

발간등록번호

11-1543000-000651-01

지능형 가정용 새싹채소 자동 재배 시스템 개발  
(Development of Intelligent Household Automated  
Cultivating System for Sprout Vegetables)

서울대학교

농림축산식품부

# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “지능형 가정용 새싹채소 자동 재배 시스템 개발에 관한 연구”  
과제의 보고서로 제출합니다.

2014 년 11 월 28 일

주관연구기관명 : 서울대학교

주관연구책임자 : 조 성 인

세부연구책임자 : 전 창 후

연 구 원 : 박 성 민

연 구 원 : 정 수

연 구 원 : 손 대 식

연 구 원 : 양 명 균

연 구 원 : 정 은 성

연 구 원 : 황 현 승

연 구 원 : 곽 유 리 나

협동연구기관명 (주)산소와생명

협동연구책임자 : 전 재 근

협동연구기관명 : (주)FC포이베

협동연구책임자 : 고 은 희



# 요 약 문

## I. 제 목

지능형 가정용 새싹채소 자동 재배 시스템 개발 최종 보고서

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

참살이를 추구하는 소비자들이 무 농약, 무 호르몬 재배 등 안전하고 고기능성 식품을 적극적으로 요구함에 따라 개별소비에 의한 가정에서의 새싹채소 소비가 크게 증가하고 있다. 실제로 국내 채소산업 성장률이 연평균 0.5%씩 증가하는 동안 새싹채소 국내 생산액은 연평균 24%씩 성장하여 2002년 80억원, 2006년 204억원의 급성장을 이루었고, 2020년에는 1,082억원 까지 성장할 것으로 전망된다. 하지만 시중에서 유통되고 있는 국내 새싹채소의 경우 대부분이 대형 드럼식 배양기를 통해 생산되고 대부분의 새싹채소가 현재 콜드체인 시스템 유통이 도입되지 않은 상태이다. 특히, 도매시장에 출하된 상품은 상온에서 유통되기 때문에 신선도가 유지되지 않아 품질 면에서 문제가 종종 발생하고 있으며 여름철 도매시장에서 유통되는 새싹채소의 경우 유통기한이 매우 짧고 신선도가 크게 떨어진다. 더구나 종자의 소독 및 세척에 대한 절차가 없기 때문에 식중독균에 오염된 새싹채소를 섭취할 위험성을 지니고 있다. 이러한 위생적 문제와 각종 자연재해 및 예측 불가능한 환경요인에 따른 채소가격의 폭등과 변동으로 인해 각종 채소 및 야채를 직접 재배하는 가정이 크게 늘어나고 있다.

따라서 본 연구에서는 새싹채소 재배를 위한 적정 환경들에 대한 제어가 이루어지고, 종자에 대한 살균처리 및 세척과정을 거친 종자 카트리지를 통해 가정에서 안전하고 손쉽게 재배할 수 있는 가정용 자동 재배 시스템을 개발하고자 한다. 또한 새싹채소류에 최적화된 LED 파장과 조사시간을 적용함으로써 소비자들이 원하는 고기능성 측면을 만족시키고자 한다. 이를 통해 일반가정에서 보다 신선하고 기능성이 강화된 새싹채소를 섭취할 수 있게될 것으로 판단되며 상업화가 이루어질 경우 가전시장과 종자 산업에서 부가가치를 창출 할 수 있으며 저가 판매 혹은 렌탈 등의 형태로 재배 시스템을 보급하고 다양한 새싹채소의 카트리지를 판매하는 등의 새로운 시장도 형성될 것으로 기대된다.

## III. 연구개발 내용 및 범위

가. 새싹채소류의 성장발육 환경 구명 및 생육 프로파일 개발

(1) 새싹채소의 생육에 관여하는 여러 요소들을 구명하고 각자의 요소들이 생장과 발육에 미치는 영향에 대해 생육 프로파일을 정리하여 새싹채소류를 최적의 상태로 재배할 수 있는 조건 설정

- (2) 새싹채소의 최적 발아 조건을 구명하고, 이를 바탕으로 생육 촉진을 위한 기술 개발
- 나. 새싹채소의 기능성 특성 강화를 위한 기술 개발
- 다. 새싹채소별 최적 조건 데이터베이스 구축
  - 소비자 선호도가 높은 새싹채소 종류에 따른 최적 환경제어 조건 데이터베이스 구축
- 라. 최적 생육 환경 구현 컨트롤러 및 자동 재배 시스템 개발
  - (1) 새싹채소류에 최적화된 LED 파장과 조사시간 구명함으로 최적의 광 환경에 대한 제어
  - (2) 자동 재배 시스템 내부 온도 조절 장치를 개발하고, LED 광원 설계
  - (3) 수경액 공급과 분사 그리고 배수 장치 개발
  - (4) 자동 재배 제어 시스템 개발
- 마. 새싹채소 살균처리 종자 카트리리지 개발
  - (1) 새싹채소 종자 살균처리하고 세척할 수 있는 기술을 개발
  - (2) 살균 처리된 종자 카트리지를 개발하여 사용자가 재배 시스템에 간단히 장착함으로 새싹채소에 대한 자동 재배가 이루어지게끔 함
- 바. 새싹채소 종류의 인지와 개별 환경 제어가 가능한 지능형 시스템 구현
  - (1) 시스템 컨트롤러를 제작하고 이를 지능적으로 제어할 수 있는 알고리즘 개발
  - (2) 재배환경 모니터링 센서 개발
  - (3) 지능형 RFID 태그 시스템을 설계하고 인공지능 재배 환경을 구현

#### IV. 연구개발결과

외부환경으로부터 독립되며 온도, 광, 관수량이 제어되는 친환경 가정용 새싹채소 자동재배 시스템을 개발하였다. 재배 온도, 광의 세기, 광의 조성, 관수량에 대한 제어를 RFID tag 시스템을 이용하여 장착된 칩의 종자정보에 따라 지능형 제어가 가능한 시스템을 제작하였다. 지능형 제어가 가능하도록 하기 위하여 새싹채소의 종자별 관수량, 광량, 온도에 대한 실험적 데이터를 수집하여 종자별 생육정보에 대한 자동재배 알고리즘 인자를 선정하여 RFID 칩에 저장하였다. 기존의 새싹채소 재배기의 경우 특정 온도제어나 광제어가 이루어지지 않고 외부환경에 의존적인 시스템으로 특정 시기에만 재배가 가능하며 사용자가 재배상태에 대하여 수시로 확인해야 했다. 또한 외부환경에 노출되어 재배장치 내부로 각종 미생물이 번식하거나 식중독균으로 인한 오염의 문제가 있었다. 이 시스템은 기존의 새싹채소 재배기와는 다르게 외부환경에 대하여 독립적으로 구성하여 외부로 인한 오염을 최소화 하였고 전력만 공급된다면 언제든지 재배가능하다. 개발된 시스템으로는 1회 재배시 5일이 소요되며 최대 250g의 새싹채소의 재배가 가능하며 이는 4인가 구 기준 1~2회 소비량이다. 개발된 가정용새싹채소 자동재배기를 시판함으로써 일반 가정에서 흡소평

이나 인터넷을 통한 직거래 기능을 활성화 하여 새싹채소 소비를 촉진할 수 있을 것을 기대된다.

또한 본 연구를 통해 개발된 친환경 가정용 새싹채소 재배기의 경제성 평가를 한 결과 월 2000대를 생산할 경우 부품단가의 합이 약 163170원으로 예상되며 시장판매가격은 20~25만원으로 형성될 것으로 판단된다. 또한 1회 재배에 소요되는 전력 평가를 수행한 결과 월 400kwh를 소비하는 가구의 경우 1회 재배시 전기료는 2000원, 100kwh를 소비하는 가구의 경우 570원으로 조사된 새싹채소의 시장가격인 약 4000원에 비하여 매우 낮은 수준으로 소비자가 부담 없이 재배할 수 있을 것으로 기대된다.

## V. 연구성과 및 성과활용 계획

### 가. 실용화 계획

- (1) ㈜FC 포이베, ㈜산소와 생명에 기술 지도를 실시할 예정임
- (2) 실용화를 위한 내구테스트 및 제품 성능 테스트를 외부 성능분석기관 및 시험기관에 의뢰하여 제품의 안정성 및 사용자 편의성에 대한 조사를 실시할 예정
- (3) 본 재배기는 가정용으로 개발되었으므로 이를 고려하여 제품의 미관을 결정하였으나, 외관에 대한 다양한 렌더링 이미지를 설계하여 소비자를 대상으로 한 설문을 진행할 예정임.

### 나. 산업화 계획

- (1) 참여기업의 산업화 및 제품 양산화를 위해 대량 생산체계의 구축이 필요하며 그에 따른 마케팅 계획이 필요함.
- (2) 소비자에게 15만원 이하의 제품을 공급하는 것을 목표로 하고 양산 시스템 적용에 있어서 가격 결정 가이드라인을 설정할 계획임.

# Summary

## I . Title

Development of Intelligent Household Automated Cultivating System for Sprout Vegetables

## II. Aims and Necessity of the research and development

Because of the recent consumers who request pesticide-free, hormone-free cultivation and a highly functional food, individual consumption of sprouts vegetables in the house has increased significantly. While the growth rate of whole vegetable industry in the country has increased by 0.5% per year, the domestic production of sprout vegetables has increased rapidly by 24%, from 8 billion won in 2002 to 20.4 billion won in 2006. In 2020, the domestic production of sprout vegetables is expected to be 108.2 billion won. However, in the case of the sprout vegetables in domestic market, most of the sprout vegetables are produced by using large drum-type incubator, and the distribution of cold chain system is not introduced currently. In particular, because the products that are shipped to wholesale market are distributed at room temperature, problems about the quality of products has often occurred due to low degree of freshness. The sprout vegetables in summer wholesale market have shorten expiration date and low degree of freshness. Since there is no procedures for washing and disinfection of seeds, consumers have a risk of ingesting sprout vegetables contaminated with food poisoning bacteria.

Due to the fluctuation and soaring in vegetable prices in response to these various hygienic problems and various environmental factors, the household vegetable growing has increased significantly. Therefore, in this study, the household automated cultivating system that can help sprout vegetables to grow safely and easily at home will be developed, by using a seed cartridge that can control the appropriate environment for the cultivation of sprout vegetable and has passed through the washing process and sterilization of seeds. In addition, by applying the irradiation time and wavelength of the LED that is optimized for sprout vegetables, it is intended to satisfy consumers in the aspects of high nutrient and function that consumer desires. Through this research, it will be able to ingest sprout vegetables that are more fresh and enhanced with function even at home. If commercialization of the system is performed, it is possible to

create added-value in seed industry and consumer electronics market. Also a new market of providing cultivation system, in the form of rental or low prices and selling cartridges of different bud vegetables, is expected. In addition, by applying the irradiation time and wavelength of the LED that is optimized for bud vegetables, it is intended to satisfy the aspects of high nutrient and function that consumer desires.

Through this research, it will be able to ingest sprout vegetables that is enhanced with function and nutrient fresh even at home. And if commercialization is performed, it is possible to create added-value at seed industry and consumer electronics market. Also a new market to provide a cultivation system, such as in the form of rental or low prices, and selling cartridges of different bud vegetables is expected.

### III. Contents and scope of the project

a. Development of growth profile and growth environment for growing sprout vegetables

(1) Setting conditions that can be used to cultivate optimally with the developed cultivator and investigating several factors involved in the growth of the sprout vegetables together developing the growth profile about effects of each element on the growth.

(2) Investigating the optimal germination conditions of sprout vegetables and developing the growth promotion technique.

b. Technology development in order to enhance the functionality properties of sprout vegetables.

c. Construction database of optimal conditions for growing sprout vegetables

Optimized environmental control condition database in accordance with the type of sprout vegetables with high consumer preference.

d. Implementation of optimal growth environment and automatic cultivation system development

(1) Through investigating Optimal LED wavelength for sprout vegetables and time of illumination, optimal light condition control.

(2) Developing temperature controller for internal space of cultivator and designing the LED light source

(3) Developing hydroponic solution supply and drain device.

(4) Automatic cultivation controller development

- e. Sterilized seed cartridge development of sprout vegetables
  - (1) Developing the technology that can wash and sterilize the seed of sprout vegetable.
  - (2) By developing the sterilized seed cartridge and equipping it to the cultivator, automatic cultivation is possible.
  
- f. Implementation of intelligent system capable of environmental control and perception of the kind of sprout vegetables
  - (1) Implementing system controller and developing algorithm that can control the system intelligently
  - (2) Developing cultivation environment monitoring sensor.
  - (3) Designing the an intelligent RFID tag system and realizing the artificial intelligence

#### IV. Result of the research

Developed eco-friendly sprout vegetable automatic cultivation system which has independence from external environment and control its internal temperature, light intensity, and irrigation amount. Developed a system capable of intelligent control based on the information chip of the seed using the RFID tag system which can control cultivation temperature, light intensity, composition of the light, and amount of irrigation. To allow intelligent control, collect information like irrigation amount, light intensity, and temperature of each kind of vegetable seed, select auto-growth algorithm, and save on RFID chip. In the case of existing sprout cultivation machine, light intensity and temperature control of a particular is not performed, depends on the external environment, cultivation is possible only at specific times, therefore, users need to check back often for the cultivation state. In addition, various microorganisms inside the cultivation device which is exposed to the external environment, there is a problem of contamination by food poisoning bacteria. The system, unlike existing device, minimizes contamination by independence from external environment, be able to operate at any time if it is supplied power. Took five days of cultivation once, cultivation of vegetables bud of maximum 250g is possible, it is once or twice consumption of 4-person households. Come into the market, it is expected developed sprout growth device for home can promote the direct transaction by shopping at home or the Internet. Also a result by assesment of the machine from this research, in case of manufacturing 2,000 product per a month, sum of all components in machine is expected about 163170 won, and a retail price is

expected about 200000~250000 won.

#### V. Plan for application of the research

##### a. Plan for commercialization

- (1) The instruction of technology will be performed in ©FC Phoebe and ©Oxygen And Life.
- (2) The investigation about stability of system and consumer-convenience will be performed by requesting external performance-analyzing and investigating institution for endurance and quality test.
- (3) The aesthetic design of product is determined for domestic use, but the survey on exterior design of various rendering images will be performed to consumers.

##### b. Plan for industrialization

- (1) The construction of mass production system and according marketing plan is needed for industrialization of participating corporation and mass production of product.
- (2) The guideline for the price of product is expected to set in the application of mass production system, aiming to supply the products in lower price than 150 thousand won.

# CONTENTS

<b>Chapter 1. Overview of the project</b>	15
Section 1. Necessity of the research and development	15
1. Market condition of sprout vegetables	15
2. Production status and Safety of sprout vegetables	16
3. Necessity of household automated cultivating system for sprout vegetables	17
Section 2. Goals and Contents of the project	18
1. Goals of the project	18
2. Contents of the project	18
3. Scope and methods of the project	20
<b>Chapter 2. Status of the technology development in Korea and foreign countries</b>	22
Section 1. Status of production and market condition in Korea	22
Section 2. Production of related products and market condition in other	24
Section 3. Industrialization direction and expectation effectiveness of development technology	25
1. Industrialization direction	26
2. Expected effect through industrialization	26
<b>Chapter 3. Research contents and results</b>	27
Section 1. Consumer survey and analysis	27
1. Selection of survey item	27
2. The choice of method and survey target	28
3. Survey results and analysis	28
Section 2. Determining the environmental factors for sprout vegetables to optically grow and to promote germination	30
1. Study of the optimal growth environment of sprout vegetable	30
2. Development of sprout vegetable seeds sterilization and cleaning technology	37
3. Study of priming effect through cleaning and disinfection of sprout vegetable seeds	41
Section 3. Identification of proper LED wavelength and the design factor of cartridge.	46

1. Study of optimal LED wavelengths for promote the freshness of sprout vegetables	46
2. Investigation the design factor of cartridge with sterilized sprout vegetables seeds	57
3. Technology to enhanced functional properties of sprout vegetables	59
Section 4. Design and fabrication of the cultivating system	66
1. Configuration of cultivating system prototype for sprout vegetables	66
2. Design of internal temperature control device	66
3. Fabrication of irrigation equipment and LED panel	69
4. Development of the intelligent cultivating algorithm for sprout vegetables	72
5. Implementation of internal monitoring sensor of cultivating system	72
6. Performance evaluation and discussion of cultivation system prototype for sprout vegetables	74
7. Design and fabrication of prototype	79
8. Growth through the automatic evaluation system and cultivated attributes cultivation	90
<b>Chapter 4. Achievement and contributions to related fields</b>	92
Section 1. Achievement	92
<b>Chapter 5. Application of the result</b>	94
Section 1. Commercialization and industrialization plan	94
Section 2. Planning of technology diffusion (education/guidance/public relations etc.)	94
Section 3. Plan to secure the intellectual property rights (patent/varieties/theses)	95
Section 4. Additional studies/leverage plan to study other	96
<b>Chapter 6. References</b>	97

# 목 차

<b>제 1 장 연구개발과제의 개요</b>	15
제 1 절 연구개발 필요성	15
1. 새싹채소 시장현황	15
2. 새싹채소의 생산현황 및 안전성	16
3. 가정용 새싹채소 자동 재배시스템의 필요성	17
제 2 절 연구개발 목표 및 내용	18
1. 연구개발 목표	18
2. 연구내용	18
3. 연구범위 및 연구수행 방법	20
<b>제 2 장 국내외 기술개발 현황</b>	22
제 1 절 국내생산 현황 및 시장현황	22
제 2 절 국외 관련(유사)제품생산 및 시장 현황	24
제 3 절 개발기술의 산업화 방향 및 기대효과	25
1. 산업화 방향(제품의 특징, 대상 등)	26
2. 산업화를 통한 기대효과	26
<b>제 3 장 연구 개발 수행 내용 및 결과</b>	27
제 1 절 소비자 설문 조사 및 분석	27
1. 설문 항목 선정	27
2. 설문 대상 및 방법 선정	28
3. 설문조사 결과 및 분석	28
제 2 절 새싹채소류의 최적 환경 생육인자 구명 및 발아촉진기술 개발	30
1. 새싹채소의 최적 성장 환경 구명	30
2. 새싹채소 종자 살균처리 및 세척 기술 개발	37
3. 새싹채소 종자의 세척 및 소독을 통한 프라이밍 효과 구명	41
제 3 절 적정 LED 파장 및 종자 카트리지 설계인자 구명	46
1. 새싹채소 신선도 증진을 위한 최적 LED 파장 구명	46
2. 새싹채소 살균처리 종자 카트리지 설계인자 구명	57
3. 새싹채소의 기능성 특성 강화 기술 개발	59
제 4 절 재배 시스템 설계 및 제작	66
1. 새싹채소 재배 시작기의 구성	66

2. 내부 온도 제어장치 설계	66
3. 관수 장치 및 LED 판넬 제작	69
4. 지능형 새싹채소 재배 알고리즘 개발	72
5. 재배 시스템 내부 모니터링 센서 구현	72
6. 새싹채소 재배 시작기의 성능 평가 및 고찰	74
7. 시제품 설계 및 제작	79
8. 자동 재배 시스템을 통한 성장 및 재배 특성 평가	90
<b>제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도</b>	92
제 1 절 목표대비 성과 및 달성비율	92
<b>제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획</b>	94
제 1 절 실용화 및 산업화 계획	94
제 2 절 교육/지도/홍보 등 기술 확산 계획	94
제 3 절 특허/품종/논문 등 지식재산권 확보 계획	95
제 4 절 추가연구/타 연구에 활용 계획	96
<b>제 6 장 참고문헌</b>	97

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제 1 절 연구개발 필요성

### 1. 새싹채소 시장현황

국내 채소산업 성장률이 연평균 0.5%씩 증가하는 동안 새싹채소 국내 생산액은 연평균 24%씩 성장하여 2002년 80억원, 2006년 204억원의 급성장을 이루었고, 2020년에는 1,082억원까지 성장할 것으로 전망된다. 우리나라의 경우 2009년 새싹채소 시장규모는 전체 채소시장의 2.8% 만을 차지하고 있는 반면 미국, 유럽, 호주, 일본 등의 경우 새싹채소 시장이 전체 채소시장의 20~30%를 차지하고 있어 국내 새싹채소 시장의 지속적인 성장이 예상된다. (웰빙 채소류의 생산·유통체계 구축을 위한 경기도 대응전략, 2007)

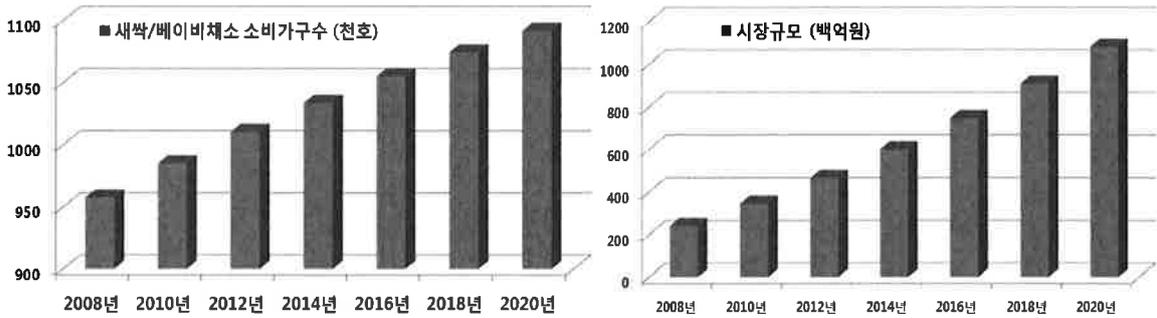


그림 1-1. 새싹/베이비채소 미래시장규모 추정결과

새싹채소의 수요는 2002년에 음식점이 주를 이루었으나, 이후 개인소비자가 증가하기 시작하여 2005년에는 개인소비자가 40%, 음식점이 60% 조사되어 향후 개별 소비 및 가정에서의 소비 비중이 증가할 것으로 예상된다. (새싹·쌈채소 생산·유통 실태 및 육성방안, 2006)

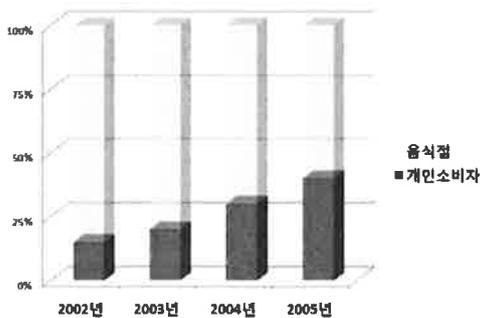


그림 1-2. 새싹채소의 판매경로별 비중

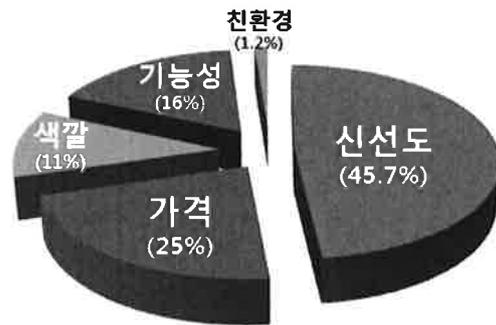


그림 1-3. 새싹채소 구매 시 소비자 선호도

또한 한국농촌경제연구원에서 실시한 2006년 설문조사에 의하면 새싹채소 구매 시 소비자가 가장 중요하게 여기는 인자로 신선도(45.7%)를 꼽았고, 80%의 소비자가 가격이 10% 비싸더라도 신선한 새싹채소를 구입할 의사가 있는 것으로 조사되었다. (새싹·쌈채소 생산·유통실태 및 육성방안, 2006)

## 2. 새싹채소의 생산현황 및 안전성

국내 새싹채소의 경우 대부분이 그림 1-4 와 같은 대형 드럼식 배양기를 통해 생산되고 있는 한편, 유해세균 오염방지를 위한 위생관리가 필요한 실정이다. (새싹·쌈채소 생산·유통실태 및 육성방안, 2006) 일부 새싹채소 유통은 신선편의 식품처럼 콜드체인 시스템을 갖추어 거래되고 있으나, 도매시장에 출하된 상품은 상온에서 유통되기 때문에 신선도가 유지되지 않아 품질 면에서 문제가 발생하고 있다. 특히, 여름철 도매시장에서 유통되는 새싹채소의 경우 유통기한이 매우 짧고 신선도가 크게 떨어지는 문제가 있다.

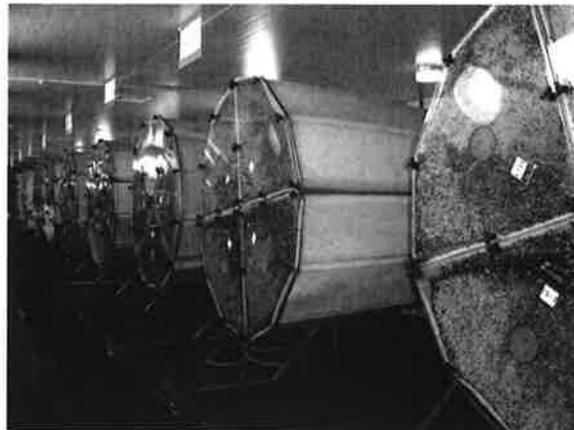


그림 1-4. 새싹채소 드럼식 배양기

새싹채소의 저장기간은 매우 짧고 재배 시 농약을 사용하지 않아, 새싹채소를 대량생산할 경우 E. coli와 Salmonella와 같은 식중독균 감염의 위험이 매우 높다.(Microbiological Characterization and Chlorine Treatment of Buckwheat Sprouts, 2009, Lee et al.) 새싹채소의 소비가 많은 미국, 유럽, 일본 등에서는 새싹채소로 인한 집단식중독이 자주 발생한다. 일본의 경우, 1996년 새싹채소 O-157 사건으로 약 1만 2천명의 식중독환자가 발생하였고, 이 중 12명이 사망한 사고로 인해 새싹채소의 위생관리 문제가 대두되기도 하였다. 식중독의 원인으로서는 생육과정에 적절한 통제를 하지 않은 것과, 가공 중에 이차적인 오염에 의한 것으로 추정된다. (웰빙 새싹채소의 미생물학적 안전성 향상을 위한 최소 가공공정과 항균포장기

술의 개발, 2009) (새싹채소 생산현장에서 재배공정별 미생물학적 위해 평가, 2009)

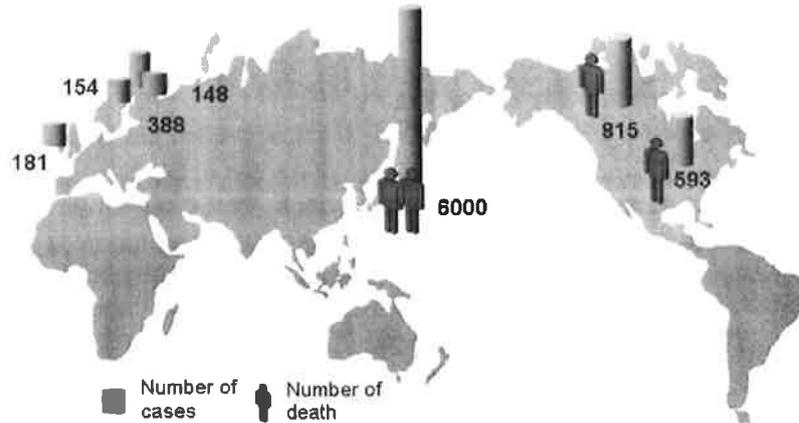


그림 1-5. 새싹채소에 의한 식중독 발생현황

### 3. 가정용 새싹채소 자동 재배시스템의 필요성

참살이를 추구하는 소비자들이 무농약, 무호르몬 재배 등 안전하고 고기능성 식품을 적극적으로 요구함에 따라 개별소비에 의한 가정에서의 새싹채소 소비가 크게 증가하고 있고, 각종 자연재해 및 예측 불가능한 환경요인에 따른 채소가격의 폭등과 변동으로 인해 각종 채소 및 야채를 직접 재배하는 가정이 크게 늘어나고 있다. 새싹채소는 씨앗의 소독, 불리기, 암실 발아, 광량 제어에 의한 발육 등 밀실형태의 차단된 환경과 생육과정의 통제를 통한 재배가 이루어져야 하는데, 기존에 시판중인 대부분의 가정용 새싹채소 재배용기는 생육과정에 대한 통제가 불가능하고 외부 환경에 쉽게 노출되는 형태의 구조를 지니고 있다. 더구나 종자의 소독 및 세척에 대한 절차가 없기 때문에 식중독균에 오염된 새싹채소를 섭취할 위험성이 매우 높다. 따라서 새싹채소 재배를 위한 적정 환경들에 대한 제어가 이루어지고, 종자에 대한 살균처리 및 세척과정을 거친 발아 카트리지를 통해 가정에서 안전하고 손쉽게 재배할 수 있는 가정용 자동 재배 시스템이 필요하다. 또한 유통과정에서 발생할 수 있는 신선도 저하 및 오염 등의 문제에서 자유로운 신선한 고품격의 새싹 재배가 가능한 가정용 재배 시스템이 필요하다.

또한 새싹채소의 수급 실태에 대한 조사에 따르면, 봄의 경우 소매상과 생산자의 수급비중이 각 48%, 37.5%로 매우 높은 반면, 여름, 가을, 겨울에는 수급비중이 20% 내외로 상대적으로 매우 낮은 수준이다.(새싹·쌈채소 생산·유통실태 및 육성방안, 2006) 가정용 새싹채소 재배 시스템은 새싹이 자라기 위한 생육환경의 제어가 가능해 계절에 관계없이 재배가 가능하여 계절에 따른 수급문제에 대한 소비자의 수요를 충족시킬 수 있다.

## 제 2절 연구개발 목표 및 내용

### 1. 연구개발 목표

가정에서 안전하고 신선한 무농약의 새싹채소를 쉽고 간편하게 재배할 수 있는 가정용 새싹채소 자동 재배 시스템을 개발한다. 이를 위하여, 새싹채소류의 성장발육 환경을 구명하여 이를 제어할 수 있는 시스템을 구축하고 온도, 광량, 관수량 등 새싹의 성장에 필요한 생육 정보의 프로파일을 개발한다. 이를 바탕으로 최적 생육 환경을 구현하며 사용자의 편의성을 중시한 자동 재배 시스템을 개발한다. 또한 식중독균 등으로 인한 피해를 방지하기 위하여, 살균 처리된 새싹채소 종자 카트리지를 개발한다. 마지막으로, 새싹채소의 종류별 생육환경 제어가 가능한 지능형 시스템을 구현한다.

### 2. 연구내용

지능형 가정용 새싹채소 자동재배기는 새싹채소의 생육에 필요한 광원, 온도제어장치, 생육정보를 담은 카트리지를, 관수장치로 구성된다. 새싹채소 재배기는 그림 1-6과 같은 과장을 거쳐 구동된다.

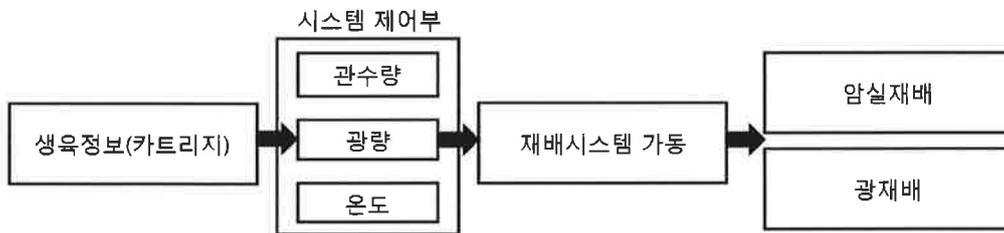


그림 1-6. 가정용 새싹채소 재배 시스템

카트리지는 내부에 생육되는 종자의 생육정보를 담은 RFID 칩을 내장하여 재배 시스템에 장착되었을 때 시스템 제어부에서 이를 인식하여 재배에 적절한 관수량, 광량, 온도를 결정하게 된다. 새싹채소 재배는 종자가 발아하기 위한 암실재배 시기와 광합성을 위한 광재배 시기로 나뉘는데, 재배시스템이 가동되면 RFID의 정보에 따라 암실재배와 광재배의 기간을 결정하게 된다.

국내 시장에서 주로 판매되는 새싹채소는 클로버, 브로콜리, 적무, 알팔파, 무 등이 있다. 새싹채소는 다 자란 채소에 비하여 비타민, 미네랄, 페놀화합물 등의 기능성 물질이 풍부하여 영양적인 측면에서 이점이 있다. 각 새싹은 조사되는 빛의 파장대역, 조사시간에 따라 기능성 물질의 함량에 차이가 있다. 이에 대한 구명을 통

해 가정용 새싹채소 자동재배 시스템에서는 기능성물질이 강화된 새싹채소를 재배하는 것을 목표로 한다.

국내에서 판매되는 새싹채소는 주로 원통형 재배설비에서 대량재배 되고 있으며, 유통과정에서 저온유통이 이루어지고 있지 않는 실정이다. 또한 유럽 등지에서 새싹채소 섭취로 인한 식중독 사례가 보고되고 있어 새싹채소의 안정성에 대한 문제가 대두되고 있다. 새싹이 재배되는 조건은 상온(약 25℃)보다 높은 수준이며, 내부 습도가 매우 높아 인체에 해로운 미생물이 증식하기 쉽다. 때문에, 새싹채소의 재배가 시작되기 이전에 종자 및 재배 카트리지를 살균처리 하여 재배시스템에 공급해야한다. 이에 필요한 새싹채소 종자 살균처리 및 세척 기술을 개발하고 새싹채소 살균처리 종자 카트리지를 제작한다.

연구 수행은 그림 과 같은 순서로 진행되었다. 지능형 가정용 친환경 새싹채소 자동재배 시스템 개발을 위하여 1차년도에 새싹채소의 최적 생육 환경 구명, 기능성 물질 및 성장량 조절을 위한 LED 파장 조사에 대한 연구를 진행하였고, 종자에서 발생할 수 있는 오염을 방지하기 위하여 종자 살균 기술인 마이크로 오존 버블 시스템을 개발하였다. 이를 바탕으로 2차년도에 시작기를 제작하여 시작기의 성능평가 및 소비자 설문조사를 수행하여 이를 바탕으로 3차년도에 시제품의 구성요소를 설계 및 제작하고 RFID TAG system을 탑재하여 자동재배 시스템을 개발하였고, 살균 종자 카트리지를 개발하였다. 마지막으로 개발된 시제품의 성능평가를 위하여 시제품 내에서 새싹채소를 재배하였고 경제성 평가를 수행하였다.

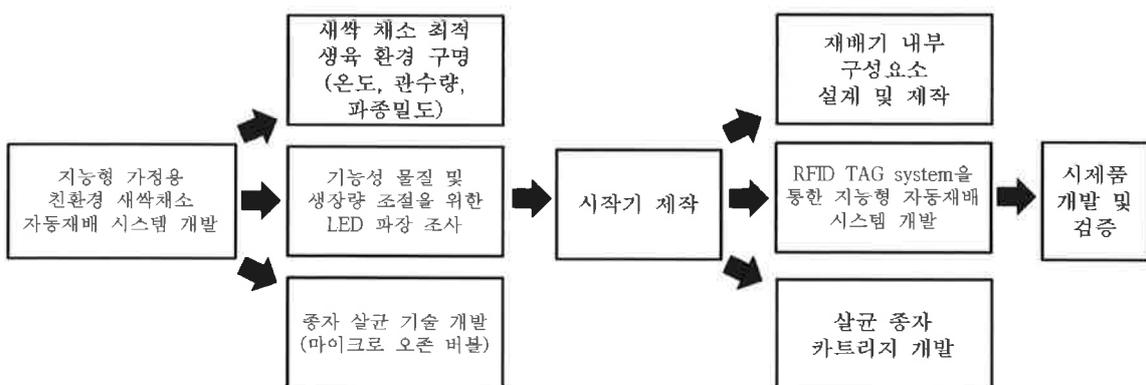


그림 1-7. 새싹채소 재배 시스템 개발의 연구 흐름도

### 3. 연구범위 및 연구수행 방법

표 1-1. 연구범위 및 연구수행방법

연구 범위	연구수행방법	구체적인 내용
사용자가 원하는 디자인 및 기능을 제품에 반영	설문조사를 이용	설문 조사지를 작성하여 온라인 및 오프라인에서 조사
제어 컨트롤 보드 설계 및 제작	온도 제어, 관수 제어, LED 광 제어	온도제어는 다이오드 센서를 이용하여 온오프 제어방식으로 설정 온도 범위 유지하도록 제어, 관수장치는 타이머 기능을 이용하여 원하는 시간에 필요한 유량을 관수하고 LED의 광조성 범위를 RGB 각각 255등분해 설치자가 원하는 광제어가 가능하도록 제작
지능형 제어 알고리즘 개발 및 구현	새싹 종자별 발아 온도, 생육 기간, 필요 관수량, 광원 결정	새싹 채소별로 발아에 걸리는 시간, 필요 관수량이 달라 각각에 최적화된 재배 알고리즘 제작
내부 환경요인에 대한 센서 선정 및 구현	내부의 평균 온도 및 습도 관찰	온도 센서를 4곳에 배치하여 내부의 평균 기온을 측정하고 1개의 습도 센서를 이용하여 내부가 건조해지는지 여부를 파악
전체 시스템 시작품 제작	자동 온도 및 관수장치, 광원이 포함되며 RFID를 이용한 제어가 가능한 시작품 제작	기존의 시작기의 비용적 측면, 적력 소모의 측면, 기능적 문제점을 보완하여 소비자의 설문조사 요구에 적합한 가정용 새싹채소 재배기의 시제품을 제작하였다.
온도제어 성능, 전력량 효율 검토	목표 온도범위 도달 시간 및 재배 시스템 전력 테스트	목표 온도 범위 중 최대 온도에 도달하는 시간을 측정하고, 최저온도까지 떨어지는 데 걸리는 시간을 측정한다. 또한 재배 시스템의 전체 전력을 측정하여 타 가전제품과 비교한다.

새싹재배기 적정 요소 및 환경 설정 확립	생육 및 기능성 증진을 위한 환경 설정	LED 파장 및 광도 조절을 통해 새싹채소의 생장 및 기능성 물질 함량을 증진 시킨다.
살균처리 매뉴얼 정립 및 식중독균 안정성 검토	살균 방법 설정 및 미생물 수 조사	살균 방법, 살균시간을 설정하여 미생물 수를 줄이고, 발아율을 유지하여 안정 생산이 가능하게 한다.
새싹채소의 카트리지화	높은 발아율 및 안정생산이 가능한 카트리지 설계 및 제작	종자의 발아에 문제가 없으며 새싹재배기에 장착하여 손쉽게 재배가 가능한 카트리지를 설계·제작한다.
새싹채소 종자의 카트리지 포장 기술 개발	포장·운송에 적합한 포장 기술 개발	포장 및 운송에 적합한 포장 자재 발굴 및 적용 기술을 모색한다.
시판되는 새싹채소 종자 데이터베이스화	새싹채소 종자 데이터 종합 및 데이터베이스 구축	시판되는 새싹채소의 정보를 손쉽게 확인 가능한 데이터베이스를 구축한다.
새싹채소의 기능성 특성 강화 기술 개발	새싹채소의 기능성 증진을 위한 LED의 광도 및 광질 설정	재배기간의 LED 광도 및 광질을 조절 및 광 변환을 통하여 기능성 물질을 증진 한다.
자동 재배 시스템을 통한 생장 및 재배 특성 평가	새싹채소 자동 재배 시스템의 검증	최적 재배 환경을 적용하여 새싹채소의 생장 및 기능성을 평가한다.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제 1 절 국내현황 생산 및 시장현황

새싹채소(sprouts: 어린싹, 싹기름채소)는 발아하여 본 잎이 전개되지 않은 미숙한 상태의 것을 말한다. 새싹채소는 주로 콩나물처럼 반밀폐형 용기에서 물로만 키우며, 새싹채소 종류로는 무순, 보리순, 알팔파싹, 브로콜리싹, 유채싹, 적양배추싹, 레드비트, 크래스, 해바라기, 적무, 클로버, 겨자, 부추, 보리, 배추, 양파, 옥수수, 치커리, 적케일, 완두 등이 있다. 새싹채소는 주로 비빔밥, 일식 부재료, 생식용, 요리장식용 등에 이용된다.

2002년 이전에는 재배가 미미하였으나 최근 웰빙채소로 주목받으면서 새싹채소의 재배면적은 2005년 65ha에 달했고, 해마다 증가하고 있고, 2005년 160억원 가량 이던 시장 규모 역시 점차 증가하고 있는 추세이다 (새싹·쌈채소 생산·유통실태 및 육성방안, 2006).

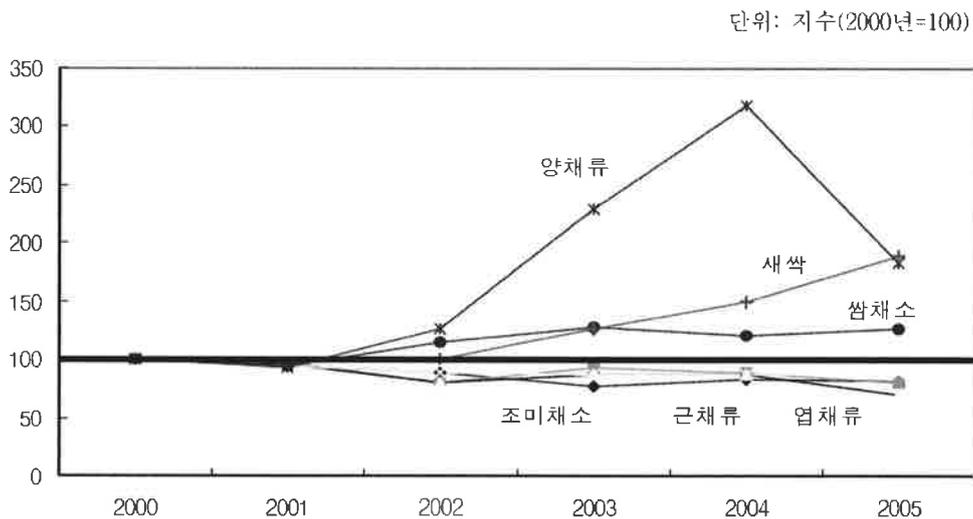


그림 2-1. 채소류 재배면적 지수 변화

짧은 재배기간과 성체보다 비타민·미네랄의 함량이 성체보다 약 3~4배가량 높아 각광받고 있는 새싹채소는 그 기능성 면에서 일반 채소보다 우수하지만, 국내에 도입되어 이용된 것은 2000년대 초로 가정에서 안전하게 재배할 수 있는 방법이나 생산된 새싹채소 내 기능성 성분 및 함량에 대한 자료가 미흡한 실정이다.

최근 건강에 대한 관심이 증가하고 영양가와 기능성 채소의 필요성이 증대됨에 따라 신선편이식품의 안전성 확보가 필요한데, 식약청에 따르면 새싹 채소류를 신선편이식품으로 분류하였고 이는 그대로 섭취할 수 있는 식품을 의미한다. 이에 따라 미생물 규격에 부합되는 새싹채소 종자의 세척 및 살균처리 기술이 필요하고, 재

배과정에서 외부 유해환경을 차단할 수 있는 재배 시스템 개발이 필요하다.

표 2-1. 2010.6.16.일 식약청 기준 미생물 규격

식중독균	규격
대장균	10/g 이하
살모넬라	음성
대장균 O157:H7	음성
황색포도상구균	100/g 이하
바실러스 세레우스	10 <sup>3</sup> /g 이하
클로스트리디움 퍼프린젠스	100/g 이하

새싹채소 생산방식은 크게 두 가지가 있는데, 트레이 판에 전통적인 콩나물 재배 방법과 같이 인공배지를 피복하지 않은 상태에서 직접 파종하여 저면관수방식으로 기르는 방법과 드럼 내에서 종자가 정기적으로 움직이면서 길러지는 드럼회전식 새싹채소 재배방식이 있다. 드럼회전식 재배기는 종자의 크기, 새싹의 성장단계에 따른 적정 수분 공급 장치 및 습도 유지를 위한 자동화 생산시스템이 결합되어 있었으나 고정식 대형 드럼을 개별 수확 및 충전이 가능한 5개의 원형 드럼셀로 개발하여 파종, 수확 및 청소작업 등의 획기적인 개선 및 새싹채소의 품질 향상에 기여하는 연구가 진행되었다 (드럼회전식 새싹채소 생산용 관수 및 광환경 설비의 자동화 시스템 개발, 2009). 그러나 이러한 생산과정의 가장 큰 문제점은 유해세균을 방지하는 것으로 청결상태를 유지하기 위해 철저한 위생관리가 필요한 실정이다.

현재 새싹채소의 경우 신선편이 식품과 동일하게 콜드체인 시스템을 갖추어 거래되고 있으나, 도매시장에 출하할 경우 상온에서 유통되기 때문에 신선도가 유지되지 않아 품질 면에서 문제가 발생하고 있다. 새싹채소의 소비가 많은 미국, 유럽, 일본 등에서는 새싹채소로 인한 집단식중독이 자주 발생하였다. 일본의 경우, 1996년 새싹채소 O-157 사건으로 약 1만 2천명의 식중독환자가 발생하였고, 이 중 12명이 사망한 사고로 인해 새싹채소의 위생관리 문제가 대두되기도 했다. 식중독의 원인은 생육과정에 적절한 통제를 하지 않은 것과, 가공공정 중에 이차적인 오염에 의한 것으로 추정되는데, 새싹채소의 소비가 점차적으로 증가하고 있는 우리나라에서도 집단식중독이 발생할 여지가 있다 (웰빙 새싹채소의 미생물학적 안전성 향상을 위한 최소 가공공정과 항균포장기술의 개발, 2009) (새싹채소 생산현장에서 재배 공정별 미생물학적 위해 평가, 2009).

현재 판매되고 있는 새싹채소 재배기는 대부분 플라스틱 구조의 단순한 재배용기의

형태인데, 2007년 채소과동으로 인해 가정에서 재배할 수 있는 플라스틱 재배용기의 수요가 일정기간 급증하기도 하였으나, 사용상에 있어 사용자의 지속적인 관리가 필요하고 여러 가지 절차를 거쳐야 번거로움으로 인해 수요가 더 이상 증가하고 있지는 않다. 한국후지필름은 현재 에어로가든 이라는 소형 채소 생산 시스템을 국내에 유통 중이고, 국내 판매에서 매출이 매달 30%씩 꾸준히 늘고 있다. 에어로가든의 경우 상추 및 샐러드류 만을 재배할 수 있는데, 재배기간이 3~4주 가량으로 길고 온도와 습도에 대한 제어가 되지 않으며 밀폐형이 아닌 외부 환경에 노출되는 형태이다.

## 제 2 절 국외 관련(유사)제품생산 및 시장 현황

미국, 유럽, 호주 등의 새싹채소 시장은 전체 채소시장의 20~30%를 차지하고 있음. 미국의 경우 연간 200억달러 이상의 새싹채소가 소비되고 있다. 미국은 새싹채소 재배, 생산, 유통, 소비의 모든 단계가 체계적으로 관리되고, 재배부터 유통까지 정부차원의 지원과 가이드를 제시하고 있으며, 정부의 지원을 통해 각종 연구기관에서 식중독균 제어방안 제시 및 연구를 활성화하고 있다. (새싹·베이비채소 농산물 유해미생물 안전생산 시스템 개발, 2010) 일본의 경우 식물공장 또는 야채공장이라고 부르는 대량생산 공장제 생산방식이 활발하게 진행되고 있다. 다카츠 박사는 1970년대에 식물공장 연구를 시작하면서 식물공장의 정밀 성장데이터를 축적하였으며, 이러한 분석 결과로 식물공장에서는 샐러드용 채소의 성장속도가 노지재배보다 5~6배 정도나 빠르다는 것을 확인한 바 있다.

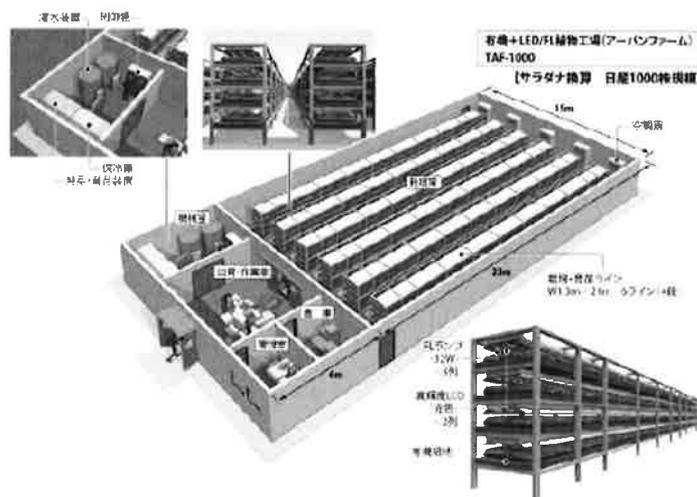


그림 2-2. 식물공장·농상공전문위원회(www.sdrc.jp)

일본 큐피(Kewpie)주식회사는 1919년에 창업한 마요네즈 제조업체로, 원료농산물

을 친환경농법으로 계약재배하여 가공하는 업체인데, 1984년에 수경재배에 기초한 식물공장 연구에 착수하여 1986년에 독자적인 재배 방식을 개발하였다. 인공광원으로 고압나트륨램프를 사용하고 삼각판넬(Triangle Panel)에 분무식으로 양액공급(Spray Culture)을 하는 재배방식(TS팜)으로, 1일 양상추 1,500주 출하가 가능한 650m<sup>2</sup> 규모의 설비를 기본형(판매9가 2억 2천만엔)으로 개발하여 1992년부터 플랜트 판매를 시작했고, 이 식물공장은 1999년까지 전국에 12개소로 가장 많이 보급되어 현재도 가동 중이다. 여기서 생산된 양상추 1주당 판매가격은 170엔 수준으로 일반 재배보다 1.5배 정도 높다.

일본 ESPEC社에서는 양액 순환장치를 포함하는 가정용 채소 생산시스템을 현재 일본 국내에서 판매하고 있으나, 비싼 가격과 양문형 대형 냉장고에 준하는 큰 사이즈로 인해 실제 가정에서 구입하여 사용하기에는 제약이 많은 실정이다.

### 제 3 절 개발기술의 산업화 방향 및 기대효과

#### 1. 산업화 방향(제품의 특징, 대상 등)

##### ○ 가정용 새싹채소 자동 재배 시스템

특정 새싹채소류에 최적화된 LED 광원을 장착하고, 관수에 대한 제어 및 적정 온도에 대한 제어가 지능적으로 이루어지는 밀폐형의 새싹채소 자동 재배 시스템을 구성한다. 개발된 재배시스템은 기존의 재배기에 비하여 내부 온도, 광, 관수등의 재배 환경이 자동으로 제어된다는 점, 새싹채소별로 최적의 성장과 기능성 함량 물질 증진을 위한 과장제어가 가능하다는 점, 살균된 종자카트리지의 보급으로 안정성이 확보되었다는 점에서 기존 재배기와 차별성이 있다. 웰빙 채소류의 생산/유통체계 구축을 위한 경기도 대응전략(2007)의 소비실태 설문조사에 따르면, 4인 가구 기준 새싹채소 소비량은 한 달에 약 200~250g으로 조사되었다. 이는 4인가구가 약 2~3회 섭취할 수 있는 양이며, 본 가정용 새싹채소 자동 재배 시스템에서는 1회 재배시 최대 200g 까지 재배할 수 있도록 구성하여 소비자의 요구에 따라 1주일에 최대 3회 섭취할 분량을 생산할 수 있는 재배기를 개발한다.

##### ○ 살균 처리된 종자 발아 카트리지 개발 및 RFID TAG System

소비자가 카트리지를 자동 재배 시스템에 장착함으로써 간단히 재배할 수 있도록 살균 세척된 종자 발아 카트리지 개발한다. 살균 세척된 종자 발아 카트리지는 소모성 보급품으로 구성되며, 소비자가 포장을 제거하여 카트리지를 재배기에 삽입하면 카트리지 하부에 장착된 RFID 칩을 재배기가 인식하여 재배기간 동안의 재배

환경을 제어한다.

2. 산업화를 통한 기대효과

(단위 : 백만원)

표 2-2. 새싹채소 재배기의 연차별 기대효과

항 목	산업화 기준	1차년도	2차년도	3차년도	계
직접 경제효과		1,000	3,000	5,000	9,000
경제적 파급효과		2,000	4,000	6,000	12,000
부가가치 창출액		2,000	4,000	6,000	12,000
합 계		5,000	11,000	17,000	33,000

- ※ 직접 경제효과 : 본 연구과제 개발기술의 산업화를 통해 기대되는 제품의 매출액 추정치
- ※ 경제적 파급효과 : 본 연구과제 개발기술의 산업화를 통한 농가소득효과, 비용절감효과 등 추정치
- ※ 부가가치 창출액 : 본 연구과제 개발기술의 산업화를 통해 기대되는 수출효과, 브랜드가치 등 추정치

## 제 3 장 연구 개발 수행 내용 및 결과

### 제 1 절 소비자 설문 조사 및 분석

#### 1. 설문 항목 선정

설문항목은 새싹채소에 대한 일반인들의 소비 형태와 자동 재배 시스템에 대한 일반인들의 요구사항을 중심으로 선정하였다. 설문 내용은, 새싹채소의 섭취 빈도, 새싹채소 재배기의 예상 가격, 선호하는 새싹채소의 종류, 새싹채소의 기능적 측면 등이 있다.

**1주일에 몇 회 정도 새싹채소를 먹습니까?(비빔밥, 샐러드 등)**

1~2회  
 3~4회  
 5~6회  
 매일  
 먹지않음

**온도조절과 물을 자동으로 공급하는 새싹채소 재배기의 적정 가격은 어느 정도라고 생각하십니까?**

5~10만원  
 10~15만원  
 15~20만원  
 20~30만원  
 기타:

그림 3-1. 소비자 설문조사-1

**선호하는 새싹채소의 종류는 무엇입니까?(복수응답 가능)**

브로컬리  
 메밀  
 무순  
 알팔파  
 잎상추류  
 클로버

**새싹재배 기능(온도제어, 관수량제어, 광량제어) 이외에 가습기 기능을 원하십니까?**

예  
 아니오

**새싹이 자라나는 과정을 볼 수 있도록 참이 필요하다고 생각하십니까?**

예  
 아니오

**가정용 새싹 채소 재배기에 추가하고 싶은 기능이 있습니까?**  
(서술형)

그림 3-2. 소비자설문조사-2

## 2. 설문 대상 및 방법 선정

설문 방법에 있어서 오프라인 조사뿐만 아니라 인터넷을 이용한 설문 배포도 가능하도록 품을 제작하였다. 설문 대상은 주로 새싹채소 재배 시스템의 주요 구매층이라고 볼 수 있는 30~50대 여성을 상대로 100개의 설문응답을 얻었다.

## 3. 설문조사 결과 및 분석

설문 조사 결과 오프라인으로 19개, 온라인으로 81개의 응답을 받았고, 주요한 설문 3가지의 응답에 대해서는 그림 3-3~5에 나타내었다. 1주일간 새싹채소를 먹는 횟수에 대한 응답에서 1~2회, 2~3회에 대한 비율은 전체의 73%로 계획된 가정용 새싹채소 재배기의 새싹 생산량에 적합한 비율이 높음을 확인하였다. 때문에 본 시스템이 구상하고 있는 5일 주기의 생산 사이클을 소비자들이 무리 없이 받아들일 수 있을 것으로 예상된다. 소비자들이 적합하다고 생각하는 새싹채소 재배기의 크기는 전자레인지 또는 그보다 약간 작은 크기인 전기밥솥 정도가 74%를 차지하였

고, 최종 계획된 새싹채소 재배기의 크기와 비슷한 수준이다.

가격에 관한 설문조사 결과 소비자가 희망하는 친환경 가정용 새싹채소 재배기의 가격은 5~10만원이 50%, 10~15만원이 36%, 15~20만원이 10%로 나타나, 10만원대 가격에 대한 응답이 도합 약 86% 수준으로 나타났다. 펠티어 소자 및 방열판, 쿨러가 장착된 시스템의 경우 온도제어를 위한 구성품으로만 부품단가가 5만원 수준으로 전체 시스템을 10만원 수준에서 구현하는 데에는 무리가 있어 재배기의 시장가격을 낮추기 위해 온도제어 방법에 대한 고찰이 요구되었다.

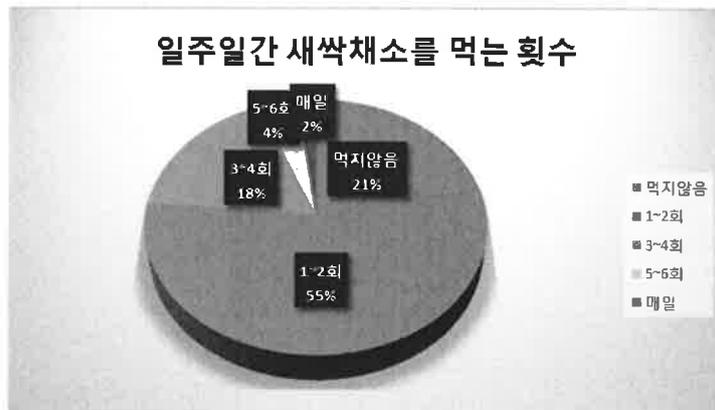


그림 3-3. 설문조사 - 새싹채소의 일주일간 섭취 횟수



그림 3-4. 설문조사 - 재배기의 크기에 대한 선호도



그림 3-5. 설문조사 - 재배기의 예상 판매 가격

## 제 2 절 새싹채소류의 최적 환경 생육인자 구명 및 발아촉진 기술 개발

### 1. 새싹채소의 최적 성장 환경 구명

가. 다양한 새싹채소의 파종 밀도에 의한 생육

파종 밀도는 새싹채소의 재배 중 중요한 고려 사항 중 하나이다. 소비자가 선호하는 대표적인 새싹채소인 알팔파, 브로콜리, 무, 적무, 클로버, 콜라비 종자를 공시하여 파종 밀도에 따른 발아율, 생육량, 미생물 수를 조사하였다. 실험에 사용한 종자는 새싹 채소 재배용으로 사용되는 벌크 종자를 사용하였고, 종자 밀도는 9cm × 9cm의 새싹재배기에 종자의 무게 차이로 설정하였다(그림 3-6, 7).

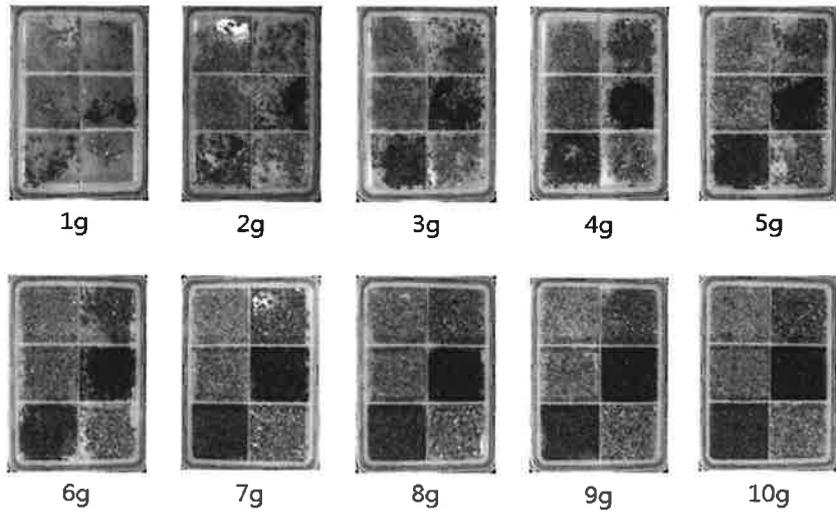


그림 3-6. 파종 밀도에 따른 파종 후 1일 클로버(좌상), 알팔파(좌중), 브로콜리(좌하), 무(우상), 콜라비(우중) 적무(우하)

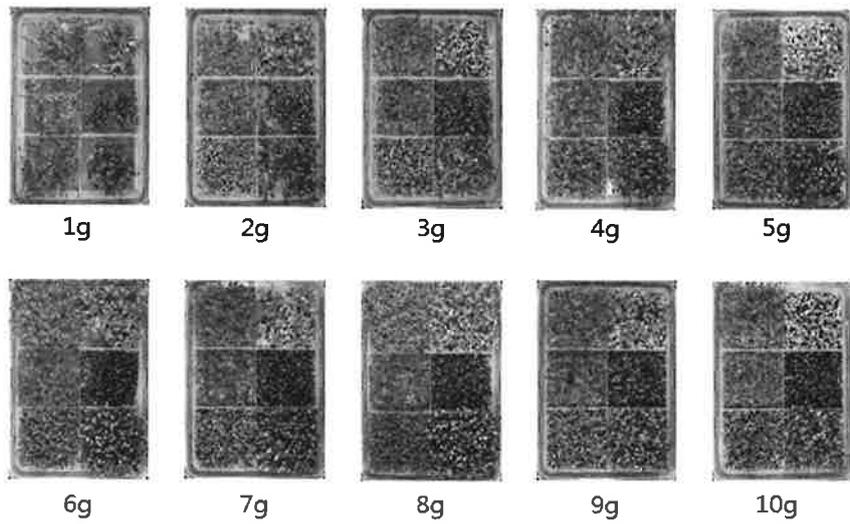


그림 3-7. 파종 밀도에 따른 파종 후 6일 클로버(좌상), 알팔파(좌중), 브로콜리(좌하), 무(우상), 콜라비(우중) 적무(우하)

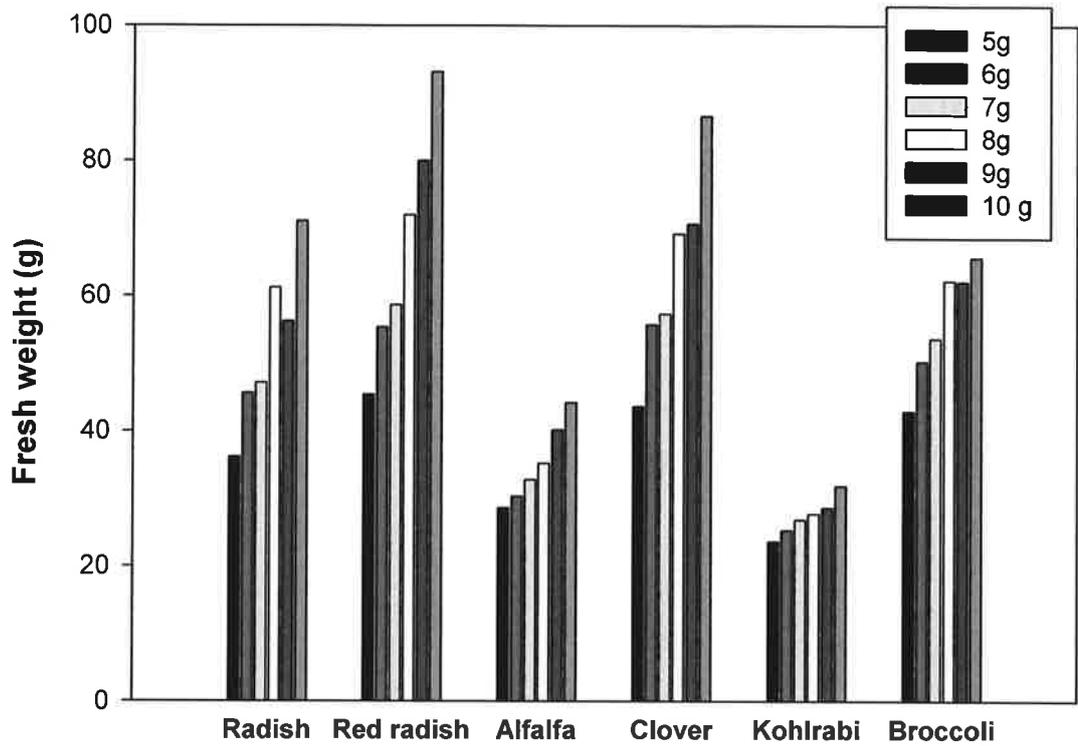


그림 3-8. 파종 밀도에 따른 파종 후 6일 무, 적무, 알팔파, 클로버, 콜라비, 브로콜리의 생체중

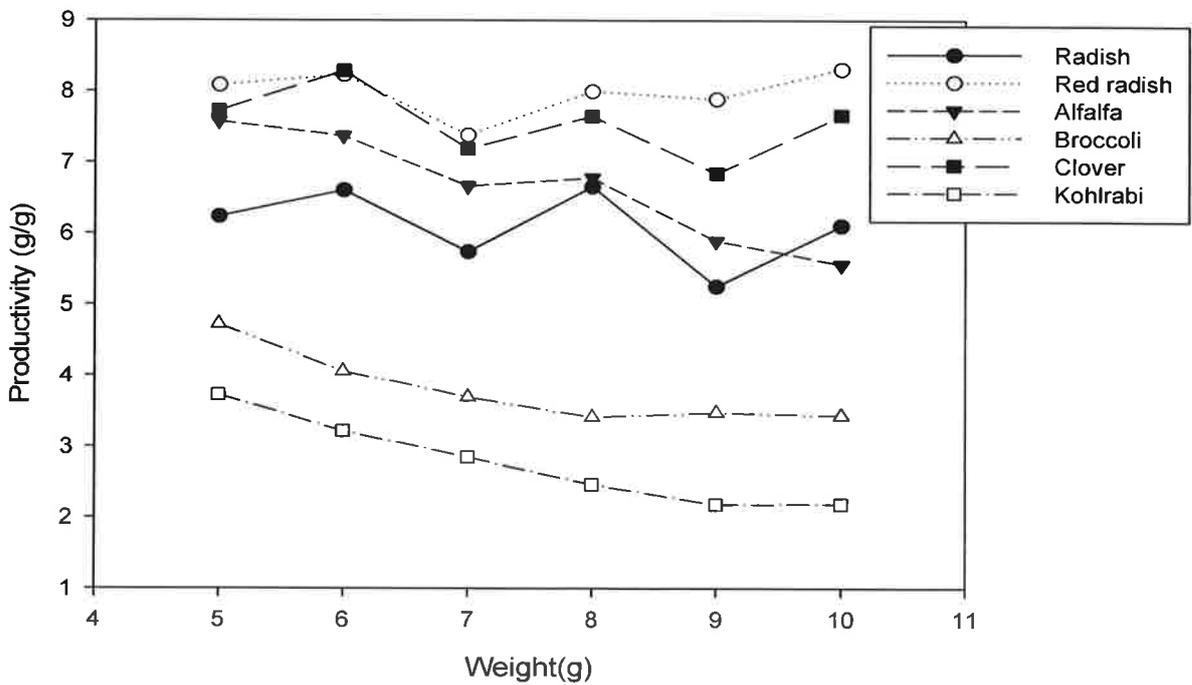


그림 3-9. 파종 밀도에 따른 파종 후 6일 무, 적무, 알팔파, 클로버, 콜라비, 브로콜리의 생산량

알팔파, 브로콜리와 콜라비는 파종 밀도가 5g 이상일 경우 생산량이 감소하는 추세를 보였으며 무, 적무와 브로콜리는 파종 밀도에 따른 생산량의 변화가 없었다. 본 실험을 통해 새싹채소 생산을 위해 카트리지 제작 시 각 작목별 생산량을 고려하여 적정 파종 밀도를 결정할 수 있었다.

#### 나. 관수량에 따른 무 종자의 생육

새싹채소의 최적 생장에 적합한 관수량 확인을 확인하고자 무종자를 공시하여 일일 관수량을 1, 2, 3, 4 및 5mL로 설정하여 9cm×9cm 펠트리디쉬에서 5일간 실험을 수행하였다. 파종 전 침지 시간은 12시간이었으며 재배 시 환경조건은 주야간 온도 23/19°C, 광도는  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이었다. 무 종자의 경우 일일 관수량에 따라 생육량이 급격히 변화하였으며, 일일 3mL의 관수 처리구에서 가장 높은 생체량 및 길이 생장을 보였다. 일일 1회 관수가 아닐 경우 발아단계, 발육 및 성장 단계 및 수확 전 기능성 강화 단계로 구분하여 관수의 최적 조건을 조절할 필요가 있다.

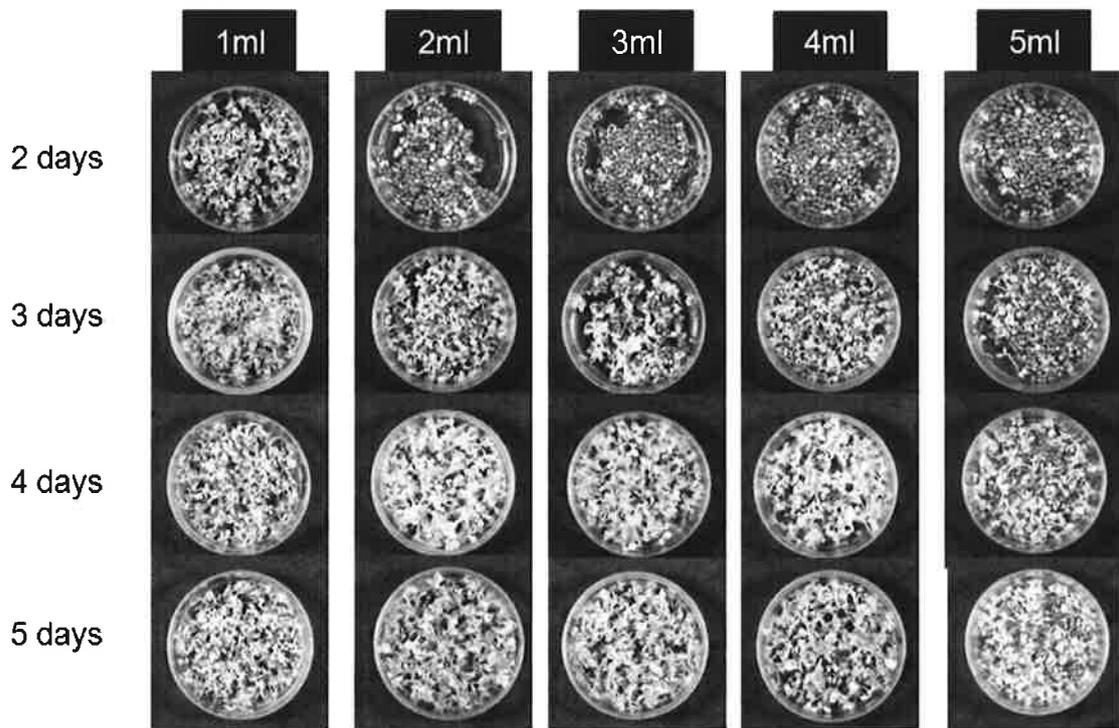


그림 3-10. 다양한 관수량에 따른 무 종자의 생육

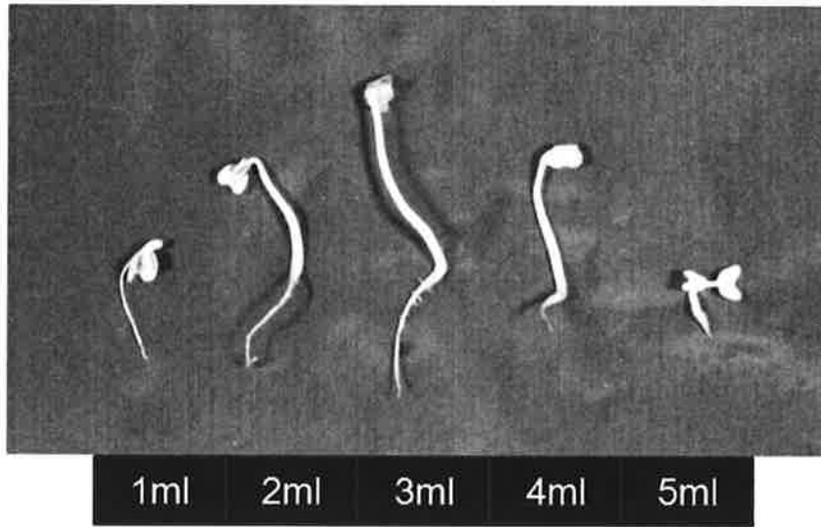


그림 3-11. 다양한 관수량에 따른 파종 후 5일 무 종자의 생육

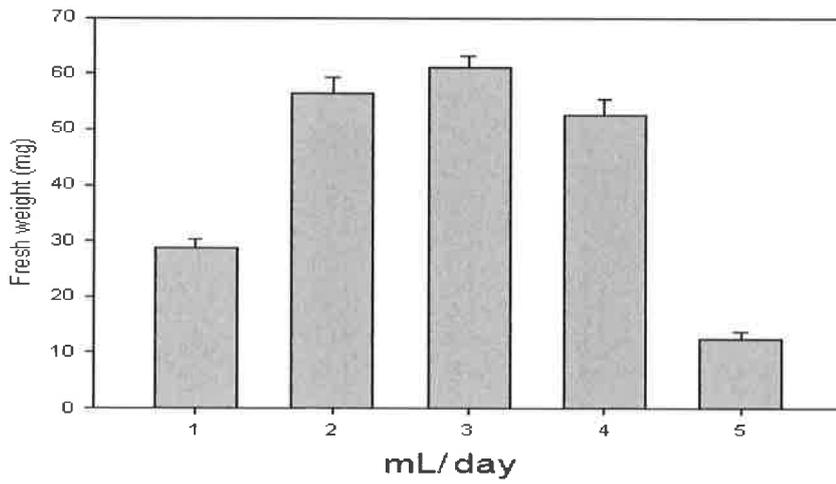


그림 3-12. 다양한 관수량에 따른 파종 후 5일 무 종자의 생체중

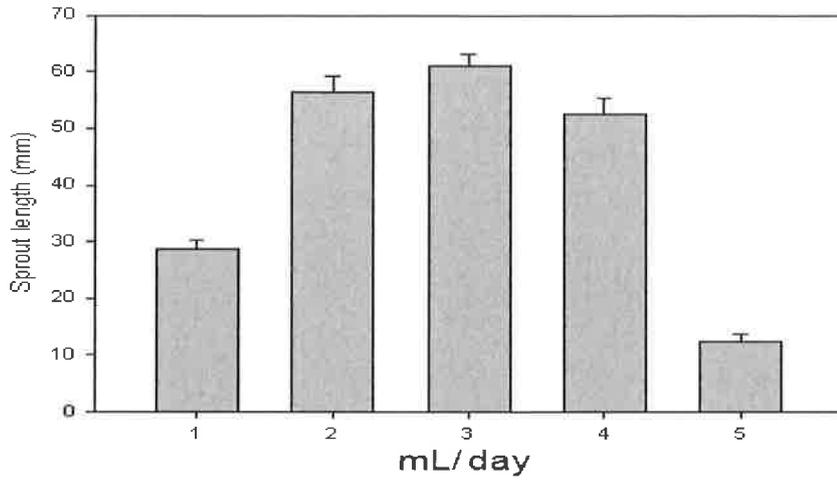


그림 3-13. 다양한 관수량에 따른 파종 후 5일 무 종자의 길이

#### 다. 광질에 따른 무 종자의 생육

새싹채소의 최적 생장에 적합한 광질 구명하고자 무 종자를 공시하여 광질에 따른 생육을 조사하였다. 광조사는 형광등(FL)과 단색 LED(적색: R, 청색: B, 녹색: G)를 사용하였다. 새싹채소 재배를 위한 파종 전 침지 시간은 12시간이었으며 일일 관수량을 3mL로 5일간 실험을 수행하였다. 새싹재배 중의 온도는 온도 23/19°C, 광도는  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 조절하였다. 형광등에 비해 적색, 녹색 LED 단독구에서 유의적인 생체중 증가가 확인되었으며, 적색 LED 단독구에서 기타처리구에 비해 길이 생장이 가장 많이 증가하였다. 광질의 조절을 통해 새싹채소의 생체량 및 길이의 조절이 가능하므로 소비자가 원하는 새싹채소 생산이 가능함을 확인하였다. 청색 LED와 UV LED를 이용한 기능성 강화 이전의 발육 성장 단계에는 길이 생장 및 성장량 증가를 위해 적색 LED를 사용하여 재배하는 것이 적합할 것이다.

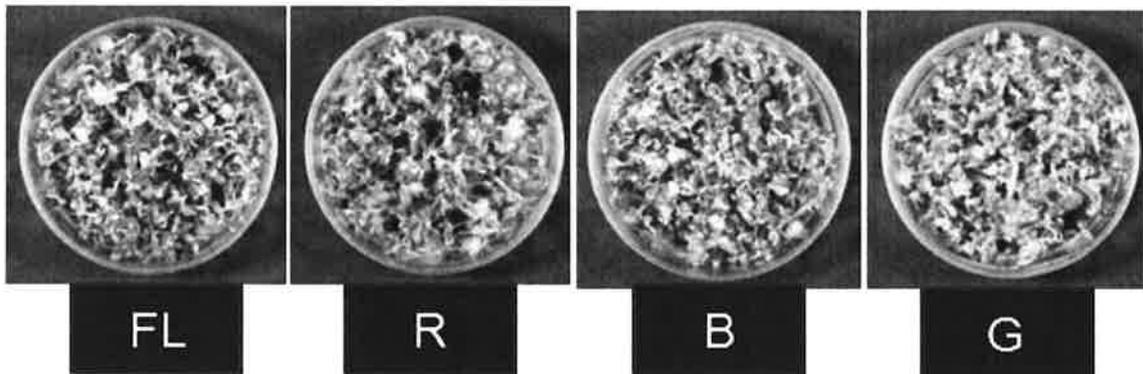


그림 3-14. 광질에 따른 파종 후 5일 무의 생육 (FL:형광등, R: 적색LED, B: 청색LED, G:녹색LED)

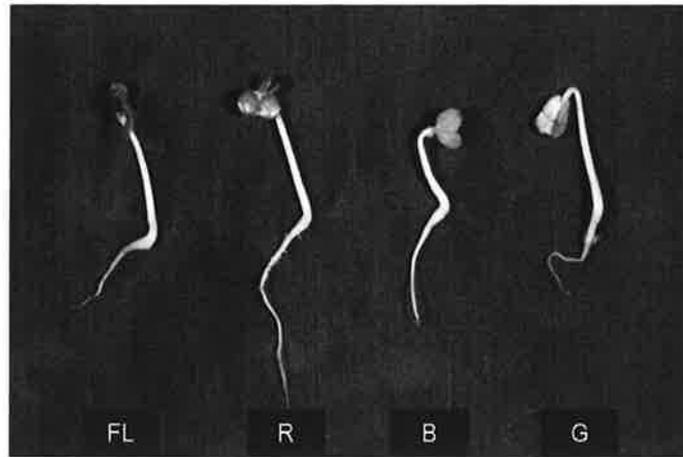


그림 3-15. 광질에 따른 파종 후 5일 무 개체의 생육 (FL:형광등, R: 적색LED, B: 청색LED, G:녹색LED)

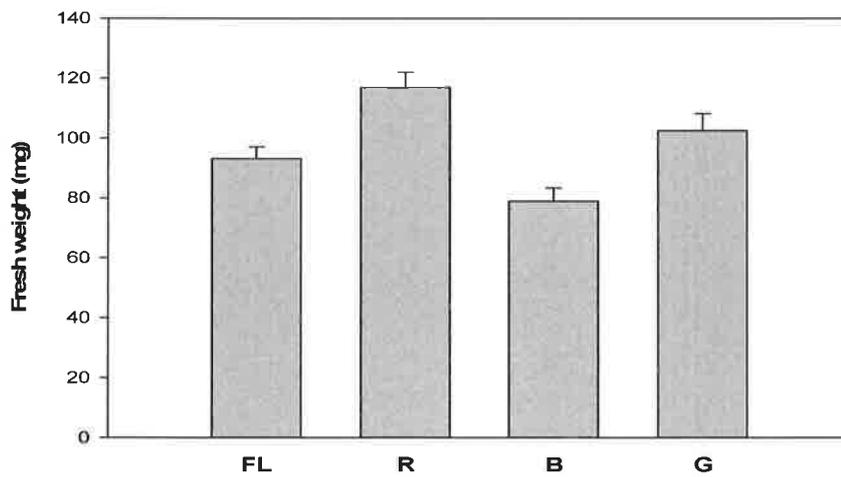


그림 3-16. 광질에 따른 파종 후 5일 무의 생체중 (FL:형광등, R: 적색LED, B: 청색LED, G:녹색LED)

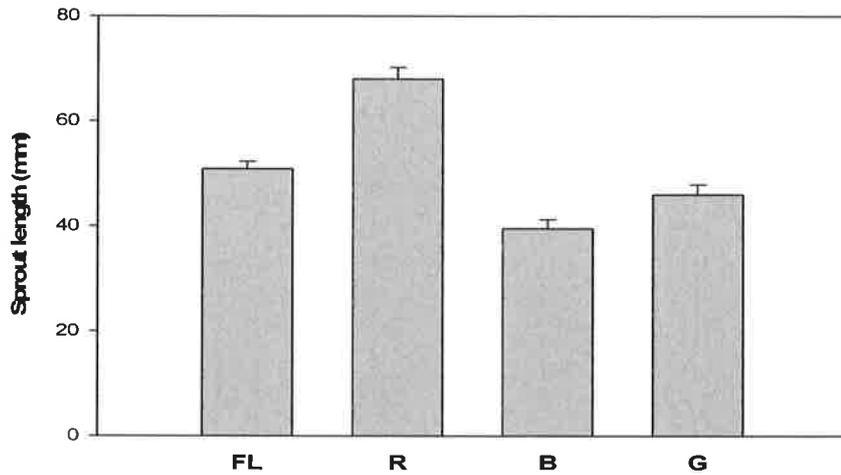


그림 3-17. 광질에 따른 파종 후 5일 무의 길이 (FL:형광등, R: 적색LED, B: 청색LED, G:녹색LED)

#### 라. 새싹채소의 발아 촉진 기술 개발

- 온도: 새싹채소로 재배되는 작목들의 발아는 상온에서 충분히 가능하며, 재배기 내에 열선을 이용하여 온도 조절이 가능하기 때문에 온도 조건은 발아에 최적으로 유지 될 것으로 판단된다.
- 수분: 발아에 필요한 수분은 재배 개시 후 포습될 정도로 제어가 가능하며, 발아 이후의 관수 제어는 작목별 기존의 연구결과를 바탕으로 프로그래밍 될 것이다.
- 산소: 발아에 필요한 산소 공급은 포습 이후의 관수량 조절을 통하여 이루어진다.

## 2. 새싹채소 종자 살균처리 및 세척 기술 개발

알팔과 종자를 공시하여 다양한 살균처리(표 3-14) 및 처리 시간에 따른 일반 미생물 수의 변화 및 발아율을 조사하였다. 일반적인 새싹채소 생산 공정(그림 3-74) 중 세척 및 침지과정에 다양한 살균 방법을 이용하여 살균처리를 실시하였다. 종자를 침지한 후 종자의 표면에 있는 미생물의 수를 조사하였다. 기존 실험에서 살균력을 확인한 마이크로오존 버블의 오존 농도는 일정한 수준을 유지한 채 처리하였다.(그림 3-76). 시험간의 환경조건은 기온 23°C, 광도는  $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 였음. 일반미생물 수는 standard count agar를 이용하여 36°C에서 24시간 배양 후, 대장균은 Desoxycholate agar를 이용하여 36°C에서 24시간 배양 후, 살모넬라균은 Salmonella shigella agar를 이용하여 36°C에서 48시간

배양 후에 조사 하였다.

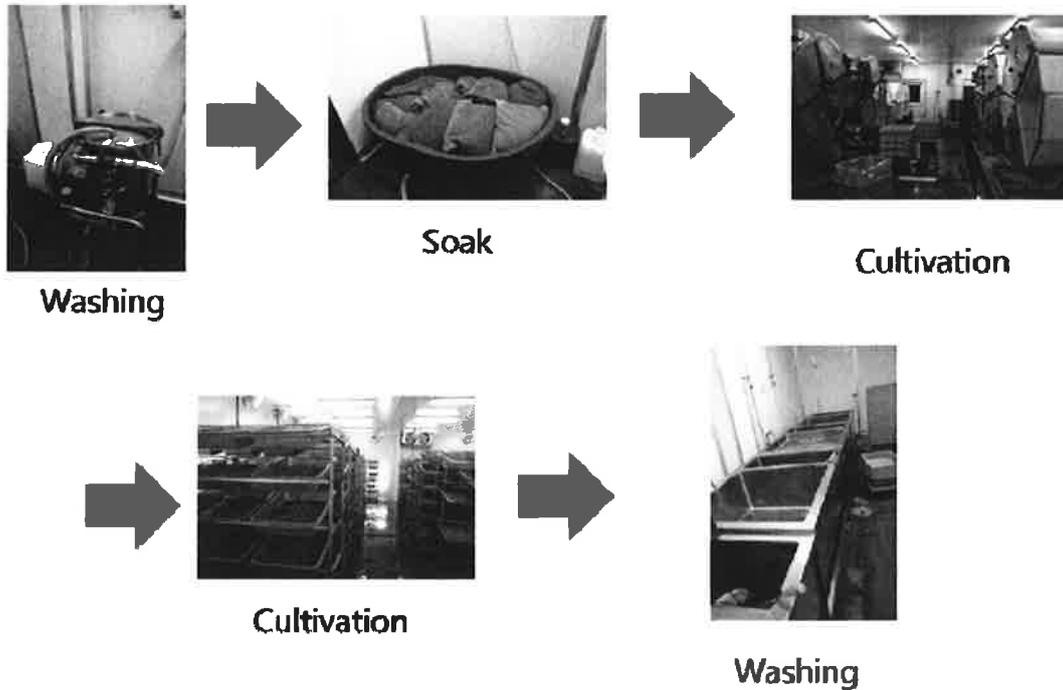


그림 3-18. 일반적인 새싹채소 생산 공정.

그림 3-19에 제시된 시스템을 구축하기 위하여 연구에 사용한 마이크로 오존 버블은 마이크로버블발생기((주) 한국이엠비기술)와 오존발생기(한국 오존 엔지니어링)를 이용하여 발생시켰다. 물리적인 살균효과의 척도가 되는 마이크로버블의 내압은  $4 \text{ kg/cm}^2$ 이다. 마이크로 버블 분사에 의한 물리적인 살균량은 펌프의 토출량으로 조절이 가능하다

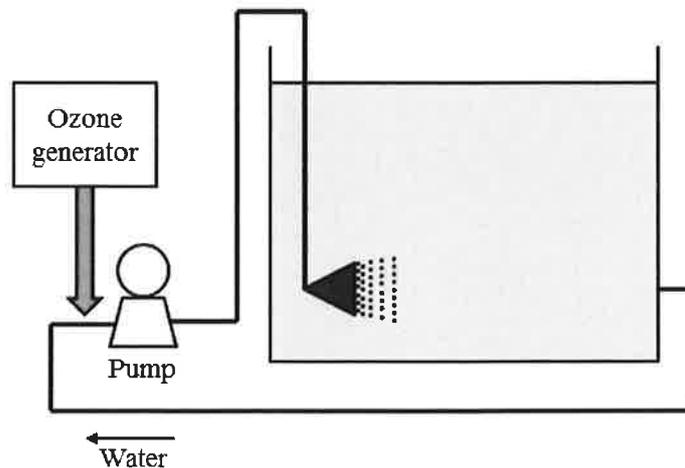


그림 3-19. 마이크로 오존 버블 생성기의 모식도

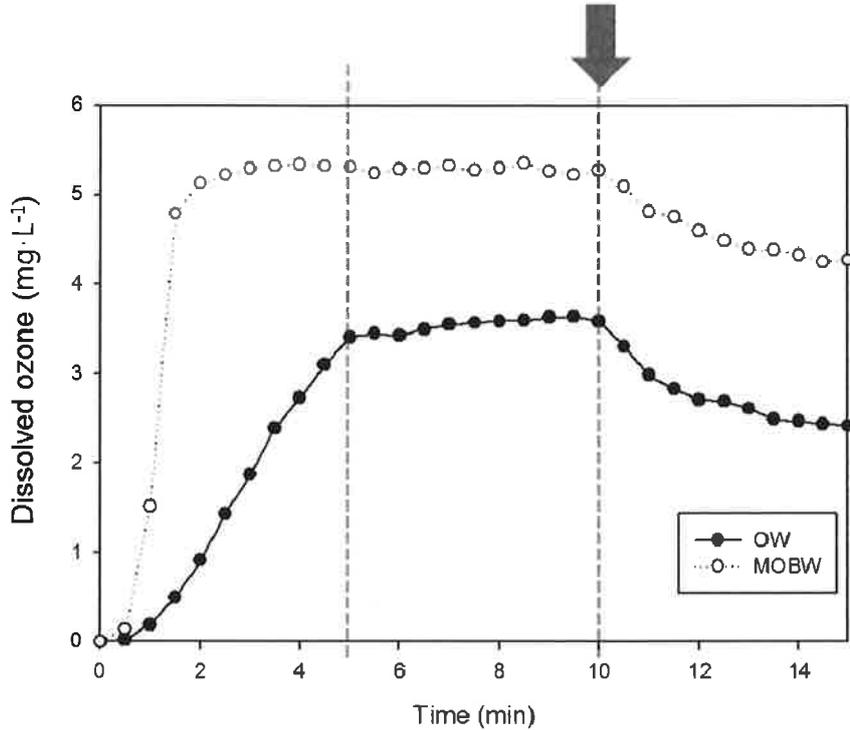


그림 3-20. 오존수 및 마이크로버블 오존수의 오존 농도 변화

표 3-1. 다양한 살균처리 및 농도

	Treatments	Concentration (mg·L <sup>-1</sup> )
NW	Non-Washed	-
TW	Tap Water	-
MABW	Micro Air Bubble Water	-
OW	Ozone Water	3.5
MOBW	Micro Ozone Bubble Water	5.3
CL	Chlorine	500

(가) 다양한 살균처리에 의한 일반 미생물 수

알팔파 종자를 공시하여 살균 처리 직후와 재배가 종료되는 처리 후 5일의 일반 미생물 수 변화를 조사하였다. 알팔파 종자의 일반미생물 수를 조사한 결과 살균처리 직후 마이크로 오존 버블 및 염소수 처리구에서 100 미만의 CFU/mL 값이 나타났으나, 5일 후에는 나머지 처리구와 마찬가지로 10<sup>7</sup>수준까지 높아졌다. 살균처리 직후에는 미생물 수 감소의 효과가 있으나, 적은 수라도 미생물이

존재하면 시간이 경과함에 따라 미생물 수는 급격히 증가하여 처리의 효과가 없어지는 것을 확인하였다.

표 3-2. 알팔파 종자의 다양한 살균처리에 의한 미생물 수 변화

Treatment	Standard plate count (CFU/mL)		Treatment	Standard plate count (CFU/mL)
NW	3.9x10 <sup>4</sup>	➔	NW	8.1x10 <sup>7</sup>
TW	3.1x10 <sup>4</sup>		TW	7.2x10 <sup>7</sup>
MABW	1.4x10 <sup>4</sup>		MABW	6.7x10 <sup>7</sup>
OW	9.6x10 <sup>3</sup>		OW	4.7x10 <sup>7</sup>
MOBW	7.0x10		MOBW	4.3x10 <sup>7</sup>
CL	5.5x10		CL	3.9x10 <sup>7</sup>

(나) 마이크로 오존 버블의 처리 시간에 따른 미생물 수 변화

기존 실험에서 살균 효과가 높았던 마이크로 오존 버블을 이용하여 처리 시간에 따른 미생물 수의 변화를 조사하였다. 마이크로 오존 버블 처리가 10분 이상일 경우 일반 미생물이 검출되지 않았으며, 마이크로 오존 버블의 처리시간이 30분까지 증가하여도 발아율의 감소는 나타나지 않았다. 미생물이 검출되지 않았던 10분 이상의 처리구에서는 처리 후 5일이 경과하여도 일반 미생물이 검출되지 않았다. 마이크로 오존 버블을 이용하여 살균처리를 할 경우 안전한 새싹 채소 생산이 가능함을 확인하였다.

표3-3. 알팔파 종자의 마이크로 오존 버블 처리 시간에 따른 미생물 수 변화

Treatment	Standard plate count (CFU/mL)	Germination rate (%)	Standard plate count (CFU/mL)
5	6.0x10	94.7	3.7x10 <sup>4</sup>
10	0	94.7	0
15	0	94.0	0
20	0	93.3	0
25	0	94.0	0
30	0	92.7	0

3. 새싹채소 종자의 세척 및 소독을 통한 프라이밍 효과 구명  
가. 새싹채소 종자의 표면 관찰을 통한 살균 방법

소비자는 새싹채소의 안정성을 중요하게 생각하므로, 새싹채소 종자의 세척, 소독 및 살균을 위해 종자의 표면을 관찰하고자 하였다. 알팔파, 브로콜리, 메밀, 무, 적무, 클로버, 콜라비 종자를 공시하여 표면을 광학현미경과 주사전자현미경을 사용하여 관찰하였다. 종자의 표면을 관찰한 결과 알팔파 종자를 제외한 나머지 종자의 경우 표면에 미생물이 부착하기 용이한 구조를 갖고 있었다. 새싹 채소종자의 살균 및 세척 시 종자 표면 구조 중 미생물이 부착하기 쉬운 부위를 확인하고 이를 고려하여 적합한 살균법을 선택해야 한다.



그림 3-21. 알팔파 종자의 표면



그림 3-22. 브로콜리 종자의 표면

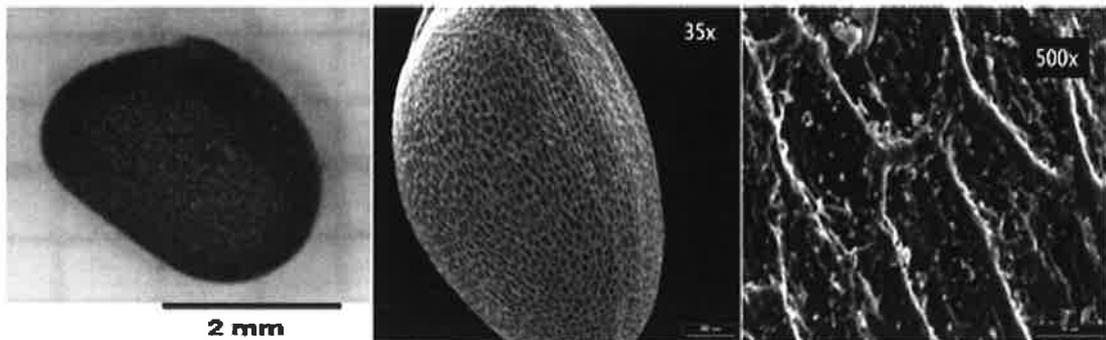


그림 3-23. 무 종자의 표면

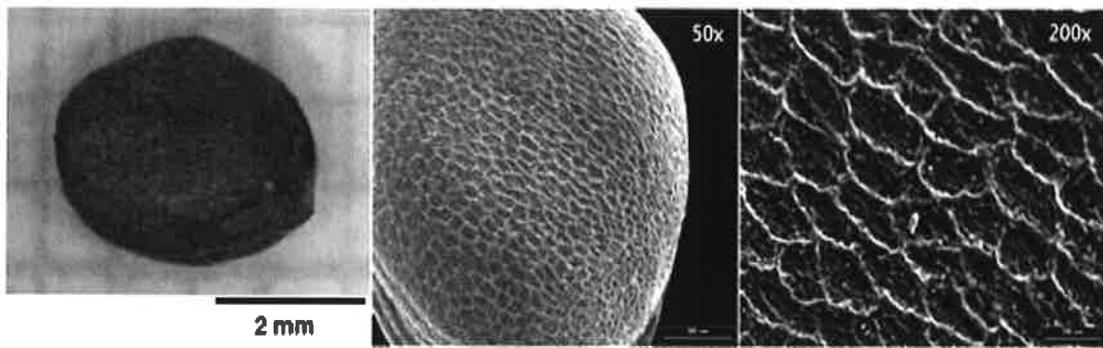


그림 3-24. 적두 종자의 표면

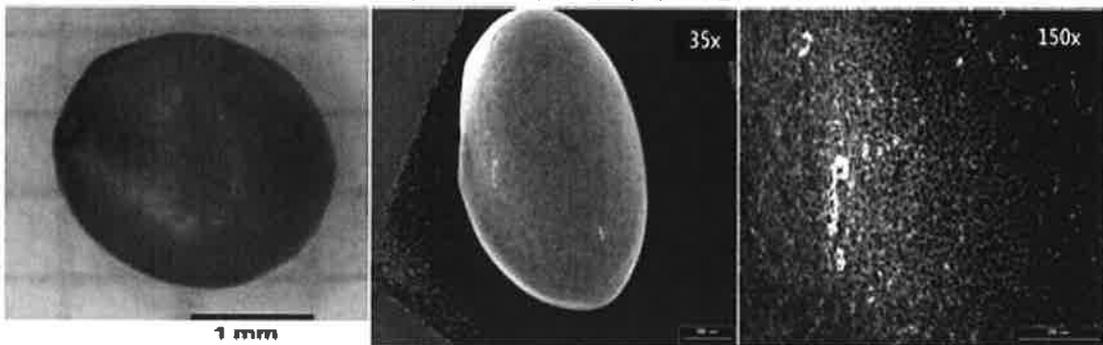


그림 3-25. 클로버 종자의 표면

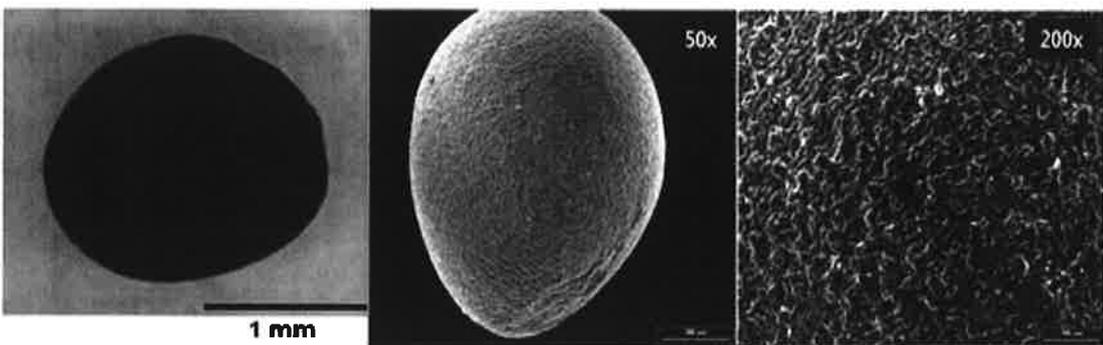


그림 3-26. 콜라비 종자의 표면

#### 나. 알팔파 종자의 살균을 위한 다양한 살균 방법의 적용

안정적인 새싹채소 생산을 위해 종자의 살균을 통해 미생물 수를 감소시키고자 하였다. 예비실험 결과 미생물 수가 가장 많았던 알팔파 종자를 공시하여 지름 9cm의 페트리디시에서 실험을 수행하였다. 재배 시 기온은 23°C, 일장은 18시간, 관수는 3mL/24h, 광도는  $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이었다. 살균처리는 수돗물, 마이크로에어버블수,  $500\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 염소수,  $3.5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 오존수,  $5.3\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 마이크

로오존버블수를 사용하여 실시하였다. 알팔파 종자의 다양한 살균 처리 후 미생물 농도를 조사하기 위하여 일반 세균은 standard plate count agar에서 24시간 36°C, 대장균은 Desoxycholate agar에서 48시간 36°C, 살모넬라균은 Salmonella shigella agar에서 48시간 36°C에서 배양 후 조사하였다. 알팔파 새싹채소의 생육을 확인하고자 살균처리 후의 발아율, 생체중, 새싹채소의 길이를 측정하였다.

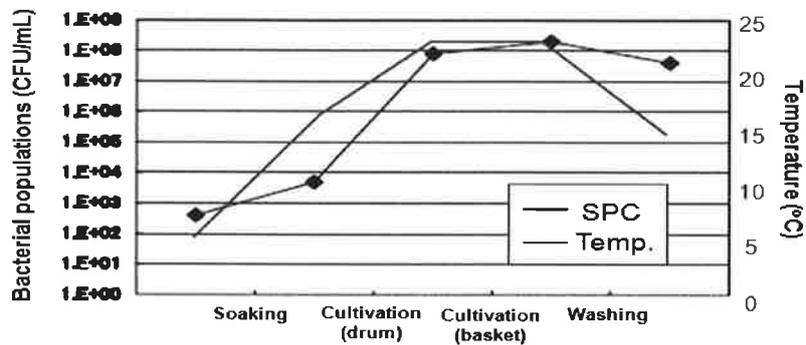


그림 3-27. 새싹채소 종자의 재배기간 중 온도 및 일반 미생물 수의 변화 (SPC: 일반미생물 수, Temp: 기온)

표 3-4. 다양한 살균 처리 후 알팔파 종자의 표면 미생물 농도

Treatment	Standard plate count (CFU/mL)	<i>E. coli</i>	<i>Salmonella sp.</i>
NW	3.9x10 <sup>4</sup>	Detected	N.D.
TW	3.1x10 <sup>4</sup>	Detected	N.D.
MABW	1.4x10 <sup>4</sup>	Detected	N.D.
OW	9.6x10 <sup>3</sup>	N.D.	N.D.
MOBW	7.0x10	N.D.	N.D.
CL	5.5x10	N.D.	N.D.

(처리시간: 5분, NW: 무처리, TW: 수돗물, MABW:마이크로에어버블수 OW: 오존수, MOBW: 마이크로오존버블수, CL: 염소수)

5분간의 다양한 살균 처리 후 알팔파 종자의 표면 미생물 농도를 조사한 결과, 살모넬라균은 모든 처리구에서 검출되지 않았다. 대장균은 무처리, 수돗물, 마이크로에어버블수 처리구에서 나타났으며, 오존, 마이크로에어버블수, 염소수 처리구에서는 검출되지 않았다. 마이크로에어버블구의 일반세균수는 수돗물구보

다 3분의 1정도로 감소하였다. 마이크로버블을 사용하지 않은 오존수 처리구와 마이크로오존버블수 처리구를 비교했을 때, 오존수와 마이크로버블을 함께 사용하였을 때 확연한 살균 효과를 보였다. 마이크로오존버블수 처리구의 살균효과는  $500\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 염소수 처리구와 유사한 살균 효과를 보였다.

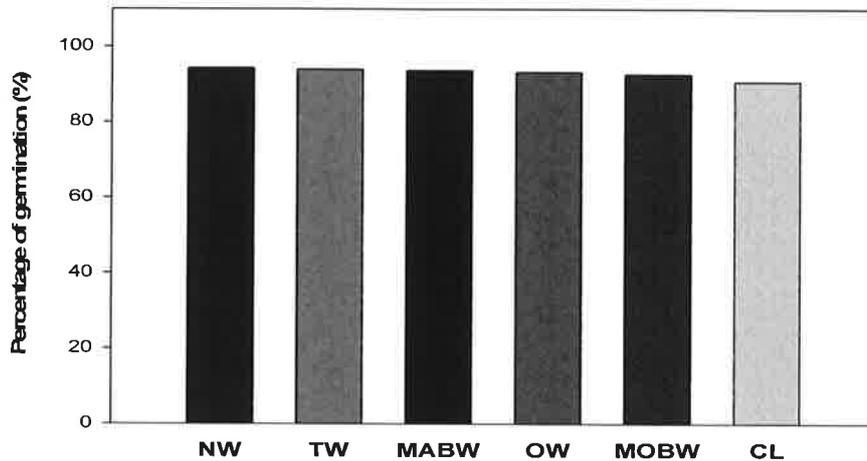


그림 3-28. 파종 후 3일 알팔파의 발아율

다양한 살균처리 후 발아율은 모든 처리구에서 높게 나타났으며, 5분간의 살균처리 후 염소수, 오존수, 마이크로버블오존수에 의한 발아억제는 나타나지 않았다.

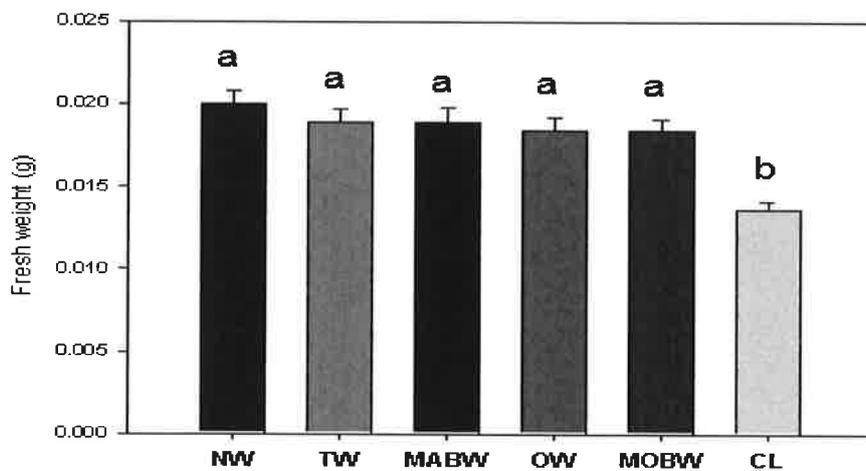


그림 3-29. 파종 후 5일 알팔파 새싹채소의 생체중

다양한 살균 처리 후의 생체중 감소는 염소 처리구에서의 가장 극명하였으며 이는 잔류 염소에 의한 생육 저해 현상으로 판단된다.

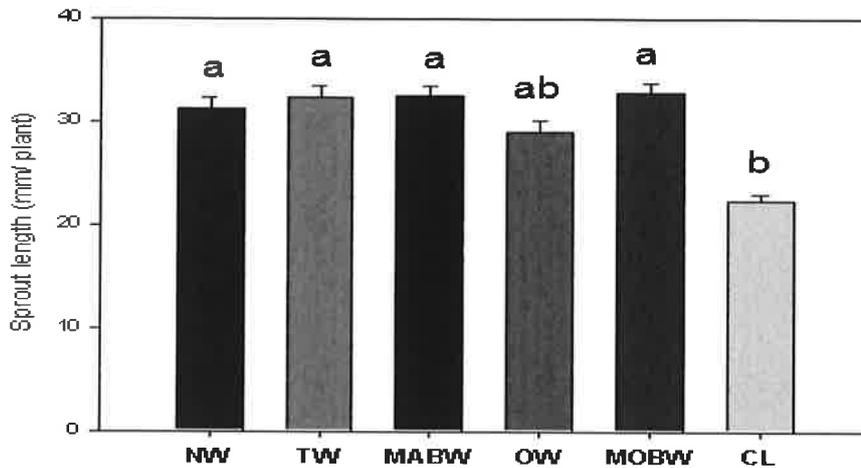


그림 3-30. 파종 후 5일 알팔파 새싹채소의 길이

알팔파 새싹채소의 길이는 염소수 처리구에서 유의적으로 짧았으며 잔류 염소에 의한 종자의 피해는 생장 및 길이 생장의 억제 효과를 나타냈다. 오존수 및 마이크로버블 오존수는 잔류에 의한 생육 억제 효과를 나타내지 않았다.

### 제 3 절 적정 LED 파장 및 종자 카트리지 설계인자 구명

#### 1. 새싹채소 신선도 증진을 위한 최적 LED 파장 구명

##### 가. 다양한 새싹채소의 LED 파장 조사에 따른 생육

브로콜리, 콜라비, 적무, 알팔파 및 클로버 종자를 공시하여 다양한 파장의 LED 조사에 따른 생육량, 초장 및 총 페놀 함량을 조사하였다.

##### (1) 다양한 새싹채소의 LED 파장 조사에 따른 생체중

새싹채소 재배는 처리구이외의 광 간섭을 최소화하기 위하여 9cm 페트리디시를 이용하여 심지 재배를 실시하였다. 실험에 사용된 LED는 적색광 LR W5SM, 청색광 LD W5SM, 녹색광은 LTW5SM LED로 오스람의 LED칩을 사용하였다. 광원의 파장은 스펙트로라디오미터(StellaNET)로 측정하였으며, 적색광은 625nm, 청색광은 455nm, 녹색광은 528nm에서 최댓값을 나타냈다. 파종 후 3일간의 암처리 후 2일간 각 LED 파장을 조사하였다(표 3-5). 실험에 사용된 새싹채소의 수는 15주였으며, 3반복으로 실시하였다.

표 3-5. LED 파장 및 광도.

처리구	광도( $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )
FL	50
RGB	40+5+5
RB	40+10
R	50
B	50
G	50

재배기간의 LED 광도는  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 일장은 16시간으로 설정하였다. 관행의 새싹 재배 시에 색 발현을 위해 낮은 광도 ( $10\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  이하)에서 재배되는 점을 감안하여,  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 까지 광도를 높여 성장을 촉진하고, 가정용 새싹재배기에서의 생육 기간을 단축하고자 하였다.

배추과 작물인 브로콜리, 콜라비, 적무에서는 청색광 처리구(B)에서 생체중이 가장 낮았다. 배추과 작물 중에서 잎을 주로 이용하는 브로콜리와 콜라비의 경우 적색광 및 녹색광에서 생체중이 다른 처리구에 비해 높았다. 배추과 작물 중 뿌리를 주로 이용하는 적무의 경우 형광등(FL) 및 백색광(RGB) 처리구에서의 생체중이 다른 처리구에 비해 높았다. 콩과 작물인 알팔파와 클로버에서도 청색광 처리구(B)에서 생체중이 가장 낮았다. 새싹채소의 종류에 따라 LED 파장에 따른 생장의 차이가 있음을 확인하였고, 같은 과의 작물에서도 그 반응이 상이하였다.

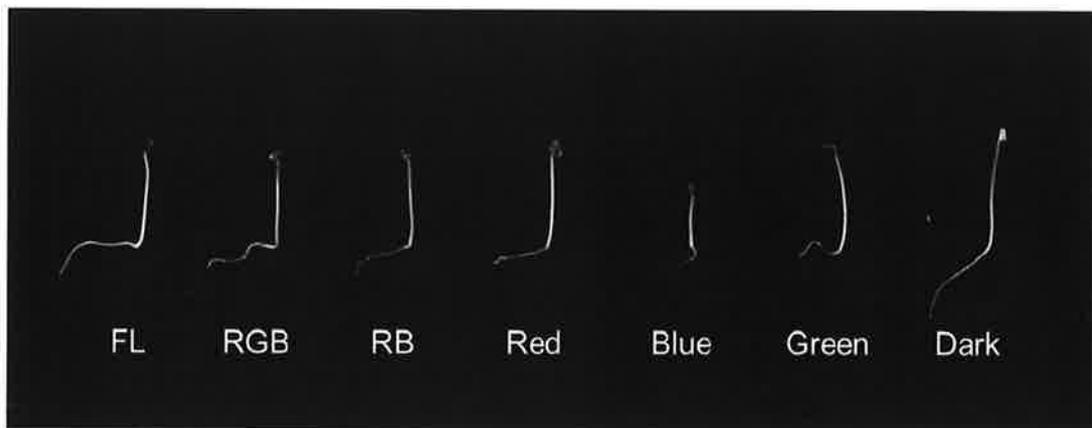


그림 3-31. 파종 후 5일 다양한 LED조사에 따른 브로콜리의 생육.

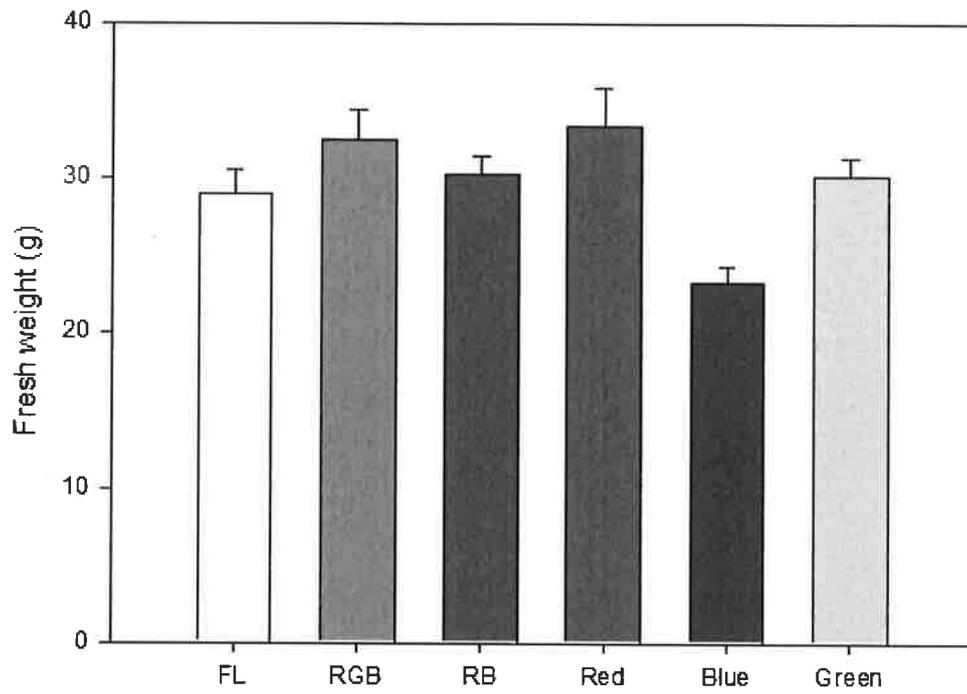


그림 3-32. 파종 후 5일 다양한 LED조사에 따른 브로콜리의 생체중.



그림 3-33. 파종 후 5일 다양한 LED조사에 따른 콜라비의 생육.

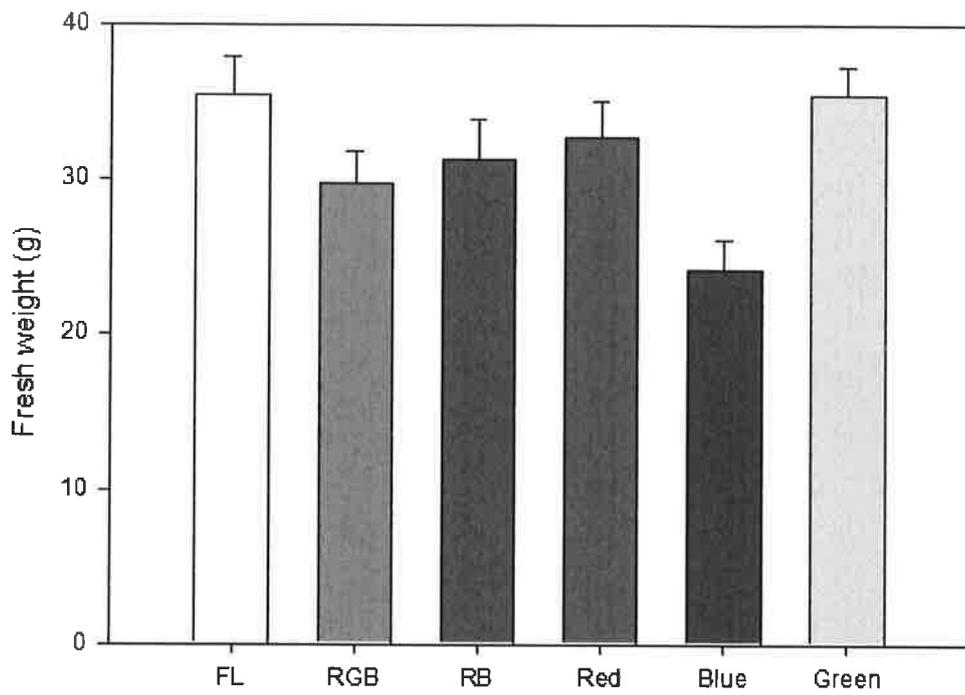


그림 3-34. 파종 후 5일 다양한 LED조사에 따른 콜라비의 생체중.

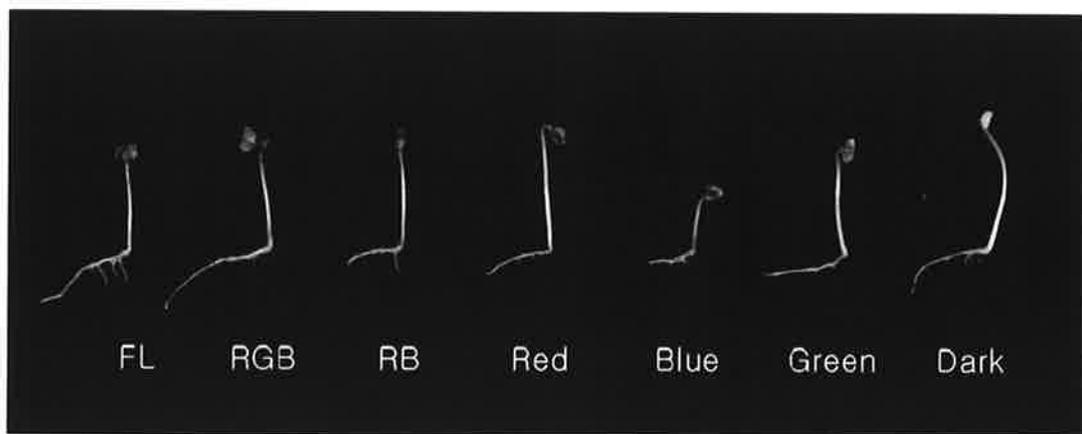


그림 3-35. 그림. 파종 후 5일 다양한 LED조사에 따른 적무의 생육.

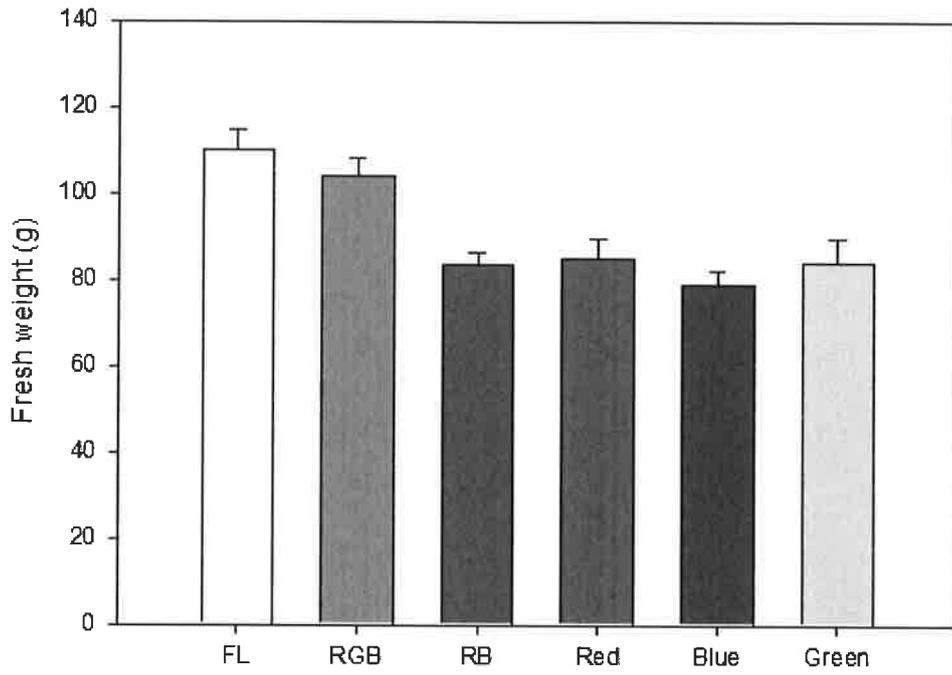


그림 3-36. 파종 후 5일 다양한 LED조사에 따른 적무의 생체중.

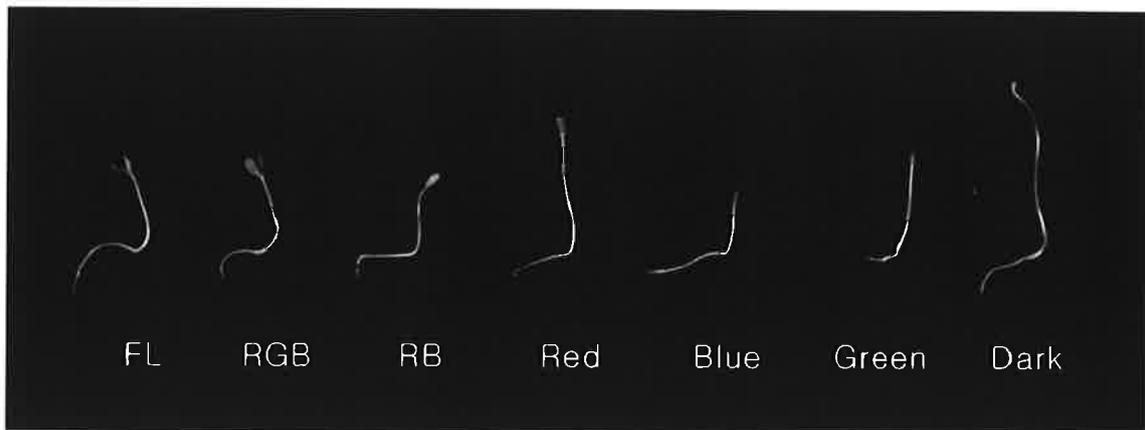


그림 3-37. 파종 후 5일 다양한 LED조사에 따른 알팔파의 생육.

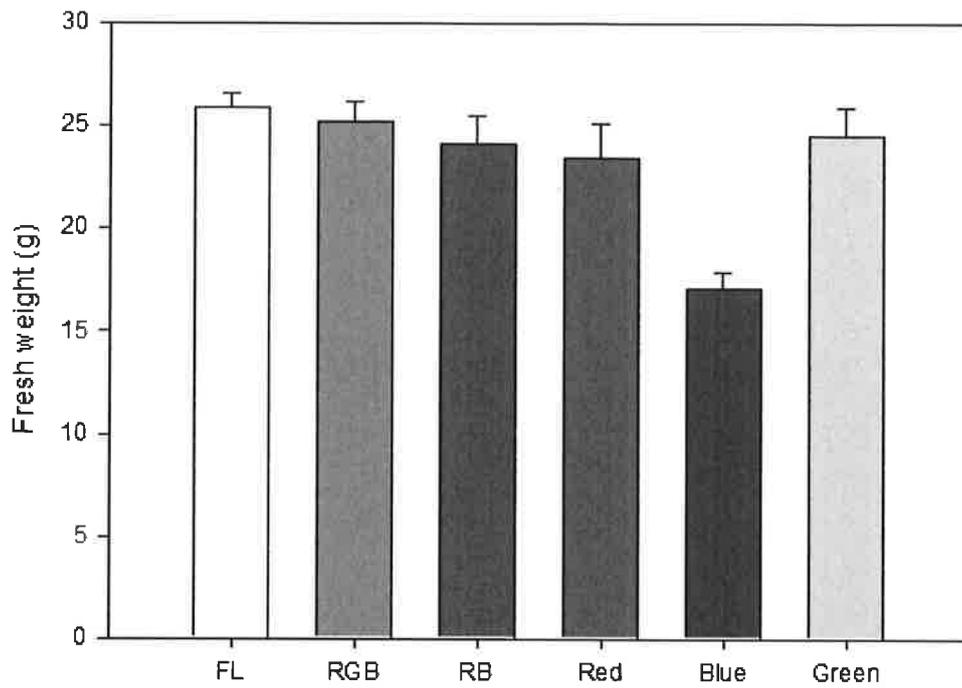


그림 3-38. 파종 후 5일 다양한 LED조사에 따른 알팔파의 생체중.

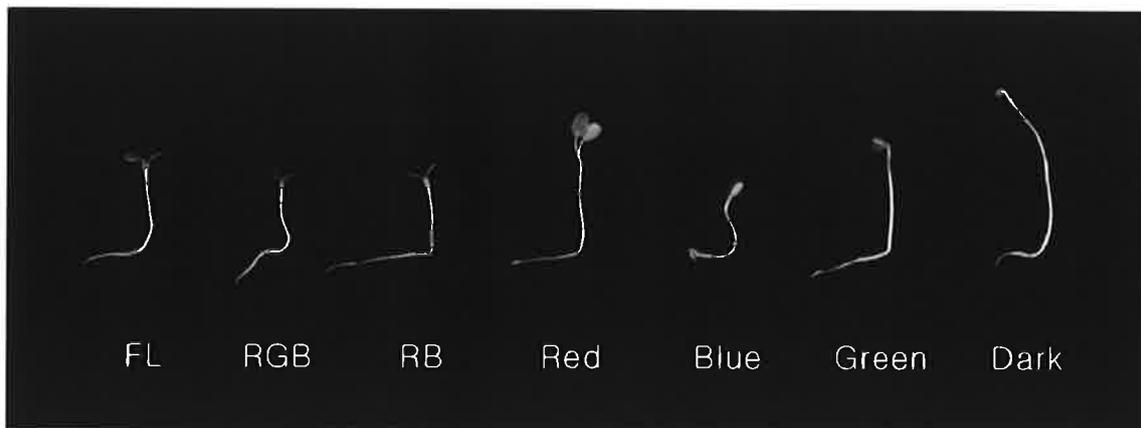


그림 3-39. 파종 후 5일 다양한 LED조사에 따른 클로버의 생육.

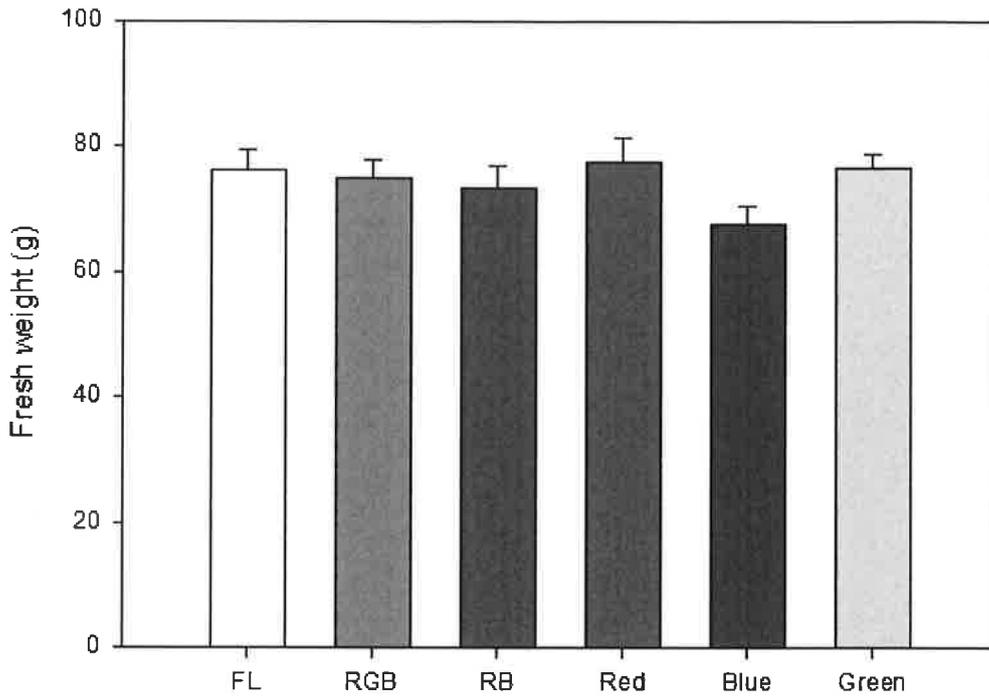


그림 3-40. 파종 후 5일 다양한 LED조사에 따른 클로버의 생체중.

(2) 다양한 새싹채소의 LED 파장 조사에 따른 초장

파종 후 5일 공시된 새싹채소의 뿌리를 제외한 지상부의 초장을 측정하였다. 배추과 작물인 브로콜리, 콜라비, 적무에서는 청색광 처리구(B)에서 초장이 가장 짧았다. 생체중과 마찬가지로 배추과 작물 중에서 잎을 주로 이용하는 브로콜리와 콜라비의 경우 적색광 및 녹색광에서 초장이 다른 처리구에 비해 길었다(그림 3-41, 42). 배추과 작물 중 뿌리를 주로 이용하는 적무의 경우 형광등 (FL) 및 백색광(RGB) 처리구에서의 초장이 다른 처리구에 비해 높았다(그림 3-43). 콩과 작물의 반응은 상이하게 나타났으며 알팔파는 백색광에서 클로버는 적색광 처리구(R) 및 녹색광 처리구(G)에서 초장이 가장 길었음(그림 3-44, 45).

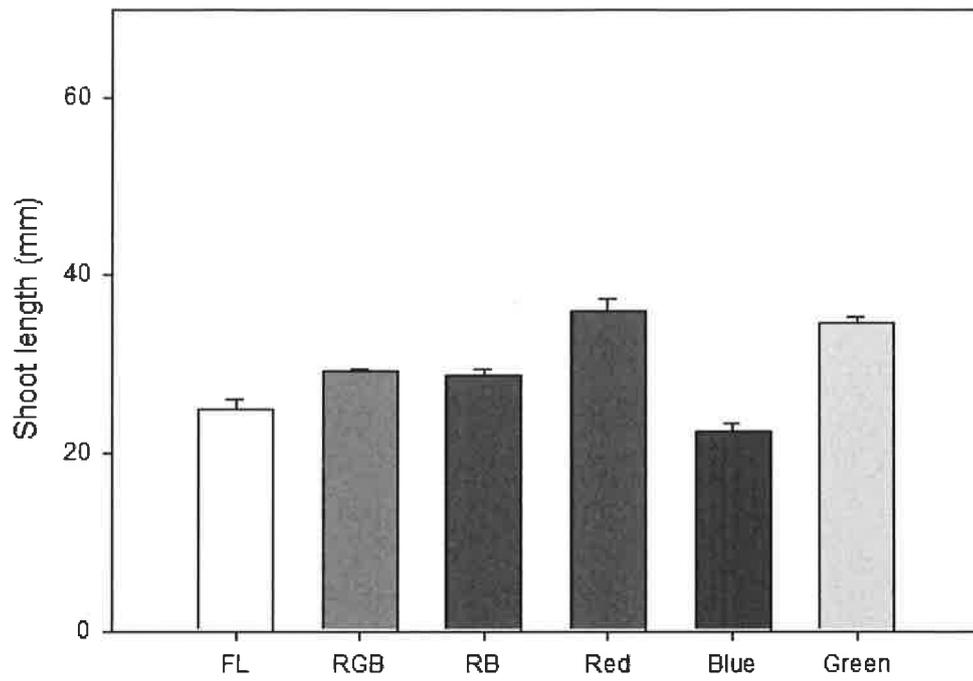


그림 3-41. 파종 후 5일 다양한 LED조사에 따른 브로콜리의 초장.

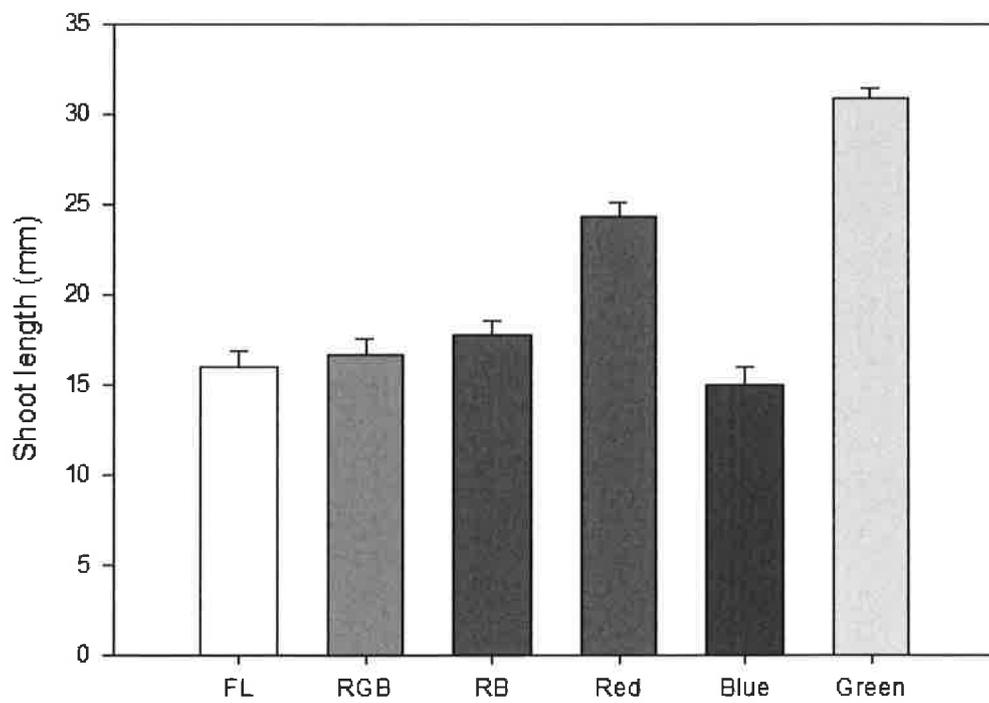


그림 3-42. 파종 후 5일 다양한 LED조사에 따른 콜라비의 초장.

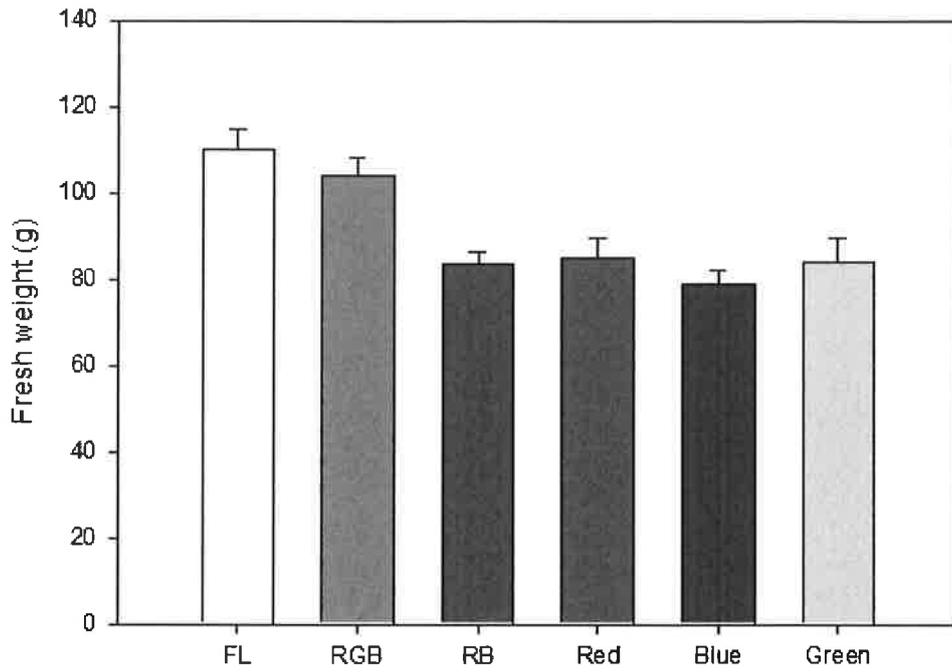


그림 3-43. 파종 후 5일 다양한 LED조사에 따른 적무의 초장.

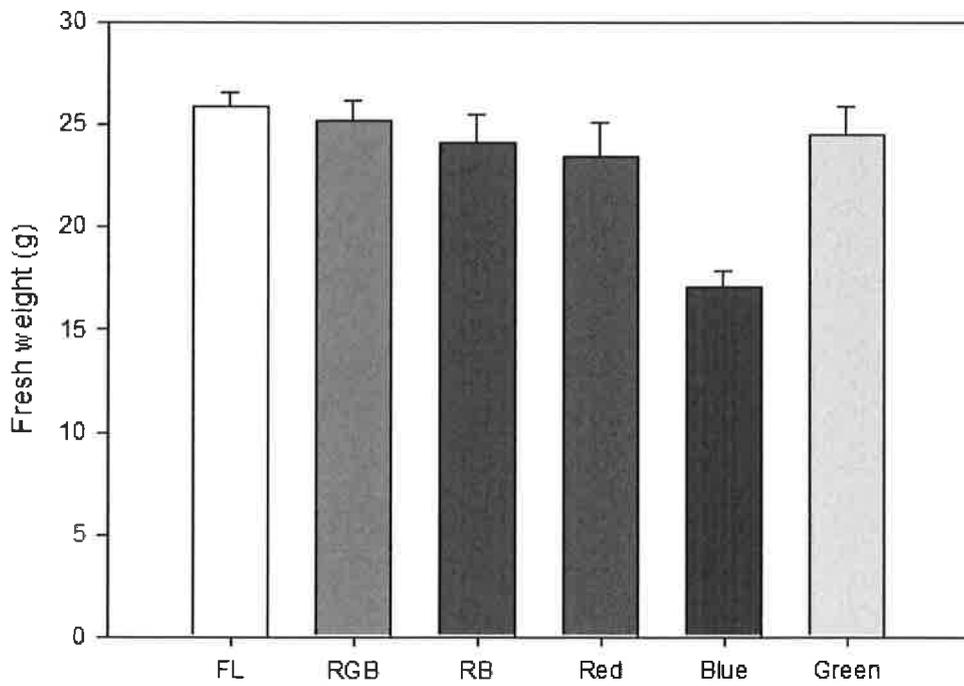


그림 3-44. 파종 후 5일 다양한 LED조사에 따른 알팔파의 초장.

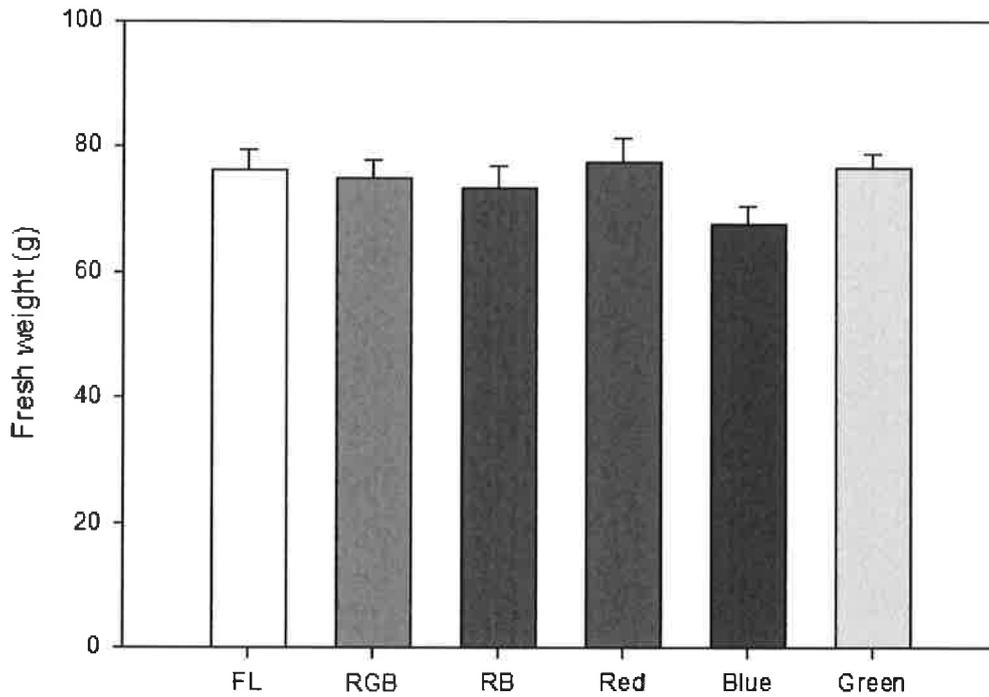


그림 3-45. 파종 후 5일 다양한 LED조사에 따른 클로버의 초장.

(3) 다양한 새싹채소의 LED 파장 조사에 따른 총 페놀함량

새싹채소의 기능성 성분 분석을 위해 파종 후 5일 새싹채소 전체를 균질화 하여 총 페놀함량을 측정하였다. 총 페놀함량은 새싹채소의 기능성 및 신선도 유지의 척도로 사용될 수 있다. 배추과 작물인 브로콜리, 콜라비 및 적무의 백색광 처리구(RGB)는 다른 처리구에 비해 총 페놀함량이 낮았다(그림 3-46). 콜라비의 경우 청색광 처리구(B)가 2.5mg/g F.W.으로 다른 처리구에 비해 가장 높았다(그림3-47). 적무의 경우 적색광 처리구(R)가 2.9mg/g F.W.으로 다른 처리구에 비해 가장 높았다(그림 3-48). 콩과 작물인 알팔파와 클로버는 청색광 처리구(B) 및 녹색광 처리구(G)에서 총 페놀함량이 가장 낮았음(그림 3-49, 50).

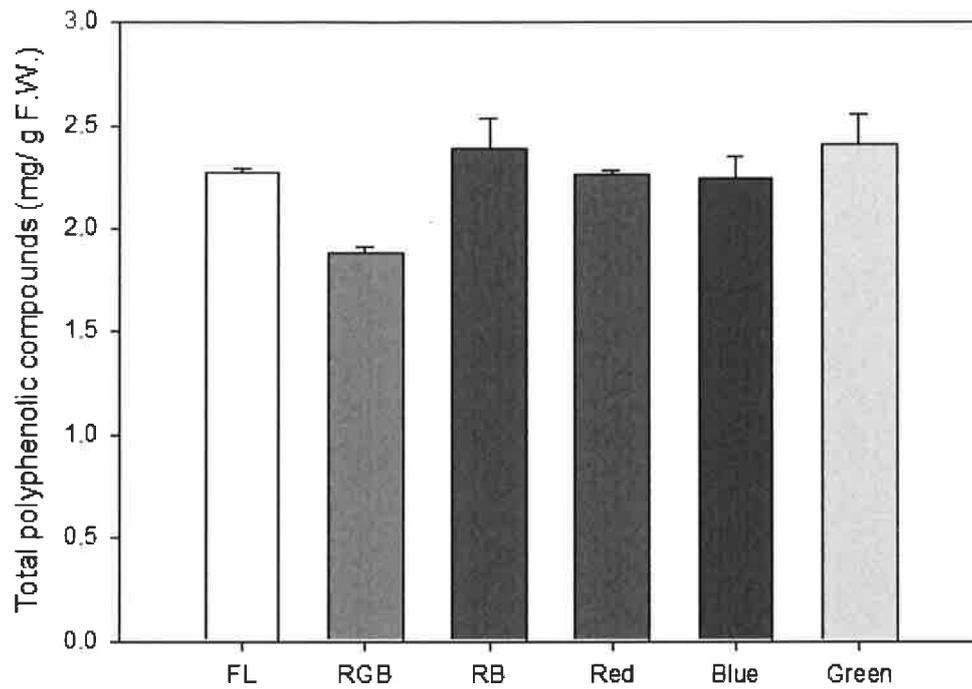


그림 3-46. 파종 후 5일 다양한 LED조사에 따른 브로콜리의 총 페놀 함량.

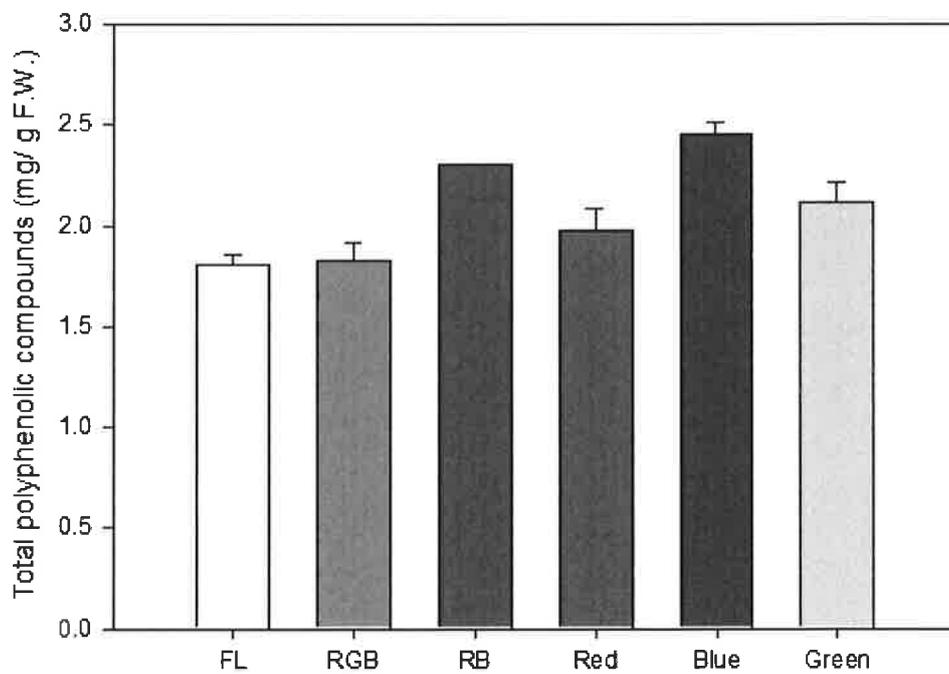


그림 3-47. 파종 후 5일 다양한 LED조사에 따른 콜라비의 총 페놀 함량.

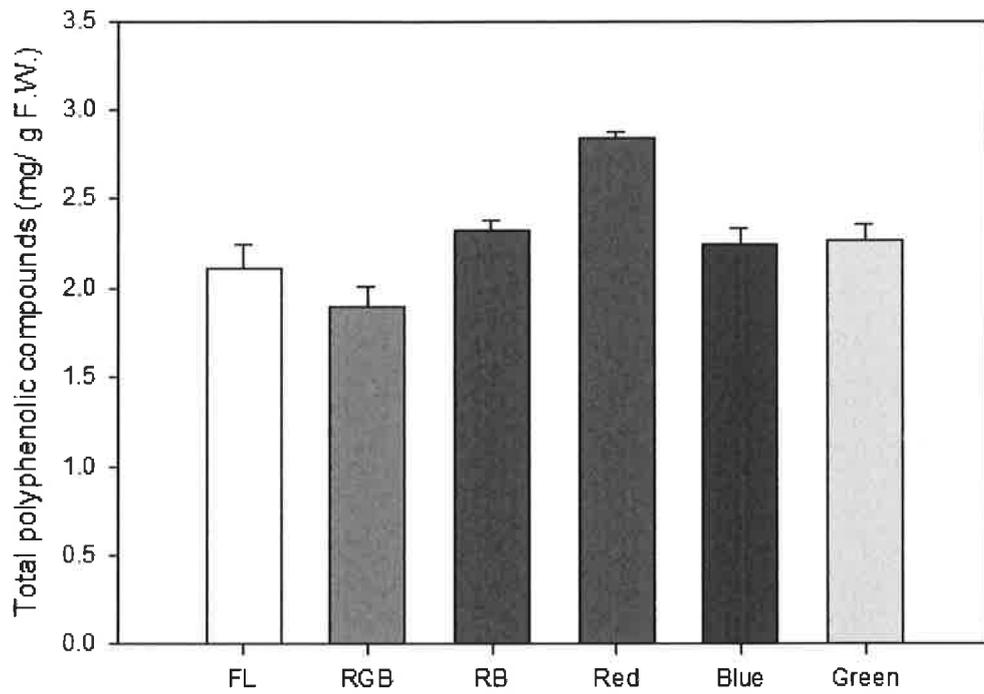


그림 3-48. 파종 후 5일 다양한 LED조사에 따른 적부의 총 페놀 함량.

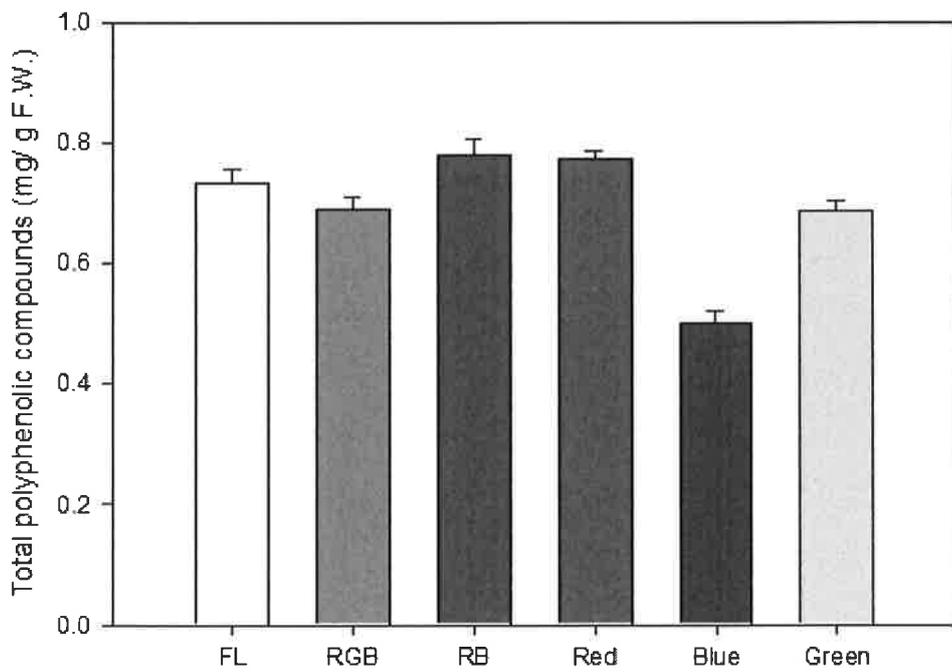


그림 3-49. 파종 후 5일 다양한 LED조사에 따른 알팔파의 총 페놀 함량.

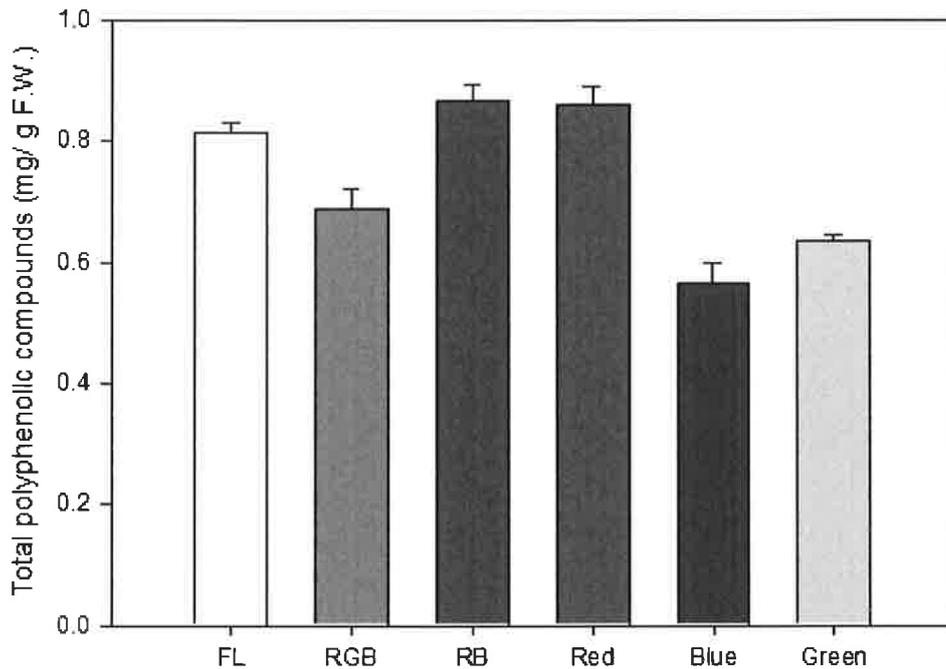


그림 3-50. 파종 후 5일 다양한 LED조사에 따른 클로버의 총 페놀 함량.

## 2. 새싹채소 살균처리 종자 카트리지 설계인자 구명

새싹채소 종자의 살균 처리 후 카트리지화를 위한 설계인자를 구명하고자 하였다. 살균처리 과정에서의 수분 접촉이 종자의 발아 활성을 개시하기 때문에, 카트리지화 전에는 반드시 종자의 탈수과정이 필요하다. 이를 위해 살균처리 후에 탈수에 따른 발아율 변화를 조사하여 하여야 하며, 카트리지 내에서 종자의 이동을 막기 위해 카트리지 하단의 배지 선정 및 배지의 모양 배지의 접착성에 대한 고려가 필요하다. 새싹종자의 카트리지 내에 균일한 배치를 위한 설계가 필요할 것으로 판단된다. 새싹채소 재배기에 카트리지가 장착된 이후에는 수확까지 외부의 공기 유입은 제한 될 것으로 판단된다. 재배에 사용하는 물은 카트리지와 함께 멸균수를 제공하면 해결 할 수 있을 것이다.

새싹종자를 카트리지 내에 균일하게 배치시키기 위해 바닥면이 그림 3-77과 같이 mesh형태로 설계되었으며, 관수 시스템이 구분된 카트리지의 중앙 부분에 물이 떨어지는 방식으로 구성되어있기 때문에 관수된 물이 카트리지 전체에 퍼질 수 있도록 mesh 아래쪽에 필터와 같이 물을 잘 머금으며 모세관 현상을 통해 물이 잘 퍼지는 재료를 넣어주는 방식으로 구성되어 있다. 포장 및 수송과정

에서 새싹 채소가 발아되지 않도록 탈수 작업을 거쳐 발아 전의 수분을 막고, 카트리지가 재배기에 장착 된 후 발아율을 높일 수 있도록 하였다. 카트리는 진공포장을 통해 외부의 수분과 미생물의 침입을 막고자 하였다. 카트리는 새싹채소 작목 중 배추과 작물(무, 적무, 브로콜리)에 적합한 카트리가 제작되었으며, 다양한 작목에 적합한 카트리지는 수정할 필요가 있다.



그림 3-51. 그물망 형태로 제작된 카트리지 바닥 모습.

### 3. 새싹채소의 기능성 특성 강화 기술 개발

가. 다양한 새싹채소의 LED 파장 및 광도에 따른 생육

브로콜리, 콜라비, 적무, 알팔파 및 클로버 종자를 공시하여 다양한 파장의 LED 조사에 따른 생육량, 초장 및 총 페놀 함량을 조사하였다.

(1) 다양한 새싹채소의 LED 파장 조사에 따른 생체중

새싹채소 재배는 처리구이외의 광 간섭을 최소화하기 위하여 9cm 페트리디시를 이용하여 심지 재배를 실시하였다. 시험에 사용된 LED는 적색광 LR W5SM, 청색광 LD W5SM, 녹색광은 LTW5SM LED로 오스람의 LED칩을 사용하였음. 광원의 파장은 스펙트로라디오미터(StellaNET)로 측정하였으며, 적색광은 625nm, 청색광은 455nm, 녹색광은 528nm에서 최댓값을 나타냈다. 파종 후 3일간의 암처리 후 2일간 각 LED 파장을 조사하였다.

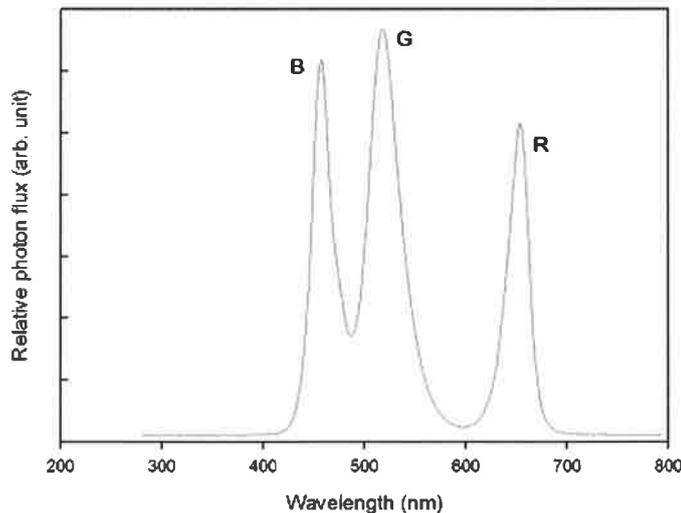


그림 3-52. 청색(B), 녹색(G) 및 적색(R) LED의 스펙트럼

공시한 모든 새싹채소의 배축장은 빛의 광도 및 파장에 의해 영향을 받았다. 청색광 조사에 의하여 배축 신장은 저해되었고, 광도가 증가함에 따라 배축의 길이는 더욱 감소하였다. 배축 신장 억제 효과는 청색광의 광도와 정의 상관관계를 나타냈다. 적색광 및 청색광은 배축을 포함한 줄기의 신장 억제효과가 있으며, 세포벽 보다는 세포 의유압 특성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 적색광은 세포벽 수율 계수를 감소시켜 주로 줄기의 신장을 억제 하고, 청색광은 세포벽 수율 임계값을 증가시켜 주로 작용 한다. 일반적으로 식물의 청색광

에 의한 반응은 적색광에 의한 반응보다 빠르다고 알려져 있고, 본 실험에서도 광조사 시간에 의해 청색광 반응은 유의적인 차이를 나타냈으나, 새싹채소에서 적색광 반응을 하기에는 충분하지 않은 것으로 사료된다.

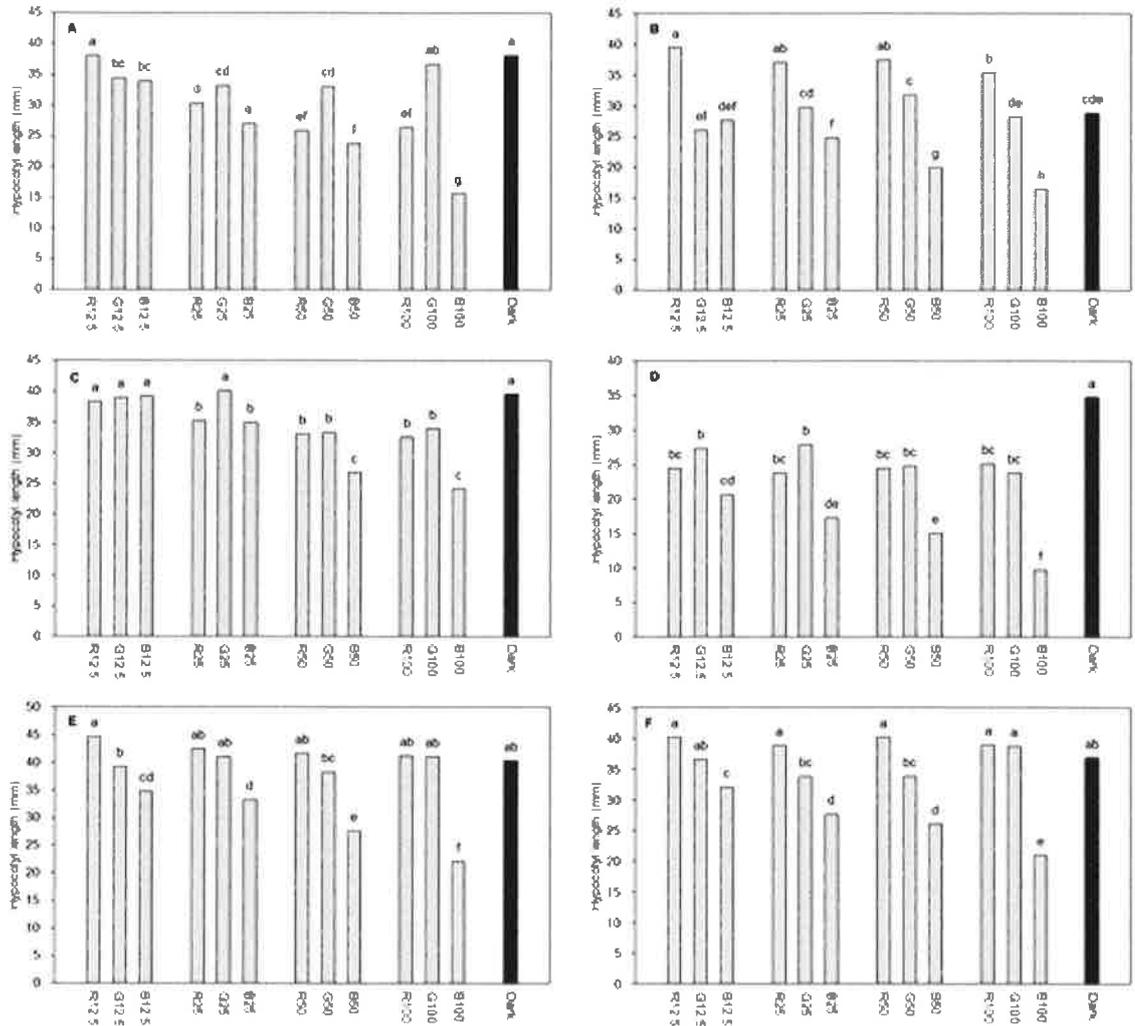


그림 3-53. LED 파장 및 광도에 따른 알팔파(A), 브로콜리(B), 클로버(C), 콜라비(D), 무(E) 및 적무(F) 새싹 채소의 배축장(파종 후 5일)

적무 (그림3-54)를 제외한 새싹채소는 LED 광도 및 광질에 따른 생체중은 유의한 차이를 나타내지 않았다. 적무에서 적색광은 의해 생체중은 증가하였으며, 청색광은 빛의 광도에 관계없이 생체중을 감소 시켰다. 광도가  $100\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 일때, 알팔파와 콜라비를 제외한 나머지 새싹채소의 생체중은 적색광 조사에 의해 현저하게 증가하였다.

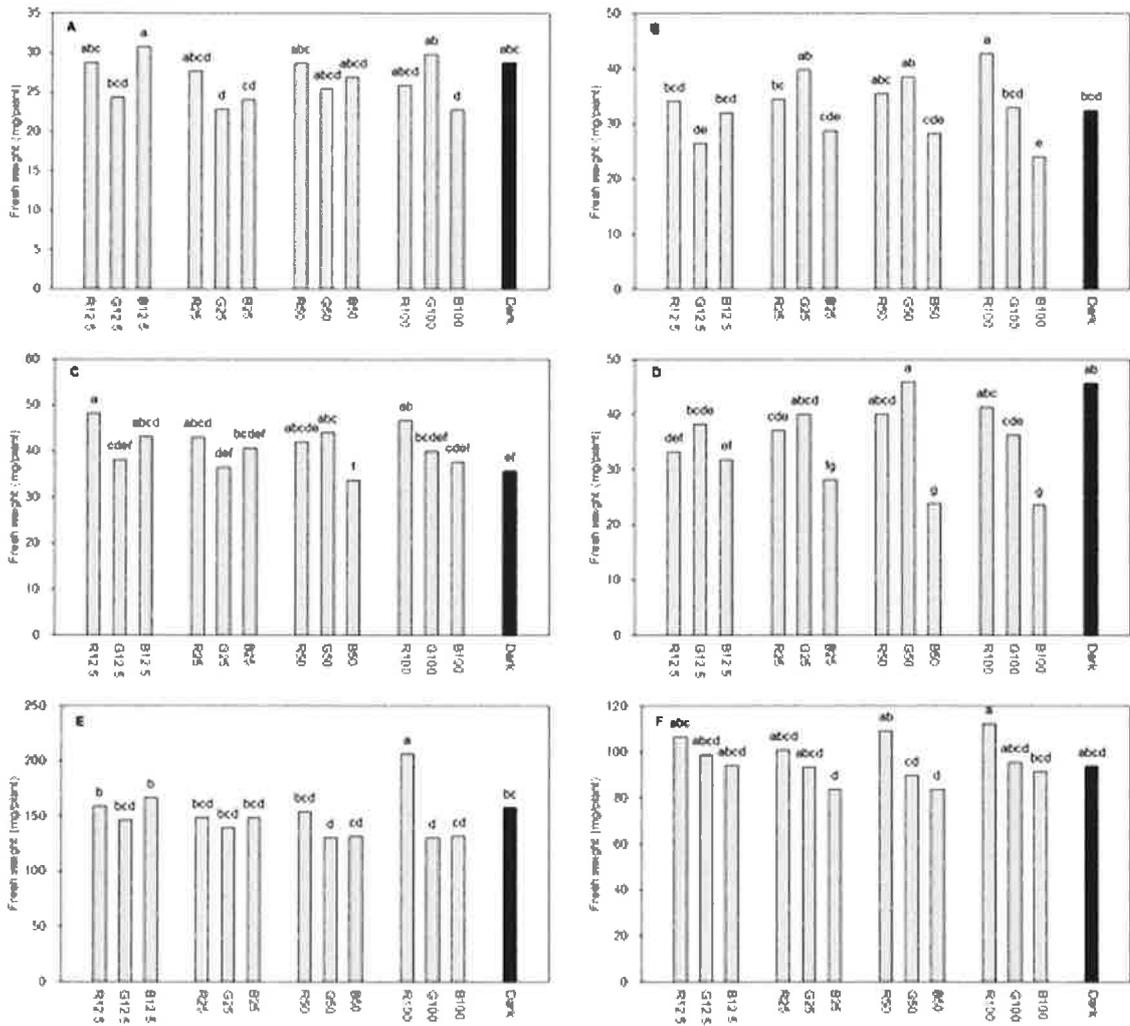


그림. 3-54. LED 파장 및 광도에 따른 알팔파(A), 브로콜리(B), 클로버(C), 콜라비(D), 무(E) 및 적무(F) 새싹 채소의 생체중(파종 후 5일)

광 이용 효율 (LUE)는 새싹채소의 생체중과 에너지 투입량을 이용하여 계산하였다. 녹색광 조사에 사용되는 에너지는 청색광 및 적색광에 비해 높았다. 알팔파, 클로버, 무 및 적무의 새싹채소의 LUE는 녹색광 조사 처리구에서 가장 낮았다. 하지만 브로콜리와 콜라비 새싹 채소의 경우 녹색광의 LUE가 청색광 조사에 비해 높게 나타났다.

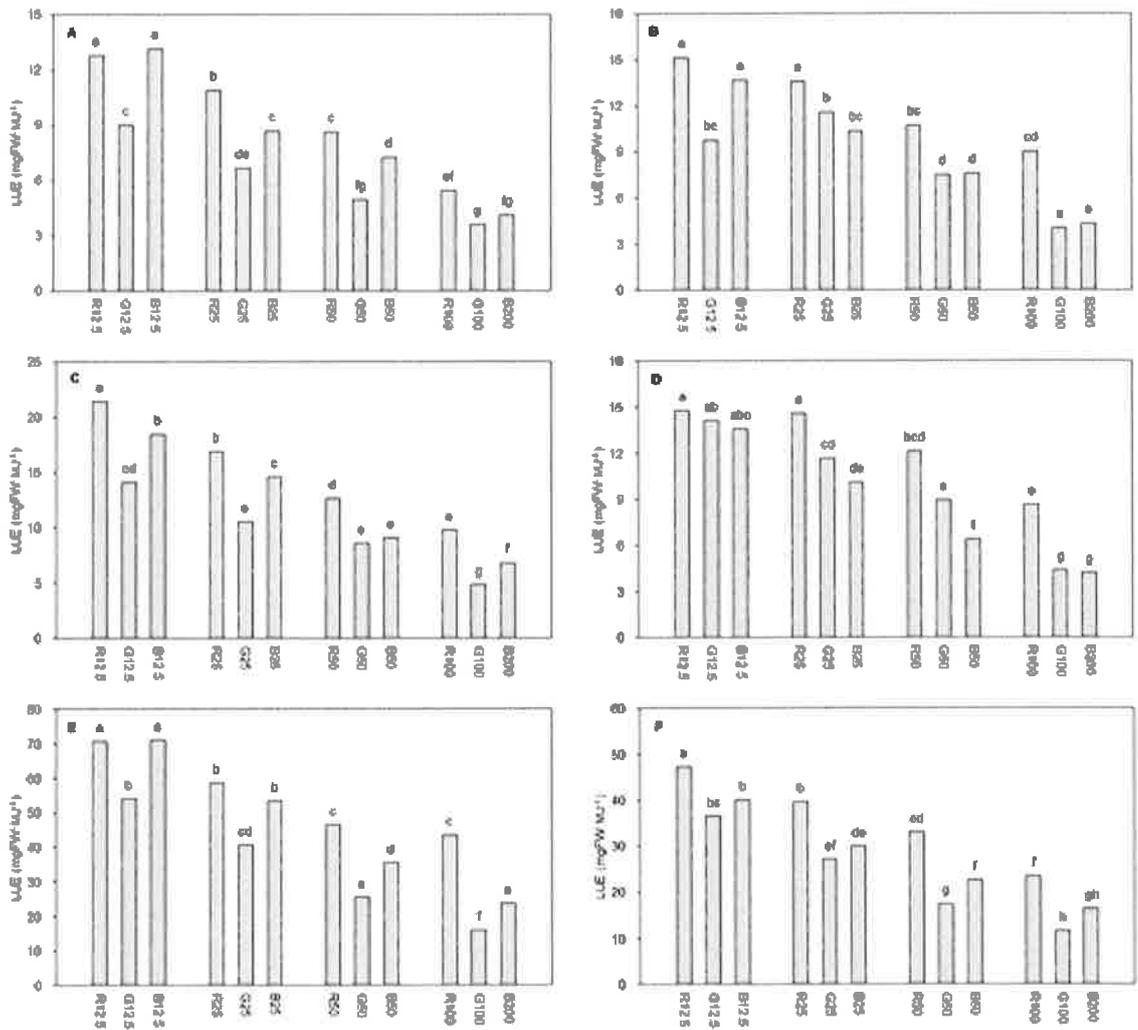


그림. 3-55. LED 파장 및 광도에 따른 알팔파(A), 브로콜리(B), 클로버(C), 콜라비(D), 무(E) 및 적무(F) 새싹 채소의 LUE(light use efficiency)

광도가 증가함에 따라 phytochemical이 증가한다는 보고가 있었으나, 새싹채소의 경우 광도의 증가는 총 페놀함량의 양을 증가하지 못하였다.

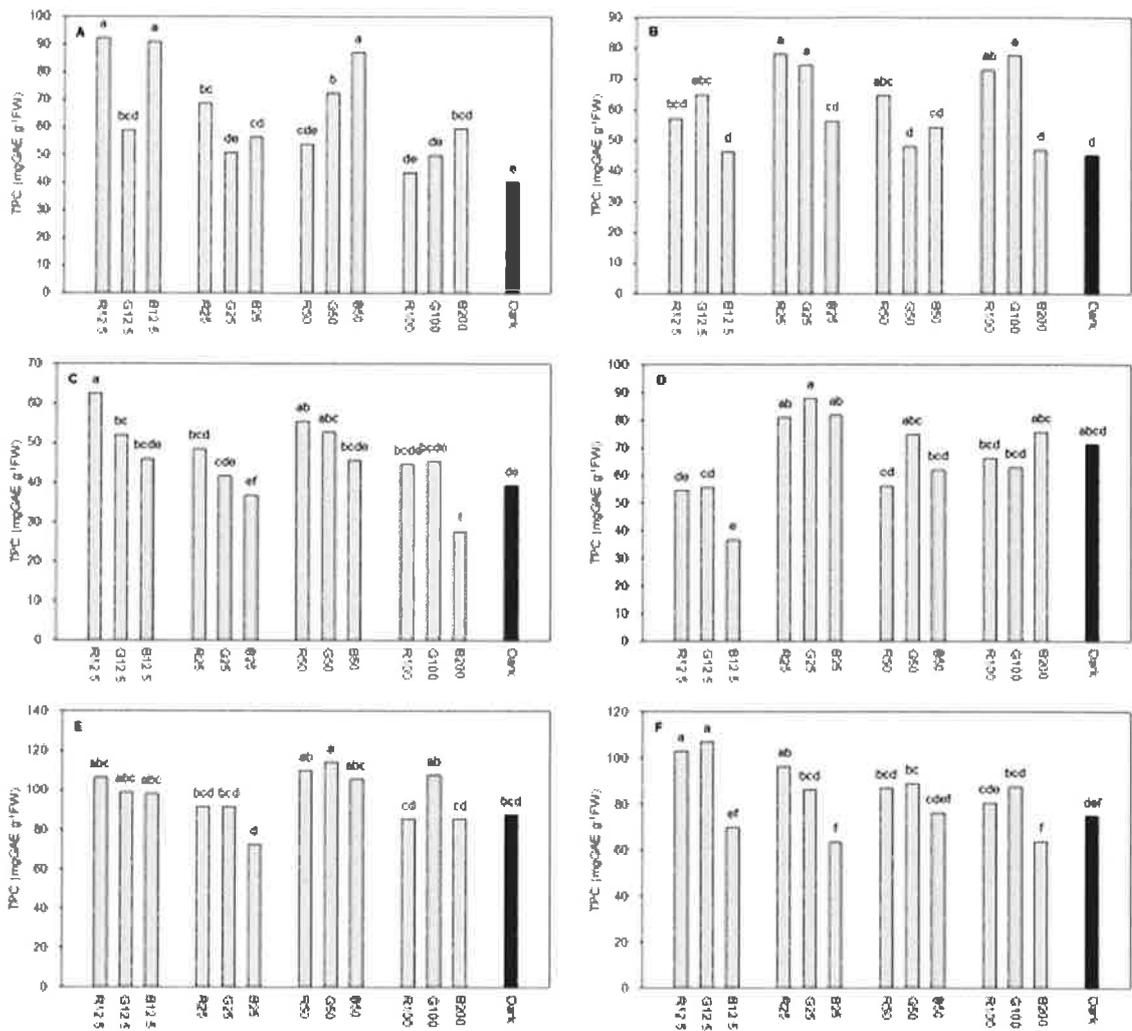


그림. 3-56. LED 파장 및 광도에 따른 알팔파(A), 브로콜리(B), 클로버(C), 콜라비(D), 무(E) 및 적무(F) 새싹 채소의 총 페놀함량

나. 다양한 새싹채소의 LED 파장 변환이 생육 및 기능성 물질에 미치는 영향

콩과인 알팔파(*Medicago sativa* L.)와 배추과인 브로콜리(*Brassica rapa* L. var. *italica*), 무(*Raphanus sativus* L.) 총 세 작물을 공시하여 재배 기간 중 LED의 파장 변화에 따른 생육 및 총 페놀함량을 측정하였다. 재배 온도는 명기 25°C, 암기 20°C이었으며, 일장은 16시간으로 설정하였다. 광원은 적색 LED와 청색LED를 사용하였으며 두 광원의 PPF는  $50\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 동일하였다. 각각 72시간의 암 주기를 거친 후 첫 번째 처리구는 적색광 24시간을 조사하고 청색광으로 변환하여 24시간을 조사하였고(RB), 두 번째 처리구는 청색광을 24시간 조사하고 적색광으로 변환하여 24시간 조사하였다(BR). 마지막 처리구는 적색광 24시간, 청색광 12시간, 적색광 12시간을 순서대로 조사하였다. 총 페놀

화합물 함량 분석은 각 새싹 채소 표본 2g을 시약(메틸 알코올 44.4%, 아세톤 44.4%, 아세트산 11.1%) 15mL에 넣고 균질분쇄기로 시료를 완전히 분쇄한 후 같은 시약으로 30mL로 정용하였다. 상온에서 1시간 동안 반응을 시킨 후 시료를 거름종이로 거른 용액을 실린지 필터로 한 번 더 거른 후, Folin-ciocaltue 시약과 탄산나트륨을 순서대로 1mL씩 첨가하여 낮은 온도에서 충분히 반응을 시킨 후 적당히 희석하여 726nm 파장에서 흡광도를 측정하였다. 갈릭산을 이용하여 작성한 표준 곡선으로 페놀 화합물의 농도를 계산하였다.

표 3-6. 재배 기간중 LED 파장 변환.

처리구	72h	24h	12h	12h
RB	Dark	Red	Blue	Blue
BR	Dark	Blue	Red	Red
RBR	Dark	Red	Blue	Red

LED 광원의 광질 변환 처리 후, 알팔파, 브로콜리 및 무 세 작물 모두 각 처리구 간에 초장의 유의한 차이는 없었다(그림 3-57).

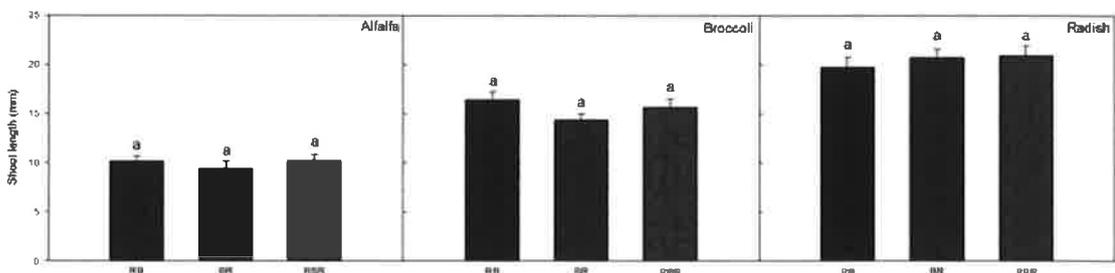


그림. 3-57. 파장 변환 처리에 따른 알팔파, 브로콜리 및 무 새싹채소의 초장(파종 후 5일)

알팔파와 무의 생체중은 각 처리구 간에 유의한 차이가 나타나지 않았으나 브로콜리는 처리구 간의 차이를 보였다(그림 3-58). RB 처리구의 생체중의 값이 0.022g으로 제일 컸으며 나머지 BR과 RBR 처리구는 각각 0.018g, 0.017g으로 유의한 차이는 없었음. 무의 한 개채당 생체중의 최댓값은 0.099g이었으며 알팔파의 것은 0.012g이었다.

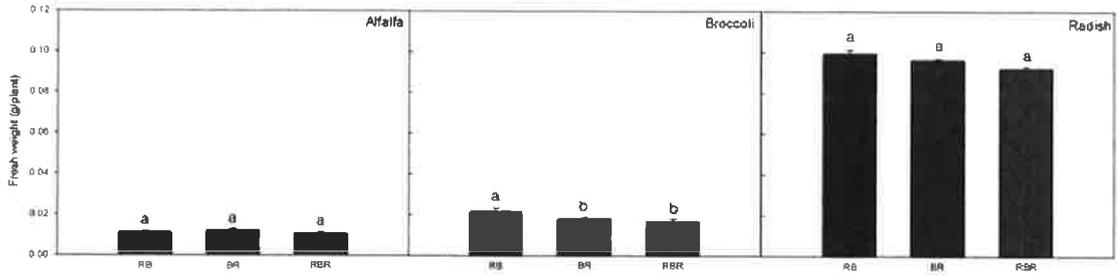


그림. 3-58. 파장 변환 처리에 따른 알팔파, 브로콜리 및 무 새싹채소의 생체중(파종 후 5일)

총 페놀 화합물 함량의 결과에서도 LED 광원의 광질을 변환하여도 세 작물 모두 처리 간의 차이를 보이지 않았다(그림 3-59). 브로콜리의 생체중 1g당 총 페놀 화합물 함량의 최댓값은 595.23 $\mu$ g으로 가장 컸고 무 513.51 $\mu$ g, 알팔파 413.90 $\mu$ g 순으로 작았다. LED광의 광질 변환 처리 기간이 짧을 경우 (24시간) 각 새싹 채소의 생육 및 총 페놀 화합물 함량의 변화가 나타나지 않은 것으로 판단된다. 따라서 새싹 채소의 생육 및 품질을 높이기 위해서는 각 작물 별 적정 광질뿐만 아니라 광조사 시간 및 광도 설정에 대한 연구가 함께 수행되어야 할 것이다. LED광원의 광질을 이용한 연구 중 새싹채소의 상품성을 결정하는 초장 신장 및 발색과 관련하여 추가적인 연구가 진행되고 있다. 재배 초기에 초장 신장 및 성장량 증진을 위한 적색광 처리와 재배 후기의 청색광 및 적색광 처리를 통한 페놀릭 화합물을 포함한 2차 대사산물의 증진은 추후 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

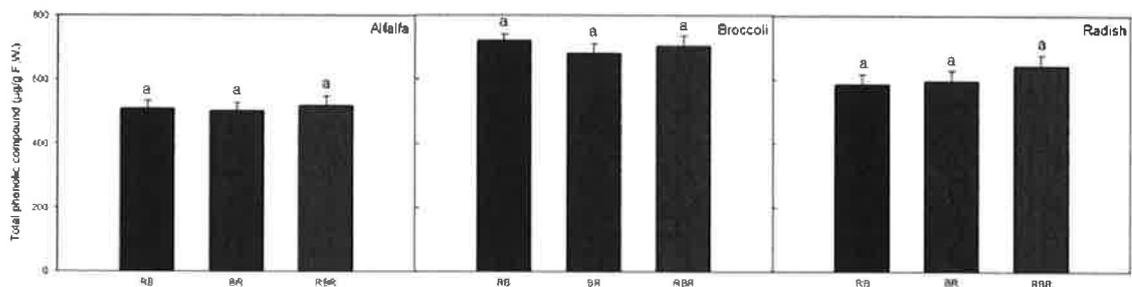


그림. 3-59. 파장 변환 처리에 따른 알팔파, 브로콜리 및 무 새싹채소의 총 페놀 함량(파종 후 5일)

## 제 4 절 재배 시스템 설계 및 제작

### 1. 새싹채소 재배 시작기의 구성

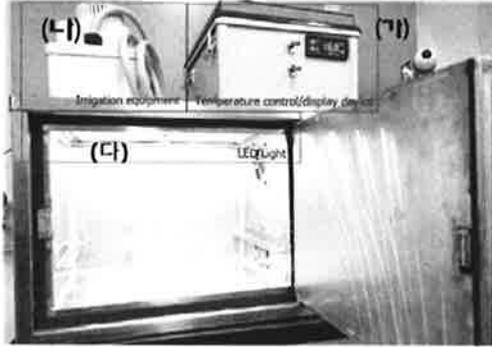


그림 3-60. 재배기 전체 구성 (가)온도 컨트롤러, (나)관수장치, (다) LED판넬



그림 3-61. 새싹채소 재배기의 내부 공간

새싹채소 재배 시작기는 그림 3-60과 같으며 관수 펌프와 제어 보드를 제어한 크기는 가로 550mm, 세로 300mm, 폭 350mm이다. 단열성을 높이기 위하여 모든 벽면은 20mm 두께의 EPDM 단열재를 삽입하였고, 우측 벽면에 내부공간의 냉각 및 가열을 위한 펠티어 소자를 포함한 냉각모듈을 설치하여 실질적 내부공간의 크기인 350mm × 250mm × 300mm보다 크게 제작되었다. 제작된 시작기는 외부환경과 차단된 상태에서 새싹채소를 생육하기 위해 필요한 관수량, 광량, 광조성, 온도 범위를 찾기 위한 실험용 목적의 재배기로 최종 개발 시제품 계획보다 매우 크게 제작되었다.

그림 3-61은 재배기 내부의 모습으로 위쪽에는 LED 광원이 설치되어 있으며, 6개로 나누어지는 관수 노즐은 LED 전구를 피해서 설치하였다. 다 자란 새싹채소는 길이가 10cm 미만이기 때문에, 광원과 약 15cm 떨어진 위치에 카트리지의 받침대를 제작하여 새싹채소가 자라면서 광을 균일하게 받도록 하였다. 오른쪽 벽면의 상단과 하단에는 냉각모듈로부터 냉각 또는 가열된 공기가 내부로 순환시키기 위해 fan이 설치되었다. 펠티어 소자의 방열을 위한 fan을 포함하여 총 3개의 fan이 설치되어있다.

### 2. 내부 온도 제어장치 설계

#### 가. 펠티어 소자를 이용한 열교환기 선정

냉매 순환식 냉각방식과는 달리 기계적인 작동 부분이 필요 없는 냉각용 열전 반도체 소자를 이용한 냉각방식으로 공간적 제한이 있는 소형 가정용 자동 재배기 적용하였다. 안전한 새싹채소를 재배하는 시스템의 특성상 프레온 냉매(CFC)를 사용하지 않고 펠티어 효과에 의한 열전소자 양단의 흡열에 의해 온도가 제어되는 고체 냉각 방식이 적합하다고 판단되었다.

#### 나. 냉각 모듈 설계

펠티어 소자는 전류를 흘려 줄 때 제백 효과(seeback effect)에 의하여 한쪽 면이 방열될 때 반대쪽 면은 흡열되는 특성이 있다. 이 때, 원하는 온도범위를 얻기 위해서는 사용되지 않는 다른 단면은 흡열 및 방열 되어야 한다. 즉, 펠티어 소자는 양단면의 온도차가 유지되어야 정상적인 작동이 가능해진다. 때문에, 펠티어 소자는 단독으로 쓰일 수 없으며 흡열 및 방열을 위한 시스템이 필수적이다. 따라서 아래 그림과 같이 펠티어 소자는 방열판 및 냉각팬과 함께 구성되어야 한다. 냉각 모듈은 (주) Wellen에서 생산하는 TEC1-12715 냉각소자를 사용하였으며, 100mm × 100mm × 85mm 크기로 설계하였다. 구성요소는 냉각소자(peltier element), 방열부(heatsink and cooling fan), 냉각소자로 구성된다. 정격전원은 DC 12V, 12A인데, 열전 모듈의 파괴를 방지하고 작동의 안정성을 확보하기 위하여 최대 정격전원의 80% 선에서 동작할 수 있도록 설계하였다.

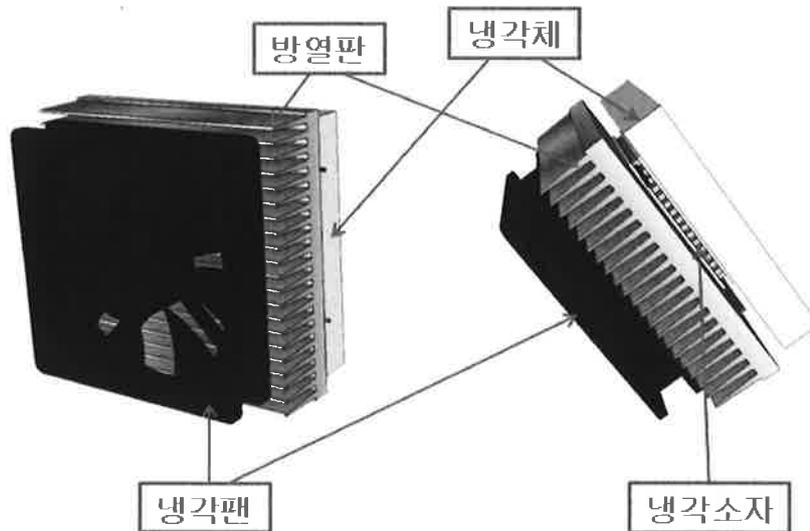


그림 3-62. 펠티어 냉각소자를 이용한 냉각모듈 구성

#### 다. 제어 컨트롤 보드 제작

재배 시스템의 원활한 온도제어와 펠티어 소자를 포함한 냉각모듈의 동작을 결정하

기 위해서 냉각모듈의 제어보드를 제작하였다. 온도 컨트롤러는 DAE SUNG ENG의 FOX-D1004를 이용하여 내부 온도를 제어하였으며, 온도 컨트롤러의 내부 결선도는 그림 3-63와 같으며 내부의 온도가 설정 온도 이하로 내려가면 재배기 내부 쪽의 단면을 가열하기 위해 펠티어 소자에 전류가 공급되고, 방열을 위한 전체적인 냉각모듈이 작동된다. 설정 온도 이상으로 올라갈 경우, 펠티어 소자에는 전류가 반대방향으로 흐르게 되어, 재배기 내부 쪽의 단면은 냉각되며 외부로 열은 방열된다. 그림에 나와 있듯이 ①, ② 단자에는 온도 센서가 연결되어 있으며, 작동기계 1, 2에는 모두 펠티어 소자가 구성되어있다.

표 3-7. 제어 컨트롤 보드의 사양

모델명 : FOX-D1004
제조회사 : DAE SUNG ENG
외형수치 77(W) X 35(H) X 77(D)
설정온도범위 : -40.0 ~ 90.0°C
표시온도범위 : -50.0 ~ 100.0°C
입력센서 : Diode( Sensor's cable length : 3M )
표시정도 : ±1% rdg ± 1 digit
출력 : 2 Relay( 1c, 1a : 250VAC 2A ), 1R : Temp, 2R : Temp
제어방법 : ON/OFF
전원전압 : 230VAC 50/60Hz (주문생산 : 110VAC 50/60Hz, 12 or 24V AC/DC( ±10% ) )
설정방법 : Set/Up/Down Key
사용주위 온습도 : 0 ~ 55°C ( 32 ~ 131°F ), 35 ~ 80% RH
중량 1 pcs : 264g

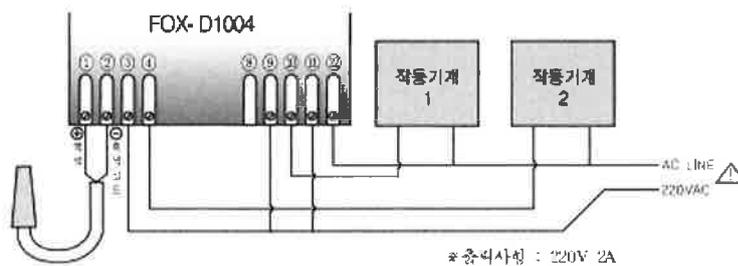


그림 3-63. 온도컨트롤러의 내부 결선도

새싹채소 재배 시스템 시작기의 제어 시스템은 사용자 모드와 개발 및 설치자 모드를 분리하여 목적별로 제어가 가능하도록 하였다. 사용자 모드에서는 set키를 통해 온도범위의 최저값과 최댓값을 설정하여 펠티어 소자의 동작을 결정할 수 있도록 하였다. set키를 5초 이상 누르면 개발 및 설치자 모드의 메뉴가 나타나며, 각각의 펠티어 소자의 동작형태를 내부 공간에 대하여 가열할 것인지 냉각할 것인지를

결정할 수 있다. 또한 소자가 작동하는데 delay를 주어 소자에 역전류가 흐름으로 인한 손상을 방지할 수 있다.



그림 3-64. 컨트롤러의 조작 버튼

### 3. 관수 장치 및 LED 판넬 제작

#### 가. 관수장치 사양

새싹의 생육에 필요한 관수장치는 하이텍 사의 HRP-6M 관수장치를 이용하였다. 탱크의 용량은 2L이다. 새싹채소 1g의 씨앗을 재배하는데 필요한 물의 양은 하루에 4mL 이므로 한번에 6 cell을 재배하는 본 시작기의 시스템에는 충분한 용량이다. 시제품에는 1회 재배에 적합한 탱크용량을 적정하여 재배기를 소형화 하였다. 본 관수펌프를 포함한 관수장치는 펌프를 통해 호스로 물이 끌어올려진다. 끌어올려진 물은 재배기 내부에 연결된 6개의 관수 노즐로 이동하는데, 이때 수압이 강하여 종자를 카트리지가 외곽 쪽으로 이동시켜 고른 성장을 방해 할 수 있다. 때문에, by-pass 장치를 이용하여 물이 이동하는 경로를 우회시켜 수압을 조절하는 관수 시스템을 설계하였다.

표 3-8. 관수장치의 사양

Model	HRP 6M
Dimension(L×W×H)	256×135×125
Volts	220V
Amp	0.8
Watt	100
Max. flow rate	450 l/h
Tank capacity	2 L
Weight	2290g

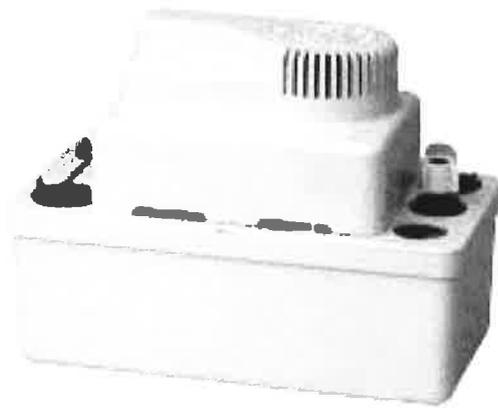


그림 3-65. 관수장치(HRP-6M)

#### 나. LED 패널 사양

LED 램프 및 제어기는 1W급 3파장 LED를 14개로 구성하여 재배기 상단에 설치하였다. 본 패널을 제어하는 LED controller는 RGB의 값을 각각 255등분해 조절이 가능하게 하였고, 새싹의 생육에 있어 광의 세기와 광조성 및 광량이 새싹의 생육 및 영양 상태에 미치는 영향을 실험하기 용이하도록 제작되었다. 패널은 알루미늄 재질의 방수 프레임으로 제작하여 내부공간의 습도 및 관수장치에 의한 성능 저하가 일어나지 않도록 제작하였다. LED 광의 세기에 따른 새싹의 생육상태를 조사하기 위하여 고강도 LED를 사용하였으나, 적합한 광의 세기를 찾아 시제품에는 0.2mW급의 LED를 사용하여 전력소모를 줄였다. LED 패널의 사양은 표 3-3과 같다. LED의 제어는 광량 및 광질에 대한 직관적인 변화와 수치적인 변화를 동시에 사용자가 직관적으로 조절할 수 있도록 그림 3-66와 같은 어플리케이션 프로그램을 이용하였다. 본 프로그램은 사용자가 R, G, B에 대하여 각각 0~255 사이의 수치를 입력할 수 있으며 디스크 모양의 칼라 배열을 직접 선택하여 LED 패널의 광조성을 결정할 수 있다. 재배기와 프로그램은 Wi-fi를 통해 손쉽게 통신이 가능하도록 하였다.

표 3-9. LED 판넬 사양

항목	사양
1) 외형	350mm X 250mm X 60mm
2) 입력사양	220V
3) 정격출력	60W RGB LED 1Watt 14개 사용
4) Metal PCB	금형설계 및 제작, 가공
5) 방수 Frame	알루미늄 재질로 설계 및 제작
6) 제어방식	RGB 모듈별 제어 (WIFI 혹은 리모컨방식 상용제품 활용)

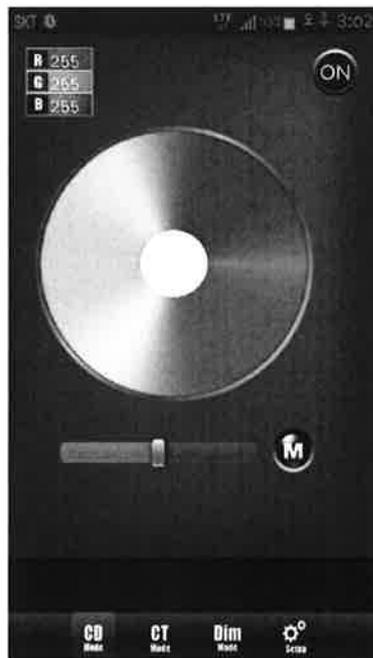


그림 3-66. 내부 광의 세기 및 광 조성을 조절하는 스마트폰 어플리케이션

#### 4. 지능형 새싹채소 재배 알고리즘 개발

##### 가. 재배 알고리즘 인자 선정

재배 알고리즘에 적용될 제어 인자는 본 연구과제에서 개발하는 자동 재배 시스템으로 제어 가능하면서 새싹채소의 생육에 유효한 영향을 미치는 인자 또는 각 새싹채소 자체의 특징으로 다른 종자들과 구분되는 점이어야 한다. 자동 재배 시스템으로 제어 가능한 재배 인자로는 온도, 습도, 광 조성, 광의 세기, 관수량이 있다. 새싹채소의 종자별 재배 적합 온도 및 습도는 관련 문헌을 통해 조사하여 적정하였다. 광의 세기와 광 조성, 관수량이 새싹채소의 생육에 미치는 영향은 반복적인 재배와 분석을 통해 검증하였다. 새싹채소의 최초 발아일과 생산 주기는 유사한 수준이나 각 종마다 고유한 특징이 있는 것으로 조사되었다. 표 3-10에 제시된 유채, 무, 적무, 콜라비, 클로버, 브로컬리, 알팔파에 대한 생육정보 중 온도는 문헌에서 조사된 값이며, 광원에 있어 공백으로 표시된 작물은 유의미한 변화를 찾을 수 없었다. 관수는 새싹이 물에 잠기는 현상을 방지하기 위하여 1일 4회씩 나누어 공급하였다.

표 3-10. 새싹 채소의 생육조건

새싹채소	최적 온도 및 최고 온도	최초 발아일	생산주기	최대 생장 광원	최대 생중량 광원	관수량
유채	18°C~23°C (발아기 20~27°C)	1~1.5일	5일	백색광	녹색광	5mL*4
무	18°C~23°C (발아기 20~27°C)	1~1.5일	5일			5mL*4
적무	18°C~23°C (발아기 20~27°C)	1~1.5일	5일			5mL*4
콜라비	18°C~23°C (발아기 20~27°C)	1~1.5일	5일	백색광	녹색광	4mL*4
클로버	18°C~23°C (발아기 20~27°C)	1~1.5일	5일			4mL*4
브로컬리	18°C~23°C (발아기 20~27°C)	2일	6일	백색광	청색광	5mL*4
알팔파	18°C~23°C (발아기 20~27°C)	2일	6일	녹색광	백색광	5mL*4

#### 5. 재배 시스템 내부 모니터링 센서 구현

##### 가. 내부 환경요인에 대한 센서 선정

(1) 온도 센서



그림 3-67. SEN118A2B 서미스터

내부 온도를 측정하기 위한 서미스터로는 SEN118A2B NTC를 사용하였다. 케이블 금속단자형 센서로 길이가 길어 내부공간의 원하는 어떤 지점이나 설치가 용이하며, 금속단자의 온도가 상승하면 내부의 저항이 감소하는 원리를 이용한 센서이다. 본 센서는 서미스터의 저항 값을 읽어 Steinhart-hart 방정식을 통해 온도 값으로 변환이 가능하다.

$$\frac{1}{T} = a + b \ln R + c (\ln R)^3$$

상수 a, b, c는 Steinhart-hart 방정식의 파라미터이며 장치의 고유한 특성으로 결정된다. 이를 이용해서 방정식을 장치 특성인 B 혹은  $\beta$  파라미터를 이용한 식으로 바꾸어 쓰면 다음 식과 같고,

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln \left( \frac{R_t}{R_0} \right)$$

위 식을 바탕으로 프로그램 코드를 구성하여 온도를 출력하였다.

(2) 습도 센서

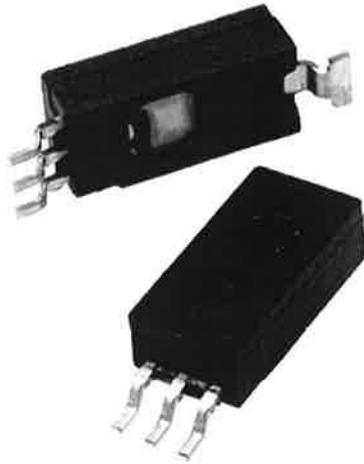


그림 3-68. HIH-4030 Humidity sensor

습도계측용 센서로는 HIH-4030 Humidity sensor를 사용 하였다. 전체 크기가 6×18×1.5(mm)로 소형 재배기에 적용하기에 적합하였고, 크기가 작아 어느 위치든 부착할 수 있다. 본 습도 센서는 식을 바탕으로 온도 센서에서 구한 특정온도에서의 저항 값을 구하여 내부공간의 습도를 측정하였다.

$$R_H = R_{50H} \exp A \left( \frac{1}{H} - \frac{1}{H_{50}} \right) \exp B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{20}^{\circ}\text{C}} \right)$$

## 6. 새싹채소 재배 시작기의 성능 평가 및 고찰

### 가. 냉난방 소모 전력 분석 및 온도제어 성능 검토

#### (1) 실험 조건 및 실험방법

본 시스템은 외부 환경에 따라 냉각 및 가열을 통해 내부공간의 온도를 적합한 범위 내에서 유지할 수 있는 성능이 중요하기 때문에, 제작된 새싹채소 재배 시작기의 냉·난방의 성능이 새싹 채소의 생육에 적합한지 평가하고 시스템의 온도제어에 소모되는 전력을 평가하기 위한 실험을 진행하였다. 본 실험에서는 소모 전력이 큰 펠티어 소자를 포함한 열전모듈 시스템의 과도한 전력소모를 방지하기 위하여 적합한 전력 공급 값을 찾고, 재배기 내부 공간의 냉각 및 난방에 소요되는 시간을 측정하여 냉난방 모듈의 성능을 검토하였다. 그림 3-69 같이 내부공간의 우측 벽면에는 펠티어 소자와 방열판, 냉각판, fan이 결합되어 있다. 재배기 내부의 온도는 온도제어 시스템의 우측에 존재해 균일하지 못할 수 있어 상부에 2개, 하부에 2개 지점의 온도 값을 획득하고 평균값을 구하여 내부 온도 상태를 결정하였다.

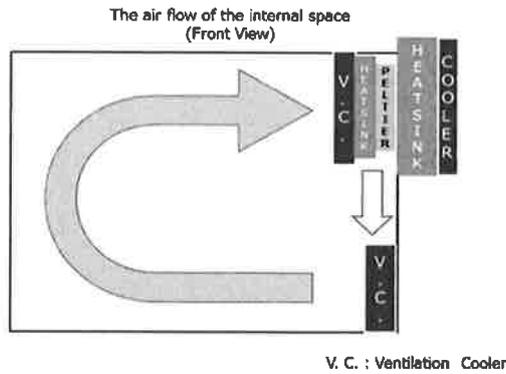


그림 3-69. 내부공간의 전면도 공기흐름 순환도

제작된 시작기는 각 벽면에 두께 20mm의 단열재가 삽입되어 있지만, 완벽한 단열 시스템이 아니기 때문에 외부 환경의 영향을 받는다. 실험은 냉방 실험의 경우 외부 온도가 19℃, 난방 실험은 17℃로 외부 온도가 각각 동일한 상태에서 모두 진행되었다. 새싹 채소 성장의 발아 단계와 광원을 요구하는 성장단계의 온도 조건은 최저 18℃, 최고 26℃이다. 장착된 냉난방 시스템이 요구되는 온도범위인 18℃~26℃를 제어하는데 소요되는 전력 및 시간을 분석하기 위하여 냉각 시에는 내부공간의 온도를 35℃로 설정한 뒤 공급전압을 조절하였다. 난방 시에는 내부공간의 온도를 10℃로 설정하고 같은 방법으로 수행하였다.

## (2) 실험 결과 및 고찰

### 냉각 소요 전력 및 성능 검토

재배기에 설치된 소자의 정격 전압이 12V 이지만, 본 시스템에는 불필요한 전력 소모를 야기할 수 있어 정격전압보다 낮은 3, 5, 7, 9, 11V의 전압을 소자에 공급하였다. 각각의 공급전압에 대하여 소자에 흐르는 전류와 26℃부터 18℃까지 도달하는데 걸리는 시간을 측정하여 소비 전력량을 계산하였다. 표 3-11에 냉각 1차 시험 결과를 제시하였다.

표 3-11. 3, 5, 7, 9, 11V 에서의 냉각 1차 실험결과

전압[V]	전류[A]	소요시간[s]	전력[VAS]	상온
3	2.1	∞	∞	19
5	4.1	480	9225	19
7	5.9	360	14042	19
9	7.5	330	19575	19
11	9.3	280	28644	19

실험 결과 공급전압이 3V일 때는, 시간이 아무리 경과하여도 원하는 온도인 17℃에는 도달하지 못하였다. 제작된 재배기가 완전 단열 되어있지 않기 때문에 3V에서는 외기가 19℃ 일 경우 열전소자의 출력이 충분하지 않았다. 공급 전력을 증가 시킬수록 예측한 대로 내부공간의 온도를 제어하는데 소요되는 시간은 줄어들었지만, 소요되는 전력량은 증가했다. 또한 본 시스템으로 원하는 냉각성능 충분히 가능함을 확인하였다. 실험결과 소요시간은 3V를 제외하고는 모두 8 이내로 약 5일간 재배되는 재배기의 특성과 재배기간에 비해 매우 짧은 시간인 점, 공급 전압별 소요시간의 차이가 큰 차이가 최대 5분정도의 짧은 차이인 점을 고려하여 소모되는 전력량을 줄이는 것이 더욱 적합하다고 판단되었다. 냉각 실험결과는 공급전력이 증가할수록 소모되는 전력량이 증가했기 때문에, 주어진 온도범위를 제어할 수 있는 공급전력의 최저값을 찾을 필요가 있다. 최저전력을 찾기 위하여 3V 이후 3.5V와 4V에 대하여 2차례 실험을 수행하였고 실험결과 표3-12에 제시된 바와 같이 3.5V에서 10분의 시간이 경과하여 원하는 온도에 도달하였다. 전체적인 실험결과는 그림 3-70과 3-71에 그래프로 나타내었다.

표 3-12. 냉각 2차실험 결과

전압[V]	전류[A]	소요시간[s]	전력[VAS]	상온
3.5	2.8	593	5811	19
4	3.3	510	6732	19

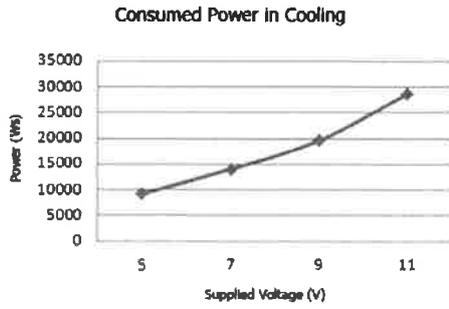


그림 3-70. 냉각 1차 실험결과

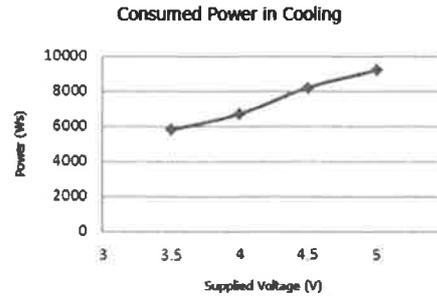


그림 3-71. 냉각 2차 실험결과

### 가열 성능 검토

내부공간의 온도를 가열하기 위하여 열전모듈에는 냉각시와는 반대로 전류를 공급하였고, 냉각 실험에서 3V에서는 원하는 성능을 구현하지 못했기 때문에, 5V부터 11V까지 2V간격으로 전압을 공급하였다. 표 3-13에서 제시된 바와 같이, 실험을 수행한 결과 소모 전력의 큰 차이는 나타나지 않았지만, 7V에서 소모 전력의 양이 가장 낮았다. 5V에서 7V로 갈 때에는 소비되는 전력량이 감소했기 때문에, 그 사이에서 0.5V 간격으로 다시 수행한 결과를 표 3-14에 제시하였다. 그림 3-70 그래프를 보면, 6.5V에서 소모되는 전력량이 가장 낮음을 확인 할 수 있다. 냉각실험과는 달리 공급전력과 소비되는 전력량은 비례하지 않았고, 이는 내부 공간의 온도 상승에 따라 발열부의 열을 전달하는 효율이 감소함에 따라 열전소자의 효율이 감소하기 때문에 그림 3-71 같은 변곡점이 존재한다고 생각된다. 실험결과 장착된 열전모듈은 내부공간의 가열을 충분히 수행하였다.

표 3-13. Heating 1차 실험결과

전압[V]	전류[A]	소요시간[s]	전력량[VAS]	상온
5	3.9	480	8385	17
7	4.4	240	7392	17
9	5.3	170	8109	17
11	6.3	125	8662	17

표 3-14. Heating 2차 실험결과

전압[V]	전류[A]	소요시간[s]	전력량[VAS]	상온
4	2.7	600	12312	17
5	3.9	480	8385	17
5.5	3.8	360	7524	17
<b>6</b>	<b>3.7</b>	<b>280</b>	<b>6216</b>	17
6.5	4.2	250	6825	17
7	4.4	240	7392	17

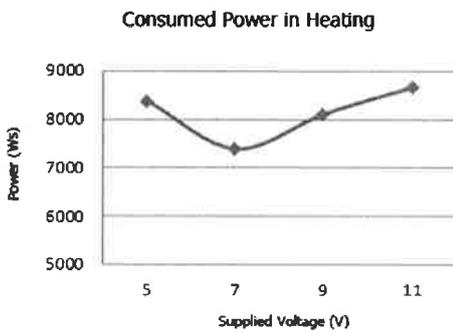


그림 3-72. 가열 1차 실험결과

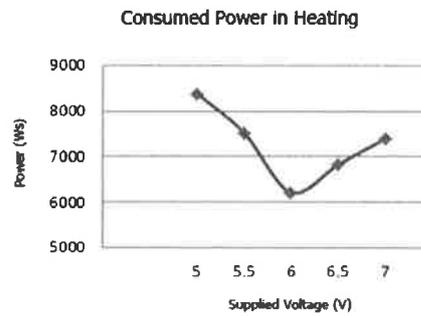


그림 3-73. 가열 2차 실험결과

실험결과 구해진 소비전력량을 바탕으로 본 재배기를 1년간 계속 가동한다면, 냉각시에는 약 7.5 kW의 전력이 소비되며, 가열 시에는 14.1 kW의 전력이 소비된다. 외부환경에 따라 차이가 있을 수 있고 온도가 주로 상온으로 유지되는 가정환경에 배치되기 때문에 냉난방에 소요되는 실제적인 소비전력은 연간 20 kW 보다 낮을 것으로 판단된다.

#### 나. 관수 장치 및 LED의 성능평가

새싹채소 재배 시작기에 장착된 관수장치는 시작기 상단에 장착된 2L 용량의 관수탱크로부터 펌프에 의해 물이 재배기 내부의 6개의 노즐로 분사되는 형태이다. 관수량은 시스템 컨트롤러에 비치된 조작기에 의해 관수시간을 결정함으로써 결정된다. 재배에 적합한 관수량을 측정하기 위하여 사용자가 조작이 용이하게 아날로그 시계 형태로 제작되었다. 본 관수장치는 6개의 노즐로 관수가 균일하게 되지 않는 문제점, 관수 탱크가 외부에 노출된 구조로 오염의 영향이 큰 점, 탱크의 규모가 재배시 요구되는 관수량에 비해 지나치게 큰 점, 펌프의 동력이 요구하는 4~5mL

관수량에 비해 지나치게 강한 점의 문제가 있었다. 시제품에는 이러한 문제점들을 해결하여 적합한 관수장치를 장착하였다.

시작기에 장착된 LED는 RGB의 값을 0~255 범위로 조장이 가능해 새싹의 광조성 및 광의 세기에 따른 새싹의 생육정보를 조사하는데 적합하였다. 그러나 새싹의 생육정보 조사를 위해 판넬 전체는 정격출력이 60W로 전력이 과도하게 소비되는 문제점이 있으며, LED의 출력을 100%로 하면, 내부 온도제어 시스템을 가동하지 않을 경우 외부온도 23℃ 조건에서 30분 경과 후 내부 온도가 30℃까지 상승해 LED에 의한 열이 온도제어의 효율성을 떨어뜨리는 문제가 있다. 실험에 의하면 재배영역이 필요한 광도는  $30\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 면 충분히 재배가 가능하였고, 특정 작물의 경우  $40\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  에서 가장 높은 생증량을 가졌다. 재배영역이 LED로부터 15cm 떨어져 있을 경우 최대출력의 5% 수준이면  $30\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 광도를 가졌고, 이를 바탕으로 시제품의 LED 광 제어 시스템을 구축하였다.

## 7. 시제품 설계 및 제작

### 가. 시제품 구성요소 선정 및 설계

2차년도 시작기의 문제점을 보완하고 소비자의 요구사항을 만족시키기 위하여 아래 그림 3-77과 같은 시제품의 3D 도면을 설계하였다. 시제품은 크기에 대한 소비자의 설문 응답 중 가장 비중이 높았던 전자레인지와 밥솥 정도 크기의 규격으로 제작하였다. 새싹채소 재배기 시제품의 규격은 250mm × 300mm × 250mm 로 제작하였다. 또한 시제품의 특성상 가정에 비치된다는 점과 안전한 새싹채소의 생산에 대한 이미지 향상을 위하여 시작기의 외관을 모두 백색으로 코팅하였다.



그림 3-73. 시제품 3D 설계도

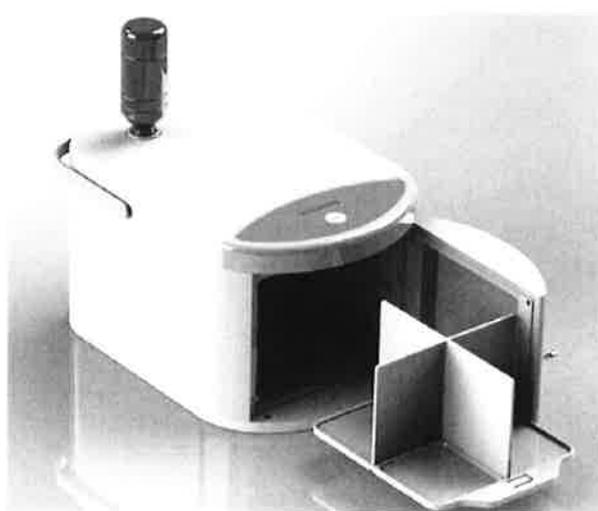


그림 3-74. 시제품의 렌더링 이미지



그림 3-75. 제작된 시제품

(1) 관수장치 선정 및 설계

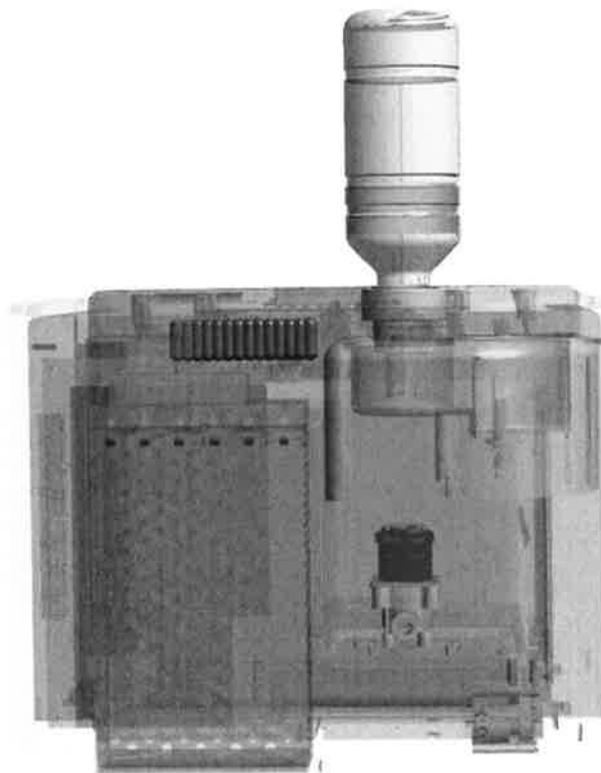


그림 3-76. 관수 시스템의 3D 투명 설계도

시제품의 관수장치는 정전량 수위 센서, 펌프, 4-way valve, 노즐로 구성된다. 정전량 수위 센서는 수위를 인식하여 관수가 가능한 물이 존재할 경우 재배 시스템의 가동이 가능하며, 재배 중 부족할 경우 사용자에게 알리기 위하여 장착하였다. 드립 테크에서 생산한 정수기기 및 기타용 정전 용량 수위센서이다. DC 5V의 전원에서 전도체가 위 사진의 붉은 부분과 접촉 시 유전율 변화에 따른 정전용량의 변화를 감지하여 신호가 출력되는 구조이다. 상수도 및 지하수 등을 유체로 사용 가능하고 유체는 5℃~45℃에서 허용 가능하며 주위온도는 50℃이하여야 한다. 가정용 새싹채 소재배시스템의 관수는 모두 상온에서 이루어지기 때문에, 본 수위 센서는 본 재배 시스템에 적합하다.

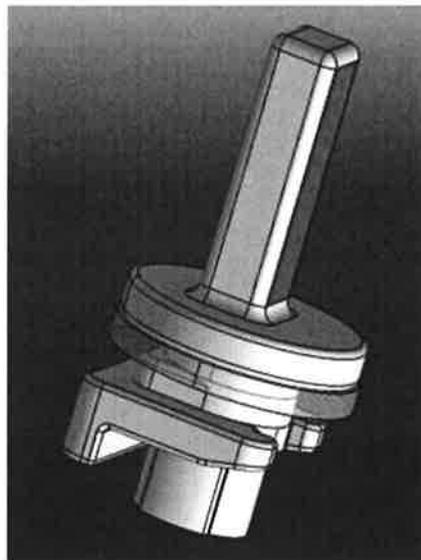


그림 3-78. 정전용량수위센서

워터펌프로는 아래 그림 3-79에 제시된 (주) 로봇마트 사의 DWP-385를 사용하였다. 2차년도에 시작기에서 시험한 결과 필요한 관수량은 1회 최대 5mL로 조사되어, 시작기에 장착된 펌프의 성능은 시스템이 요구하는 사항보다 강한 작동능력을 가져, 시제품 제작의 가격을 상승시키는 문제와, 재배 시 강한 수압으로 종자의 발아 및 성장을 저해하는 문제점이 있었다. 때문에 시스템에서 요구되는 5mL 이하의 관수를 수행할 수 있는 6W 급의 펌프인 DWP-385를 장착하였다.



그림 3-79. 관수펌프 DWP-385

시작기의 관수 시스템에서 펌프에서 끌어올려진 물이 6개의 노즐로 동시에 분사될 때, 관수되는 양이 일정하지 않고 제어하기 힘든 문제점이 있었다. 때문에 그림 3-26과 같은 4-way valve를 이용하여 4개의 cell에 대하여 관수를 순차적으로 진행하여 관수를 동일하게 공급하고 관수량의 제어가 용이하도록 제작하였다.

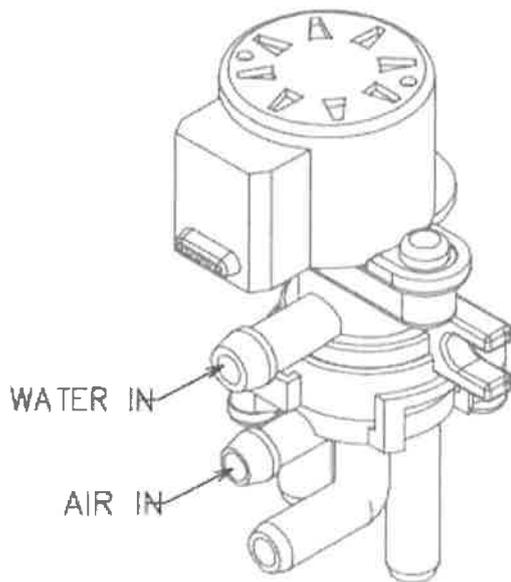


그림 3-80. 4-way valve

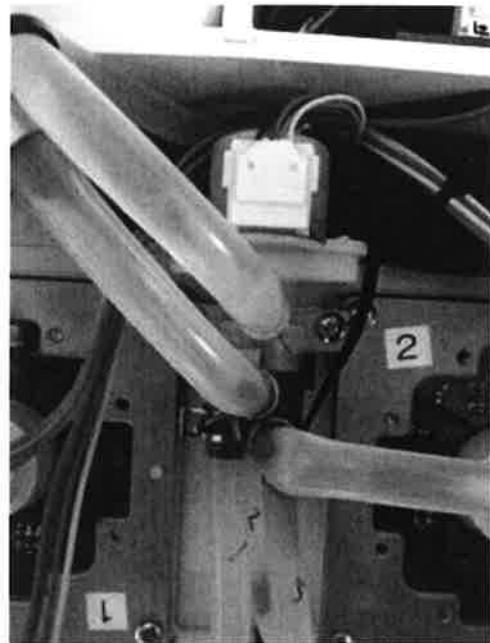


그림 3-81. 4-way valve의 적용

## (2) 온도제어 시스템의 재설계

2년차에 제작된 새싹채소 재배 시작기에는 온도제어를 수행하기 위하여 열전모듈

을 사용하였다. 시험결과 냉각시 3.5V, 가열시 6.5V의 공급전압에서 가장 낮은 전력으로 원하는 온도제어를 수행하는 결과를 확인하였으나, 구상된 전체 재배 시스템에서 차지하는 부피가 매우 커 가정용으로 계획된 본 재배시스템에 적용하기에는 무리가 있다. 또한 열전소자의 양 단면이 전류의 흐름에 따라 방열 및 흡열이 가능함을 이용하여 재배 시스템의 냉난방에 이용하였으나, 냉난방을 위하여 소자에 역전류를 공급함으로써 소자의 수명이 단축 될 수 있다. 내부공간을 가열하기 위한 목적으로 소자가 사용될 때에는 발열부의 방열이 충분히 이루어지지 않아 소자의 효율성을 떨어뜨리는 결과를 초래하였다.

시작기를 이용하여 적무, 무, 알팔파, 브로콜리, 클로버, 콜라비 등의 새싹채소를 재배한 결과, 종자의 생육에 있어서 냉방의 기능보다는 난방의 기능이 중요하였다. 새싹의 발아를 위해서는 암실상태에서 약 27℃ 정도의 온도가 유지되어야 하는데, 일반적인 가정의 상온이 약 23℃ 이거나 그보다 낮음을 고려하면, '가정용'으로 제작되는 본 시스템에서는 냉각은 불필요한 기능으로 판단되었다. 따라서 시제품에 장착될 온도제어 시스템은 난방기능을 수행할 수 있고, 가정용으로 사용되기 위하여 크기가 작아야 한다. 또한 설문조사 결과 나타난 소비자의 예상가격인 10만원 수준을 맞추기 위하여 시스템 구성비용 역시 낮아야 한다. 이러한 조건에 맞는 온도제어시스템은 열선을 이용한 면상발열체로 구성이 가능하였다. 열선은 도선에 전류를 흘리면 발열하는 특성을 이용하며, 각종 전기매트, 난방기 등에 사용되고 있다. 시작기에 적용되었던 열전모듈 시스템에 비하여 부피가 매우 작고 구동에 필요한 제반 요건이 필요하지 않은 장점이 있다. 또한 제작이 및 공정이 간단해 시제품의 가격단가를 낮추는 데에 큰 역할을 할 수 있다. 재배기는 재배 중 물을 이용하기 때문에 시제품에 장착된 열선은 Fibontech 사의 탄소가 코팅된 섬유사를 이용한 방수 및 절연 특수코팅 화이본 텍스를 이용하였다. 이는 국내에서 고추 건조기, 양계장 공간난방, 양돈장 공간난방 등에 이용되는 바 있다. 면상발열체는 그림 3-82과 같이 개폐구를 제외한 3개의 벽면과 바닥면에 3cm 두께의 EPDM 단열재와 함께 삽입되어 있다.

기존의 가정용 채소재배기는 일반적으로 식용되는 채소작물을 범용으로 재배 가능하게 설계되어 작목별 재배에 다양한 문제점이 발생하였다. 작목별 재배 매뉴얼이 없기 때문에 전문 지식이 없는 일반인은 재배에 어려움이 있었다. 새싹 채소 재배기는 새싹채소의 안전 생산을 위해 종자의 살균, 카트리지 화 및 RFID를 이용한 재배 전 과정의 자동화를 실시하였다. 살균을 통한 안전한 생산, 원하는 작목의 특성에 맞는 재배간의 환경조절 뿐만 아니라 LED 광원의 조절을 통해 기능성 물질 증진의 효과도 기대할 수 있다. 원터치 재배가 가능한 시스템을 구현하여 일반인이

쉽게 재배 할 수 있도록 하였다.

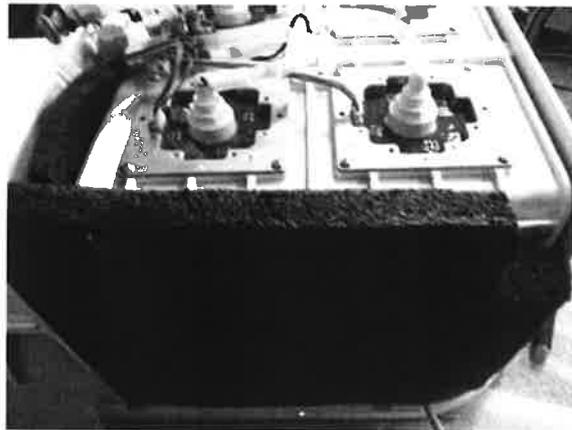


그림 3-82. 면상발열체와 단열재의 결합체

시제품 제작 이전에 해석 시뮬레이션을 통해 제작될 시제품의 온도구배를 파악하기 위하여 그림 3-83, 84 과 같이 시제품과 같은 크기로 열유동 시뮬레이션을 수행하였다. 모든 벽면에는 3cm의 EPDM 단열재가 삽입되어 있다고 가정하였으며, 외기 23℃ 조건에서 시뮬레이션을 수행하였다. 그림에 나타난 붉은 색의 최대 온도는 29℃ 이며, 최저온도는 푸른색 계열로 외기인 23℃와 같다. 그림 95와 같이 열선은 앞쪽 개폐구와 LED가 장착될 위쪽 벽면을 제외한 모든 벽면에 균일한 형태로 면상 발열체가 부착되어 있으며, 재배 시스템이 높은 온도를 요구하지 않고 새싹채소의 재배 특성상 급격한 온도변화가 생기지 않아야 하므로 벽면의 온도는 30℃로 설정하였고 공기에 의한 자연 대류로 가정하여 해석을 실행하였다. 해석수행 결과 그림 3-84와 같이 재배가 이루어지는 영역을 표시하였고, 표시된 영역의 온도는 25℃와 26℃에서 결정되는 것을 확인 할 수 있고, 이는 새싹채소의 발아 및 재배 온도와 같음을 확인 할 수 있다. 또한 재배온도의 온도구배가 1℃ 미만으로 균일한 새싹채소 재배에 적합함을 확인하였다.

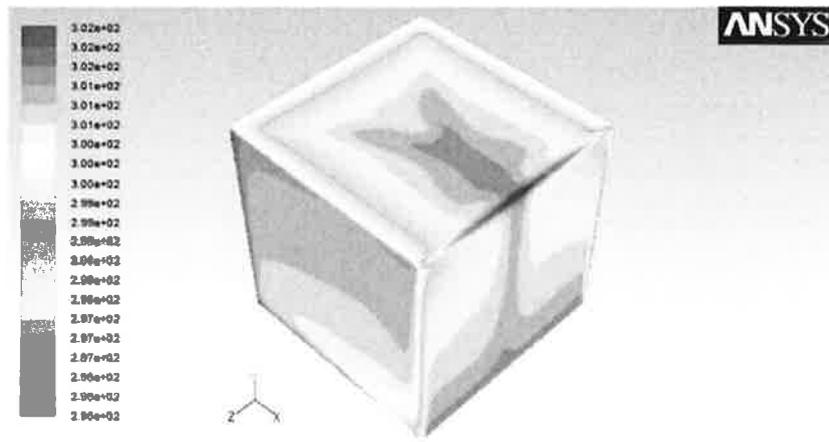


그림 3-83. 시제품의 Heat flux simulation 결과

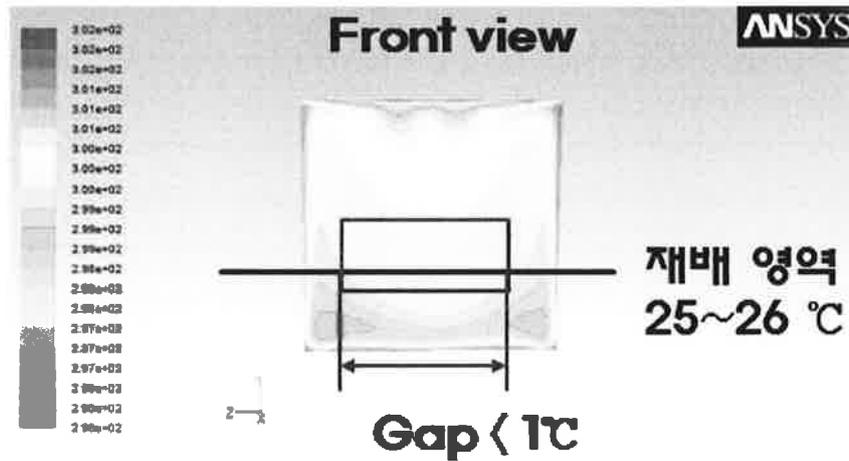


그림 3-84. 시제품의 Heat flux simulation 결과

### (3) RFID Tag system을 이용한 자동제어 시스템

(2)-가.에서 조사된 새싹채소의 생육 재배 알고리즘을 구현하기 위하여 그림 3-85와 같이 재배기 입구 하단에 RFID 수신기를 장착하였다. 이 수신기는 그림 3-86의 카트리지 손잡이 부분에 장착된 RFID 칩의 정보를 읽어 관수량, 광의 세기, 광조성, 온도 등의 생육정보 제어를 결정한다. RFID 칩에는 그림 3-87에 제시된 데이터 맵과 같이 4개의 cell에 대하여 종자별 생육정보를 저장할 수 있다. 제시된 RFID 데이터 맵은 생육정보를 발아기와 성장기의 두 단계로 나누어져 있다. 1단계인 발아기는 48시간 암실재배가 이루어지며, 2단계의 성장기에는 광이 공급된다. 발아기와 성장기의 광, 관수량, 온도범위를 다르게 설정하여 새싹채소의 생육을 최적화 하였다. RFID data는 설치자가 임의로 원하는 값을 HEX 코드로 입력하여 조작이 가능하여 새로운 작물이 추가될 경우 재배 시스템을 이용한 재배가 가능하다. 현재 작

물의 조합은 5가지로 설정하였고, 소비자의 수요 및 시장구조에 따라 변경이 가능하다. 작물의 조합은 알팔파, 브로컬리, 클로버, 적무, 무순 등으로 이루어져 있다.

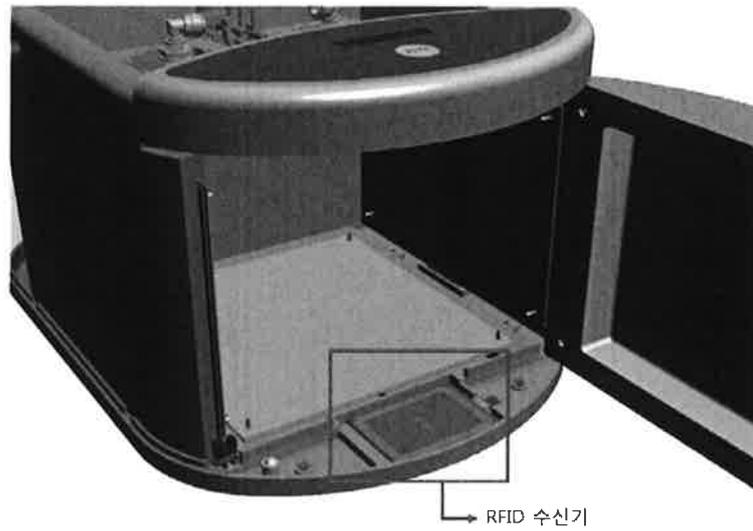


그림 3-85. 재배기 하단의 RFID 수신 장치

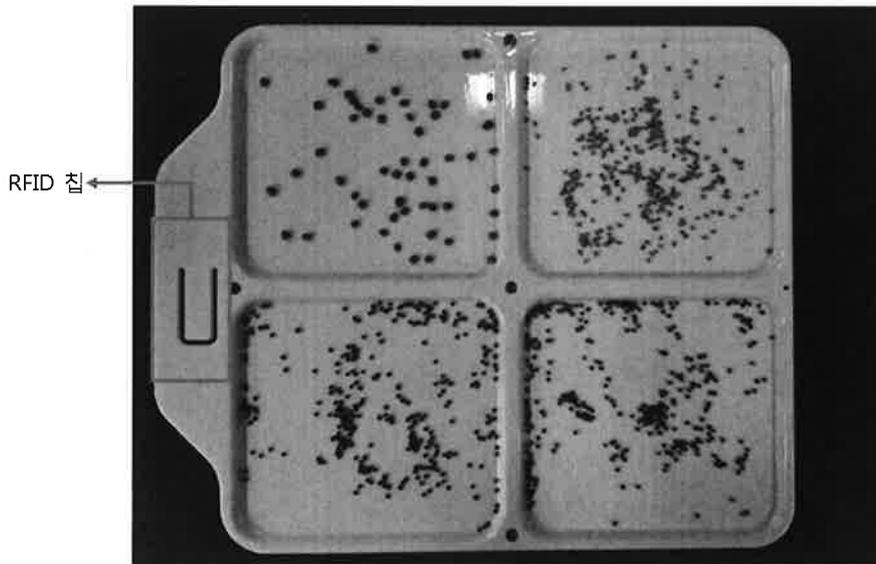


그림 3-86. 카트리지 및 RFID 칩

구분	TAG NO. (조합 NO.)	발아시간	발아온도		CELL별 물의 양(발아)				성장 시간	성장 온도		물 공급 주기 (hr)	CELL별 물의 양(성장)			
			최소	최대	CELL-1	CELL-2	CELL-3	CELL-4		최소	최대		CELL-1	CELL-2	CELL-3	CELL-4
			TAG1	TAG1	48hr	25°C	30°C	4ml		4ml	4ml		4ml	72hr	20°C	25°C
DEC	1	48	25	30	4	4	4	4	72	20	26	12	3	3	3	3
HEX	1	30	19	1E	4	4	4	4	48	14	1A	C	3	3	3	3
제한 값		72	18	38	2~9	2~9	2~9	2~9	96	18	38	08~18	2~9	2~9	2~9	2~9
TAG2	TAG2	48hr	25°C	30°C	4ml	4ml	4ml	4ml	72hr	20°C	25°C	12hr	3ml	3ml	3ml	3ml
DEC	2	48	25	30	4	4	4	4	72	20	26	12	3	3	3	3
HEX	2	30	19	1E	4	4	4	4	48	14	1A	C	3	3	3	3
제한 값		72	18	38	2~9	2~9	2~9	2~9	96	18	38	08~18	2~9	2~9	2~9	2~9
TAG3	TAG3	48hr	25°C	30°C	4ml	4ml	4ml	4ml	72hr	20°C	25°C	12hr	3ml	3ml	3ml	3ml
DEC	3	48	25	30	4	4	4	4	72	20	26	12	3	3	3	3
HEX	3	30	19	1E	4	4	4	4	48	14	1A	C	3	3	3	3
제한 값		72	18	38	2~9	2~9	2~9	2~9	96	18	38	08~18	2~9	2~9	2~9	2~9
TAG4	TAG4	48hr	25°C	30°C	4ml	4ml	4ml	4ml	72hr	20°C	25°C	12hr	3ml	3ml	3ml	3ml
DEC	4	48	25	30	4	4	4	4	72	20	26	12	3	3	3	3
HEX	4	30	19	1E	4	4	4	4	48	14	1A	C	3	3	3	3
제한 값		72	18	38	2~9	2~9	2~9	2~9	96	18	38	08~18	2~9	2~9	2~9	2~9
TAG5	TAG5	48hr	25°C	30°C	4ml	4ml	4ml	4ml	72hr	20°C	25°C	12hr	3ml	3ml	3ml	3ml
DEC	5	48	25	30	4	4	4	4	72	20	26	12	3	3	3	3
HEX	5	30	19	1E	4	4	4	4	48	14	1A	C	3	3	3	3
제한 값		72	18	38	2~9	2~9	2~9	2~9	96	18	38	08~18	2~9	2~9	2~9	2~9

그림 3-87. RFID 데이터 맵

### 나. 가정용 새싹채소 재배기 시제품의 경제성 평가 및 전력평가

표 15와 같이 새싹채소 재배기의 시제품 개발에 사용된 모든 품목들을 시제품 제조업체인 포엠웍스에 의뢰하여 조사하였다. 아래에 조사된 단가는 시제품을 매월 2000대 생산할 경우 예측된 부품단가이다. 시제품의 제작된 제조단가 중 가장 높은 비중을 차지하는 것은 RFID reader기, LCD와 메인 PCB기판 그리고 SMPS가 총 8만원으로 전체 제조단가인 16만원의 50%를 차지하였다. 연구개발계획에서 설정한 목표 시제품 가격은 25만원 이었고, 전체 제조단가가 16만원으로 이는 충분히 달성하였다고 판단된다. 하지만 3장 1절의 예상 소비자 대상 설문조사결과 소비자가 예상하는 시제품의 시장가격은 약 50%가 10~15만원으로 응답하였기 때문에, 제작된 시제품의 구성부품을 동일 성능을 가진 낮은 가격의 부품으로 대체한다면 소비자의 요구가격에 맞추어 갈 수 있을 것으로 판단된다.

가정용 새싹채소 재배 시스템의 가격은 과제 제안 당시 25만원으로 예상하였으나, 재배시스템을 구축한 결과 제품의 재료값이 약 16만원으로 결정되어 재료비에 비하여 최종 판매가가 너무 낮다고 판단되어 수익성을 얻기 힘들다. 이를 해결하기 위해서는 제품의 대량 생산화 또는 수익모델의 재설정이 필요하다. 그러나 제시된 16만원은 매달 2000대 생산 기준 원가로 이이상의 대량화는 보장할 수 없기 때문에 새싹채소재배시스템의 유통시스템에서 발생하는 부가가치로 수익모델을 개발하여야 한다. 개발된 가정용 새싹채소재배시스템은 종자 살균된 카트리지를 소비자에게 공급하는 형태이므로, 현재 유통 중인 정수기와 같이 재배기는 대여 형태로 공급하여 얻을 수 있는 대여료와 공급하는 카트리지를 통해 추가 수익을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

표 3-15 시제품 제작에 사용된 부품의 대량생산 가격조사

품목	품명 & 규격	MAKER	단가(원)	단위	수량	소요 가격
면상발열체	200mm x 150mm	화이본테크	₩3,800	EA	2	₩7,600
발열 안전 커버	PP 0.8t		₩800	EA	6	₩4,800
WATER PUMP	DWP-385(12V)	MOTOR BANK	₩8,000	EA	1	₩8,000
SOL V/V	HSV-FF-12V 1/4:1/4	STORM TEC	₩5,520	EA	1	₩5,520
4WAY VALVE	B4AM	지-게이트	₩3,050	EA	1	₩3,050
레벨센서		드림테크	₩2,200	EA	1	₩2,200
RFID READER	IS-3400m	익성전자	₩22,000	EA	1	₩22,000
LED 및 PCB			₩5,000	SET	4	₩20,000
LED PCB 고정 브래킷		금형 제작	₩500	SET	4	₩2,000
LCD DISPLAY 및 MAIN PCB			₩15,000	SET	1	₩15,000
전원 분배 PCB			₩5,000	SET	1	₩5,000
온도 센서	RT_103H3970	알티센서	₩1,500	EA	1	₩1,500
RFID TAG	에폭시-25mmx 38mm		₩1,000	EA	5	₩5,000
SMPS	HW-200-12	행웨이	₩22,000	EA	1	₩22,000
조작부 멤브레인 판넬	주문 형상	삼육프린텍	₩1,200	EA	1	₩1,200
실리콘 호스	내경4 x 외경7		₩800	m	1	₩800
방열 스펀지	250mmx200mm x15t	대성스폰지	₩500	EA	5	₩2,500
BULKHEAD 컨넥트	ST-800	STORM TEC	₩870	EA	4	₩3,480
스텝 엘보피팅	ST-500	STORM TEC	₩380	EA	4	₩1,520
DOOR 스펀지 테이프(단열)			₩500	EA	1	₩500
AC POWER JACK	AS-07		₩600	EA	1	₩600
ROCKER SWITCH	YSR-11-14		₩400	EA	1	₩400
DOOR FIT PLUNGER	PFPSN	MISUMI	₩1,600	EA	1	₩1,600
외장 커버(금형)			₩4,200	EA	1	₩4,200
손잡이(금형)			₩500	EA	1	₩500
조작 판넬 커버(금형)			₩1,400	EA	1	₩1,400
내장 박스(금형)			₩5,000	EA	1	₩5,000
DOOR 외장(금형)			₩1,400	EA	1	₩1,400

DOOR 내장(금형)			₩1,200	EA	1	₩1,200
TRAY (금형)			₩900	EA	1	₩900
하부 프레임(금형)			₩3,500	EA	1	₩3,500
RFID COVER(금형)			₩900	EA	1	₩900
부품 고정 판(금형)			₩1,700	EA	1	₩1,700
WATER TANK(금형)			₩1,200	EA	1	₩1,200
BOTTLE 노즐(금형)			₩1,200	EA	1	₩1,200
BOTTLE (금형)			₩900	EA	1	₩900
DOOR HINGE(금형)			₩500	EA	1	₩500
내부 분리막 (금형)			₩900	EA	1	₩900
온도센서 브래킷(금형)			₩500	EA	1	₩500
클립 외 각종 나사류			₩1,000	SET	1	₩1,000
총 합계						₩163,170

다. 재배기를 통해 재배된 새싹채소와 시장판매 새싹채소와의 가격비교

본 과제에서 제작된 시제품을 이용하여 새싹채소를 재배할 경우 1회 재배 시 5일이 소요되며 최대 250g까지 재배가 가능하였다. ADPOWER사의 HPM-300A 전력계를 이용하여 재배시스템이 5일간 소모하는 전력을 조사한 결과 약 6.4kwh를 소모하였다. 이를 한 달에 약 50kwh, 100kwh, 200kwh, 300kwh, 400kwh, 500kwh 이하, 500kwh 이상을 소비하는 가정에 대하여 한국전력공사 기준 전기요금을 계산한 결과를 아래의 표 3-16에 제시하였다. 시장에서 판매되는 새싹채소의 가격을 조사한 결과 이마트몰의 경우 250g에 3800원, 신세계몰의 경우 무순 60g을 1000원에 판매하였고 이를 250g으로 환산하면 4200원이다. 조사된 소비전력에 따르면 500kwh 이하를 사용하는 가구일 경우 소비되는 전력은 실제 시장에서 판매되는 새싹채소가 가격의 50%이고, 100kwh이하를 사용하는 가구의 경우 약 10% 수준으로 매우 낮은 수준으로 판단된다. 이를 통해 소비자가 본 재배시스템을 이용하여 새싹채소를 재배할 경우, 마트에서 구매하는 것에 비해 위생적이고 기능성 높은 신선한 새싹채소를 저렴하게 소비할 수 있을 것으로 판단된다.

표 3-16 소비전력규모별 새싹채소 재배시 소모 전력에 따른 비용

소비전력규모	50kwh 이하	100kwh 이하	200kwh 이하	300kwh 이하	400kwh 이하	500kwh 이하	500kwh 이상
재배비용	240	570	810	1170	2030	2670	4200

## 8. 자동 재배 시스템을 통한 성장 및 재배 특성 평가

자동 재배 시스템의 환경에서 6종의 새싹채소의 성장량을 측정하고자 하였다. 새싹채소의 최적 성장에 적합한 관수량 및 광도 조건으로 5일간 재배하였다. 시제품에서 재배한 새싹채소 중 적무의 재배 경과에 따른 사진을 그림 3-88에 제시하였다. 파종 전 침지 시간은 12시간이었으며 재배 시 환경조건은 주야간 온도 25°C, 광원은 청색, 적색 및 녹색 LED를 사용하였으며, 광도는  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이었다. 자동 재배 시스템에서 재배한 6가지 새싹 채소 모두 기존의 실험값과 유사한 결과를 나타냈다.

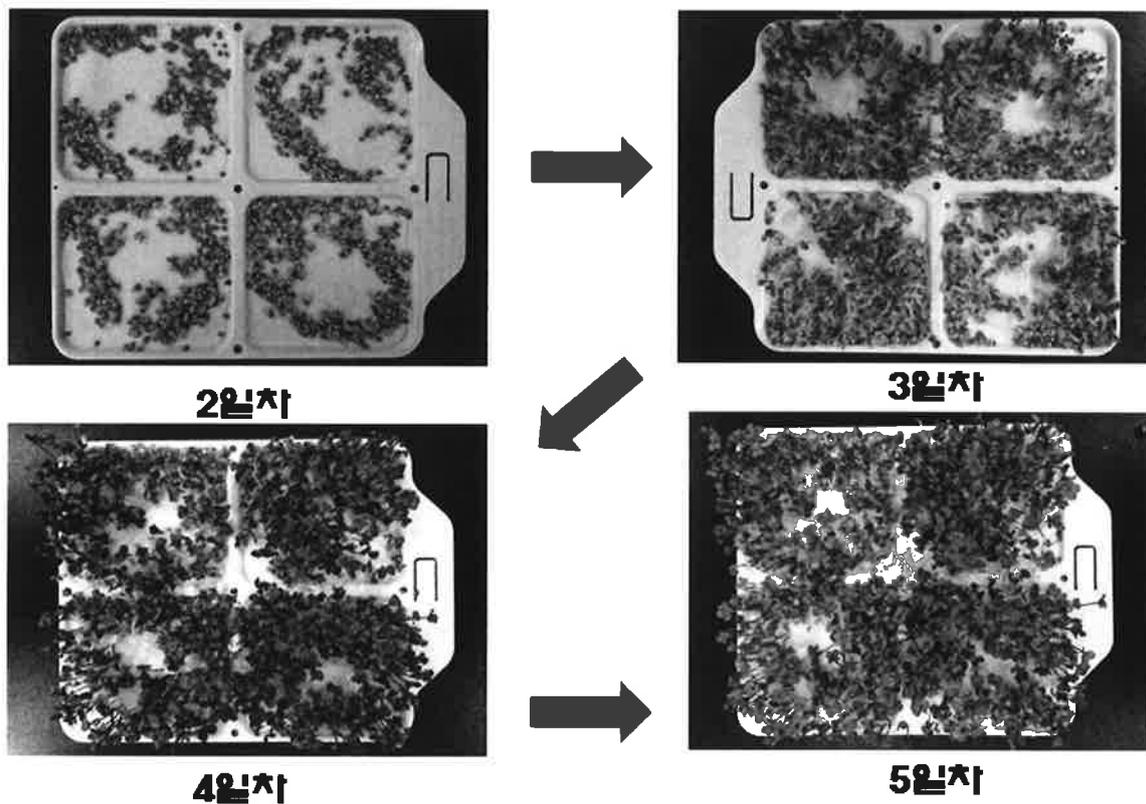


그림 3-88. 새싹채소 재배기 내부에서 길러진 생육일수에 따른 새싹채소의 사진

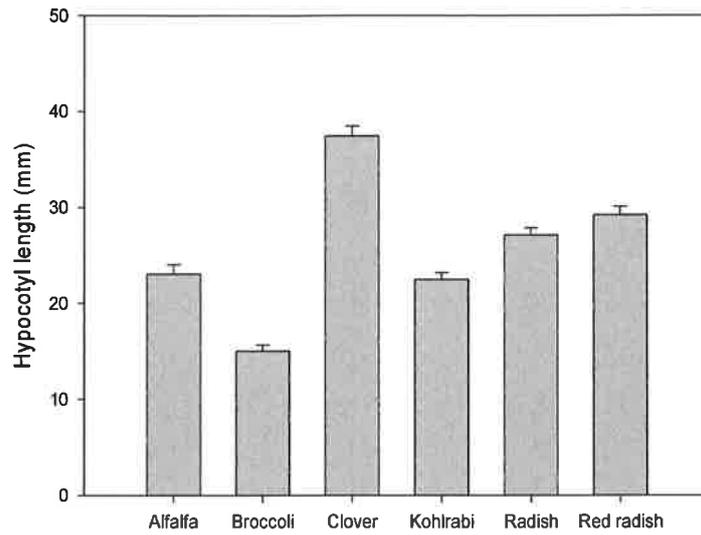


그림. 3-89. 자동 재배 시스템 조건에서 재배한 알팔파, 브로콜리, 클로버, 콜라비, 무 및 적무 새싹 채소의 초장

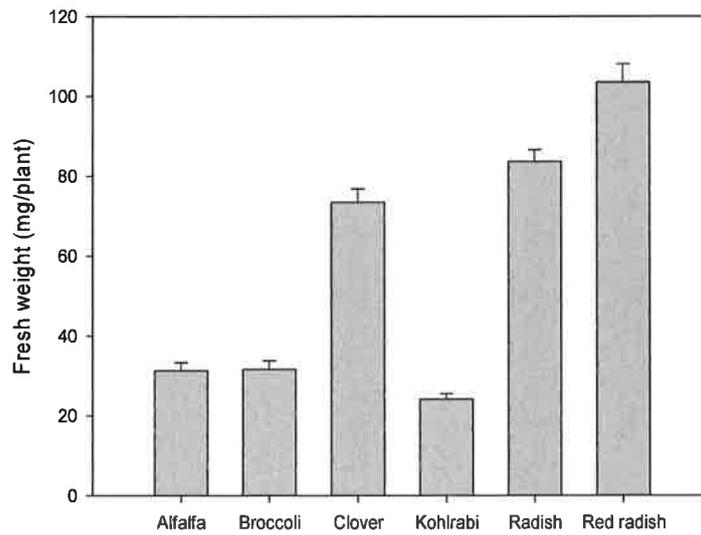


그림. 3-90. 자동 재배 시스템 조건에서 재배한 알팔파, 브로콜리, 클로버, 콜라비, 무 및 적무 새싹 채소의 생체중

## 제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

### 제 1 절 목표대비 성과 및 달성비율

연구개발의 목표	연구개발의 내용	연구 수행 주요 결과	달성 비율
가정용 자동 재배 시스템 내부 구성요소 설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 자동 재배 시스템 내부 온도 조절장치 설계</li> <li>○ 최소 발열 LED 모듈 설계</li> <li>○ 수경액 공급/분사 장치 설계</li> <li>○ Real-time Monitoring를 위한 Display 및 컨트롤러 설계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 내부 온도 설계 장치로 열선이 최종 선정되었으며 4면에 열선을 배치하여 열이 내부공간에 골고루 전달 될 수 있도록 함.</li> <li>- LED 모듈은 새싹채소가 자라는데 필요한 최소한의 광량을 조사하여 LED 발열에 의한 내부공간 온도 상승 및 전력 소모량을 최소화 함.</li> <li>- 멸균수를 새싹 채소별로 적정 관수량이 시간에 맞춰 공급 될 수 있는 시스템 설계.</li> <li>- 실시간으로 내부 온도 및 재배 진행 시간을 나타내 주는 LCD 기관 부착.</li> </ul>	100%
새싹채소류의 최적 환경 생육인자 구명 및 발아 촉진 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 새싹채소의 생육에 관여하는 요소 구명</li> <li>○ 새싹채소별 생육 프로파일 개발</li> <li>○ 새싹채소 최적 성장 환경 구명</li> <li>○ 새싹채소 최적 발아 및 생육 촉진 기술 개발</li> <li>○ 새싹채소 종자의 세척 및 소독을 통한 프라이밍 효과 구명</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 모든 새싹채소는 적정온도 (발아기 24±3℃, 성장기20±2℃)를 유지하면 성장에 유의미한 차이를 보이지 않았지만 관수량의 경우 종자별로 적정 관수량의 차이를 보임을 구명.</li> <li>- 새싹 채소 종자를 마이크로 버블을 이용하여 세척할 경우 대장균과 살모넬라 균이 완전히 제거되는 효과를 보임.</li> </ul>	100%
가정용 자동 재배 시스템 시작기 설계 및 제작	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시스템 컨트롤러 설계 및 제작</li> <li>○ 지능형 알고리즘 개발</li> <li>○ 재배 시스템 내부 모니터링 센서 구현</li> <li>○ 자동 재배 제어 시스템 설</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 최종 시제품의 경우 설정된 온도, 광량, 관수량의 조건으로 새싹을 재배하지만 최적 조건을 찾기 위해 내부 온도, 광량, 관수량이 컨트롤 가능한 내부 시스템을 설계.</li> </ul>	100%

	계 및 제작	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 타겟 새싹 작물에 따른 생육환경 조절 알고리즘 개발</li> <li>- 개발한 알고리즘에 따라 내부 환경을 컨트롤하여 새싹채소를 자동으로 재배하는 시스템 제작</li> </ul>	
적정 LED 파장 및 종자 카트리리지 설계인자 구명	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 새싹채소 신선도 증진을 위한 최적 LED 파장과 조사시간 구명</li> <li>○ 새싹채소 종자 살균처리 및 세척 기술 개발</li> <li>○ 새싹채소 살균처리 종자 카트리리지 설계인자 구명</li> <li>○ 새싹채소 종자 카트리리지의 포장 기술 개발</li> <li>○ 새싹채소 종자 정보 데이터 베이스 작성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 새싹채소 품종별 최적 LED 파장 구명</li> <li>- 새싹채소 재배에 적합한 살균 방법 도출(오존 마이크로 버블 수)</li> <li>- 새싹채소 종자 정보 데이터 베이스를 바탕으로 한 새싹 재배 가능화</li> </ul>	100%
지능형 태그 시스템의 개발과 자동 재배 시스템의 성능 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 지능형 RFID 태그 시스템 설계</li> <li>○ 재배 환경 구현</li> <li>○ 재배 시스템, 카트리리지 성능 평가/결과분석</li> <li>○ 소비자 선호도 설문조사 실시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- RFID 태그 시스템을 내부공간을 4칸으로 나눠서 각 칸의 광량(파장조절 포함), 관수량이 조절 가능하도록 설계.</li> <li>- 온라인 설문 조사를 통해 새싹채소 섭취 횟수, 선호 품종, 예상 가격에 대한 정보 수집.</li> </ul>	100%
카트리리지 발아 특성 평가 및 새싹채소의 기능성 특성 강화 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 새싹채소 종자 카트리리지 설계 및 제작</li> <li>○ 새싹채소의 기능성 특성 강화 기술 개발</li> <li>○ 자동 재배 시스템을 통한 생장 및 재배 특성 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- LED의 광도를 <math>100\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}</math> 까지 높여 생육 증진</li> <li>- 재배기간의 LED 파장 변환 적용</li> <li>- 새싹채소 자동 재배 시스템을 통한 생육 특성 검증</li> </ul>	100%

## 제 5 장 연구개발 성과 및 성과 활용 계획

### 제 1 절 실용화 및 산업화 계획

#### 가. 실용화 계획

- 본 연구결과를 실용화하기 위해 본 연구과제의 참여기업인 (주)FC 포이베, (주)산소와 생명에 기술 지도를 실시할 예정임.
- 최종 제품에 대하여 원가경쟁력을 확보하기 위해 금형 제작 및 각 부품에 대한 표준화를 실시할 예정임.
- 가정에 설치되어 사용될 제품이므로 제품의 미관을 고려한 설계를 진행할 예정이며, 제품의 디자인에 맞추어 시제품에 사용되었던 부품들에 대하여 세부 평가를 실시할 예정임.
- 실용화를 위한 내구테스트 및 제품 성능 테스트를 외부 성능분석기관 및 시험기관에 의뢰하여 제품의 안정성 및 사용자 편의성에 대한 조사를 실시할 예정임.

#### 나. 산업화 계획

- 참여기업의 산업화 및 제품 양산화를 위해 대량 생산체계의 구축이 필요하며 그에 따른 마케팅 계획이 필요함.
- 소비자에게 15만원 이하의 제품을 공급하는 것을 목표로 하고 양산 시스템 적용에 있어서 가격 결정 가이드라인을 설정할 계획임.

### 제 2 절 교육/지도/홍보 등 기술 확산 계획

- 본 연구결과를 토대로 참여기업인 (주)FC 포이베, (주)산소와 생명에 우선 기술전수를 실시할 계획이며, 추후 참여기업의 의사에 따라 다른 기업에 기술전수를 실시할 수 있음.
- 새싹채소 재배기를 소비자가 사용할 때, 제품 설계 목적에 부합할 수 있도록 사용자가 편리하게 사용할 인터페이스 구축에 대한 추가적인 지도를 실시할 예정임.

### 제 3 절 특허/품종/논문 등 지식재산권 확보 계획

#### 가. 특허 등록 및 출원 계획

- 특허 1 : 새싹채소 재배 카트리지 및 이를 포함하는 새싹채소 자동재배 장치

내용 : 새싹채소가 재배되는 재배구역이 형성된 재배 카트리지로서, 내부에 상기 재배구역이 구비되고, 상단이 개방된 박스형상의 바디부 및 상기 바디부의 일측면에 배치되는 전자태그 홀더를 포함하고, 상기 새싹채소의 정보가 기록된 전자태그가 상기 홀더에 구비되는 것을 특징으로 한다.

등록 : 2012년 12월 7일 특허로 등록됨 (등록번호 10-121213)

- 특허 2: 마이크로오존버블을 사용한 새싹채소 종자 살균법 개발

내용 : 본 발명에 따른 마이크로 오존 버블 처리가 10분 이상일 경우 일반 미생물이 검출되지 않았음. 마이크로 오존 버블의 처리시간이 30분까지 증가하여도 발아율의 감소는 나타나지 않았음. 미생물이 검출되지 않았던 10분 이상의 처리구에서는 처리 후 5일이 경과하여도 일반 미생물이 검출되지 않았음. 마이크로 오존 버블을 이용하여 살균처리를 할 경우 안전한 새싹채소 생산이 가능하다.

출원 : 출원 작업 진행 중

#### 나. 논문 계획

- SCI(E)급 국내 저널에 논문을 투고하여 심사 진행 중

Journal : Korean Journal of Horticultural Science & Technology

Title : Growth and total phenolic content of six vegetable sprouts cultivated under different light qualities and intensities

KSCI급 논문에 투고하여 1차 심사 후 revision 요청사항 수정 중

Journal : Journal of Biosystems Engineering

Title : Correlation analysis between growth factors of seed sprouts and pixel

counts of leaf area

2014년 특허 출원 이후 투고 예정

Title : Developing automatic vegetable cultivating system by RFID tag system

#### 제 4 절 추가연구/타 연구에 활용 계획

- 현 시점에서는 본 연구과제로 개발된 새싹채소 재배기의 산업화 및 보급이 우선이나, 향후 제품 양산화 단계에서 제품의 품질 향상을 이슈로 한 연구가 진행될 수 있음
- 진공 살균 카트리지의 제작 가격을 합리적으로 낮추는 연구와 카트리지 새싹 종자 저장성 향상에 대한 연구가 기획단계에 있음
- 영상처리 기술을 기반으로 한 새싹채소의 잎의 면적과 잎의 색상에 따른 새싹채소의 생중량에 대한 연구가 진행 중이며 이와 더불어 영양성분 예측에 대한 연구를 할 계획임.
- 개발된 재배기의 실시간 모니터링을 위하여 Wifi 통신을 이용해 사용자가 스마트폰을 통해 언제 어디서든 재배기의 가동상태를 파악 및 제어할 수 있도록 연구를 할 계획임

## 제 6 장 참고문헌

이진홍, 웰빙 채소류의 생산·유통체계 구축을 위한 경기도 대응전략, 2007, 농업기술원

김연중, 박현태, 한혜성, 새싹·쌈채소 생산·유통실태 및 육성방안, 2006, 한국농촌경제연구원

서명훈, 새싹·베이비채소 농산물 유해미생물 안전생산 시스템 개발, 2010, 경기도농업기술원

Lee, H., et al. (2009). "Microbiological Characterization and Chlorine Treatment of Buckwheat Sprouts." Korean Journal of Food Science and Technology.

김종만, et al. (2009). 드럼회전식 새싹채소 생산용 관수 및 광환경 설비의 자동화 시스템 개발. 과천, 농림수산식품부.

농촌진흥청, et al. (2009). 웰빙 새싹채소의 미생물학적 안전성 향상을 위한 최소가공공정과 항균포장기술의 개발에 관한 연구. 수원, 농촌진흥청.

전소윤, et al. (2009). "새싹채소 생산현장에서 재배공정별 미생물학적 위해 평가." 한국식품저장유통학회지 (구 농산물저장유통학회지) 16(6): 971-976.



## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 “지능형 가정용 새싹채소 자동 재배 시스템 개발” 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 “지능형 가정용 새싹채소 자동 재배 시스템 개발” 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.