

보안과제(), 일반과제(○) 과제번호 107016-2

드럼회전식 새싹채소 생산용 관수 및 광환경 설비의 자동화 시스템 개발

(The Development of Automation System in Water Supply
and Light Environment Management for the Production of
Sprout Vegetables by Drum-type Rotary Facilities)

전남도립대학

농 립 수 산 식 품 부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “드럼회전식 새싹채소 생산용 관수 및 광환경 설비의 자동화 시스템 개발” 과제의 보고서로 제출합니다.

2009년 5월 29일

주관연구기관명 : 전남도립대학

주관연구책임자 : 김 중 만

세부연구책임자 : 조 자 용

연 구 원 : 배 중 민

연 구 원 : 박 정 훈

연 구 원 : 박 지 웅

연 구 원 : 장 율 석

연 구 원 : 윤 현 진

연 구 원 : 변 승 원

연 구 원 : 우 효 훈

협동연구기관명 : (사)한국온실작물연구소

협동연구책임자 : 서 범 석

연 구 원 : 박 양 호

연 구 원 : 정 효 진

연 구 원 : 이 철 호

연 구 원 : 이 선 영

연 구 원 : 정 두 남

연 구 원 : 윤 중 주

연 구 원 : 심 재 훈

참 여 기 업 명 : (주)성원산업

참여기업책임자 : 김 완 채

연 구 원 : 김 복 술

연 구 원 : 김 민 환

요 약 문

최근, 새싹채소는 참살이를 추구하는 소비자들이 무 농약, 무 호르몬 재배 등 식품안전성과 고기능성 식품을 적극적으로 요구함에 따라 소비가 크게 증가하고 있다.

드럼회전식 새싹채소 재배기는 새싹채소의 대량생산을 위해서 도입되었지만, 국내에서 연구개발된 사례가 없으며, 모든 기계설비는 일본, 미국산을 모방한 제품이 대부분이다.

드럼회전식 새싹채소 재배기는 드럼내에서 종자가 정기적으로 움직이므로 환기량, 살수냉각 등의 방법을 부패를 방지할 수 있는 장점이 있지만, 종자의 크기, 새싹의 성장단계에 따른 적정 수분량 공급장치 및 습도 유지를 위한 자동화 생산시스템이 결여되어 있는 상황이며, 착색을 요하는 품목의 경우 최종 생육단계에서 투과되는 광량의 미흡, 광량 및 광질 조절의 곤란 등으로 인하여 고품질의 새싹을 생산하는데 제한요인이 된다.

또한, 기존 도입된 재배기는 파종 및 수확작업이 불편하고, 수확후 위생관리에 많은 시간과 경비가 소요되므로써 우리나라의 체형과 논리에 적합한 새싹채소 재배기의 국산화 개발이 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구는 최종 소비단계에서 활용 가능한 새싹채소 재배기를 국산화 개발하고 광, 온도 및 습도환경을 원격제어 할 수 있는 재배시스템을 개발하는데 연구목표를 두고 추진하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 기존 새싹채소 재배기의 고정식 대형 드럼을 개별 수확 및 충전이 가능한 5개의 원형 드럼셀(drum cell)로 개발하여 파종, 수확 및 청소작업 등을 획기적으로 개선되었으며, 새싹채소의 품질도 향상되었다.

2. 새싹의 성장과정에 적합한 환경과 물리성을 최적화 시키므로써 생산주기 단축, 생산성 증대, 품질향상, 착색 촉진 등의 효과가 인정되었다.

3. 광, 온도, 습도환경을 독립제어가 가능한 중소형 새싹채소 재배기를 개발하므로써 초·중·고등학교 학습용, 단체 급식용, 전문식당용, 식품 체인점용 등으로 직접 사용이 가능하므로써 새싹채소 생산 경영의 가장 큰 애로사항인 다단계 유통과정을 축소 가능하였다.

4. 광과 수분제어를 최적환경하에 자동제어할 수 있도록 수분 제어시스템 및 광모듈 기반 인공광원 제어시스템을 구현하였으며, 제작된 광모듈의 파장별 스펙트럼을 분석하여 기존의 형광광등에 비해 고효율 LED를 도입하였다.

5. 모든 제어장치를 원격지에서 센서로 감지된 수분신호와 온도신호를 받아 최적의 출력값으로 제어시키는 임베디드기반 제어시스템을 제작하였으며, 생산과정 중에 새싹채소의 크기 등을 화상신호로 원격지에서 모니터링할 수 있도록 최적 프로그램을 구현하였다.

6. 새싹종자의 발아속도는 LED 광원의 광질에 따라 차이를 보였으나 발아율은 광에 관계없이 모두 3일 안에 100% 발아하였고, 과종 후 6일에 새싹의 초장은 브로콜리는 백색광에서 3.8cm, 아마란서스는 적색·청색광에서 3.08cm, 알팔파와 붉은열무는 녹색광에서 2.54cm, 3.84cm, 유채와 적콜라비는 백색광에서 각각 2.83cm, 3.02cm로 가장 크게 나타났다.

7. 새싹은 26°C에서 종자의 발아속도와 생장이 빨랐으나 기능성물질은 열수 추출의 경우 20°C 처리구에서 많은 경향을 나타냈고, 에탄올 추출물의 경우 26°C에서 많은 경향을 나타내었다. 무기물 함량은 브로콜리, 아마란서스 및 유채는 황색광에서 K와 Ca 함량이 높았고, 적콜라비와 붉은열무는 청색광에서 K, Ca, Fe, Na 및 Mg 함량이 높았으며, Cu, Zn, Se 및 Pb는 광의 영향을 거의 받지 않았다.

8. 총 아미노산 함량은 브로콜리의 경우 적색광과, 녹색광에서, 아마란서스는 백색광과 황색광에서, 알팔파는 녹색광과 백색광에서, 유채는 녹색광과 적색광에서, 적콜라비는 녹색광과 황색광에서, 붉은열무는 적색·청색광과 적색광에서 함량이 많이 나타났다.

9. 총페놀 함량은 브로콜리, 적콜라비 및 붉은열무는 백색광에서, 아마란서스와 알팔파는 청색광에서, 유채는 적색광에서 가장 많았다. 총플라보노이드 함량은 브로콜리와 유채는 청색광에서, 아마란서스, 알팔파, 적콜라비, 붉은열무는 적색·청색광에서 각각 많았다.

10. 항산화활성은 브로콜리, 알팔파 및 유채는 백색광에서 좋았으며, 아마란서스, 적콜라비, 붉은열무는 적색·청색광에서 RC_{50} 값이 낮아서 가장 좋았다. 아질산염 소거능은 브로콜리, 아마란서스, 적콜라비, 붉은열무는 황색광에서, 알팔파와 유채는 백색광에서 높게 나타났다.

11. Tyrosinase의 저해 활성은 새싹채소의 메탄올 추출물 2,000mg·L⁻¹일 때 모두 22.5% 이하를 나타낸 가운데, 아마란서스, 알팔파 및 유채는 녹색광에서 4.4, 8.0 및 22.5%로, 적콜라비와 붉은열무는 청색광에서 12.0과 18.0%로 다른 광에 비해 상대적으로 높게 나타났다.

12. 항균활성은 6종의 새싹채소 추출물 모두 그람양성균과 그람음성균에 대해 8.0~13.7mm의 저해환을 나타내어 항균활성을 보였으며, 항균 활성정도는 새싹채소 종류, 균의 종류 및 LED 광에 따라 차이를 보였다.

이상의 결과를 종합적으로 요약하면 본 연구에서 개발된 LED를 이용한 드럼회전식 새싹채소 재배기는 드럼 셀(drum cell)을 5개로 개별 작업이 가능하도록 개선하고, 광, 온도, 습도 및 전기제어를 원격조정이 가능하도록 개발함으로써 새싹채소의 유통과정을 축소하면서 최종 소비단계에서 직접 생산, 소비가 가능하게 되므로써 새싹채소의 소비 확대를 통한 국민 건강증진에 기여할 것으로 사료되며, 미래형 도시속의 새싹채소 재배농장 실현을 위한 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 기대되었다.

(주요어 : 새싹채소, 드럼회전식 새싹채소 재배기, 임베디드제어, 인공광원, LED, 종자 발아, 플라보노이드, 아질산염 소거능, 항산화 페놀, 티로시나제)

SUMMARY

The consumption of the sprout vegetables has recently been increased because the customers want safer and higher functional foods.

Drum-type Rotary machines used to produce sprout vegetables for mass production were introduced. Drum-type Rotary machines have not been invented in the domestic industry. They are all duplicates of Japanese or American ones. The merits of decay-preserving through a quantity of ventilation and a sprinkling cooling system, as the reason why the product machine of sprout vegetables by Drum-type Rotary machines is moved periodically. But there is lacking of automatic control systems for the supply machine of adapted waters and humidity according to the size of seeds and growth steps. And there is limited reasons in production of high quality of sprout vegetables through the insufficiency of quantity of lights and troubles of control about the quantity and quality of lights, in case of items needing of coloring.

Also, the existing product machine is inconvenient in working of seeding and harvesting, and it is required the many times and much costs in management of public health after harvest. Now we need a domestic development of the product machine of sprout vegetables.

Therefore we developed a domestic machine which could use for the final consumer and we carried out the development of cultivation system possible for the remote control about the condition of temperature and humidity.

And we brought the satisfactory results as follows.

1. We changed the existing large fixed drum type machine into a 5 new circular type drum cell enabling it to harvest separately and to be rechargeable. This newly developed machine makes it greatly easier to seed, to harvest, and to clean up. As a result, the quality of the sprout vegetables tangibly enhanced.

2. We developed a suitable environment and physical characteristics for the growth of sprout vegetables, shortened the production period, increased the quality, and promoted coloring.

3. We developed the middle and the small typed product machine of sprout vegetables, and could supply lunch meals for the elementary school, middle school, and high school, and for the group meals, specialized restaurants directly. As a result, we could reduce the process for multilevel delivery

system.

4. A humidity control system and an artificial-light control system with light module type were developed. We analyzed the wavelength spectrums about the manufactured light modules and introduced a high degree of efficiency LED.

5. We manufactured an Embedded Control System which could adjust the optimal output by processing the water and temperature signals from the long distance. We also designed an optimal program which could monitor the images of the various sizes of sprout vegetables in remote distance.

6. All the seeds of six sprout vegetables were germinated within 3 days after seeding even if there were some difference among the LED light colors. Shoot length of the various sprouts in 6 days after seeding was most grown when alfalfa and red radish were grown under green color light by 2.54cm and 3.84cm, rape, red kohlrabi and broccoli under white color by 2.83cm, 3.02cm and 3.8cm, and amaranth sprouts under red-blue colors by 3.08cm.

7. The germination speed and growth of sprout vegetables were fast, but we found many functional materials at 20°C disposal area in case of samples, and 26°C disposal area in case of Ethanol. K and Ca contents in broccoli, amaranth, and rape sprouts were extremely increased when grown under yellow color light, However, K, Ca, Fe, Na and Mg contents in red kohlrabi and red radish sprouts under blue color, Cu, Zn, Se and Pb contents in sprouts were not affected by the light.

8. Total amino acids contents in broccoli sprouts were almost increased when grown under red color and green lights, those in amaranth under white and yellow color lights, those in alfalfa under green and white colors, those in rape sprout under green and red colors, those in red kohlrabi sprout under green and yellow colors, and those in red radish sprout under red-blue colors.

9. Total phenol contents in broccoli, red kohlrabi and red radish sprouts were extremely increased when grown under white color light, those in amaranth and alfalfa sprouts under blue color, and those in rape sprout under red color. Total flavonoid contents in broccoli and rape sprouts were much more when grown under blue color light, and those in amaranth, alfalfa, red kohlrabi and red radish sprouts under red-blue colors.

10. DPPH radical scavenging activity in broccoli, alfalfa and rape sprouts at RC_{50} was most lowest when grown under white color light and that in amaranth, red kohlrabi and red radish sprouts at RC_{50} under red-blue colors.

11. Tyrosinase inhibition activity at $2,000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ in all the sprout extracts by methanol was no more than 22.5%. And that in amaranth, alfalfa and rape sprouts under green color light was 4.4, 8.0 and 22.5%, and that in red kohlrabi and red radish sprouts under blue colors was 12.0 and 18.0%.

12. All the sprout vegetables had the anti-microbial activities against the gram positive and negative bacteria by 8.0~13.7mm inhibition zone. However, the extent of anti-microbial activities were different by the kinds of the sprouts, the microbial strains, and the light of LED.

Synthetically speaking, we changed the large fixed drum of current machine of sprout vegetables into the 5 new circular typed drum cell system, and developed the technics of remote control of lights, temperatures, humidities, and electric controls. And we reduced the delivery of distribution of sprout vegetables.

We reduced the steps for multi-level delivery system. This enables us to expand the consumption of sprout vegetables and to contribute to improve people's health.

We hope this study contribute to the development of the vegetable industry.

Key Words : Sprout vegetable, Drum-type sprout machine, Embedded Control System, Artificial Light Source, LED, the seed germination, flavonoid, nitrite radical scavenging activity, total phenol compound contents, tyrosinase, nutritional composition

CONTENTS

Chapter 1. Outline of the Study	14
Verse 1. Background of the R&D	14
Verse 2. Need of R&D	16
Verse 3. Range of R&D	18
Chapter 2. Current studies in domestic and abroad	20
Verse 1. Use of sprout vegetables	21
Verse 2. sprouting and growing of sprout vegetables	22
Verse 3. Nutritious components of sprout vegetables	23
Verse 4. Physical Activities of sprout vegetables	24
Verse 5. Growing plants using LED lights	26
Chapter 3. Contents and Results of the Study	26
Verse 1. Developing automatic control system for water and light environments ..	27
1. Introduction	27
2. Goals and Methods of research	28
A. Goals of research	28
B. Methods of research	28
C. Materials of research	29
3. Results and survey	30
A. Manufacture and Analysis of intelligent water-tube system	30
B. Developing results and survey of automatic control system for light environments	40
(1) Manufacturing system for LED color mixing modules	40
(2) Control system for Light Fiber	45

C. Results and survey of automatic embedded system using Microprocessor	47
(1) Structure of combined control system using Embedded system	4
(2) Design of controller for light system	7
(3) Results and Survey of Embedded control system	8
Verse 2. Monitoring test and industrialization for optimal production	83
1. Introduction	83
2. Materials and Methods	84
A. Test materials and Methods	84
B. Change of nutritious components of sprouts about the processing of LED	85
C. Change of functional materials according to the processing of LED and temperature	86
3. Results and Survey	89
A. Sprout rates and growing response according to the processing of LED	89
B. Sprout rates and growing response according to temperature condition	104
C. Change of nutritious components according to the processing of LED	119
D. Change of functional materials according to the processing of LED and temperature	132
E. Change of functional materials according to the processing of temperature	151
F. Development and test for Monitoring system	157
(1) Pilot operation of control monitoring based on wireless sensor	15
(2) Sensor monitoring program	160
Verse 3. Install of vegetable plant system for laborsaving	185
1. Introduction	185
2. Materials and Methods	185
3. Results and Survey	186
A. Developing vegetable plant system for laborsaving	186
(1) Major formal speculation	186

(2) Material drawing and assembling drawing	186
(3) Addition of handle gear for controlling up & down angular of drum ..	202
(4) Design of laborsaved drum easy to detachment when harvesting ..	202
(5) Developing cover-locking device easy to input seeds and harvesting ..	206
(6) Addition of anti-germ filter for inflow and outflow of germfree air in the sprouting device	206
(7) Light potable sprout grower easy to control light, temperture and humidity	207
(8) Improving drum covering of structures easy to coloring	210
(9) Eliminating seed skin of sprouts after harvesting	210
(10) Automatic dehydration system	211
(11) Performance test of the newly developed sprouts	211
B. Test of optimal production & Industrialization	213
(1) Influence on growing and quality of sprout vegetables from the difference of light sources	213
(2) Material lists	216
 Chapter 4. Goal achievements and contribution to reated areas	 220
 Chapter 5. Achievements of R&D and use of achievements	 221
 Chapter 6. Abroad Scientific-Technology information collected during R&D ..	 225
 Chapter 7. References	 228

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	14
제1절. 연구개발 배경	14
제2절. 연구개발 필요성	16
제3절. 연구개발 범위	18
제 2 장 국내외 기술개발 현황	20
제1절. 새싹채소의 이용	21
제2절. 새싹채소의 종자발아와 생장	22
제3절. 새싹채소의 영양성분	23
제4절. 새싹채소의 생리활성	24
제5절. LED 광을 이용한 식물재배	26
제 3 장 연구수행 내용 및 결과	27
제1절. 수분 및 광 환경 자동제어 장치 개발	27
1. 서언	27
2. 연구 목표 및 방법	28
가. 연구 목표	28
나. 연구 방법	28
다. 연구 재료	29

3. 연구 결과 및 고찰	30
가. 지능형 관수시스템 제작 및 분석	30
나. 자동계측 가능한 광 환경 제어기시스템 개발 결과 및 분석	40
(1) LED 광 색조합 모듈 제어 하드웨어장치의 구축	40
(2) 인공광원 스펙트럼 특성 시험 결과 및 고찰	42
(3) 광섬유 제어장치	45
다. 마이크로프로세서 응용 임베디드 자동화제어장치 구현 및 고찰	47
(1) 임베디드 시스템 응용한 종합환경 제어장치의 구성	47
(2) 광 조명장치 제어반 설계	79
(3) 자동화 임베디드시스템의 제어실험 및 고찰	82
제2절. 최적화생산 모니터링 시험 및 산업화	83
1. 서언	83
2. 재료 및 방법	84
가. 시험재료 및 방법	84
나. LED 광 처리에 따른 새싹채소의 영양성분 변화	85
다. LED 광 및 온도 처리에 따른 새싹채소의 기능성물질 변화	86
3. 결과 및 고찰	89
가. LED 광 처리에 따른 새싹채소의 발아율 및 성장반응	89
나. 온도조건에 따른 새싹채소의 발아율 및 성장반응	104
다. LED 광 처리에 따른 새싹채소의 영양성분 변화	119
라. LED 광과 온도 처리에 따른 새싹채소의 기능성 물질 변화	132
마. 온도처리에 따른 새싹채소의 기능성 물질 변화	151
바. 모니터링 시스템 개발 및 시험	157
(1) 무선센서 기반 제어 모니터링 시험 운용	157
(2) 센서 모니터링 프로그램	160
제3절. 생력화를 위한 생물공장 시스템 설치 구성	185
1. 서 언	185

2. 재료 및 방법	185
3. 결과 및 고찰	186
가. 생력화를 위한 생물공장 시스템 장치 개발	186
(1) 주요 형식 제원	186
(2) 부품도 및 조립 설계도	186
(3) 드럼의 상하각도 조절용 핸들기어 부착 기능 추가	202
(4) 새싹 수확시 탈착이 용이한 생력화된 드럼 설계	202
(5) 새싹 종자 투입 및 수확작업이 용이한 커버 잠김 장치 개발	206
(6) 발아기내 무균 상태의 공기 출입토록 항균필터 기능 추가	206
(7) 자체 광, 온도, 습도조절이 가능한 경량형 이동식 새싹재배기	207
(8) 착색이 용이한 구조의 드럼 피복재 개선	210
(9) 수확후 새싹의 종피 제거작업	210
(10) 탈수 자동화 시스템	211
(11) 신규 개발된 새싹채소 생산시스템의 성능시험	212
나. 최적화 생산 시험 및 산업화	213
(1) 광원의 광질 차이가 새싹채소의 생육과 품질에 미치는 영향	213
(2) 자재목록	216
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	220
제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획	221
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	225
제 7 장 참고문헌	228

제1장 연구개발과제의 개요

제1절. 연구개발 배경

새싹채소는 종자에서 발생하는 싹을 키워 생육초기의 어린 배추과 자엽을 이용하는 것으로 오래 전부터 소비되어 온 신선편의 식품으로서 다양한 품종의 새싹채소가 동·서양에서 다양한 형태로 소비되고 있다(Bae 등, 2008; Lucy 등, 2002). 최근에는 참살이를 추구하는 소비자들이 무 농약, 무 호르몬 재배 등 식품안전성과 고기능성 식품을 적극적으로 요구함에 따라 새싹채소의 소비가 크게 증가하고 있다(Choe 등, 2006).

새싹채소에 이용되는 종자는 유채, 무, 양배추, 클로버, 메밀, 녹두 및 겨자 등 다양한 종류가 이용되고 있는데, 그 중 우리나라에서 많이 이용되고 있는 종류는 브로콜리, 아마란서스, 알팔파, 유채, 적콜라비 및 붉은열무 등이다(Bae 등, 2008). 이들 종자에서 싹을 틔운 것들은 생식 또는 요리에 최소가공 형태로 소비되고, 아미노산, 탄수화물, 미네랄, 비타민 및 폴리페놀 등의 많은 영양성분들을 함유하고 있어 건강식으로서 높은 관심을 받고 있으며(Feng, 1997), 대형 마트에서 새싹채소라는 이름으로 판매되고 있다(Park 등, 2007).

새싹채소는 종자에서 발아된 새싹을 이용하기 때문에 새싹채소의 효율적인 생산과 기능성물질이 다량으로 포함될 수 있는 발아와 성장 환경조건 구명은 새싹채소의 생산과 소비의 효율성 측면에서 매우 중요하다(Cho 등, 2008). 일반적으로 새싹의 발아와 성장에 영향을 미치는 환경요인은 수분, 온도 및 광조건 등이다. 이 중 광은 종자 발아에 중요한 영향을 미치며, 광 조건에서 발아하는 것을 호광성 종자 또는 명발아 종자라 하며, 광이 없는 상태에서 발아하는 종자를 혐광성 종자 또는 암발아 종자로 구분하고 있다(Kwack과 Kang, 1985). 명발아 종자는 종피에 있는 phytochrome이 발아생리에 관여하며, 근적외선 광에 의하여 발아가 촉진되거나 억제되는 것으로 알려져 있다(Maneinelli 등, 1966). 또 종자에서 발아하는 새싹에서 광은 식물 체내의 phytochrome이라는 광수용성 단백질에 영향을 미치고, 이것은 성장, 형태 및 색소형성의 에너지원과 조절인자로 작용하며, 생리활성 물질의 생성에도 영향을 미친다(Fankhauser와 Chory, 1997; Hopkins, 1999; Kendrick과 Kronenberg, 1994). 이와 같이 새싹채소의 종자발아와 성장 그리고 기능성물질의 함량에 미치는 광의 영향이 이처럼 큰데도 새싹채소의 생산시 다양한 광을 이용하는 사례나 연구결과는 국내외적으로 거의 없는 실정이다.

한편, 최근 상용화되고 있는 LED(light emitting diode, 발광다이오드)는 식물이 광합성 및 성장에 필요한 파장역만을 갖는 단색광으로 식물 재배에서 특정 파장역만을 갖는 광 선택이 가능하다는 점, 둘째, 소형으로 판넬화가 가능해 성장상이나 새싹채소 재배기와 같이 비교적 좁은 공간에서도 활용할 수 있는 점, 셋째, 열선을

방사하지 않으며 전력 소모량이 기존광원의 절반 이하의 수준이라는 점, 넷째, 수명이 반영구적이라는 등의 장점(Hwang 등, 2004)이 있으므로 새싹채소 재배에서 특정한 광을 이용할 수 있을 것이며, 재배목적에 따라 맞춤형 광으로 제어할 수 있는 장점이 있음에도 현재까지 새싹채소 재배에서 종자의 발아와 생장 그리고 기능성물질 함유량에 관한 영향 연구는 거의 없는 실정이다.

새싹채소 생산방식은 두가지 방식으로 구분되는 데 무순이 처럼 트레이 판에 전통적인 콩나물재배 방법과 같이 인공배지를 피복하거나 피복하지 않은 상태에서 직접 과중하여 지상살수 또는 저면관수방식으로 기르는 방법이 있으며, 또 한가지 방식이 본 연구에서 시행하고 있는 드럼회전식 새싹채소 재배방식이다.

드럼회전식 새싹재배기는 미국, 일본에서 일부 상용화되어 있으나, 국내에서는 이들 제품의 모방하여 설비되고 있는 실정이며, 환경조절 방식, 작업성 등의 측면에서 많은 단점과 불편한 점이 지적되고 있다.

특히, 대부분 고정식 대형드럼 구조로 되어 있어 과중, 수확 및 청소작업이 불편하며, 환경조절 방식에 있어서도 관수제어, 온도제어, 광환경 제어 등 모든 환경요인을 수동조절하고 있어 미세환경조절의 어려움과 유해균 번식, 오염 등에 노출되기 쉬운 단점이 있다.

새싹채소는 수확후 종피제거, 세척 및 탈수과정을 거쳐 예냉고에서 예냉후 저온저장한 다음 필요량 만큼 소포장으로 포장하여 출하하게 된다. 국내에 시판되는 포장규격은 대부분 소포장인 50gm 65g 포장제품이며, 기관, 단체 급식용으로는 150g, 500g 단위로 포장 출하하고 있다. 따라서, 새싹채소 생산자 입장에서는 소포장에 드는 포장 재료비, 인건비, 에너지 및 유통비용으로 지출되는 금액이 매출액의 70~90% 범위로 커지므로써 소포장에 따른 경영 적자가 누적될 수 밖에 없는 시장구조가 문제가 된다. 따라서, 본 연구에서는 대량 소비처인 식당, 급식업체 등에서 직접 새싹재배기를 설치하여 재배, 유통, 소비하므로써 중간유통 마진 축소는 물론 유통시간을 단축시켜 품질유지 및 수익증대가 가능할 것으로 판단하여 우리 나라 체형, 논리 및 유통소비 특성에 적합한 보급형 새싹재배기를 개발하고자 하였다.

특히, 새싹재배시 미세환경에 의해서 생산성 및 품질이 좌우되고 병원균에 오염된 새싹이 유통될 경우 치명적인 보건적 위해를 초래할 수 있으므로 가능한 무인자동화 실현을 목표로 화상카메라, 환경계측 센서등을 설치하여 광, 온도, 습도 등 재배환경을 원격제어할 수 있도록 자동화를 구현코자 하였다.

또한, 식물공장적 고품질 새싹채소의 안정적 생산체계를 확립하기 위하여 인공광원의 종류를 유색 형광등, 유색 LED 등을 기존 형광등과 대비하여 다양한 새싹채소(브로콜리, 아마란서스, 알팔파, 유채, 적콜라비 및 붉은열무 등)의 종자 발아, 새싹의 생장, 영양성분 및 기능성 물질의 함유량 등에 미치는 영향을 구명하고자 하였다. 광화이버는 비용이 대단히 높고 실용성이 낮아 인공광원으로는 부적합 것으로 판단되어 시험대상에서 제외하였다.

제2절. 연구개발의 필요성

1. 연구개발 대상기술의 경제적·산업적 중요성 및 연구개발의 필요성

가. 개발대상기술(또는 제품)의 개요

○ 새싹채소 생산, 이용의 기원은 고대 중국으로 약 5000년전에 많은 질병을 치료하는 데 새싹채소가 사용되었으며, 미국 선교사에 의해 1700년대에 다이어트 식품으로 미국에 소개되었고, 주로 선상생활을 하는 항해사의 비타민 급원으로 생산, 이용됨

○ 1772~1775년 기간 선장 James Cook은 비타민 급원으로 선원에게 레몬을 섭취하도록 하였지만, 레몬과 같은 과일과 새싹을 동시에 섭취하면 안정된 영양급원을 이룰 수 있음. 새싹채소는 육식을 주로하는 서구화된 식단에서 초래되는 각종 성인병과 암을 예방할 수 있는 대체식품이며, 중요한 저칼로리 고단백질 재료로써 특히, 계절과 장소, 시간에 상관없이 파종후 4~7일이면 수확하여 이용할 수 있고, 또한, 조리에 에너지가 불필요하거나 최소화되어 Fast Food로써도 각광을 받고 있어. “Y2K식품(2000년 밀레니엄식품)”이라고 불리움

○ 종자가 발아된 후 3~4일 된 새싹은 종자나 성체에 비하여 영양성분이 무려 10~100배에 이르며, 무 새싹에 함유된 비타민-C는 우유의 29배이며, 파인애플보다 많고, 비타민-A는 감자의 4배에 이른다. 성숙한 무는 10 IU/100g의 프로비타민(Provitamin)을 함유하지만 새싹은 391 IU로 39배가 더 많다. 따라서, 새싹채소 생산 공장은 비타민 제조공장이라고 불리움

○ 국내 생산량은 1일 10톤 규모로 생산되어 단체급식에 주로 이용되고 있으며, 연간 새싹채소 생산액은 350억원에 이른다. 그러나, 모든 기계설비는 대부분 일본, 미국산을 모방한 제품으로 한국인 체형과 논리에 적합하지 않고, 생산성에 국제 수준의 50% 수준으로 낮으며, 품질 수준도 매우 열악한 상태로 기계 국산화의 미흡이 새싹채소 시장 확대에 제한요인으로 작용하고 있음

○ 종자가 발아되는데 필요한 요소는 물, 공기, 온도 등이다. 특히, 크기가 작은 종자인 알팔파나 브로콜리 등은 서로 밀집되어 있으므로 공기가 충분하지 못하는 경우가 있고, 또한 발아시에 발아열과 탄산가스, 에틸렌가스 등이 발생하여 부패의 원인이 됨

○ 회전식 드럼재배기의 경우 종자가 정기적으로 움직이므로 온도센서에 의해 환기량, 살수냉각 등의 방법으로 부패를 방지할 수 있는 장점이 있지만, 종자의

크기, 새싹의 성장단계에 따른 적정 수분량 공급장치 및 습도 유지를 위한 자동화 생산시스템이 결여되어 있는 상황임

○ 또한, 브로콜리, 순무와 같이 녹색으로 착색되는 새싹이나 적무(red raddish), 적양배추(red cabbage) 등과 같이 적색, 자색 등으로 착색이 요구되는 새싹은 최종 생육단계에서 태양광과 유사한 자외선, 가시광선이 요구되지만 새싹이 뭉쳐 있거나 투과되는 광량의 미흡, 광량 및 광질 조절의 곤란 등으로 인하여 광환경은 고품질의 새싹을 생산하는데 제한요인이 되며, 최적관리 자동 모니터링 시스템이 절실히 요구되고 있는 실정임

나. 경제적·산업적 중요성 및 연구개발의 필요성

○ 채소의 질산염, 농약, 환경호르몬, 황사에 따른 중금속 및 미생물적 결함 등의 식품 안전성을 위해하는 요소로부터 100% 해결 가능한 새싹채소의 공장적 생산은 미국과 유럽의 경우 경우 우리 나라에 비하여 20년, 일본은 10년 정도 기술이 앞서 개발되어 상업화 되어 왔지만, 국내에서는 2004년 중반부터 연구자의 기술개발 토대 없이 일본, 미국으로부터 기술과 기기, 종자 등이 직 수입되어 몇몇 농가에서 제한적으로 생산되어 왔으며, 따라서, 우리 나라의 기술 수준은 매우 미흡하며, 초보단계에 있음

○ 최근에 농가에 보급되기 시작한 드럼 회전식 새싹생산 설비는 대당 설치가격이 1,500~2,000만원으로 매우 고가이며, 이를 국산자재를 활용하여 전문적으로 제조하고 있는 산업체는 1개 회사(H회사)이며, 나머지는 직수입된 기기(그림 2의 장비 등)가 설치되고 있음

○ 드럼(drum) 회전식 새싹채소 생산설비중 관수지령장치와 인공광원조절장비는 새싹의 생산성과 품질을 결정짓는 핵심 설비이지만 국산화 되어 있지 않고, 수입기자재의 경우도 새싹의 성장과정에 적합한 최적의 수분제어 및 인공광원 설비 또는 자동화 설비가 미비하게 갖추어져 있어, 식물 공장적 새싹생산의 제한요인이 되고 있음

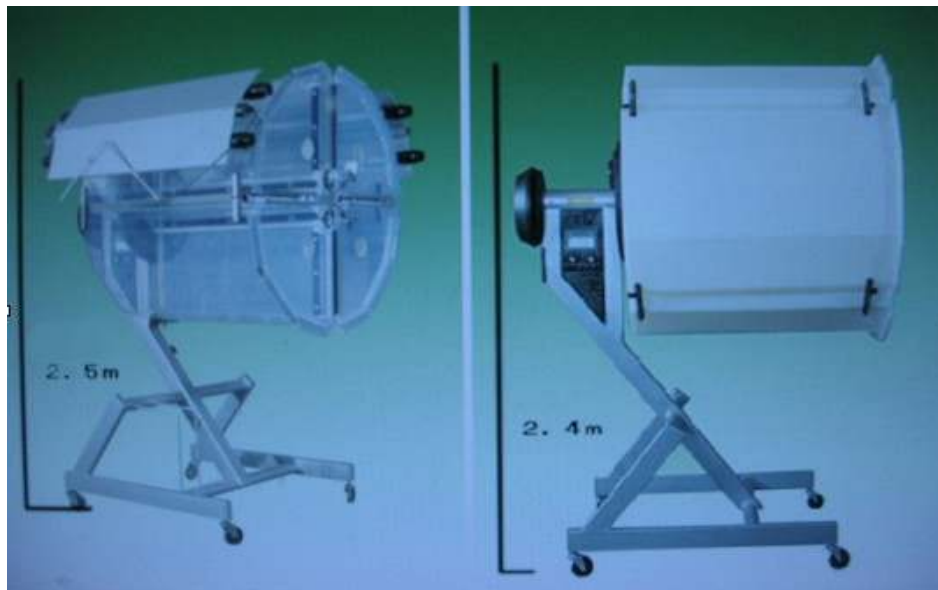
○ 생산설비의 수분 및 인공광원의 자동제어가 가능할 경우 새싹의 성장과정에 적합한 환경을 최적화 시키므로써 생산주기 단축, 생산성 증대, 품질향상(결손 및 폐기율 감소), 착색 촉진을 통한 부가가치 증대가 가능하고 특히, 수분조절, 광 환경조절에 요구되는 노력을 생략화할 수 있으므로 새싹채소 생산농가의 경영규모 확대를 통한 경영 합리화, 효율화가 가능함

○ 새싹을 취급하는 식품체인점 및 전문식당(요식업종의 30% 이상)에 자가생산용 소형 새싹기계를 체인점으로 운영할 수 있도록 보급형 새싹채소 생산기

계를 상품화할 경우 기계, 종자 보급에 따른 직접 경제효과가 예상되며, 고용촉진, 질병으로부터 국민 보호 등 간접적 경제효과가 클 것으로 추정함

제3절. 연구개발의 범위

1. 연구개발 제품



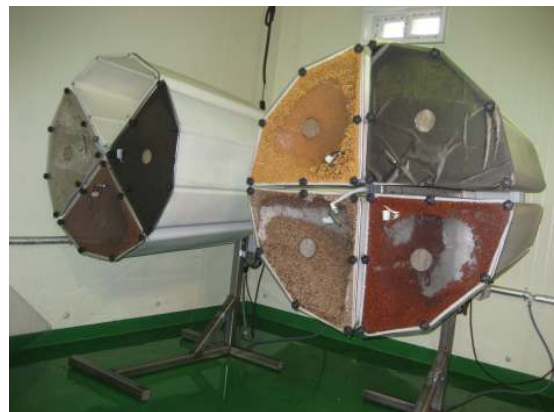
(좌) 착색용 새싹채소 생산 (우) 비착색용 새싹채소 생산
<그림 1-1> 국내 보급된 드럼회전식 새싹채소 생산기계

○ 기존의 새싹채소를 생산할 수 있는 기계시스템(그림 1-1)의 경우, 폴리에틸렌 또는 폴리카보네이트 덮개(covering material)와 SUS 골격(frame material)으로 제조되며, 4실(room)로 이루어진 드럼(drum)이 매시간당 정회전 및 역회전 1~2회 등을 반복할 수 있도록 되어 있는 제조설비는 각 실에 7개의 분사노즐이 부착되어 있으며, 인공 광원은 착색용 설비에서 요구되고 보통 식물 성장용 형광램프를 드럼 외부에 별도로 부착시켜 광량을 조절하고 있음.

- 내부 용량 : 250L(직경 1.2m, 높이 1.5m, 12면체 드럼)
- 1회당 종자투입량 : 15~25kg
- 종자 투입 후 수확 소요일수(수확량/대) : 4~5일(150~200kg)

○ 따라서, 본 연구에서는 상기 그림 1-2와 같은 회전 가능한 드럼의 각 실에

수분센서와 발광다이오드(LED) 소자 및 스위칭 절체식 광량조절기를 부착시켜 새싹의 생육과 착색에 요구되는 습도, 수분, 광량을 자동제어 가능한 생산기계시스템을 국산화 개발함으로써 식물공장적 새싹채소 생산이 가능하고, 생산성 증대, 품질향상 및 생력화 효율이 높은 설비를 개발코자 하며, 아울러 생산시 최적 인공지능 모니터링 프로그램으로 생산관리시스템을 자동 모니터링 가능하게 함을 목표로 개발 사업을 추진코자 함



(A) 일본 기계

(B) 미국 기계

<그림 1-2> 종자 투입 후 5일 째 수확단계(브로콜리 새싹)

▶ **수분센서 제어장치** : 드럼의 좌우측 덮개 중 고정된 좌측 덮개의 각 실별로 5~10cm 간격으로 3개의 수분 센서를 부착하여 3개 지점에서 측정된 값을 평균하여 습도 데이터 값을 측정치로 하여 설정치를 변경할 수 있는 알고리즘과 학습기능이 있는 시스템을 개발

▶ **LED 및 광섬유 응용 제어장치** : 태양광을 직접 기기내로 유입할 수 있는 광섬유를 부착하여 활용하는 방법과 청색, 적색, 녹색광원을 조절하여 가시광선과 자외선 영역이 충분하고 적외선(열선)이 적은 파장역을 조성하고, 새싹의 생육단계별로 자동제어 될 수 있는 색조합 모듈을 제조함

▶ **인공지능형 모니터링 시스템의 개발** : 새싹채소 생산공장의 생육단계별 온도, 수분, 영상센서의 데이터를 임베디드 제어보드와 유비쿼터스 센서 네트워크(USN)보드를 통해서 원격지 무선 송신하여 원격 모니터링 가능한 시스템을 개발코자 함

- 태양광의 센서 입력과 광섬유 송신 및 증폭단 모니터링
- LED 조합모듈의 선택 모드 모니터링
- 새싹채소의 출하시, 세정 작업의 지시명령 디스플레이
- 새싹채소의 최적 환경 모니터링 등

제2장 국내외 기술개발 현황

새싹채소는 종자에서 발생하는 싹을 키워 생육초기의 어린 배추과 자엽을 이용하는 것으로 오래 전부터 소비되어 온 신선편의 식품으로서 다양한 품종의 새싹채소가 동·서양에서 다양한 형태로 소비되고 있다(Bae 등, 2008; Lucy 등, 2002). 최근에는 참살이를 추구하는 소비자들이 무 농약, 무 호르몬 재배 등 식품안전성과 고기능성 식품을 적극적으로 요구함에 따라 새싹채소의 소비가 크게 증가하고 있다(Choe 등, 2006).

새싹채소에 이용되는 종자는 유채, 무, 양배추, 클로버, 메밀, 녹두 및 겨자 등 다양한 종류가 있는데, 그 중 우리나라에서 많이 이용되고 있는 종류는 브로콜리, 아마란서스, 알팔파, 유채, 적콜라비 및 붉은열무 등이다(Bae 등, 2008). 이들 종자에서 싹을 틔운 것들은 생식 또는 요리에 최소가공 형태로 소비되고, 아미노산, 탄수화물, 미네랄, 비타민 및 폴리페놀 등의 많은 영양성분들을 함유하고 있어 건강식품으로서 높은 관심을 받고 있으며(Feng, 1997), 대형 마트에서 일반적으로 새싹채소라는 이름으로 판매되고 있다(Park 등, 2007).

새싹채소는 종자에서 발아된 새싹을 이용하기 때문에 새싹채소의 효율적인 생산과 기능성물질이 다량으로 포함될 수 있는 발아와 성장 환경조건 구명은 새싹채소의 생산과 소비의 효율성 측면에서 매우 중요하다(Cho 등, 2008). 일반적으로 새싹의 발아와 성장에 영향을 미치는 환경요인은 수분, 온도 및 광조건 등이다. 이 중 광은 종자 발아에 중요한 영향을 미치며, 광 조건에서 발아하는 것을 호광성 종자 또는 명발아 종자라 하며, 광이 없는 상태에서 발아하는 종자를 혐광성 종자 또는 암발아 종자로 구분하고 있다(Kwack과 Kang, 1985). 명발아 종자는 종피에 있는 phytochrome이 발아생리에 관여하며, 근적외선 광에 의하여 발아가 촉진되거나 억제되는 것으로 알려져 있다(Maneinelli 등, 1966). 또 종자에서 발아하는 새싹에서 광은 식물 체내의 phytochrome이라는 광수용성 단백질에 영향을 미치고, 이것은 성장, 형태 및 색소형성의 에너지원과 조절인자로 작용하며, 생리활성 물질의 생성에도 영향을 미친다(Fankhauser와 Chory, 1997; Hopkins, 1999; Kendrick과 Kronenberg, 1994). 이와 같이 새싹채소의 종자발아와 성장 그리고 기능성물질의 함량에 미치는 광의 영향이 이처럼 큰데도 새싹채소의 생산시 다양한 광을 이용하는 사례나 연구결과는 국내·외적으로 거의 없는 실정이다.

한편, 최근 상용화되고 있는 LED(light emitting diode, 발광다이오드)는 식물이 광합성 및 성장에 필요한 파장역만을 갖는 단색광으로 식물 재배에서 특정 파장역만을 갖는 광 선택이 가능하다는 점, 둘째, 소형으로 판넬화가 가능해 성장상이나 새싹채소 재배기와 같이 비교적 좁은 공간에서도 활용할 수 있는 점, 셋째, 열선을 방사하지 않으며 전력 소모량이 기존광원의 절반 이하의 수준이라는 점, 넷째, 수명

이 반영구적이라는 등의 장점(Hwang 등, 2004)이 있으므로 새싹채소 재배에서 특정한 광을 이용할 수 있을 것이며, 재배목적에 따라 맞춤형 광으로 제어할 수 있는 장점이 있음에도 현재까지 새싹채소 재배에서 종자의 발아와 생장 그리고 기능성물질 함유량에 관한 영향 연구는 거의 없는 실정이다.

제1절. 새싹채소의 이용

새싹채소는 육식을 주로 하는 서구화된 식단에서 초래되는 각종 성인병과 암을 예방할 수 있는 대체식품이며, 중요한 저칼로리 고단백질 재료로서 특히, 계절과 장소, 시간에 상관없이 파종 후 4~7일이면 수확이 가능하고 또한, 조리에 에너지가 불필요하거나 최소화되어 Fast Food로써도 각광을 받고 있다(Park 등, 2007). 그렇지만 새싹채소는 신선편의식품과 같이 병원성 미생물의 내포 가능성이 높은 식품이다(Lucy 등, 2002). 일본의 경우 1998년에 새싹채소 중 무 싹에 존재하는 *Salmonellae* sp.와 *Escherichia coli* O157:H7, *Listeri monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Aeromonas hydrophila* 등에 의해서 6,000명 이상의 식중독이 발생하였다(Himathongkham 등, 2001; Yoshiyuki 등, 1999). 새싹채소는 종자단계에서부터 미생물에 의해 매우 높은 수준으로 오염되어 있어 일반적으로 *Pseudomonads*, *Coliforms* 및 Lactic acid bacteria 등을 포함해서 3~6 log CFU/g의 범위를 나타낸다(Matós 등, 2002). 이는 새싹채소에 사용되는 종자의 채종 조건이 위생적이지 않고, 생육조건이 20~40°C의 온도, 높은 수분활성도의 조건에서 2~7일간의 생장시간이 요구되며, 이런 조건들은 미생물의 최적 생장조건과 유사하기 때문이다(Fu 등, 2001). 이 때문에 새싹채소에 대한 연구의 다수는 새싹채소의 미생물을 효과적으로 제어하기 위한 방법이 차지하고 있으며, 미생물을 제어하기 위한 대표적인 방법으로는 방사선 조사(Bari 등, 2003), UV 살균, 전기 또는 자기장 처리, 고압처리, 열처리를 살균제 대용으로 하는 연구가 다수 진행되어 왔다(Roy 등, 2001). 또한 새싹 종자에 대한 다양한 화학적 살균제의 진탕, 침지, 분무 및 훈증 등의 방법이 미생물의 제어 수단으로서 연구되고 있으며(Montville 등, 2004; Taormina 등, 1999), chlorine 처리(Fett, 2002; NACMCF, 1999) 및 휘발성 acetic acid(Delaquis 등, 1999), ammonia(Himathongkham 등, 2001), 전해산화수(Kim 등, 2003), 중온수(Weiss와 Hammes, 2003), 오존수(Kim 등, 1998; Kim과 Kim, 2001) 등에 대한 효과가 보고된 바 있다.

이와 같이 새싹채소에 대해 미생물제어에 관한 연구는 많이 있으나 새싹채소의 생산과 성분 측면에서 연구는 아직까지는 미흡한 실정이다.

다만 콩나물의 생장에 미치는 광의 영향(Park 등, 2002), 상추 종자의 발아에 있어 광 및 생장조절물질의 영향(Hwang 등, 2008), 발아에 의한 유채의 일반성분, 지방산 및 무기물의 조성 변화(Kim 등, 1988), 채소종자의 유묘생장에 미치는 유기 또는 무기 게르마늄의 효과(Han 등, 2007)에 대한 연구 등이 이루어지고 있다.

한편, 본 연구에 사용한 브로콜리(*Brassica oleracea*)는 십자화과 채소로 뛰어난 항산화작용을 가진 β -carotene, rutin, ascorbic acid, selenium, quercetin 및 glutathione 등이 다량 함유되어 있으며, 항암 및 해독효소의 유도효과가 크다(Lee와 Park, 2005)고 보고되었지만 연구 대상이 새싹이 아니라 식용부위(작은 꽃봉오리가 다발로 이루어진 꽃)였다.

유채는 십자화과 식물로 우리나라 농사 고문헌에 관련 기록이 있으며, 일본 흑종 유채(*B. napus*)의 시작이 조선중에서 비롯되었을 만큼 그 역사가 오래되었고(Lee 등, 1988), 식용유와 사료 단백질원 측면에서 연구(Kim 등, 1988; Lee 등, 1994)가 이루어졌으며 새싹 측면에서의 연구는 이루어지지 않고 있다.

아마란서스(*Amaranthus* spp.)는 비름과 식물로서 우리나라 전역에 야생하는 참비름이나 털비름과는 동속이종이며(Kwack와 Kang, 1985), 최근 새싹채소용으로 이용되고 있으나 새싹채소 측면에서의 연구는 이루어지지 않고 있다. 서남아시아의 원산의 사료작물로서 콩과 식물인 알팔파(*Medicago sativa*)와 십자화과 식물인 적콜라비(*B. oleracea*)와 붉은열무(*Raphanus sativus*) 또한 최근 새싹채소로 많이 이용되고 있으나 종자발아, 생장 및 성분 특성 등에 대한 연구는 거의 이루어져 있지 않은 실정이다.

제2절. 새싹채소의 종자발아와 생장

최근 새싹채소의 생산과 소비가 증가함에 따라 새싹의 효율적인 생산, 새싹채소 생산을 위한 자원식물의 개발 측면에서 종자발아와 새싹의 생장에 관한 연구가 부분적으로 이루어지고 있다.

새싹의 효율적인 생산 측면에서 종자발아와 생장의 적정조건 규명에 대하여 Yoon 등(2005)은 쓴메밀 새싹채소 재배시 온도와 광에 따른 생육 및 루틴 함량의 차이를 조사한 결과 쓴메밀은 $70\text{g}/\text{m}^2$ 의 치상량에서 최적의 생체량을 보였다고 하였다. 또 온도에 따른 새싹채소 생육에 있어서는 보통종이 25°C 이상에서 좋은 생육을 보인 반면 쓴메밀은 30°C 에 비해 25°C 와 변온에서 좋은 생육을 보였으며, 암조건에 비해 청색광이나 적색광에 의해 생육이 촉진되었고, UV-B에 의해서 생육이 억제된 가운데, 암조건에 비해 광 조건에서 rutin 함량이 많았으나 광에 따른 차이를 보이지 않았다고 하였다.

새싹채소를 개발하기 위한 측면에서 자원식물의 종자발아와 생장에 관해서는 다소 연구가 이루어졌는데, Jang 등(2007)은 7종의 국화과 식물 새싹채소의 종자발아와 길이 생장에 미치는 온도 및 광의 영향을 조사한 결과, 각시취는 명조건, 담배풀, 바위구절초, 톱풀은 암조건에서 높은 종자발아율을 보였으며, 감국, 기생초, 저면캐모마일은 광조건에 관계없이 발아되었다고 하였다. 온도별로는 15°C 에서 감국 77%(10일), 20°C 에서 바위구절초 76%(4일), 기생초 72%(2일), 25°C 에서 담배풀 91%(6일), 저면캐모마일 90%(4일), 각시취 52%(20일), 톱풀 51%(8일)의 최고발아율

을 나타냈으며, 새싹채소의 길이생장을 위한 최적 온도는 바위구절초, 저면캐모마일, 톱풀은 20℃, 각시취, 감국, 기생초는 25℃, 담배풀은 30℃에서 새싹채소의 길이생장이 가장 우수하였다고 하였다.

Lee와 Lee(2007)는 자생식물인 구름패랭이꽃, 술패랭이꽃, 장구채, 기름나물, 석결명의 새싹채소 생산시 최적발아율은 구름패랭이꽃 87%(20℃), 술패랭이꽃 85%(20℃), 기름나물 63%(20℃), 장구채 60%(30℃) 및 석결명은 60%(25℃) 였으며, 길이 측면에서 석결명은 30℃에서 3~5일 정도, 나머지 4종류는 8~10일이 적합한 재배 기간이었다고 하였다.

Jang과 Lee(2003)는 기능성 새싹채소로 개발 가능한 자생 꿀풀과, 백합과, 국화과 식물의 종자발아에 미치는 온도 및 광의 영향을 조사한 결과 쑥부쟁이, 무릇은 명·암조건에 관계없이 발아하는 종으로 최고 발아율이 쑥부쟁이는 20~25℃에서 과종 후 14일경에 72%, 무릇은 25~30℃에서 12일 경에 97.3%의 높은 발아율을 보였다. 왕고들빼기, 익모초, 꿀풀, 큰금계국, 배초향, 산박하는 광발아 종자로 왕고들빼기는 25℃에서 14일경에 94.3%, 익모초는 30℃에서 18일경에 81.7%, 꿀풀은 25℃에서 16일 경에 82.3%, 산박하는 15℃에서 20일경에 59.7%, 배초향은 20~25℃에서 22일경에 15%, 큰금계국은 15~20℃에서 16일 경에 38.7%의 최고 발아율을 나타냈다. 암발아 종자인 두메 부추는 15℃에서 과종 후 16일경에 48%의 최고 발아율을 나타냈다고 하였다.

Kim과 Lee(2005)는 온도와 광조건이 자생식물인 황촉규, 익모초, 질경이, 기생초, 유채, 도라지, 땅나리 및 뱀무 등 8종의 종자발아와 새싹의 길이생장에 미치는 영향을 조사한 결과 도라지 등 8종 모두 암조건에 비해 명조건에서 종자의 발아세가 높았으며, 유채와 익모초의 종자는 비교적 고온, 기생초는 저온, 그 외 5종은 15~30℃의 온도조건에서 발아가 양호 했으며, 황촉규와 익모초는 30℃, 질경이, 기생초, 유채, 도라지는 20~25℃, 땅나리, 뱀무는 20℃에서 새싹의 길이 신장이 가장 양호 하다고 하였다.

이와 같이 새싹채소의 효율적인 생산을 위한 적정 온도와 광조건에 대한 연구는 일부 있지만 대상식물의 대부분이 자생식물 개발차원에서 연구되었으며, 광은 광발아와 암발아 종자의 구별 차원에서만 실시되었을 뿐 LED 광에 따른 종자 발아와 생장에 관한 연구는 되어 있지 않은 실정이다.

제3절. 새싹채소의 영양성분

우리가 채소로 이용하는 작물을 식용부위별로 구분하여 보면 잎채소, 뿌리채소, 열매채소의 3가지로 크게 나눌 수 있다. 잎채소는 다시 잎을 이용하는 것 외에 꽃, 어린 순, 비늘줄기 등을 이용하는 것들로 이들을 각각 꽃채소, 순채소, 비늘줄기채소로 세분하기도 한다. 새싹채소는 뿌리채소나 열매채소와는 달리 종자에서 발생하는 싹을 키워 생육초기의 어린 배축과 자엽을 이용하며, 숙근초의 뿌리나 줄기를

물어 움을 트게 하여 그 싹을 식용으로 하는 것까지 포함된다(Cho 등, 2008). 그러므로 새싹채소는 기존의 채소와는 달리 새싹이 식용이 되므로 이에대한 화학적 성분 분석은 영양분 섭취 및 보건적 측면에서 중요한 의미가 있다. 현재 채소의 영양적 성분에 대해서는 미국농무성(USDA, 2003), 한국영양학회(The Korean Nutrition Society, 2000), 보건복지부 보건산업진흥원(Korea Health Industry Development Institute, 2000)에서 DB를 구축하고 있으나 새싹채소의 영양 성분에 대한 연구는 극히 미미한 실정이다.

일반적으로 새싹채소는 수분함량이 90% 이상으로 열원으로서는 별로 가치가 없으나 대부분 비타민 A와 C가 많이 들어 있고, 칼슘이나 인, 철과 같은 미네랄을 비교적 많이 함유하고 있어 필수무기질의 좋은 공급원이 된다고 알려져 있다(Feng, 1997). 또 곡류 및 육류, 어류는 산성식품으로서 과다하게 섭취하면 혈액이 산성으로 기울어져 산중독증(acidosis)을 일으키며 여러 가지 질병의 원인이 되기도 한다. 그러나 백합과를 제외한 대부분의 새싹은 알칼리 원소(Ca, Fe, Mg, Na, K)를 다량 함유하고 있어 혈액의 산성화를 방지할 뿐만 아니라 어느 정도의 섬유와 같은 거친 것이 들어 있어 소화를 돕는 간접적인 효과도 있다(Greenwald, 1998; Montville와 Schaffner, 2004)고 하는데, 이에 대한 구체적인 연구 성과는 거의 없는 실정이다.

현재, 발표가 된 새싹채소의 영양적 성분에 관한 연구로는 유지나 사료자원으로 많이 이용되어 온 유채의 경우 발아 전 시료의 지방산 조성은 oleic, erucic, linoleic, linolenic acid가 각각 24.6, 15.5, 10.6, 9.5%이었으며, stearic, palmitic, arachidic acid가 각각 1.0, 2.4, 5.3%이었다. 발아 후 96시간까지는 각 지방산 함량이 모두 조금씩 감소하다가 120시간에는 증가하는 경향을 나타냈으며, 지방산간의 차이는 별로 없었고, 발아에 따른 무기물 함량은 초기에 서서히 감소하다가 120시간에 약간 증가하는 경향을 나타냈다는 보고(Kim 등, 1988)가 있다. 또 시중에서 판매되고 있는 아카오바타카나(*Brassica rapa var. glabra*), 강력여름배추(*Brassica juncea var. integrifolia*), 찢젓사이 청경채(*Brassica campestris*)의 종자 발아시 증류수에 무기 및 유기 게르마늄을 0, 10, 25, 50, 100mg·L⁻¹를 희석하여 발아시킨 결과 새싹에는 무처리구 보다 약 2~4.5배까지 많이 흡수되었다(Han 등, 2007)는 보고가 있으나 LED 광이 새싹채소의 영양성분에 미치는 영향에 관한 연구는 전혀 없는 실정이다.

제4절. 새싹채소의 생리활성

오늘날 생활습관과 식생활 방식의 변화에 따라 당뇨, 고혈압 및 암 등의 각종 질병들의 발생이 급격히 증가하고 있는 추세이다. 이들 발생원인의 대부분은 과도한 스트레스와 이를 방어하는 항산화성 물질의 불균형에 의한 것으로 알려지고 있음에 따라 채소의 이용측면에서도 채소의 생리활성에 관한 관심이 높아지고 있다(Han 등, 2007).

채소의 생리활성은 십자화과 채소와 파류 및 마늘에 집중되어 있는데, 브로커리,

케일 및 양배추 등과 같은 십자화과 채소는 영양적인 면에서 비타민과 미네랄 함량이 높고, 특유의 향을 내는 황화합물들은 생체 내에서 암을 예방하거나 돌연변이를 억제하는 작용이 있는 것으로 알려져 있으며(Kim 등, 2005), 십자화과 채소 추출물이 DNA의 산화적 손상 억제, microsome 내 지질과 산화에 대한 항산화력 등에 대해 보고되고 있다(Stoewsand, 1995). 양배추를 비롯해 십자화과 식물들은 암예방, 위궤양 예방 및 치유, 면역성 증진, 혈액정화, 노화방지와 항산화 효과, 기타 피부병 예방들이 알려져 있다(Zhu, 2000).

백합과에 속하는 다년생 양파(*Allium cepa*)는 항산화 작용을 나타내는 quercetin, rutin 등의 flavonoid계 물질이 함유되어 있는 것으로 알려져 있으며(Dewanto와 Shetty, 2001; Park 등, 1991), 중금속 해독능, 항균효과, 혈당저하 효과, 심혈관계질환 예방효과, 항산화작용, 항암효과가 있는 것으로 밝혀져 있다(Bilyk 등, 1984; Rhim, 1993). Shon과 Park(2006)에 의하면 양파 에틸아세테이트, 에탄올 및 열수 추출물의 총 페놀과 총 플라보노이드 함량은 각각 9.3~13.3% 및 159.8~584.1mg% 범위이며, pH 1.2에서 붉은색 양파의 에탄올 및 열수 추출물 10m/mL 첨가는 약 55% 정도의 아질산염 소거작용을 나타냈다고 하였다. 양파와 같이 백합과에 속하는 마늘 또한 항균작용(Kumar와 Berwal, 1998), 항암작용(Song과 Milner, 2001), 혈압강화작용(Briggs 등, 2000), 콜레스테롤 저하작용(Gebhardt, 1993), 항산화작용(Lau, 2001), 항면역작용(Kyo, 2001) 등의 다양한 생리작용에 대해 보고되어 있다.

산나물의 생리활성에 대한 연구도 일부 되어 있는데 Heo 등(2007)은 머위, 비비추, 참당귀, 씀바귀, 민들레, 쪽부쟁이, 냉이, 얼레지, 참나물, 참취 및 돌나물 등에 대해 비타민 C 함량과 메탄올 추출물의 페놀함량, 항산화활성 및 세포독성을 조사한 결과, 라디칼 소거능은 페놀함량과 정의상관을 나타내었는데, 씀바귀와 참취가 500ppm에서 각각 86.4, 83.3%를 보였고, 비타민 C는 가장 낮은 농도인 31.3ppm에서 81.8% 라디칼 소거능력을 갖고 있으며, BHT는 250ppm에서 81.3%의 활성을 보였다고 하였다. 또 추출물에 대해 결장암 세포주(HCT-116), 폐암세포주(Calu-6), 유방암세포주(MCF-7) 순으로 민감한 반응을 보였다고 하였다. Chon 등(2008)은 바위취, 고사리, 애기원추리, 질경이, 고비, 쇠비름, 수리취, 곰취, 수영, 마디풀, 앓은부채, 명아주 및 화살나무 잎의 메탄올 추출물이 폐암세포주(Calu-6)에 미치는 영향을 조사한 결과, 쇠비름, 질경이, 고비 및 애기원추리 등의 순으로 폐암세포주(Calu-6)에 대한 IC₅₀값이 각각 25 이하, 49.2, 89.6 및 181.5 μ g/mL으로 높은 항암 활성을 나타냈다고 하였다.

이와 같이 산채류나 채소의 생리활성물질에 대해서는 부분적으로 연구가 이루어지고 있으나 최근 소비가 증가하고 있는 새싹채소의 생리활성에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있으며, 특히 LED 광이 새싹채소의 생리활성에 미치는 영향에 관한 연구는 전혀 없는 실정이다.

제5절. LED 광을 이용한 식물재배

식물 재배용 인공광원에는 형광등, 메탈등, 수은등이나 백열등이 주로 사용되고 있다. 이러한 광원들은 식물의 생장 및 광형태 형성에 불필요한 파장역의 광이 포함되어 있기 때문에 광 이용효율(광 및 광강도)이 낮고 일정 공간 내에서 광원이 차지하는 비율이 높아 생산효율이 낮으며, 광선 중에 열선을 포함하고 있어 공조설비에 비용이 많이 소요된다. 또한 전력비 증가로 인하여 비용이 증가하게 된다. 반면에 고휘도화 및 저가격화 등에 따라 일반화되고 있는 LED가 새로운 식물재배용 인공광원으로 주목을 받고 있다(Heo 등, 2002).

식물체의 광 형태성 및 색소합성 등에 미치는 LED의 효과에 대한 연구는 서서히 진행되고 있는데, 세계에서 처음으로 식물재배용 인공광원으로 LED를 이용한 것은 일본의 Mitsubashi(주)의 연구 그룹이었다. 이 연구 그룹은 1982년이라는 이른 시기에 토마토를 온실에서 재배할 때 peak 파장 650nm의 적색 발광다이오드를 보광한 연구결과를 보고하였다(Kawai 등, 1996). 그 후에 발광다이오드에 의한 식물재배에 관해서는 우주기지 등의 폐쇄계에서 생명유지 시스템(CELSS) 관련 기술의 하나로써 미국 NASA의 연구그룹을 중심으로 발광다이오드의 이용가능성에 대한 검토가 시작되었으며, 현재는 세계 각국에서 식물재배용 인공광원으로서의 적용과 이용 가능성이 기대되고 있다(Tanaka 등, 1998).

우리나라에서는 식물재배에 LED를 이용하기 위한 연구가 이루어지고 있는데, Choi(2003)은 광중단처리와 야간의 암처리가 잎들개의 생장, 개화 및 광합성에 미치는 영향을 조사한 결과 줄기의 생장은 적색광으로 광중단 처리를 하였을 때 가장 효과적이었고, 다음은 청색광이었는데, 원적색광이 야간의 완전 암보다는 현저히 높았으며, 엽수, 엽면적 및 잎의 생체중과 건물중은 적색 광중단 처리시에 가장 좋았다고 하였다. Hwang 등(2008)은 LED Plant Radiation System을 BOD incubator 내에 설치하여 상추의 종자 발아에 미치는 광의 영향을 조사한 결과, 백색광과 적색광 하에서는 85% 이상의 발아율을 보였으나 청색광에서는 발아세가 저하되었으며, 초적색광에서는 거의 모든 품종에서 발아가 되지 않아 광에 의한 발아억제 효과가 인정되었다고 하였다. 또 Park 등(2002)은 광에 따른 콩나물의 생장 정도를 조사한 결과 콩나물 자엽의 녹화(綠化)는 적색광과 청색광은 50분, 초적색광은 30분이 소요되었으며, 재배 기간 중 가하여지는 적색광과 초적색광 처리는 청색광과 암처리보다 하배축 신장을 억제시킴과 동시에 굵게 하는 것으로 나타났다고 하였다.

이러한 연구에도 불구하고 LED 광조사가 새싹채소의 종자발아와 생장, 영양성분 및 생리활성 등에 어떤 영향을 미치는가에 대한 연구는 현재까지 이루어지지 않고 있는 실정이다.

제3장. 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절. 수분 및 광 환경 자동제어 장치 개발

1. 서 언

최근 농촌 노동력의 노령화 현상이 심화됨에 따라 노동력이 많이 요구되는 일반 시설 채소의 자동재배 시스템은 현대화를 위한 시설의 구조적 문제 해결과 노동력을 대폭 절감할 수 있는 각종 생력 자동화 장치의 도입이 시급한 현실이다.

특히 새싹채소 재배에서 적절한 관수는 노력이 많이 들고 작물의 생육과 품질에 큰 영향을 주고 있으나 국내 일반농가는 경험에 의한 관수를 하고 있는 실정이다. 그러나 선진 외국의 경우 관수를 자동으로 실시하는 관수농법이 보편화 되어 있으며 최근에는 시설내의 생육 환경조절을 위해 컴퓨터를 이용한 자동복합조절 시스템이 실용화되고 있다.

또한, 우리나라에서도 일부 환경관리 복합제어 시스템의 도입을 추진하고 있으며 실용화를 위한 연구가 추진되고 있다. 그러나 아직 국내 생산 기술수준이 외국에 비해 미흡하고 가격이 고가로서 수요가 형성되지 않아, 농가에서 설치를 하기에는 문제점이 많다.

밀폐된 건물내에서 재배되는 드럼회전식 새싹채소는 생산과정에서 광과 온도 및 수분을 인위적으로 제어해야 하지만, 아직 국내외적으로 품목별, 품종별 연구개발 성과가 거의 전무한 실정이다.

현재, 재배 공장에서 이용하고 있는 관수 시설로서는 일반 관수 호스가 있는데 이들 시설에 간이 자동화 시스템을 도입하는 것이 현 단계에서는 필요하다고 본다.

관수 자동화시스템은 수분 측정센서를 이용하여 새싹채소에 맞는 적정 관수 시기에 적당량의 물을 전자 솔레노이드 자동밸브에 의해서 입수기를 통해 점적호스로 공급되어 관수효율을 높이면서 작업 노력을 절감시키는 시설이다.

또한 광량 제어시스템은 드럼회전식 새싹채소의 재배를 위한 자동제어 환경을 구축하기 위하여 주 광원이 되는 LED광의 색조합 모듈 제어장치의 하드웨어 장치를 구축하고 이 모듈광의 조절을 위하여 광출력 센서 신호의 피이드백 신호를 검지후 임베디드 시스템에 의해 최적의 광량 새싹기계장치에 공급시키는 시설이며, 본 연구에서는 이러한 임베디드에 기반한 관수 광량 최적 제어시스템을 구성하고 구동 프로그램을 개발하였다.

2. 연구 목표 및 방법

가. 연구 목표

본 연구에서는 새싹의 발아와 생장에 중요한 요인이 되고 있는 광량과 수분량을 자동제어할 수 있도록 인공광원의 구성, 원격제어 시스템 구성 및 프로그램을 개발하는 데 목표를 두고 연구를 추진하고자 하였다.

구체적인 목표 내용으로는

- 최적수분환경을 유지하는 지능형 관수시스템의 제작
- 자동계측 가능한 광 환경 제어장치의 개발
 - LED 색조합모듈제어 하드웨어장치의 구축
 - 인공광원 스펙트럼 특성 시험
 - 광섬유장치 분석
- 마이크로프로세서를 이용한 자동화 임베디드시스템 제어장치 구축
 - 임베디드시스템응용한 종합 환경제어장치 구축
 - 광조명장치 제어반 설계

의 내용으로 나누어 연구를 진행하였다.

본 연구진은 기반 시설 등의 인프라면에서도 이미 수동식 새싹채소 기계를 한국온실작물연구소에서 제작하여 생산하여 구동시켜봤던 경험으로 시작하였다.

새싹채소 재배는 기존의 일반 조절식 제어 방법과 달리 작물생육의 최적 환경조성은 물론 노동력을 대폭 절감시킬 수 있는 고능률 복합환경 조절 시스템의 개발과 실용화가 필요한 시점에서 본 연구의 임베디드 응용한 관수자동화 시스템의 활용은 작물 생산성, 상품성, 시설비용, 작업 생력화, 수분환경 효과면에서 매우 유리하다고 본다.

나. 연구 방법

본 연구는 전남도립대학 제어계측연구실과 한국온실작물연구소 새싹채소 시범공장에서 회전 가능한 드럼식 새싹채소 재배기를 활용하여 연구를 수행하였다.

새싹채소 재배기의 각 실에 수분센서와 발광다이오드 소자 및 스위칭 절체식 광량조절기를 부착시켜 새싹의 생육과 착색에 요구되는 습도, 수분, 광량을 자동제어 가능한 생산기계시스템을 국산화 개발함으로써 식물공장적 새싹채소 생산이 가능하고, 생산성 증대, 품질향상 및 생력화 효율이 높은 설비를 개발하고자 하였으며, 아울러 향후 생산시 최적 인공지능 모니터링 프로그램으로 생산관리시스템을 자동 모니터링 가능하게 하고자 연구를 추진하였다. 수분센서 제어장치는 드럼의 좌우측

덮개 중 고정된 좌측 덮개의 각 실별로 5~10cm 간격으로 3개의 수분 센서를 부착하여 3개 지점에서 측정된 값을 평균하여 습도 데이터 값을 측정치로 하여 설정치를 변경할 수 있는 알고리즘과 학습기능이 있는 시스템을 개발하였다.

인공지능형 모니터링 시스템의 개발은 새싹채소 생산공장의 생육단계별 온도, 수분센서의 데이터를 임베디드 제어보드와 센서 네트워크보드를 통해서 원격지 송신하여 원격 모니터링 가능한 시스템을 개발코자 하였으며, 수분 조합의 선택 모드 모니터링, 새싹채소의 출하시, 세정 작업의 지시명령 디스플레이, 새싹채소의 최적 환경 모니터링 등이 가능하도록 구성하였다.

다. 연구 재료

(1) 센서

- ① 수분센서 : SHT-75 (DC 24V, 4~20mA), Resolution : 14 bit
- ② 온도센서 : SHT-75 (DC 24V, 4~20mA), Resolution : 14 bit

(2) 임베디드시스템

- ① RF 센서보드(하드웨어) & 메인 컨트롤 보드
 - CPU : Atmega8
 - I/O 포트: 밸브 제어포트, 모터제어포트, 온도센서 입력포트
FAN 제어포트, 냉각기 제어포트, 히팅 코일 제어포트
- ② 임베디드 제어장치
 - Processor : Intel PXA255 400MHz
 - SDRAM : 32Mbyte
 - LCD PNL : 6.4" TFT (640 * 480) INTERFACE

(3) 조명장치 제어반 및 기타 재료 세부 사양

- ① Bluetooth 모듈 : BSD 200 (2.4GHz, 79 channels)
- ② MCU : Atmega8
 - 통신모듈 : RS-232 1port
 - I/O 제어부 : 7-Segment
- ③ 형광등 : AC 220V
- ④ LED 램프 : AC 220V
- ⑤ 솔레노이드 밸브 : AC 220V
- ⑥ 히터 : AC 220V, 150W
- ⑦ 팬 : AC 220V
- ⑧ 모터 : DC 24V, On,Off 제어
- ⑨ 릴레이 : AC 220V, 5A
- ⑩ 파워릴레이 : AC 220V, 20A(히터용)
- ⑪ 퓨즈 : 최대 3A

3. 연구 결과 및 고찰

가. 지능형 관수시스템 제작 및 분석

(1) 수분환경 제어장치의 구성



<그림 3-1> 수분 및 광환경 자동제어장치 시작품

(가) 수분센서가 피드백 되어진 신호값을 아날로그/디지털 변환기(A/D변환)를 통해 임베디드 CPU로 송신하여 프로세서에 의해 분석후, 최적 제어변수를 디지털/아날로그 변환기(D/A변환)를 통해 자동 수분제어 명령이 수행되는 제어회로이다.

(나) 수분량 제어 : 기존 시스템을 임베디드 기반한 실시간 데이터 처리시스템을 통하여 종자 투입량, 종자의 크기, 종자의 새싹 성장량에 따른 수분량 제어가 가능함을 보여준다.

==> 최적 수분요구량에 적합한 제어량을 자동 공급토록 프로그램 수정을 요한다.

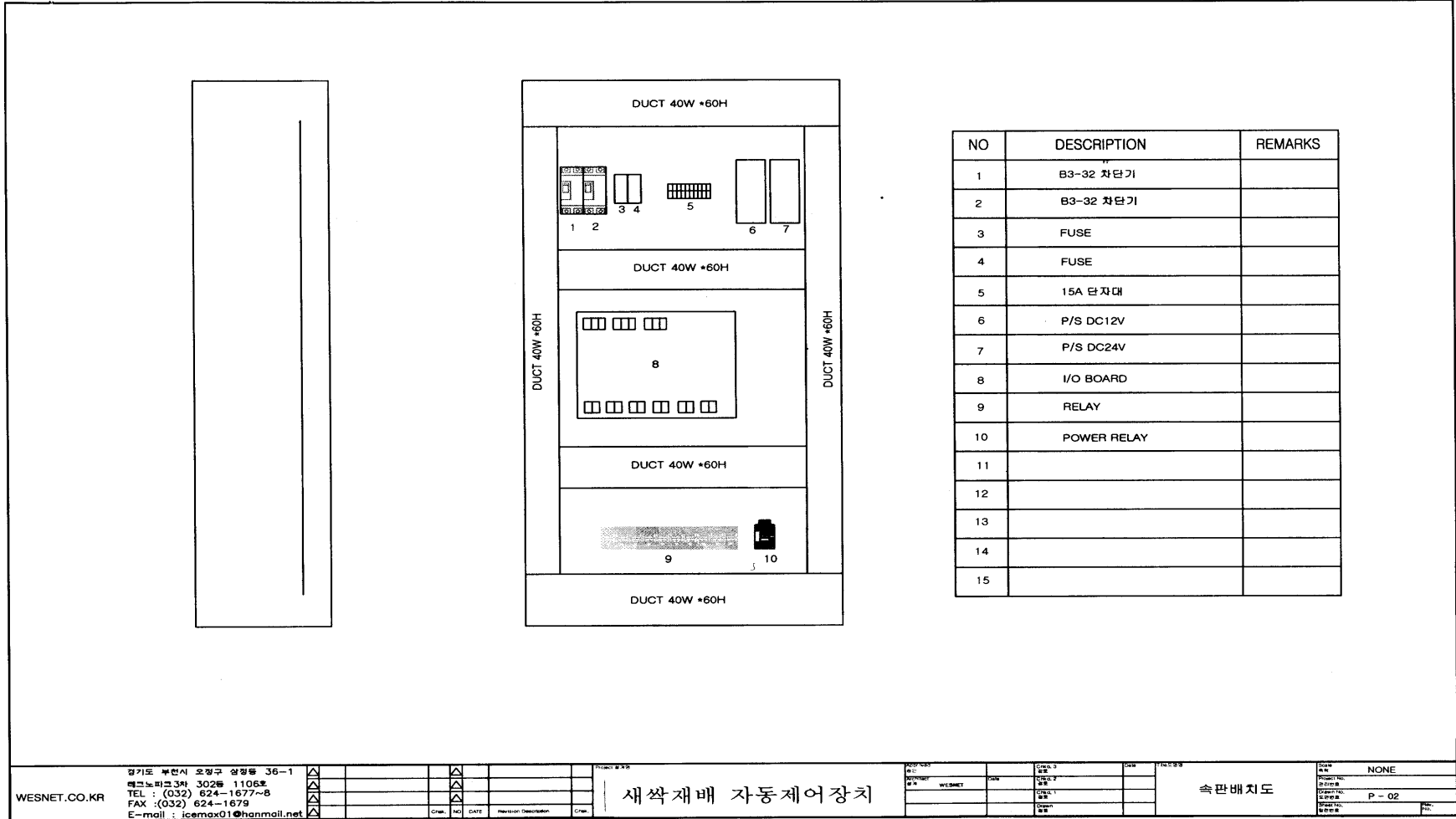


(a) 수분제어장치 구성도

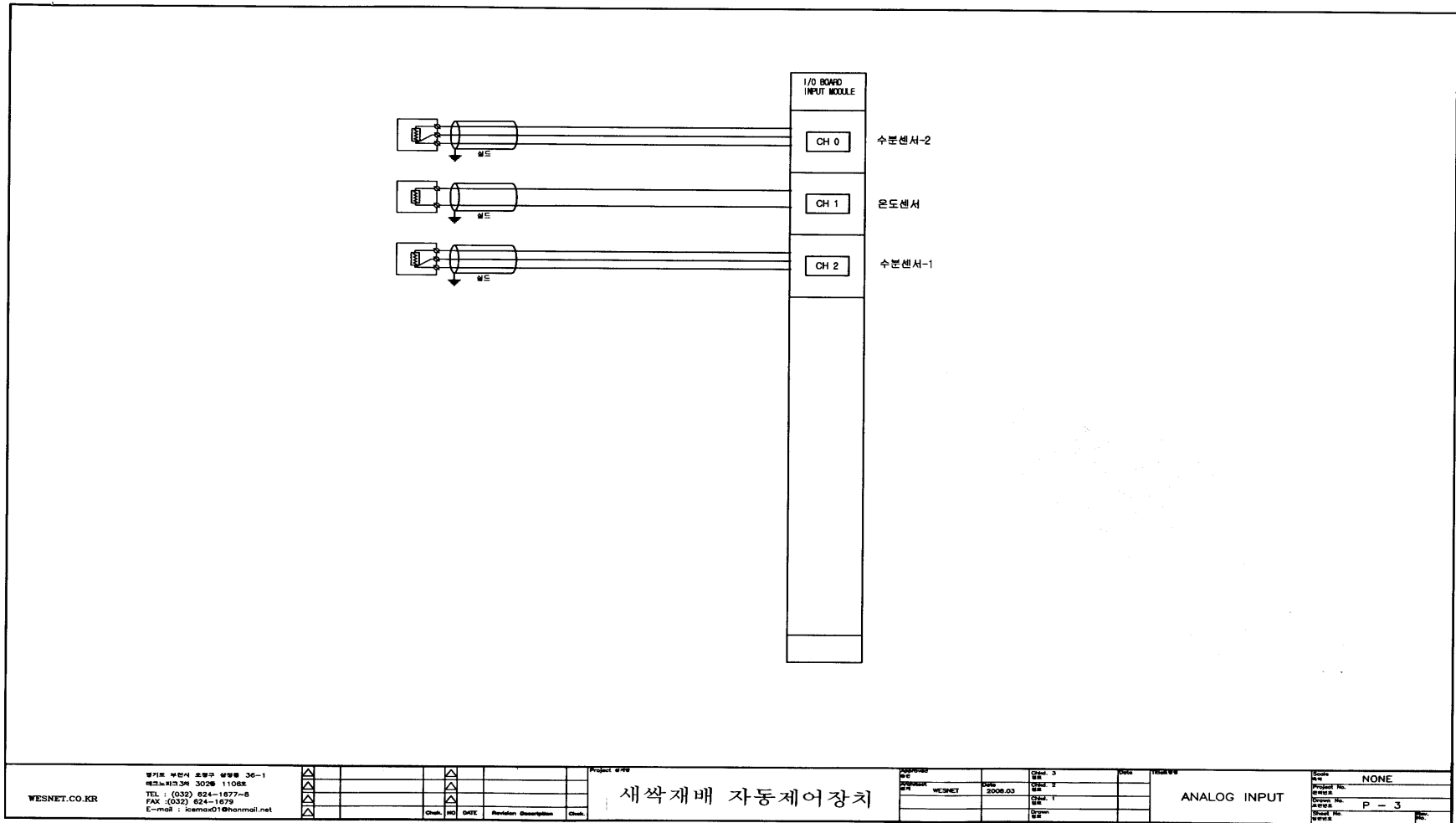


(b) 관수제어장치 및 외부 솔레노이드 수분공급장치

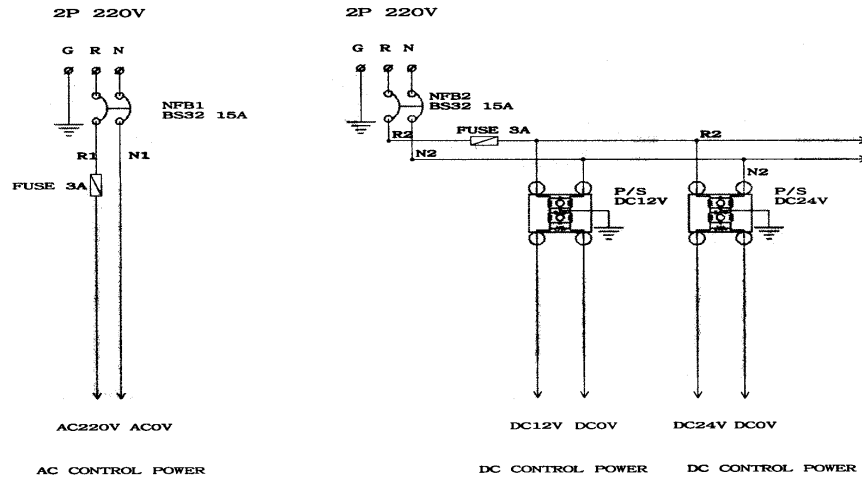
<그림 3-2> 수분제어장치 구성도 및 장치 하드웨어



<그림 3-4> 새싹재배 자동제어장치의 설계도면(2)



<그림 3-5> 새싹재배 자동제어장치의 설계도면(3)



WESNET.CO.KR	설계: 이원식, 검토: 김성환, 06-1	<table border="1"> <tr><td>△</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>△</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>△</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>△</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	△						△						△						△						Project #776	<table border="1"> <tr><td>Appr. No.</td><td>006</td><td>Draw. 3</td><td>000</td><td>1/2008.03</td></tr> <tr><td>Appr. Date</td><td>2008.03</td><td>Draw. 2</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Appr. Name</td><td>WESNET</td><td>Draw. 1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Appr. Position</td><td></td><td>Draw. 0</td><td></td><td></td></tr> </table>	Appr. No.	006	Draw. 3	000	1/2008.03	Appr. Date	2008.03	Draw. 2			Appr. Name	WESNET	Draw. 1			Appr. Position		Draw. 0			POWER LINE	Scale: NONE
	△																																																	
△																																																		
△																																																		
△																																																		
Appr. No.	006	Draw. 3	000	1/2008.03																																														
Appr. Date	2008.03	Draw. 2																																																
Appr. Name	WESNET	Draw. 1																																																
Appr. Position		Draw. 0																																																
설계: 이원식, 검토: 김성환, 06-1 06-11088 TEL : (032) 624-1677-8 FAX : (032) 624-1678 E-mail : icenoad1@hanmail.net	새싹재배 자동제어장치	Project No. NONE Draw. No. P-5 Sheet No. 5/5																																																

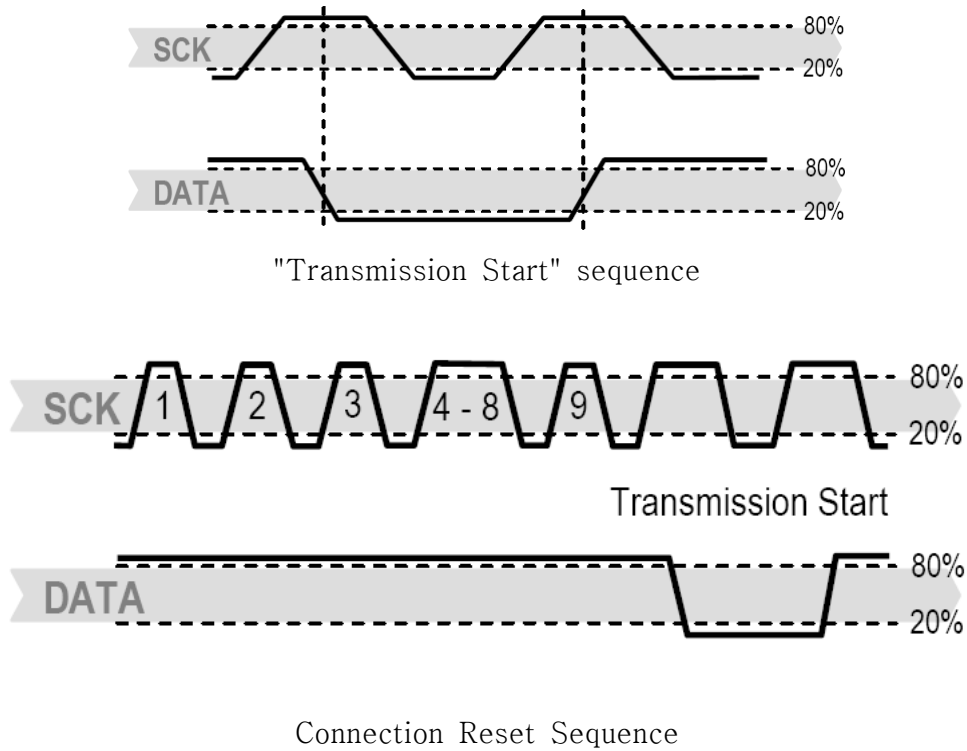
<그림 3-7> 새싹재배 자동제어장치의 설계도면(5)

(2) 수분센서와 관수장치의 데이터 분석 및 보완

지능형 관수시스템은 수분센서를 통하여 수분의 최적량을 관측하여 임계값이 감지되면 임베디드 제어장치의 메인출력을 받아 솔레노이드가 움직여 적당량의 수분이 자동으로 드럼회전식 새싹공장에 공급된다.

새싹채소의 수분을 자동으로 공급하고자 지능형 관수 수분센서에 있어서 그 데이터를 분석하는 시스템의 수신 신호를 인터페이스 타이밍 신호에 대하여 아래와 같이 나타내었다.

■ SHT-75의 TWI Interface Timing

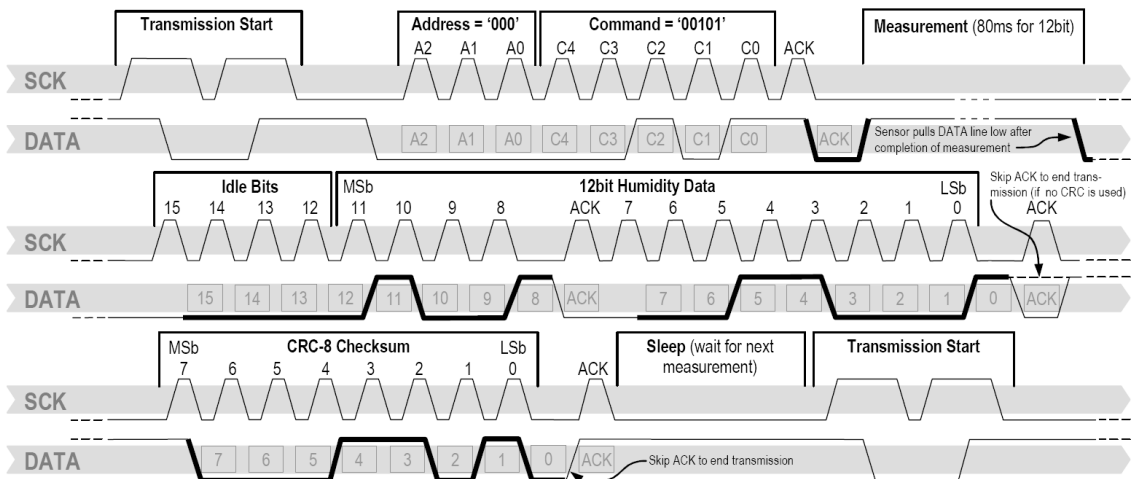
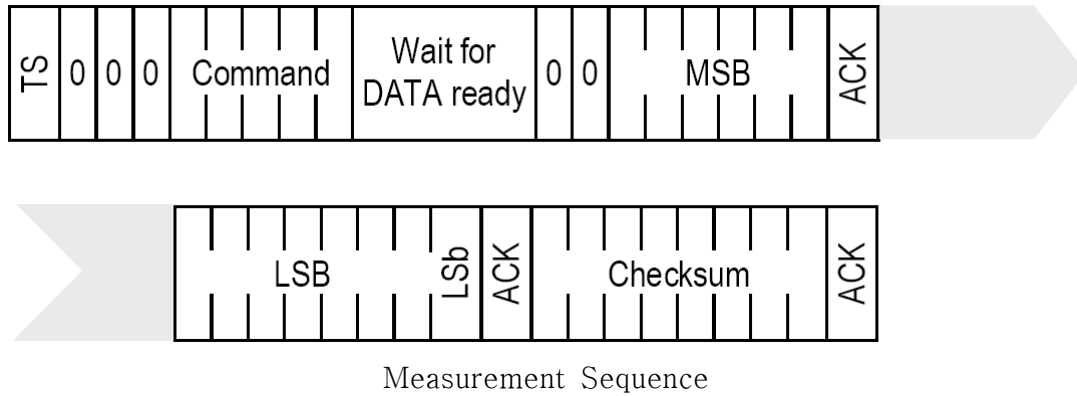


<그림 3-8> SHT-75의 TWI 인터페이스 타이밍도 I

[타이밍 차트의 설명]

- 새싹채소의 수분 데이터의 입력신호를 "Transmission Start" sequence"은 TWI에서 신호의 시작을 알리는 신호로 SCK 신호가 "1"일 때 DATA 신호를 변화 시킴으로서 제어된다. 또한 데이터 신호의 최종신호도 SCK 신호가 "1"일 때 감지되어 종료되는 시점임을 알려준다.
- "Connection Reset Sequence" 는 SHT-75 온 습도 센서에 소프트웨어 리셋을

가하는 것이며, 명령 또는 데이터 수신시 에러가 발생하면 이 동작을 취해야 한다.



Example RH measurement sequence for value “0000’1001’0011’0001” = 2353 = 75.79 %RH

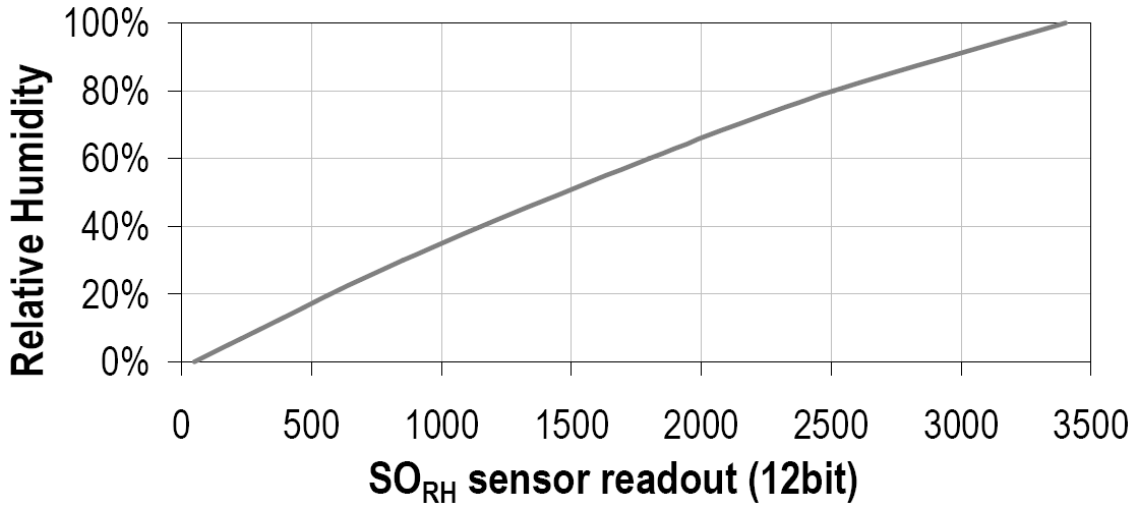
(without temperature compensation)

<그림 3-9> SHT-75의 TWI 인터페이스 타이밍도 II

- SHT-75H가 데이터를 획득할 때의 동작을 수분 데이터를 획득하는 것으로 예를 들고 있다. “Measurement Sequence”은 간략한 전체 패키지 모양이며, 그 아래는 상세한 타이밍 차트이다.

■ SHT-75의 Status - 수분센서

종류	Resolution	비 고
수분센서	14 bit	12 Bit or 14 Bit



<그림 3-10> SHT-75의 TWI 인터페이스 타이밍도

$$RH_{\text{linear}} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2 \quad (\%RH)$$

SO _{RH}	c ₁	c ₂	c ₃
12 bit	-2.0468	0.0367	-1.5955E-6
8 bit	-2.0468	0.5872	-4.0845E-4

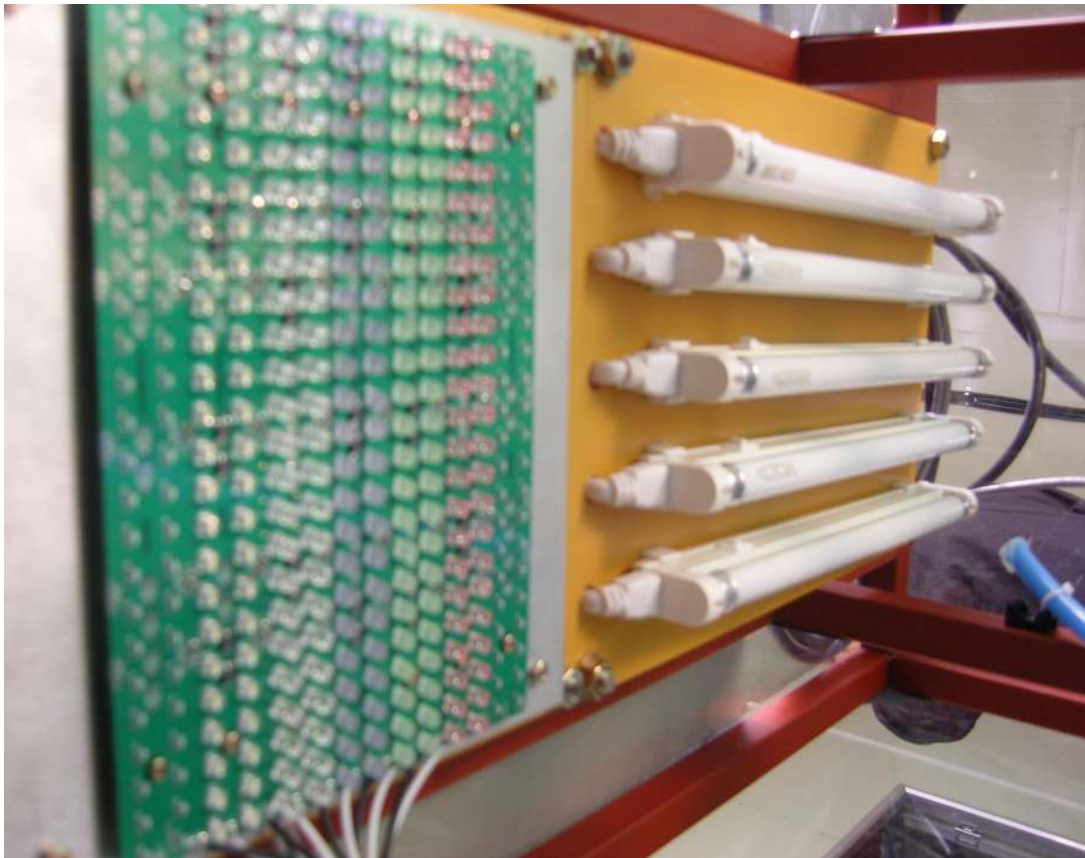
○ 수분센서의 감지 결과 분석

- 획득한 습도의 디지털 양을 습도 양[%]으로 변환하는 식을 표현한다.
수분센서는 감지하는 민감도가 12Bit의 세밀한 정도로 측정되어진다.

(나) LED 광모듈제어부 설명

o 광신호 입력 센싱 : 새싹채소 식물공장의 생산 지시 명령을 위한 수동 조작 및 리모콘 등의 입력 장치부로서 광신호 명령신호 인가 위한 LED 색조합 모듈의 명령 신호를 결정함

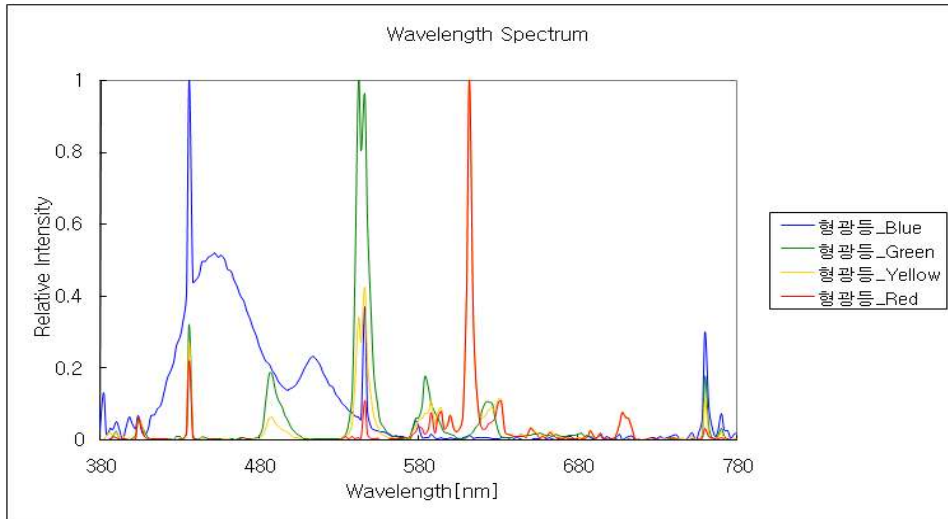
o 인공광 제어 : 인공적으로 광량을 만들어 내는 제어단으로, 인공 패턴 프로그램의 기준입력이 주어지면 임베디드 시스템의 CPU는 각각의 RGB 3원색 LED의 색조합 모듈 구동을 위한 ON/OFF 신호 조광제어 신호 등을 발생



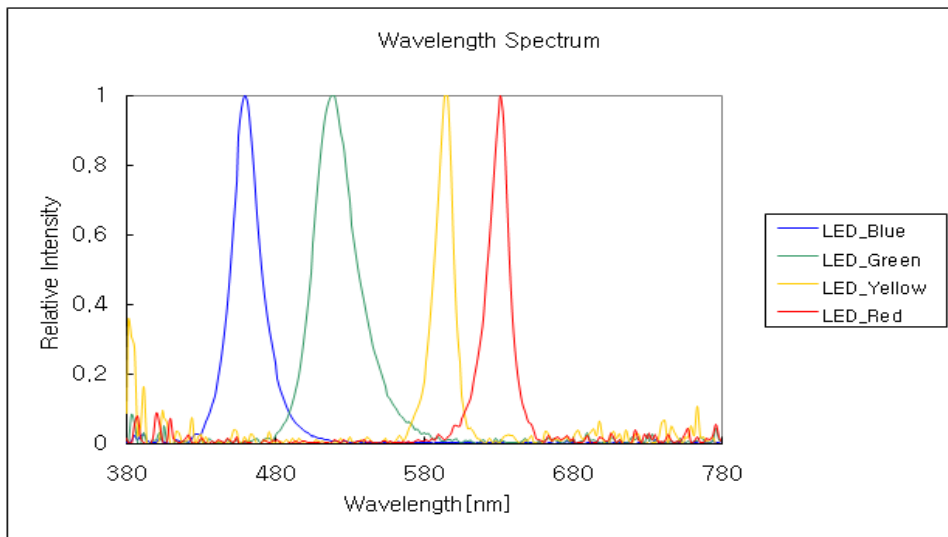
<그림 3-12> LED광 제어장치 제작회로 외관도

(2) 인공광원 스펙트럼 특성 시험 결과 및 고찰

(가) 광원 종류별 광질 스펙트럼 분석



[형광등의 스펙트럼 분석 결과]



[LED의 스펙트럼 결과]

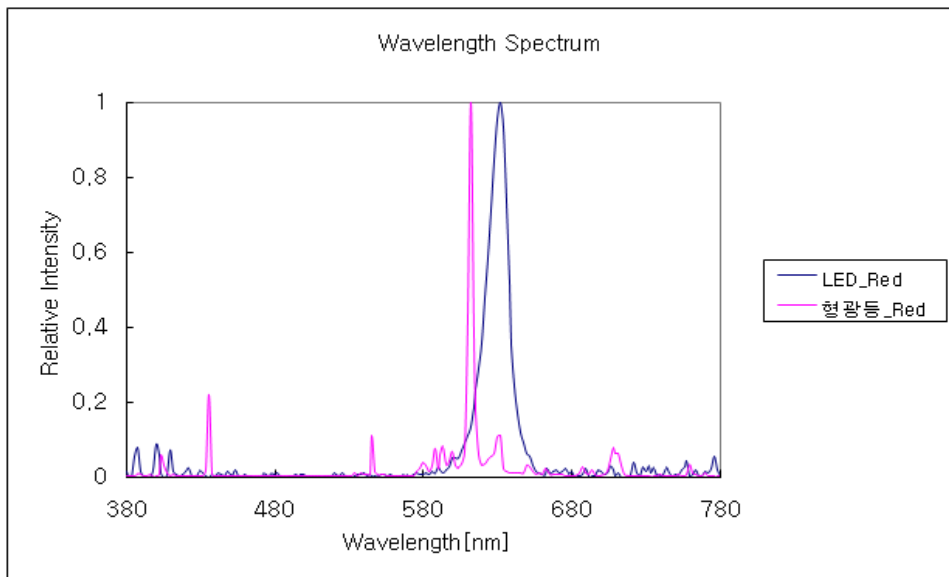
<그림 3-13> 본 시험에 이용된 형광등과 LED의 광질스펙트럼 분석 결과

○ 형광등의 경우 청색광은 400~440nm 범위의 자외선 영역의 광량이 많았으며, 녹색광은 500nm 부근에서 그리고, 적색광의 경우는 600~640nm의 적외선이 많이 포함된 것으로 나타났다. 황색광의 경우는 녹색광과 유사한 범위에서 피크를 보였으나 전반적으로 스펙트럼 범위가 매우 넓은 광질 반응을 보였다.

○ 유색 형광등의 광질 스펙트럼은 LED와 비교하여 넓게 분포하는 특성을 보여 식물 생육시 특정 영역의 광질반응 측면에서 LED와 비교하여 뚜렷한 결과를 확인하기 어려움을 시사함

(나) LED와 형광등의 색상별 광질 스펙트럼 비교

1) 적색광(RED Light)의 측정 결과

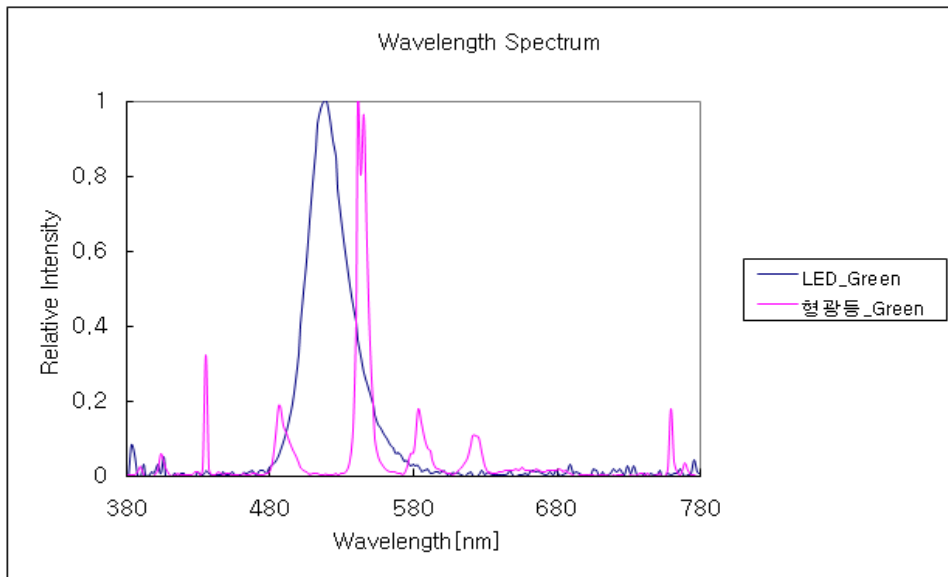


<그림 3-14> 적색 형광등과 LED 등의 흡수 스펙트럼 분석 결과

○ 형광등은 600nm에서 좁은 피크를 보였지만 400nm, 720nm 부근 등 넓은 분포의 광질을 포함하고 있지만, LED 광원은 620~640nm 범위에서 피크를 보였으며 나머지 파장별 광원은 거의 찾아 보기 힘든 수준의 광원 특징을 보였다.

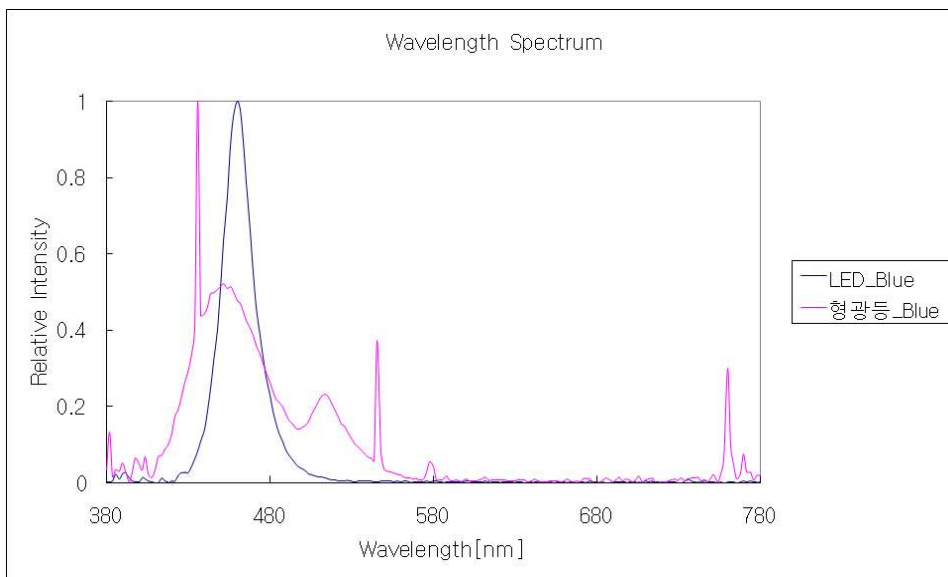
2) 녹색광(GREEN Light)의 측정결과

○ 형광등은 550nm에서 좁은 피크를 보였지만 440nm, 490nm, 590nm, 630nm 등 여러 파장대에서 광량이 높아지는 특성을 보였지만, 이와는 달리 LED 광원은 520~560nm 범위에서 넓은 피크치를 보였으며 나머지 파장별 광원은 거의 찾아 보기 힘든 수준의 광원 특징을 보였다.



<그림 3-15> 녹색 형광등과 LED 등의 흡수 스펙트럼 분석 결과

3) 청색광(BLUE light)의 비교 실험



<그림 3-16> 청색 형광등과 LED 등의 흡수 스펙트럼 분석 결과

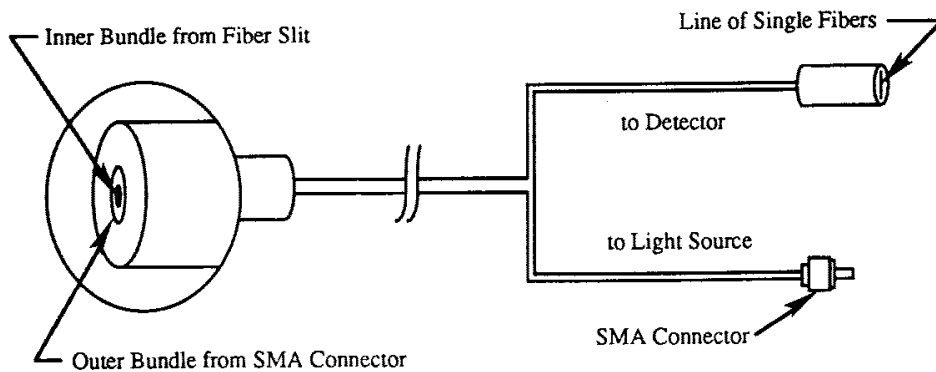
- 형광등은 400~590 범위의 자외선 영역에서 넓은 흡수 스펙트럼을 보였지만, LED 광원은 440~480nm 좁은 범위에서 피크치를 보였으며, 마찬가지로 나머지 파장별 광원은 거의 잔잔한 영역의 광원 특징을 보였다.

분석 결과, LED 광원이 형광 광원에 비해 광 파장별 스펙트럼의 구분도가 뚜렷하여 새싹채소 재배시 광원으로서 매우 타당함을 확인할 수 있었다.

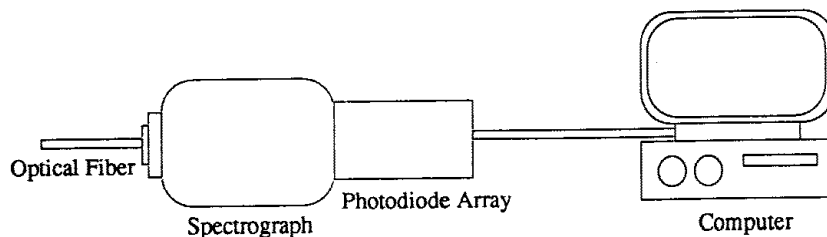
(3) 광섬유 제어장치

광섬유 센서를 모드 잠금 레이저 공진기 속에 둬으로써 모니터링하는 새로운 방법이 영국에 있는 페어햄 인센시스(Insensys Ltd. of Fareham)사와 아스톤 대학교(Aston University)의 연구원들에 의해 고안되고 입증되었다. 이 기술은 감도가 좋으며, 간단한 디자인으로 다른 광섬유 모니터링 시스템에서 요구되는 몇 가지 값비싼 부품들을 제거했다.

광섬유 센서는 온도와 압력 측정 분야에 빈번히 이용된다. 예를 들면 항공기 날개 혹은 하이웨이 교량 속에 위치한 광섬유 센서는 날개 금속이나 다리 콘크리트의 압력의 양을 측정한다. 이러한 센서들이 압전 센서와 같은 일반적인 전자 센서를 능가하는 두 가지 주요 장점은 전자기간섭에 무관하다는 점과, 하나의 광원으로 하나의 광섬유에 다중화될 수 있다는 점이다.



[형광측정용 광섬유]



[광파이버의 광측정 시스템]

<그림 3-17> 광파이버의 종류와 측정 시스템

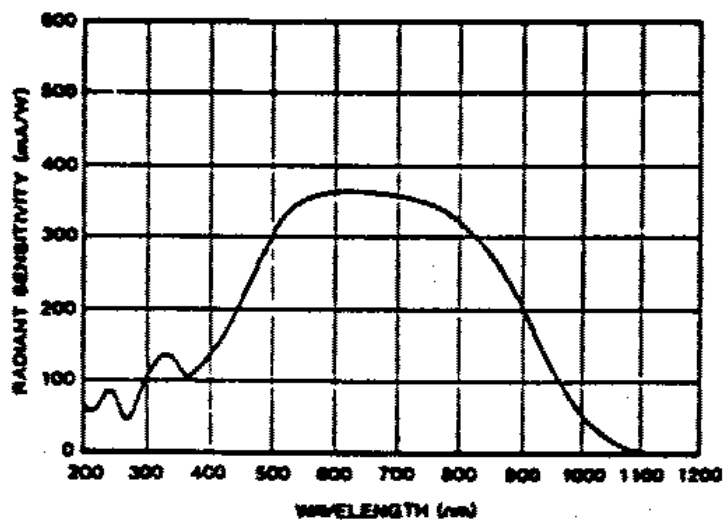
광섬유의 소스부(발광부)에 LED가 사용된다. 수신부에 포토센서가 응용된다.

LED(light emitting diodes, 발광다이오드)는 화합물 반도체기술의 발달로 최근 고휘도 적색, 주황, 녹색, 청색 및 백색 LED가 나오고 여러 다른 분야에 이용하게 되었다. 특히 LED 교통신호등 및 LED 조명 응용기술 개발이 활발해져서 LED 교통신호등은 보급이 수년전부터 활발히 진행되고 있으며, LED조명도 이제 활용되기 시작하였다.

LED 신호등은 전구식의 신호등에 비해 대폭적인 에너지 절약이 가능하고 교통환경 개선이 가능하므로 선진국을 중심으로 확대 보급이 빠르게 이루어지고 있다. 가장 먼저 1992년 보급을 시작한 미국은 필라델피아, 캘리포니아, 보스턴시에서 먼저 신호등을 LED로 교체하였으며, 다른 여러 도시로 보급이 확산되고 있다. LED 신호등의 보급은 유럽의 대부분 국가와 일본에서도 빠르게 이루어지고 있으며, 국내에서도 보급되기 시작하였다.

고휘도 백색 LED의 개발로 LED의 조명효율이 점차 개선되고 있으며, 수년내에 효율 높은 일반 LED 조명이 보급될 전망이다. 현재에도 저출력급의 특수 조명 사용으로부터 시장 진입이 활발하게 이루어지고 있는 실정인데, 고효율 반도체 광원이 개발되어 일반 조명용 광원에 적용되면, 에너지 소모를 크게 줄이고 환경 개선에도 기여하게 된다.

반도체 발광소자를 이용한 기술이 선진국을 중심으로 급속히 발전되고 있다. 선진국에서는 에너지 관련 부처, 산업체, 연구기관 등이 공동 참여하여 LED신호등 기술개발에 노력하고 있으며, 주기적으로 규격을 재검토하며 보완하고 있다. 또한 정부의 적극적인 지원으로 LED 조명기술 개발을 위한 연구가 대형 조명회사들과 기존 LED 제조회사들을 중심으로 추진 중에 있으며, 이들은 적극적으로 LED 조명 사업을 확대하고 있다.



<그림 3-18> 광섬유의 측정 민감도

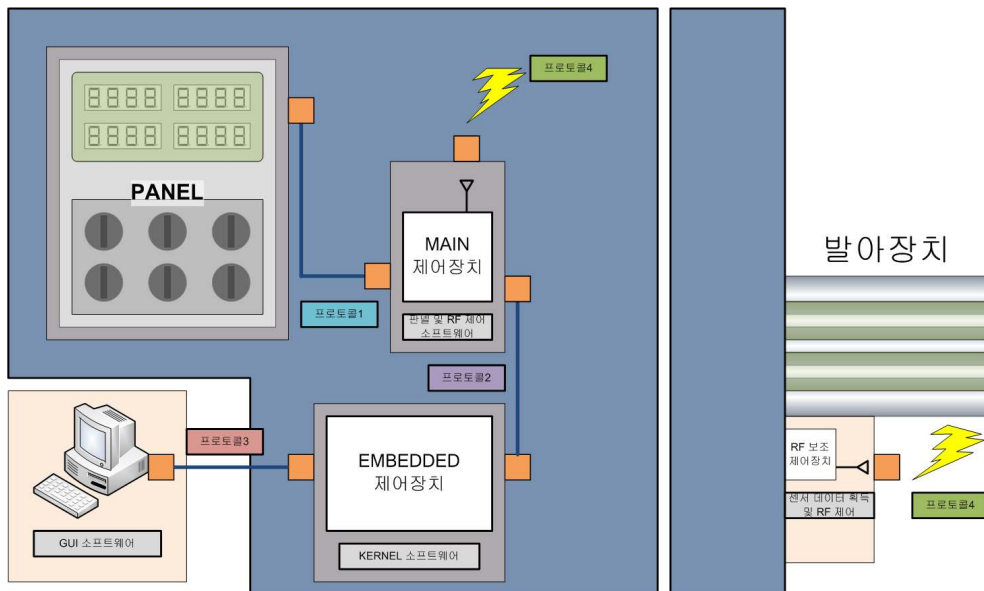
다. 마이크로프로세서 이용한 자동화 임베디드 제어장치의 구현 및 고찰

(1) 임베디드 시스템 응용한 종합환경 제어장치의 구성

(가) 마이크로프로세서를 응용한 새싹 제어용 관수 광량 제어장치

새싹채소의 관수 제어 및 광량 제어를 위한 마이크로프로세서 응용한 임베디드 제어장치를 아래와 같이 구성, 제작하였다.

1) 시스템 개요도



<그림 3-19> 시스템 개요도

2) 개발대상 및 동작 개요

① RF 센서보드

- 발아장치의 온도와 습도센서의 데이터를 수집 및 메인컨트롤 보드로 전송
- 무선 모듈을 사용하여 메인 컨트롤 보드와 별도의 프로토콜(protocol IV)을 사용하여 통신
- 무선으로 동작되어 회전하는 원판에 케이블이 꼬이지 않도록 하기 위해, 별도의 전원 공급(배터리 모듈)
- 외부에 노출되어야 하므로 내성이 있는 방수용 케이스 내에 삽입

② 메인 컨트롤 보드

- RF 센서보드로부터 데이터를 획득하여 임베디드 제어장치로 전송
- 임베디드 제어장치와는 RS-232를 통하여 별도의 프로토콜(protocol II)을 사용하여 통신
- 디스플레이용 PANEL의 장치를 제어하기 위해 RS-232를 통하여 별도의 프로토콜(protocol I)을 사용하여 PANEL 제어용 보드와 통신 수행
- PANEL 내부에 삽입되고 8BIT Atmega CPU 사용
- 사용자 및 임베디드 제어장치의 명령에 따른 모터의 컨트롤
- 각종 센서 및 제어 장치들이 연결되도록 220V 릴레이 컨트롤 모듈 부착

③ 임베디드 제어장치

- 메인 컨트롤 보드로부터 RS-232를 통하여 데이터를 송수신하는 장치
- 사용자 제어용 PC(HMI)에 TCP/IP를 통하여 데이터 송수신하는 장치
- 온도보정, FAN제어 등을 위한 자동제어용 소프트웨어 탑재
- HMI에 GUI형태로 데이터를 출력하기 위한 자체 프로토콜(Protocol III)생성
- 웹 카메라 부착하여 USB 포트 활용

④ 판넬 제어용 보드

- 메인 컨트롤러와 RS-232 통신을 수행하며 디스플레이, 스위치 등의 조작을 담당하는 컨트롤러

⑤ PC 용 Win32 GUI 어플리케이션

- 인터넷을 통하여 임베디드 장치와 통신을 수행하며, 그래픽 환경에서 발아 장치를 모니터하고, DB를 구축
- 특정 발아식물의 데이터를 저장할 수 있어, 수기종의 씨앗에 사용자의 스케줄 명령을 통하여 자동으로 모터 및 발아장치의 운전 스케줄 결정

⑥ 디스플레이용 판넬

- 디스플레이, 스위치를 포함하는 판넬이며, 각종 컨트롤러가 삽입될 케이스

3) 세부 개발 장치 사양

① RF 센서보드(하드웨어)

구분	항목	내용	비고
H/W	CPU	Atmega8	
	통신모듈	RF 모듈(미정)	
	전원부	9V배터리 모듈	
	변환기	AD Converter	
S/W	프로토콜 분석모듈	RF 통신용 프로토콜 조작	
기타	케이스	방수용 케이스 제작	

② 메인 컨트롤 보드

구분	항목	내용	비고
H/W	CPU	Atmega128	
	통신모듈	RF 모듈(미정)	
		RS-232 2port	
	I/O 포트	밸브 제어포트	
		모터제어포트	
		온도센서 입력포트	
		FAN 제어포트	
		냉각기 제어포트	
히팅 코일 제어포트			
변환기	AD Converter		
S/W	프로토콜 분석모듈	RF 통신용 프로토콜 조작	
		판넬 제어용 보드 프로토콜 조작	
	모터제어부	모터 스피드 컨트롤 모듈	

③ 임베디드 제어장치

Item	Description
Processor	Intel PXA255 400MHz
SDRAM	32Mbyte
Flash	Intel strata flash 16MByte
Ethernet	CS8900A 10BaseT
Touch	ADS7843 (Touch screen)
USB	USB Slave
Serial	2 Port
JTAG	1 Port
Connector	PC104+ connector
Etc	6.4" TFT LCD (640 * 480) INTERFACE

Intel 저전력 CPU PXA255는 상기표와 같이 그 주변에 ROM, RAM과 Ethernet 과 같은 통신 인터페이스 장치로 구성되어 있다. 기본적으로 입출력은 Touch LCD 를 사용하며, Ethernet과 JTAG을 통하여 프로그램 된다.

④ 판넬 제어용 보드

구분	항목	내용	비고
H/W	CPU	Atmega8	
	통신모듈	RS-232 1port	
	I/O 제어부	7-Segment 스위치	
S/W	프로토콜 분석모듈	메인 컨트롤장치와의 프로토콜 조작부	
	I/O제어부	모터 컨트롤 모듈	

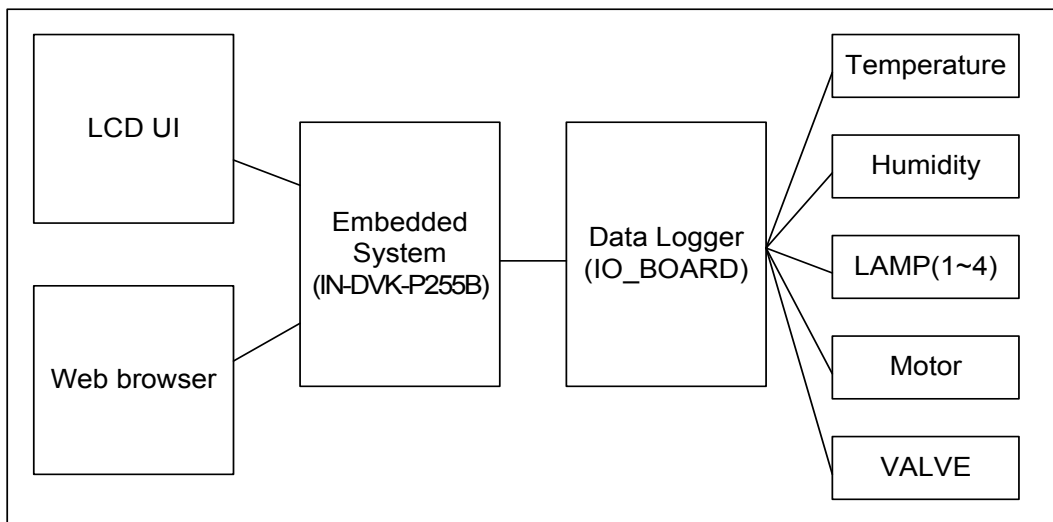
⑤ PC 용 Win32 GUI 어플리케이션

구분	항목	내용	비고
S/W	프로토콜 분석모듈	임베디드제어장치와의 프로토콜조작부	
	I/O제어부	모터 스피드 컨트롤 모듈	
	UI	그래픽 감지 모듈	
	통신부	소켓 컨트롤 모듈	
	DataBase	ODBC를 이용한 DB 구축	

(나) 임베디드 웹제어 프로그램 시스템

1) 제어시스템 블록도

- 새싹제어장치는 온실 내부에 자동 영양 공급 장치, 히터, 팬, 램프 등으로 구성되어 있어 자동으로 현재 온도와 습도 값을 실시간 디스플레이 하며, 사용자의 설정 값으로 온도와 습도를 자동으로 유지해 주는 시스템이다. 전체 시스템 블록도는 다음 그림 3-20과 같다.



<그림 3-20> 임베디드 제어시스템 블록도

2) 데이터로거의 응답 포맷

- 임베디드 시스템에서 특정한 AT Command를 사용하여 Data Logger로 명령을 내리면, Data Logger는 특수한 포맷으로 응답을 내보낸다. 응답은 그림 3-21과 같다.

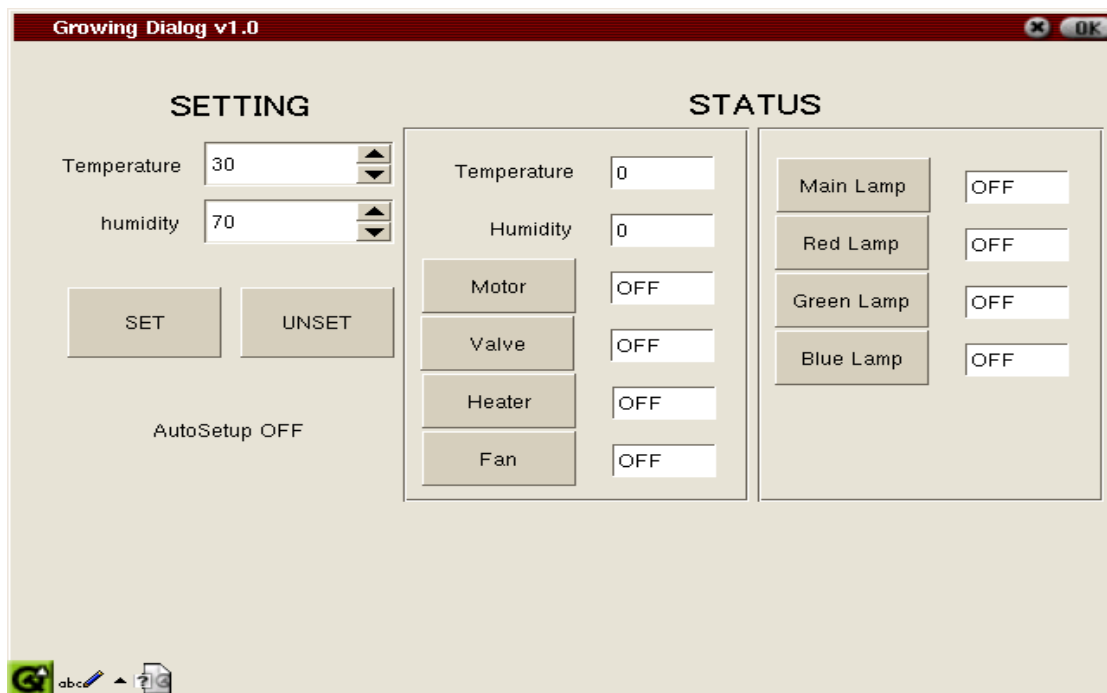
온도(2)		습도(2)		모터	밸브	히터	팬	형광등	적	녹	청
10	1	10	1	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)

<그림 3-21> 응답 포맷

- 그림과 같이 Data Logger는 12바이트의 응답을 임베디드 시스템으로 내보내며, 이를 수신한 임베디드 시스템은 데이터를 분석하여 LCD 스크린에 표시한다.

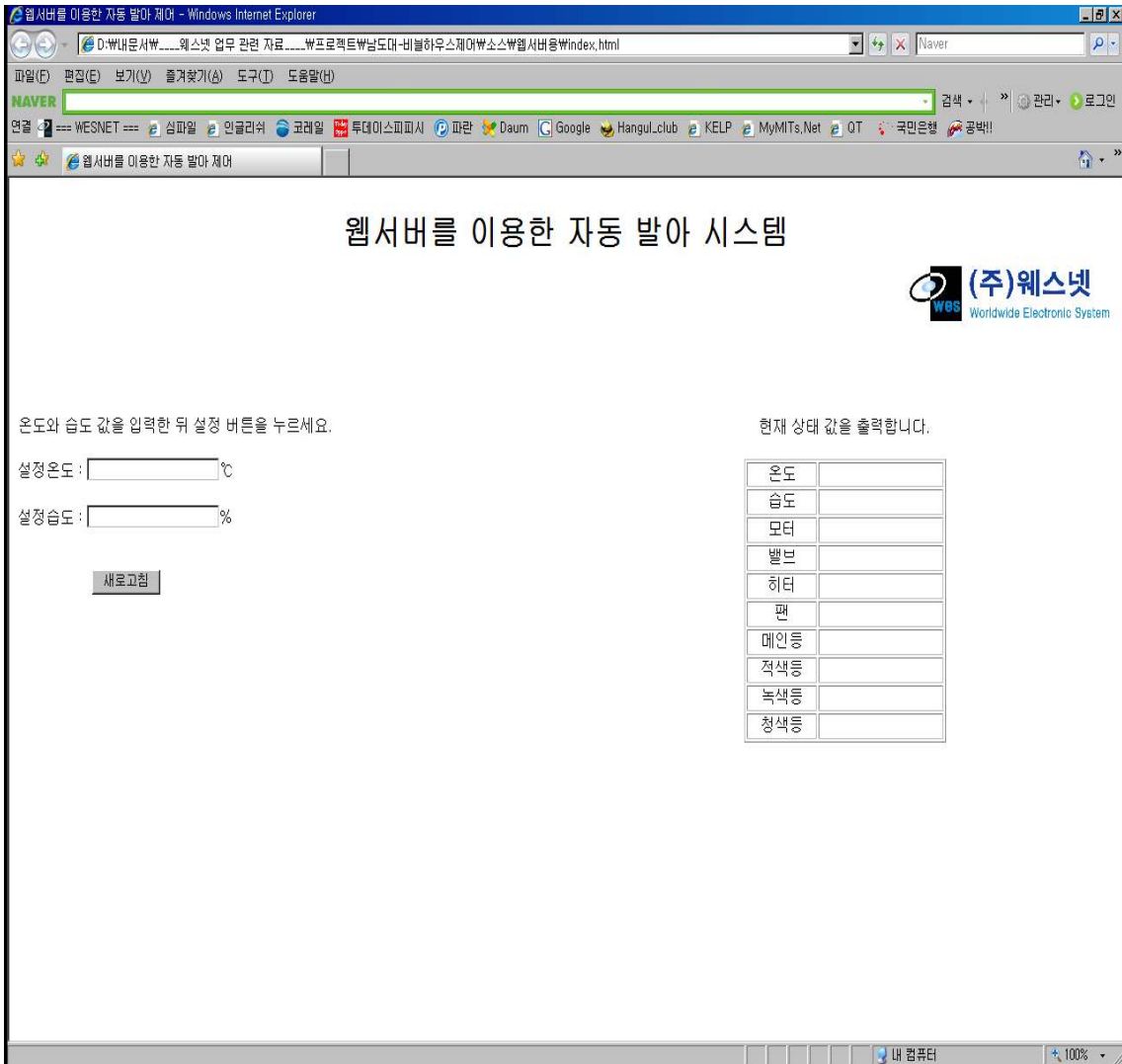
3) LCD 스크린의 웹서버 프로그램 구동 화면

LCD 스크린에 표시되는 형식은 그림 3-22와 같다.



<그림 3-22> 프로그램 구동 화면

- 또한 임베디드 시스템의 이더넷 포트에 랜 케이블을 연결한 뒤 PC의 웹 브라우저를 통해서 LCD화면과 동일하게 데이터를 확인할 수 있다. 그림 3-23은 PC의 웹 브라우저에서 임베디드 시스템의 웹서버로 접근하여 데이터를 확인하기 위한 페이지를 보여준다.



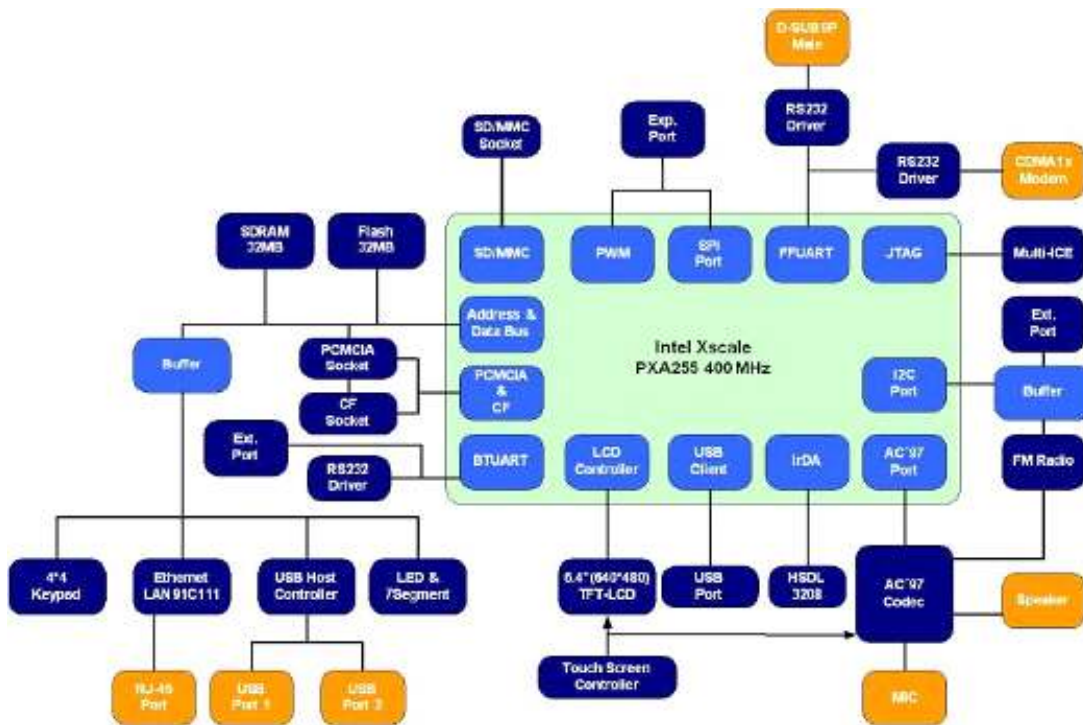
<그림 3-23> 임베디드 시스템의 웹 서버

4) 임베디드 구동장치 버튼

- 임베디드 시스템의 스크린에는 총 10개의 버튼이 존재한다. SET 버튼과 UNSET 버튼은 정해진 온도와 습도에 맞추어 온실이 자동으로 구동되는 버튼이다. 온도와 습도를 설정한 뒤 버튼을 누르게 되면, 온도를 높이고 낮추기 위한 히터와 버튼이 자동으로 구동되며, 이 때 그 구동 상태와 온, 습도 값이 화면에 출력되게 된다. 자동 온도 조정 상태에서는 나머지 8개의 버튼의 동작을 할 수 없다. SET과 UNSET 버튼을 제외한 나머지 8개의 버튼은 강제로 장치들을 동작시킬 수 있는 버튼이다. 이 버튼들을 사용하기 위해서는 반드시 시스템 모드가 UNSET에 있어야 한다.

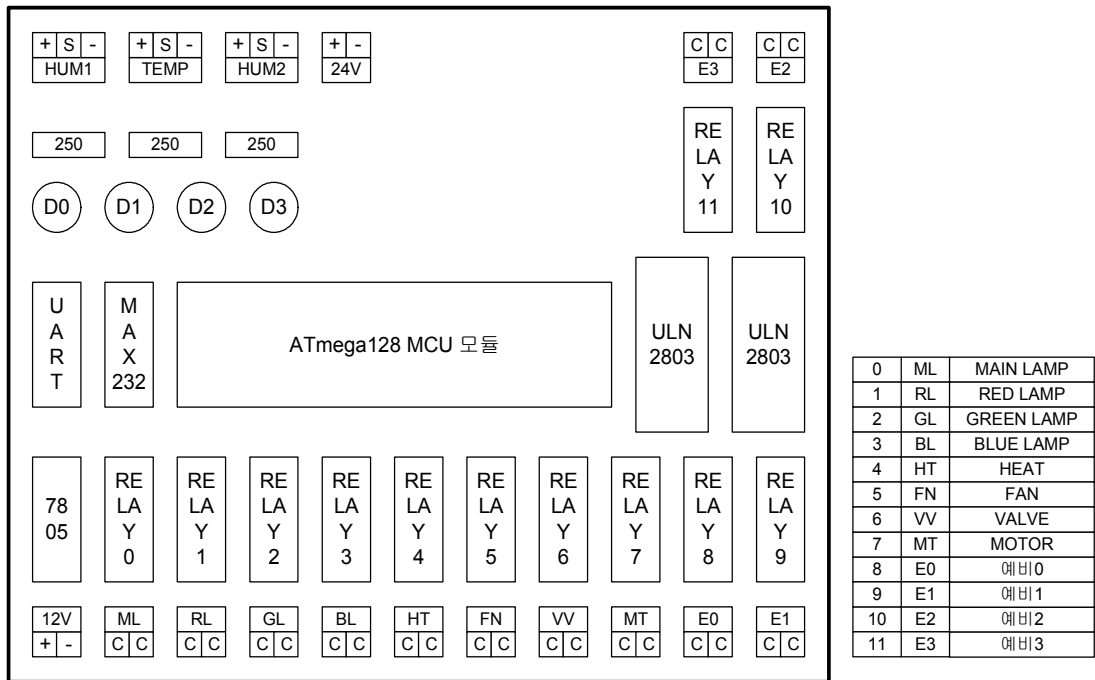
5) 각 장치의 구조

- 임베디드 시스템은 PXA255 CPU를 사용하며, 32Mb의 플래시롬, 128MB의 SDRAM으로 구성되어 있다. 이 시스템에는 임베디드 리눅스 2.4.19가 포팅되어 있으며, GUI를 구동하기 위해 QT를 탑재하였다. 임베디드 시스템 CPU의 아키텍처는 그림 3-24와 같다.



<그림 3-24> 임베디드 시스템 구조

- Data Logger는 그림 3-25와 같이 설계되었다.



<그림 3-25> Data Logger 블록도

6) AT Command 구조

① AT\$\$\$STATUS?

예)
 명령 : AT\$\$\$STATUS?
 응답 : 206011010011

Return Format(12 바이트)

온도(2)		습도(2)		모터	밸브	히터	팬	형광등	적	녹	청
10	1	10	1	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)

온도, 습도 반환값

정수 10의 자리 1바이트 + 정수 1의 자리 1바이트

모터 반환값

0°C : '0'

180℃ : '1'

밸브, 히터, 팬, 형광등, 적색등, 녹색등, 청색등 반환값

ON : '1'

OFF : '0'

② AT\$\$MOTOR

예)

명령 : AT\$\$MOTOR=0

응답 : 없음

명령 : AT\$\$MOTOR=1

응답 : 없음

Return Format(없음)

③ AT\$\$VALVE

예)

명령 : AT\$\$VALVE=0

응답 : 없음

명령 : AT\$\$VALVE=1

응답 : 없음

Return Format(없음)

④ AT\$\$HEAT

예)

명령 : AT\$\$HEAT=0

응답 : 없음

명령 : AT\$\$HEAT=1

응답 : 없음

Return Format(없음)

⑤ AT\$\$FAN

예)

명령 : AT\$\$FAN=0

응답 : 없음

명령 : AT\$\$FAN=1

응답 : 없음

Return Format(없음)

⑥ AT\$\$MLAMP

예)

명령 : AT\$\$MLAMP=0

응답 : 없음

명령 : AT\$\$MLAMP=1

응답 : 없음

Return Format(없음)

⑦ AT\$\$MAINLAMP

예)

명령 : AT\$\$RLAMP=0

응답 : 없음

명령 : AT\$\$RLAMP=1

응답 : 없음

Return Format(없음)

⑧ AT\$\$GLAMP

예)

명령 : AT\$\$GLAMP=0

응답 : 없음

명령 : AT\$\$GLAMP=1

응답 : 없음

Return Format(없음)

⑨ AT\$\$FAN

예)

명령 : AT\$\$BLAMP=0

응답 : 없음

명령 : AT\$\$BLAMP=1

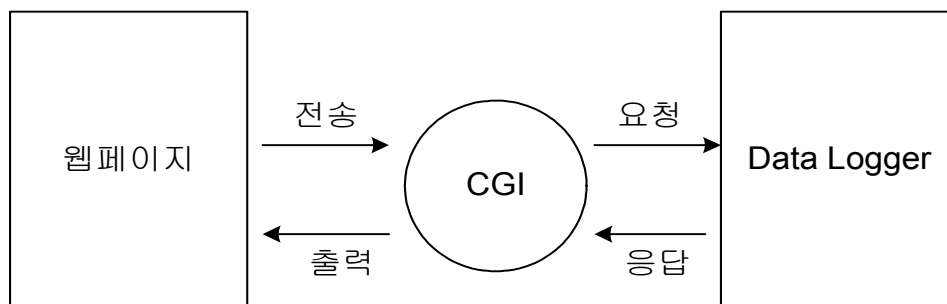
응답 : 없음

Return Format(없음)

7) 웹서버 용 프로그램 개요

- CGI를 사용하여 HTML 페이지에서 CGI프로그램에 데이터를 전달하고, 다시 받아오는 방식으로 처리하였다.

- HTML 페이지의 특정 버튼을 누르게 되면, HTML 페이지는 웹 서버의 특정 디렉토리에 있는 CGI 프로그램을 호출하고, CGI 프로그램은 Data Logger로부터 데이터를 받아와 HTML 페이지를 다시 출력하는 기능을 한다. 그 개념도는 그림 3-26과 같다.



<그림 3-26> CGI 프로그램 개념도

8) Data Logger의 동작

- Data Logger는 하부 디바이스(모터, 램프, 센서 등)과 직접적으로 연결되어 있는 데이터 획득 및 센서의 입력을 감지하고 값을 저장하고 있는 일종의 수집 장치로써 컨트롤 박스에 내장되어 있다.

- 하위 디바이스를 제어하는 방법은 릴레이를 사용하여 스위치를 ON/OFF 하는 방식이고 센서에서 값을 읽어오는 방식은 수분센서와 온도센서를 디지털 값으로 변환하여 임베디드 시스템의 요청이 있을 때 AT Command를 통하여 값을 송신하는 기능을 가지고 있다.

9) 임베디드 시스템의 동작

- 임베디드 시스템은 PXA255 CPU를 내장한 고성능 시스템으로써 6.5" TFT Touch LCD를 채택하여 사용자에게 쉬운 인터페이스를 제공하고 있다.

- 임베디드 시스템에는 또한 128Mb의 SDRAM, 32MB의 Flash Rom, USB Host / Slave, PCMCIA 등등의 다양한 인터페이스를 포함하고 있으나 온실 실험 장치에서는 간단히 LAN, UART2, TFT LCD만을 사용하여 외부 인터페이스를 취하고 있다.

- 임베디드 시스템 장치를 제어하기 위해 운영체제는 임베디드 리눅스 2.4.19 버전을 채택하였으며 임베디드 리눅스를 부팅시키기 위해 Blob 부트로더를 채택하였다.

또한 파일시스템은 JFF2 파일시스템을 채택하였고, LCD 스크린에서 사용자와 인터페이스를 담당하기 위하여 UI 프로그램 구동을 위한 QT GUI 2.3.10 을 선택하여 프로그램 되었다.

- 프로그램이 구동되면 Data Logger 측으로 UART2를 통하여 AT Command를 송신을 한다. 이 때 송신되는 명령은 현재 디바이스들의 상태와 센싱 값들을 요청하는 것으로써 다시 수신되는 값은 12 바이트이다. 총 12바이트에는 새싹채소기계내의 온도, 수분의 센싱값들과 하위 디바이스들의 상태가 포함되어 있어 수신된 12바이트를 적절히 파싱하여 LCD에 새싹채소기계내의 온도, 수분값과 각 디바이스의 상태를 표시한다.

만약 사용자가 각 버튼을 누른다면, 임베디드시스템은 눌린 버튼에 따라 강제로 디바이스를 현재 상태와는 반대로 ON, OFF 시킬 AT Command 를 송신하여 Data Logger측으로 보내게 된다.

- 임베디드 시스템은 1초에 한 번씩 센싱값과 하위 디바이스의 상태를 요청하게 되며 Data Logger도 마찬가지로 임베디드 시스템의 응답으로 1초에 한 번씩 응답을 재 전송하게 된다.

- 만일 온도와 습도를 설정하였다면, 임베디드 시스템은 온도와 습도만을 모니터링하고 히터와 팬, 밸브를 조절하기 위한 또 다른 타이머를 구동한다.

(다) 새싹채소의 제어감지 웹서버 프로그램의 개발

다음은 새싹채배용 관수 광량제어를 위한 개발한 메인 프로그램이다.

[Main.c]의 프로그램

```
#include<avr/io.h>
#include<avr/interrupt.h>
#include<avr/signal.h>
#include "common.h"

#define Delay_us(X)  {\
    unsigned char time_us = X;\
    while(time_us--){\
        asm (" PUSH R0");\
        asm (" POP R0"); \
        asm (" PUSH R0");\
        asm (" POP R0"); \
    }\
}

#define Delay_ms(X)  {\
    unsigned int time_ms = X;\
    while(time_ms--){\
        Delay_us(250);\
        Delay_us(250);\
        Delay_us(250);\
        Delay_us(250);\
    }\
}

#include "delay.h"

#include "sht-75sensor.h"
#include "uart0.c"

#define true 1
#define false 0
```

```

void BT_Init(void);
void BT_Init2(void);
char MSG_Q_ok(void);
void Pulse(unsigned char, unsigned char);
void UART_SendMeasureData(unsigned char *, unsigned char *);

int main(void){
    //value humi_val,temp_val;
    unsigned char error,checksum;
    int i;

    Delay_ms(2000);

    SHT_TWI_DDR = 0xff;
    ADC_DDR &= 0XF0;

    /* RTS + CTS + STATUS(DCT) */
    DDRD = (0<<2) | (1<<3) | (0<<4);
    PORTD = 0x00;

    s_connectionreset();

    sei();
    UART_Init(7372800, 9600);
    /*UART_PutChar(0x0c);
    UART_PutChar(0x0c);
    UART_PutString("\r\nInit Uart\r\n");*/

    RxWritePoint = 0;           // 읽기 버퍼 포인트 초기화
    RxReadPoint = 0;

    BT_Init2();

    /*if((PIND & (1<<4)))
        BT_Init();*/

```

```

while(1){
    if((PIND & (1<<4)))
        BT_Init2();
    //UART_PutChar(0x0c);

    error=0;
    error+=s_measure(humi_val,&checksum,HUMI); //measure humidity
    error+=s_measure(temp_val,&checksum,TEMP); //measure temperature

    //Delay_ms(500);

    if(error!=0) {
        s_connectionreset(); //in case of an error: connection reset
        /*UART_PutString("error = ");
        UART_PutChar(error | 0x30);
        UART_PutString("\r\n");*/
    }

    else{
        /*humi_val.f=(float)humi_val.i; //converts integer to float
        temp_val.f=(float)temp_val.i; //converts integer to float
        */

        //UART_SendMeasureData(humi_val, temp_val);
        if((PIND & (1<<4)) == 0)
            UART_SendMeasureData(humi_val, temp_val);

        Delay_ms(2000);
    }
}
}

```

```

void BT_Init(void){
    /*while(1){
        UART_PutString("AT+BTVER?\r\n");
        Delay_ms(10);
        if(MSG_Q_ok()==1) break;
    */
}

```



```

    Pulse(250, 250);
}

while(1){
    UART_PutString("AT+BTINFO?\r\n");
    Delay_ms(200);
    if(MSG_Q_ok()==1) break;
    Pulse(200, 50);
}*/

while(1){
    UART_PutString("AT+BTSCAN\r\n");
    Delay_ms(200);
    if(MSG_Q_ok()==1) break;
}

while(1){
    UART_PutString("AT+BTSCAN000195090A3E,to=0\r\n");
    Delay_ms(200);
    if(MSG_Q_ok()==1) break;
}
}

void BT_Init2(void){
    UART_PutString("AT+BTSCAN\r\n");
    UART_PutString("AT+BTSCAN000195090A3E,to=0\r\n");
}

char MSG_Q_ok(void){
    unsigned char CWPoint=0, CommandRcvFlag = 0;
    unsigned char Command[32];
    //unsigned char i=0;

    while(1){

        if(RxWritePoint != RxReadPoint){

```



```

        Delay_us(top);
    }
}

void UART_SendMeasureData(unsigned char *humi, unsigned char *temp){
    unsigned long i = 0;
    unsigned char HexFont[] = "0123456789ABCDEFGH";

    UART_PutString("##");

    i = ((*humi) << 8) + *(humi + 1);
    UART_PutChar((i / 1000) | 0x30);
    UART_PutChar(((i % 1000) / 100) | 0x30);
    UART_PutChar(((i % 100) / 10) | 0x30);
    UART_PutChar((i % 10) | 0x30);

    i = ((*temp) << 8) + *(temp + 1);
    UART_PutChar((i / 10000) | 0x30);
    UART_PutChar(((i % 10000) / 1000) | 0x30);
    UART_PutChar(((i % 1000) / 100) | 0x30);
    UART_PutChar(((i % 100) / 10) | 0x30);
    UART_PutChar((i % 10) | 0x30);

    UART_PutString("\r\n");

    /*
    UART_PutChar(*(humi));
    UART_PutChar(*(humi+1));

    UART_PutChar(*(temp));
    UART_PutChar(*(temp+1));
    */

    UART_PutChar(HexFont[((*(humi) & 0xf0) >> 4)]);
    UART_PutChar(HexFont[((*(humi) & 0x0f) >> 0)]);
    UART_PutChar(HexFont[((*(humi+1) & 0xf0) >> 4)]);

```

```

UART_PutChar(HexFont[((*(humi+1) & 0x0f) >> 0)]);

UART_PutChar(HexFont[((*(temp) & 0xf0) >> 4)]);
UART_PutChar(HexFont[((*(temp) & 0x0f) >> 0)]);
UART_PutChar(HexFont[((*(temp+1) & 0xf0) >> 4)]);
UART_PutChar(HexFont[((*(temp+1) & 0x0f) >> 0)]);

UART_PutString("\r\n");
}

```

//다음은 새싹재배용 관수 광량제어를 위한 개발한 센서감지용 프로그램이다.

//[yart0-sensor.c]의 프로그램

```

#include<avr/io.h>
#include<avr/interrupt.h>
#include<avr/signal.h>

#define BUFFER_MAX      256
#define TERMINAL_CLEAR  0x0C

volatile char UART_RxBuffer[BUFFER_MAX] = "";
volatile unsigned char RxWritePoint = 0;
volatile unsigned char RxReadPoint = 0;
SIGNAL(SIG_UART_DATA){
}
SIGNAL(SIG_UART_TRANS){
}

SIGNAL(SIG_UART_RECV) {
    UART_RxBuffer[RxWritePoint++] = UDR;
}

void UART_Init(long xtal, long bps){
    unsigned long temp;
    UCSRB = (1<<TXEN) | (1<<RXEN) | (1<<RXCIE) | (1<<TXCIE);

```

```

temp = xtal/(bps*16L) - 1;
UBRR1 = temp & 0xff;
UBRRH = (temp >> 8) & 0xff;

    RxWritePoint = 0;           // 읽기 버퍼 포인트 초기화
    RxReadPoint = 0;
}

void UART_PutChar(char byData) {
    while ( !( UCSRA & (1<<UDRE)) );
    UDR = byData;
}

void UART_PutString(char *Str) {
    while(*Str)
        UART_PutChar(*Str++);
}

//=====

//[delay.h]의 프로그램
#if CPU_FREQ == 8000000
#endif
#if CPU_FREQ == 7000000
void Delay_us(unsigned char time_us){
    while(time_us--){
        asm (" PUSH R0"); // 2 cycle
        asm (" POP R0"); // 2 cycle
        asm (" PUSH R0"); // 2 cycle
        asm (" POP R0"); // 2 cycle
    }
}

void Delay_ms(unsigned int time_ms){
    while(time_ms--){
        Delay_us(250);
        Delay_us(250);
    }
}

```

```

        Delay_us(250);
        Delay_us(250);
    }
}
#endif
#if CPU_FREQ == 16000000
void Delay_us(unsigned char time_us){
    while(time_us--){
        asm volatile(" PUSH R0"); // 2 cycle
        asm volatile(" POP R0"); // 2 cycle
        asm volatile(" PUSH R0"); // 2 cycle
        asm volatile(" POP R0"); // 2 cycle
        asm volatile(" PUSH R0"); // 2 cycle
        asm volatile(" POP R0"); // 2 cycle
        asm volatile(" PUSH R0"); // 2 cycle
        asm volatile(" POP R0"); // 2 cycle
        asm volatile(" NOP"); // 1 cycle
    }
}

void Delay_ms(unsigned int time_ms){
    while(time_ms--){
        Delay_us(250);
        Delay_us(250);
        Delay_us(250);
        Delay_us(250);
    }
}
#endif

//=====

// [sht-75sensor.h]의 프로그램

unsigned char temp_val[2];
unsigned char humi_val[2];
enum {TEMP,HUMI};

```

```

#define noACK 0
#define ACK 1

#define DELAY1 3
#define DELAY2 6
#define DELAY3 10
#define DELAY4 1
#define DELAY5 2

//adr command r/w
#define STATUS_REG_W 0x06 //000 0011 0
#define STATUS_REG_R 0x07 //000 0011 1
#define MEASURE_TEMP 0x03 //000 0001 1
#define MEASURE_HUMI 0x05 //000 0010 1
#define RESET 0x1e //000 1111 0

#define SHT_TWI_SCL_SET SHT_TWI_OUT |= (1<<TWI_SCL)
#define SHT_TWI_SCL_CLR SHT_TWI_OUT &= ~(1<<TWI_SCL)
#define SHT_TWI_SDA_SET SHT_TWI_OUT |= (1<<TWI_SDA)
#define SHT_TWI_SDA_CLR SHT_TWI_OUT &= ~(1<<TWI_SDA)

//-----
char s_write_byte(unsigned char value){
//-----
// writes a byte on the Sensibus and checks the acknowledge
unsigned char i, error=0;

SHT_TWI_DDR |= (1<<TWI_SDA);

for (i = 0x80; i > 0; i >>= 1){ //shift bit for masking
    if (i & value) //DATA=1; //masking value with i , write to
SENSI-BUS
SHT_TWI_SDA_SET;
else //DATA=0;
SHT_TWI_SDA_CLR;
Delay_us(DELAY1);

```

```

//SCK=1; //clk for SENSI-BUS
SHT_TWI_SCL_SET;

//_nop();_nop();_nop(); //pulswith approx. 5 us
Delay_us(DELAY2);

//SCK=0;
SHT_TWI_SCL_CLR;
Delay_us(DELAY1);
}

Delay_us(DELAY3);
//DATA=1; //release DATA-line
//SHT_TWI_SDA_SET;

//SCK=1; //clk #9 for ack
SHT_TWI_SCL_SET;
SHT_TWI_DDR &= ~(1<<TWI_SDA);
Delay_us(DELAY3);

//error=DATA; //check ack (DATA will be pulled
down by SHT11)
error = (SHT_TWI_IN & (1 << TWI_SDA)) ? 1 : 0;

//SCK=0;
SHT_TWI_SCL_CLR;
Delay_us(DELAY1);

return error; //error=1 in case of no acknowledge
}

//-----
char s_read_byte(unsigned char ack){
//-----

```



```

// reads a byte form the Sensibus and gives an acknowledge in case of "ack=1"
    unsigned char i, val = 0;
//    unsigned char HexFont[] = "0123456789ABCDEFGH";
    //DATA=1;                                //release DATA-line

    SHT_TWI_SDA_CLR;
//    SHT_TWI_SDA_SET;
    SHT_TWI_DDR &= ~(1<<TWI_SDA);
    Delay_us(DELAY2);

    for (i = 0x80; i > 0; i >>= 1){        //shift bit for masking
        //SCK=1;                            //clk for SENSI-BUS
        SHT_TWI_SCL_SET;
        Delay_us(DELAY2);
        //if(DATA) val = (val | i);          //read bit
        if((SHT_TWI_IN & (1 << TWI_SDA))) val |= i;
        Delay_us(DELAY1);
        //SCK=0;
        SHT_TWI_SCL_CLR;
        Delay_us(DELAY2);
    }

    //DATA =! ack;                          //in case of "ack==1" pull down
DATA-Line
    if(ack == 1)    SHT_TWI_SDA_CLR;
    else            SHT_TWI_SDA_SET;
    SHT_TWI_DDR |= (1 << TWI_SDA);

    Delay_us(DELAY2);

    //SCK=1;                                //clk #9 for ack
    SHT_TWI_SCL_SET;

    //_nop();_nop();_nop();                //pulswith approx. 5 us
    Delay_us(DELAY3);

```

```

        //SCK=0;
        SHT_TWI_SCL_CLR;
        Delay_us(DELAY2);

        //DATA=1;                                //release DATA-line

//  UART_PutChar(HexFont[(val>>4)]);
//  UART_PutChar(HexFont[(val & 0x0f)]);

        return val;
    }

//-----
void s_transstart(void){

    SHT_TWI_DDR |= (1<<TWI_SDA);
    //DATA=1; SCK=0;                                //Initial state

    SHT_TWI_SDA_SET;    // 1, 0
    SHT_TWI_SCL_CLR;

    //_nop_();
    Delay_us(DELAY1);

    //SCK=1;
    SHT_TWI_SCL_SET;    // 1, 1

    //_nop_();
    Delay_us(DELAY1);

    //DATA=0;
    SHT_TWI_SDA_CLR;    // 0, 1

    //_nop_();
    Delay_us(DELAY1);

```

```

//SCK=0;
SHT_TWI_SCL_CLR;    // 0, 0

//_nop();_nop();_nop();
Delay_us(DELAY2);

//SCK=1;
SHT_TWI_SCL_SET;    // 0, 1

//_nop();
Delay_us(DELAY1);

//DATA=1;
SHT_TWI_SDA_SET;    // 1, 1

//_nop();
Delay_us(DELAY1);

//SCK=0;
SHT_TWI_SCL_CLR;    // 1, 0
Delay_us(DELAY2);
}
//-----
void s_connectionreset(void){
//-----
// communication reset: DATA-line=1 and at least 9 SCK cycles followed by
transstart
//
// DATA:                                     |_____|
//
// SCK : |_| |_| |_| |_| |_| |_| |_| |_| |_| |_| |_| |_| |_|
    unsigned char i;
    //DATA=1; SCK=0;                          //Initial state
    SHT_TWI_DDR |= (1<<TWI_SDA);
    SHT_TWI_SDA_SET;
    SHT_TWI_SCL_CLR;
    Delay_us(DELAY1);
}

```

```

        for(i = 0; i < 9; i++){                //9 SCK cycles
            //SCK=1;
            SHT_TWI_SCL_SET;
            Delay_us(DELAY2);
            //SCK=0;
            SHT_TWI_SCL_CLR;
            Delay_us(DELAY2);
        }
        s_transstart();                        //transmission start
    }

//-----
char s_softreset(void){
//-----
// resets the sensor by a softreset
    unsigned char error=0;
    s_connectionreset();                      //reset communication
    error+=s_write_byte(RESET);               //send RESET-command to sensor

    return error;                            //error=1 in case of no response form
the sensor
}

//-----
char s_read_statusreg(unsigned char *p_value, unsigned char *p_checksum){
//-----
// reads the status register with checksum (8-bit)
    unsigned char error=0;

    s_transstart();                          //transmission start
    error=s_write_byte(STATUS_REG_R); //send command to sensor
    *p_value=s_read_byte(ACK);               //read status register (8-bit)
    *p_checksum=s_read_byte(noACK);         //read checksum (8-bit)

    return error;                            //error=1 in case of no response form
the sensor
}

```

```

}

//-----
char s_write_statusreg(unsigned char *p_value){
//-----
// writes the status register with checksum (8-bit)
    unsigned char error=0;

    s_transstart();                //transmission start
    error+=s_write_byte(STATUS_REG_W);//send command to sensor
    error+=s_write_byte(*p_value); //send value of status register

    return error;                  //error>=1 in case of no response form
the sensor
}

//-----
char s_measure(unsigned char *p_value, unsigned char *p_checksum, unsigned
char mode){
//-----
// makes a measurement (humidity/temperature) with checksum
    unsigned error=0;
    unsigned long i;

    //unsigned char HexFont[] = "0123456789ABCDEF";

    Delay_ms(1);
    s_transstart();                //transmission start

    switch(mode){                  //send command to sensor
        case TEMP    : error+=s_write_byte(MEASURE_TEMP); break;
        case HUMI    : error+=s_write_byte(MEASURE_HUMI); break;
        default      : break;
    }

    //for (i=0;i<65535;i++) if(DATA==0) break; //wait until sensor has
finished the measurement

```

```

    SHT_TWI_SDA_CLR;
    SHT_TWI_DDR &= ~(1<<TWI_SDA);
    Delay_ms(80);
    for (i=0;i<0x8fffff;i++) if((SHT_TWI_IN & (1 << TWI_SDA))==0) break;
//wait until sensor has finished the measurement

    //if(DATA) error+=1;           // or timeout (~2 sec.) is reached
    if((SHT_TWI_IN & (1 << TWI_SDA))) error+=1;           // or
timeout (~2 sec.) is reached

    *(p_value) = s_read_byte(ACK); //read the first byte (MSB)
    *(p_value+1) = s_read_byte(ACK); //read the second byte (LSB)
    *p_checksum = s_read_byte(noACK); //read checksum
    return error;
}

//-----
void calc_sth11(float *p_humidity ,float *p_temperature){
//-----
// calculates temperature [°C] and humidity [%RH]
// input : humi [Ticks] (12 bit)
//          temp [Ticks] (14 bit)
// output: humi [%RH]
//          temp [°C]
    const float C1=-4.0;           // for 12 Bit
    const float C2=+0.0405;        // for 12 Bit
    const float C3=-0.0000028;     // for 12 Bit
    const float T1=+0.01;          // for 14 Bit @ 5V
    const float T2=+0.00008;       // for 14 Bit @ 5V
    float rh=*p_humidity;          // rh: Humidity [Ticks] 12 Bit
    float t=*p_temperature;        // t: Temperature [Ticks] 14 Bit
    float rh_lin;                  // rh_lin: Humidity linear
    float rh_true;                 // rh_true: Temperature compensated
humidity
    float t_C;                     // t_C : Temperature [°C]

    t_C=t*0.01 - 40;              //calc. temperature from ticks to [°C]
    rh_lin=C3*rh*rh + C2*rh + C1; //calc. humidity from ticks to [%RH]

```

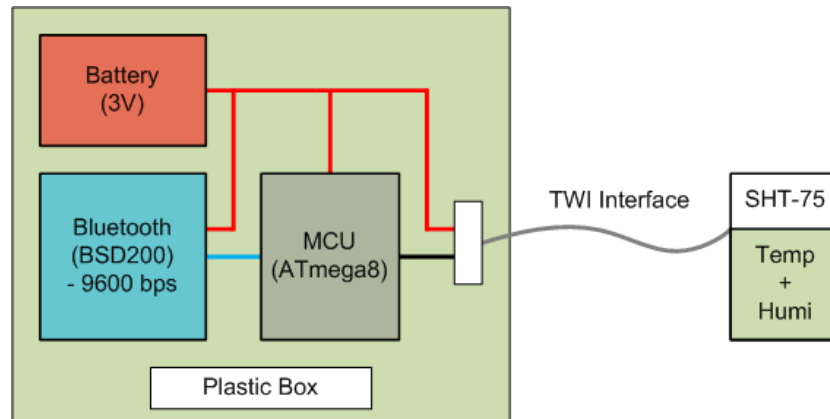
```
    rh_true=(t_C-25)*(T1+T2*rh)+rh_lin;    //calc. temperature compensated
humidity [%RH]
    if(rh_true>100)rh_true=100;           //cut if the value is outside of
    if(rh_true<0.1)rh_true=0.1;         //the physical possible range

    *p_temperature=t_C;                  //return temperature [°C]
    *p_humidity=rh_true;                 //return humidity[%RH]
}
```

(2) 광 조명장치 제어반 설계

(가) 광 조명장치 임베디드 제어장치

새싹재배기의 광원의 데이터 제어용 임베디드 제어 장치를 구성하였다.



<그림 3-27> 새싹재배기의 광제어용 임베디드 시스템 구성도

1) Bluetooth(BSD 200)

- 내장형 블루투스 모듈로써, 기본 100미터 통신을 보장하고, TTL 레벨의 UART 통신을 지원한다.
- UART 통신을 지원하므로, 별도의 드라이버가 필요없고, 타 블루투스 모듈과의 연결 시 Detector 핀을 이용하여 연결의 유무를 확인할 수 있다.
- 블루투스 모듈은 외란에 대단히 강하고, 간단한 명령어를 통하여, 특정 장치와의 Connection에도 탁월한 성능을 자랑한다.

구 분	RF 사양 정보	비고
1. Radio Frequency Range	2.402~2.480GHz	
2. Frequency Channel 수	79 channels	
3. Transmission Method	FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum)	
4. Modulation Method	GFSK(Gaussian-filtered Frequency Shift Keying)	
5. 무선 Power 출력	+4dBm	
6. Receiving Sensitivity	-80dBm	
7. Power Supply	DC3.3V	

2) MCU(ATmega8)

- 온도와 습도센서로부터 입력되는 데이터를 처리하고, 블루투스 모듈을 컨트롤 하기 위한 중앙제어처리장치 MCU인 Atmega8은 하나의 시리얼 포트를 보유하고 있고, 제어기에 널리 사용되는 8비트 마이크로 프로세서이다. 데이터 획득 장치에서 ATmega8은 SHT-75 센서모듈로부터 데이터를 AD Conversion 한 뒤에 다음 패킷 형식으로 메인 컨트롤 유닛으로 블루투스 모듈을 통하여 송신한다.

- $\{\text{습도}\}\{\text{온도}\}$

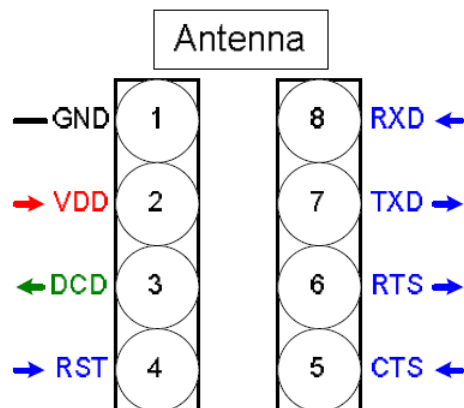
ex) $\{0x3839\}\{0x3236\} = \text{습도}-89, \text{온도}-26$

3) TWI 인터페이스

- (TWI)Two-Wire Interface는 AVR과 주변 디바이스 또는 AVR 사이에서 2선만 사용해서 시리얼로 데이터를 전달할 때 사용하는 통신방식이다. I2C라 불리기도 한다.

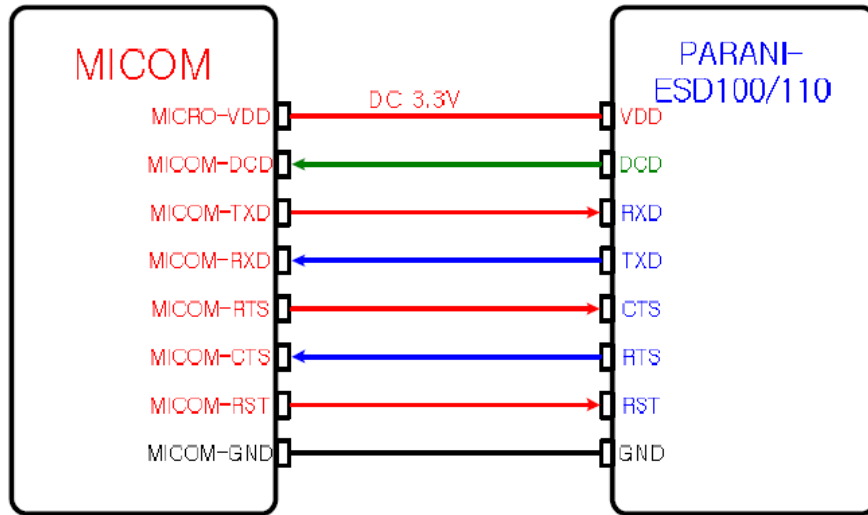
AVR의 TWI 인터페이스의 특징은 다음과 같다.

- ① 2개의 선(SDA, SCL)으로 양방향 시리얼 통신한다.
- ② 마스터와 슬레이브 동작을 할 수 있다.
- ③ 송신기와 수신기로 동작할 수 있다.
- ④ 7비트 주소로 최대 128개의 다른 슬레이브 주소를 만들수 있다.
- ⑤ 멀티 마스터 조정(Arbitration) 기능이 있다.
- ⑥ 최대 400KHz 데이터 전달 속도를 지원한다.



<그림 3-28> 조명제어 인터페이스 핀 사양

다음 그림 3-29에 임베디드 제어장치의 마이크 출력 제어부와 새싹채소 식물공장의 센서 데이터 입력 데이터와의 인터페이스 결선도를 보였다.



<그림 3-29> 임베디드 인터페이스 결선도

- ESD200을 MICOM과 결선하는 방법을 도시한다. MICOM이 3.3V의 전압을 사용할 때 ESD200과 연결시에는 주변회로가 필요하지 않다. MICOM과 ESD200간에 TXD-RXD, RTS-CTS이 상호 연결이 되어 데이터 통신을 한다.

4) Battery

- AVR에 3V를 공급하기 위한 배터리 모듈로써, 회전하는 원판에 유선으로 전원을 공급하게 되면, 케이블이 꼬이는 경우가 발생하므로, 배터리 모듈을 사용하여 전원을 공급하고, 메인 컨트롤 장치에도 무선을 이용하여 데이터를 전달한다.

(3) 자동화 임베디드시스템의 제어실험 고찰

새싹재배생산기계의 최적 생산 환경을 위하여 자동화 임베디드 제어시스템을 구현하여 아래와 같은 분석 결과를 얻을 수 있었다.

① 새싹채소의 관수 제어 및 광량 제어장치를 구성하고 관수량, 온도량, 광량의 최적 제어를 위하여 자동화 임베디드 하드웨어를 구현하였다.

② 새싹기계 받아장치로 부터 관수센서, 온도센서 등 계측 감지된 신호의 데이터 값이 무선신호로 임베디드 CPU로 송신되어 최적의 출력신호(관수센서: 70~89%, 온도센서: 26~30℃조건 등)로 조절됨을 확인하였다.

③ 새싹채소의 상태를 웹서버를 이용하여 모니터링 가능한 최적 프로그램을 개발하였다.

④ 광조명장치의 제어반 데이터가 TTL 기반 원격 송수신이 가능하며, LCD 스크린에 온도, 수분(습도량)의 제어 임계치, 기계에 최적 출력되는 상태값 (Status Value) 즉, 모터, Solenoid Valve, 히터, 팬, 광량 출력값, RGB 출력 상태 등의 제어값이 디스플레이 작동됨을 확인하였다.

제2절. 최적화생산 모니터링 시험 및 산업화

1. 서언

새싹채소는 종자에서 발생하는 싹을 키워 생육초기의 어린 배추과 자엽을 이용하는 것으로 오래 전부터 소비되어 온 신선편의 식품으로서 다양한 품종의 새싹채소가 동·서양에서 다양한 형태로 소비되고 있다(Bae 등, 2008; Lucy 등, 2002). 최근에는 참살이를 추구하는 소비자들이 무 농약, 무 호르몬 재배 등 식품안전성과 고기능성 식품을 적극적으로 요구함에 따라 새싹채소의 소비가 크게 증가하고 있다(Choe 등, 2006).

새싹채소에 이용되는 종자는 유채, 무, 양배추, 클로버, 메밀, 녹두 및 겨자 등 다양한 종류가 이용되고 있는데, 그 중 우리나라에서 많이 이용되고 있는 종류는 브로콜리, 아마란스스, 알팔파, 유채, 적콜라비 및 붉은열무 등이다(Bae 등, 2008). 이들 종자에서 싹을 틔운 것들은 생식 또는 요리에 최소가공 형태로 소비되고, 아미노산, 탄수화물, 미네랄, 비타민 및 폴리페놀 등의 많은 영양성분들을 함유하고 있어 건강식품으로서 높은 관심을 받고 있으며(Feng, 1997), 대형 마트에서 새싹채소라는 이름으로 판매되고 있다(Park 등, 2007).

새싹채소는 종자에서 발아된 새싹을 이용하기 때문에 새싹채소의 효율적인 생산과 기능성물질이 다량으로 포함될 수 있는 발아와 성장 환경조건 구명은 새싹채소의 생산과 소비의 효율성 측면에서 매우 중요하다(Cho 등, 2008). 일반적으로 새싹의 발아와 성장에 영향을 미치는 환경요인은 수분, 온도 및 광조건 등이다. 이 중 광은 종자 발아에 중요한 영향을 미치며, 광 조건에서 발아하는 것을 호광성 종자 또는 명발아 종자라 하며, 광이 없는 상태에서 발아하는 종자를 혐광성 종자 또는 암발아 종자로 구분하고 있다(Kwack과 Kang, 1985). 명발아 종자는 종피에 있는 phytochrome이 발아생리에 관여하며, 근적외선 광에 의하여 발아가 촉진되거나 억제되는 것으로 알려져 있다(Maneinelli 등, 1966). 또 종자에서 발아하는 새싹에서 광은 식물 체내의 phytochrome이라는 광수용성 단백질에 영향을 미치고, 이것은 성장, 형태 및 색소형성의 에너지원과 조절인자로 작용하며, 생리활성 물질의 생성에도 영향을 미친다(Fankhauser와 Chory, 1997; Hopkins, 1999; Kendrick과 Kronenberg, 1994). 이와 같이 새싹채소의 종자발아와 성장 그리고 기능성물질의 함량에 미치는 광의 영향이 이처럼 큰데도 새싹채소의 생산시 다양한 광을 이용하는 사례나 연구결과는 국내외적으로 거의 없는 실정이다.

한편, 최근 상용화되고 있는 LED(light emitting diode, 발광다이오드)는 식물이 광합성 및 성장에 필요한 파장역만을 갖는 단색광으로 식물 재배에서 특정 파장역만을 갖는 광 선택이 가능하다는 점, 둘째, 소형으로 판넬화가 가능해 성장상이나 새싹채소 재배기와 같이 비교적 좁은 공간에서도 활용할 수 있는 점, 셋째, 열선을

방사하지 않으며 전력 소모량이 기존광원의 절반 이하의 수준이라는 점, 넷째, 수명이 반영구적이라는 등의 장점(Hwang 등, 2004)이 있으므로 새싹채소 재배에서 특정한 광을 이용할 수 있을 것이며, 재배목적에 따라 맞춤형 광으로 제어할 수 있는 장점이 있음에도 현재까지 새싹채소 재배에서 종자의 발아와 생장 그리고 기능성물질 함유량에 관한 영향 연구는 거의 없는 실정이다.

이와 같은 배경에서 본 연구는 고기능성 새싹채소 생산을 위한 자료 확보 측면에서 LED 광이 새싹채소(브로콜리, 아마란서스, 알팔파, 유채, 적콜라비 및 붉은열무 등)의 종자 발아, 새싹의 생장, 영양성분 및 기능성 물질의 함유량 등에 미치는 영향을 구명하기 위하여 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시험재료 및 방법

(1) 시험재료

본 시험은 2007년 11월 초부터 2008년 2월 중순까지 남도대학에서 수행하였다. 시험에 사용한 새싹채소는 2007년에 수확한 브로콜리, 아마란서스, 알팔파, 유채, 적콜라비, 붉은열무 등 6종(아시아 종묘)이었다.

(2) 파종과 관리

파종은 페트리접시에 품종당 100립씩 4반복으로 치상하였다. 각각의 생장상에는 LED 광의 경우 광종류별로, 온도처리별 시험은 형광등을 이용하여 실험기간동안 광을 공급하였다. 발아 후 유리병내에 남아있는 물을 빼내었고 수분공급을 위해 매일 물을 분무하였다.

(3) LED 광별 처리와 재배조건

Light emitting diode(LED)는 본 연구를 위하여 특별히 제작한 것(금오전기)으로 청색 LED 460nm를 대조구로 하였으며, 백색 LED 458nm, 녹색 LED 520nm, 황색 LED 596nm, 적색 LED는 632nm이었다. LED 처리조건은 시료의 약 30cm 높이에 광원을 설치하였으며, 광도는 1,500lux, 조광 14시간, 암조건 10시간으로 하였다. 이때 외부광원은 반사필름을 이용하여 차단하였으며, 온도조건은 생장상을 이용하여 주간 25℃, 야간 18℃로 조절하였다.

(4) 온도별 처리 조건

온도에 따른 발아율 및 생장량을 알아보기 위해 이용한 생장상(Growth chamber)은 Hanback HB-103 2대, Vision Science VS-1203P5를 이용하였으며 Hanback HB-103을 20℃, 23℃로 설정하였으며 Vision Science VS-1203P5를 26℃로 설정하여 실험을 실시하였다.

(5) 새싹채소의 발아율 및 발아속도

2007년에 수확한 브로콜리, 아마란서스, 알팔파, 유채, 적콜라비, 붉은열무의 종자를 크기와 무게가 고른 것을 정선하여 파종 전에 물에 8시간 동안 침종한 종자를 이용하였다. 발아율에 대한 조사는 종피를 뚫고 나온 개체수를 파악하였다.

(6) 새싹채소의 싹과 뿌리의 신장 및 생체중 변화

새싹채소의 싹과 뿌리의 신장 및 생체중은 “가”의 조건과 동일한 조건하에서 발아 후 2일부터 6일까지 2일 간격으로 반복당 10개체를 조사하였다. 생체중 및 건물중 측정은 AND fx-300i를 이용하여 측정하다.

(7) 새싹채소의 잎과 줄기의 색도

새싹의 색도는 잎과 줄기 부분으로 구별한 후 색차계(JS555, Color Techno. System, Reference plate L = 98.52, a = 0.07, b = -0.57)를 사용하여 L*값(명도지수 : 검정=0, 흰색=100), a*값(적색/녹색지수 : 적색 +100, 녹색 = -80) 및 b*값(황색/청색지수 : 황색 = +70, 청색 = -70)을 측정하였다.

(8) 통계분석

실험결과는 SAS(statistic analysis system) 통계 package의 Duncan's multiple range test로 검증하였다.

나. LED 광 처리에 따른 새싹채소의 영양성분 변화

(1) 비타민 C 함량

비타민 C의 함량은 2,6-dichlorophenolindophenol (DNP) 방법(AOAC, 1995)에 의해 형광광도계(Spectrofluorometer, SFM-25, Kontron, Italy)로 측정하였다. 동결건조된 시료 2.5g을 시험관에 넣고 5% HPO₃를 50mL 첨가하여 마쇄 후 여과(Whatman No. 5)하여 얻은 상정액 1mL씩 취하여 50% ethanol과 0.2%

2,6-dichlorophenolindophenol에 녹인 3% thiourea 용액을 차례로 0.1mL씩 넣은 후 시험용액과 대조구 용액으로 나누어 시험용액에는 50% sodium acetate 용액을, 대조구 용액에는 50% sodium acetate 용액에 녹인 3% 용액을 각각 1mL씩 넣고 15분간 정치하였다. 15분간 방치 후 0.2% OPDA 용액을 5mL씩 첨가하여 35분간 암소에서 자청색의 형광물질인 guinoxaline을 형성시켜 2시간 이내에 여기(勵起) 파장 350nm, 형광파장 430nm로 측정하였다.

(2) 무기물 함량

시료를 채취하여 동결건조기(Beta 1-8k, B. Baraun, Germany)로 24시간 동안 동결 건조한 후 냉동보관하면서 사용하였는데, P 함량 분석은 Vanadate법으로 470nm에서 비색계(V-560, Jasco, Japan)를 사용하여 측정하였다. Ca, Mg, Na 및 K의 함량은 시료를 동결 건조한 후 마쇄하여 0.5g씩 100mL 삼각플라스크에 넣고 H₂SO₄ 1mL와 50% HClO₄ 10mL씩 첨가한 후 차츰 온도를 올려 300~400°C에서 분해시켜 투명하게 되면 분해를 종료하였다. 이 분해액을 100mL로 정용 여과(Whatman No. 5)한 여액을 원자흡수분광광도계(Spectra AA-220FS, Varian, Australia)를 이용하여 측정하였다.

(3) 아미노산 함량

구성 아미노산의 분석은 시료 2.5g을 시험관에 취하고 6N HCl 용액 15mL를 가하여 질소로 치환하고 밀봉한 후 110°C의 건조기에서 24시간 가수분해 하였다. 이어 감압 농축하고 구연산나트륨 완충용액(pH 5.3)으로 정용하여 0.2 μ m membrane filter로 여과한 후 아미노산 자동분석장치(Sykam S433, Germany)로 분석하였다.

다. LED 광 및 온도 처리에 따른 새싹채소의 기능성물질 변화

(1) 시료의 추출

생리활성 조사를 위해 각각의 광 조건에서 재배한 새싹채소를 45°C의 열풍건조기에서 24시간 건조한 후 75% methanol에서 24시간 동안 추출하여 감압농축 하였다.

(2) 총 페놀 함량

총 페놀 함량은 페놀성물질인 phosphomolybdic acid와 반응하여 청색을 나타내는 것을 이용한 Folin-Denis법(Dewanto 등, 2002)으로 측정하였다. 각 시료의 건조분

말(45°C/24시간) 1g에 75% methanol을 가하여 실온에서 하룻밤 동안 추출하고 rotaryevaporator(Eyela, Tokyo)로 농축하고 동결건조기(MCFD-8508)로 완전 건조하여 측정하였다. 즉, well plate에 시료액 70 μ l와 Folin-Denis시약 70 μ l를 혼합하여 3분간 실온에 방치한 후 10% Na₂CO₃ 용액 70 μ l를 가하여 실온에서 60분간 정치시킨 후 분광광도계(Multiskan Spectrum, Thermo)로 760nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 표준검량선은 tannic acid(Sigma Co., USA)를 이용하여 작성하였다.

(3) 총 플라보노이드 함량

총 플라보노이드 함량 측정은 각 시료 0.1g에 75% methanol을 가하여 실온에서 하룻밤 동안 추출한 다음 이 검액 1.0mL를 시험관에 취하고 10mL의 diethyleneglycol을 가하여 잘 혼합하였다. 다시 여기에 1N NaOH 0.1mL를 잘 혼합시켜 37°C의 water bath에서 1시간 동안 반응시킨 후 420nm에서 흡광도를 측정하였다. 공시험은 시료 용액 대신 50% methanol 용액을 동일하게 처리하였으며, 표준곡선은 Naringin(Sigma Co., USA)을 이용하여 작성하고 이로부터 총 플라보노이드 함량을 구하였다.

(4) 항산화활성

항산화활성 측정은 DPPH(α,α -diphenyl- β -picryl-hydrazyl) 법을 이용하여 시료의 유리기(radical) 소거효과를 측정하는 Lee 등(2006)의 방법을 변형하여 측정하였다. 1×10^{-4} M DPPH와 농도별 추출물을 각각 100 μ l씩 취하여 혼합하고, 30분간 암 상태에서 방치한 후 ELISA Reader (Bio-RAD, USA)를 이용하여 517nm에서 잔존 라디칼 농도를 측정하였다. 시료의 환원력 크기는 라디칼 소거활성(scavenging activity)으로 표시하였고, RC₅₀은 DPPH 농도가 1/2로 감소하는데 필요한 시료의 양(μ g)으로 나타내었으며 항산화 물질로 잘 알려진 BHT(butylated hydroxytoluene)와 비교하였다. 즉, “DPPH 라디칼 소거활성(%) = [(시료를 첨가하지 않은 대조구의 흡광도 - 시료를 첨가한 반응구의 흡광도) / 시료를 첨가하지 않은 대조구의 흡광도] \times 100”으로 하였다.

(5) 아질산염 소거능

아질산염소거 효과는 Gray와 Dugan(1975)의 방법을 준하여 다음과 같이 측정하였다. 1mM NaNO₂ 20 μ l에 시료 추출액 40 μ l와 0.1N HCl(pH 1.2) 140 μ l을 사용하여 부피를 200 μ l로 맞추었다. 이 반응액을 37°C 항온수조에서 1시간 반응시킨 후 2% acetic acid 1,000 μ l, Griess 시약(30% acetic acid로 조제한 1% sulfanilic acid와 1% naphthylamine을 1:1 비율로 혼합한 것, 사용직전에 조제) 80 μ l를 가하여 잘

혼합시켜 빛을 차단한 상온에서 15분간 반응시킨 후 520nm에서 흡광도를 측정하여 아래와 같이 아질산염 소거능을 구하였는데 아래의 식을 이용하였다.

아질산염 소거율(%) = $[1 - (1\text{시간 반응후의 } 1\text{mM NaNO}_2\text{의 흡광도} - \text{공시험구의 흡광도}) / 1\text{NaNO}_2\text{의 흡광도}] \times 100$ 으로 하였다.

(6) Tyrosinase 저해 활성

Tyrosinase의 활성 저해에 의한 미백활성 효과는 멜라닌 합성의 key enzyme인 tyrosinase의 작용결과 생성되는 DOPA(Dihydroxy pheny lalanine)의 생성물의 흡광도를 흡수분광광도계(UV/VIS spectrometer, Jasco, Japan)를 이용하여 측정하였다. 기질로서 시험관에 0.1M potassium phosphate buffer(pH 6.8) 0.4mL, 0.03% tyrosine solution 0.4mL, 시료용액 0.1mL의 혼합액에 효소액 0.05mL(100units)를 첨가하여 37°C에서 10분간 반응시킨 후 신속하게 얼음에서 5분간 방치하여 반응을 중단시킨다. 이 반응액을 475nm에서 흡수분광광도계를 이용하여 흡광도를 측정 후 tyrosinase 효소활성 저해율을 구하였다. 효소활성 저해율은 시험시료가 포함되지 않은 반응액을 대조군으로 하였는데 그 식은 tyrosinase 저해활성(%) = $[(\text{시험시료가 들어있지 않은 반응액의 반응 후 흡광도} - \text{시험시료가 들어있는 반응액의 반응 후 흡광도}) / \text{시험시료가 들어있지 않은 반응액의 반응 후 흡광도}] \times 100$ 으로 하였다.

(7) 항균활성

시료는 각각의 새싹채소를 75%의 methanol에서 24시간 동안 추출한 뒤 Whatman No. 2 필터로 여과한 후 회전진공 농축기로 농축한 것을 이용하였다. 균주는 그람양성세균인 *Bacillus subtilis*(KCTC 1022), *Bacillus cereus*(KCTC 1012), *Listeria monocytogenes*(KCTC 3569), *Staphylococcus aureus*(KCTC 1927) 및 *Streptococcus mutans*(KCTC 5125) 5종과 그람음성세균인 *Escherichia coli*(KCTC 2441), *Pseudomonas aeruginosa*(KCTC 1636) 및 *Salmonella enteritidis*(KCTC 1240) 3종을 사용하였으며, 균의 배양은 공시균주의 활성화를 위하여 nutrient broth (NB)에 1 백금이 싹 접종한 후 35°C에서 24시간 배양하였다.

항균활성은 균액을 4~5mm 두께가 되도록 분주한 nutrient agar (NA) 평판배지에 0.1mL씩 주입하여 균일하게 도말하고, 멸균 paper disk(Ø8 mm, Toyo Roshi Kaisha)에 추출액을 1,000mg·L⁻¹ 액이 되도록 만든 용액을 50µl/disk를 흡수시킨 다음 35°C에서 24시간 동안 배양한 후 paper disk 주위의 clear zone의 전체 직경(mm)에서 paper disk의 직경(Ø8 mm)만을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. LED 광 처리에 따른 새싹채소의 발아율 및 성장반응

(1) 발아율 및 발아속도

(가) 브로콜리

브로콜리 종자발아에 미치는 LED 광의 영향을 조사한 결과, 1일째에 청색광과 녹색광에서 7.3%로 높은데 비해 적색·청색광에서는 2.0%로 낮아 광에 따라 발아율의 차이를 보였다(Table 3-1). 그러나 파종 2일째에는 모두 83.3% 이상이었으며, 파종 후 3일에는 LED 광의 종류에 관계없이 100% 발아율을 보였다.

Table 3-1. Germination speed and rate of broccoli sprouts as affected by the LED colors as a light.

LEDs	Days after seeding			Total
	1	2	3	
Blue (control)	7.3 a ^z	83.3 b	9.3 b	100
Green	7.3 a	84.0 ab	8.7 b	100
Red	2.0 c	86.7 a	11.3 a	100
White	6.7 b	87.3 a	6.0 c	100
Yellow	3.3 c	88.7 a	8.0 b	100
Red-Blue	2.0 c	89.3 a	8.7 b	100

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

(나) 아마란서스

아마란서스의 종자발아에 미치는 LED 광의 영향을 조사한 결과, 파종 후 1일째에 18.0~24.0%의 발아율을 나타냈으며 적색광과 황색광에서는 24.0%의 발아율을 보였다(Table 3-2). 파종 후 3일째에는 적색·청색광에서 63.3%로 가장 높았는데, 이는 그만큼 발아속도가 늦은데서 기인되었다. 전체적으로는 3일 만에 100%의 발아율을 나타내어 광에 따른 발아율 및 발아속도에 유의차가 없었다.

(다) 알팔파

알팔파의 종자발아에 미치는 LED 광의 영향을 조사한 결과, 파종 후 1일째에

35.3~44.7%의 발아율을 나타내었다(Table 3-3). 파종 후 2일째에 적색광에서는 38.7%로 발아율이 높았으며, 파종 후 3일에는 청색광에서 32.7%로 높게 나타났다. 그러나 파종 후 3일 만에 100%의 발아율을 나타냈기 때문에 3일째에 발아율이 높은 청색광에서 발아속도가 제일 늦었다.

Table 3-2. Germination speed and rate of amaranth sprouts as affected by the LED colors as a light.

LEDs	Days after seeding			Total
	1	2	3	
Blue (control)	19.3 b ^z	23.3 b	57.3 b	100
Green	22.0 a	22.7 b	56.7 b	100
Red	24.0 a	28.0 a	48.0 c	100
White	18.0 b	27.3 a	54.7 b	100
Yellow	24.0 a	26.0 a	50.0 bc	100
Red-Blue	20.7 ab	16.0 c	63.3 a	100

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 3-3. Germination speed and rate of alfalfa sprouts as affected by the LED colors as a light.

LEDs	Days after seeding			Total
	1	2	3	
Blue (control)	37.3 b ^z	30.0 ab	32.7 a	100
Green	35.3 c	35.3 a	29.3 ab	100
Red	36.0 b	38.7 a	25.3 b	100
White	38.7 b	24.7 c	30.7 ab	100
Yellow	44.7 a	28.0 b	27.3 b	100
Red-Blue	38.0 b	26.7 b	35.3 a	100

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

(라) 유채

유채의 종자발아에 미치는 LED 광의 영향을 조사한 결과, 1일째에는 모든 광 처리에서 4.7% 미만의 발아율을 나타내었다(Table 3-4). 파종 2일째에는 74.0~92.7%의 발아율을 나타냈는데, 적색광에서 92.0%로 가장 높았으며, 청색광에서 74.0%로 가장 낮게 나타났다. 그러나 발아 속도에는 차이가 있어도 종자 파종 후 3일에는 모든 처리에서 100%의 발아율을 나타냈다.

(마) 적콜라비

적콜라비의 종자발아에 미치는 LED 광의 영향을 조사한 결과, 1일째에는 녹색광과 백색광에서 7.3%로 높은데 비해 청색광에서는 1.3%로 낮아 광에 따라 발아율에 차이를 나타냈다(Table 3-5). 파종 후 2일째에는 백색광 83.3%을 제외하고는 모두 88.7% 이상을 나타냈으며, 파종 후 3일에는 LED 광의 종류에 관계없이 100%의 발아율을 나타내었다.

Table 3-4. Germination speed and rate of rape sprouts as affected by the LED colors as a light.

LEDs	Days after seeding			Total
	1	2	3	
Blue (control)	4.7 a ^z	74.0 b	21.3 a	100
Green	2.7 b	88.6 ab	8.7 b	100
Red	0.0 d	92.0 a	8.0 b	100
White	2.7 b	92.6 a	4.7 c	100
Yellow	1.3 c	78.7 b	20.0 a	100
Red-Blue	2.0 b	89.3 ab	8.7 b	100

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 3-5. Germination speed and rate of red kohlrabi sprouts as affected by the LED colors as a light.

LEDs	Days after seeding			Total
	1	2	3	
Blue (control)	1.3 c ^z	92.0 a	6.7 b	100
Green	7.3 a	89.3 a	3.3 c	100
Red	5.3 b	90.7 a	4.0 bc	100
White	7.3 a	83.3 b	9.3 a	100
Yellow	4.7 b	88.0 a	7.3 b	100
Red-Blue	6.7 ab	88.7 a	4.7 bc	100

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

(바) 붉은열무

붉은열무의 종자발아에 미치는 LED 광의 영향을 조사한 결과, 1일째에는 백색광에서 60.7%로 높는데 비해 적색광에서는 27.3%로 낮아 광에 따라 발아율의 차이를 보였다(Table 3-6). 과종 후 2일째에는 과종 후 1일째에 발아율이 낮았던 적색광에서 64.0%로 가장 높게 나타났으며, 과종 후 3일에는 광 처리 종류에 관계없이 100% 발아하였다. 그러므로 LED 광은 종자 발아속도에는 영향을 미치지만 3일 만에 100%로 발아하므로 발아율 측면에서 광 처리는 의미가 없는 것으로 생각된다.

Table 3-6. Germination speed and rate of red radish sprouts as affected by the LED colors as a light.

LEDs	Days after seeding			Total
	1	2	3	
Blue (control)	38.0 c ^z	65.3 a	3.3 b	100
Green	48.7 b	44.0 c	0.7 c	100
Red	27.3 d	64.0 a	8.7 a	100
White	60.7 a	38.7 d	0.7 c	100
Yellow	37.3 c	59.3 ab	3.3 b	100
Red-Blue	40.0 c	53.3 b	6.7 a	100

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

(2) 새싹채소의 싹과 뿌리 신장 및 생체중 변화

(가) 브로콜리

브로콜리의 새싹 재배에서 LED 광이 싹과 뿌리의 신장 및 생체중에 미치는 영향을 조사하였다(Table 3-7). 싹의 초장은 발아 후 2일째에 황색광에서 0.94cm로 제일 큰 것으로 나타났다. 6일째에는 백색광에서 3.83cm, 청색광에서 3.69cm, 녹색광에서 3.37cm로 유의적으로 큰 경향을 보였다. 그러므로 브로콜리의 새싹 재배에서 초장을 길게 하려면 백색광, 청색광 및 녹색광을 조사하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

또한, LED 광이 뿌리의 생장에 미치는 영향은 종자 과종 후 2일째에는 황색광에서 1.14cm로 가장 길었으며, 과종 후 8일째에는 적·청색광에서 2.15cm로 가장 길었다. 식물체 뿌리 정단의 수는 뿌리 끝 성장점에서 합성되는 사이토키닌의 양과 비례한다(Torrey, 1976). 그러므로 광의 종류가 사이토키닌에 영향을 미치는 기작에 대한 추후 연구가 필요하지만 본 연구에서는 LED 광이 브로콜리 새싹 재배시 뿌리에 영향을 미치는 것과 함께 적색·청색광이 뿌리의 길이를 길게 하는데 영향을 미친다

는 것을 확인할 수 있었다.

Table 3-7. Shoot height, root length and fresh weight of broccoli sprouts as affected by the LED colors as a light.

Characters	DAS ^y	LEDs					
		Blue (control)	Green	Red	White	Yellow	Red:blue
Shoot height (cm)	2	0.66 c ^z	0.76 b	0.78 b	0.70 bc	0.94 a	0.79 b
	4	2.69 a	2.29 ab	2.95 a	2.90 a	1.86 b	1.94 b
	6	3.69 a	3.37 a	2.95 ab	3.83 a	3.01 ab	2.56 b
Root length (cm)	2	0.65 b	1.08 a	1.00 ab	0.51 b	1.14 a	0.93 ab
	4	1.04 ab	1.34 ab	1.77 a	0.52 b	1.95 a	1.61 ab
	6	1.07 b	1.48 b	1.81 ab	0.54 c	1.74 ab	2.09 a
Sprout fresh weight (g/10plants)	2	0.112 a	0.124 a	0.137 a	0.120 a	0.135 a	0.145 a
	4	0.267 ab	0.219 ab	0.243 ab	0.227 ab	0.208 b	0.199 b
	6	0.389 a	0.326 ab	0.254 b	0.303 ab	0.329 ab	0.253 b
	8	0.479 a	0.344 a	0.324 a	0.304 a	0.330 ab	0.259 b

^zMean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

^yDAS : days after seeding.

한편, LED 광이 새싹의 생체중에 미치는 영향은 발아 후 2일째에는 광에 따른 차이가 없었으나 6일째에는 청색광에서 0.389g/10plants로 가장 무겁게 나타났다. 종자 파종 8일째에는 청색광에서 0.479g로 가장 무거운 것으로 나타났다. Okamoto 등(1996)은 적색광은 식물의 광합성에 관여하고, 청색광은 형태적으로 식물체의 건전한 생장에 필연적이라고 하였으며, Choi(2003)는 잎 들깨 재배시 적색, 청색 및 근적색 LEDs를 이용한 광중단 처리시 줄기 생장은 적색광으로 광중단 처리를 하였을 때 가장 촉진되었다고 하였다. 그런데 본 연구에서 종자 파종 후 8일째에 생체중은 청색광, 녹색광, 적색광 및 백색광에서 비교적 무거운 것으로 나타났다. 이는 종자 발아 후 새싹이 충분한 조사를 받고 반응할 만큼 생장을 하지 못했고, 그에 따라 광에 따른 차이가 뚜렷하지 않은데 원인이 있는 것으로 생각되었다. 다만 싹의 길이가 길게 나타난 청색광, 녹색광, 적색광, 백색광 처리에서 생체중도 무거운 것으로 나타나 새싹채소재배에서 이들 광을 이용하는 게 좋을 것으로 생각된다.

(나) 아마란서스

아마란서스의 새싹 재배시 LED 광이 싹, 뿌리신장 및 생체중에 미치는 영향을

Table 3-8에 제시하였다. 싹의 초장은 종자 파종 후 2일째는 백색광에서 1.20cm로 가장 큰 것으로 나타났다. 파종 후 6일째에는 녹색광에서 2.86cm인데 비해 황색광에서는 1.85cm의 나타내어 식물 재배시 백열등을 인공조명하면 줄기가 길게 자란다는 Son 등(2003)의 보고와 차이를 나타나 이 부분에 대해서는 금후 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 다만 본 연구 결과만 놓고 볼 때 아마란서스 새싹 생산에 있어 신장 촉진 측면만을 고려한다면 녹색광 처리를 하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

Table 3-8. Shoot height, root length and fresh weight of amaranth sprouts as affected by the LED colors as a light.

Characters	DAS ^y	LEDs					
		Blue (control)	Green	Red	White	Yellow	Redblue
Shoot height (cm)	2	0.96 b ^z	1.10 a	1.05 ab	1.20 a	1.07 ab	0.86 b
	4	1.90 bc	2.27 b	2.19 b	2.75 a	1.85 bc	1.66 c
	6	2.83 b	2.86 b	2.77 b	3.25 a	2.57 bc	3.08 a
Root length (cm)	2	0.58 ab	0.51 ab	0.49 b	0.61 a	0.50 ab	0.63 a
	4	0.80 a	0.85 a	0.69 ab	0.95 a	0.79 ab	0.65 b
	6	1.12 ab	1.77 a	0.90 b	1.17 ab	0.83 b	0.93 b
Sprout fresh weight (g/10plants)	2	0.110 a	0.115 a	0.123 a	0.104 a	0.091 b	0.099 b
	4	0.194 ab	0.203 a	0.178 b	0.204 a	0.188 b	0.190 ab
	6	0.217 a	0.233 a	0.216 a	0.206 a	0.213 a	0.200 a

^zMean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

^yDAS : days after seeding.

한편, 뿌리의 생장에 미치는 영향은 파종 후 2일째에는 적·청색광에서 0.63cm로, 4일째에는 백색광에서 0.95cm로 가장 길었다. 파종 후 6일째에는 녹색광에서 1.77cm로 가장 길었으며, 황색광에서 0.83cm로 가장 짧았는데, 식물체 뿌리 정단의 수는 뿌리 끝 성장점에서 합성되는 사이토키닌의 양과 비례한다(Torrey, 1976). 그러므로 광의 종류가 사이토키닌에 영향을 미치는 기작에 대한 추후 연구가 필요하지만 본 연구에서는 LED 광이 아마란서스 새싹재배에서 뿌리에 영향을 미치는 것과 함께 백색광이 뿌리의 길이를 길게 하는데 영향을 미친다는 것을 확인한 만큼 이를 활용하는 것도 좋을 것으로 생각된다.

또한, 새싹의 생체중은 파종 후 2일째에는 적색광에서 0.123g/10plants로 가장 무거운 것으로 나타났다. 그러나 파종 후 4일째에는 백색광에서 0.204g으로 가장 무겁게 나타났으며, 파종 후 6일째에는 광 처리간에 차이가 뚜렷하지 않아 생체중 측면에서 광 처리는 의미가 없는 것으로 나타났다. Okamoto 등(1996)은 적색광은

식물의 광합성에 관여하고, 청색광은 형태적으로 식물체의 건전한 성장에 필연적이라고 하였으며 Choi(2003)는 잎들깨의 재배에서 적색, 청색 및 근적색 LED를 이용한 광중단 처리에서 줄기 생장은 적색광으로 광중단 처리를 하였을 때 가장 촉진되었다고 하였는데, 아마란시스에서는 광의 처리에 따른 차이가 뚜렷하지 않았다. 이는 종자 발아 후 새싹이 광의 영향을 충분히 받고 반응할 만큼 성장을 하지 못한데 원인이 있는 것으로 생각되었다.

(다) 알팔파

알팔파의 새싹 재배시 LED 광이 싹, 뿌리신장 및 생체중에 미치는 영향을 Table 3-9에 제시하였다. 알팔파 새싹의 줄기 신장에 미치는 영향은 s녹색광과 황색광에서 큰 것으로 나타났다. 새싹 줄기의 신장이 가장 나쁜 것은 청색광 처리로 알팔파의 신장 촉진 측면에서는 청색광 조사는 하지 않은 것이 좋을 것으로 생각된다.

뿌리의 생장은 과종 후 2일째는 녹색광에서 0.8cm로 작았으나 그 외 처리에서는 1.18~1.57mm를 나타내었다. 과종 후 6일째에는 백색광이 1.67cm로 가장 길었으며, 녹색광에서는 1.05cm로 가장 짧았다. 따라서 알팔파의 새싹 재배시 뿌리는 LED 광에 의해서도 어느 정도 영향을 받은 것으로 나타났다.

한편, 알팔파의 새싹 재배시 LED 광이 새싹의 생체중에 미치는 영향은 과종 후 2일째는 적색·청색광에서 0.013g/10plants으로 가장 가벼웠으며, 그 외 처리에서는 0.149~0.189g로 통계적 차이를 나타내지 않았다. 과종 후 6일째에는 백색광에서 0.193g으로 가장 무거웠으며, 적색·청색광리에서 0.163g으로 가장 가벼웠다.

(라) 유채

유채의 새싹 재배시 LED 광이 싹, 뿌리신장 및 생체중에 미치는 영향을 Table 3-10에 제시하였다. 유채 새싹의 줄기 신장에 미치는 영향은 과종 후 4일째에는 적색 및 적색·청색광에서 각각 1.96cm로 가장 컸다. 그러나 과종후 6일째는 백색광에서 가장 컸다. 유채를 새싹채소로 이용시는 과종후 6일 이상을 재배한다는 새싹의 성장 측면에서는 백색광이 좋을 것으로 생각된다.

뿌리의 생장은 과종 후 2일째는 청색광에서 1.4cm로, 4일째는 백색광에서 1.6cm로 가장 길었다. 과종 후 6일째에는 녹색광에서 2.7cm로 가장 길었는데, 식물체 뿌리 정단의 수는 뿌리 끝 성장점에서 합성되는 사이토키닌의 양과 비례한다 (Torrey, 1976). 그러므로 광의 종류와 사이토키닌에 대한 추가적인 연구가 필요한 것으로 나타났지만 본 연구에서는 LED 광이 유채의 새싹 재배시 뿌리에 영향을 미치는 것과 함께 청색광이 뿌리를 길게 하는데 영향을 미친다는 것을 확인한 만큼 실용적으로 이를 활용하는 것도 좋을 것으로 생각된다.

한편, 새싹의 생체중은 과종 후 2일째는 녹색광에서 0.136g/10plants로 가장 무거

운 것으로 나타났으며, 파종 후 6일째에는 녹색광에서 0.339g로 가장 무겁게 나타났다. Okamoto 등(1996)은 적색광은 식물의 광합성에 관여하고, 청색광은 형태적으로 식물체의 건전한 생장에 필연적이라고 하였는데, 본 연구에서는 녹색광과 백색광 처리에서 상대적으로 무겁게 나타났다. 이는 새싹이 광을 충분히 받고 반응할 만큼 충분한 생장을 하지 못한데도 한 원인이 있는 것으로 추정되었다.

Table 3-9. Shoot height, root length and fresh weight of alfalfa sprouts as affected by the LED colors as a light.

Characters	DAS ^y	LEDs					
		Blue (control)	Green	Red	White	Yellow	Redblue
Shoot height (cm)	2	1.08 b ^z	1.03 b	1.34 a	1.22 a	1.00 b	1.06 b
	4	1.58 c	1.53 c	2.04 ab	2.22 a	1.80 bc	1.66 c
	6	1.82 b	2.54 a	2.30 a	2.27 a	2.38 a	2.41 a
Root length (cm)	2	1.38 a	0.89 b	1.37 a	1.57 a	1.46 a	0.85 b
	4	1.38 ab	0.89 b	1.40 a	1.57 a	1.46 a	1.18 b
	6	1.45 ab	1.05 b	1.48 a	1.67 a	1.58 a	1.20 b
Sprout fresh weight (g/10plants)	2	0.165 a	0.164 a	0.156 a	0.189 a	0.149 a	0.013 b
	4	0.165 a	0.164 a	0.156 a	0.189 a	0.149 a	0.013 b
	6	0.189 a	0.164 b	0.181 a	0.193 a	0.166 b	0.163 b

^zMean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

^yDAS : days after seeding.

Table 3-10. Shoot height, root length and fresh weight of rape sprouts as affected by the LED colors as a light.

Characters	DAS ^y	LEDs					
		Blue (control)	Green	Red	White	Yellow	Redblue
Shoot height (cm)	2	0.55 ab ^z	0.62 a	0.47 b	0.54 ab	0.66 a	0.64 a
	4	1.78 ab	1.67 ab	1.96 a	1.58 b	1.86 a	1.96 a
	6	2.29 bc	2.49 ab	2.22 bc	2.83 a	2.47 ab	2.17 c
Root length (cm)	2	1.40 a	0.90 c	1.00 bc	1.30 ab	1.10 bc	1.20 ab
	4	1.50 a	1.30 ab	1.10 b	1.60 a	1.50 a	1.30 ab
	6	2.70 a	2.10 ab	1.80 b	2.00 ab	1.61 bc	1.62 bc
Sprout fresh weight (g/10plants)	2	0.132 a	0.136 a	0.117 ab	0.113 ab	0.109 b	0.116 ab
	4	0.176 b	0.193 a	0.193 a	0.175 b	0.211 a	0.195 a
	6	0.260 b	0.339 a	0.266 b	0.322 a	0.304 ab	0.213 b

^zMean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

^yDAS : days after seeding.

(마) 적콜라비

적콜라비의 새싹 재배시 LED 광이 싹, 뿌리신장 및 생체중에 미치는 영향을 Table 3-11에 제시하였다. 적콜라비 새싹의 줄기 신장에 미치는 영향은 백색광, 황색광, 녹색광 순서로 큰 것으로 나타났다. 새싹 줄기의 신장이 가장 나쁜 것은 적·청색광이었다. 따라서 적콜라비의 신장 측진 측면에서는 백색광, 황색과 및 녹색광을 조사하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

또한, 뿌리의 생장은 파종 후 2일째는 녹색광에서, 6일째에는 청색광을 제외한 처리에서 1.33~1.92cm였으나 청색광에서는 0.83cm로 짧았다. 따라서 LED 광은 적콜라비의 새싹 재배시 뿌리의 길이에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

한편, 새싹의 생체중은 파종 후 2일째는 적색광에서 0.118g/10plants로 가장 낮았다. 적콜라비의 종자 파종 4일째에는 생체중이 0.192로 가장 낮은 청색광을 제외하고는 처리간에 통계적 차이가 없었다. 적콜라비 파종 6일째에는 청색광을 제외하고는 녹색광(0.316), 황색광(0.305) 및 백색광(0.304)에서 높은 경향을 나타내었다.

Table 3-11. Shoot height, root length and fresh weight of red kohlrabi sprouts as affected by the LED colors as a light.

Characters	DAS ^y	LEDs					
		Blue (control)	Green	Red	White	Yellow	Redblue
Shoot height (cm)	2	0.76 a ^z	0.76 a	0.71 a	0.79 a	0.73 a	0.71 a
	4	1.32 b	2.05 a	1.72 ab	2.27 a	1.52 ab	1.73 ab
	6	2.35 b	2.77 ab	2.48 b	3.02 a	2.83 ab	1.86 c
Root length (cm)	2	0.61 b	1.07 a	0.62 b	0.62 b	0.61 b	0.52 c
	4	0.78 b	1.43 a	1.33 a	1.36 a	1.36 a	1.29 ab
	6	0.83 b	1.51 a	1.40 a	1.38 ab	1.92 a	1.60 a
Sprout fresh weight (g/10plants)	2	0.165 a	0.170 a	0.118 b	0.177 a	0.142 ab	0.151 ab
	4	0.192 b	0.230 a	0.244 a	0.249 a	0.225 a	0.243 a
	6	0.238 b	0.316 a	0.297 ab	0.304 a	0.305 a	0.261 ab

^zMean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

^yDAS : days after seeding.

(바) 붉은열무

붉은열무 새싹 재배시 LED 광이 싹, 뿌리신장 및 생체중에 미치는 영향을 조사하여 Table 3-12에 제시하였다.

붉은열무 새싹의 줄기 신장은 녹색광과 황색광 처리에서 전반적으로 높게 나타났다. 새싹 줄기의 신장이 가장 나쁜 것은 청색광 처리였으나 광 처리간 차이는 크지 않았다

한편, 새싹의 생체중은 파종 후 2일째는 백색광에서 0.37g/10plants로 가장 높았으나 4일째에는 청색광에서 0.76g으로 가장 높았다. 그러나 종자 파종 6일째에는 적색·청색광에서 0.99g으로 높았고, 8일째에는 녹색광에서 1.24g으로 가장 높았다. 따라서 붉은열무의 새싹채소 생산시 생체중만을 고려한다면 녹색광 처리가 좋을 것으로 생각되나 광간에 차이는 크지 않았다.

Table 3-12. Shoot height, root length and fresh weight of red radish sprouts as affected by the LED colors as a light.

Characters	DAS ^y	LEDs					
		Blue (control)	Green	Red	White	Yellow	Redblue
Shoot height (cm)	2	1.81 a ^z	1.26 ab	1.30 ab	1.10 b	1.15 b	1.17 b
	4	2.40 a	2.50 a	2.58 a	2.34 a	2.56 a	2.29 a
	6	3.08 b	3.84 a	3.57 a	3.68 a	3.71 a	3.57 a
Root length (cm)	2	1.5 a	1.5 a	1.3 b	1.4 ab	1.3 b	1.5 a
	4	1.8 b	1.8 b	2.0 ab	1.9 ab	2.0 a	1.8 b
	6	2.2 a	2.0 ab	2.1 a	1.9 b	2.0 ab	1.9 b
Sprout fresh weight (g/10plants)	8	2.2 ab	2.3 a	2.1 ab	2.1 ab	2.2 ab	2.2 ab
	2	0.38 b	0.27 c	0.34 ab	0.37 b	0.35 ab	0.35 ab
	4	0.76 a	0.63 b	0.70 bc	0.59 c	0.66 b	0.66 b
	6	0.92 ab	0.96 a	0.96 a	0.87 b	0.94 a	0.99 a
	8	1.16 b	1.24 b	1.05 b	1.12 b	1.17 b	1.01 b

^zMean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

^yDAS : days after seeding.

(3) 새싹채소의 잎과 줄기의 색도

(가) 브로콜리

브로콜리 새싹채소 재배시 LED 광에 따른 잎과 줄기의 색도를 측정한 결과, 적색과 녹색 정도를 나타내는 a*값은 녹색광, 적색광 및 백색광에서의 잎을 제외하고는 모두 적색 방향에 위치하였다(Table 3-13). 황색과 녹색정도를 나타내는 b*값은

잎의 경우 녹색광에서 11.5로 황색도가 다소 낮은 반면에 황색광에서는 18.2로 황색 정도가 상대적으로 강했으며, 줄기는 9.8~21.0으로 황색 방향에 위치하였다.

명도를 나타내는 L*값은 전반적으로 잎은 37.0~48.2를 나타냈으며, 줄기는 45.3~63.1를 나타내어 잎에 비해 높은 값을 보였다. LED 광에 따른 잎의 L*값은 청색광과 녹색광에서 각각 37.0과 37.5로 다소 낮은 반면에 백색광과 황색광에서는 44.6과 48.2로 다소 높은 값을 나타내었다.

Table 3-13. Chromaticity of broccoli sprouts as affected by the LED colors as a light.

Characters	LEDs	Hunter value			
		L*	a*	b*	ΔE^*
Leaves	Blue (control)	37.0 d ^z	0.9 e	15.1 b	0.00
	Green	37.5 d	-4.1 f	11.5 bc	6.18
	Red	42.9 cd	-2.5 f	13.2 b	7.07
	White	44.6 c	-4.3 f	15.3 b	9.21
	Yellow	48.2 c	5.7 d	18.2 ab	12.57
	Red-Blue	38.4 d	-3.3 f	17.9 ab	5.24
Stem	Blue (control)	45.3 c	7.0 c	13.9 b	0.00
	Green	47.3 c	10.5 b	9.8 c	16.13
	Red	51.9 b	7.6 c	20.0 a	12.91
	White	52.5 b	8.6 c	21.0 a	14.25
	Yellow	63.1 a	16.4 a	4.1 d	15.92
	Red-Blue	55.3 ab	8.8 c	13.7 b	16.25

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

명도를 나타내는 L*값은 잎의 경우 청색광, 황색광 및 적색·청색광에서 각각 24.0 과 24.1로 다소 낮은 반면에 녹색광, 적색광 및 백색광에서는 각각 28.6, 30.8, 28.9를 나타냈다. 줄기는 황색광에서 44.8로 가장 높은 반면에 적색·청색광에서는 23.8로 가장 낮은 경향을 보였다.

(나) 아마란서스

LED 광 처리가 아마란서스의 잎과 줄기의 색도에 미치는 영향을 조사한 결과, 적색과 녹색 정도를 나타내는 a*값은 잎과 줄기 모두 색좌표상에서 적색방향에 위

치해 있었다(Table 3-14). 잎의 a^* 값은 황색광에서 0.2, 청색광에서는 2.6으로 다소 낮은 반면에 적색광에서는 13.8로 높았으며, 줄기는 백색광에서 3.8로 낮았지만 그 외 광에서는 10.4~2.9로 높게 나타났다. 황색과 녹색정도를 나타내는 b^* 값은 잎의 경우 백색광, 황색광 및 청색광에서는 13.2~14.4로 높은 반면에 적색광에서는 2.3으로 다소 낮게 나타났다. 줄기는 백색광의 11.5를 제외하면 모두 8.5 이하를 나타내어 잎이나 줄기 모두 백색광에서 b^* 값이 높음을 알 수 있었다.

Table 3-14. Chromaticity of amaranth sprouts as affected by the LED colors as a light.

Characters	LEDs	Hunter value			ΔE^*
		L^*	a^*	b^*	
Leaves	Blue (control)	24.0 b ^z	2.6 e	13.2 a	0.00
	Green	28.6 ab	8.3 d	7.7 b	9.16
	Red	30.8 b	13.8 bc	2.3 c	17.04
	White	28.9 ab	8.3 d	14.4 a	7.61
	Yellow	24.1 b	0.2 f	13.4 a	2.41
	Red-Blue	21.8 b	8.4 d	2.8 c	12.11
Stems	Blue (control)	31.2 b	15.5 b	2.9 c	0.00
	Green	32.8 b	15.0 b	3.5 c	1.78
	Red	40.5 a	15.1 b	2.7 c	9.31
	White	31.5 b	3.8 e	11.5 a	14.52
	Yellow	44.8 a	10.4 c	8.5 b	15.57
	Red-Blue	23.8 b	20.9 a	1.0 d	9.36

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

(다) 알팔파

다양한 LED 광을 알팔파 새싹채소 재배에 적용하여 잎과 줄기의 색도를 측정한 결과, 적색과 녹색 정도를 나타내는 a^* 값은 잎과 줄기 모두 색좌표상에서 녹색 방향에 위치해 있었다(Table 3-15). 잎의 a^* 값은 백색광과 적색광에서 각각 -11.0, -10.5로 녹색 정도가 강했으며, 줄기는 적색광과 황색광에서는 각각 -6.8과 -7.7로 녹색 정도가 강하게 나타났다. 황색과 녹색 정도를 나타내는 b^* 값은 잎의 경우 황색광에서 18.0으로 가장 낮았으며, 백색광에서는 26.0으로 가장 높았으며, 줄기는 적색광 및 적색광+청색광에서 각각 21.0, 21.7로 높게 나타났다.

명도를 나타내는 L^* 값은 잎의 경우, 녹색광과 황색광 모두에서 35.4로 가장 낮은

반면에 백색광에서는 45.0으로 가장 높게 나타났으며, 줄기는 광에 따른 유의성을 보이지 않았다.

Table 3-15. Chromaticity of alfalfa sprouts as affected by the LED colors as a light.

Characters	LEDs	Hunter value			
		L*	a*	b*	ΔE^*
Leaves	Blue (control)	36.2 b ^z	-8.2 cd	20.1 ab	0.00
	Green	35.4 b	-7.5 c	19.1 b	1.46
	Red	41.4 ab	-10.5 d	22.3 a	6.10
	White	45.0 a	-11.0 d	26.0 a	10.96
	Yellow	35.4 b	-9.4 cd	18.0 b	2.55
	Red·Blue	36.8 b	-9.6 cd	21.3 ab	1.94
Stems	Blue (control)	35.6 b	-4.2 b	16.3 c	0.00
	Green	36.2 b	-5.7 c	18.2 b	3.23
	Red	36.1 b	-6.8 c	21.0 ab	5.22
	White	38.3 b	0.2 a	13.7 d	5.35
	Yellow	41.5 ab	-7.7 c	16.8 c	7.70
	Red·Blue	40.6 ab	-4.2 b	21.7 ab	7.36

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

(라) 유채

유채 새싹채소 재배시 LED 광에 따른 잎과 줄기의 색도를 측정한 결과, 적색과 녹색 정도를 나타내는 a*값은 잎과 줄기 모두 색좌표상에서 녹색 방향에 위치해 있었다(Table 3-16).

광에 따른 a*값은 잎의 경우 청색광에서, 줄기는 녹색광에서 각각 -13.8 및 -7.0으로 녹색 정도가 가장 강하게 나타났다. 황색과 녹색 정도를 나타내는 b*값은 잎의 경우 적색·청색광에서 19.6으로 가장 낮은 반면에 청색, 녹색 및 적색광은 각각 27.3, 27.6 및 27.5로 높았고, 줄기는 녹색광의 23.4를 제외하고는 모두 13.8 이하를 나타냈다.

명도를 나타내는 L*값은 잎의 경우 녹색광과 적색·청색광에서 36.7로 가장 낮았으며, 줄기는 적색·청색광에서 42.5로 가장 낮았다.

Table 3-16. Chromaticity of rape sprouts as affected by the LED colors as a light.

Characters	LEDs	Hunter value			ΔE^*
		L*	a*	b*	
Leaves	Blue (control)	48.7 b ^z	-13.8 c	27.3 a	0.00
	Green	42.3 b	-10.1 bc	27.6 a	7.40
	Red	48.1 b	-8.9 b	27.5 a	4.94
	White	39.2 c	-11.3 bc	26.8 a	9.84
	Yellow	41.5 bc	-8.4 b	22.1 ab	10.39
	Red-Blue	36.7 c	-8.2 b	19.6 b	15.32
Stem	Blue (control)	48.7 b	-1.0 a	10.9 c	0.00
	Green	49.7 b	-7.0 b	23.4 ab	11.70
	Red	48.2 b	-3.3 a	13.4 bc	10.47
	White	54.9 a	-2.8 a	13.8 bc	7.12
	Yellow	46.9 b	-1.7 a	13.2 bc	2.57
	Red-Blue	42.5 bc	-4.8 ab	20.4 ab	13.02

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

(마) 적콜라비

Table 3-17. Chromaticity of red kohlrabi sprouts as affected by the LED colors as a light.

Characters	LEDs	Hunter value			ΔE^*
		L*	a*	b*	
Leaves	Blue (control)	21.8 d ^z	-1.8 e	4.4 ab	0.00
	Green	24.4 c	2.0 c	1.6 b	5.39
	Red	22.7 c	-2.2 e	4.7 ab	1.03
	White	27.2 bc	0.6 d	6.2 a	6.18
	Yellow	28.7 bc	-2.1 e	6.4 a	7.19
	Red-Blue	34.0 b	-4.0 f	4.4 ab	12.40
Stem	Blue (control)	25.3 c	6.6 b	-0.5 c	0.00
	Green	31.2 bc	3.1 c	-0.1 c	6.91
	Red	37.7 b	12.1 a	-0.9 c	13.57
	White	44.1 a	11.1 a	-0.3 c	19.51
	Yellow	38.7 b	7.3 b	-2.7 d	13.46
	Red-Blue	39.8 b	12.9 a	1.0 b	15.88

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

다양한 LED 광을 적콜라비 새싹채소 재배에 적용하여 생산한 채소의 잎과 줄기의 색도를 측정된 결과, 적색과 녹색 정도를 나타내는 a*값은 색좌표상에서 잎은 주로 녹색 방향에, 줄기는 모두 적색 방향에 위치했다(Table 3-17).

잎에서 a*값이 가장 낮은 것은 적색·청색광으로 -4.0을 나타냈으며, 줄기에서는 녹색광이 3.1로 가장 낮았다. 황색과 녹색 정도를 나타내는 b*값은 잎의 경우 녹색광에서 1.6으로 가장 낮은 반면에 백색, 황색광에서는 각각 6.2와 6.4로 높았고, 줄기는 황색광에서 -2.7로 가장 낮은 반면에 적색·청색광에서는 1.0으로 높았으나 광에 따른 차이는 적었다.

명도를 나타내는 L*값은 잎과 줄기 모두 청색광에서 21.8 및 25.3으로 가장 낮았으며, 잎은 적색·청색광에서 34.0으로, 줄기는 백색광에서 44.1로 가장 높았다.

(바) 붉은열무

붉은열무 새싹채소 재배과정에 LED 조사 광의 종류에 따라 생산된 채소의 잎과 줄기의 색도를 측정된 결과, 적색과 녹색 정도를 나타내는 a*값은 색 좌표 상에서 잎은 모두 적색 방향에, 줄기는 모두 녹색 방향에 위치했다(Table 3-18).

Table 3-18. Chromaticity of red radish sprouts as affected by the LED colors as a light.

Characters	LEDs	Hunter value			
		L*	a*	b*	ΔE^*
Leaves	Blue (control)	-15.5 e ^z	6.5 b	36.7 bc	0.00
	Green	15.6 c	8.3 b	32.8 c	4.30
	Red	17.2 c	9.0 b	33.6 c	5.09
	White	18.3 c	9.2 b	38.2 bc	4.17
	Yellow	17.6 c	8.6 b	34.7 c	3.58
	Red·Blue	-5.6 d	21.0 a	39.7 bc	17.81
Stem	Blue (control)	35.6 a	-13.4 d	43.7 b	0.00
	Green	34.2 a	-12.0 d	42.1 b	10.39
	Red	35.5 a	-13.2 d	52.3 a	11.70
	White	36.8 a	-15.6 e	53.8 a	13.34
	Yellow	36.1 a	-10.4 cd	55.2 a	16.48
	Red·Blue	24.5 b	-8.7 c	58.3 a	18.93

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

잎의 a^* 값은 적색·청색광에서 21.0을 제외하면 6.5~9.2로 광간에 통계적 유의성을 보이지 않았다. 그러나 줄기는 광간에 차이가 커서 적색+청색에서 -8.7를 보인 반면에 백색광은 15.6을 나타냈다. 황색과 녹색정도를 나타내는 b^* 값은 잎의 경우 32.8~39.7를 나타냈는데, 광에 따른 차가 크지 않았고, 줄기는 녹색광이 42.1로 낮은 반면에 줄기는 적색·청색광에서 58.3으로 가장 높았다. 명도를 나타내는 L^* 값은 잎과 줄기 모두 백색광에서 18.3과 36.8로 가장 높았다. 이상의 재배과정에서 LED 광에 따른 새싹채소의 잎과 줄기의 색도변화 결과는 브로콜리, 아마란서스 등 최근에 소비층이 확산되고 있는 각 새싹채소별 색도에 대한 소비자 기호도를 고려하여 적용한다면 매우 유용하게 현장에 적용될 수 있을 것으로 생각되며 작용 기작 등은 추가적으로 좀더 면밀한 검토가 이루어져야 할 것으로 여겨진다.

나. 온도조건에 따른 새싹채소의 발아율 및 성장반응

(1) 발아율 및 발아속도

(가) 브로콜리

브로콜리 종자발아에 미치는 온도의 영향을 조사한 결과, 1일째에 20, 23 및 26℃에서는 각각 1.1, 17.6 및 31.6%를 나타냈으며, 3일째에는 23℃의 경우 99.0%의 발아율을 나타낸 반면에 20℃에서는 88.5%, 26℃에서는 90.8%의 발아율을 나타내었다 (Table 3-19). 발아율은 이처럼 1일째에는 26℃에서 가장 높았지만 2, 3일째에는 23, 26 및 20℃처리구 순으로 높게 나타나 발아율 측면에서는 23℃가 적당한 것으로 나타났다.

Table 3-19. Germination percentage of broccoli sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Germination percentage by the elapsed days (%)					
	1	2	3	4	5	6
20	1.1 c^z	74.1 c	88.5 bc	96.6 ab	97.8 ab	97.6 ab
23	17.6 b	93.8 a	99.0 a	99.0 a	99.0 a	99.2 a
26	31.6 a	88.3 b	90.8 b	99.0 a	98.0 ab	99.2 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

(나) 아마란서스

아마란서스의 종자발아에 미치는 온도의 영향을 조사한 결과, 과종 후 1일째에는

26℃ 처리구에서만 4.6%의 발아율을 나타냈으며, 2일째에는 20, 23 및 26℃처리구에서 각각 3.5, 16.8 및 25.6%의 발아율을 나타내어 온도가 높을수록 높은 발아율을 나타내었다(Table 3-20).

브로콜리가 파종 후 4일째에 99.0% 이상의 발아율을 나타낸 것과는 달리 6일째가 되어도 20℃에서는 26.5%, 23℃에서는 48.6%, 26℃에서는 55.5% 이하의 발아율을 나타내어 브로콜리에 비해 발아속도가 상대적으로 늦고, 발아율측면에서 브로콜리는 23℃가 좋았으나 아마란서스는 26℃가 좋음을 알 수 있었다.

Table 3-20. Germination percentage of amaranth sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Germination percentage by the elapsed days (%)					
	1	2	3	4	5	6
20	0.0 b ^z	3.5 c	14.1 c	19.8 c	25.3 c	26.5 c
23	0.0 b	16.8 b	31.0 b	39.2 b	42.4 b	48.6 b
26	4.6 a	25.6 a	43.8 a	47.6 a	55.0 a	55.5 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

(다) 알팔파

알팔파의 종자발아에 미치는 온도의 영향을 조사한 결과, 파종 후 1일째에는 2.8% 이하의 발아율을 나타냈으나 2일째에는 20, 23 및 26℃에서 각각 61.6, 69.3 및 70.3%의 발아율을 나타내었다(Table 3-21).

Table 3-21. Germination percentage of alfalfa sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Germination percentage by the elapsed days (%)						
	0.5	1	2	3	4	5	6
20	0.3 c ^z	30.5 bc	61.6 b	62.0 b	67.3 b	75.8 c	72.5 c
23	2.0 ab	32.5 b	69.3 a	72.1 a	82.0 a	84.6 ab	88.8 b
26	2.8 a	40.6 a	70.3 a	72.1 a	81.0 a	89.3 a	92.3 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

파종 후 6일째에는 72.5% 이상의 발아율을 나타냈는데, 26℃에서는 92.3%의 발아율을 나타내어 온도가 높을수록 발아율이 좋음을 알 수 있었다. 그러므로 알팔파의 새싹 생산시 발아율 측면에서는 26℃가 좋은 것으로 나타났다.

(라) 유채

유채의 종자발아에 미치는 온도의 영향을 조사한 결과, 1일째에는 23 및 20℃에서는 7.6% 이하의 발아율을 나타낸데 비해 26℃에서는 11.1%의 발아율을 나타내었다(Table 3-22). 그러나 파종 후 2일째에는 23, 20, 26℃순으로 발아율이 높아 각각 87.1, 77.3 및 75.8%를 나타냈으며, 3일째에도 23℃에서는 95.6%, 20℃에서는 93.0%, 26℃에서는 82.8% 순으로 나타나 발아율 측면에서는 23℃가 가장 좋은 것으로 나타났다. 유채는 이처럼 브로콜리, 아마란서스 및 알팔파와는 달리 발아율이 23, 20 및 26℃ 순으로 높았는데, 이는 유채가 비교적 저온성 식물이기 때문인 것으로 사료되었다.

Table 3-22. Germination percentage of rape sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Germination percentage by the elapsed days (%)					
	1	2	3	4	5	6
20	1.0 c ^z	77.3 b	93.0 a	94.6 a	95.5 ab	92.5 b
23	7.6 b	87.1 a	95.6 a	96.8 a	98.6 a	98.8 a
26	11.1 a	75.8 b	82.8 b	88.1 b	87.1 c	91.8 b

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

(마) 적콜라비

Table 3-23. Germination percentage of red kohlrabi sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Germination percentage by the elapsed days (%)					
	1	2	3	4	5	6
20	5.0 c ^z	64.8 c	84.5 bc	93.1 a	93.3 ab	93.6 b
23	25.1 b	75.8 b	87.3 ab	90.2 ab	92.2 bc	93.1 b
26	47.5 a	87.6 a	90.3 a	93.6 a	94.0 a	96.1 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

적콜라비의 종자발아에 미치는 온도의 영향을 조사한 결과, 1일째에는 20℃ 처리구의 경우 5.0% 발아율을 나타냈으나 26℃에서는 47.5%의 발아율을 나타냈다(Table 3-23). 파종 후 3일째에는 26, 23 및 20℃ 순으로 발아율이 높아 각각 90.3,

87.3 및 84.5%의 발아율을 나타내어 온도가 높을수록 높은 발아율을 나타내었다. 그러나 4일째에는 4일째에는 온도처리간에 통계적 차이를 나타내지 않았는데, 이는 적콜라비 종자 특성에서 기인된 것으로 생각되었다. 즉 파종후 4일 이후에는 발아율에 큰 변화가 없는 것으로 나타났기 때문이다.

(바) 붉은열무

붉은열무의 종자발아에 미치는 온도의 영향을 조사한 결과, 2일째에는 83.8% 이상의 발아율을 나타낸 가운데 23°C에서 95.5%의 발아율을 나타내었으며, 4일째에는 각각의 온도 처리구 모두 99.3% 이상의 발아율을 나타내었다(Table 3-24). 붉은열무는 이처럼 4일째에 99.3% 이상의 발아율을 나타내어 발아율 측면에서 온도처리의 효과는 큰 의미가 없는 것으로 생각되었다.

Table 3-24. Germination percentage of red radish sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Germination percentage by the elapsed days (%)					
	0.5	1	2	3	4	5
20	2.5 bc ^z	91.6 ab	98.5 a	100.0a	100.0 a	100
23	6.0 b	95.5 a	98.6 a	99.3 ab	99.8 ab	100
26	21.8 a	83.8 c	87.0 b	99.3 ab	100.0 a	100

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

(2) 새싹채소의 싹과 뿌리 신장

(가) 브로콜리

Table 3-25. Plant height of broccoli sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Plant height by the elapsed days (cm)		
	4	5	6
20	2.31 b ^z	3.52 ab	5.11 bc
23	2.81 b	3.96 a	5.68 ab
26	3.30 a	3.90 a	6.21 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

브로콜리의 새싹 재배에서 온도가 싹의 신장에 미치는 영향을 조사한 결과 4, 5 및 6일째 모두 26℃, 23℃ 및 20℃ 순으로 길었다(Table 3-25). 새싹 길이는 가장 길게 나타난 26℃ 처리구의 경우 4일째는 3.30, 5일째는 3.90, 6일째는 6.21cm였으며, 20℃ 처리구는 6일째에 5.11cm를 나타내었다.

온도조건에 따른 브로콜리의 근장은 새싹과 마찬가지로 전반적으로 26℃ 처리구에서 가장 높게 나타났다(Table 3-26). 과종 후 경과일수에 따른 근장은 1일째의 경우 20℃에서는 0.06, 23℃에서는 0.09, 26℃에서는 0.12cm를 나타냈으며, 4일째는 20℃의 경우 2.64, 23℃에서는 2.64, 26℃에서는 4.76cm를 나타내었고, 6일째는 20℃의 경우 5.86, 23℃에서는 6.86, 26℃에서는 7.45cm를 나타내었다.

Table 3-26. Root length of broccoli sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Root length by the elapsed days (cm)					
	1	2	3	4	5	6
20	0.06 b ^z	0.35 b	0.76 c	2.64 b	3.92 bc	5.86 bc
23	0.09 ab	0.95 a	1.62 b	2.64 b	4.92 b	6.86 ab
26	0.12 a	0.93 a	2.06 a	4.76 a	6.15 a	7.45 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

(나) 아마란서스

아마란서스의 새싹 재배시 온도조건이 새싹의 초장에 미치는 영향을 조사한 결과 4일째는 20℃의 경우 1.54, 23℃에서는 1.56, 26℃에서는 1.72cm를 나타내었고, 6일째는 20℃의 경우 1.87, 23℃에서는 2.02, 26℃에서는 2.62cm를 나타내었다(Table 3-27). 이와 같이 아마란서스는 6일째에도 2.62cm 이하가 자라 성장속도가 늦으므로 26℃ 조건에서 생산하면 좋을 것으로 생각되었다.

Table 3-27. Plant height of amaranth sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Plant height by the elapsed days (cm)		
	4	5	6
20	1.54 ab ^z	1.66 bc	1.87 b
23	1.56 ab	1.88 ab	2.02 a
26	1.72 a	1.99 a	2.62 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

아마란서스의 새싹 재배시 온도조건이 새싹의 근장에 미치는 영향을 조사한 결과 2일째는 20℃의 경우 0.22, 23℃에서는 0.52, 26℃에서는 1.06cm를 나타내었고, 5일째는 20℃의 경우 1.76, 23℃에서는 3.33, 26℃에서는 5.28cm를 나타내었다(Table 3-28). 특히 6일째는 20℃ 처리구는 2.59cm인데 비해 26℃ 처리구는 6.72cm로 2.8배 정도로 길었다. 따라서 아마란서스의 새싹재배시 근장 측면에서 온도는 26℃로 하면 좋을 것으로 생각되었다.

Table 3-28. Root length of amaranth sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Root length by the elapsed days (cm)					
	1	2	3	4	5	6
20	0.01 b ^z	0.22 bc	0.44 c	1.17 c	1.76 c	2.59 c
23	0.01 b	0.52 b	1.40 b	2.02 b	3.33 b	4.01 b
26	0.04 a	1.06 a	2.33 a	4.10 a	5.28 a	6.72 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

(다) 알팔파

알팔파의 새싹 재배에서 온도가 싹의 신장에 미치는 영향을 조사한 결과 4, 5 및 6일째 모두 26℃, 23℃ 및 20℃ 순으로 길었다(Table 3-29). 새싹 길이는 가장 길게 나타난 26℃ 처리구의 경우 4일째는 4.92, 5일째는 5.84, 6일째는 6.02cm였으며, 20℃ 처리구는 6일째에 4.98cm를 나타내었다.

Table 3-29. Plant height of alfalfa sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Plant height by the elapsed days (cm)		
	4	5	6
20	3.96 b ^z	4.32 b	4.98 c
23	3.71 bc	4.50 b	5.83 b
26	4.92 a	5.84 a	6.02 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

알팔파의 새싹 재배시 온도조건이 새싹의 근장에 미치는 영향을 조사한 결과 2일째는 20℃의 경우 1.02, 23℃에서는 1.42, 26℃에서는 1.80cm를 나타내었고, 4일째

도 26℃ 처리구에서 4.92cm로 가장 길었다(Table 3-30). 그러나 5일째 및 6일째에
서 26℃ 처리구에서 가장 길었으나 20 및 23℃ 처리구와의 차이는 크지 않았다.

Table 3-30. Root length of alfalfa sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Root length by the elapsed days (cm)					
	1	2	3	4	5	6
20	0.43 ab ^z	1.02 bc	1.70 bc	3.55 ab	6.14 ab	6.53
23	0.37 bc	1.42 ab	2.11 ab	4.02 a	6.02 ab	6.74
26	0.61 a	1.80 a	3.98 a	4.92 a	6.34 a	6.82

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

(라) 유채

유채의 새싹 재배에서 온도가 싹의 신장에 미치는 영향을 조사한 결과 4, 5 및 6일째 모두 20℃에서 가장 큰 것으로 나타났다(Table 3-31). 특히 4일째는 23 및 26℃ 처리구가 1.35cm 이하인데 비해 20℃ 처리구는 4.28cm로 23 및 26℃ 길어 3.1 배 이상 길었다. 6일째에도 20℃ 처리구에서 가장 길었으나 4 및 5일째에 비해 온도 간 차이는 줄어들었다.

Table 3-31. Plant height of rape sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Plant height by the elapsed days (cm)		
	4	5	6
20	4.28 a ^z	4.62 a	4.69 a
23	1.35 b	1.99 b	3.01 ab
26	1.30 b	1.90 b	2.91 bc

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

유채 새싹 재배시 온도조건이 새싹의 근장에 미치는 영향을 조사한 결과 2일째는 20℃의 경우 0.34, 23℃에서는 1.01, 26℃에서는 0.92cm를 나타내어 23 및 26℃ 간의 차이는 크지 않았다(Table 3-32). 그런데 3일째에는 26℃의 경우 4.16인데 비해 20 및 23℃ 처리구는 1.81 이하로 짧아 차이가 컸으며, 이는 5, 6일째에도 계속되어 6일째에는 26℃의 경우 9.33cm, 23℃는 8.12cm, 20℃는 6.88cm를 나타내었다.

Table 3-32. Root length of rape sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Root length by the elapsed days (cm)					
	1	2	3	4	5	6
20	0.07 b ^z	0.34 bc	1.56 b	3.14 b	5.52 c	6.88 c
23	0.07 b	1.01 a	1.81 b	3.80 b	6.52 b	8.12 ab
26	0.10 a	0.92 ab	4.16 a	5.36 a	8.07 a	9.33 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

(마) 적콜라비

적콜라비의 새싹 재배에서 온도가 싹의 신장에 미치는 영향을 조사한 결과 4일째에는 2.70-2.98로 온도 처리 간에 차이가 뚜렷하지 않았다(Table 3-33). 5 및 6일째 모두 26°C, 23°C 및 20°C 순으로 컸는데, 특히 26°C에서 5일째는 4.52cm, 6일째는 5.02cm를 나타냈다.

Table 3-33. Plant height of red kohlrabi sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Plant height by the elapsed days (cm)		
	4	5	6
20	2.70 bc ^z	3.86 b	4.05 b
23	2.88 ab	3.71 b	4.74 b
26	2.98 a	4.52 a	5.02 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 3-34. Root length of red kohlrabi sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Root length by the elapsed days (cm)					
	1	2	3	4	5	6
20	0.11	0.36 b ^z	1.03 b	2.32 bc	4.98 bc	6.02 b
23	0.13	0.87 a	2.23 a	3.82 ab	5.98 ab	7.01 a
26	0.14	0.88 a	2.31 a	4.44 a	6.30 a	7.05 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

적콜라비의 새싹 재배시 온도조건이 새싹의 근장에 미치는 영향을 조사한 결과 2일째는 각각의 온도처리 조건 모두 0.14cm를 나타낸 가운데 차이가 적었다(Table 3-34). 온도처리 3일째는 20℃의 경우 1.03cm인데 비해 23℃ 및 26℃ 처리구는 각각 2.23 및 2.31cm로 큰 경향을 나타내었다. 3일째 이후는 온도가 높을수록 근장이 확연하게 길었는데, 6일째에는 20℃ 처리구는 6.02, 23℃ 처리구는 7.01, 26℃ 처리구는 7.05cm를 나타내었다.

(바) 붉은열무

붉은열무의 새싹 재배에서 온도가 싹의 신장에 미치는 영향을 조사한 결과 4일째는 3.17-3.27로 온도처리구 간에 차이를 나타내지 않았으나 5일째는 20℃ 처리구는 4.58cm, 23℃ 처리구는 4.97cm, 26℃ 처리구는 5.82cm로 온도에 따른 차이를 나타내었다(Table 3-35). 온도처리 6일째는 20℃와 23℃ 처리구는 각각 5.68 및 5.70cm로 차이를 나타내지 않았으나 26℃ 처리구는 6.70cm로 가장 긴 것으로 나타났다.

Table 3-35. Plant height of red radish sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Plant height by the elapsed days (cm)		
	4	5	6
20	3.27	4.58 b ^z	5.68 b
23	3.17	4.97 b	5.70 b
26	3.20	5.82 a	6.70 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 3-36. Root length of red radish sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Root length by the elapsed days (cm)					
	1	2	3	4	5	6
20	0.43 bc ^z	1.30 b	3.65 bc	5.37	6.04 ab	7.40
23	0.53 b	2.25 a	4.47 ab	5.37	7.04 a	7.60
26	0.72 a	2.36 a	5.49 a	5.58	7.59 a	7.89

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

붉은열무의 새싹 재배시 온도조건이 새싹의 근장에 미치는 영향을 조사한 결과 2

일째는 20℃의 경우 1.30cm인데 비해 23℃ 및 26℃는 각각 2.25cm 및 2.36cm를 나타내었다(Table 3-36). 온도처리 3일째는 20℃의 경우 3.65cm인데 비해 26℃ 처리구는 5.49cm로 차이가 컸으나 6일째는 20℃의 경우 7.40cm, 23℃는 7.60cm, 26℃ 처리구는 7.89cm로 온도처리간의 차이는 그다지 크지 않았다. 따라서 근장측면에서는 3일 이내에 수확을 할 때는 26℃가 좋을 것으로 판단되지만 그 이상을 생육시킬 경우는 20℃, 23℃ 및 26℃를 선택해서 재배해도 좋을 것으로 생각되었다.

(3) 새싹채소의 생체중과 건물중

(가) 브로콜리

브로콜리의 새싹 재배에서 온도조건이 생체중에 미치는 영향을 조사한 결과 전반적으로 26℃에서 재배한 것에서 가장 높았고, 20℃ 및 23℃에서 재배한 것은 다소 유사한 경향을 나타내었다(Table 3-37). 과종 후 경과 일수에 따른 생체중은 생체중이 가장 무거운 26℃ 처리구를 기준으로 할 때 1일째는 0.76cm, 4일째는 2.02cm, 7일째는 3.38cm를 나타내었다.

Table 3-37. Total fresh weight of broccoli sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Total fresh weight by the elapsed days (g)						
	1	2	3	4	5	6	7
20	0.59 b ^z	0.66 b	1.11 b	1.94 b	2.06 b	3.26	3.08 b
23	0.44 bc	0.59 b	1.80 a	1.99 b	2.26 b	3.27	3.28 a
26	0.76 a	1.19 a	1.87 a	2.02 a	2.96 a	3.28	3.38 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 3-38. Total dry weight of broccoli sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Total dry weight by the elapsed days (mg)						
	1	2	3	4	5	6	7
20	322 c ^z	333 b	349 c	351 b	387 b	390 b	420 b
23	331 b	348 a	381 a	394 a	416 a	427 a	436 a
26	341 a	344 a	373 ab	399 a	417 a	430 a	438 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

브로콜리의 새싹 재배에서 온도조건이 건물중에 미치는 영향을 조사한 결과 전반적으로 26℃에서 재배한 것에서 가장 높았으나 23℃에서 재배한 것과 차이는 크지 않았다(Table 3-38) 과종 후 경과 일수에 따른 생체중은 20℃의 경우 1일째에 322mg, 4일째에 351mg, 7일째에는 420mg이었으며, 26℃에서 재배한 것은 1일째에 341mg, 4일째는 399mg, 7일째는 438mg를 나타내었다.

(나) 아마란서스

아마란서스의 새싹 재배시 온도조건이 생체중에 미치는 영향을 조사한 결과 전반적으로 26℃에서 가장 높았고, 그 다음 23℃ 및 20℃ 순으로 나타났다(Table 3-39). 과종 후 경과일수에 따른 생체중은 20℃의 경우 1일째에 0.04g, 4일째에 0.09g, 7일째에 0.18g이었으며, 26℃ 처리구는 1일째에 0.11g, 4일째는 0.32g, 7일째는 0.46g을 나타내었다.

Table 3-39. Total fresh weight of amaranth sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Total fresh weight by the elapsed days (g)						
	1	2	3	4	5	6	7
20	0.04 bc ^z	0.08 bc	0.09 bc	0.09 c	0.12 c	0.16 c	0.18 c
23	0.07 b	0.10 ab	0.12 ab	0.23 ab	0.29 ab	0.32 ab	0.40 ab
26	0.11 a	0.15 a	0.22 a	0.32 a	0.35 a	0.44 a	0.46 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 3-40. Total dry weight of amaranth sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Total dry weight by the elapsed days (mg)						
	1	2	3	4	5	6	7
20	62 b ^z	64 b	65 b	67 b	69 b	71 b	76 b
23	61 b	65 b	65 b	67 b	72 b	75b	79 b
26	74 a	74 a	75 a	82 a	84 a	98 a	106 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

아마란서스의 새싹재배시 온도조건이 건물중에 미치는 영향을 조사한 결과 전반적으로 26℃에서 가장 높았으나 경과 일수에 따른 무게 변화는 크지

않았다(Table 3-40). 26℃ 처리구는 1일째에 74mg, 4일째는 82mg, 7일째는 106mg을 나타내어 경과일수에 따라 다소 차이를 나타냈으나 20℃에서는 경과일수에 따른 건물중의 변화는 크지 않아 1일째에 62mg이었던 것이 7일째에도 76mg에 불과했다.

(다) 알팔파

알팔파의 새싹 재배시 온도조건이 생체중에 미치는 영향을 조사한 결과 전반적으로 26℃에서 가장 높았고, 그 다음 23℃ 및 20℃ 순으로 나타났다(Table 3-41). 파종 후 경과일수에 따른 생체중은 20℃의 경우 1일째에 0.42g, 4일째에 0.92g, 7일째에 1.74g이었으며, 26℃ 처리구는 1일째에 0.63g, 4일째는 1.73g, 7일째는 1.98g을 나타내었다.

Table 3-41. Total fresh weight of alfalfa sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Total fresh weight by the elapsed days (g)						
	1	2	3	4	5	6	7
20	0.42 b ^z	0.51 b	0.92 bc	0.92 bc	1.08 c	1.36 bc	1.74 bc
23	0.47 b	1.00 a	1.22 ab	1.50 ab	1.56 ab	1.66 ab	1.88 ab
26	0.63 a	1.16 a	1.50 a	1.73 a	1.79 a	1.85 a	1.98 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

알팔파의 새싹 재배시 온도조건이 건물중에 미치는 영향을 조사한 결과 전반적으로 23℃ 및 26℃에서 높았다(Table 3-42).

Table 3-42. Total dry weight of alfalfa sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Total dry weight by the elapsed days (mg)						
	1	2	3	4	5	6	7
20	105 ab ^z	115 bc	126 b	146 ab	158 ab	171 b	184 b
23	102 bc	118 b	127 b	149 a	164 a	175 a	190 a
26	110 a	124 a	135 a	140 c	152 bc	172 b	191 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

경과 일수에 따른 건물중의 변화는 1일째의 경우 20℃ 처리구는 105mg, 23℃ 처리구는 102mg, 26℃ 처리구는 110mg으로 23℃ 처리구가 가장 가벼웠으나 2일째부터는 26℃, 23℃ 및 20℃ 처리구순으로 무거워 7일째는 26℃ 처리구는 191mg, 23℃ 처리구는 190mg, 20℃ 처리구는 184mg을 나타내었다.

(라) 유채

유채의 새싹 재배시 온도조건이 생체중에 미치는 영향을 조사한 결과 전반적으로 23℃, 20℃ 및 26℃ 순으로 높게 나타났다(Table 3-43).

과중 후 경과일수에 따른 생체중은 가장 무겁게 나타난 23℃ 처리구의 경우 1일째는 0.50g, 4일째는 1.90g, 7일째는 6.38g을 나타내었다. 한편, 26℃ 처리구는 다른 새싹채소와는 달리 생체중이 낮아 1일7일째에도 3.93g에 불과했다. 따라서 유채는 새싹은 20℃나 23℃에서 발아 및 생육을 시키는 것이 좋을 것으로 생각되었다.

Table 3-43. Total fresh weight of rape sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Total fresh weight by the elapsed days (g)						
	1	2	3	4	5	6	7
20	0.47 bc ^z	0.51 bc	1.24 bc	1.87 b	2.25 bc	2.88 a	5.98 ab
23	0.50 ab	0.61 ab	1.74 a	1.90 b	2.35 ab	2.98 a	6.38 a
26	0.54 a	0.79 a	1.47 ab	2.22 a	2.52 a	2.48 b	3.93 c

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

유채의 새싹 재배시 온도조건이 건물중에 미치는 영향을 조사한 결과 전반적으로 20℃에서 가장 높았고, 그 다음 23℃ 및 20℃ 순으로 나타났다(Table 3-44).

Table 3-44. Total dry weight of rape sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Total dry weight by the elapsed days (mg)						
	1	2	3	4	5	6	7
20	236 b ^z	239 bc	277 a	292 a	312 a	323 a	349 a
23	232 bc	244 ab	258 b	288 ab	302 b	315 b	334 b
26	243 a	250 a	255 b	277 bc	297 bc	293 c	321 c

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

파종후 경과일수에 따른 건물중은 20℃의 경우 1일째에 236mg, 4일째에는 292mg, 7일째에는 349mg이었다.

(마) 적콜라비

적콜라비의 새싹 재배시 온도조건이 생체중에 미치는 영향을 조사한 결과 26℃, 23℃ 및 20℃ 순으로 무겁게 나타났다(Table 3-45). 파종 후 경과일수에 따른 생체중은 무겁게 나타난 26℃의 경우 1일째에 0.79g, 4일째에 2.57g, 7일째에 3.06g이었다.

적콜라비의 새싹 재배시 온도조건이 건물중에 미치는 영향을 조사한 결과 26℃에서 가장 높았고, 20℃와 23℃는 다소 유사하게 나타났다(Table 3-46). 파종 후 경과일수에 따른 건물중은 26℃의 경우 1일째에 378mg, 4일째에는 330mg, 7일째에는 416mg이었다.

Table 3-45. Total fresh weight of red kohlrabi sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Total fresh weight by the elapsed days (g)						
	1	2	3	4	5	6	7
20	0.55 b ^z	0.63 bc	1.00 bc	1.30 b	2.01 b	2.68 ab	2.99
23	0.53 b	1.10 ab	1.17 b	1.30 b	2.03 b	2.88 a	3.00
26	0.79 a	1.42 a	1.75 a	2.57 a	2.82 a	2.99 a	3.06

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 46. Total dry weight of red kohlrabi sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Total dry weight by the elapsed days (mg)						
	1	2	3	4	5	6	7
20	266 bc ^z	274 c	267 c	297 b	321 b	331 b	343 b
23	276 b	296 ab	307 ab	324 a	333 a	344 b	356 b
26	378 a	305 a	312 a	330 a	335 a	400 a	416 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

(바) 붉은열무

붉은열무의 새싹 재배시 온도조건이 생체중에 미치는 영향을 조사한 결과 26℃, 23℃ 및 20℃ 순으로 무겁게 나타났다(Table 3-47).

Table 3-47. Total fresh weight of red radish sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Total fresh weight by the elapsed days (g)						
	1	2	3	4	5	6	7
20	2.50 b ^z	3.48 bc	4.96 bc	5.98 c	6.54 c	8.43 bc	9.66 bc
23	2.60 b	4.88 ab	5.57 ab	7.67 ab	8.28 ab	9.97 ab	10.97 b
26	3.00 a	5.55 a	6.93 a	8.75 a	9.83 a	10.50 a	14.77 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

파종 후 경과일수에 따른 생체중의 차이는 다른 새싹 채소에 비해 크게 나타나 26℃의 경우 1일째에 3.0, 4일째에 8.75g, 7일째에 14.77g이었다. 26℃ 처리구에 비해 생체중이 가볍게 나타난 20℃ 처리구도 경과일수에 따른 생체중 변화가 커 1일째에는 2.50mg, 4일째에는 5.98mg, 7일째에는 9.66mg을 나타내었다.

붉은열무의 새싹 재배시 온도조건이 건물중에 미치는 영향을 조사한 결과 26℃, 23℃ 및 20℃ 순으로 무겁게 나타나 생체중과 같은 경향을 나타내었다(Table 48). 파종 후 경과일수에 따른 건물중은 1일째에도 10,008mg 이상을 나타낸 가운데, 26℃ 처리구의 경우 1일째에 1,122mg, 4일째에 1,246mg, 7일째에 1,301mg이었다. 20℃와 23℃ 처리구간에는 다소 차이가 있었으나 그 차이는 크지 않았다.

Table 3-48. Total dry weight of red radish sprouts as affected by the temperature control.

Germination temperature (°C)	Total dry weight by the elapsed days (mg)						
	1	2	3	4	5	6	7
20	1,008 bc ^z	1,043 b	1,078 b	1,096 b	1,120 b	1,132 bc	1,173 bc
23	1,038 b	1,048 b	1,088 b	1,100 b	1,121 b	1,170 b	1,190 b
26	1,122 a	1,142 a	1,164 a	1,246 a	1,272 a	1,299 a	1,301 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

다. LED 광 처리에 따른 새싹채소의 영양성분 변화

(1) 비타민 함량

새싹채소의 영양성분적 측면의 품질 중에서 매우 중요한 판단기준인 비타민 C의 함량을 브로콜리 등 신수요 새싹채소의 재배과정에서 재배온도, 재배수 등이 동일한 조건에서 LED 광 종류별로 분석하였다(Table 3-49).

브로콜리는 LED 광과 무관하였고, 아마란서스는 백색광 조사에서 비타민 C 함량이 $69.41\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ 으로 많아 유용할 것으로 여겨지며, 알팔파는 청색광을 제외한 기타 광에서 비타민 C 함량이 높았다.

그리고, LED 조사광에 따른 유채 새싹채소의 비타민 C 함량은 적색광, 녹색광 및 청색광에서 $69\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ 내외, 적콜라비 새싹채소는 백색광과 적색광에서 $71\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ 내외로 타 광에 비해 비타민 C 함량이 높았으며 붉은열무는 적색광에서 $83.02\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ 으로 기타 광에 비해 매우 많았다.

Table 3-49. Vitamin contents in the various sprout vegetables as affected by the LED colors as a light.

LEDs	Vitamin contents ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$)					
	Broccoli	Amaranth	Alfalfa	Rape	Red kohlrabi	Red radish
Blue (control)	73.45 b	63.01 ab ^z	70.56 b	68.11 a	67.68 b	73.03 bc
Green	72.68 b	64.03 ab	75.80 a	68.74 a	67.04 b	70.72 bc
Red	71.89 b	63.47 ab	74.70 a	69.67 a	70.15 a	83.02 a
White	72.70 b	69.41 a	75.12 a	61.03 b	71.62 a	70.28 c
Yellow	72.68 b	61.54 b	77.55 a	65.87 ab	70.01 ab	64.69 d
Red-Blue	77.65 a	64.17 ab	76.26 a	66.70 ab	67.74 b	76.00 b

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

이와 같이 새싹채소의 품질지표 중 하나인 비타민 C의 함량에 긍정적인 영향을 미치는 LED 광임을 확인할 수 있었다.

한편, Kim 등(2004)은 유기농으로 재배된 케일, 신선초, 셀러리, 상추 및 파의 비타민 C 함량을 분석한 결과 97, 19, 11, 24 및 $21\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ 이라고 하였다.

이를 본 연구결과와 비교해 볼 때 새싹채소는 모두 $64.17\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ 인 반면에 성숙된 채소는 $97\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ 을 제외하면 11- $24\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ 이었다.

따라서, 비타민 C공급만을 고려 할 때 브로콜리, 아마란서스, 알팔파, 유채, 적콜라비 및 붉은열무는 신선초, 셀러리, 상추 및 파를 식용하는 것보다 효과적인 것으로 생각된다.

(2) 무기물 함량

(가) 브로콜리

브로콜리 새싹채소 재배시 LED 광에 따른 새싹의 무기성분을 분석한 결과, K, Ca, Fe, Mg 및 Zn 함량에 영향을 미친 것으로 나타났다(Table 3-50).

무기물 종류에 따른 함량은 K와 Mg는 황색광에서, Ca와 Zn은 적색광에서 가장 높았고, Fe는 적색·청색광에서 가장 많은 것으로 나타났다.

(나) 아마란서스

Table 3-50. Inorganic matter contents in broccoli sprouts as affected by the LED colors as a light.

LEDs	Inorganic matter contents (mg·L ⁻¹)								
	K	Ca	Fe	Na	Mg	Cu	Zn	Se	Pb
Blue (control)	5.14 d ^z	4.92 b	0.03 d	2.26	4.12 b	0.19	0.80 b	nd*	0.16
Green	7.81 c	6.53 ab	1.54 a	2.88	4.47 b	0.18	0.81 b	nd	0.17
Red	13.19 ab	9.14 a	0.61 bc	2.99	7.23 a	0.15	1.07 a	nd	0.16
White	13.20 ab	8.90 a	0.42 bc	3.01	7.11 a	0.17	0.93 b	nd	0.16
Yellow	15.60 a	8.14 a	0.11 c	3.09	8.39 a	nd	0.91 b	nd	0.18
RedBlue	10.13 b	8.44 a	1.57 a	3.60	5.36 b	nd	1.05 a	nd	0.12

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

*nd : no detection.

아마란서스 새싹채소 재배과정에서 다양한 LED 광을 조사하여 생산한 새싹의 무기성분을 분석한 결과, K, Fe, Na, Mg 및 Zn 함량에 영향을 미친 것으로 나타났다 (Table 3-51).

무기물 종류에 따른 함량은 K는 황색광에서 14.78mg·L⁻¹로 다른 광 처리에 비해 6~7배 가량이 많았으나 Fe, Na, Mg 및 Zn은 녹색광에서 가장 많은 것으로 나타났다. 그러나 Ca, Cu 및 Pb는 광의 영향을 받지 않았다.

Table 3-51. Inorganic matter contents in amaranth sprouts as affected by the LED colors as a light.

LEDs	Inorganic matter contents (mg·L ⁻¹)								
	K	Ca	Fe	Na	Mg	Cu	Zn	Se	Pb
Blue (control)	2.35 b ^z	9.25	0.62 a	4.60 a	8.20 a	0.41	0.17 a	nd*	0.74
Green	2.70 b	9.23	0.82 a	5.13 a	8.54 a	0.55	0.19 a	nd	0.80
Red	2.08 b	9.21	0.53 a	4.18 a	8.39 a	0.35	0.14 a	nd	0.79
White	2.75 b	8.34	0.44 b	4.31 a	7.52 a	0.29	0.13 a	nd	0.81
Yellow	14.78 a	9.17	0.24 c	2.52 b	4.39 b	4.00	0.08 b	nd	0.79
Red-Blue	3.02 b	8.50	0.60 a	4.23 a	8.60 a	0.31	0.15 a	nd	0.76

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

*nd : no detection.

(다) 알팔파

다양한 LED 광을 알팔파 새싹채소 재배에 적용하여 새싹의 무기성분을 분석한 결과, K, Ca, Fe, Na 및 Mg 함량에 영향을 미친 것으로 나타났다(Table 3-52).

Table 3-52. Inorganic matter contents in alfalfa sprouts as affected by the LED colors as a light.

LEDs	Inorganic matter contents (mg·L ⁻¹)								
	K	Ca	Fe	Na	Mg	Cu	Zn	Se	Pb
Blue (control)	6.87 b ^z	4.73 b	0.83 b	4.22 a	3.53 a	0.82	0.30	nd*	0.06
Green	19.98 a	7.43 a	1.23 a	2.66 ab	3.85 a	0.44	0.10	nd	0.60
Red	0.10 e	4.03 b	0.81 b	3.10 a	2.74 b	0.88	0.22	nd	0.09
White	1.73 d	4.33 b	0.64 b	3.69 a	2.99 b	0.60	0.15	nd	0.05
Yellow	2.40 d	5.06 b	0.35 c	1.21 b	2.79 b	0.55	0.14	nd	0.54
Red-Blue	4.23 c	4.31 b	0.82 b	3.50 a	3.02 ab	0.86	0.28	nd	0.08

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

*nd : no detection.

무기물 종류에 따른 함량은 Na는 청색광에서 $4.22\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 다른 광 처리에 비해 함량이 많았으나 K, Ca, Fe 및 Mg는 녹색광에서 19.98, 7.43, 1.23 및 $3.85\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 각각 많았다. Cu, Zn 및 Pb는 광의 영향을 받지 않았다.

(라) 유채

Table 3-53. Inorganic matter contents in rape sprouts as affected by the LED colors as a light.

LEDs	Inorganic matter contents ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)								
	K	Ca	Fe	Na	Mg	Cu	Zn	Se	Pb
Blue (control)	10.06 b ^z	4.94 ab	0.06 b	5.12 a	3.63 b	0.19	1.05	0.06	0.12
Green	5.93 c	4.07 b	0.05 b	3.97 b	4.45 ab	0.47	0.91	0.04	0.16
Red	14.63 ab	4.72 ab	0.10 a	4.03 ab	5.62 a	0.45	0.91	nd*	0.17
White	6.83 c	4.20 b	0.18 a	4.17 ab	4.01 ab	0.30	1.05	nd	0.11
Yellow	17.73 a	5.61 a	0.06 b	5.55 a	5.49 a	0.46	0.81	nd	0.17
Red:Blue	10.70 b	3.81 c	0.12 a	4.44 ab	2.82 b	0.00	0.80	nd	0.11

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

*nd : no detection.

유채 새싹채소 재배시 LED 광에 따른 새싹의 무기성분을 분석한 결과, K, Ca, Fe, Na 및 Mg 함량에 영향을 미친 것으로 나타났다(Table 3-53). 무기물 종류에 따른 함량은 K, Ca 및 Na는 황색광에서 17.73, 5.61 및 $5.55\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 각각 많았으며, Fe는 백색광에서 $0.18\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, Mg는 적색광에서 $5.62\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 많았다. Cu, Zn, Se 및 Pb는 광의 영향을 받지 않았다.

(마) 적콜라비

다양한 LED 광을 적콜라비 새싹채소 재배에 적용하여 새싹의 무기성분을 분석한 결과, K, Ca, Fe, Na 및 Mg 함량에 영향을 미친 것으로 나타났다(Table 3-54). 무기물 종류에 따른 함량은 청색광에서 K, Ca, Fe, Na 및 Mg가 각각 13.73, 7.33, 0.27, 3.71 및 $6.68\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 가장 많았으며, Cu, Zn, Se 및 Pb는 광의 영향을 받지 않았다.

Table 3-54. Inorganic matter contents in red kohlrabi sprouts as affected by the LED colors as a light.

LEDs	Inorganic matter contents (mg·L ⁻¹)								
	K	Ca	Fe	Na	Mg	Cu	Zn	Se	Pb
Blue (control)	9.78 b ^z	5.15 ab	0.07 b	3.55 a	5.50 a	0.54	1.06	nd	0.15
Green	7.16 c	3.49 b	0.13 ab	2.91 b	3.35 b	0.40	1.04	0.17	0.10
Red	13.73 a	7.33 a	0.27 a	3.71 a	6.68 a	0.22	1.09	nd*	0.15
White	9.45 b	4.04 ab	0.13 ab	3.65 a	3.89 b	0.10	0.94	0.03	0.13
Yellow	11.57 ab	3.75 b	0.15 ab	3.11 ab	4.04 b	0.08	1.06	nd	0.09
RedBlue	6.59 c	5.41 ab	0.15 ab	3.15 ab	5.18 a	0.25	1.05	nd	0.12

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

*nd : no detection.

(바) 붉은열무

붉은열무 새싹채소 재배시 LED 광에 따른 새싹의 무기성분을 분석한 결과, K, Ca, Fe, Na, Mg, Cu 및 Zn 함량 등에 영향을 미친 것으로 나타났다(Table 3-55).

Table 3-55. Inorganic matter contents in red radish sprouts as affected by the LED colors as a light.

LEDs	Inorganic matter contents (mg·L ⁻¹)								
	K	Ca	Fe	Na	Mg	Cu	Zn	Se	Pb
Blue (control)	7.16 a ^z	3.92 a	0.23 a	2.83 a	4.80 a	0.38 ab	2.14 a	0.05	0.25
Green	5.92 b	2.28 ab	0.20 a	1.81 ab	2.04 b	0.29 ab	2.06 a	0.00	0.19
Red	5.20 b	2.36 ab	0.17 ab	1.71 ab	3.42 ab	0.17 b	1.51 b	nd*	0.09
White	4.03 b	2.66 ab	0.11 b	2.07 a	4.34 a	0.58 a	2.10 a	nd	0.13
Yellow	5.60 b	1.89 b	0.13 b	1.09 b	2.89 b	0.04 b	2.05 a	0.11	0.10
RedBlue	5.17 b	2.91 ab	0.18 ab	2.34 a	3.30 ab	0.62 a	1.81 b	0.11	0.08

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

*nd : no detection.

무기물 종류에 따른 함량은 K, Ca, Fe, Na, Mg 및 Zn의 경우 청색광에서 7.16, 3.92, 0.23, 2.83, 4.80 및 2.14mg·L⁻¹로 각각 많았으며, Cu는 적색·청색광에서 0.62mg·L⁻¹로 많았다. Se와 Pb는 광의 영향을 받지 않았다.

이상의 LED 광에 따른 주요 새싹채소의 무기성분 변화를 종합하면, 브로콜리는 대체로 황색광이나 적색·청색광, 아마란서스는 K 함량 증진을 위해서는 황색광이 우수하고 기타 무기성분은 여러 광에서 우수하였다.

그리고, 알팔파는 녹색광, 유채는 황색광, 적콜라비는 적색광, 붉은열무는 청색광에서 주요 무기성분 함량 증진에 긍정적으로 작용하는 것으로 여겨진다.

한편, Table 3-50~55 결과를 보면 새싹의 종류와 LED 광처리에 따른 차이는 있어도 Ca의 경우 브로콜리, 아마란서스, 알팔파, 유채, 적콜라비 및 홍빛열무는 각각 4.92~9.14, 8.34~9.25, 4.03~7.43, 3.81~5.56, 3.49~7.33 및 1.89~3.92였으며, Fe는 0.03~1.57, 0.24~0.82, 0.35~1.23, 0.05~0.18, 0.07~0.27 및 0.11~0.23mg·L⁻¹이었다. 반면에 Kim 등(2004)에 의하면 케일, 신선초, 셀러리, 상추 및 파의 Ca 함량은 각각 28.1, 4.9, 5.3, 5.4 및 9.1mg·L⁻¹ 이었고, Fe 함량은 각각 1.1, 0.7, 0.3, 1.9 및 1.1mg·L⁻¹이었다고 하였다. 따라서 종류와 재배환경이 다르기 때문에 단순비교는 어렵지만 대체적으로 새싹 보다는 성숙한 채소에 무기물 함량이 더 많은 경향을 알 수 있었다.

(3) 아미노산 함량

최근 수요층이 확산되고 있는 브로콜리, 아마란서스 등의 새싹채소 재배과정에서 LED 광에 따른 아미노산 함량 변화를 아미노산 자동분석장치(Sykam S433)로 분석하였다.

아미노산 함량은 식품 단백질의 영양적 가치평가의 기준이고, 특히 필수아미노산 함량이 매우 중요하기 때문에 LED 광에 따른 특정 아미노산 함량을 월등하게 증진시킬 수 있다면 그 효용가치가 클 것으로 여겨진다.

(가) 브로콜리

브로콜리 새싹채소 재배과정에서 다양한 LED 광을 조사하여 생산한 새싹의 아미노산 함량을 분석한 결과, 총 아미노산 함량은 적색광(1,015.5mg·100g⁻¹ DW), 녹색광(999.2mg·100g⁻¹ DW), 청색광(982.8mg·100g⁻¹ DW), 적색·청색광(965.3mg·100g⁻¹ DW) 및 황색광(962.4mg·100g⁻¹ DW) 등의 순으로 나타났다(그림. 3-30).

광에 따른 아미노산 종류는 청색광과 녹색광에서 29종류, 적색광, 적색·청색광, 황색광에서 각각 25종류의 아미노산이 검출되었는데, 적색광에서는 alanine, citrulline, cystine, tyrosine가, 적색·청색광에서는 glycine, α-amino butyric acid,

cystine, phenylalanine가, 황색광에서는 hydroxyproline, α -amino butyric acid, phenylalanine, ornithine가 검출되지 않았다(App. 3-1).

아미노산 종류별 함량은 glutamic acid가 $101.43 \sim 135.68 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$, valine이 $60.04 \sim 72.12 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$ 로 많았으며, 대부분의 아미노산이 광에 따른 함량 차이를 보였다.

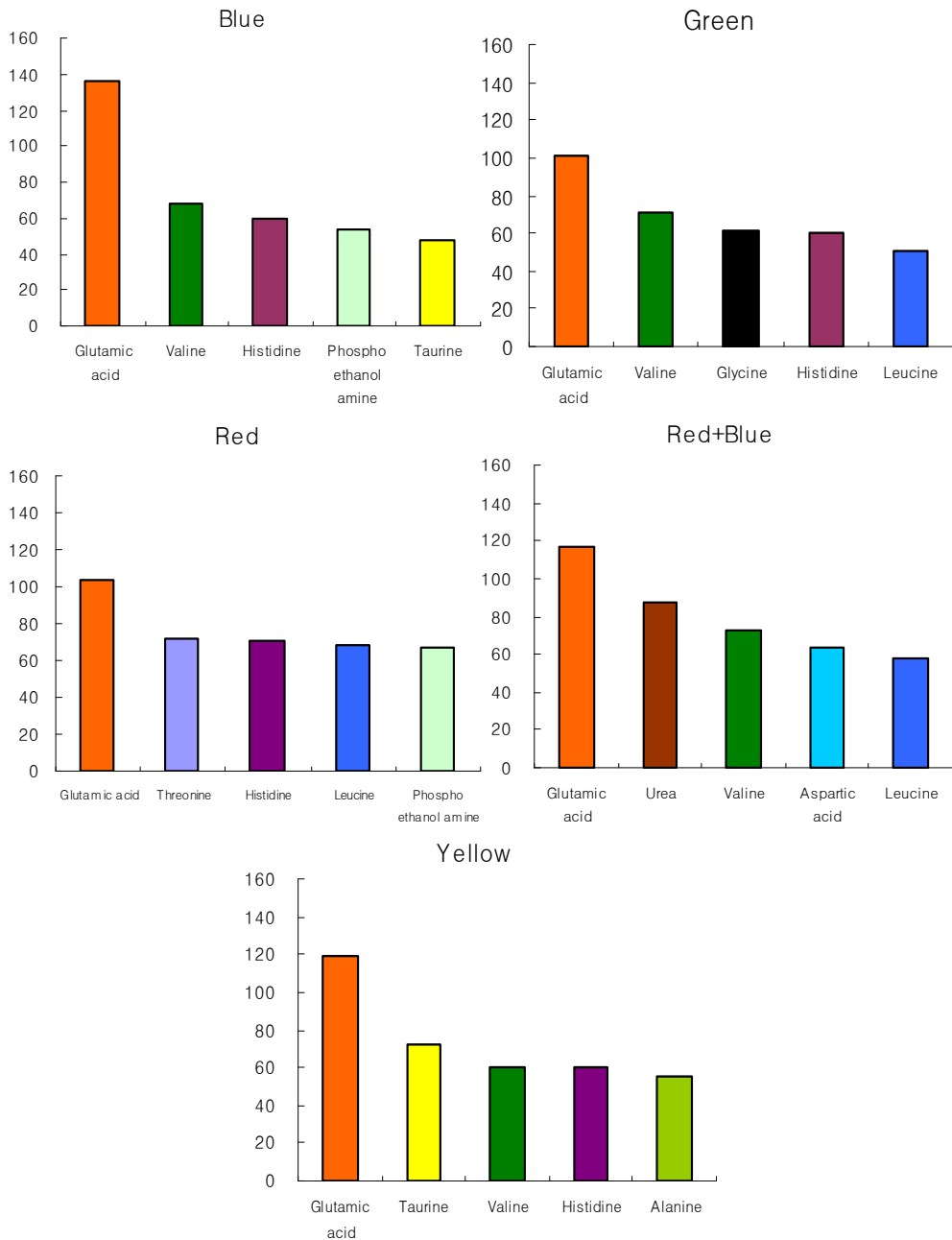


그림. 3-30. Amino acids contents ($\text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$) in broccoli sprouts as affected by the LED colors as a light.

(나) 아마란서스

다양한 LED 광을 조사하여 아마란서스 새싹을 생산하여 아미노산 함량을 분석한 결과, 총 아미노산 함량은 백색광($925.8\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}\text{ DW}$), 황색광($914.15\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}\text{ DW}$), 적색광($892.79\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}\text{ DW}$), 녹색광($874.36\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}\text{ DW}$) 및 적색·청색광($860.2\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}\text{ DW}$) 등의 순으로 나타났다(그림. 3-31).

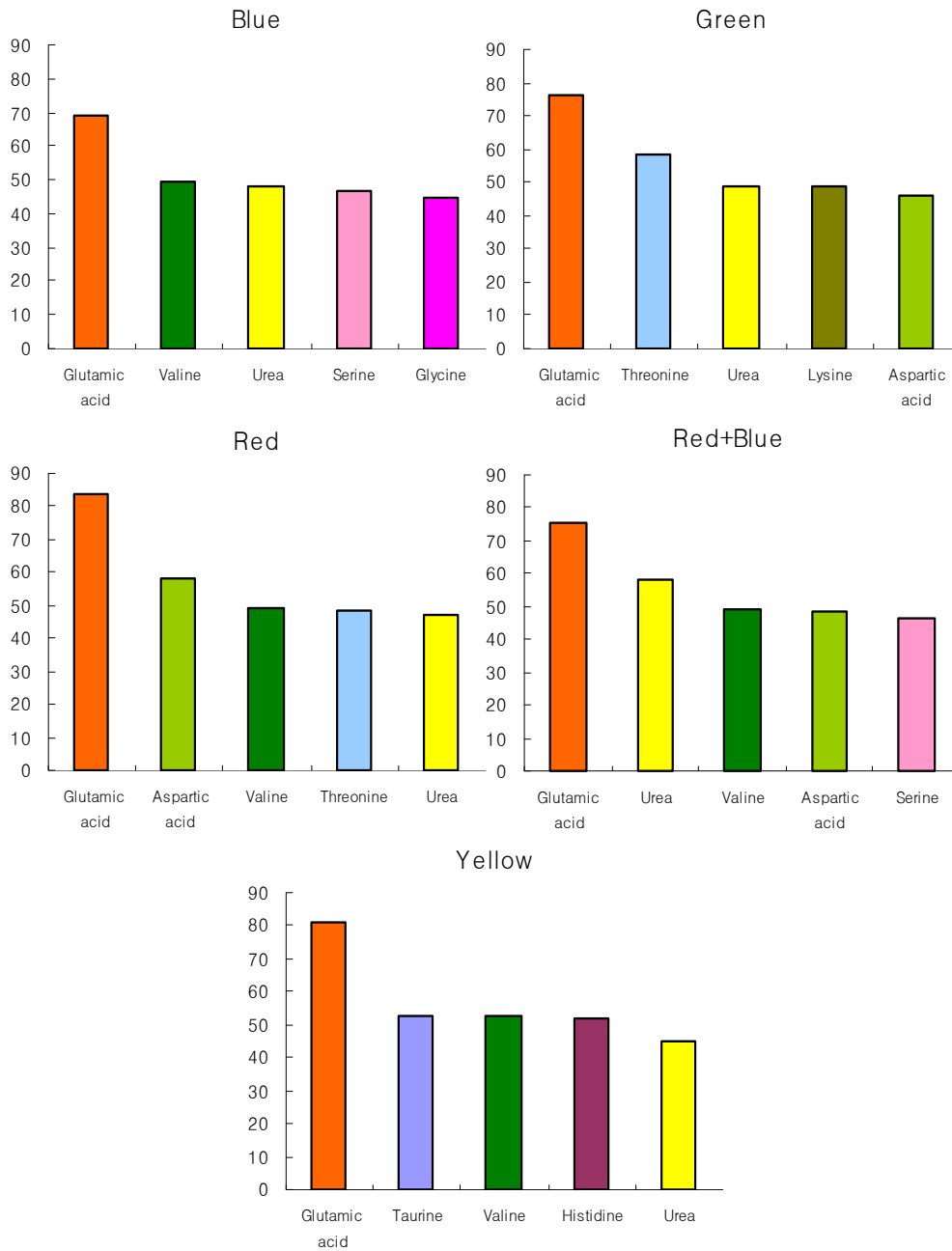


그림. 3-31. Amino acids contents ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}\text{ DW}$) in amaranth sprouts as affected by the LED colors as a light.

광에 따른 아미노산 종류는 모든 광 처리에서 29종류의 아미노산이 검출되었다. 아미노산 종류별 함량은 glutamic acid가 68.85~83.98mg·100g⁻¹ DW, urea 45.14~58.02mg·100g⁻¹ DW, valine이 44.88~52.39mg·100g⁻¹ DW, histidine이 41.36~52.02mg·100g⁻¹ DW로 많았는데, glutamic acid는 적색광에서, urea는 백색광에서, valine과 histidine은 황색광에서 함량이 많이 나타났다(App. 3-2).

(다) 알팔파

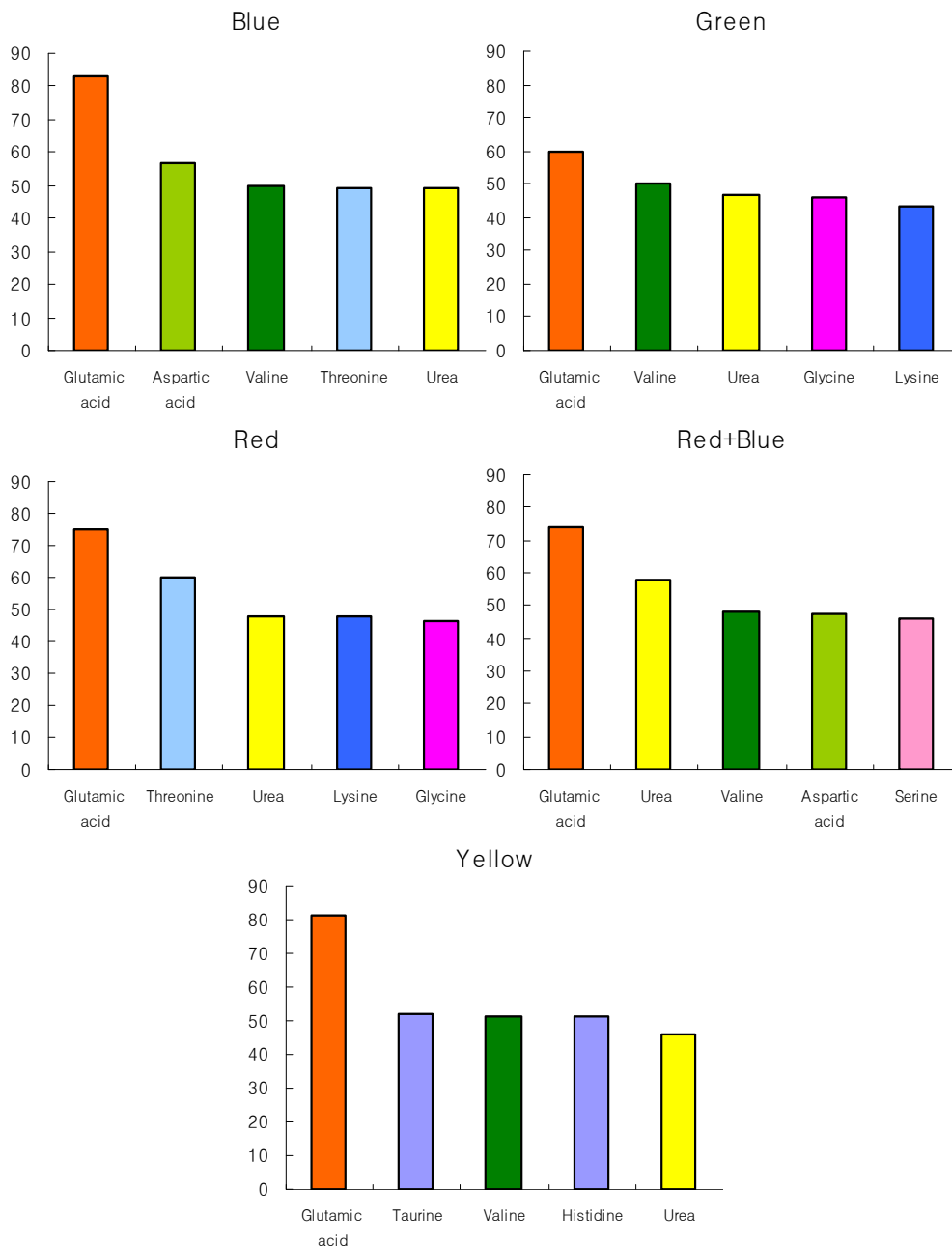


그림. 3-32. Amino acids contents (mg·100g⁻¹ DW) in alfalfa sprouts as affected by the LED colors as a light.

알팔파 새싹채소 재배과정에서 다양한 LED 광을 조사하여 새싹의 아미노산을 분석한 결과, 총 아미노산 함량은 녹색광($1075.07\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW), 백색광($924.31\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW), 황색광($921.74\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW), 적색광($879.87\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW), 청색광($868.12\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW) 순으로 나타났다(그림. 3-32).

(라) 유채

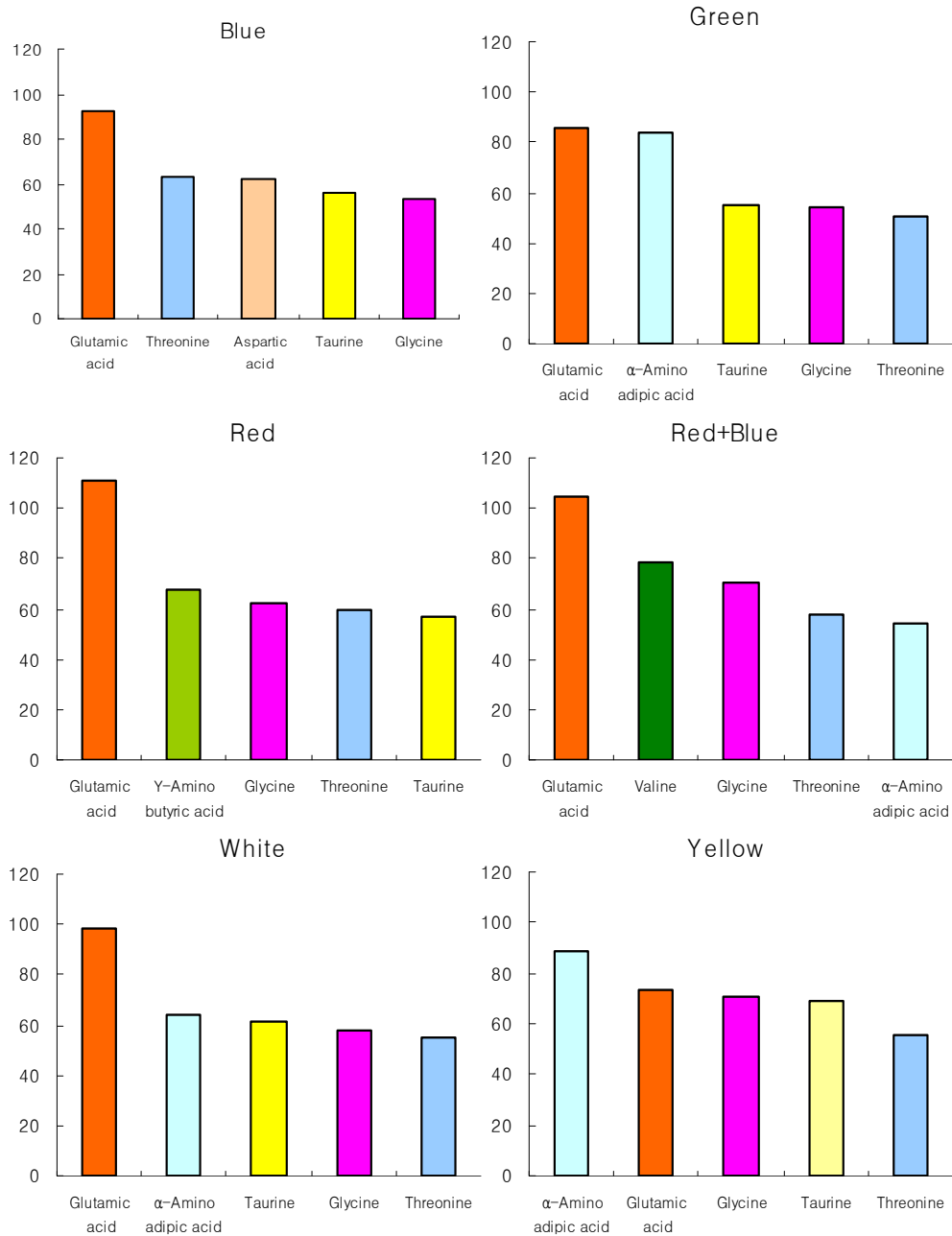


그림. 3-33. Amino acids contents ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW) in rape sprouts as affected by the LED colors as a light.

광에 따른 아미노산 종류는 모든 광 처리에서 29종류의 아미노산이 검출되었다. 아미노산 종류별 함량은 glutamic acid가 $59.80 \sim 82.88 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$, urea $46.11 \sim 58.02 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$, valine이 $42.77 \sim 51.40 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$, histidine이 $41.66 \sim 51.12 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$ 로 많았는데, glutamic acid는 청색과 황색광에서, urea는 백색광에서, valine과 histidine은 황색광에서 함량이 많이 나타났다(App. 3-3).

유채 새싹채소 재배과정에서 다양한 LED 광을 조사하여 새싹의 아미노산을 분석한 결과, 총 아미노산 함량은 녹색광($787.43 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$), 적색광($755.75 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$), 적색·청색광($751.38 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$), 백색광($735.69 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$), 황색광($734.8 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$), 청색광($677.96 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$)순으로 나타났다(그림. 3-33).

광에 따른 아미노산 종류는 적색·청색광과 백색광에서 29종류, 녹색광과 적색광에서 각각 27종류가 검출되었으며, 황색광은 26종류, 청색광에서는 24종류의 아미노산이 검출되었다. 일부 광 처리에서 검출되지 아미노산 중 tyrosine은 청색, 녹색 및 적색광에서, alanine은 청색광과 녹색광에서, tryptophan은 적색광과 황색광에서 검출되지 않았다(App. 3-4).

아미노산 종류별 함량은 glutamic acid가 $73.32 \sim 110.64 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$, taurine은 $53.47 \sim 68.58 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$, glycine는 $53.11 \sim 70.55 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$, threonine은 $50.66 \sim 63.24 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$, urea는 $43.09 \sim 46.52 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$ 로 많았다.

(마) 적콜라비

적콜라비 새싹채소 재배과정에서 다양한 LED 광을 조사하여 새싹의 아미노산을 분석한 결과, 총 아미노산 함량은 녹색광($783.77 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$), 황색광($777.59 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$), 적색광($764.13 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$), 적색·청색광($722.14 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$), 청색광($704.82 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$), 백색광($652.69 \text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{DW}$) 순으로 나타났다(그림. 3-34).

광에 따른 아미노산 종류는 적색광에서 29종류, 황색광에서 28종류, 청색광과 적색·청색광에서 27종류, 녹색과 백색광에서 23종류의 아미노산이 검출되었는데, 황색광에서는 citrulline이, 청색광에서는 citrulline과 Y-Amino butyric acid이, 적색·청색광에서는 threonine과 ornithine이 검출되지 않았다.

특히 황색광과 청색광에서 검출되지 않았던 citrulline은 녹색광과 백색광에서도 검출되지 않았으며, 청색광에서 검출되지 않았던 Y-Amino butyric acid는 녹색광과 백색광에서도 검출되지 않았다(App. 3-5).

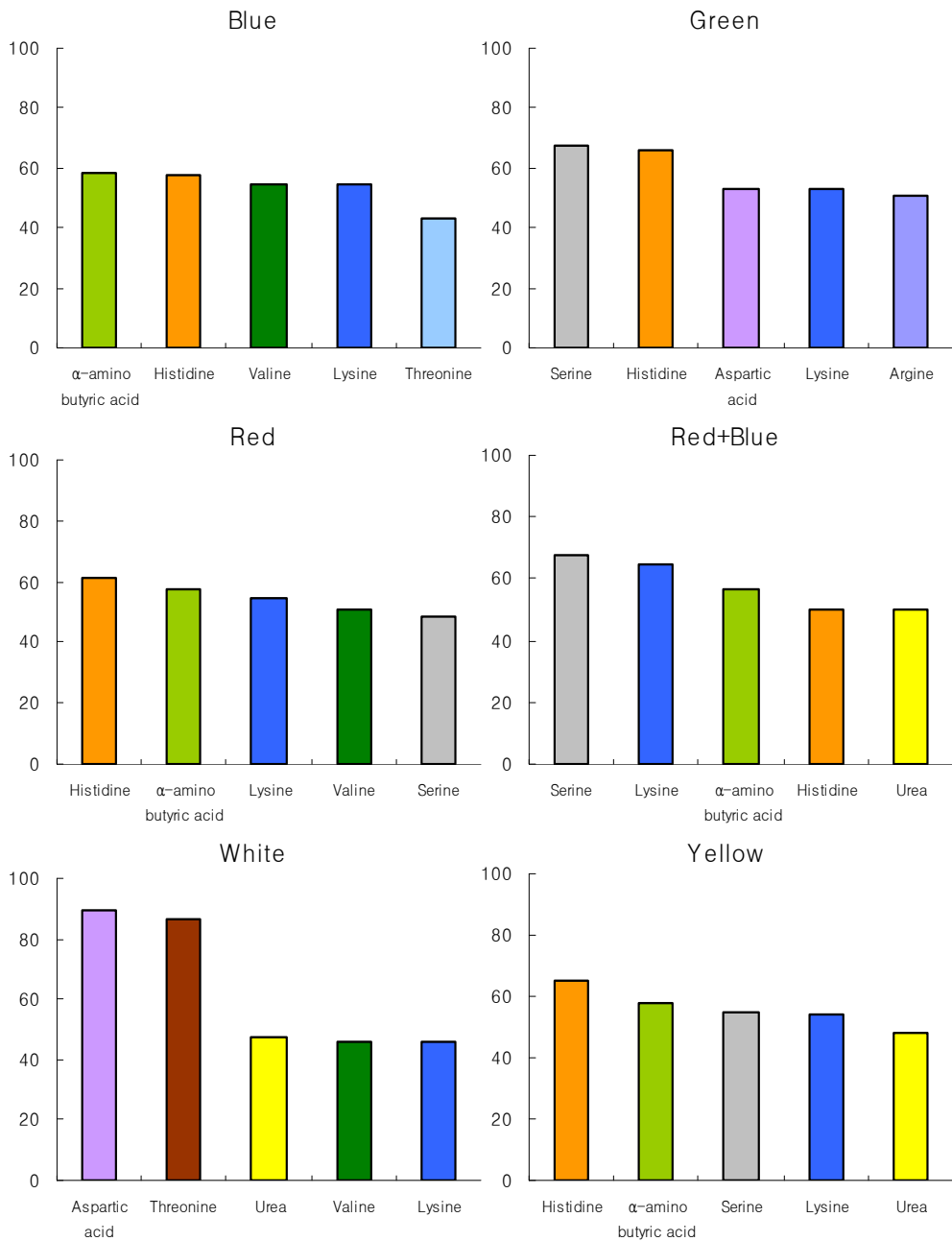


그림. 3-34. Amino acids contents ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW) in red kohlrabi sprouts as affected by the LED colors as a light.

(바) 붉은열무

다양한 LED 광을 조사하여 붉은열무 새싹을 생산하여 아미노산 함량을 분석한 결과, 총 아미노산 함량은 적색·청색광($937.61\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW), 적색광($884.50\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW), 백색광($872.81\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW), 황색광($867.46\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW), 녹색광($847.53\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW), 청색광($816.32\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW) 순으로 나타났다(그림. 3-35). 아미노산 종류별 함량은 lysine는 $45.56\sim 64.56\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW, urea는 $41.32\sim 49.64$

mg·100g⁻¹ DW, histidine는 37.94~66.06mg·100g⁻¹ DW, valine는 37.32~54.27 mg·100g⁻¹ DW, α-amino butyric acid은 34.08~58.13mg·100g⁻¹ DW로 많았으며, aspartic acid는 백색광에서는 89.43mg·100g⁻¹ DW이었으나 적색광에서는 31.15 mg·100g⁻¹ DW로, threonine는 백색광에서 86.16mg·100g⁻¹ DW이었으나 녹색광과 적색·청색광에서는 검출되지 않은 등 광에 따른 함유량 차이가 크게 나타났다

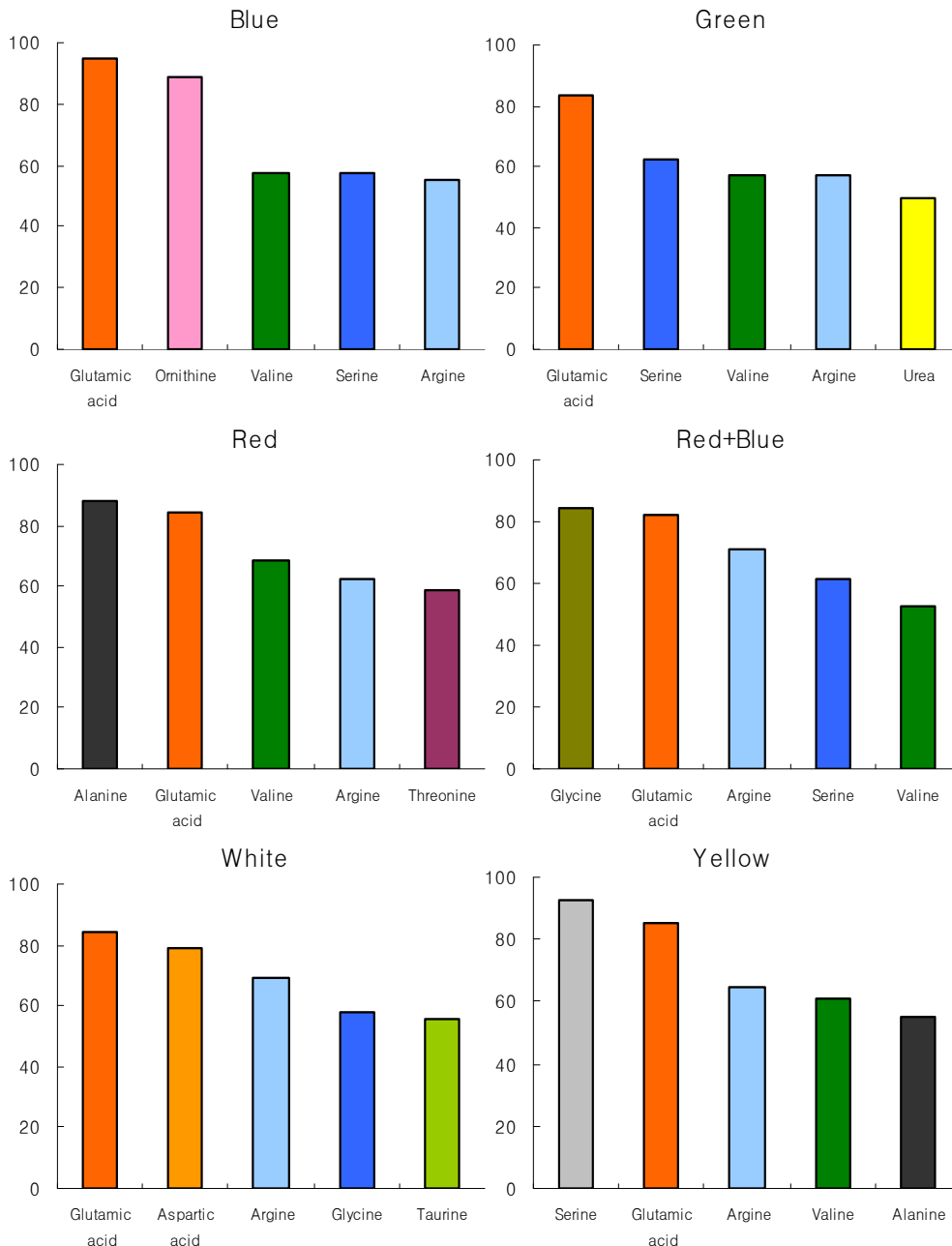


그림. 3-35. Amino acids contents (mg·100g⁻¹ DW) in red radish sprouts as affected by the LED colors as a light.

광에 따른 아미노산 종류는 녹색광, 적색·청색광 및 황색광에서 28종류, 적색광

과 백색광에서 26종류, 청색광에서는 23종류의 아미노산이 검출되었는데, 적색광에서는 citrulline과 leucine이, 백색광에서는 alanine와 citrulline이 검출되지 않았고, 청색광에서는 taurine, leucine, γ -Amino butyric acid, tryptophan 및 carnosine이 검출되지 않았다(App. 3-6).

아미노산 종류별 함량은 glutamic acid는 $82.11\sim 94.80\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW, arginine은 $55.42\sim 70.87\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW, valine은 $52.67\sim 68.27\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW, urea는 $48.86\sim 50.78\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW, aspartic acid는 $34.01\sim 78.78\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW으로 많았다.

식품에서 아미노산은 맛과 향미 성분의 주체이며, 수용성이므로 중요하며, 흡수율이 높은 영양성분이다(Cho 등, 2007). 그런데 이상의 조사 결과 에서 총 아미노산 함량은 녹색광에서는 알팔파($1,075.07\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW), 유채($787.43\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW) 및 적콜라비($783.77\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW)가, 적색광에서는 브로콜리($1,015.5\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW)가, 백색광에서는 아마란스($925.8\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW)가, 적색·청색광에서는 붉은열무($937.61\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ DW)가 많았다. 따라서 금후 LED 광도, 광량 그리고 식물의 종류와 성장시기에 따른 총 아미노산 함량과 LED 광에 대한 연구가 이루어질 필요가 있으며, 본 연구결과는 LED 광이 새싹채소의 아미노산 함량에 영향을 미치는 것을 확인한 의미 있는 결과라 할 수 있었다.

라. LED 광과 온도 처리에 따른 새싹채소의 기능성 물질 변화

(1) 총 페놀 함량

Table 3-56. Total phenol compound contents in the various sprout vegetables as affected by the LED colors as a light.

LEDs	Total phenol compound contents ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)					
	Broccoli	Amaranth	Alfalfa	Rape	Red kohlrabi	Red radish
Blue (control)	71.4 b ^z	93.0 a	99.8 a	60.2 c	98.2 b	85.0 a
Green	78.8 ab	87.8 ab	87.7 b	84.1 a	95.1 b	83.7 ab
Red	75.2 b	91.4 ab	86.9 b	86.7 a	85.8 c	84.6 ab
White	83.0 a	89.6 ab	72.2 c	63.2 c	104.1 ab	89.0 a
Yellow	76.6 b	64.2 c	81.3 bc	81.8 ab	86.7 c	85.6 a
Red-Blue	80.6 ab	94.1 a	86.8 b	68.1 bc	88.4 bc	74.7 b

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

식물에는 산화와 관련된 매우 다양한 유해산소 소거활성 분자들이 내재하고 있으며, 특히 고등식물에서 발견되는 천연 항산화 물질 중 가장 많은 부분을 차지하는

것이 페놀성 화합물이다(Lee와 Park, 2005). 일반적으로 페놀성 물질은 다양한 구조와 분자량을 가지며, 이것들의 phenolic hydroxyl이 단백질처럼 거대분자와 결합하여 항산화, 항균, 그리고 항암 등의 생리기능을 가진다고 알려져 있다(Dural과 Shetty, 2001; Park 등, 2005b, c). 그러므로 페놀물질 함량이 높을수록 기능성물질로 유용하게 활용할 수 있다는 점을 착안하여 본 실험에서는 새싹채소 재배에 있어 LED 광이 총 페놀 함량에 미치는 영향을 조사한 결과를 Table 56에 나타내었다.

(가) 브로콜리

브로콜리의 새싹 재배시 LED 광이 새싹의 메탄올 추출물 총 페놀에 미치는 영향을 조사한 결과, 백색광에서 $83.0\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 가장 높게 나타났다. 총 페놀 함량이 가장 낮은 것은 청색광으로서 $71.4\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이었으며, 그 다음은 적색광으로 $75.2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이었다. 따라서 브로콜리의 새싹 생산에 있어 총 페놀의 함량을 증가시키기 위해서는 LED의 백색광 처리가 바람직할 것으로 생각된다.

(나) 아마란서스

아마란서스에서 총 페놀 함량은 적색·청색광과 청색광에서 각각 $94.1\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $93.0\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 많았다. 총 페놀 함량이 가장 낮은 것은 황색광으로서 $64.29\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이었으며, 그 다음은 녹색광으로 $87.8\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 였는데, 이를 적색·청색광의 94.1%와 비교해 볼 때 각각 $29.9\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 와 $6.3\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 차이를 나타내었다. 그러므로 총 페놀 함량이 높을수록 기능성물질로 유용하게 활용할 수 있다는 점에서 아마란서스의 새싹 생산시 총 페놀의 함량을 증가시키는 것으로 나타난 LED의 적색·청색광과 청색광이 바람직 할 것으로 생각된다.

(다) 알팔파

알팔파에서 총 페놀 함량은 청색광에서 $99.8\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 가장 높게 나타났다. 총 페놀 함량이 가장 낮은 것은 백색광으로 $72.2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이었으며, 그 다음은 황색광에서 $81.3\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 였다. 따라서 광종류에 따른 총 페놀 함량의 차이가 인정되었으며, 이는 새싹재배시 LED 광에 의해 총 페놀 함량이 높은 새싹을 생산가능하게 할 것으로 생각된다.

(라) 유채

유채에서 총 페놀 함량은 적색광이 $86.7\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 가장 높게 나타났다. 총 페놀 함량이 가장 낮은 것은 청색광으로 $60.2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이었으며, 그 다음은 백색광에서

63.2mg·L⁻¹을 나타내었다.

(마) 적콜라비

적콜라비의 새싹 재배시 LED 광이 새싹의 메탄올 추출물의 총 페놀에 미치는 영향을 조사한 결과 백색광에서 104.1mg·L⁻¹로 가장 높게 나타났다. 총 페놀 함량이 가장 낮은 것은 적색광으로 85.8mg·L⁻¹이었으며, 그 다음은 황색광으로 86.7mg·L⁻¹이었는데, 이를 백색광에서의 104.1mg·L⁻¹와 비교해 볼 때 17.4mg·L⁻¹ 정도의 차이를 나타내었다.

(바) 붉은열무

붉은열무에서 총 페놀 함량은 백색광에서 89.0mg·L⁻¹으로 가장 높게 나타났다. 반면에 적색·청색광에서는 74.7mg·L⁻¹으로 백색광에 비해 14.3mg·L⁻¹의 차이를 나타냈다. 따라서 LED 광에 따라서 총 페놀 함량에 영향을 미치는 것으로 보이나 전반적으로 적색·청색광 처리구를 제외하면 광 처리는 무의미한 것으로 생각된다. 다만, 다른 목적으로 광 처리를 할 때는 적색·청색광을 제외하고는 대조와 통계적 차이를 나타내지 않았기 때문에 큰 문제가 없을 것으로 생각된다.

(2) 총 플라보노이드 함량

Table 3-57. Total flavonoid contents in the various sprout vegetables as affected by the LED colors as a light.

LEDs	Total flavonoid contents (mg·L ⁻¹)					
	Broccoli	Amaranth	Alfalfa	Rape	Red kohlrabi	Red radish
Blue (control)	72.6 a ^z	15.5 b	9.5 ab	72.5 a	111.0 ab	65.2 b
Green	60.6 ab	14.6 b	8.8 b	59.7 b	106.5 b	59.0 c
Red	57.1 b	18.4 ab	9.9 ab	48.6 c	114.8 ab	64.9 b
White	64.1 ab	14.8 b	10.1 a	70.9 a	82.0 c	66.5 b
Yellow	62.3 ab	11.1 c	8.3 b	47.2 c	107.7 b	64.0 b
Red·Blue	70.5 a	21.2 a	10.4 a	61.4 b	123.2 a	76.2 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

페놀은 독성이 강한 물질이나 페놀분자의 환상 구조에 치환기로서 수산기(-OH)가 더해짐에 따라 일반적으로 독성이 저하하고 항산화활성/라디칼소거 활성이 증가

하게 되는데, 이와 같은 페놀화합물의 대표적인 것이 플라보노이드이다(Lee와 Park, 2005). 플라보노이드는 담황색 또는 노란색을 띠는 색소화합물로서 식물 중에는 대부분 당과 결합된 배당체 형태로 존재하며, 항산화 작용, 순환기계 질환의 예방, 항염증, 항알레르기, 항균, 항바이러스, 지질저하 작용, 면역증강 작용 및 모세혈관 작용 등이 보고된 바 있다(Cha와 Cho, 2001; Park 등, 2008). 그러므로 우리가 생식용으로 섭취하는 새싹채소도 가능한 총 플라보노이드가 많이 함유되는 조건으로 생산하는 것이 좋을 것으로 판단되어 본 실험에서는 새싹채소 재배에 있어서 LED 광이 총 플라보노이드 함량에 미치는 영향을 조사한 결과를 Table 3-57에 제시하였다.

(가) 브로콜리

플라보노이드 함량이 높은 브로콜리 새싹 재배 조건 구명을 위해 LED 광이 새싹의 메탄올 추출물의 총 플라보노이드 함량에 미치는 영향을 조사한 결과, 청색광에서 $72.6\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 높게 나타났다. 플라보노이드 함량이 가장 낮은 것은 적색광에서 $57.1\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 를 나타내어 청색광과 $15.5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 차이를 나타내었다. 따라서 플라보노이드 함량이 높은 브로콜리 새싹채소를 생산하기 위해서는 LED 광별 처리를 하지 않거나 다른 목적으로 LED 광 처리를 할 때는 청색광을 조사하는 게 좋을 것으로 생각된다.

(나) 아마란서스

아마란서스 새싹에서 총 플라보노이드 함량은 적색·청색광에서 $21.2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 가장 많았다. 따라서 아마란서스의 새싹재배에서 총 플라보노이드 함량을 높이기 위해서는 적색·청색광을 조사하는 것이 효율적일 것으로 생각된다.

(다) 알팔파

알팔파 새싹에서 총 플라보노이드 함량은 대조에서 $10.9\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 가장 높게 나타났다. 총 플라보노이드 함량이 가장 낮은 것은 황색광 및 녹색광으로 각각 8.3 및 $8.8\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이었다. 이와 같이 알팔파의 경우 LED의 광에 관계없이 총 플라보노이드 함량이 전반적으로 낮아 LED 광과 플라보노이드는 서로 관계가 없는 것으로 여겨진다.

(라) 유채

유채 새싹에서 총 플라보노이드 함량은 청색광에서 $72.5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 가장 높게 나타났다. 총 플라보노이드 함량이 가장 낮은 것은 황색광으로 $47.2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 $25.3\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

의 차이를 나타냈으며, 녹색광에서 $59.7\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 $12.8\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 차이를 보여 LED 광이 총 플라보노이드 함량에 분명히 영향을 미친 것으로 나타났다. 따라서 총 플라보노이드 함량이 높은 유채를 새싹채소로 재배하려면 청색광을 이용하는 것이 효과적일 것으로 생각된다.

(마) 적콜라비

적콜라비 새싹에서 총 플라보노이드 함량은 적색·청색광에서 $123.2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 가장 높게 나타났다. 총 플라보노이드 함량이 가장 낮은 것은 백색광에서 $82.0\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 적색·청색광과 $41.2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 차이를 보여 광이 총 플라보노이드 함량에 분명히 영향을 미친 것으로 나타났다.

(바) 붉은열무

붉은열무 새싹에서 총 플라보노이드 함량은 적색·청색광에서 $76.2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 가장 높게 나타났다. 반면에 녹색광에서는 $59.0\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 가장 낮게 나타났다. 기타 광 처리에서는 $64.0\sim 66.5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 를 함유하고 있는 것으로 조사되었다.

(3) 항산화활성

최근 산화적 스트레스에 의해 기인한 많은 종류의 질병이 발생되고 있으며, 이와 관련하여 우수한 항산화 활성을 갖는 물질에 대한 탐색연구가 활발히 진행되고 있다(Yagi, 1987). 현재 널리 사용되고 있는 항산화제는 BHA(butylated hydroxy anisole)와 TBHQ(2-tert-butyl hydroquinone) 같은 합성품인데, 이들을 $50\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$ 이상의 고용량으로 장기간 복용시 지질대사의 불균형과 암을 유발시킬 수 있기 때문에 이들의 사용을 제한하고 있는 실정이다(Brane, 1975). 그러므로 이러한 합성 산화제를 대체시킬 수 있는 우수한 천연항산화제의 개발이 시급하게 요구되고 있다.

(가) 브로콜리

LED 광을 달리하여 재배한 브로콜리 새싹의 메탄올 추출물의 항산화활성을 조사한 결과(Table 58), 추출 $31\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 일 때는 백색광에서 4.9%로 다소 높게 나타났다. 브로콜리 새싹 메탄올 추출물의 $63\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이상의 농도에서는 광 처리 간에 차이가 뚜렷하게 나타나 백색광에서 가장 높게 나타났고, 녹색광에서 가장 낮게 나타났다. $1,000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 농도에서는 백색광의 경우 92.5%의 항산화활성을 보였으나 그 외의 광 처리에서는 81.1% 이하의 항산화활성을 나타내었다. 이와 같은 결과로 볼 때, 브

로콜리 새싹 재배에서 백색광 처리가 다른 광 처리에 비해 상대적으로 높은 항산화 효과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

Table 3-58. DPPH radical scavenging activity of broccoli sprouts as affected by the LED colors as a light.

LEDs	DPPH radical scavenging activity (mg·L ⁻¹)							RC ₅₀ ^y
	31	63	125	250	500	1,000	2,000	
Blue (control)	2.8 b ^z	1.9 c	14.2 b	27.3 b	50.0 b	78.5 b	88.9 b	497.3 bc
Green	2.8 b	1.7 c	12.3 c	22.8 c	42.2 c	68.0 c	87.3 b	679.6 a
Red	2.9 b	1.8 c	12.9 c	24.2 c	43.7 c	71.2 bc	86.6 b	642.0 a
White	4.9 a	7.0 a	21.7 a	40.9 a	74.3 a	92.5 a	93.5 a	323.0 d
Yellow	3.3 ab	3.5 b	14.1 b	26.4 b	49.0 bc	76.7 b	88.9 b	509.1 b
Red·Blue	3.4 ab	3.1 b	13.9 b	26.5 b	48.4 bc	76.9 b	88.4 b	514.7 b

^zMean separation within column by Duncan's multiple range test at 5% level.

^yExtract concentrations (mg·L⁻¹), which show 50% activity of DPPH radical scavenging, were determined by interpolation.

(나) 아마란서스

아마란서스 새싹에 대한 메탄올 추출물의 항산화활성을 조사한 결과(Table 3-59), 추출물이 1,000mg·L⁻¹일 때는 광에 따라 다소간에 차이가 있었으나 전체적으로 21.5% 이하로 낮은 경향을 나타내었다. 아마란서스 추출물 2,000mg·L⁻¹의 농도에서도 24.0~36.1%의 항산화활성을 나타냈는데, 적색·청색광과 적색광에서 각각 36.1%와 34.4%로 높게 나타났으며, 황색광에서는 24.0%로 낮게 나타났다. 그러므로 아마란서스 의 종자를 이용한 새싹채소 재배시 적색·청색광과 적색광에서 전자 공여능을 높일 수 있다는 점에서 의미가 있다고 판단되나 아마란서스 추출물 자체가 다른 식물에 비해 항산화활성이 다소 낮은 점을 고려해야 될 것으로 생각된다.

한편, Heo 등(2007)은 한국에서 나물용으로 많이 이용되는 11종류의 식물에 대해 총페놀 함량과 항산화활성을 조사한 결과 총페놀 함량이 높은 것은 항산화활성도 높다고 하였는데, 본 연구 결과에서도 추출물의 농도가 2,000mg·L⁻¹일 때 총페놀 함량이 94.1mg·L⁻¹를 보인 적색·청색광에서 36.1% 정도의 항산화 활성을 보였으며, 총페놀 함량이 93.0mg·L⁻¹으로 나타난 청색광에서도 34.4%의 항산화 활성을 보였다.

Table 3-59. DPPH radical scavenging activity of amaranth sprouts as affected by the LED colors as a light.

LEDs	DPPH radical scavenging activity (mg·L ⁻¹)							RC ₅₀ ^y
	31	63	125	250	500	1,000	2,000	
Blue (control)	0.0 b ^z	0.4 c	0.7 c	3.2 b	12.1 a	21.5 a	34.4 a	3,037
Green	0.0 b	0.0 d	0.0 d	2.6 c	8.7 b	13.4 bc	26.2 b	4,042
Red	0.6 a	0.6 ab	2.1 a	3.5 b	4.3 bc	16.5 b	30.8 ab	3,073
White	0.5 a	0.9 a	2.3 a	5.3 a	4.0 bc	17.0 b	30.5 ab	3,444
Yellow	0.6 a	0.3 c	2.3 a	3.5 b	2.7 c	11.9 c	24.0 c	4,149
Red·Blue	0.0 b	0.6 ab	1.7 b	4.8 ab	10.0 a	19.0 ab	36.1 a	2,818

^zMean separation within column by Duncan's multiple range test at 5% level.

^yExtract concentrations (mg·L⁻¹), which show 50% activity of DPPH radical scavenging, were determined by interpolation.

(다) 알팔파

알팔파 새싹에 대한 메탄올 추출물의 항산화활성을 조사한 결과(Table 3-60), 추출액 1,000mg·L⁻¹의 농도에서도 16.2% 이하를 나타냈다. 2,000mg·L⁻¹의 농도에서도 항산화활성은 30.0% 이하를 나타냈는데, 백색광에서 29.2%로 가장 높았고, 녹색광이 26.1%로 가장 낮은 항산화활성을 보여 광 처리간에 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다. 이는 근본적으로 알팔파의 항산화활성이 낮기 때문인 것으로 생각된다.

Table 3-60. DPPH radical scavenging activity of alfalfa sprouts as affected by the LED colors as a light.

LEDs	DPPH radical scavenging activity (mg·L ⁻¹)							RC ₅₀ ^y
	31	63	125	250	500	1,000	2,000	
Blue (control)	0.2 b ^z	0.5 b	1.3 c	3.1c	6.0 b	12.6 b	26.5 b	3,718.0 b
Green	0.0 c	0.2 c	1.4 c	3.4 c	6.2 b	13.3 ab	26.1 b	3,803.0 ab
Red	0.1 b	0.6 b	2.3 b	4.7 b	7.3 ab	14.8 ab	28.8 a	3,475.5 c
White	0.0 c	0.9 b	2.1 b	4.3 b	7.0 ab	13.8 ab	29.2 a	3,402.6 c
Yellow	3.5 a	3.7 a	4.7 a	6.7 a	10.2 a	15.9 a	27.3 ab	3,991.2 a
Red·Blue	3.1 a	3.5 a	4.1 a	6.2 a	9.9 a	16.2 a	29.1 a	3,636.7 b

^zMean separation within column by Duncan's multiple range test at 5% level.

^yExtract concentrations (mg·L⁻¹), which show 50% activity of DPPH radical scavenging, were determined by interpolation.

(라) 유채

유채 새싹에 대한 메탄올 추출물의 항산화활성은 전반적으로 125mg·L⁻¹의 농도에 서는 11.7% 이하를 나타내었다(Table 3-61).

Table 3-61. DPPH radical scavenging activity of rape sprouts as affected by the LED colors as a light.

LEDs	DPPH radical scavenging activity (mg·L ⁻¹)							RC ₅₀ ^y
	31	63	125	250	500	1,000	2,000	
Blue (control)	2.5 b ^z	6.3 ab	11.7 b	25.9 a	46.6 a	74.2 a	90.0 a	600.6 c
Green	2.2 b	5.6 b	9.5 c	22.6 ab	41.1 ab	67.1 ab	87.9 ab	692.9 ab
Red	2.9 ab	5.3 b	10.1 b	19.7 b	34.7 b	55.3 c	85.3 b	871.2 a
White	4.2 a	7.6 a	14.4 a	26.8 a	46.5 a	72.0 a	90.3 a	610.3 c
Yellow	3.6 ab	5.8 b	11.3 b	21.3 ab	36.5 b	58.1 c	85.0 b	819.5 ab
RedBlue	2.8 b	5.6 b	11.3 b	22.4 ab	41.0 ab	66.8 b	88.4 ab	697.0 bc

^zMean separation within column by Duncan's multiple range test at 5% level.

^yExtract concentrations (mg·L⁻¹), which show 50% activity of DPPH radical scavenging, were determined by interpolation.

500mg·L⁻¹ 이상의 농도에서는 LED 광 처리에 따른 차이가 뚜렷해 청색광과 백색광에서는 각각 46.6% 및 46.5%로 다른 광 처리 보다 높은 경향을 보인 반면에 적색광과 황색광은 각각 34.7% 및 36.5%로 상대적으로 낮은 경향을 보였다. 2,000mg·L⁻¹의 농도에서 백색광은 90.3%, 청색광은 90.0%를 나타낸 반면에 황색광과 적색광은 각각 85.0%, 85.3%를 나타내었다. DPPH(α, α -diphenyl- β -picryl-hydrazyl) 농도가 1/2로 감소하는데 필요한 시료의 양을 나타내는 RC₅₀ 또한 백색광에서 610.3mg·L⁻¹로 가장 적은 양을 나타내었다. 따라서 유채 종자를 이용한 새싹채소 재배시 항산화 활성이 높은 새싹을 생산하기 위해서는 백색광을 처리 하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

(마) 적콜라비

적콜라비 새싹에 대한 메탄올 추출물의 항산화활성을 조사한 결과(Table 3-62), 추출물이 31mg·L⁻¹일 때는 광에 따라 다소간에 차이가 있었으나 63mg·L⁻¹ 이상의 농도에서는 백색광을 제외하고는 광에 따른 차이가 뚜렷하지 않았다. 백색광을 제외하고는 광에 따른 차이가 거의 없는 반면에 추출물의 농도에 따른 차이는 커서 1,000mg·L⁻¹의 농도에서는 백색광을 제외하고는 89.3% 이상의 항산화 활성을 나타내었다.

Table 3-62. DPPH radical scavenging activity of red kohlrabi sprouts as affected by the LED colors as a light.

LEDs	DPPH radical scavenging activity (mg·L ⁻¹)							RC ₅₀ ^y
	31	63	125	250	500	1,000	2,000	
Blue (control)	7.4 a ^z	12.6 a	23.9 a	43.8 a	74.4 a	90.4 a	91.8 a	300.6 c
Green	6.6 b	11.4 a	22.3 a	41.5 a	71.5 ab	90.7 a	91.9 a	329.4 bc
Red	5.4 bc	12.3 a	24.0 a	39.6 ab	75.1 a	91.5 a	92.2 a	319.1 bc
White	3.7 c	7.1 b	14.8 b	22.2 b	50.4 b	78.6 b	89.9 b	505.6 a
Yellow	6.1 b	12.0 a	23.9 a	39.1 ab	74.4 a	91.4 a	92.1 a	322.6 bc
Red·Blue	5.9 bc	12.0 a	24.6 a	47.4 a	78.2 a	91.2 a	91.7 a	291.2 c

^zMean separation within column by Duncan's multiple range test at 5% level.

^yExtract concentrations (mg·L⁻¹), which show 50% activity of DPPH radical scavenging, were determined by interpolation.

(바) 붉은열무

붉은열무 새싹에 대한 메탄올 추출물의 항산화활성을 조사한 결과 1,000mg·L⁻¹ 농도까지는 광에 따라 차이를 나타내어 녹색광과 황색광에서 항산화활성이 낮게 나타났다(Table 3-63). 그러나 2,000mg·L⁻¹의 농도에서는 광의 종류나 대조와의 항산화활성 차이는 거의 없었다.

Table 3-63. DPPH radical scavenging activity of red radish sprouts as affected by the LED colors as a light.

LEDs	DPPH radical scavenging activity (mg·L ⁻¹)							RC ₅₀ ^y
	31	63	125	250	500	1,000	2,000	
Blue (control)	3.2 a ^z	6.5 a	12.5 a	25.3 a	44.8 ab	73.1 a	90.2 a	619.6
Green	2.5 b	5.3 ab	11.1 b	21.0 b	41.1 b	67.4 b	89.4 a	696.6
Red	2.7 ab	5.8 ab	12.4 a	24.6 a	46.6 a	73.5 a	89.9 a	605.3
White	2.9 ab	6.1 ab	12.7 a	24.5 a	45.8 ab	73.1 a	89.2 a	618.4
Yellow	2.1 b	4.6 b	11.9 b	23.0 ab	43.9 ab	70.9 ab	89.7 a	648.0
Red·Blue	3.3 a	6.4 a	13.7 a	25.9 a	47.0 a	75.9 a	90.3 a	589.4

^zMean separation within column by Duncan's multiple range test at 5% level.

^yExtract concentrations (mg·L⁻¹), which show 50% activity of DPPH radical scavenging, were determined by interpolation.

(4) 아질산염 소거능

식품의 가공 및 저장 중에 널리 이용되고 있는 아질산염은 단백질 식품, 의약품 및 잔류농약 등에 함유되어 2급 및 3급 아민과 반응하여 독성물질로 알려진 nitrosamine을 생성하며, 일정 농도 이상 섭취하게 되면 혈액 중의 헤모글로빈이 산화되어 메트헤모글로빈을 형성하여 각종 질병을 일으키는 것으로 알려져 이에 대한 생성억제 방법이 모색되고 있다(Normington 등, 1986).

따라서 본 실험에서는 새싹채소 재배에 있어서 LED 광이 아질산염 소거능에 미치는 영향을 조사하여 Table 64에 나타내었다.

(가) 브로콜리

LED 광을 달리하여 재배한 브로콜리 새싹에 대한 메탄올 추출물의 아질산염 소거 효과를 분석한 결과, 추출물 $500\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 에서는 황색광 에서 66.9%로 가장 높게 나타났으며, 녹색광는 59.8%가 가장 적게 나타났다. 통계적으로는 녹색광을 제외한다 LED 광 처리와 대조는 차이를 보이지 않았다.

따라서 브로콜리 새싹생산에 있어 LED 광 종류별 차이는 뚜렷하지 않았지만 브로콜리 자체가 아질산염 소거능을 갖고 있는 것으로 나타나 브로콜리 새싹의 섭취는 아질산염 소거에 어느 정도 도움이 될 것으로 생각된다.

(나) 아마란서스

아마란서스 새싹에 대한 메탄올 추출물 $500\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 아질산염 소거능을 조사한 결과, 황색광에서 57.4%로 가장 높았다. 가장 낮은 아질산염소거를 나타낸 것은 청색광으로 36.7%를 나타내 황색광과 20.7%의 차이를 보였다.

이와 같은 결과로 볼 때, LED의 황색광에 의해 생산된 아마란서스 새싹은 아질산염 소거능이 높으나 이에 대한 보다 세밀한 연구와 적극적인 활용이 필요할 것으로 생각된다.

(다) 알팔파

알팔파 새싹에 대한 메탄올 추출물 $500\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 아질산염 소거율은 백색광 처리에서 60.0%로 가장 높게 나타났다. 아질산염 소거가 낮게 나타난 광은 청색광(49.0%), 적색광(51.6%) 였는데, 백색광에 비해 약 10% 정도의 차이를 보였다.

(라) 유채

유채의 새싹 재배시 LED 광이 새싹의 메탄올 추출물 500mg·L⁻¹의 아질산염 소거율은 백색광에서 65.3%로 가장 높았다. 가장 낮은 아질산염 소거율을 나타낸 광은 적색광으로 57.4%를 나타내어 백색광과 7.9%의 차이를 보였다. 그러므로 유채 종자를 이용한 새싹재배에 있어 아질산염 소거율이 높은 것을 생산하고자 할 때는 LED의 백색광 또는 청색광을 이용하는 것이 좋은 것으로 나타났다.

(마) 적콜라비

LED 광을 달리하여 재배한 적콜라비 새싹의 메탄올 추출물의 아질산염 소거 효과를 분석한 결과, 500mg·mL⁻¹에서는 청색광과 백색광 처리구를 제외하고는 60% 이상을 나타냈다. Bae 등(2002)은 비파 부위별 다양한 용매 추출물의 아질산염 소거를 조사한 결과 핵산, 클로로포름, 물 추출물에 비해 메탄올 추출물에서 효과가 높게 나타났다고 하여 적콜라비도 추출용매에 따라 차이가 있을 것으로 생각된다.

(바) 붉은열무

붉은열무 새싹에 대한 메탄올 추출물의 아질산염 소거능율은 황색광에서 69.85%로 가장 높게 나타났다. 아질산염 소거가 가장 낮게 나타난 것은 청색광으로 54.71%를 보여 황색광에 비해 15.2%의 차이를 나타냈다. 그러나 다른 광에서는 황색광에 비해 다소 낮은 소거율을 나타냈지만 통계적으로는 유의성을 보이지 않았다.

Table 3-64. Nitrite radical scavenging activity of the various sprout vegetables as affected by the LED colors as a light.

LEDs	Nitrite radical scavenging activity (% of control, in 500mg·L ⁻¹)					
	Broccoli	Amaranth	Alfalfa	Rape	Red kohlrabi	Red radish
Blue (control)	60.8 ab ^z	36.7 c	49.0 b	64.4 a	59.8 ab	54.71 b
Green	59.8 b	48.4 b	51.6 b	61.0 ab	63.4 a	69.15 a
Red	61.5 ab	44.9 b	49.7 b	57.4 b	62.4 a	62.55 ab
White	61.6 ab	46.9 b	60.0 a	65.3 a	58.3 ab	69.05 a
Yellow	66.9 a	57.4 a	54.6 ab	60.6 ab	62.4 a	69.85 a
Red-Blue	63.2 a	41.7 bc	58.4 a	64.7 a	60.4 a	66.93 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

(5) Tyrosinase 저해 활성

Melanin은 동식물과 미생물계에 널리 존재하는 고분자의 천연색소로 생물체에 따라 다양한 종류가 알려져 있으며, 페놀류의 효소적, 비효소적 산화 및 중합반응 등의 다단계 과정을 거쳐 생성된다(Jung 등, 1995). 멜라닌 색소의 주된 생성 과정의 생합성 경로는 tyrosine을 출발물질로 하여 tyrosinase의 효소작용에 의해서 생성되는 dopaquinone 등의 유도체를 경유하여 아미노산 및 단백질과의 중합반응으로 생성된다(Lerner와 Fitzpatrick, 1950; Pawelek와 Korner, 1982). 이와 반대로 멜라닌 생성 억제작용은 멜라닌 생성의 효소인 tyrosinase 효소 자체를 직접 억제하는 유형과 세포로부터 분리한 tyrosinase에 대해서는 직접적인 억제를 나타내지 않지만 피부 색소 세포내에서 멜라닌 생성을 억제하는 유형이 있다(Kahn과 Andrawis, 1985; Tomita 등, 1990). 이 생합성을 억제하는 생물체를 원료로 사용하는 식품산업을 비롯하여 생물의 갈변화 현상에 관련된 화장품 제조업, 제약업에서는 갈변화 현상의 초기 단계인 효소적 산화반응에 대한 제어가 관심의 대상이 되고 있다.

따라서 본 실험에서는 새싹채소 재배에 있어서 LED 광이 tyrosine 저해 활성에 미치는 영향을 구명하고자 실시한 결과를 Table 3-65에 나타내었다.

Table 3-65. Mushroom tyrosinase inhibition activity of the various sprout vegetables as affected by the LED colors as a light.

LEDs	Mushroom tyrosinase inhibition activity (% of control, in 2,000mg·L ⁻¹)					
	Broccoli	Amaranth	Alfalfa	Rape	Red kohlrabi	Red radish
Blue (control)	13.7 a ^z	0.0 c	6.3 b	14.5 b	12.0 a	18.0 a
Green	13.7 a	4.4 a	8.0 a	22.5 a	5.1 d	17.9 a
Red	14.5 a	3.5 ab	3.6 c	2.6 e	8.5 b	15.9 b
White	12.8 ab	4.4 a	3.6 c	10.4 c	8.5 b	16.2 ab
Yellow	10.3 b	1.8 b	3.6 c	2.6 e	6.8 c	17.7 a
Red:Blue	12.8 ab	0.9 b	3.6 c	6.1 d	6.0 cd	17.1 a

^zMean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

(가) 브로콜리

브로콜리 새싹에 대한 메탄올 추출물 tyrosinase 저해 활성 정도는 적색광에서 14.5%로 가장 높게 나타났다. Tyrosinase 저해율이 가장 낮게 나타난 광은 황색광으로 10.3%를 보였으나 타 처리에 비해 차이는 그다지 크지 않았다. 따라서 브로콜

리 종자를 받아시킨 새싹에 대한 메탄올 추출물의 미백효과는 뛰어나지 않는 것으로 추정된다.

한편, Jung 등(1995)은 29종류의 채소를 대상으로 tyrosinase 저해 활성율을 조사한 결과, 무순 96%, 레드치커리 65%, 냉이 59%, 쪽파 51%, 브로콜리가 49%로 5위라고 보고하였으나 본 연구에서 14.5% 이하로 낮게 나타났는데, 이는 추물용매와 더불어 어린새싹을 시료로 사용한 차이에 의한 것으로 추정되며 추후 정확한 검토가 요구된다.

(나) 아마란서스

아마란서스 새싹에 대한 메탄올 추출물 $2,000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 tyrosinase 활성저해 정도는 4.4% 이하로 매우 낮았으며 광 처리간 차이도 미미하였다. 이와 같이 tyrosinase 활성저해 효과가 낮다는 것은 미백효과가 미흡하다는 것을 의미하는데, 아마란서스 새싹의 추출물은 전반적으로 tyrosinase 활성저해 효과가 낮게 나타난 결과로 볼 때, LED 광 종류에 따른 tyrosinase 활성저해 효과는 큰 의미가 없는 것으로 판단되었다.

(다) 알팔파

알팔파의 새싹재배시 LED 광이 새싹의 메탄올 추출물 tyrosinase의 저해활성에 미치는 영향은 녹색광에서 8.0%로 가장 높았으며 청색광에서는 6.3%를, 그 외 처리에서는 3.6%를 나타내었다. 이처럼 알팔파 메탄올 추출물의 tyrosinase 저해활성은 광에 처리에 따라 다소 차이가 있었지만 전체적으로는 낮은 경향을 나타내었다.

(라) 유채

유채 새싹에 대한 메탄올 추출물 $2,000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이 tyrosinase 활성저해에 미치는 정도는 22.5%를 나타낸 녹색광을 제외하고는 모두 14.5% 이하의 저해활성을 나타냈다. 보통 색소의 침착, 주근깨 등을 유발하는 멜라닌 색소의 생합성 경로는 tyrosine 으로부터 tyrosinase의 효소작용에 의해서 생성되는 dopaquinone 등의 유도체를 경유하여 아미노산 및 단백질과의 중합반응으로 생성된다(Pawełek과 Korner, 1982). 그러므로 tyrosinase 활성저해 효과가 높은 것은 미백효과가 높음을 의미하므로 미백 효과가 높은 유채 새싹을 생산하기 위해서는 녹색광을 처리하여 재배하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

이상의 결과를 종합해 보면 LED 광을 달리하여 유채의 새싹을 재배한 결과, 서로 상이한 광 조사는 특성의 생리활성물질 함유량에 영향을 미치는 것으로 밝혀져 이를 실용적으로 이용하는 것도 무리가 없을 것으로 생각된다.

(마) 적콜라비

적콜라비 추출물의 tyrosinase의 활성 저해 정도는 LED 광에 따른 차이를 나타내어 청색광에서 자란 것이 12.0%로 가장 높은 저해율을 나타내었다. 녹색광에서 자란 싹은 5.1%로 가장 낮은 저해율을 나타냈으며, 다른 광에서도 6.0~85.%의 저해율을 나타내었다. 이와 같은 LED 광에 따라 tyrosinase의 활성저해 효과가 달라진 결과는 LED의 광에 따라 tyrosinase의 활성저해 효과를 높이는 재배가 가능함을 나타내는 것으로 매우 의미있는 결과인 것으로 해석된다.

(바) 붉은열무

붉은열무의 새싹 재배시 LED 광이 새싹의 메탄올 추출물에 대한 tyrosinase 저해 활성정도는 청색광에서 18.0%로 가장 높게 나타났다. 대조의 저해 활성정도는 13.7%로 가장 낮게 나타났으나 적색광에서 15.9%, 백색광에서 16.2%, 적색.청색광에서 17.1%로 나타나 LED 광에 따른 차이는 크지 않았다.

(6) 항균활성

(가) 브로콜리

Table 3-66. Anti-microbial activity of broccoli sprouts against the gram-positive and gram-negative bacterial strains as affected by the LED colors as a light.

Strain	Inhibition zone (mm) per microorganism					
	Blue (control)	Yellow	Red	White	Green	Red+blue
<i>Gram positive bacteria</i>						
<i>Bacillus cereus</i>	9.1 ab ^z	9.7 ab	8.1 b	9.4 ab	10.1 a	8.0 b
<i>Bacillus subtilis</i>	8.3 b	8.9 a	8.2 b	8.2 b	8.2 b	8.2 b
<i>Listeria monocytogenes</i>	8.2 c	9.8 ab	8.3 c	10.5 a	10.3 a	10.0 ab
<i>Streptococcus mutans</i>	9.2 ab	9.1 ab	8.3 b	10.2 a	10.6 a	10.4 a
<i>Staphylococcus aureus</i>	10.0 a	9.7 b	10.2 a	9.9 ab	10.3 a	10.1 ab
<i>Gram negative bacteria</i>						
<i>Escherichia coli</i>	9.3 ab	10.1 a	8.1 b	8.8 b	9.7 ab	8.1 b
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	8.3 b	8.1 b	8.1 b	9.9 ab	10.3 a	8.1 b
<i>Salmonella enteritidis</i>	8.1 b	10.3 a	8.3 b	10.2 a	8.1 b	8.2 b

^zMean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

LED 광을 달리하여 재배한 브로콜리를 75%의 메탄올에서 추출하여 식중독 등을 일으키는 유해균에 대한 항균활성을 측정하였다(Table 3-66).

그람양성균은 8.0~10.6mm의 저해환을, 그람음성균은 8.1~10.2mm의 저해환을 나타냈다. 그람양성균 중 가장 큰 저해환을 나타낸 것은 *Staphylococcus aureus*로 9.9~10.3mm이었다. *Staphylococcus aureus*는 상처 감염하며, 부패, 악취에 관여하고 독성을 나타낸다(Park 등, 2005)는 점에서 브로콜리 섭취는 다소나마 *Staphylococcus aureus*의 감염 예방에 도움이 될 것으로 생각된다. 그람음성균 중 가장 큰 저해환을 나타낸 것은 녹농균인 *Pseudomonas aeruginosa*로 8.1~10.3mm이었다. LED 광에 따른 항균활성은 그람양성균의 경우, 전반적으로 녹색광에서 재배한 것에서 높은 항균활성을 나타냈으나 그람음성균에서는 *Pseudomonas aeruginosa*은 녹색광에서, *Escherichia coli*와 *Salmonella enteritidis*는 황색광에서 재배한 것에서 높은 항균활성을 나타냈다.

(나) 아마란서스

아마란서스의 메탄올 추출물을 식중독 등을 일으키는 유해균에 대해 항균활성을 측정한 결과(Table 3-67), 그람양성균은 8.1~9.7mm의 저해환을, 그람음성균은 8.5~10.2mm의 저해환을 나타냈다.

Table 3-67. Anti-microbial activity of amaranth sprouts against the gram-positive and gram-negative bacterial strains as affected by the LED colors as a light.

Strain	Inhibition zone (mm) per microorganism					
	Blue (control)	Yellow	Red	White	Green	Red+blue
<i>Gram positive bacteria</i>						
<i>Bacillus cereus</i>	8.9 ab ²	9.2 a	8.3 b	8.3 b	8.9 ab	8.9 ab
<i>Bacillus subtilis</i>	9.3 ab	9.0 ab	8.3 b	8.2 b	8.1 b	9.5 a
<i>Listeria monocytogenes</i>	9.6 a	9.4 a	9.2 a	8.1 b	8.1 b	8.1 b
<i>Streptococcus mutans</i>	8.9 ab	8.4 b	8.4 b	8.5 b	9.6 a	9.7 a
<i>Staphylococcus aureus</i>	9.5 a	8.6 ab	8.5 ab	9.3 a	8.9 ab	8.1 b
<i>Gram negative bacteria</i>						
<i>Escherichia coli</i>	10.2 a	9.7 ab	9.2 b	8.9 c	8.9 c	9.6 ab
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	9.0 ab	8.9 b	8.9 b	8.6 b	9.8 a	9.1 ab
<i>Salmonella enteritidis</i>	9.2 a	9.2 a	9.3 a	8.3 b	8.5 b	8.5 b

²Mean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

그람양성균은 균의 종류간의 항균활성 차이는 크지 않은 가운데, 식중독 원인균인 *Bacillus cereus*와 저온에서도 생육하여 냉동, 냉장 식품에서 오염의 원인이 되는 *Listeria monocytogenes*(Park 등, 2008a)은 황색광에서, 충치균인 *Streptococcus mutans*와 *Bacillus subtilis*는 적색·청색광에서, *Staphylococcus aureus*는 청색광에서 상대적으로 높은 항균활성을 나타내었다. 그람음성균은 *Escherichia coli*의 경우 청색광에서, 녹농균인 *Pseudomonas aeruginosa*은 녹색광에서, *Salmonella enteritidis*는 적색광으로 재배한 것에서 높은 항균활성을 나타냈다

(다) 알팔파

알팔파의 메탄올 추출물을 식중독 등을 일으키는 유해균에 대해 항균활성을 측정 한 결과(Table 3-68), 그람양성균은 8.1~9.9mm의 저해환을, 그람음성균은 8.2~9.6mm의 저해환을 나타냈다.

Table 3-68. Anti-microbial activity of alfalfa sprouts against the gram-positive and gram-negative bacterial strains as affected by the LED colors as a light.

Strain	Inhibition zone (mm) per microorganism					
	Blue (control)	Yellow	Red	White	Green	Red+blue
<i>Gram positive bacteria</i>						
<i>Bacillus cereus</i>	9.8 a ^z	9.4 ab	8.1 b	9.8 a	9.7 a	9.7 a
<i>Bacillus subtilis</i>	8.5 b	8.5 b	8.3 b	9.9 a	8.4 b	9.3 ab
<i>Listeria monocytogenes</i>	8.7 b	8.7 b	8.6 a	8.9 ab	8.9 ab	9.2 a
<i>Streptococcus mutans</i>	9.0 a	8.9 a	8.8 a	9.2 a	8.3 b	8.3 b
<i>Staphylococcus aureus</i>	9.7 a	8.9 b	8.8 a	8.4 b	8.6 b	8.9 b
<i>Gram negative bacteria</i>						
<i>Escherichia coli</i>	9.0 ab	8.5 b	8.7 a	9.2 a	9.1 a	9.2 a
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	8.5 b	8.9 ab	8.8 a	8.8 ab	9.4 a	9.6 a
<i>Salmonella enteritidis</i>	8.5 b	8.4 b	8.2 b	9.4 a	9.2 a	9.5 a

Mean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

그람양성균과 그람음성균 모두 균 간의 항균활성 차이는 크지 않은 가운데, 그람양성균에서는 청색광에서 항균활성이 높게 나타난 *Staphylococcus aureus*을 제외한 3종의 균은 모두 백색광에서 상대적으로 높은 항균활성을 나타냈다. 그람음성균은

Escherichia coli, *Pseudomonas aeruginosa* 및 *Salmonella enteritidis* 3종 모두 9.2, 9.6 및 9.5mm로 적색·청색광에서 다른 광 처리에 비해 상대적으로 높은 항균활성을 나타내었다.

(라) 유채

LED 광을 달리하여 재배한 유채 새싹의 메탄올 추출물의 항균활성을 측정한 결과(Table 3-69), 그람양성균과 그람음성균은 8.1~10.4mm의 저해환을 나타냈다.

Table 3-69. Anti-microbial activity of rape sprouts against the gram -positive and gram-negative bacterial strains as affected by the LED colors as a light.

Strain	Inhibition zone (mm) per microorganism					
	Blue (control)	Yellow	Red	White	Green	Red+blue
<i>Gram positive bacteria</i>						
<i>Bacillus cereus</i>	9.3 a ^z	8.3 b	8.3 b	8.3 b	8.3 b	8.2 b
<i>Bacillus subtilis</i>	8.2 a	8.2 a	8.1 b	8.2 a	8.2 a	8.2 a
<i>Listeria monocytogenes</i>	10.3 a	8.3 b	10.4 a	8.1 b	8.1 b	8.1 b
<i>Streptococcus mutans</i>	8.2 b	10.5 a	8.3 b	8.1 b	8.1 b	8.1 b
<i>Staphylococcus aureus</i>	8.2 a	8.3 a	8.2 a	8.2 a	8.2 a	8.3 a
<i>Gram negative bacteria</i>						
<i>Escherichia coli</i>	8.2 a	8.1 a	8.2 a	8.2 a	8.3 a	8.1 a
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10.4 a	8.6 ab	8.8 ab	8.0 b	8.1 b	8.1 b
<i>Salmonella enteritidis</i>	9.7 a	8.0 b	8.1 b	8.3 b	8.2 b	8.2 b

^zMean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

그람양성균과 그람음성균 모두 균의 종류에 따른 항균활성은 뚜렷하지 않았으나 광에 따른 차이는 다소 나타내었다. 즉, 그람양성균에서 *Bacillus cereus*은 청색광에서 9.3mm의 저해환을, *Streptococcus mutans*은 황색광에서 10.4mm의 저해환을 나타내어 다른 광에 비해 상대적으로 높은 항균활성을 나타내었다. 또 그람음성균에서는 *Pseudomonas aeruginosa*와 *Salmonella enteritidis*이 청색광에서 각각 10.4와 9.7mm 저해환을 나타내어 다른 광 처리에서 재배한 것에 비해 높은 항균활성을 나타내었다.

(마) 적콜라비

LED 광을 달리하여 재배한 적콜라비 새싹의 메탄올 추출물의 항균활성을 측정한 결과(Table 3-70), 그람양성균은 8.1~10.5mm의 저해환을, 그람음성균은 8.1~9.5mm의 저해환을 나타냈다.

Table 3-70. Anti-microbial activity of red kohlrabi sprouts against the gram-positive and gram-negative bacterial strains as affected by the LED colors as a light.

Strain	Inhibition zone (mm) per microorganism					
	Blue (control)	Yellow	Red	White	Green	Red+blue
<i>Gram positive bacteria</i>						
<i>Bacillus cereus</i>	8.2 b ²	9.6 a	9.0 ab	8.2 b	8.1 b	8.1 b
<i>Bacillus subtilis</i>	10.5 b	10.3 b	9.7 bc	12.2 a	8.2 c	8.2 c
<i>Listeria monocytogenes</i>	8.2 b	10.5 a	9.5 ab	8.1 b	8.3 b	8.3 b
<i>Streptococcus mutans</i>	8.2 b	8.7 a	8.0 b	8.1 b	8.1 b	8.1 b
<i>Staphylococcus aureus</i>	8.9 ab	10.5 a	9.3 ab	8.2 b	8.2 b	8.2 b
<i>Gram negative bacteria</i>						
<i>Escherichia coli</i>	9.5 a	9.4 a	8.2 b	8.2 b	8.2 b	9.4 a
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	8.1 a	8.1 a	8.1 a	8.2 a	8.1 a	8.1 a
<i>Salmonella enteritidis</i>	8.1 a	8.1 a	8.1 a	8.2 a	8.2 a	8.1 a

²Mean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

그람양성균 중 가장 큰 저해환을 나타낸 것은 *Bacillus subtilis*로 8.1~10.5mm를 나타냈으며, 그람음성균 중 저해환이 가장 큰 것은 *Escherichia coli*로 8.2~9.5mm를 나타내었다.

광에 따라서도 항균활성에 차이를 보여 그람양성균 중 *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*과 *Staphylococcus aureus*는 황색광에서, *Bacillus subtilis*은 적색광에서 높은 항균활성을 나타내었으며, 그람음성균 중 *Escherichia coli*은 청색광에서, *Pseudomonas aeruginosa*와 *Salmonella enteritidis*는 백색광에서 항균활성이 높게 나타났다.

(바) 붉은열무

LED 광을 달리하여 재배한 붉은열무 새싹의 메탄올 추출물의 항균활성을 측정한

결과(Table 3-71), 그람양성균은 8.3~13.7mm의 저해환을, 그람음성균은 8.6~11.4mm의 저해환을 나타냈다.

Table 3-71. Anti-microbial activity of red radish sprouts against the gram-positive and gram-negative bacterial strains as affected by the LED colors as a light.

Strain	Inhibition zone (mm) per microorganism					
	Blue (control)	Yellow	Red	White	Green	Red+blue
<i>Gram positive bacteria</i>						
<i>Bacillus cereus</i>	10.8 ab ^z	9.9 b	9.8 b	11.3 a	11.7 a	12.3 a
<i>Bacillus subtilis</i>	9.1 ab	9.6 ab	8.4 b	11.6 a	11.7 a	12.2 a
<i>Listeria monocytogenes</i>	11.1 a	9.7 ab	8.2 b	8.9 b	10.1 ab	11.1 a
<i>Streptococcus mutans</i>	10.9 a	9.9 b	9.9 b	9.5 b	10.7 a	10.9 a
<i>Staphylococcus aureus</i>	13.7 a	11.9 b	11.8 b	11.3 b	11.6 b	12.6 ab
<i>Gram negative bacteria</i>						
<i>Escherichia coli</i>	9.2 ab	8.7 b	8.6 b	10.5 a	10.9 a	11.4 a
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	9.9 a	9.2 ab	8.7 b	8.7 b	9.8 a	9.9 a
<i>Salmonella enteritidis</i>	9.4 b	11.4 a	9.6 b	9.2 b	9.5 b	9.9 b

^zMean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

그람양성균 중 가장 큰 저해환을 나타낸 것은 *Staphylococcus aureus*로 11.3~13.7mm이었으며, 그람음성균 중 가장 큰 저해환을 나타낸 것은 *Salmonella enteritidis*로 9.2~11.4mm였다.

LED 광에 따른 항균활성은 그람양성균의 경우 녹색광에서 저해환이 13.7mm로 크게 나타난 *Staphylococcus aureus*균을 제외하고는 모두 적색·청색광에서 가장 높은 항균활성을 나타냈으며, 그람음성균은 *Escherichia coli*과 *Pseudomonas aeruginosa*는 적색·청색광에서, *Salmonella enteritidis*는 황색광에서 가장 높은 항균활성을 나타내었다.

이상의 결과 6종의 새싹채소 추출물은 새싹채소의 종류, LED 광에 따른 차이는 있었지만 모두 그람양성균과 그람음성균에 대해 8.0~13.7mm의 저해환을 나타내었다. 이러한 결과는 본 연구에서와 동일농도인 1,000mg·L⁻¹에서 홍련 꽃과 잎 추출물의 항균활성을 조사한 결과 저해환이 8.3~10.6mm 이었다는 Heo 등(2008)의 보고에 비해 다소 높은 수준이었다.

마. 온도처리에 따른 새싹채소의 기능성 물질 변화

(1) 총 페놀 함량

페놀성 물질은 다양한 구조와 분자량을 가지며, 이것들의 phenolic hydroxyl이 단백질처럼 거대분자와 결합하여 항산화, 항균, 그리고 항암 등의 생리기능을 가진다고 알려져 있다(Dural과 Shetty, 2001; Park 등, 2005b, c). 그러므로 페놀물질 함량이 높을수록 기능성물질로 유용하게 활용할 수 있다. 그런 점에서 새싹채소의 생산시 온도조건에 따른 총페놀화합물의 함량을 조사한 결과 브로콜리는 증류수로 추출했을 때는 20°C에서 재배한 것에서 59.3mg·L⁻¹로, 에탄올 추출물에서는 26°C에서 재배한 것에서 103.4mg·L⁻¹로 많았다(Table 3-72).

아마란서스도 증류수 추출물에서는 20°C에서 재배한 것에서 28.8mg·L⁻¹로 많았고, 에탄올 추출물에서는 26°C 조건에서 재배한 것이 80.6mg·L⁻¹로 많았다. 알팔파, 유채, 적콜라비, 붉은빛무우 모두 용매별로는 에탄올 추출물에서 함량이 많았으며, 온도처리별로는 증류수의 경우 20°C 조건에서 재배한 것에서 알팔파 98.2, 유채 64.2, 적콜라비 72.6 및 붉은빛 무우 91.8mg·L⁻¹로 각각 많았다. 에탄올 추출물은 26°C에서 재배한 것에서 총페놀화합물 함량이 많았었는데, 알팔파 118.8, 유채 75.3, 적콜라비 147.8 및 붉은빛무우 116.2mg·L⁻¹로 많았다.

Table 3-72. Total phenol compound contents in the various sprout vegetables as affected by the temperature control.

Solvent	Temp. (°C)	Total phenol compound contents (mg·L ⁻¹)					
		Broccoli	Amaranth	Alfalpa	Rape	Red kohlrabi	Red radish
Distilled water	20	59.3 c ^z	28.8 d	98.2 b	64.2 c	72.6 c	91.8 c
	23	43.3 d	24.1 e	85.4 d	64.1 c	60.6 d	88.1 d
	26	42.6 d	24.4 e	83.6 d	60.9 cd	50.1 e	78.6 e
Ethanol	20	73.1 b	53.0 c	74.2 e	72.3 ab	126.6 b	95.4 bc
	23	73.6 b	70.5 b	92.3 c	74.2 a	126.3 b	98.6 b
	26	103.4 a	80.6 a	118.8 a	75.3 a	147.8 a	116.2 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

(2) 총 플라보노이드 함량

플라보노이드는 담황색 또는 노란색을 띠는 색소화합물로서 식물 중에는 대부분 당과 결합된 배당체 형태로 존재하며, 항산화 작용, 순환기계 질환의 예방, 항염증, 항알레르기, 항균, 항바이러스, 지질저하 작용, 면역증강 작용 및 모세혈관 작용 등

이 보고된 바 있다(Cha와 Cho, 2001; Park 등, 2008). 그러므로 우리가 생식용으로 섭취하는 새싹채소도 가능한 총 플라보노이드가 많이 함유되는 조건으로 생산하는 것이 좋을 것으로 판단되어 본 실험에서는 온도처리 조건에 따른 총 플라보노이드 함량을 조사한 결과를 Table 73에 제시하였다.

브로콜리 새싹 재배시 온도조건에 따른 총 플라보노이드 함량은 증류수 추출물의 경우 17.6-18.9mg·L⁻¹로 온도조건에 따른 차이가 크지 않았다. 그러나 에탄올 추출물의 경우 26℃에서 재배한 것은 27.7mg·L⁻¹인데 비해 20℃에서 재배한 것은 60.0mg·L⁻¹로 많았다. 아마란서스 증류수 추출물은 7.9-9.0mg·L⁻¹로 온도처리에 따른 함량 차이가 크지 않은 반면에 에탄올 추출물은 26℃ 조건에서 재배한 것이 19.8mg·L⁻¹로 많았다. 알파파 추출물은 증류수 추출물과 에탄올 추출물이 각각 8.0-9.9 및 8.8-10.3mg·L⁻¹로 온도처리간의 차이가 크지 않았다.

유채 추출물은 증류수와 에탄올 추출물 모두 20℃ 처리 조건에서 각각 33.7 및 55.2mg·L⁻¹로 함량이 가장 많았으며, 붉은빛열무 또한 증류수와 에탄올 추출물 20℃ 처리 조건에서 각각 32.8 및 42.0mg·L⁻¹로 많았다. 그러나 적콜라비 추출물은 증류수와 에탄올 추출물 모두 23℃ 조건에서 각각 33.3 및 59.8mg·L⁻¹로 총 플라보노이드 함량이 많았다.

Table 3-73. Total flavonoid contents in the various sprout vegetables as affected by the temperature control.

Solvent	Temp. (°C)	Total flavonoid contents (mg·L ⁻¹)					
		Broccoli	Amaranth	Alfalfa	Rape	Red kohlrabi	Red radish
Distilled water	20	18.9 d ^z	8.6 cd	9.9 a	33.7 c	31.4 d	32.8 c
	23	17.7 d	7.9 cd	9.6 a	32.0 c	33.3 d	32.7 c
	26	17.6 d	9.0 c	8.0 ab	30.2 c	25.3 e	21.5 d
Ethanol	20	60.0 a	9.7 c	10.3 a	55.2 a	55.7 b	42.0 a
	23	41.4 b	15.7 b	9.2 a	50.6 ab	59.8 a	37.5 b
	26	27.7 c	19.8 a	8.8 ab	53.2 a	50.1 c	32.1 c

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

(3) 항산화활성

(가) 브로콜리

최근 산화적 스트레스에 의해 기인한 많은 종류의 질병이 발생되고 있으며, 이와 관련하여 우수한 항산화 활성을 갖는 물질에 대한 탐색연구가 활발히 진행되고 있다(Yagi, 1987). 이와 같은 측면에서 항산화활성이 높은 새싹의 생산온도를 조사하기 위해 실시한 결과 브로콜리는 증류수 및 에탄올 추출물 모두 20℃에서

재배한 새싹에서 RC₅₀ 값은 각각 777 및 726.3mg·L⁻¹로 가장 우수한 것으로 나타났다(Table 3-74).

Table 3-74. DPPH radical scavenging activity of broccoli sprouts as affected by the temperature control.

Solvent	Temp. (°C)	DPPH radical scavenging activity (mg·L ⁻¹)							RC ₅₀ ^y
		31	63	125	250	500	1,000	2,000	
Distilled water	20	3.6 cd ^z	6.2 b	8.3 c	24.6 cd	44.1 ab	57.6 a	79.1 a	777 d
	23	4.5 c	7.7 b	15.0 b	28.4 b	44.2 ab	49.5 b	78.6 a	877 c
	26	6.5 ab	9.7 a	16.3 b	26.7 bc	35.1 c	39.4 d	67.4 b	1,228 a
Ethanol	20	6.2 ab	7.0 b	18.9 a	32.8 a	43.6 ab	59.9 a	77.4 a	726 e
	23	3.5 cd	5.6 bc	9.1 c	18.6 e	33.5 c	46.1 bc	68.1 b	1,036 b
	26	7.7 a	10.1 a	15.3 b	30.6 a	46.4 a	49.3 b	60.3 c	886 c

^zMean separation within column by Duncan's multiple range test at 5% level.

^yExtract concentrations (mg·L⁻¹), which show 50% activity of DPPH radical scavenging, were determined by interpolation.

(나) 아마란서스

아마란서스 새싹에 대한 증류수 및 에탄올 추출물의 항산화활성을 조사한 결과(Table 3-75), 추출물이 1,000mg·L⁻¹일 때는 용매 및 온도처리에 따라 다소간에 차이가 있었으나 전체적으로 26.5% 이하로 낮은 경향을 나타내었다.

Table 3-75. DPPH radical scavenging activity of amaranth sprouts as affected by the temperature control.

Solvent	Temp. (°C)	DPPH radical scavenging activity (mg·L ⁻¹)							RC ₅₀ ^y
		31	63	125	250	500	1,000	2,000	
Distilled water	20	3.7 a ^z	5.4 a	6.7 a	11.0 a	16.0 a	22.3 b	42.4 ab	2,468 c
	23	3.5 a	5.7 a	6.0 a	8.2 b	12.2 c	17.5 c	32.4 c	3,303 a
	26	2.1 b	3.9 b	5.6 ab	8.9 b	15.7 ab	24.0 ab	45.3 a	2,154 e
Ethanol	20	2.7 b	3.2 b	4.6 c	9.3 ab	14.6 b	22.0 b	39.3 bc	2,636 b
	23	3.3 a	4.2 ab	6.8 a	10.4 a	16.5 a	26.5 a	44.5 a	2,268 d
	26	2.8 b	4.0 ab	5.9 ab	9.4 ab	15.8 ab	26.3 a	45.7 a	2,190 e

^zMean separation within column by Duncan's multiple range test at 5% level.

^yExtract concentrations (mg·L⁻¹), which show 50% activity of DPPH radical scavenging, were determined by interpolation.

아마란서스 추출물 2,000mg·L⁻¹의 농도에서도 32.4~45.71%의 항산화활성을 나타냈는데, 이중 증류수 추출물에서는 26℃ 처리구가 45.3%로, 에탄올 추출물에서는 26℃ 처리구가 45.7%로 가장 높게 나타났다. 그러므로 아마란서스의 종자를 이용한 새싹채소 재배시 항산화활성 측면에서는 26℃로 재배하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

(다) 알팔파

알팔파 새싹에 대한 증류수 및 에탄올 추출물의 항산화활성을 조사한 결과(Table 3-76), 추출액 1,000mg·L⁻¹의 농도에서도 46.6% 이하를 나타냈다. 2,000mg·L⁻¹의 농도에서도 항산화활성은 85.5% 이하를 나타냈는데, 증류수 추출물에서는 26℃ 처리구에서 85.5%로, 에탄올 추출물에서는 20℃ 처리구에서 69.6%로 가장 높았다.

Table 3-76. DPPH radical scavenging activity of alfalfa sprouts as affected by the temperature control.

Solvent	Temp. (°C)	DPPH radical scavenging activity (mg·L ⁻¹)							RC ₅₀ ^y
		31	63	125	250	500	1,000	2,000	
Distilled water	20	6.3 ab ^z	10.2 a	11.5 ab	20.2 a	35.1 a	42.2 b	82.5 ab	1,433 b
	23	7.4 a	9.7 ab	12.1 a	15.1 c	23.5 d	27.7 c	62.2 d	2,215 a
	26	4.1 bc	7.9 bc	9.5 c	14.4 c	28.7 c	44.3 ab	85.5 a	1,221 c
Ethanol	20	5.7 b	7.2 bc	9.4 c	17.3 b	27.6 c	42.2 b	69.6 c	1,422 b
	23	6.3 ab	8.3 b	13.7 a	19.3 a	32.4 ab	46.6 a	44.7 e	1,231 c
	26	5.8 b	8.0 b	11.8 ab	17.2 b	30.7 b	46.5 a	65.9 cd	1,163 d

^zMean separation within column by Duncan's multiple range test at 5% level.

^yExtract concentrations (mg·L⁻¹), which show 50% activity of DPPH radical scavenging, were determined by interpolation.

(라) 유채

유채 새싹에 대한 증류수 및 에탄올 추출물의 항산화활성은 전반적으로 125mg·L⁻¹의 농도에서는 41.6% 이하를 나타내었다(Table 3-77). 500mg·L⁻¹ 이상의 농도에서는 온도 처리에 따른 차이가 뚜렷해 증류수 추출물에서는 20℃ 처리구의 경우 72.6%, 에탄올 추출물의 경우 70.2%의 항산화 활성을 나타내었다. 2,000mg·L⁻¹의 농도에서는 20℃ 처리구의 경우 증류수와 에탄올 추출물 모두 각각 93.2 및 98.6%로 가장 높았다.

Table 3-77. DPPH radical scavenging activity of rape sprouts as affected by the temperature control.

Solvent	Temp. (°C)	DPPH radical scavenging activity (mg·L ⁻¹)							RC ₅₀ ^y
		31	63	125	250	500	1,000	2,000	
Distilled water	20	14.2 b ^z	19.4 b	25.4 c	42.5 b	72.6 a	84.8 a	93.2 b	405 e
	23	10.8 c	15.0 cd	20.4 d	32.7 d	53.6 c	65.9 cd	82.6 cd	605 c
	26	9.8 c	13.1 d	17.0 e	30.6 de	51.3 c	66.4 cd	83.5 cd	628 c
Ethanol	20	18.4 a	25.3 a	41.6 a	49.7 a	70.2 a	78.5 b	98.6 a	506 d
	23	12.1 bc	17.5 c	33.3 b	41.6 b	59.5 b	75.4 b	86.4 c	756 b
	26	10.3 c	15.2 cd	27.1 c	35.6 c	55.3 c	69.7 c	73.3 e	832 a

^zMean separation within column by Duncan's multiple range test at 5% level.

^yExtract concentrations (mg·L⁻¹), which show 50% activity of DPPH radical scavenging, were determined by interpolation.

(마) 적콜라비

Table 3-78. DPPH radical scavenging activity of red kohlrabi sprouts as affected by the temperature control.

Solvent	Temp. (°C)	DPPH radical scavenging activity (mg·L ⁻¹)							RC ₅₀ ^y
		31	63	125	250	500	1,000	2,000	
Distilled water	20	9.3 b ^z	13.7 c	20.0 c	35.2 c	56.0 cd	74.8 bc	86.8 a	527 c
	23	5.3 d	6.1 d	12.1 d	19.8 e	30.7 f	43.4 e	61.7 c	1,150 a
	26	8.6 bc	12.6 c	19.6 c	30.3 d	48.8 e	67.3 d	83.0 ab	628 b
Ethanol	20	9.6 b	16.5 b	24.9 b	40.6 b	64.7 ab	82.9 a	84.5 ab	419 e
	23	11.2 a	19.1 a	30.4 a	50.6 a	67.7 a	82.8 a	82.7 b	324 f
	26	5.9 d	12.9 c	21.8 c	37.1 bc	59.7 c	77.8 b	82.9 b	483 d

^zMean separation within column by Duncan's multiple range test at 5% level.

^yExtract concentrations (mg·L⁻¹), which show 50% activity of DPPH radical scavenging, were determined by interpolation.

적콜라비 새싹에 대한 증류수 및 에탄올 추출물의 항산화활성을 조사한 결과 (Table 3-78), 추출물이 1000mg·L⁻¹일 때는 증류수 추출물의 경우 20°C 처리구에서 74.8%로, 에탄올 추출물에서는 20°C 처리구에서 82.9%로 가장 높았다. 추출물이 2000mg·L⁻¹일 때는 증류수 추출물 및 에탄올 추출물 모두 20°C 처리구에서 각각 86.8 및 84.5%로 가장 높았다. RC₅₀ 값은 에탄올 추출물에서 324-483이었는데, 23°C 처리구에서 324mg·L⁻¹로 가장 낮은 값을 나타내었다.

(바) 붉은열무

붉은열무 새싹에 대한 증류수 및 에탄올 추출물의 항산화활성을 조사한 결과 1,000mg·L⁻¹ 농도에서는 증류수 추출물의 경우 23℃ 처리구에서 79.5%로, 에탄올 추출물에서는 26℃ 처리구가 61.2%로 가장 높았으며, 2,000mg·L⁻¹ 농도에서도 증류수 추출물의 경우 23℃ 처리구에서 89.5%로, 에탄올 추출물에서는 26℃ 처리구가 77.8%로 가장 높았다(Table 3-79).

Table 3-79. DPPH radical scavenging activity of red radish sprouts as affected by the temperature control.

Solvent	Temp. (°C)	DPPH radical scavenging activity (mg·L ⁻¹)							RC ₅₀ ^y
		31	63	125	250	500	1,000	2,000	
Distilled water	20	9.8 a ^z	15.5 a	21.8 ab	36.4 a	57.3 a	73.7 b	88.3 a	516 c
	23	9.1 a	14.5 a	23.9 a	37.8 a	59.2 a	79.5 a	89.5 a	466 d
	26	8.8 ab	13.2 ab	23.1 a	38.8 a	58.7 a	76.1 a	88.3 a	483 d
Ethanol	20	4.2 d	7.8 e	11.1 cd	20.2 c	33.9 c	52.0 d	71.7 c	923 a
	23	7.7 b	10.5 c	14.6 c	24.9 b	41.3 b	59.9 c	77.7 b	762 b
	26	6.2 bc	9.6 cd	13.6 c	25.1 b	43.0 b	61.2 c	77.8 b	739 b

^zMean separation within column by Duncan's multiple range test at 5% level.

^yExtract concentrations (mg·L⁻¹), which show 50% activity of DPPH radical scavenging, were determined by interpolation.

(4) 아질산염 소거능

아질산염은 단백질 식품, 의약품 및 잔류농약 등에 함유되어 2급 및 3급 아민과 반응하여 독성물질로 알려진 nitrosamine을 생성한다. 보통 식품의 가공 및 저장 중에 널리 이용되며, 일정 농도 이상 섭취하게 되면 혈액 중의 헤모글로빈이 산화되어 메트헤모글로빈을 형성하여 각종 질병을 일으키는 것으로 알려져 이에 대한 생성억제 방법이 모색되고 있다(Normington 등, 1986). 따라서, 본 실험에서는 새싹채소 재배에 있어서 온도처리 조건이 아질산염 소거능에 미치는 영향을 조사하여 Table 3-80에 나타내었다.

브로콜리의 아질산염 소거능은 증류수 추출물의 경우 26℃ 처리구에서 85.4%, 에탄올 추출물은 20℃ 처리구에서 73.3%로 가장 높았으며, 아마란시스 처리구 또한 브로콜리와 마찬가지로 증류수 추출물은 26℃ 처리구에서 79.3%로, 20℃ 처리구에서는 73.3%로 가장 높았다.

Table 3-80. Nitrite radical scavenging activity of the various sprout vegetables as affected by the temperature control.

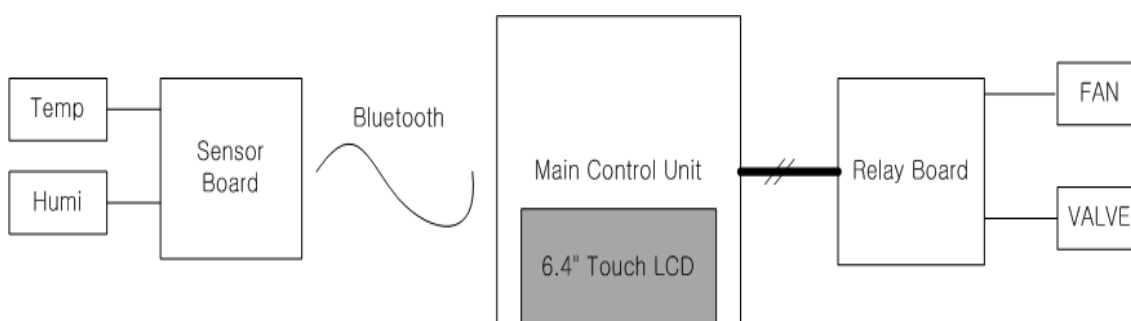
Solvent	Temp. (°C)	Nitrite radical scavenging activity (% of control, in 1000mg·L ⁻¹)					
		Broccoli	Amaranth	Alfalfa	Rape	Red kohlrabi	Red radish
Distilled water	20	81.1 ab ^z	76.9 ab	82.6 bc	84.9 a	81.2 ab	85.8 ab
	23	81.6 ab	78.5 a	84.3 bc	80.6 b	83.4 a	88.0 a
	26	85.4 a	79.3 a	81.3 c	81.4 ab	81.0 ab	85.8 ab
Ethanol	20	73.3 c	73.3 b	88.2 a	82.5 ab	70.9 cd	74.1 d
	23	73.7 c	66.8 c	85.4 b	83.7 a	73.7 c	81.5 c
	26	70.1 cd	64.6 c	83.6 bc	84.4 a	63.9 e	76.5 d

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

알팔파의 아질산염 소거능은 증류수 추출물의 경우 23°C 처리구에서 84.3%로 높았으며, 에탄올 추출물은 20°C 처리구에서 88.2%로 높았다. 유채의 아질산염 소거능은 증류수 추출물의 경우 20°C 처리조건에서 84.9%, 에탄올 추출물에서는 26°C 처리조건에서 84.4%로 높았으며, 적콜라비는 증류수 및 에탄올 추출물 모두 23°C 처리조건에서 각각 83.4% 및 73.7%로 높았다. 적무 추출물의 아질산염 소거능 또한 적콜라비와 마찬가지로 증류수 및 에탄올 추출물 모두 23°C 처리조건에서 각각 88.0 및 81.5%로 높았다.

바. 모니터링 시스템 개발 및 시험

(1) 무선센서 기반 제어 모니터링 시험 운용



<그림 3-36> 무선센서 기반 제어 모니터링 체계도

- 그림과 같이 새싹의 온도 및 수분 센서의 감지를 무선으로 원격 감지가능한 제어모니터링시스템을 구성하여 시험 가능한 시스템을 개발하였다.

- 원형으로 회전하는 새싹 발아 시스템에 블루투스 통신 모듈을 부착하여, 메인 컨트롤 유닛에 무선으로 전송함으로써, 온습도를 모니터 하고, 자동으로 수분과 온도를 보정하는 시스템을 구성하였다.

(가) 모니터링 시스템의 개요

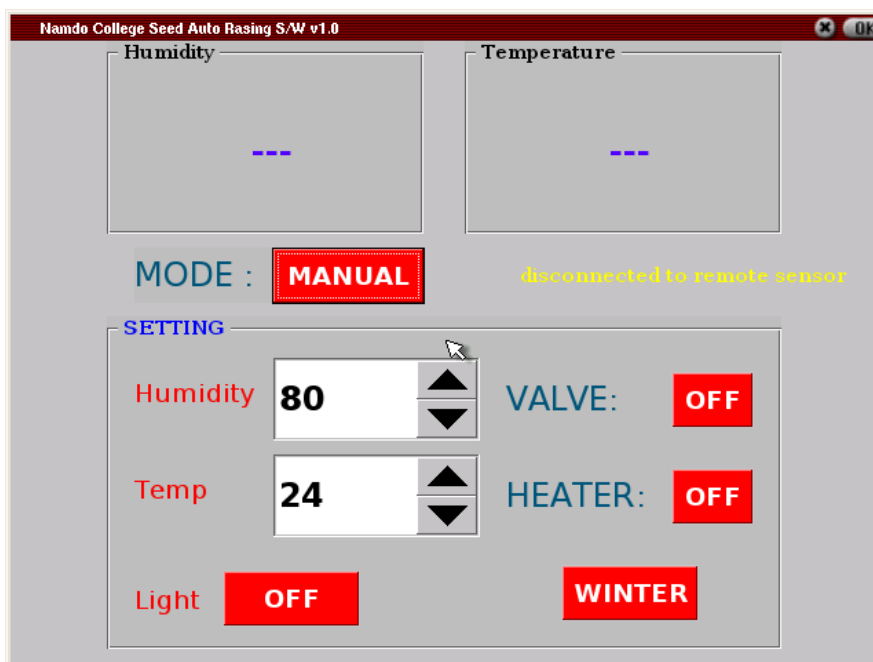
- 카메라로 장치를 확인하고, 일정 시간 간격으로 영상데이터를 보존하고 있으므로, 새싹의 재배 상황을 감시할 수 있다.

- 무선으로 온,습도를 컨트롤 장치에 전송하므로, 다른 시스템에 응용할 수 있다.

- 블루투스를 이용하므로, 데이터의 손실 및 보안에 강하다.

(나) 모니터링 운영체제 소프트웨어의 구성

본 연구에서의 모니터링 시스템을 위하여 제작한 운영체제는 AutoSeed Software based on QT Embedded 로서 다음 그림 3-37과 같이 작성하였다.



<그림 3-37> 모니터링 운영시스템 제어반

(다) 세부내용

- 모드 : 자동, 수동
- 자동모드 : 온도와 습도의 설정에 따라 솔레노이드 밸브와 FAN에 자동으로 구동된다. 온도와 습도의 offset은 온도의 경우 2℃ 이며, 습도의 경우에는 5이다.
- 수동모드 : 수동모드의 경우 밸브, FAN, LED가 버튼을 이용하여 컨트롤 할 수 있다.
- 센서보드와 무선으로 연결 되었을 때에는 MODE 버튼의 우측에 연결되었다는 메시지가 출력되는 동시에, 현재의 온,습도 값이 창에 표시된다.

[간단한 임베디드제어 내용과 연결하여 설명]

임베디드 컨트롤 장치의 전원을 ON 시키면 임베디드 리눅스가 부팅이 되고, 이 때 커널은 내부적으로 CPU 주변에 존재하는 장치를 초기화 한다. 장치의 초기화가 끝나면, 자동로그인 기능을 사용하여, ROOT 로 로그인 이 되고, 초기화 스크립트 "/etc/inittab" 파일에 의해 새싹 재배 UI "autoseed" 프로그램이 구동된다.

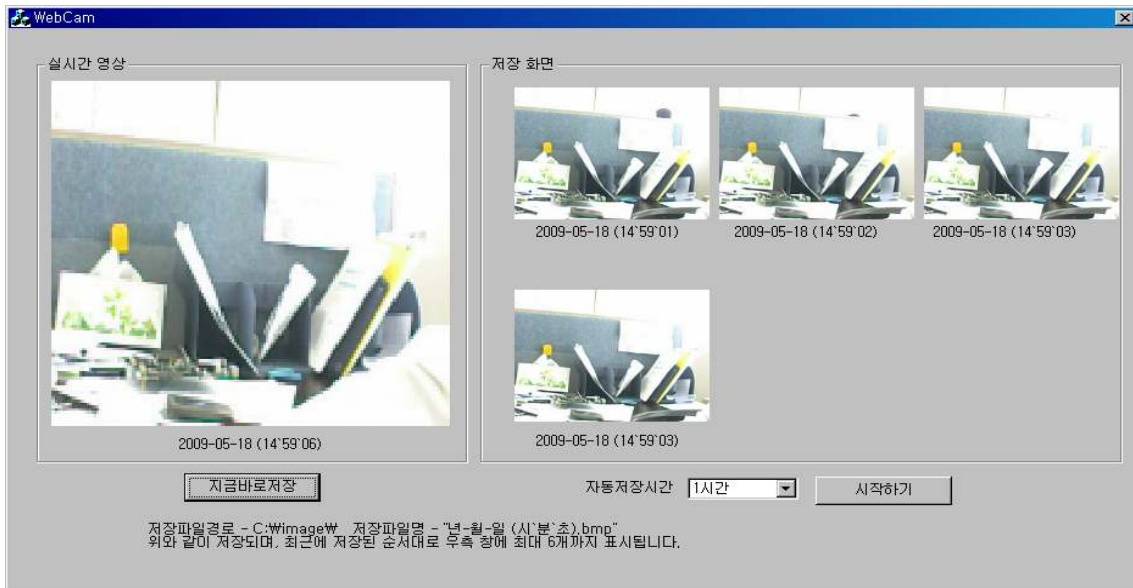
autoseed 프로그램이 구동되면서, 릴레이 보드를 제어할 수 있는 핀들을 GAFR 레지스터를 사용하여 일반 GPIO 범용포트로 기능을 수행할 수 있도록 설정한 뒤, 블루투스와의 연결을 시도한다.

블루투스의 연결은 BSD-200 블루투스 모듈의 Detector 핀을 이용하여 연결 유무 상태를 검출하고, 통신을 시작하는데, 이 때 통신의 성공 유무는 Connected 메시지 혹은 온도/습도의 디스플레이를 이용하여 판단한다.

이 때 프로그램은 타이머를 두 개 가동하여, 블루투스로 받은 온,습도 데이터를 디스플레이하고, 다른 하나의 타이머는 블루투스의 연결상태를 1sec 간격으로 파악하여, 표시하게 된다.

타이머가 구동되는 동안 현재 모드에 따라 MANUAL / AUTO 로 구분하여 자동으로 FAN과 VALVE를 구동할 지를 결정하고, MANUAL 모드에서는 사용자가 버튼을 눌러서 임의로 구동할 수 도 있다.

[Camera Software]



<그림 3-38> 화상카메라 인식

상기 그림과 같이 Webcam 소프트웨어는 현재의 이미지를 실시간으로 출력할 수도 있고, 타이머를 이용하여 1시간 ~ 12시간 까지 주기적으로 이미지를 캡처하여 PC에 저장할 수 있는 기능을 갖추고 있다.

[임베디드제어 내용과 연결하여 설명]

- Camera 인터페이스 프로그램은 현재 새싹 재배상태를 수시로 확인하기 위하여 제작된 프로그램으로써 관리자가 타임스케줄을 이용하여 카메라영상은 PC에 저장하여 관리 / 유지보수 할 수 있는 기능을 포함하고 있다.

(2) 센서 모니터링 프로그램

- 카메라 감지 프로그램 및 온도 습도센서 포트 제어용 프로그램을 개발하였다.

다음은 새싹재배용 관수 및 광량제어를 위한 무선센서 기반 모니터링 개발 프로그램이다.

```
#include <qpe/qpeapplication.h>
#include "autoseed.h"
int main(int argc, char **argv)
```

```

{

    QPEApplication a(argc, argv);
    SeedDlg *mw = new SeedDlg;
    a.setMainWidget(mw);
    mw->show();
    a.connect(&a, SIGNAL(lastWindowClosed()), &a, SLOT(quit()) );
    return a.exec();

}

```

// 무선센서를 통한 포트제어 프로그램

```

/* GPIO 23~26, 28~31 : General Purpose I/O used set GAFR to "00"
 * GPIO 42~45 : Bluetooth Module Set GAFR to as followings.
 * GP42:01, GP43:10, GP44:01, GP45:10
 */
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
#include<unistd.h>
#include<sys/types.h>
#include<sys/stat.h>
#include<fcntl.h>
#include<sys/mman.h>
#include"portsetting.h"

/* GPIO의 어드레스 */
unsigned long *gpsr0, *gpcr0, *gpdr0, *gpdr1, *gafr0_U, *gafr1_L, *cken;

main()
{
    int *addr, *addr1;
    int fd;          /* 파일 기술자 */
    int i=10000;

    fd = open("/dev/mem", O_RDWR|O_SYNC);

```

```

    addr =
mmap(0,SIZE,PROT_READ|PROT_WRITE,MAP_SHARED,fd,GPIO_BASE);

    addr1 =
mmap(0,SIZE,PROT_READ|PROT_WRITE,MAP_SHARED,fd,CKEN_REG);

    gafr0_U = (unsigned long *)((unsigned char *)addr + GAFR0_U);
//Alternate Function Register

    gafr1_L = (unsigned long *)((unsigned char *)addr + GAFR1_L);
//Alternate Function Register

    gpcr0 = (unsigned long *)((unsigned char *)addr + GPCR0);
//Set gpcr0 = (unsigned long *)((unsigned char *)addr + GPCR0);
//Clear gpdr0 = (unsigned long *)((unsigned char *)addr + GPDR0);
//Direction - All out
    cken = (unsigned long *)((unsigned char *)addr);
    *cken |= 0x80;

/* GPIO 23~26, 28~31을 일반 범용포트로 바꾼다. */
*gafr0_U &= 0x00c03fff; // 0000 | 0000 | 1100 | 0000 | 0011 | ...

/* GPIO42~45 을 Bluetooth 로 설정한다. */
*gafr1_L &= 0xf09ffff; // 1111 | 0000 | 1001 | ...
*gafr1_L |= 0x00900000;

/* 8개의 포트를 출력으로 설정 */
*gpdr0 |= (GP23 | GP24 | GP25 | GP26 | GP28 | GP29 | GP30 | GP31); // 출력

/* 블루투스의 DCD(Bluetooth Connection Detect) Signal 을 입력으로 설정 */
*gpdr0 &= ~GP27;

/* All port Clear */
*gpcr0 |= (GP23 | GP24 | GP25 | GP26 | GP28 | GP29 | GP30 | GP31);
    close(fd);
}

```

다음 프로그램은 화상감지를 통한 획득한 영상을 모니터링 하도록 개발한 시스템 모니터링 프로그램이다.

먼저, 카메라로 장치를 확인하고, 일정 시간 간격으로 영상데이터를 보존하고 있으므로, 새싹의 재배 상황을 감시가 가능한 시스템이다.

```
// WebCamDlg.cpp : implementation file
//
#include "stdafx.h"
#include "WebCam.h"
#include "WebCamDlg.h"

#ifdef _DEBUG
#define new DEBUG_NEW
#undef THIS_FILE
static char THIS_FILE[] = __FILE__;
#endif

////////////////////////////////////
// CAboutDlg dialog used for App About

class CAboutDlg : public CDialog
{
public:
    CAboutDlg();

// Dialog Data
//{{AFX_DATA(CAboutDlg)
enum { IDD = IDD_ABOUTBOX };
//}}AFX_DATA

// ClassWizard generated virtual function overrides
//{{AFX_VIRTUAL(CAboutDlg)
protected:
    virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX);    // DDX/DDV
support
//}}AFX_VIRTUAL
```

```

// Implementation
protected:
   //{{AFX_MSG(CAboutDlg)
   //}}AFX_MSG
    DECLARE_MESSAGE_MAP()
};

CAboutDlg::CAboutDlg() : CDialog(CAboutDlg::IDD)
{
   //{{AFX_DATA_INIT(CAboutDlg)
   //}}AFX_DATA_INIT
}

void CAboutDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
    CDialog::DoDataExchange(pDX);
   //{{AFX_DATA_MAP(CAboutDlg)
   //}}AFX_DATA_MAP
}

BEGIN_MESSAGE_MAP(CAboutDlg, CDialog)
   //{{AFX_MSG_MAP(CAboutDlg)
        // No message handlers
   //}}AFX_MSG_MAP
END_MESSAGE_MAP()

////////////////////////////////////
// CWebCamDlg dialog

CWebCamDlg::CWebCamDlg(CWnd* pParent /*=NULL*/)
    : CDialog(CWebCamDlg::IDD, pParent)
{
   //{{AFX_DATA_INIT(CWebCamDlg)
    m_strTime = _T("");
    m_strSaveTime1 = _T("");
    m_strSaveTime2 = _T("");
    m_strSaveTime3 = _T("");
}

```

```

    m_strSaveTime4 = _T("");
    m_strSaveTime5 = _T("");
    m_strSaveTime6 = _T("");

    m_bAutoMode = FALSE;
    //}}AFX_DATA_INIT
    // Note that LoadIcon does not require a subsequent DestroyIcon in
Win32
    m_hIcon = AfxGetApp()->LoadIcon(IDR_MAINFRAME);
}

void CWebCamDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
    CDialog::DoDataExchange(pDX);
    //{{AFX_DATA_MAP(CWebCamDlg)
    DDX_Control(pDX, IDC_SAVEPIC6, m_ctlSave6);
    DDX_Control(pDX, IDC_SAVEPIC5, m_ctlSave5);
    DDX_Control(pDX, IDC_SAVEPIC4, m_ctlSave4);
    DDX_Control(pDX, IDC_SAVEPIC3, m_ctlSave3);
    DDX_Control(pDX, IDC_SAVEPIC2, m_ctlSave2);
    DDX_Control(pDX, IDC_SAVEPIC, m_ctlSave1);
    DDX_Control(pDX, IDC_NOWCAM, m_PicNow);
    DDX_Text(pDX, IDC_TIME, m_strTime);
    DDX_Text(pDX, IDC_SAVETIME1, m_strSaveTime1);
    DDX_Text(pDX, IDC_SAVETIME2, m_strSaveTime2);
    DDX_Text(pDX, IDC_SAVETIME3, m_strSaveTime3);
    DDX_Text(pDX, IDC_SAVETIME4, m_strSaveTime4);
    DDX_Text(pDX, IDC_SAVETIME5, m_strSaveTime5);
    DDX_Text(pDX, IDC_SAVETIME6, m_strSaveTime6);
    //}}AFX_DATA_MAP
}

BEGIN_MESSAGE_MAP(CWebCamDlg, CDialog)
    //{{AFX_MSG_MAP(CWebCamDlg)
    ON_WM_SYSCOMMAND()
    ON_WM_PAINT()
    ON_WM_QUERYDRAGICON()

```

```

ON_WM_TIMER()
ON_BN_CLICKED(IDC_CAMSTOP, OnCamstop)
ON_BN_CLICKED(IDC_PREVIEW, OnPreview)
ON_BN_CLICKED(IDC_STOPSAVE, OnStopsave)
ON_BN_CLICKED(IDC_SAVEAVI, OnSaveavi)
ON_BN_CLICKED(IDC_BTN_START_AUTO2, OnBtnStartAuto2)
//}}AFX_MSG_MAP
END_MESSAGE_MAP()

////////////////////////////////////
// CWebCamDlg message handlers

BOOL CWebCamDlg::OnInitDialog()
{
    CDialog::OnInitDialog();

    // Add "About..." menu item to system menu.

    // IDM_ABOUTBOX must be in the system command range.
    ASSERT((IDM_ABOUTBOX & 0xFFF0) == IDM_ABOUTBOX);
    ASSERT(IDM_ABOUTBOX < 0xF000);

    CMenu* pSysMenu = GetSystemMenu(FALSE);
    if (pSysMenu != NULL)
    {
        CString strAboutMenu;
        strAboutMenu.LoadString(IDS_ABOUTBOX);
        if (!strAboutMenu.IsEmpty())
        {
            pSysMenu->AppendMenu(MF_SEPARATOR);
            pSysMenu->AppendMenu(MF_STRING,
IDM_ABOUTBOX, strAboutMenu);
        }
    }

    // Set the icon for this dialog. The framework does this automatically
    // when the application's main window is not a dialog

```

```

SetIcon(m_hIcon, TRUE);           // Set big icon
SetIcon(m_hIcon, FALSE);        // Set small icon

// TODO: Add extra initialization here

m_Click = 1;

SetTimer(10,100,NULL);

if(!InitCam())
    MessageBox("카메라 초기화 실패","경고",MB_OK);

((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_CMB_TIME_PERIOD))->SetCurSel(0);

return TRUE; // return TRUE unless you set the focus to a control
}

void CWebCamDlg::OnSysCommand(UINT nID, LPARAM lParam)
{
    if ((nID & 0xFFF0) == IDM_ABOUTBOX)
    {
        CAboutDlg dlgAbout;
        dlgAbout.DoModal();
    }
    else
    {
        CDialog::OnSysCommand(nID, lParam);
    }
}

// If you add a minimize button to your dialog, you will need the code below
// to draw the icon. For MFC applications using the document/view model,
// this is automatically done for you by the framework.

void CWebCamDlg::OnPaint()
{
    if (IsIconic())

```



```

    {
        CPaintDC dc(this); // device context for painting

        SendMessage(WM_ICONERASEBKGND,          (WPARAM)
dc.GetSafeHdc(), 0);

        // Center icon in client rectangle
        int cxIcon = GetSystemMetrics(SM_CXICON);
        int cyIcon = GetSystemMetrics(SM_CYICON);
        CRect rect;
        GetClientRect(&rect);
        int x = (rect.Width() - cxIcon + 1) / 2;
        int y = (rect.Height() - cyIcon + 1) / 2;

        // Draw the icon
        dc.DrawIcon(x, y, m_hIcon);
    }
    else
    {
        CDialog::OnPaint();
    }
}

```

// The system calls this to obtain the cursor to display while the user drags
// the minimized window.

```

HCURSOR CWebCamDlg::OnQueryDragIcon()
{
    return (HCURSOR) m_hIcon;
}

```

```

BOOL CWebCamDlg::InitCam()

```

```

{
    HWND g_hwndCap;

    CRect rect;
    m_PicNow.GetWindowRect(&rect);
    ScreenToClient(&rect);

```

```

/*
HWND VFWAPI capCreateCaptureWindow(
    LPCSTR lpszWindowName,
    DWORD dwStyle,
    int x,
    int y,
    int nWidth,
    int nHeight,
    HWND hWnd,
    int nID
);
*/
if(! (g_hwndCap = capCreateCaptureWindow(
    NULL,
    WS_CHILD | WS_VISIBLE,
    rect.left,
    rect.top,
    rect.Width(),
    rect.Height(),
    m_hWnd,
    1)
    )
)
return FALSE;

m_hwndCap = g_hwndCap;

/*
BOOL capDriverConnect(
    hWnd,
    iIndex
);

hWnd
Handle to a capture window.

```

iIndex

Index of the capture driver. The index can range from 0 through 9.

Return Values

Returns TRUE if successful or FALSE if the specified capture driver cannot be connected to the capture window

```
*/
if(!(capDriverConnect(
    m_hwndCap,
    0))
)
return FALSE;

vidcapSetLive(TRUE);
vidcapSetOverlay(FALSE);

//capPreviewRate(m_hwndCap, 66);    // rate, in milliseconds
//capPreview(m_hwndCap, TRUE);     // starts preview
//capPreviewScale(m_hwndCap, TRUE );

return TRUE;
}

void CWebCamDlg::OnTimer(UINT nIDEvent)
{
    // TODO: Add your message handler code here and/or call default
    if(nIDEvent == 10){
        UpdateData(FALSE);
        m_strTime = GetTime(1);
    }

    if(nIDEvent == 11){
        OnStopsave();
    }

    CDialog::OnTimer(nIDEvent);
}
```

```

CString CWebCamDlg::GetTime(int ntime)
{
    SYSTEMTIME st;
    CString strTime;

    GetLocalTime(&st);

    s t r T i m e . F o r m a t ( " % 0 4 d - % 0 2 d - % 0 2 d
(%02d`%02d`%02d)",st.wYear,st.wMonth,
        st.wDay,st.wHour,st.wMinute,st.wSecond);

    return strTime;
}

void CWebCamDlg::OnCamstop()
{
    // TODO: Add your control notification handler code here
    vidcapSetLive(FALSE);
    vidcapSetOverlay(TRUE);

    // Grab a frame
    fResult = capGrabFrameNoStop(m_hwndCap) ;
}

void CWebCamDlg::vidcapSetLive(BOOL bLive)
{
    capPreview(m_hwndCap, bLive);
    capPreviewRate(m_hwndCap, 66);    // rate, in milliseconds
    capPreviewScale(m_hwndCap, TRUE );

    if (bLive == TRUE) {
        vidcapSetOverlay(FALSE);
    }
}

```

```

extern CAPDRIVERCAPS  gCapDriverCaps ;

void CWebCamDlg::vidcapSetOverlay(BOOL bOverlay)
{
    if (!gCapDriverCaps.fHasOverlay) {
        return;
    }

    capOverlay(m_hwndCap, bOverlay);

    if (bOverlay == TRUE) {
        vidcapSetLive(FALSE);
    }
}

void CWebCamDlg::OnPreview()
{
    // TODO: Add your control notification handler code here
    capGetStatus(m_hwndCap, &gCapStatus, sizeof(CAPSTATUS)) ;
    vidcapSetLive(!gCapStatus.fLiveWindow) ;
}

CString CWebCamDlg::cmdSaveDIB(CString strTime)
{
    CString strFirst;
    strFirst.Format("c:\\image\\%s.bmp",strTime);
    capFileSaveDIB(m_hwndCap, (LPSTR)(LPCSTR)strFirst);

    return strFirst;
}

void CWebCamDlg::OnStopsave()
{

```

```

// TODO: Add your control notification handler code here

UpdateData(FALSE);

CString strGetFileName = cmdSaveDIB(m_strTime);

char* chFileName = (LPSTR)(LPCSTR)strGetFileName;
HANDLE m_hImage;
m_hImage = (HBITMAP)LoadImage( NULL, chFileName,
IMAGE_BITMAP, 0, 0, LR_LOADFROMFILE );

if(m_Click == 1)
{
    if (m_ctlSave1.GetBitmap() == NULL)

m_ctlSave1.SetBitmap((HBITMAP)m_hImage);

    m_strSaveTime1 = m_strTime;

    m_Click++;
}
else if(m_Click == 2)
{
    if (m_ctlSave2.GetBitmap() == NULL)

m_ctlSave2.SetBitmap((HBITMAP)m_hImage);

    m_strSaveTime2 = m_strTime;

    m_Click++;
}
else if(m_Click == 3)
{
    if (m_ctlSave3.GetBitmap() == NULL)

m_ctlSave3.SetBitmap((HBITMAP)m_hImage);

```

```
        m_strSaveTime3 = m_strTime;

        m_Click++;

    }
    else if(m_Click == 4)
    {
        if (m_ctlSave4.GetBitmap() == NULL)

m_ctlSave4.SetBitmap((HBITMAP)m_hImage);

        m_strSaveTime4 = m_strTime;

        m_Click++;

    }
    else if(m_Click == 5)
    {
        if (m_ctlSave5.GetBitmap() == NULL)

m_ctlSave5.SetBitmap((HBITMAP)m_hImage);

        m_strSaveTime5 = m_strTime;

        m_Click++;

    }
    else if(m_Click == 6)
    {
        if (m_ctlSave6.GetBitmap() == NULL)

m_ctlSave6.SetBitmap((HBITMAP)m_hImage);

        m_strSaveTime6 = m_strTime;

        m_Click = 1;

    }
}
```

```

        else
        {
            m_Click = 1;
        }

        m_hImage = NULL;
    }

void CWebCamDlg::OnSaveavi()
{
    // TODO: Add your control notification handler code here
    UpdateData(FALSE);
    CString strGetFileName = cmdSaveVideoAs(m_strTime);
}

CString CWebCamDlg::cmdSaveVideoAs(CString strFileName)
{
    CString strFirst;
    strFirst.Format("%s.avi",strFileName);
    capFileSaveAs(m_hwndCap, (LPCTSTR)(LPCSTR)strFirst) ;

    return strFirst;
}

void CWebCamDlg::OnBtnStartAuto2()
{
    UpdateData(FALSE);
    int nIndex =
((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_CMB_TIME_PERIOD))->GetCurSel() + 1;

    if(!m_bAutoMode){
        SetTimer(11,nIndex*1000*3600,NULL);
        m_bAutoMode = true;

        ((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_BTN_START_AUTO2))->SetWindowText("중지

```



```
하기");  
    }  
    else {  
        KillTimer(11);  
        m_bAutoMode = false;  
  
        ((CComboBox*)GetDlgItem(IDC_BTN_START_AUTO2))->SetWindowText("시작  
하기");  
    }  
}
```

Appendix 3–1. Amino acids contents in broccoli sprouts as affected by the LED colors as a light.

Characters	Amino acids contents (mg·100g ⁻¹ DW)				
	Blue	Green	Red	Red Blue	Yellow
Phosphoserine	10.69 bc ^z	13.21 b	25.86 a	9.40 c	8.18 c
Taurine	48.03 b	23.66 cd	29.35 c	20.17 d	72.39 a
Phospho ethanol amine	54.11 b	47.38 c	66.66 a	52.75 b	49.76 bc
Urea	43.87 c	47.38 b	49.81 b	87.47 a	46.86 b
Aspartic acid	26.88 c	37.62 b	64.76 a	64.00 a	16.14 d
Hydroxyproline	40.67 ab	47.92 a	37.25 b	43.27 a	nd
Threonine	18.26 c	9.21 d	71.70 a	38.01 b	19.08 c
Serine	39.05 b	22.66 c	4.34 e	15.42 d	55.45 a
Glutamic acid	135.68 a	101.43 c	104.00 c	116.33 b	119.50 b
α-Amino adipic acid	24.68 b	18.72 c	36.58 a	3.82 d	30.60 ab
Proline	24.26 d	33.63 c	59.64 a	47.57 b	31.23 c
Glycine	8.81 c	61.85 a	9.38 c	nd	11.43 b
Alanine	8.35 c	48.72 ab	nd*	38.33 b	55.59 a
Citrulline	19.81 ab	16.90 b	nd	21.17 a	18.00 ab
α-amino butyric acid	23.63 b	21.72 b	46.66 a	nd	nd
Valine	67.97 ab	71.34 a	61.36 b	72.12 ab	60.04 b
Cystine	32.01 b	45.04 a	nd	nd	42.91 a
Methionine	43.60 a	20.82 c	31.13 b	26.07 bc	27.50b c
Isoleucine	32.00 ab	26.44 b	23.84 b	19.38 c	38.68 a
Leucine	47.85 c	51.01 b	67.81 a	58.08 ab	35.35 d
Tyrosine	23.73 ab	18.30 b	nd	22.02 ab	29.15 a
Phenylalanine	14.06 c	16.68 b	20.94 a	nd	nd
γ-Amino butyric acid	23.19 b	16.00 c	10.13 d	28.20 ab	30.39 a
Histidine	59.84 b	59.99 b	70.89 a	54.69 b	59.69 b
Tryptophan	19.46 ab	18.02 ab	18.37 ab	16.41 b	20.91 a
Carnosine	25.96 a	25.10 a	17.59 ab	14.57 b	26.82 a
Ornithine	14.27 ab	18.05 a	10.88 b	20.18 a	nd
Lysine	38.58 b	36.63 b	47.96 a	44.19 a	40.53 ab
Argine	13.46 b	23.75 ab	28.59 a	31.63 a	16.14 b
Total	982.79 b	999.20 ab	1,015.50 a	965.26 c	962.35 c

^zMean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

*nd : no detection.

Appendix 3–2. Amino acids contents in amaranth sprouts as affected by the LED colors as a light.

Characters	Amino acids contents (mg·100g ⁻¹ DW)				
	Blue	Green	Red	Red Blue	Yellow
Phosphoserine	12.71 b ^z	15.43 a	9.16 c	12.08 b	16.01 a
Taurine	38.36 b	38.76 b	46.57 ab	34.87 c	52.60 a
Phospho ethanol amine	28.47 ab	28.29 ab	30.14 a	26.32 b	25.12 b
Urea	47.87 b	48.67 b	47.05 b	58.02 a	45.14 b
Aspartic acid	32.12 d	46.14 b	57.86 a	48.70 b	38.05 c
Hydroxyproline	34.86 ab	36.59 a	31.42 b	37.98 a	37.84 a
Threonine	39.28 c	58.73 a	48.25 b	43.61 bc	34.11 d
Serine	46.60 a	38.14 b	26.09 c	46.72 a	40.55 ab
Glutamic acid	68.85 c	76.25 b	83.98 a	75.41 b	80.96 ab
α-Amino adipic acid	38.66 a	34.40 a	34.02 a	28.26 b	18.83 c
Proline	17.82 c	26.30 a	17.54 c	22.88 b	20.59 b
Glycine	44.77 a	44.06 a	38.75 b	34.67 b	22.91 c
Alanine	36.99 a	28.68 c	15.95 d	32.74 b	39.96 a
Citrulline	9.83 b	3.62 c	10.53 b	10.22 b	16.62 a
α-amino butyric acid	29.14 ab	34.76 a	22.04 b	23.44 b	33.97 a
Valine	49.25 ab	44.88 b	49.01 ab	49.48 ab	52.39 a
Cystine	18.59 a	4.26 c	11.37 b	4.85 c	15.92 ab
Methionine	27.44 b	29.04 ab	30.81 ab	33.95 a	22.60 c
Isoleucine	21.97 c	20.55 c	24.49 b	25.05 b	31.59 a
Leucine	18.97 b	23.17 a	18.00 b	24.83 a	15.86 c
Tyrosine	18.01 ab	13.30 b	16.99 ab	19.18 a	20.58 a
Phenylalanine	16.65 b	19.97 a	14.69 b	19.96 a	15.76 b
γ-Amino butyric acid	13.20 d	19.10 cd	29.61 b	31.08 b	40.74 a
Histidine	42.86 b	42.76 b	41.36 b	42.46 b	52.02 a
Tryptophan	15.94 b	14.37 b	17.49 a	18.61 a	14.21 b
Carnosine	24.15 b	17.98 c	16.11 c	23.90 b	38.02 a
Ornithine	15.13 ab	11.26 c	13.68 b	18.56 a	11.40 c
Lysine	42.02 b	48.66 a	41.24 b	41.83 b	39.76 b
Argine	23.84 b	24.66 b	15.98 c	35.13 a	20.05 bc
Total	874.36 c	892.79 b	860.20 d	925.8 a	914.15 a

^zMean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

Appendix 3–3. Amino acids contents in alfalfa sprouts as affected by the LED colors as a light.

Characters	Amino acids contents (mg·100g ⁻¹ DW)				
	Blue	Green	Red	Red Blue	Yellow
Phosphoserine	8.11 b ^z	11.17 ab	13.21 a	12.20 ab	16.00 a
Taurine	45.73 ab	37.66 b	39.66 b	35.88 c	52.10 a
Phospho ethanol amine	31.24 a	26.77 ab	29.12 ab	25.22 b	24.22 b
Urea	49.10 b	46.44 b	47.67 b	58.02 a	46.11 b
Aspartic acid	56.88 a	33.22 d	45.24 b	47.70 b	37.04 cd
Hydroxyproline	33.41 b	36.88 ab	36.59 a	37.98 a	38.77 a
Threonine	49.22 b	24.00 c	59.74 a	42.11 bc	35.22 d
Serine	24.19 c	41.20 a	39.24 b	45.70 a	41.50 ab
Glutamic acid	82.88 a	59.80 b	75.22 ab	74.22 ab	81.66 a
α-Amino adipic acid	35.11 b	41.26 a	36.20 b	27.11 c	19.63 d
Proline	15.44 c	19.81 c	25.20 a	23.30 b	21.44 b
Glycine	39.77 b	45.78 a	46.66 a	33.77 bc	21.81 c
Alanine	14.99 c	38.10 a	25.67 b	34.44 ab	38.66 a
Citrulline	12.33 b	9.90 b	4.22 c	11.12 b	17.82 a
α-amino butyric acid	20.14 c	30.10 b	33.66 a	22.33 c	32.77 a
Valine	50.01 a	50.20 a	42.77 b	48.44 a	51.40 a
Cystine	13.27 b	20.60 a	3.28 c	3.95 c	16.90 a
Methionine	29.81 ab	26.40 b	28.22 ab	32.98 a	21.70 c
Isoleucine	26.40 b	22.77 c	21.44 c	26.02 b	32.69 a
Leucine	17.01 b	19.99 b	22.22 a	26.33 a	16.66 c
Tyrosine	16.09 b	19.10 ab	14.20 c	20.12 a	22.88 a
Phenylalanine	16.69 b	17.66 b	18.77 a	19.98 a	16.77 b
γ-Amino butyric acid	27.21 b	14.20 d	17.11 c	30.09 b	42.44 a
Histidine	42.36 b	41.88 b	43.55 b	41.66 b	51.12 a
Tryptophan	18.40 a	16.90 b	13.23 b	19.88 a	15.11 b
Carnosine	18.12 c	23.15 b	16.77 c	24.99 b	37.22 a
Ornithine	14.78 b	16.23 ab	10.12 c	19.66 a	12.44 c
Lysine	42.44 b	43.02 b	47.56 a	42.88 b	40.66 b
Argine	16.99 c	24.88 b	23.33 b	36.23 a	19.00 bc
Total	868.12 c	1075.07 c	879.87 b	924.31 a	921.74 ab

^zMean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

Appendix 3–4. Amino acids contents in rape sprouts as affected by the LED colors as a light.

Characters	Amino acids contents (mg·100g ⁻¹ DW)					
	Blue	Green	Red	Red Blue	White	Yellow
Phosphoserine	8.92 b ^z	10.64 a	8.92 b	9.35 ab	9.78 ab	8.86 b
Taurine	56.39 b	54.77 b	56.82 b	53.47 b	61.46 ab	68.58 a
Phospho ethanol amine	13.46 ab	15.19 a	7.87 d	9.59 c	11.26 b	11.04 b
Urea	43.09	45.61	43.36	44.94	46.52	45.65
Aspartic acid	62.46 a	28.83 d	43.87 b	40.11 b	36.35 c	25.28 d
Hydroxyproline	52.42 a	46.92 b	31.40 c	46.55 b	nd	30.98 c
Threonine	63.24 a	50.66 c	59.57 b	57.34 b	55.12 b	55.90 b
Serine	7.62 e	41.88 a	12.04 d	19.50 b	16.49 bc	16.46 bc
Glutamic acid	92.78 b	85.74 c	110.64 a	104.42 a	98.19 ab	73.32 d
α-Amino adipic acid	nd [*]	83.52 a	44.49 d	54.24 c	64.00 b	88.97 a
Proline	20.32 a	10.87 bc	14.42 b	13.53 b	12.64 b	8.52 c
Glycine	53.11 c	53.70 c	62.07 b	70.55 a	57.88 bc	71.03 a
Alanine	nd	nd	21.73 c	23.97 c	26.06 bc	35.58 a
Citrulline	nd	2.50 ab	3.60 a	0.63 b	1.25 b	2.59 ab
α-amino butyric acid	32.61 a	11.88 d	19.79 c	22.82 bc	16.75 c	25.18 b
Valine	37.47 a	31.00 ab	38.29 a	18.78 c	24.53 b	23.09 b
Cystine	4.77 a	2.72 b	2.39 b	2.47 b	2.55 b	nd
Methionine	12.39 c	30.48 ab	22.34 b	34.37 a	26.41 b	32.28 a
Isoleucine	nd	20.15 a	9.34 c	12.04 b	14.74 b	18.68 ab
Leucine	9.85 b	11.96 ab	4.49 c	14.59 a	2.73 d	nd
Tyrosine	nd	nd	nd	2.21 b	4.41 a	nd
Phenylalanine	12.31 b	12.32 b	13.67 b	13.33 b	12.99 b	15.03 a
γ-Amino butyric acid	nd	31.98 bc	68.04 a	21.64 c	36.52 b	nd
Histidine	38.73 a	26.39 b	20.67 c	24.92 b	40.46 a	25.19 b
Tryptophan	6.47 ab	8.81 a	nd	1.81 d	4.14 c	nd
Carnosine	17.03 a	14.94 b	6.73 d	8.78 c	10.83 bc	13.45 b
Ornithine	13.19 b	18.08 a	5.35 d	8.53 c	11.71 bc	10.69 bc
Lysine	8.93 b	12.97 a	10.67 ab	11.24 a	11.82 a	12.38 a
Argine	10.39 c	22.91 a	13.23 bc	15.65 b	18.07 ab	16.08 b
Total	677.96 c	787.43 a	755.75 ab	751.38 ab	735.69 b	734.80 b

^zMean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

*nd : no detection.

Appendix 3–5. Amino acids contents in red kohlrabi sprouts as affected by the LED colors as a light.

Characters	Amino acids contents (mg·100g ⁻¹ DW)					
	Blue	Green	Red	Red Blue	White	Yellow
Phosphoserine	4.59 b ^z	nd [*]	6.55 b	12.43 a	9.17 ab	8.51 ab
Taurine	29.00 ab	25.34 b	34.83 a	29.63 ab	21.33 c	29.31 ab
Phospho ethanol amine	27.94 b	nd	25.93 bc	19.89 d	38.51 a	23.92 c
Urea	41.32 b	49.57 a	47.87 a	49.64 a	47.04 a	48.46 a
Aspartic acid	30.74 c	52.72 b	31.15 c	32.38 c	89.43 a	31.56 c
Hydroxyproline	29.19 ab	33.57 a	29.89 ab	32.01 a	24.83 b	30.60 ab
Threonine	43.09 b	nd	43.67 b	nd	86.16 a	44.25 b
Serine	41.86 c	67.29 a	48.22 bc	67.29 a	16.43 d	54.57 b
Glutamic acid	16.76 a	15.96 a	16.19 a	14.48 a	17.57 a	15.62 a
α-Amino adipic acid	7.86 d	15.71 c	25.41 b	34.70 a	nd	32.12 a
Proline	7.84 b	15.67 a	9.17 b	13.21 a	nd	10.52 ab
Glycine	14.87 cd	20.72 b	9.69 d	12.09 cd	30.17 a	30.91 a
Alanine	9.58 b	15.96 a	15.12 a	16.72 a	13.43 ab	8.36 b
Citrulline	nd	nd	1.25b	5.01 a	nd	nd
α-amino butyric acid	58.13 a	45.78 b	57.81 a	56.84 a	34.08 c	57.49 a
Valine	54.27 a	37.32 d	50.49 ab	46.71 b	45.90 b	41.31 bc
Cystine	5.64	6.27	5.58	5.42	5.00	5.53
Methionine	30.08 b	47.55 a	29.73 b	28.69 b	12.61 c	29.38 b
Isoleucine	22.61 bc	36.56 a	22.36 bc	21.62 bc	19.87 c	22.11 bc
Leucine	2.37 b	nd	2.48 b	2.83 b	5.62 a	2.60 b
Tyrosine	16.46 a	15.59 a	16.7 4 a	17.58 a	17.33 a	17.02 a
Phenylalanine	19.21 b	27.69 a	16.81 b	9.60 c	10.73 c	14.41 bc
γ-Amino butyric acid	nd	nd	19.37 a	14.31 b	nd	14.83 b
Histidine	57.64 b	66.06 a	61.42 ab	50.17 bc	37.94 d	65.20 a
Tryptophan	15.24 c	31.01 a	15.97 c	18.15 b	nd	16.69 c
Carnosine	19.75 b	31.92 a	18.92 b	16.42 b	7.57 c	18.08 b
Ornithine	10.99 c	21.97 a	14.61 b	nd	nd	18.23 ab
Lysine	54.18 b	52.69 b	54.25 b	64.56 a	45.56 c	54.32 b
Argine	33.62 b	50.83 a	32.65 b	29.74 bc	16.42 d	31.68 b
Total	704.82 bc	783.77 a	764.13 ab	722.14 b	652.69 d	777.59 ab

^zMean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

^{*}nd : no detection.

Appendix 3–6. Amino acids contents in red radish sprouts as affected by the LED colors as a light.

Characters	Amino acids contents (mg·100g ⁻¹ DW)					
	Blue	Green	Red	Red Blue	White	Yellow
Phosphoserine	42.36 a ^z	16.21 bc	43.13 a	14.09 c	7.01 d	20.28 b
Taurine	nd*	39.18 cd	50.24 b	42.60 c	55.48 a	31.89 d
Phospho ethanol amine	9.30 d	11.01 d	36.11 a	17.03 c	16.70 c	31.55 ab
Urea	49.29 a	49.42 a	48.86 a	50.28 a	50.78 a	49.97 a
Aspartic acid	42.84 bc	49.26 b	43.32 bc	47.31 b	78.78 a	34.01 d
Hydroxyproline	31.90 a	28.18 a	29.16 a	30.57 a	28.75 a	29.95 a
Threonine	11.01 e	42.16 bc	59.02 a	47.14 b	33.48 d	47.75 b
Serine	57.26 bc	62.28 b	11.89 e	61.41 b	32.38 d	92.72 a
Glutamic acid	94.80 a	83.61 b	84.16 b	82.11 b	84.47 b	85.03 b
α-Amino adipic acid	18.03 a	9.98 c	14.38 b	12.08 bc	13.38 b	14.83 b
Proline	22.99 b	17.41 bc	30.44 a	18.83 bc	15.71 c	18.61 bc
Glycine	12.21 de	29.58 c	8.37 e	84.20 a	58.14 b	15.30 d
Alanine	54.72 b	43.94 c	88.21 a	45.35 c	nd	55.32 b
Citrulline	15.25 a	6.97 c	nd	5.23 c	nd	10.02 ab
α-amino butyric acid	11.18 a	12.67 a	12.06 a	12.73 a	13.72 a	12.16 a
Valine	57.78 b	57.49 b	68.27 a	52.67 b	57.63 b	61.24 ab
Cystine	10.37 a	5.55 b	0.01 c	4.90 b	5.90 b	5.21 b
Methionine	20.41 d	31.69 b	25.09 cd	31.98 b	40.62 a	27.29 c
Isoleucine	33.47 a	24.10 b	21.60 c	24.69 b	31.33 a	20.63 c
Leucine	nd	7.46 b	nd	7.46 b	15.80 a	3.29 c
Tyrosine	16.12 b	19.94 ab	18.67 ab	20.10 a	22.49 a	18.71 ab
γ-Amino butyric acid	nd	19.86 b	24.01 b	36.00 a	20.96 b	20.50 b
Histidine	51.08 a	33.04 bc	29.22 c	30.30 c	29.10 c	8.79 d
Tryptophan	nd	22.71 c	36.98 a	25.05 b	27.18 b	21.05 c
Carnosine	nd	18.20 b	15.05 bc	19.14 b	28.87 a	13.10 c
Ornithine	88.49 a	34.16 b	8.030 e	29.13 c	20.06 d	39.95 b
Lysine	10.01 a	14.00 a	15.87 a	14.37 a	15.06 a	13.56 a
Argine	55.42 b	57.47 b	62.36 ab	70.87 a	69.02 a	64.77 ab
Total	816.32 d	847.53 c	884.50 b	937.61 a	872.81 b	867.46 b

^zMean separation within rows by Duncan's multiple range test at 5% level.

*nd : no detection.

Appendix 3–7. Qualities of young sprouts of 6 salad plants as affected by the LED colors as a light quality.

Plants	Qualities	LED colors					
		Blue	Green	Red	White	Yellow	Red Blue
Broccoli	Fresh weight	+++ ^z	++	+			
	Vitamin content	++	+				+++
	Inorganic matters content			++	+	+++	
	Amino acids content	+	++	+++			
	Total phenolic content		+		+++		++
	Total flavonoid content	+++			+		++
	DPPH radical–scavenging activity	++			+++	+	
	Nitrite radical–scavenging activity				+	+++	++
	Tyrosinase inhibition activity	++	+	+++			
	Anti–microbial activity		+++		++	+	
Total	+++	+		++			
Amaranth	Fresh weight	++	+++	+			
	Vitamin content		+		+++		++
	Inorganic matters content	+	++			+++	
	Amino acids content		+			++	+++
	Total phenolic content	++		+			+++
	Total flavonoid content	+		++			+++
	DPPH radical–scavenging activity	+		++			+++
	Nitrite radical–scavenging activity		++		+	+++	
	Tyrosinase inhibition activity		+++	+	++		
	Anti–microbial activity	+++	+			++	
Total		++			+	+++	
Alfalfa	Fresh weight	++		+	+++		
	Vitamin content		+			+++	++
	Inorganic matters content	++	+++				+
	Amino acids content			+		++	+++
	Total phenolic content	+++	++	+			
	Total flavonoid content			+	++		+++
	DPPH radical–scavenging activity	+		+++	++		
	Nitrite radical–scavenging activity				+++	+	++
	Tyrosinase inhibition activity	++	+++	+			
	Anti–microbial activity		+		++		+++
Total		+		++		+++	

Appendix 3–7 continues.

Plants	Qualities	LED colors					
		Blue	Green	Red	White	Yellow	Red Blue
Rape	Fresh weight		+++		++	+	
	Vitamin content	+	++	+++			
	Inorganic matters content	+		++		+++	
	Amino acids content		+++	++			+
	Total phenolic content		++	+++		+	
	Total flavonoid content	+++			++		+
	DPPH radical–scavenging activity	++	+		+++		
	Nitrite radical–scavenging activity	+			+++		++
	Tyrosinase inhibition activity	++	+++		+		
	Anti–microbial activity	+++		++		+	
Total		++	+++	+			
Red kohlrabi	Fresh weight		+++		+	++	
	Vitamin content			++	+++	+	
	Inorganic matters content	++		+++		+	
	Amino acids content		+++	+		++	
	Total phenolic content	+	++		+++		
	Total flavonoid content	+		++			+++
	DPPH radical–scavenging activity	++		+			+++
	Nitrite radical–scavenging activity		+++	++		+	
	Tyrosinase inhibition activity	+++		++	+		
	Anti–microbial activity	+		++		+++	
Total		+	++	+++			
Red radish	Fresh weight	+	+++			++	
	Vitamin content	+		+++			++
	Inorganic matters content	+++			+		++
	Amino acids content			++	+		+++
	Total phenolic content	+			+++	++	
	Total flavonoid content	+			++		+++
	DPPH radical–scavenging activity			++	+		+++
	Nitrite radical–scavenging activity		++		+	+++	
	Tyrosinase inhibition activity	+++	++			+	
	Anti–microbial activity	+	++				+++
Total		++	+			+++	

^z+: good, ++: better, +++: best

제3절. 생력화를 위한 생물공장 시스템 설치구성

1. 서 언

최근 환경친화적이며 웰빙식품으로 관심이 높아지고 있는 새싹채소는 무순 처럼 모종 판에서 직접 기르는 방법과는 달리 식물공장적 대량 생산을 위하여 드럼회전식 기계장치가 수입 제품을 중심으로 국내에 보급되어 가고 있다.

드럼회전식 새싹채소 재배기는 미국, 일본 등으로 부터 제품이 직접 수입되거나 모방된 제품이 국내에 10여개 회사에 보급되어 있으며, 제품의 가격이 고가이면서 우리나라 체형과 논리에 부적합한 사양으로 제조되어 있어 생산성은 물론 품질 측면에서도 문제가 되고 있는 상황이지만 아직 국내에서는 이 분야에 대한 연구가 전무한 실정이다.

드럼회전식 새싹재배기의 작업 능률을 저하시키고 생산성과 품질성을 저해하는 요인으로 지적되는 드럼재배조를 획기적으로 사용자 위주로 개선하고, 새싹의 유통 과정을 단축하여 중간판매자 또는 소비자가 직접 새싹채소를 용이하게 생산할 수 있도록 새로운 개념의 새싹채소 재배기를 개발하고자 하였으며 우선 드럼을 고정식에서 탈착식으로 개선하여 파종과 수확작업이 용이하도록 하였으며, 별도의 온도조절 챔버가 없더라도 기계장치에 부착된 온도 센서 및 조절장치를 통하여 새싹재배실 내부의 온도를 자유롭게 조절할 수 있도록 하는데 연구의 목표를 두었다.

2. 재료 및 방법

가. 시험 장소

- 본 연구는 한국온실작물연구소(전남 담양)의 온도 및 광조절이 가능한 새싹채소 시범생산시설(샌드위치판넬 조립시설, 150m²)내에서 기존 재배장치(제조회사 : 한가람포닉스)와 본 연구진이 개발한 재배기를 동일 공간에서 비교 시험하면서 연구개발을 추진하였다.

나. 시험용 새싹채소 생산설비의 특징과 활용방법

- 특징 : 5개의 룬으로 구성된 반투명 아크릴 제질의 드럼(내용량 : 500L, 250L)

- 활용방법 : 반투명 PE를 투명 PC로 교체하여 광환경 개선에 의한 새싹채소 재배실험을 추진하고, 일반적으로 사용되고 있는 반투명 PE 드럼을 이용하여, 특수

제조된 유색형광등(적색, 청색) 조건하에서 광질 적응시험을 수행하며, 관수량과 관수간격의 차이에 따른 새싹의 품목별 생육조사(하배축 두께, 전체 길이, 전체 중량) 및 외관 품질을 조사함

다. 새싹기기 신제품 개발

- 작업성 개선 : 종자 투입 및 새싹 수확시 작업자의 손이나 도구를 이용하여 장시간 노력이 소요되는 단점을 개선하기 위하여 드럼의 상하조절이 가능하도록 베어링 구조의 축수 핸들을 부착하고, 고정식 드럼 원통의 한계를 넘어 셀 형태의 충전식 드럼으로 구성할 수 있도록 셀의 케도레일 설치, 노즐 위치와 성능 개선, 셀 덮개의 구조 등에 대한 구조적 개선 및 성능평가 테스트를 추진함

- 새싹기기의 규격 및 활용법 : 기존의 고정식 타입의 새싹기기는 한번 설치하면 이동이 어려운 단점을 개선하여 휴대와 이동이 간편한 구조의 포터블 형태의 새싹기기를 제조할 수 있도록 제어반, 급수조절밸브, 인공광원 등을 기기에 부착

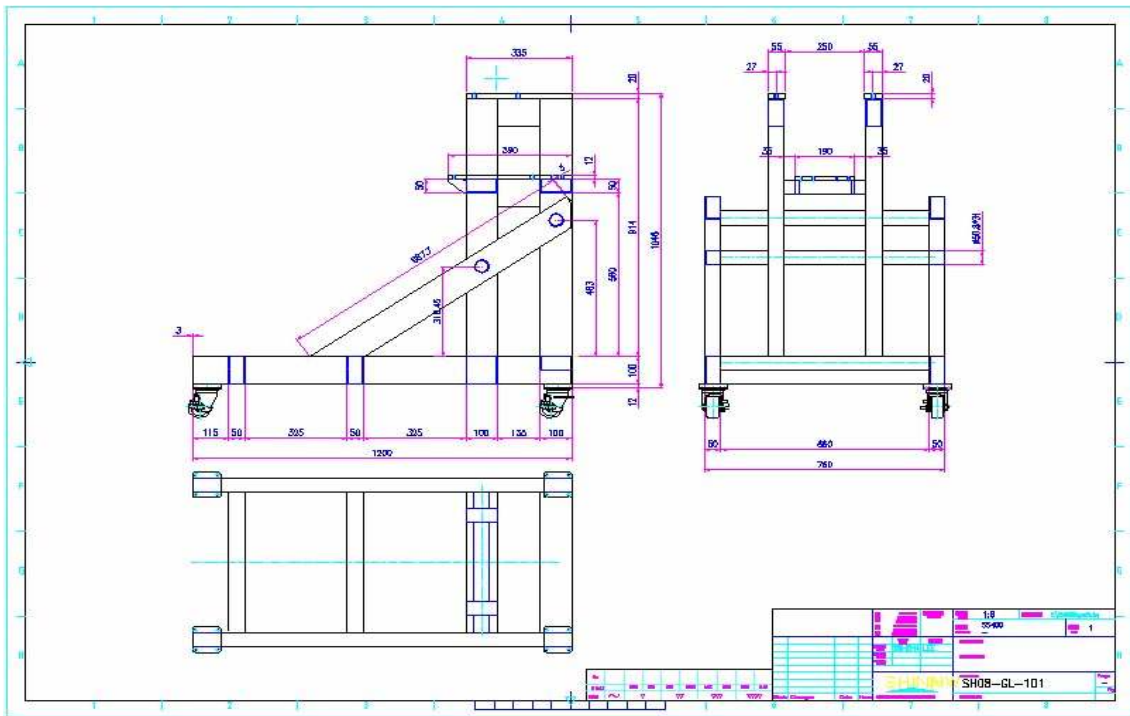
3. 결과 및 고찰

가. 생력화를 위한 생물공장 시스템 장치 개발

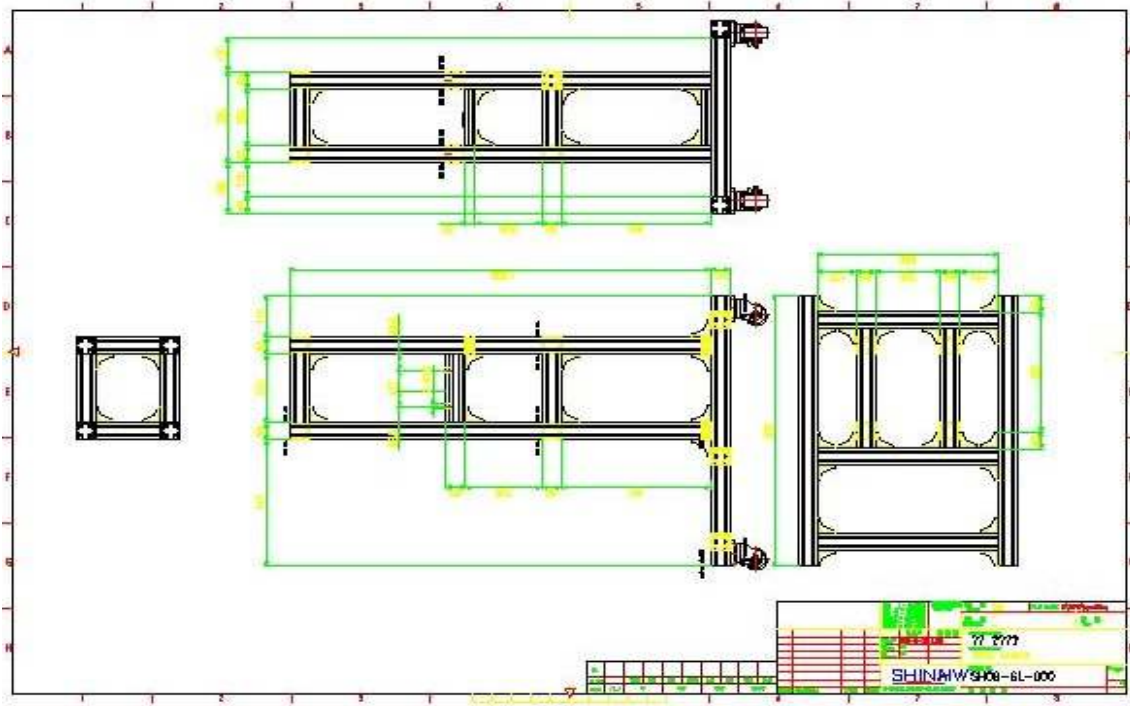
(1) 주요 형식 제원

제 원	2008년 개발제품	2009년 개발제품
높이	1.7m	1.3m
폭	1.1m	0.8m
길이	1.6m	1.2m
중량	250KG	150KG
인입 전력	220V	220V
모터 회전수	0.3 ~ 10rpm	0.1 ~ 5rpm
인입 수도수 압력	5~15kph	5~15kph
셀의 개수	5	5
셀의 규격	0.35×1.0m	0.25×0.6m
셀의 중량	12.0kg	5.0kg

② 부품 상세도

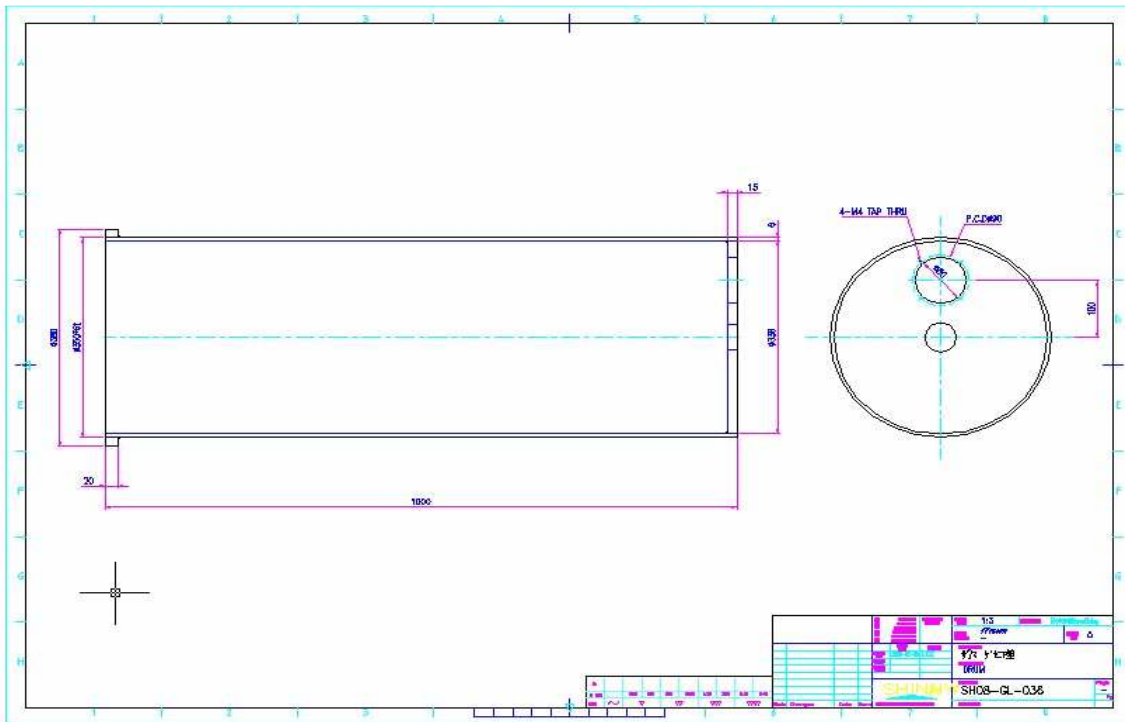


<500L>

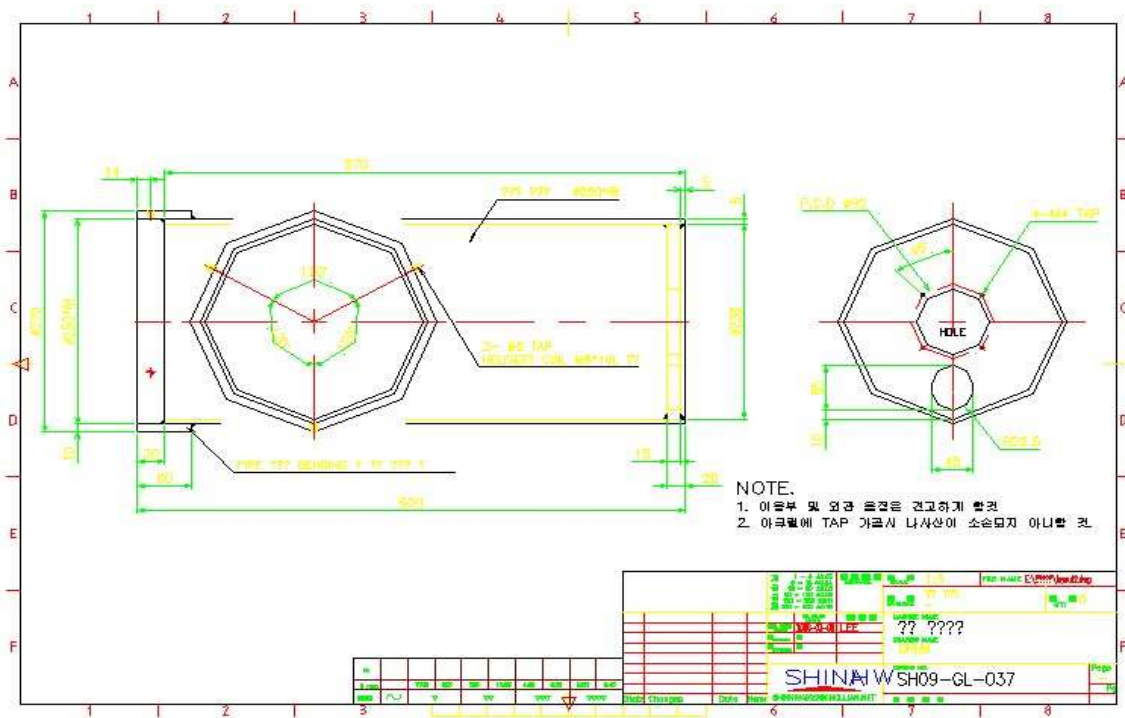


<250L>

<그림 3-40> 설계도(멤버)



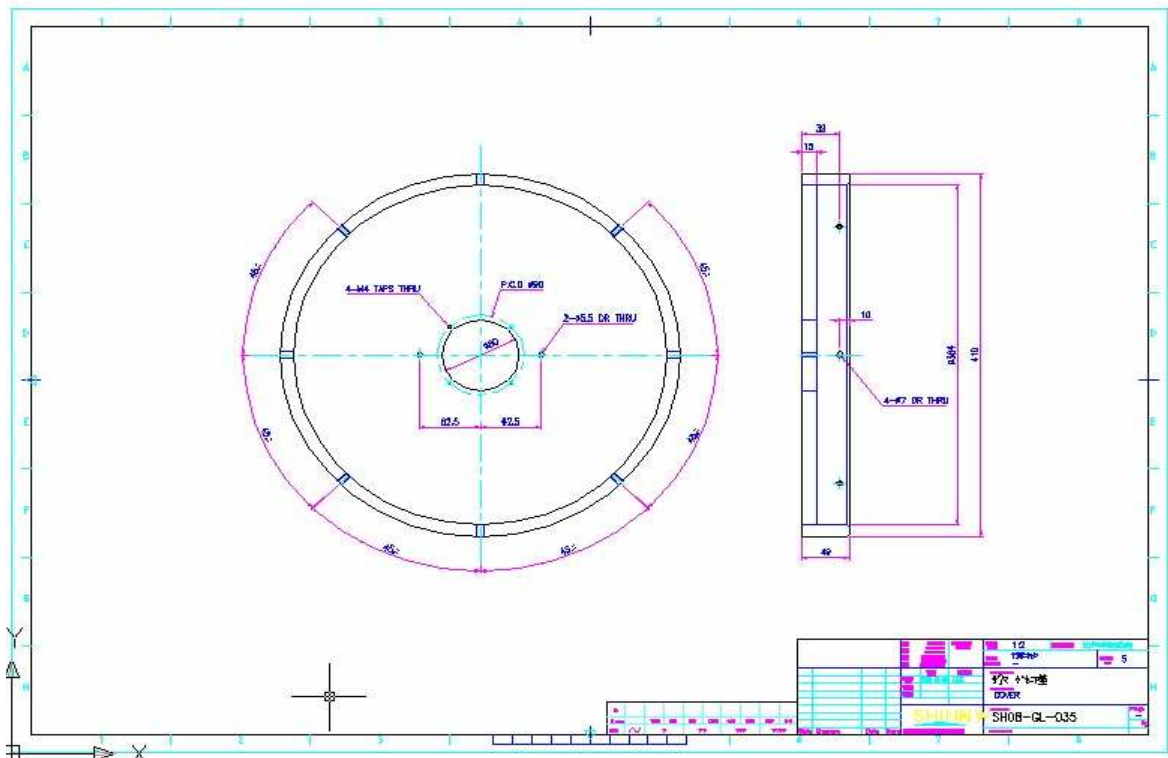
<500L>



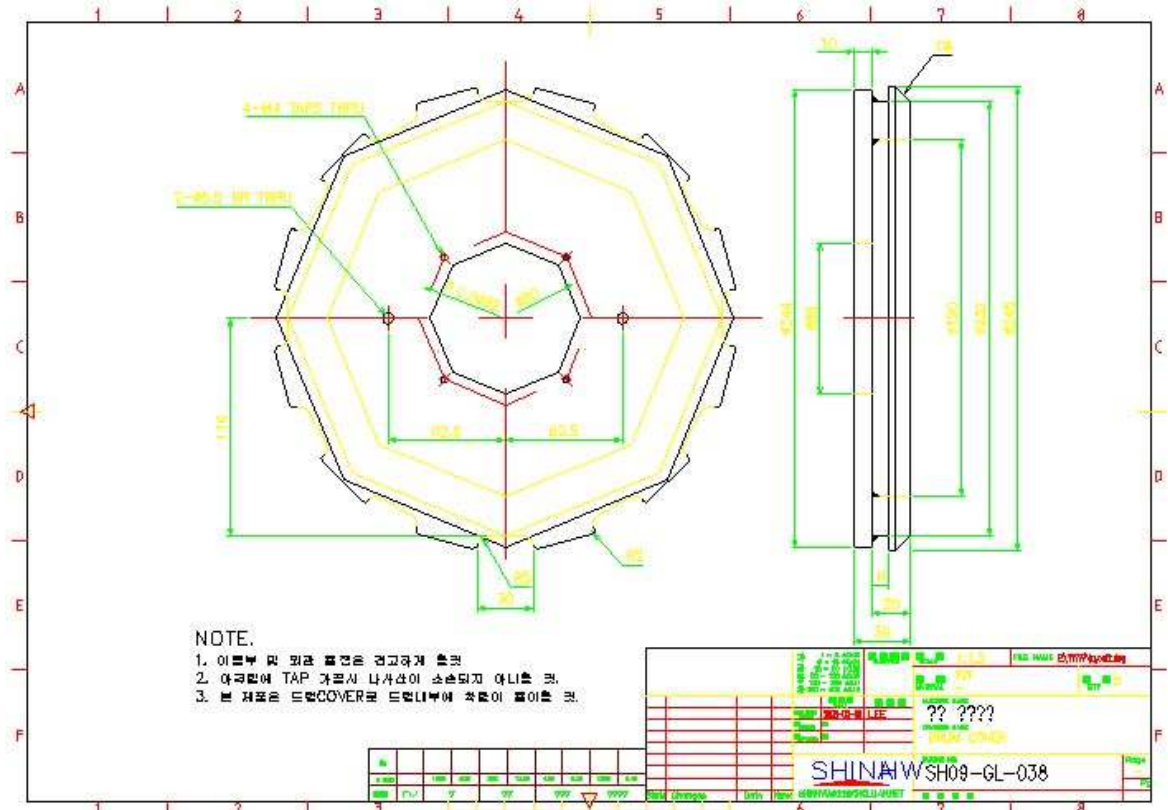
NOTE.
 1. 이음부 및 외경 공차는 견고하게 함
 2. 이크릴에 TAP 가공시 나사산이 손상되지 아니함 것

<250L>

<그림 3-41> 설계도(드림)



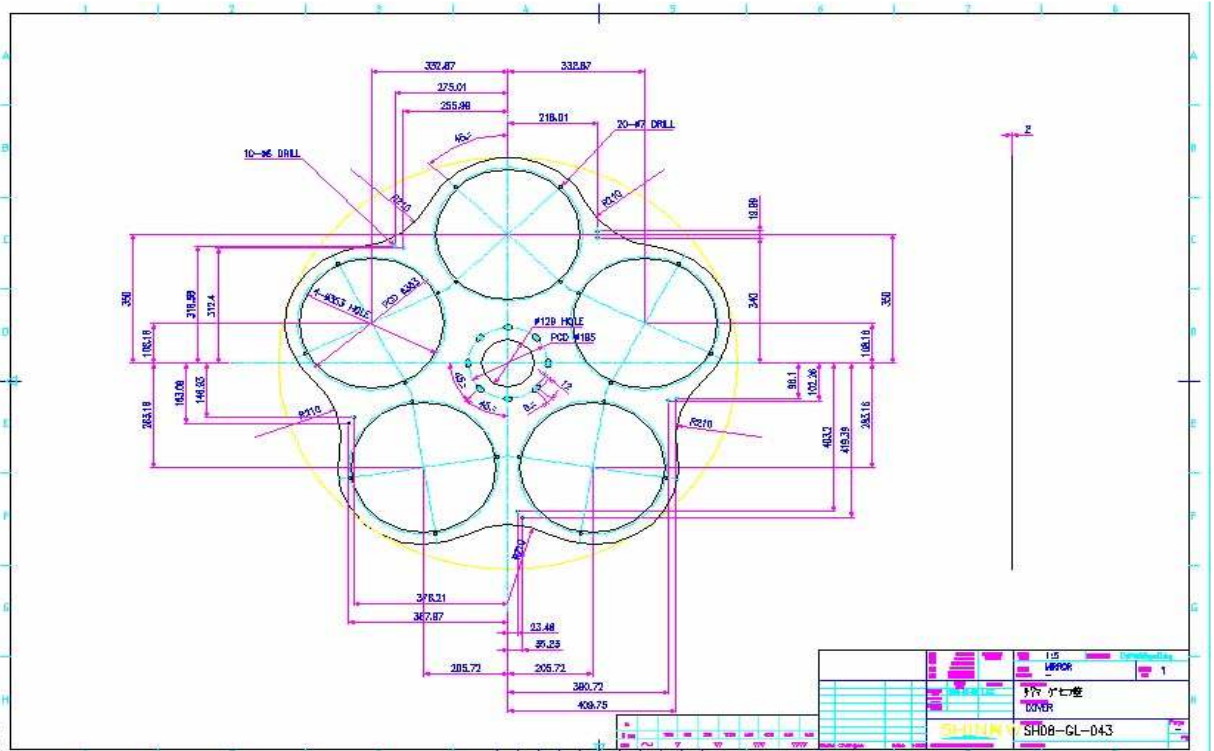
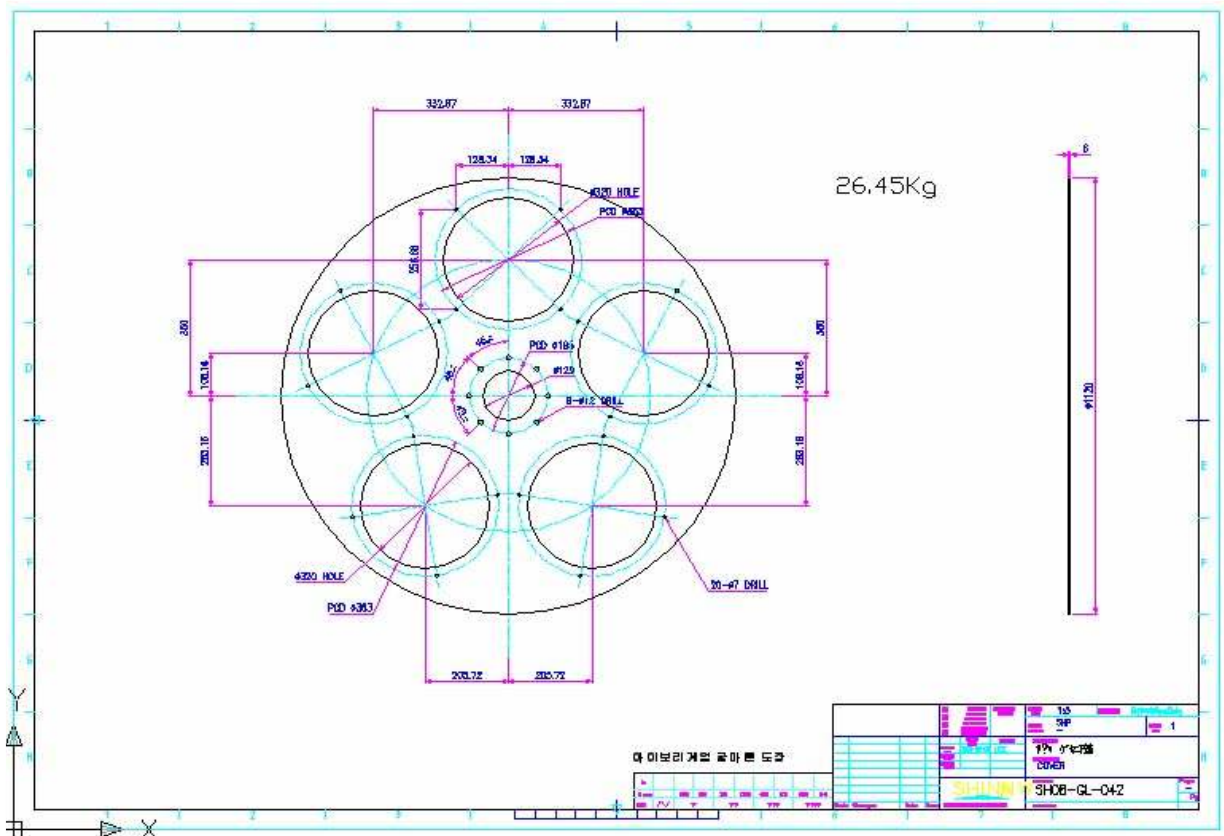
<500L>



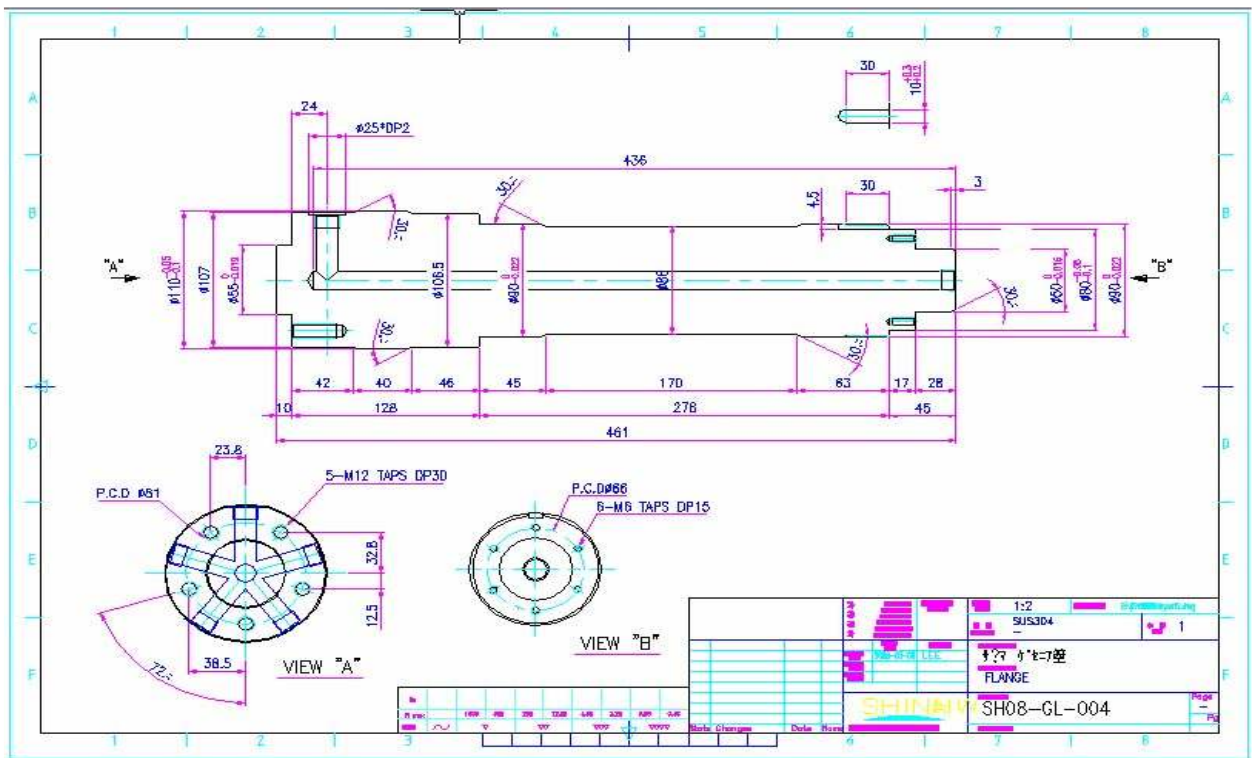
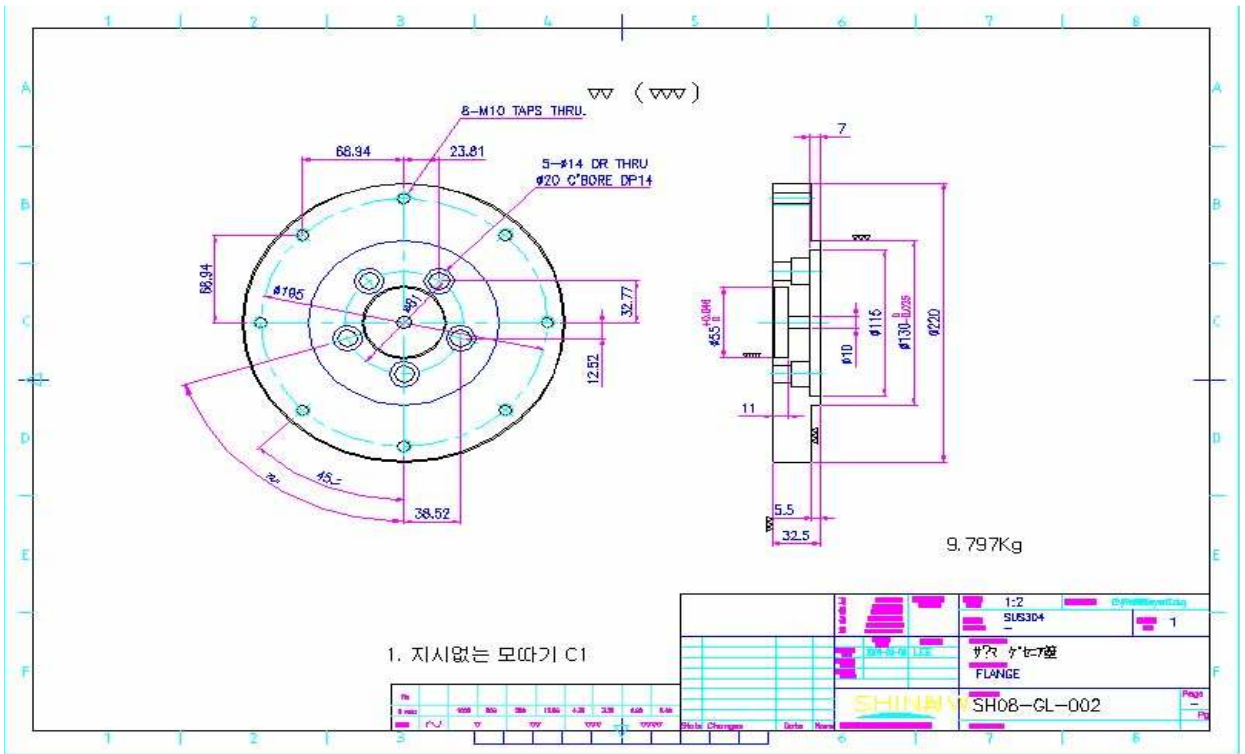
NOTE.
 1. 이 부분 및 외관 표면을 경고하게 함
 2. 하부에 TAP 가공시 나가시가 소손되지 아니함 것.
 3. 본 제품은 드럼COVER용 드럼내부에 적용이 됨이 함.

<250L>

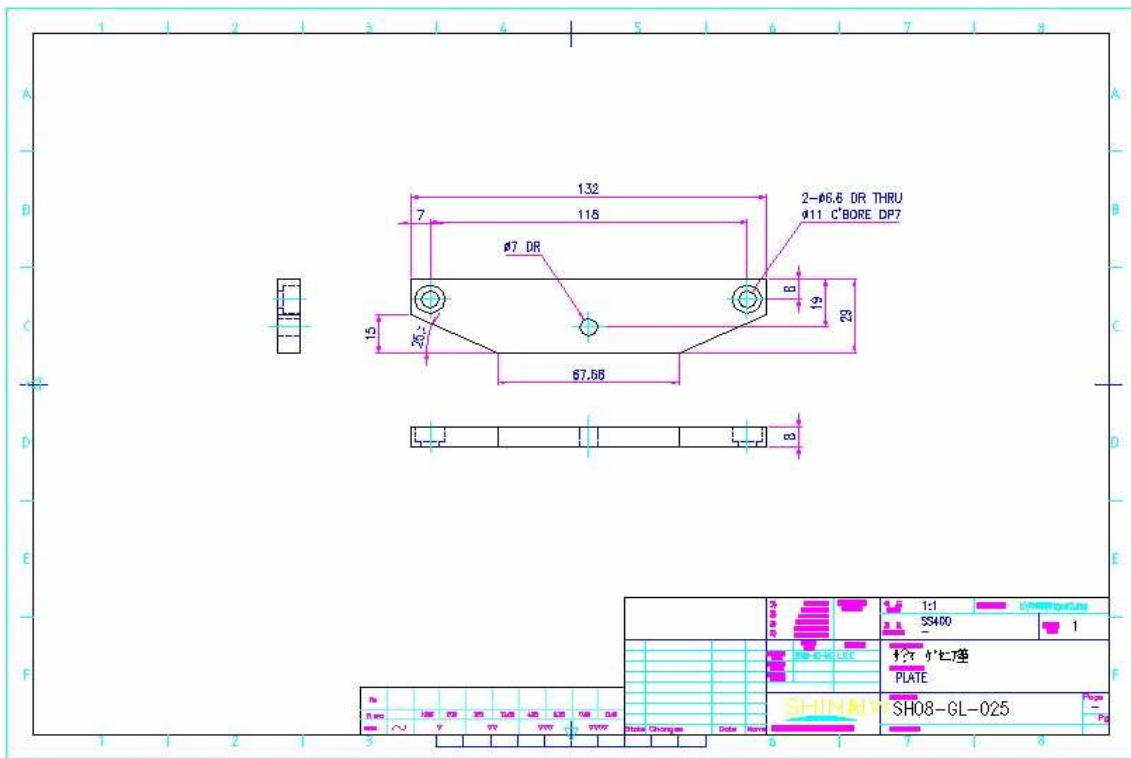
<그림 3-43> 설계도(전면커버)



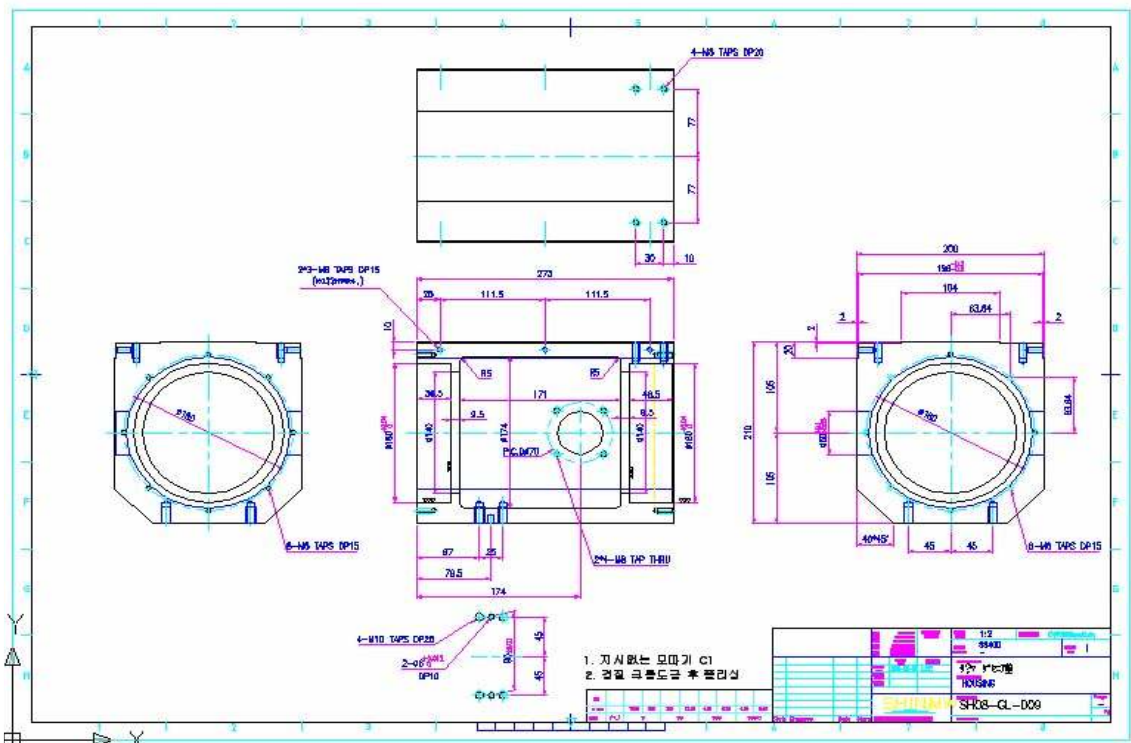
<그림 3-45> 설계도(커버, 500L)



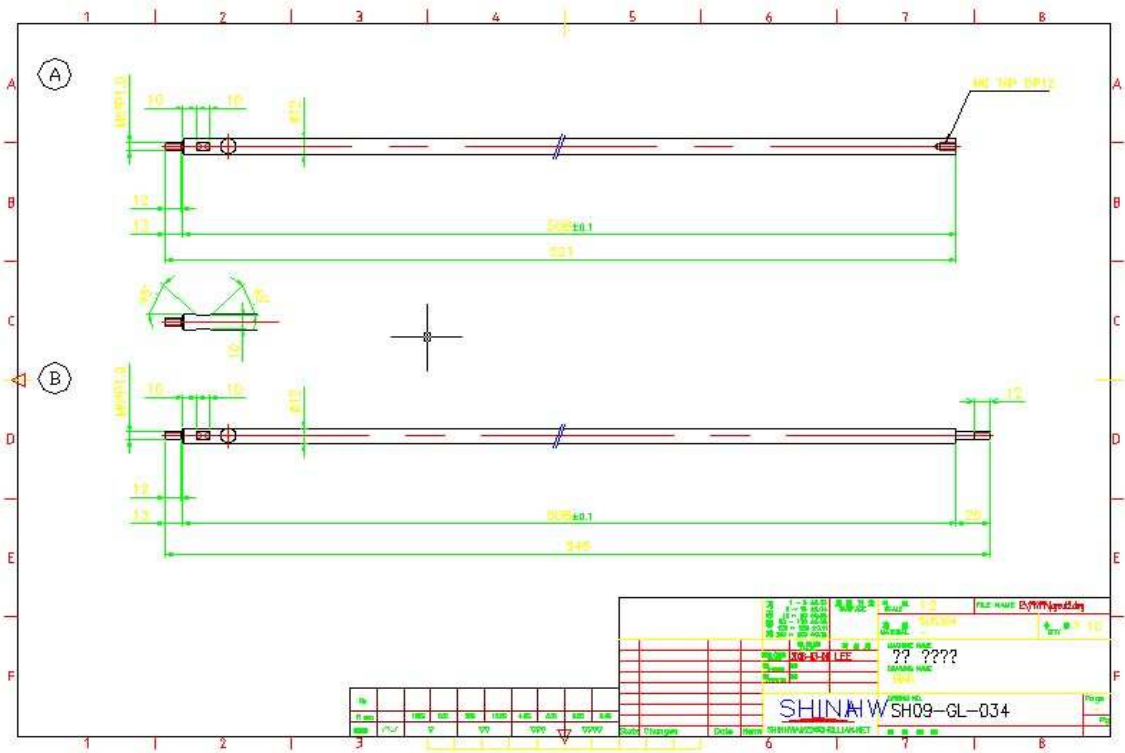
<그림 3-48> 설계도(플랜지, 500L)



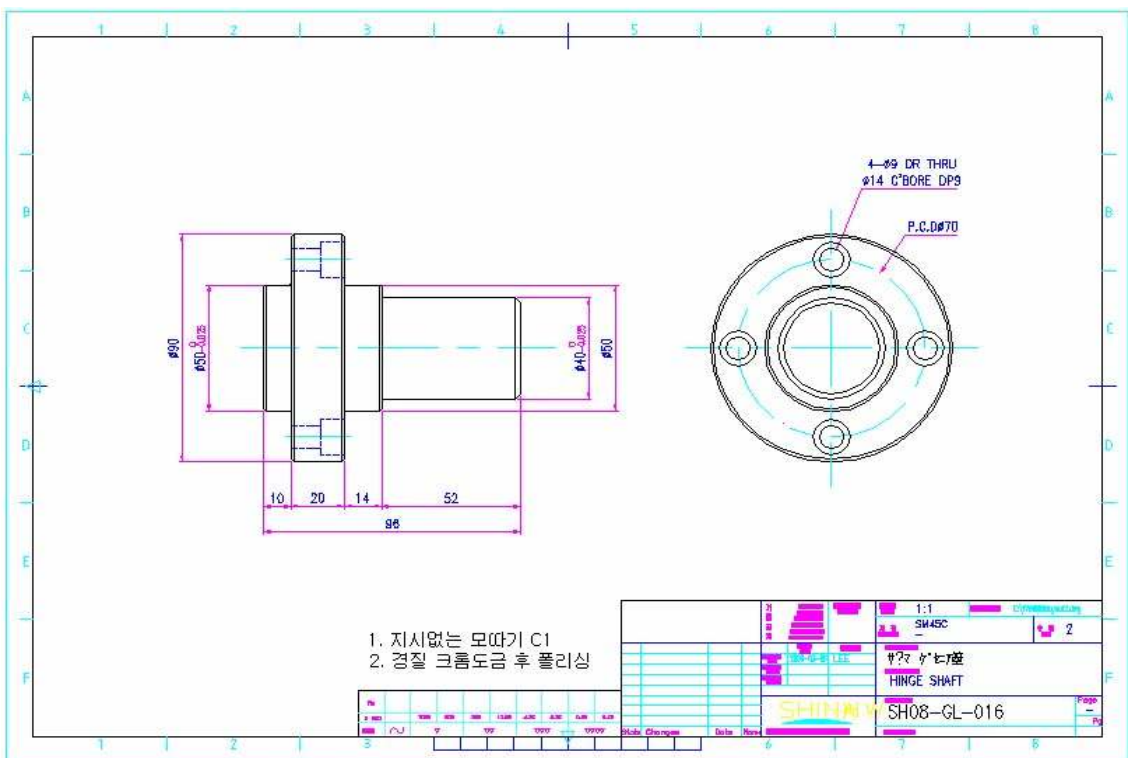
<그림 3-49> 설계도(플레이트, 500L)



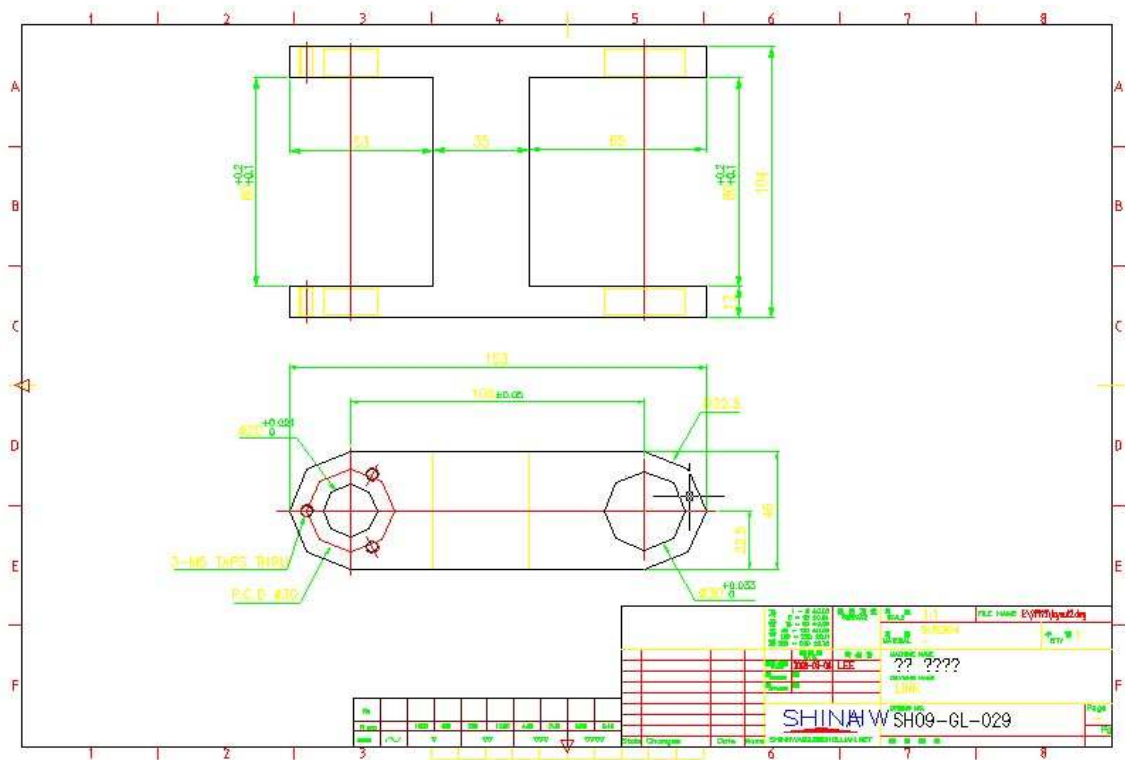
<그림 3-50> 설계도(하우징, 500L)



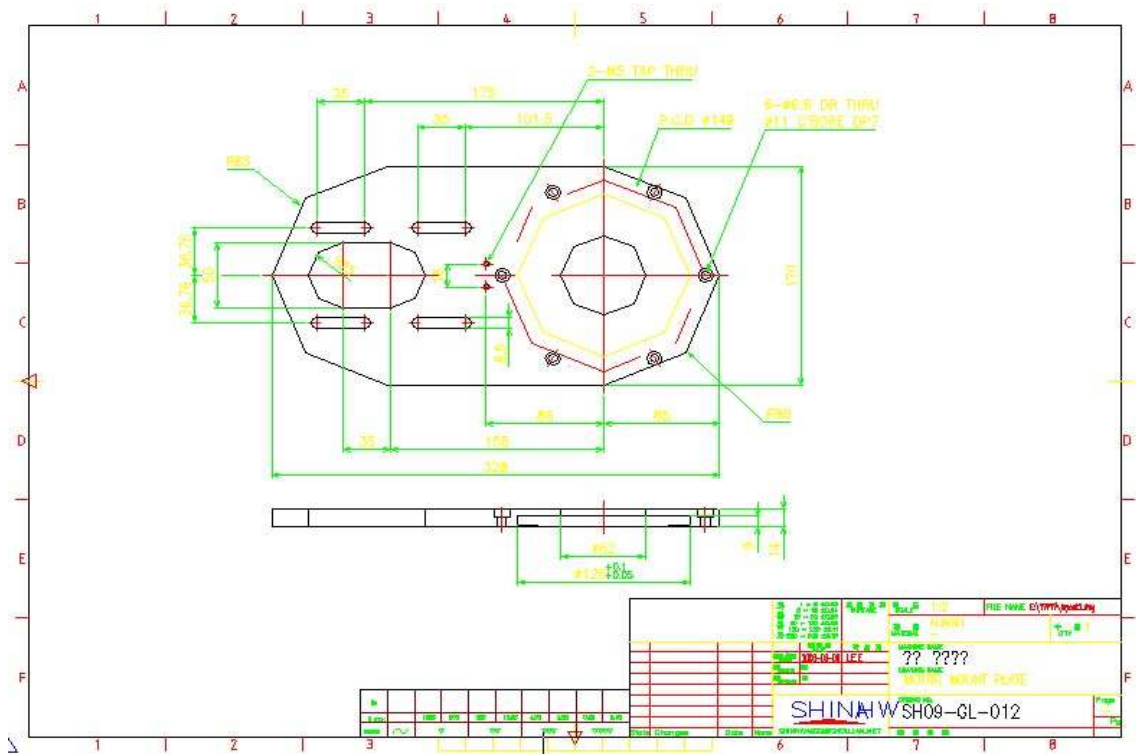
<그림 3-51> 설계도(베어링하우징, 250L)



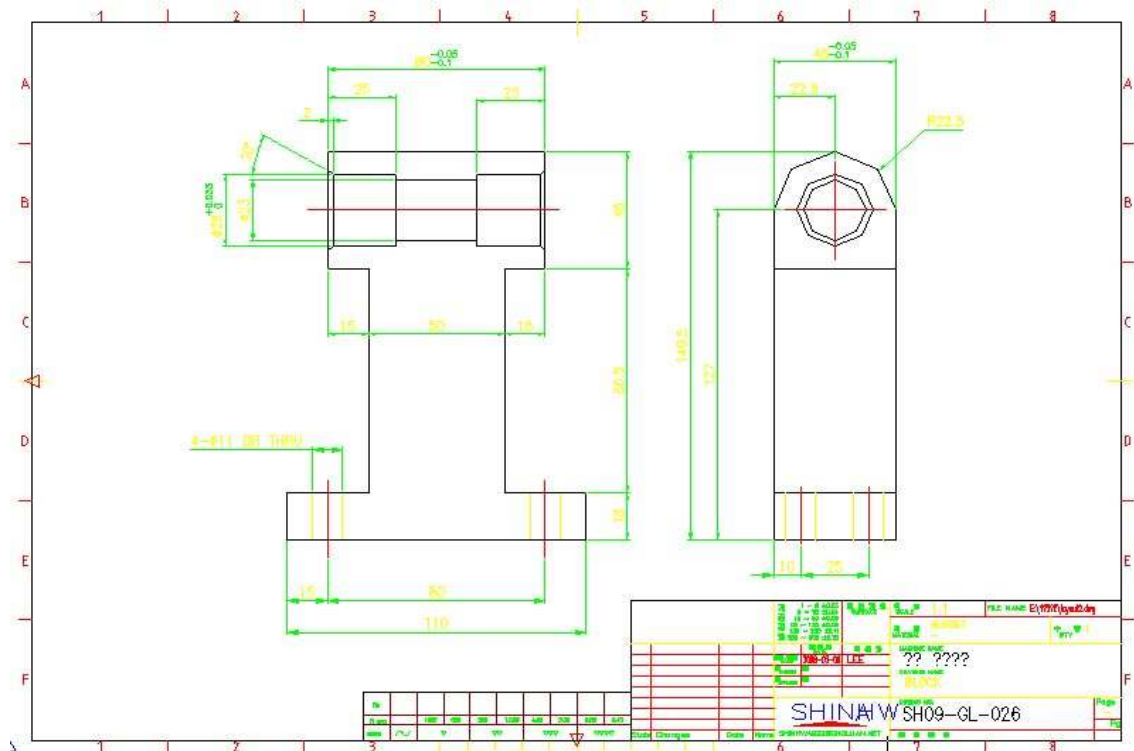
<그림 3-52> 설계도(힌지샤프트, 500L)



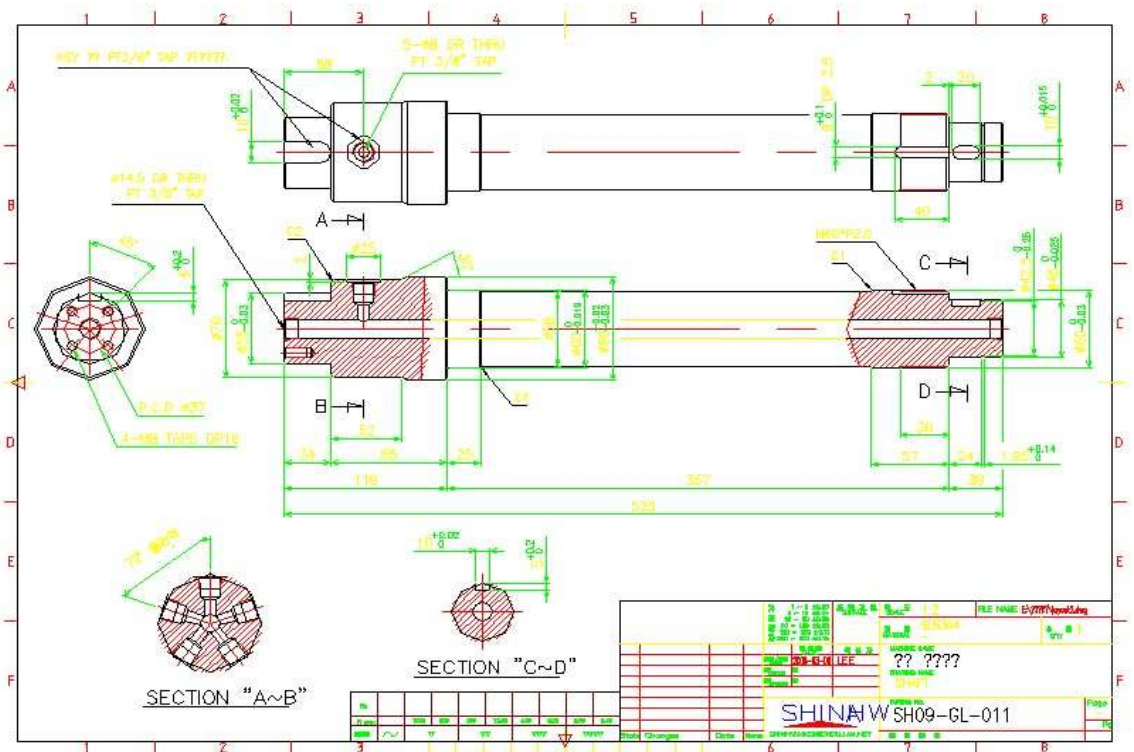
<그림 3-53> 설계도(링크, 250L)



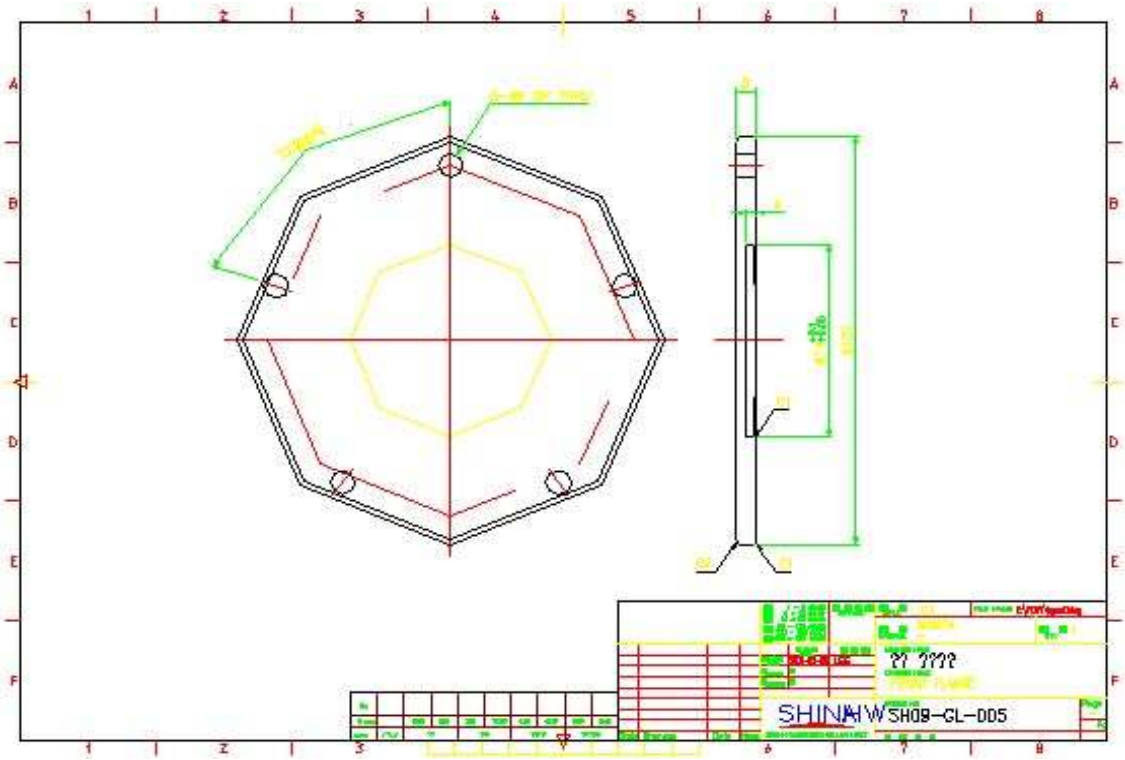
<그림 3-54> 설계도(모터마운트플레이트, 250L)



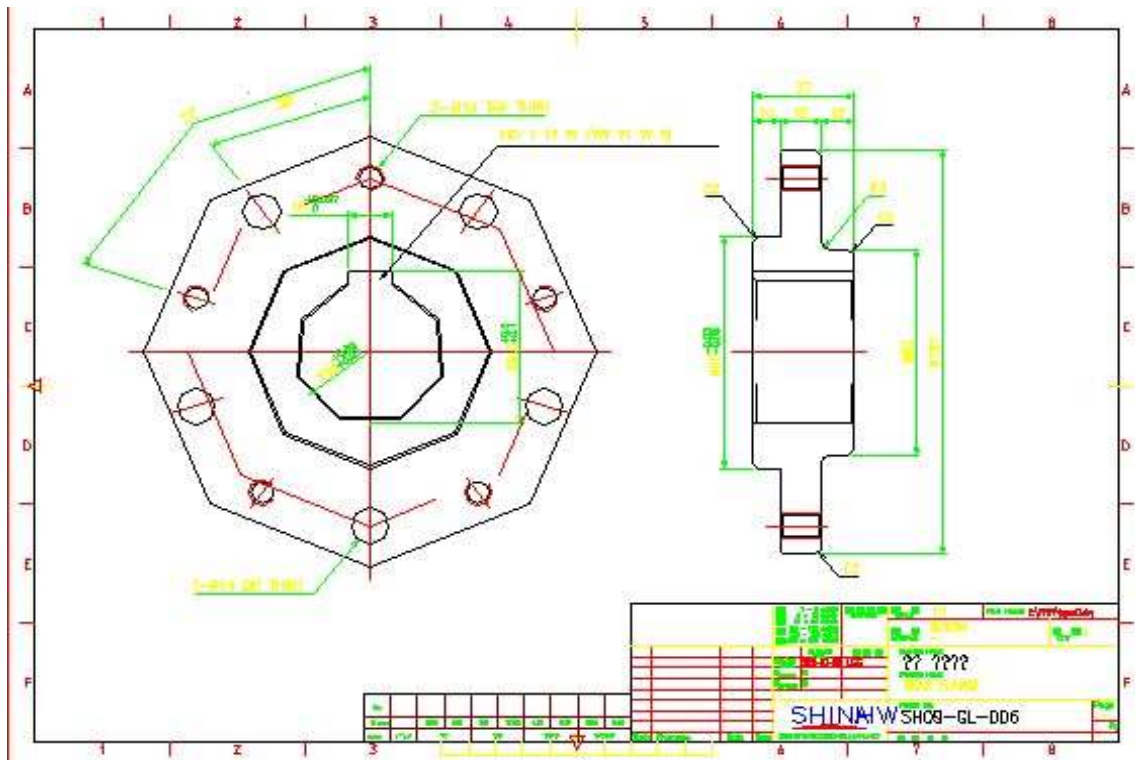
<그림 3-55> 설계도(블럭, 250L)



<그림 3-56> 설계도(샤프트, 250L)



<정면>



<후면>

<그림 3-58> 설계도(플렌지, 250L)

(3) 드럼의 상하각도 조절용 핸들기어 부착 기능 추가

- 목적 : 종자 투입, 수확작업 및 세정작업의 불편 해소

- 개발 내용 : 드럼의 각도를 상하 15°내외로 조절 가능하도록 핸들 기어를 부착시켰음. 특히, 1년차 500L용보다 경량화된 250L용 새싹기에는 회전수와 효율성을 더욱 개선시켰음



핸들 기어

베어링 축

드럼 연결부

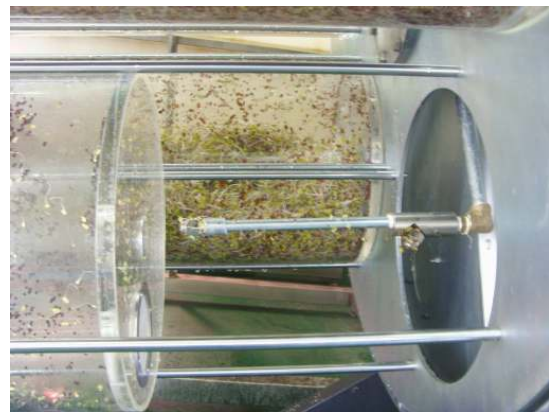
<그림 3-59> 드럼의 상하각도 조절용 핸들기어가 부착된 새싹채소 시제품

(4) 새싹 수확시 탈착이 용이한 생력화된 드럼 설계

- 개발내용 : 원통 고정식 드럼이 갖고 있는 파종 및 수확작업의 불편성을

해소하기 위하여 셀 형태의 충전식 드럼으로 신규 개발하였으며, 2년차에는 500L용 재배기로서 자체 온습도 조절이 가능하고 경량화된 포터블 형태의 250L용 새싹재배기를 개발하였다.

- 셀의 구성 : 5개의 셀(아크릴 10mm \varnothing)로 500L의 경우 폭 35cm, 길이 100cm였으며, 250L의 경우는 폭 25cm, 길이 60cm로 3면의 케도(SUS 1.5 \varnothing)를 따라 충전 및 탈착이 가능한 구조



<500L>



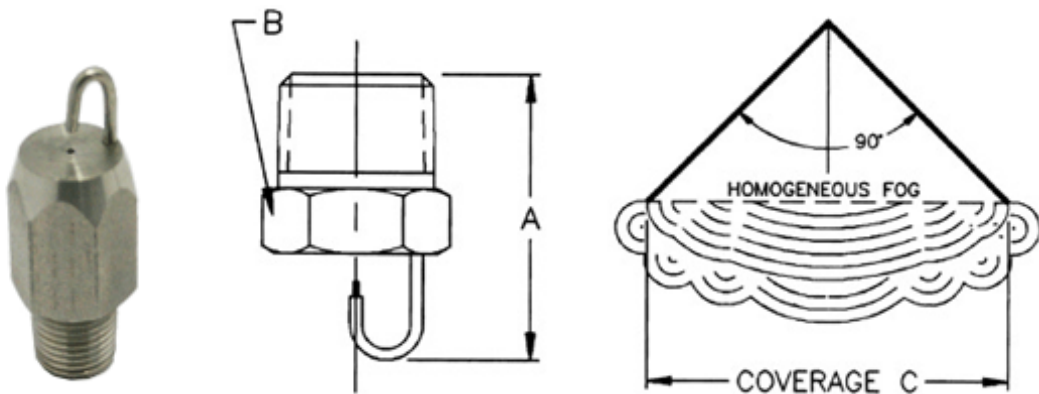
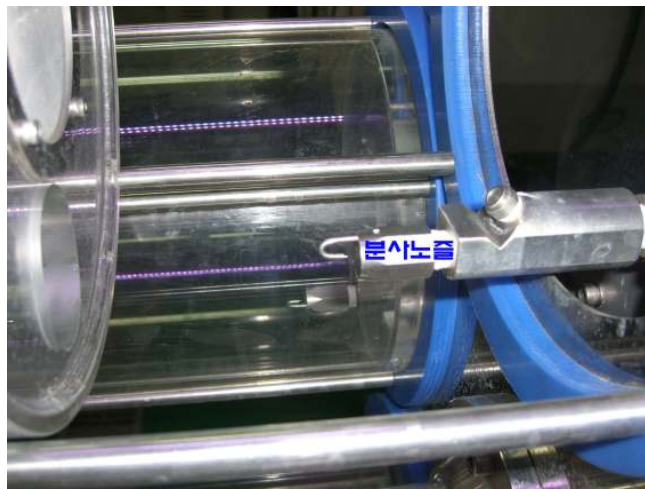
<250L>

<그림 3-60> 신규 개발된 새싹채소 생산용 생물공장 시스템

- 관수노즐 구성 : 500L용 노즐은 셀의 내부로 20cm 도출되어 있으며, 5cm 부위에 하향 노즐(셀의 0~30cm 관수공급), 20cm 부위에 수평노즐(셀의 30~100cm 관수공급) 등 2개의 노즐로 구성되어 있음. 노즐의 재질은 황동이며 5~15kph 압력조건(일반 수도수의 압력)에서 사용 가능함. 250L용 노즐은 내구성이 더욱 강화된 미세분사노즐(서진노즐, PJ형)을 채용하였다.



<500L>



<250L>

<그림 3-61> 신규 개발된 새싹기기의 내부 관수용 분사노즐

- 1차년도에 개발된 500L용 분사노즐은 시간당 분사량이 많고 포그 입자가 커서 드럼내부의 새싹이 최대로 성장했을 경우 드럼내부의 습도 유지 및 새싹 냉각 효율이 저하하는 단점이 있어, 2년차에는 이를 입자가 가늘고 분사 효율성이 우수한 노즐로 개선하여 부착하였다.



급수밸브



제어반

<500L용>



급수밸브



제어반

<250L용>

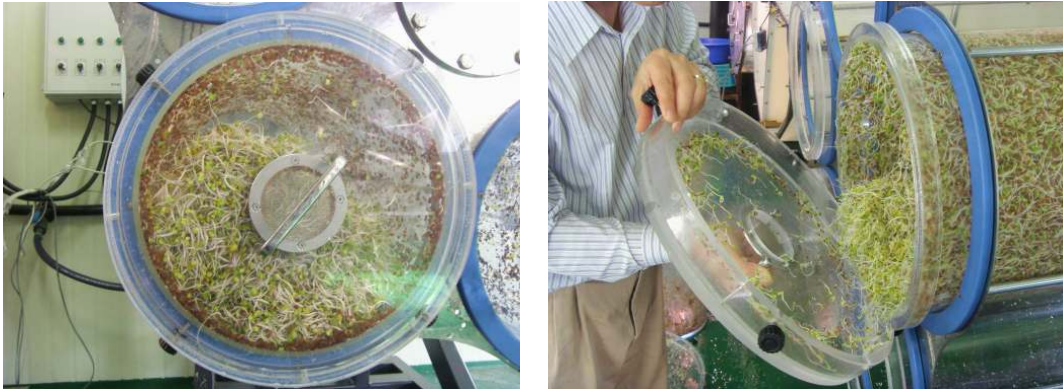
<그림 3-62> 신규 개발된 새싹기기의 급수밸브 및 제어반

- 제어반 구성

항목	500L용	250L용
전원스위치	220V, 25amp	220V, 25amp
드럼모터회전속도	0.3 ~ 10rpm	0.1 ~ 5rpm
관수제어	ON-OFF(5~30초/분)	ON-OFF제어, 원격제어
자동환경제어	없음	광, 온도, 습도

(5) 새싹 종자 투입 및 수확작업이 용이한 커버 잠김 장치 개발

- 개발내용 : 기존의 잠김리버는 암수나사 고정식으로 되어 있어 작업노력 및 작업시간이 과다하게 소요되는 단점을 개선하기 위하여 간이 나사식으로 구성하므로써 드럼당 작업시간을 5분에서 1분으로 단축 가능하였으며, 2년차에는 뚜껑의 덮개를 드럼내부에 끼워 넣을 수 있도록 외경 덮개식에서 내경 삽입식으로 개선하였다.



(a) 500L용, 드럼 외경 덮개식



(b) 250L용, 드럼 내경 삽입식

<그림 3-63> 신규 개발된 새싹채소 생산기기의 커버잠김장치

(6) 발아기내 무균 상태의 공기 출입토록 항균필터 기능 추가

- 개발내용 : 기존의 드럼과 유사하게 드럼 전후면에 항균필터 부착이 가능한 환기팬을 구성하였다. 2년차에는 드럼 각각의 전 후면 덮개 부분의 흡입구와 별

도로 리어카바를 설치하므로써 온도조절 및 위생관리 효율성을 개선하였다.



<500L용, 드럼 각각의 흡기구와 별도로 스틸제체의 리어카바 설치>



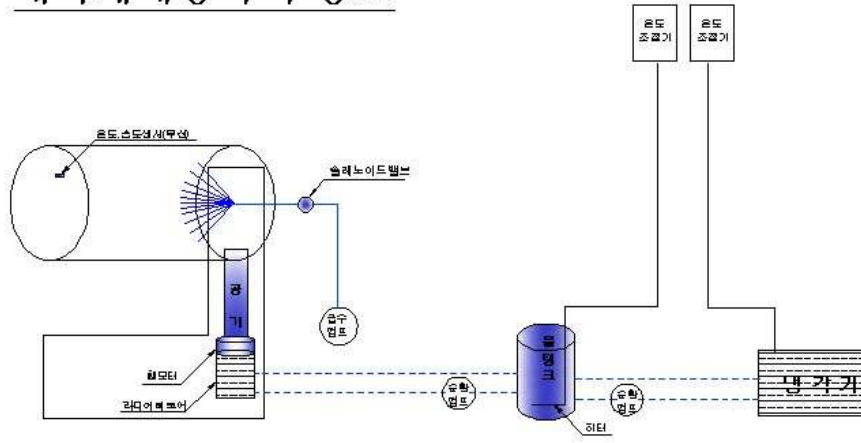
<250L용, 리어카바를 투명으로 처리하였음>

<그림 3-64> 신규 개발된 새싹채소 생산기기의 환기팬 구성

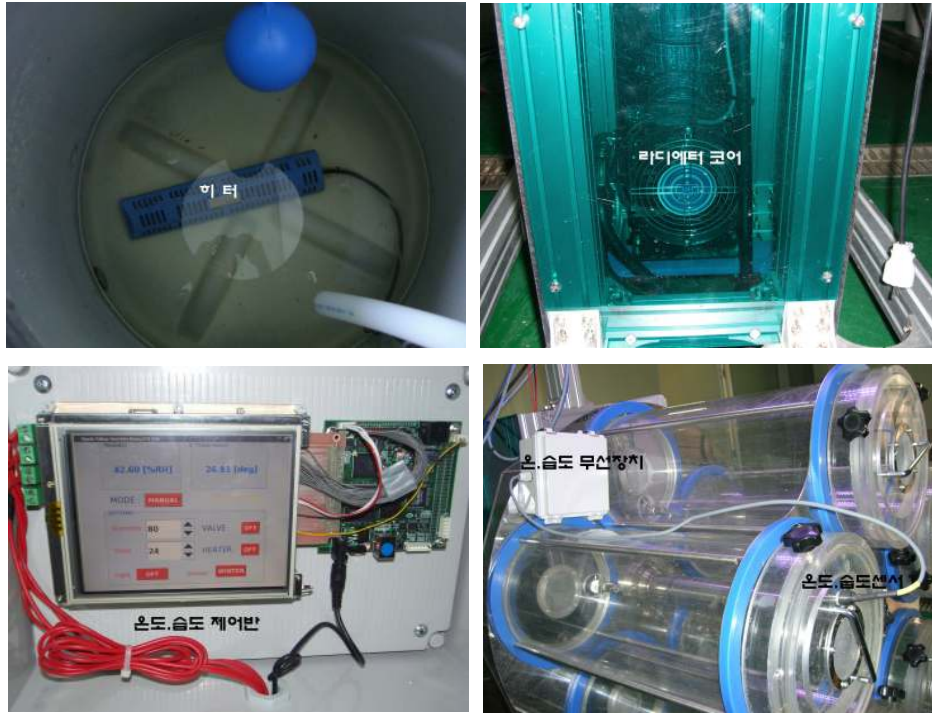
(7) 자체 광, 온도, 습도조절이 가능한 경량형 이동식 새싹채배기

- 1년차에 개발한 500L용 새싹채배기는 중량이 무겁고 규격이 크기 때문에 자체 온습도 조절이 곤란하여 환경조절이 가능한 성장상 등에서 채배가 가능하였지만, 2년차에는 이러한 단점을 개선하여 250L용 경량형 이동식 새싹채배기를 개발하고, 이 채배기는 별도의 온도, 습도조절이 가능하도록 하였으며, 드럼 상단에는 LED, 형광등 등 인공광원을 고정시킬 수 있는 장치를 부착하여 이동식, 휴대형 새싹채배기로 개발하였다. 그 개념도 및 개발품 전모는경은 그림 3-65와 같다.

새싹재배장치 구성도



<그림 3-65> 자체 환경조절이 가능한 이동식 경량형 새싹재배기



<그림 3-66> 온도제어용 히터, 라디에터 및 센서와 제어반 구성



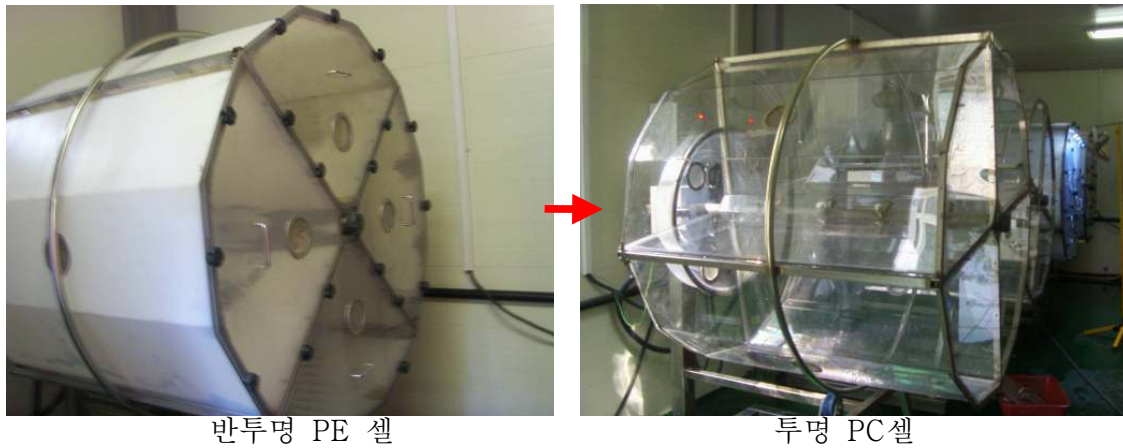
<그림 3-67> 새싹재배기의 습도제어 센서 및 제어시스템



<그림 3-68> LED 인공광원 및 제어반

(8) 착색이 용이한 구조의 드럼 피복재 개선

- 기존의 반투명 폴리에틸렌(PE, Polyethylene)을 이용한 드럼(셀)소재로는 착색을 요하는 새싹의 고품질 생산이 불가능하여 투명 구조 폴리카보네이트(PC, polycarbonate)으로 개선하였음



반투명 PE 셀

투명 PC셀

<그림 3-69> 새싹채소 생산기기의 광환경 개선을 위한 투명 드럼

(9) 수확후 새싹의 종피 제거작업

- 기존에 사용하고 있는 세척조 수동 세척방식(그림 3-70)



<그림 3-70> 기존의 새싹채소 종피제거작업용 세척조

(10) 탈수 자동화 시스템

- 기존의 탈수기는 세척 후 드럼 내부에 붙어 있는 새싹, 새싹 파손물 등을 청소하는데 많은 시간과 노력이 필요하고 비위생적인 단점이 있어, 드럼 내부에 태피터(taffeta, “다우다”)를 사용함으로써 새싹의 물리적 손상을 줄이면서 세척, 탈수 후 청소작업도 효율적으로 추진할 수 있었다.



<그림 3-71> 기존의 새싹채소 회전식 탈수기



드럼내부 철망통



철망통내부에 방근씨트(태피터) 설치

<그림 3-72> 탈수장치 드럼내부에 부착한 태피터(taffeta)

(11) 신규 개발된 새싹채소 생산시스템의 성능시험

- 개발된 제품의 새싹채소 생산시험 : 시판되고 있는 새싹채소의 주요 품종 5가지를 이용하여 파종후 4일간 생육과정 및 품질 관찰하면서 기기의 이상 유무를 확인하였음

- 기기 시범운영 조건

- 드럼 모터회전수 : 1rpm
- 관수량(ON/OFF) : 15초/1분
- 실내온도 : 25℃
- 광조건 : 실내 백색형광등, 5,00Lux 내외

- 품종별 재배시험결과 : 무, 알팔파, 적콜라비, 홍빛열무, 유채 등 5가지 품종에서 생산성, 품질이 매우 우수한 결과를 얻었음



<그림 3-73> 신규 개발된 드럼충진식 새싹생산 기기 시제품



무

알팔파

적콜라비

<그림 3-74> 신제품 새싹기에서 생산된 무, 알팔파, 적콜라비 상태(과종후 4일)



홍빛열무

유채

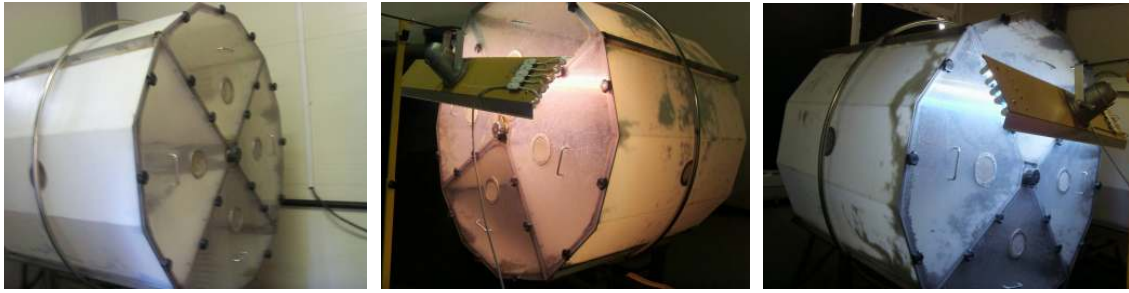
<그림 3-75> 신제품 새싹기에서 생산된 홍빛열무, 유채의 상태(과종후 4일)

나. 최적화 생산 시험 및 산업화

(1) 광원의 광질 차이가 새싹채소의 생육과 품질에 미치는 영향

- 시험에 이용된 광원 장치 : 금오전기(주)에서 공급한 착색 형광등을 이용하여 대조구(지상부에 백색형광등으로 조절됨)와 비교하였음

- 품종별 재배시험결과 : 무, 적콜라비, 브로콜리, 유채 등 4가지 품종을 백색형광등, 적색형광등, 청색형광등을 이용하여 각각 시험재배한 결과는 다음 그림, 표와 같이 품종별 차이가 뚜렷하게 나타났음



백색광(형광등)

적색광(형광등)

청색광(형광등)

<그림 3-76> 광원의 종류

- 무의 경우 백색광구에서 하배축 이하의 뿌리의 세근이 매우 길게 신장되는 결과를 보인 반면 청색광은 상대적으로 매우 뿌리 신장이 적었음. 청색광에서는 하배축의 두께가 두터운 반면 백색광은 가늘고 길게 신장하였으며, 적색광 조건에서는 백색광과 청색광의 중간 정도의 성장량을 보여 비교적 균형있는 새싹을 생산할 수 있을 것으로 판단되었음



백색광

적색광

청색광

무



백색광

적색광

청색광

적콜라비

<그림 3-77> 광원의 종류가 새싹채소 무, 적콜라비의 생육에 미치는 영향

- 적콜라비의 경우 착색정도는 청색광에서 가장 뛰어났으며, 적색광, 백색광 순이었음. 무의 경우와 유사하게 청색광 조건에서 하배축 줄기의 두께가 두터워진 결과를 보였음



백색광 적색광 청색광 백색광 적색광 청색광
 브로콜리 유 채

<그림 3-78> 광원의 종류가 새싹채소 브로콜리, 유채의 생육에 미치는 영향

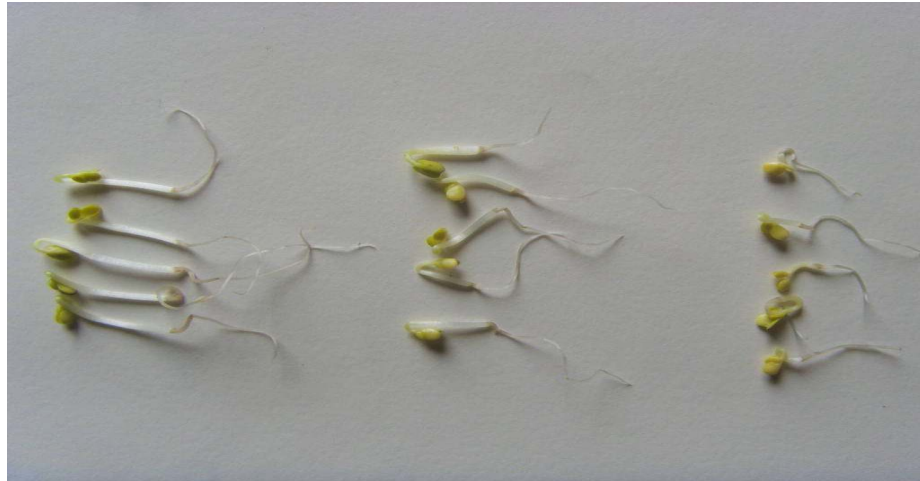
- 브로콜리의 경우 청색광에 의하여 하배축이 길이가 가장 짧았고, 뿌리의 신장량은 광원의 종류에 따라 큰 차이를 보이지 않았으며, 유채는 적색광에서 특히 하배축의 신장이 더디게 나타나 재현성 있는 시험결과를 얻기 위하여 반복시험을 수행중에 있다.

<표 3-81> 광원의 광질 차이가 새싹채소의 생육과 품질에 미치는 영향

구 분	총 길이(mm)			하배축 두께(mm)			총중량(mg)		
	백광	적광	청광	백광	적광	청광	백광	적광	청광
무	10.43	10.87	10.47	0.103	0.120	0.113	0.640	0.804	0.643
적콜라비	5.87	4.83	5.77	0.070	0.063	0.060	0.198	0.051	0.020
브로콜리	6.33	5.20	5.30	0.090	0.093	0.070	0.090	0.093	0.070
유 채	5.83	5.56	5.57	0.100	0.098	0.095	0.027	0.024	0.030

나) 관수량의 차이가 새싹채소의 생육과 품질에 미치는 영향

- 1분당 관수시간이 15초, 10초, 5초로 지속하여 유채 새싹을 생육시킨 결과 관수시간이 길수록 총중량, 하배축 두께 및 총 길이의 수치가 높게 나타나, 관수시간은 하배축 길이의 신장에 유효하게 작용하고 있음을 시사하였다.



관수량

(ON/OFF)

15초/1분

10초/1분

5초/1분

<그림 3-79> 드럼내 관수시간, 관수량에 따른 새싹채소 유채의 생육반응
(과중량 : 2kg/50L)

<표 3-82> 광원의 광질 차이가 새싹채소 유채의 생육에 미치는 영향(9반복)

관수시간 (ON/OFF)	총중량(mg)	하배축 두께(mm)	총 길이(mm)
15초/1분	1.683	0.15	5.33
10초/1분	1.543	0.95	4.12
5초/1분	1.390	0.93	3.36

(2) 자재목록

Project Name :새싹재배기					
SubModule :가공품 LIST					
No	품 번	품 명	재질 &MAKER	Q'ty	단위
1	SH09-GL-001	DRUM REAR GUIDE	SUS304	1	EA
2	SH09-GL-002	FRONT GUIDE	SUS304	1	EA
3	SH09-GL-003	FRONT GUIDE	SUS304	1	EA
4	SH09-GL-004	CENTER SUPPORT	SUS304	1	EA
5	SH09-GL-005	FRONT FLANGE	SUS304	1	EA

6	SH09-GL-006	REAR FLANGE	SUS304	1	EA
7	SH09-GL-007	CAP	SUS304	1	EA
8	SH09-GL-008	COVER FIXING FLANGE	AL6061	1	EA
9	SH09-GL-009	BEARING HOUSING	AL6061	1	EA
10	SH09-GL-010	BEARING HOUSING	AL6061	1	EA
11	SH09-GL-011	SHAFT	SUS304	1	EA
12	SH09-GL-012	MOTOR MOUNT PLATE	AL6061	1	EA
13	SH09-GL-013	TM SCREW/ NUT	SUS304	1	각/EA
14	SH09-GL-014	TIMING PULLEY	AL6061	1	EA
15	SH09-GL-015	TIMING PULLEY	AL6061	1	EA
16	SH09-GL-016	BRACKET	SUS304	1	EA
17	SH09-GL-017	CALAMP	SUS304	1	EA
18	SH09-GL-018	BLOCK	SUS304	1	EA
19	SH09-GL-019	BLOCK	SUS304	1	EA
20	SH09-GL-020	CLAMP	SUS304	2	EA
21	SH09-GL-021	CLAMP	SUS304	1	EA
22	SH09-GL-022	HOUSING	AL6061	1	EA
23	SH09-GL-023	HINGE SHAFT	SUS304	2	EA
24	SH09-GL-024	COLLAR	SUS304	1	EA
25	SH09-GL-025	COVER	AL6061	1	EA
26	SH09-GL-026	BLOCK	AL6061	1	EA
27	SH09-GL-027	PIN	SUS304	2	EA
28	SH09-GL-028	COVER	AL6061	1	EA
29	SH09-GL-029	LINK	SUS304	1	EA
30	SH09-GL-030	COLLAR	SUS304	2	EA
31	SH09-GL-031	SHAFT	SUS304	1	EA
32	SH09-GL-032	NUT BLOCK	SUS304	1	EA

33	SH09-GL-033	BLOCK	SUS304	2	EA
34	SH09-GL-034	BAR	SUS304	10	각/EA
35	SH09-GL-035	GUIDE RING	MC NYLON	5	EA
36	SH09-GL-036	GUIDE RING	MC NYLON	5	EA
37	SH09-GL-037	DRUM	아크릴	5	EA
38	SH09-GL-038	DRUM COVER	아크릴	5	EA
39	SH09-GL-039	NOZZLE MOUNT	SUS304	5	EA
40	SH09-GL-040	MESH WIRE MOUNT	SUS304	10	EA
41	SH09-GL-041	BEARINGMOUNT PLATE	AL6061	2	EA
42	SH09-GL-042	PLATE	SUS304	1	EA
43	SH09-GL-043	SIDE COVER	PC	2	EA
44	SH09-GL-044	SIDE COVER	PC	1	EA
45	SH09-GL-045	SIDE COVER	PC	1	EA
46	SH09-GL-046	CASTER MOUNT	AL6061	2	각/EA
47	SH09-GL-047	COOLER MOUNT PLATE	MC NYLON	1	EA
48	SH09-GL-048	AIR DUCT	SUS304	1	EA

Project Name :새싹재배기					
SubModule :구입품 LIST					
No	품 번	품 명	재질 &MAKER	Q'ty	단위
1		HANDLE	MISUMI	1	EA
2		BEARING		1	EA
3		SNAP RING		1	EA
4		OIL SEAL		1	EA
5		BEARING		1	EA
6		SNAP RING		1	EA
7		THRUST BALL B/R		2	EA
8		RING NUT		1	EA
9		KEY WASHER		1	EA
10		COOLING FAN	SUNTRONIX	3	EA
11		FILTER	SUNTRONIX	3	EA
12		SPEED CONTROL M/T	SUNG SHIN	1	EA
13		OIL SEAL		1	EA
14		TAPER ROLLER B/R		2	EA
15		RING NUT		1	EA
16		KEY WASHER		1	EA
17		SNAP RING		1	EA
18		ORING		1	EA
19		ORING		2	EA
20		BALL B/R		2	EA
21		SNAP RING		1	EA
22		TIMING BELT	우양	1	EA
23		ZIP BEARING		2	EA
24		NOZZLE	세진노클	5	EA
25		NOZZLE	세진노클	5	EA
26		COOLER	DHC	1	EA
27		SOL V/V	KCC	1	EA

제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

연구 기간	세부연구목표	평가의 착안점 및 기준	연구목표 달성도	관련분야 기술발전 기여도
2007.5- 2008.5	자동계측 가능한 수분 및 광환경 제어기 시스템 개발	-수분 제어기 구성 -광환경 제어기 구성	100%	100%
	최적화 생산시험 및 모니터링 시스템 개발	-생육단계시험 위한 프로그램의 환경 구현, 모니터링 추진	100%	100%
	새싹 생산기계의 최적 구현	-새싹기계장치의 구성 (프로토타입 완료)	100%	100%
	중형(500L용) 시제품 제작	-농기계 박람회 등을 통한 제품 직접 평가	100%	100% (박람회 1회)
2008.5- 2009.5	보급형(중소형) 광모듈의 하드웨어 장치 개발	-광모듈 기기 부착 및 제어	100%	100%
	임베디드 기반 수분 및 LED 모듈 종합하드웨어의 개선	-LED광원 조합에 의한 새싹채소의 생산성, 품질 평가	100%	100%
	화상센서 계측시스템의 개발	-화상센서의 작동중 안개, 다습 등으로 부터 센서의 안정성 유지	100%	100%
	지능형 자동계측제어 프로그램의 개발 및 수정	-새싹과 환경요인간의 시너지효과를 조합한 프로그램 연산수준	100%	100%
	신규 개발된 새싹채소의 생산시스템 실험 및 분석을 통한 기능 개선	-새싹채소의 생산성, 품질 및 기기의 제원 등 평가	100%	100%
	모니터링시스템 완성	-생산성, 품질, 기능성분 함량 등 모니터링 수준	100%	100%
	소형(250L용) 시제품 제작	-농기계 박람회 등을 통한 제품 직접 평가	100%	100% (박람회 1회)
	식당, 체인점화등 산업화	-식당, 체인점 등에 대한 직접 평가	100%	100% (추가협의중)

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

1. 실용화·산업화 계획(기술실시 등)

구분	핵심 기술 명
하드웨어	① 드럼 셀 충전식 새싹채소 재배기
하드웨어	② 드럼회전식 새싹채소재배기의 수동 및 반자동 핸들에 의한 드럼 상하 조정방식
하드웨어	③ 드럼회전식 새싹재배기의 유색 LED 색조합모듈 이용
하드웨어	④ 온도, 습도의 독립제어 방식의 드럼회전식 새싹채소 재배기
소프트웨어	⑤ 드럼회전식 새싹채소 재배기의 광, 온도, 습도의 원격제어 프로그램 및 장치
소프트웨어	⑥ 드럼회전식 새싹채소 재배기의 화상카메라를 이용한 원격 모니터링 장치

2. 교육·지도·홍보 등 기술확산 계획

- 산업체와 공동 홍보(영농교육, 언론, 방송)

<p>2008. 5. 3~9 담양군 대나무축제 전시 참가 & 홍보</p> 	<p>2009. 4.30 ~5.6 담양군 대나무축제 전시 참가 & 홍보</p> 
--	--

인터넷 홍보 2008년 5월 8일 UP-Load된 기사
[영광함평장성 인터넷 뉴스]



3. 특허, 품종, 논문 등 지식재산권 확보계획 등

1) <특허> 2건

출원된 특허의 경우					등록된 특허의 경우				
출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호	등록연도	특허명	등록인	등록국	등록번호
2008	드럼회전식 새 싹재배장치	전남도립 대학 산 학협력단	한국	10-2008 -0041370					
2008	찰탁형 새싹재 배장치	전남도립 대학 산 학협력단	한국	10-2008 -0041384					

2) <논문(전문학회지)> : 3건

게재연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2008	LED 광질이 브로콜리 새싹의 발아 생장 및 생리활성 에 미치는 영향	조자용	허복구	김종만 서범석	한국생물환경 조절학회지	Vol.17 No.2	국내	KSCI
2008	몇가지 LED가 아 마란서스의 종자 발아, 새싹의 생장 및 생리활성에 미 치는 영향	조자용	허복구	김종만 서범석	한국원예학회 원예과학기술	Vol.26 No.2	국내	SCIE
2008	몇가지 LED가 유 채의 종자발아, 초기생장 및 생리 활성에 미치는 영 향	조자용	허복구	김종만 외 5명	한국자원식물 학회지	Vol.28 No.3	국내	KSCI

3) <학회 포스터 발표 논문> : 8건

계재연도	논문명	저자			학술지명	발표 시기	국내외 구분	SCI구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2008	LED 광원이 아마란스의 종자, 발아, 새싹의 생장 및 생리활성화에 미치는 영향	조자용	허복구 손동모	김종만 서범석	한국원예과학 기술지 춘계 발표논문집	2008. 5	국내	
2008	LED 광원이 브로콜리 새싹의 생장 및 생리활성화에 미치는 영향	조자용	허복구	김종만 서범석	한국원예과학 기술지 춘계 발표논문집	2008. 5	국내	
2009	몇가지 LED가 유채의 종자발아, 초기 생장 및 생리활성에 미치는 영향	조자용	허복구	김종만 서범석	한국원예과학 기술지 춘계 발표논문집	2009. 5	국내	
2009	몇가지 LED가 알팔파의 종자발아, 초기 생장 및 생리활성에 미치는 영향	양승렬	허복구	조자용 김종만 서범석	한국원예과학 기술지 춘계 발표논문집	2009. 5	국내	
2009	몇가지 LED가 적콜라비의 종자발아, 초기 생장 및 생리활성에 미치는 영향	서범석	조자용	김종만	한국원예과학 기술지 춘계 발표논문집	2009. 5	국내	
2009	몇가지 LED가 붉은열무의 종자발아, 초기 생장 및 생리활성에 미치는 영향	조자용	손동모	김종만 허복구 양원모	한국원예과학 기술지 춘계 발표논문집	2009. 5	국내	
2009	원격 환경 구동설비 응용한 새싹재배용 자동 제어 장치	김종만	조자용	서범석 김원섭 김영민	한국통신학회 하계학술 논문집	2009. 5	국내	
2009	LED 광특성을 이용한 새싹재배장치의 원격제어 시스템	김종만	조자용	서범석 김원섭	한국전기전자 재료학회하계 학술논문집	2009. 6	국내	

4. 추가연구, 타연구에 활용 계획 등

- 고부가가치 특용작물(생약자원식물) 분야로 활용성 확대 연구 필요

5. 기타

- 인력양성 성과

- : 박사학위 1명(2009. 2월. 전남농업기술원 손동모 박사)

- : 농업인교육(벤처농업인) 양성 : 한국온실작물연구소 2007년, 2008년 지역농업 특성화교육생 100명 및 2009년 농업마이스터대학생 60명

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제1절. 식물공장과 수분제어 및 광량제어 종합시스템에 관한 논문 및 기술정보

1. 식물의 생장에 있어서 태양광은 $0.7\mu\text{m}$ 보다 긴 적외선 영역이 여름철 공조부하의 원인, $0.4\mu\text{m}$ 이하의 자외선이 식물의 신장을 억제하는 단점을 언급(Masamoto Takatsuji, 2007)
2. 식물에 좋은 광원으로 보조 광원으로써 식물 재배에 적합한 형광등이 있지만 아직까지 LED 등의 광원의 연구가 더 필요함을 밝힘(Laurie, Kiplinger, 1979, 2001)
3. 식물공장의 수분제어를 위한 센서네트워크시스템의 개발은 일체형으로 센서 신호처리 일체형 실리콘 압력센서의 개발시작 (1983년 미국 Honeywell사 출시)
4. 임베디드제어시스템은 온도, 습도 등 제어를 위한 종합제어시스템의 프로그램 제어가 가능함을 보임("The Embedded Software Stragic Market Intelligence Program 2002/2003," VDC, FEB. 2003)
5. 광량제어를 위하여 고휘도 LED 의 문제점 보완하여 광출력 특성을 응용한 조명 분야와 환경분야등에 부분적 연구 진행(Lawrence G. C.2002)
6. 원칩 마이크로프로세서를 사용하여 LED의 광동작 제어회로를 간략히 조절하는 시스템 연구 시도(Xichao Mo, 1997)
7. 마이콤을 사용하여 혈액투석에 응용하여 온도를 측정하고 데이터를 송수신하는 모니터링 실험을 수행함.(Henry W. Ott, 1992)
8. 임베디드시스템을 리눅스 알고리즘 이용하여 제어 계측에의 응용을 시도(K. Yaghmour, 2003)
9. 임베디드 리눅스의 하드웨어와 소프트웨어를 모터제어에 실시간으로 응용하는 연구를 시도함.(Craig Hollabaugh, 2002)
10. 리눅스의 개방성과 상업적 응용을 통해 임베디드 시스템의 적용을 확인함.(L. Abebi, A. Goel, 2002)
11. TCP/IP 프로토콜을 이용한 원격지 시스템과 통신으로 시스템을 모니터링하는 환경을 구축 시도함.(Michael J. Donalhoo, 2001)

12. 임베디드 응용한 영상기반 개체인식을 구현하여 의학영상분석에 응용하는 연구를 수행함.(Warren Cheung외 1인, 2007)

제2절. 새싹채소 이용한 논문 및 기술정보

1. 발아 새싹에서 광은 식물 체내의 phytochrome이라는 광수용성 단백질에 영향을 미치고, 이것은 생장, 형태 및 색소형성의 에너지원과 조절인자로 작용하며, 생리활성 물질의 생성에도 영향을 미침. (Fankhauser와 Chory, 1997; Hopkins, 1999; Kendrick과 Kronenberg, 1994)

2. 브로콜리, 아마란서스, 알팔파, 유채, 적콜라비 및 붉은열무 등의 종자에서 싹을 틔운 것들은 아미노산, 탄수화물, 미네랄, 비타민 및 폴리페놀 등의 많은 영양성분들을 함유하고 있음.(Feng, 1997)

3. 명발아 종자는 종피에 있는 phytochrome이 발아생리에 관여하며, 근적외선 광에 의하여 발아가 촉진되거나 억제시킴. (Maneinelli 등, 1966)

4. 종자에서 발아하는 새싹에서 광은 식물 체내의 phytochrome이라는 광수용성 단백질에 영향을 미치고, 이것은 생장, 형태 및 색소형성의 에너지원과 조절인자로 작용하며, 생리활성 물질의 생성에도 영향을 미침. (Fankhauser와 Chory, 1997; Hopkins, 1999; Kendrick과 Kronenberg, 1994)

5. 새싹채소는 신선편의식품과 같이 병원성 미생물의 내포 가능성이 높은 식품임.(Lucy 등, 2002)

6. 새싹채소는 종자단계에서부터 미생물에 의해 매우 높은 수준으로 오염되어 있어 일반적으로 *Pseudomonads*, *Coliforms* 및 *Lactic acid bacteria* 등을 포함해서 3~6 log CFU/g의 범위를 나타냄.(Matos 등, 2002)

7. 새싹 종자에 대한 다양한 화학적 살균제의 진탕, 침지, 분무 및 훈증 등의 방법이 미생물의 제어 수단으로 사용됨.(Montville 등, 2004; Taormina 등, 1999).

또한 새싹은 chlorine 처리(Fett, 2002; NACMCF, 1999) 및 휘발성 acetic acid(Delaquis 등, 1999), ammonia(Himathongkham 등, 2001), 중온수에 대한 효과가 큼.(Weiss와 Hammes, 2003)

8. 채소의 생리활성은 십자화과 채소와 과류 및 마늘에 집중되어 있는데, 브로콜리, 케일 및 양배추 등과 같은 십자화과 채소는 십자화과 채소 추출물이 DNA의 산화

적 손상 억제, microsome 내 지질과 산화에 대한 항산화력 등이 있음.(Stoewsand, 1995) 양배추를 비롯해 십자화과 식물들은 암예방, 위궤양 예방 및 치유, 면역성 증진, 혈액정화, 노화방지와 항산화 효과, 기타 피부병의 예방에 효과가 있음.(Zhu, 2000)

9. 백합과에 속하는 다년생 양파(*Allium cepa*)는 항산화 작용을 나타내는 quercetin, rutin 등의 flavonoid계 물질이 함유되어 있음.(Dewanto와 Shetty, 2001)

10. LED에 의한 식물재배에 관해서는 우주기지 관련 미국 NASA의 연구그룹을 중심으로 LED의 검토가 시작되었으며, 현재는 세계 각국에서 식물재배용 인공광원으로서의 적용과 이용이 많음.(Tanaka 등, 1998)

제 7 장 참고문헌

- AOAC. 1995. Official methods of analysis (16th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- Bae, J.H., J.Y. Cho, B.W. Kim, H.G. Jang, and B.G. Heo. 2008. Effects of storage humidity on the sprout growth of mulberry cut twigs. *J. Bio-Environment Control*. 17:20-25.
- Bae, Y.I., C.H. Jeong, and K.H. Shim. 2002a. Nitric-scavenging and antimutagenic effects of various solvent extract from different parts of loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl). *Kor. J. Food Preserv.* 91:92-96.
- Bae, Y.I., K.L. Seo, S.K. Park, and K.H. Shin. 1998. Loquat leaf tea processing and its physicochemical properties. *Kor. J. Postharvest Sci. Technol.* 5:262-269.
- Bae, Y.I., Y.C. Chung, K.H. Shin. 2002. Antimicrobial and antioxidant activities of various solvent extract from different parts of loquat. *Kor. J. Food Preserv.* 9:97-101.
- Bari, M.L., E. Nazuka, Y. Sabina, S. Todoriki, and K. Isshiki. 2003. Chemical and irradiation treatments for killing *Escherichia coli* O157:H7 on alfalfa, radish, and mung bean seeds. *J. Food Prot.* 66:767-774.
- Bilyk, A., P.I. Cooper, and G.M. Sapers. 1984. Varietal differences in distribution of quercetin and kaempferol in onion (*Allium cepa*) tissue. *J. Agric. Food Chem.* 32:274-280.
- Blois, M.S. 1958. Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature* 26:1199-1200.
- Blois, M.S. 1977. Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *J. Agric. Food Chem.* 25:103-107.
- Brane, A.L. 1975 Toxicology and biochemistry of butylated hydroxy anisole and butylated hydroxy toluene. *J. Amer. Oil. Chem. Soc.* 52:59-63.
- Brane, A.L. 1975. Toxicology and biochemistry of butylated hydroxy anisole and butylated hydroxy toluene. *J. Amer. Oil. Chem. Soc.* 52:59-63.
- Briggs, W.H., H. Xiao, K.L. Parkin, C. Shen, and I.L. Goldnan. 2000. Differential inhibition of human platelet aggregation by selected allium thiosulfonates. *J. Agric. Food Chem.* 48:5731-5735.

- Cha, J.Y. and Y.S. Cho. 2001. Biofunctional activities of citrus flavonoids. *J. Kor. Soc. Agric. Chem. Biotechnol.* 44(2):122–128.
- Cho, E.J., C.H. Hwang, and M.O. Yang. 2007. Changes in free amino acids and sensory evaluation of fermented tea according to the degree of fermentation. *J. East. Asian Soc. Dietary Life.* 17:911–918.
- Cho, J.Y., D.M. Son, J.M. Kim, B.S. Seo, S.Y. Yang, J.H. Bae, and B.G. Heo. 2008. Effect of LED as light on the germination, growth and physiological activities of broccoli sprouts. *J. Bio-Environment Control.* 17:116–123.
- Cho, Y.S., S.K. Park, and H.Y. Lee. 1991. Composition of free sugars, organic acids and free amino acids in loquat flesh. *J. Kor. Soc. Food Nutr.* 20:89–93.
- Choe, J.S., S.O. Kwon, Y.H. Park, and H.K. Chun. 2006. Producers' perceptions of agricultural food safety and policy. *Kor. J. Community Living Sci.* 17(3):55–65.
- Choi, H.J., J.H. Park, H.S. Han, J.H. Son, G.M. Son, J.H. Bae, and C. Choi. 2004. Effect of polyphenol compound from Korean pear on lipid metabolism. *Kor. J. Food Sci. Technol.* 33:299–304.
- Choi, Y.W. 2003. Effect of red, blue, and far-red LEDs for night break on growth, flowering, and photosynthetic rate in *Perilla ocymoides*. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 44:442–446.
- Chon, S.U., B.G. Heo, Y.S. Park, J.Y. Cho, and S. Gorinstein. 2008. Characteristics of the leaf parts of some traditional Korean salad plants used for food. *J. Sci. Food Agric.* 88:1963–1968.
- Delaquis, P.J., P.L. Sholberg, and K. Stanich. 1999. Disinfection of Mung bean seed with gaseous acetic acid. *J. Food Prot.* 62:953–957.
- Dewanto, V., X. Wu, K.K. Adom, and R.H. Liu. 2002. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidative activity. *J. Agric. Food Chem.* 50:3010–3015.
- Dural, B. and K. Shetty. 2001. The stimulation of phenolics and antioxidant activity in pea elicited by genetically transformed anise root extract. *J. Food Biochem.* 25:361–377.
- Fankhauser, C. and J. Chory. 1997. Light control of plant development. *Annu.*

- Rev. Cell Dev. Biol. 13:203–229.
- Feng, P. 1997. A summary of background information and foodborne illness associated with the consumption of sprouts. Center for Food Safety and Applied Nutrition, Washington, DC.
- Fett, W.F. 2002. Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. on laboratory inoculated mung bean seed by chlorine treatment. J. Food Prot. 65:848–852.
- Fu, T., D. Stewart, K. Reineke, J. Ulaszek, J. Schlessner, and M. Tortorello. 2001. Use of spent irrigation water for microbiological analysis of alfalfa sprouts. J. Food Prot. 64:802–806.
- Gebhardt, R. 1993. Multiple effects of garlic extracts on cholesterol biosynthesis in hepatocytes. Lipids 28:613–619.
- Go, J.K., E.S. Nam, and S.I. Park. 2004. Effect of loquat extract on acid production and growth of lactic culture. Kor. J. Food Sci. Ani. Resour. 24:416–423.
- Gray, J. and J.L.R. Dugan. 1975. Inhibition of N–Nitrosamine formation in model food system. J. Food Sci. 40:981–985.
- Greenwald, T. 1998. Is it good medicine?. Time 30:37–44.
- Han, M.J., S.U. Kim, D.C. Seo, Y.H. Cheong, D.J. Lee, M.S. Park, Y.S. Rim, B.K. Sohn, J.S. Heo, and J.S. Cho. 2007. Uptake properties of germanium to vegetable plants and its effect on seed germination and on early stage growth. Kor. J. Environ. Agric. 26:217–222.
- Heo, B.G., Y.S. Park, S.U. Chon, J.Y. Cho, and S. Gorinstein. 2007. Antioxidant activity and cytotoxicity of methanol extracts from aerial parts of Korean salad plants. BioFactors 30:79–89.
- Heo, B.G., Y.S. Park, W.N. Hou, M.H. Im, Y.J. Park, H.J. Kim, J.S. Sin, and J.Y. Cho. 2008. In vitro assay on physiological activities of flower and leaf extracts of red lotus. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 26:331–337.
- Heo, J.W., C.W. Lee, and K.Y. Paek. 2002. Characteristics of growth and flowering on some bedding plants grown in mixing fluorescent tube and

- light-emitting diode. *Acta Hort.* 580:77–82.
- Himathongkham, S., S. Nuanualsuwan, H. Riemann, and D.O. Cliver. 2001. Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella typhimurium* in artificially contaminated alfalfa seeds and mung beans by fumigation with ammonia. *J. Food Prot.* 64:1817–1819.
- Hong, S.S., Y.P. Hong, B.S. Im, D.S. Jeong, and I.S. Shin. 2004. Influence of picking stage storage type on the fruit respiration change and panel test in ‘Wonwang’, ‘Hwasan’, and ‘Mansoo’ pear. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 22:55–62.
- Hopkins, W.G. 1999. Introduction to plant physiology. John Wiley & Sons, Inc., N.Y. USA.
- Hwang, H.J., J.M. Lee, S.Y. Kim, and G.W. Choi. 2008. Seed germination in lettuce affected by light quality and plant growth regulators. *J. Bio-Environment Control.* 17:51–59.
- Hwang, M.K., C.S. Huh, and Y.J. Seo. 2004. Optic characteristics comparison and analysis of SMD type Y/G/W HB LED. *J. Klllee.* 18(4):15–21.
- Hwang, M.K., C.S. Huh, and Y.J. Seo. 2004. Optic characteristics comparison and analysis of SMD type Y/G/W HB LED. *J. Klllee.* 18(4):15–21.
- Jang, H.J., M.Y. Lee, Y.D. Chang, J.H. Jeong, H.S. Jeong, and C.H. Lee. 2007. Effect of temperature and light on seed germination and sprout growth of seven compositae species. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 25(Suppl. I):62.
- Jang, H.W. and C.H. Lee. 2003. Effect of temperature and light on seed germination of Korean native labiatae, liliaceae, and compositae spp. eligible for vegetable sprout. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 21(Suppl. I):40.
- Jung, S.W., N.K. Lee, S.J. Kim, and D.S. Han. 1995. Screening of tyrosinase inhibitor from plants. *Kor. J. Food Sci. Technol.* 27(6):891–896.
- Jung, S.W., N.K. Lee, S.J. Kim, and D.S. Han. 1995. Screening of tyrosinase inhibitor from plants. *Kor. J. Food Sci. Technol.* 27(6):891–896.
- Kahn, V. and A. Andrawis. 1985. Inhibition of mushroom tyrosinase by tropolone. *Phytochemistry* 24:905–909.
- Kahn, V. and A. Andrawis. 1985. Inhibition of mushroom tyrosinase by tropolone. *Phytochemistry* 24:905–909.
- Kawai, S., H. Watanabe, T. Yoshino, F. Tanaka, and M. Suzuki. 1996. Light

- emitting diodes as the light source for plant growth regulators. Abs. J. Jap. Hort. Sci. 454–455.
- Kendrick, R.E. and G.H.M. Kronenberg. 1994. Photomorphogenesis in plants. Kluwer Academic, Dordrecht, Netherlands.
- Kim, C., Y.C. Hung, R.E. Brackett, and C.S. Lin. 2003. Efficacy of electrolyzed oxidizing water in inactivating *Salmonella* on alfalfa seeds and sprouts. J. Food Prot. 66:208–214.
- Kim, H.K., J.R. Do, J.H. Hong, and G.D. Lee. 2005. Optimization for functional properties of cabbage extracts. Kor. J. Food Preserv. 12:591–599.
- Kim, H.Y., K.B. Lee, and H.Y. Lim. 2004. Contents of minerals and vitamins in organic vegetables. Kor. J. Food Preserv. 11:424–429.
- Kim, I.D. and S.D. Kim. 2001. Changes in quality of soybean sprouts grown by ozone water treatment during storage. Kor. J. Food Preserv. 8:279–384.
- Kim, I.D., M.J. Park, J.W. Cho, S.S. Soe, M.K. Kim, J.B. Lee, S.K. Lee, and S.D. Kim. 1998. Effect of ozone treatment on the quality of soybean sprouts. Kor. J. Food Preserv. 5:177–185.
- Kim, I.S., T.B. Kwon, and S.K. Oh. 1988. Study on the chemical change of general composition, fatty acids and minerals of rape seed during germination. Kor. J. Food Sci. Technol. 20:188–193.
- Kim, M.J., J.S. Kim, K.E. Kim, K.H. Shin, K. Heo, D.H. Cho, C.H. Park, and C.Y. Yu. 2001. Comparison of antioxidative activities from different organs of *Rosa rugosa* Thunb. Kor. J. Medicinal Crop Sci. 9:40–44.
- Kim, Y.J. and C.H. Lee. 2005. Effect of temperature and light on seed germination and sprout growth of eight resources plants. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 23(Suppl. I):55.
- Korea Health Industry Development Institute. 2000. Database of nutrient analysis date in food. Ministry of Health and Welfare, Seoul.
- Kumar, M. and J.S. Berwal. 1998. Sensitivity of food pathogens to garlic(*Allium sativum*). J. Appl. Microbiol. 84:213–215.
- Kwack, B.H., and H. Kang. 1985. Effects of specific light qualities on the seed

- germination of *Amaranthus hypochondriacus*. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 26:158–162.
- Kyo, E., N. Uda, S. Kasuga, and Y. Itakura. 2001. Immunomodulatory effects of aged garlic extract. J. Nutr. 131:1075–1079.
- Lau, B.H. 2001. Suppression of LDL oxidation by garlic. J. Nutr. 131:985–988.
- Lee, B.Y., E.M. Park, E.J. Kim, H.D. Choi, I.H. Kim, and J.B. Hwang. 1996. Analysis of chemical components of Korean loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl) fruit. Kor. J. Food Sci. Technol. 28:428–432.
- Lee, H.S. and Y.W. Park. 2005. Antioxidant activity and antibacterial activities from different parts of broccoli extracts under high temperature. J. Kor. Soc. Food Sci. Nutr. 34(6):759–764.
- Lee, H.S., and Y.W. Park. 2005. Antioxidant activity and antibacterial activities from different parts of broccoli extracts under high temperature. J. Kor. Soc. Food Sci. Nutr. 34(6):759–764.
- Lee, J.I., J.K. Bang, C.H. Park, and Y.H. Park. 1988. Relationship between Weoldongcho and cultivated rapeseed and its introduction to Korea. Kor. J. Breed. 20:231–235.
- Lee, J.T., S.H. Yun, M.E. Park, and J.I. Yun. 1994. Estimation of growth development stages and development rate in rape plant by air temperature and daylength. Kor. J. Environ. Agric. 13:47–59.
- Lee, M.Y. and C.H. Lee. 2007. Effect of temperature on sprout growth of five resources plants edible for vegetable sprout. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 25(Suppl. I):62.
- Lee, S.J., D.W. Park, H.G. Jang, C.Y. Kim, Y.S. Park, T.C. Kim, and B.G. Heo. 2006. Total phenol content, electron donating ability, and tyrosinase inhibition activity of pear cut branch extract. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 24:338–341.
- Lerner, A.B. and T.B. Fitzpatrick. 1950. Biochemistry of melanin formation. Physiol. Rev. 30: 91–96.
- Lerner, A.B. and T.B. Fitzpatrick. 1950. Biochemistry of melanin formation. Physiol. Rev. 30: 91–96.
- Lucy, J.R., S.J. Gro, K.G. Bjorn, and L. Semir. 2002. Microbiological analysis of seed sprouts in Norway. Int. J. Food Microbiol. 75:119–126.

- Maneinelli, A.L., H.A. Borthwick, and S.B. Hendricks. 1966. Phytochrome action in tomato seed germination. *Bot. Gaz.* 127:1–5.
- Matos, A., J.L. Garland, and W.F. Fett. 2002. Composition and physiological profiling of sprout-associated microbial communities. *J. Food Prot.* 65:1903–1908.
- Montville, R. and D.W. Schaffner. 2004. Analysis of published sprout seed sanitization studies shows treatments are highly variable. *J. Food Prot.* 67:758–765.
- National Advisory Committee on Microbiological criteria for Foods (NACMCF). 1995. Microbiological safety evaluations and recommendations on sprouted seeds. *Int. J. Food Microbiol.* 52:123–153.
- Normington, K.W., I. Baker, M. Molina, J.S. Wishnok, S.R. Tannenbaum, and S. Puju. 1986. Characterization of a nitrite scavenger 3-hydroxy-2-pyranone, from chinese wild plum juice. *J. Agric. Food Chem.* 34:215–221.
- Normington, K.W., I. Baker, M. Molina, J.S. Wishnok, S.R. Tannenbaum, S. Puju. 1986. Characterization of a nitrite scavenger 3-hydroxy-2-pyranone, from chinese wild plum juice. *J. Agric. Food Chem.* 34:215–221.
- Okamoto, K., T. Yanagi, S. Takita, M. Tanaka, T. Higuchi, Y. Ushida, and H. Watanabe. 1996. Development of plant growth apparatus using blue and red LED as artificial light source. *Acta Hort.* 440:111–116.
- Park, C.S. 2005. Component and quality characteristics of powdered green tea cultivated in Hwagae area. *Kor. J. Food Preserv.* 12(1):36–42.
- Park, C.S. 2005. Component and quality characteristics of powdered green tea cultivated in Hwagae area. *Kor. J. Food Preserv.* 12:36–42.
- Park, K.J., J.H. Lim, J.H. Kim, J.W. Jeong, J.H. Jo, and S.W. Jeong. 2007. Reduction of microbial load on radish (*Raphanus sativus* L.) seeds by aqueous chlorine dioxide and hot water treatments. *Kor. J. Food Preserv.* 14:487–491.
- Park, P.S., B.R. Lee, and M.Y. Lee. 1991. Effects of onion diet on carbon tetrachloride toxicity of rats. *J. Kor. Soc. Food Nutr.* 20:121–125.
- Park, Y.J., Y.S. Park, M.I. Im, Kim, J.S. An, J.Y. Cho, and B.G. Heo. 2008a. Antibiotic activities of flower and leaf extracts from four species of white

- loctus. *J. Life Sci. Nat. Res.* 30:25–34.
- Park, Y.S. and H.S. Park. 1995. Changes in cold injury and contents of chemical compounds as related the different growth stage of immature loquat fruit. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 36:522–534.
- Park, Y.S. and S.R. Kim. 2000. Change in cold injury and fruit quality in loquat fruit as influenced by bloom dates. *J. Kor. Hort. Sci.* 41:623–626.
- Park, Y.S., M.K. Lee, H.H. Ryu, and B.G. Heo. 2008b. Content analysis of Chungtaejeon tea and green tea produced in Jangheung district. *Kor. J. Community Living Sci.* 19:55–61.
- Park, Y.S., M.Y. Park, and Y.S. Jo. 2005. Storability of loquat fruits as influenced by harvest date and storage temperature. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 23:64–70.
- Park, Y.S., S.T. Jung, S.G. Kang, B.G. Heo, P. Arancibia–Avila, F. Toledo, J. Drzewiecki, J. Namiesnik, and S. Gorinstein. 2008c. Antioxidants and proteins in ethylene–treated kiwifruits. *Food Chemistry* 107:640–648.
- Pawelek, J.M. and A.M. Korner. 1982. The biosynthesis of mammalian melanin. *Amer. Sci.* 70: 136–141.
- Pawelek, J.M. and A.M. Korner. 1982. The biosynthesis of mammalian melanin. *Amer. Sci.* 70:136–141.
- Ra, K.S., H.J. Suh,, S.H. Chung, and J.Y. Son 1997. Antioxidant activity of solvent extract from onion skin. *Kor. J. Food Sci. Technol.* 29:595–6001.
- Rhim, J.S. 1993. Onion and health. International Culture Publishing Co., p. 35–45.
- Roy, G., M. Lester, A. Ray, and K. Marcus. 2001. Analysis and evaluation of preventive control measure for the control and reduction/elimination of microbial hazards on fresh and fresh cut produce. US Food and Drug Administration, IFT/FDA Contract No. 223–98–2333.
- Shon, M.Y. and S.K. Park. 2006. Chemical components and nitrite scavenging activity of various solvent extracts from onions. *Kor. J. Food Preserv.* 13:762–768.
- Son, K.C., Y.J. Park, G.K. Suh, and B.G. Heo. 2003. Ornamental horticulture. Joongang Life Publishing Co., Seoul.
- Song, K. and J.A. Milner. 2001. The influence of heating on the anticancer

- properties of garlic. *J. Nutr.* 131:1054–1057.
- Stoewsand, G.S. 1995. Bioactive organosulfur phytochemicals in *Brassica oleracea* vegetables. *Food Chem. Toxic.* 33:537–543.
- Tanaka, M., T. Takamura, H. Weatanabe, M. Endo, T. Yanagi, and K. Okamoto. 1998. *In vitro* growth of cymbidium plantlets cultured under superbright red and blue light-emitting diodes(LEDs). *J. Hort. Sci. & Biotech.* 73:39–44.
- Taormina, P.J. and L.R. Beuchat. 1999. Behavior of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 on alfalfa sprouts during the sprouting process as influenced by treatments with various chemicals. *J. Food Prot.* 62:850–856.
- The Korean Nutrition Society. 2000. The Korean recommended dietary allowance. 7th revision. Chungang munwhasa, Seoul.
- Tomita, K., N. Oda, M. Ohbayashi, and H. Kamei. 1990. A new screening method for melanin biosynthesis inhibitors using streptomyces bikiniensis. *J. Antibiotics* 43:1601–1604.
- Tomita, K., N. Oda, M. Ohbayashi, and H. Kamei. 1990. A new screening method for melanin biosynthesis inhibitors using *Streptomyces bikiniensis*. *J. Antibiotics* 43:1601–1604.
- Torry, J.G. 1976. Root hormones and plant growth. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 27:435–459.
- USDA. 2003. USDA nutrient database for standard reference. Release 15. USDA, USA.
- Weiss, A. and W.P. Hammes. 2003. Thermal seed treatment to improve the food safety status of sprouts. *J. Appl. Bot.* 77:152–155.
- Whang, T.E., H.O. Lim, and J.W. Lee. 1996. Anticancer effect of *Eriobotrya japonica* Lindl by specificity test with several cancer cell lines. *Kor. J. Medicinal Crop Sci.* 4:314–320.
- Yagi, K.(1987) Lipid peroxides and human disease. *Chem. Phy. Lipids* 45: 337–341.
- Yoon, Y.H., J.G. Lee, J.C. Jeong, D.C. Jang, and C.S. Park. 2005. Growth characters and rutin contents of tatary buckwheat sprout vegetables under the different temperatures and lights. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 23(Suppl. II):34.

- Yoshiyuki, W., O. Kotaro, H.M. Jonathan, M.G. Patricia, M. Kazushige, I. Shinsaku, S. and Tadashi. 1999. Factory outbreak of Escherichia coli O157:H7 infection in Japan. *Emerg. Infect. Dis.* 5:424–428.
- Zhang, Y.B., H.J. Choi, H.S. Han, J.H. Park, J.H. Son, J.H. Bae, T.S. Seung, B.J. An, H.G. Kim, and C. Choi. 2003. Chemical structure of polyphenol isolated from Korean pear. *Kor. J. Food Sci. Technol.* 35:959–967.
- Zhu, C., H.E. Poulson, and S. Loft. 2000. Inhibition of oxidative DNA damage in vitro by extracts brussels sprouts. *Free Rad Res.* 33:187–196.
- The Embedded Software Strategic Market Intelligence Program 2002/2003," VDC, FEB. 2003)
- Lawrence G. C., "Evaluation of LEDs for automotive signal lighting," *Proc. SPIE*, Vol. 4641, pp. 7–12, 2002
- Xichao Mo, et al., "Consecutive PWM driving video LED display system," *IEEE International Symposium of Circuit and System*", pp. 1437–1439, 1997
- Henry W. Ott, "Noise Reduction Techniques in Electronic Systems", pp. 73–114, 1992
- Craig Hollabaugh, Ph.D. "Embedded Linux Hardware, Software, and Interfacing", Addison Wesley, March 2002
- K. Yagmour, "Building Embedded Linux System", O'Reilly, April, 2003
- L. Abebi, A. Goel, C. Krasic, K. Snow, and J. Walpole, "A measurement-based analysis of the real-time performance of Linux", *Proceedings of the IEEE Real-Time Embedded Technology and applications Symposium (RTAS)*, September, 2002
- Michael J. Donahoo, Kenneth L. Calvert, "The Pocket Guide to TCP/IP Sockets (C version)", Morgan Kaufmann Publisher, 2001
- Warren Cheung, Ghassan Hamameh, "N-SIFT: N-Dimensional Scale Invariant feature Transform for Matching Medical Images", 2007 IEEE International Symposium on Biomedical Imaging, April 12–15, 2007

주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

드럼회전식 새싹채소 생산용 관수 및 광환경 설비의 자동화시스템 개발
농림수산식품부