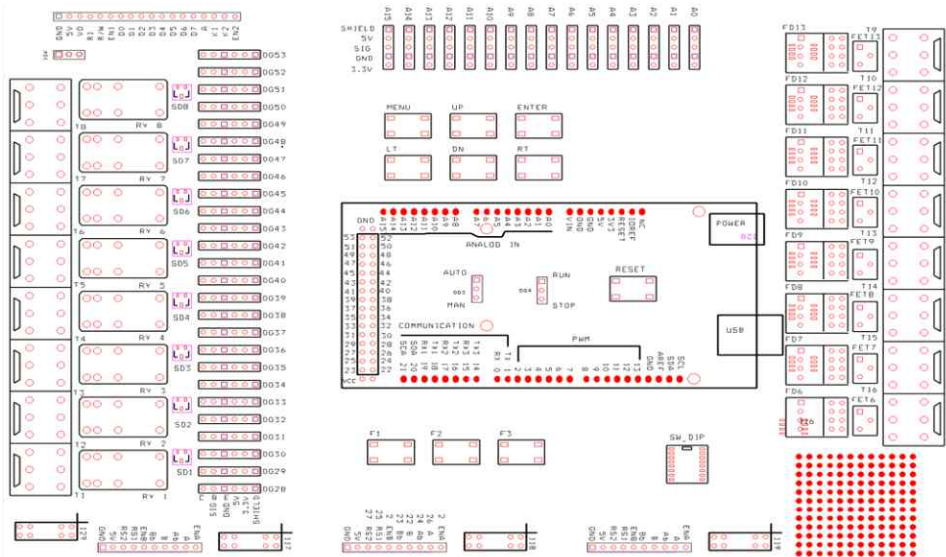


그림 29 . PCB 설계도

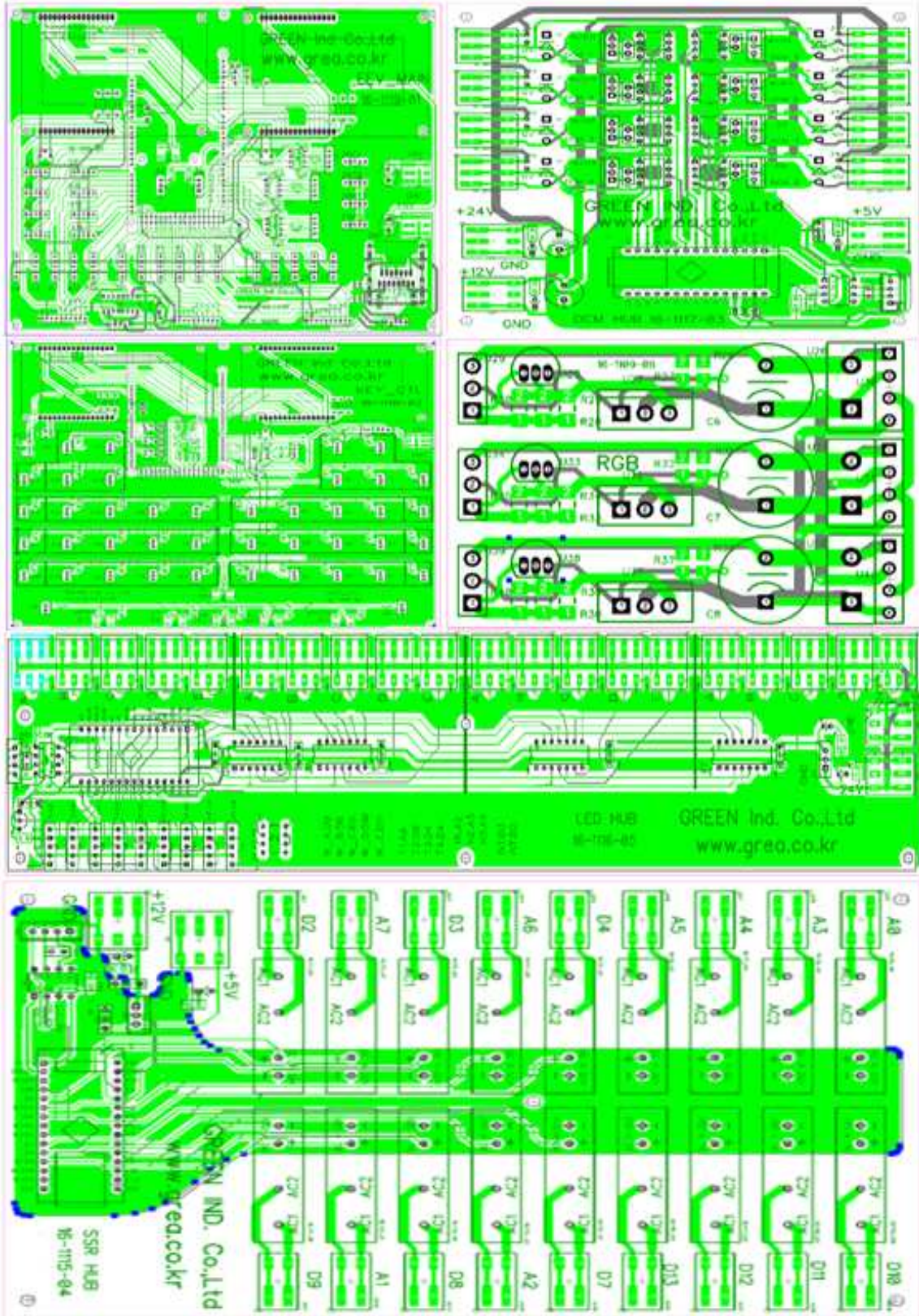


그림 30 . 제어 파트별 PCB 회로

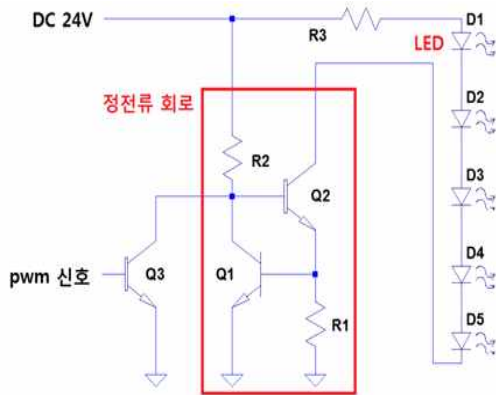


그림 31 . LED 광제어 회로

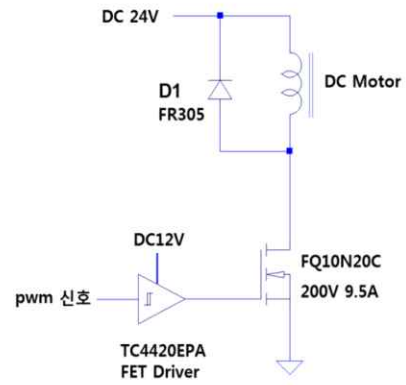


그림 32 . DC Motor 제어 회로

```

파일 편집 스케치 툴 도움말
[Icons]
AP_Key_2016_12_17_R2 § btn cmd com_pc lcd system.h tx user
36 void loop() {
37   int16_t k;
38
39   dig_read(): ang_io_old[5] = 1; dig_io_old[46] = 1; //emergency
40   em_key_chk()://emergency key check
41
42   op_mode = 0 :
43
44   while (1) {
45     // normal operation
46
47     dig_read():
48     em_key_chk()://emergency key check
49
50     if (op_mode == 0 ) {
51       LCD_page_SSR_DCM_update():
52       //   for (k = 79; k >= 0; k--) LCD_SSR_DCM[k] = LCD_page_0[k] :
53       lcd2004_1_page(LCD_SSR_DCM): LCD_current_page[1] = LCD_page_SSR_DCM:
54
55       LCD_page_LED_update():
56       for (k = 79; k >= 0; k--) LCD_LED[k] = LCD_page_0[k] : //TODO err1
57       lcd2004_2_page(LCD_LED): LCD_current_page[2] = LCD_page_LED:
58
59       tx_keys() :
60       //   em_key_chk()://emergency key check
61     }
62

```

그림 33 . 제어 프로그램(아두이노)

2-(3) 시제품 제작

2-(3)-1 시제품 외형



그림 34 . 재배 단수별 시제품 제작 사진

2-(3)-2 제어용 PCB 보드

1)수동 제어부

- 수동 조작 PCB, 아쿠아 포닉스 시스템을 제어할 때 사용.
- 아쿠아 포닉스의 최적 제어 파라미터를 찾는데 사용.
- 최적 파라미터를 찾으면, 주 제어기에서 최적 파라미터를 사용하여 자동운전.

2)주 제어부

- 수동조작반의 제어명령을 통신으로 수신하여 220V 공조제어, DC Motor 제어 및 LED 제어명령을 전달.



그림 35 . 수동 제어부 PCB



그림 36 . 주 제어부 PCB

3)AC 제어부

- 공조장치, 순환펌프, 가습장치 등 AC 제어를 위한 PCB 모듈



그림 37 . AC 제어부 PCB

4)LED 조명제어

- LED 조명은 일정량 이상의 전력 소모 방지하지를 위하여 정전류 회로를 적용하여 가정용에 적용이 가능하도록 저 전력의 시스템으로 제작.

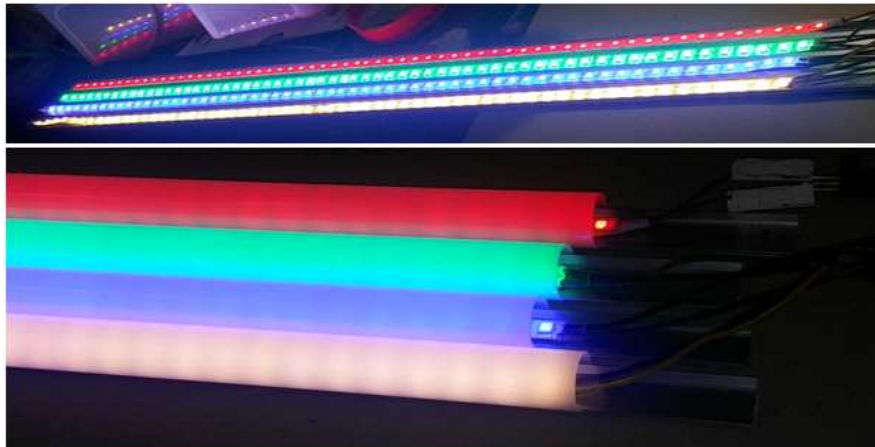


그림 38 . LED Module

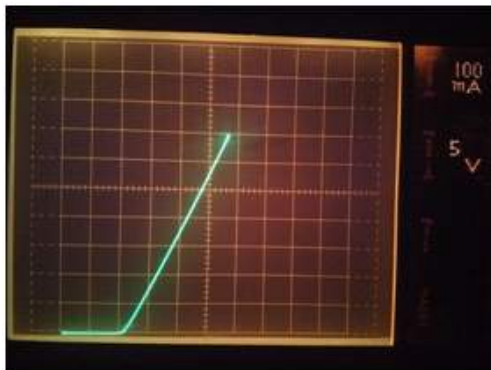


그림 39 . 일반 제어

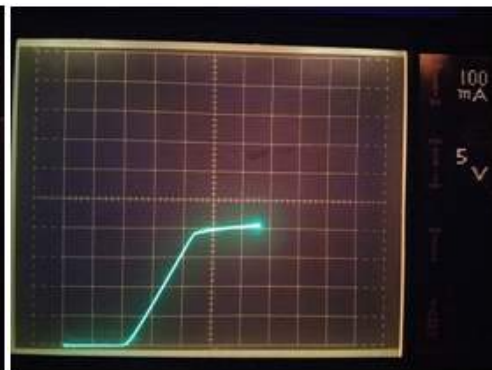


그림 40 . 정전류 제어

최종 개발 시제품의 LED의 출력을 안정적으로 제어하기 위하여, Meanwell 사의 ELG-75-36B 전원장치(36V)를 선정하였다. 선정된 전원공급장치는 PWM dimming이 가능하며, 2.1A의 전류제한 장치를 포함하고 있어 안정적으로 고효율 LED를 제어할 수 있다.

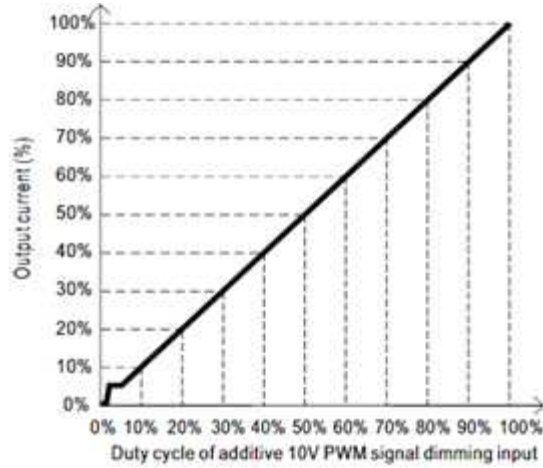


그림 41 PWM 값에 따른 LED의 dimming 결과

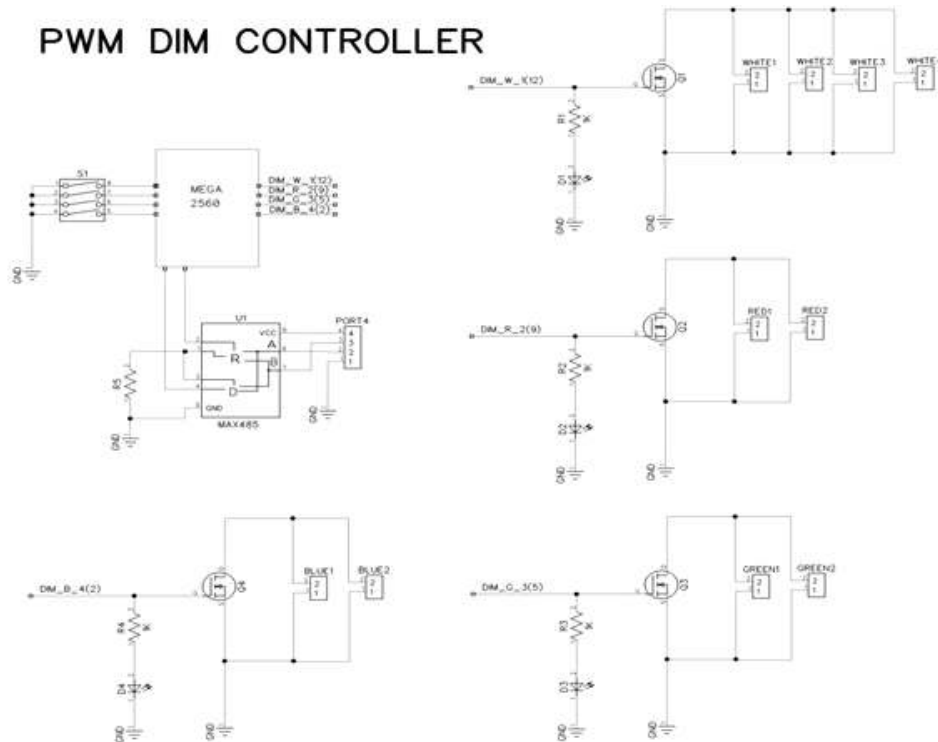


그림 42 PWM제어를 위한 LED dimming controller 세부 회로도

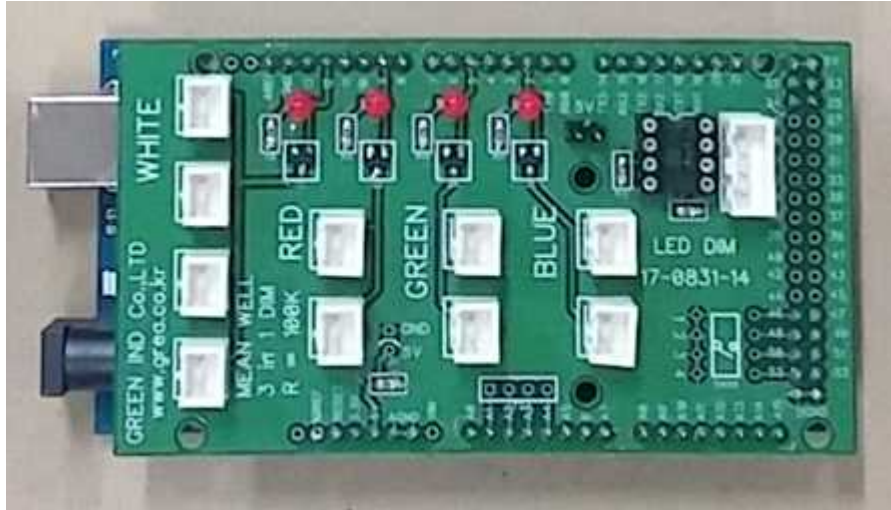
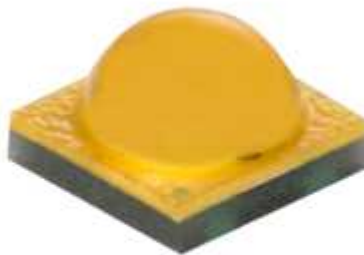


그림 43 제작된 LED dimming을 위한 PCB

2-(3)-3 LED 출력 개선 및 전력효율 증대를 위한 반사판 설계

LED는 Cree(USA)사의 백색 LED를 사용하였으며, 3.45 mm x 3.45 mm 크기와 5700K의 색온도, 170루멘의 밝기를 갖는다. 선정된 LED는 빛이 160°로 나오므로, 빛이 모이는 각도가 50°이하가 되도록 반사판을 제작하였다.



Cree® XLamp® XT-E LEDs

그림 44 식물재배부에 사용된 LED

반사판 설계를 위하여 LED 관점에서의 지향각과 재배영역 관점에서의 지향각을 분석하였다. 선정된 LED를 이용하여 반사판 없이, 사용하게 된다면 전체 광 출력의 30% 정도만을 사용하게 되는 것으로 매우 비효율적이다. 이에 아래 그림 45와 같이 반사판을 설계하였다. 또한 설계된 반사판을 이용하여 광원을 조사하게 될 경우의 광 분포를 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 시뮬레이션은 실제 식물재배부와 광원과의 거리가 50cm인 점을 반영하여 진행하였다. 최종 설계된 반사판은 출력되는 광을 50° 이내의 시야각을 갖도록 제작되었다.

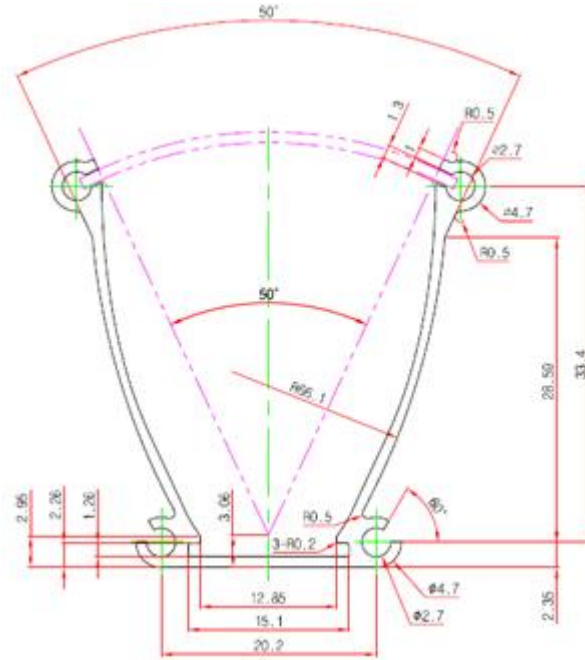


그림 45 식물재배부의 반사판 설계도

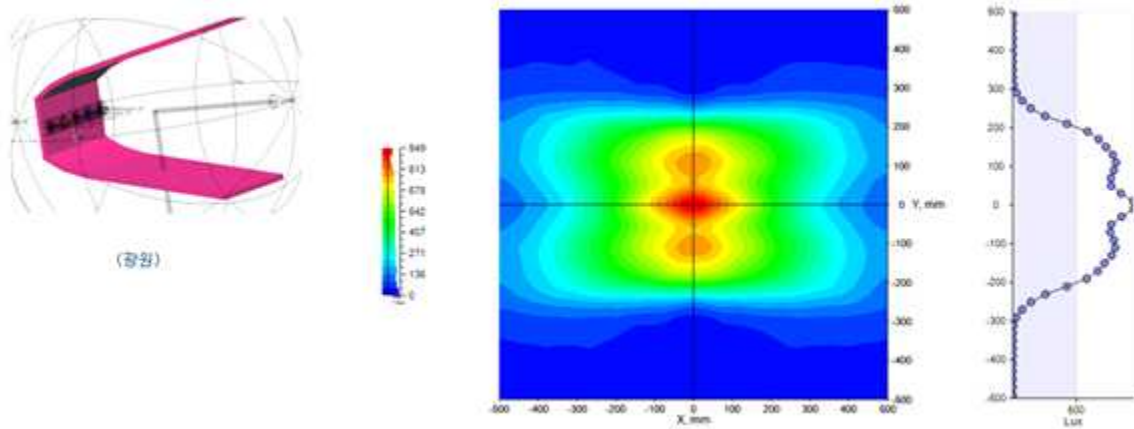


그림 46 설계된 반사판의 광 밀집도 시뮬레이션(50cm)

시뮬레이션 결과 설계된 반사판은 광 출력 효율 개선에 적합함을 확인하였고, 아래의 그림 47과 같이 1차년도에 개발된 시제품에 적용하여 재배 테스트 수행 뒤, 시제품에 적용하였다.



그림 47 설계된 반사판을 적용한 LED어레이를 식물재배부에 설치

2-(4) 1차년도 개발 시작품 테스트

구상된 설계안을 바탕으로 1차년도에 제작된 시작품에 실제 식물을 재배하고 양어를 사육하여 아쿠아포닉 시스템의 순환 및 생육환경 조성이 적합하게 이루어지는지 평가하였다. 아쿠아포닉 시스템이 유지되기 위해서는 물고기가 폐사하는 일이 없어야 하므로, 사육기간에 따른 어항의 농도를 측정하고 순환속도를 결정하기 위해 설치된 펌프의 PWM 출력에 따른 유량을 평가하였다.

2-(4)-1. 아쿠아포닉 시스템 생육 테스트 및 양액 농도 측정

개발된 시작품이 시제품으로 제작되기에 적합한지, 문제점은 없는지 판단하기 위하여 30마리 개체의 금붕어와 상추 24모종을 구매하여 아쿠아포닉 시스템을 구성하였다. 양어부를 구성하는 어항의 크기는 가로, 세로, 높이가 각각 600, 400, 300mm로 약 60L의 물에서 키워졌으며, 이는 8개의 재배포트를 장착할 수 있는 수경재배용 필름에 어항에서 발생한 양액을 공급하기에 충분한 양이다. 양어부에 사료는 매일 오전 10시경 35%의 단백질을 함유하고 있는 550mg의 사료를 공급하였다. 식물재배부에는 약 2주정도 흙에서 키워진 상추 모종을 구매하여, 뿌리에 남아있는 흙기를 제거하고 개발된 식물재배부의 수경재배용 포트에 이식하였다.



그림 48 양어부에 사육되고 있는 물고기



그림 49 식물재배부에 이식된 상추모종

상추를 이식하기 전에, 양어부의 여과박테리아 형성을 위하여 박테리아 배양 및 여과스펀지가 구성된 박테리아 배양부와 부유물을 걸러낼 수 있는 물리적 여과기, 어항의 온도를 일정하게 유지할 수 있는 전열기를 설치하였다. 어항의 온도는 약 20°C에서 유지되도록 하였다. 그림48에서 좌측부터 물리적여과기, 박테리아 배양부, 전열기이다. 일반적으로, 박테리아가 이식되지 않은 어항에서 질화 박테리아가 형성되기 위해서는 약 한달의 시간이 소요되며, 박테리아가 형성되었는지 평가하기 위하여 암모늄, 아질산염, 질산염 농도를 주기적으로 측정하였다. 어항물의 이온 농도를 측정하기 위하여, 매일 50ml을 샘플로 추출하였으며, 추출된 샘플을 통해 전기전도도와 pH를 측정한 뒤, 이온 농도는 Ion chromatography를 통해 측정하였다. 박테리아의 형성 여부를 확인하기 위한 이온농도에 대한 측정결과는 아래의 표와 같다.

표1 사육기간에 따른 암모늄, 아질산염, 질산염 농도

| 사육기간(일) | NH ₄ ⁺ (ppm) | NO ₂ ⁻ (ppm) | NO ₃ ⁻ (ppm) |
|---------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 3일 | 4.11 | 0.1 | 23.9 |
| 10일 | 7.69 | 0.27 | 20.69 |
| 20일 | 16.7 | 0.87 | 20.87 |
| 30일 | 14.29 | 10.96 | 10.82 |
| 40일 | 4.18 | 44.67 | 13.28 |
| 50일 | 1.7 | 49.64 | 22.09 |

이온 측정 결과는 약 10일 간격으로 제시하였다. 그러나, 양어부의 전도도를 매일 측정한 결과, 아래의 그림50과 같이 약 15일만에 금붕어가 생존하기 어려운 500uS/cm까지 도달하였다. 때문에, 15일 간격으로 어항의 물을 30%가량 환수하여 물고기가 폐사하는 일이 없도록 하였다. 사육 초기에 측정된 질산염수치는 수돗물에 포함되어 있는 것으로 판단된다. 양어부의 물을 환수하는 과정이 있었기 때문에, 표1에서 제시한 사육기간에 따른 이온농도에 대해 정확한 값은 알 수 없으나, 20일~30일 전후로 아질산염(NO₂⁻)의 농도가 급격히 증가한 것을 통해, 암모니아를 아질산염으로 변환시키는 nitrobacter가 형성되었음을 확인할 수 있다. 또한 그로부터 10일정도 지난시점에서 질산염(NO₃⁻)의 농도가 증가하기 시작하는 것을 통해 아질산염을 질산염으로 변환시키는 nitrosomonas가 정상적으로 형성되었음을 확인하였다. nitrosomonas는 아질산염을 먹이로 하므로, nitrobacter가 형성된 이후에 발생하는 것이 자명하며 측정결과는 이와 일치한다. 이를 통해 양어부에 박테리아가 형성되기 위해서는 약 30~40일 정도의 시간이 소요되는 것으로 판단된다.

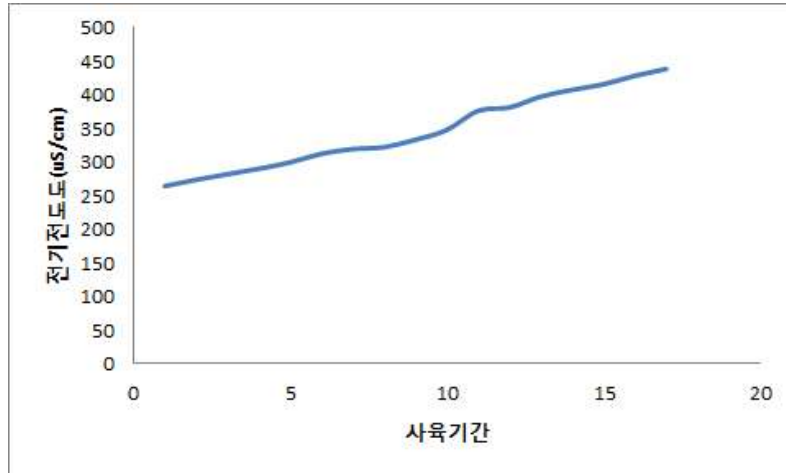


그림 50 사육기간에 따른 전도도 측정결과

2-(4)-2. 순환 펌프 출력 테스트

양어부의 물고기에서 발생한 노폐물이 포함된 양액을 식물재배부로 적절한 양을 공급하기 위하여, motorbank사의 NPM-4를 이용하여 양어부와 식물재배부 사이에 양액이동 라인을 구성하였다. 설계된 회로상에서 펌프의 출력을 PWM방식으로 제어할 수 있도록 구성하였고, PWM값에 따른 유량을 측정하여 원하는 유량이 순환될 수 있도록 하였다. 측정된 유량은 모터를 제어하기 위한 PWM값의 변화에 따라 15초간 작동시켜 결정하였다. 아래의 그림 52와 같이 원하는 유량을 제어하기 위해 회귀모델을 획득하였다.

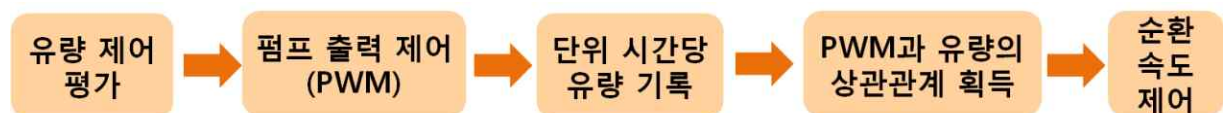


그림 51 순환펌프 출력 테스트 및 유량제어 방법

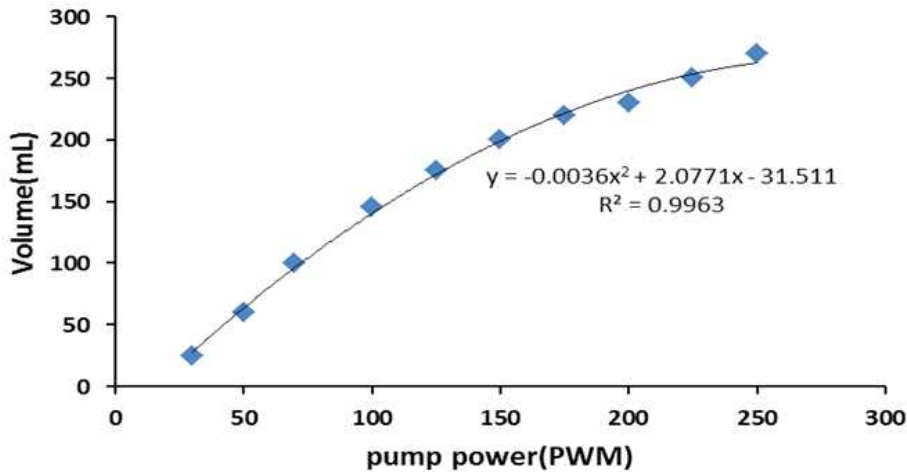


그림 52 PWM값에 따라 모터를 통해 제어되는 유량

2-(4)-3. 식물재배 시스템의 온도제어 방법 및 제어결과

식물이 생육되는 공간은 완벽히 단열되어있지 않기 때문에, 외기에 영향을 받아 식물이 생육되기에 적합한 온도범위가 유지되지 않을 수 있다. 또한, 그림 53과 같이, 식물을 생육하기 위해 식물재배부의 상단에 설치된 LED에서 발생하는 열 때문에 내부공간의 온도가 지속적으로 상승할 수 있는 문제점이 있다. 개발된 시작품은 LED가 오전7시부터 오후7시까지 켜져 있도록 제어하였다. LED가 작동한 뒤, 약 23°C까지 온도가 상승하였고 냉방기에 의해 온도가 다시 하강한 것을 확인할 수 있다. 그 뒤에는 냉방기 기능을 꺼두었고 4~5시간에 걸쳐서 온도가 약 30°C까지 상승한 것을 확인할 수 있다. 상추가 생육되기에 적합한 온도는 약 17°C ~ 23°C로 알려져 있고, 작물 별로 그 범위는 상이할 수 있다. 원하는 온도 범위를 제어하기 위하여 Heat-pump를 통해 재배공간의 냉난방을 수행하였다.

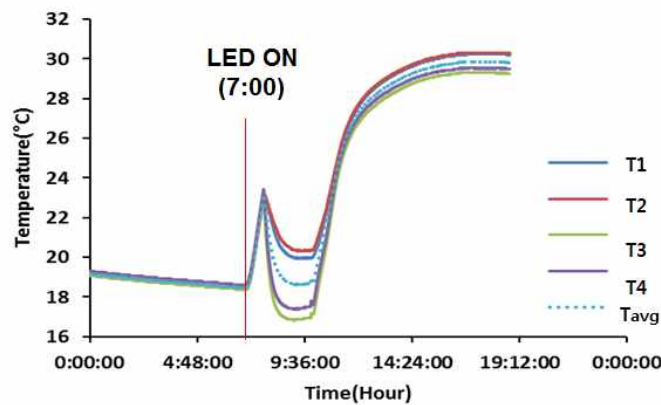


그림 53. LED의 작동으로 인한 식물재배 내부공간의 가열

식물재배부의 온도를 원활하게 제어하기 위하여 그림 54와 같이 Heat-pump를 Heating모드와 Cooling모드로 나누어 작동하도록 제어 프로그램인 아두이노 소스에 프로그램화하였다. 작동 경계값인 18°C와 23°C에서 난방과 냉방이 수행된다면 경계치에서 반복적으로 냉난방 장치가 작동하여 과도한 전력소모를 야기할 수 있다. 따라서, 최소 온도에서 1을 뺀 값을 설정해 두어 내부온도가

Tmin-1보다 낮아질 경우 최대온도에 도달하더라도 냉방을 수행하지 않도록 하였다. 즉, 초기 1회에 대해서는 17~23°C가 제어되며 17°C에 도달한 뒤 Cooling모드가 적용되면 18~23°C의 온도 범위를 유지하기 위하여 냉방만이 수행된다. 이는, 외부온도에 의한 자연 냉각 및 난방을 고려하기 위하여 설정한 것이다.

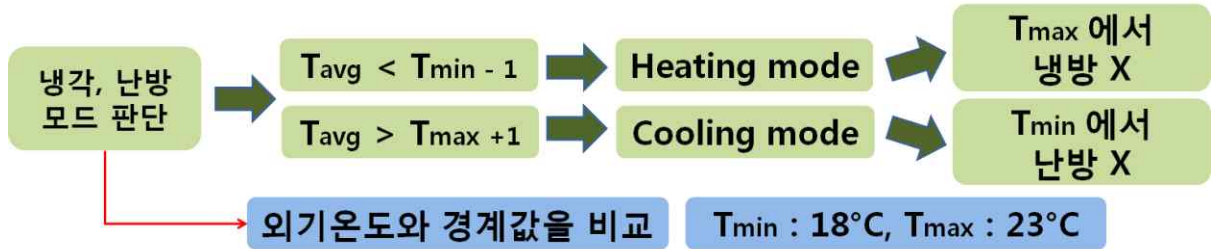


그림 54 Heat-pump를 이용한 식물재배부 내부공간의 온도제어 방법

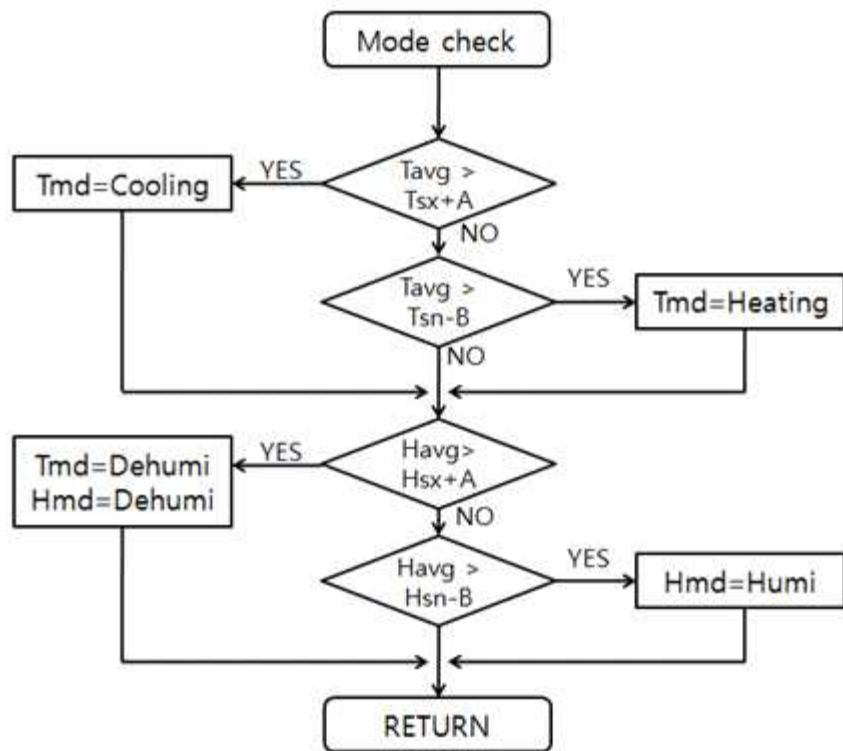


그림 55 온도제어 알고리즘

그림 55에서 결정된 온도제어 방식을 적용한 결과, 식물재배부의 내부온도는 그림57과 같이 나타났다. T1,T2,T3 그리고 T4는 재배공간을 4구획으로 나누어 측정한 것이다. 구조적으로 T3와 T4가 냉·난방된 공기가 유출되는 곳에 가깝게 위치하고 있어 그렇지 않은 T1, T2와는 차이가 크게 나타나지만, 모든 온도 분포가 식물을 생육하는 데에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

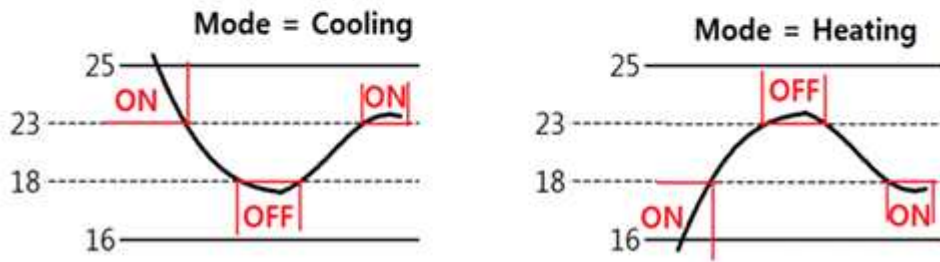
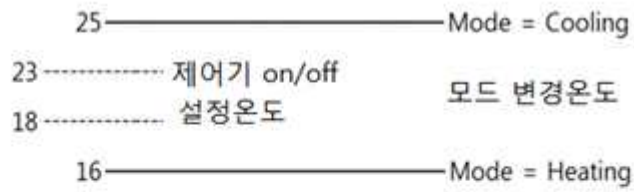


그림 56 온도제어 mode 설정 방식

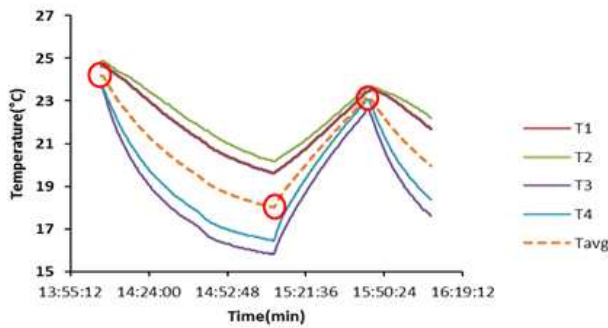


그림 57 식물재배부의 온도제어를 수행한 결과

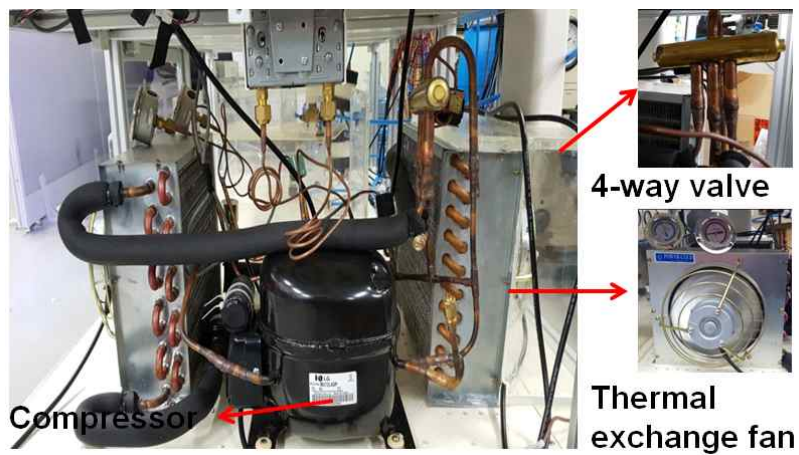


그림 58 온도제어에 사용된 heat-pump system

3. 재배기 제어 및 작물 빅데이터 획득을 위한 시스템 구축

3-(1) 제어 알고리즘 설계

3-(1)-1 아쿠아포닉 시스템 구성인자 구분

본 연구에서 개발된 아쿠아포닉 시스템의 각 구성요소를 구분하고 각각의 동작을 하나의 제어부에서 순차적으로 컨트롤하도록 하였다. 우선 초기값을 담당하는 모듈을 순환시스템과 별도로 구성하여 프로그램 동작 및 메인서버 통신의 안정성을 도모하였고 아쿠아포닉 시스템 전체를 양어부, 박테리아 배양부, 식물재배부로 나누어 각 부분의 센서 신호 처리, 생물환경 정보 확인 및 동작 제어를 효과적으로 진행할 수 있도록 구성하였다.

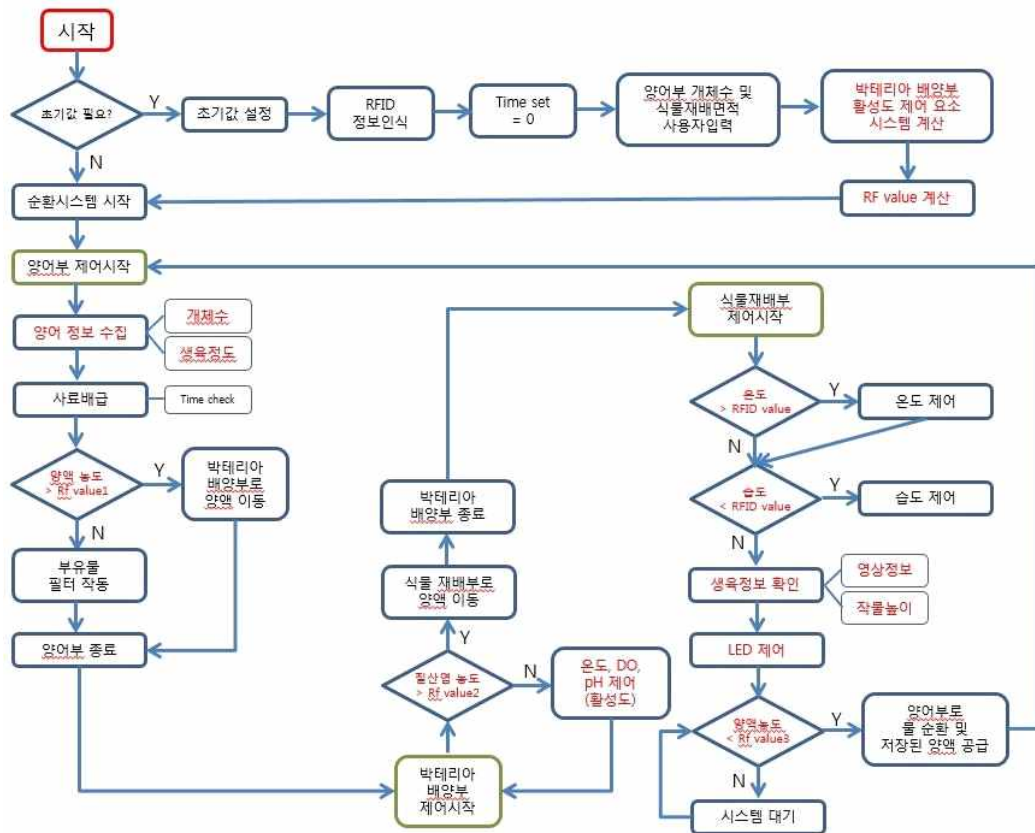


그림 59 아쿠아포닉 시스템 제어 알고리즘 순서도

3-(1)-2 각 모듈별 제어 알고리즘 구성

1차년도 시작품에서는, 전체 제어 알고리즘은 하나의 순서도로 나타낼 수 있지만 각각의 모듈이 개별적으로 동작한다. 전체 시스템을 제어할 때 순서는 아쿠아포닉 시스템 내에서 에너지가 순환하는 흐름대로 초기값 세팅 이후에 양어부 제어, 박테리아 배양부 제어, 그리고 식물재배부 제어 순이다. 본 연구팀이 개발하는 아쿠아포닉 시스템은 식물재배에 주요 목적이 있기 때문에 제어시스템이 한 사이클 동작하고 다음 사이클까지 비는 시간에는 식물재배부 제어모듈에서 대기하게 된다.

1차년도 시작품을 기반으로 시스템을 간소화하기 위하여 외부에 구성되어있던 박테리아 배양부 및 부유물 제거 필터를 양어부 내부에 위치 시켰으며 양액 순환이 정해진 시간 간격 및 양액내부의 전도도를 기반으로 제어되도록 변경하였다. 또한 알고리즘 상의 Reference value는 1차년도에 목표한 RFID 칩에 저장되는 것이 아닌, 시스템 초기 입력 값으로 변경하였고 초기 입력값 중에서 사용하는

어종과 그 개체수, 재배하는 작물과 그 개체수, 사료공급량 등의 정보가 초기에 사용자로부터 입력 받도록 구성한 뒤, 그 정보가 메인서버로 전송될 수 있도록 하였다.

1) 초기값 세팅

본 연구에서 개발될 아쿠아포닉 재배장치는 메인서버가 개별 재배장치로부터 생육환경 및 사용자 정보를 데이터를 받은 후 구축된 데이터베이스에 저장하여 아쿠아포닉 시스템의 빅데이터 수집을 위한 시스템을 구축하는 것을 목표로 하고 있다. 그렇기 때문에 각 재배장치는 식물 재배를 처음 시작할 때 메인서버와 통신이 이루어지도록 Wi-fi 모듈이 장착되어 있으며, 초기에 사용자가 설정하는 사육하는 어종, 개체수, 재배 작물 및 그 개체수, 사료 공급량 등의 정보가 초기에 사용자로부터 입력받도록 구성된다. 또한 이러한 초기값에 대한 정보는 초기 정보에 따라 발생하는 데이터의 의미가 달라지기 때문에, 별도의 데이터베이스 테이블로 구성하여 초기값에 변화가 있을 경우 새로운 데이터베이스가 구축되도록 하였다.

2) 양어부 제어

양어부의 fish water의 순환은 정해진 순환 시간과 장착된 전도도 센서에 의하여 제어되도록 구성하였다. 식물 재배부에서 재배되는 포트의 뿌리부분이 잠길 수 있도록 하기 위해서, 적정 높이의 수면이 유지되고, 식물재배부가 마르는 현상을 방지하기 위하여 30분 간격으로 일정량의 fish water가 순환되도록 하였다. 또한 장착된 전도도센서를 통해 전도도가 설정된 전도도 값보다 높을 경우, 순환되는 식물 재배부로 공급되는 fish water의 순환 주기가 더욱 빨라지도록 하였다. 설정된 값보다 더욱 높은 전도도의 한계치를 초과할 경우, 사용자에게 양어부의 물을 환수 하도록 하는 경고 메시지를 출력하도록 함으로써 물고기가 폐사하는 것을 방지하고자 하였다.

3) 박테리아 배양부

1차년도에, 연구기획 당시에는 박테리아 배양부를 어항 외부에 별도로 배치시키고자 하였다. 그러나, 박테리아가 원활히 배양되기 위해서는 박테리아의 먹이가 되는 이온 성분들이 지속적으로 공급되어야 하며 적정 용존산소 농도가 유지되어야 한다. 따라서, 1차년도 기획 당시와 같이 별도의 박테리아 배양부를 외부에 위치시킬 경우 부피가 과도하게 커질 수 있고 적합한 환경유지를 위한 별도의 장치가 추가되어야 하는 문제점이 있다. 때문에, 최종 연구결과물에는 박테리아 배양부가 어항 내부에 위치 하도록 하고, 박테리아 배양부로 별도의 순환라인을 제거하여 간소화하고 소형화 하였다.



그림 60 재배장치에 구성된 박테리아 배양부

4) 식물재배부 제어

식물재배부에서는 시스템 자체적으로 많은 것을 제어하게 되는데, 우선 센서로부터 온습도 데이터를 받아서 이것이 해당 식물의 생육에 적합하도록 설정된 온도 제어범위와 비교하여, 적합한 범위를 벗어날 경우 히트펌프 기반의 냉난방 장치를 통해 내부공간의 온도를 난방 및 냉방을 하도록 하였으며, 습도가 설정된 값보다 낮아질 경우 펌프를 통해 물이 분사되도록 하였다. 또한 식물재배부의 LED는 균일한 광환경을 공급하기 위하여 천장에 설치된 LED에 반사판을 설계하여 장착하였으며, 총 5개의 LED array가 배치되어있다. 반사판이 장착된 LED에 의하여 특정 영역에서는 여러개의 LED에서 광이 집중되는 현상이 나타나, LED array 별로 출력을 다르게 설정하여 균일한 광환경이 공급될 수 있도록 하였다. 마지막으로 양액의 농도를 전도도 센서를 기반으로 체크하여 일정 수치 이하로 떨어진 경우 순환양액을 양어부로 보내주고 새 순환양액을 공급하도록 하였다.

3-(2) 1차년도 무선통신 기반의 데이터 전송 시스템 구축을 위한 테스트

시작품에 장착된 식물재배부, 양어부의 센서 데이터를 전송하기 위하여 wifi 무선통신 기능이 탑재된 아두이노 보드(그림 61)를 이용하였다. 우선적으로 아래 그림 60과 같은 온습도 센서를 이용하여, 온도와 습도를 측정하고 그 값을 임시로 개설된 웹서버에 데이터를 업로드하는 시스템을 구축하여, 2차년도에 시작품과 메인서버를 연동할 수 있는 플랫폼을 구축하였다. 그림 62의 시리얼 모니터를 통해 아두이노 보드를 통해 웹서버가 정상적으로 개설되었음을 확인할 수 있으며, 그림 63에서 웹서버로 온도 및 습도정보가 정상적으로 전송됨을 확인할 수 있다.

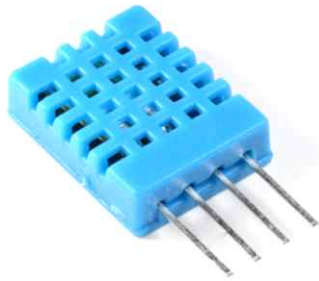


그림 61. DHT11 온습도 센서



그림 62. 오렌지보드 Wifi(아두이노)

무선 통신 테스트를 위한 시스템 구성에 이용된 소스코드는 아래와 같다.

```
#include <SPI.h>
#include <DHT11.h>
#include "WizFi250.h"

int pin=7;
DHT11 dht11(pin);

char ssid[] = "BESLAB";
char pass[] = "xxxxxxxx";
int status = WL_IDLE_STATUS;
int reqCount = 0;

WiFiServer server(80);

void printWifiStatus();

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    WiFi.init();

    if (WiFi.status() == WL_NO_SHIELD) {
        Serial.println("WiFi shield not present");
        while (true);
    }

    while ( status != WL_CONNECTED) {
        Serial.print("Attempting to connect to WPA SSID: ");
        Serial.println(ssid);
```



```

    status = WiFi.begin(ssid, pass);
}

Serial.println("You're connected to the network");
printWifiStatus();
server.begin();
}

void loop()
{

    int err;
    float temp, humi;

    WiFiClient client = server.available();
    if (client) {
        Serial.println("New client");
        boolean currentLineIsBlank = true;
        while (client.connected()) {
            if (client.available()) {
                char c = client.read();
                Serial.write(c);

                if (c == '\n' && currentLineIsBlank) {
                    Serial.println("Sending response");

                    if((err=dht11.read(humi, temp))==0)
                    {
                        client.print("<!DOCTYPE HTML>WrWn");
                        client.print("<html>WrWn");
                        client.print("Temp, Humidity sensor connected:");
                    }
                    else
                    {
                        client.print("Error No :");
                        client.print(err);
                    }

                    client.print("<h1>Aquaponic system data log</h1>WrWn");
                    client.print("Temperature = ");

```

```

        client.print(temp);
        client.print("\nHumidity = ");
        client.print(humi);
        client.print("<br>Wr\n");
        break;
    }
    if (c == '\n') {
        currentLineIsBlank = true;
    }
    else if (c != '\r') {
        currentLineIsBlank = false;
    }
}
}
delay(10);
client.stop();
Serial.println("Client disconnected");
}
}
void printWifiStatus()
{
    Serial.print("SSID: ");
    Serial.println(WiFi.SSID());

    IPAddress ip = WiFi.localIP();
    Serial.print("IP Address: ");
    Serial.println(ip);
    Serial.println();
    Serial.print("To see this page in action, open a browser to http://");
    Serial.println(ip);
    Serial.println();
}

```



그림 63. 무선 통신 서버 접속이 이루어진 serial monitor



그림 64. 웹 서버로 전송된 온도 및 습도 데이터

4. IOT 기반 데이터베이스 구축 및 재배관리 시스템 개발

4-(1) 기존 연구목표 및 변경내용

1차년도 연구목표로 설정되었던 RFID 정보 저장기술은 무선 인터넷 통신이 불가능한 상황일 경우 필수적으로 정보 업데이트를 위한 저장 및 전송방식으로서 요구되었으나, 최종 개발될 채소재배시스템은 메인서버와의 통신을 위하여 wifi 무선 통신기술이 적용될 것이므로 RFID 정보 저장 및 교환시스템에서 수행하는 기능이 wifi 통신을 통해 대체될 수 있다. 또한 Wi-fi통신을 이용하면, RFID칩만을 이용할 경우 불가능한 메인서버로의 데이터 전송이 가능하다. 이에, 시스템에 구성될 불필요한 기능을 제거하여

비용을 감축하고자 하였다.

4-(2) 메인 서버의 데이터베이스 설계 및 개발

개발된 아쿠아포닉 채소재배장치에서 발생하는 센서 데이터와 재배장치의 냉·난방기, 순환기의 작동 상태를 사용자에게 보여주고 데이터베이스화하기 위하여 메인서버를 MySQL과 AMPsetup을 이용하여 구축하였다. 메인서버는 협동연구기관인 서울대학교에 설치되었다. 또한 사용자가 확인하기 편하고 메인서버에 축적될 데이터를 유의미하게 저장하기 위하여 데이터베이스를 설계하였다. 데이터베이스에 저장되는 정보는 2가지로, User 정보와 각 User에 포함되는 센서 데이터 및 작동상태 데이터로 구분된다. 변수명은 전송되는 데이터의 길이를 최소화하기 위하여 간략하게 설정하였다. 아래에 제시된 User 정보 중 하나라도 값이 변경되면, 새로운 데이터베이스 테이블이 생성된다. 이것은 첫 번째로, 사용자 ID에 따라 데이터가 별도로 저장되어 사용자가 원하는 정보를 확인할 수 있도록 구성하기 위함이다. 두 번째로는, 재배장치에서 발생하는 데이터는 물고기의 종류, 개체수, 사료 공급량, 재배되는 식물의 종류, 식물의 개체수에 따라 달라 질 수 있다. 따라서, 아쿠아포닉 시스템에서 발생하는 생육환경 및 수질환경에 대한 정보를 분류하기 위한 통제변인으로 설정한 것이다.

표 2 메인서버에 구축되는 User 정보

| 변수명 | 설명 |
|---------|---------------------------------|
| userid | 사용자의 고유 ID |
| fd | 사용자가 설정한 사료 공급량(스푼 수) |
| f_t | 사용자가 설정한 물고기의 종류(1~4) |
| f_c | 사용자가 설정한 물고기의 개체수 |
| p_t | 사용자가 설정한 작물의 종류(1~4) |
| p_c | 사용자가 설정한 작물의 모종수 |
| li | 사용자가 설정한 재배장치의 광세기 (PWM값 0~255) |
| regdate | 데이터가 기록된 날짜 |

표 3 메인서버에 구축되는 User 정보에 포함된 데이터

| 변수명 | 설명 |
|-----------|-------------------|
| temp1 | 식물재배부의 온도(°C) |
| rh1 | 식물재배부의 상대습도(%) |
| temp_f | 양어부의 온도(°C) |
| do_f | 양어부의 용존 산소량(ppm) |
| ec_f | 양어부의 전기전도도(uS/cm) |
| heat_pump | 냉난방 장치의 작동상태 |
| four_way | 냉방 및 난방 모드 |
| fan_c | 공기 순환기의 작동상태 |
| regdate | 데이터가 기록된 날짜 |

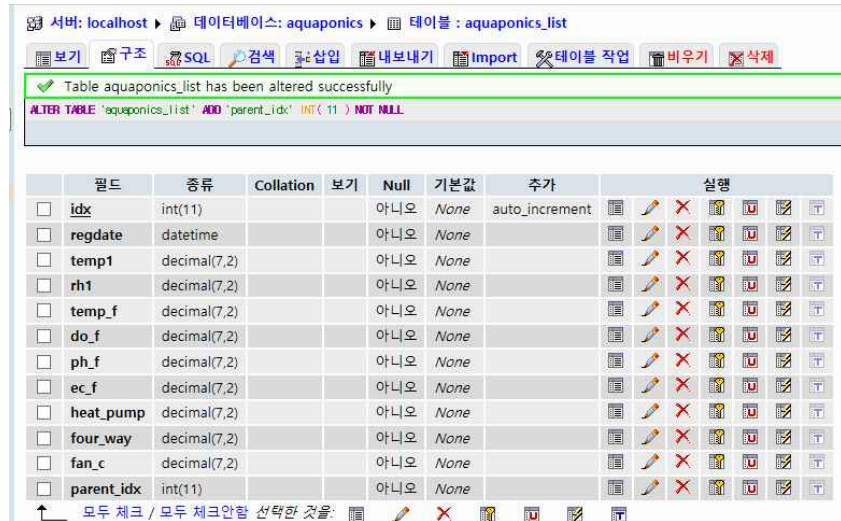


그림 65 구축된 데이터베이스(User information)

| aquaponics (38) | | + Options | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|-----------|---------------------|--------|----------|----------|------|------|---------|-----------|----------|-------|------------|
| | | idx | regdate | temp1 | rh1 | temp_f | do_f | ph_f | ec_f | heat_pump | four_way | fan_c | parent_idx |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 1 | 2018-01-04 18:55:28 | -99.99 | -9999.00 | -9999.00 | 0.00 | 9.74 | 1269.36 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 2 | 2018-01-04 18:55:40 | -99.99 | -9999.00 | -9999.00 | 0.00 | 9.74 | 1265.09 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 3 | 2018-01-04 18:55:50 | -99.99 | -9999.00 | -9999.00 | 0.00 | 9.74 | 1265.09 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 4 | 2018-01-04 18:56:01 | -99.99 | -9999.00 | -9999.00 | 0.00 | 9.73 | 1269.36 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 5 | 2018-01-04 18:56:13 | -99.99 | -9999.00 | -9999.00 | 0.00 | 9.76 | 1260.82 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 6 | 2018-01-04 18:56:36 | -99.99 | 3599.00 | 3608.00 | 0.00 | 9.68 | 1277.91 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 8 | 2018-01-04 18:56:58 | -99.99 | 3599.00 | 3608.00 | 0.00 | 9.61 | 1272.99 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 9 | 2018-01-04 18:57:09 | -99.99 | 3599.00 | 3608.00 | 0.00 | 9.73 | 1269.36 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 10 | 2018-01-04 18:57:20 | -99.99 | 3599.00 | 3608.00 | 0.00 | 9.71 | 1269.36 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 11 | 2018-01-04 18:57:31 | -99.99 | 3599.00 | 3608.00 | 0.00 | 9.73 | 1273.64 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 12 | 2018-01-04 18:57:41 | -99.99 | 3599.00 | 3608.00 | 0.00 | 9.74 | 1265.09 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 13 | 2018-01-04 18:57:51 | -99.99 | 3599.00 | 3608.00 | 0.00 | 9.79 | 1252.28 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 14 | 2018-01-04 18:58:02 | -99.99 | 3599.00 | 3608.00 | 0.00 | 9.71 | 1269.36 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 15 | 2018-01-04 18:58:14 | -99.99 | 3599.00 | 3608.00 | 0.00 | 9.71 | 1273.64 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 16 | 2018-01-04 18:58:25 | -99.99 | 3599.00 | 3608.00 | 0.00 | 9.70 | 1277.91 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 17 | 2018-01-04 18:58:35 | -99.99 | 3599.00 | 3608.00 | 0.00 | 9.73 | 1265.09 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 18 | 2018-01-04 18:58:46 | -99.99 | 3599.00 | 3608.00 | 0.00 | 9.73 | 1269.36 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 19 | 2018-01-04 18:58:57 | -99.99 | 3599.00 | 3608.00 | 0.00 | 9.71 | 1273.64 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 20 | 2018-01-04 18:59:07 | -99.99 | 3599.00 | 3608.00 | 0.00 | 9.71 | 1277.91 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 21 | 2018-01-04 19:07:02 | -99.99 | 3625.00 | 3634.00 | 0.00 | 9.62 | 1267.53 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 22 | 2018-01-04 19:07:13 | -99.99 | 3625.00 | 3634.00 | 0.00 | 9.62 | 1262.07 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 23 | 2018-01-04 19:07:24 | -99.99 | 3625.00 | 3634.00 | 0.00 | 9.62 | 1262.07 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 24 | 2018-01-04 19:07:36 | -99.99 | 3625.00 | 3634.00 | 0.00 | 9.65 | 1290.73 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 25 | 2018-01-04 19:07:46 | -99.99 | 3625.00 | 3634.00 | 0.00 | 9.65 | 1262.07 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 26 | 2018-01-04 19:07:56 | -99.99 | 3625.00 | 3634.00 | 0.00 | 9.65 | 1290.73 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 27 | 2018-01-04 19:20:19 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 28 | 2018-01-04 19:20:35 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 |

그림 66 무선통신을 통한 재배장치의 데이터를 메인서버로의 전송 및 저장

```

63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115

$sql2 = " select count(*) as cnt from aquaponics_user where mb_id='$_userid' and feed='$_feed' and light_i='$_light_i' and
p_c='$_p_c' and p_t='$_p_t' and f_c='$_f_c' f_t='$_f_t'";
$row = sql_fetch($sql2);
if($row[cnt]<=0)
{
    sql_query("alter table aquaponics_user auto_increment=1 ");
    $sql2 = "insert into aquaponics_user
    set user_id
    = '$_userid',
    feed
    = '$_feed',
    f_c
    = '$_f_c',
    p_t
    = '$_p_t',
    p_c
    = '$_p_c',
    light_i
    = '$_light_i',
    regdate
    = '$_today'";
    sql_query($sql2);
    $swr_id = sql_insert_id();

    sql_query("alter table aquaponics_list auto_increment=1 ");
    $sql = "insert into aquaponics_list
    set temp1
    = '$_temp1',
    temp_f
    = '$_temp_f',
    rh1
    = '$_rh1',
    da_f
    = '$_da_f',
    ph_f
    = '$_ph_f',
    ec_f
    = '$_ec_f',
    fan_c
    = '$_fan_c',
    heat_pump
    = '$_heat_pump',
    four_way
    = '$_four_way',
    parent_idk
    = '$_swr_id',
    regdate
    = '$_today'";
    sql_query($sql);
}
// echo $sql;
}
else
{
    $sql2 = " select * from aquaponics_user where mb_id='$_userid' and feed='$_feed' and light_i='$_light_i' and
p_c='$_p_c' and p_t='$_p_t' and f_c='$_f_c' f_t='$_f_t'";
    $row2 = sql_fetch($sql2);
    sql_query("alter table aquaponics_list auto_increment=1 ");
}

```

그림 67 구축된 메인서버가 구축을 위해 작성된 소스코드

4-(3) 재배관리 시스템 개발

4-(3)-1 생육환경의 자동 제어

설계된 아쿠아포닉 채소재배 시스템은 양액순환, 식물재배부의 온도 및 습도, 광환경이 사용자가 설정한 기준을 통해 자동으로 제어되도록 구성하였다. 양액순환은 식물재배부에 위치한 전도도센서를 통해 얻어진 전도도와 시스템시간을 기반으로 하여 제어된다. 온도는 히트펌프를 통하여 정해진 온도 범위가 자동으로 냉방 및 난방이 수행된다. 또한 습도는 재배장치의 내부에 위치한 습도센서(DHT-22)에서 얻어진 습도를 통해 기준치인 상대습도 50%보다 낮아질 경우 물이 분사되어 적정 습도 범위가 유지될 수 있도록 하였다. ‘2-(4) 1차년도 개발 시작품 테스트’에 시스템의 제어 방식 및 결과를 상세히 기술하였다.

4-(3)-2 IOT 기반의 생육환경 및 재배장치 모니터링 시스템

재배장치에서 전송된 데이터를 메인서버의 데이터베이스에 저장하고, 사용자가 IOT를 기반으로하여 실시간으로 재배장치에서 발생하는 정보를 확인할 수 있도록 메인서버를 및 웹페이지를 구성하였다. 사용자는 제품 구매당시에 지급받은 고유 아이디로 회원가입을 하고 개발된 웹페이지에 접속하여, 자신의 재배장치에서 발생한 데이터를 실시간으로 확인할 수 있다.

가정용 아쿠아포닉 시스템 메인 서버



회원아이디

비밀번호

자동로그인

로그인

회원로그인 안내

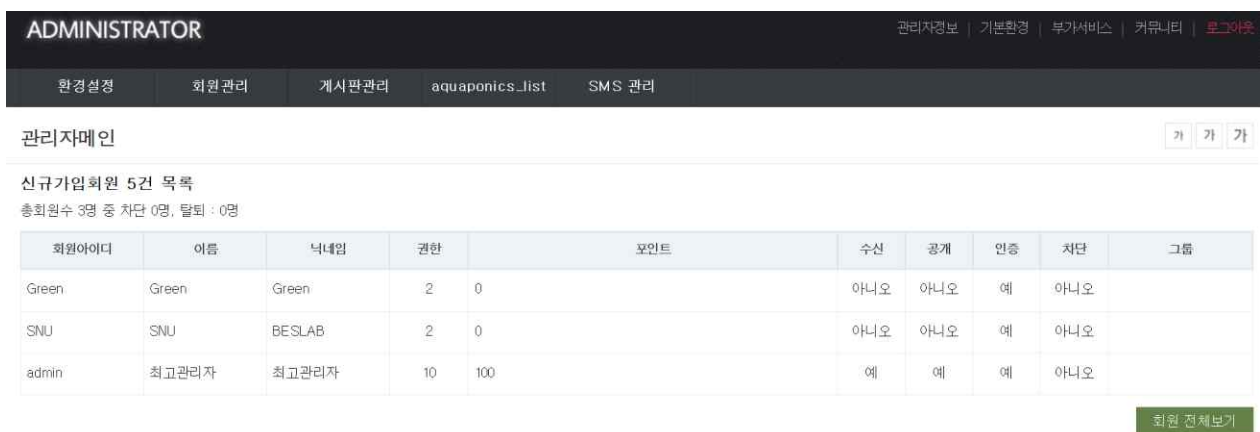
회원아이디 및 비밀번호가 기억 안나실 때는 아이디/비밀번호 찾기를 이용하십시오.
아직 회원이 아니시라면 회원으로 가입 후 이용해 주십시오.

아이디 비밀번호 찾기 **회원 가입**

Designed by SNU
Cooperated with Green Co.
Supported by IPET

그림 68 구축된 메인서버의 로그인 화면

관리자 계정으로 접속할 경우, 제품을 구매한 모든 회원의 목록 및 각 회원의 재배장치에서 발생한 데이터를 확인할 수 있으며, 데이터가 메인서버에 저장된다.



ADMINISTRATOR 관리자정보 | 기본환경 | 부가서비스 | 커뮤니티 | 로그아웃

환경설정 | 회원관리 | 게시판관리 | aquaponics_list | SMS 관리

관리자메인 가 가 가

신규가입회원 5건 목록
총회원수 3명 중 차단 0명, 탈퇴: 0명

| 회원아이디 | 이름 | 닉네임 | 권한 | 포인트 | 수신 | 공개 | 인증 | 차단 | 그룹 |
|-------|-------|--------|----|-----|-----|-----|----|-----|----|
| Green | Green | Green | 2 | 0 | 아니오 | 아니오 | 예 | 아니오 | |
| SNU | SNU | BESLAB | 2 | 0 | 아니오 | 아니오 | 예 | 아니오 | |
| admin | 최고관리자 | 최고관리자 | 10 | 100 | 예 | 예 | 예 | 아니오 | |

회원 전체보기

그림 69 메인서버 관리자 계정으로 확인하는 사용자 목록

메인서버에 구축되는 데이터는 7가지의 User 변수(사용자 ID, 양어종류, 양어 개체수, 식물체 종류, 식물개체수, LED강도, 사료공급량)의 변화에 따라서 독립적으로 저장 되도록 구성하였다.

aquaponics_list |

aqua list 가 가 가

총 aqua 리스트 : 6

| 번호 | 사용자 | 양어종류 | 양어개체수 | 식물체종류 | 식물개체수 | LED강도 | 사료공급량 | date | 관리 |
|----|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|------------|
| 7 | SNU | 2 | 30 | 2 | 24 | 250 | 2 | 2018-01-12 15:25:46 | 상세보기 삭제 |
| 5 | Green | 2 | 30 | 2 | 24 | 100 | 2 | 2018-01-12 15:20:39 | 상세보기 삭제 |
| 4 | Green | 2 | 30 | 2 | 24 | 160 | 2 | 2018-01-12 15:20:29 | 상세보기 삭제 |
| 3 | Green | 2 | 30 | 2 | 24 | 200 | 2 | 2018-01-12 15:12:16 | 상세보기 삭제 |
| 2 | SNU | 2 | 30 | 2 | 24 | 200 | 2 | 2018-01-12 15:10:13 | 상세보기 삭제 |
| 1 | snu | 2 | 30 | 2 | 24 | 255 | 2 | 2018-01-12 15:04:14 | 상세보기 삭제 |

그림 70 메인서버의 관리자 계정으로 확인한 사용자의 User 정보 목록

각각의 유저 정보에 대하여 ‘상세보기’를 클릭하면, 해당 유저정보에 대한 재배장치의 상세 데이터를 확인할 수 있다. 재배장치에서 발생하는 상세 데이터는 식물재배부 온도, 어항 온도, 습도, 용존산소량, pH, 전기전도도의 센서데이터와 순환기, 냉난방기, 냉난방모드의 재배장치 작동상태에 대한 정보가 포함된다.

aqua 상세데이터 list 가 가 가

총 aqua 리스트 : 2

| 번호 | temp_l 온도(°C) | temp_f 온도(°C) | 습도(%) | 용존산소량(ppm) | pH | 전기전도도(uS/cm) | 순환기 | 냉난방기 | 냉난방모드 | date | 관리 |
|----|---------------|---------------|-------|------------|------|--------------|------|------|-------|---------------------|----|
| 43 | 20.46 | 19.58 | 63.55 | 10.09 | 7.24 | 357.55 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 2018-01-12 15:25:55 | 삭제 |
| 42 | 20.46 | 19.58 | 63.55 | 10.09 | 7.24 | 357.55 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 2018-01-12 15:25:46 | 삭제 |

Copyright © 147.46.223.229. All rights reserved. Version 5.2.9.6

그림 71 관리자 계정으로 확인한 각각의 유저 정보에 대한 재배장치의 상세 데이터

사용자가 제품을 구매할 당시에 부여받은 아이디로 회원 가입하여 접속할 경우, 아래와 같이 사용자 정보에 대한 변동에 따라서 데이터가 독립적으로 저장되며, 사용자 계정으로 로그인하여 데이터를 실시간으로 확인할 수 있다. 아래의 그림 72 에서는 부여 받은 사용자 ID : SNU 에 대하여 사용자가 LED강도에 변화를 주었고, 그에 따라 데이터가 독립적으로 저장된다.

총 aqua 리스트 : 3

| 번호 | 사용자 | 양어종류 | 양어개체수 | 식물체종류 | 식물개체수 | LED강도 | 사료공급량 | date | 관리 |
|----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|------------|
| 7 | SNU | 2 | 30 | 2 | 24 | 250 | 2 | 2018-01-12 15:25:46 | 상세보기 삭제 |
| 2 | SNU | 2 | 30 | 2 | 24 | 200 | 2 | 2018-01-12 15:10:13 | 상세보기 삭제 |
| 1 | snu | 2 | 30 | 2 | 24 | 255 | 2 | 2018-01-12 15:04:14 | 상세보기 삭제 |

그림 72 사용자 계정으로 접속하여 확인한 재배장치의 데이터

4-(4) 메인서버에 구축된 데이터의 활용방안

메인서버에 구축된 데이터에는, 사용자가 입력한 양어종류, 양어 개체수, 식물체 종류, 식물개체수, LED강도, 사료공급량 이 저장된다. 또한 다양한 아쿠아포닉 시스템의 결합 조건에 대하여 양어 생육 환경에 대한 모니터링 정보(용존 산소량, pH, 전도도)가 수집된다. 이렇게 수집된 데이터가 충분히 쌓여 빅데이터화 될 경우 경제적 접근과 학문적 접근이 가능하다. 경제적 접근으로는, 사용자가 선택한 양어 종류 및 식물체 종류에 대한 통계를 확인하여 양어 및 종자 시장에 대한 판매 전략을 수립할 수 있는 정보로 활용이 가능하다. 또한 사육하는 양어 개체수와, 식물체 개체수에 대한 정보를 바탕으로 개발된 재배시스템의 규모의 확대버전이 필요할지, 축소버전이 필요할 지에 대한 제품개발 전략으로 활용이 가능하다. 더불어서, 사용자의 양어 종류 및 양어 개체수에 대한 정보를 사용자가 적합한 조건으로 사육하고 있는지에 대한 판단지표로 활용가능하고, 이를 바탕으로 생육 지원 서비스가 가능하다. 학문적 접근으로는, 사용자가 입력한 정보를 바탕으로 구축된 아쿠아포닉 시스템에 대하여 사료 공급량의 변화에 따른 수질환경에 대한 정보가 지속적으로 수집되고 그 정보를 바탕으로, 양어의 개체수와 식물 개체수의 비율을 결정하는 등의 최적 아쿠아포닉 시스템 결정을 하는데에 활용이 가능하다.

5. 1차년도 연구결과를 반영한 최종개발 제품 제작

5-(1) 다양한 작물을 재배할 수 있는 식물 재배부 개발

개발된 아쿠아포닉 채소 재배장치에서 다양한 작물을 기르기 위해서는, 다양한 형태의 식물체 줄기와 뿌리형태에 관계가 없어야한다. 따라서, 다양한 작물에 대해 식물체를 이식하거나 식물체의 씨앗을 파종할 수 있도록 아래의 그림 73과 같이 스펀지 형태로 식물체의 뿌리를 감쌀 수 있도록 하였다. 식물체의 지지체를 스펀지로 하계될 경우 스펀지가 양액을 빨아들여 뿌리에 영양분을 원활하게 공급할 수 있으며, 다공성 물질인 스펀지에 박테리아가 서식할 수 있어 박테리아가 배양될 수 있는 공간을 더욱 넓게 확보 할 수 있다. 스펀지에 이식된 식물체는 재배포트에 옮겨지며, 식물체가 성장함에 따라 뿌리가 재배포트 하단의 구멍에 얽혀 지지될 수 있다. 높은 위치까지 성장하는 식물체의 경우 재배포트에 별도의 완충물질을 채워 지지력을 얻을 수 있다.



그림 73 상추모종이 이식된 식물 재배부

아쿠아포닉 시스템에서는 양어부의 양액농도가 높아지면 양어가 생존하기 어려우므로, 높은 양액농도를 필요치 않는 엽채류를 포함한 열매를 맺지 않는 식물이 생육 가능하다. Naylor(1999)에 따르면, 물고기에서 발생한 배설물의 성분은 가축의 배설물과 그 구성이 유사하다. 또한 Graber(2009)는 아쿠아포닉 시스템, 수경재배, 토양재배에서 작물의 수확량을 비교한 바 있으며, 아쿠아포닉 시스템을 통해 재배된 작물은 그 수확량이 기존의 재배방식과 유사하다고 밝혔다. 아쿠아포닉 시스템의 구성에

있어 물고기에 공급하는 사료의 양은 전체 물고기 중량 대비 2~4%를 지급하고, 사료의 성분은 단백질 성분이 높을수록 식물체가 활용할 수 있는 질소 성분이 많다. 또한 사료의 크기는 물고기의 발육 상태에 따라서 다르게 결정하였다(Endut Azizah et al, 2010). 아쿠아포닉 시스템 구성에 있어 양어 부에는 틸라피아 어종이 가장 쓰이기 좋은데, 이는 틸라피아가 높은 양액농도(EC)에서도 생존이 가능하기 때문이다. 따라서 틸라피아 어종에 대해서 다양한 엽채류(상추, 시금치 등)가 적용이 가능하다. 또한 Endut Azizah(2010)는 틸라피아와 시금치를 재배할 경우 최적 비율은 15~42 gram의 사료를 1m²에 해당하는 상추 재배면적에 가장 적합하다고 밝혔다. 또한 Johanna Suhl(2016)은 틸라피아와 토마토를 결합한 아쿠아포닉 시스템에서의 토마토 생산량과 품질 특성(Dry matter, soluble solids content, sugar-acid ratio, lycopene, beta-carotene)이 수경재배의 품질특성에 매우 근접함을 확인하였다.

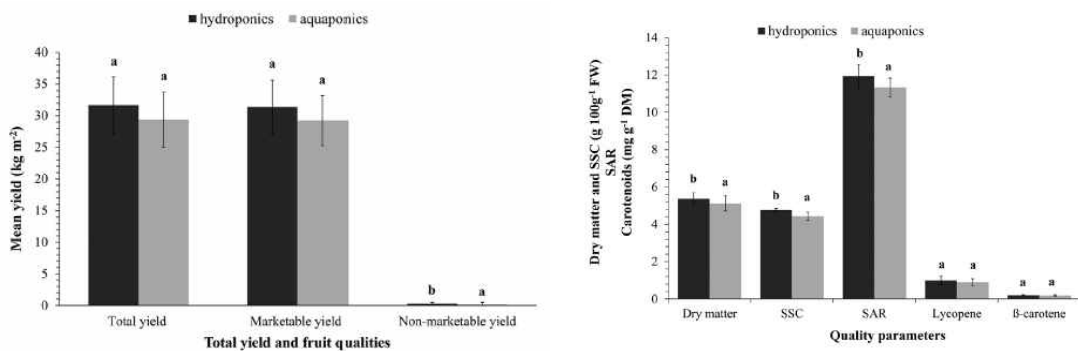


그림 74 아쿠아포닉 시스템(틸라피아, 토마토)과 수경재배에서의 생산량과 품질특성 비교 (Advanced aquaponics Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs. conventional hydroponics, Johanna Suhl et al, 2016, Agricultural Water Management)

5-(2) 자동 광 환경 제어 시스템 개발

아쿠아포닉 시스템에 사용되는 대부분의 엽채류는 광포화점이 10000~12000 Lux 수준으로 유사하다. 상용화된 여러 채소재배장치의 경우 광출력을 2~3단계로 구분하여 4000, 6000, 9000 Lux 정도의 출력을 낼 수 있도록 구성되어있다. 그러나 식물체에 전달되는 광이 집광되지 않아 불필요한 전력을 소모하거나, 광이 고르게 분포되지 않는 문제점이 있었다. 본 연구과제에서 개발된 아쿠아포닉 채소재배장치의 식물재배부에 설치된 LED는 기존의 시스템의 문제점을 해결하기 위하여, LED에 반사판을 설치하여 식물체에 광이 집광될 수 있도록 하였다. 또한 LED array를 여러 라인으로 구성하고 각각의 LED출력을 PWM을 통해 제어하여 여러 LED array에서 광이 겹쳐져 조사될 경우, 해당 LED의 출력을 낮추어 광이 고르게 분포될 수 있도록 하였다. 시제품에는 약 9000 Lux의 광이 균일하게 공급될 수 있도록 설정되었으며, 사용자의 기호에 따라 광 출력이 조절 가능하며, LED의 작동시간이 변경 가능하다. 2012년 국립농업과학원에서 수행된 ‘식물생산 공장의 광원 및 환경제어 시스템 개발’에 관한 연구에 따르면, 식물체의 광이용 효율은 조사시간에 따라 달라 질 수 있음을 명시한 바 있다. 이에, 사용자가 광조사 시간을 변경할 수 있도록 설정하였다. 초기 반사판의 설계에 관한 내용은 ‘2-(3)-3 LED 출력 개선 및 전력효율 증대를 위한 반사판 설계’에서 상세히 기술하였다.

5-(3) 소비자 맞춤형 소모자재 추천 및 구매유도 시스템 개발

개발된 아쿠아포닉 시스템에서 발생할 수 있는 소모자재는 사료, 식물체 종자, 여과 필터 등이 있다. 이러한 소모자재는 아쿠아포닉 시스템을 구성하는 물고기의 개체수와 식물체 개체수, 사용자의 사료 공급량에 따라 달라질 수 있으며, 재배기간에도 의존하게 된다. 따라서, 시스템이 가동되기 전에 사용자에게 입력받게 되는 초기 정보를 바탕으로 사용자에게 특정 시기에 적절한 소모자재의 구매를 유도하는 시스템 메시지를 출력하도록 구성하였다. 시스템 메시지는 사료구매, 필터교체 및 청소, 종자구매 추천 메시지로 구성된다. 필터교체 및 청소 메시지는 2주 간격으로, 사료구매는 30일 간격, 종자구매는 3주 간격으로 시스템 메시지가 출력되며, 시스템 메시지에 표시된 번호를 사용자가 웹페이지 및 제품 구매 시 제공되는 메뉴얼을 확인하여 적합한 소모자재를 구매할 수 있는 정보를 제공하도록 아이디어를 구상하였다.

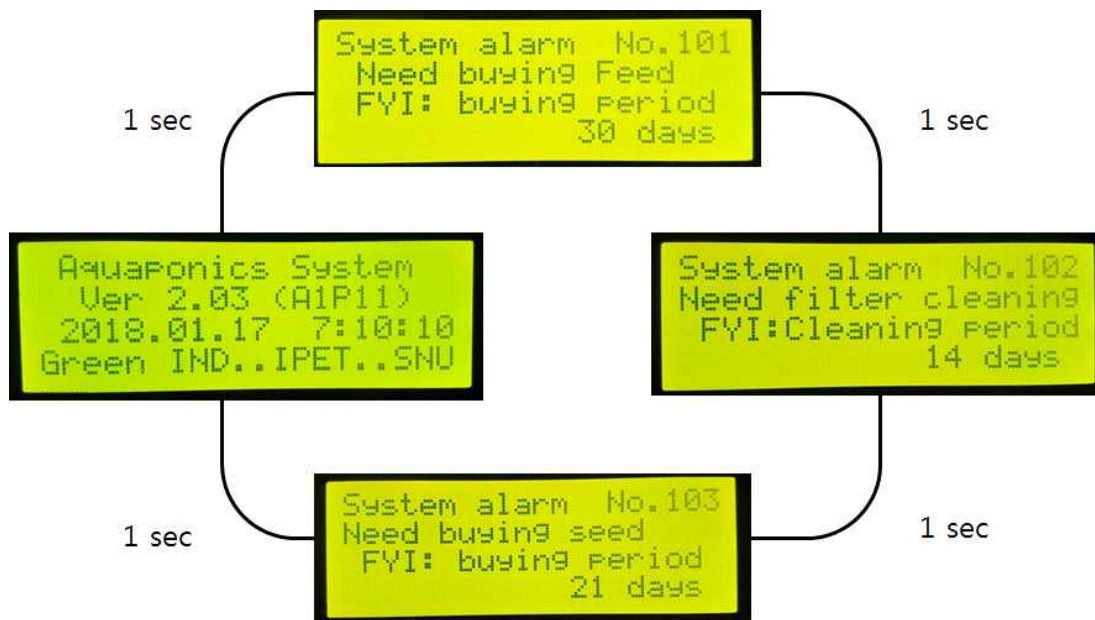


그림 75 소모품 구매 추천 출력 메시지(사료구매, 필터교체 및 청소, 종자구매 추천)

5-(4) 양어생육환경 모니터링시스템 개발

5-(4)-1 양어 생육환경 모니터링을 위한 센서 네트워크 개발

양어 생육 환경을 모니터링 하기 위해 양어부의 온도, 용존산소량, 전도도, pH를 측정할 수 있는 센서 네트워크를 구성하였다. 양어부 생육환경 모니터링을 위한 4개의 센서 들은 물고기가 생육되는 양어부의 어항 속에 설치되어 실시간으로 측정되도록 하였고, 각각의 센서의 데이터는 메인보드인 아두이노로 수집한 뒤, Wi-fi통신을 통하여 메인보드로 전송될 수 있도록 하였다. 모니터링을 위해 구성된 센서는 다음의 표 4와 같다.

표 4 양어 생육 환경 모니터링을 위한 센서

| 센서 종류 | 모델명 및 품명 | 제조사 |
|-----------|----------------------|-----------------------|
| 온도 센서 | DS18B20 | Maximum integrated |
| 용존 산소량 센서 | Dissolved oxygen kit | Atlas Scientific |
| 전도도 센서 | Conductivity probe | Vernier international |
| pH 센서 | pH Sensor | Vernier international |



그림 76 양어부의 생육 환경 모니터링을 위한 센서 네트워크(왼쪽부터 전도도센서, pH센서, 용존산소량 센서)

온도센서는 아래의 그림 77과 같이 풀업저항 20K와 온도센서를 직렬로 연결하고, 온도센서의 나머지 한쪽을 접지시켰다. 이때, 풀업저항과 온도센서의 연결점의 전압을 측정하여 온도로 환산하였다.

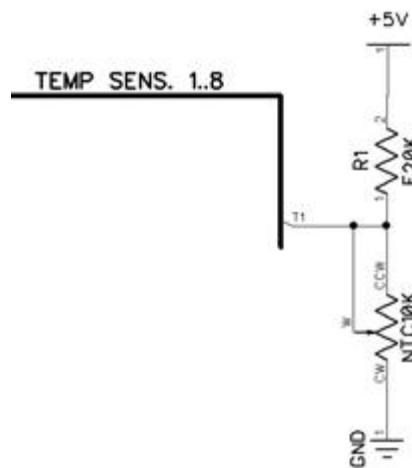


그림 77 온도센서 회로도

용존 산소량 센서는 Atals Scientific 사에서 제공되는 표준 용액(Oppm)을 통하여 보정하였으며, pH

센서는 Sigma-aldrich에서 판매되는 pH 4, 7, 10의 표준용액을 통하여 선형회귀 모델을 만들어 보정하여, 획득된 회귀모델을 아두이노 소스코드 상에 구성하였다. 획득된 pH의 회귀모델은 아래와 같다.

$$\text{pH} = -3.093 \cdot V_{\text{in}} + 13.929$$

V_{in} = analog voltage

전도도 센서의 경우 측정 가능한 농도대역 범위가 0~20000uS/cm로 매우 넓지만, 높은 정확도로 측정하기 위하여 측정 농도의 구간별로 회귀모델을 획득하였다. 전도도의 경우 좁은 두 지점의 구간에 대해서 높은 선형성을 가진다. 회귀모델은 2000uS/cm 표준 전도도 시약을 이용하여 회석하여 얻어진 표준 용액을 통하여 획득하였다. 전도도 센서를 통해 획득된 전압의 범위에 따라, 적절한 회귀모델을 적용하여 더욱 정확한 값이 측정 되도록 구성하였다. 양어부의 전도도 값은 500uS/cm 보다 높아지면 금붕어의 생존에 위협할 수 있기 때문에, 500uS/cm 미만에서는 100uS/cm 단위로 더욱 세밀하게 측정되도록 하였다.

표 5. 측정 농도 범위에 따른 선형 회귀식

| 측정 농도 범위(uS/cm) | 선형 회귀식(x : mV, y : uS/cm) |
|-----------------|---------------------------|
| 100 ~ 200 | $y = 0.9846x - 16.467$ |
| 200 ~ 300 | $y = 0.9368x - 5.9597$ |
| 300 ~ 400 | $y = 0.9792x - 19.805$ |
| 400 ~ 1000 | $y = 0.9426x - 4.0897$ |
| 1000 ~ 1400 | $y = 0.8741x + 68.865$ |
| 1400 ~ 2000 | $y = 1.1174x - 305.35$ |
| 2000 ~ 20000 | $y = 0.9603x - 16.81$ |

```

if (CoefficientVoltage <= 200)ECcurrent = 0.8953 * CoefficientVoltage; //calibration equation under 200us
else if (CoefficientVoltage <= 300)ECcurrent = 0.9368 * CoefficientVoltage - 5.9597; //3ms/cm<EC<=10ms/cm
else if (CoefficientVoltage <= 400)ECcurrent = 0.9792 * CoefficientVoltage - 19.805; //3ms/cm<EC<=10ms/cm
else if (CoefficientVoltage <= 1000)ECcurrent = 0.9426 * CoefficientVoltage - 4.0897; //3ms/cm<EC<=10ms/cm
else if (CoefficientVoltage <= 1400)ECcurrent = 0.8741 * CoefficientVoltage + 68.865; //3ms/cm<EC<=10ms/c
else if (CoefficientVoltage <= 2000)ECcurrent = 1.1174 * CoefficientVoltage - 305.35; //3ms/cm<EC<=10ms/c
else Serial.print("Out of range( over 2000us/cm)");

```

그림 78 전도도의 대역별로 다른 회귀모델이 적용된 소스 코드

5-(4)-2 질산염 측정을 위한 ISE 전극 제작 및 적용 가능성 고찰

양어생육환경을 모니터링 하기 위해서, 개발된 장치에는 전도도, pH, 용존산소량, 온도를 측정할 수 있는 센서 네트워크가 적용되었다. 식물체가 필요로하는 영양분인 질산염은 주로 전도도를 이용하여 어느 정도 추정할 수 있지만, 전도도가 질산염 측정을 대표하지는 못한다. 아쿠아포닉 시스템에서 발생하는 양액성분 중 질산염에 관한 데이터가 메인서버에 축적된다면, 어류의 개체수 및 어종, 어항의

온도에 따른 박테리아의 활성정도를 추정할 수 있기 때문에 질산염을 측정할 수 있는 이온선택성 전극을 개발하고 적용 가능성을 고찰해 보았다.

이온선택성 전극은 참여 연구원으로 함께 연구한 서울대학교 김학진 교수의 연구팀에서 개발한 방법을 통해 아래의 그림 77 과 같이 제작되었다. 이온선택성 전극의 몸체는 PVC로 이루어져 있으며, 내부에는 염화은이 도포된 은 전극이 포함되어 있다. 이온선택성 전극의 제작에 사용된 Ionophore, plasticizer, matrix, inner solution의 조성은 다음과 같다.

표 19 이온선택성 전극 제작에 사용된 조성

| Component | instruments |
|----------------|--|
| Ionophore | tetradodecylammonium nitrate |
| Plasticizer | 2-nitrophenyl octylether |
| Matrix | high-molecular-weight polyvinyl chloride |
| Inner solution | 0.01 M NaNO ₃ + 0.01 M NaCl |



그림 79 질산염 측정을 위해 제작된 이온선택성 전극 몸체

제작된 이온선택성 전극은 두 개의 질산염 표준용액(10, 30ppm)을 이용하여 선형회귀모델을 만들어 보정하였다. 아날로그형 센서이며 측정시 발생하는 잡음을 제거하기 위하여 아래의 그림 81과 같은 2nd order low pass filter를 설계하여 회로상에 적용하였다. 신호는 아두이노 보드를 통하여 아날로그 값으로 수집되었고 두 번째 단계에서 보정된 결과를 바탕으로 ppm으로 획득하였다. 획득된 결과는 Ion chromatography를 통해 측정된 결과와 비교하였다. Ion chromatography를 이용해 측정한 질산염 농도는 그림 82와 같다.

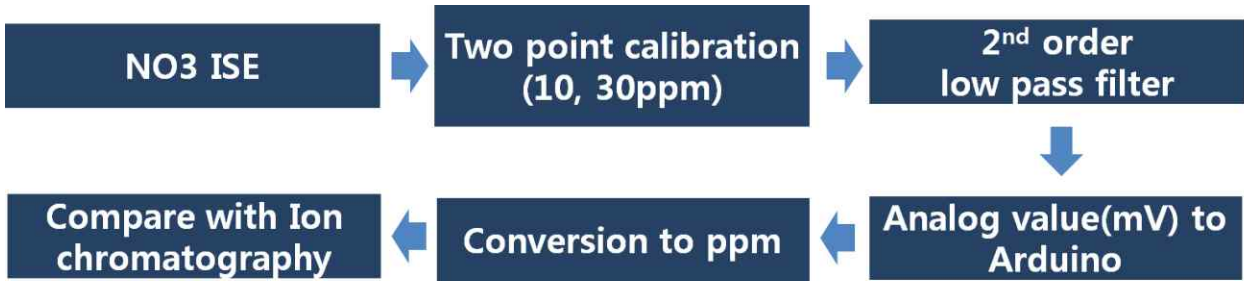


그림 80 이온선택성전극(ISE)의 보정 및 신호수집 방법

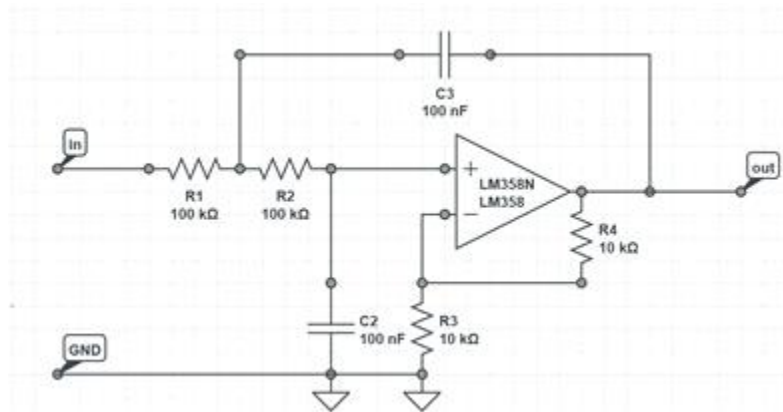


그림 81 ISE 신호수집에 사용된 2차 로우패스 필터

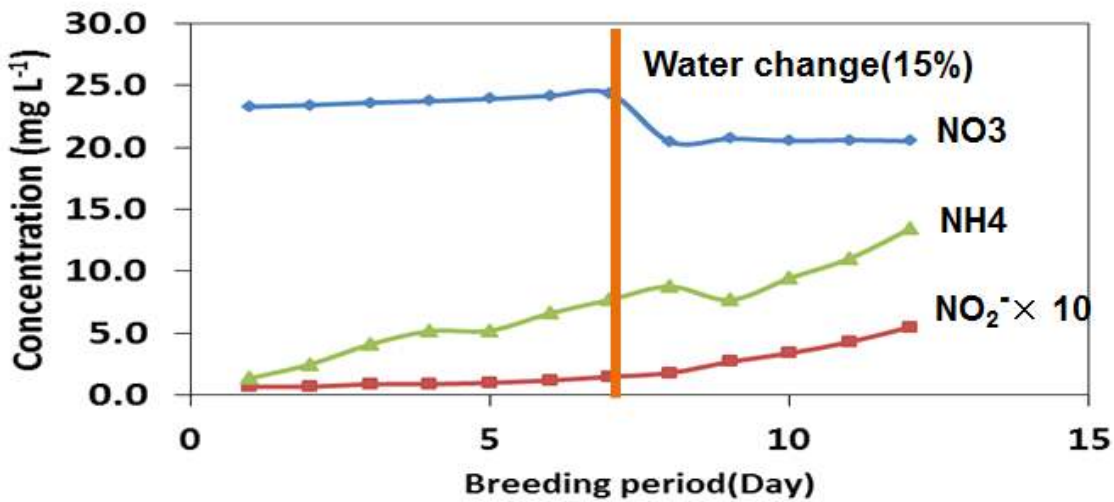


그림 82 Ion chromatography를 통해서 측정된 결과

제작된 질산염 측정 시스템을 이용하여 양어부에서 획득한 샘플의 양액농도를 측정하여 그림 81과 같은 결과를 얻었다. 그림 82의 Ion chromatography를 통해 얻어진 질산염의 농도와는 그 차이가 크고 경향성도 유사하지 않았다. 이는 샘플에 존재하는 박테리아를 포함한 각종 부유물이 전극의 membrane 표면에서 간섭을 일으킨 것으로 판단하였다. 이를 해결하기 위하여, 0.2um 간격의 필터 (satorius)를 통해 부유물을 걸러낸 뒤 제작된 ISE를 통해 질산염 농도를 다시 측정해 보았다. 측정 결과, 그림 84와 같이 Ion chromatography를 통해 얻어진 질산염 농도와 비슷한 수치대역에서 유사

한 경향성을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

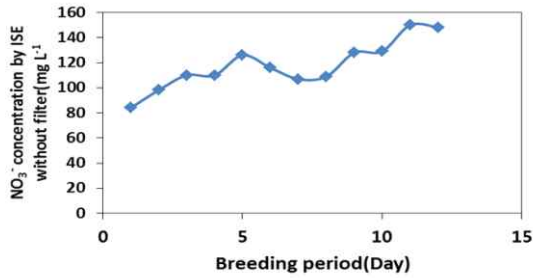


그림 83 필터링을 거치지 않고 ISE를 통해 측정된 결과

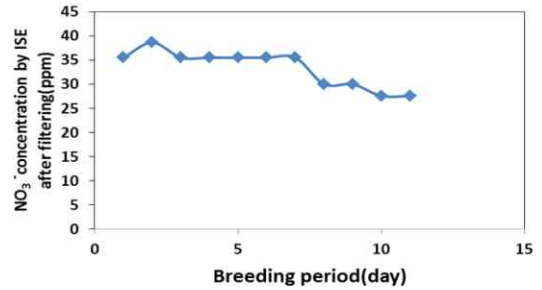


그림 84 필터링을 거친 뒤, ISE를 통해 측정된 결과

이를 통해, 아쿠아포닉 시스템에서 발생하는 질산염의 농도를 측정하기 위해서 제작된 이온선택성 전극이 적용 가능하지만 부유물을 걸러 낼 수 있는 여과 시스템이 별도로 필요한 것으로 판단된다. 여과장치는 높은 압력이 가해져야 하므로 가정용 시스템에는 현재 적합하지 않지만, 향후 더욱 연구되어야 할 부분이라고 생각된다.

5-(5) 최종 제품 제작

5-(5)-1 채소 섭취량을 고려한 1단/2단 재배장치 제작

가정마다 세대원의 구성인수가 다르고 채소 섭취량도 다양하여 재배장치의 채소 재배량을 달리할 필요성이 있다. 가정용으로 외형을 고려하여 1단 재배장치와 2단 재배장치로 구분하여 2가지의 시제품을 제작 하였으며, 1단은 15포트, 2단은 30포트의 채소 재배가 가능하다.

소비자 취향에 따른 보급 모델로 수경재배만을 원하는 고객층과 양어를 선호하는 아쿠아포닉 재배 고객층을 구분하여 모델을 선택할 수 있도록 제시하고 양어부는 전문 제작업체와 연계하여 가정 내 인테리어와 연계하여 판매를 진행하고 모델별 제어용 회로를 구분하여 프로그램 설정 및 서비스 제공 구분.

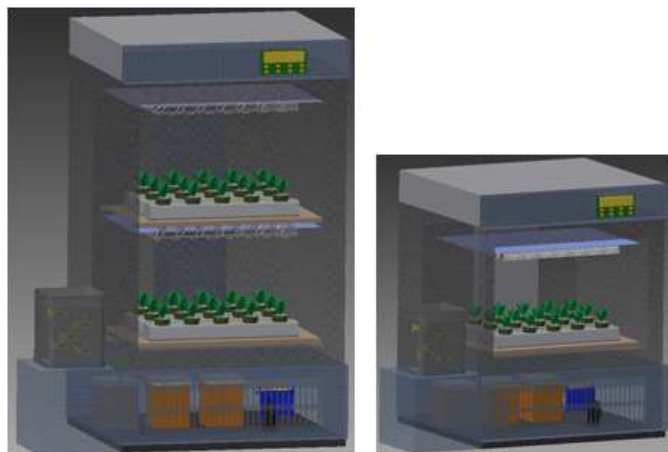


그림 85 제품 디자인



그림 86 1단 재배장치 외형 및 내부



그림 87 2단 재배장치 외형 및 내부

5-(5)-2 기능별 핵심 기술 및 개발 내용

1)LED 모듈

식물재배에 있어 일정한 광원을 제공하고 광 출력 효율 개선을 위해 반사판을 적용하였으며 식물 성장 주기에 따라 자동으로 제어되는 시스템으로 구성

2)재배 포트

재배포트는 새싹의 이식, 씨앗 발아의 용이성을 위해 스펀지 형태로 구성이 되어 채소가 자라면서 뿌리가 자연스럽게 자라고 영양분을 손쉽게 흡수할 수 있도록 구성 하였다.

3)온도제어 시스템

설정된 온도를 유지하고 에너지 소모를 줄이기 위해 Inverter System이 적용되었으며 설정온도에 근접하게 되면 Compressor의 회전속도가 감소하게 되고 설정 온도 값에 빨리 도달하기 위해서는 Compressor의 회전수가 빨라지게 되는 방식으로 에너지 효율을 높일 수 있다. 또한 전자식 팽창밸브를 적용하여 냉매량을 온도 변화에 따라 실시간 제어가 가능하기 때문에 일정한 온도를 지속적으로

유지할 수 있다. 일정한 온도를 유지하기 위한 제어 방식으로 PID 제어를 채택하였으며, PID 제어는 자동제어방식 가운데서 가장 흔히 이용되는 제어 방식으로 P(Proportional : 비례), I(Integral : 적분), D(Differential : 미분)의 3가지 조합으로 제어하는 것으로 유연한 제어가 가능하다.

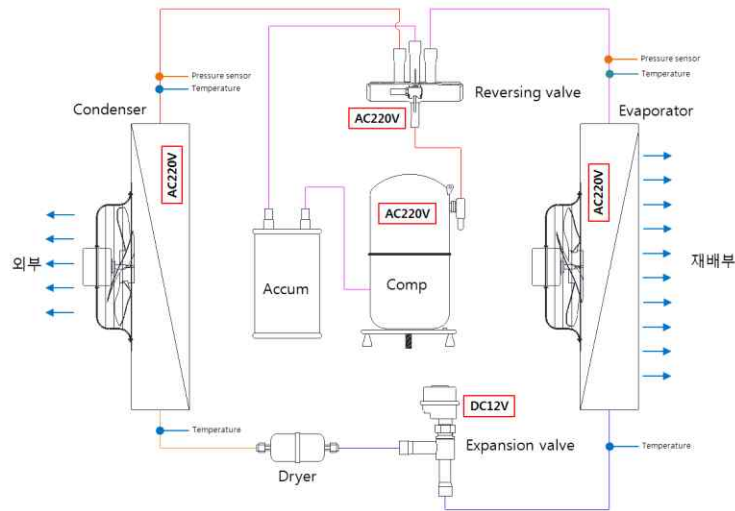


그림 88 온도제어 시스템 개념도

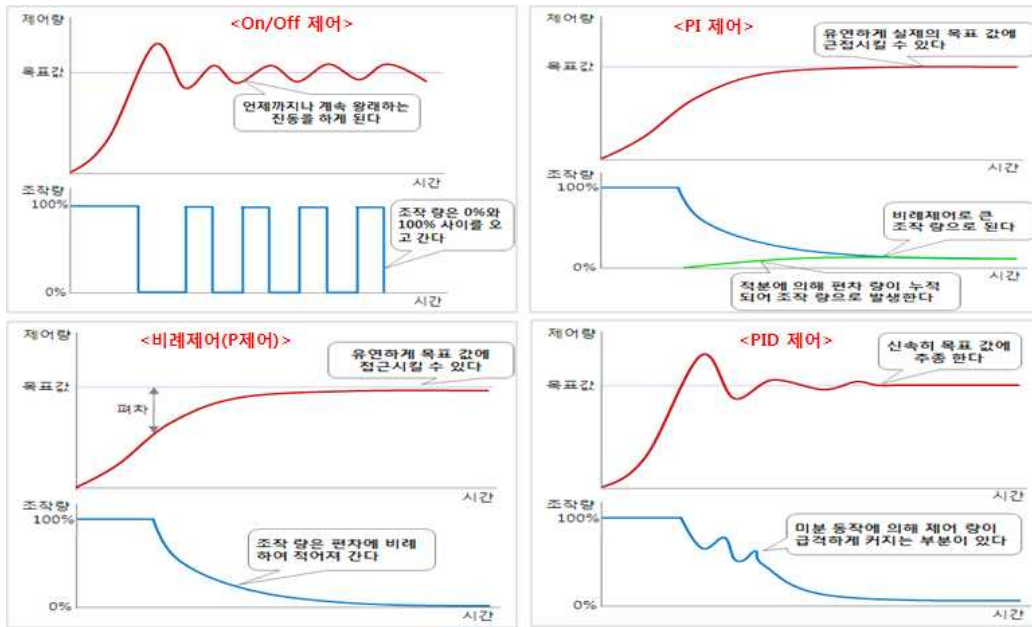


그림 89 제어방식 비교

4)순환시스템

설정된 순환주기에 맞춰 영양분을 식물재배부로 순환시키는 Pump로 구성이 되었으며, 식물 성장에 따른 순환주기를 설정을 통해 제어가 가능하다. 순환은 기본적으로 양어조, 양액탱크, 재배포트, 순환조, 양어조 순으로 순환되며 6시간을 기본으로 순환이 이루어지며, 양어조의 EC 농도변화, 사용자의 설정주기 변경 등에 의해 순환이 이루어지는 알고리즘으로 구성이 된다.

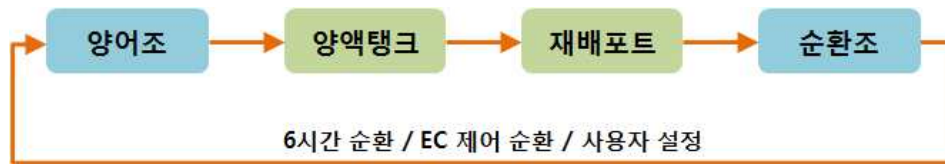


그림 90 순환펌프 순서도 및 순환 주기



그림 91 재배장치 주요 구성 품

5-(5)-3 최종 시제품의 개발사양 및 주요 성능 지표

최종 개발된 가정용 채소재배가 가능한 아쿠아포닉 재배장치의 개발사양 및 주요 성능 지표는 다음과 같으며, 항목별 평가를 진행 하였다.

1) 개발사양 및 주요 성능 지표

- 온도제어 : 채소 재배부 온도 및 수조 온도 제어 10~30℃(온도정밀도 ±1℃)
- 습도제어 : 채소 재배부 습도제어 20~90%(온도제어 연계 제어)
- LED 광원 : 다양한 채소 재배를 위한 제어 범위 확장 0~20,000Lux
- 양액 순환 : 채소 성장 시기에 적합한 양액 순환량 조절(Inverter Motor 적용)
- 재배장치 소음 : 가정용으로 적용 가능한 50dB 이하의 소음
- 스마트기기 제어 : 스마트폰 Application 운용을 통한 실시간 모니터링 및 제어 가능
- 모니터링 : 영상처리 분석 및 센서 네트워크를 통한 채소 성장 상태 확인 가능

2) 성능 평가

최종 제작된 제품의 성능을 평가하기 위해 목표로 하였던 항목별 성능 평가를 공인인정기관을 통해 진행하였으며, 항목별 목표가 달성되었음을 확인 하였다.

특히 가정에서 사용하는 재배장치로 소음에 민감하기 때문에 재배장치의 전체 시스템을 가동하여 소음을 측정하였을 때와 평상시 운전할 때의 소음을 비교해 보면 평상 운전 시에는 38.2dB 정도이며 시스템 전체 운전 시에는 48dB 정도로 조금 높긴 하지만 목표로 한 50dB 이하임을 확인하였으며, 가정용 재배장치로 문제가 없음을 확인할 수 있었다.

6-(5)-4 최종 시제품의 전력 사용량 정보

가정용으로 사용되는 재배장치인 만큼 월 사용되는 전력 사용량에 대한 고려를 하지 않을 수 없으며, 개발초기 모델로 하였던 냉장고의 전력 사용량(평균 소비전력 100W)을 고려하여 제작 하였다. 재배

장치 전체 시스템을 가동하였을 때의 소비전력은 132W를 나타내었으며, 재배장치의 사용 기준으로 주간 및 야간 가동을 고려하여 전력량을 분석 하였으며, 주간 가동 기준 66W(LED조도 10,000Lux 기준), 야간 가동 기준 14W(LED Off, 히트펌프 가동)의 소비전력을 나타냈다. 재배장치 가동으로 인해 발생하는 실내 열손실량은 야간 가동 기준의 냉동기 전력 사용량이 영향을 미칠 수 있으며, 추가적인 전력의 소모를 발생시킬 수 있다. 열손실량을 감안한 소비전력을 기준으로 전력 사용량과 전기요금을 계산해 보면 다음과 같다.

표 21 재배장치 전력 사용량 및 요금

| 구분 | 소비전력 | 전력사용량 | | | 전기요금/월 (한전요금계산기) |
|------|------|-------|---------|-----------|---------------------|
| | | 일 | 월 | Total | |
| 주간가동 | 66W | 792Wh | 23760Wh | 33840Wh/월 | 1,130원 |
| 야간가동 | 14W | 168Wh | 5040Wh | | |
| 열손실량 | 14W | 168Wh | 5040Wh | | |



그림 92 재배장치 주간 및 야간 가동 소비전력 측정

4인 가정 한달 평균 전력 사용량 300kWh를 가정하면 전기요금은 44,390원이 발생되고 재배장치 가동으로 발생하는 전력 사용량을 추가하면 51,660원의 전기 요금이 발생된다. 재배장치 단독 사용 시에는 1,130원의 요금이 계산되지만 재배장치가 가정에 추가된다면 6,730원의 요금 인상을 예상할 수 있다.



시험 성적서

시험명 : 아쿠아포닉스 자동 채소재배장치 성능시험

시험품 : 아쿠아포닉스 자동 채소재배장치

- 그린산업(주) -

- 주의: 1. 이 성적서는 해당 시험품 및 해당 시험방법에만 유효함.
2. 성적서는 각 장마다 워터마크 방지된 원본만을 보증함,
3. 이 성적서는 지정된 용도 외의 사용을 금하며, 성적서 일부 또는 요약내용을
법률 행위나 광고용으로 사용할 수 없음.

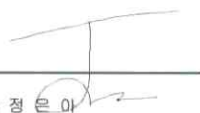



34103 대전시 유성구 가정북로 156
TEL : 82-42-868-7155 FAX : 82-42-868-7335



시험성적서

| | |
|---|-----------------------|
|  | 페이지(2) / 총페이지(17) |
|---|-----------------------|

| | | | |
|----|--|---|------------------|
| 1 | 시험명 | 아쿠아포닉스 자동 채소재배장치 성능시험 | |
| 2 | 의뢰자명 및 주소 | 그린산업(주) [51343] 경남 창원시 마산회원구 자유무역 4길 49 | |
| 3 | 제조자명 및 주소 | 그린산업(주) [51343] 경남 창원시 마산회원구 자유무역 4길 49 | |
| 4 | 시험품 | 1) 품명/모델명 | 아쿠아포닉스 자동 채소재배장치 |
| | | 2) 사양 | 시험항목 및 시험 방법 참조 |
| 5 | 시험방법 | KS 규격 근거 및 시험 의뢰 업체와 협의 후 진행 | |
| 6 | 시험일자 | 2017. 12. 27. | |
| 7 | 시험환경 | 별첨 (시험 결과 보고서) | |
| 8 | 시험결과 | 별첨 (시험 결과 보고서) | |
| 9 | 성적서 번호 | KIMM-17-1217 | |
| 10 | 성적서 용도 | 성능 평가 | |
| 11 | 기타사항 | | |
| 12 | 시험 및 보고 : | 검토 및 승인 : | |
| |  시험실무자 : 정 은 아 |  기술책임자 : 윤 소 남 | |

2018 . 01 . 04 .

한 국 기 계 연 구 원



별첨:

시험 결과 보고서

목 차

1. 시험결과 요약 4

2. 시험목적 5

3. 시험품 사양 및 시험방법 5

 3.1 시험품 사양 5

 3.2 시험장비 구성 5

 3.3 시험방법 및 시험환경 5

 3.3.1 온도제어 시험 5

 3.3.2 습도제어 시험 6

 3.3.3 조도제어 시험 6

 3.3.4 소음 시험 7

4. 결 과 7

 4.1 온도제어 시험 7

 4.2 습도제어 시험 9

 4.3 조도제어 시험 10

 4.4 소음 시험 16

5. 시험 결과 요약 17



1. 시험결과 요약

본 시험은 그린산업(주)로부터 의뢰 받은 “간편한 채소 재배가 가능한 가정용 아쿠아포닉스 자동 채소재배장치” 제작품 시험에 관한 것으로, “온도제어 시험”, “습도제어 시험”, “조도제어 시험” 그리고 “소음시험”의 4개 항목에 대해서 시험이 이루어졌다.

시험 결과를 요약하면 아래의 표와 같다.

| 번호 | 시험 항목 | 단위 | 개발 목표치 | 시제 | 시험 결과 |
|----|---------|-----|------------|------------------|---|
| 1 | 온도제어 시험 | ℃ | 10 ~ 30 | 아쿠아포닉스 자동 채소재배장치 | 만족 |
| 2 | 습도제어 시험 | % | 20 ~ 90 | 아쿠아포닉스 자동 채소재배장치 | 만족 |
| 3 | 조도제어 시험 | Lux | 0 ~ 20,000 | 아쿠아포닉스 자동 채소재배장치 | 만족 (1열: 0 ~ 21,600 3열: 0 ~ 29,400) |
| 4 | 소음 시험 | dB | 50이하 | 아쿠아포닉스 자동 채소재배장치 | 만족 (1회: 38.4 2회: 38.0 평균값: 38.2) |



2. 시험목적

시험 의뢰 기업에서 개발 중인 아쿠아포닉스 자동 채소재배장치의 성능을 검증하는 것으로(시험명: 아쿠아포닉스 자동 채소재배장치 성능시험), "온도제어 시험", "습도제어 시험", "조도제어 시험" 그리고 "소음 시험"에 대해 측정하고, 데이터를 분석하여 성능의 정량적인 데이터를 제시함.

3. 시험품 사양 및 시험방법

3.1 시험품 사양

- ❖ 아쿠아포닉스 자동 채소재배장치
 - 온도제어 범위: 10 ~ 30[℃](제어범위 ±1[℃])
 - 습도제어 범위: 20 ~ 90[%]
 - 조도제어 범위: 0 ~ 20,000[Lux]
 - 재배기 소음: 50[dB]

3.2 시험장비 구성

그림 1은 시험 의뢰 기업에서 개발 중인 아쿠아포닉스 자동 채소재배장치를 나타내고 있으며, 그림 2는 제작품의 성능을 측정하기 위한 제어 프로그램 및 데이터 수집 장치를 나타내고 있다.



그림 1 아쿠아포닉스 자동 채소재배장치

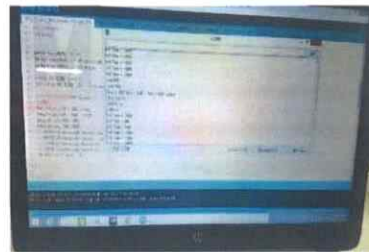


그림 2 측정 및 제어 프로그램

3.3 시험방법 및 시험환경

3.3.1 온도제어 시험

온도제어 시험을 수행하기 위해 그림 3과 같이 자동 채소재배장치에 온도 센서를 부착하였다. 제어 프로그램을 이용하여 각 온도조건(10[℃], 15[℃], 20[℃], 25[℃], 30[℃])을 입력하고, 6분 동안 온도가 유지되는 것을 확인하였다. 또한 본 제작품은 온도조절과 습도조절이 동시에 동작하기 때문에 시험의 신뢰성 확보를 위해 온도변화에 따른 습도변화를 동시에 측정하여 수치를 나타내었다.





그림 3 온도제어 시험

3.3.2 습도제어 시험

습도제어 시험을 수행하기 위해 그림 4와 같이 습도센서를 아쿠아포닉스 자동 채소재배장치에 부착하였다. 제어 프로그램을 이용하여 습도조건을 부여하고, 습도조절 여부를 확인하였다. 습도는 채소재배장치 제어범위 내에서 각 수치별로 측정하였다.



그림 4 습도제어 시험

3.3.3 조도제어 시험

조도제어 시험을 수행하기 위해 그림 5와 같이 조도측정 장치를 설치하였으며, LED 램프와의 거리는 350[mm]를 유지하였다. LED 램프와 식물간의 거리는 본 제작품에 한하여 식물성장에 최적화한 조건으로 특별한 규격을 따르지 않았다. 조도제어 시험은 중간에 설치된 LED 램프 1열과 전체 3열에 대한 시험을 각각 수행하였으며, 0 ~ 20까지의 조광(Dimming) 입력값에서는 조도가 0으로 측정이 되지 않기 때문에 30의 Dimming 입력값부터 조도를 측정하였다. LED 램프의 제어는 PWM(Pulse Width Modulation: 펄스변조방식)을 이용한 정전류 구동방식이며, 신호 제어를 통해서 1열(Blue)와 3열(Blue, Red, Green)의 Dimming 0~255 입력값에 따라 조도를 측정하여 0 ~ 20,000[Lux]까지 원활하게 제어하는지에 대해 평가하였다.





그림 5 조도제어 시험 장치

3.3.4 소음 시험

소음시험을 수행하기 위해 항온항습기의 설비 규격인 KS C 9306을 참조하였으며, 그림 6과 같이 시험대상품으로부터 거리와 높이가 1[m]가 되는 지점에서 소음측정 장비를 이용하여 소음을 측정하였다. 소음은 2회 측정하여 평균값을 사용하였다.



그림 6 소음 측정 시험

4. 결 과

4.1 온도제어 시험

온도제어 시험결과는 그림 7에 나타내었으며, 10 ~ 30[℃]의 온도범위 안에서 각 온도별로 제어를 원활히 하고 있으며, 성능개발목표를 만족하는 것으로 확인되었다.





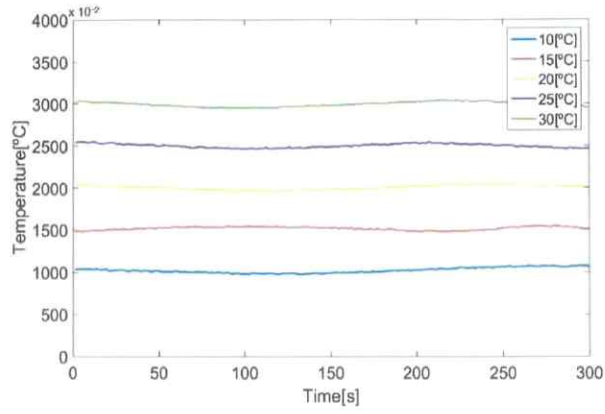


그림 7 온도제어 시험결과

4.2 습도제어 시험

습도제어 시험결과는 그림 8에 나타내었으며, 시험결과 20 ~ 90[%]의 습도범위에서 원활히 제어되었으며, 성능개발목표를 만족하는 것으로 확인되었다.





그림 8 습도제어 시험결과

4.3 조도제어 시험

조도제어 시험결과는 표 1에서 표 5까지 나타내었으며, 각 입력값에 따른 조도측정 결과를 나타내었으며, 측정된 조도제어 범위는 1열에서 0 ~ 21,600[Lux], 전체 3열에서 0 ~ 29,400[Lux]으로 성능개발목표에 만족하는 것으로 확인되었다.



표 1 조도제어 시험결과_1

| 1열 [Blue] | | 3열 [Blue, Red, Green] | |
|-------------|----------|-----------------------|----------|
| Dimming 입력값 | 조도 [Lux] | Dimming 입력값 | 조도 [Lux] |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 10 | 0 |
| 20 | 0 | 20 | 0 |
| 30 | 1,200 | 30 | 1,600 |
| 40 | 2,000 | 40 | 2,700 |
| 50 | 2,800 | 50 | 3,900 |
| 60 | 3,600 | 60 | 5,000 |
| 70 | 4,500 | 70 | 6,200 |
| 80 | 5,300 | 80 | 7,300 |
| 90 | 6,200 | 90 | 8,400 |
| 100 | 7,000 | 100 | 9,600 |
| 110 | 7,900 | 110 | 10,800 |
| 120 | 8,800 | 120 | 12,000 |
| 130 | 9,700 | 130 | 13,300 |
| 140 | 10,600 | 140 | 14,500 |
| 150 | 11,500 | 150 | 15,700 |
| 160 | 12,400 | 160 | 16,900 |
| 170 | 13,300 | 170 | 18,200 |
| 180 | 14,200 | 180 | 19,400 |
| 190 | 15,100 | 190 | 20,700 |
| 200 | 16,100 | 200 | 21,900 |
| 210 | 17,000 | 210 | 23,200 |
| 220 | 17,900 | 220 | 24,400 |
| 230 | 18,900 | 230 | 25,700 |
| 240 | 19,800 | 240 | 26,900 |
| 250 | 20,700 | 250 | 28,100 |
| 255 | 21,600 | 255 | 29,400 |



표 2 조도제어 시험결과_2

| 1열 [Blue] | | 3열 [Blue, Red, Green] | |
|-------------|----------|-----------------------|----------|
| Dimming 입력값 | 조도 [Lux] | Dimming 입력값 | 조도 [Lux] |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |



표 3 조도제어 시험결과_3

| 1열[Blue] | | 3열[Blue, Red, Green] | |
|---|---|---|---|
| Dimming 입력값 | 조도[Lux] | Dimming 입력값 | 조도[Lux] |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |



표 4 조도제어 시험결과_4

| 1열 [Blue] | | 3열 [Blue, Red, Green] | |
|---|---|---|---|
| Dimming 입력값 | 조도 [Lux] | Dimming 입력값 | 조도 [Lux] |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |



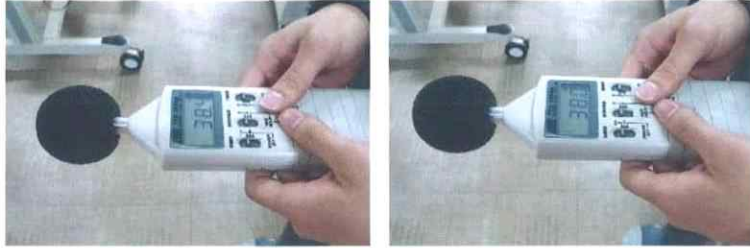
표 5 조도제어 시험결과_5

| 1열 [Blue] | | 3열 [Blue, Red, Green] | |
|---|---|---|---|
| Dimming 입력값 | 조도[Lux] | Dimming 입력값 | 조도[Lux] |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |



4.4 소음 시험

소음 측정 결과는 그림 9에 나타내었으며, 측정값은 38.4[dB]과 38.0[dB]이며, 평균값은 38.2[dB]로 성능개발목표를 만족하는 것으로 확인되었다.



a) 1회 측정

b) 2회 측정

그림 9 소음측정 결과



5. 시험결과 요약

본 시험은 그린산업(주)로부터 의뢰 받은 “간편한 채소 재배가 가능한 가정용 아쿠아포닉스 자동 채소재배장치” 제작품 시험에 관한 것으로, “온도제어 시험”, “습도제어 시험”, “조도제어 시험” 그리고 “소음시험”의 4개 항목에 대해서 시험이 이루어졌다.

시험 결과를 요약하면 아래의 표와 같다.

| 번호 | 시험 항목 | 단위 | 개발 목표치 | 시제 | 시험 결과 |
|----|---------|-----|------------|------------------|---|
| 1 | 온도제어 시험 | ℃ | 10 ~ 30 | 아쿠아포닉스 자동 채소재배장치 | 만족 |
| 2 | 습도제어 시험 | % | 20 ~ 90 | 아쿠아포닉스 자동 채소재배장치 | 만족 |
| 3 | 조도제어 시험 | Lux | 0 ~ 20,000 | 아쿠아포닉스 자동 채소재배장치 | 만족 (1열: 0 ~ 21,600 3열: 0 ~ 29,400) |
| 4 | 소음 시험 | dB | 50이하 | 아쿠아포닉스 자동 채소재배장치 | 만족 (1회: 38.4 2회: 38.0 평균값: 38.2) |





시험성적서

작성

검토

승인

문서번호

GRQ-P-010

시험명

소음 시험

개정일자

2018.03.14

개정번호

0



테스트 목적

아쿠아포닉스 재배장치의 소음을 측정하기 위함

테스트 장비

소음측정기

절 차

1. 재배장치의 순환Pump, 냉동기, Fan, LED 모두 동작 상태로 Setting 할 것.
2. 재배장치와 거리 1m / 높이 1m에서 소음을 측정 할 것.

시험방법 및 판정기준

■ 시험 규격

- 항온항습기의 설비 규격인 KS C 9306을 참조하며, 대상으로부터 거리/높이 각각 1m 지점에서 2회 측정하여 평균값을 사용

■ 판정 기준

- 측정 소음이 50dB 이하 일 것

| 개정 번호 | 개정일자 | 개정내역 | 개정 번호 | 개정일자 | 개정내역 |
|----------|------------|------|----------|------|------|
| 0 | 2018.03.14 | 신규제정 | | | |

P-03-004 REV-0 (2003)

그린산업㈜

A4(210×297mm)]

문서번호

GRQ-P-010

시험명

소음 시험

시험 결과

<결과>

그림 1.



a) 1회 측정



b) 2회 측정

표 1.소음측정 결과

| | |
|-------|----------|
| 1회 | 48.8 dB |
| 2회 | 48.9 dB |
| 평균값 | 48.85 dB |
| 판정 결과 | 기준에 만족함 |

6. 연구개발성과

6-(1) 특허 성과

6-(1)-1 특허 출원-1

- 1)출원년도 : 2016년
- 2)특허명 : 양어 연계형 채소재배 시스템 및 그의 운용방법
- 3)출원인 : 그린산업주식회사
- 4)출원국 : 대한민국
- 5)출원번호 : 10-2016-0173434

6-(1)-2 특허 출원-2

- 1)출원년도 : 2017년
- 2)특허명 : 채소재배 시스템용 조명장치 및 이를 포함하는 채소재배 시스템
- 3)출원인 : 그린산업주식회사
- 4)출원국 : 대한민국
- 5)출원번호 : 10-2016-0160404

6-(1)-3 특허 등록

- 1)등록연도 : 2017년
- 2)특허명 : 양어 연계형 채소재배 시스템 및 그의 운용방법
- 3)등록인 : 그린산업주식회사
- 4)등록번호 : 10-1816598

6-(2) 기타 성과

6-(2)-1 학술대회 발표-1

- 1)발표 일시 : 2017년 10월
- 2)발표 주제 : Indoor aquaponic system design and analysis of its nitrogen cycle using ion selective electrode(ISE)
- 3)발표자 : 손대식
- 4)학회명 : 아시아-오세아니아 정밀농업학회(ACPA,국제학회)
- 5)발표유형 : 포스터 발표

6-(2)-2 학술대회 발표-2

- 1)발표 일시 : 2017년 10월
- 2)발표 주제 : 자동화된 아쿠아포닉 시스템 설계와 온도 및 유량제어 평가
- 3)발표자 : 손대식
- 4)학회명 : 한국농업기계학회(국내학회)
- 5)발표유형 : 포스터발표

7. 연구결과

7-(1) 기술적 성과

- 1)일반적인 채소 재배 장치는 재배 환경에 많은 영향을 받는 제품들로 계절적 영향을 받을 수 있다. 본 개발사업을 통해 개발된 제품 및 시스템은 재배환경 과 계절적 영향을 받지 않는 온도 및 습도 제어 시스템으로 온도제어는 Inverter 시스템을 적용하였으며, LED 광원은 반사판틀 적용하여 에너지 효율을 높일 수

있어 가정용 채소 재배 시장에 크게 기여할 수 있고, 기술과급을 통해 시장 확대에도 기여할 수 있을 것으로 기대함.

2)기술개발을 통한 지적재산권 확보로 대기업에 의존한 시스템을 개선할 수 있으며, 자체 기술력 확보로 기존 제품과 차별화 할 수 있음

3)제어기술, 모니터링 기술을 재배시설 등 다양한 공조 제어 분야로 확대 적용 가능함.

4)국내외 경쟁기업인 에어로그로우스, 나레스트, Superponics, 지평그린아이티, 가든글로리, 하이드로가든 등의 제품들은 모두 오픈 환경 시스템으로 온도 및 습도 제어에서 환경의 제약을 많이 받는 제품들로 본 사업으로 개발된 제품은 이들과의 차별성을 확보하였다고 볼 수 있음.

5)최근 개발 출시된 웰스팜의 경우 열전소자를 적용하여 온도를 제어하는 시스템이나 LED 광원으로 발생되는 열을 제어할 용량이 부족하여 지속적으로 온도가 상승되는 것을 확인할 수 있었다. 채소 재배는 씨앗 이식 재배가 불가능하고 일정한 크기로 성숙된 보종을 이식하는 방식으로 고객 편의 재배가 어려우며 광원 제어 모드도 2가지 형태로 다양하게 제어하는 것은 한계가 있음을 확인할 수 있었다.

6)본 개발사업을 통해 개발된 제품은 수입에 의존하지 않은 100% 국산화로 개발이 되었으며, 선진국 기술 수준에 도달하였다고 판단함.

7-(2)경제적성과

1)본 개발사업을 통해 과제 종료시점까지 제품 매출은 발생되지 않았지만 관련 분야 고용이 창출되었으며, 개발 완료 후 사업화를 통해 매출액 증대가 기대되며, 시장점유율 확대도 가능할 것으로 기대 함.

2)특히 일본의 경우 채소재배 장치에 대해 많은 관심을 가지고 있어 수출 판로 개척이 가능할 것으로 기대되며, 비즈니스 모델 개발을 통한 버섯재배, 새싹인삼재배 등 다양한 재배 장치로 활용 가능 함.

7-(3)산업적 측면의 과급

1)가정 내 친환경 농업 환경을 제공할 수 있으며, 건강한 먹거리와 소규모 농사를 원하는 도시민에게 편의를 제공할 수 있다. 직접 재배를 통한 경제성 측면에서 가계 부담을 줄일 수 있음.

2)채소 재배의 편의성을 제공할 수 있어 가정용 채소 재배기 시장의 활성화에 기여하고, 농업생산 전반 활성화에 기여할 수 있을 것으로 기대 함.

3)현대인의 취미활동 및 여가활동으로 활용하여 직장에서 받는 스트레스 해소에도 많은 도움이 되고 건전한 생활에 활력이 될 수 있음.

4)채소 재배를 통한 유아 및 아동에게 정서적인 측면의 향상과 농업을 접할 수 있는 체험교육의 기회를 제공하고 세대간 교류 촉진에 기여할 수 있음.

8. 사업화 성과 및 매출실적

8-(1)사업화 성과

| 항목 | 세부항목 | | | 성 과 | |
|-----------|-------------------|---------------------|-----------|---------------------|-----|
| 사업화 성과 | 매출액 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 0억원 | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 30억원 | |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 0억원 | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 40억원 | |
| | 시장 점유율 | 개발제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : 0% 국외 : 0% | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : 10% 국외 : 3% | |
| | | 관련제품 | 개발후 현재까지 | 국내 : 0% 국외 : 0% | |
| | | | 향후 3년간 매출 | 국내 : 10% 국외 : 3% | |
| | 세계시장 경쟁력 순위 | 현재 제품 세계시장 경쟁력 순위 | | | 20위 |
| | | 3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위 | | | 2위 |

8-(2)사업화 계획 및 매출 실적

| 항 목 | 세부 항목 | | 성 과 | | |
|--------------------------------------|-----------------|---|------|-----|-----|
| 사업화 계획 | 사업화 소요기간(년) | | 1 | | |
| | 소요예산(백만원) | | 200 | | |
| | 예상 매출규모 (억원) | | 현재까지 | 3년후 | 5년후 |
| | | | 0 | 40 | 50 |
| | 시장 점유율 | 단위(%) | 현재까지 | 3년후 | 5년후 |
| | | 국내 | 0 | 10 | 20 |
| 국외 | | 0 | 3 | 10 | |
| 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 | | 가정용 버섯 재배기 가정용 새싹인삼 재배기 업소용 채소재배기 | | | |
| 무역 수지 개선 효과 | (단위: 억원) | | 현재 | 3년후 | 5년후 |
| | 수입대체(내수) | | 0 | 20 | 30 |
| | 수 출 | | 0 | 10 | 20 |

4. 목표달성도 및 관련분야 기여도

D-06

4-1. 목표달성도

○간편한 채소 재배가 가능한 가정용 아쿠아포닉스 자동 채소재배장치의 개발에 있어 정량적 목표를 최종 시제품의 공인인정 기관을 통한 평가 진행으로 100% 달성 확인.

○최종성과 목표 및 달성도

가. 세부목표 달성도

| 연구목표 | 비중(%) | 달성도(%) |
|--|-------|--------|
| 히트펌프 시스템 기반의 온·습도 제어 시스템 구축 - 온도제어 : 10~30℃(제어정도 ±1℃) - 습도제어 범위 : 20~90% | 25 | 100 |
| LED제어를 통한 최적 광환경 시스템 구축 - 조도제어 범위 : 0~20,000Lux | 25 | 100 |
| 아쿠아포닉 시스템 순환 기능 - 재배기 소음 : 50dB이하 | 15 | 100 |
| 무선통신을 통한 채소재배부 및 양어양식부 모니터링 및 제어 기능 | 25 | 100 |
| 양어 부유물 필터링 기능 | 10 | 100 |
| 합계 | 100점 | |

나. 주요성능치

- 온도제어 : 채소 재배부 온도 및 수조 온도 제어 10~30℃(온도정밀도 ±1℃)
- 습도제어 : 채소 재배부 습도제어 20~90%(온도제어 연계 제어)
- LED 광원 : 다양한 채소 재배를 위한 제어 범위 확장 0~20,000Lux
- 양액 순환 : 채소 성장 시기에 적합한 양액 순환량 조절(Inverter Motor 적용)
- 스마트기기 제어 : 스마트폰 Application 운용을 통한 실시간 모니터링 및 제어 가능
- 모니터링 : 영상처리 분석 및 센서 네트워크를 통한 채소 성장 상태 확인 가능

○연차별 연구목표 및 내용

. 1차년도

① 개발 목표

- 주관연구기관(그린산업(주)) :
가정용 채소 재배장치의 수요 조사
최종 제품 개발을 위한 시작품 설계 및 제작
- 협동연구기관(서울대학교) :
재배기 제어 및 작물 빅데이터 분석을 위한 시스템 구축
최적 광환경 알고리즘 개발을 위한 RFID 정보 저장 및 교환 시스템 구축
(목표 수정 : 메인서버와의 Wifi-통신이 가능하여 RFID 정보저장 기술이 불필요함)

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(그린산업(주)) :
1) 구성원 수, 거주 지역, 평균 연령 등에 따른 채소 소비현황(월별 구매 금액, 구매처) 조사
개발될 가정용 채소 재배장치의 구매대상의 구성원 수, 거주 지역, 평균 연령 등에 따른 채소 소비현황(월별 구매 금액, 구매처)등을 조사하기 위하여 국가 통계 자료 및 관련 시장보고서를 분석한다.
- 2) 가정용 채소 재배장치의 구매 의향 및 선호 구매 조건 조사
주요 구매 대상인 주부층이 쉽게 접근할 수 있는 형태의 설문지를 작성하여 실제 구매대상의 선호 구매 조건(가격, 크기, 디자인, 기능)등을 조사한다. 또한 기존 재배장치와 양어양식부가 결합된 아쿠아포닉 시스템에 대한 인식 및 선호도를 조사한다.

3) 국내외 채소 재배장치 현황 및 수요 조사

국내외 대표적 채소 재배장치를 구매하여 기존 제품의 특징 및 한계를 세밀하게 분석하여 개발될 재배장치에 반영한다.

4) 최종 제품 개발을 위한 시작품 설계 및 제작

다양한 식물을 재배할 수 있는 식물 재배부, 생육환경 모니터링이 가능한 센서 시스템 구축, 재배 작물에 따른 광환경 제어를 수행하기 위한 LED제어 시스템이 적용된 시작품 제작

- (서울대학교) :

1) 빅데이터 분석을 위한 메인 서버 및 데이터베이스 구축

메인 서버 시스템을 구축하여 개발된 기기와 통신이 가능하도록 설계하며 처리될 데이터 종류에 따라 메인 서버의 데이터베이스를 구성한다.

2) 최적 광환경 알고리즘 개발을 위한 RFID 정보 저장 및 교환 시스템 구축

다양한 작물에 적용 가능한 최적의 광환경 제어 알고리즘을 획득하기 위하여 시작기에 RFID 정보 저장 및 교환 기술을 적용한 뒤 재배작물에 따른 광환경 제어를 수행한다.

(목표 수정 : 메인서버와의 Wifi-통신이 가능하여 RFID 정보저장 기술이 불필요함)

3) 재배공간의 재배환경 제어를 위한 RFID 데이터베이스 설계

채소의 종자별로 최적의 재배환경(온도, 광환경, 양액공급량 등)이 다르므로 이를 제어하기 위한 항목별 RFID 데이터베이스를 설계한다.

(목표 수정 : 메인서버와의 Wifi-통신이 가능하여 RFID 정보저장 기술이 불필요함, 동일한 데이터베이스는 시스템 자체에 알고리즘화 되도록 구성하였음)

나. 2차년도

① 개발 목표

- 주관연구기관(그린산업(주)) :

가정용 소형 재배장치에 적용 가능한 재배 하드웨어 개발
제어 및 재배 관리 시스템 개발

- 협동연구기관(서울대학교) :

가정용 재배장치에서 수집된 제어 및 작물 빅데이터 분석
IoT 기반 재배 관리 시스템 개발
수집된 제어 및 작물 빅데이터를 이용한 머신러닝

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(그린산업(주)) :

1) 양어 양식부 및 양액 공급 장치 개발(협동 연구기관과 협업)

조사된 소비자 수요에 적합하고 양식부 내부의 영양물질들이 양액 공급 장치에 균일하게 전달 될 수 있도록 순환 시스템을 갖춘 양어 양식부를 설계하고 , 양어 양식부의 노폐물(영양소)을 채소 재배부(배지)에 공급하기 위한 양액 공급을 위한 장치 및 제어시스템을 개발한다.

2) 필터 및 박테리아 배양부 개발

양어양식부 내의 식물의 생장에 저해가 되는 요소를 거를 수 있는 필터가 포함된 양액 교환 시스템을 설계하고 식물이 흡수하기에 적합한 형태로 양어부의 노폐물을 바꿔 줄 수 있는 박테리아 배양부를

양어 양식부 및 양액 교환 시스템에 적용한다.

3) 다양한 작물을 재배할 수 있는 식물 재배부 개발

식물의 종자에 따라 식물 및 뿌리의 성장 형태 및 식용에 적합한 크기가 다르므로 이를 반영한 식물 재배부 및 식물의 뿌리가 위치하는 공간의 형태를 설계한다. 우선적으로 연구가 가장 많이 진행되어 있는 상추를 대상으로 적용한다.

4) 온도, CO₂, 양액 성분, 광 환경, 양어 생육환경 모니터링 시스템 개발

양어재배부의 최적 생육환경 제어를 위해 양어부의 온도를 감지 및 제어할 수 있는 시스템을 설계하고 채소재배부에 공급되는 양액성분의 농도를 추정 할 수 있는 시스템을 구성한다. 또한 채소의 성장에 따른 광 환경 변화를 감지 할 수 있는 광환경 모니터링 시스템을 개발한다.

5) 재배 작물에 따른 자동 광환경 제어 시스템 개발

재배 작물에 따라서 생육속도가 다르며 생육높이에 따른 광밀도가 달라지므로 재배작물의 성장형태에 따른 광환경을 제어하고 재배 작물의 종자에 따라 적합한 파장대역이 다르므로 광조성을 제어할 수 있는 시스템을 구축한다.

- (서울대학교) :

1) 가정용 재배장치에서 수집된 제어 및 작물 관련 빅데이터의 활용 방안 모색

가정용 재배장치에서 수집된 제어 및 작물 데이터를 활용 가능한 형태로 저장 할 수 있는 빅데이터 저장 플랫폼을 설계하며, 획득된 데이터에 대한 통계분석을 수행하여 활용 방안을 모색한다.

2) IoT 기반 재배 관리 시스템 개발

빅데이터 획득 및 빅데이터 기반의 머신러닝을 수행하기 위하여 재배장치 내부에 메인서버로 재배 데이터를 전송하거나 메인서버로부터 정보를 수신 할 수 있는 통신 시스템을 구축한다.

3) 다양한 작물에 적용 가능한 최적의 광환경 제어 알고리즘 획득

작물의 종류, 성장 형태, 생육시기에 따라 광량 및 광조성이 제어 가능하도록 개발된 빅데이터 저장 플랫폼의 정보를 활용할 수 있는 광환경 제어 알고리즘을 구성한다.

4) 소비자 맞춤형 소모자재 추천 및 구매유도 시스템 개발

개발된 알고리즘을 기반으로 하여 재배 장치에 필요한 소모자재 양을 감지하거나 재배 작물에 적합한 다양한 소모자재를 추천하는 소비자 맞춤형 소모자재 추천 및 구매유도 시스템을 개발한다.

4-2. 관련분야 기여도

아쿠아포닉스 시스템은 최근 각광 받고 있는 자원 및 에너지 절약을 위한 순환형 농업의 대표 연구 분야이지만, 가정용과 같은 특수목적의 소형 시스템에 대한 연구는 전혀 진행된 바 없으며, 빅데이터 기반의 데이터 처리 및 머신러닝은 최근 이슈화되고 있으나, 가정용 재배장치에는 데이터 수집 시스템이 개발 및 연구된 바 없음. 채소의 생육 정보에 대한 기반 연구는 많이 되어 있으나, LED 및 아쿠아포닉 시스템 기반의 양액 제어에 따른 채소의 생육정보 및 생육모델 개발을 위한 알고리즘 개발이 연구되거나 제품에 적용된 바가 없는 것으로 조사되었고 기존의 제품은 외부환경과 단절되지 않은 제품의 형태가 대부분으로 채소의 생육을 위한 최적 환경이 제어되는 경우가 없지만, 본 시스템은 채소의 생육을 위한 최적 환경제어를 위한 시스템을 구성하였음. 사용자 편의성 및 데이터 베이스 구축을 위한 실시간 무선통신기술이 적용된 재배장치는 상용화 된 바가 없어 관련 산업에 기여한 바가 크다고 판단됨.

5. 연구결과의 활용계획

| | |
|--|------|
| 코드번호 | D-07 |
| <p>연구결과를 토대로 다양한 분야의 응용이 가능할 것으로 사료되며, 실증을 통해 검증하기 위해 지속적인 연구를 진행할 것이며, 이를 통한 사업화를 진행할 것임.</p> <p>○온.습도제어 시스템의 기타 가정용 특용 작물 재배시스템에 응용 개발</p> <p>○LED 광원제어 시스템의 교육용 교부재 확대 적용</p> <p>○재배기 사이즈 확대를 통한 업소용 채소 재배기로 확대 개발(식당, 사무실 등)</p> <p>○메인서버의 데이터베이스 및 무선통신을 활용한 빅데이터 구축 및 머신러닝 생육알고리즘 개발</p> | |

6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

| | |
|------|------|
| 코드번호 | D-08 |
| ○ | |

7. 연구개발결과의 보안등급

| | |
|------|------|
| 코드번호 | D-09 |
| ○ | |

8. 등록된 연구시설·장비 현황

| | | | | | 코드번호 | D-10 | | |
|-------|----------------|-------------|----|--------|---------------|---------------|------------------|----------------|
| 구입 기관 | 연구시설/ 연구장비명 | 규격 (모델명) | 수량 | 구입 연월일 | 구입 가격 (천원) | 구입처 (전화번호) | 비고 (설치 장소) | NTIS장비 등록번호 |
| | | | | | | | | |

9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

| | |
|---|------|
| 코드번호 | D-11 |
| <p>1) 인력전문성 제고</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 안전(관리감독자 교육): 대한산업안전협회(년 1회) ○ 환경(환경실무자 교육): 환경보전협회(년 3회) ○ 가스(법정교육): 가스안전공사(년 1회) | |

○ 화학약품(법정교육): 소방안전협회(년1회)

2) 점검사항

| 구 분 | 점 검 분 야 | 중점 점검 사항 | 비 고 |
|------------|------------|--------------------------------------|----------------|
| 자 체 | ○담당자별 점검 | ○ 공조/ 유틸리티 장비 ○ 유틸리티배관, 폐수처리장 | 일일 |
| | ○안전관리팀 합동 | ○ 고압가스 사용 및 관리상태 ○ 화학약품 사용 및 관리상태 | 매월, 안전점검의 날 관련 |
| | ○야간 및 휴일 | ○ 시설운영상태 ○ 24시간 가동장비 운영상태 | 일일 |
| | ○비상대응 훈련 | ○ 안전시설 시험동작 및 대피훈련 | 년 2회 |
| 외부전문 기관 | ○위험시설 안전진단 | ○ 실험실 안전관리 상태 ○ 가스 및 약품 안전관리상태 | 년 2회 |
| | ○안전검사 | ○ 호이스트, 압력용기 안전검사 | 년 1회 |
| | ○정기 및 자율검사 | ○ 고압가스저장시설 안전관리상태 | 년 5회 |
| | ○수시검사 | ○ 위험물옥내저장소 안전관리상태 | 년 2회 |

3) 관련수칙

| 수 칙 명 | 주 요 내 용 | 비 고 |
|--------------|--|---------|
| ○ 안전보건관리요령 | - 안전관리 총괄, 고압가스, 전기, 화학약품 안전관리 세부사항 | 수질, 폐기물 |
| ○ 실험실 관리 수칙 | - 관리자 편성 및 임무 | |
| ○ 전기관리 수칙 | - 전기시설물 취급 및 구매설치 - 전기시설물 설치 등에 관한 규제 | |
| ○ 고압가스 취급 수칙 | - 보관 및 운반, 사용 및 조작 - 누설 및 경보, 작업 | |
| ○ 화학약품 관리 수칙 | - 안전관리자 임무, 조치 및 의무 - 취급, 통제구역, 비상재해 | |
| ○ 환경 관리 수칙 | - 오염물질 배출 및 방지 준수사항 - 장비도입 및 폐기시 준수사항 | |

○ 연구실 안전점검 정기적 실시

연구실의 기능 및 안전을 유지 관리하기 위하여 안전점검지침에 따라 연구실에 관한 안전점검을 정기적으로 실시함.

○ 참여 연구원의 안전관련 교육훈련 시행

산업안전보건법 제31조(안전보건교육) 및 연구실 안전환경조성에 관한 법률 제 18조에 의거, 전 직원에 대한 안전보건교육을 매달 실시함. 교육 방법은 모든 직원에 대한 자체교육(2시간)을 실시하고, 안전보건교육 일지를 작성하여 관리함.

○ 연구 내용 및 결과물 안전 확보

정기적으로 인원 및 시설 보안 항목, 문서보안 항목 그리고 정보보안 항목의 보안점검을 실시하여 연구 내용 및 결과물의 안전을 확보하고 있음. 참여 연구원들을 대상으로 연구 결과의 안전한 관리를 위한 안전교육 실시

○ 연구실 안전 확보 계획

참여 연구원들이 안전관련 각종 법규, 규정 및 지침을 준수하도록 하며, 요구되는 안전교육 및 훈련 실시 실험에 관련된 위험 정보를 숙지하고 적절한 개인 보호 장비 착용 실험실에 노출된 위험을 안전관리책임자에게 보고 연구실의 잠재되어 있는 위험성 발견 및 위험물질과 각종 실험장비 등 사용에 따른 안전수칙이 잘 이행될 수 있도록 지도점검 및 교육

10. 연구개발과제의 대표적 연구실적

| 번호 | 구분 (논문/ 특허/ 기타) | 논문명/특허명/기타 | 소속 기관명 | 역할 | 논문게재지/ 특허등록국 가 | Impact Factor | 논문게재일 /특허등록일 | D-12 | |
|----|--------------------------|--|-------------|----------|----------------------|------------------|-----------------|------------------------------|----------------------------|
| | | | | | | | | 사사여부 (단독사사 또는 중복사사) | 특기사항 (SCI여부/인 용횟수 등) |
| 1 | 특허 | 양어연계형 채소재배 시스템 및 그의 운용 방법 | 그린산업 (주) | | 대한민국 | | 2017.12.20 | 단독사사 | |
| 2 | 기술 실시 | 양어연계형 채소재배 시스템 및 그의 운용 방에 대한 기술실시 | 그린산업 (주) | 직접실 시 | 대한민국 | | 2017.12.20 | | |
| 3 | 기술 실시 | 채소재배 시스템용 조명장치에 대한 기술실시 | 그린산업 (주) | 직접실 시 | 대한민국 | | 2017.12.20 | | |
| 4 | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | |

11. 기타사항

| | 코드번호 | D-13 |
|---|------|------|
| ○ | | |

12. 참고문헌

| | 코드번호 | D-14 |
|---|------|------|
| ○ | | |