

보안과제(), 일반과제(○)

과제번호 : 607004-5

발 간 등 록 번 호

11-1541000-001635-01

파프리카연구사업단
(Paprika Center)

Ⅱ

농협종묘센터

농 립 수 산 식 품 부

목 차

제 출 문	1
요 약 문	5
SUMMARY	51
목 차	77
CONTENTS	79
제 1 장 연구개발과제의 개요	81
제1절 연구개발의 목적	81
제2절 연구개발의 배경 및 필요성	86
제3절 파프리카연구사업단의 개요	97
제 2 장 국내외 기술개발 현황	105
제1절 국내·외의 연구 현황	105
제2절 연구결과가 국내·외 기술개발현황에서 차지하는 위치	115
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	121
제1-1절 수출용 및 국내보급용 파프리카 품종개발	121
제1-2절 중국 수출용 토경재배 품종개발	273
제1-3절 옹성불임을 이용한 F ₁ 종자 생산체계 확립	375
제1-4절 분자육종기술을 이용한 복합바이러스 내병성 계통 육성	391
제1-5절 선발계통과 신품종의 특성평가 및 병저항성 검정	439
제2-1절 네덜란드와 우리나라의 생산성 차이 원인극복 기술 개발	457
제2-2절 파프리카 시설별 지상부 최적 생육환경 조건개발	581
제2-3절 우리나라 환경에 적합한 온실 환경제어 시스템 및 제어프로그램 개발	683
제2-4절 근권환경 최적화를 위한 함수율 조절장치 개발	738
제3-1절 파프리카 주요 병해충 방제농약의 안전사용 및 잔류농약 클레임 해소방안	787
제3-2절 파프리카 작물의 천적(생물적) 방제 프로그램 개발 및 천적 사용가능한 선택성 농약선발 안전사용 설명	832

제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	857
제1절	목표달성도	857
제2절	관련분야에의 기여도	900
제 5 장	연구개발 성과 및 성과활용 계획	909
제1절	연구개발 성과	962
1.	연도별 목표	
2.	연차별 연구성과 목표 및 달성	
3.	논문개제 성과	
4.	학술발표	
5.	특허성과	
6.	품종등록	
7.	사업화 현황	
8.	인력활용 / 양성성과	
9.	홍보실적	
10.	책자 발간	
11.	컨설팅 및 교육	
제2절	성과활용계획	933
제 6 장	참고문헌	937

CONTENTS

INTRODUCTION	1
KOREAN SUMMARY	5
SUMMARY	51
KOREAN CONTENTS	77
CONTENTS	79
Chapter 1. General Introduction	81
Section 1. Object of the research project	81
Section 2. Background and necessity of the research project	86
Section 3. Introduction of Chinese Cabbage Molecular Marker Research Center	97
Chapter 2. Current R&D status in Korea and abroad	105
Section 1 Current Research status at home and abroad	105
Section 2 The status of achievement from the state of domestic and oversea country's studies	115
Chapter 3. Research contents and results	121
1-1. Development of paprika cultivar for export and domestic supply	121
1-2. Development of sweet pepper varieties for soil culture in Chinese and South Asian market	273
1-3. Development of F ₁ seed production technology in paprika using male sterility	375
1-4. Development of multiple virus resistant paprika by molecular breeding	391
1-5. Characteristics evaluation and disease resistance test of selection lines and new varieties	439
2-1. Technology development to overcome the cause of the difference in productivity between Netherlands and Korea	457
2-2. Development of aboveground optimum environments	

for sweet pepper culture	581
2-3. Development of optimal climate control system and software program in korea	683
2-4. Development of moisture controller of growing media for optimizing root–zone environment of paprika.	738
3-1. Establishment of guidelines for safe use of pesticides and reduction of residues on paprika through IPM	787
3-2. Development of biocontrol program on insect pest in paprika and selection of pesticides	832
Chapter 4. Achievement of the results of the research	857
Section 1 Achievement of goals	857
Section 2 Contribution of the related research fields	900
Chapter 5. Application of the result of the research	909
Section 1 Outcome of research	909
Section 2 Application plan of obtained research results	962
Chapter 6. References	937

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제2-1절. 네덜란드와 우리나라의 생산성 차이 원인 극복 기술 개발

1. 1차년도 연구개발 수행내용 및 결과

가. 우리나라와 네덜란드의 월평균 외적 환경요인 비교 및 이론적인 생산성 비교 분석

- 파프리카 생산에 관여하는 주요 환경요인은 파프리카의 발육속도에 영향을 주는 24시간 평균온도, 단위면적당 총건물 생산량에 영향을 주는 광량 및 일조시간을 네덜란드와 우리나라와 비교할 때 24시간 평균온도는 1.2배, 광량은 1.3배, 일조시간은 1.4배로 우리나라 매우 높은 수준임(Table 1)
- 외부 기상중 24시간 평균 온도가 1.2배 높다는 것은 난방에너지의 사용량이 이론적으로 우리나라가 적게 들어갈 수 있는 것으로 사료됨
- 총 건물생산량은 CO₂ 농도가 동일할 시 광량에 의존하기 때문에 우리나라는 1.3배의 건물생산량이 높을 것으로 사료되지만, 시설내부로 투과된 광량은 네덜란드에 비해 우리나라가 매우 열악함.
- 네덜란드의 경우 흐린날 시설내부의 광 투과율이 70% 이상 이지만, 우리나라의 파프리카 재배온실 형태별 광투과율은 비닐온실이 40%, 유리온실은 69%로 비닐온실에 비해 유리온실이 매우 높은 광 투과율을 보였지만, 5월경 시설내부의 온도 상승을 억제하기 위해 유리면에 차광용 도포제를 살포한 후 유리온실의 시설내부 광량이 급격히 떨어져 28-37%로 광투과율이 감소하였음 (Table 2).
- 시설 내부 온도를 낮게 유지하기 위해 태양광에 포함된 적외선의 양을 줄이기 위해 차광제를 유리 표면에 도포를 하였지만, 외부 온도가 높은 5월 중하순부터는 높고, 차광제에 의해 시설내부의 광도가 낮기 때문에 총광합성량은 급격히 감소하고, 작물의 호흡량은 차광에 의해 온실내부의 온도가 2-3도 정도 낮아지더라도 이미 높은 호흡량을 유지하기 때문에 순광합성량은 급격히 낮아져 낙화와 낙과율이 높아질 것으로 사료되었음.

Table 1. Outside climatic condition between Korea and Netherlands (Avg. 30years)

	24hrTemp (°C)	Rain (mm)	Radiation (MJ/m ²)	Sun hours (hours)	RH (%)
Korea (A)	13.0	125.9	13.3	181.4	72.8
Netherlands (B)	10.5	66.2	9.9	133.8	78.2
Ratio (A/B)	1.2	1.9	1.3	1.4	0.9

Table 2. Comparison of two greenhouse type on transmissivity in Korea

	비닐온실 1	비닐온실 2	유리온실 1	유리온실 2
평균 광투과율(%)	40.0	51.2	65.0	69.2
차광용 도포제 살포 후 광투과율(%)	-	-	27.9	36.7

나. NL과 KOR 간 첫 수확 후 파프리카의 생산성 비교 분석

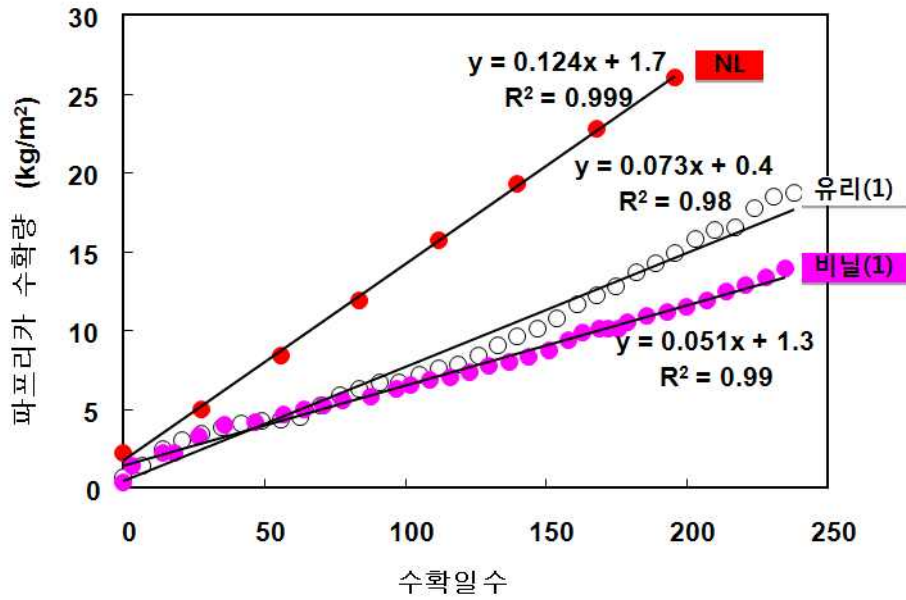


Fig 1. Comparison of cumulated yield in Glass_NL, Glass_KOR(1) and Plastic_KOR(2)

Table 3. Productivity of paprika(Red and Yellow) between Korea and Netherlands

	파종일 (월. 일)	정식일 (월. 일)	품종	줄기밀도 (Stems/m ²)	수량 (Kg/m ²)	정식후일수	조사종료일 (월. 일)
G1_NL	10. 15	11. 28	Spider(빨강)	6.99	13.7	244	7. 9
G2_NL	10. 18	11. 15	Spider(빨강)	6.41	14.6	244	7. 16
G1_KOR	8. 24	9. 28	Cupra(빨강)	7.50	8.8	274	6. 28
Glass_KOR	9. 5	10. 9	Special(빨강)	8.19	12.0	260	6. 28
Plastic_KOR	8. 27	9. 26	Cupra(빨강)	7.50	8.4	276	6. 28
G2_NL	10. 17	12. 5	Derby(노랑)	7.11	13.7	201	6. 23
G4_NL	10. 26	12. 11	Derby(노랑)	6.94	12.3	196	6. 24
Glass_KOR	8. 24	9. 28	Derby(노랑)	7.50	12.7	274	6. 28
Plastic_KOR	8. 27	9. 26	Derby(노랑)	7.50	9.7	276	6. 28

- 파프리카의 수확 일수에 따른 생산성을 비교 분석해 본 결과 네덜란드는 유리온실의 경우 1.24kg/m²/d, 우리나라의 유리온실과 비닐 온실은 각각 0.73kg/m²/d와 0.51g/m²/d 이었음
- 총 수확 기간동안 평균 생산성의 차이는 네덜란드의 평균 생산성의 우리나라의 유리온실은 59%, 비닐온실은 41%였음.
- 정식후 경과일수가 네덜란드에 비해 우리나라가 50일정도가 더 경과했음에도 생산성은 높지 않았음

다. NL과 KOR의 정식후 파프리카의 건물생산량 및 엽면적지수 비교 분석

- 우리나라와 네덜란드의 단위면적당 건물의 증가율은 우리나라의 최근 건축된 유리온실(측고 6m, 면적: 2ha)에서 7.89g/m²/d로 네덜란드의 건물증가율 7.85g/m²/d와 비슷한 경향을 보였지만, 비닐온실의 경우 7.12g/m²/d로 낮은 경향을 보였음 (Fig. 2).
- 엽면적 지수의 증가 경향은 네덜란드에서 재배되고 있는 파프리카의 경우 0.022 m²/m²/d로 우리나라에 비해 매우 높은 발육속도를 보였으며, 우리나라의 경우 유리온실의 경우 0.016 m²/m²/d와 비닐온실의 엽면적지수 증가율은 0.010 m²/m²/d로 가장 낮았음
- 네덜란드의 파프리카 재배농가들의 경우 스케줄에 의한 지속적인 정지작업이 이뤄져 엽면적 지수의 증가율의 변화 폭이 적고(R²=0.98), 국내 파프리카의 농가의 경우 파프리카의 정지량의 편차가 엽면적 지수의 변화 폭이 매우 큰 것으로 사료됨, 우리나라의 파프리카 엽면적 지수의 증가율을 정식후 일수로 회귀분석한 결과 유리온실은 77%, 비닐온실의 경우 91%로 네덜란드에 비해 상대적으로 낮음.

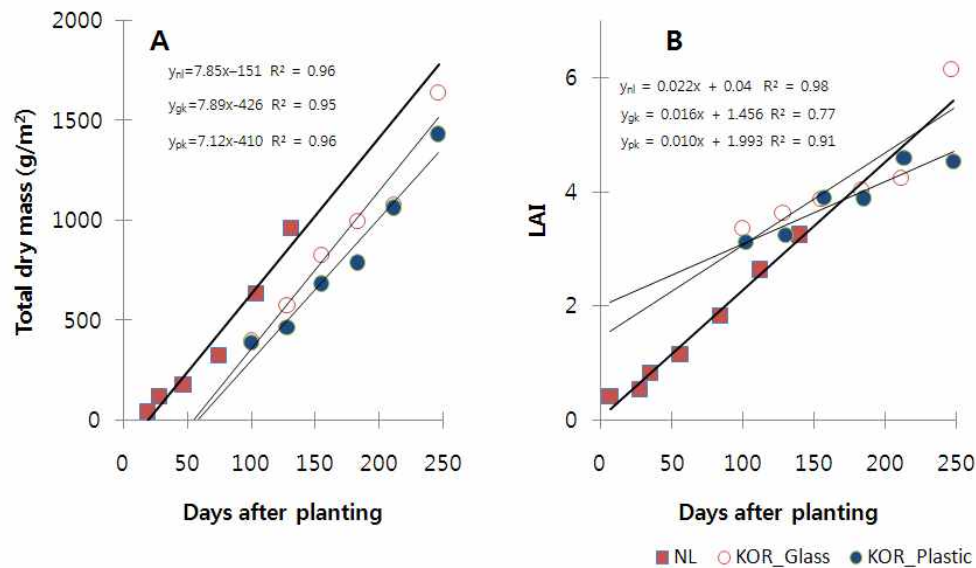


Fig. 2 Comparison of total dry mass production (A) and LAI (B) of sweet pepper crop grown in The Netherlands (NL), glasshouse (KOR_Glass) or plastic greenhouse (KOR_Plastic) in Korea.

라. NL과 KOR의 파프리카 재배시 LAI대비 건물생산량 비교 분석

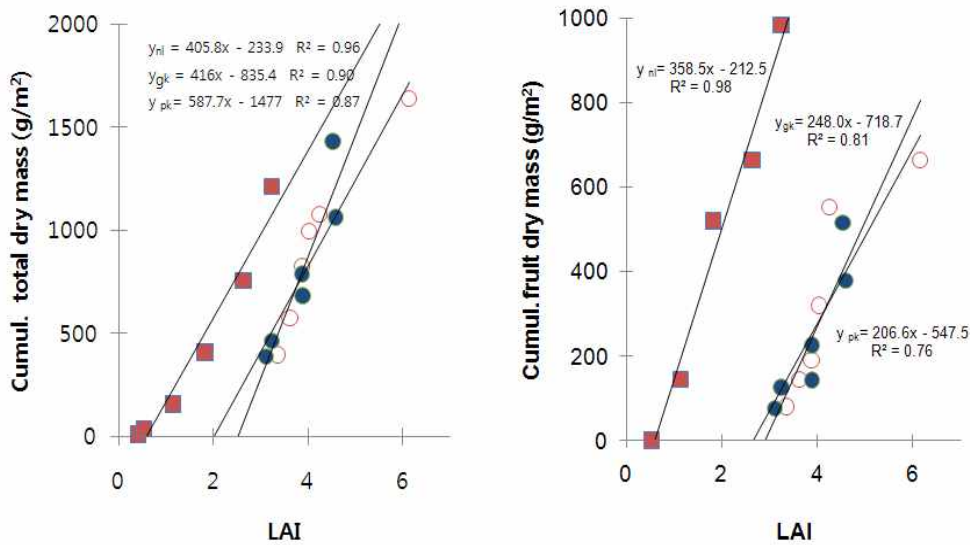


Fig. 3. Linear relationship between leaf area index(LAI) and total dry mass or total fruit dry mass (B) of sweet pepper grown in The Netherlands(y_{nl}), glasshouse (y_{gk}) or plastic greenhouse (y_{pk}) in Korea.

- 한국의 유리온실에서는 단위 엽면적지수당 건물의 증가는 416g/m^2 로 네덜란드의 405.8g/m^2 와 비슷한 경향을 보였으나, 한국의 플라스틱 온실이 587.7g/m^2 로 현저하게 높게 나타났다 (Fig 3).
- 플라스틱온실에 재배되고 있는 파프리카의 경우 적엽을 하여 식물체 하부의 통기성을 향상 시키기위해 하엽을 10-15매정도 적엽을 함으로써 재배 후기의 엽면적지수의 감소되어 엽면적당 건물생산량이 높게 나타났다.
- 단위 엽면적 지수당 과실의 생산성은 한국의 유리온실, 플라스틱온실, 네덜란드의 유리온실에서 각각 248.0g/m^2 , 206.6g/m^2 , 358.5g/m^2 로 나타났다. 엽면적 지수 대비 네덜란드의 과실 생산성은 한국의 유리온실에서는 69.1%, 플라스틱온실에서는 57.6% 수준이었다.
- 엽면적지수 대비 파프리카의 총 건물생산 비율은 네덜란드에 비해 비슷한 경향을 보였지만, 엽면적 대비 과실의 생산성 매우 낮은 이유는 파프리카의 동화산물 각 기관별 분배가 한국에서 재배된 파프리카는 영양기관으로 더 많이 분배되고 생식기관으로 동화산물 분배율이 매우 낮았기 때문이다. 과실의 동화산물의 분배는 착과수와 과실의 크기에 의존하기 때문에 한국의 파프리카의 생산성을 증대시키는 문제 중 과실의 착과수를 증대시키는 것이 유일한 방법이지만, 착과율에 관여하는 지상부 및 근권 환경과 작물의 생육 속도와 복합적인 관계를 가지고 있기 때문이다.

마. 파프리카 수광을 계산 모델

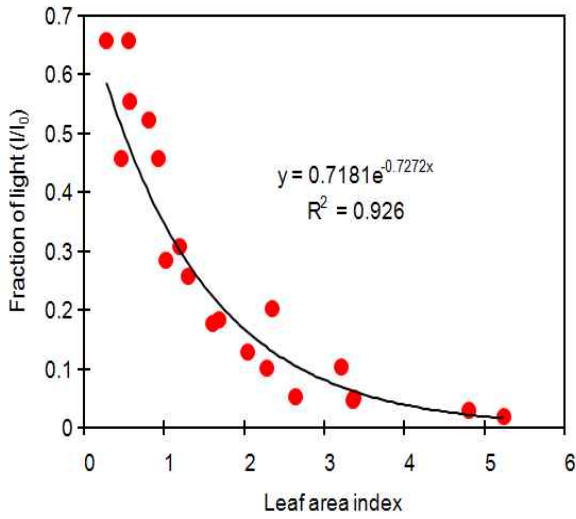


Fig. 4 Estimation of light extinction co-efficiency as function of leaf area index (LAI) of sweet pepper crop.

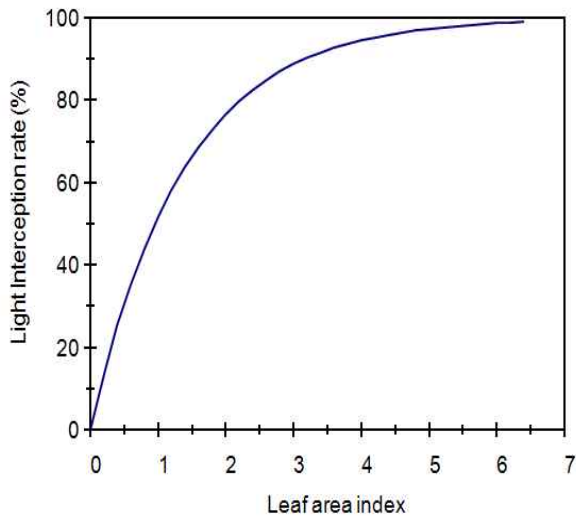


Fig. 5 Percentage of light interception as a function of leaf area index of sweet pepper crop.

- 파프리카의 엽면적 지수에 따른 작물 상부에 도달한 광도와 최단부에 도달한 광도를 측정하여 엽면적 지수에 따른 부의 지수함수를 이용하여 계수값을 광소멸계수로 추정하였다 (Fig. 4). 광소멸계수, k 는 수평엽의 구조를 갖은 작물의 경우 0.7로 알려져 있으며, 파프리카도 이와 유사한 0.73의 광소멸계수를 구할 수 있었다.
- 엽면적 지수에 따른 파프리카 수광을 계산 모델: $f = 1 - \exp(-kLAI)$ 을 이용하여 발육단계별 수광량을 계산할 수 있으며, 작물의 총 건물생장량을 추정하기 위한 검증에 본 모델을 활용과 광소멸계수는 광합성을 기반으로 한 시뮬레이션 모델의 매우 중요한 모수로 활용 가능하다.
- 토마토와 마찬가지로 엽면적지수 3이 되면 수광율이 90%이므로 정식 후 최대한 빨리 엽면적지수 3을 확보하는 것이 초·중반 파프리카의 수량성에 긍정적인 영향을 미칠것으로 사료됨..

마. 기간별 파프리카 과실의 건물함량 변화 및 과실내 동화산물 이동 패턴

○

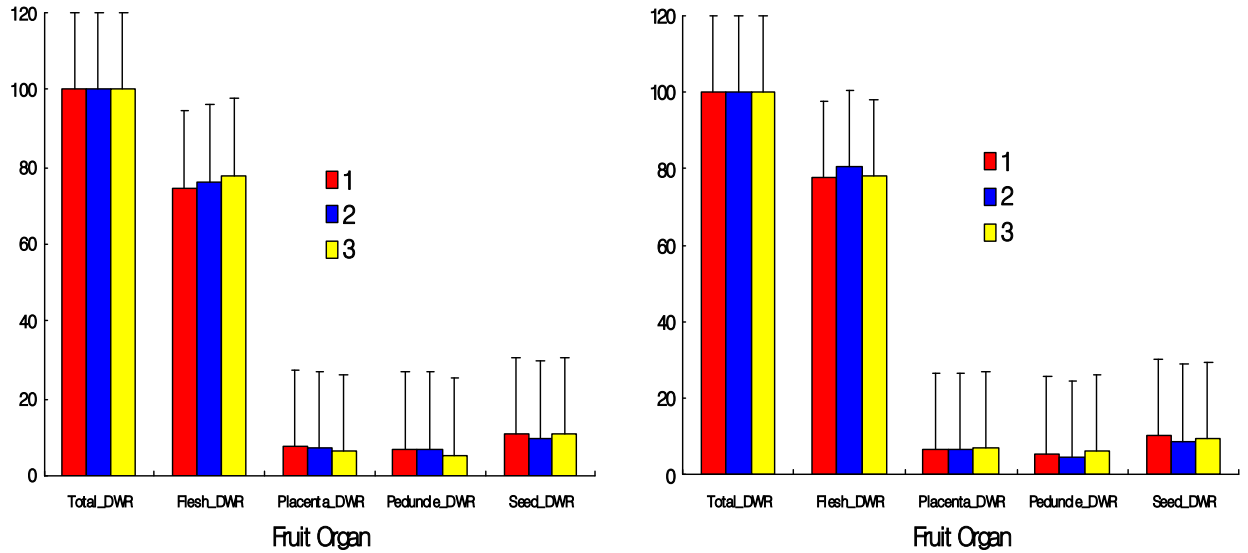


Fig. 6 Ratio of total dry weight of each organ in sweet pepper fruit(Left: Cupra, Right: Boogy).

- 월별 파프리카 과실의 각 부위별 건물분배율의 변화는 ‘Cupra’ 와 ‘Boogy’ 통계적 유의성이 없었음.
- 과실로 이동된 건물량 중 각 부위별 건물분배율은 종자 52%, 과육 8%, 과경 7%, 태좌 5%로 종자의 건물분배율이 가장 높아 종자에서의 동화산물 요구도가 상대적으로 다른 부위보다 높다는 것을 알 수 있었다.
- 무한성장하는 파프리카는 과실의 착과, 비대, 종자의 성숙, 착색이 한 줄기에서 동시에 이뤄지기 때문에 과실의 주요 싱크 부위인 종자의 수에 따라 과실의 크기 및 과실당 종자 수는 생육과정 중 착과율에 영향을 미치게 된다.

바. 국내 파프리카 재배 기간동안의 각 기관별 건물분배율 비교 분석

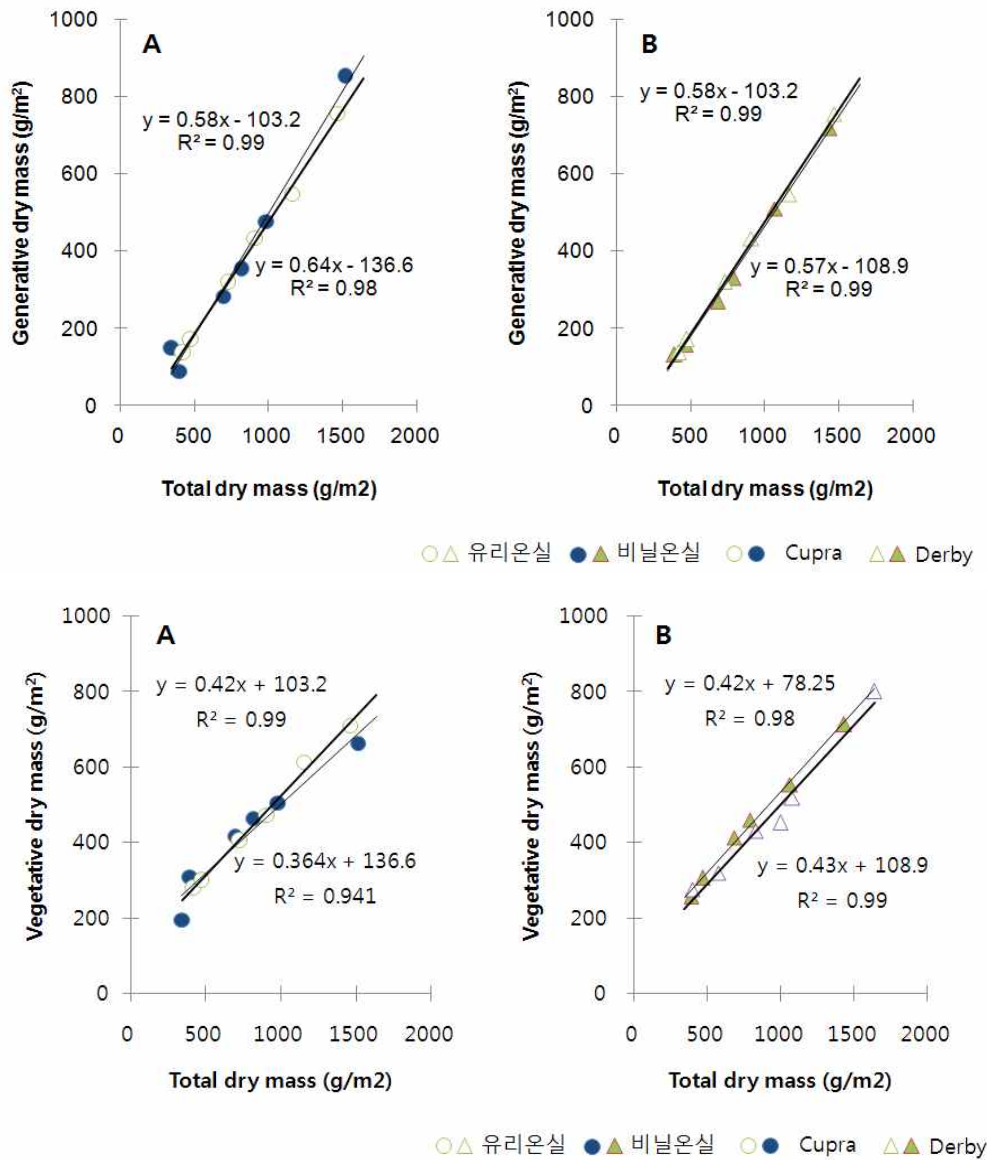


Fig. 7 Comparison of total dry mass and vegetative/ generative dry mass between glasshouse and plastic-house in Korea (A: Cupra, B: Derby)

- ‘Derby’ (노랑)품종의 각 기관별 동화산물 분배는 유리온실에서 영양기관으로 42%, 생식기관으로 58%이며, 비닐온실에서도 영양기관 43%, 생식기관 57%로 큰 차이가 없음(Fig. 7).
- ‘Cupra’ (빨강)품종은 유리온실에서 영양기관으로 42%, 생식기관으로 58%이며, 비닐온실에서는 영양기관 36%, 생식기관 64%로 유리온실보다 비닐온실에서 과실로의 동화산물 분배가 많이 이루어짐(Fig. 7).
- 영양생장과 생식생장을 병행하는 무한생장형인 파프리카의 경우 영양/생식기관으로의 동화산물 분배의 균형을 유지시키는 것이 매우 중요하며, 비닐온실의 ‘Cupra’의 경우 과도한 생식기관으로의 동화산물 분배는 대표적인 영양기관인 엽의 성장을 지연시켜 후기 수확량에 부정적인 영향을 미칠 것으로 사료됨.

사. 육묘기의 생장패턴 비교 분석

- 파프리카 육묘 기간 동안 각 품종에 따른 생장패턴을 비교하고 육묘기간의 생육에 대한 기초 자료를 얻고자 함
- 품종에 대한 상대생장율은 ‘Spider’가 가장 높았지만, 품종간 통계적 유의성은 관찰되지 않았고, 정식 후 관리에 따라 성장량과 수확량이 다를 것이라 예상되므로 정식 후 품종들간의 생육과 수량 차이에 대한 연구가 필요함(Fig. 8).
- 파종 후 55일이 지난 육묘후기의 각 기관으로 건물분배율은 엽이 40%, 줄기가 30%, 엽병은 7%, 뿌리는 약 17% 정도가 분배되었고, 각 기관으로 분배되는 건물의 분배율은 품종간에 유의적인 차이는 없었음(Table. 4).

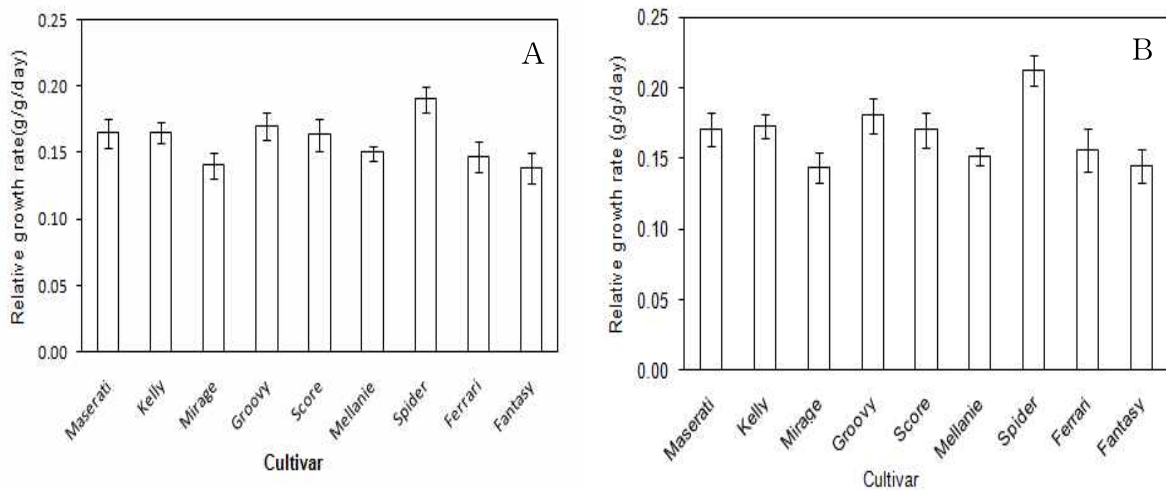


Fig. 8 Relative growth rate based on fresh(A) and dry weight(B) of young sweet pepper plant.

Table. 4 Dry weight of plant (TDW), stem (SDW), leaf(LDW), petiole (PDW) and root of young sweet pepper plant at 55 days after sowing.

cultivar	TDW ¹ (g/plant)	SDW ² (g/plant)	LDW ³ (g/plant)	PDW ⁴ (g/plant)	RDW ⁵ (g/plant)
Maserati	4.83±1.70	1.36±0.68	1.90±0.58	0.35±0.12	0.81±0.28
Kelly	4.91±0.47	1.57±0.22	1.97±0.24	0.35±0.04	0.96±0.25
Mirage	4.80±0.57	1.55±0.21	1.89±0.19	0.37±0.04	0.80±0.26
Groovy	4.36±0.43	1.41±0.19	1.99±0.23	0.31±0.04	0.80±0.16
Score	4.32±0.57	1.40±0.22	1.81±0.21	0.33±0.03	0.82±0.29
Mellanie	4.64±0.39	1.54±0.21	1.95±0.23	0.35±0.03	0.83±0.17
Spider	4.35±0.22	1.48±0.12	1.85±0.15	0.32±0.04	0.84±0.18
Ferrari	4.44±0.20	1.38±0.13	2.04±0.16	0.34±0.03	0.80±0.08
Fantasy	4.22±0.25	1.42±0.12	1.76±0.14	0.30±0.03	0.79±0.05
Significant	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

N.S. indicates not significant

- 육묘기간 동안 낮은 EC는 높은 EC보다 파프리카 유묘의 성장과 식물 건물생산량에도 부정적인 영향을 미침(Table. 5).
- 지상부의 총 건물중의 증가율 대비 엽과 줄기로의 동화산물의 이동은 시간에 따라 엽은 감소하였고 줄기는 증가하였음(Fig 9).
- EC수준이 1-2mS/cm 처리구에서는 엽과 줄기로의 동화산물 이동이 불안정한 반면에, EC 3-4mS/cm에서는 균일한 경향을 보임(Fig 9).
- 국내 파프리카 재배는 동절기와 하절기로 육묘시기가 다르므로, 육묘기 환경요인의 변화에 따른 육묘의 동화산물의 이동기작에 대한 연구는 정식 초기의 생육관리와 첫 착과율에 중요한 식물의 내적 생산요인으로 사료된다.

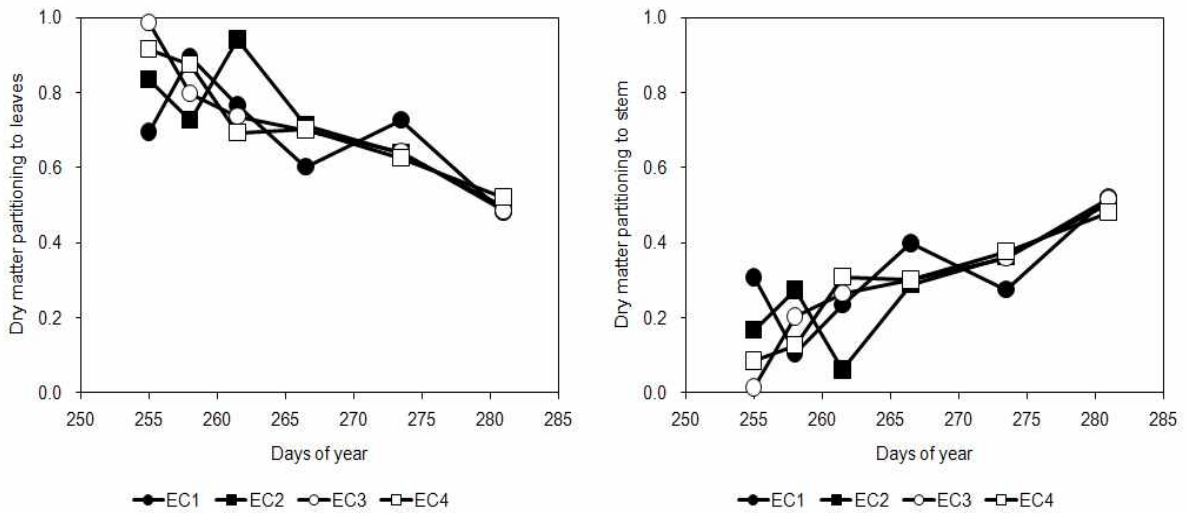


Fig 9. Dynamics of dry matter portioning to leaves and stem of young sweet pepper plant grown at different EC levels of 1, 2, 3 and 4 mS/cm.

Table 5. Effect of EC level on total fresh weight, total dry weight, stem dry weight, petiole dry weight, leaf dry weight, LAI and light interception of young sweet pepper plant.

EC Level (mS/cm)	Plant height (cm)	Total fresh weight (g/plant)	Total dry weight (g/plant)	Stem dry weight (g/plant)	Leaf dry weight (g/plant)	Leaf area (cm ² /plant)	LAI (m ² /m ²)	Light interception (%)
1	33.7	32.4	2.9	1.0	1.7	852.4	2.8	86.2
2	36.3	45.1	3.7	1.3	2.2	1108.8	3.7	92.1
3	37.1	51.4	4.2	1.4	2.4	1220.6	4.1	93.3
4	36.7	50.1	4.0	1.3	2.3	1181.2	3.9	92.5
LSD*5%	3.3	17.9	1.4	0.5	0.7	152.9	1.1	5.6

*Least Significant Difference at 5% level for comparing means

2. 2차년도 연구개발 수행내용 및 결과

가. 계절적 환경변화에 따른 육묘기 생장 패턴 비교 분석

1) 파프리카 육묘기 절곡방법에 따른 건물생산 및 건물분배 패턴 비교 분석

- 파프리카의 절곡은 육묘 초기 하배축의 뿌리의 확보 및 발육과 정식 후 하배축이 비대하여 부정근 발생 지점에 병균의 침입을 방지해주는 중요한 기술임에도 불구하고 농가간 지역간 절곡 방법이 상이하여 파프리카 육묘기 절곡방법에 따른 식물체 생육 패턴 비교분석 하였다.
- 전남대학교 농업생명과학대학 실험 온실(12*9.6m, 벤로형 유리온실), Cupra(Red, Enza zaden, NL)를 공시하여 2008. 9. 16(EC: 2.5dS/m, pH: 5.5) 파종하여, 2008. 10. 4 절곡하여, 2008. 11. 4 까지 조사하였다.
- 절곡방법은 U-type(180°), L-type(90°), I-type(control) 절곡하여 암면 큐브에 가식하여 급액 EC 2.5 ~ 3.0, pH 5.5 ~ 6.0 관리 하여 기간별로 생육조사 하였다.

Table 1. Effect of bending methods at transplanting on plant growth and development of sweet pepper seedling at final harvest(2008. 11. 4).

Bending type	Plant height (cm)	No. of leaves (no/plant)	Leaf area (cm ² /plant)	Internode length (cm)	Stem Diameter (mm)	SLA (cm ² /g)
U	45.4	19	1075	5.9	7.8	469
L	45.1	16	984	6.0	7.5	486
I	46.0	16	886	6.8	6.5	487
LSD(5%)	2.2	2	113	0.6	0.4	30
F pr.	0.725	0.027	0.007	0.011	<0.001	0.42

Table 2. Effect of bending methods at transplanting on organ dry weight of sweet pepper seedling at final harvest(2008. 11. 4).

Treatment	Stem (g/plant)	Leaf (g/plant)	Petiole (g/plant)	Root (g/plant)	Total DW (g/plant)
U	1.6	2.3	0.4	0.8	5.1
L	1.5	2.1	0.4	0.6	4.5
I	1.4	1.8	0.4	0.5	4.0
LSD(5%)	0.21	0.3	0.04	0.4	0.6
F pr.	0.199	0.012	0.199	0.286	0.047

- 파프리카 육묘기 절곡방법은 육묘의 초장에는 큰 영향을 주지 않았고, 개별 육묘의 엽면적과 엽수, 줄기의 두께는 U-type의 절곡방법에서 가장 높았고, 절간장의 길이는 I-type의 절곡방법이 가장 높았음(Table 1.).
- 개별 육묘의 기관별 건물 중 또한 줄기 1.6 g/plant, 엽 2.3 g/plant, 엽병 0.4 g/plant, 뿌리 0.8 g/plant로 U-type이 높은 경향을 보였고, 총 식물체 건물 중 또한 5.1 g/plant로 가장 높았음(Table 2.).
- 동적인 건물생산은 가식 후 13일 이후부터 급증하는 패턴을 보였고, U-type의 절곡은 초기에는 다른 절곡방법에 비해 건물생산량이 낮았는데, 가식 20일을 전후로 급격히 증가하는 패턴을 보여 U-type의 절곡은 육묘 후기에 건물생산량이 5.1 g/plant로 급증하였음(Fig. 1A)
- 육묘의 엽면적 또한 초기에는 U-type의 절곡이 가장 낮았지만, 가식 20일을 전후로 급격히 증가하여 육묘 후기에는 식물체 개별 엽면적이 1,074 cm²/plant로 가장 높았음(Fig. 1B).
- 줄기로의 건물분배율은 세 처리 모두 초기에 감소하다가 가식 일주일 전후로 증가하여 육묘 후기에는 30%를 상회하였고, I-type 절곡이 34.2%로 가장 높았고, U-type 절곡은 31.0%로 가장 낮았음(Fig. 2A).
- 육묘초기 엽의로의 건물분배는 80%로 모든 기관 중 가장 높았고, 초기 U-type 절곡이 가장 높은 경향을 나타내었지만, 육묘 후기 45%로 세 처리 모두 비슷하였음 (Fig. 2B).
- 엽병의 건물분배율은 육묘초기 5%내외에서 육묘 후기 8%내외로 육묘기간 내내 I-type이 가장 높았으며 U-type은 가장 낮았음(Fig. 3A).
- 절곡 방법의 선택시 가장 중요한 뿌리의 건물분배율은 초기에는 I-type과 L-type의 절곡방법이 U-type에 비하여 높은 경향을 보였지만, 가식 13일을 전후하여 U-type의 뿌리로 건물분배율이 16%로 가장 높았음(Fig. 3B).
- 실제 파프리카 재배 농가의 육묘 시 절곡 방법 선택은 개별농가의 선택사항이나, 본 연구결과 초기생육은 U-type의 절곡이 부진하지만, 육묘 후기생육은 U-type이 가장 높아 농가와 계절별 차이는 있으나 절곡 후 육묘 기간이 20~30일 임을 감안하면 U-type이 가장 높은 건물생산과 엽면적, 뿌리를 확보하여 U-type의 절곡이 가장 건묘를 생산할 것으로 판단됨.

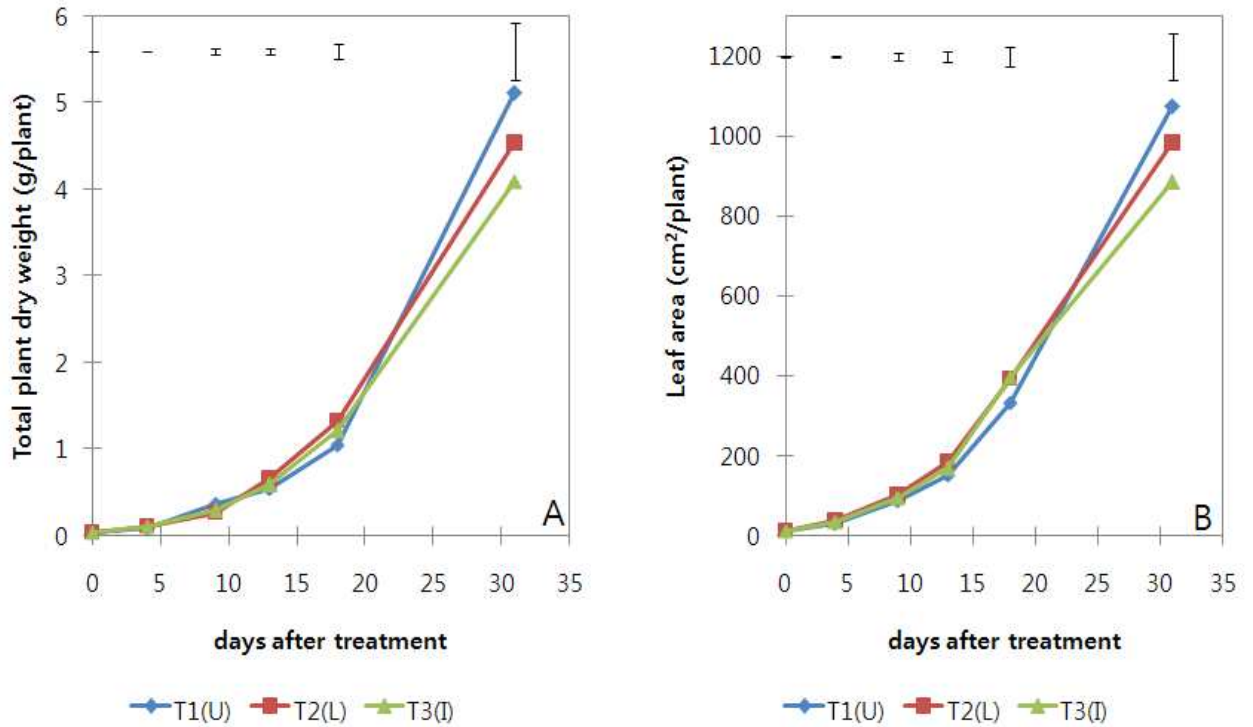


Fig. 1. Effect of bending methods on a dynamics of plant dry weight (A) and leaf area (B) as a function of days after treatment (Treatment 2008. 10. 4 = day 0).

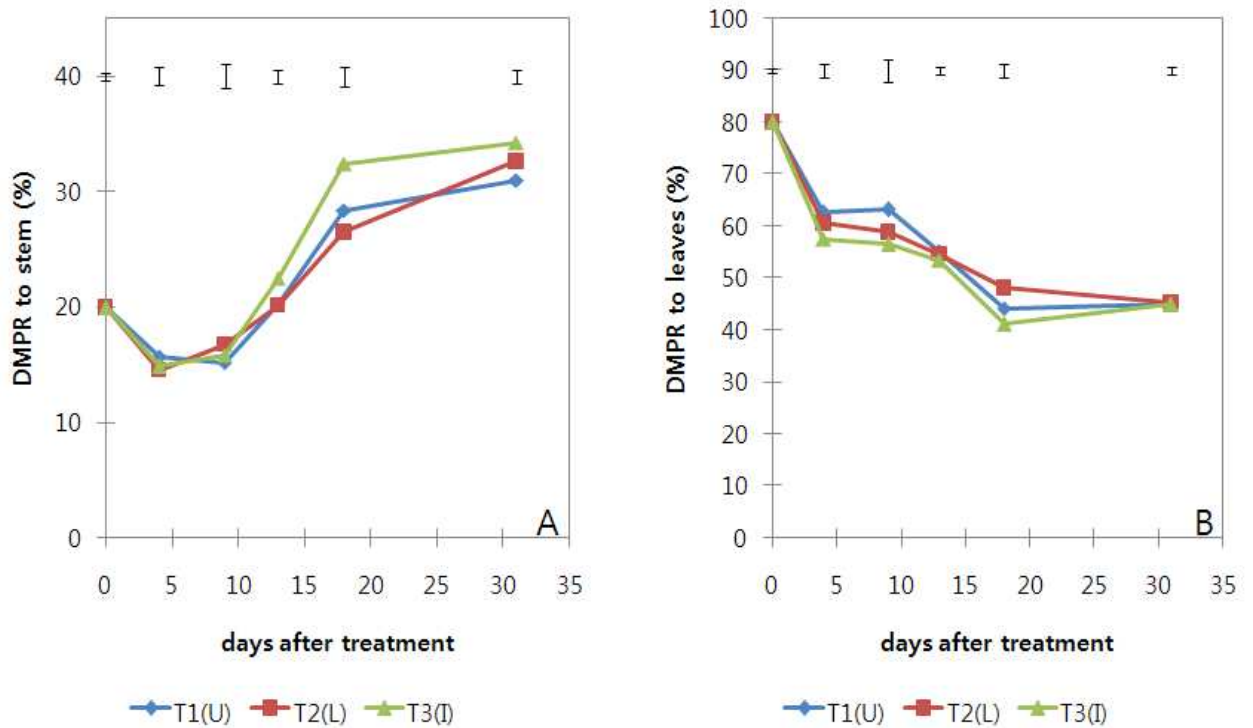


Fig. 2. Effect of bending method at transplanting on a dynamics of dry matter partitioning ratio to stem (A) and leaves (B) (Treatment 2008. 10. 4 = day 0).

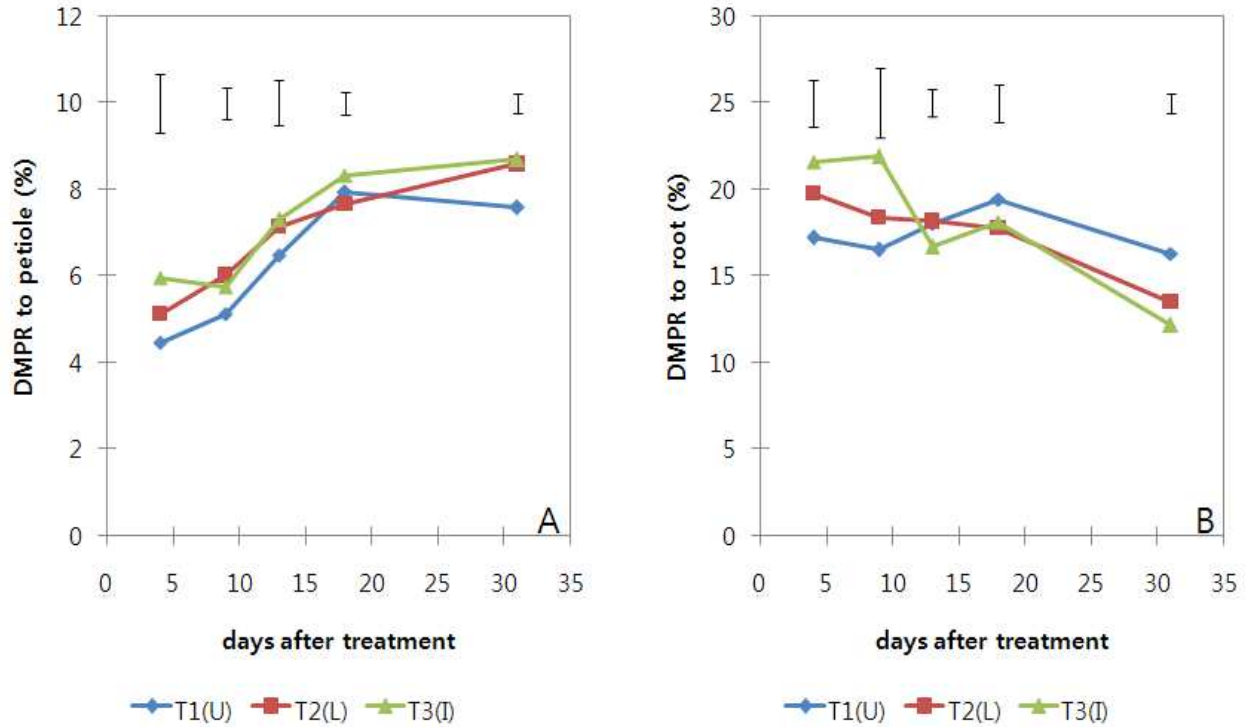


Fig. 3. Effect of bending method at transplanting on a dynamics of dry matter partitioning ratio to petiole(A) and root(B) (Treatment 2008. 10. 4 = day 0).

2) 파프리카 육묘기 암면 큐브 내 EC 수준이 육묘의 생육에 미치는 영향 분석

- 파프리카 육묘시 양질의 건묘를 위해서 육묘기 근권부의 EC는 식물체의 양수분의 흡수와 건물생산을 위해서 가장 중요한 요소 중 하나인데 농가와 지역별 근권부 EC 관리는 큰 차이점이 있고 근권부 관리의 기준이 없어 파프리카 재배 현장에서 참고할 만한 연구 결과물이 미흡하여, 파프리카 육묘기 근권부 EC 수준이 육묘의 생육에 미치는 영향 비교 분석 하였다.
- 전남대학교 농업생명과학대학 실험 온실(12*9.6m, 벤로형 유리온실)에서, ‘Cupra’ (Red, Enza zaden, NL)를 공시하여 2008. 9. 24(EC: 2.5dS/m, pH: 5.5)에 암면트레이에 파종하여 2008. 10. 14에 암면큐브에 절곡하여 2008. 11. 11에 최종 조사를 하였다.
- 처리는 암면 큐브 내 EC 수준을 1, 2, 3, 4, 5, 6 dS/m로 하여 근권부 관리의 pH는 5.5 ~ 6.0로 관리하여 기간별 식물체 기관별(줄기, 엽, 엽병, 뿌리) 생체중 및 건물중, 엽수, 엽면적, 초장을 조사하였다.
- 육묘기의 EC 수준별 식물체 생육 특성은 엽수와 절간장은 통계적으로 유의하지 않으나 EC 3에서 높은 경향을 보였고, 엽면적과 비엽면적 및 줄기의 두께 마찬가지로 EC 3이 가장 높은 경향을 보였음(Table 1).
- 최종조사 시 식물체 각 기관별 건물중은 줄기 0.9 g/plant, 엽 1.2 g/plant, 엽병 0.2 g/plant로 EC 2에서 가장 높았고, 총 건물중 마찬가지로 EC 2에서 통계적으로 유의하게 가장 높은 결과를 보임(Table 2).
- 근권부 EC 처리 14일을 전후로 처리별 차이를 시작으로 최종 건물생산량은 EC 2와 EC 3이 가장 높은 경향을 보였고, 엽면적 지수 또한 처리 14일을 전후로 차이가 보이기 시작한

이후 최종적으로 EC 2와 EC 3이 가장 높은 경향을 보임(Fig. 1.).

- 줄기의 건물분배율은 초기 20%였으나, 점점 증가하여 육묘 후기에는 40%에 육박하였고, 엽과 엽병으로의 건물분배는 초기 80%에서 실험 후기 60%까지 감소하였음(Fig. 2.).
- 파프리카 육묘기 암면큐브 내 적정 EC 수준은 2.0~3.0사이로 판단되어지며, 계절별 관수 계획과 급액 EC 마찬가지로 2.0~3.0 사이에서 급액하는 것이 적정하다고 사료됨.

Table 1. Effect of EC level on growth characteristics of sweet pepper seedling at final harvest(2008. 11. 11).

EC level	Plant height (cm)	No. of leaves (no/plant)	Internode length (cm)	Stem Diameter (mm)	Leaf area (cm ² /plant)	SLA (cm ² /g)
1	36.5	14.6	6.5	6.7	533	280
2	39.0	14.8	6.5	7.1	662	288
3	38.9	14.9	6.9	6.5	620	293
4	37.6	14.8	6.5	6.1	560	288
5	36.5	14.8	6.5	6.1	541	271
6	33.9	13.6	6.4	5.8	449	257
LSD(5%)	1.4	1.2	0.5	0.04	59	18
F pr.	<0.001	0.241	0.212	<0.001	<0.001	<0.001

Table 2. Effect of EC level on growth of sweet pepper seedling at final harvest(2008. 11. 11).

EC level	Stem (g/plant)	Leaf (g/plant)	Petiole (g/plant)	Total DW (g/plant)
1	0.7	1.0	0.2	1.9
2	0.9	1.2	0.2	2.3
3	0.8	1.1	0.2	2.2
4	0.8	1.0	0.2	2.0
5	0.8	1.1	0.2	2.0
6	0.7	0.9	0.2	1.8
LSD(5%)	0.1	0.1	0.02	0.22
F pr.	<0.001	0.010	<0.001	<0.001

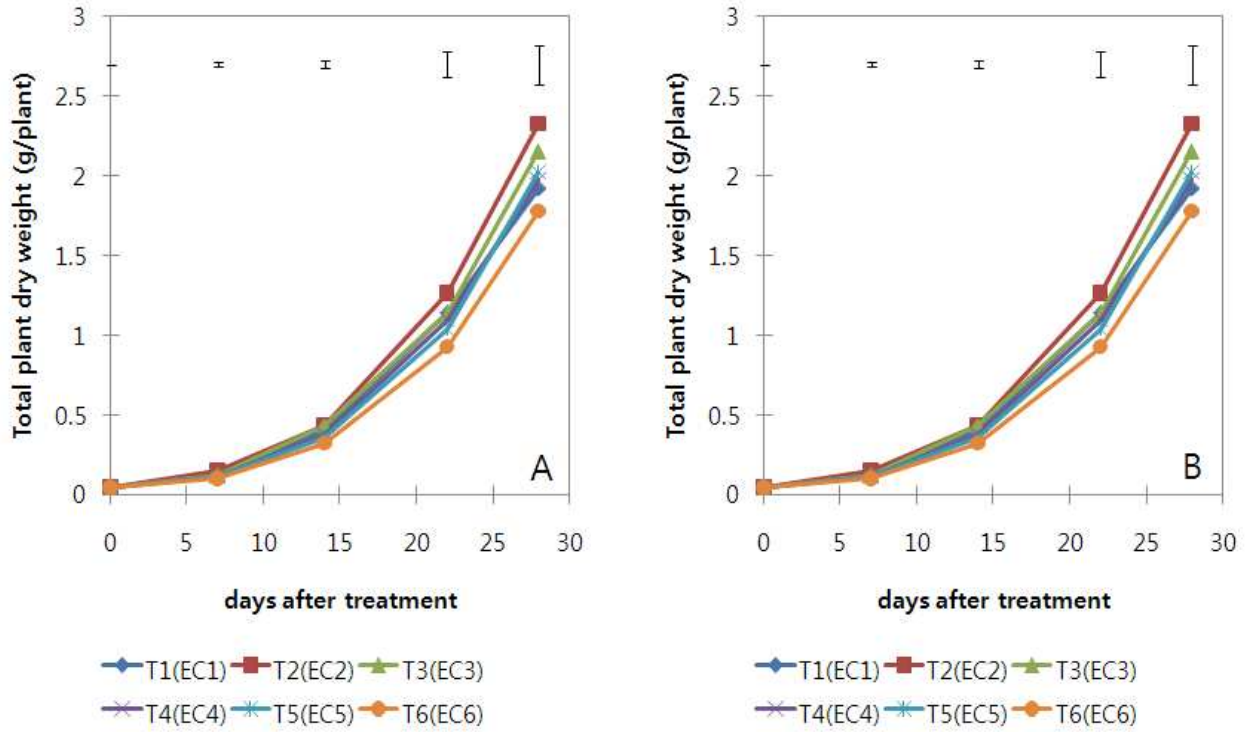


Fig. 1. Effect of EC level on a dynamics of plant dry weight (A) and leaf area (B) as a function of days after treatment (Treatment 2008. 10. 14 = day 0).

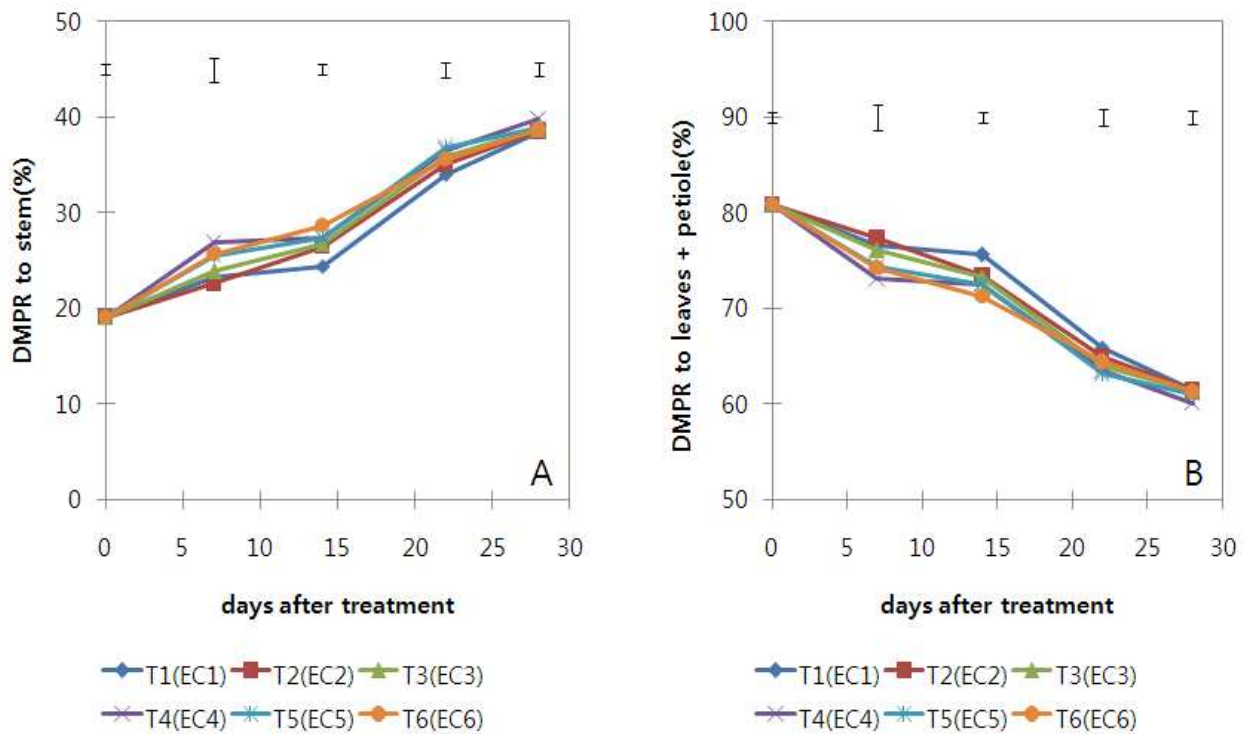


Fig. 2. Effect of EC level on a dynamics of dry matter partitioning ratio as a function of days after treatment (Stem (A), Leaves+Petiole (B)) (Treatment 2008. 10. 14 = day 0).

나. 네덜란드와 우리나라의 파프리카 재배기간 동안의 각 기관별 건물 분배율 비교 분석

1) 네덜란드와 우리나라의 파프리카 재배 온실 내·외부 환경 요인 비교 분석

- 우리나라 파프리카의 년 평균 수량은 9.4 kg/m²로 네덜란드의 26.9 kg/m²에 33%에 불과한 실정임.
- 파프리카 재배의 경우 시설 내·외부 환경에 의해 착화 및 착과량이 민감하게 반응하기 때문에 재배 온실의 환경관리는 파프리카의 수량에 있어서 절대적인 요인임에도 불구하고 우리나라의 경우 농가별 시설환경 관리의 차이가 심하여 농가별 생산량 차이가 크고, 제대로 된 시설환경 관리가 되고 있지 않음.
- 특히 일출, 일몰 전후 환경관리는 파프리카의 영양생장과 생식생장을 결정짓고, 또한 식물체의 결로를 유발함으로써 병·해충 관리에도 큰 영향을 미치는데도 불구하고 선도농가 제외 우리나라 농가 대부분이 중요성을 간과하고 있는 실정임.
- 네덜란드와 우리나라의 시설 환경요인을 심층적으로 분석하여 국내 환경에 맞는 파프리카의 재배 환경 관리 기술 개발하고자 하였음
- 실험장소는 한국(KOR)의 전남 강진(34.3°N, 126.8°E) 아트팜영농조합법인 1온실(198.4m × 80m × 3.8m, 16,500m², 벤로형 유리온실)과 2온실(130.5m × 144m × 5.8m, 19,800m², 벤로형 유리온실)에서 수행하였고, 네덜란드는 Bleiswijk(52.0°N, 4.3°E) Jan van den Bosch 450m × 110m × 3.8m, 벤로형 유리온실)의 파프리카 재배 온실과 Hofflan(52.0°N, 4.3°E)에 위치한 John van Wingerden(208m × 121.5m × 4.5m, 벤로형 유리온실)에서 수행하였다.
- 공시 품종은 KOR: 'Derby' (Yellow, De ruiters, NL), 'Cupra' (Red, Enza zaden, NL)와 NL: 'Derby' (Yellow, De ruiters, NL), 'Orange glory' (Orange, Seminis, USA)를 공시하였다.
- 조사기간은 KOR은 2007. 9 ~ 2008. 7(44 weeks), 2008. 10 ~ 2009. 7(38 weeks), NL은 2007. 12 ~ 2008. 10(44weeks), 2009. 1 ~ 2009. 6(24 weeks)으로 하였다.

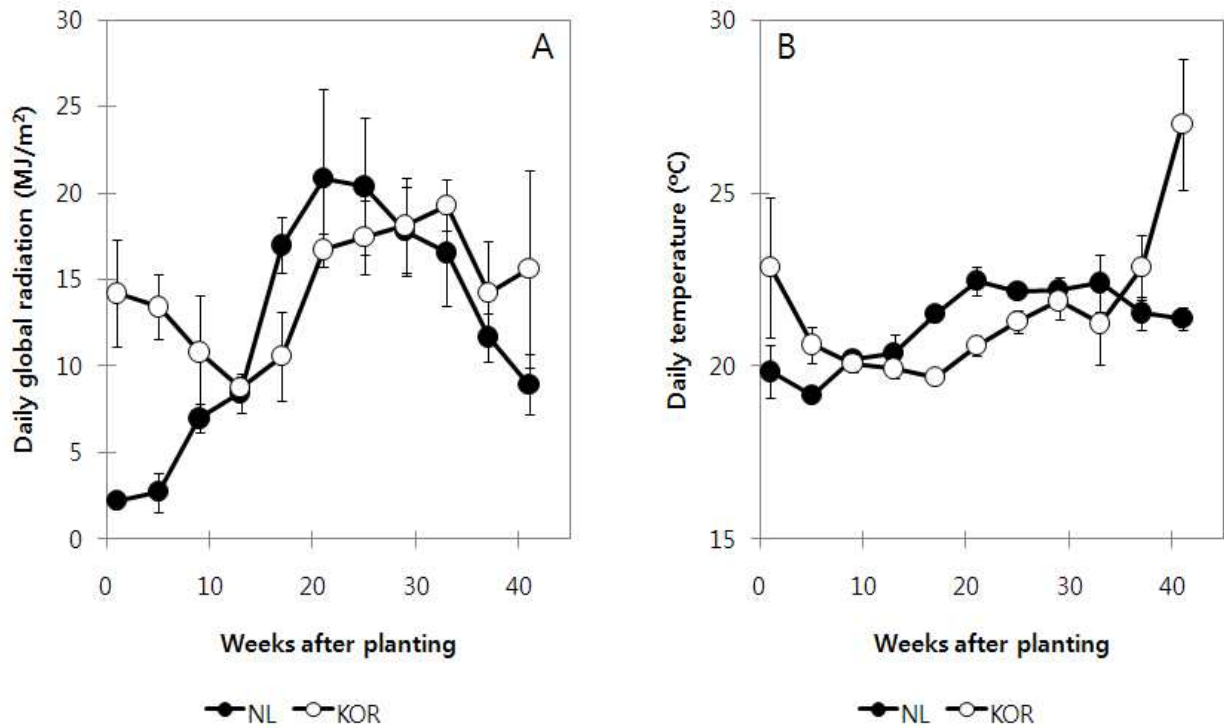


Fig. 1. Comparison of averaged daily global radiation(A) and 24h temperature(B) in KOR and NL glasshouses during the whole growing periods of sweet pepper.

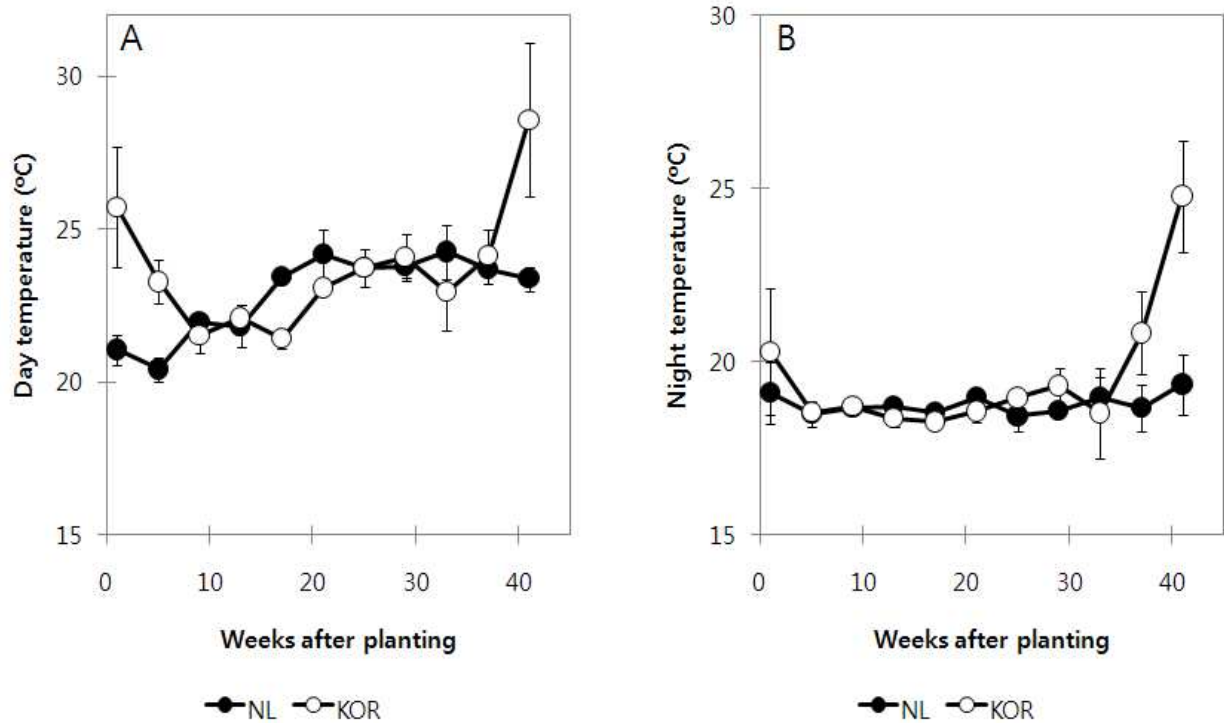


Fig. 2. Comparison of day(A) and night(B) temperature between KOR and NL during the whole growing periods of sweet pepper.

- 전체 파프리카 재배기간 동안의 일중 평균 광량은 우리나라 14.5MJ/m²/day, 네덜란드 12.1MJ/m²/day로 우리나라의 광량이 네덜란드에 비해 19.8% 높음(Fig. 2.1.1.A).
- 9월에 정식을 실시한 우리나라는 정식초기 4주 동안 13~17MJ/m²/day 의 높은 광 환경하에서 작물이 생육하게 된 이후 겨울철로 접어들어 광량이 점차적으로 낮아져 정식 12주 후에는 8MJ/m²/day 까지 감소하였고, 이후 광량이 증가하여 정식 20주 이후부터 일중 누적광량이 17~20MJ/m²/day에 육박하였고, 정식 39주후 장마의 영향으로 일중 광량이 10MJ/m²/day 내외로 낮아졌지만 2~3주 후 작기 말 일중 광량은 15~16MJ/m²/day 다시 높아짐(Fig. 2.1.1.A).
- 네덜란드의 파프리카 정식은 12월 초·중순에 이루어지는데 정식초기 5~6주 동안 시설 외부 일중 누적광량은 2~3MJ/m²/day로 우리나라 겨울철 일중 누적 광량보다 매우 낮고, 이후 봄철로 접어들어 광량은 증가하여 정식 20주 후부터 30주까지 일중 평균광량이 20MJ/m²/day을 상회할 만큼 높게 유지되고, 작기 말까지 서서히 감소되는 경향을 보임(Fig. 2.1.1.A).
- 양국의 전체 재배기간 동안의 시설내부 24시간 평균온도는 우리나라 21.6℃, 네덜란드 21.2℃로 비슷한 경향을 보임(Fig. 2.1.1.B).
- 우리나라는 정식 후 광량이 감소되고 외부 기온이 점차적으로 낮아져 시설내부 온도도 정식 후 23℃에서 18주후 20℃까지 감소되었고, 이후 외부 광량과 외부 기온이 증가하여 시설내부 온도도 증가하다가 정식 36주 이후 여름철 고온에 의해 시설내부 온도가 급격히 증가되어 작기 말에는 26℃에 육박함(Fig. 2.1.1.B).
- 네덜란드의 경우 정식초기 겨울철 외부광량이 낮고 외부 기온도 낮기 때문에 시설내부 온도 마찬가지로 19~20℃로 관리된 후 외부광량과 외부 기온이 증가하여 정식 20주후 22.5℃를 최고점으로 하여 그 이후 21~22℃로 관리됨(Fig 2.1.1.B).
- 두 나라의 시설내부 주간 온도는 우리나라 23.7℃, 네덜란드 22.9℃로 우리나라가 높게 관리된 경향이 있음(Fig 2.1.2.A).
- 양국 모두 주간 온도관리는 시설내부 24시간 평균온도에 비해 1.5~2.0℃ 높게 관리되었고, 전체 재배기간 동안 주간 온도변화 패턴은 24시간 평균 온도와 비슷한 경향을 보였음(Fig 2.1.2.A).
- 시설내부 야간온도는 우리나라 19.6℃, 네덜란드 18.8℃로 야간온도 마찬가지로 우리나라가 네덜란드에 비해 높게 관리되었는데, 네덜란드의 경우 시설내부 야간온도가 전체 재배기간 동안에 큰 변화없이 균일하게 관리된 반면, 우리나라는 정식초기와 작기 말 변화폭이 커 작기 말에는 야간온도가 22~25℃까지 높아짐(Fig. 2.1.2.B).

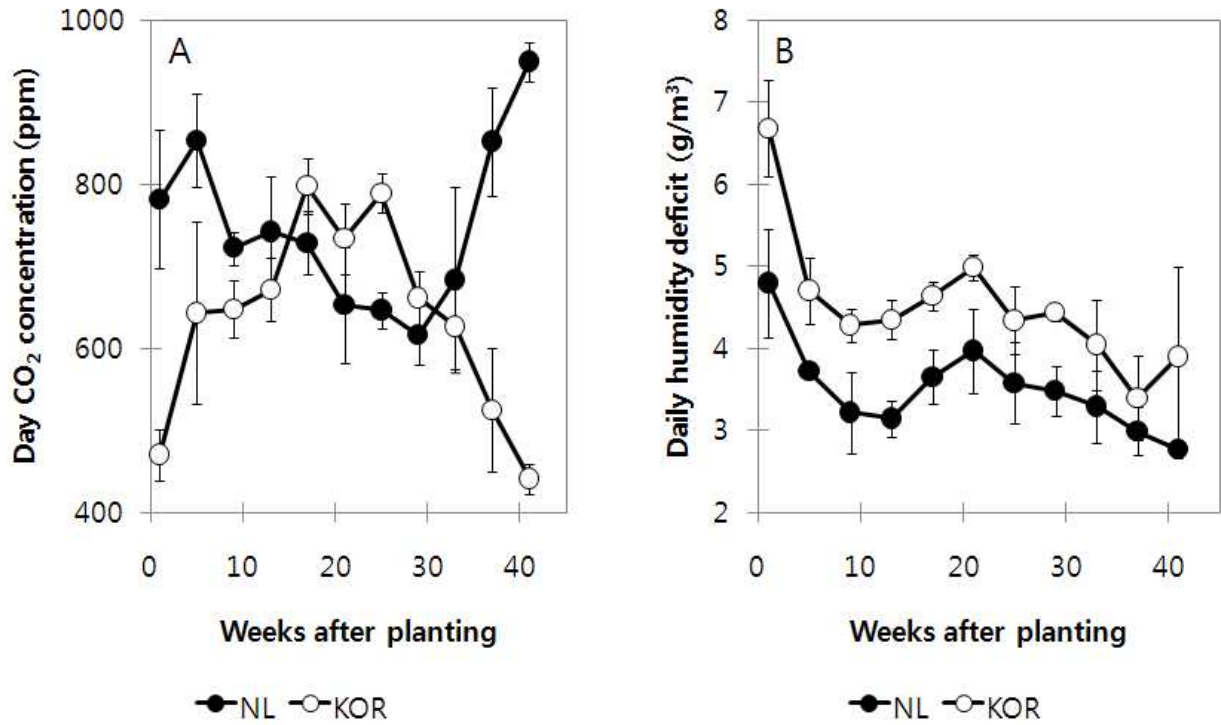


Fig. 3. Comparison of day CO₂ concentration(A) and daily humidity deficit(B) temperature between KOR and NL during the whole growing periods of sweet pepper.

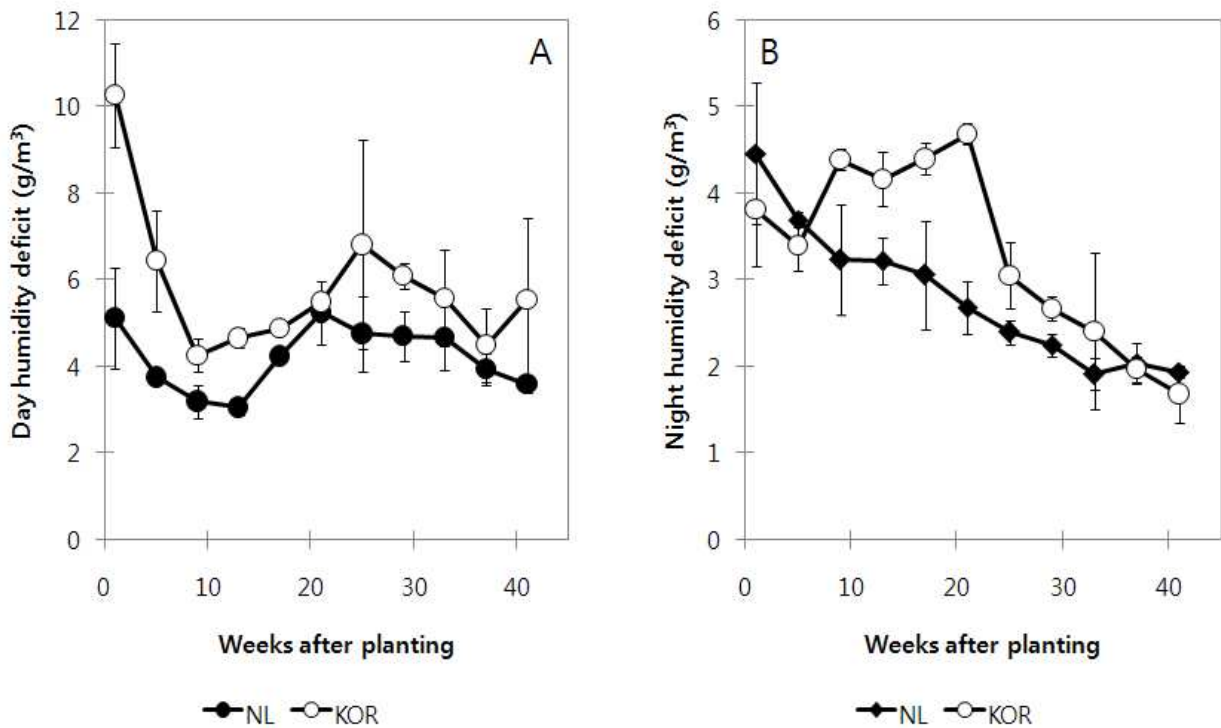


Fig. 4. Comparison of averaged day(A) and night(B) humidity deficit between KOR and NL during the whole growing periods of sweet pepper.

- 양국의 전체 파프리카 재배기간 동안의 시설내부 주간 이산화탄소 농도는 우리나라 637 ppm, 네덜란드 748 ppm으로 네덜란드의 시설내부 이산화탄소 농도가 17.4% 높음(Fig. 2.1.3.A).
- 우리나라는 정식 초기와 작기 말 시설내부 이산화탄소 농도가 440~470ppm으로 전체 재배기간 동안 가장 낮았고, 정식 후 5~12주와 28~30주의 시설내부 주간 이산화탄소 농도는 650~670ppm, 작기 중반인 정식 후 16~24주까지 730~800ppm으로 가장 높았음(Fig. 2.1.3.A).
- 네덜란드의 경우 정식초기 5주와 작기 말 5주 동안 800~950ppm으로 가장 높았고, 작기 초·중반부터 중·후반까지 620~750ppm으로 관리되었음(Fig. 2.1.3.A).
- 네덜란드의 정식초기와 작기 말 이산화탄소의 농도가 높은 것은 겨울철 난방 시 생성되는 이산화탄소의 시설내부 시용에 기인한 것으로 판단됨.
- 우리나라의 주간 평균 수분부족분은 5.9g/m³, 네덜란드 4.2g/m³로 우리나라 시설내부 주간 평균 수분부족분이 1.5g/m³ 높은 경향을 보임(Fig. 2.1.3.B).
- 주간 수분부족분도 두 나라 모두 전체 재배기간 동안의 24시간 평균 수분부족분의 변화 패턴과 비슷한 경향을 나타냄(Fig. 2.1.4.A).
- 양국의 야간 수분부족분은 우리나라 3.3g/m³, 네덜란드 2.8g/m³로 주간 수분부족분의 차이보다 더 낮은 경향을 보임(Fig. 2.1.4.B).
- 네덜란드 야간 평균 수분부족분은 정식초기 4.5g/m³를 시작으로 점차적으로 감소하여 작기 말에는 2.0g/m³인 반면 우리나라의 야간 수분부족분은 정식 후 24주 까지 변동이 크고 그 이후 서서히 감소하여 작기 말에는 네덜란드와 비슷한 패턴을 보였으며(Fig. 2.1.4.B), 양국 모두 야간의 수분부족분이 점차 감소하는 경향을 보인 것은 생육이 진행되면서 엽면적의 증가로 인한 증산량의 증가로 사료됨.
- 우리나라의 주간 평균 수분부족분에 비해 야간 평균 수분부족분은 네덜란드에 비해 균일하지 않아 시설내부 작물의 증산량이 균일하게 관리되지 못하여 야간의 작물 생장이 균일하지 않을 것으로 판단됨.

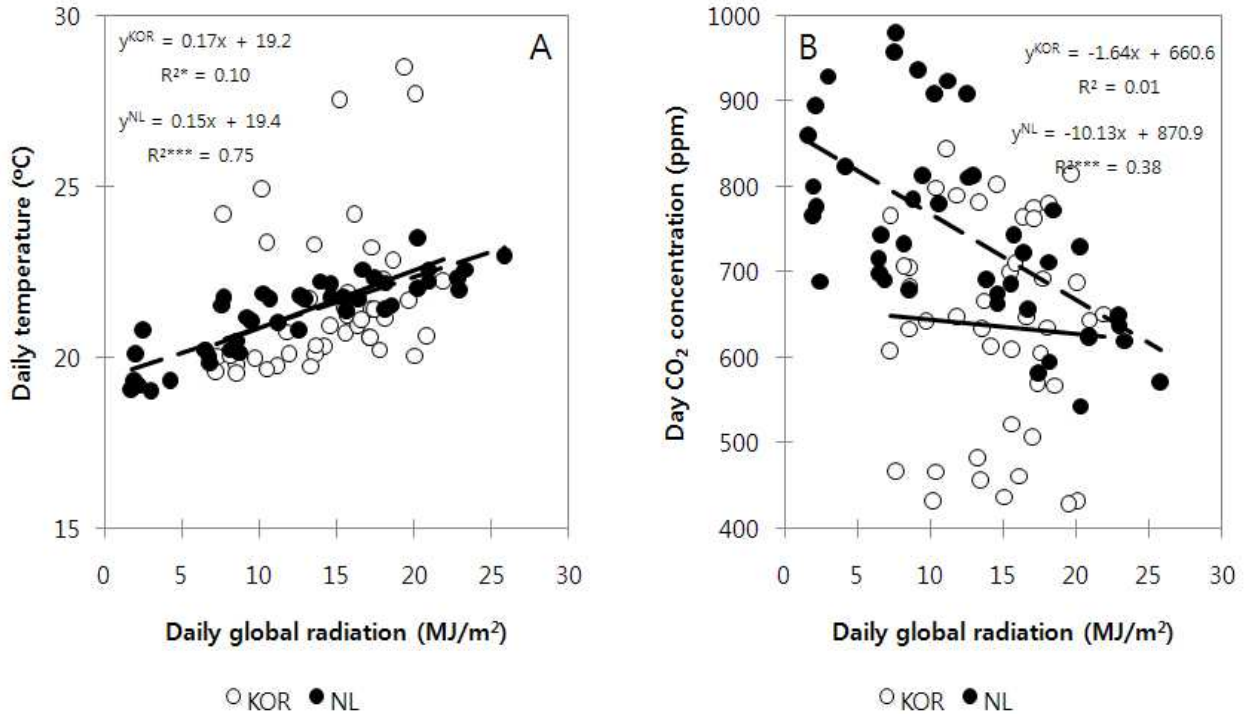


Fig. 5. Daily temperature(A) and day CO₂ concentration(B) related to daily global radiation in KOR and NL during the whole growing periods of sweet pepper ($p < 0.001 = ***$, $p < 0.01 = **$, $p < 0.05 = *$).

- 외부 광량 1MJ 당 네덜란드의 시설내부 24시간 평균온도는 통계적으로 유의하게 0.15℃가 증가한데 반하여, 우리나라는 균일하게 증가하지 못하는 경향을 보임 (Fig. 2.1.5.A).
- 네덜란드의 외부광량 대비 시설내부 이산화탄소의 농도는 통계적으로 유의하게 직선적으로 감소하는데 반하여 우리나라의 시설내부 이산화탄소 농도는 산포도가 굉장히 심하여 외부 광량을 전혀 고려하지 않고 있다고 판단됨 (Fig. 2.1.5.B).
- 광량이 증가하면 시설내부 온도가 증가하기 때문에 환기량이 증가하여 고농도의 이산화탄소를 시용하더라도 환기에 의한 손실이 많기 때문에 시용효율이 떨어지는데 이러한 결과는 우리나라의 이산화탄소 시용 효율이 네덜란드에 비해 현저히 떨어진다고 사료되며 파프리카의 높은 생산비를 감소시키기 위하여 외부광량과 환기량에 기반을 둔 정확한 이산화탄소 농도 관리가 필요할 것으로 사료됨.
- 우리나라의 경우 외부환경대비 온실환경이 균일하지 못했으며 작물 생장이 쉽게 깨질 수 있는 환경이 조성되어 질 것으로 판단되며, 이러한 불균일한 환경은 불균일한 생장을 유도하고 착과량이 불균일하고 과실의 성숙 비대기간을 정확하게 예측하지 못하여 최종 수량예측이 매우 어려워져 우리나라 파프리카의 시장교섭력이 떨어지고 국제 경쟁력을 떨어뜨릴 것이므로 보다 적극적인 환경관리에 나서 외부 환경 대비 균일한 시설내부 환경을 조성해야 할 것으로 판단되어짐.

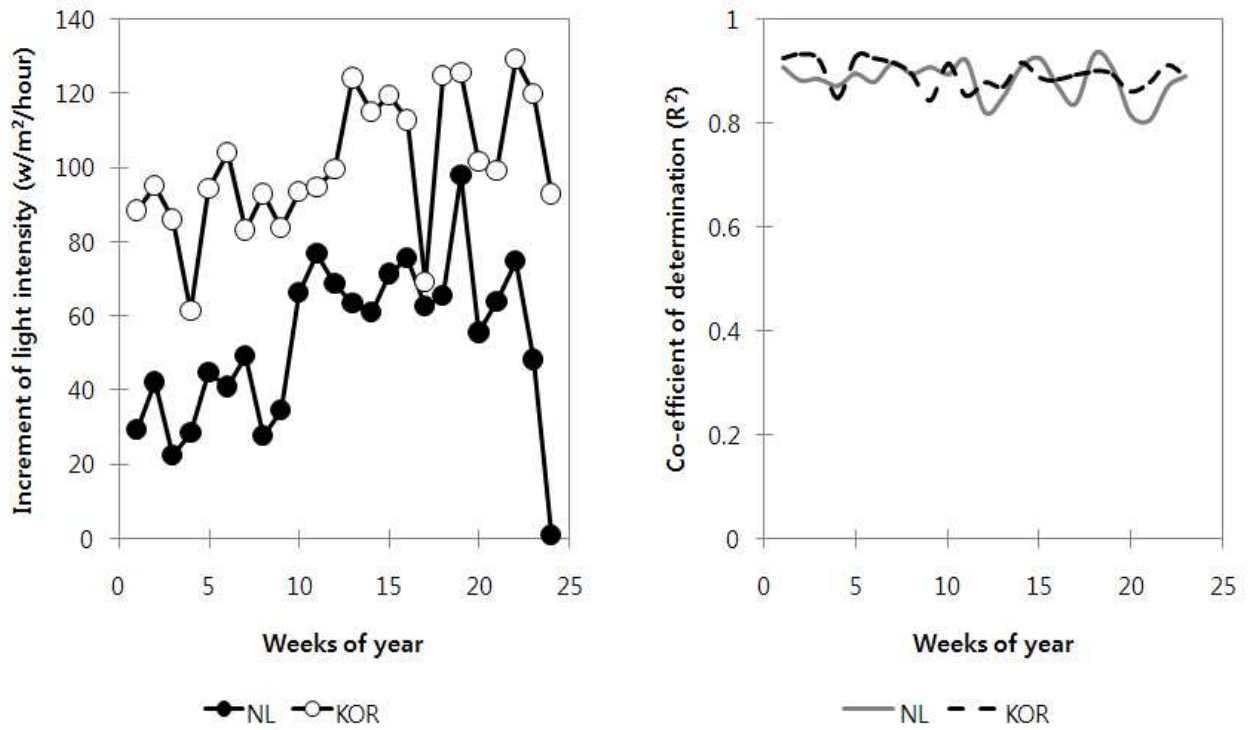


Fig. 6. Increment pattern of light intensity after sunrise between KOR and NL.
(Slope: Before sunrise 1 hour to after 4 hours).

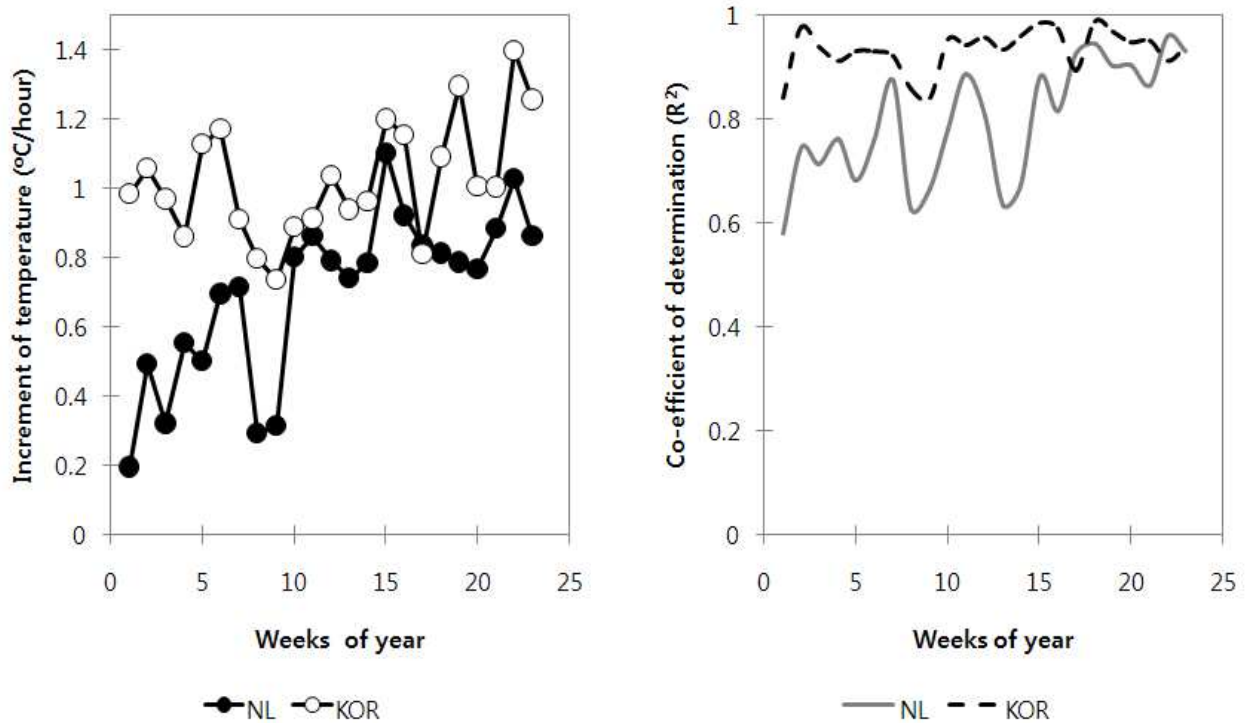


Fig. 7. Increment pattern of temperature after sunrise between KOR and NL.
(Slope: Before sunrise 1 hour to after 4 hours).

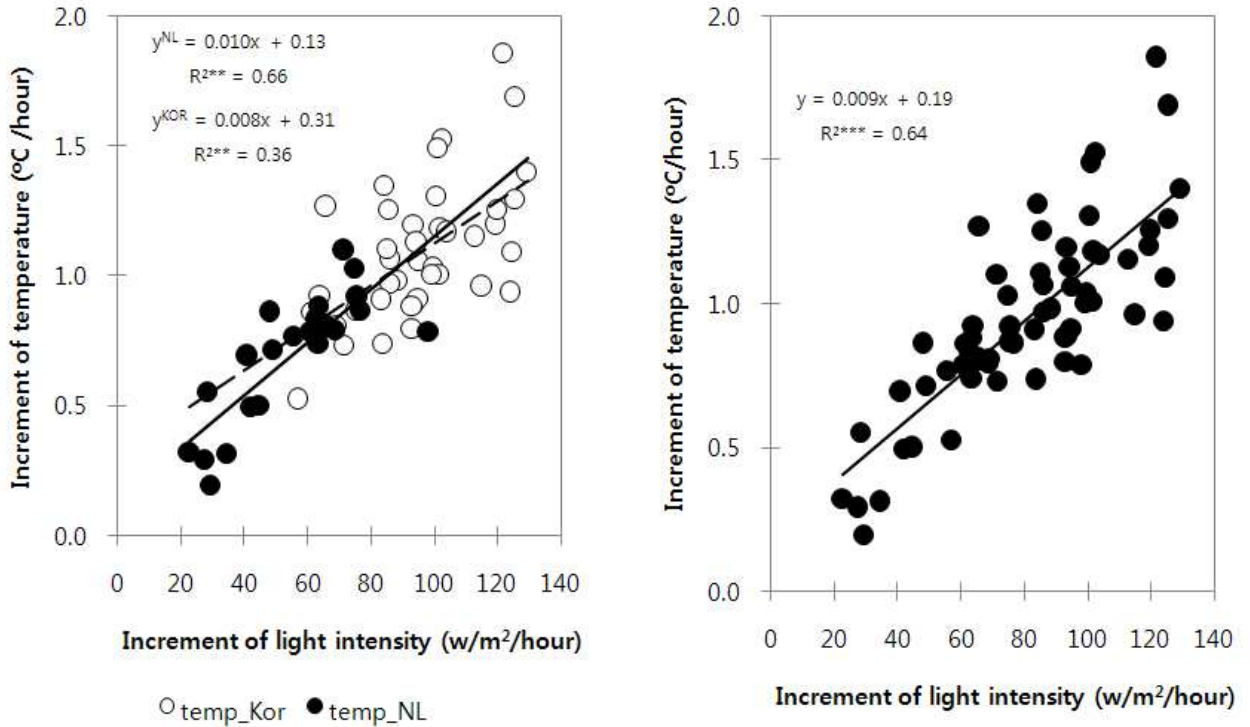


Fig. 8. Increment pattern of temperature as a function of increment of light intensity in KOR and NL ($p < 0.001 = ***$, $p < 0.01 = **$, $p < 0.05 = *$).

- 일출 전 1시간부터 일출 후 4시간 동안 외부광도의 증가는 네덜란드 55.0 w/m²/hour, 우리나라 95.1 w/m²/hour로 일출 후 우리나라의 외부광도 증가 속도가 빠른 경향을 보임 (Fig. 2.1.6.).
- 일출 전 1시간부터 일출 후 4시간 동안 시설내부 온도 증가는 네덜란드 0.7 °C/hour, 우리나라 1.1 °C/hour로 우리나라의 시설내부 온도 증가속도가 네덜란드에 비해 빠른 경향을 보임 (Fig. 2.1.7.).
- 우리나라의 온도증가 속도가 네덜란드에 비해 높은 것은 우리나라의 일출 후 광도가 더 높은 속도로 증가하기 때문이며, 외부 광도증가 대비 시설내부 온도 증가속도는 네덜란드가 우리나라에 비해 높은 경향을 보임 (Fig. 2.1.8.).
- 그러나 이러한 우리나라의 외부 광조건은 일출 후 시설내부 온도의 급격한 증가로 이어져 식물체 및 과실에 결로 발생 및 급격한 증산스트레스를 줄 수 있어 이시기 조조가온과 환기온도 설정 등의 환경관리가 매우 중요할 것으로 판단됨.
- 또한 겨울철 과도한 조조가온과 일출 직후의 환기는 시설내부 에너지의 유출을 동반하여 난방비를 증가시키므로, 이시기 환경관리가 매우 중요하게 여겨짐.

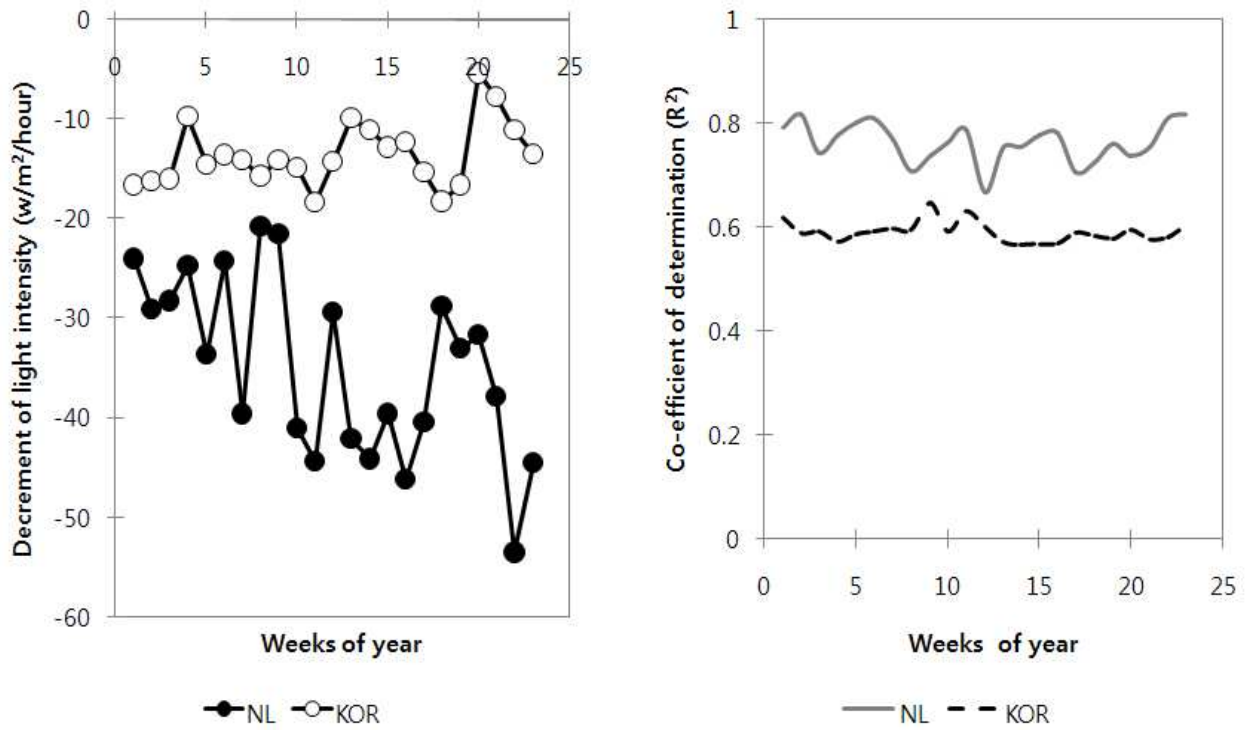


Fig. 9. Decrement pattern of light intensity during the sunset(pre-night) in KOR and NL (Slope: Before sunset 3 hour to after 2 hours).

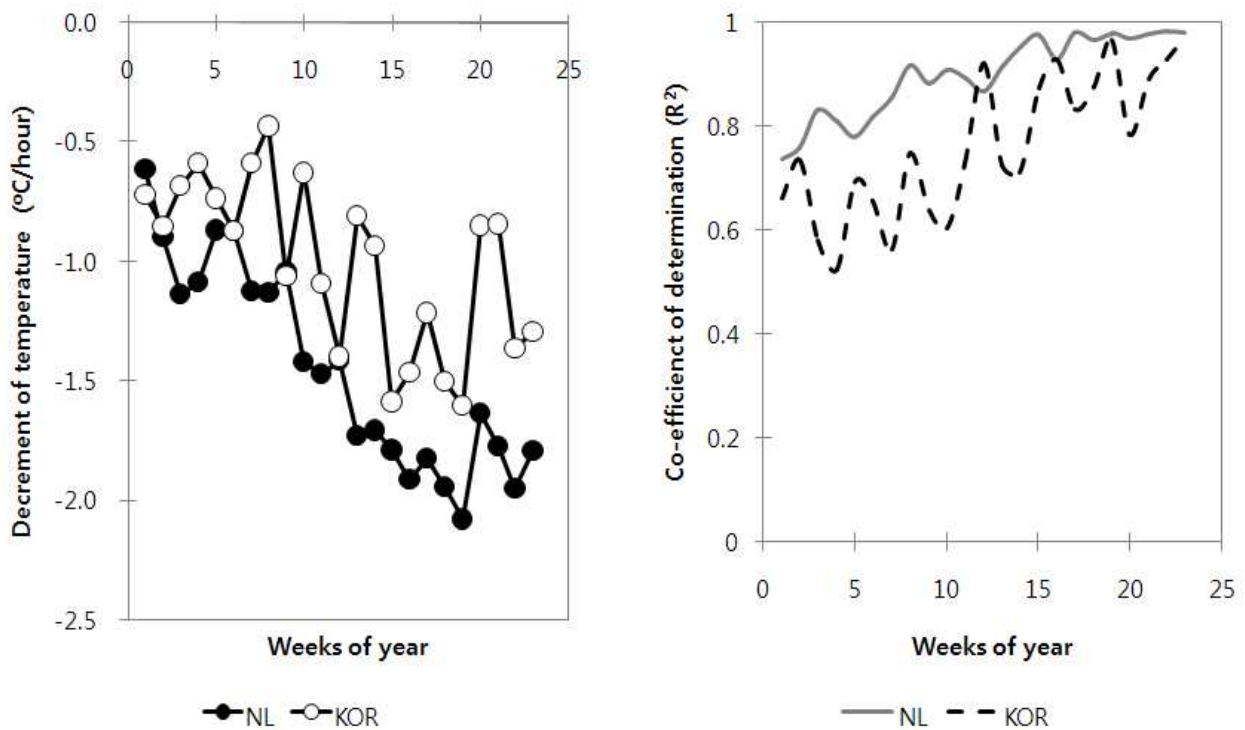


Fig. 10. Decrement pattern of temperature during sunset(pre-night) in KOR and NL (Slope: Before sunset 3 hour to after 2 hours).

- 일몰 전 3시간부터 일몰 후 2시간까지의 양국의 외부 광도가 감소하는 패턴은 네덜란드 $-34.9 \text{ w/m}^2/\text{hour}$, 우리나라 $-13.8 \text{ w/m}^2/\text{hour}$ 로 일몰 전·후 외부 광도 감소 속도는 네덜란드가 높음(Fig. 2.1.9.).
- 일몰 전 3시간부터 일몰 후 2시간까지의 시설내부 온도 감소 패턴은 네덜란드 $-1.4 \text{ }^\circ\text{C}/\text{hour}$, 우리나라 $-1.0 \text{ }^\circ\text{C}/\text{hour}$ 로 일몰 전·후의 시설내부 감소 속도 마찬가지로 네덜란드가 빨랐음(Fig. 2.1.10.).
- 네덜란드의 경우 일출 후 광도 증가가 우리나라보다 느려 시설내부 온도가 급격히 증가하는 것을 막아 작물 및 과실의 결로발생이 우리나라보다 낮고 병·해충 발생이 적은 것으로 판단되고, 일몰 전·후의 외부 광도는 급격히 감소하여, 일몰 후 시설내부 초저녁 온도관리에 있어서 급격히 감소시켜 우리나라에 비해 네덜란드의 경우 착과에 유리할 것으로 사료됨.
- 우리나라의 경우도 시설내부 온도관리를 외부광 환경에 맞춰 관리하여야 하고, 더불어 일중 평균 광량에 대비하여 비례적으로 야간온도 관리를 하여 작물 생육 및 착과, 과실성숙에 최적 환경을 조성해야 할 것임.

2) 네덜란드와 우리나라의 건물분배 패턴 비교 분석

- 파프리카와 같은 무한성장형의 과채류는 전체 건물생산량에 비올적인 부분이 과실로 분배되기 때문에 수량을 예측하고 과실로의 건물 분배를 증가시키기 위해서는 영양성장기관과 생식성장기관으로의 건물 분배율을 우선적으로 파악해야 할 필요가 있음.
- 네덜란드와 우리나라의 수량의 차이는 연중 건물생산량 및 과실로의 건물분배율에서 발생 할 것이므로 양국의 재배농가를 비교함으로써 건물분배의 차이에 대한 연구가 시급한 실정이다. 네덜란드와 우리나라의 연중 건물생산량과 건물분배 패턴을 비교 분석하여 수량차이 원인 구명하고자 본 연구를 수행하였다.
- 실험장소는 한국(KOR)의 전남 강진(34.3°N , 126.8°E) 아트팜영농조합법인 1온실 ($198.4\text{m} \times 80\text{m} \times 3.8\text{m}$, $16,500\text{m}^2$, 벤로형 유리온실)과 네덜란드(NL)의 Bleiswijk(52.0°N , 4.3°E)에 위치한 Jan van den Bosch($450\text{m} \times 110\text{m} \times 3.8\text{m}$, 벤로형 유리온실)에서 수행하였으며, 공시품종은 양국 모두 ‘Derby’ (Yellow, De ruiters, NL)를 이용하여 한국은 2007. 9 ~ 2008. 6 (36 weeks), 네덜란드는 2007. 12 ~ 2008. 10 (44weeks)까지 성장한 식물체를 조사하였다. 조사항목은 식물체 기관별(줄기, 엽, 엽병, 뿌리) 생체중 및 건물중, 엽수, 엽면적, 초장을 측정하였다.
- 작물재배 중 양국의 재식밀도는 한국이 3.75 plants/m^2 (2stems)로 7.5 stems/ m^2 네덜란드는 2.5 plants/m^2 (3stems) or 1.875 plants/m^2 를 재식하여 줄기밀도는 7.5 stems/m^2 동일한 조건이었다.

Table 1. Growth characteristics of sweet pepper plants grown under glasshouse for 36 weeks after planting in KOR and 44 weeks after planting in NL.

Crop	Total	Plant	No. of	No. of	Rate of	First fruit
------	-------	-------	--------	--------	---------	-------------

	growing Period (week)	vegetative weight (g/m ²)	dry height (cm)	nodes	harvested nodes (no./m ²)	fruit set (%)	set node no.
KOR	36	801.1±80.1	278.0±14.7	41.8±4.8	84.8±14.8	27.1±5.0	2.3±0.5
NL3	44	987.9±37.1	337.1±13.2	49.0±1.7	209.2±26.9	57.0±7.4	4.0±1.6
NL4	44	975.3±98.6	330.9±4.8	47.8±4.8	208.8±42.2	58.5±11.7	4.6±0.7

- 우리나라와 네덜란드의 파프리카 식물체의 특성 중 수확된 마디의 수는 네덜란드 평균 209 no./m²로 우리나라의 85 no./m²보다 약 2.5배가 많았음(Table 1.).
- 전체 마디 대비 과실이 착과된 마디는 우리나라 27.1%, 네덜란드 57~58%로 착과 수 또한 네덜란드가 우리나라에 비해 두배 이상 높았음(Table 1.).
- 양국의 정식 후 첫 번째 과실을 착과시킨 마디는 우리나라 2.3마디, 네덜란드 4.0과 4.6마디로 우리나라에 비해 네덜란드의 첫 번째 과실의 착과마디는 높았는데, (Table 1.) 이는 정식 후 광량이 낮은 네덜란드의 환경에서 정식 초기 안전한 엽면적확보 등의 영양생장기를 거치고 광량이 증가되는 시기에 착과시켜 안전하게 상위 마디의 과실을 착과시킬 수 있는 반면 우리나라의 경우 첫 번째 과실의 마디가 낮아 과실의 비대 및 상위마디 착과기에 광량이 낮아지는 겨울철로 접어들어 상위마디의 낙과율이 높아질 것으로 사료됨.

Table. 2. Comparison of weekly vegetative growth of sweet pepper plant grown in KOR and NL.

	TVDW (g/m ² /week)	Main stem (g/m ² /week)	Branch stem (g/m ² /week)	Leaf (g/m ² /week)	Petiole (g/m ² /week)	Leaf area (cm ² /m ² /week)
KOR	22.3	2.0	11.5	7.1	1.6	1,708
NL3	22.5	1.8	13.1	6.3	1.4	1,494
NL4	22.2	1.7	12.9	6.3	1.3	1,461
LSD (5%)	3.4	0.3	2.2	1.1	0.3	239
F pr.	0.98	0.03	0.24	0.17	0.13	0.08

Table 3. Dry matter partitioning ratio(DMPR) of vegetative plant parts based on vegetative dry mass production between KOR and NL.

	Main stem (%)	Branch stem (%)	Leaf (%)	Petiole (%)
KOR	9.2	51.7	31.9	7.1
NL3	8.1	58.1	27.8	6.0
NL4	7.7	58.0	28.3	5.9
LSD (5%)	1.5	3.3	2.7	0.5
F pr.	0.087	0.002	0.012	<0.001

- 양국의 주별 파프리카 식물체의 성장량은 우리나라 22.3 g/m²/week, 네덜란드 22.5 g/m²/week와 22.2 g/m²/week로 비슷한 경향을 보임(Table 2.).
- 식물체의 기관별 성장량 마찬가지로 통계적으로 유의성이 없었으며, 주별 엽면적 증가는 우리나라가 높은 경향을 보였지만 통계적으로 유의성은 없었음(Table 2.).
- 총 영양생장 기관의 건물중 대비 기관별 건물분배는 통계적으로 유의성은 있었지만 큰 차이는 나지 않았음(Table 3.).
- 총 영양생장량이 차이가 나지 않는다는 결과는 같은 영양기관 대비 과실로의 건물분배율이 우리나라에 비해 네덜란드가 높다는 것을 의미하며, 우리나라의 경우 과실로 분배되는 건물의 양에 대비 영양생장 기관의 건물분배가 지나치게 높다고 판단됨.

3) 네덜란드와 우리나라의 기간별 수량 및 착과 패턴 비교 분석

- 전 세계적으로 파프리카 재배시 가장 문제가 되는 부분은 기간별 수확주기의 불균일 (Yield fluctuation)로 이로 인해 파프리카 물량의 안정성을 확보하지 못하기 때문에 이를 해결하고 국제시장에서 경쟁력을 제고시키기 위해 기간별 수량패턴을 분석하는 것은 중요하고 시급한 과제이다.
- 네덜란드와 우리나라의 기간별 수량 및 착과패턴은 매우 상이할 것으로 판단되고 기간별 착과량을 분석하여 우리나라 환경 대비 시기별 적정 착과량을 예측 하고 착과를 위한 환경관리의 기초자료가 미흡한 실정이다.
- 본 연구는 네덜란드와 우리나라의 기간별 수량 및 착과패턴 비교 분석하여 양국간의 착과 패턴을 비교하고 분석함으로써 국내 파프리카 생산 농가의 생산량 증대에 기여하고자 하였다.
- 실험장소는 한국(KOR)의 전남 강진(34.3°N, 126.8°E) 아트팜영농조합법인 1온실(198.4m × 80m × 3.8m, 16,500m², 벤로형 유리온실)과 네덜란드(NL)의 Enkhuizen(52.0°N, 4.3°E) Enza zaden 실험온실(120m × 500m × 3.8m, 벤로형 유리온실)에서 재배된 파프리카의 생산관련 정보를 취합하였다.
- 품종은 양국 모두 'Cupra' (Red, Enza zaden, NL) 공시하여 한국은 2007. 9 ~ 2008. 6 (36 weeks)까지 네덜란드는(NL) 2007. 12 ~ 2008. 10 (44weeks)까지 재배하여 기간별 수량과 착과량을 분석하였다.

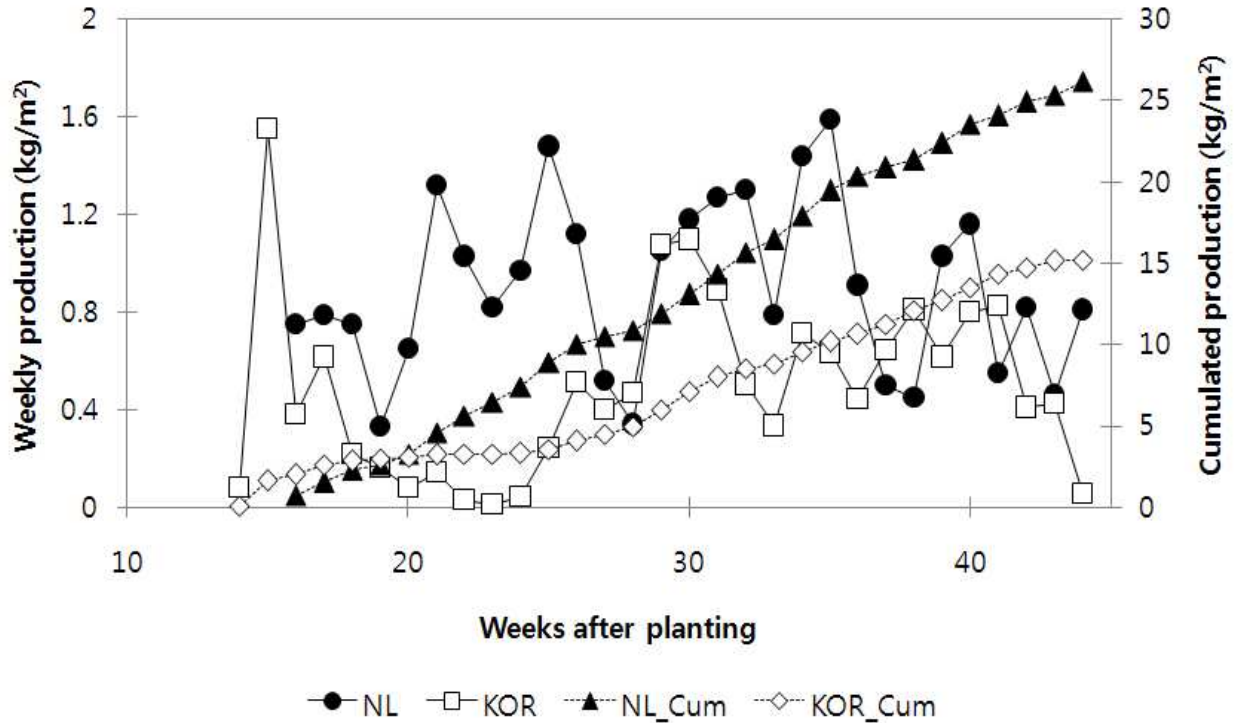


Fig. 1. Comparison of weekly yield pattern of sweet pepper grown in KOR and NL during the whole harvesting periods(cv 'Cupra').

- 우리나라의 총 누적 수량은 15.6 kg/m²로 네덜란드의 26.9 kg/m²에 비해 58% 수준 임 (Fig. 1.).
- 양국 모두 전체 수확기간 내내 수확의 진폭이 컸으나 네덜란드의 경우 이 수확이 낮은 기간을 빨리 회복을 하였고, 우리나라의 경우 첫 그룹 수확 직후 30일 정도 수확이 거의 없었음(Fig. 1.).
- 우리나라의 경우 첫 그룹 수확이 전체 작기동안 가장 높았으나 네덜란드의 경우 첫 그룹 수확이 전체 작기동안 상대적으로 낮고 작기 중 후반 수량이 높은 것에 반해 우리나라의 경우 작기 후반 수량이 크게 떨어져 작기 후반에도 작물에 신경을 기울인다면 후기 수량 증수에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 사료됨(Fig. 1.).

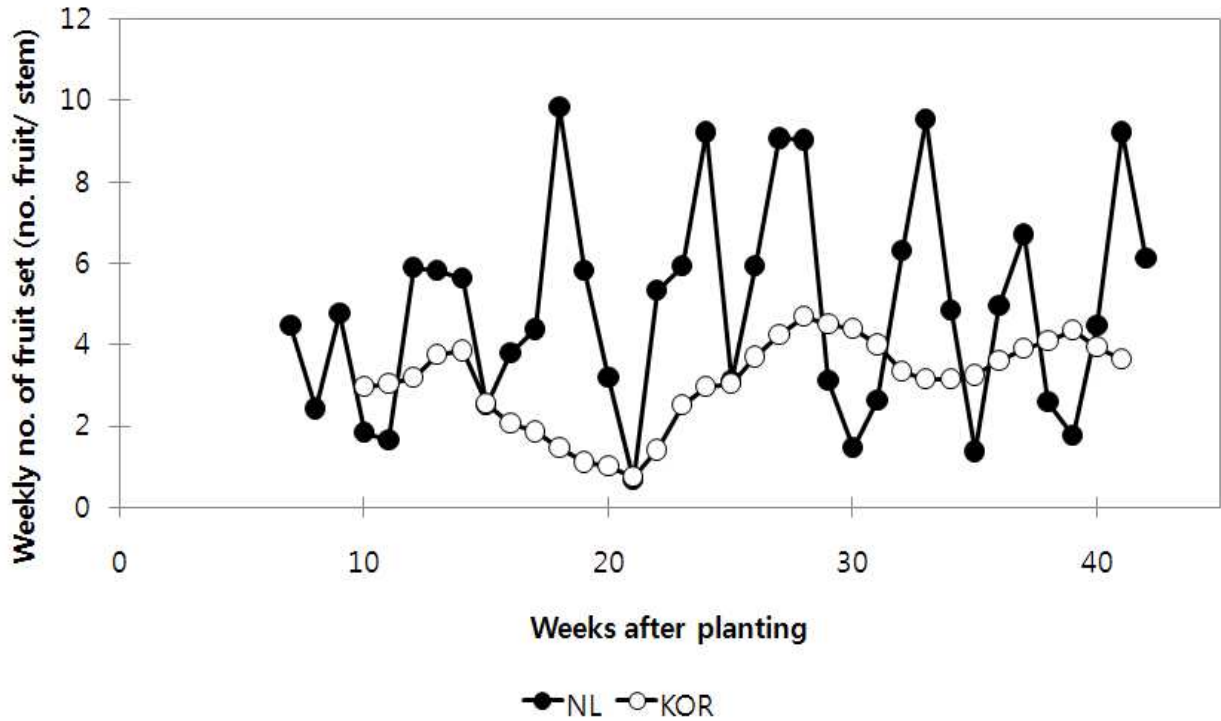


Fig. 2. Weekly number of fruit set of sweet pepper grown in KOR and NL during the whole growing periods(cv 'Cupra').

- 전체 파프리카 재배기간 동안 우리나라의 평균 착과량은 줄기당 3.1개로 네덜란드의 4.9개에 63% 수준임.
- 네덜란드의 경우 착과량의 진폭이 우리나라에 비해 비교적 높았으나, 착과량이 낮은 시기를 빨리 회복하는 경향을 보였고, 우리나라의 경우 착과량이 천천히 감소하여 천천히 증가하는 패턴을 보임(Fig. 2.)
- 작기 후반 우리나라의 경우 네덜란드에 비해 착과량은 낮지만 균일한 착과패턴을 보이는데 이 시기 우리나라의 경우 광량이 아주 높은 시기이므로 이 시기 착과량을 증대시킬 수 있도록 외부 광량 대비 시설내부 온도와 이산화탄소 농도 조절을 통해 착과량을 증대시킬 수 있도록 작물관리가 되어야 함.

다. 계절별 초기 엽면적지수와 광 수광량이 후기 착과 및 수확량에 미치는 영향 비교 분석

1) 재식밀도가 파프리카의 광수광량과 후기 과실 착과에 미치는 영향

- 초기 엽면적지수의 조절은 재식밀도의 조절과 적엽을 통해 가능한데 이는 Sink-source의 조절로 가장 효율적인 재식밀도를 찾고 시기별 적정 엽면적지수를 확보해야하는데 반하여 우리나라 농가의 대부분 초기 과도한 엽면적지수를 확보하여 작물을 재배하고 있는 실정임.
- 우리나라 파프리카 재배 농가와 지역별 재배법 및 재식밀도의 차이는 농가별로 상이하여 적정 재식밀도를 구명하는 연구가 필요하여, 정식 후 초기 적정 재식밀도와 엽면적지수 관리 방안이 모색하고 재식밀도가 파프리카의 광수광량과 과실 착과에 미치는 영향을 구명하고 본 연구를 수행 하였다.
- 실험장소는 전남 강진 아트팜영농조합법인(130.5m × 144m × 5.8m, 19,800㎡, 벤로형 유리온실)에서, ‘Cupra’ (Red, Enza zaden, NL)를 공시하여 2008. 9. 16 (EC: 2.5dS/m, pH: 5.5) 파종, 2008. 9. 24에 암면 큐브에 절곡하여 2008. 10. 12에 슬라브에 정식하였다. 줄기 밀도는 6.1 stems/m², 7.1 stems/m², 10.1 stems/m² 8.1 stems/m² 4수준으로 하였다.
- 배양액 처방은 Grodan BV(Denmark)의 파프리카 표준 양액처방전(Table 1.1.) 이용하여 급액 EC 2.5 ~ 3.0, pH 5.5 ~ 6.0로 관리 하였다.
- 재식밀도별 줄기당 수확 과실의 개수는 재식밀도가 가장 낮은 6.1 stems/m² 처리구에서 줄기당 9.7개로 가장 높았으며 재식밀도가 가장 높은 10.1 stems/m² 처리구에서 줄기당 수확 과실의 개수가 가장 낮았음(Table 1.).

Table 1. Effect of stem density on number of harvested fruits, setted fruits and light interception in sweet pepper grown from October 12, 2008 to June 18, 2009.

Treatment (stems/m ²)	No. of harvested fruits per stem	No. of set fruits per stem	No. of fruits per m ²	Light interception (%)
6.1	9.7±2.7	4.7±1.8	87.8±19.4	97.7±0.2
7.1	8.6±1.5	3.4±1.9	85.2±23.1	98.1±0.1
8.1	8.8±2.7	3.2±1.4	97.2±29.1	99.0±0.1
10.1	6.6±1.3	2.9±1.4	96.0±16.7	99.3±0.2
LSD (5%)	1.167	1.377	18.29	0.3126
F pr.	0.007	0.037	0.502	<0.001

- 과실의 착과수 또한 6.1 stems/m² 처리구에서 줄기당 4.7개로 가장 높았고, 10.1 stems/m² 처리구에서 2.9개로 가장 낮았음(Table 1.).
- 단위면적당 수확 과실의 개수와 착과수는 통계적 유의성은 없었지만 Control인 8.1 stems/m² 처리구에서 가장 높은 경향을 보였고, 작물 광 수광량의 경우 통계적으로 유의성은 나타났지만, 수광량이 모두 97% 이상으로 시설내부로 유입된 광의 대부분을 균락에 의해 수광한 것으로 판단됨(Table 1.).
- 우리나라 파프리카 농가와 지역별 재식밀도가 크게 차이가 나므로 정식시기 별 외부 광량 대비 적정 엽면적지수 유지 및 재식밀도는 작물관리, 그 시기 노동 부하 및 생산비용을 고려하여 선택하여야 할 것임.

라. 계절별 수확과실의 생체중과 건과중비(건물함량)의 비교분석 및 계절적 환경변화에 따른 건물 함량 예측 모델 개발

1) 온실에 따른 계절별 수확과실의 건물함량과 과실의 기관별 건물분배 패턴 비교 분석

- 파프리카의 생산성은 과실의 생체중이며 생체중 대비 건물중은 과실에 수분이 얼마나 함유되었느냐로 대변되며 기간별 온실환경에 따라 이 건물함량은 차이가 있을 것으로 판단되고 이에 따라 생산성이 차이가 날 것으로 판단됨.
- 우리나라 파프리카 재배 농가별 환경관리의 차이가 있듯이 과실의 건물함량도 차이가 있을 것으로 사료되어 과실의 건물함량을 비교 분석하여 잠재적인 파프리카 수량을 파악하는 것이 중요하여, 온실에 따른 계절별 수확과실의 건물함량 변화 및 과실 내 기관별 건물분배 패턴 비교 분석하였다.
- 실험장소는 전남 강진 아트팜영농조합법인 1온실(198.4m × 80m × 3.8m, 16,500m², 벤로형 유리온실)과 전남 강진 꾸메땅영농조합법인(120m × 110m × 2.5m, 13,200m², 1-2w형 비닐온실)에서 ‘Cupra’ (Red, Enza zaden, NL)와 ‘Derby’ (Yellow, De ruitter, NL)를 공시하여 2007. 8. 27 파종, 2007. 9. 7 암면큐브에 절곡, 2007. 9. 27에 슬라브에 정식하여 재식밀도 3.75 plants/m²와 줄기 밀도 7.5 stems/m²로 재배된 유리온실과 비닐온실의 파프리카의 생육을 비교조사하였다.
- 두 온실 모두 다 Grodan BV(Denmark)의 파프리카 표준 양액처방전(Table 1.1.)을 이용하여 근권부 급액 관리는 EC 2.5 ~ 3.0, pH 5.5 ~ 6.0의 조정하였다.
- 수확조사는 샘플 50주 선정 후 1주일에 한번씩 오전 09:00 ~ 10:00 사이에 수확하였고, 수확 후 기관별(과육, 태좌, 종자, 과경) 생체중 및 건물중 측정하여 두온실간의 비교 분석하였다.
- 파프리카 과실 내 기관별 건물분배율은 품종과 온실별 상이하였지만 과육으로의 건물분배율이 가장 높고, 종자, 태좌, 과경의 순서로 분배되어짐(Table 4.1.1. 와 Fig. 4.1.1.).

Table 1. Dry matter distribution ratio in sweet pepper fruits.

Greenhouse	CV.	Flesh (%)	Seed (%)	Placenta (%)	Peduncle (%)
Glasshouse	Derby	72.2	12.7	10.3	4.7
	Cupra	70.6	14.6	8.6	6.3
Plastic greenhouse	Derby	76.2	10.1	9.3	4.3
	Cupra	74.7	11.6	8.1	5.6
Greenhouse	-	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
CV.	-	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Green.×CV.	-	0.766	0.402	0.107	0.137

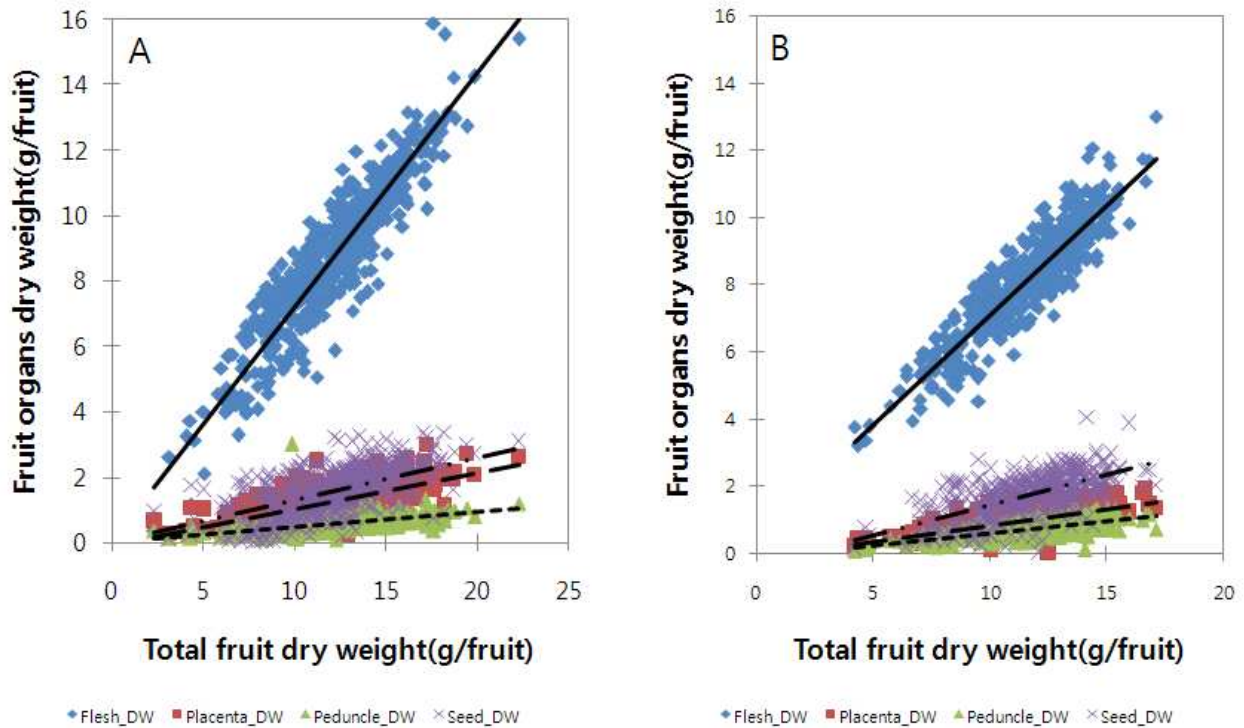


Fig. 1. Dry matter distribution in sweet pepper fruit(A: 'Derby', B: 'Cupra').

Table 2. Comparison of dry matter contents of sweet pepper grown under glasshouse and plastic greenhouse.

CV.	Monthly fruit dry matter contents(%)						LSD (5%)	F pr.	
	1	2	3	4	5	6			
Glass	Derby	6.5	7.4	7.5	6.3	6.8	6.7	0.45	<0.001
Plastic		6.4	7.6	6.9	6.7	6.6	7.0	0.47	<0.001
LSD (5%)		0.29	0.92	0.45	0.22	0.27	0.44	-	-
F pr		0.72	0.64	0.007	<0.001	0.21	0.16	-	-
Glass	Cupra	7.4	7.9	7.1	6.6	6.9	7.6	0.42	<0.001
Plastic		7.3	8.4	7.2	7.3	6.2	6.8	0.37	<0.001
LSD (5%)		0.21	0.32	0.43	0.26	0.32	0.45	-	-
F pr.		0.15	0.12	0.71	<0.001	<0.001	<0.001	-	..

- 파프리카 과실 내 기관별 건물분배율은 품종과 온실별 상이하였지만 과육으로의 건물분배율이 가장 높고, 종자, 태좌, 과경의 순서로 분배되어짐 (Table 1. 와 Fig. 1.).
- 플라스틱 온실에서 생산된 과실이 품종별 과육으로 분배되는 건물율이 높았고, 종자로의 분배되는 비율이 낮았음 (Table 1.).
- 종자의 경우 총 생체중은 가장 낮는데 반하여 건물함량이 50%로 과육을 제외한 태좌와 과경에 비해 동화산물 요구도가 높아 단위결과성 품종이 육성된다면 종자와 태좌의 비율이 극히 낮아지므로 파프리카 수량 증수에 긍정적인 영향을 미칠것으로 사료됨.
- 플라스틱 온실과 유리온실에서 수확된 과실의 월별 건물함량의 증감 패턴은 유사하였지만 건물함량은 상이하였음 (Table 2.)
- 플라스틱 온실과 유리온실 모두 빨간색 'Cupra' 품종이 노란색 'Derby' 품종에 비해

건물함량이 높아 빨간색 품종의 경우 동화산물 요구량이 높아 노란색 품종에 비해 상위마다 착과량이 낮을 것으로 사료되어지고, 품종선택은 시장의 요구도도 같이 고려해야 하므로 무조건 노란색 품종을 선택하는 것은 파프리카 농가의 수익성에 부정적인 영향을 미칠 것이므로 작기 시작 전 철저한 시장조사와 누적 데이터 분석을 통한 품종 선택을 해야 함.

2) 계절별 수확과실의 건물함량 비교 분석

- 파프리카의 생산성은 과실의 생체중이며 생체중 대비 건물중은 과실에 수분이 얼마나 함유되었느냐로 대변되며 기간별 온실환경에 따라 이 건물함량은 차이가 있을 것으로 판단되고 이에 따라 생산성이 차이가 날 것으로 판단된다.
- 우리나라의 계절별 시설 내·외부 환경에 따른 파프리카 과실의 건물 함량을 비교 분석함으로써 잠재적인 파프리카 수량을 파악하는 것이 중요하여, 계절별 수확과실의 건물함량 비교 분석 및 과실 건물함량 예측모델 개발하고자 하였다.
- 실험장소는 전남 강진 아트팜영농조합법인 1온실(198.4m × 80m × 3.8m, 16,500m², 벤로형 유리온실)과 아트팜영농조합법인 2온실(130.5m × 144m × 5.8m, 19,800m², 벤로형 유리온실)에서 ‘Cupra’ (Red, Enza zaden, NL)와 ‘Fiesta’ (Yellow, Enza zaden, NL)를 공시하여 2008. 9. 16 (EC: 2.5dS/m, pH: 5.5) 파종, 2008. 9. 24 암면큐브에 가식하여, 2008. 10. 12 정식하였다.
- 배양액 처방은 Grodan BV(Denmark)의 파프리카 표준 양액처방전을 이용하여 근권부 급액관리는 EC 2.5 ~ 3.0, pH 5.5 ~ 6.0으로 하였으며, 시설내부 환경관리: Synopta 2(Hortimax, NL), Priva Integro 724 computer (Priva, NL)로 하였다.
- 과실의 수확조사는 온실별 샘플 50주 선정 후 일주일에 한번씩 09:00 ~ 10:00 과실 수확하여, 수확된 모든 과실은 생체중 및 건물중을 측정하였다.
- 수확기간 동안의 품종별 건물함량은 온실에 상관없이 빨간색 ‘Cupra’는 8.5%, 노란색 피에스타는 8.0%로 빨간색 ‘Cupra’의 건물함량이 높은 경향을 보였음(Fig. 1.).
- 수확 시기별 과실의 건물함량이 상이한 것으로 보아 과실의 비대 성숙 기간의 근권부 환경과 지상부 환경이 과실의 건물함량에 큰 영향을 미칠 것으로 사료되어 추후 계절별 건물함량 변화 모델 개발을 위하여 시설 내·외부 환경요인과 과실 건물함량의 상관관계 연구가 진행되어야 할 것임.

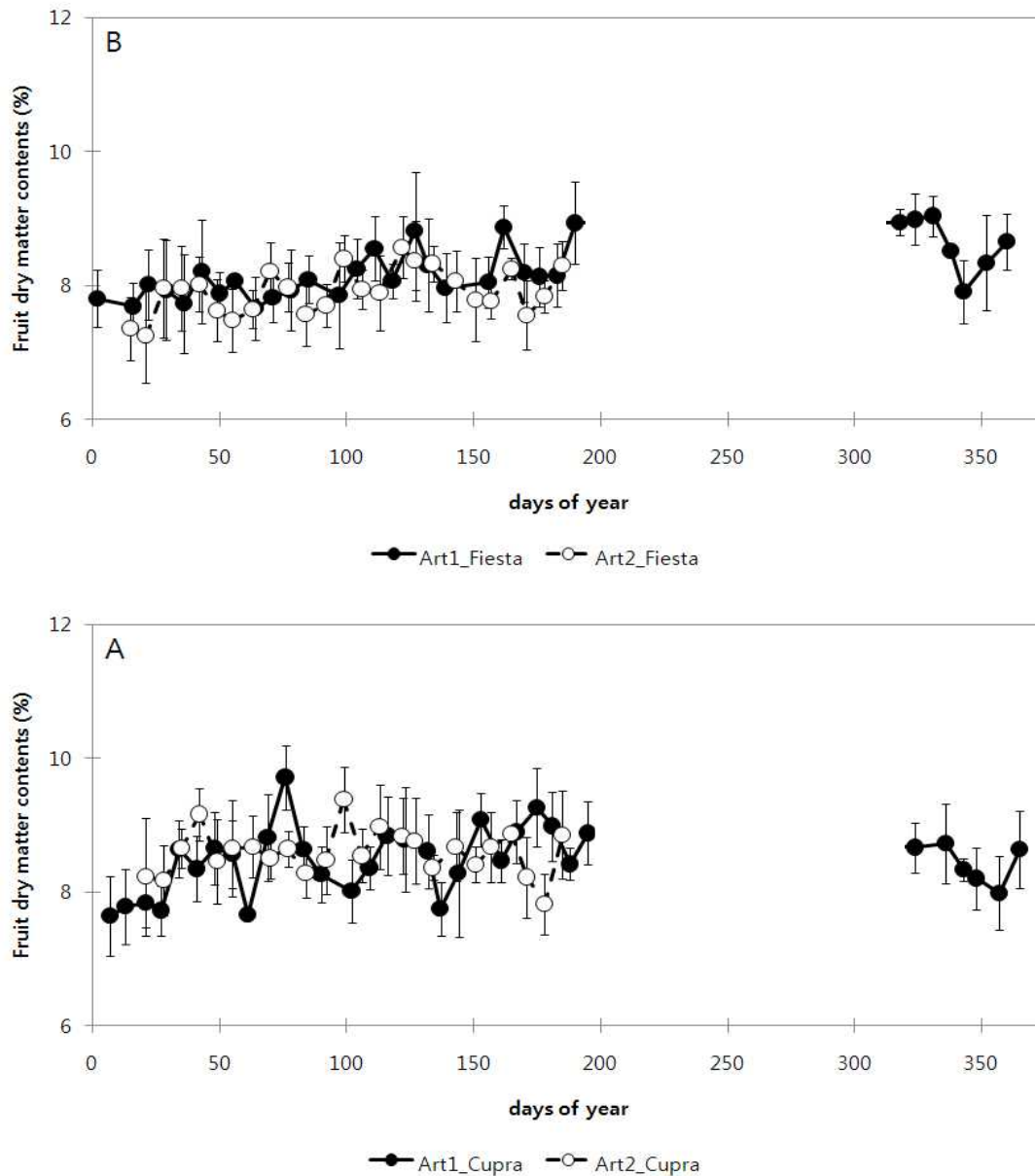


Fig. 4.2.1. Seasonal difference of dry matter contents as a function of days of year in sweet pepper fruit (Each symbol included 5~90 sweet pepper fruits) (A: 'Cupra', B: 'Fiesta').

- 수확기간 동안의 품종별 건물함량은 온실에 상관없이 빨간색 'Cupra'는 8.5%, 노란색 피에스타는 8.0%로 빨간색 'Cupra'의 건물함량이 높은 경향을 보였음(Fig. 4.2.1.).
- 수확 시기별 과실의 건물함량이 상이한 것으로 보아 과실의 비대 성숙 기간의 근권부 환경과 지상부 환경이 과실의 건물함량에 큰 영향을 미칠 것으로 사료되어 추후 계절별 건물함량 변화 모델 개발을 위하여 시설 내·외부 환경요인과 과실 건물함량의 상관관계 연구가 진행되어야 할 것임.

마. 파프리카 기관별 동화산물 분배 모델 개발

1) 적화 처리가 파프리카의 생육에 미치는 영향 구명

- 파프리카의 수량 구성은 건물생산대비 과실로 분배되는 건물의 일정한 비율로 수식화 될 수 있는데 기관별로 일정한 비율을 찾고 일반화 시켜 최종적으로 수량예측을 위하여 기초 데이터 확보가 매우 중요함.
- 네덜란드의 경우 기 개발된 온실작물 광합성모델(TOMSIM, 1996, Heuvelink)을 이용해 시설 과채류의 수량예측을 통해 작부체계설정 및 시설환경 관리법 등을 결정하는데 반하여 우리나라의 경우 이러한 모델 개발이 전무후무하여 우리나라 환경에 맞는 모델 개발이 시급함.
- 파프리카 기관별 동화산물 분배 모델 개발을 위한 영양생장과 생식생장 조절하여 생육 패턴구명
- 실험장소는 전남대학교 농업생명과학대학 실험온실(12.6m×16m, 유리온실)에서 ‘Cupra’ (Red, Enza zaden, NL)와 ‘Derby’ (Yellow, De ruiter, NL)를 공시하여 2008. 2. 12(EC 2.5 dS/m, pH 5.5) 파종, 2008. 3. 12(EC 3.0 dS/m, pH 5.5) 재식밀고 3.5 plants/m², 줄기 밀도 7 stems/m² 정식하여, 두품종 모두 적화, 관행 3마디 착과(Control)시킨후 생육량을 비교 분석 하기 위해 식물체 기관별 생체중 및 건물중, 엽면적을 정식 후 2주 간격 조사하였다.
- 근권부 환경관리는 Grodan BV(Denmark)의 파프리카 표준 양액처방을 이용하여 EC 2.5 ~ 3.0, pH 5.5 ~ 6.0으로 급액관리 하였으며, 시설내부 환경관리는 Magma(Green CS, Korea)복합환경조절시스템으로 하였다.
- 식물체의 착화된 꽃을 완전히 제거하였을 경우 식물체의 초장, 마디수와 엽수가 꽃을 제거하지 않은 식물체 보다 높았고, ‘Derby’ 품종보다 ‘Cupra’ 품종이 초장과 엽수, 절간장이 더 높음(Table 1.).
- 동적인 건물생산 패턴은 적화하지 않은 처리구에서 품종별로 더 높은 건물생산량을 보였고, ‘Cupra’ 품종에서 ‘Derby’ 품종보다 높은 건물생산 패턴을 보임(Fig. 1.A).
- 식물체 영양기관의 건물증가는 생식기관을 완전히 제거한 적화 처리구에서 그렇지 않은 처리구에 비해 월등히 높은 패턴을 보였고 품종간 통계적으로 유의성은 나타나지 않았음(Fig. 1.B).
- 최종조사 시 기관별 건물 분배율은 적화 처리구에서는 줄기가 ‘Derby’ 45%, ‘Cupra’ 43% 가장 높았고 엽병이 가장 낮았으며, 적화하지 않은 처리구에서는 과실로의 건물 분배율이 ‘Derby’ 43% ‘Cupra’ 46%로 가장 높았고 엽병으로의 건물 분배율이 가장 낮았으며(Table 5.1.2.), 품종은 기관별 건물 분배율에 큰 영향을 주지 않았음.

Table 1. Effect of removed flower on plant growth characteristics of sweet pepper plant at final harvest.

Treatment	CV.	Plant height (cm)	No. of nodes per plant	Stem Diameter (Bottom) (mm)	Stem Diameter (Top) (mm)	Main stem length (cm)	No. of fruit per plant	Fruit weight per fruit number(g)
Control	Derby	132.9	16	10.6	4.2	29.8	10.1	99.5
	Cupra	137.2	14	10.4	3.5	37.4	9.9	98.0
		(135.05)	(15)	(10.5)	-	-	-	-
Defruit	Derby	157.0	19	11.7	4.1	32.1	-	-
	Cupra	162.7	18	11.1	4.5	38.2	-	-
		(159.8)	(15.5)	(11.4)	-	-	-	-
Mean ¹	Derby	144.9	17.5	-	-	30.9	-	-
	Cupra	149.9	16	-	-	37.8	-	-
F-probability								
Treatment		<0.001	<0.001	<0.001	0.880	0.223	-	-
Cultivar		0.024	<0.001	0.860	0.018	<0.001	0.872	0.886
Tre.×Cul.		0.746	0.895	0.118	0.007	0.564	-	-

¹values averaged over the cultivars

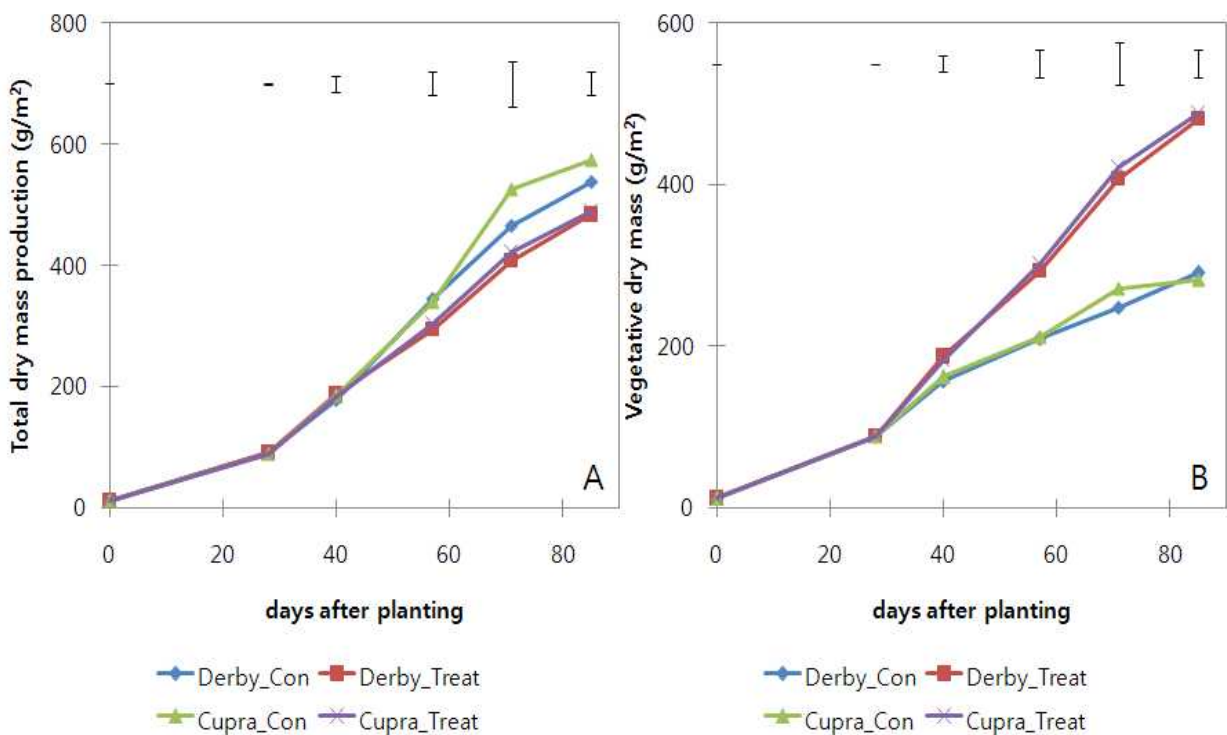


Fig. 1. Effect of removed flowers on dynamics of plant dry mass production(A) and vegetative dry mass(B) as a function of days after planting of sweet pepper.

Table 2. Effect of removed flower on dry matter partitioning ratio of sweet pepper plant at final harvest.

Treatment	CV.	Leaf (%)	Stem (%)	Petiole (%)	Flower (%)	Fruit (%)	Root (%)
Control	Derby	16.1	23.8	3.9	0.2	42.8	10.1
	Cupra	16.2	23.2	3.2	0.1	45.7	9.4
Defruit	Derby	25.9	45.1	6.6	0.4	-	19.7
	Cupra	28.4	43.9	6.2	0.2	-	20.1
F-pr.							
Treatment		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cultivar		0.203	0.028	0.002	<0.001	0.069	0.329
Tre.×Cul.		0.016	0.884	0.161	0.071	0.081	0.380

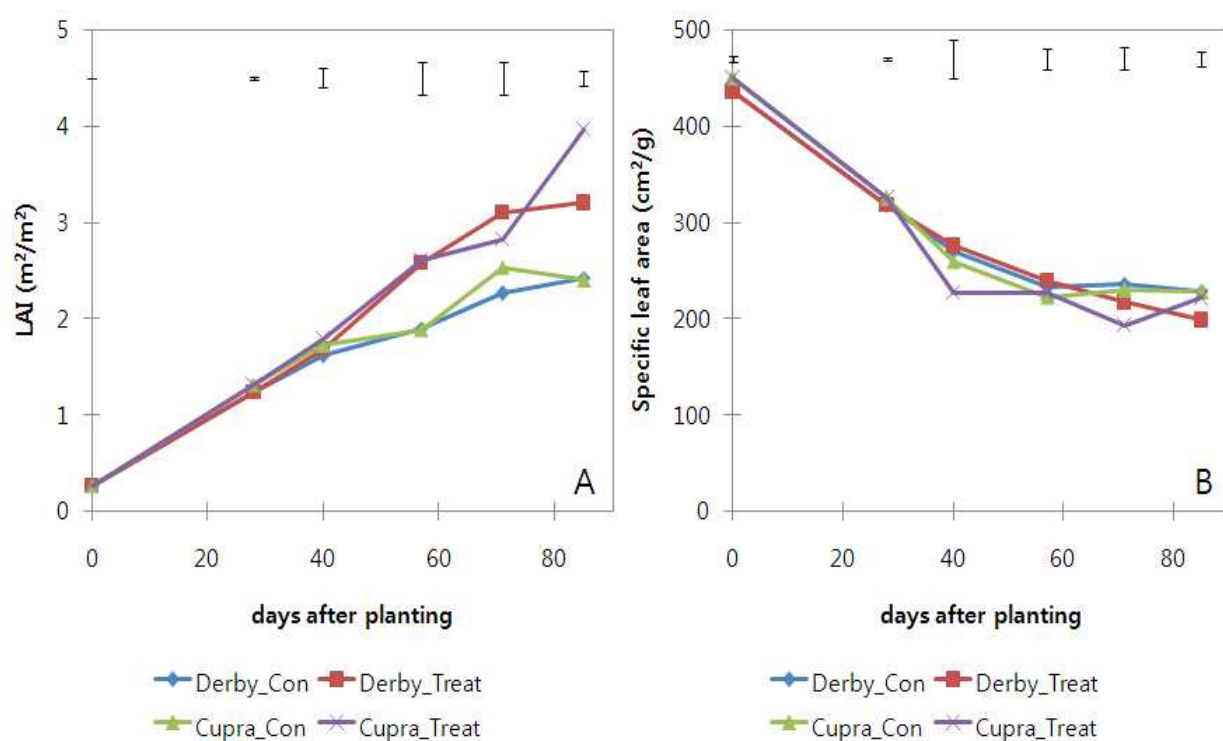


Fig. 2. Effect of removed flowers on dynamics of leaf area index (A) and specific leaf area (B) as a function of days after planting of sweet pepper.

Table 3. Effect of removed flower and cultivars on light use efficiency (LUE) of sweet pepper plant at final harvest.

Treatment	CV.	LUE (g/MJ)	S.E	R ²
Control	Derby	1.864	0.052	98.9
	Cupra	1.814	0.080	97.2
Removed flower	Derby	1.669	0.026	99.6
	Cupra	1.482	0.021	99.7

- 처리별 엽면적지수 변화 패턴은 적화처리구에서 최종 엽면적이 'Derby' 3.3, 'Cupra' 3.8로 높았고, 대조구는 'Derby' 2.4, 'Cupra' 2.7로 낮은 경향을 보였으며, 'Derby' 품종에 비해 'Cupra' 품종이 최종 엽면적지수가 높았음(Fig. 5.1.2.A).
- 식물체의 비엽면적은 처리와 품종별 통계적으로 큰 차이는 없었음(Fig. 5.1.2.B).
- 최종조사시 식물체의 광 이용효율은 적화하지 않은 대조구에서 'Derby' 1.864 g/MJ, 'Cupra' 1.814 g/MJ로 더 높았고, 'Cupra' 품종에 비해 'Derby' 품종이 더 높은 경향을 보였음(Table 5.1.3.).

2) 착과 처리가 파프리카의 생육에 미치는 영향 구명

- 파프리카의 수량 구성은 건물생산대비 과실로 분배되는 건물의 일정한 비율로 수식화 될 수 있는데 기관별로 일정한 비율을 찾고 일반화 시켜 최종적으로 수량예측을 위하여 기초 데이터 확보가 매우 중요함.
- 네덜란드의 경우 기 개발된 온실작물 광합성모델(TOMSIM, 1996, Heuvelink)을 이용해 시설 과채류의 수량예측을 통해 작부체계설정 및 시설환경 관리법 등을 결정하는데 반하여 우리나라의 경우 이러한 모델 개발이 전무후무하여 우리나라 환경에 맞는 모델 개발이 시급함.
- 현재 파프리카 농가의 첫 그룹의 착과는 농가별, 작기별, 지역별로 큰 차이가 있고 대부분 2-3번째 마디 착과를 행하고 있지만 이보다 하위 마디의 착과에 대한 연구가 되어 있지 않고, 초기 작물 생장율을 줄이기 위하여 분지 지점 바로 위 마디인 첫 번째 마디에 착과시켜 초기 생장율을 조절하고 착과 마디를 조절하는 연구가 미비한 실정임.
- 본 연구는 착과 수에 따른 파프리카 기관별 동화산물 분배 모델 개발의 기초자료 확보를 위해 수행하였다.
- 실험장소는 전남대학교 농업생명과학대학 실험온실(12.6m×9m, 유리온실)에서, 'Cupra' (Red, Enza zaden, NL), 'Derby' (Yellow, De ruiter, NL)를 공시하여 2008. 9. 25 ~ 2009. 2. 16까지 재배하였다. 파종은 2008. 9. 25 (EC 2.5 dS/m, pH 5.5)하였으며, 정식은 2008. 11. 6 (EC 3.0 dS/m, pH 5.5)에 재식밀도: 3.7 plants/m², 7.4 stems/m²로 하였다. 품종과 착과 처리에 따른 생육을 비교 하기 위해 첫 번째 마디 착과, 관행 3마디 착과(Control)에 각각 처리하였다. 생육 조사는 기관별 생체중 및 건물중, 엽면적, 마디수, 초장, 절간장을 정식 후 2주 간격으로 조사하였다.
- 양액관리는 Grodan BV(Denmark)의 파프리카 표준 양액처방전으로 근권부 급액 EC 2.5 ~ 3.0, pH 5.5 ~ 6.0으로 관리하였으며, 환경조절은 Magma(Green CS, Korea)로 하였다.

Table 1. Effect of fruit set on growth characteristics of sweet pepper plant at final harvest.

Treatment	Cultivar	Plant height (cm)	No. of leaves per plant	Stem Diameter (Bottom) (mm)	Stem Diameter (Top) (mm)	Main stem length (cm)	No. of fruit per plant	Fruit weight per fruit number (g/m ²)
Control	Derby	130.4	94	8.27	4.31	31.7	4.7	452
	Cupra	129.1	81	8.74	4.64	32.4	5.5	333
		-	-	(8.50)	-	-	-	-
Firstnode	Derby	116.9	86	7.09	4.28	31.2	4.7	426
	Cupra	122.2	81	7.66	4.42	32.0	4.8	364
		-	-	(7.37)	-	-	-	-
Mean ¹	Derby	-	-	7.68	-	-	-	439
	Cupra	-	-	8.2	-	-	-	348
F-probability								
Treatment	-	0.072	0.352	<0.001	0.433	0.482	0.267	0.917
Cultivar	-	0.727	0.065	0.003	0.156	0.206	0.218	0.001
Tre. x Cul.	-	0.557	0.370	0.778	0.569	0.974	0.267	0.260

¹values average over the cultivars

Table 2. Effect of fruit set on growth of sweet pepper plant at final harvest.

Treatment	Cultivar	Leaf (g/m ²)	Stem (g/m ²)	Petiole (g/m ²)	Flower (g/m ²)	Fruit (g/m ²)	LAI (m ² /m ²)	Total DW (g/m ²)
Firstnode	Derby	130.3	93.8	20.8	8.6	153.3	4.2	407.0
	Cupra	125.1	98.3	16.9	5.3	138.0	3.5	384.1
		(127.7)	(96.0)	(18.8)	(6.9)	-	(3.8)	(395.5)
Control	Derby	159.5	123.3	25.5	10.7	159.1	4.8	478.3
	Cupra	155.4	125.0	21.0	7.5	125.9	4.4	434.9
		(157.4)	(124.1)	(23.2)	(9.1)	-	(4.6)	(456.6)
Mean ¹	Derby	-	-	23.1	9.6	156.2	-	-
	Cupra	-	-	18.9	6.4	131.9	-	-
F-pr.								
Treatment		<0.001	<0.001	0.001	<0.001	0.740	0.004	0.004
Cultivar		0.481	0.583	0.001	<0.001	0.012	0.056	0.110
Tre. x Cul.		0.936	0.793	0.808	0.872	0.342	0.630	0.618

¹values average over the cultivars

Table 3. Effect of fruit set on growth characteristics of sweet pepper plant at final harvest.

Treatment	Cultivar	Leaf (%)	Stem (%)	Petiole (%)	Flower (%)	Fruit (%)
Firstnode	Derby	31.1	22.1	5.3	2.0	37.1
	Cupra	31.9	25.4	4.4	1.2	34.8
		(32.0)	(23.3)	(4.7)	-	(36.2)
Control	Derby	33.4	25.1	5.3	2.2	33.0
	Cupra	36.2	29.4	4.8	1.9	28.1
		(33.9)	(27.1)	(5.0)	-	(30.2)
Mean ¹	Derby	31.9	23.4	5.1	-	35.2
	Cupra	33.8	27.1	4.6	-	30.7
F-pr.						
Treatment		<0.001	<0.001	0.037	<0.001	<0.001
Cultivar		0.006	<0.001	<0.001	<0.001	0.003
Tre.×Cul.		0.077	0.804	0.517	0.011	0.228

¹values average over the cultivars

- 최종조사 시 식물체의 성장특성은 첫 번째 마디 착과 처리구에서 관행 3번째 마디 착과 처리구보다 생육이 부진한 경향을 보였고, 작물 성장량도 첫 번째 마디 처리구에서 낮은 경향을 나타내었고, 품종간 통계적 유의성은 없었음(Table 1 와 2.).
- 반면 과실의 생산은 'Derby' 품종에서 'Cupra' 품종에 비해 높은 경향을 보였고, 이는 과실로의 건물분배율이 'Derby' 품종이 'Cupra' 품종에 비해 더 높아 과실생산성이 더 높은 결과를 나타냄(Table 3.).
- 우리나라의 하계작형 파프리카 재배농가의 경우 초기 과도한 작물 생장에 의해 식물체와 과실 착과수가 많은 시기 겨울철로 접어들게 되는데 이를 방지하기 위하여 작물 생장율을 억제하기 위해 첫 번째 마디 착과가 겨울철 작물 관리에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 사료됨.

3. 3차년도 연구개발 수행내용 및 결과

가. NL과 KOR의 파프리카 재배기간 동안 건물생산량 및 기관별 건물분배율, 건물함량 차이 비교 분석

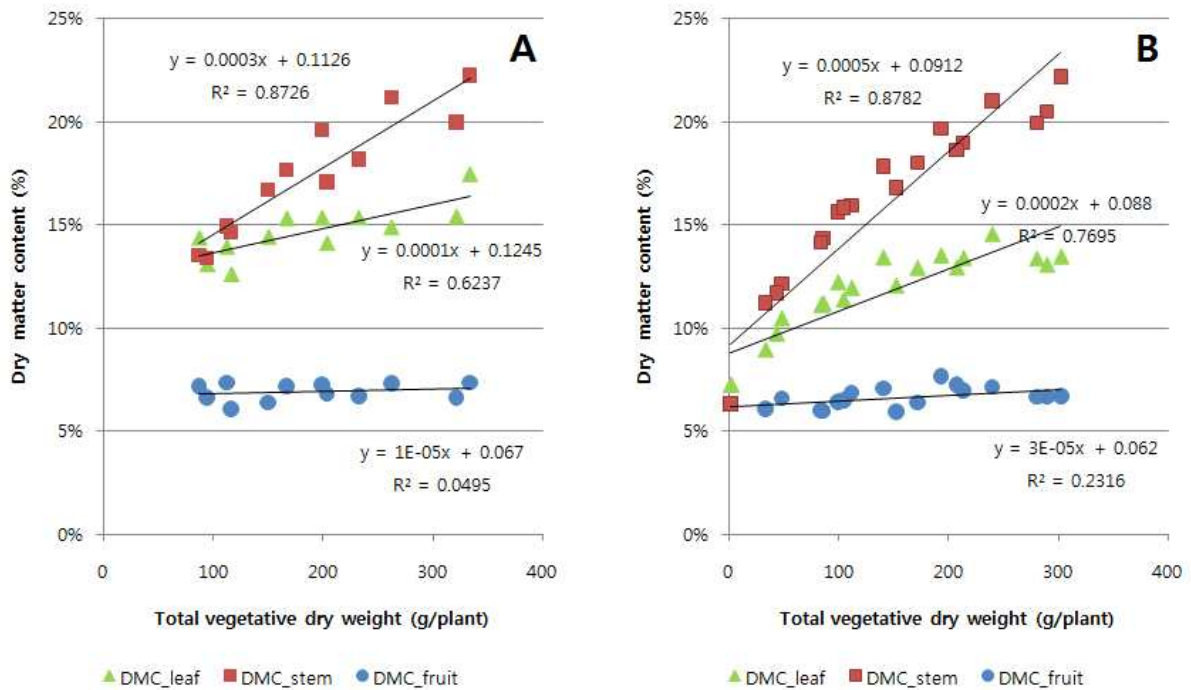


Fig 1. Dry matter content to total vegetative dry weight of sweet pepper grown in Korea(A) and Netherlands(B)

우리나라와 네덜란드 파프리카 농가들의 생산성 차이 극복 기술을 개발하기 위해 다각도로 접근하여 왔으나, 네덜란드의 현지 농가의 작물의 생육 상태 조사를 통해 우리나라와의 파프리카 농가들과의 생육 상태를 비교하는 것이 매우 어려운 과제 중 하나이다. 조사의 표본을 늘려 오차 범위를 감소하여야 하였지만, 본 연구 조사를 위한 협조를 도출하기는 매우 어려운 실정이었다.

네덜란드와 우리나라의 생산량 차이의 인과관계 분석을 통한 계절별 파프리카의 건물 함량 차이 원인 구명을 하고자 하였으나, 각 기관별 생체중과 건물중을 계절별로 자료 획득하는 것은 매우 어려웠다. 그러므로 그동안 조사한 자료를 토대로 영양생장기관의 증가량 대비 각 기관별의 건물함량을 분석하였다. 각 기관별 또는 각 영양생장기관의 건물량이 증가에 따라 각 기관별 건물함량을 나타낸 상관계수는 영양생장기관의 단위 무게 증가대비 건물 함량의 증가를 나타낸 것이며, 그 기온기가 높을수록 그 기관의 동화산물의 요구도가 높다는 것을 알 수 있다.

네덜란드의 경우 100g의 영양생장기관의 건물량이 증가함에 따라 줄기의 경우 0.05%의 건물함량이 증가하는 반면, 엽의 경우 0.02%의 증가를 보였다. 과실의 건물함량의 변화는 총 영양생장량에 따른 변화는 전혀 보이지 않았다(Fig. 1A). 우리나라의 경우 100g의 영양생장량의 증가는 줄기의 건물함량을 0.03%를 증가하여 네덜란드에 비해 줄기의 건물함량의 증가가 1.7배 낮게 나타났으며, 엽의 경우

0.01%를 증가시켜 네덜란드에 비해 2배 더 낮게 나타났다(Fig. 2B).

우리나라와 네덜란드의 파프리카 생산농가들의 영양생장량 대비 과실의 건물함량은 일정하게 유지되고 있었으나, 네덜란드의 경우 약간 건물함량이 증가하는 경향을 보였다(Fig 1AB). 본 연구결과에서 우리나라의 파프리카 작물의 경우 동일한 건물증가량 대비 낮은 건물함량은 특히 엽의 건물함량의 경우 건물량의 증가량 대비 건물의 함량의 증가가 없었다는 것은 각 기관의 생존을 위한 생장호흡량보다는 유지호흡량이 간접적으로 높았을 것으로 사료된다.

파프리카의 각 기관중 단위 무게당 호흡량이 높은 엽의 경우 생장보다는 동화산물의 누적에 더 많은 비용을 소모하였고, 비 엽면적의 값이 감소하고, 엽육의 두께가 증가하여 동일한 광도에서 광합성 효율이 낮아진다고 보고된바 있다. 1년차 및 2년차 연구에서의 우리나라와 네덜란드의 파프리카 단위면적당 과실의 개수의 비교한 결과 같이 네덜란드의 높은 과실의 개수는 높은 동화산물의 요구를 나타내는 지표이기도 하다. 또한 1년차와 2년차의 조사한 결과 과실의 건물함량의 변화는 생과로 생산하기 때문에 과실의 건물함량이 증가할수록 지수적으로 생과중의 수량이 감소하는 경향을 보였다.

네덜란드와 우리나라의 과실의 건물함량을 정확히 측정을 하지 않았지만, 네덜란드의 파프리카 수확시의 건물함량과 우리나라의 겨울철의 건물함량의 차이는 색깔별로 0.5-1.5% 포인트 정도 차이를 보였다(Fig. 2).

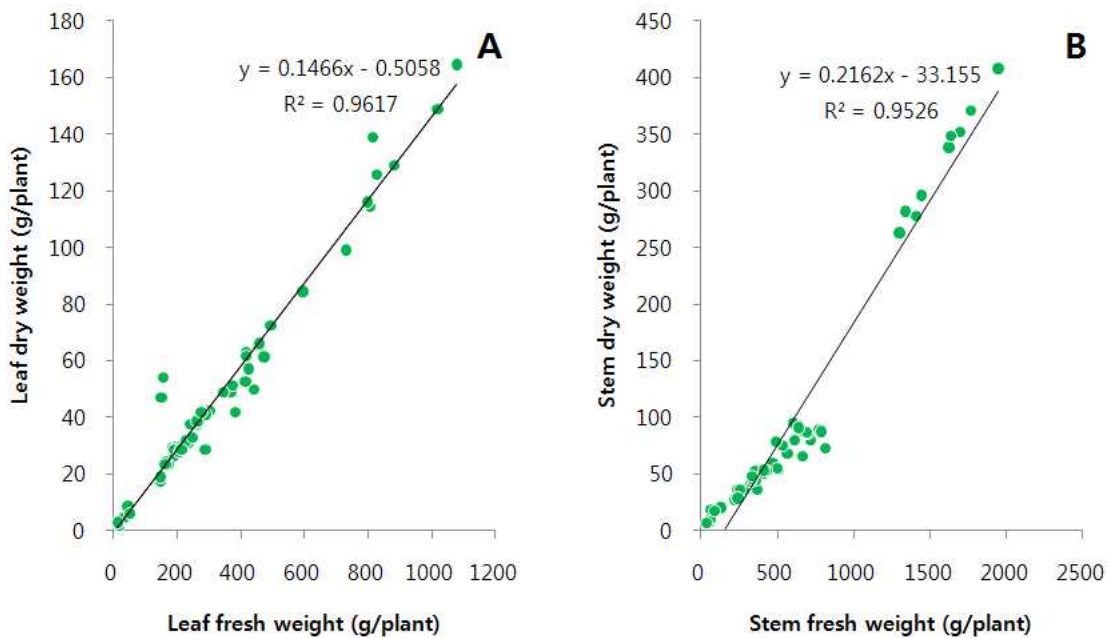


Fig 2. Linear relationship between fresh and dry weight of leaf (A) and stem (B) of sweet pepper grown in Korea and Netherlands.

본 연구과제의 목적은 양국의 농가간 파프리카 생산성 원인규명을 통한 국내 파프리카 농가들의 단위 면적당 생산성을 증대하기 위한 기술개발에 있다. 양국의 기후환경 특성을 제외하고 위도 차이에 따른 태양고도, 온실내로 유입되고 있는 광의 입사각도, 시설피복재 및 시설구조의 특성에 따른 광투과율의 차이 등은 직간접적으로 생산량에 영향을 미치게 된다. 물론 동일한 품종과 동일한 생산온실일 경우 다른 요인들(지상부 및 근권의 환경관리 기술, 작물관리기술, 환경 및 재배관리 기술에 따른 작물의 성장상

의 차이 이로 인한 착과 및 낙과율의 차이 등이 나타남)에 의한 차이도 있을 것으로 사료된다. 그러므로 본 연구에서 시설원예의 시설내부의 환경은 외적환경요인에 의한 변화가 심하므로 네덜란드와 우리나라의 외적환경변화에 차이를 2년차 연구에 분석하여 그 결과를 이미 보고하였으므로 3년차 연구에서는 네덜란드와 우리나라의 파프리카 작물의 생체정보간의 일반화를 통한 시뮬레이션 모델에 필요한 모수를 추정하고자 한다.

네덜란드와 우리나라에서 재배된 파프리카의 각 기관별 건물함량은 약간의 차이를 발생되었지만, 시뮬레이션 모델에 정량화를 통한 각 개수의 단순화를 위해 그 차이를 무시하고 개수를 산정하고자 한다.

Fig 2의 A와 B는 네덜란드와 우리나라의 평균 엽과 줄기의 건물함량을 나타낸 것 이며 엽은 14.7%와 줄기는 21.6%의 평균 건물함량을 나타냈었다. 평균 과실의 건물함량은 6.5%이며, 영양생장기관의 전체 평균 건물함량은 19.4%로 생식기관보다는 영양생장기관의 건물함량이 매우 높은 것으로 나타났다 (Fig 3).

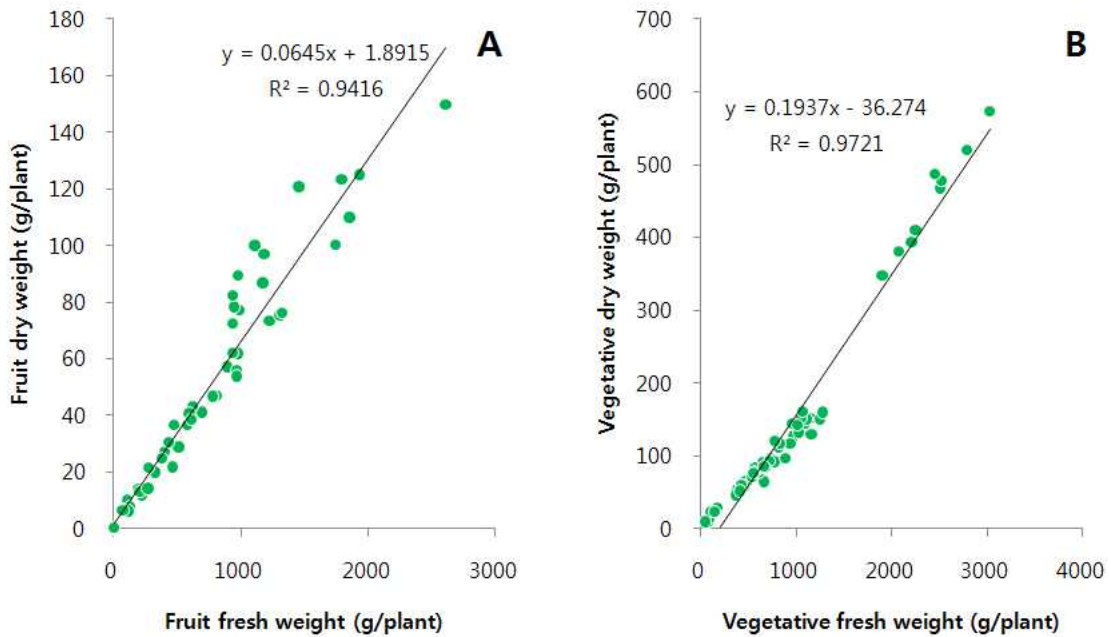


Fig 3. Linear relationship between fresh and dry weight of fruit (A) and vegetative organs (B) of sweet pepper grown in Korea and Netherlands.

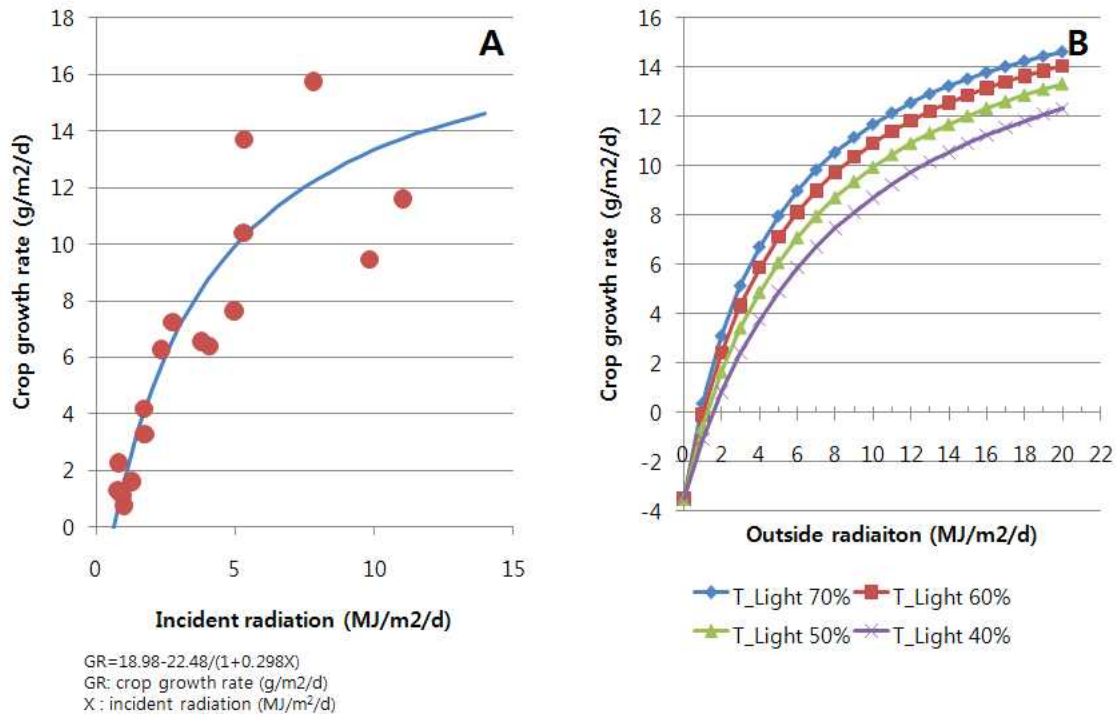


Fig 4. Effects of incident radiation and greenhouse light transmissivity on crop growth rate

외적인 환경요인 중 외부광량의 비교 분석은 2년차 보고서에 작성하였기 때문에 본 연구보고서에서는 생략하고자 한다.

네덜란드와 우리나라의 파프리카 재배 기간 동안 외부광량과 작물에 대한 건물생산량을 측정하여 광량의 증가에 따른 단위면적당 건물생산량의 비선형회귀분석한 결과 상수를 동반한 Rectangular hyperbolic 함수를 이용하여 변량의 90%이상의 값을 비선형방정식($GR = 18.98 - 22.48 / (1 + 0.298 * X)$)를 추정하였다.

저광 환경 하에서의 작물의 생장율은 단위 광량 증가 당 매우 높은 수준으로 증가하고 광량이 높은 경우 단위 광량 증가대비 낮은 생장률을 나타내 광량에 대한 포화곡선의 생장률을 보였다. 국내 유리온실 및 비닐온실의 경우 시설내부의 광투과율이 네덜란드에 비해 매우 낮은 편이다. 일반적으로 맑은날 보다는 흐린날의 시설내부의 광투과율은 작물의 생육에 미치는 영향이 매우 크다(광량이 낮은 계절에 광량의 감소는 급격한 생장률을 감소시킨다(Fig 4A)).

네덜란드의 흐린날 산란광의 유입은 최소 72% 수준이지만 국내 플라스틱 및 유리온실의 경우 30-50% 수준에 불과하다. 외부의 동일한 광량이 조사하더라도 광투과율이 낮은 온실의 경우 높은 광량일 때보다 낮은 광량일 때 상대적인 건물생산량의 차이가 매우 높게 나타난다(Fig 4B, Fig 5).

광투과율이 70%에서 자란 작물의 생장률 대비 60, 50과 40% 광투과율에서 자란 작물의 상대적 생장율은 10% 포인트의 광감소율이 되었지만, 낮은 광량에서는 최대 20%포인트 생장률이 감소한 것으로 나타났다. 동일한 비율의 감소를 나타낸 최소광량은 500-600J/cm² 정도의 광량의 경우 10%의 생장률이 감소하였고 그 이하에서는 1%의 광투과율 감소는 1% 이상의 생장률의 감소를 나타냈다(Fig 5A). 즉, 네덜란드와 우리나라의 외부광량은 연평균 30%이상의 광량을 우리나라가 가지고 있지만 시설내부로 유입되는 광량은 네덜란드보다 매우 낮기 때문에 생산성도 낮아진다.

작물의 생장량과 환경요인간의 상호관계에 있어 네덜란드는 광량이 낮을 때 단위면적당 작물의 무게가 작지만 우리나라의 경우 겨울철의 경우 단위면적당 건물량이 매우 높고 엽면적 지수가 3이상을 상회하

기 때문에 흐린 날이 지속이 되면 작물의 유지호흡량이 높아 단위면적당 생장률이 매우 낮게 된다. 즉, 낮은 광량이 지속되는 시기에는 낮은 광량에 따른 생장률의 저하가 나타나기 때문에 시설내부의 온도관리는 생산성을 유지하기 위해서는 광량이 감소한 만큼 평균온도를 감소해야 할 것으로 판단된다.

과실의 건물함량은 생산성에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다(Fig. 5B). 과실의 건물함량이 증가할수록 상대 수량은 반비례적으로 감소하였다. 국내 유리온실에서 재배되고 있는 파프리카의 수확시기의 건물함량은 빨강색의 경우 노란색보다 높게 나타났으며, 최저 7부터 최고 11%의 건물함량을 나타냈으며(2년차 결과보고서), 계절적인 변화와 온실의 형태별로도 차이를 나타내었다(2년차 결과보고서).

과실의 건물함량은 과실의 성숙기간이 길수록 높아지며 근권환경관리 특히, 배지의 함수율과 배지내의 염류농도(EC)와도 상관관계를 가지고 있다고 보고된다. 국내 파프리카의 경우 특히 겨울철에 재배되고 있는 파프리카의 경우 높은 건물함량을 나타내므로 건물함량의 10%에서 9%로 감소시킨다면 품질의 변화는 적지만 생산성을 11% 정도 증가시킬 수 있을 것으로 사료된다(Fig. 5B).

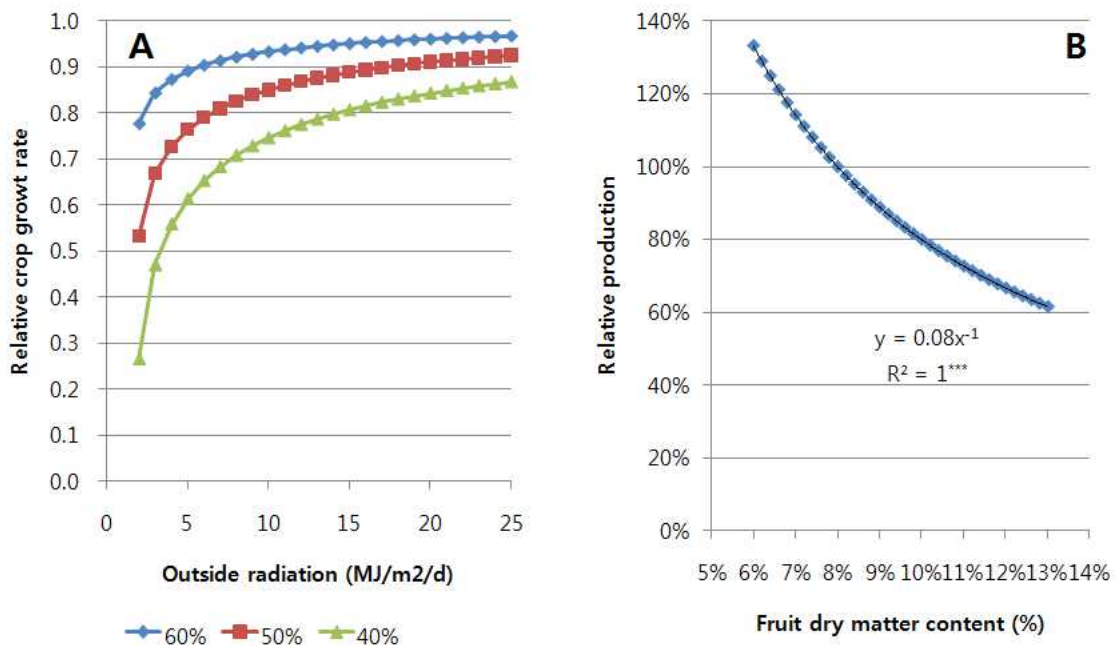


Fig 5. Relative crop growth rate to 70% light transmissivity (A) and relative production to as function of fruit dry matter content (B)

나. 네덜란드와 우리나라의 시설내부의 환경조절 및 근권 환경조절의 차이점 비교 분석

네덜란드와 우리나라의 시설외부 및 내부의 환경조절에 관한 결과 값인 24시간 평균온도, 주야간 평균 온도, 일평균 및 주야간 공기 중의 수분부족분의 차이와 시설내부의 주간 평균 이산화탄소농도의 차이 및 각 환경요인들 간의 상호관계를 분석한 결과를 2년차 결과에서 보고하였다.

국내 선도농가의 재배온실에 대한 환경관리에서 단기적인 기간(24-48시간)의 관리는 균일하지만 외적환경요인과는 무관한 관리가 되고 있다. 또한 생산비의 높은 비중을 차지하고 있는 액화탄산가스의 사용도 광량에 반비례하지 않고 광량에 무관하게 농도의 편차가 매우 심하게 나타났다. 장기재배를 하고 있는 파프리카의 경우 일간, 주간 및 월간의 환경요인들의 변화 폭을 줄이며, 외부 광량과 외부 온도와의 시설내부의 환경요인들이 일정한 상호관계를 가지고 그 변화폭을 완만하게 줄이면서 관리하는 것이 파프리카 생육관리와 수확 속도, 수확량 및 품질을 균일하게 할 수 있는 매우 중요하다. 2년차의 온실내부의 지상부환경관리 및 양국간의 차이점을 분석하였기 때문에 본 3년차 과제는 근권부환경관리의 차이점을 분석하고 네덜란드의 근권부 환경관리 특히 급배액관리의 EC 및 배액관리의 기준을 설정하고자 한다.

근권의 염류농도와 온도는 식물의 증산작용에 직접적인 영향을 미친다. 1-2년차의 국내 파프리카 농가들의 착과 성향을 분석한 결과 1그룹과 2그룹의 수확시기가 8-12주 정도 차이가 발생 하는 것으로 나타났으며, 3-5마디에서 착과가 이뤄지고 상위 절위에 대부분이 낙화 및 낙과가 이뤄지는 현상에 대한 연구는 거의 이뤄지지 않고 있는 실정이다. 10월 중순경 착과되는 과실의 경우 1월 초순부터 2월 중순 까지 수확할 수 있는 과실로 그 시기는 광도 및 광량이 양호하고 환경조건은 매우 건조하며 주야간 온도 편차가 심한 계절임에도 불구하고 착과가 잘되지 않는 이유에 대해서 조사하였다. 일반적으로 정식 후 한 달 정도 되면 파프리카의 생육이 왕성한 상태로 있으며, 가을의 맑은 날씨에 따른 광도, 외부 온도 및 습도 환경들은 작물에게 많은 수분흡수를 요구하게 된다. 반면에 파프리카 농가들은 과실을 착과시키기 위해 관행적으로 배지내의 함수율을 낮추고, EC를 높이고 있는 실정이다. 이 시기는 광도가 매우 높기 때문에 엽을 통한 증산작용이 매우 왕성한 시기이다. 따라서 근권부의 함수율이 낮고 EC가 높기 때문에 수분흡수가 억제되어 상부의 엽들을 고온장해 현상이 일어나며, 과실로의 수분이동이 억제되어 과실의 비대가 되질 않고 유과 또는 진한 녹색으로 어린과실이 존재하다가 결국 탈리되어 낙과되는 현상은 착과율을 감소시킨다.

Fig. 6은 배지의 근권 EC와 온도를 달리하여 3주의 어린식물체의 증산량을 측정한 결과 온도가 낮을 수록, EC가 증가할수록 증산량이 증가하였고, 근권부 EC가 4-5dS/m에서는 증가가 없었으며 5dS/m에서는 증산량이 감소하였다. 온도가 높을수록 식물의 증산량은 증가하였으나, 높은 온도에서의 EC의 증가량에 따라 급격히 증산량이 감소되었다(Fig. 6).

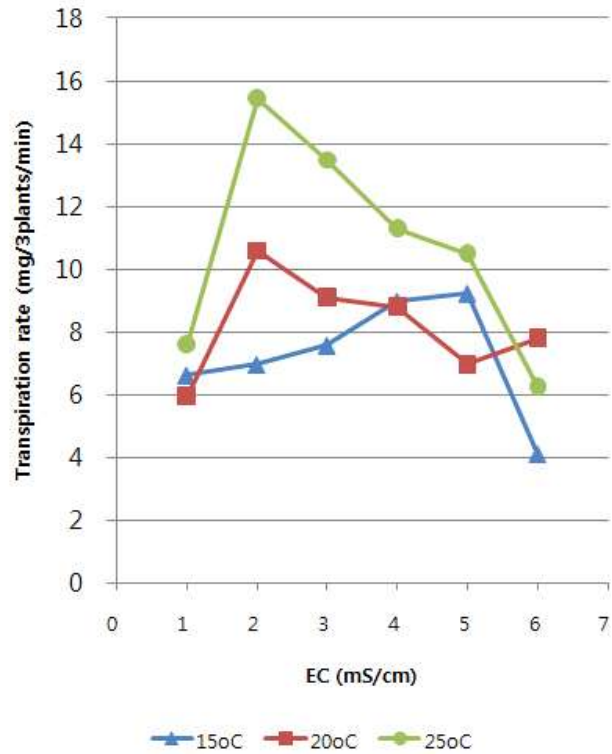


Fig. 6. Effect of EC and temperature on transpiration rate of young sweet pepper plants.

2년차 연구결과에 의하면 시설내부의 환경관리 중 24시간 평균온도는 외부광량이 $100\text{J}/\text{cm}^2$ 증가할시 대략 1°C 씩 증가하는 경향을 보였으며, 8월 중하순에 정식한 농가의 경우 1그룹 착과 이후 광도, 광량과 24시간 평균온도가 높게 유지되고 있는 시점에서의 배지내의 함수율과 EC의 증가는 증산량을 억제하고 식물체의 온도를 상승시키는 주요 요인이 된다.

광도 및 광량이 높은 시기의 배지내 함수율과 EC 조절을 통한 생식생장관리는 세포신장을 억제하고 기형과 착과 비율을 높인다. Fig. 7A는 관행재배에 준하여 급액회수 및 급액량을 증가시키고 급액 EC를 2.0–2.5dS/m 감소시켜 착과를 유도하였고, Fig. 7B는 관행재배 시 동일한 시기의 착과성향이다. 급액량이 많고 급액 EC가 낮은 경우 과실의 크기가 상위착과 위치별로 차이가 비율적으로 감소하며 상부에 착과된 과실의 경우 신장하고 있는 모습이지만 우측의 관행 재배의 과실 착과 성향은 첫 과실의 크기가 크고 2번째 과실과 3–4번째 착과된 과실의 크기가 매우 불균일한 것을 볼 수 있다. 상위 착과된 과실의 경우 수정이 이뤄졌지만 수분이 부족하여 세포신장이 억제된 형태이다. 우측 사진과 같이 상위 착과된 과실의 경우 일정기간이 지나더라도 과실의 비대는 거의 되지 않고 광량이 낮아지고 동시에 온도가 높은 조건에서 낙과된다.

식물의 수세가 왕성하고 외부광도가 높은 시기의 근권환경을 제어하여 착과를 유도하는 것은 매우 잘 못된 재배방법이며, 이를 극복한다면 초기 생산성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다. Fig.7C는 7월에 정식하여 장마기를 거치면서 시설내부의 광환경이 낮을 때 영양생장기간을 거쳤으며 8월과 9월초의 광량이 높은 시기 급액의 EC를 관행보다 더 낮게 설정하여 재배 관리한 결과, 마디의 착과성이 매우 높아진 것으로 보아, 일반적인 파프리카 착과 방법에 문제점이 나타났다.

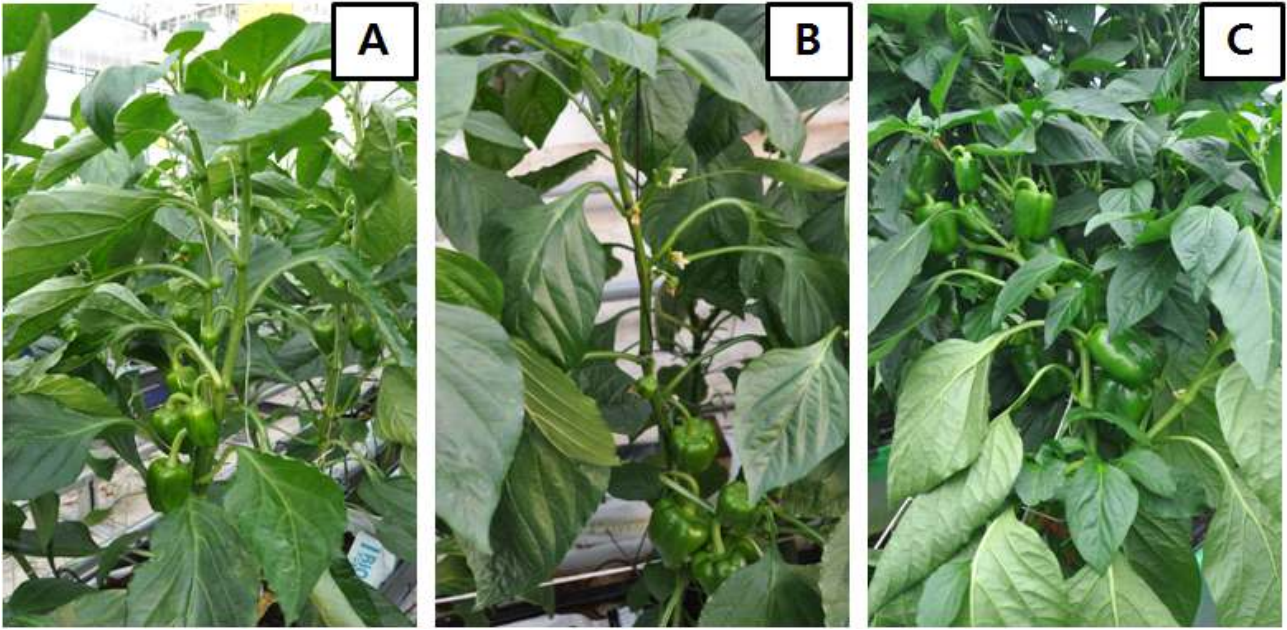


Fig 7. Condition of fruit set at beginning of the crop grown by high irrigation frequency with low EC(A), general condition at grower side (B) and low supply EC at 1.2dS/m (C).

네덜란드와 우리나라의 파프리카 재배 기간 동안 연 평균 공급 EC의 편차는 양국이 거의 유사하게 평균 2.6dS/m로 공급하였으나, 폐액의 EC는 네덜란드에 비해 34% 높게 관리되고 있으며, 우리나라의 재배 기간 동안 폐액의 EC 편차는 네덜란드에 비해 대략 5배 정도가 높게 나타났다. 폐액의 EC 편차가 높다는 것은 재배 기간 동안 근권환경 변화가 네덜란드 농가들보다 매우 높았다고 할 수 있다(Table 1).

Table 1. Comparison of averaged supplied and drain EC during the growing sweet pepper in The Netherlands or Korea

No. of crop seasons	Supplied EC (dS/m)		Drained EC (dS/m)	
	NL	KOR	NL	KOR
1	2.59±0.55	2.45±0.43	3.18±0.45	3.34±0.77
2	2.67±0.36	2.69±0.26	3.31±0.38	5.16±0.96
3	2.65±0.39	2.72±0.20	3.57±0.48	4.93±0.81
Average	2.64±0.02	2.62±0.09	3.35±0.12	4.48±0.57

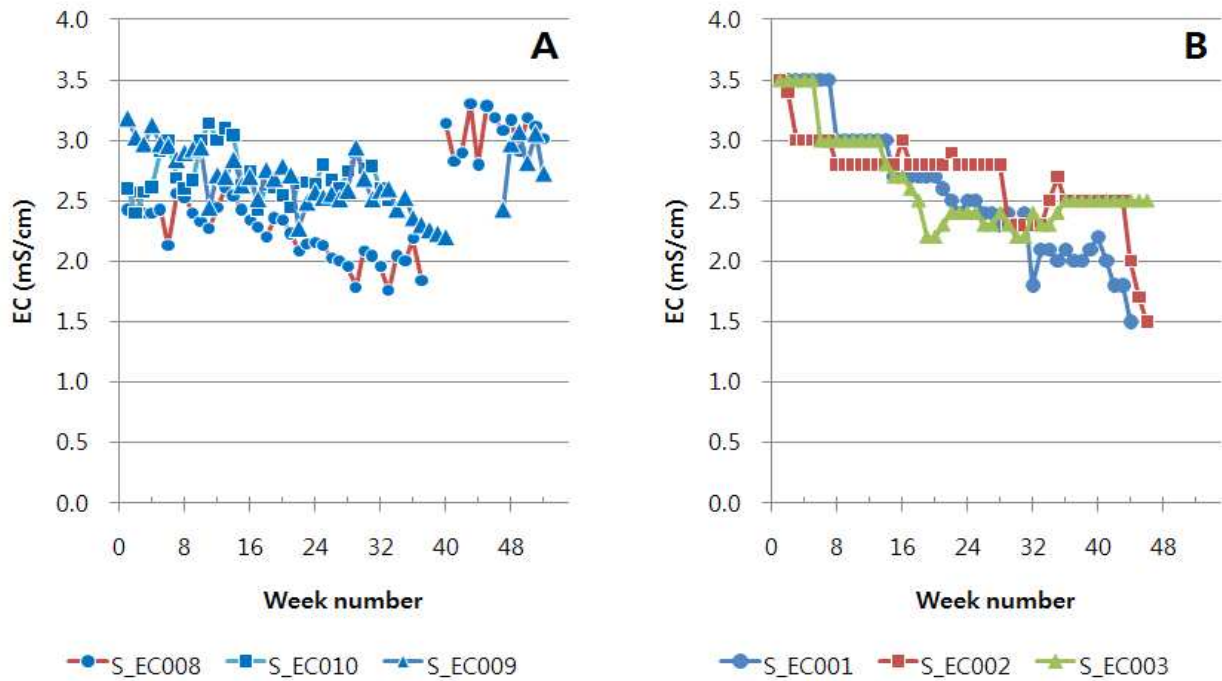


Fig. 8. Supplied EC managed by Korean (A) and Dutch (B) paprika grower.

Fig. 8에서 보는 바와 같이 우리나라와 네덜란드의 3년 동안의 공급 EC 경향을 살펴보면, 우리나라의 파프리카 재배농가들이 연중 비슷한 수준으로 관리되고 있지만 네덜란드의 경우는 재배주수가 증가할수록 약간씩 감소하는 경향을 보이고 있다. 1월의 급액 EC는 네덜란드에서는 비교적 높게 관리하고 있지만 양국의 광도와 광량을 살펴보면 우리나라가 네덜란드에 비해 4-5배 정도 높으므로 국내 겨울철 공급 EC 3.0은 매우 높은 수준이다.

2년차 연구결과에 의하면 오전중의 우리나라의 외부 광도의 변화는 네덜란드에 비해 2배 정도 높다. 우리나라의 경우 일출 전 한 시간부터 일출 후 4시간 동안의 광도는 시간당 $100W/m^2$ 씩 증가하는 반면 고위도 국가인 네덜란드의 경우 $40-50W/m^2$ 씩 증가하므로 시간당 증산 요구량이 우리나라가 높기 때문에 양액 공급시점과 공급 EC가 높게 되면 증산스트레스를 입게 된다.

증산스트레스는 수분이동이 과실보다 엽으로 더 많이 이동하면서 과실의 수분이동이 억제되는 경우로 이는 과실 신장과 비대를 억제시켜 낙과를 초래하게 된다. 특히 공급 EC는 작물의 증산작용에 관여를 하지만 근권부의 배지내의 EC는 작물의 증산량에 직접적인 영향을 미칠 것으로 사료된다. 양국의 폐액의 EC 자료를 수집하여 분석한 결과 네덜란드의 경우 재배주수가 증가할수록 폐액 EC를 감소하도록 관리 하였으나, 우리나라의 경우 매우 불균일하게 관리되고 있었으며, 3-5주 동안의 폐액의 EC 변화폭이 매우 크게 나타났다(Fig. 9AB). 이는 난방과 광도 및 광량의 변화에 따른 급액회수 및 급액량을 조절하여 작물의 수분요구도를 적정하게 유지 시켜 주었어야 하지만 공급EC관리는 급액 system의 광량과 급액 개시점과 종료시점에 대한 관리만 하게 되어 폐액 EC에 대한 관리가 이루어지지 않아 급격한 변화를 초래하게 되었다. 이는 작물의 수분스트레스를 유발시키고 각 기관별 수분이동을 감소시켜 수정된 과실의 신장을 억제하게 될 것으로 사료된다. 네덜란드의 생육 후반부 공급 및 폐액 EC가 낮은 이유는 작물 상단에 착과되어 있는 과실의 크기를 키우기 위해 환기억제를 통해 시설내부의 습도를 증가시키고 급액량과 EC를 낮추어 과실의 비대를 촉진시키는 관리를 통해 작기 종료 시점에 과실의 품질 및 과중을 증가시키는 관리가 되고 있었다(Fig 9B).

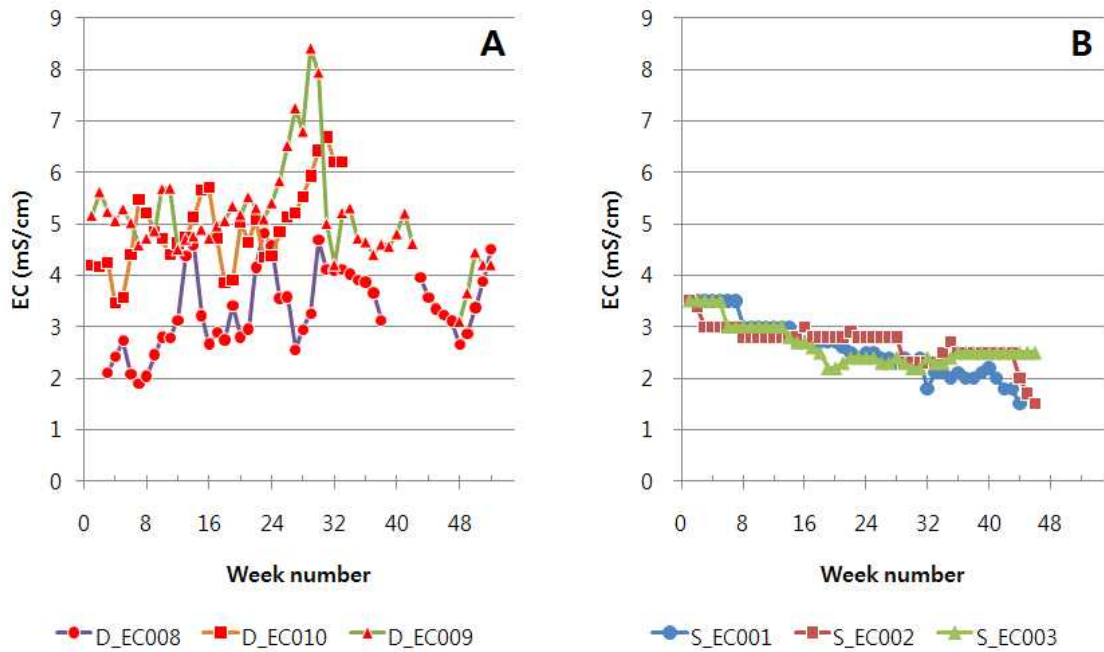


Fig. 9. Management of drained EC in Korean (A) and Dutch (B) sweet pepper grower.

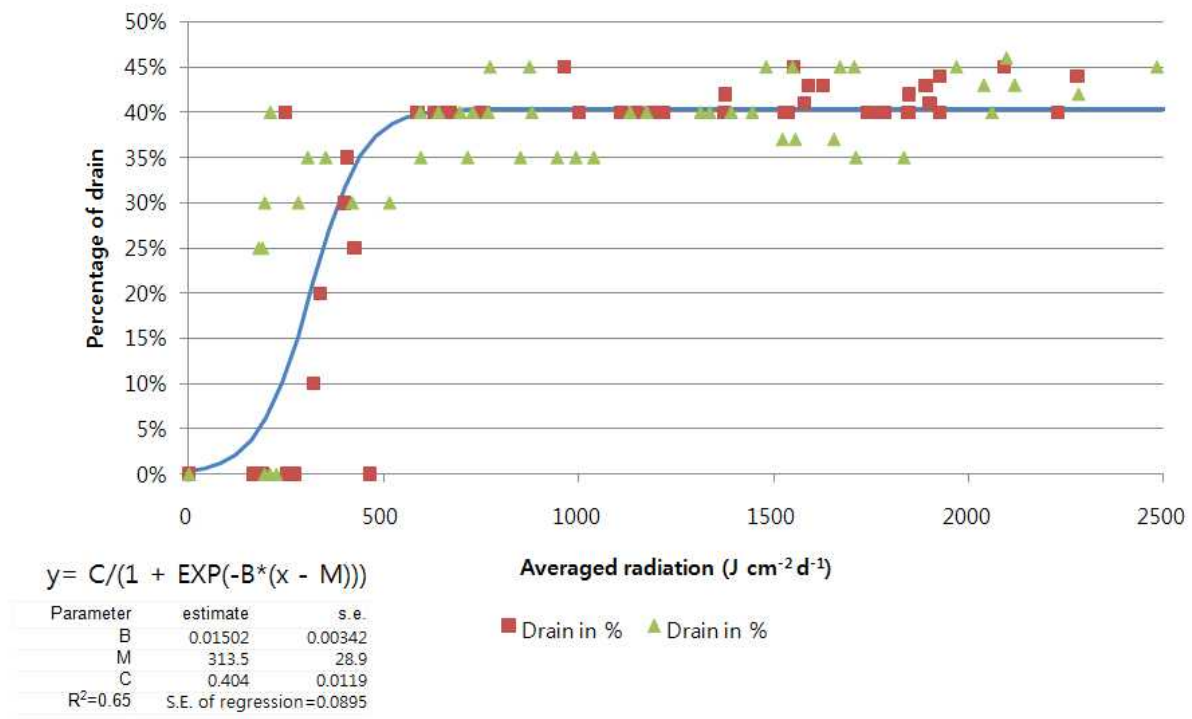


Fig. 10. Fitted model for percentage of drain based on average radiation.

국내 파프리카 농가들의 급액관리 및 폐액관리에 관한 자료가 기록이 잘되지 않아 자료 분석을 위한 충분한 data를 확보하지 못하였고, 네덜란드 파프리카 농가의 주간 평균 폐액량과 광량과의 상호관계를 분석하기 위해 주간 평균광량대비 폐액량의 관리에 대한 모델식을 개발하였다(Fig. 10).

Logistic function을 이용하여 조사한 자료를 fitting 한 결과 변량의 65%를 로지스틱함수에 의해 해석되었으며, 낮은 광량에서는 측정치보다 추정치가 높게 나타났다. 일반적으로 외부광량이 250J/cm² 이상에서 조건에서는 폐액율이 낮았지만 25%를 상위하게 나타났으며, 외부광량이 500J/cm² 일 때 폐액율

이 거의 30-40%에 도달하였고, 그 이상의 광량에서는 40% 정도로 폐액율을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 공급량에 대한 폐액율이 높다는 것은 배지내의 함수율과 EC 수준이 매우 일정하게 유지되고 있는 것으로 판단되며, 반면에 많은 비료가 사용될 수 있을 것이다. 대부분의 네덜란드의 파프리카 농가들은 순환식 수경재배 시스템을 갖추고 있으므로 배지의 근권환경의 안정화를 위해 급액 회수, 급액량을 우리나라 파프리카 농가들보다 더 많은 양액을 공급하고 있는 것으로 나타났다.

다. 우리나라와 네덜란드의 생산량 차이 원인 분석을 통한 결론

본 연구 결과, 네덜란드와 우리나라의 파프리카 재배관리의 방법에 큰 차이를 보인 것을 알 수 있다. 일부 수치화된 온도 및 급액농도관리는 네덜란드와 우리나라가 큰 차이점이 없는 것 처럼 보였지만, 재배관리 측면에서 다른 환경요인들과의 상관관계에서 네덜란드는 타 성장요인과 연계하여 복합적인 관리를 하고 있는 반면, 국내 파프리카 재배 농가들의 경우 단순 환경요인들의 변화에 대한 집중관리가 되고 있다. 네덜란드와 우리나라의 파프리카 생산량 차이의 근본적인 원인을 정리해 보면,

1) 시설내부의 광투과율이 우리나라가 네덜란드 비해서 낮아, 동일한 외부광도, 광량이더라도 단위면적당 생산률이 우리나라 파프리카 농가들이 낮다.

2) 양국은 북반구에 위치하기 때문에 월별 계절적 범위에선 동일하나, 네덜란드는 우리나라에 비해 고위도 지방이며, 태양 입사각이 작아 일출 후 광도가 낮게 증가하지만 우리나라는 네덜란드보다는 높게 증가한다. 우리나라의 경우 오전중 환기관리 적정시간을 놓치게 되면 급격한 온실내부의 온도가 상승하고 습도가 급격히 감소한다. 북위도 보다는 저위도 국가에서 일중 외부 평균 온도가 높고 특히, 일몰후 야간온도가 높게 유지되고 있어 작물의 단위무게 당 유지호흡량이 네덜란드에 비해 매우 높은 편이다. 즉, 충분한 광도가 조사되어 광합성량이 증가 되더라도 야간의 온도가 높아 유지호흡량이 증가하게 되면 주간에 생산된 동화산물이 착과에 사용되지 않고 유지호흡으로 손실할 것으로 판단된다. 최근 이러한 문제를 해결하기 위해 지열냉난방시스템 또는 에어컨 시스템을 설치하여 야간 온도를 낮춰 생산량을 증가시켰다.

3) 우리나라 파프리카 재배온실은 지상부 및 근권부 환경 요인들에 대한 균일한 관리, 외적환경요인(광도, 광량, 온도, 풍속, 풍향, 강우)들의 변화에 대한 시설내부 환경요인에 대한 능동적 대응이 필요함에도 불구하고 외부환경변화에 따른 급격한 온도, 습도, CO₂ 농도, 내부의 공기유동 및 온실내외부의 공기 교환 등이 급변하는 관리가 되고 있어 전체적으로 재배안정화를 위한 시설내부 안정적 환경관리가 잘되고 있지 않고 있다.

4) 파프리카 재배관리 측면에서 정식 후 엽면적지수 확보를 위한 정지작업을 늦추는 일이 많고, 주당 분지점이 많아 가지 간 성장점의 개수가 이미 8-16개정도 확보한 후에 정지 작업이 이뤄지고 있어 가지사이의 광 경합이 높아 초기의 줄기 도장과 고온과 저광환경 하에서 낙화물이 매우 높아 종종 상위 절위에 착과하는 경향이 나타나고 있어 이를 해결하기 위한 방법으로 정식 후 어린 가지의 순을 순차적으로 정지하여 엽면적 확보를 통해 가지 간 동화산물에 대한 경합을 감소시켜야 할 것으로 사료된다.

5) 네덜란드의 경우 작물관리가 작물의 생육속도에 맞게 일정한 관리가 되고 있는 반면 대부분의 국내 파프리카 농가의 경우 숙기에 따른 수확 지연도 종종 발생되고 있다.

6) 지상부 환경변화에 대한 적극적인 근권환경 관리가 필요하게 되는데, 국내 파프리카 농가의 경우 외적인 환경변화에 상관없이 착과 유도 방안으로 근권부 함수율을 낮추고, 근권부 EC를 높이기 위해 급액 EC, 급액량과 폐액량의 감소, 급액시간과 종료시간의 연장과 단축을 통한 관리를 실시하여 이는 근권

부 극심한 환경변화를 초래하게 되었다. 즉, 광환경 변화에 따른 지상부의 증산을 억제하는 수분스트레스 상태에서 작과를 유도하는 전략은 근본적으로 작과율을 감소시키는 결과를 초래하였다.

7) 국내 선도 농가에서도 급액 EC는 높지 않지만 폐액 EC의 불균일한 관리도 생산량을 감소시키는 원인으로 대두되었다.

8) 불균일한 온도 관리는 불균일한 작물생육 결과를 초래하게 되는데, 이에 따른 과실 숙기의 계절별 편차가 커지게 되며, 과실의 건물함량의 편차가 크게 나타난다. 결과적으로 과실의 건물함량이 높게 되면 단위면적당 생과중 수확량이 감소하게 되어 생산량의 감소를 초래하는 것으로 나타났다.

현재까지 네덜란드와 우리나라의 환경관리 및 작물관리의 차이점 등에 대한 분석을 통해 상기의 결론을 내렸지만, 그 외 온실내부에서 작물관리 작업을 하고 있는 노동자들의 작물관리 수준이 네덜란드에 비해 낮은 편이다. 또한 파프리카의 정지 및 유인작업 관리의 지연과 노동력 투하 적기, 수확을 위한 시스템 등이 양국 간의 차이가 매우 심하다.

상기 결론은 현재 강원도 화순 파프리카 농가를 대상으로 개선되어 지고 있으며, 강원도, 경상남도 등에서 파프리카 농가들에게 연구결과를 홍보하여 재배관리 개선과 재배 컨설턴트들에게 개선에 대한 정보를 전달하여 현재 전국적으로 재배기술이 개선되어지고 있다.

라. NL과 KOR의 파프리카 재배기간 동안 건물생산량 및 기관별 건물분배율, 건물함량 차이 비교 분석

외부광량, 광투과율, 시설내부 온도, 이산화탄소농도 및 초기 엽면적지수 및 단위면적당 초기 건물중 및 각 기관별 동적 건물분배율 및 과실 건물함량의 계수를 네덜란드에서 개발된 파프리카 모델에 입력값을 사용하여 단위면적당 동적 건물생산량과 파프리카의 수량을 온실의 기상환경자료에 변화에 예측할 수 있다.

각 농가별 환경자료 및 광투과율을 입력하게 되면 각 농가별 잠재적인 생산성을 예측하고 농가간의 생산성 차이와 네덜란드와 우리나라와의 생산성 차이의 원인을 구체적으로 추정할 수 있게 된다. 본 연구에서는 국내 파프리카 농가 및 대학 온실에서 파프리카 재배과정 중 기관별 파괴조사를 통해 얻은 자료와 네덜란드의 Wageningen 대학 및 농가에서 파괴 조사한 자료를 통해 각 기관별 동화산물의 분배 패턴을 일반화하여 간단한 영양생장기관과의 상호관계를 규명하고자 하였다. 영양생장 기관의 총 건물중 대비 줄기 건물중의 비율은 74%였으며, 엽의 건물비율은 평균 26%로 추정되었다(Fig. 11).

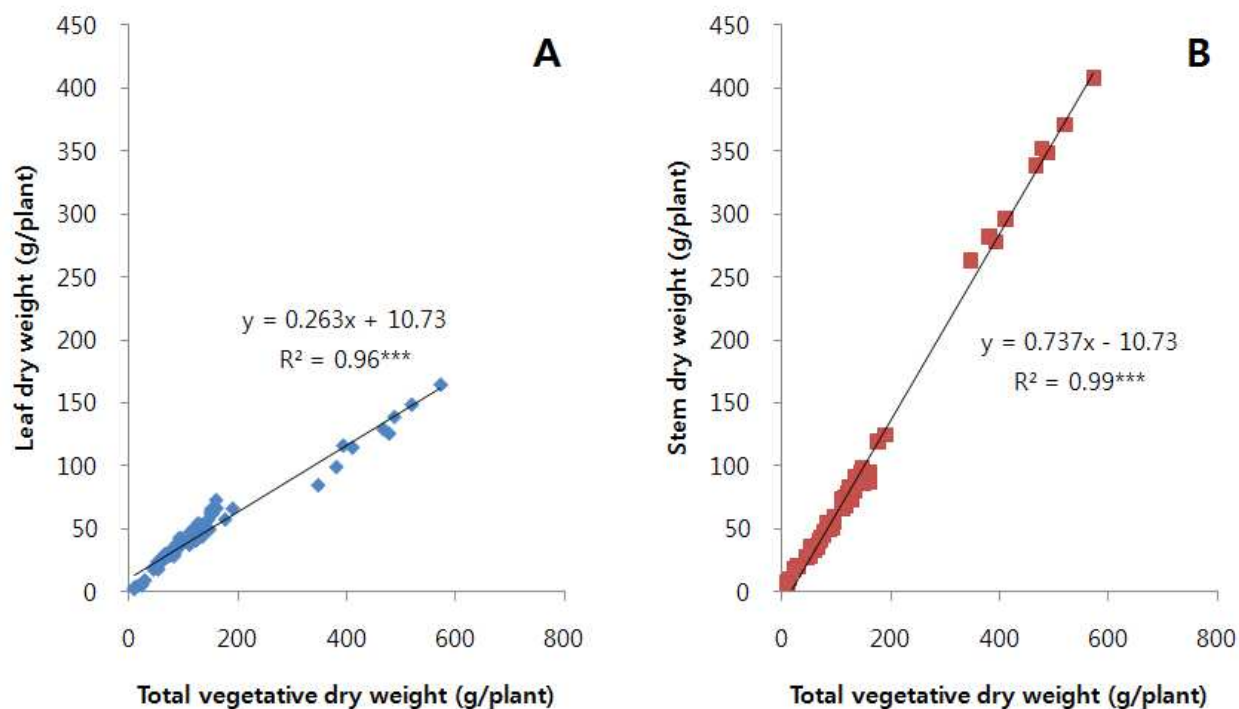


Fig. 11. Linear relationship between vegetative organ dry weight and leaf (A) and stem (B) dry weight of sweet pepper grown in Korea and Netherlands.

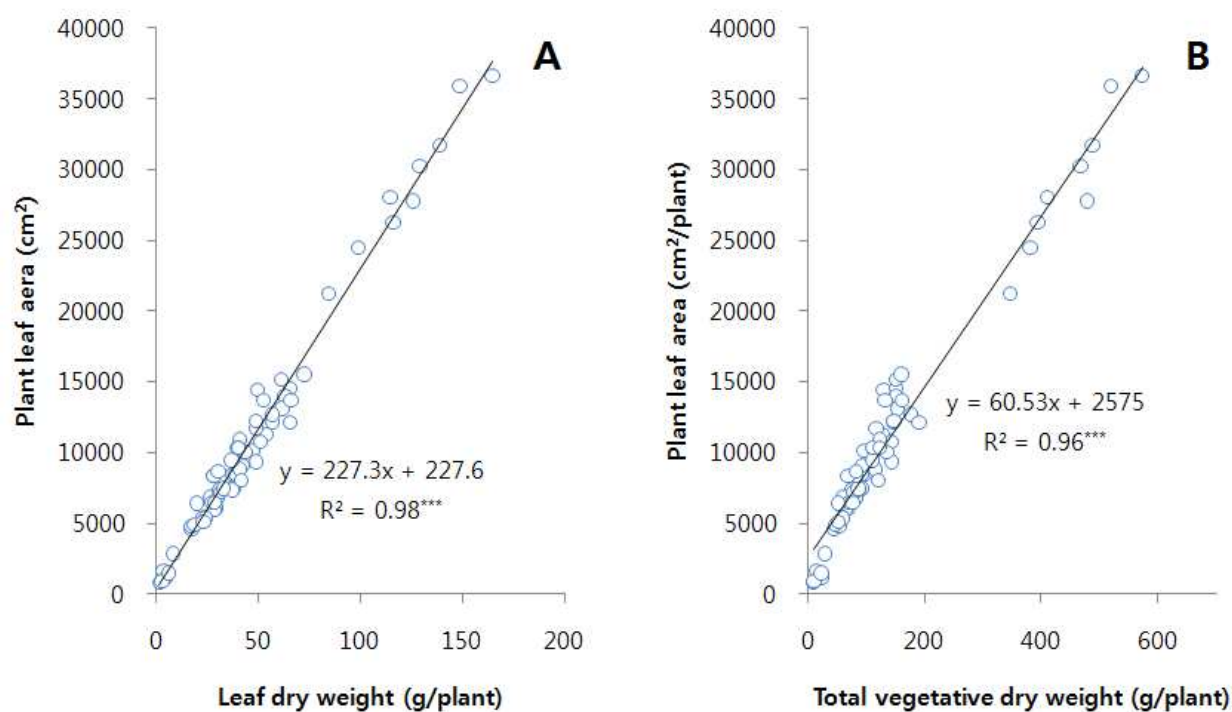


Fig 12. Linear relationship between vegetative organ dry weight and leaf (A) and stem (B) dry weight of sweet pepper grown in Korea and Netherlands.

광합성을 통해 생산된 총 동화산물 중 엽으로 분배되는 동화산물의 26%는 엽의 무게를 증가시켰으며, 1g의 엽 건물중은 파프리카의 엽면적을 227.3cm²을 증가시킨 것으로 나타났다(Fig 12). 총 영양기관 건물중 1g당 엽면적은 60.5cm²를 증가시킨 것으로 나타났다. 본 회귀계수는 초기 엽면적지수에 따른 광수량을 계산하고 광수광량에 따른 엽광합성 및 균락광합성량을 모델을 계산하게 되며, 계산된 총 동화산물은 작물의 유지호흡을 동화산물의 손실율을 뺀 나머지의 동화산물을 환산계수를 이용하여 총 건물생산량을 계산하고 이를 각 기관별 동화산물의 분배율을 통해 각 기관별 건물생산량을 예측하게 된다.

본 연구에서는 네덜란드와 우리나라의 조사한 자료값을 단순화 시켰으며, 4년차 연구에서는 기존의 확보된 자료를 이용하여 시뮬레이션 모델의 검증과 보정을 할 예정이 있다. Fig. 13은 네덜란드에서 재배된 파프리카의 재식밀도 별로 생산된 파프리카의 단위면적당 과실의 건물중을 실제 측정값과 추정값으로 나타난 예제를 나타내었다. 네덜란드의 기상환경과 파프리카의 기본 생육정보에 따라 측정값과 추정값의 차이가 거의 없이 나타났다. 파프리카 성장모델의 개발이 네덜란드에서 기 검증되었으나 국내의 기상환경 특성, 재배자의 작물관리 특성을 고려하여 모델의 검증과 각 모듈에 초기값으로 입력되었는 값을 보정해야 할 것으로 사료된다.

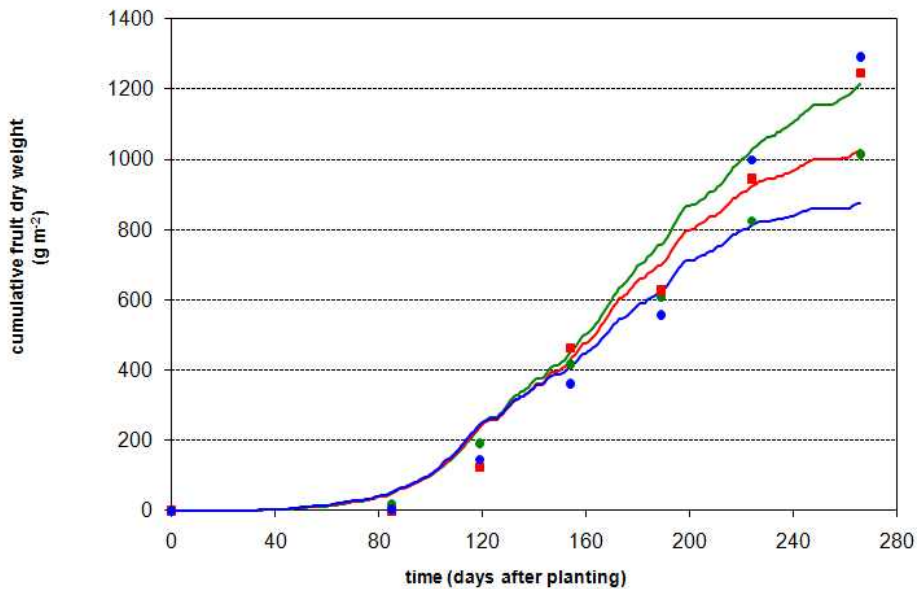


Fig 13. Dynamics of fruit dry weight as function of days of planting grown at Wageningen university

4. 4차년도 연구개발 수행내용 및 결과

[연구 1] 지상부 및 근권환경개선을 통한 선도농가의 생산성 증대

연구목적

관행적 지상부 및 근권환경관리를 개선하여 농가의 생선을 증대하기 위한 목적으로 관행적인 환경관리 방식을 네덜란드의 환경자료 분석 값을 토대로 지상부 근권부 환경관리를 개선하여 단위면적당 생산성을 증대할 목적으로 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

강진 아트팜 영농조합법인의 벤로형 유리온실에서 재배되고 있는 파프리카의 수확량 및 파프리카 재배기간동안의 환경자료를 분석하였다. 강진군 군동면에 위치하고 있는 아트팜 1 농장(1.7ha)과 강진읍 목리에 위치한 아트팜 2농장(2ha)에서 운영하고 있는 복합환경조절시스템(Priva, Hortimax)을 이용하여 기존의 온실내외부의 기상환경분석을 통한 2009년 정식하여 2010년 및 2011년도의 환경관리 개선을 위해 환경관리에 필요한 설정값을 변경 관리 하였다. 2008년에 정식하여 2009년에 종료된 재배작형의 환경관리와 2009년 정식하여 2010년에 종료한 환경관리 분석자료와 네덜란드의 환경자료를 상호간 비교 분석하였다. 분석자료는 일중광량, 시설내부의 일중 평균온도, 주간 이산화탄소 농도에 관한 자료를 SPSS를 이용하여 회귀 분석을 하고, 회귀식의 모수와 모수의 편차를 비교하여 연도별 과 국가별 환경관리의 장단점을 분석하여 생산성 감소요인들을 해석하였다.

결과 및 고찰

[연구 1]

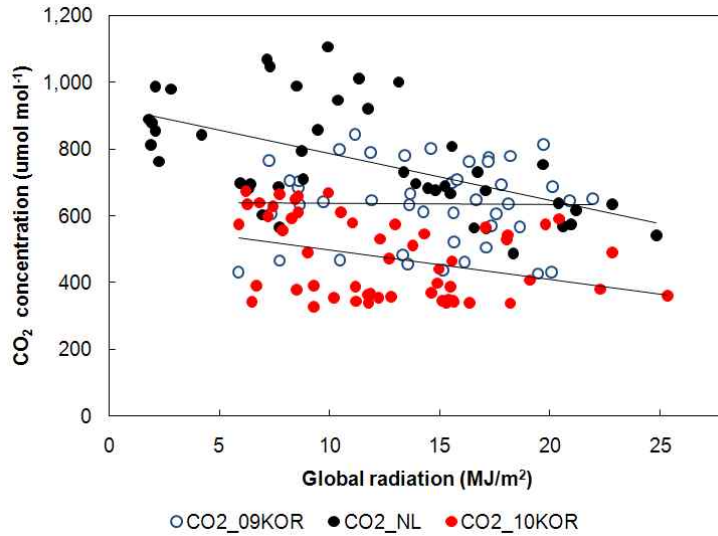


Fig. 1. A linear relationship between global radiation and day CO₂ contentation in sweet pepper greenhouse in the Netherlands (CO₂_NL) and Korea in 2009(CO₂_09KOR) and 2010 (CO₂_10KOR).

네덜란드의 환경관리는 외부 환경변화에 따라 적극적인 환경관리가 이뤄지는데 2-3년차에서 보고 된바와 같이 평균광량의 증가에 따라 24시간평균온도의 변화는 비례적으로 증가하였으나, 국내 파프리카 농가의 환경관리는 미온적인 변화 또는 광량과 무관하게 24시간 평균온도를 관리하고 있었다. 본 연구에서는 광량에 따른 온도 및 CO₂ 농도관리의 최적화를 위해 광량이 증가에 따라 변화를 주었다. 그 결과 2009년 작기의 광량의 변화에 따라 주간 평균 이산화 탄소의 농도는 거의 변하지 않고 평균 642ppm정도를 유지 하였지만, 평균 최고 584.9ppm을 유지하면서 광량이 증가함에 따라 8.73ppm을 감소하게 관리 하였다. 이는 2009년 작기보다는 2010년도 작기에 비해 액화탄산가스의 사용량을 감소 시켰으며 탄산가스 비용 절감효과를 얻었다 (Fig 1). 2009년 1ha 당 평균 일일 액화탄산가스 공급량은 437.94kg이며, 2010년 평균 공급량은 393.66kg으로 2010년 액화탄산가스 사용량을 10% 감소시킬 수 있었다. 생산비는 1ha당 7.7백만원의 감소시킬 수 있었다(Fig 2).

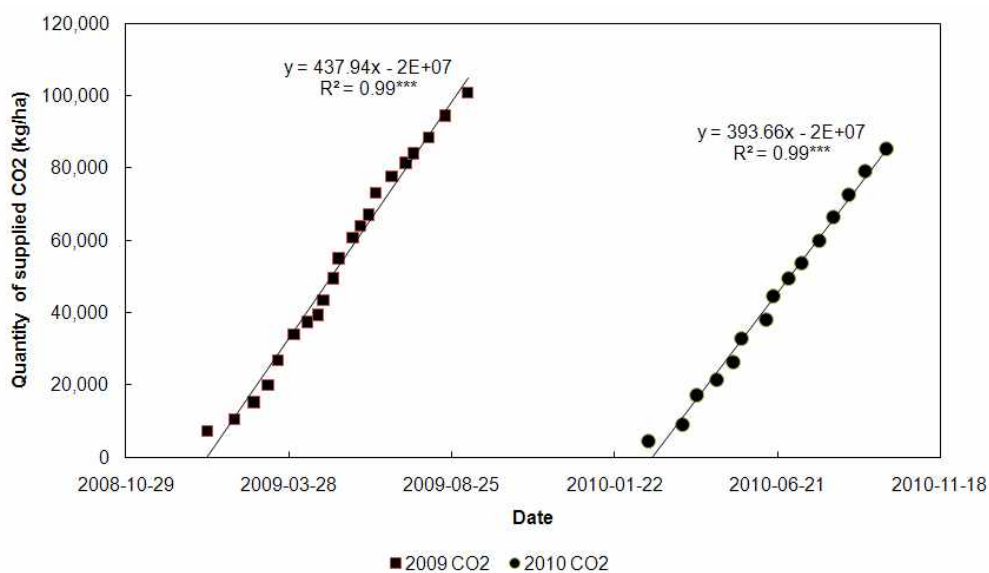


Fig 2. Accumulation of supplied liquefied-CO₂ to 1ha of sweet pepper greenhouse in 2009 and 2010.

Table 1. Co-efficiencies of linear regression, t-test and standard error of regression between global radiation and day CO₂ concentration of sweet pepper greenhouse in The Netherlands (NL and crops grown in 2009 (CO2_09KOR) and 2010 (CO2_10KOR) in Korea.

	A (ppm/[MJ/°C m ²])	SE	t pr.	Constant (ppm)	SE	t pr.	S.E. of regression	R ²
CO2_NL	-13.96***	3.19	<0.001	926.3***	42.0	<0.001	137	0.2970
CO2_09KOR	-0.35ns	4.45	0.938	642.0***	66.7	<0.001	124	0.0001
CO2_10KOR	-8.73***	3.23	0.009	584.9***	43.8	<0.001	112	0.1040

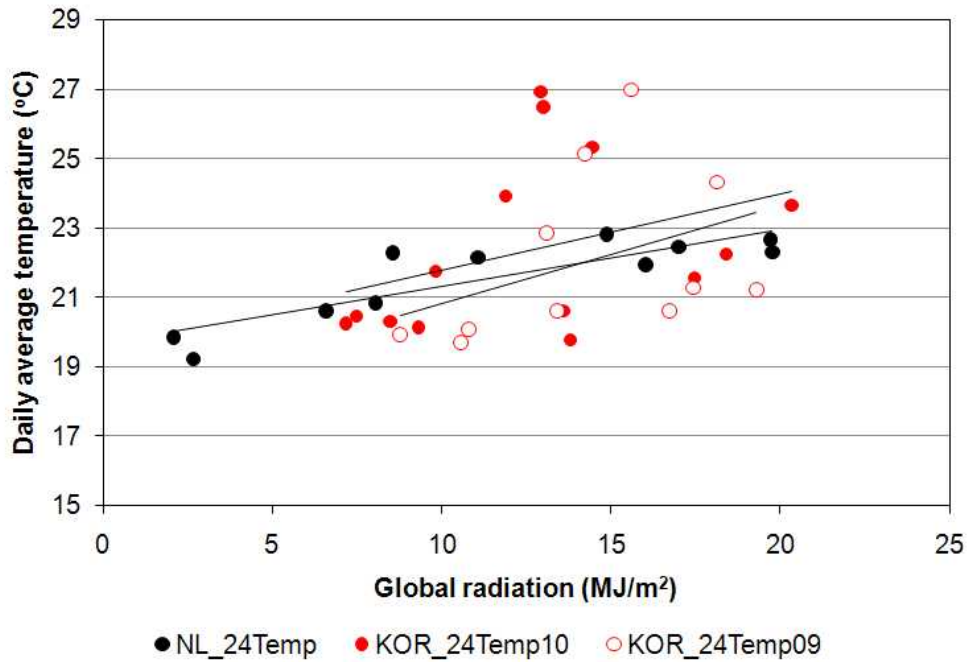


Fig. 3. A linear relationship between global radiation and daily greenhouse temperature of sweet pepper greenhouse in The Netherlands (NL_24Temp) and crops grown during 2009 (KOR_24Temp09) or 2010 (KOR_24Temp10) in Korea.

Table 2. Co-efficiencies of linear regression, t-test and standard error of regression between global radiation and daily greenhouse temperature of sweet pepper greenhouse in The Netherlands (NL_24Temp) and crops grown during 2009 (KOR_24Temp09) or 2010 (KOR_24Temp10) in Korea.

	A (°C/[MJ/m ²])	SE	t pr.	Constant (°C)	SE	t pr.	S.E. of regression	R ²
NL_24Temp	0.162**	0.040	0.003	21.14***	0.523	<0.001	0.813	0.603
KOR_24Temp09	0.222ns	0.187	0.265	20.51***	2.75	<0.001	2.01	0.039
KOR_24Temp10	0.204ns	0.141	0.172	22.15***	1.87	<0.001	2.06	0.079

파프리카 재배에 있어 네덜란드의 24시간 평균온도관리 전략은 외부광량과 정의 상관을 가지는 것으로 나타났으며, 아트팜 영농조합법인의 파프리카 생산온실의 24시간 평균온도관리는 외부광량과의 상관이 매우 낮게 나타났다. 네덜란드의 경우 주간 평균 19.66 °C를 시작으로 외부광량이 1MJ/m²(100J/cm²) 증가할때마다 평균 0.166°C를 증가하는 반면 아트팜 파프리카 온실은 외부광량이 무관하여 광량에 따른 주간 평균온도가 일정하지 못하였다 (Fig. 3과 table 2). 하지만 주간 최저 온도는 2009년보다 1.6도 정도 개선되었다. 국내 파프리카 농가

의 환경관리는 온도 또는 습도 위주의 환경관리를 우선시 되면 광도가 높은 시기에 습도관리 위주의 환경관리는 시설내부의 24시간 평균온도를 급격히 상승시킬 수 있으며, 흐른날이나 흐른날 외부온도가 높은 상태에서는 상대적으로 온실내부의 온도를 낮게 관리하여야 하나 온실의 온도가 높은 경우가 종종 발생되었다.

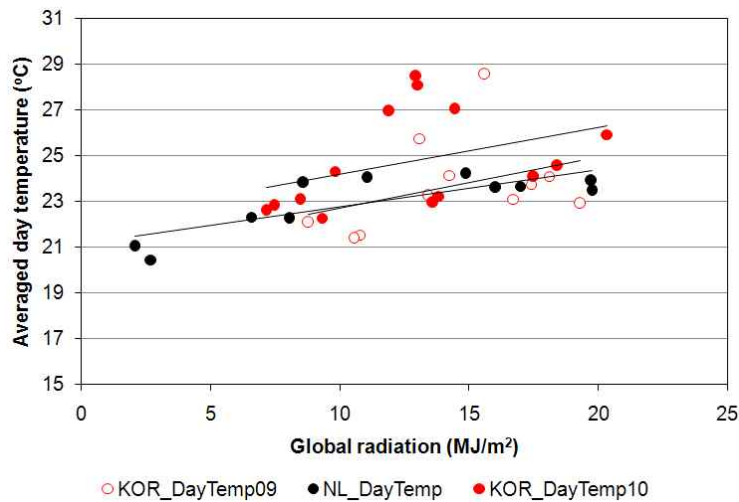


Fig. 4. A linear relationship between global radiation and averaged day greenhouse temperature of sweet pepper grown in The Netherlands (NL_DayTemp) and crops grown during 2009 (KOR_DayTemp09) or 2010 (KOR_DayTemp10) in Korea.

광량이 높으면 일반적으로 시설내부의 주간 평균온도는 증가한다(Fig 4). 하지만 온실내부의 주간 평균 온도는 외부 온도 및 시설내부의 습도에 따라 환기창의 개도율을 조절하게 되는데, 외부 네덜란드의 광량에 따른 시설내부의 주간 평균온도는 21.14 °C를 최소 온도로 하여 1MJ/m²(=100J/cm²) 당 주간 평균온도의 증가는 0.1662 °C로 매우 일정하게 증가하였다. (Table 3). 하지만 아트팜의 경우 시설내부의 최소 주간 평균온도는 20.51–22.15 °C 범위에서 관리되었지만 광량의 증가량과는 무관하게 주간 평균온도가 관리되었다(Fig. 4와 table 3). 이러한 결과는 시설내부의 오후 습도를 높여 주기위해 과도하게 환기창의 닫아 시설내부의 평균온도를 급격히 상승시켰기 때문이다. 특히 주간의 평균온도는 우리나라 건조기인 봄철과 가을철에 환기를 억제 시켜 습도관리에 편중되면 주간평균온도가 매우 높아지기 때문에 호흡량을 증가시켜 착과율을 낮아 질 수 있다.

Table 3. Co-efficiencies of linear regression, t-test and standard error of regression between global radiation and averaged day greenhouse temperature of sweet pepper greenhouse in The Netherlands (NL_24Temp) and crops grown during 2009 (KOR_24Temp09) or 2010 (KOR_24Temp10) in Korea.

	A (°C/[MJ/m ²])	SE	t pr.	Constant (°C)	SE	t pr.	S.E. of regression	R ²
NL_DayTemp	0.162**	0.0402	0.003	21.14***	0.523	<0.001	0.813	0.603
KOR_DayTemp 09	0.222^{ns}	0.187	0.265	20.51***	2.75	<0.001	2.01	0.039
KOR_DayTemp	0.204^{ns}	0.141	0.172	22.15***	1.87	<0.001	2.06	0.079

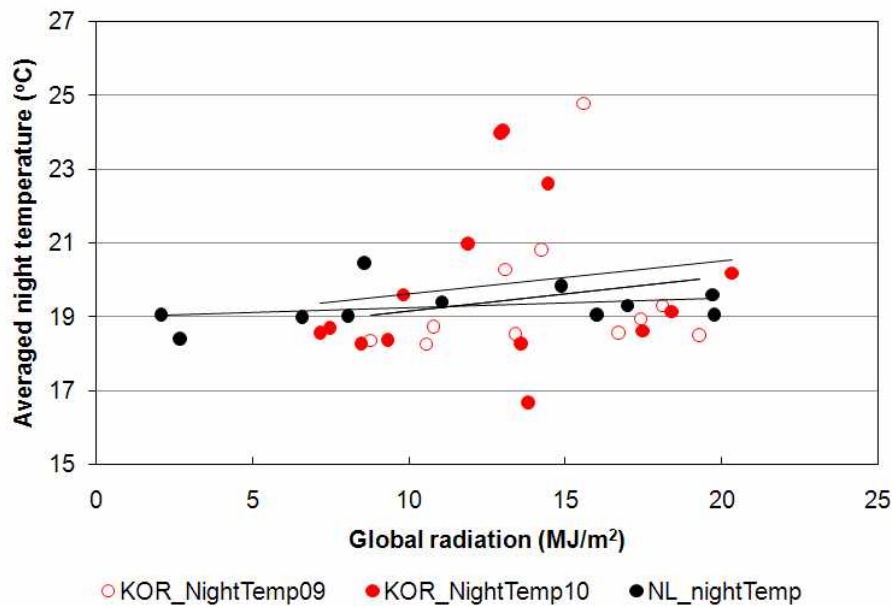


Fig. 5. A linear relationship between global radiation and averaged night greenhouse temperature of sweet pepper grown in The Netherlands (NL_NightTemp) and crops grown during 2009 (KOR_NightTemp09) or 2010 (KOR_NightTemp10) in Korea.

중광량과 야간온도의 관계는 파프리카 재배의 최소온도 유지할 경우 통계적으로 유의적 상관성이 없는 것으로 나타났다. 네덜란드의 파프리카의 재배의 야간 최적온도는 19°C로 나타났으며, 아트팜의 2년간 야간 평균온도는 18.23°C과 18.71°C로 관리되었다(Fig. 5와 Table 4). 특히 광량이 증가하면 야간온도의 증가시키는 경우가 있지만 이는 파프리카의 작물의 발육속도(엽면적 확보를 위한 엽수와 엽면적을 증가)를 조절할 목적으로 많이 사용된다. 그 외 숙기를 단축하기 위해 야간온도 증가시켜 주는 경우도 있

다. 단위면적당 생체량이 높은 시기에는 야간온도의 증가는 호흡량을 증가시키므로 광환경이 좋은 시기에는 발육속도나 숙기를 단축할 목적으로 온도 조절을 피하는 시기에는 주간 평균온도를 외부광량에 따라 100J/cm² 당 0.1662°C 정도 증가시켜주는 것이 일중 생산된 동화산물의 양과 호흡량의 균형을 유지하는데 매우 유리할 것으로 사료된다.

Table 3. Co-efficiencies of linear regression, t-test and standard error of regression between global radiation and daily greenhouse temperature of sweet pepper greenhouse in The Netherlands (NL_NightTemp) and crops grown during 2009 (KOR_NightTemp09) or 2010 (KOR_NightTemp10) in Korea.

	A (°C/[MJ/m ²])	SE	t-pr.	Constant (°C)	SE	t-pr.	S.E. of regression	R ²
NL_NightTemp	0.026 ^{ns}	0.026 7	0.364	19.00 ^{***}	0.347	<0.001	0.540	0.0001
KOR_NightTemp09	0.092 ^{ns}	0.018 6	0.632	18.23 ^{***}	2.73	<0.001	2.000	0.0001
KOR_NightTemp10	0.090 ^{ns}	0.158	0.580	18.71 ^{***}	2.10	<0.001	2.320	0.0001

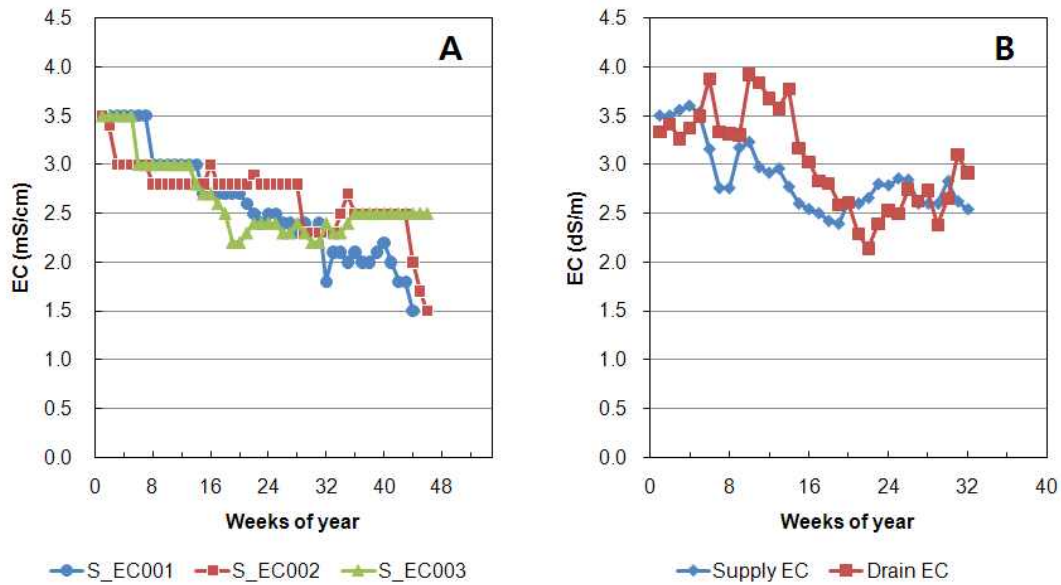


Fig. 6. Management of supply EC and drain EC in sweet pepper growers in The Netherlands (A: three year data) or in Korea (A: Art farm grower association).

네덜란드에서의 파프리카 재배기간동안 공급 EC 외부광도와 광량이 증가하는 경향과 반면 급액 EC를 감소시키는 전략으로 양분관리가 이뤄지지만 국내의 경우 2009년 까지 외부 광량이나 광도를 고려하지 않고 급액 농도의 관리는 생육단계별과 착과시기, 작물의 영양생장과 생식생장의 조절을 위한 관리 방법

으로 재배되었다. 이러한 근권환경관리는 광환경에 따라 지상부의 생육에 초래하는 부정적인 영향이 크다. 특히 광도가 높은 시기에 근권부의 함수율과 염류농도가 높은 환경에서는 증산을 억제하여 작물의 온도를 급격히 증가시키며, 상부의 어린엽의 경우 엽결각이 일소증상을 나타내는 경우도 많이 나타난다. 특히 네덜란드의 경우 최종 착과 이후 과실의 비대기에는 근권부의 염류농도를 낮추고 배지에 잔류 염류의 흡수를 촉진하기 위해 급액 EC는 광환경이 좋지 않더라도 낮게 유지한다. 2010년 12월에 정식한 아트팜 파프리카의 경우 급액관리는 네덜란드의 기준으로 하여 급배액의 EC 변화를 측정하였으며, 그 결과 급배액의 EC 값은 네덜란드의 EC 관리와 유사한 경향을 나타냈다(Fig. 6).

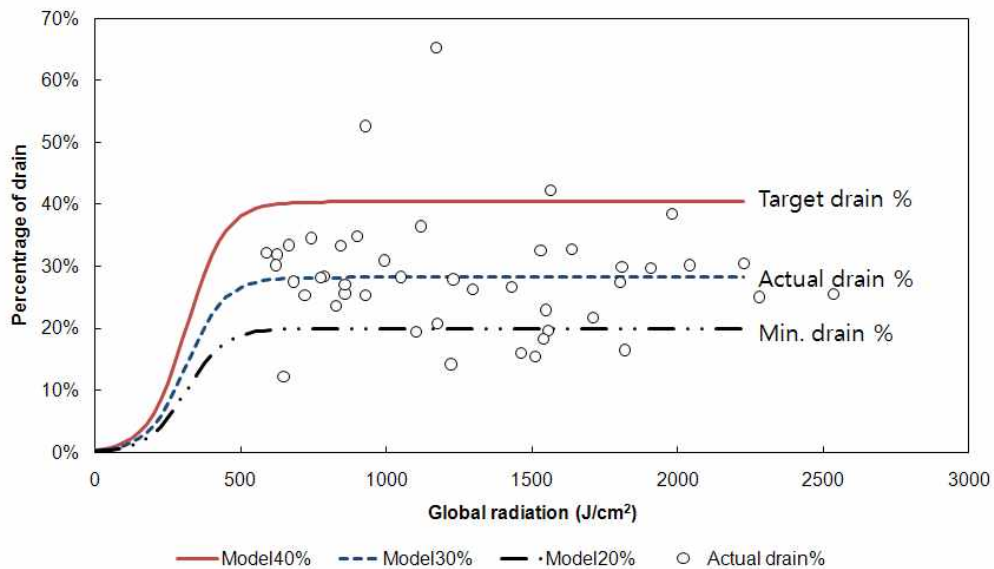


Fig. 7. Management of percentage of drain as function of global radiation at different maximum, actual and minimum percentage of drain. Lines indicate a 40%, 30%, and 20% for maximum drain percentage in the model of $y = C / (1 + \text{EXP}(-0.01502 * (x - 313.5)))$.

그림 7은 네덜란드의 근권환경조절을 위한 외부광량에 따른 배액율을 기본 배액율 모델 (Target drian)을 적용하여 강진 아트팜 2농장의 근권환경조절을 통한 생산성향상을 목적으로 관리하였다. 네덜란드의 온실과 우리나라의 유리온실의 광투과율 차이를 고려하여 배액율을 30% (model30%)을 유지하게 하고 최소 배액율 (Model20%)을 제시하여 급배액을 관리 하였다.

Table. 4. Yield of sweet pepper at different year in Tamjin grower company which consisted of five sweet pepper grower associations with 14 ha greenhouse area.

year	Min. yield (kg/m ²)	Max. yield (kg/m ²)	Averaged yield (kg/m ²)	Percentage to averaged yield in 2008
2008	15.3	21.8	18.2	100%
2009	16.2	20.9	19.7	108%
2010	16.5	23.2	20.3	112%

파프리카연구사단의 제 2핵심과제의 생산성 향상을 위한 재배 및 온실환경제어기술개발에 4개의 세부과제의 4년차 연구개발과정 중 파프리카 생산량을 지속적으로 향상시키기위해 수많은 현장 컨설팅과 교육, 현장의 애로기술들을 해결해 오면서 가장 중요한 파프리카 농가들의 생산성 향상을 시켜왔다. Table 4는 농업법인 탐진들의 소속된 총 재배 면적 14ha에서의 3년간 최소 생산량과 최대 생산량, 평균생산량을 비교한 결과 2008년 기준 평균 생산량은 18.2kg/m²에서 2009년 19.7kg/m²으로 8% 생산성이 증가하였으며, 2010년에는 12% 증가하여 최소 16.5kg/m²에서 23.2kg/m²의 수량의 증가를 시켜 연구사업을 통한 파프리카 농가들의 생산성을 증가시키는데 기여하였다.

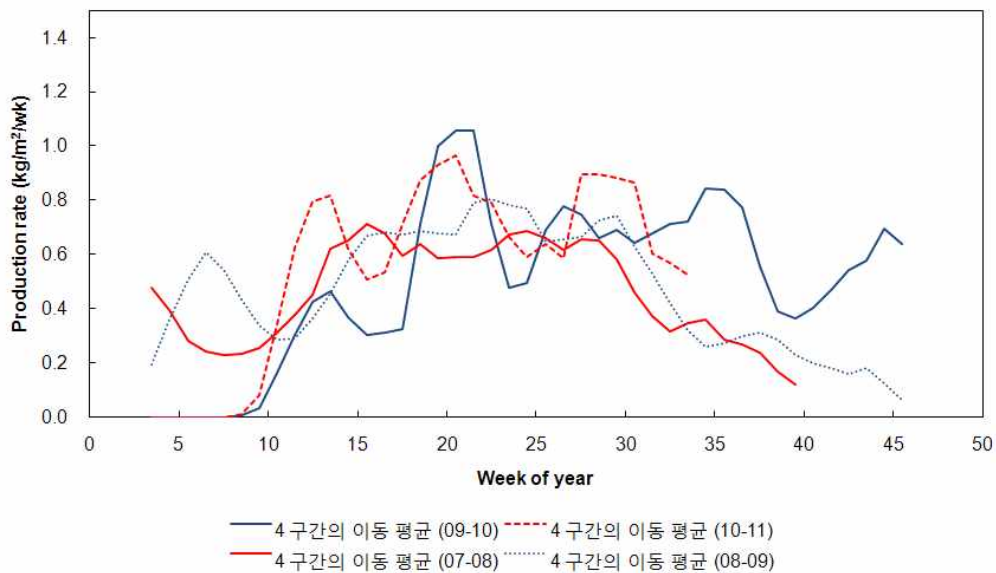


Fig. 8. Weekly production rate with 4weeks moving averaged values in four year sweet pepper production at Artfarm grower association.

07-08년도 파프리카 생산 작기에선 초기 수량은 높고, 6월부터 급격히 수확율이 감소하는 반면 네덜란드의 경우 수량이 증가하였으며, 6월 이후에 수량이 감소하는 이유는 4-5월에 착과가 잘 이뤄지지 않았기 때문이다. 4-5월 중순경에는 수확율이 높았다면 수확과실의 싱크강도가 낮기 때문에 충분히 많은 착과를 이뤄 질 수 있는 여건이 될 수 있었음에도 불구하고, 착과가 이뤄지지 않았다는 것은 과투과율(차광재 사용), 스크린사용, 근권부의 함수율이 낮았거나, 배지 내의 염류 농도가 높았을 것으로 사료된다. 실제 '07-'08년과 '08-'09년의 배액의 EC가 매우 높게 관리 되었다고 3차년도에 보고한바 있었다. '09-'10년과 '10-'11년도 파프리카 작기에서는 네덜란드의 착과습성과 유사한 특성을 가지고 있었으며 6월이후에 수확율이 네덜란드에 비해 42%수준으로 수확율이 매우 낮게 되었다. 작기 종료 후반전에 07-08년 작기와 '08-'09년 작기보다 '09-10년 작기 후반에 지속적으로 수확율을 유지할 수 있었다.

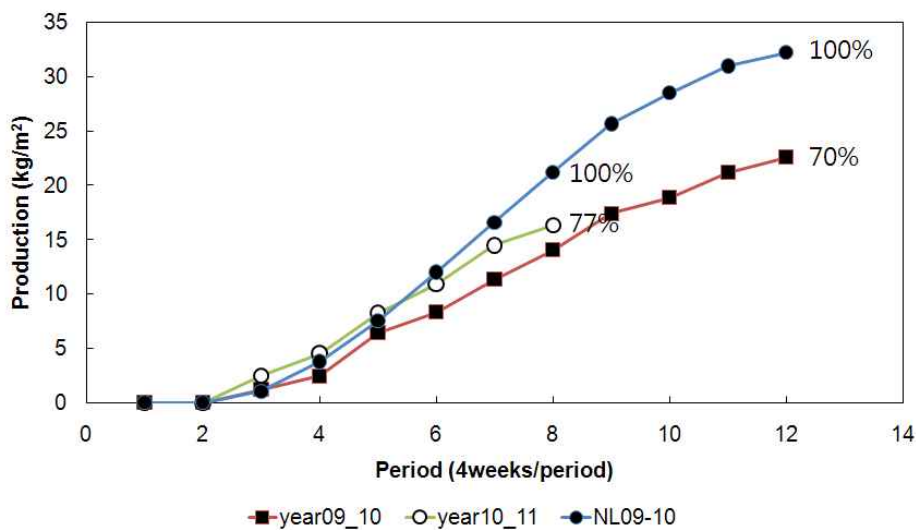


Fig. 9. Comparison of periodical production between the Netherlands and two cropping year in Korea. The crop in The Netherlands was grown from December in 2009 to November in 2010. The crop in Korea was grown from November in 2009 to November in 2010 (year09-10), and from December in 2010 to July (year10_11) which is still on production in the end of August, 2011.

아트팜 영농조합법인의 2009년 이후 정식 작형이 네덜란드와 비슷한 시기인 11월 또는 12월에 정식한 작형으로 2년 동안 파프리카를 생산하고 있다. 2009년 정식하여 2010년 말 수확 종료한 작형인 year09_10의 파프리카 수량은 단위면적당 22.57kg/m²로 동년의 네덜란드의 파프리카 평균 생산량인 32.23kg/m²에 비해 70%수준으로 나타났다. 파프리카 연구사업단이 출범한 시기의 네덜란드의 파프리카 생산성도 꾸준히 증가였지만, 2008년도의 네덜란드의 파프리카 생산성의 60%정도인 선도 농가의 경우보다 10% 포인트 증가한 것으로 나타났다. 2011년도 수확인 계속 진행된 결과를 2010년 네덜란드의 작형과 비교하면, 8주기의 생산성이 네덜란드의 생산성의 78%수준으로 꾸준히 증가하는 경향을 나타냈다(Fig. 9).

2010년과 2011년의 주기별 파프리카 생산율의 경향을 보면 네덜란드와 유사한 초기 생산성을 나타냈지만, 한국은 5주기 때 28일 동안 생산성이 가장 높은 3.7-4.0kg/m² 수확을 하였

지만, 그이후 부터 생산성이 급격히 하락하는 경향을 보였다. 네덜란드의 주기별 생산성은 6주기부터 9주기까지 4.45-4.6kg/m²를 4주기 동안 유지하여 관리 되었다. 본 연구에서 네덜란드와 한국의 파프리카 생산성의 차이는 6주기부터 10주기의 생산성이 네덜란드에 비해 매우 낮기 때문으로 나타났다(Fig. 10).

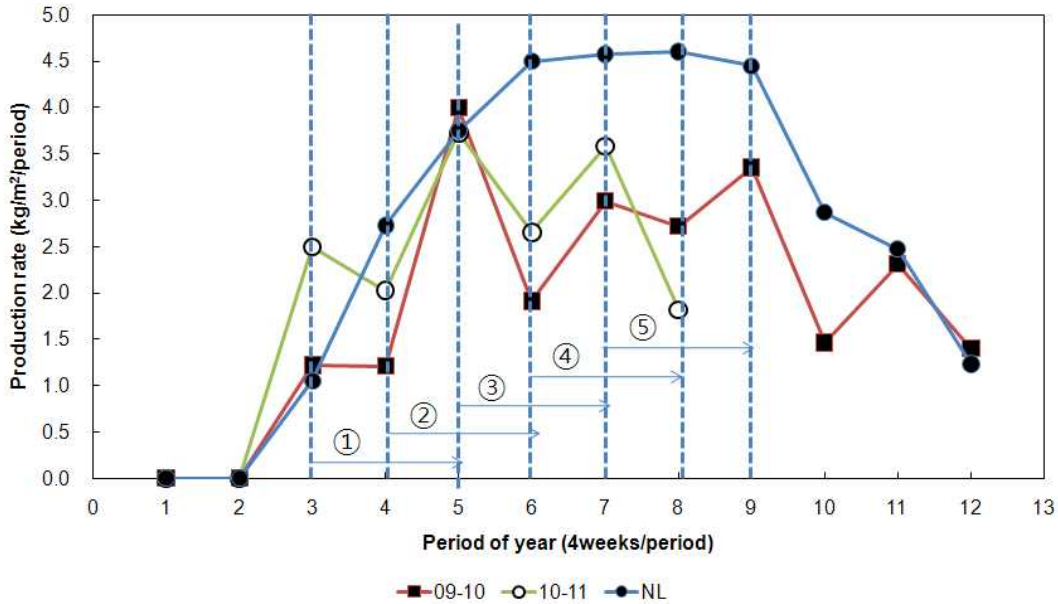


Fig. 10. Comparison of periodical production rate between the Netherlands and two cropping year in Korea. The crop in The Netherlands was grown from December in 2009 to November in 2010. The crop in Korea was grown from November in 2009 to November in 2010 (year09-10), and from December in 2010 to July (year10_11) which is still on production in the end of August, 2011.

Fig. 10에서 보는 것과 같이 3주기(02월26일-03월25일)부터 5주기(4월23일부터 5월20일)까지 생산성이 꾸준히 증가하다가 6주기(05월21일부터 6월 17일)부터 생산성이 급격히 감소하는 경향은 2010년과 2011년에 나타났다. 3주기의 수확한 과실은 12월말부터 1월 초순경에 착과된 과실이며, 4주기의 경우 1월 말부터 2월 초순경에 착과된 과실을 생산하였고, 5주기의 생산된 과실은 2월말부터 3월 초순경에 착과된 과실을 생산하였다. 6주기의 생산된 과실은 4주기(3월26일부터 4월 22일)에 착과가 이뤄지는데 이시기에 우리나라의 외부 광환경도 매우 좋게 나타나 착과되지 않았던 뚜렷한 이유를 해석하기 어려운 실정이다. 3월 26일부터 4월 22일 까지 3일간을 제외하고 평균광량이 1000J/cm²-2500J/cm²로 4주기 평균 광량은 1856J/cm²로 착과를 할 수 있는 조건이 되었다. 4주기 때 착과가 잘 되지 않는 경우는 증산량 대비 충분하지 못한 급액량, 광도가 높은 조건에서의 근권부의 염류 농도 상승, 충분하지 못한 배액율, 높은 광도 환경에서의 시설내부의 스크린 사용등 여러원인들을 들수 있다. 현재 Fig. 6에서 보는 바와 같이 배액의 EC가 4주기 착과기에 급격히 상승하는 것을 보아 배지의 염류 농도가 높게 유지 되고, 급액량과 배액량이 충분하지 못하였던 것으로 사료된다. 8주기

의 경우 6주기인 (5월 21일부터 6월 17일)사에 외부광도와 광량이 많아 시설내부의 차광망의 사용이 빈번하였던 것으로 보아 고온기에 차광에 의한 작물의 수광량이 감소되었고, 차광이 후의 시설내부의 온도가 올라 생육량이 높은 작물의 유지호흡량이 증가하여 착과가 잘 이뤄지지 않았던 것으로 사료된다.

결론

본 연구에 참여한 아트팜 영농조합법인과 농업법인 회사 탐진들의 경우 전체 조합의 파프리카의 단위 면적당 생산성은 2008년 대비 2010년 20% 증가하였고, 아트팜영농조합법인이 소유하고 있는 온실중 2ha 첨단 유리온실에서 생산되고 있는 파프리카의 생산량은 2010년 네덜란드의 파프리카 평균 생산성의 70% 수준으로 2008년에 대비 생산성이 10%포인트 증가하였다. 이는 네덜란드의 지상부 및 근권부 환경관리에 대한 자료 분석과 각 연도별 환경자료 분석을 토대로 지속적인 개선에 의한 결과라고 사료된다. 특히 복합적인 환경의 최적화는 작물의 생육량에 의한 각 환경요인들간의 기준이 필요하지만, 현재 단적인 환경요인을 중심으로 환경제어가 이뤄지는 경향을 보였다. 특히 광환경이 좋지 않을 경우 시설내부의 24시간 평균온도와 야간온도 관리가 중요하며, 광량의 증가에 따른 24시간 평균온도의 급격한 증가되지 않도록 하고, 초저녁의 온실내부의 온도는 충분한 착과를 위해 온도를 낮게 관리하는 것이 착과량을 증가 시킬 것으로 사료된다. 네덜란드에 비해 일출후 우리나라의 시간당 광도의 증가율이 2배 정도 높기 때문에 식물이 증산할 수 있는 수분이 근권부에 충분하지 못하는 경우도 종종 있기 때문에 급격한 배지내의 EC가 증가하고 광량이 높은 계절에 충분하지 못한 급액량은 작물의 수분스트레스를 유발하게 되므로 착과율이 감소된다. 4년 동안 단위면적당 생산량이 꾸준히 증가하였고, 5년차 연구에서 생산성을 높이기 위한 외부 온도가 높지 않을시 스크린의 사용을 억제하고 3월부터 - 5월중순경에 근권부의 수분공급과 염류농도가 급격한 변화가 없도록 관리 한다면 생산성이 극대화 될 수 있을 것으로 사료된다.

[연구 2] 초저녁 온도 관리가 파프리카 생육 및 생산성에 미치는 영향

연구목적

주야간 온도 편차가 클 때 파프리카의 착과가 증가되며, 특히 초저녁온도관리가 착과율을 증가시키는데 매우 중요하다. 최근 지열히트펌프를 이용하여 저온기에 온실 난방과 고온기의 온실냉방이 가능하게 되었다. 네덜란드와 한국의 파프리카 생산성이 큰 차이는 파프리카 연구 사업 1년차와 2년차에 보고한바와 같이 생육량은 유사하지만 줄기당 수확과실수가 네덜란드 파프리카 농가에 비해 50%수준이하이기 때문에 한국의 파프리카 재배에서는 착과율이 낮다는 것을 알 수 있다. 초저녁 온실 온도조건을 달리하여 착과율을 증대하여 수확량을 증가시키고, 파프리카 생육 기간 중 생육량을 모니터링하고 각 기관별 건물분배율을 분석하고자 하였다. 광환경은 일정하게 유지하고 온실내부의 초저녁 온도 조건을 달리할 경우 건물생산량과 과실의 건물 생산량을 측정하고 이를 파프리카 생육량을 예측할 수 있는 시물레이션 모델 검증의 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

공시재료는 파프리카 품종 ‘오렌지글로리’와 ‘스페셜’을 2010년 1월 8일에 파종하여 3월 18일날 전남대학교 부속농장 벤로형 유리온실(9.6m*12m*2구역)에 정식하였다. 초저녁 저온처리는 5월 14일부터 시작하여 7월 15일까지 외부 온도가 고온인 시기에 냉방시스템을 이용하여 온실 냉방을 하였다. 처리기간동안 총 5회 식물체 생육조사를 수행하였으며, 각 기관의 생체중, 건물중, 엽면적, 과일수 및 과중을 측정하여 처리별로 비교하였다.

결과 및 고찰

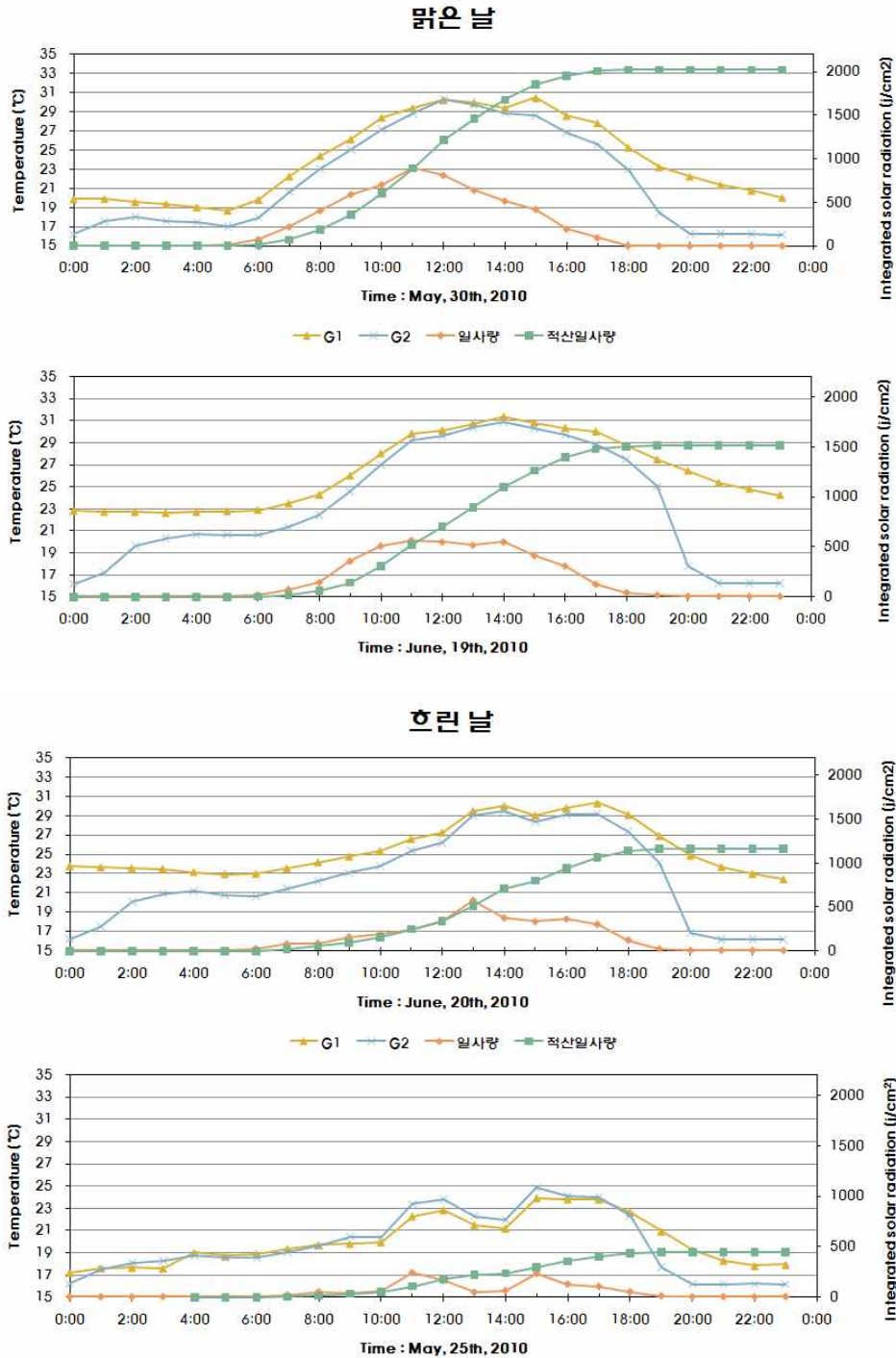


Fig. 11. Hourly greenhouse temperature without cooling (G1) and with cooling (G2), light intensity and solar radiation integral at sunny day and cloudy day.

온실의 온도조절은 냉방시스템과 마그마 복합환경조절기에 의해 제어가 이뤄졌으며, 제어기의 온도 설정값은 초저녁 시간대에 16°C를 설정하였다. 맑은날과 흐린날의 처리구의 초저녁 온도는 설정값과 거의 일정하게 유지 되었다(Fig. 11).

Table. 5. 대조구와 처리구의 일평균온도, 주간평균, 초저녁 및 야간평균온도와 주야간온도 편차(DIF) 비교

	대조구	처리구
일평균 온도	25.2℃	23.1℃
주간 온도	27.2℃	26.1℃
초저녁 온도	25.4℃	21.6℃
야간 온도	22.7℃	19.4℃
DIF	4.6℃	7.1℃

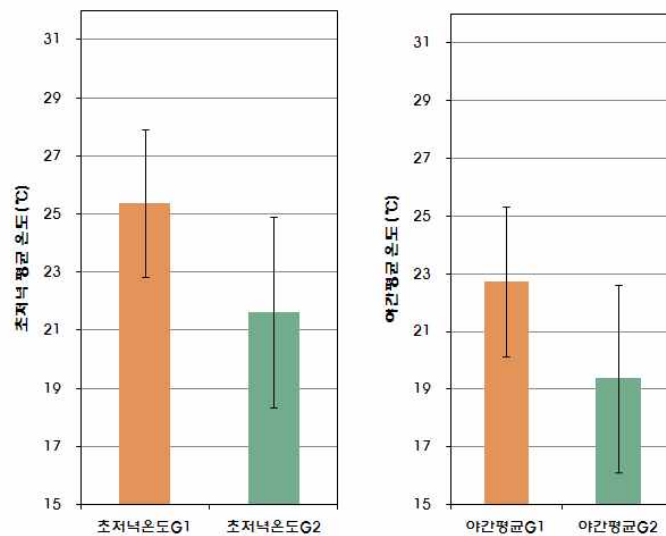


Fig.12. 대조구(G1)와 처리구(G2)의 초저녁온도 및 야간 평균온도 비교

재배기간 전체 기간동안의 초저녁의 냉방은 일평균온도를 2.1℃를 감소시켰으며, 일몰 직전 1.5시간 전부터 냉방을 시작하였기 때문에 주간 평균온도는 1.1℃ 감소 시킬 수 있었다. 초저녁 4-5시간의 냉방은 초저녁온도를 대조구에 비해 3.8℃ 감소시켰으며, 이는 야간 평균온도 3.3로를 감소시킬 수 있었다. 초저녁 냉방은 주간 평균온도와 야간 평균온도의 차이를 크게 하여 대조구보다 처리구에서 2.5℃ 더 낮은 DIF를 유지할 수 있었다(Table 5와 Fig. 12).

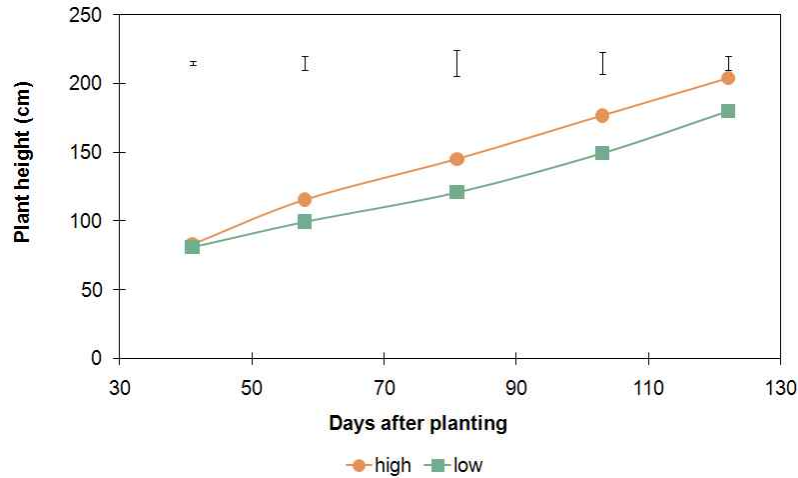


Fig. 13. Effect of early night temperature on plant height of sweet pepper plant. High and low on the graph indicate control and early night temperature treatment, respectively.

초저녁에 냉방을 한 처리구에서는 대조구에 비해 초장이 23.9cm 정도 낮게 나타났다. 주야간 평균온도차이가 7.1°C로 대조보다 차이가 심하게 나타나 평균 절간장이 길어 초장이 길진않았다. 대조구에서는 24시간 평균온도가 높아 절간의 수가 처리구에 비해 2마디 더 많았던 것으로 보아 파프리카에서는 초저녁온도의 편차와 주야간온도 편차가 크다고 해서 마디가 길어지는 효과는 낮았다 (Fig. 13과 Fig. 14).

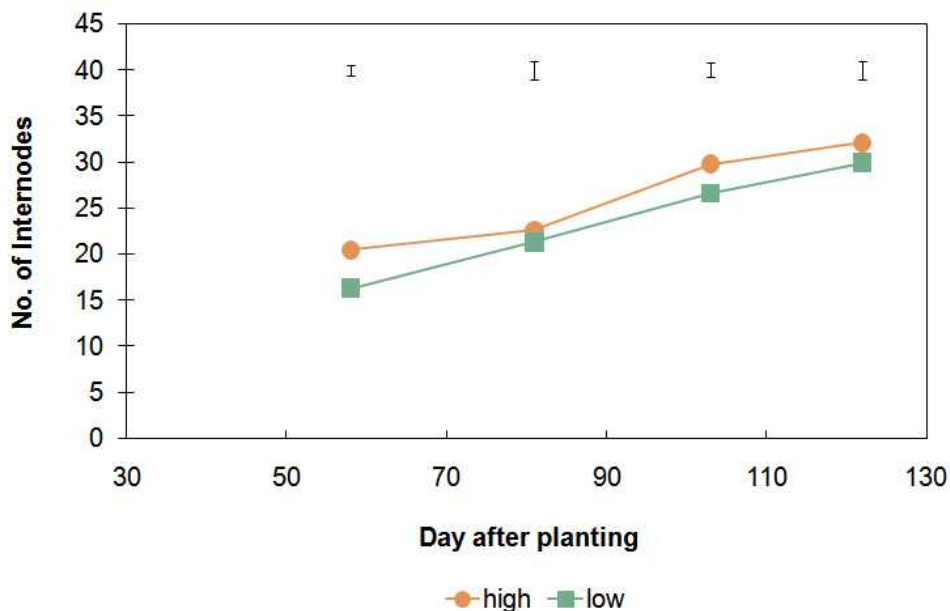


Fig. 14. Effect of early night temperature on number of internodes of sweet pepper plant. High and low on the graph indicate control and early night temperature treatment, respectively. Bars indicate LSD at 5%.

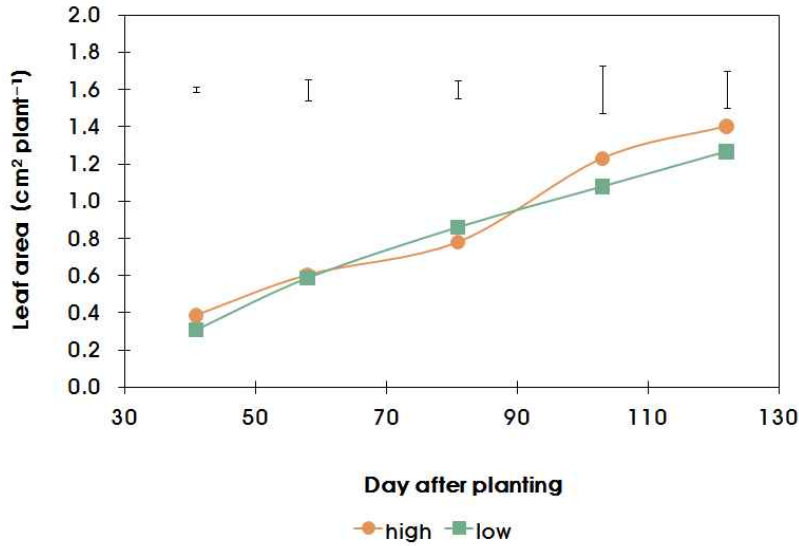


Fig. 15. Effect of early night temperature on plant leaf area of sweet pepper plant. High and low on the graph indicate control and early night temperature treatment, respectively. Bars indicate LSD at 5%.

Fig. 15는 식물체의 엽면적의 처리구와 대조구를 비교하였으나 식물체의 엽면적의 차이는 거의 나타나지 않았다. 24시간 평균온도가 증가할 수 록 거의 대부분의 과채류의 발육속도가 증가하는 경향을 보이지만 본 연구에서는 냉방처리기간동안의 평균온도는 처리구 23.1°C와 대조구 25.2°C로 2.1°C 차이에서는 파프리카의 발육속도에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다 (Fig. 13과 Fig. 14).

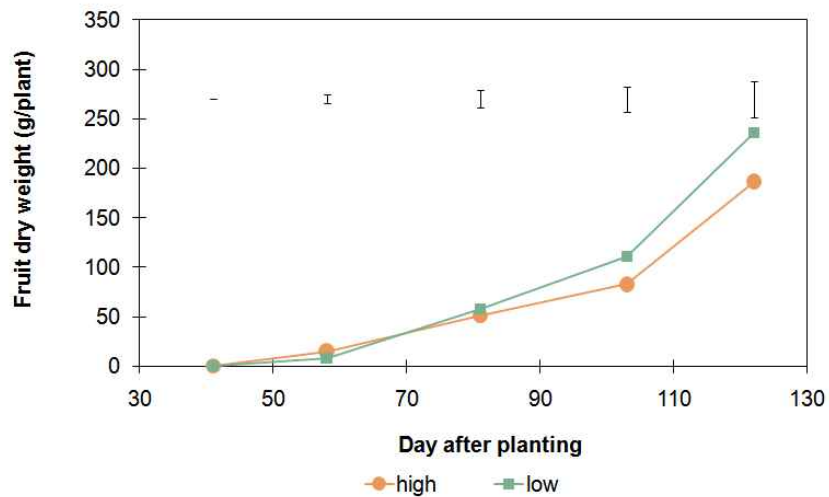


Fig. 16. Effect of early night temperature on fruit dry weight per sweet pepper plant. High and low on the graph indicate control and early night temperature treatment, respectively. Bars indicate LSD at 5%.

고온기의 초저녁 냉방은 파프리카의 발육속도에 미치는 영향은 미비하였지만, 과실의 건물생산량 26.5% 증가하였다. 식물의 생체량이 높은 조건에서의 야간 고온은 작물의 호흡량을 과도하게 높여 영양생장기관(신엽과 새로신장하는 줄기)의 동화산물의 요구량을 증가시켜 꽃과 어린과실로의 동화산물의 이동이 낮아지기 때문에 착과가 잘 되질 않는다. 본 연구에서는 초저녁 냉방은 착과율을 증가시켜 과실로의 동화산물의 분배가 증가하는 것으로 나타났다 (Fig 16).

결론

고온기의 초저녁 냉방은 24시간 평균온도를 야간 감소하였고, 파프리카의 발육속도에 영향은 미미하게 미쳤다. 초저녁의 저온처리는 주야간온도 편차를 증가시켰으나, 파프리카의 초장에 영향을 미치지 않았다. 반면 과실의 건물중은 초저녁 온도처리구에서는 대조구에 비해 26.5%를 증가하였기 때문에 과실로의 동화산물의 분배가 대조구에 비해 더 높은 것을 알 수 있었다. 이는 저광환경하에서의 고온기와 작물의 생육량이 많은 시기에 낙과율이 증가하기 때문에 이러한 환경하에서의 낙과 예방은 영양생장기관의 호흡량을 최소화시킬 수 있게 야간 온도를 감소시켜야 할 것으로 사료된다. 특히 지열히트펌프시스템은 난방과 냉방을 동시에 할 수 있는 복합적인 시스템임으로 시설설비시 냉난방이 가능할 수 있도록 설비하는 것이 시스템이 용효율과 생산성을 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다.

연구 2의 참고사항

본 연구는 파프리카 연구사업의 3년차 연구기간동안 수행하였으나, 2010년 자료의 입력과 분석이 지연되어 3년차 연차보고서에 보고되지 않았으므로, 4년차에 연차보고서를 통하여 연구 결과를 보고함.

[연구 3] 국내 파프리카의 재배 기간동안 동적 건물생산량 조사를 위한 주기적인 파괴조사 및 결과 분석

본 연구는 네덜란드에서 Wageningen University에서 개발된 온실작물 시뮬레이션 모델의 검증과 한국 파프리카 농가에 생산성 예측 및 환경조절에 필요한 의사 결정을 지지하기 위해 아래와 같은 연구를 수행하였다. 시뮬레이션 모델은 작물의 광합성과 호흡을 기반으로 광수광량과 이산화탄소 흡수, 광이용효율에 의한 단위면적당 동화산물을 계산하고 각 동화산물의 분배율에 따라 각 기관으로 분배된 동화산물은 건물중으로 단위환산을 하여 그 결과 값이 출력된다. 모듈의 입력값은 외부광량, 온실내부의 온도 및 이산화탄소농도, 단위면적당 초기 엽, 줄기, 뿌리, 과실(꽃)의 건물중이다. 모듈의 검증을 위해 다양한 처리를 하여 작물의 생육량을 달리하는 것이 매우 중요하며, 이러한 모델을 이용하여 상용화된 온실의 작물의 생육정보를 확보하여 모델 검증이 필요하다.

모델에서의 수광량을 계산하기 위해선 단위면적당 엽의 면적이 필요하며, 엽면적지수는 본 연구에서는 모델의 검증을 위한 목적을 두고 있기 때문에 입력하였으며, 각 기관별 건물중 분배율도 입력값으로 모델을 검증하였다.

다음은 각 연구 분야의

--아래----

Exp.3-1. 고압나트륨등 보광이 파프리카의 생산량에 미치는 영향

Exp.3-2. LED 청색 적색 혼합광이 파프리카 생육에 미치는 영향

Exp.3-3. 재식밀도가 파프리카 생육에 미치는 영향

Exp.3-4. 외출기와 두출기 재배가 단위면적당 파프리카의 생육에 미치는 영향

Exp.3-1. 고압나트륨등 보광이 파프리카의 생산량에 미치는 영향

연구목적

파프리카의 착과는 광도와 착과에 효과적인 광도 및 광량의 지속기간과 밀접한 관계를 가지고 있을 것으로 추정된다. 외부광 보다 추가 광을 확보하기 위해 인공광원(고압나트륨등400W, Philips)를 파프리카 재배 기간동안 조사하여 착과량 및 과실 수확량을 비교 분석하고 생육량 추정 모델의 검증자료로 활용하고자 본 연구를 수행 하였다.

재료 및 방법

공시재료는 파프리카 품종 ‘스페셜’ 을 2010년 8월 26일에 파종하여 9월 29일에 전남대학교 부속농장 벤로형 유리온실(9.6m*12m*2구역)에 정식하였다. 실험기간은 2010년 9월 29일부터 4월 8일까지 실험조사를 하였다. 고압나트륨등의 조사시간은 16시간으로 외부 광도에 무관하게 절대시간에 의해서 조사하였다. 고압나트륨등의 조사 시점은 겨울철 저광기인 2010년 12월 14일부터 실험 종료일까지 05:00-21:00 까지 일 16시간동안 연속 조사하였다. 동일한 온실에서 고압나트륨등과 대조구를 배치하였으며, 고압나트륨등의 PPF(Photosynthetic photon flux density, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)은 $57.48 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었으며, 대조구는 처리구의 간접적인 영향을 받아 $0.626 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이 조사되었다.

고압나트륨의 조사는 증산량을 증가시키기 때문에 대조구와 비교하여 배액율을 일정하게 양액 제어기를 통해 급액시간과 급액량을 조절하여 관리 하였다. 정식 후 총 11회 식물체 생육조사를 수행하였으며, 각 기관의 생체중, 건물중, 엽면적, 과일수 및 과중을 측정하여 처리별로 비교하였다. 과실의 수확은 과실이 90%이상 착색이 진행된 과실을 수확하여 생과중, 과실의 특성 및 건과중을 조사하였다.

Wageningen Univeristy에서 사용된 기 검증되었던 생육량 예측 시뮬레이션 모델인 TOMSIM(Heuvelink, 1996)과 Chrysim(Lee, 2002)을 이용하여 파프리카 성장량을 검증하였다. TOMSIM이나 Chrysim에서 소스파일 내의 모듈 수정을 하지 않았고, 파프리카의 정식 시 단위면적당 각 기관의 건물중, 엽면적지수, 외부광량, 시설내부의 24시간 평균온도, 주간 이산화탄소 농도, 각 기관별 건물분배율을 모델에 입력하여 네덜란드에서 사용된 모듈이 국내에서 재배된 파프리카의 생육량 예측을 위해 모델의 적합성을 검증하였다. 시뮬레이션 모델의 검증은 모델 내부의 광 모듈의 수정을 하지 않았기 때문에 인공광량을 추가할 수 없었기에 대조구에서 얻은 생육조사값과 모델에서 계산된 생육량을 비교하였다.

결과 및 고찰

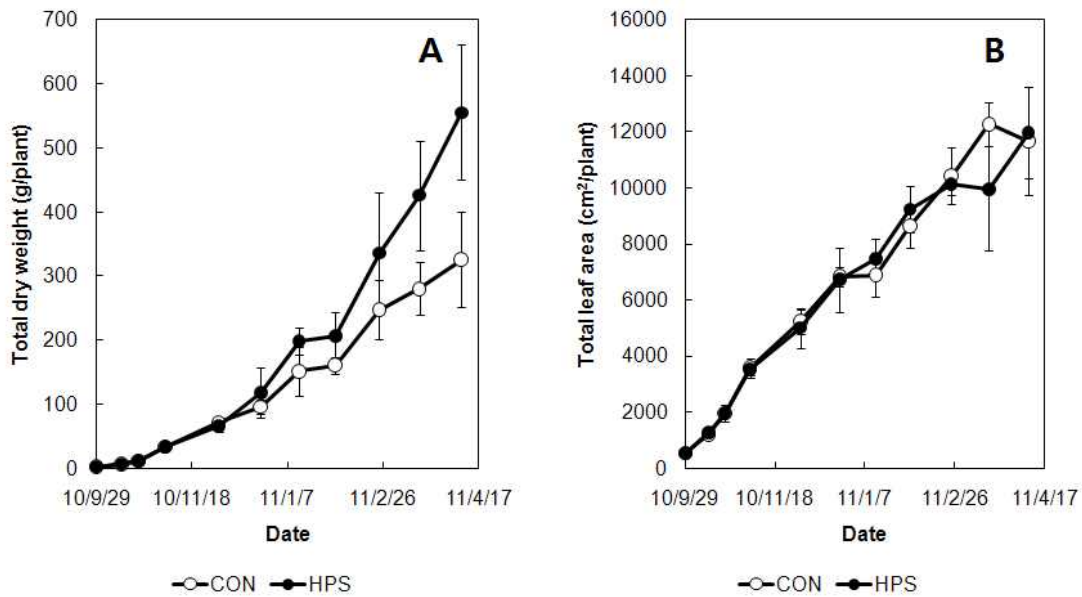


Fig. 17. Effect of assimilate lighting (HPS) on plant dry mass production (A) and plant leaf area of sweet pepper plant, cv. Special. Plants were grown from 29 september, 2010 to 8 April 2011. average of photosynthetic photo flus density was $57.48 \text{ umol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ for high pressure sodium lamps (HPS).

정식후 저광기에 들어서는 12월부터 고압나트륨등 400W를 16시간 조사하여 재배한 파프리카의 식물체당 건물생산량은 연구 종료일인 2011년 4월 8일에 대조구(CON)보다 식물체당 평균 건물생산량이 70% 높게 나타났다. 겨울철 저광기의 고압나트륨등 조사는 식물체당 건물 생산율을 평균 1.94배 높였으며, 특히 광량이 증가하는 계절에 그 차이는 통계적으로 매우 상이하게 차이를 발생하였다. 식물체당 엽면적의 차이는 발생하지 않았기 때문에 식물의 건물생산성이 높은 이유는 단위엽면적당 수광량이 HPS 처리구 높았기 때문으로 사료된다.

인공광 처리구에서는 단위면적당 과일의 생체중 16.8kg/m^2 이었고, 대조구는 7.626kg/m^2 으로 생산성이 대조구에 비해 2.2배로 매우 높게 나타났다(Fig. 18). 실험을 수행한 온실의 규모는 $9.6\text{m} \times 12\text{m}$ 의 온실의 절반으로 나눠 온실의 왼편인 동쪽 편에 고압나트륨등을 설치하였고, 좌측인 서쪽편에 대조구를 배치하였으며, 대조구 쪽은 처리구 쪽의 자연광 투과율이 4-7% 정도 낮게 나타났기 때문에 온실의 구조나 방향에 의한 차이는 그리 크지 않을 것으로 사료된다.

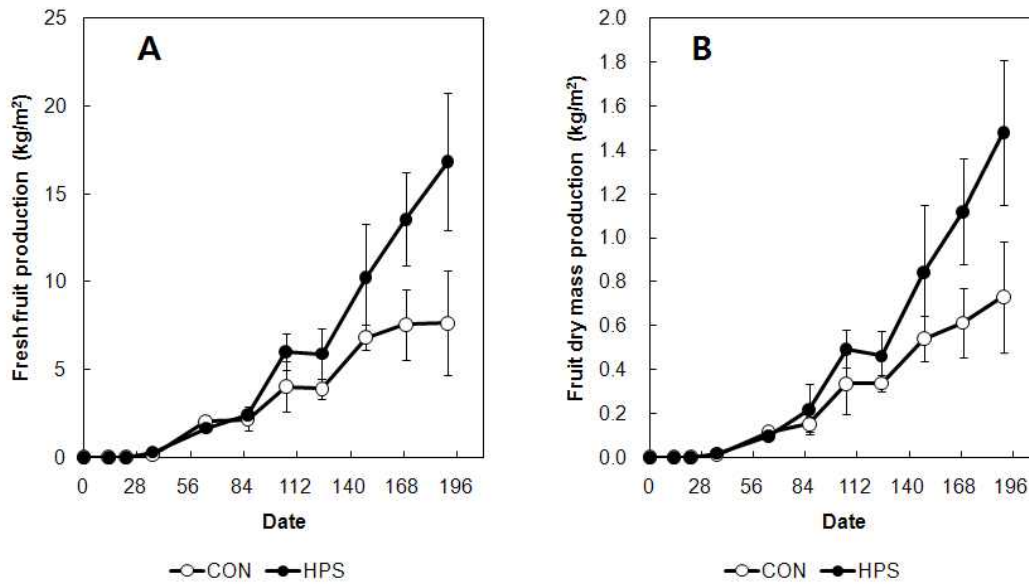


Fig. 18. Fresh fruit production (A) and fruit dry mass production (B) of sweet pepper, cv. Special, per unit ground area without (A) and with assimilate lighting (B). Plants were grown from 29 September, 2010 to 8 April 2011. average of photosynthetic photo flus density was 57.48 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ for high pressure sodium lamps (HPS).

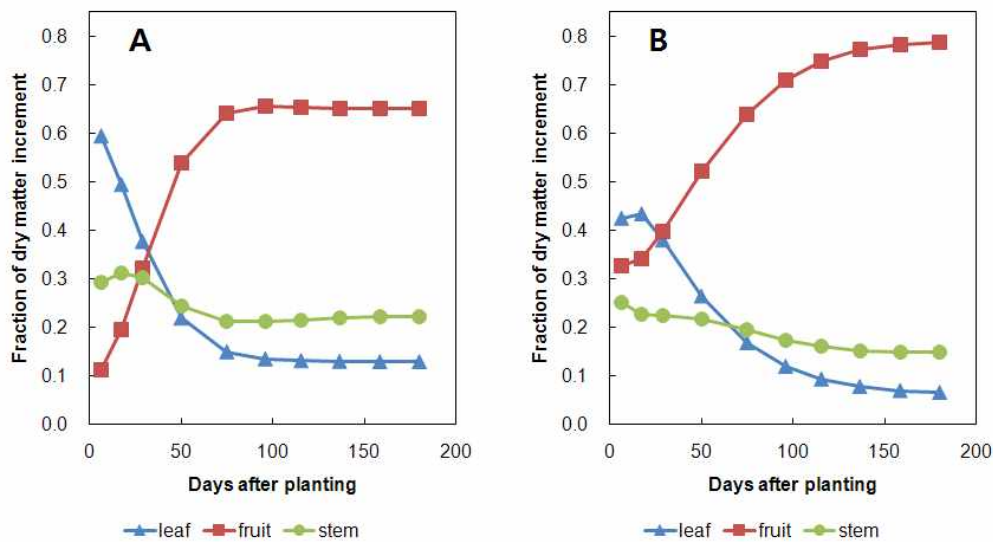


Fig. 19. Comparison of fraction of dry matter partitioning to leaf stem and fruit of sweet pepper plant, cv. Special, without (A) and with assimilate lighting (B). Plants were grown from 29 September, 2010 to 8 April 2011. average of photosynthetic photo flus density was 57.48 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ for high pressure sodium lamps (HPS).

Fig. 19는 총 건물증 증가량 대비 각 기관의 건물증가량의 비율로 나타냈다. 총 건물증의 증가량에 대한 각 기관별로 동화산물의 이동을 간접적으로 나타낸 지수이며, 이는 일중 동화산물의 총 증가량에 따른 각 기관별 건물의 분배율로 나타낸다. 정식 이후 일중 동화산물의 이동은 주로 엽, 경 그리고 생식기관으로 순으로 이동되어 지다고 화기형성된 이후부터 생식기관으로 동화산물의 분배가 급격히 늘어나며, 대조구에서는 정식후 60일 이후 과실로의 동화산물의 분배가 65% 수준으로 유지되었으며, 영양생장 기관인 엽은 13%, 줄기로의 동화산물의 이동은 21.5% 수준으로 유지되었다(Fig 19). 반면 고압나트륨등을 조사한 처리구에서는 영양생장기관으로 동화산물의 이동은 초기에 높았으나 정식 후 4주 이후인 28일 경부터 영양생장 기관인 엽과 줄기 보다 더 많은 동화산물이 과실로 이동되었다. 이는 광량/광도가 생식생장으로 전환을 시킨다는 것을 의미하며, 정식 후 136일까지 꾸준히 증가하다가 동화산물의 이동이 전체 동화산물의 양의 78%까지 이동되었다(Fig. 19). 과실로의 동화산물의 이동은 과실의 착과수와 착과된 과실의 크기에 영향을 받기 때문이다. 고압나트륨등의 광량은 $57.48 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 정도 수준이지만 파프리카의 생산성은 대조구에 비해 매우 높은 수준으로 유지되었다.

결론

파프리카 재배에 있어 광이 생산성에 미치는 영향은 매우 크게 나타났다. 특히 저광기에 인공 광원의 추가 조사는 생산성은 2배 정도 높였으며, 착과율 및 착과량과 단위면적당 수확량을 높이는 효과가 매우 컸다. 단위면적당 착과율은 각 기관의 동화산물의 분배 패턴을 다르게 하였으며, 고압나트륨등의 처리에서의 과실로의 분배된 동화산물의 비율이 거의 78%까지 유지할 수 있었다. 일반적으로 단위면적당 착과량이 많은 경우 엽과 줄기의 건물생산량이 낮아 지지지만 본 연구에서는 대조구에 비해 낮은 동화산물이 영양생장기관으로 분배되었지만, 충분히 과실을 생산할 수 있는 엽면적을 꾸준히 확보 할 수 있었다. 본 연구는 상용화된 온실의 규모보다 작은 실험온실에서 생산을 하였기 때문에 생산량에 차이가 더 많이 나타날 수 있었을 것이다. 향후 상용화온실에서의 인공광원의 활용한 생산성 차이에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Exp.3-2. LED 청색 적색 혼합광이 파프리카 생육에 미치는 영향

연구목적

최근 시설원예에서의 LED사용이 급격히 늘어나고 있다. 고압나트륨등을 이용시 전기소모량이 광효율이 낮고 과도한 열이 식물체로 전달되어 지기 때문에 에너지 효율이 낮다는 평가를 받고 있다. 반면 LED의 사용은 전기에너지에 대한 광효율이 높고 광합성 필요한 파장을 조사할 수 있는 장점을 가지고 있기 때문에 네덜란드에서 고압나트륨등의 대체광으로 연구중에 있다. 본 연구에서는 기 개발된 LED를 조사하여 파프리카의 생육과 생육양상에 연구와 생산성 비교 연구를 수행 하였다. 기간별로 조사한 단위면적당 엽면적과 엽, 줄기 및 생식기관의 건물중은 모델 검증에 활용하고자 하여 본 연구를 수행하게 되었다.

재료 및 방법

공시재료는 파프리카 품종 ‘스페셜’ 을 2010년 10월 27일에 파종하여 12월 14일에 전남 대학교 부속농장 벤로형 유리온실(9.6m*12m*2구역)에 정식하였다. 실험기간은 2010년 12월 14일부터 2011년 5월 24일까지 실험조사를 하였다. LED의 조사시간은 16시간으로 외부 광도에 무관하게 절대시간에 의해서 조사하였다. LED등의 조사 시점은 겨울철 저광기인 2010년 12월 14일부터 실험 종료일까지 05:00-21:00 까지 일 16시간동안 연속 조사하였다. 동일한 온실에서 LED등과 대조구를 배치하였으며, LED등의 PPF(Photosynthetic photon flux density, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)은 $7.06 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었으며, 대조구는 처리구의 간접적인 영향을 받아 $0.08 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이 조사되었다.

정식 후 일주일에서 3주간격으로 총 10회 식물체 생육조사를 수행하였으며, 각 기관의 생체중, 건물중, 엽면적, 과일수 및 과중을 측정하여 처리별로 비교하였다. 과실의 수확은 과실이 90%이상 착색이 진행된 과실을 수확하여 생과중, 과실의 특성 및 건과중을 조사하였다. Wageningen University에서 사용된 기 검증되었던 생육량 예측 시뮬레이션 모델인 TOMSIM(Heuvelink, 1996)과 Chrysim(Lee, 2002)을 이용하여 파프리카 성장량을 검증하였다. TOMSIM이나 Chrysim에서 소스파일 내의 모듈 수정을 하지 않았고, 파프리카의 정식 시 단위면적당 각 기관의 건물중, 엽면적지수, 외부광량, 시설내부의 24시간 평균온도, 주간 이산화탄소 농도, 각 기관별 건물분배율을 모델에 입력하여 네덜란드에서 사용된 모듈이 국내에서 재배된 파프리카의 생육량 예측을 위해 모델의 적합성을 검증하였다. 시뮬레이션 모델의 검증은 모델 내부의 광 모듈의 수정을 하지 않았기 때문에 인공광량을 추가할 수 없었기에 대조구에서 얻은 생육조사값과 모델에서 계산된 생육량을 비교하였다.

결과 및 고찰

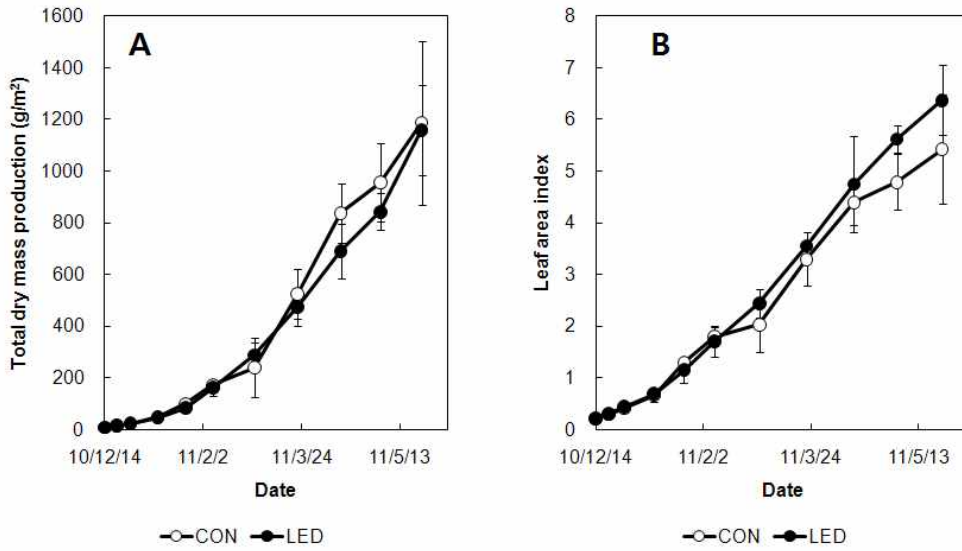


Fig. 20. Effect of assimilate lighting (LED) on total dry mass production (A) and leaf index (B) of sweet pepper plant, cv. Special. Plants were grown from 14 December, 2010 to 24 May 2011. Average of photosynthetic photo flus density of LED was 7.06 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

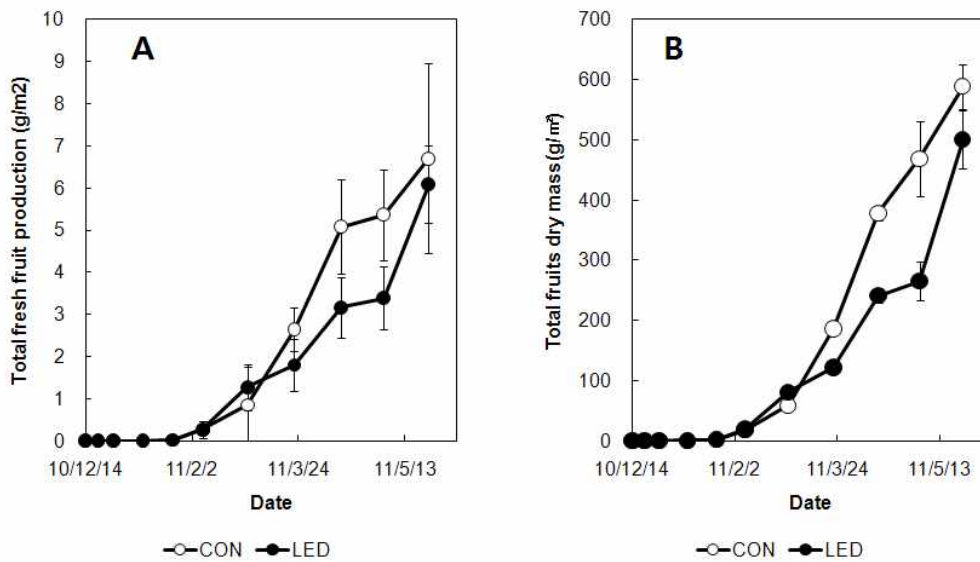


Fig. 21. Effect of assimilate lighting (LED) on total fresh fruit production (A) and total fruit dry mass (B) of sweet pepper plant, cv. Special. Plants were grown from 14 December, 2010 to 24 May 2011. Average of photosynthetic photo flus density of LED was 7.06 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

LED처리구에서의 엽면적지수는 평균 13% 높게 증가하였으며, 건물생산량은 대조구에 비해 8%감소하였다. 일반적으로 엽면적 지수가 높으면 수광량이 증가하고 단위면적당 광합성이 증가하여 건물생산성이 높지만 본 연구에서는 단위면적당 건물생산량이 낮게 나타났다(Fig. 20). 단위 엽면적 당 건물생산성이 대조구에서는 220g/m^2 , 처리구에서는 173.14g/m^2 으로 나타나, 단위면적당 생산효율이 대조구에 비해 78.5% 수준으로 나타났다. 단위면적당 총생과중은 대조구가 처리구에 비해 10%높게 나타났으며, 실제 LED 처리구의 과실 생산성이 낮은 것으로 나타났다 (Fig. 21). LED 처리구에서의 엽면적 지수가 높음에도 불구하고 낮은 단위 면적당 건물생산량은 LED 처리구에서의 광이용효율이 낮은 것으로 나타났다 (Fig. 20 과 Fig. 22). LED 처리구의 광이용효율은 대조구에 비해 12.5% 포인트 낮게 나타났다(Fig. 22). LED의 효과가 낮은 이유는 명확한 자료를 조사하지 못 하였지만 광질에 따라 반응이 달라 질 것으로 사료된다. LED의 처리는 각 기관별 동화산물의 분배 패턴을 대조구에 비해 매우 상이하게 나타났다. 영양생장기관으로의 건물분배율은 대조구가 초기에 10% 포인트 높게 유지되었고, 그 이후 급격히 감소하는 경향을 보였으나, LED 처리구에서는 영양생장기관으로 건물배율이 정식후 80일이 넘을 동안 높은 건물배율을 보였다. 과실로의 건물 분배율은 대조구에서 정식후 80일 이후 지속적으로 60%를 유지 하였지만, LED 처리구에서는 낮은 상태로 유지 되었다. LED는 초기의 착과율이 대조구보다 낮았고 과실의 생장속도도 낮게 나타났다(Fig. 21).

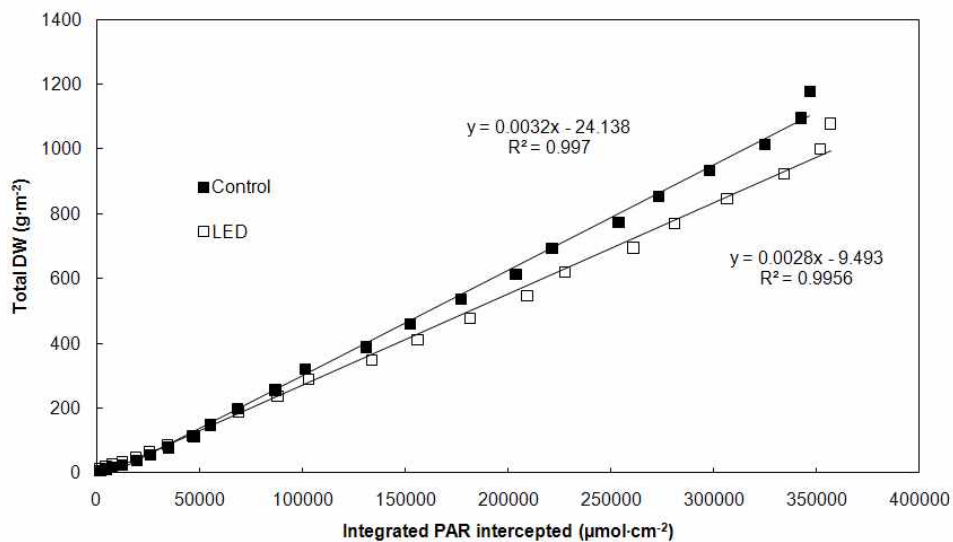


Fig. 22. A linear relationship between integrated PAR intercepted and total dry mass production (Total DW) of sweet pepper crop, cv. Special. Plants were grown from 14 December, 2010 to 24 May 2011. Average of photosynthetic photo flux density of LED was $7.06 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

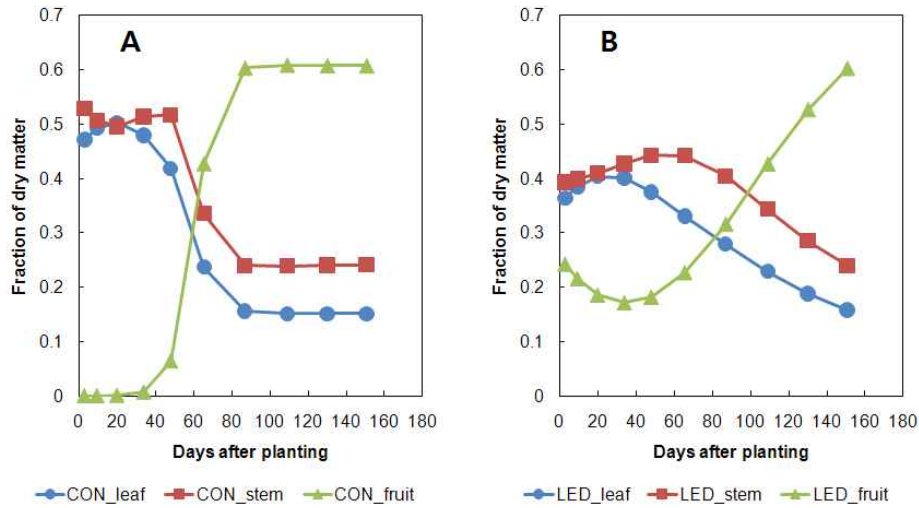


Fig. 23. Comparison of fraction of dry matter partitioning to leaf stem and fruit of sweet pepper plant, cv. Special, without (A) and with LED lighting (B). Plants were grown from 14 December, 2010 to 24 May 2011. Average of photosynthetic photo flus density of LED was $7.06 \text{ umol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

결론

단위면적당 LED의 처리가 엽면적지수가 대조구에 비해 높게 나타났으나, 단위면적당 건물생산성은 LED처리구에 비해 낮았다. LED 처리구의 단위광량당 건물생산성은 대조구에 비해 12.5%가 낮았기 때문이라 사료된다. LED 처리는 과실의 생산량이 대조구보다 낮았기 때문에 초기에 과실의 착과량이 부족하면 광이용효율이 낮아 진다는 이와 차 (2009)의 보고와 유사한 결과를 얻었다. 적색과 청색의 혼합광하에서 파프리카의 착과율과 낙과율에 대한 연구가 없어 본 연구에서 얻은 결과를 비교할 수 없었지만 광질과 파프리카의 착과에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Exp.3-3. 재식밀도가 파프리카 생육에 미치는 영향

연구목적

재식밀도는 단위면적당 생산량과 밀접한 관계를 가지고 있다. 현재 파프리카 농가들의 재식밀도는 외부광환경이나 시설내부의 광투과율에 대한 자료가 없이 재식밀도를 과도하게 높이거나, 또는 재식밀도는 너무 낮아 생산성이 감소하는 경우도 있다. 본 연구에서는 재식밀도에 따라 파프리카의 생육량을 분석하고 광투과율이 높은 첨단 온실 적정 재식밀도를 찾고자 하였다. 뿐만 아니라 재식밀도는 단위면적당 초기 광수량에 영향을 주므로 시뮬레이션 모델을 검증을 위해 매우 중요한 생육자료이다. 본 연구의 목적은 재식밀도에 따른 파프리카의 생육비교와 재식밀도에 따른 시뮬레이션 모델의 검증을 수행하였다.

재료 및 방법

공시재료는 파프리카 품종 ‘오렌지 글로리’ 을 2010년 10월 27일에 파종하여 12월 06일에 강진군 강진읍 목리에 소재한 아트팜영농조합법인 제 2농장에서 벤로형 유리온실에 재식밀도를 달리하여 정식하였다. 실험기간은 2010년 12월 06일부터 2011년 6월 9일까지 실험조사를 하였다. 단위면적당 줄기밀도는 6.08stems/m^2 , 6.81stems/m^2 (대조구), 7.85stems/m^2 로 하여 정식하였다. 양액 공급을 위한 단위면적당 드리퍼 개수는 단위면적당 식물체 개수(주당 두줄기 유인)와 동일하게 관리하였으며, 생육 기간별 배액율을 모니터링하여 근권환경은 유사하게 관리하였다.

정식 후 일주일에서 4주간격으로 총 11회 식물체 생육조사를 수행하였으며, 각 기관의 생체중, 건물중, 엽면적, 과일수 및 과중을 측정하여 처리별로 비교하였다. 과실의 수확은 과실이 90%이상 착색이 진행된 과실을 수확하여 생과중, 과실의 특성 및 건과중을 조사하였다.

결과 및 고찰

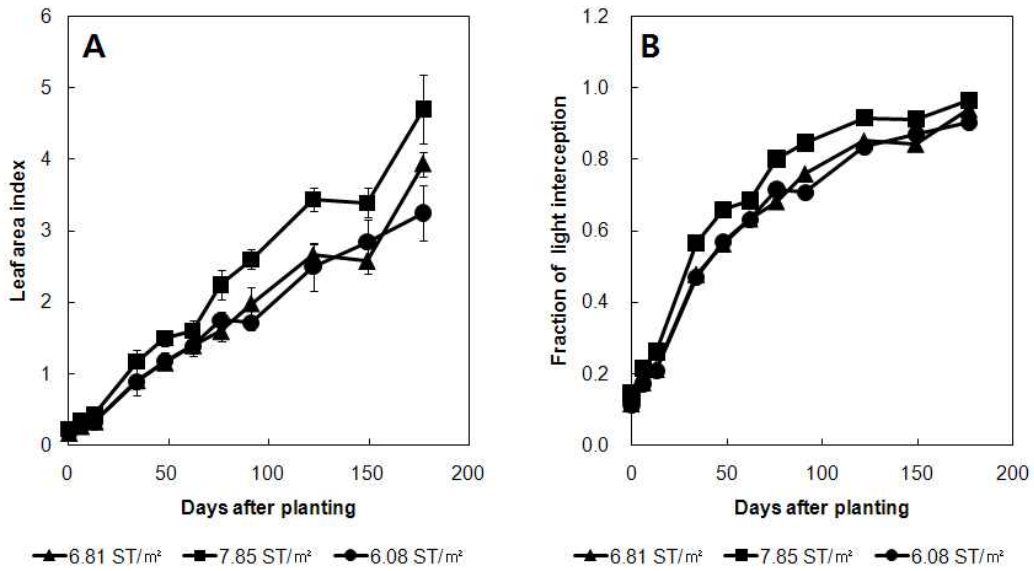


Fig. 24. Effect of stem density on leaf area index and fraction of light interception of sweet pepper crop grown in commercial greenhouse (2ha) in Gwangjin county.

단위면적당 줄기 밀도의 증가는 단위면적당 엽면적의 증가와 수광량의 증가를 초래한다. 본 상용화된 온실의 일반적인 줄기 밀도는 6.81 줄기/m²로 줄기 밀도의 증감에 따라 엽면적지수의 증감은 동일하게 나타났다(Fig.24). 각 줄기 밀도가 7.85stems/m²의 경우 수광율이 50%에 도달하는 시점은 정식후 28일정도였지만 그 외 줄기 밀도에서는 수광율이 50%에 도달하는 시점은 정식후 40여일이 걸렸다. 12일간의 줄기밀도가 높은 처리구에서는 누적광량이 많았다는 것을 알 수 있으며, 누적광량에 따라 비례적으로 단위면적당 건물 생산량이 증가 될 수 있을 것으로 판단되었다.

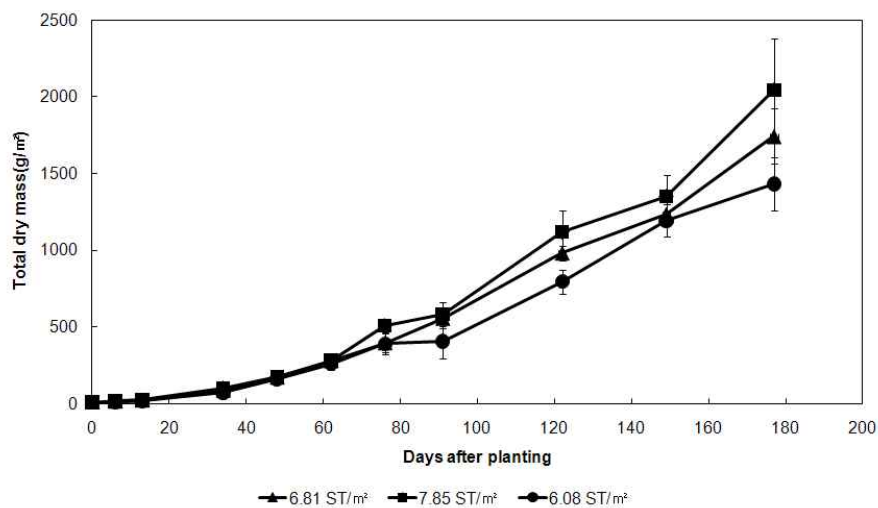


Fig. 26. Effect of stem density on total dry mass production of sweet pepper crop grown in commercial greenhouse (2ha) in Gwangjin county.

줄기 밀도에 따른 단위면적당 지상부의 건물생산량은 줄기 밀도가 높을 수 록 증가하였다 (Fig. 25). 줄기밀도에 따라 건물 생산량의 증가는 단위면적당 수광량이 높은 처리구인 7.85stems/m²에서 가장 높았고 수광량이 낮은 6.08stems/m²에서 가장 건물생산량이 낮았다. 수확량의 상승은 단위면적당 동화산물의 생산량이 많아야 하며, 또한 동화산물의 과실의 이동이 높을수록 단위면적당 생산성이 증가한다. 반면 재식밀도가 높다고 해서 단위면적당 생산성이 높아지는 것은 아니지만 최근 첨단 유리온실의 온실내부로의 광투과량이 증대되고 있다면 기존의 재식밀도보다 증가시켜 주는 것이 생산성에 유리하다고 본 연구 결과에 의거하여 판단된다.

단위면적당 건물생산량이 많았던 이유는 과실을 제외하고 영양생장기관인 엽과 줄기의 합은 엽면적지수의 증가에 비례하는 것으로 나타났다(Fig. 27). 단위엽면적지수의 1이 증가하면 건물생산량은 139.9g의 영양생장기관의 증가율을 나타냈다.

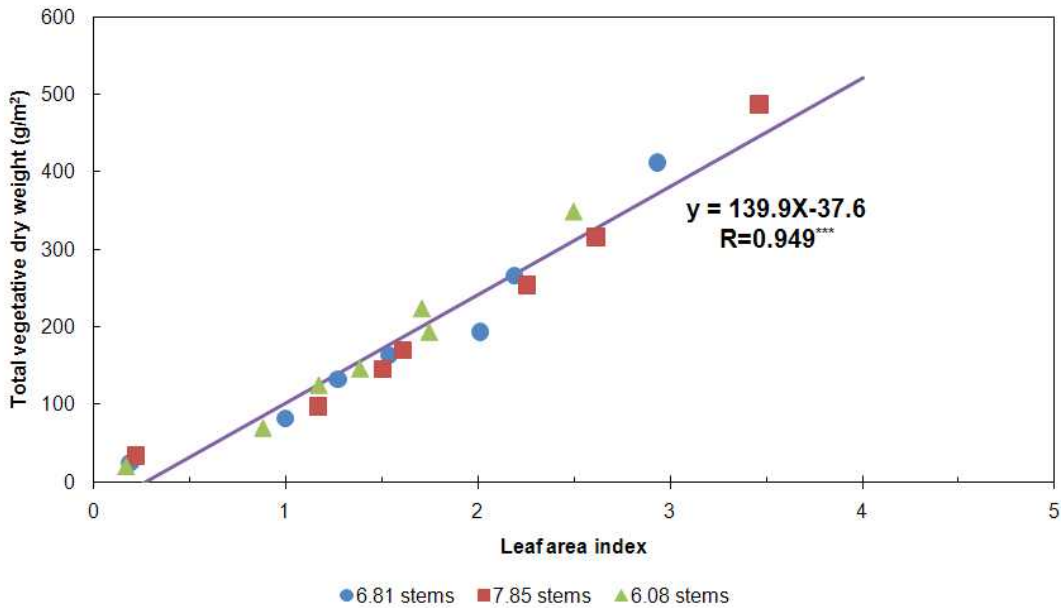


Fig. 27. A linear relationship between leaf area index and total vegetative dry mass production of sweet pepper crop grown in commercial greenhouse (2ha) in Gwangjin county.

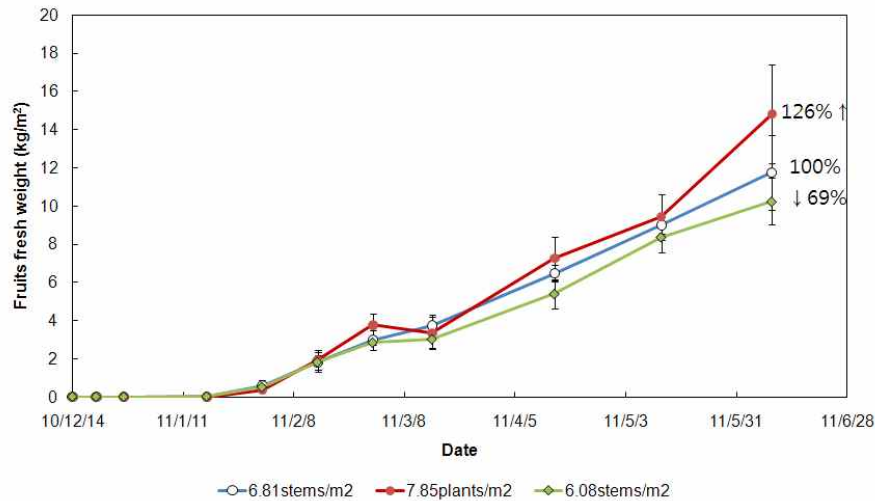


Fig. 28a. Effect of stem density on fresh fruit weight of sweet pepper crop grown in commercial greenhouse(2ha) in Gwangjin county.

줄기밀도는 총 건물생산량의 증가 뿐만아니라 단위면적당 생과중의 생산량도 증가시켰다. 최종 조사시 누적수량은 6.81stems/m² 에 비해 7.85stems/m²가 생산성이 26% 높았으며, 줄기밀도가 낮은 6.08stems/m²에서는 31%가 낮은 수량을 나타냈다(Fig 28). 이러한 생산량의 차이는 온실내부의 투광량이 낮아지면 더 심할 것으로 사료되며 각 온실의 특성 특히 광투과율에 의한 적정재식밀도를 결정해야 할 것이다. 줄기밀도를 너무 낮게 하면 주당 착과량은 증가되지만 단위면적당 생산성이 감소한다. 단위면적당 과실의 건물생산량은 엽면적지수와 밀접한 관계를 가지고 있는 것으로 나타났다(Fig. 28b). 각 줄기 밀도에 따라 엽면적지수의 증가량에 따라 생산성은 일정하지 않았지만 엽면적지수가 높은 7.85stems/m²에서 동일한 엽면적으로 더 많은 과실을 생산하였으며, 줄기밀도가 6.08stems/m²에서는 단위엽면적지수 증가당 생산성은 낮게 나타났다. 파프리카의 경우 단위면적당 착과량이 많은 7.85stems/m²에서의 과실로의 동화산물의 요구도가 가장 높았을 것으로 사료된다(Fig. 28b).

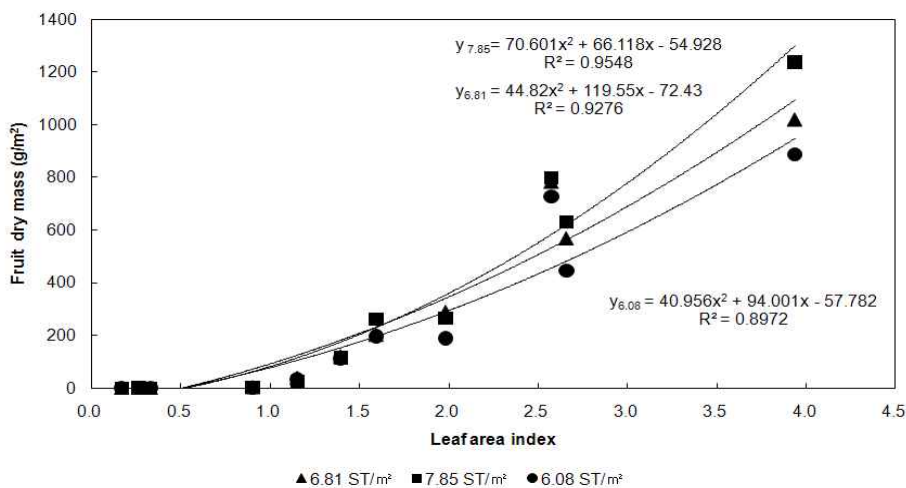


Fig. 28b. Relationship between leaf area index and fruit dry mass production of sweet pepper crop grown in commercial greenhouse(2ha) in Gwangjin county.

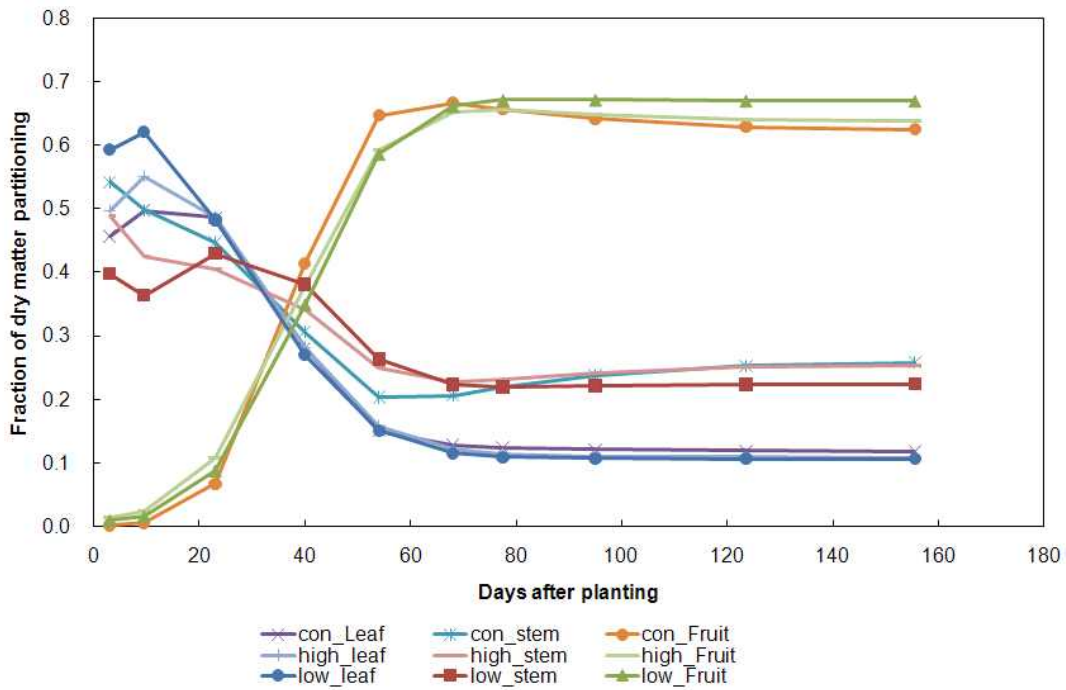


Fig. 29. Comparison of fraction of dry matter partitioning to leaf, stem and fruit of sweet pepper plant, cv. Special, at different stem density, 6.81 (con), 7.85 (high) and 6.08 stems per m² (low).

Fig. 29는 총 건물중의 증가량 대비 각 기관별 건물량의 증가를 비율로 나타낸 값이다. 줄기 밀도에 따라 약간의 차이를 가지고 유사한 경향을 나타냈다. 특히 과실로의 동화산물의 이동 경향은 S 성장곡선과 유사하였으며, Lee (2002)에서 발표한 동화산물의 이동 패턴과도 유사한 결과를 나타냈다. 동화산물의 이동이 S 성장곡선에 근사한 경향치는 동화산물의 이동을 묘사할 수 있는 함수를 개발할 수 있을 것으로 판단된다. 과실로의 동화산물의 이동은 62-68% 수준이었으며, 엽으로 동화산물의 이동은 과실이 비대된 이후 10-11%수준으로 유지되었다. 줄기로의 동화산물의 이동 비율은 착과된 과실의 비대이후 22-25% 수준으로 유지되었던 것으로 나타냈다(Fig. 29).

결론

줄기 밀도에 관한 연구는 정식 후 초기 엽면적지수의 변화를 각 처리구별로 줄수 있으며 이를 통해 단위면적당 수광량을 달리하고, 수광량의 변이차이는 단위면적당 건물체의 생산량의 차이를 유발시킬 수 있다. 상용화된 온실의 구조적 특성, 광투과율에 따른 적정 줄기밀도의 결정은 정식 전에 결정되어야 하면, 적정줄기 밀도는 관리에 필요한 노동력, 단위면적당 생산량에 직접적인 관계를 가지고 있으므로 매우 중요한 생산관리적 요인 중에 하나이다. 본연구서는 광투과율이 실험 온실이나 플라스틱 온실보 높기 때문에 줄기 밀도를 증가하게 되면 생산성이 높을 것으로 가정하고 시작하였다. 일반적으로 6.81stem/m²로 관리하지만 본 연구를 통해 단위면적당 줄기밀도를 증가 시키면 생산성이 또한 증가 될 것으로 사료된다. 또한 본 연구를 통해 단위면적당 엽면적의 증가는 생산성의 증가에 기인하였으며, 조사된 결과값과 기상 자료는 시뮬레이션 모델 검증에 주요한 자료로 활용이 가능할 것이다.

Exp.3-4. 외줄기와 두줄기 재배가 단위면적당 파프리카의 생육에 미치는 영향

연구목적

최근 파프리카 농가의 외줄기 재배가 단위면적당 생산성이 높다고 해서 단위면적당 식물체 개수를 증가시키는 경우가 있다. 일반적으로 식물체당 외줄기나 두줄기 재배시 단위면적당 줄기의 밀도가 동일한 조건에서는 생산성은 차이가 없는 것으로 알려져 있지만 실제 현장에서 그 생산성에 대한 긍정적인 효과를 보고 있다고 한다. 본 연구에서는 줄기 밀도가 동일한 조건에서 외줄기 재배와 두줄기 재배의 단위면적당 건물생산량과 과실 생산량을 비교 분석하고 생산성의 차이 유무에 대한 과학적 근거자료를 확보하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

공시재료는 파프리카 품종 ‘오렌지 글로리’ 을 2010년 10월 27일에 파종하여 12월 14일에 전남대학교 부속농장 벨로형 유리온실(9.6m*12m*2구역)에 정식하였다. 실험기간은 2010년 12월 14일부터 2011년 5월 25일까지 실험조사를 하였다. 단위면적당 줄기 밀도를 동일하게 하고 처리구인 식물체당 외줄기와 대조구인 식물체당 두줄기를 처리하였다. 대조구인 두줄기 처리구에서는 단위면적당 식물체 주수는 3.75/m²를 정식하였고, 처리구인 외줄기 처리구는 단위면적당 식물체 주수를 7.5주/m²로 12월 14일 정식하였다. 양액 공급을 위한 단위면적당 드리퍼 수는 3.75개/m²로 동일하게 관리하였으며, 생육 기간별 배액율을 모니터링하여 근권환경은 유사하게 관리하였다.

정식 후 일주일에서 3주간격으로 총 10회 식물체 생육조사를 수행하였으며, 각 기관의 생체중, 건물중, 엽면적, 과일수 및 과중을 측정하여 처리별로 비교하였다. 과실의 수확은 과실이 90%이상 착색이 진행된 과실을 수확하여 생과중, 과실의 특성 및 건과중을 조사하였다.

결과 및 고찰

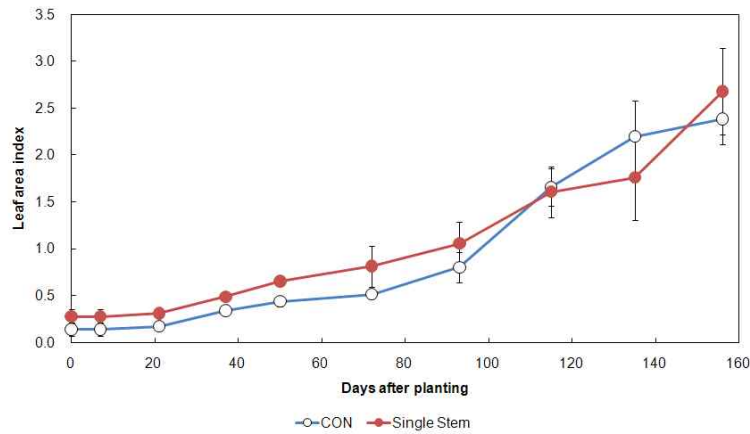


Fig 30. Effect of number of stems per plant at the same number of stems per unit of area on leaf area index during to growing period from Dec 20. 2010 to 25 May 2011. Stem density per unit of area was 7.5stems/m², 3.25 plants per m² was planted for control (CON) and 7.5plants per m² was planted for single stem (Single stem). Bars indicate standard deviation of 5plants of CON or 10 plants for Single stem

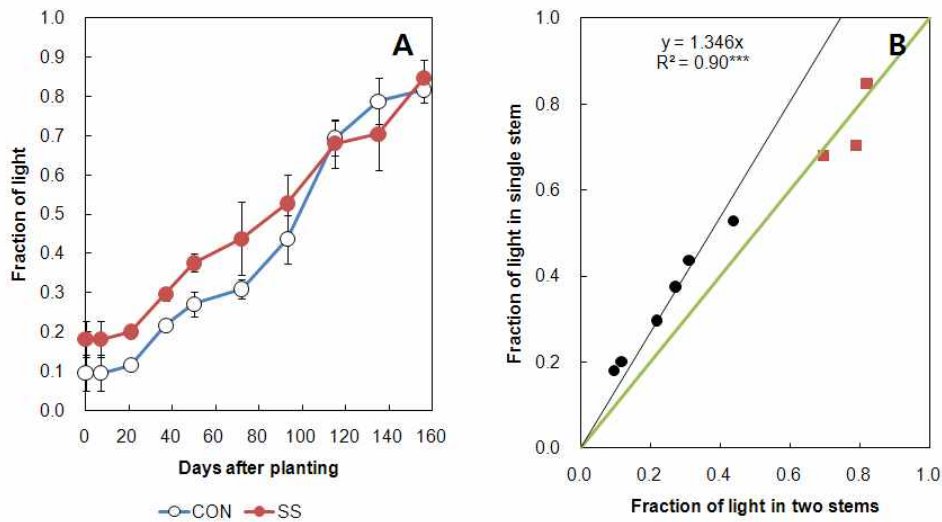


Fig. 31. Effect of number of stems per plant at the same number of stems per unit of area on fraction of light between control(CON, two stem) and treatment(Single stem) during to growing period from Dec 20. 2010 to 25 May 2011. Stem density per unit of area was 7.5 stems/m², 3.75 plants per m² was planted for control (CON) and 7.5plants per m² was planted for single stem (Single stem). Bars indicate standard deviation of 5plants of CON or 10 plants for Single stem

단위면적당 줄기의 밀도를 동일하게 처리하여 식물체당 줄기의 수를 2줄기와 외줄기로 재배관리하였을 경우 단위면적당 엽면적지수는 외줄기 처리구에 전체 평균 1.46배 높게 나타났다 (Fig. 30과 31). 정식 후 100일 정도 부터는 처리구와 대조구의 엽면적의 지수 차이의 통계적으로 나타나지 않았다. 초기의 엽면적 지수의 차이는 단위면적당 광수광량이 차이가 더 높게 나타나는데 정식후 3주간은 평균 1.85배, 정식후 4주부터 10주까지(정식후 72일)는 평균 1.4배 정도 광수광량이 외줄기 처리구에서 높게 나타났다. 이후 처리구와 대조구의 광 수광율은 점진적으로 감소하다가 정식후 115일 이후부터 처리간의 유의성은 나타나지 않았다 (Fig. 31).

정식후 단위면적당 건물생산량은 처리구에서 1.9-2.0배 높은 건물중을 나타냈다. 이는 정식 각 식물체의 분지가 형성이 되질 않아 거의 유사한 식물체의 생장을 보이고 처리구의 재식밀도가 2배 인 것을 고려하면 단위면적당 초기 건물량이 처리구에서 나타나는 것은 당연한 사실이다. 분지가 발생한 4주동안의 단위면적당 건물의 생산량은 유사하게 나타났다(Fig. 32). 평균 건물생산량은 외줄기 재배 하였던 파프리카가 19.1% 높게 나타났다. 이는 재배 기간 동안 LAI가 1.5 이하 일 때 까지는 단위면적당 평균 수광율이 외줄기 재배에서 34.6%정도 높았기 때문에 사료된다(Fig. 33).

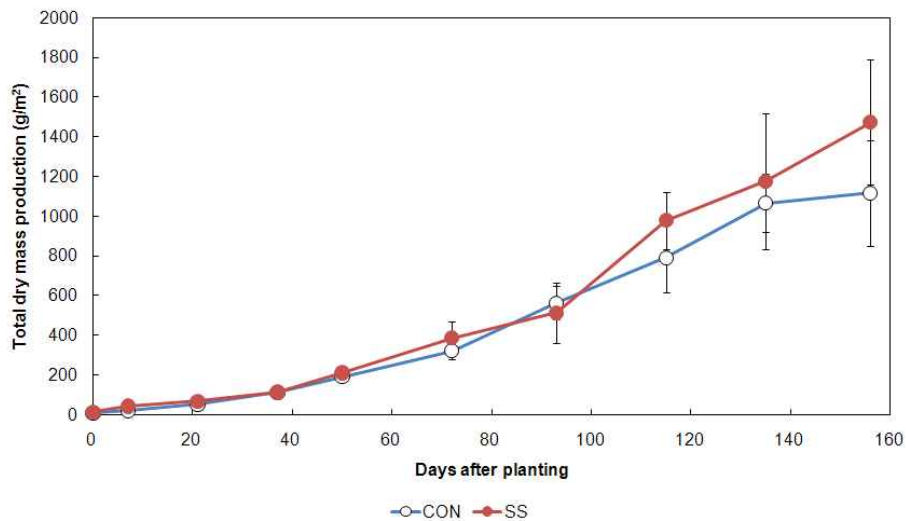


Fig. 32. Effect of number of stems per plant at the same number of stems per unit of area on total dry mass production during the growing period from Dec 20, 2010 to 25 May 2011. Stem density per unit of area was 7.5stems/m², 3.25 plants per m² was planted for control (CON) and 7.5plants per m² was planted for single stem (Single stem). Bars indicate standard deviation of 5plants of CON or 10 plants for Single stem.

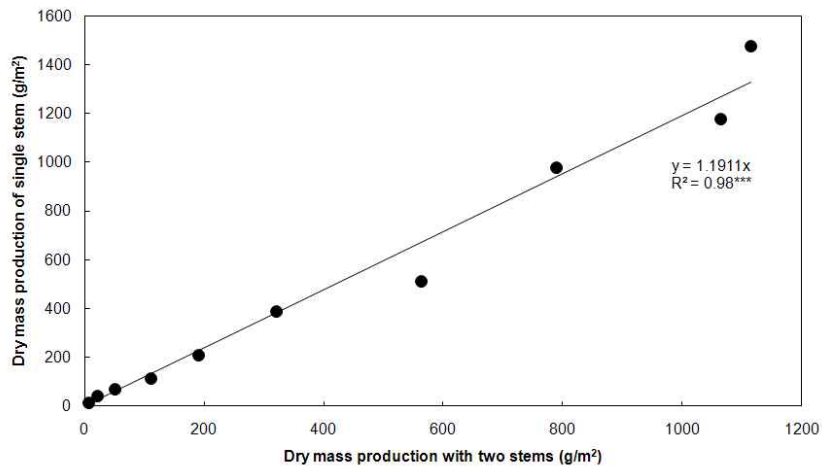


Fig. 33. A linear relationship of dry mass production between two stem per plant and single stem per plant of sweet pepper crop growing from Dec 20. 2010 to 25 May 2011. Stem density per unit of area was 7.5stems/m², 3.25 plants per m² was planted for control (CON) and 7.5plants per m² was planted for single stem.

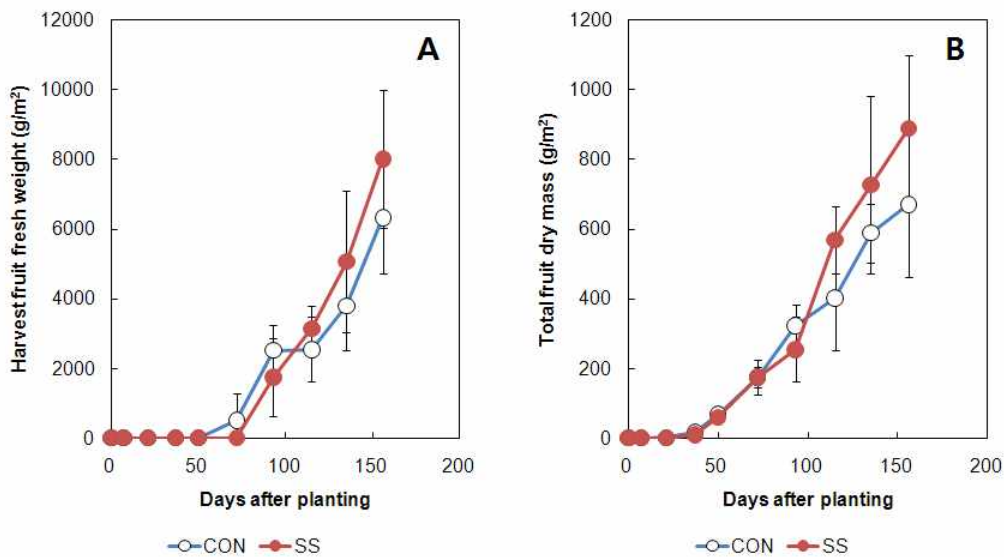


Fig. 34. Effect of number of stems per plant at the same number of stems per unit of area on harvested fruit fresh weight (A) and total fruit dry mass (B) per unit ground area during the growing period from Dec 20. 2010 to 25 May 2011. Stem density per unit of area was 7.5 stems/m², 3.25 plants per m² was planted for control (CON) and 7.5 plants per m² was planted for single stem (SS). Bars indicate standard deviation of 5 plants of CON or 10 plants for single stem (SS).

단위면적당 수확과중(Fig. 34A)은 외줄기 재배에서 8.02kg/m²와 두줄기 재배에서 6.33kg/m²를 생산하여 처리구에서 26.7%를 더 생산할 수 있었지만 통계적인 유의성은 나타나지 않았다(*F* pro.= 0.122). 실험한 연구 면적이 제한적이어서 샘플수가 적었던 것도 생산성의 차이가 나타나지 않았던 것으로 사료된다. 총 과실의 건물중은 32.5%가 처리구가 더 높게 나타났으나 통계적 유의적 차이는 나타나지 않았고, 각 평균간의 표준편차가 높게 나타났으며, 식물체간 착과량과 수확과수의 차이가 매우 높은 것으로 나타났기 때문일 것으로 사료된다(Fig. 34B).

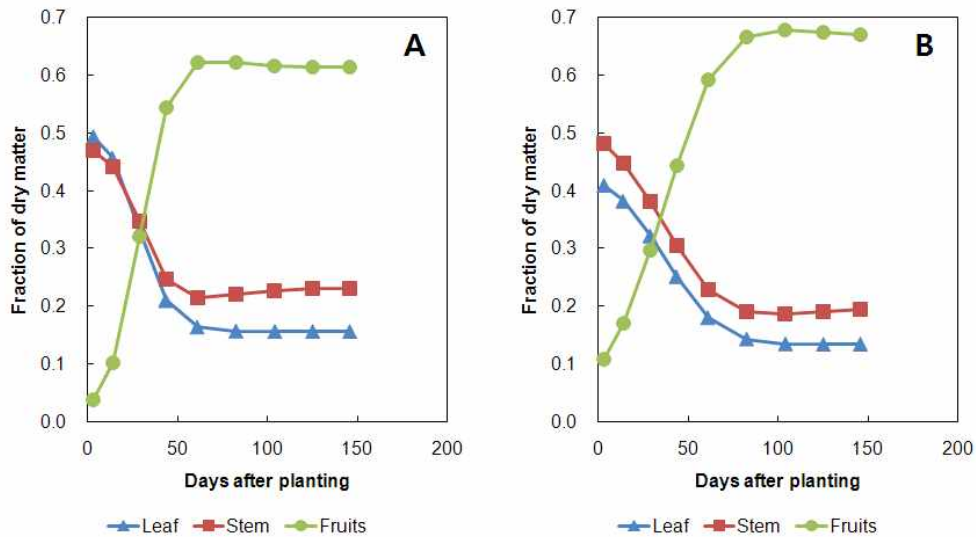


Fig. 35. Dynamics of dry matter partitioning to leaf, stem and fruit of sweet pepper grown at different number of stems per plant at the same number of stems per unit of areaduring the growing period from Dec 20. 2010 to 25 May 2011. Stem density per unit of area was 7.5stems/m², 3.25 plants per m² was planted for control (A) and 7.5plants per m² was planted for single stem (B).

대조구와 처리구 모두 엽과 줄기로의 동화산물의 이동은 과실로의 동화산물의 이동이 급격히 증가하면 감소하는 경향을 나타냈다. 정식 50일 이후부터 과실로의 동화산물은 대조구에서 61% 이상, 처리구에서는 44%로 시작하여 67%의 동화산물의 지속적으로 과실로 이동하였다(Fig 35B). 줄기와 엽의 동화산물의 이동은 과실이 착과 된 이후 엽은 15.6%와 경은 22.7% 처리구에서의 엽은 13.6%와 줄기는 19.1%의 동화산물이 이동되었다. 외줄기와 두줄기의 영양생장기관의 분배율은 착과량과 과실의 중량에 의해 의존된 것으로 나타났다(Fig. 35).

결론

외줄기재배와 두줄기 재배에 관한 본 연구는 생산자들의 정보에 의하면 외줄기 재배는 생산성 향상에 기인한다고 하여 검증을 위한 실험과, 단위면적당 엽면적 지수를 증가할 시 존재하는 모델의 검증을 위한 생육 정보를 취합하고자 하였다. 본 연구는 생산자들과 동일한 재배기간을 하지 못하였고, 정식 후 150여일 재배한 생육정보를 분석한 것이다. 네덜란드에서 단위면적당 줄기 밀도가 동일할 시 주당 줄기의 수가 생산성에 영향을 미치지 않는다고 하였다. 하지만 본 연구에서는 단위면적당 외줄기 재배는 초기의 엽면적지수를 증가시키고 엽면적지수와 단위면적당 수광량이 비슷한 시기 까지 도달하기 위해서는 정식 후 120여일이 소요되었다. 즉 첫 착과이후의 단위면적당 엽면적 지수가 높고, 수광량이 높아 단위면적당 건물생산성이 외줄기 쪽이 더 높게 나타났다. 착과를 위한 충분한 동화산물이 외줄기 처리에 존재하였기 때문에 잠재적으로 외줄기 재배 쪽에서 생산성이 높다 할 수 있다(Fig. 34). 정식 후 120여일이 지난 이후 엽면적이 거의 동일 하게 유지되고, 수광량이 유사한 이후 부터는 생산성의 차이는 거의 없을 것으로 사료된다. 외줄기 재배에서는 둘 주기 재배 보다는 상대적으로 일찍 착과를 시킬 수 있었다. 반면 파르리카의 외줄기 재배는 단위면적당 육묘용큐브 및 종자 비용과 육묘관리비용이 두줄기 보다 더 많이 소요된다.

[연구 4] 파프리카 성장량 예측 시뮬레이션 모델 검증

연구목적

온실작물의 건물생산량은 광합성과 호흡에 기여한다. 광합성은 단위면적당 엽면적과 작물의 캐로피 위해 도달하는 광도와 이산화탄소 농도에 영향을 받고, 호흡량은 단위면적당 성장량과 온도에 밀접한 관계를 가지고 있다. 순광합성량은 뿐만 아니라 온도와 이산화탄소 농도가 정의 상관관계를 가지고 있으며, 광도와 온도, 광량과 일정한 범위 내에서 일중평균온도와 정의 상관관계를 가지고 있다. 작물의 성장량과 발육량에 상호 균형은 유지하여야 하지만, 광환경 및 온도 환경의 균형 깨지게 되거나 다른 환경과의 상관관계의 범위를 벗어나게 되면 쉽게 작물의 성장과 발육의 균형이 흐트러지게 된다. 수많은 환경조건과의 복잡한 상호작용에 대한 시나리오를 작성하고 이를 실험적 방법으로 그 현상을 이해한다면 오랜 시간과, 인력, 비용들이 투자되어야 한다는 단점을 가지고 있다. 작물재배에 있어 작물의 생육의 최적화를 위해 선 시설환경의 최적화가 이뤄져야 하지만 외부환경의 변화에 밀접한 관계를 가지고 있어 복잡 다양한 조건을 한꺼번에 해결한다는 것은 불가능할 것이다.

재료 및 방법

Exp 3-1의 대조구의 생육자료와 기상자료, Exp 3-3의 2ha에서 재배된 파프리카의 생육자료와 기상자료를 토대로 시뮬레이션 모델의 각 기관별 사용가능여부를 검증하였다. 사용된 모델은 Heuvelink (1996)과 Lee (2002)에 토마토와 절화국화의 생육량의 시뮬레이션을 통해 검증된 모델이며, 현재 한국의 기후조건과 재배조건에서 사용된적이 없던 모델을 본 연구에 시뮬레이션 모델로 사용하고자 하였다. 모델에 대한 자세한 내용은 'Gijzen (1992)'에 의해 기술되었다. 본 연구에서의 모델에 대한 기본적인 사항에 대해서 묘사하고자 한다.

표준모델(Standard model)

$$\frac{dW}{dt} = C_f \cdot (P_{gd} - R_m) \quad (\text{Eqn. 4-1})$$

수정모델(Adjusted model)

$$\frac{dW}{dt} = C_f \cdot (P_{gd} - R_m \cdot (1 - e^{-\beta \cdot RGR})) \quad (\text{Eqn. 4-2})$$

$\frac{dW}{dt}$: Crop growth rate ($g_{DM} m^{-2} d^{-1}$)

C_f : conversion efficiency ($g_{DM} g^{-1} CH_2O$)

P_{gd} : crop growth assimilation rate ($g_{CH_2O} m^{-2} d^{-1}$)

R_m : $f(\text{organ dry weight, temperature})$

RGR: relative growth rate (d^{-1})

Eqn 4-1은 작물의 총광합성량과 온도와 작물의 성장량에 의해 계산된 유지호흡량과의 차이값을 동화산물을 건물중으로 환산된 값과 곱하여 일중 건물증가율을 계산할 수 있다. Eqn 4-1의 표준모델의 R_m 은 작물의 건물 중의 증가와 온도에 따라 유지 호흡량이 비례적으로 증가하는 일반적인 호흡량의 계산방식을 채택하였다. 하지만 작물의 어릴때와 캐로피가 밀폐된 이후의 유지호흡량은 다를 것이라고 Heuvelink (1996)에 제안하였다. Heuvelink (1996)에는 유지호흡량은 작물의 신진대사활성 정도에 의해 영향을 받을 것이며, 작물의 신진대사는 작물의 무게가 증가할 수록 떨어질 것으로 가정하였다. 특히 그는 작물의 신진대사작용이 일정하게 유지되어 준다면 많은 성장 모수들이 상수로 가정할 수 있지만 작물의 동적 상대성장율을 계산하면 작물의 생육량이 많아 질 수록 RGR은 생육초기에 가장 높다가 이후 지수적으로 감소하는 경향을 보였다고 한다. 이를 토대로 Heuvelink (1996)과 Lee(2002)년 표준 모델과 수정모델을 이용하여 토마토와 절화국의 건물생산량에 대한 상용화된 온실에서의 작물의 생육정보를 예측하였다(Eqn 4-2).

엽의 총 광합성 계산 (Leaf gross photosynthesis, Spitters, 1986; Gijzen, 1992, Goudriaan and Van Laar, 1994)

$$P_g = P_{gmax} \cdot \left(1 - e^{-\varepsilon \cdot PAR_{abs} / P_{gmax}} \right) \quad (\text{Eqn. 4-3})$$

P_g : Leaf gross photosynthesis rate ($\text{mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

P_{gmax} : Maximum leaf growth photosynthesis rate at light saturation ($\text{mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

ε : leaf initial light use efficiency ($\text{mg CO}_2 \text{ J}^{-1}$)

PAR_{abs} : light absorption by leaves ($\text{J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

엽의 총 광합성량은 엽에 흡수된 광합성활성복사에너지(Photosynthetically active radiation)을 각 캐노피의 엽면적을 계산하고 각 엽면적을 엽의 방향은 고려하지 않고 엽의 각도를 이미 계산하여 광수광율을 지수함수로 산한 다음 엽에 도달한 광도값을 엽 총광합성을 계산하는데 사용한다. 엽의 초기 광합성 효율은 상수이며, P_{gmax} 는 광도와 이산화탄소 농도에 의해 영향을 받아 계산되어진다.

각 기관별 동화산물의 이동비율 계산은 총 건물 중의 증가량 대비 각 기관의 증가량을 비율로 나타냈다. 각 기관별 건물분배율의 계산은 샘플수가 제한되어 각 기간별 건물분배율의 값이 부의 값이 나오는 경우도 있어 측정하였던 각 기관별의 단위면적당 건물량을 비선형함수인 지수선형함수를 이용하여 계산한 값을 합하여 총 건물생산량을 구하였다. 총 건물생산량의 증가량은 각 기관별 증가량을 나눠, 각 기관별 동화산물의 분배율을 모델의 입력 값으로 사용하였다.

$$f_l = \frac{\Delta LDM}{\Delta TDM}, f_s = \frac{\Delta SDM}{\Delta TDM}, f_f = \frac{\Delta FDM}{\Delta TDM} \quad (\text{Eqn 4-4})$$

f_l : 총 건물중 증가량 대비 엽의로의 건물분배율

f_s : 총 건물증 증가량 대비 줄기로의 건물분배율

f_f : 총 건물증 증가량 대비 과실 및 꽃으로의 건물배율

시뮬레이션 모델의 입력값은 모델의 검증용 작물의 정보에 있어 엽면적 지수를 입력하였다. 엽면적지수는 작물위에 도달한 광의 수광량을 계산하기 위한 값이며, 모델의 검증 단계에서 엽면적지수를 시뮬레이션을 통해 계산하게 되면 모델에 의한 추정값의 차이 발생 지점을 알 수없게 된다. 본 연구에서는 기 사용되고 있는 모델의 검증용 목표로 하였기 때문에 작물의 생육정보인 엽면적지수, 각 기관별 동화산물의 이동비율을 입력하였다. 작물의 재배하는 동안 이산화탄소 농도, 일중 광량, 24시간 평균온도, 초기 각 기관별 건물량을 모델에 입력하여 각 기관별 측정값과 추정값을 비교 하였다.

결과 및 고찰

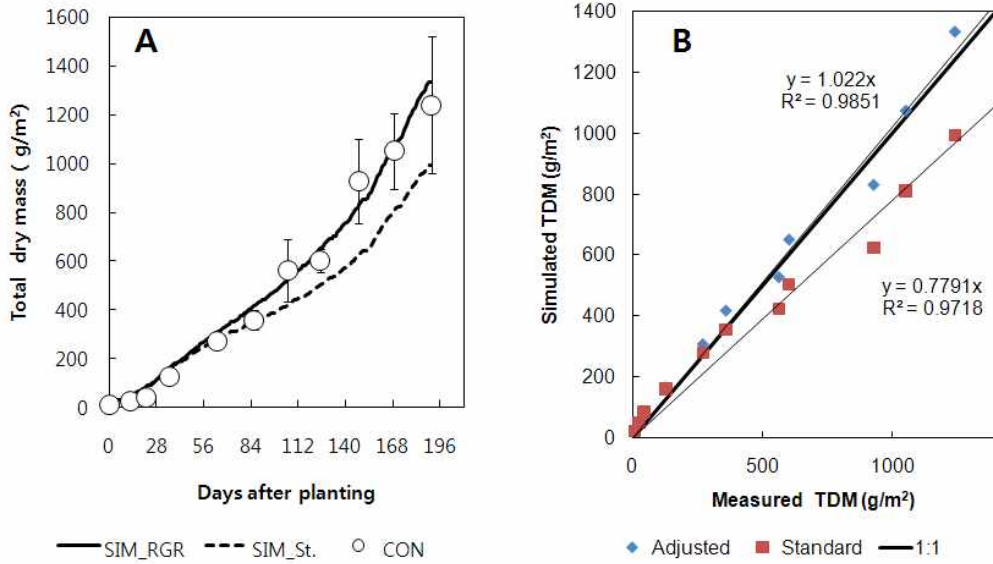


Fig. 36. Comparison measured total dry mass production and simulated total dry mass production by standard model (SIM_St.) or adjusted model (SIM_RGR) in time (A) of sweet pepper crop, cv. Special, grown from 29 September, 2010 to 8 April, 2011. Linear relationship between measured total dry mass (TDM) and simulated TDM (B).

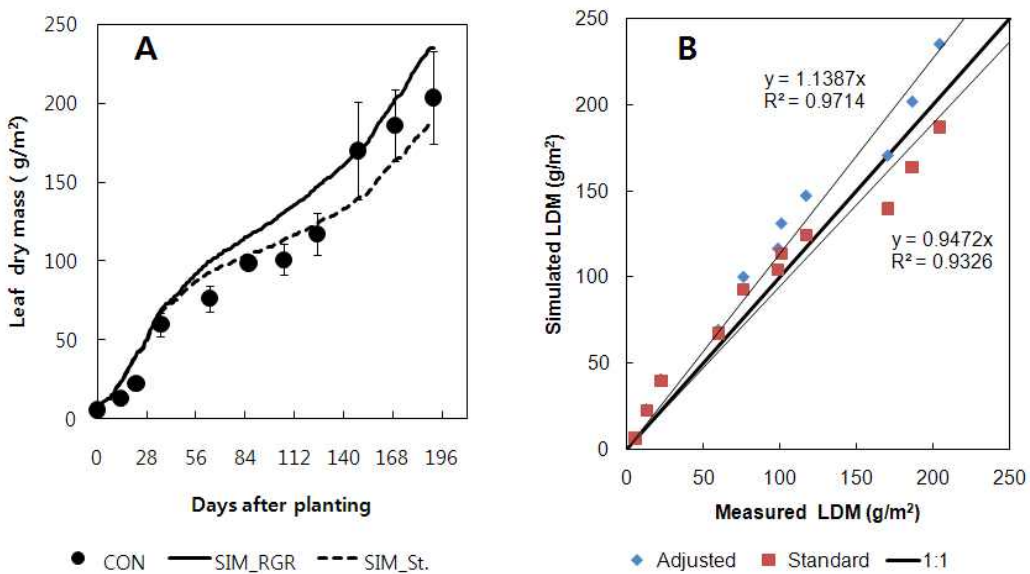


Fig. 37. Comparison measured leaf dry mass production and simulated leaf dry mass production by standard model (SIM_St.) or adjusted model (SIM_RGR) in time (A) of sweet pepper crop, cv. Special, grown from 29 September, 2010 to 8 April, 2011. Linear relationship between measured leaf dry mass (LDM) and simulated LDM (B).

작물 성장량을 예측하는 시뮬레이션 모델을 이용하여 외부 광량과 시설내부의 온도, 이산화탄소 농도 및 건물분배율과 엽면적지수를 입력하여 모델을 검증하였다. 지상부의 기간별 총 건물생산량은 표준모델의 경우 평균 22%정도 측정값은 낮게 예측하였으며, 작물의 신진대사 작용이 건물생산량이 증가할 경우 지수함수적으로 감소하는 값을 고려하였을 경우 어저스트모델이 측정값과 거의 유사하게 나타났다. 여러 연구자들에 의하면 유지호흡량이 건물생산량과 비례적으로 증가하는 것이 아니고 상대생장률이 감소하면 단위무게당 유지호흡량의 효율이 낮아지기 때문에 비례적이지 않다고 하였다. 본 연구에서도 시뮬레이션 모델 내부의 모듈의 수정에 의해 어저스트 모델을 이용 측정값과 모델의 검증을 하는데 더 유리할 것을 판단되었다.

각 기간별 동화산물의 생산율은 누적이 되며 이는 각 기관별 동화산물의 분배율에 의해서 이동된 값은 계수에 의해 건물생산율로 계산되어지며, 엽의 건물중 생산량은 어저스트모델이 14%정도 측정값을 초과하였지만, 표준모델의 경우 5.5% 정도 측정값보다 낮게 추정하였다 (Fig. 37).

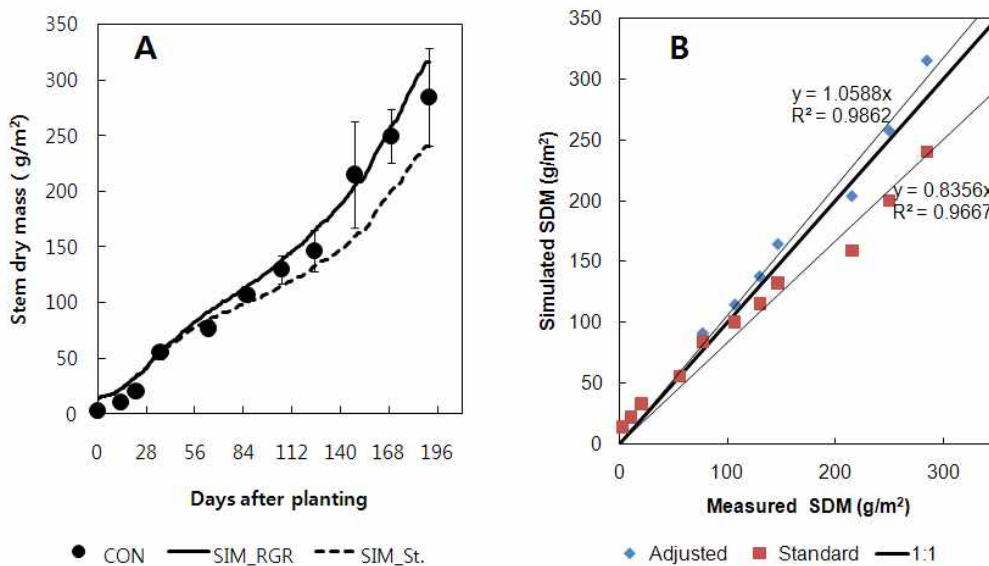


Fig. 38. Comparison measured stem dry mass production and simulated stem dry mass production by standard model (SIM_St.) or adjusted model (SIM_RGR) in time (A) of sweet pepper crop, cv. Special, grown from 29 September, 2010 to 8 April, 2011. Linear relationship between measured stem dry mass (SDM) and simulated SDM (B).

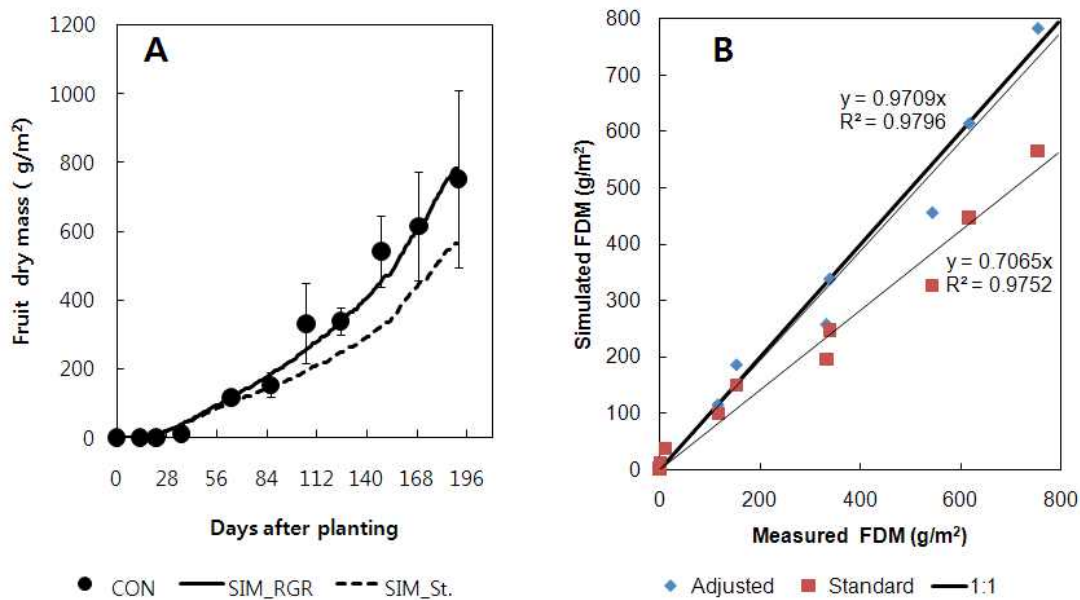


Fig. 39. Comparison measured fruit dry mass production and simulated fruit dry mass production by standard model (SIM_St.) or adjusted model (SIM_RGR) in time (A) of sweet pepper crop, cv. Special, grown from 29 September, 2010 to 8 April, 2011. Linear relationship between measured fruit dry mass (FDM) and simulated FDM (B).

시뮬레이션한 단위면적당 줄기의 건물생산량의 표준모델의 결과값은 측정값의 16.5% 정도 낮게 추정하였고, 어저스트모델의 경우 5.9%의 약간 높게 결과를 예측하였다 (Fig. 38). 과실의 건물생산량의 예측값은 표준모델의 경우 29.4%를 낮게 예측하였지만 어저스트 모델의 경우 단지 3%만을 낮게 추정하였다.

시뮬레이션 모델(REF 95)의 경우 네덜란드의 기상환경과 토마토 및 국화의 성장과 발육의 경우 모델의 검증과 상용화되어 있는 온실에서 재배되었던 작물의 예측을 가능하였다. 표준 모델의 경우 네덜란드에서도 측정값을 낮게 추정하였지만, 어저스트 모델의 경우 이러한 문제점을 극복할 수 있었다. 한국에서 재배된 파프리카의 단위면적당 건물생산량을 재배 기간동안 온실 환경자료와 외부 기상자료를 입력하고, 작물체의 정보를 입력하였을 경우 모델의 출력값이 측정값과 유사한 결과값을 얻을 수 있었다.

본 연구에선 어저스트 모델을 이용하여 상용화된 온실의 줄기 밀도에 따라 시뮬레이션 모델을 검증하기 위해 줄기 밀도를 달리하여 기간별 파괴조사를 통해 식물의 정보를 측정하였고, 동일한 방법으로 시뮬레이션 모델을 검증하였다(Fig. 40).

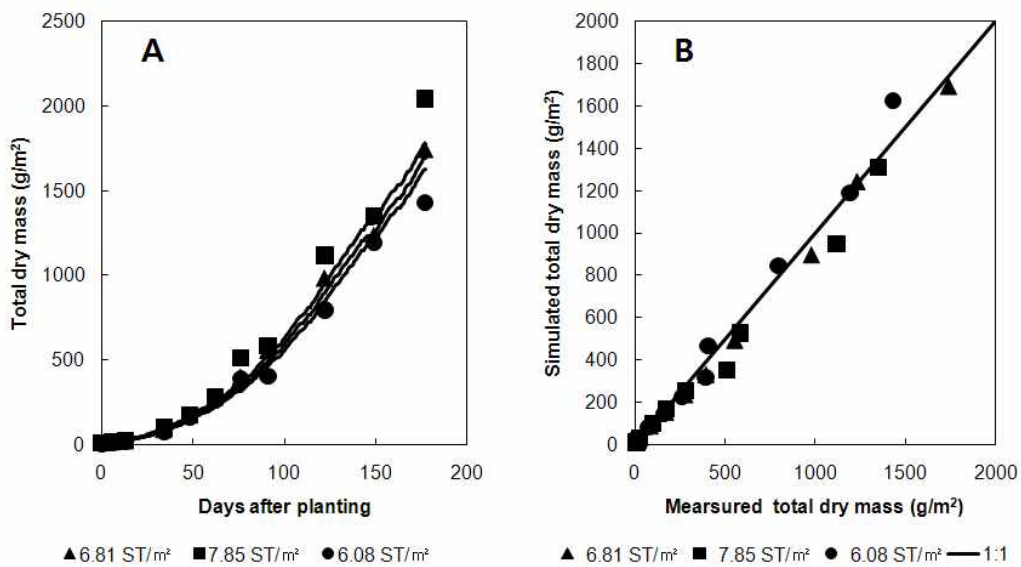


Fig. 40. Measured total dry mass production and simulated total dry mass production (A) and linear relation between measured and simulated values of sweet pepper crop, cv. Spical grown from 6 December, 2010 to 9 June, 2011.

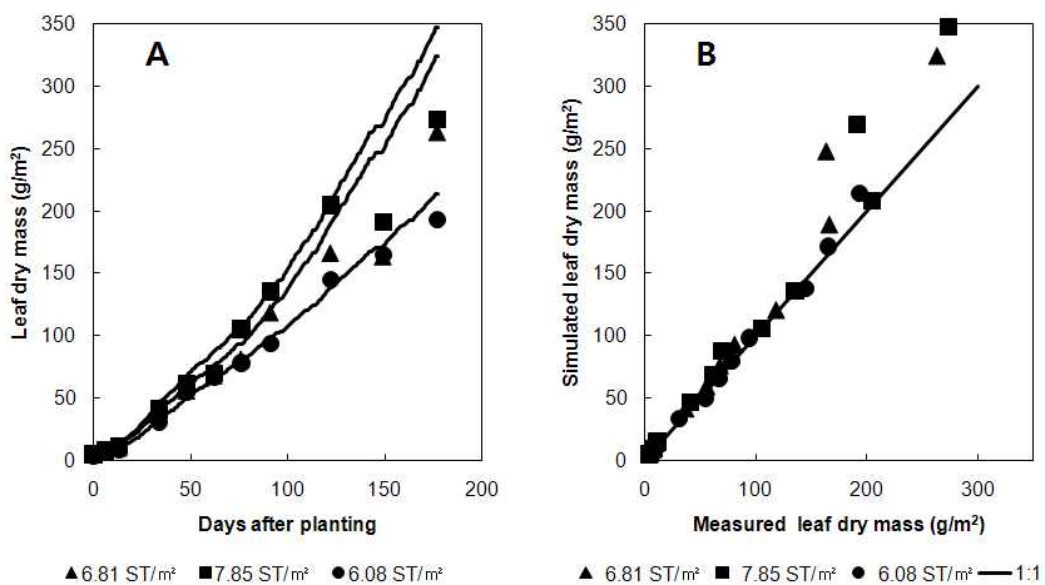


Fig. 41. Measured leaf dry mass production and simulated leaf dry mass production (A) and linear relation between measured and simulated values of sweet pepper crop, cv. Spical grown from 6 December, 2010 to 9 June, 2011.

Fig. 40은 어저스트 모델을 이용한 상용화된 2ha 온실에서 재배한 파프리카의 성장량과 시뮬레이션의 결과를 비교하였다. 줄기 밀도가 6.81stems/m²의 경우 모델이 측정값보다 3.7%정도 낮게 측정하였고, 줄기 밀도가 가장 낮은 6.08stems/m²의 경우 모델이 6.7%를 높게 계산하였으며, 줄기 밀도가 가장 높은 7.85stems/m²의 경우 11.46%를 측정값보다 낮게 건물 생산량을 계산하였다. Fig. 41은 어저스트 모델을 이용한 상용화된 2ha 온실에서 재배한 파프리카의 엽건물 성장량과 시뮬레이션의 결과를 비교하였다. 줄기 밀도가 6.81stems/m²의 경우 모델이 측정값보다 23.7%정도 높게 측정하였고, 줄기 밀도가 가장 낮은 6.08stems/m²의 경우 모델이 4%를 낮게 계산 되었으며, 줄기 밀도가 가장 높은 7.85stems/m²의 경우 19.7%를 측정값보다 높게 건물 생산량을 계산하였다.

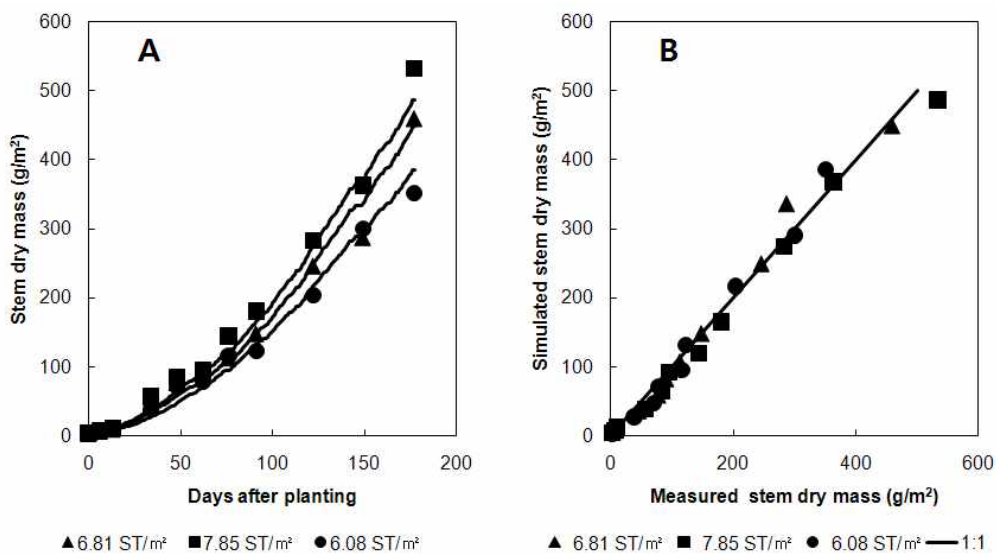


Fig. 42. Measured stem dry mass production and simulated stem dry mass production (A) and linear relation between measured and simulated values of sweet pepper crop, cv. Spical grown from 6 December, 2010 to 9 June, 2011.

Fig. 42는 어저스트 모델을 이용한 상용화된 2ha 온실에서 재배한 파프리카의 줄기건물성장량과 시뮬레이션의 결과를 비교하였다. 줄기 밀도가 6.81stems/m²의 경우 모델이 측정값보다 1.5%정도 높게 측정하였고, 줄기 밀도가 가장 낮은 6.08stems/m²의 경우 모델이 2.6%를 높게 계산 되었으며, 줄기 밀도가 가장 높은 7.85stems/m²의 경우 6%를 측정값보다 낮게 건물 생산량을 계산하였다.

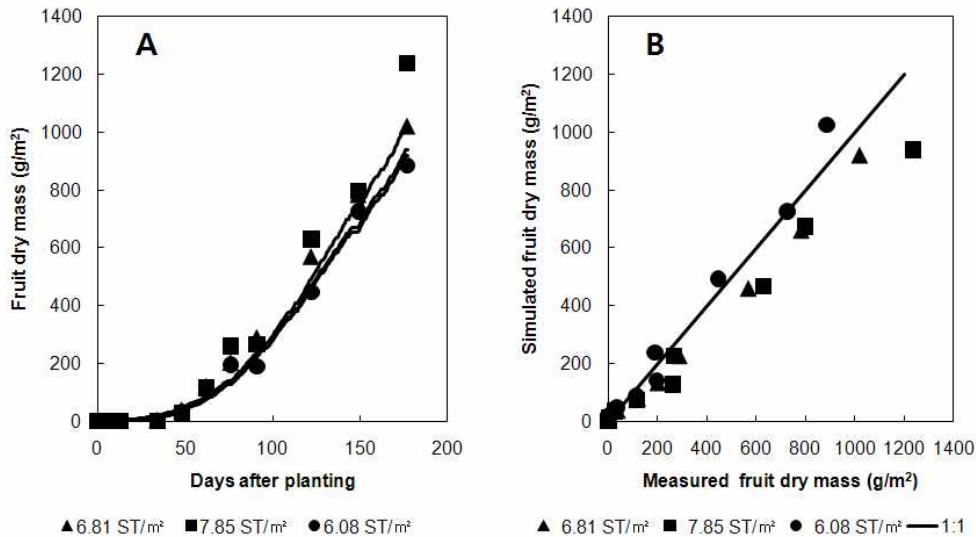


Fig. 43. Measured total fruit dry mass production and simulated total fruit dry mass production of sweet pepper crop, cv. Spical grown from 6 December, 2010 to 9 June, 2011. Dot line is standard model and soiled line are simulated with adjusted model.

Fig. 43은 어저스트 모델을 이용한 상용화된 2ha 온실에서 재배한 파프리카의 줄기건물생장량과 시물레이션의 결과를 비교하였다. 줄기 밀도가 6.81stems/m²의 경우 모델이 측정값보다 14%정도 낮게 계산되었고, 줄기 밀도가 가장 낮은 6.08stems/m²의 경우 모델이 8.8%를 높게 계산 되었으며, 줄기 밀도가 가장 높은 7.85stems/m²의 경우 22.8%를 측정값보다 더 낮게 건물 생산량을 계산하였다.

결론

표준 모델로 시물레이션한 건물생산량은 총광합성량에서 유지호흡량 뺀 값을 동화산물을 건물중으로 전환계수로 곱함값으로 나타낸다. 유지호흡량은 건물량의 증가와 비례적관계를 가지고 있기 때문에 건물생산량이 증가할수록 유지 호흡량이 많은 발생된 것을 계산을 하기 때문에 시물레이션 하는 값은 각 기관 별 측정값과 총 건물 생산량을 낮게 추정하였다. 어저스트 모델의 경우 건물의 증가량에 따라 유지호흡량이 비례적이지 않고 작물의 신진대사 작용이 건물중 당 호흡량이 증가하는 것이 아니라 지수 함수적으로 감소한 것으로 가정한 모듈을 이용하면 측정값과 시물레이션 한 결과 값과 근사치를 얻을 수 있었다. 본 연구에서는 표준 모델보다는 어저스트 모델의 결과값이 측정값을 더 낫은 모델이라 정의 할 수 있었다. 네덜란드에서 본 연구에서 사용된 모델은 토마토와 국화, 현재는 네덜란드의 파프리카 생산량을 추정하는 모델로 사용되고 있지만 이 번 연구에서의 모델의 검증은 국내에서 처음으로 도입하였고, 측정값과 모델에 의한 추정값이 편차는 있지만 만족할 만한 결과를 낳다고 사료된다. 특히 상용화된 온실에서 얻은 작물의 성장정보를 이용하고, 온실의 환경정보를 모델에 입력하였을 경우 측정값과 모델의 추정값은 어느 정도 만족할 만한 값을 얻었다. 아직 모델의 검증의 초기적 단계이자만 각 동화산물의 이동 모듈의 검증과 계절별 정식시기가 다를 경우 건물생산량을 추정하여 모델내의 모듈의 수정과 보완이 필요 할 것으로 사료된다.

5. 5차년도 연구개발 수행내용 및 결과

가. 파프리카 생과중 예측을 위한 건물함량 모듈개발

- 엽광합성과 호흡의 모듈을 이용하여 균락 정도(엽면적 지수)에 따른 수광율과 광합성 및 단위면적당 유지호흡을 계상 하여 순동화산물(탄수화물)의 양을 추정하고 이를 토대로 단위면적당 건물생산량을 추정하는 모델을 기본으로 사용하였던 TOMSIM(Heuvelink, 1996)과 CHRYSIMv1.0(Lee, 2002)개발되었다. 본 과제의 4년차 연구에서 기본 모델의 검증은 하였으며, 시뮬레이션 결과값이 단위면적당 건물생산량으로 출력되기 때문에 과채류의 수확 기관의 건물함량을 예측하게 되면 시뮬레이션 결과값을 환상하여 생과중을 추정할 수 있다.
- 과실의 건물함량은 생과중 대비 건과중을 비율로 나타낸 것으로 지상부 환경과 근권부 환경에 따라 그 변이가 심할 것으로 사료된다.
- 상용화 되어 있는 유리온실의 재식밀도, 소형 실험온실에서의 고압나트륨등과 대조구, 처리가 없는 온실에서의 베드별에서 수확 주기별 생산된 과실의 생과중과 건과중을 계측하여 과실의 건물함량을 일반화하여 기본 모듈을 개발하고 개발된 모듈을 독립된 연구 결과를 이용하여 시뮬레이션한 결과값을 과실의 건물함량을 이용하여 생과중을 예측하였다.
- 계측된 계별과실의 생과중과 건과중은 Allometrics relationship을 이용하여 직선회귀 분석한 후 회귀식의 기울기를 건물함량의 모수로 사용하여 처리간 모수의 표준편차의 값을 이용하여 경험적인 처리간의 유의성을 분석하였다.
- Fig. 1은 고압나트륨등을 착과 이후부터 외부 광도에 관계없이 하루 16시간 조사한것과 보광등을 사용하지 않았던 대조구의 생과중과 건과중의 회귀분석한 후 회귀식의 기울기를 건물함량으로 추정하였다. 고압나트륨등 하에서 수확된 과실의 건물함량은 8.57%, 대조구도 유사한 8.56%로 처리간의 유의성은 나타나지 않았다.
- 고압나트륨등(HPS)의 광량속밀도는 초장에 따라 29~130 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 를 조사하였음에도 과실의 건물함량의 차이는 나타나지 않았다. HPS의 조사시간이 파프리카의 생육과 과실의 품질에 미치는 영향에 관한 Stadler (2011)의 연구에서도 녹숙과와 완숙과의 과실의 건물함량의 차이거의 나타나지 않았다고 보고된바 있다.

Stadler C. 2011. Effects of lighting time and lighting source on growth, yield and qualityof greenhouse sweet pepper. Rit Lbhí nr. 34, ISBN 978-9979-881-11-7

- 상용화된 벤로형 유리온실 (2ha)에서 파프리카의 줄기 밀도 6.08, 6.81, 7.85 stems/m² 의에서 과실의 건물함량은 각각 8.91, 8.83, 8.42% 로 줄기 밀도가 증가 할수록 과실의 건물함량은 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 2).
- 줄기 밀도가 증가하게 되면 엽면적지수 가 증가 할수록 단위면적당 수광량은 줄기밀도와 무관하지만 단위면적당 호흡량 증가하고 동화산물의 분배는 과실보다는 엽과 줄기인 영양 기관으로 더 분배되기 때문으로 사료된다.

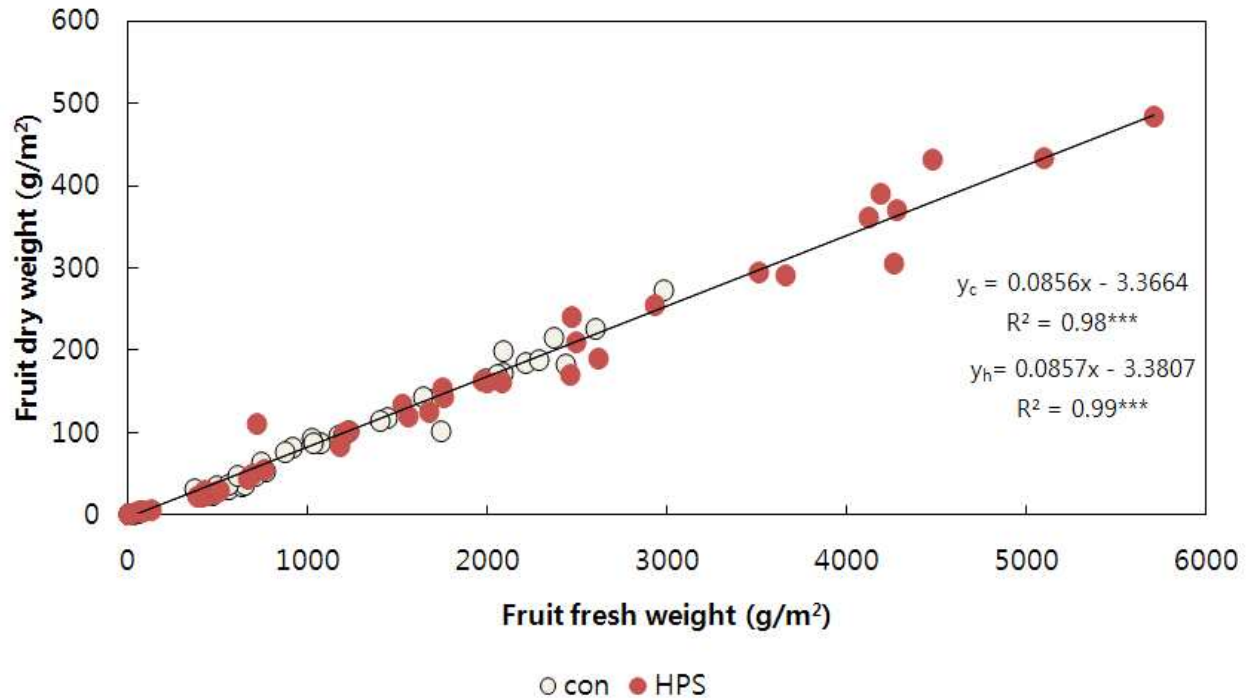


Fig.1 Allometrics relationship between fruit fresh weight and dry weight of sweet pepper grown under high pressure sodium lamps (HPS) and control (con)

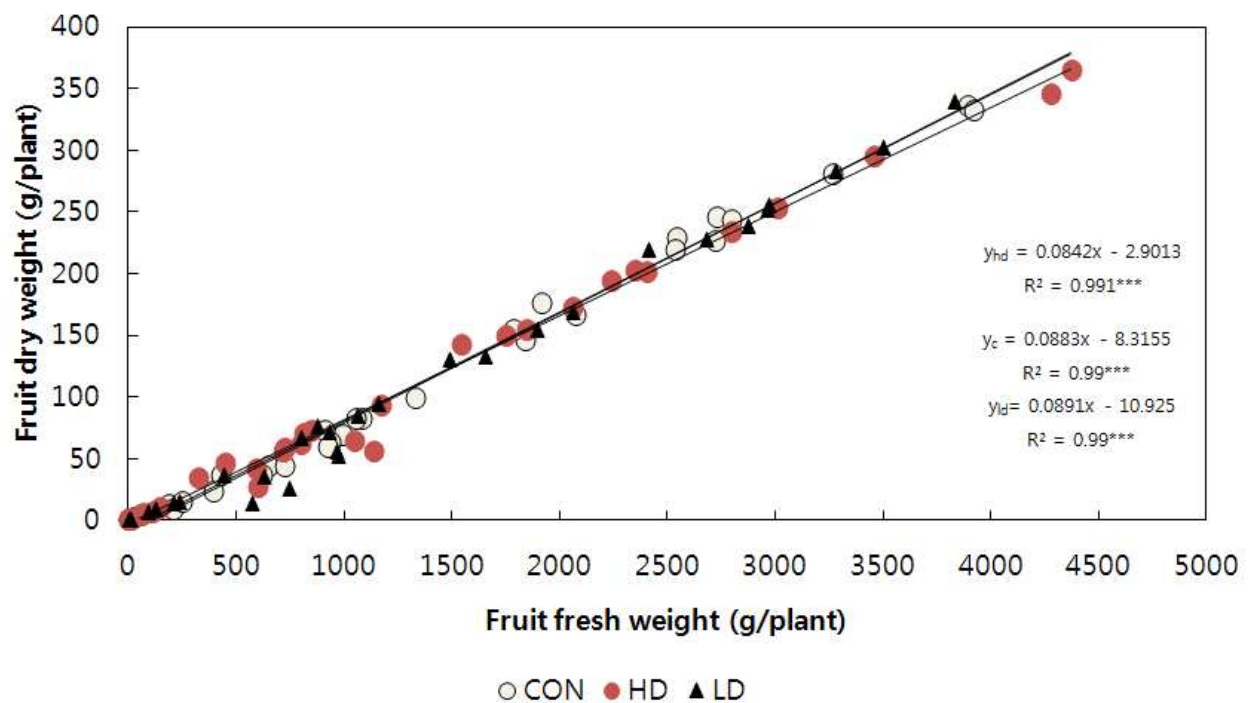


Fig.2. Allometrics relationship between fruit fresh weight and dry weight of sweet pepper grown at different stem density of 6.81 stems/m² (CON), 7.85 stems/m² (HD), 6.08 stems/m² (LD)

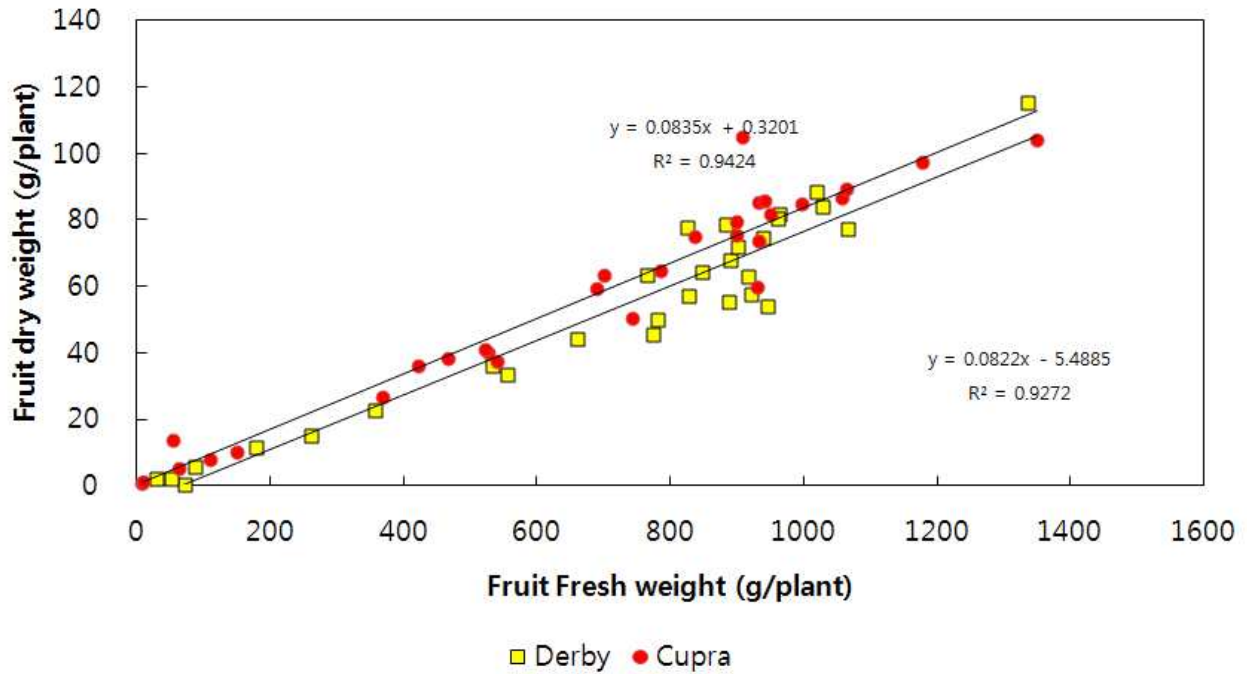


Fig.3. Allometrics relationship between fruit fresh weight and dry weight of sweet pepper grown at different cultivars of Derby(yellow) and Cupra(red)

- 노랑색 (‘Derby’)와 적색(‘Cupra’) 파프리카 품종의 과실의 건물함량은 각각 8.22%와 8.35%로 상용 벤로형 유리온실에서 재배된 두 품종은 과실건물함량의 차이는 노랑색이 0.13% 포인트 미비한 수준으로 낮았다.
- 과실의 건물함량은 품종간의 특성 중 하나이며, Stadler (2011)의 연구에서 ‘Ferrari’가 ‘Viper’의 보다 건물함량의 약간 낮았고, 또한 Stadler(2011)의 연구에서 녹수과와 완숙과의 수확시기별로 건물함량은 녹수과에서 완숙과로 발육되면서 과실의 건물함량은 증가하는 경향을 보였다 한다.

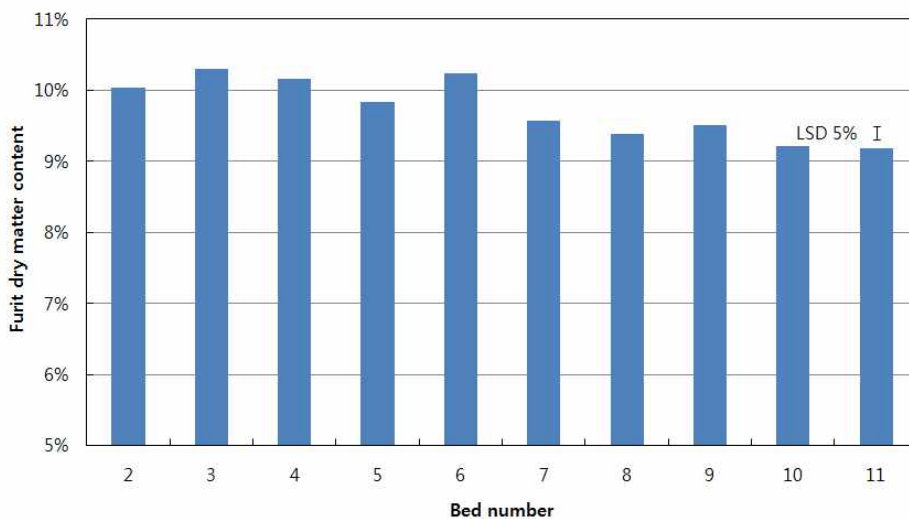


Fig.4. Dry matter content of sweet pepper fruit at different rows. The plants were grown under venlo type glasshouse (W9.6m * L 12m* H 4.0m). The direction of glasshouse is East-South and West-North.

- 일출 후 가장 먼저 받는 베드 번호 2 부터 6번까지의 개별과실의 건물함량은 차이가 없었으나, 온실의 남서쪽에 있는 베드인 7부터 11번 베드까지는 실험을 수행한 온실의 옆 구역의 유리온실 벽체에 의한 광이 차단되어 건물함량이 일괄적으로 낮아져지는 경향을 보였다. 5% 수준의 최소 유의차 검정은 베드 2부터 6까지의 과실 건물함량이 높고, 베드 7부터 11까지의 과실건물함량이 통계적으로 낮게 나타났다(Fig. 4).
- 과실의 건물함량은 지상부와 근권부의 환경 재배 위치의 환경에 따라 민감하게 반응하여 변이가 크게 나타났지만, 모든 조건에서의 과실의 건물함량을 추정할 수 있는 모듈개발은 조건이 복잡하여 본 연구에서는 기간별로 조사되었던 과실의 건물함량은 연일 대비 건물함량을 SIN 함수를 이용하여 추정하였다(Fig. 5).
- 시뮬레이션의 모델에 재배기간동안 엽면적지수, 초기 기관별 건물중, 실험시작일과 종료일, 온실의 온도 및 이산화탄소 농도와 외부광도를 입력하고, 연구에서 얻은 동화산물분배율을 입력값으로 하여 도출된 단위면적당 과실의 건물생산량은 Fig. 5의 Sin 함수를 이용하여 건물함량을 추정하여 생과중을 추정하였다 (Fig. 6)
- 단위면적당 과실 생과중의 측정값과 추정값은 11% 정도 시뮬레이션 모델일 과대평가를 하였다. 정식후 과실의 건물함량은 측정값과 유사하였지만, 정식 후 일자가 증가 할수록 건물함량의 감소하여 추정된 과실의 무게를 과대평가한 것이다.

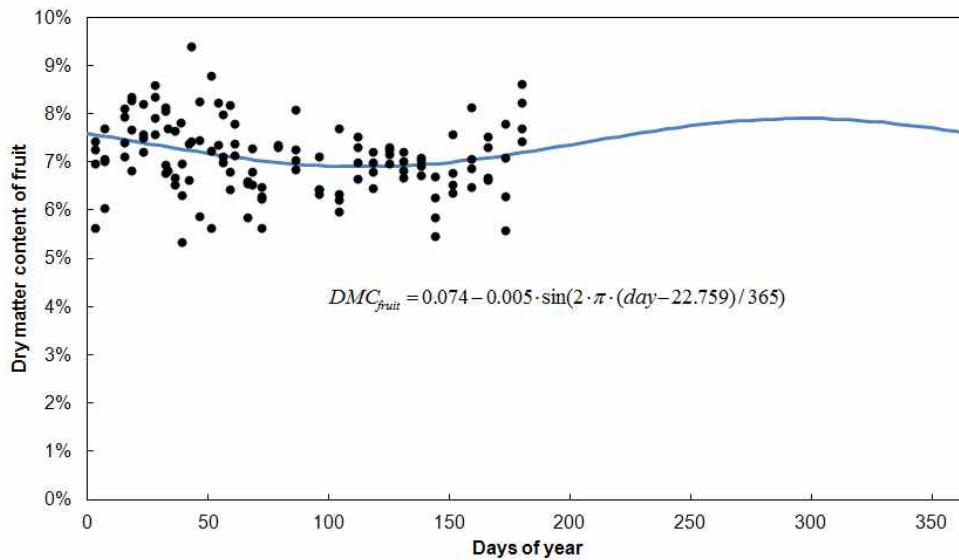


Fig.5. Generalization of dry matter content of sweet pepper fruit. The line was fitted by sin function to days of year.

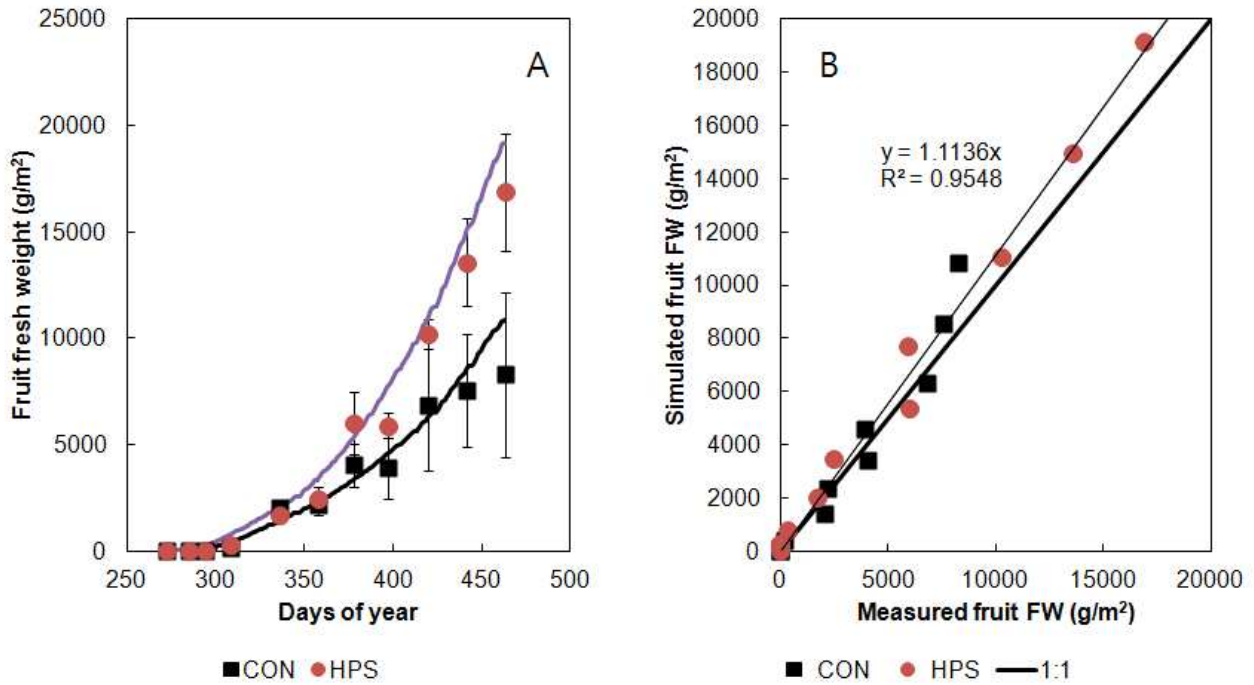


Fig.6. Comparison of simulated and measured fruit fresh weight as function of daysn (A) and allometrics relationship between measured and simulated fruit fresh weight (B).

나. 파프리카의 각 기관별 동화산물 분배 모듈을 이용한 생산량 예측 프로그램 개발

- 1-4년차 연구결과를 이용하여 각 기관별로 분배되는 동화산물의 분배패턴을 모듈화함
- 5년차 근권환경관리에 따른 건물생산성 모듈 검증
- 각 연구년도별로 측정한 값을 이용하여 각 기관의 건물량과 총건물량의 증가율을 계산 하여 기간별 일정한 건물분배율을 함수화하고자 함
- 네덜란드 WUR에서 기 개발된 시뮬레이션 모델의 모듈을 개선하여 각 기관별 건물중의 증가량을 예측하여 누적한 값을 측정값과 비교 및 모듈의 보정하고자 함
- 광합성 산물의 분배는 단위기간당 총 건물중의 증가율 대비 엽건물중의 증가율을 비율로 나타내는 것을 ‘엽으로 분배되는 동화산물의 비율(f_{leaf})’, 단위기간당 총 건물중의 증가율 대비 줄기건물중의 증가율을 비율로 나타내는 것을 ‘줄기로 분배되는 동화산물의 비율(f_{stem})’, 단위기간당 총 건물중의 증가율 대비 과실(꽃포함)의 건물중 증가율을 비율로 나타내는 것을 과실도 분배되는 동화산물의 비율(f_{fruit})로 정의된다. 정의식을 나타내는 것은 아래와 같다.

$$f_{leaf} = \frac{\Delta LDM}{\Delta TDM} = \frac{LDM_2 - LDM_1}{TDM_2 - TDM_1}$$

$$f_{stem} = \frac{\Delta SDM}{\Delta TDM} = \frac{SDM_2 - SDM_1}{TDM_2 - TDM_1}$$

$$f_{fruit} = \frac{\Delta FDM}{\Delta TDM} = \frac{FDM_2 - FDM_1}{TDM_2 - TDM_1}$$

[Eqn. 1]

○ 3-4년차에 수행하였던 연구결과를 토대로 각 실험의 자료의 측정값을 단위면적당 건물생산량을 지수선형함수를 이용하여 각 기관별 건물생산성을 추정하게 되면 함수의 오차에 따른 초기 측정값의 과소 또는 과대 평가하게 된다. 또한 기간별 측정값을 단위 기간으로 두고 건물증가율을 매회 측정된 값의 단위시간당 건물생산성의 증가율(기관별 절대생장율 $g/m^2/d$)을 계산하여 보면 비율이 부의 값 또는 1이상의 값을 가지게 되는 경우가 발생하게 되는데 이는 재배 기간 동안 개체간의 변이에 의한 편차가 심하게 된다 (Fig 7). 그러므로 성장함수를 이용하여 기간별 측정값을 추정하여 계산하지만 측정값을 정확히 묘사하지는 못 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Poorter (1991)과 Heuvelink (1996)의 방법으로 파괴조사한 값의 중간값을 건너뛰어 계산하는 방법으로 본 연구에서는 총 성장율과 기관별 성장율을 [Eqn. 1]에 의해 계산하였다 (Fig 8).

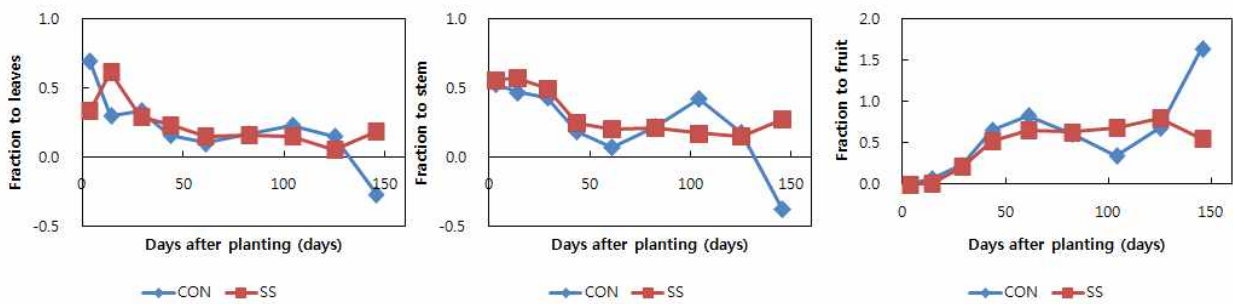


Fig. 7. Dry matter partitioning to leaf, stem and fruit of sweet pepper crop grown two(CON) or single stem(SS) per plant. Stem density of CON and SS was same per unit grown area. The fraction of leaf, stem or fruit was made by ratio between absolute growth rate of total dry mass and absolute growth rate of leaf, stem or fruit. Calculated the absolute growth rate based on the calculated way by Hunt.

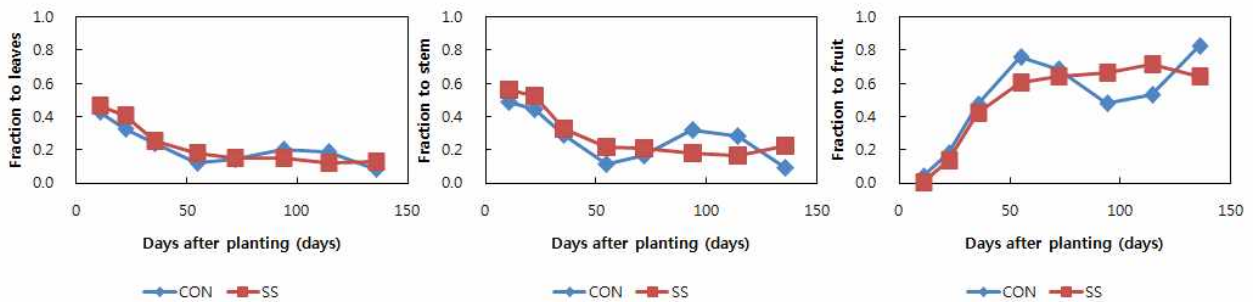


Fig. 8. Dry matter partitioning to leaf, stem and fruit of sweet pepper crop grown two(CON) or single stem(SS) per plant. Stem density of CON and SS was same per unit grown area. The fraction of leaf, stem or fruit was made by ratio between absolute growth rate of total dry mass and absolute growth rate of leaf, stem or fruit. Calculated the absolute growth rate based on the calculated way by Poorter.

- Fig. 7과 8은 동일한 자료를 이용하여 총건물증가율 대비 각 기관별 성장율을 비율로 나타낸 값이지만 Fig. 7은 기간별로 개체간의 편차에 의한 부의 값엽과 줄기의 건물분배율에 계산되었던 값이 과실로의 건물분배율은 1이상의 값을 가지므로 이러한 현상은 실험과정에서 엽이나 줄기의 고사와 같은 일이 발생하지 않았기 때문에 표본조사의 개체수를 증가시키면 실제적으로 일어나진 않는다. 제한적인 실험공간에서 식물의 기간별 파괴조사시 샘플의 개수가 적을 수 밖에 없기 때문에 본 연구에서는 Poorter(1991)의 방식 채택하여 각 기관별 건물배율을 계산하여 각 처리간의 차이는 무시하고 각 기관별 건물 분배율을 Gompertz함수를 이용하여 추정하였다(Fig. 9)
- Fig. 9는 엽과 과실로의 건물분배율을 보광실험(고압나트륨등처리와 대조구), 단위면적당 동일한 줄기 밀도하에 식물체당 줄기의 수(주당 2줄기와 한줄기), 줄기밀도(6.81, 7.85, 6.08stem/m²) 실험에서 수집된 자료를 토대로 건물분배율을 계산하여 정식후 일수로 독립변량으로 하여 통계프로그램(SPSS)의 비선형회귀분석 하였다.

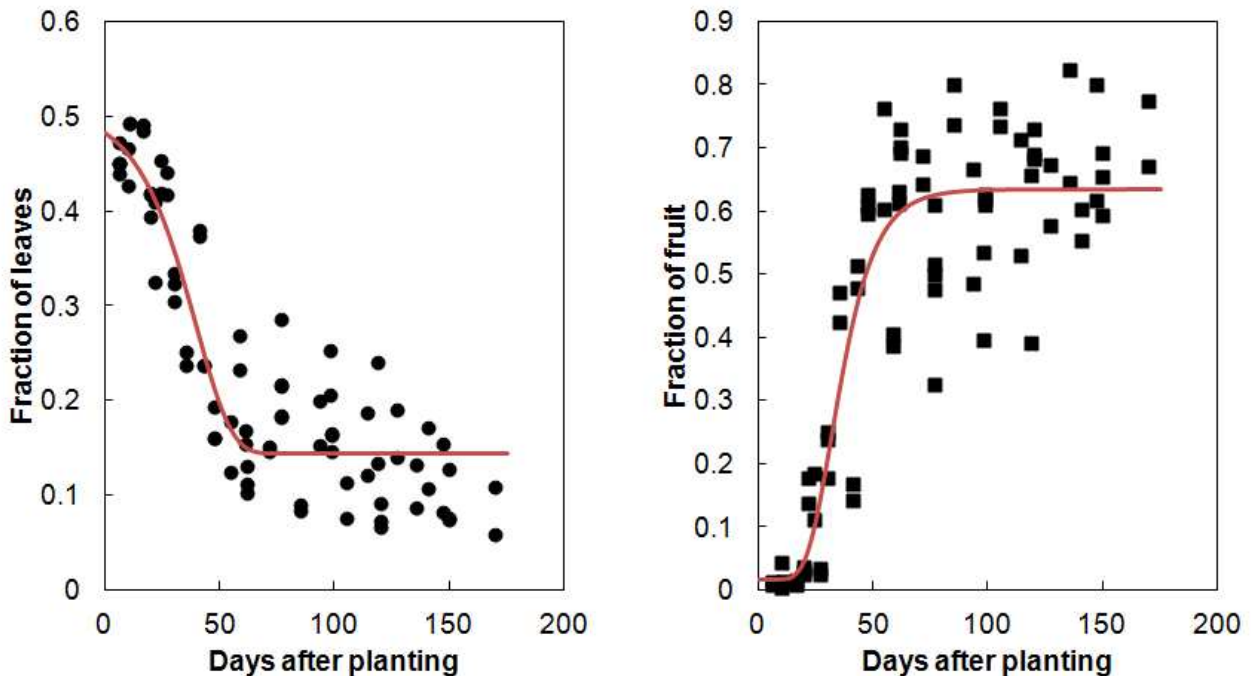


Fig. 9. Dynamics of dry matter partitioning to leaf and stem of sweet pepper. The graph consisted of calculated data (closed circle) and estimated data by gompertz function (solied line)

- 엽과 과실의 동화산물 이동 모형은 Gompertz 함수를 이용하여, 계산된 엽과 과실의 건물 분배율의 변이를 콤퍼츠 함수로 엽은 85%와 과실은 84%를 묘사를 할 수 있었다 (Fig. 9 와 Table 1).
- 엽으로의 건물분배율은 초기에 50.9%로 시작하여 과실이 파프리카의 개화 및 과실의 착과 된 이후 40(엽의 모수 m)일 경부터 급격히 건물분배율이 감소되었다. 엽의 건물분배율은

정식후 60일경부터 15%정도의 비율로 일정하게 유지되었다(Fig 9와 Table 1).

- 과실로의 건물분배율은 정식 후 21경부터 증가하기 시작하여 정식후 32(과실의 모수 m) 일째부터 급격히 증가하여 총 건물중의 증가율 대비 과실로의 건물분배는 평균 63.5% 로 유지되었다.

Table 1. Parameters of Gompertz function fitted with calculated dry matter partitioning to leaf and fruit of sweet pepper plants.

parameters					
	A	C	b	m	R^2
Leaf	0.144 ± 0.008*	0.365 ± 0.051	-0.065 ± 0.020	39.71±3.04	0.85
Fruit	0.016 ± 0.034	0.619 ± 0.040	0.094 ± 0.019	31.77±2.08	0.84

* standard error of the parameter

$$f_{leaf} = A + C \cdot e^{-e^{-b(t-m)}}$$

$$f_{fruit} = A_f + C_f \cdot e^{-e^{-b_f(t-m_f)}}$$

$$f_{stem} = 1 - (f_{leaf} + f_{fruit})$$

[Eqn. 2]

f : dry matter partitioning to leaf(f_{leaf}), stem(f_{stem}), fruit(f_{fruit})

A : constant of the Gompertz function

C : maximum partitioning to the leaf(C) or fruit(C_f)

b : relative partitioning to the leaf(b) or fruit(b_{fruit}), the parameter decide the direction and steepness of the curve (d^{-1})

m : inflection point of the curve for dry matter partitioning to leaf(m) or fruit (m_f), day

t : days after planting (unit: d)

- 측정된 건물생산량과 시뮬레이션한 단위면적당 총건물생산량과 과의 건물생산량의 비교에서 표준 모델의 경우 측정값을 과소평가 하였으며 작물의 무게에 유지호흡량은 비례하지 않고 기존의 건물생산량이 높은 경우 작물의 신진대사작용이 낮아져 상대생장율이 낮은 조건에서는 유지호흡이 더 이상 비례하지 않고 작물의 무게에 대한 포화도를 나타내기 때문에 유지호흡량과 부의 지수함수를 이용하여 보정한 Adjusted model의 경우 (Huevelink, 1996) 추정된 총 건물생산량과 거의 일치하였다. 또한 건물분배 모듈을 이용한 계산된 각 기관별 건물분배율을 입력하여 시뮬레이션 결과도 측정값과 추정값이 거의 동일 하였다 (Fig. 10).
- 하지만 과실의 건물분배 함수를 이용하여 추정된 과실의 건과중을 SIN함수로 생과중으로 변환시 추정값은 17-20% 과대평가되었음 (Fig. 11). 과의 건물함량은 생산량에 민감한 영향을 미치고 있으며, 특히 과의 건물함량의 높은 겨울철의 경우 SIN함수는 실제 건물함량보다 낮게 추정이 되어 시뮬레이션된 생과중은 과대평가하게 되었다(Fig. 11).

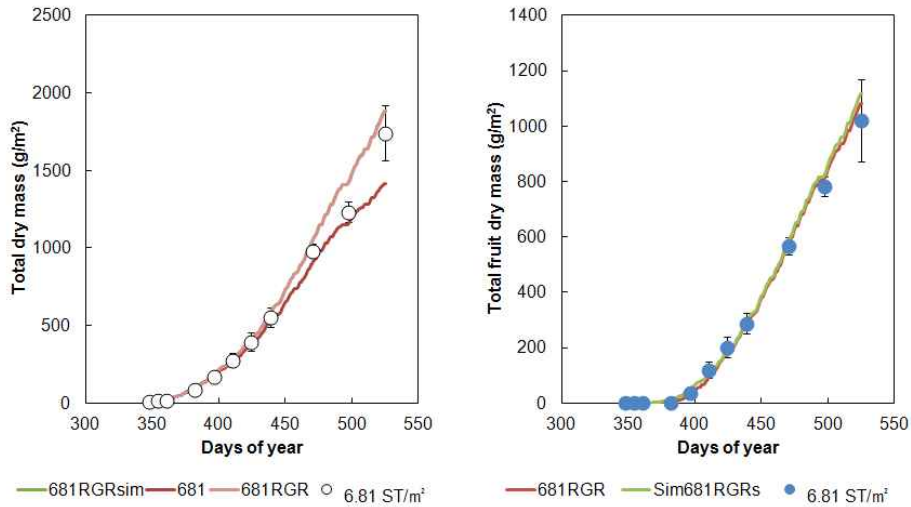


Fig. 10. Simulated total dry mass and total fruit dry mass by standard (681), adjusted (681RGR) and adjusted model with calculated dry matter partitioning as input (681RGRsim). Symbols are measured data of sweet pepper crop grown at 6.81stems/m² in commercial glasshouse (2ha) located Gwanjin County, Jellanamdo.

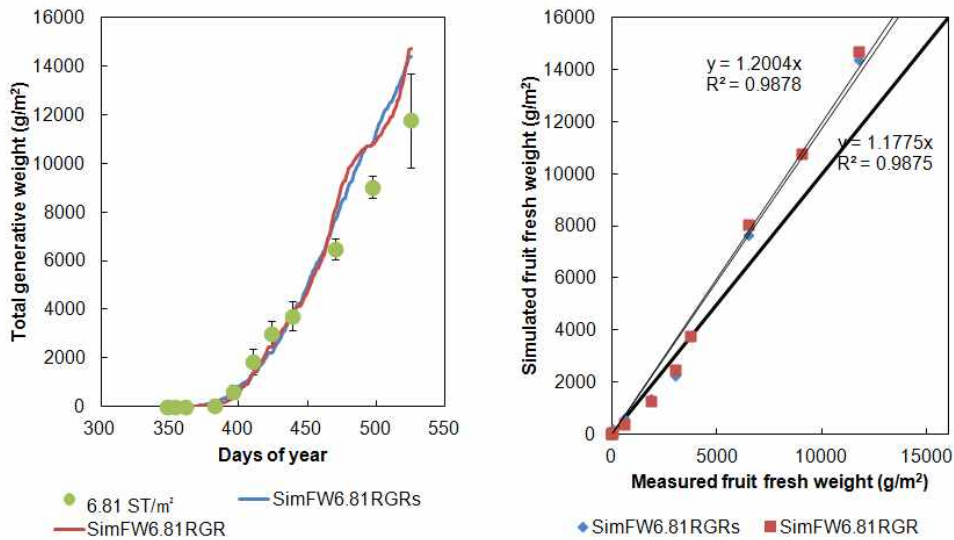


Fig. 11. Simulated total generative fresh weight by adjusted model with convert dry mass by calculated fruit dry matter content (simFW6.81RGR) and adjusted model with calculated dry matter partitioning as input (SimFW6.81RGRs) and linear relationship between measurement data and simulated fruit fresh weight. Symbols are measured data of sweet pepper crop grown at 6.81stems/m² in commercial glasshouse (2ha) located Gwanjin County, Jellanamdo.

다. 네덜란드와 한국의 파프리카 생산량차이를 시뮬레이션프로그램을 통한 주요 환경분석

1) 산란광 투과율에 따른 파프리카의 생산량 차이 분석: 산란광 투과율 10-80%

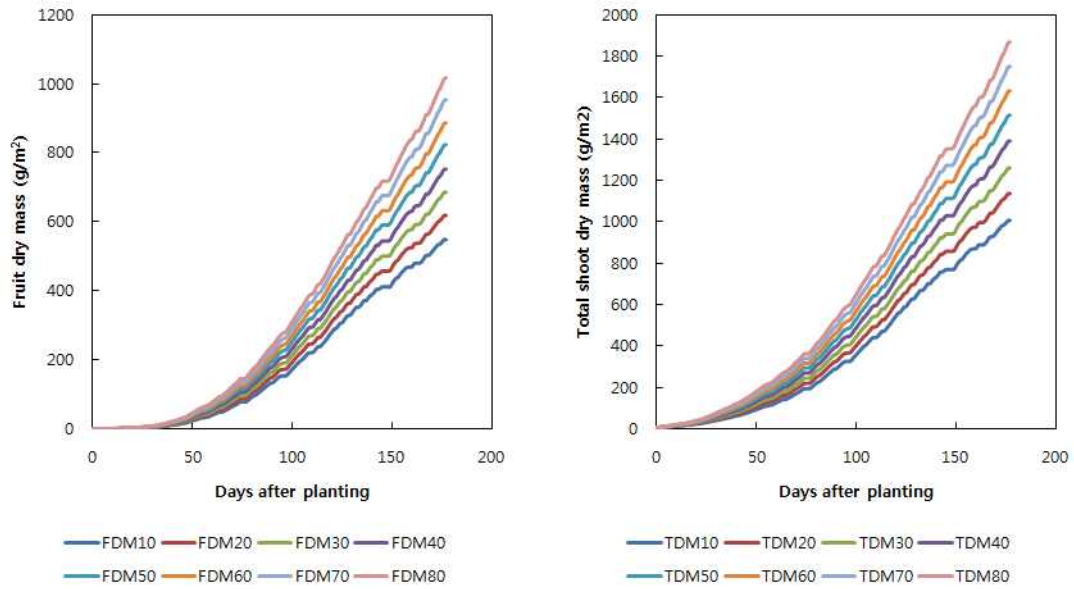


Fig. 1. Simulated shoot dry mass and fruit dry mass at different diffuse light transmissivity from 10 to 80%.

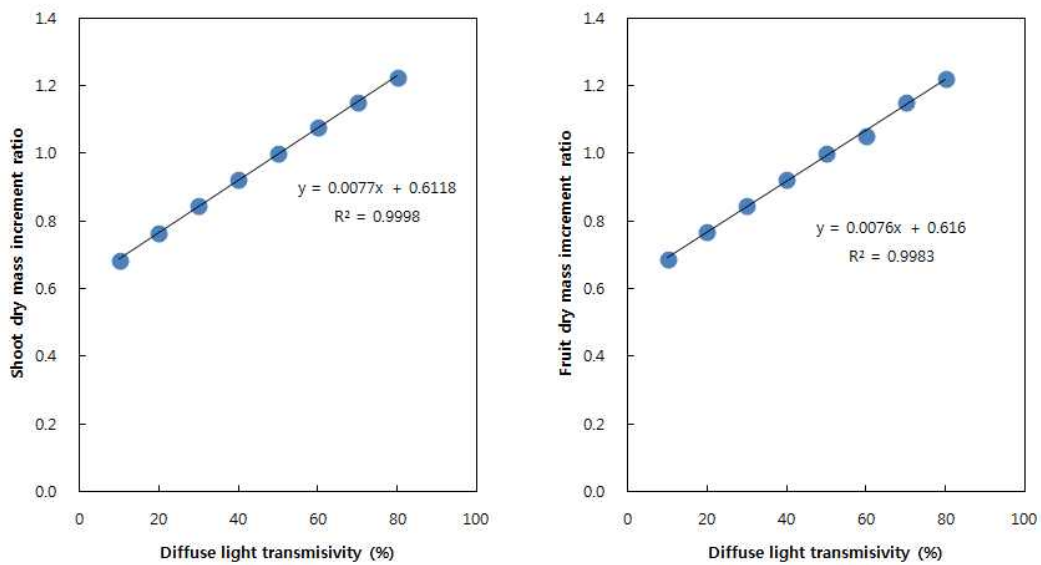


Fig. 2. Relationship between diffuse light transmissivity and simulated shoot and fruit dry mass increment ratio of sweet pepper crop.

○ 측정값과 외부광량 및 시설내부의 온도와 이산화탄소, 작물의 생육정보인 엽면적지수를 입력값으로 시뮬레이션을 통한 모델 검증한 결과를 토대로 파라미터에 있는 산란광투과율의 비율을 10%부터 80%로 10%씩 증가하여 단위면적당 건물생산량과 과의 건물생산량을 비

교 분석하였다.

- 본 모델의 경우 외부광량 전체 중 산란광의 비율을 조절하여 건물생산량의 산란광의 투과율이 매 10%씩 증가할때마다 총 건물의 생산량은 7.7%씩 증가되었으며, 과의 건물생산량은 7.6%씩 증가하였다.
- 시설외부 광량이 전체 산란광의 경우 단위면적당 생산량이 증가하나 광량이 낮은 상태에서의 산란광의 비율이 높더라도 전체광량이 낮아 단위면적당 건물생산량은 낮아진다 (Lee, 2002).

2) 주간 이산화탄소 농도에 따른 생산량 차이 분석: CO₂ :200-950ppm

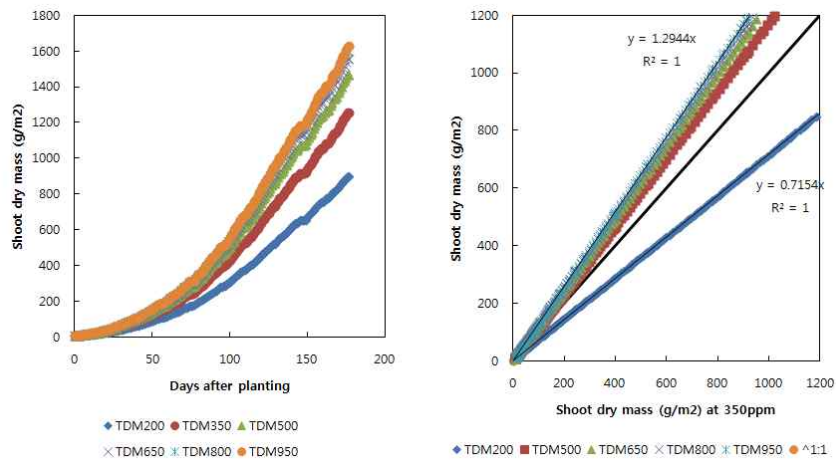


Fig. 3. Effect of CO₂ concentration on shoot dry mass and relationship between CO₂ concentration and shoot dry mass production of sweet pepper crop.

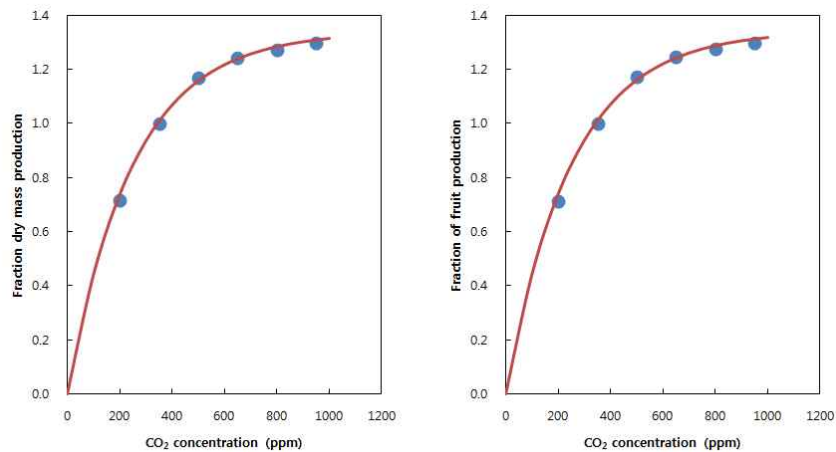


Fig. 4. Negative exponential relationship between CO₂ concentration and increment ratio (fraction) of shoot and fruit of sweet pepper crop. Fraction of dry mass production was fitted by $1.339 \cdot (1 - \text{EXP}(-0.004 \cdot \text{CO}_2))$ and fraction of fruit production was fitted by $1.342 \cdot (1 - \text{EXP}(-0.004 \cdot \text{CO}_2))$.

- 주간의 낮은 이산화 탄소 농도가 지속적이면 단위면적당 생산성은 29.5% 포인트 감소 되었다. 이산화탄소의 농도가 증가 할수록 단위면적당 건물 생산성은 증가하였지만 150ppm의 농도 증가는 낮은 농도에서 증가시 사용효율은 높았으나, 높은 농도에서는 건물생산성의 차이가 점점 낮아지는 현상을 나타냈다. 이는 이산화탄소의 이용효율이 고농도에선 매우 낮아 진다는 나타낸다(Fig. 3).
- 이산화 탄소 농도별 건물생산성을 회귀분석한 후 기울기를 이산화탄소농도별로 다시 회귀 분석한 결과 부의 지수곡선을 나타냈다(Fig. 4). 이산화탄소농도가 포화상태일 때 파프리카의 건물생산성은 33.9% 증가하며, 단위 면적당 과의 생산은 34.2%를 증가 시킬 수 있었다.
- 이산화탄소 사용 시 광합성속도를 증가 시켜 광합성산물의 생산량을 증가시켜 주고, 생산된 광합성산물은 각 기관별로 분배되어지며, 과실로 분배된 동화산물은 과중을 증가시켜 주지만 광에 대한 광합성포화 곡선과 마찬가지로 이산화탄소에 대한 포화곡선을 나타낸다.
- 네덜란드의 경우 이산화탄소는 가스보일러의 연소가스를 사용하고 있거나, 소형열병합발전기의 연소가스를 여과를 통해 온실내로 유입되고 있어 이산화탄소 사용에 대한 비용 부담이 매우 낮지만 한국의 경우 이산화탄소의 사용은 대부분 액화탄산가스를 사용하기 때문에 고농도의 사용은 생산비를 가중 시킬 우려가 있다.
- 본 연구에서 작성된 이산화탄소 농도에 따른 생산량 증가비는 파프리카 생산자의 이산화탄소 농도를 경제적인 농도를 찾는 지표로 활용 할 수 있을 것으로 사료된다.

3) 보광에 따른 건물생산량 및 과실의 생산량 증대에 관한 시뮬레이션 연구

- 보광 수준에 따른 파프리카의 생산성을 구명하는 것은 많은 비용과 시간, 공간 및 인력이 소요되므로 단기간의 보광에 필요한 적정수준을 찾는 것은 매우 어려운 실정이다.
- 2년차의 연구에서 네덜란드보다 한국의 외부광량의 계절에 따라 진폭이 크므로 낮은 광환경하에서는 생산성을 증대 시키기 위해서는 보광의 필요성이 높다. 3년차-4년차 연구의 결과에서도 보광은 생산성을 증대시키는 연구결과를 토대로 보광시간과 보광수준을 결정하여야 투자 비용절감과 생산자의 의사결정에 기초자료로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.
- 앞의 연구에서 파프리카의 건물생산성 및 수량에 대한 모델의 검증이 되었기 때문에 본 연구에서는 인공광원의 수준에 따른 건물생산성 및 과실의 생산성에 관한 시뮬레이션 연구를 수행 하고자 한다.
- 시뮬레이션에 이용된 보광을 위한 광원은 아래와 같은 고압나트륨등 600W (E-Papillon, Light Interaction Agro BV)이용하고(그림 1), 필요한 조도에 따라 단위면적당 파프리카의 건물생산성 및 과실이 생산성을 추정하여 조도를 독립변량으로 한 1ha당 광원의 개수에 대한 지표와 생산성 지표를 요약하였다.



사진 1. E-Papillon 600W (자료:Light Interaction Agro BV, www.light-interaction.com)

- 고압나트륨등의 광량자속밀도와 조도의 관계는 Fig. 5에 나타난 것과 같이 비례관계를 가지고 있으며 단위 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 당 76.336lux 이다(예를 들어 $100\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 는 7633.6lux임).

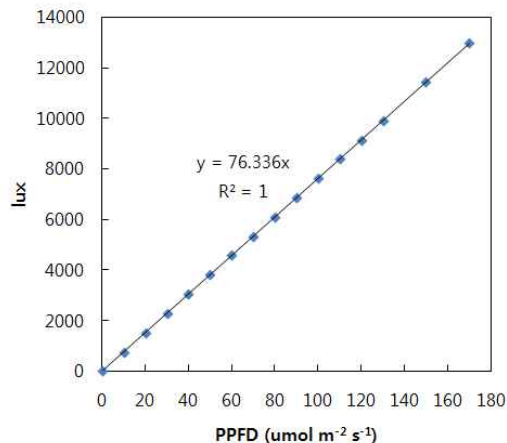


Fig. 5. Linear relationship between photosynthetic photon flux density (PPFD) and lux (source: light interaction agro BV)

분석: HPS 0-8000lux (06:00-22:00. ON: <300W/m², OFF: >400W/m²)

- 분석조건은 외부 일중광량(Fig. 6), 온실 온도(Fig. 7), 이산화탄소 농도(400고정) 및 온실의 산란광 광투과율 49.5%의 기상요인과 고압나트륨등하에서 재배된 파프리카의 기간별 엽면적지수, 초기 단위면적당 엽중, 경중, 근중, 과중을 입력하였다.
- 각 기관별 건물분배율을 정식후 일수를 독립변수 한 Gompertz Function (5차년도 나항의 연구 Fig. 9)을 이용한 하여 추정하여 입력값과 (3차년도 Exp.3-1. 고압나트륨등 보광이 파프리카의 생산량에 미치는 영향에 관한 연구의 고압나트륨등 하에서 재배된 파프리카의 엽면적지수를 입력값으로 시뮬레이션 모델의 결과 도출 하였다.

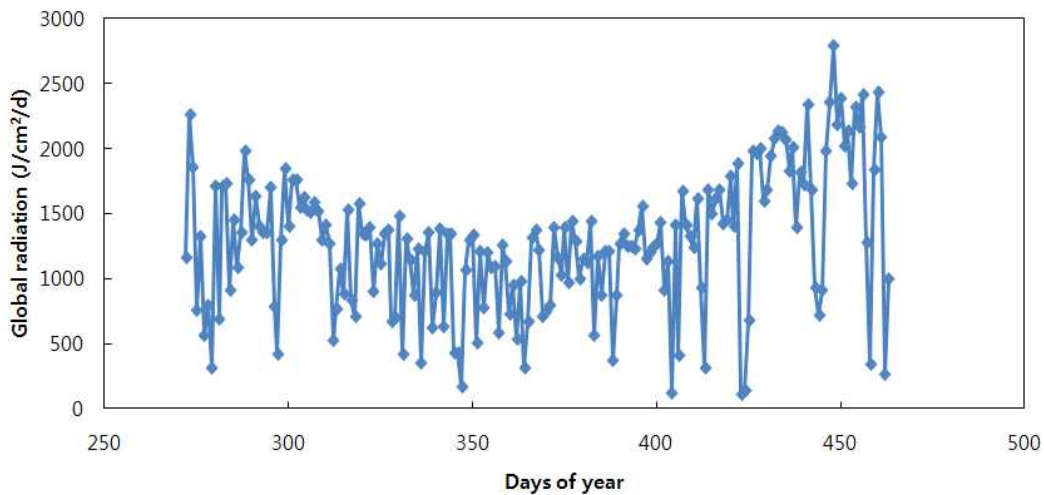


Fig. 6. Input daily global radiation(day 1 and day 366= January 1, 365= December 31)

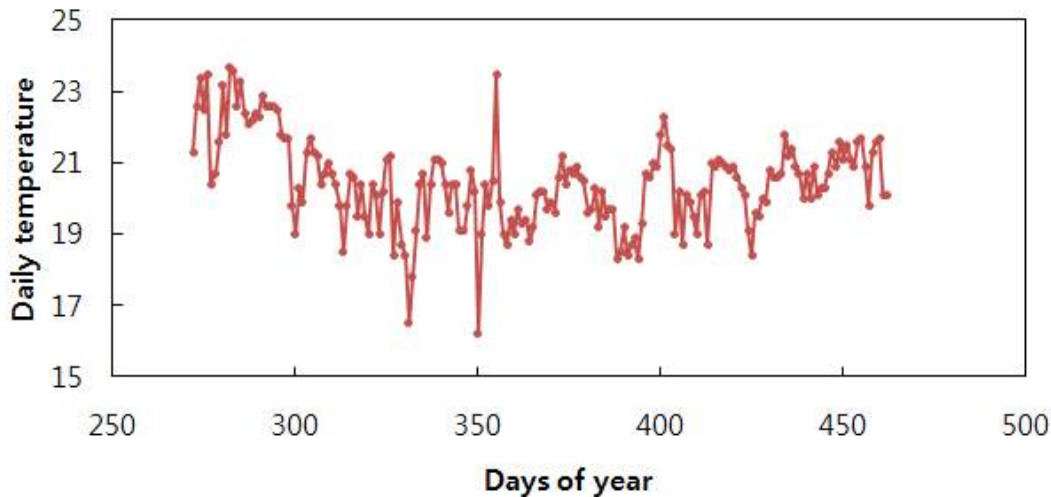


Fig. 7. Input daily greenhouse temperature (day 1 and 366= January 1, 365= December 31)

- 정식 후 191일 동안 외부 광량(Fig. 6)은 온실투과율과 광합성활성복사에너지로 환산된 후 시뮬레이션 모델에서는 PAR값을 이용하여 엽광합성량을 계산하게 된다. 일중 광량을 최대로 하는 방법 중 고압나트륨등을 24시간 켜둘 수 있지만 경제적인 타당성이 없을 것이다. 네덜란드 파프리카 재배나 토마토 재배에서 사용되는 고압나트륨등의 점등의 조건은

외부광도가 200W/m^2 – 300W/m^2 의 범위내에서 점등과 소등을 반복하게 된다. 본 연구에서는 온실의 광투과율이 네덜란드에 비해 낮기 때문에 300W/m^2 이하에서 점등되게 하였고 외부 광도가 400W/m^2 이상에서 소등하게 하여 오전 6시부터 22시까지 일조시간의 조건을 모델에 입력하였다.

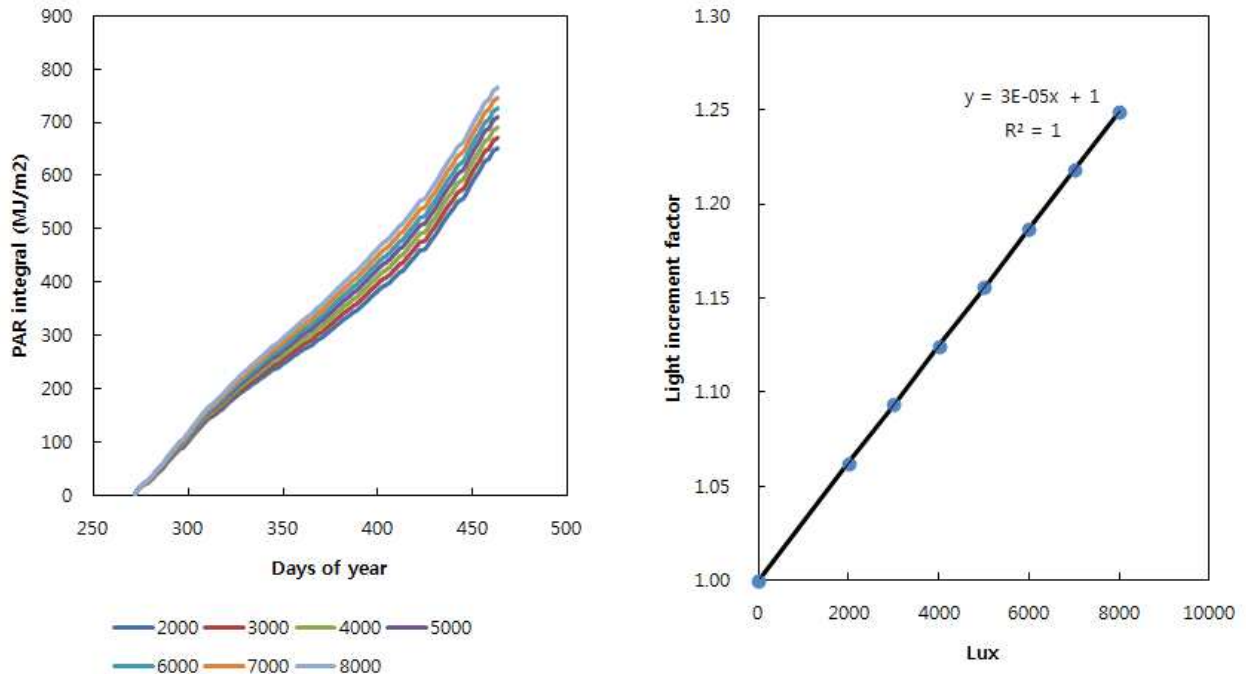


Fig. 8. Integration of photosynthetically active radiation (PAR) in the greenhouse and light increment factor.

- 외부광도 조건에서 따른 시설내부의 광합성활성복사에너지의 량은 조도가 증가할수록 비례적으로 증가하였다. 11월과 2월의 초순까지의 고압나트륨등의 사용시간은 증가하였고 191 일동안 사용한 결과 조도 1000 lux 증가 당 광량은 3%씩 증가하였다. 파프리카의 보광의 수준은 네덜란드에서는 3500–4000lux에서 조사 하며, 본 시물레이션에서는 3000lux에서의 광합성활성복사에너지의 9%, 4000lux에서는 12%, 8000lux에서는 24%를 증가시켰다 (Fig 8).
- 조도가 증가할 수 록 단위면적당 건물생산성은 증가하였으며, 조도에 따른 건물증가는 비례적으로 나타났다 (fig 8).
- 조도에 따른 건물의 증가비율의 회귀 분석한 결과 조도 1000lux 증가 마다 건물생산성은 4% 증가하여, 2000lux에서는 8%, 8000lux에서는 32%의 증가율을 보였다 (Fig. 8)
- 광합성을 기본을 둔 시물레이션 모델의 경우 결과가 건물중으로 계산된다. 각 기관별 건물 생산량 중 과실의 건물생산량이 더 고압나트륨등의 설치 및 운영에 더 중요한 요소이므로 Gompertz 함수를 이용한 추정된 건물중의 분배율은 모델의 입력값으로 사용하였기 때문에 단위면적당 과실의 건물생산량은 SIN함수를 이용한 과실의 건물함량으로 나눈 값을 이용하여 과실의 생체중으로 환산한 값은 Fig. 9에 나타냈다.

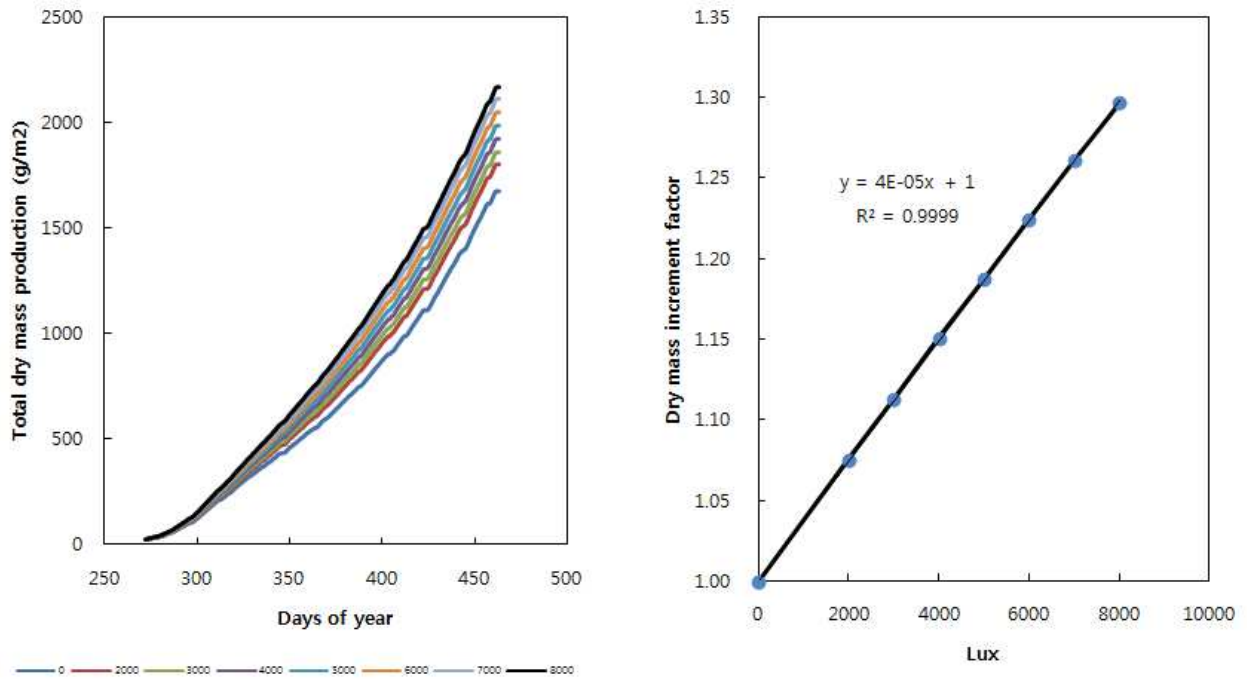


Fig. 8. Simulated dry mass production and dry mass increment factor at different lux.

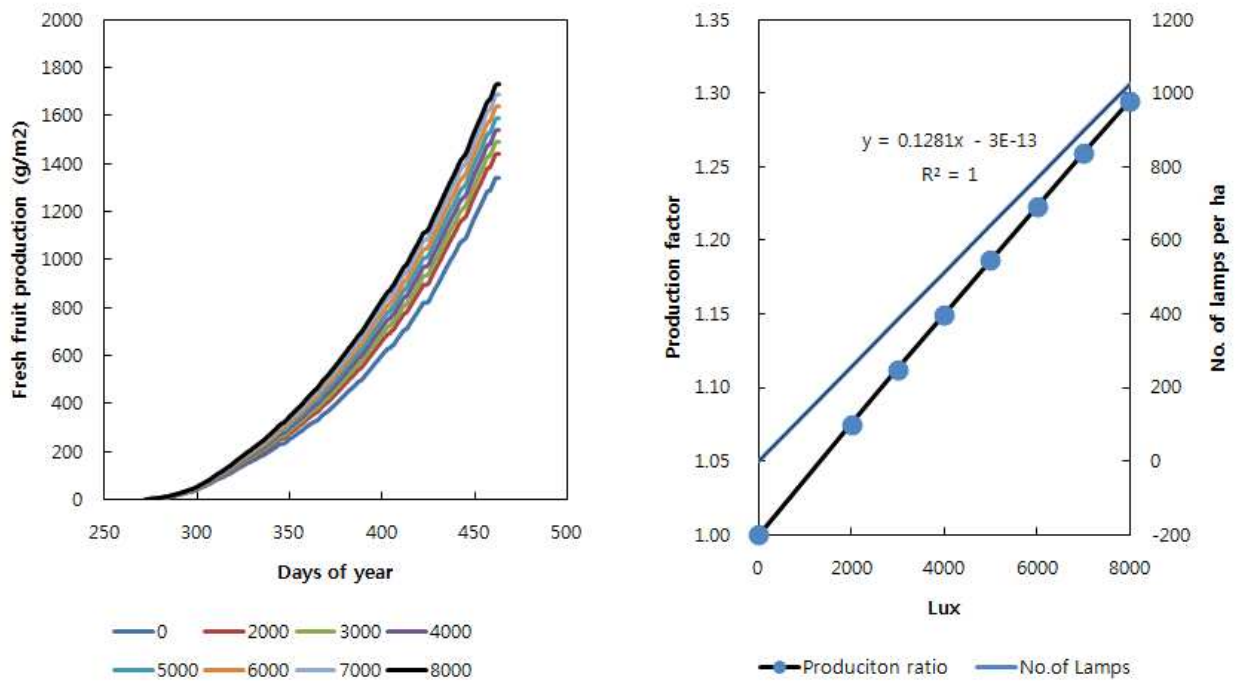


Fig. 9. Simulated fresh fruit production and production factor and number of lamps per ha as function of lux.

- Fig. 9의 단위면적당 생과중은 건물중과 마찬가지로 조도에 증가에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 보였다. 생과중의 생산량의 증가비도 건물생산량의 증가비와 동일하게 1000lux 증가시 4%씩 증가하였으며, 8000lux에서는 과실을 32%더 생산이 가능할 것으로 추정되었다.
- 토마토와 같은 가지과에서는 고압나트륨의 조도는 12,000lux 이상에서 고압나트륨 광원을 사용하게 되면 경제적 타당성이 있다고 한다. 하지만 파프리카에서는 인공광원의 광도가 증가할 수록 엽과 과실의 생리장해가 발생된다고 한다. 저광환경하에서의 장기간 조사에서는 과실의 기형과 발생율이 높아 진다고 하였으며, 본 연구과제 3년차에서는 기형과보다는 배꼽썩이과의 발생이 대조구에 비해 높았다.
- 조도와 생산성은 비례관계를 가지는 것과 마찬가지로 1ha 필요한 조도에 도달하기 위해 600W 램프의 설치개수는 원하는 lux에 계수값 0.1281을 곱하면 1ha 당 필요한 개수를 산출 할 수 있었다.
- 인공광(16시간조사, <300W/m² ON, >400W/m² OFF)의 1000lux 증가시 광량을 3% 증가 시켜 주며, 과실생산성은 4% 증가시키고, HPS 1000lux 당 1ha에 고압나트륨등이 128개(600W HPS) 소요됨

라. 시뮬레이션 모델의 입력 파일의 해석

- 본 파라미터 파일은 Tomsim (Heuvelink, 1996)과 Chrysimv1.0(Lee, 2002)의 파라미터 파일의 기본을 두고 해석하였음
- 실행파일은 Fortran 소스파일을 컴파일러를 통해 실행파일을 제작하였고, 실행파일은 배치 파일에 아래와 같은 파라미터 파일(para.dat), 광투과율 및 온실의 구조에 따른 파라미터 파일(transref.dat), 온실내부의 시간별 온도 및 이산화탄소 농도(clim.csv), 외부 일중광량(globalRad.csv)으로 이뤄져 있으며, 파일이름은 수정해도 되지만, 배치파일엔 동일한 이름을 사용하여야 실행파일에서 파일을 인식 하지 못함.

1) File name: para.dat

```

* Greenhouse sweet pepper crop and timer parameters - Sep. 2012 (설명문)
'REFERENCE DATA' (모델입력을 위한 기초자료 입력)
*FORMAT STRINGINPUT (모델의 실행파일은 포트란 기준 스트링 형식)
'(A14,A10)'
* name of outputfile from parameterfile - default SUCFOR.CSV
* may be overruled when called from batchfile (check below)!!!
OUTFIL = SUCFOR.CSV (모델의 기본 출력파일 이름은 sucfor.csv로 저장)
*FORMAT PARAMETERINPUT (파라미터 입력 형식)
'(A14,F8.3)'
TMPA= 20. (기준 온도는 20°C)
CO2= 340. (기준 이산화탄소 농도는 340ppm)
KDIF= 0.74 (산란광하에서의 광소멸계수)
SCV= 0.15 (개별엽의 Scattering coefficient)
MAINLV= 0.03 (25°C에서의 엽의 유지호흡량,gCH2O g-1DM d-1)
MAINST= 0.015 (25°C에서의 줄기의 유지호흡량,gCH2O g-1DM d-1)
MAINSO= 0.01 (25°C에서의 생식기관의 유지호흡량,gCH2O g-1DM d-1)
MAINRT= 0.01 (25°C에서의 뿌리의 유지호흡량,gCH2O g-1DM d-1)
Q10= 2. (온도에 영향을 받는 Q10 값)
REFTMP= 25. (유지호흡 계산을 위한 기준 온도)
ASRQLV= 1.39 (엽 건물생성을 위한 동화산물의 요구도,gCH2O g-1DM)
ASRQST= 1.45 (줄기 건물생성을 위한 동화산물의 요구도,gCH2O g-1DM)
ASRQSO= 1.37 (생식기관건물생성을 위한 동화산물의 요구도,gCH2O g-1DM)
ASRQRT= 1.39 (뿌리 건물생성을 위한 동화산물의 요구도,gCH2O g-1DM)
WLV= 4.875875279 (초기 엽건물중, g m-1)
WST= 18.99565208 (초기 경건물중, g m-1)
WSO= 0.00 (초기 생식기관 건물중, g m-1)

```

WRT= 3.045773304 (초기 뿌리건물중, g m⁻¹)
STARTTIM= 272. (시작일, d¹)
FINTIM= 347. (종료일, d¹)
DELT= 1. (계산간격일, d)
PRDEL= 1. (출력 간격일, d¹)
* switch ShortDay (darkscreen) 1.0=on / 0.0=off (부직포, 보온율이 높은 스크린을 사용할 경우)
SWDARKSCREEN= 0. (암막스크린의 사용 유무에 결정)
BEGDAY_DSCR = 181. (암막스크린의 사용 시작일)
ENDDAY_DSCR = 237. (암막스크린의 사용 종료일)
* timings of ShortDay-period (일장조절을 위한 가능하게 옵션추가)
BEGTIME_SD = 7.0 (주간 시작 시간)
ENDTIME_SD = 18.5 (야간 시작 시간)
* switch sunscreen 1.0=on / 0.0=off (차광망 사용 유무)
SWSUNSCREEN = 0. (차광망 사용 유,1, 사용하지 않을 경우 0)
* trigger GLOBRAD for SUNSCREEN
TRSUNSCRAD = 500. (차광망 사용을 위한 외부광도 결정, 예: 500W/m2이상에서 차광망 단입)
*screenfactor when sunscreen is open
SUNSCRFACO = 1.0 (차광망이 열려 있을 경우 투과된 광도는 온실 투과율에 의한 값으로 계산)
* screenfactor when sunscreen is closed
SUNSCRFACC = 0.5 (차광망이 닫힐 경우 0.5는 유입된 광의 50% 감소 시킴)
* switch AL available yes = 1.0/ no = 0.0 (보광등의 사용 유무 결정, 1: 사용, 0은 사용하지 않음)
SWALYESNO = 1.
* AL-level in J m⁻² s⁻¹ PAR
ALLEVEL = 10.34427 (보광등의 광합성활성복사에너지를 W/m2 로 환산하여 입력)
* time-triggers AL in 0.5 hours (loop in TOTASS adjusted for 48* 0.5 hours!!)
ALTIMEON = 6.0 (보광등의 점등 시간 입력)
ALTIMEOFF = 22. (보광등 소등 시간 입력)
* triggers AL GlobRad outside in J m⁻² s⁻¹
RADALON = 1300. (보광등이 켜지는 외부 광도 입력)
RADALOFF = 1000. (보광등이 꺼지는 외부 광도 입력)
*parameters for SLA-function, when active. First 2 in cm²g⁻¹ (leaf)
SLAOffset = 266. (LAI를 계산하기 위해 비엽면적 모수입력, SIN 함수)
SLAFamplit = 88. (LAI를 계산하기 위해 비엽면적 모수 입력, SIN 함수)
* timelag parameter SLA-function in days
SLAftimelag = 68. (LAI를 계산하기 위해 비엽면적 모수중 기간 입력, SIN 함수)
* correctionfactor for runs when T is not 20 degr.
CORSLA = 1. (온도가 20도가 아닌 경우 SLA의 보정)
* switch for DEVSTAGE taken into account for partitioning 1.0=on / 0.0=off
SWPARTBYDS = 0. (건물분배 계산시 상대 발육단계를 계산할 것인지 유무 결정, 본연구에서 사용안됨)
* starting day for DevStage=0. (most of the time same as STARTTIM) used when DEVSTAGE is taken into account for partitioning
DAYDEVST0 = 160. (본연구에서 사용되지 않됨)
* initial value for LAI - to be used when LAI is calculated and not read from table
LAIinit = 0.319517
* Mleaf=2.629-0.1174*LNavrPARincWholePeriod-0.3409*LNavrTempwholePeriod (AVRG 1.541573667)
Mleaf = 1.389
* Plant density (pl/m2) ranging (본 연구에서 사용 안됨)
PIDens = 3.5
* LUE0 als parameter for deriving Cmax (Lee 2002)
LUE0par = 7.7 (본 연구에서 사용 안됨)
* Ci als parameter for deriving Cmax (Lee 2002)
Cipar = 25.18 (본 연구에서 사용 안됨)
*
* Data on dry matter distribution; number of values is mentioned first,
* (day of year, fraction) combinations; FLVT for leaves, FSTT for stem,
* FRTT for roots and FFLT for flowers,
* BE CAREFUL: FLVT, FSTT and FSOT are fractions of above ground plant parts!
* FLVT (엽으로의 건물 분배율 작성)
40 (총 실수의 개수)
272,0.424406121
284,0.424406121
285,0.43325475
293,0.43325475
294,0.379432771
307,0.379432771
308,0.263540989
335,0.263540989
336,0.167252101
357,0.167252101
358,0.11845809
377,0.11845809
378,0.092262596
396,0.092262596
397,0.07686807
419,0.07686807
420,0.06855287
440,0.06855287
441,0.064527215
463,0.064527215
*
* FSTT (줄기로의 건물 분배율 작성)
40
272,0.249931109
284,0.249931109
285,0.225619514
293,0.225619514
294,0.223141919

307.0.223141919
 308.0.21540364
 335.0.21540364
 336.0.193384845
 357.0.193384845
 358.0.172940034
 377.0.172940034
 378.0.159157663
 396.0.159157663
 397.0.151193955
 419.0.151193955
 420.0.148274265
 440.0.148274265
 441.0.148324243
 463.0.148324243
 *
 * FRT (뿌리로의 건물 분배율 작성)
 4
 272.0.08
 463.0.08
 *
 * FSOT: (생식기관으로의 건물 분배율 작성)
 40
 272.0.
 284.0.
 285.0.341125736
 293.0.341125736
 294.0.39742531
 307.0.39742531
 308.0.52105537
 335.0.52105537
 336.0.639363054
 357.0.639363054
 358.0.708601876
 377.0.708601876
 378.0.748579741
 396.0.748579741
 397.0.771937976
 419.0.771937976
 420.0.783172865
 440.0.783172865
 441.0.787148542
 463.0.787148542
 *
 ** data for LAI on density
 * LAIT (엽면적 지수)
 22
 272.0.20037675
 285.0.47799075
 294.0.73390725
 308.1.319328
 336.1.879107
 358.2.52348
 378.2.80050525
 397.3.46434
 420.3.803601
 441.3.677374275
 463.4.48803
 *
 * data for Specific Leaf area (SLA) ,SLA11
 * SLAT (동적 비엽면적, 본 연구에서 사용되지 않음)
 4
 272.355.
 463.355.
 *
 * Data on harvested part (given is cumulative picked dry weight m⁻²)
 * WLVP(적엽량, 본 연구에서 사용되지 않음)
 *
 4
 272.0.
 463.0.
 *
 *
 *WSTP(줄기 제거량, 본 연구에서 사용되지 않음)
 4
 272.0.
 463.0.
 *
 *
 * WSOP (과실 제거량, 본 연구에서 사용되지 않음)
 4
 272.0.
 463.0.

2) 광투과율 및 온실로의 광입사각 계산 파일: transref.dat

* Transmission for diffuse radiation TRDIF (산란광의 투과율 입력)
0.63
* Deviation of N-Z orientation of greenhouse AZIMGH
-24.
* Number of layers NEL
8
* Elevation of elevation layers DATA EL
2.5, 7.5, 12.5, 22.5, 32.5, 42.5, 52.5, 62.5
* Number of data entries (azimuth-values) in each elevation layer DATA NAZ
9,9,9,9,9,8,6
* Azimuth-values DATA AZ
2.5, 12.5, 22.5, 32.5, 47.5, 57.5, 67.5, 77.5, 87.5,
2.6, 13.2, 23.8, 34.4, 45.0, 55.6, 66.2, 76.8, 87.4,
2.8, 14.1, 25.3, 36.6, 47.8, 53.4, 64.7, 75.9, 87.2,
3.2, 16.1, 22.5, 35.4, 41.8, 54.6, 61.1, 73.9, 86.8,
3.8, 18.8, 26.3, 33.8, 48.8, 56.3, 63.8, 78.8, 86.3,
4.5, 13.5, 22.5, 31.5, 40.5, 58.5, 67.5, 76.5, 85.5,
5.6, 16.9, 28.1, 39.4, 50.6, 61.9, 73.1, 84.4, 0.,
7.5, 22.5, 37.5, 52.5, 67.5, 82.5, 3*0.
* Transmission of construction DATA TC
9*0,
.307, .284, .246, .192, .201, .186, .168, .159, .161,
.484, .464, .449, .430, .364, .354, .341, .342, .357,
.629, .630, .613, .587, .578, .606, .609, .623, .649,
.690, .659, .693, .682, .670, .669, .670, .682, .693,
.728, .714, .702, .692, .734, .730, .733, .739, .748,
.754, .742, .732, .725, .772, .773, .777, .785, .0,
.773, .764, .756, .753, .754, .760, 3*0
* Transmission of glass DATA TG
.125, .305, .380, .428, .467, .480, .487, .489, .490,
.326, .497, .613, .671, .697, .708, .712, .713, .715,
.500, .566, .718, .776, .803, .811, .819, .822, .823,
.723, .730, .748, .839, .853, .871, .876, .883, .885,
.826, .824, .823, .828, .875, .888, .894, .897, .898,
.871, .870, .868, .866, .864, .865, .860, .878, .873,
.891, .890, .888, .886, .884, .883, .882, .881, 0.,
.899, .898, .897, .896, .895, .894, 3*0.

3) 시설내부의 환경 입력 파일: clim.csv (1월 1일을 1로 하고 365일이 넘어가면 익년 1월 1일을 366으로 함,

반드시 일자, 시간, 온도, 이산화탄소 농도 순이어야 하며, 각 변량간의 구분은 ,로 구분해야 함.)

* day, hr,tmep,co2
272,1,21,3,400
272,2,21,3,400
272,3,21,3,400
272,4,21,3,400
272,5,21,3,400
272,6,21,3,400
272,7,21,3,400
272,8,21,3,400
272,9,21,3,400
272,10,21,3,400
272,11,21,3,400
272,12,21,3,400
272,13,21,3,400
272,14,21,3,400
272,15,21,3,400
272,16,21,3,400
272,17,21,3,400
272,18,21,3,400
272,19,21,3,400
272,20,21,3,400
272,21,21,3,400
272,22,21,3,400
272,23,21,3,400
272,24,21,3,400

4) 외부광량 입력파일: globalRad.csv (1월 1일을 1로 하고 365일이 넘어가면 익년 1월 1일을 366으로 함, 반

드시 일자, 외부 광량을 입력하기 위해 파일 작성하고, 각 변량간의 구분은 ,로 구분해야 함.)

*J/cm2/d
272,1165
273,2258
274,1857
275,752
276,1327
277,565
278,794
279,315

280,1708
281,693
282,1709
283,1734
284,911
285,1452
286,1089
287,1356
288,1979

4) 배치파일의 작성

배치파일의 작성 순서는 아래와 같다.

```
Lee_2012_QW.exe  FIXEDCROP:F  LAICALC:F  SLAFUNCT:F  TRANSFIL:TRANSREF..DAT  TRANSCOR:0.7  
PARFIL:par.DAT      FILNAM1:globalrad.csv      FILNAM2:clim.csv      OUTFIL:JNU_conG1.CSV  
WEERDAY:WD1_JNU2011G1CON.CSV  WEERDA2:WH1_JNU2011G1CON.CSV  MAINTRGRDEP:F  CORPMMT:1.0  
COREFF:1.0 CropGrowthLUE:F LATbatch:35.17
```

배치파일의 해석

Lee_2012_QW.exe(실행파일명) FIXEDCROP:F (입력정보를 동일하게 사용할 것인지 질의, F는 사용하지 않음, T의 경우 사용함) LAICALC:F (LAI를 계산하여 사용할 것인지) SLAFUNCT:F (비엽면적을 계산할 것인지 질의) TRANSFIL:TRANSREF..DAT(온실의 광투광에 대한 파일정보) TRANSCOR:0.7 (광투과율 보정) PARFIL:par.DAT (초기기관별 건물중, 동화산물의 이동비율 및 엽면적지수 등 작물의 기본정보 입력파일) FILNAM1:globalrad.csv(외부광량 파일) FILNAM2:clim.csv(온실내부의 온도, 이산화탄소농도 입력파일) OUTFIL:JNU_conG1.CSV(모델이 계산된 값의 출력 파일 이름 지정) WEERDAY:WD1_JNU2011G1CON.CSV(광량, 일평균 온도 및 이산화탄소 농도 출력파일 이름 지정) WEERDA2:WH1_JNU2011G1CON.CSV(한시간별로 출력파일 이름지정) MAINTRGRDEP:F (유지호흡계산시 상대생장율을 고려하여 계산할 것인지 질의, T or F) CORPMMT:1.0 (PMMT의 조절계수) COREFF:1.0 (초기광합성이용효율 변환 계수 입력) CropGrowthLUE:F (광이용효율에 의한 계산을 할 것인지 질의) LATbatch:35.17 (위도 입력)

제2-2절 파프리카의 시설별 지상부 최적 생육환경 조건 개발

1. 파프리카 재배 현장(농가)의 환경 관리 수준 및 생산성 조사 분석

가. 파프리카 재배 온실의 지상부 주요 환경요인과 수확량 간 관계

(1) 파프리카 재배농가의 환경 요인과 수확량 패턴

- 24시간 평균온도는 광량과 난방에 의해 조절되는데, 본 연구에 ERP 자료를 이용하여 각 농가별 외적환경요인에 의한 24시간 평균 온도 관리 습성을 파악하고자 누적광량과 누적 일중 평균온도간의 상호관계를 분석한 결과 각 농가별로 단위 광량당 24시간 평균온도의 관리는 1.25에서 1.82로 매우 상이하였음.
- 외부광량이 1MJ/m² 가 증가시 AE농가의 경우 1.82°C씩 증가하였으며, 가장 낮은 농가는 1MJ/m² 당 1.25°C씩 증가하였음(Fig 1., Table 1).
- 광량에 따른 24시간 평균온도의 계수가 증가할수록 수확량이 급격히 감소하였음. 광량에 따른 평균온도계수 1°C/MJ 증가할 시 파프리카의 수량은 2.19kg/m² 감소하는 경향을 보였음 (Fig. 2).
- 복합환경조절 장치를 이용하는 농가의 경우 광량에 따라 24시간 평균 온도를 상승시키기 위해 환기창의 환기온도 설정을 광도나 광량에 의해 상승시키지만, 본 연구에서는 광량에 의한 24시간 평균 온도 상승률이 너무 높을 경우 수량을 감소한 것으로 나타났음(Fig. 2).

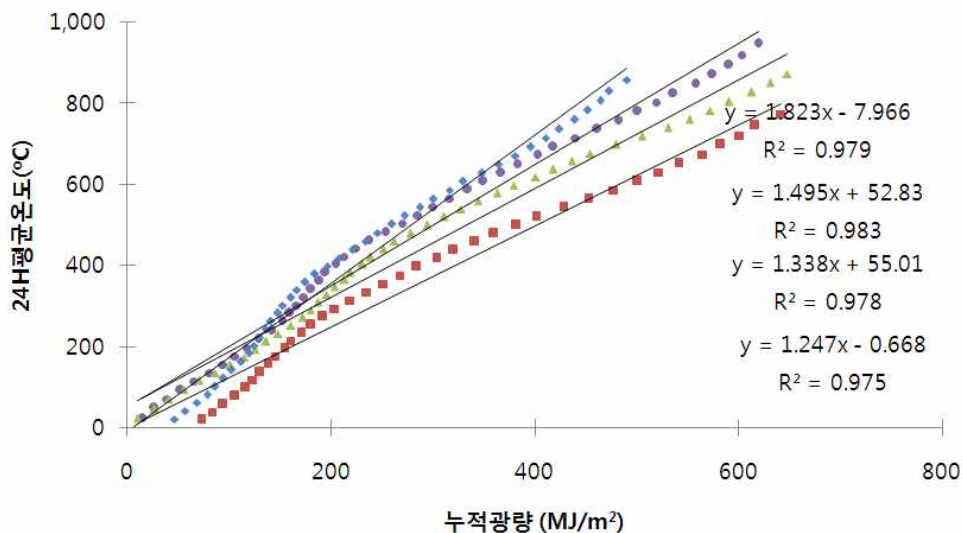


Fig 1. Linear relationship between light integral and temperature integral at four commercial

glasshouses.

Table 1. Co-efficiencies of linear regression between light integral(MJ/m²) and temperature integral at four commercial glasshouses.

Greenhouse	regression co-efficiency °C/(MJ/m ²)	R ²	production (kg/m ²)
AE	1.82	0.98	12.96
DO	1.25	0.98	14.16
AH	1.50	0.98	13.71
YU	1.34	0.98	14.10

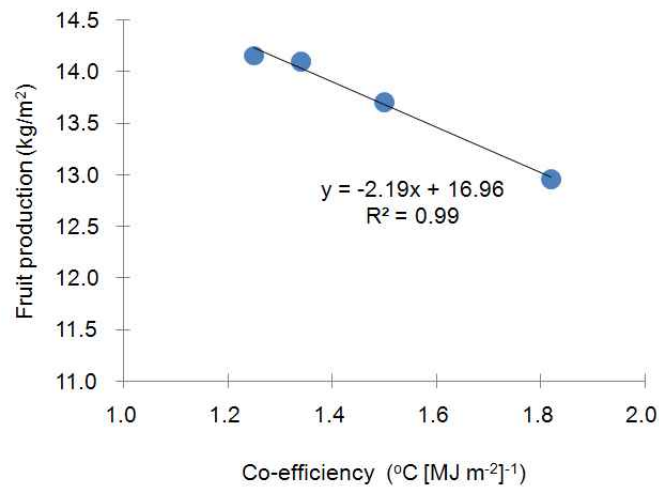


Fig. 2. Effect of co-efficiency of temperature integral to light integral on fruit production of sweet pepper grown at four commercial glasshouses.

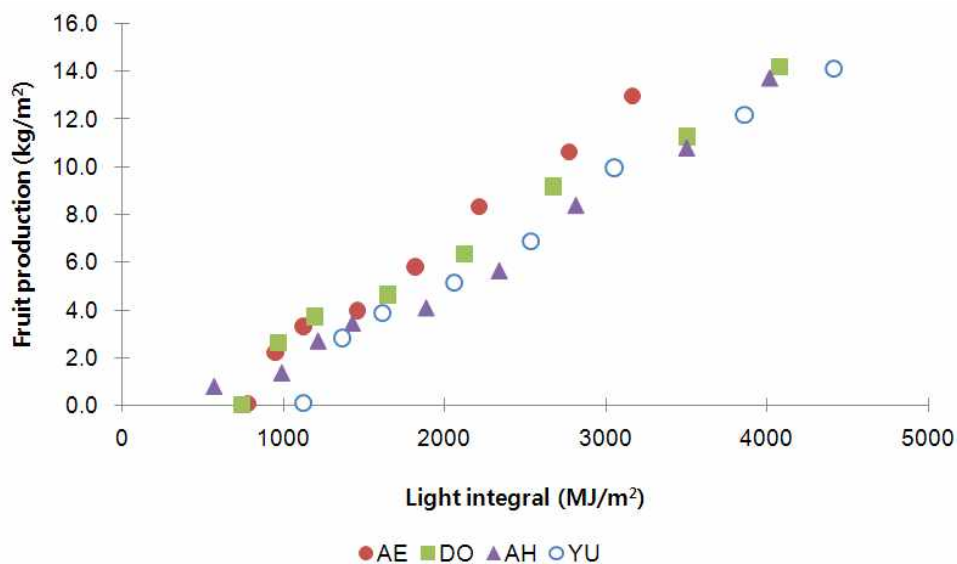


Fig. 3. Linear relationship between light integral(outside light) and fruit production of sweet pepper at four commercial glasshouses.

- 파프리카 수량은 누적과량과 매우 밀접한 상관관계를 가지고 있으며, 외부광량이 100MJ/m²가 증가 시 수량은 300-500g/m²의 증가되었음(Fig 3 과 Table 2).
- 외부의 동일한 광량에 따라 파프리카 생산량은 최고값에 대비 최소값은 60% 차이를 보였음(Table 2).
- DO와 AH 농가는 파프리카 수량에 대한 광이용효율이 매우 낮았음(Table 2).

Table 2. Co-efficiencies of linear regression between light integral(MJ/m²) and fruit production (kg/m²) of sweet pepper grown at four commercial glasshouses.

Grower	Co-efficiency (kg/MJ ⁻¹)	constant	R ²
AE	0.005	- 2.998	0.978
DO	0.003	- 1.689	0.981
AH	0.003	- 2.134	0.979
YU	0.004	- 3.224	0.981

- 유리온실 4농가 모두 적산온도와 수량과의 관계는 선형적인 관계를 보였으며 (Fig. 4), 선형함수의 계수의 편차는 광이용효율의 차이보다 작게 나타났음 (Fig. 4와 Table 3).
- 과실의 수확율은 24시간 평균온도에 영향을 받으므로 수량을 적산온도로 분석한 결과 농가간 단위 적산온도당 수량의 차이를 줄일 수 있었으며, 농가간 단위 기간당 수량예측은 24시간 평균온도에 의한 모델 개발의 가능성이 높게 나타났음 (Fig. 4 와 Table 3).

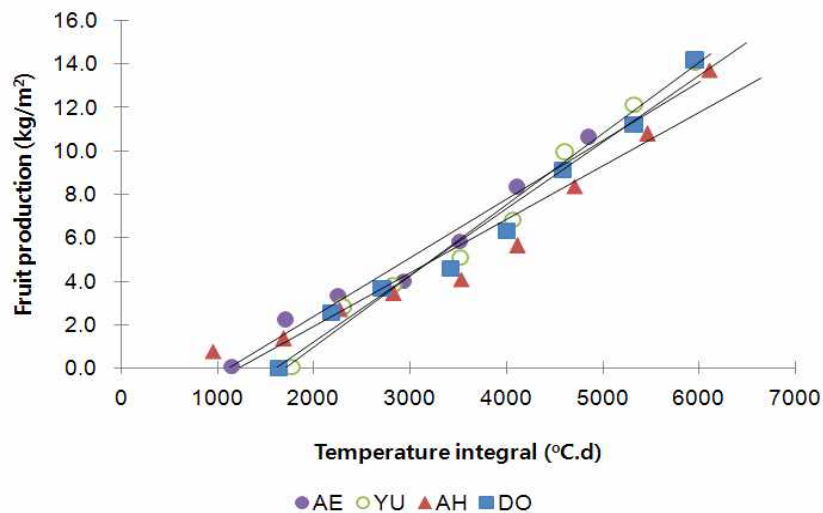


Fig. 4. Linear relationship between temperature integral and fruit production of sweet pepper grown at four commercial glasshouses.

Table 3. Co-efficiencies of linear regression between temperature integral($^{\circ}\text{Cd}$) and fruit production (kg/m^2) of sweet pepper grown at four commercial glasshouses.

	Co-efficiency ($\text{kg}/^{\circ}\text{Cd}$)	constant	R^2
AE	0.002	-3.038	0.972
DO	0.003	-4.968	0.978
AH	0.002	-3.011	0.935
YU	0.003	-5.585	0.985

(2) 파프리카 재배 농가의 온실 종류별 파프리카의 생리 및 수량 분석

- 비닐온실과 유리온실에서 재배되고 있는 파프리카의 생육 특성을 비교하고자, 엽광합성 특성을 조사한 결과 최대 순광합성은 유리온실에서 $16.83\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 비닐온실에서는 $14.93\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 13%정도 높게 나타났다(Fig. 5).

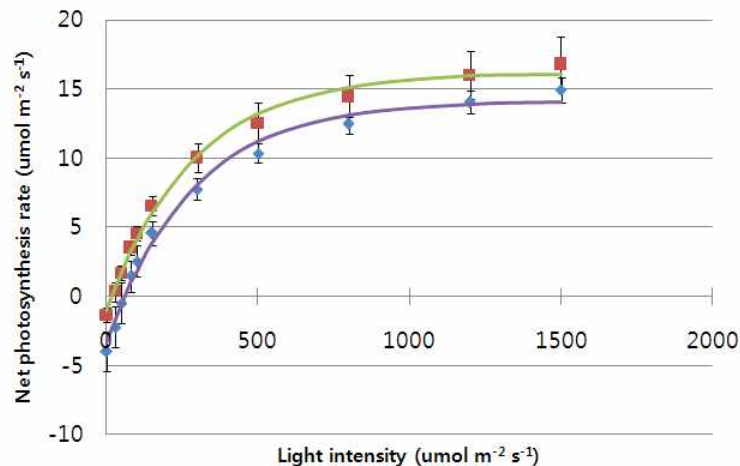


Fig. 5. Effect of light intensity on photosynthesis rate of sweet pepper plant grown at glasshouse(■) and plastic house (◆)

- 비닐온실보다 유리온실에 순 광합성량이 더 높게 나타난 원인을 찾기 위해 총 광합성량과 호흡량을 추정해 본 결과 총 광합성량은 비닐온실과 유리온실에서 동일하게 나타났으며, 호흡량의 차이가 비닐온실에서 유리온실에서보다 많은 것으로 나타났음 (Table 4).
- 호흡량의 차이는 엽광합성 측정시 동일한 온도조건으로 측정하였기 때문에 온도에 의한 차이라 볼 수 없음. 유리온실에서 재배된 파프리카의 경우 비닐온실에 보다 고광도에 훨씬 쉽게 적응하기 때문에 높은 광환경에서의 호흡보다는 상대적으로 높은 광합성효율이 낮은 광환경에서 자란 파프리카 보다는 높았을 것으로 사료됨

Table 4. Characteristics of leaf photosynthesis of sweet pepper plant grown at glasshouse and plastic house

	Glasshouse	SE	plastic-house	SE
E_0	0.0598	0.004	0.0625	0.006
P_{gmax}	17.20	0.37	17.58	0.58
R_d	-1.00	0.30	-3.42	0.46

- 유리온실 4농가에서와 마찬가지로 누적광량에 의한 수량의 차이가 비닐온실과 유리온실에서 차이가 많이 나타났음. 파프리카 생산량에 대한 외부광 이용 효율을 유리온실에서 100MJ 당 350g/m²을 생산하였지만, 비닐온실에서는 100MJ/m² 당 240g/m²을 생산하여, 단위광량당 생산성의 차이는 유리온실에서 46%정도 높게 나타났음 (Fig 6).
- 단위기간당 생산성은 24시간 평균온도에 의해 영향을 받으므로 단위 적산온도 증가율에 대비 유리온실에서 비닐온실보다 47% 높은 생산율을 보였음 (Fig 6).
- 시설내부의 24시간 평균온도 조절을 추가 난방 에너지없이 광량에 의해 더 쉽게 높일 수 있으므로 유리온실에서 단위기간당 생산율이 적산온도에 대비 높은 것으로 사료되었음. 뿐 만 아니라 Fig. 1에서 보는 바와 같이 적산온도는 적산광량과 비례관계를 가지고 있으므로 수량분석은 적산광량과 적산온도의 상호관계를 분석해야 할 것으로 사료되었음.
- Fig. 7의 경우 적산온도와 적산광량의 곱을 독립변량으로 분석한 상관계수는 광량과 적산온도에 단독의 독립변량에 의한 수량 분석과 큰 차이를 보이지 않았음

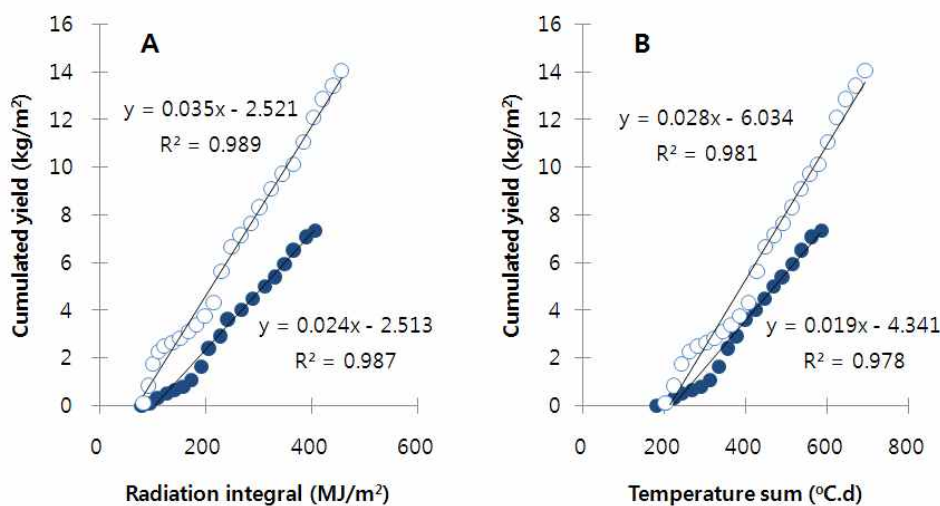


Fig. 6. Linear relationship between radiation integral (A) or temperature integral (B) and fruit production of sweet pepper grown at glasshouse or plastic greenhouse.

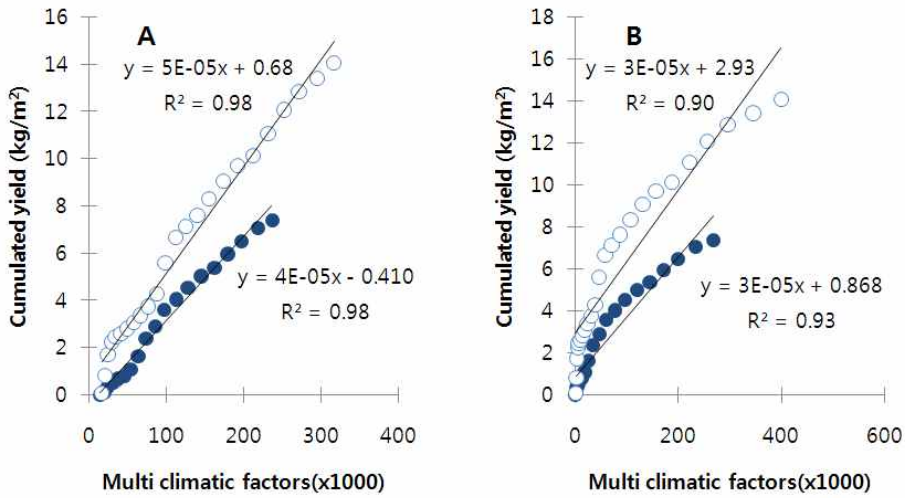


Fig. 7. Linear relationship between multi climatic factors [light and temperature (A), light, temperature and CO₂(B)] and fruit production of sweet pepper grown at glasshouse or plastic greenhouse.

○ 파프리카 생산성에 영향을 미치는 주요 환경요인은 광, 온도, CO₂이므로 3요인의 상호작용을 인정할 경우 직선회귀를 다중요인에 의한 분석은 불가능하였음. 광, 온도, CO₂ 3요인에 의한 회귀 분석을 위해 Rectangular hyperbolic 함수를 이용하여 분석하였음 (Fig 8).

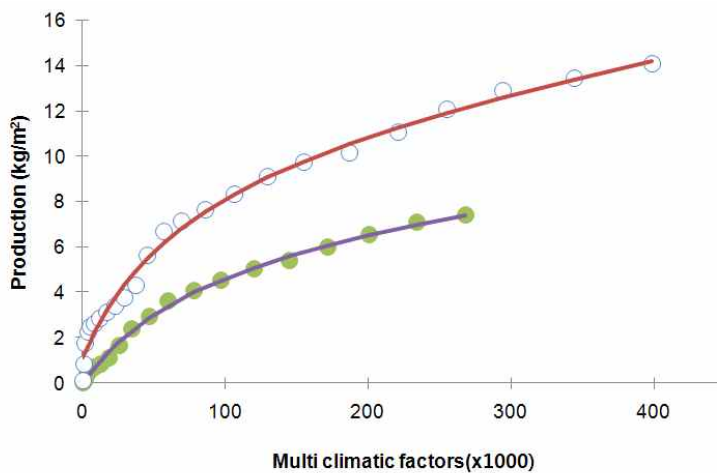


Fig. 8. Relationship between multi climatic factors [light, temperature and CO₂] and fruit production of sweet pepper grown at glasshouse or plastic greenhouse.

- 유리온실과 비닐온실의 수량증감계수(C)의 값은 유리온실이 비닐온실보다 74%가 높게 나타났다. 이는 광, 온도, CO₂이용 효율이 비닐온실보다 매우 높기 때문임 (Table 5).
- 상대수량계수로 유리온실이 비닐온실에 비해 25% 증가하였지만, 최대 수량 감소 계수는 유리온실이 비닐온실보다 34%높게 나타났다. 수량감소 계수는 수량증가계수와 상관없이 높게 나타났다. 즉 수량증가계수가 높으면 수량감소계수가 높게 나타났다. 즉 이는 수량증가와 수량 감소계수가 높다는 것은 3대 주요 환경요인인 온도, 이산화탄소농도 및 광량의 값의 변화가 심한 경우 최종 생산량에 미치는 수량 감소계수 영향이 유리온실에서 더 크다고 볼 수 있음.

Table 5. Co-efficiencies of rectangular hyperbolic equation to multi-climatic factors on fruit production of sweet pepper grown at glasshouse or plastic greenhouse.

	D	B	C	A
Plastic-greenhouse	1.09*10 ⁻⁵	-7645	0.0065	7606
Glasshouse	1.36*10 ⁻⁵	-10280	0.0113	11315
B/A ratio	1.25	1.34	1.73	1.49

$$F(x) = A + B/(1 + D*x) + C*x$$

D: maximum relative yield, B: maximum yield reduction, C: maximum yielded increment, A: Maximum yielded, X: multi-climatic factor

(3) 파프리카 재배 농가의 ERP자료를 이용한 재배기간동안의 광량과 수량에 관한 상호관계

- 품종과 재배 연도에 따라 누적광량 100MJ당 파프리카 생산량은 05~06년 ‘Ferrari’ 580g, ‘Fiesta’ 550g, ‘President’ 450g으로 ‘Ferrari’의 광 이용효율성이 ‘Fiesta’나 ‘President’보다 높았으며, 06~07년은 ‘Cupra’ 390g, ‘Fiesta’ 480g과 ‘Boogie’ 660g으로 ‘Boogie’의 광 이용 효율성이 좋았고 각 품종 모두 통계적으로 매우 유의한 선형적인 관계를 보였음.
- 단위 광량 100MJ당 품종에 따른 수량의 차이 매우 상이하였고, 광 이용효율은 ‘Cupra’가 가장 낮고, ‘Boogie’가 가장 높았으며 재배기간 동안의 누적광량과 파프리카의 수량은 정의 선형관계를 가지고 있어 누적광량이 증가하면 비례적으로 수확량이 증가함.
- 동일 품종인 ‘Fiesta’의 경우 100MJ당 550g과 480g으로 차이를 보였지만, 광량 이외에 다른 재배적인 수량 감소 요인이 작용되었을 것으로 사료됨.

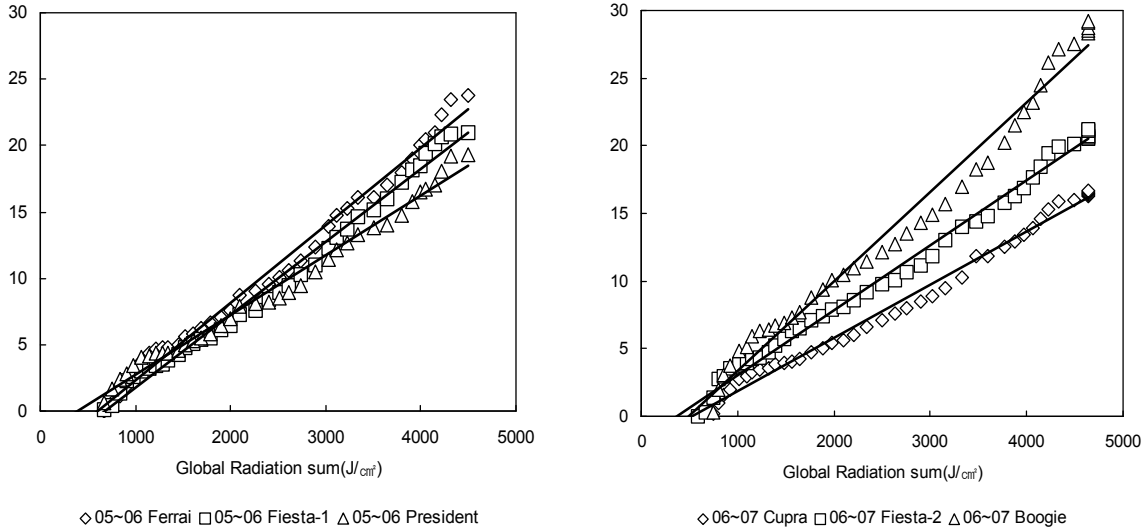


Fig. 9. Linear relationship between light integral and cumulated yield of sweet pepper cultivars, Ferrai, Fiesta, president, Cupra and Boogie.

Table. 6 Regression co-efficiencies to light integral at different cultivars of sweet pepper.

Cultivar	Regression co-efficient (g/100MJ)	R ²	Cultivar	Regression co-efficient (g/100MJ)	R ²
Ferrari	580 ± 10.4	0.98	Cupra	390 ± 6.43	0.99
Fiesta	550 ± 9.68	0.98	Fiesta	480 ± 6.57	0.99
President	450 ± 8.48	0.98	Boogie	660 ± 14.3	0.98

나. 파프리카 재배 농가의 지상부 주요 환경 요인 관리 상태 조사

(1) 온실 종류 간 투광량 분석

- 파프리카 재배기간 동안의 온실별 광 투과율은 작기 전반적으로 유리온실의 투과율이 높았고 작기 후반 유리온실의 시설내부 온도를 떨어뜨리기 위하여 피복재에 차광제를 도포하여 비닐온실에 비해 투과율이 하락함(Fig. 10).
- 파프리카 재배기간동안의 평균 광투과율은 유리온실 65.0, 비닐온실 52.3%, 41.3%로 유리온실이 비닐온실에 비해 높았고 똑같은 비닐 피복재라고 하여도 투과율이 각기 다른 경향을 보임 (Table 7).
- 시설내부 광 투과율은 수량성과 직접적으로 연결되기 때문에 지붕 청소 및 피복재 교체가 주기적으로 이뤄져야 할 것으로 사료됨.

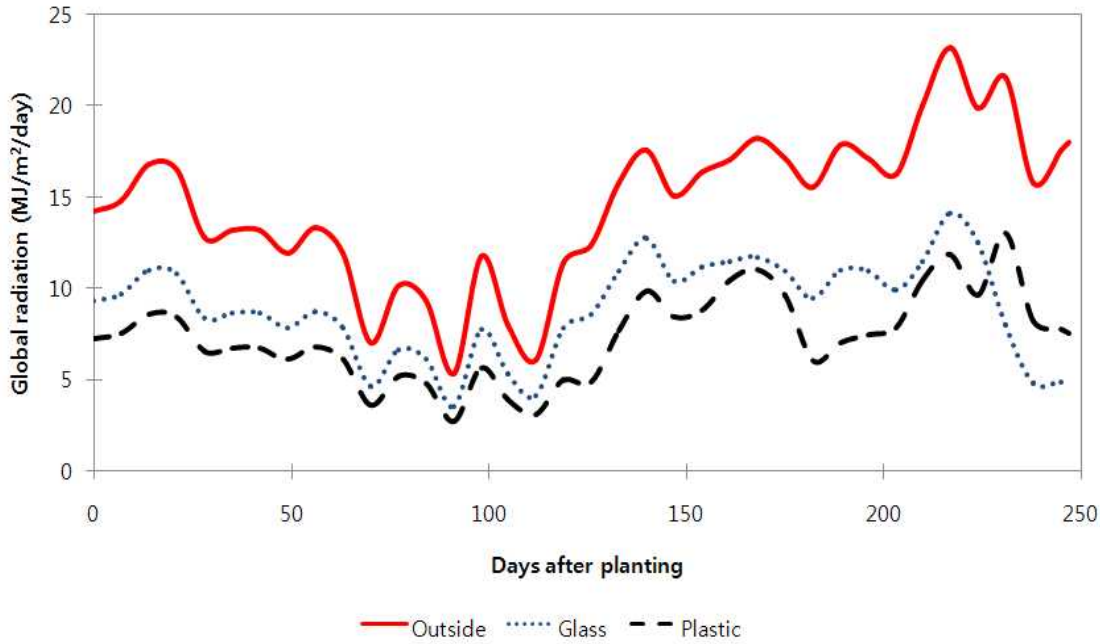


Fig. 10. 비닐온실과 유리온실의 파프리카 재배기간 동안 광환경 비교

Table 7. 비닐온실과 유리온실의 파프리카 재배기간 동안 광환경 비교

Month	J_Plastic1	J_Plastic2	J_Glass
2	48.2±12.0	41.3±2.0	73.5±6.2
3	53.2±12.1	43.0±6.8	63.6±1.6
4	46.1±9.1	47.3±1.0	56.0±11.3
5	54.5±13.1	34.5±4.4	61.8 (28.7±3.9)*
6	59.4±0.3	40.3±0.7	(27.3±0.7)*
Avg.	52.3	41.3	65.0 (27.8)*

(2) 온실 종류 간 지상부 온습도 변화 패턴 비교

- 파프리카 재배기간 동안 평균 수분부족분은 유리온실 4.3 g/m³, 비닐온실 5.6 g/m³로 비닐온실의 수분부족분이 1.3 g/m³ 높아 비닐온실의 시설내부가 건조하게 관리된 것으로 나타났고, 비닐온실의 수분부족분이 유리온실의 수분부족분에 비하여 변화 폭이 더 컸음 (Fig. 11).
- 작형별 시설내부 평균 온도는 하계작형 20.5℃, 동계작형 22.1℃로 동계작형이 1.6℃가 더 높았고, 하계작형의 경우 비슷한 경향으로 관리되었지만 비닐온실의 온도변화 패턴이 컸고, 동계작형의 경우 정식초 중반은 유리온실이 온도가 높게 관리되었고 작기 중·후반은 비닐온실이 높게 관리되는 경향을 보임 (Fig. 12).

- 온실별 일출 후 온도 증가 패턴은 비닐온실 1.2℃, 유리온실 0.7℃로 비닐온실의 일출 후 시설내부 온도 증가율은 70%이상 높았고, 그 변화폭 마찬가지로 비닐온실이 높은 경향을 보임 (Fig. 13).
- 비닐온실의 경우 일출 후 급격한 시설내부 온도 증가는 작물의 증산스트레스를 유발할 수 있고 식물체와 과실에 결로를 발생시켜 병·해충을 유발 할 수도 있음.

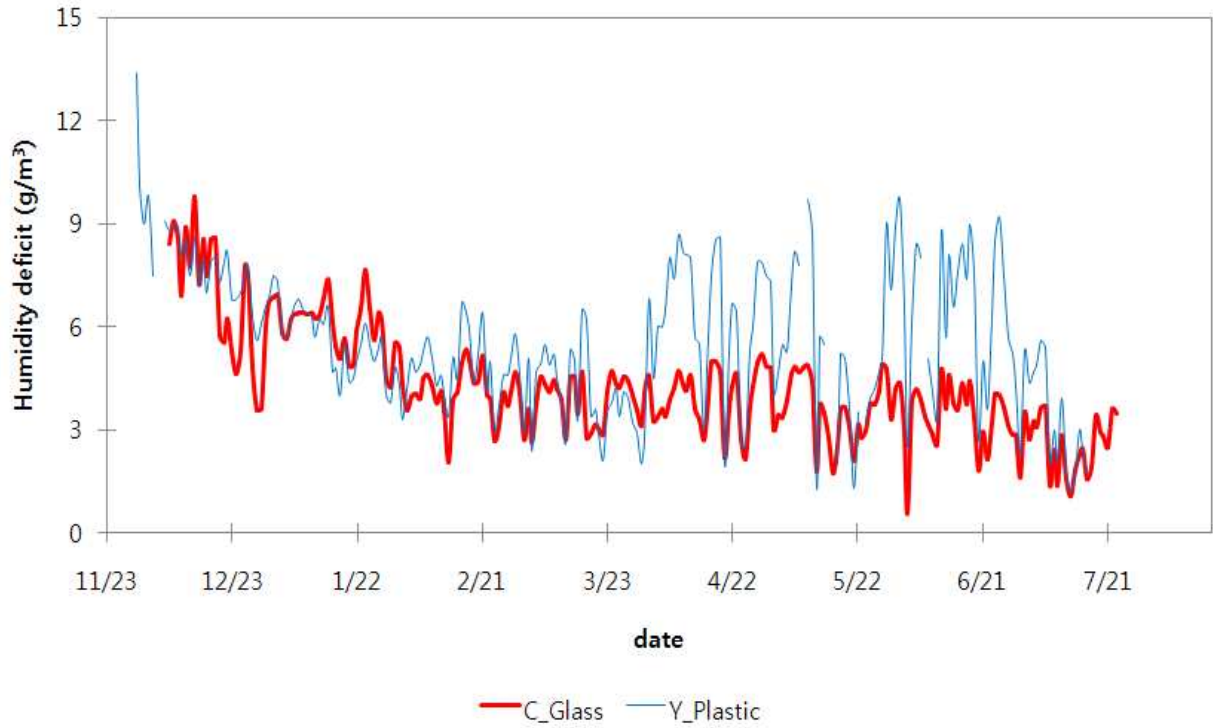


Fig. 11. 비닐온실과 유리온실의 연중 시설내부 수분부족분 변화

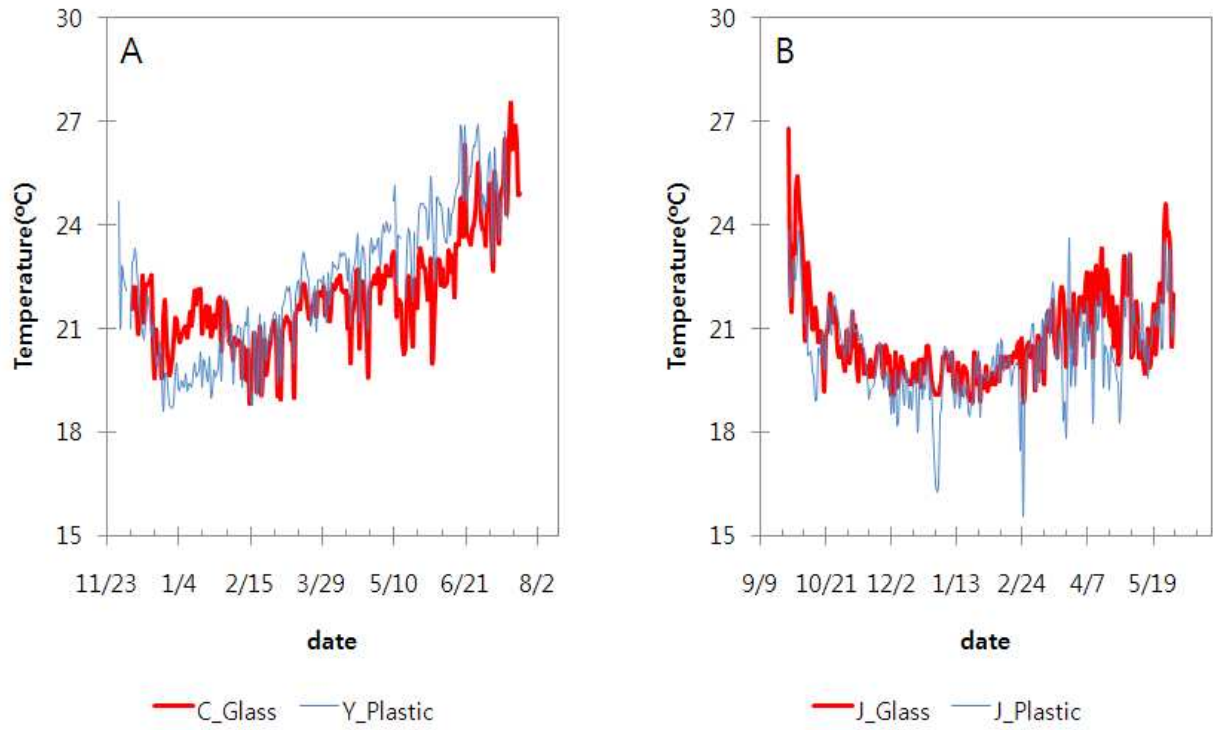


Fig. 12. 비닐온실과 유리온실의 정식 시기별 온도 변화 패턴 (A: 하계, B: 동계)

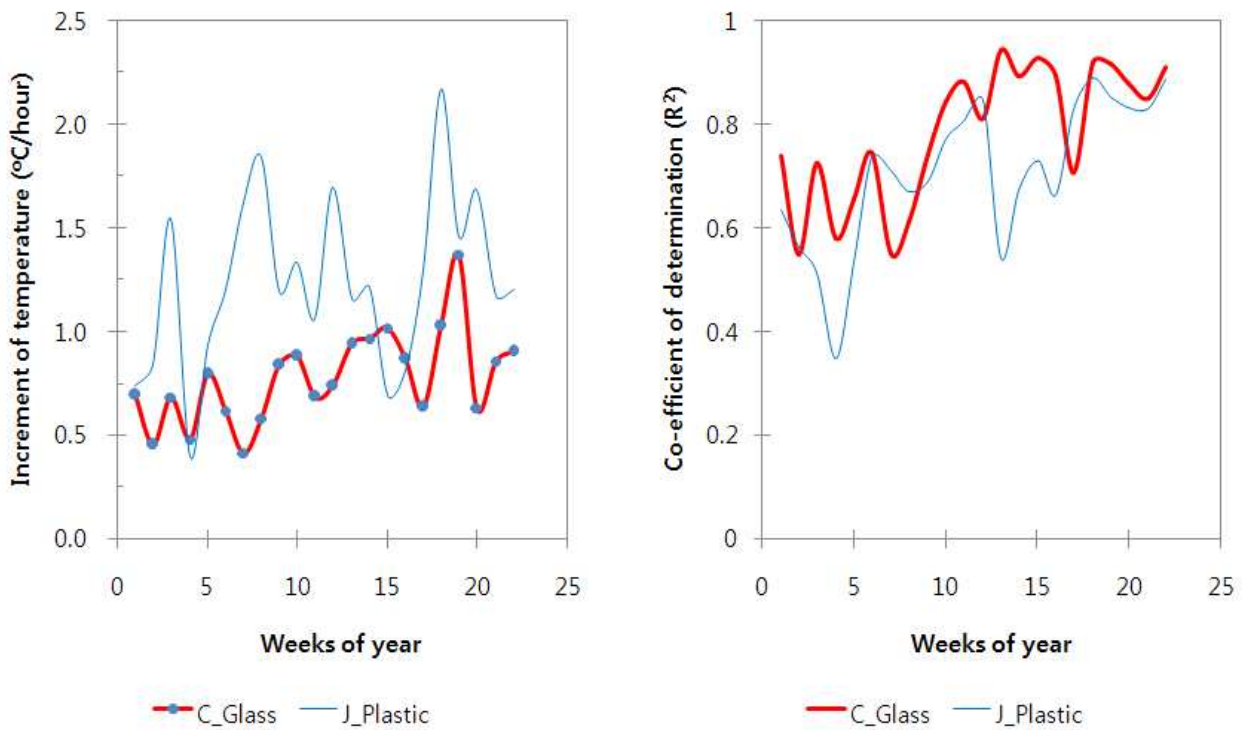


Fig. 13. 비닐온실과 유리온실의 일출 후 시설내부 온도증가 패턴(일출 전 1시간 ~ 일출 후 4시간).

- 외부 광도 1w당 시설내부 온도 증가율은 유리온실 0.01℃, 비닐온실이 0.02℃로 비닐온실이 유리온실에 비하여 2배가 빠른 경향을 보임 (Fig. 14).
- 언급하였듯이 이러한 비닐온실의 급격한 시설내부 환경 변화는 작물에 스트레스 및 결로를 발생시켜 각종 병·해충 및 생리장해를 유발하여 식물체의 원활한 생장이 되지 않음으로 일출 전 조조가온 및 일출 후 환기 관리로 시설내부 환경이 급변하지 않게 관리를 하여야 함.

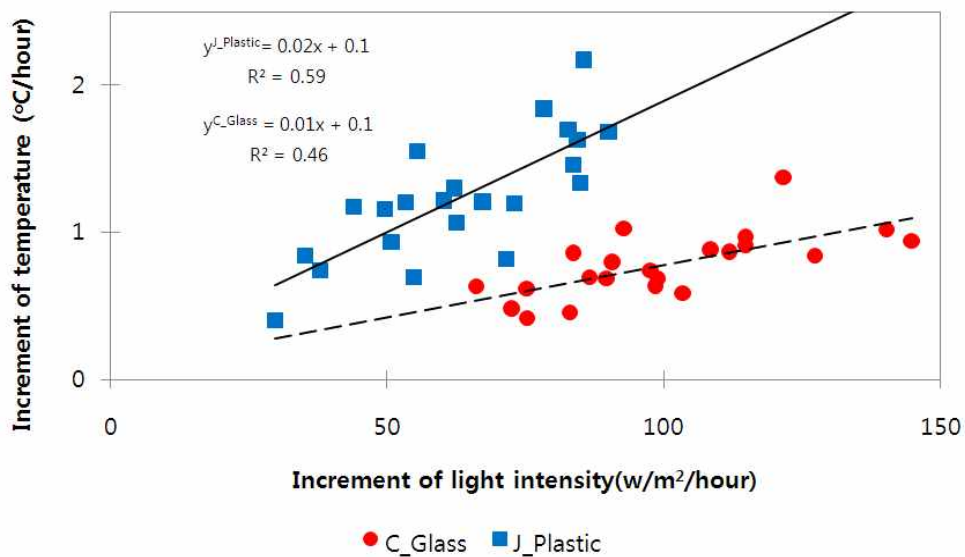


Fig. 14. 비닐온실과 유리온실의 외부 광도 변화에 따른 시설내부 온도 변화.

- 일몰 전·후 시설내부 온도 감소 패턴은 비닐온실 시간당 0.78℃, 유리온실 0.84℃로 파프리카 재배 현장에서 착과를 유도시키기 위한 이른바 초저녁 온도관리는 유리온실이 비닐온실보다 잘 되고 있어 유리온실의 착과율이 높을 것으로 사료됨 (Fig. 15).

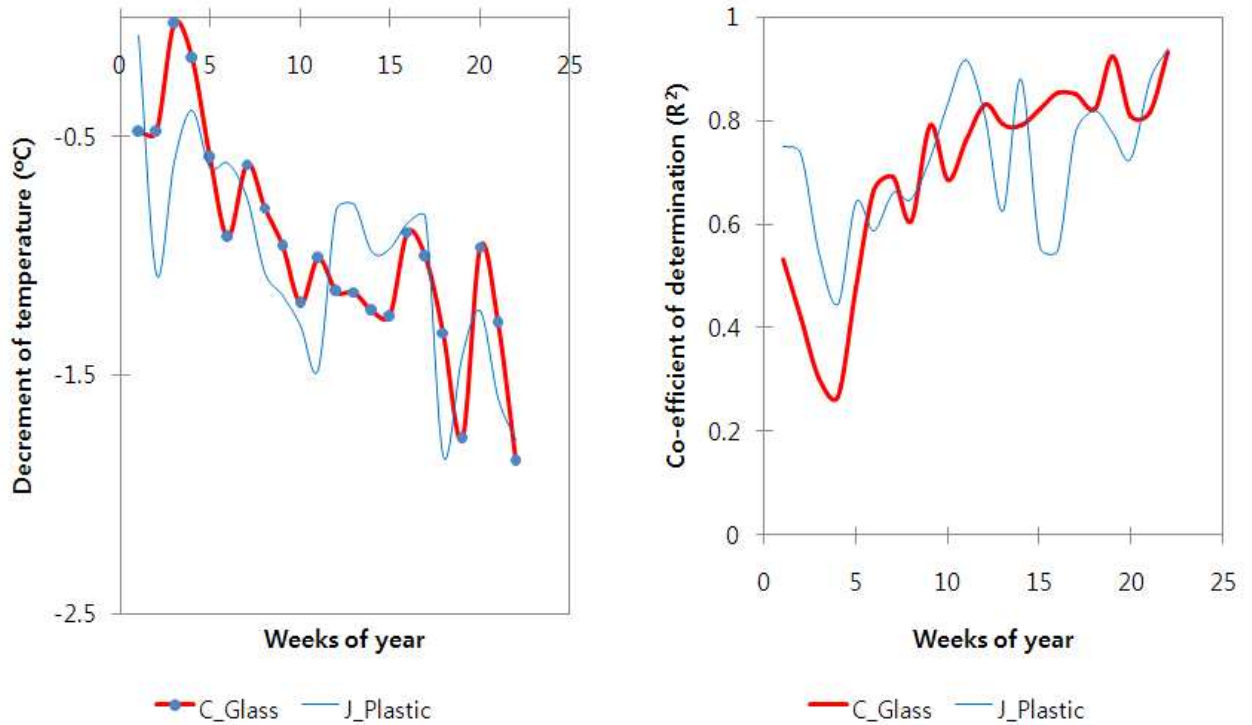


Fig. 15. 비닐온실과 유리온실의 일몰 전·후 시설내부 온도 변화(일몰전 3시간~일몰 후 2시간).

(3) 온실 종류 간 수량 페턴 비교

- 농가별 수량 패턴은 매우 상이하고 같은 품종 및 피복재라고 하더라도 큰 차이가 있고, 빨간색 품종보다 노란색 품종이 더욱더 높은 생산성을 나타냄 (Fig. 16.).
- 또한 비닐온실의 생산성은 유리온실에 비하여 50%수준에 머물러 우리나라의 파프리카 생산성의 잠재력은 매우 높다고 할 수 있음.
- 품종별 수확의 진폭 (Yield fluctuation)이 심하였지만 빨간색 품종의 경우 첫 그룹 수확직 후 다음 수확이 있을때까지의 기간이 노랑에 비하여 매우 길었음.

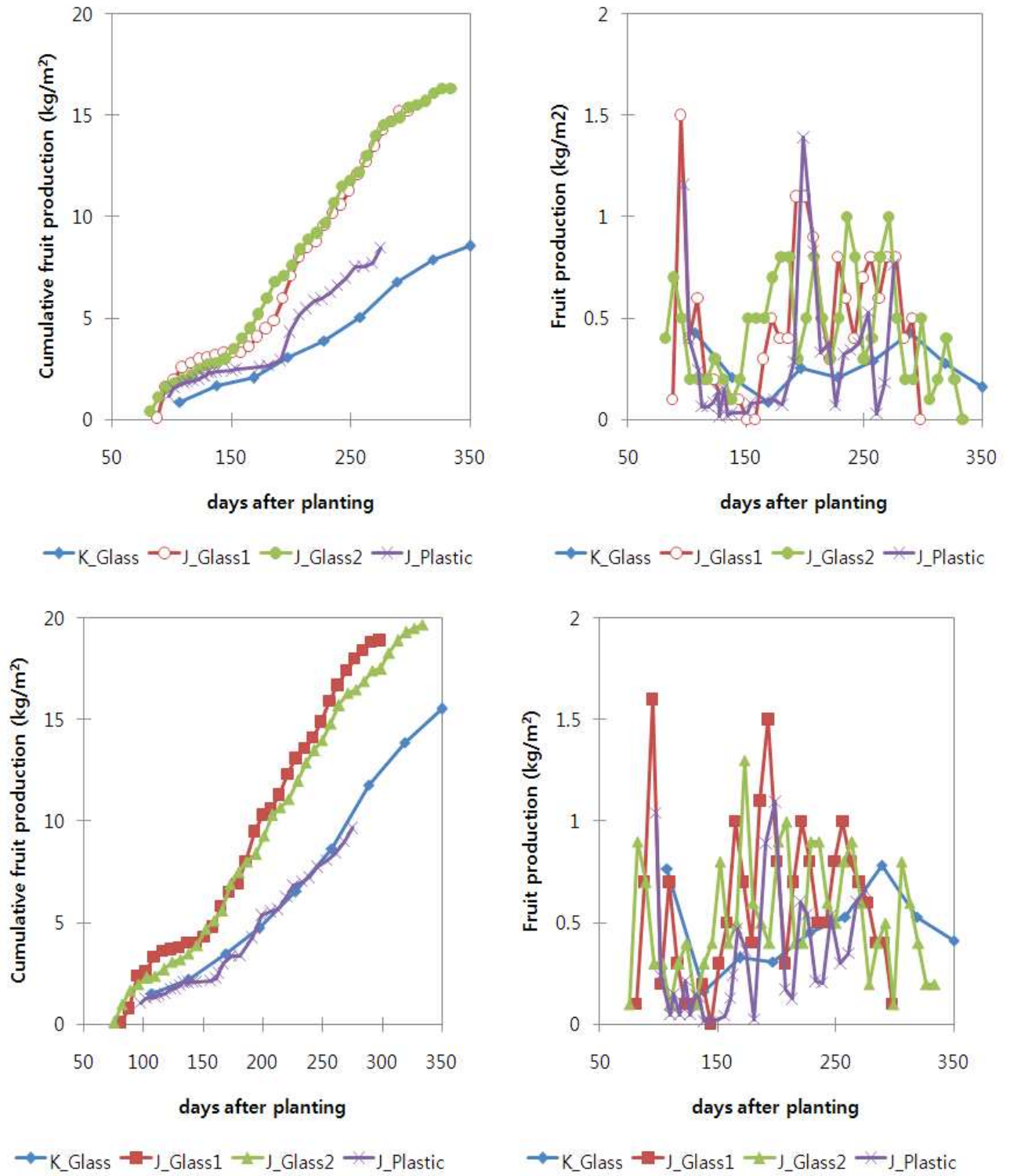


Fig. 16. 농가별 파프리카 수확 패턴 비교(Up: Red, Down: Yellow).

(4) 생산성 차이에 대한 주요 원인 분석

- 단위 면적당 총 건물생산량은 유리온실 1759.9 g/m², 비닐온실 1308.5 g/m²로 유리온실의 생산량이 34% 높음 (Fig. 17A).
- 시설내부 누적광량 대비 단위면적당 건물생산량은 유리온실 0.87 g/m², 비닐온실 0.78 g/m²로 유리온실에서 재배 된 식물체의 광 이용효율 (RUE: Radiation Use Efficiency)이 높은 경향을 보임 (Fig. 18).
- 두 온실간 엽면적지수의 차이는 정식 후부터 212일까지 거의 나지 않았으나 최종 조사에서 엽면적지수의 차이는 통계적 차이를 보임 (Fig. 17B).
- 전체 재배기간동안 두 온실의 작물 수광율은 유리온실 96%, 비닐온실 94%로 통계적 차이가 없어 엽면적지수가 3이상에서는 균락이 밀폐되어 작물 수광율이 90% 이상 되기 때문에 온실내부로 유입 된 광은 두 온실 모두 균락에 의해 거의 수광하였다고 판단됨.

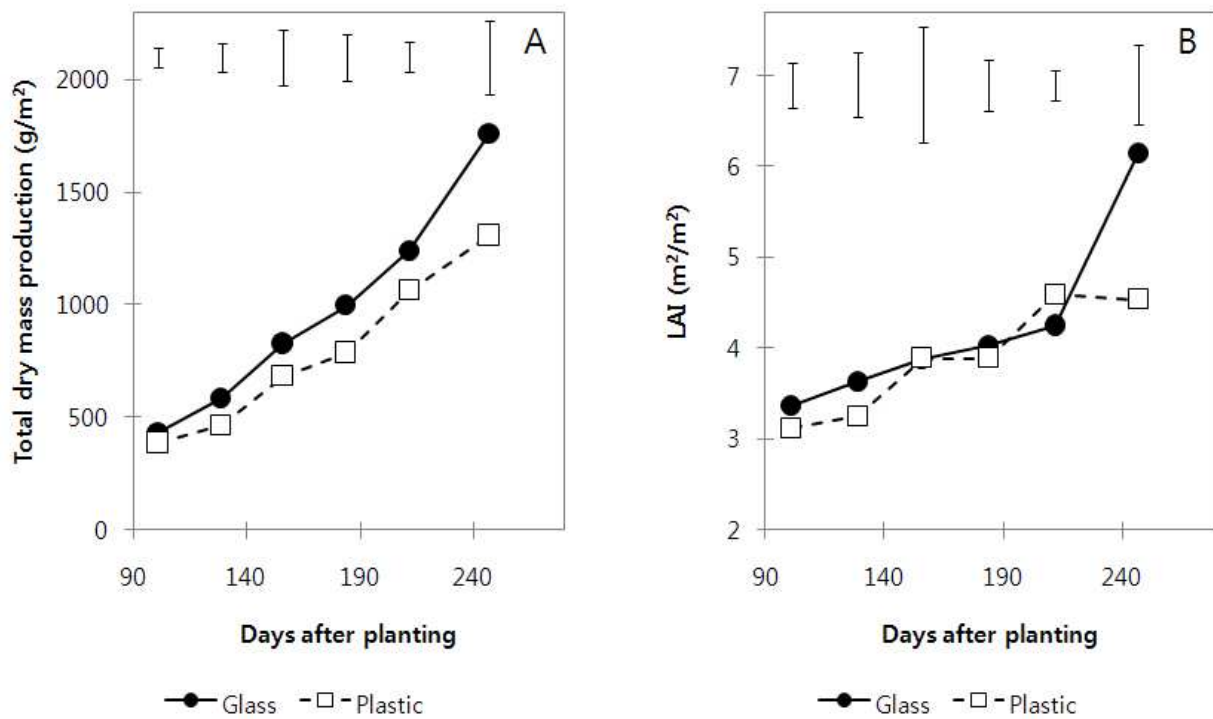


Fig. 17. 유리온실과 비닐온실의 건물생산 (A) 및 엽면적지수 (B) 증가 패턴 비교.

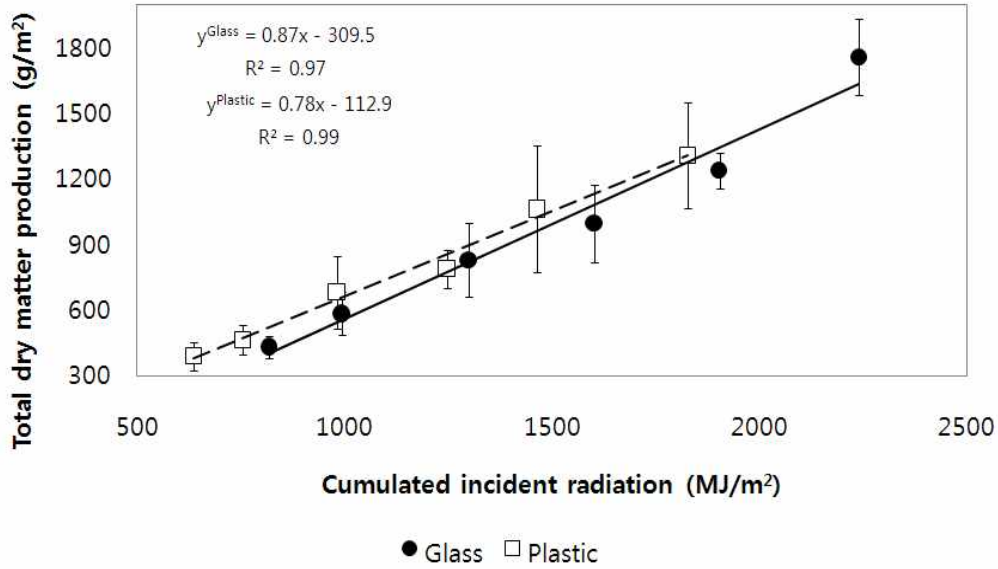


Fig. 18. 유리온실과 비닐온실의 내부 누적광량 대비 건물 생산량.

○ 두 온실의 평균 각 기관별 건물분배율은 총 건물 1g의 증가는 영양생장의 경우 0.38g과 0.44g, 생식기관인 과실과 꽃은 0.62g과 0.56g으로 영양생장기관은 비닐온실에서 높았으며, 생식기관은 유리온실에서 재배된 파프리카가 높게 나타남 (Fig. 19).

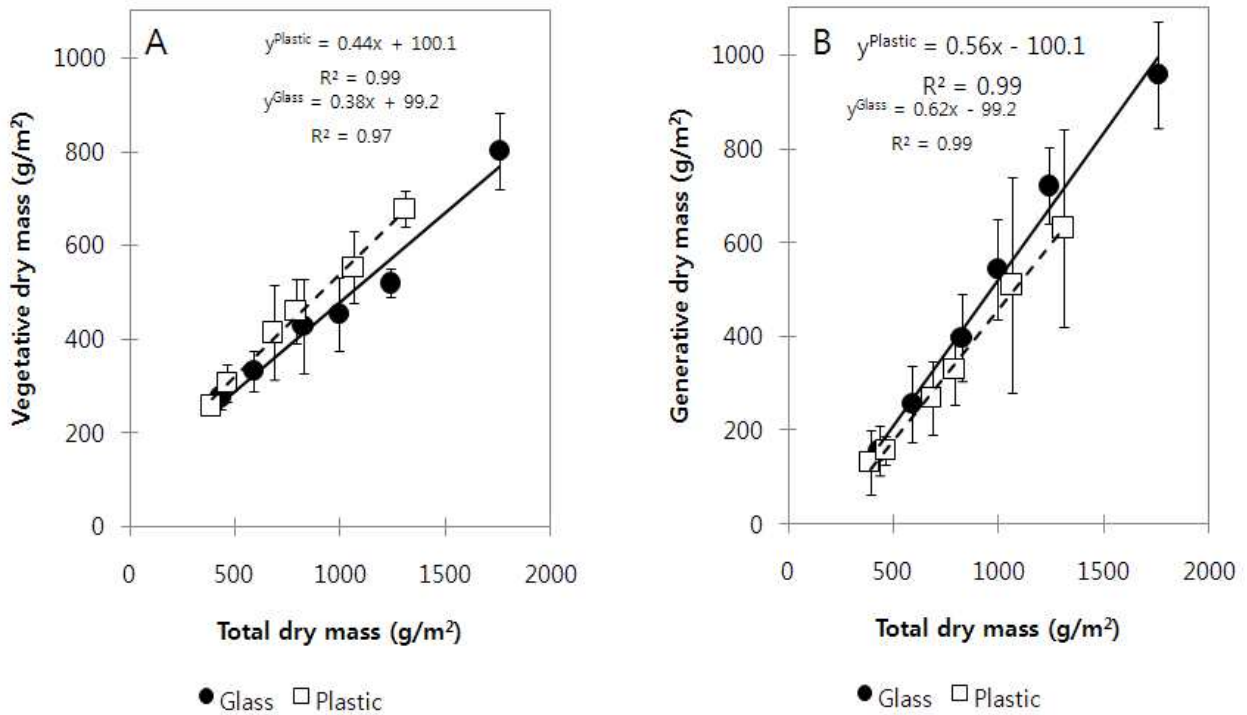


Fig. 19. 유리온실과 비닐온실의 영양(A)/ 생식기관(B)으로 건물 분배 비교.

- 전체 조사기간동안 총 수확량은 유리온실 14.1 kg/m², 비닐온실 7.8 kg/m²로 유리온실의 수량이 80%가 높았음. 시설내부 누적 광량 대비 누적 수량은 유리온실 0.008 kg/MJ, 비닐온실 0.005 kg/MJ로 유리온실에서 60%가 높은 생산성을 보임 (Fig. 20).

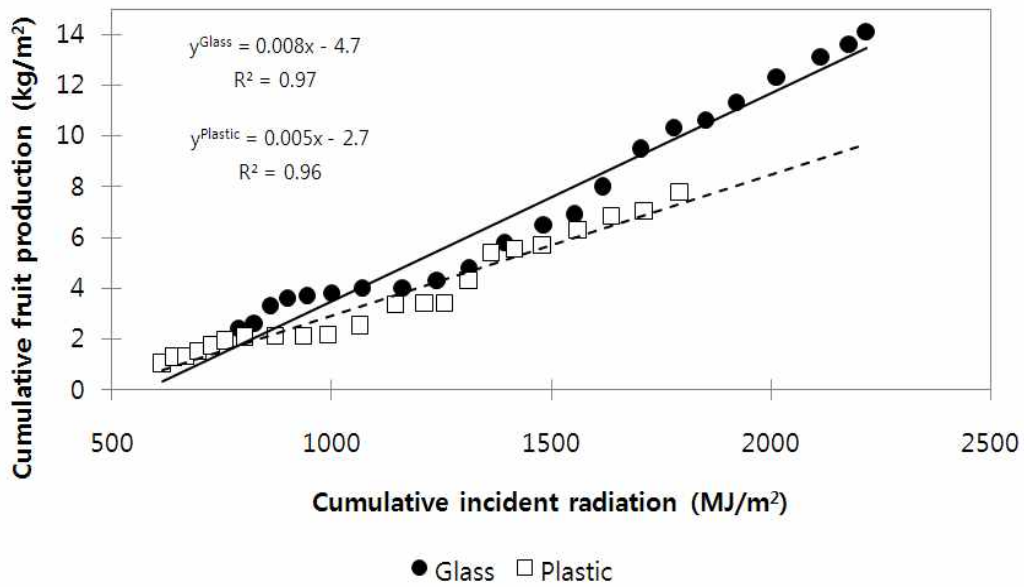


Fig. 20. 유리온실과 비닐온실의 내부 누적광량 대비 누적 수량.

- 비닐온실과 유리온실의 광 이용효율은 재배기간 동안 전반적으로 비슷한 경향을 보였음 (Fig. 22). 최대광합성은 엽령이 유사한 엽을측정한 결과 기간별 온실별로 상이한 결과를 나타냈으며, 유리온실에서 보다 비닐온실에서의 최대광합성량은 3월 이후 감소하는 경향을 보였으며, 유리온실의 경우 기간별로 유사한 경향을 보였음 (Fig. 23). 엽의 기간별 호흡량의 진폭은 유리온실보다 비닐온실에서 더 크게 나타났음 (Fig. 24).
- 엽 광합성은 엽의 생육기간 동안의 환경영향도 매우 밀접한 관계를 가지고 있어 저광환경에서 자란 엽은 고광환경에서 자란 엽보다 최대 광합성량이 낮음.
- 결론적으로 비닐온실과 유리온실의 생산량의 차이는 유리온실의 높은 광투과율에 의한 높은 광합성량과 시설내부 광량 대비 온도가 비닐온실이 상대적으로 높아 광합성량 대비 호흡량이 비닐온실이 높은 것에 기인할 것으로 사료됨.

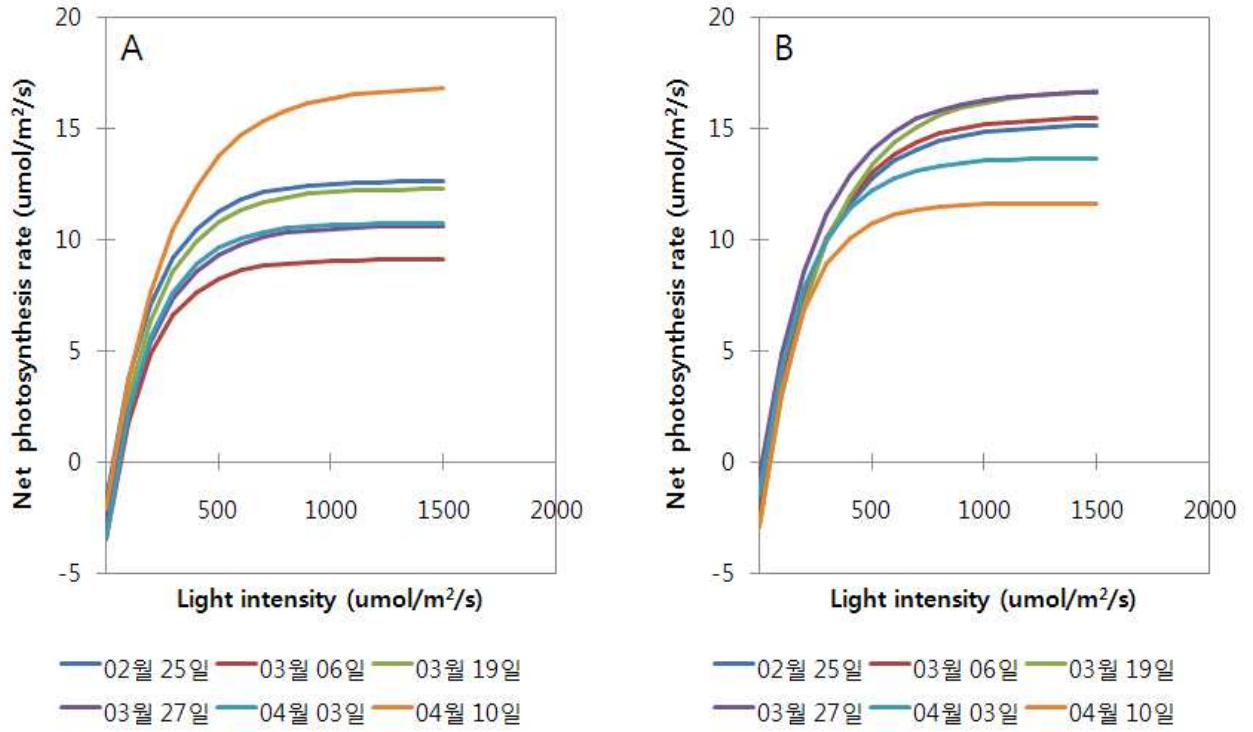


Fig. 21. 유리온실과 비닐온실의 광합성율을 계산하기 위한 모수 추정(A: 유리, B: 비닐).

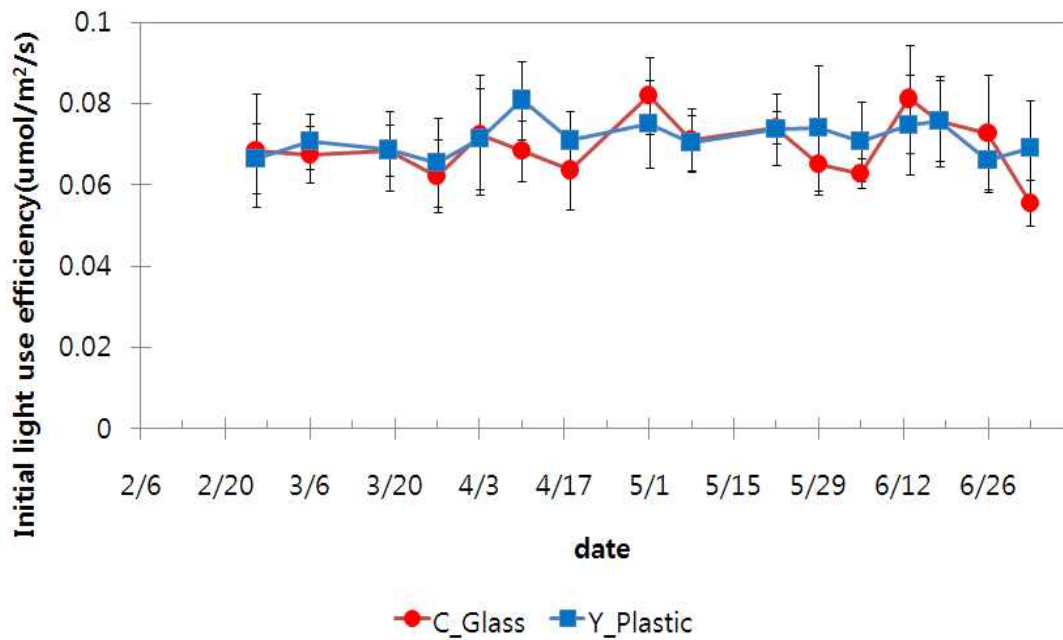


Fig. 22. 유리온실과 비닐온실의 광 이용효율(LUE) 비교

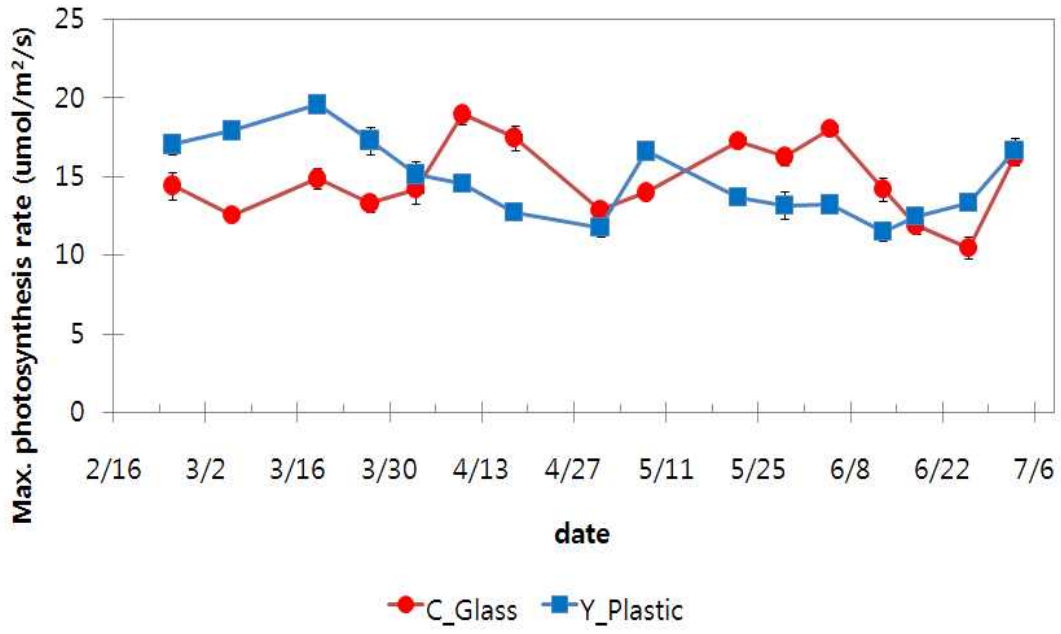


Fig. 23. 유리온실과 비닐온실의 순광합성을 비교.

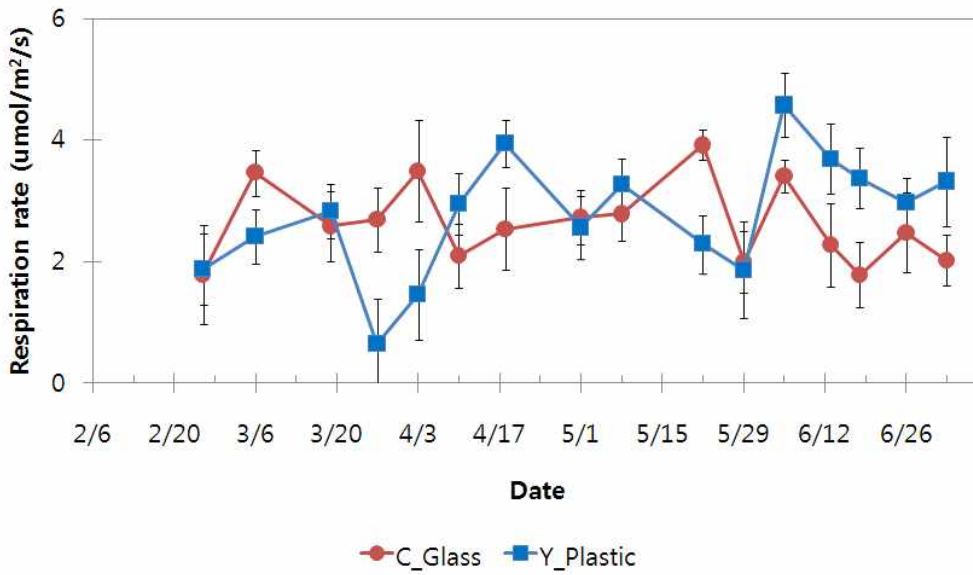


Fig. 24. 유리온실과 비닐온실의 호흡을 비교.

2. 파프리카 재배 온실의 피복재 종류에 따른 내부 환경 요인 차이와 수확량 차이 분석

가. 피복재별 온실 내부 환경 차이

(1) 온실 내부 지상부 환경 요인 차이

- 두 온실별로 정식 후 첫 수확시기인 16주부터 27주까지 12주간 동안 내부 환경 요인의 관리 차이를 살펴보았다. 조사 기간 중 5월 한 달 동안 유리 및 플라스틱 필름 온실의 일출 후, 일몰 전 3시간의 시간당 평균 상승 온도를 살펴보았다. 하루 동안에 외부광량에 따른 온도변화를 살펴본 결과(Fig. 1과 2), 일출 후, 일몰 전 3시간 동안 유리 온실에 비해 플라스틱필름 온실에서 온도 변화폭이 크게 나타났다.

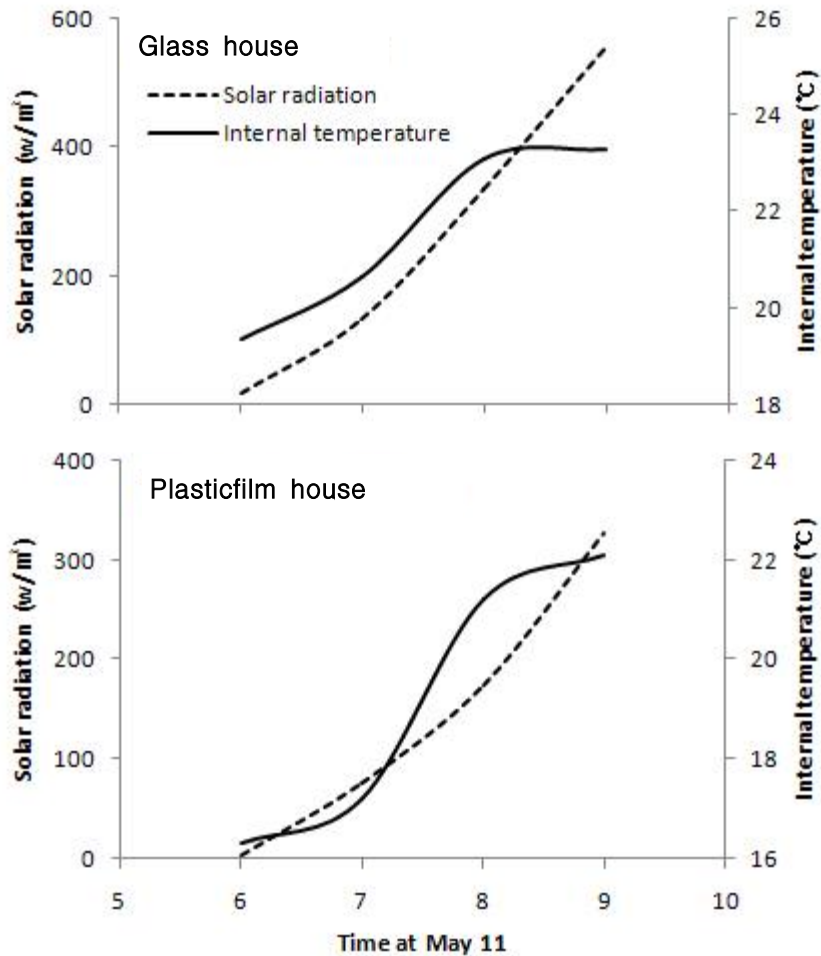


Fig. 1. Change of hourly increased temperature for three hours after sunrise on May in glass and plasticfilm house.

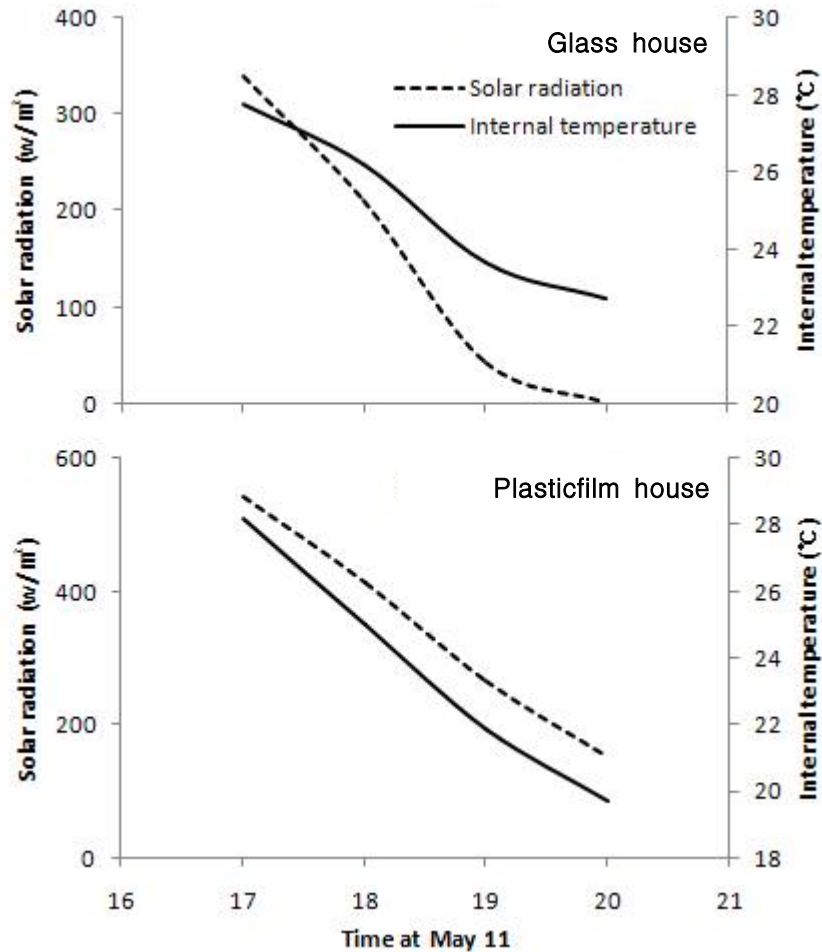


Fig. 2. Change of hourly decreased temperature for three hours before sundown on May in glass and plasticfilm house.

○ 조사 기간 동안에는(Fig. 3) 일출 후에는 두 온실에서 각각 평균 0.89°C와 1.33°C로 플라스틱필름 온실에서 높게 상승하였다. 일몰 전에는 두 온실에서 각각 평균 -1.19°C와 -1.13°C로 큰 차이를 나타내진 않았으나 유리 온실에서 다소 높은 경향이였다. 따라서 일출 및 일몰 시 온도 변화는 유리 온실에서 플라스틱필름 온실보다 다소 안정적인 것으로 생각된다. 조사 기간 동안 내부 온도 차이를 살펴본 결과(Fig. 4), 일평균온도는 유리 온실에서 22.4°C, 플라스틱필름 온실에서는 24.0°C로 유리 온실에서 1.6°C정도 높았고, 편차는 유리 온실에서 적어 변화가 심하지 않았던 것으로 나타났다. 특히, 두 온실의 주간온도는 각각 24.5°C와 26.7°C로 일평균온도의 차이에 큰 영향을 주었다. 이에 따라 주야간온도차는 두 온실에서 각각 4.9°C와 6.5°C로 유리 온실에서 1.6°C나 낮았다.

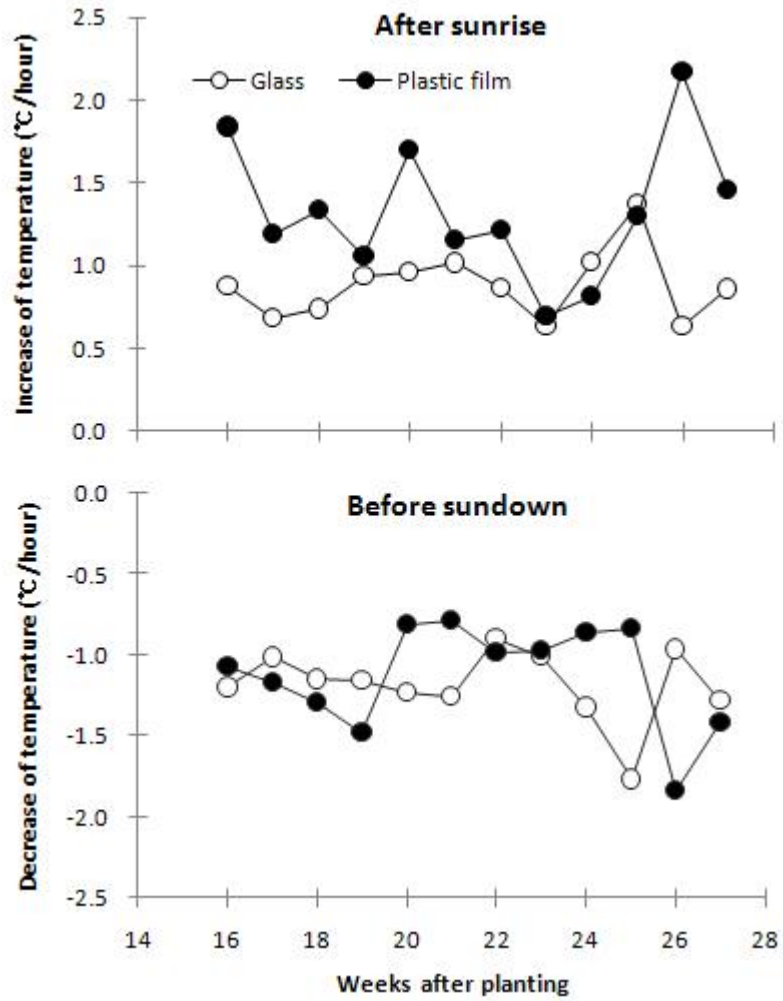


Fig. 3. Change of hourly decreased temperature for three hours and after sunrise and before sundown from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

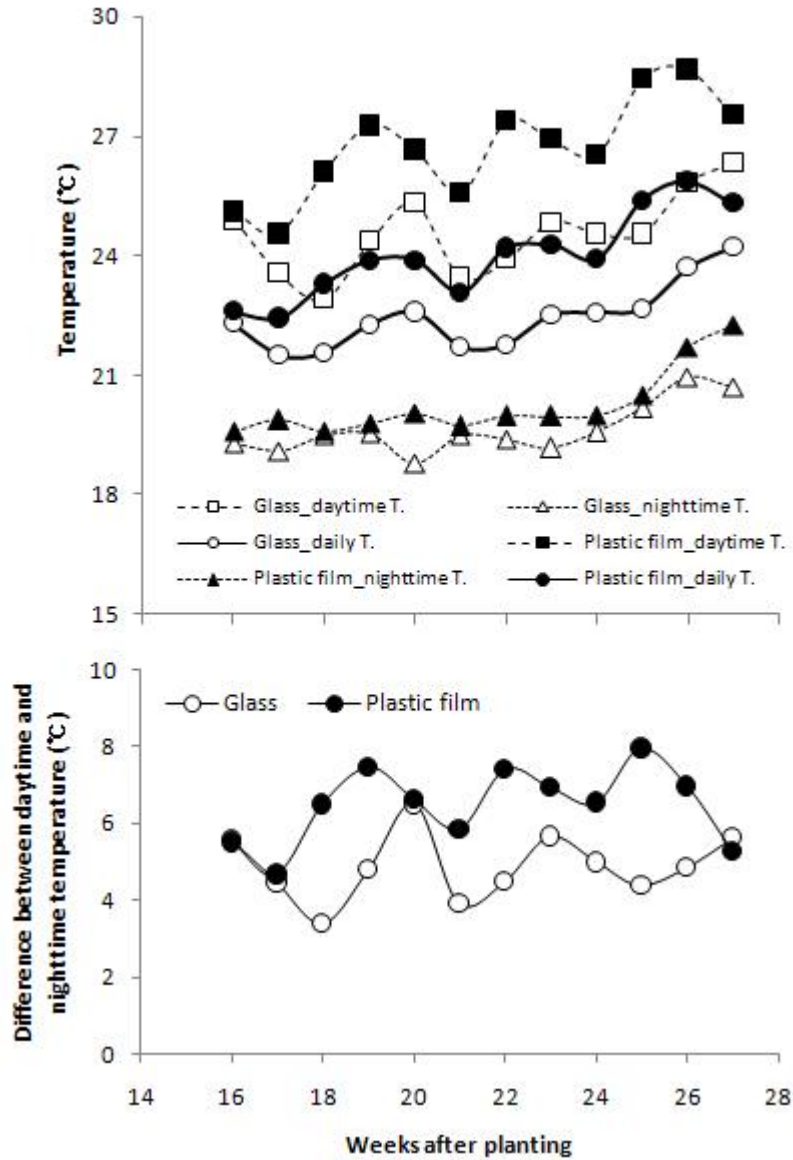


Fig. 4. Weekly change of temperature factors from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

○ 조사 기간 동안 두 온실 내 수분부족분의 변화를 살펴보았다(Fig. 5). 일평균수분 부족분은 유리 온실과 플라스틱필름 온실에서 각각 $3.9\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 과 $5.8\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 으로 큰 차이를 나타냈다. 특히, 주간수분부족분은 각각 $4.5\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 과 $8.2\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 야간수분 부족분은 $2.6\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 과 $2.4\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 으로 두 온실 간 일평균수분부족분 차이에는 주간 수분부족분의 차이가 크게 영향을 주었다. 온실 내 수분부족분은 내부 온도(°C)와 상대습도(%) 간 관계성을 갖는 것으로 일반적으로 온도가 높아지면 수분부족분이 높아지지만 인위적으로 상대습도를 높일 시에는 큰 변화를 나타내지 않는다.

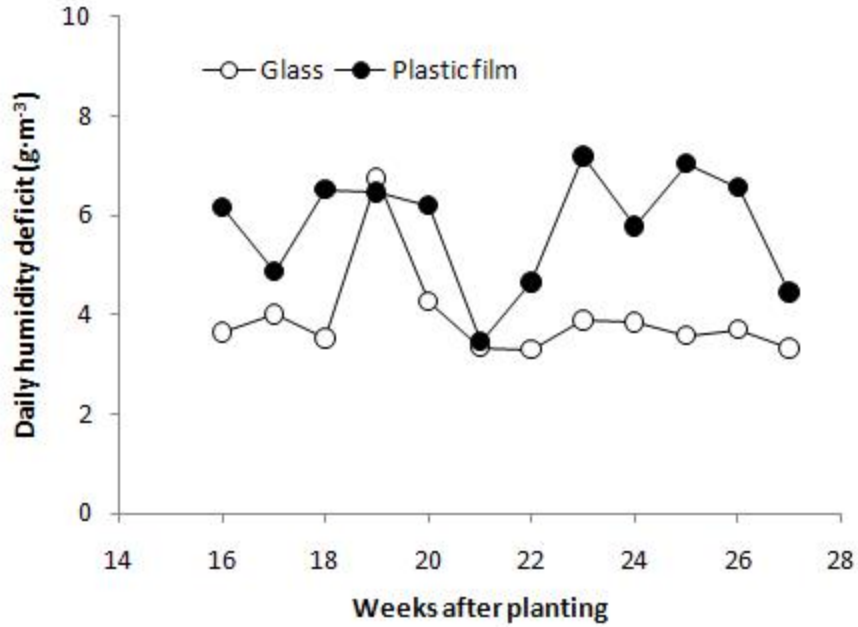


Fig. 5. Weekly change of daily humidity deficit from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

- 조사 기간 동안 두 온실 간 CO₂ 공급량을 조사한 결과(Fig. 6), 일평균 CO₂공급량은 두 온실에서 각각 60.7g·m⁻²과 40.5g·m⁻²로 유리 온실에서 1.5배 정도 많았다. 이러한 차이는 플라스틱필름 온실보다 유리 온실에서 외부와의 밀폐율이 높고 투광량이 많기 때문으로 생각된다. 일반적으로 온실에서 CO₂는 작물의 광합성 작용을 활발하게 하기 위해서 공급하며 광량(일사량)에 따라 그 양을 조절한다. 그러나 외부 광량에 따른 공급량의 추정식을 나타내어 본 결과 두 온실 모두 외부 광량에 따라 관리하지 않고 내부 CO₂ 농도에 따라 공급한 것으로 생각된다.

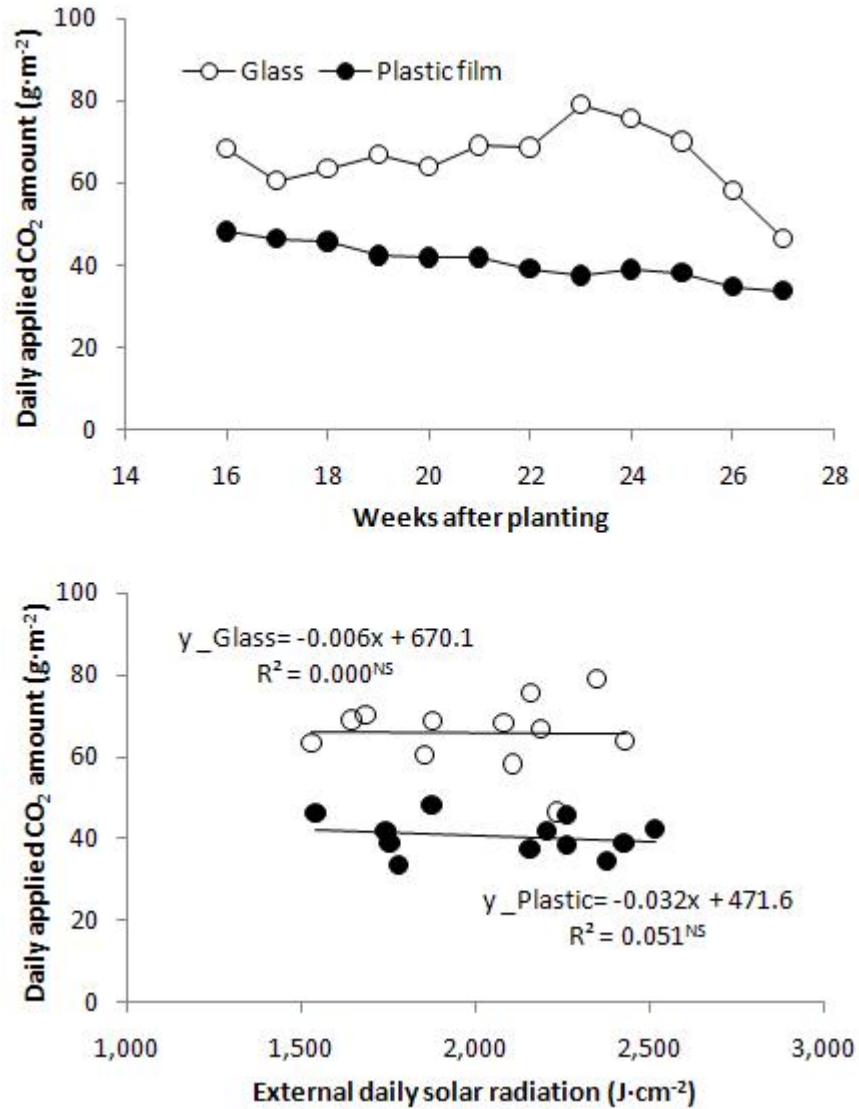


Fig. 6. Weekly change of daily amounts of applied CO₂ from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

(2) 온실 내부 지하부 환경 요인 차이

- 조사 기간 동안 배양액의 공급량과 이에 따른 흡수율을 조사하였다(Fig. 7). 유리 온실과 플라스틱필름 온실에서 각각 평균 3,480L·m⁻²·day⁻¹과 5,404L·m⁻²·day⁻¹으로 유리 온실에서 36% 정도 적게 공급되고 있었다. 그러나 작물의 배양액 흡수율에 있어 각각 평균 73.3%·day⁻¹와 71.3%·day⁻¹로 차이를 나타내지 않았다. 특히, 플라스틱필름 온실에서 배양액의 흡수율은 조사 후기에 급격히 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 Fig. 5의 수분부족분 결과를 고려하면 내부 수분을 높이는 데에도 효과를 나타내지 않아 플라스틱필름 온실에서는 습도 관리를 유지하면서 배양액의 공급량을 다소 줄여야 할 필요성이 있는 것으로 생각된다.

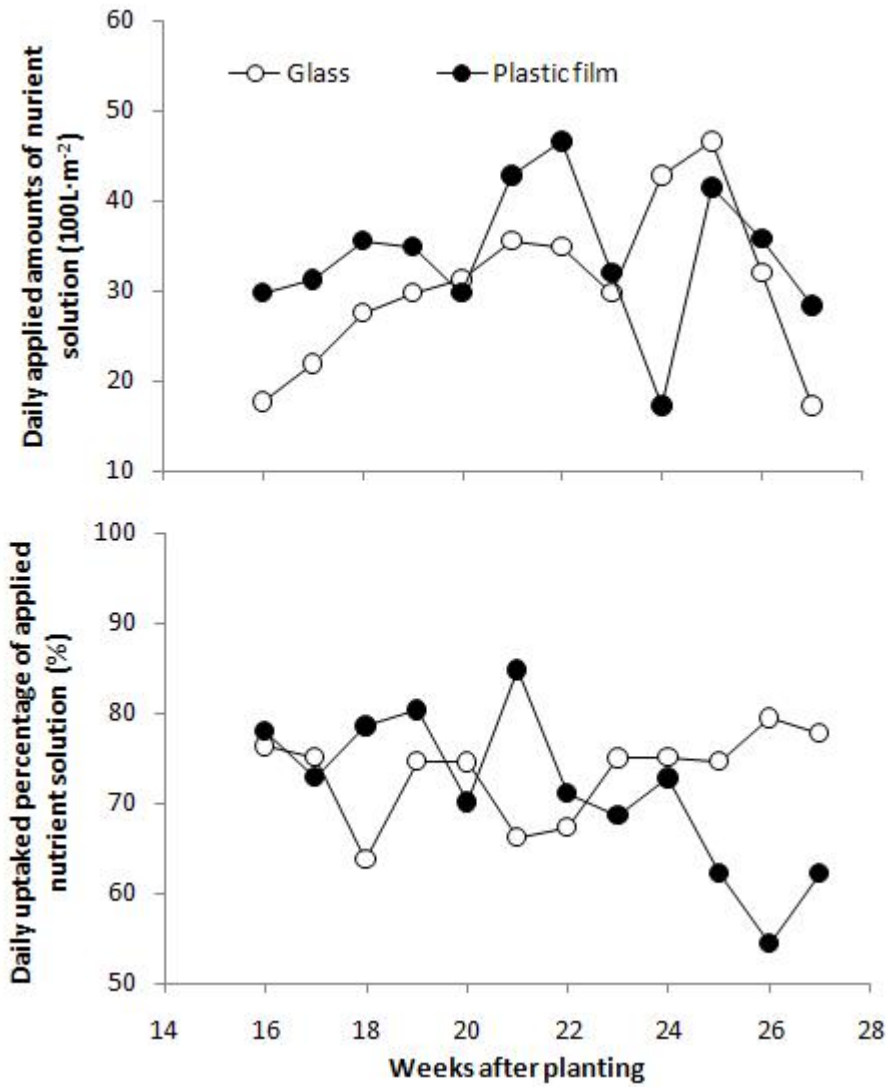


Fig. 7. Weekly change of daily amounts of applied nutrient solution and the uptake percentage from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

- 조사 기간 동안 유리 온실과 플라스틱필름 온실에서 암면 배지의 pH 및 EC 변화를 살펴보았다(Fig. 8). 암면 배지의 평균 pH는 두 온실에서 각각 6.5와 6.1이었고, EC는 $4.2\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 와 $3.9\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 유리 온실에서 전반적으로 다소 높게 관리되었다.

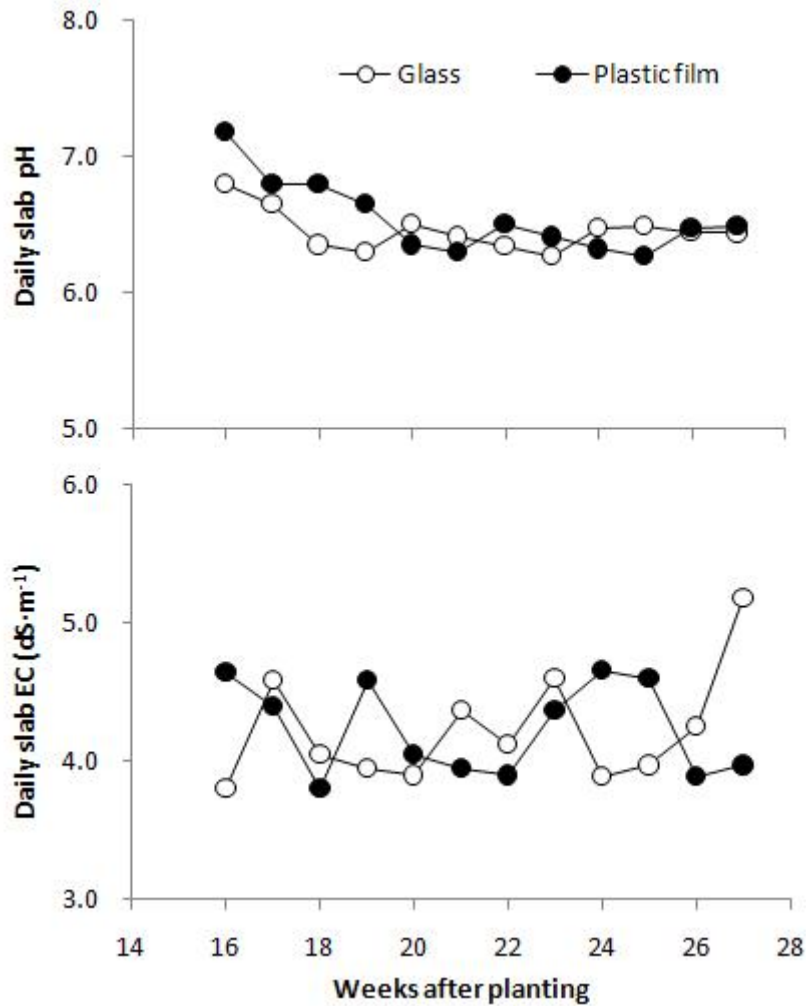


Fig. 8. Weekly change of pH and EC of rockwool substrates from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

- 공급 배양액의 pH 및 EC에 따른 암면 배지에서의 변화량을 살펴본 결과(Fig. 9), 두 온실에서 pH는 각각 평균 1.0과 0.4, EC는 평균 $1.6\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 와 $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 정도 상승하였다. 암면 배지의 pH와 EC는 공급 배양액의 pH와 EC의 영향을 크게 받으며 또한 공급 배양액의 회당 공급량에 따라서도 달라진다. 일반적으로 pH와 EC 간에는 부의 상관관을 나타내는데 두 온실의 상승된 EC와 pH 간에도 동일한 관계성을 나타내었다. 플라스틱필름 온실에서 공급 배양액 EC 대비 암면 배지의 EC가 높게 상승한 것은 배지 함수량을 관행적으로 유사 수준으로 관리한다는 것과 많은 배양액의 공급량(Fig. 7), 지나치게 높은 내부온도(Fig. 4), 또한 낮은 수분 부족분(Fig. 5)을 고려하면 암면 배지에서 수분 증발이 많음과 동시에 온실의 낮은 밀폐율에 따라 외부로의 수분 유출이 많아 EC 농도가 높아진 것으로 생각된다.

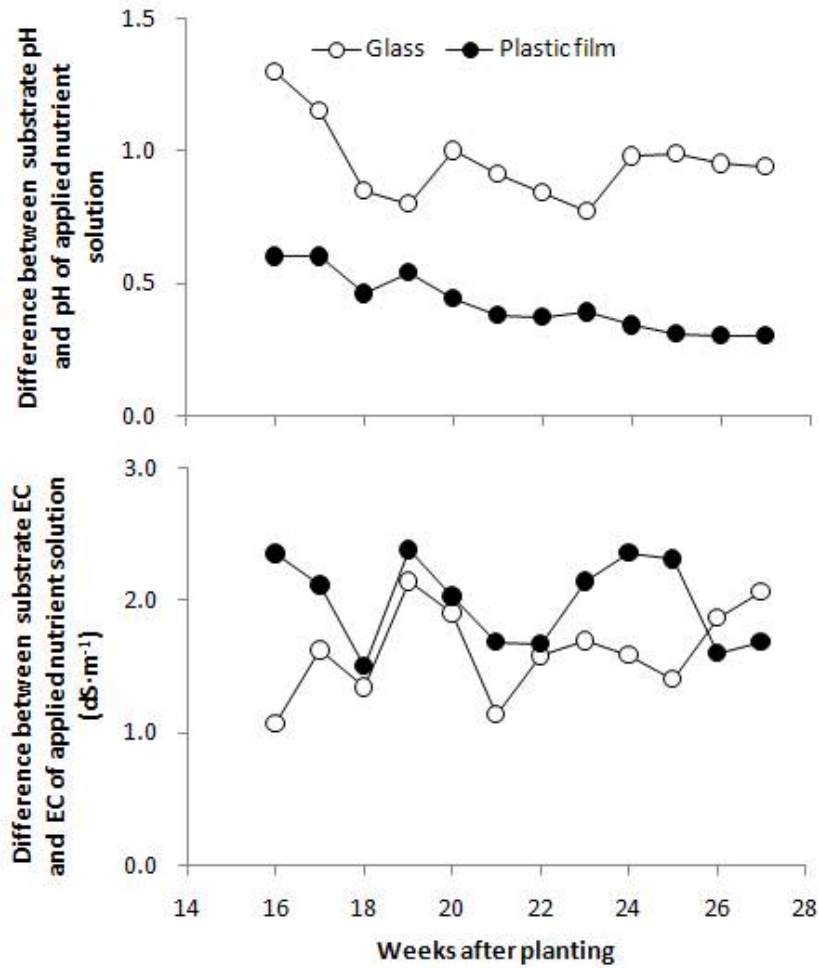


Fig. 9. Weekly change of increased pH and EC of rockwool substrates by pH and EC of applied nutrient solution from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

- 두 온실별 16개 환경 요인 간 상관성을 알아보았다(Table 2). 유리 온실에서 배양액 EC는 배양액 공급량, 작물의 배양액 흡수량 및 흡수율과 부의 상관, 배양액 공급량은 배액량, 작물의 배양액 흡수량, 외부광량, 주간수분부족분과 정의 상관, 작물의 배양액 흡수량은 배양액의 흡수율, 외부광량, 주간온도, 주간 수분부족분과 정의 상관, 작물의 배양액 흡수율은 외부광량, 주간온도, 일평균온도와 정의 상관, 외부광량은 주간온도, 주간수분부족분과 정의 상관, 주간온도는 일평균온도와 정의 상관, 야간온도는 일평균온도와 정의 상관 및 야간수분부족분과 부의 상관, 일평균온도는 야간수분부족분과 부의 상관, 주간수분부족분은 일평균수분부족분과 정의 상관을 나타내었다.
- 플라스틱필름 온실에서는 암면 배지의 EC는 암면 배지의 pH와 정의 상관 및 배양액의 공급량, 작물의 배양액 흡수량과 부의 상관, 암면 배지의 pH는 배양액의 공급량, 주간온도, 일평균온도와 부의 상관 및 암면 배지의 흡수율, 야간수분부족분, CO₂ 공급량과 정의 상관, 배양액의 공급량은 배액량, 작물의 배양액 흡수량과 정의 상관 및 야간수분부족분과 부의 상관, 배액량은 작물의 배양액 흡수율, CO₂ 공

급량과 부의 상관 및 주간온도, 야간온도, 일평균온도와 정의 상관, 작물의 배양액 흡수율은 주간온도, 야간온도, 일평균온도와 부의 상관 및 CO₂ 공급량과 정의 상관, 암면 배지의 함수율은 주간온도, 일평균온도와 부의 상관 및 야간수분부족분과 정의 상관, 외부광량은 주간온도, 주간수분부족분과 정의 상관, 주간온도는 야간온도, 일평균온도와 정의 상관 및 야간수분부족분, CO₂ 공급량과 부의 상관, 야간온도는 일평균온도와 정의 상관 및 CO₂ 공급량과 부의 상관, 일평균온도는 야간수분부족분, CO₂ 공급량과 부의 상관, 주간수분부족분은 일평균수분부족분과 정의 상관, 그리고 야간수분부족분은 CO₂ 공급량과 정의 상관을 나타내었다. 두 온실 각각에서 공통적으로 상관계수가 높게 나타난 요인을 추출하면, 배양액의 공급량은 배양액(0.706, 0.693) 및 작물의 배양액 흡수율(0.979, 0.920), 작물의 배양액 흡수율은 주간온도(0.820, -0.720) 및 일평균온도(0.721, -0.844), 외부광량은 주간온도(0.743, 0.670) 및 주간수분부족분(0.660, 0.721), 주간온도는 일평균온도(0.939, 0.957), 야간온도는 일평균온도(0.757, 0.799), 일평균온도는 야간수분부족분(-0.706, -0.641), 주간수분부족분은 일평균수분부족분(0.641, 0.901)과 높은 관계성을 나타내었다. 특히, 작물의 배양액 흡수율은 주간온도 및 일평균온도에 대하여 두 온실에서 다른 방향으로 작용한 것으로 나타났다.

- 지상부 및 지하부 요인 중 주요 요인(외부광량, 온도, 습도 및 광합성 요소) 을 독립변량으로 하여 다른 요인에 대한 영향력을 비교 분석하여 환경 관리의 차이를 알아보았다. 외부광량은 작물의 배양액 흡수율에 대하여(Fig. 10) 두 온실에서 각각 광량이 1J·m⁻² 증가 시 0.011%와 0.005% 정도 변화하는 경향을 보였지만 유리 온실에서만 유의성을 나타냈다. 그러나 플라스틱필름 온실보다 유리 온실에서 2.0배 정도 높은 경향으로 나타났다.

Table 2. Correlation among 16 factors of aerial and underground part from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

Glass	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1 ^a	-.019	-.124	-.778**	-.407	-.802**	-.653*	.182	-.536	-.494	-.132	-.484	-.376	.028	-.252	-.149
2		-.191	.077	-.076	.112	.185	-.242	.117	.305	.365	.409	-.068	-.535	-.284	-.541
3			.061	-.198	.129	.368	-.178	-.014	.125	-.107	-.019	-.208	.272	-.235	-.166
4				.706*	.979**	.562	-.191	.718**	.471	-.127	.359	.610*	.182	.516	-.083
5					.548	-.183	-.089	.208	-.169	-.466	-.204	.262	.370	.416	.120
6						.715**	-.200	.789**	.604*	-.017	.482	.646*	.109	.491	-.133
7							-.202	.692*	.820**	.383	.721**	.509	-.167	.211	-.235
8								.005	.073	.017	.020	-.252	.019	.008	.172
9									.743**	-.067	.547	.660*	-.105	.349	-.022
10										.535	.939**	.385	-.556	-.012	-.408
11											.757**	-.158	-.694*	-.200	-.543
12												.237	-.706*	-.085	-.506
13													.143	.614*	.075
14														.563	.340
15															.105

Plastic	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	-.102	-.139	.121	.148	.076	-.065	-.241	-.339	-.058	.180	.031	-.126	.171	-.134	-.037
2		.613*	-.704*	-.307	-.747*	-.146	.079	.006	-.152	-.194	-.174	.283	.512	.463	.440
3			-.593*	-.557	-.466	.373	.655*	-.291	-.694*	-.423	-.703*	-.101	.765**	.046	.808**
4				.693*	.920**	-.173	-.235	.106	.386	.394	.423	-.225	-.606*	-.375	-.497
5					.355	-.805**	-.387	.290	.747**	.794**	.839**	.126	-.514	.075	-.767**
6						.214	-.093	-.021	.093	.079	.092	-.360	-.506	-.527	-.228
7							.431	-.208	-.720**	-.806*	-.844*	-.250	.357	-.318	.736**
8								-.160	-.643*	-.286	-.633*	-.372	.593*	-.272	.568
9									.670*	.003	.463	.721**	-.159	.550	-.226
10										.627*	.959**	.558	-.632*	.375	-.817**
11											.799**	-.038	-.458	-.085	-.791**
12												.404	-.641*	.284	-.905**
13													.086	.901**	-.149
14														.321	.787**
15															-.012

^zFactors : 1, EC of applied nutrient solution; 2, rockwool substrates EC; 3, rockwool substrates pH; 4, amount of applied nutrient solution; 5, amount of drained nutrient solution; 6, uptake amount of applied nutrient solution; 7, uptaken percentage of applied nutrient solution; 8, water ratio of rockwool substrates; 9, external solar intensity; 10, daytime temperature; 11, nighttime temperature; 12, daily temperature; 13, daytime humidity deficit; 14, nighttime humidity deficit; 15, daily humidity deficit 16, amount of applied CO₂.

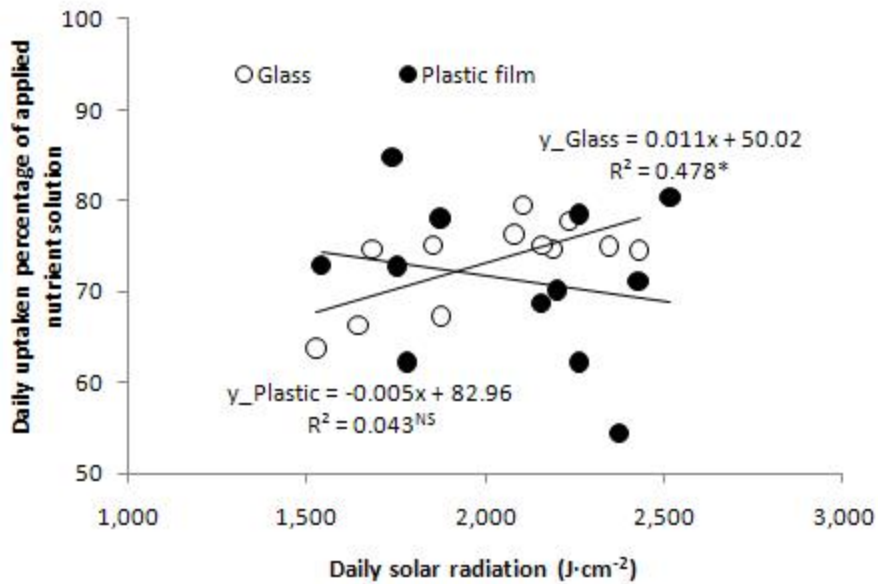


Fig. 10. Effects of solar radiation on uptaken percentage of applied nutrient solution from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

- 일평균온도 및 주야간온도차에 대하여는(Fig. 11) 두 요인 모두 그 영향력은 두 온실 간 비슷한 수준이었으나 그 확률(R^2)이 유리 온실에서 다소 높았다. 이러한 결과는 작물의 배양액 흡수율에 대한 외부광량의 영향력(Fig. 10)에 대한 원인으로 생각된다.
- 일평균수분부족분과 주야간수분부족분차에 대하여는(Fig. 12) 두 요인이 모두 두 온실에서 외부광량 $1\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ 증가 시 각각 $0.001\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 와 $0.004\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 으로 플라스틱 필름 온실보다 유리 온실에서 4배 정도 빠르게 건조해진 것으로 나타났다. 이 차이는 Fig. 7의 배양액 공급량과 흡수율에 차이를 가져왔을 것으로 생각된다.

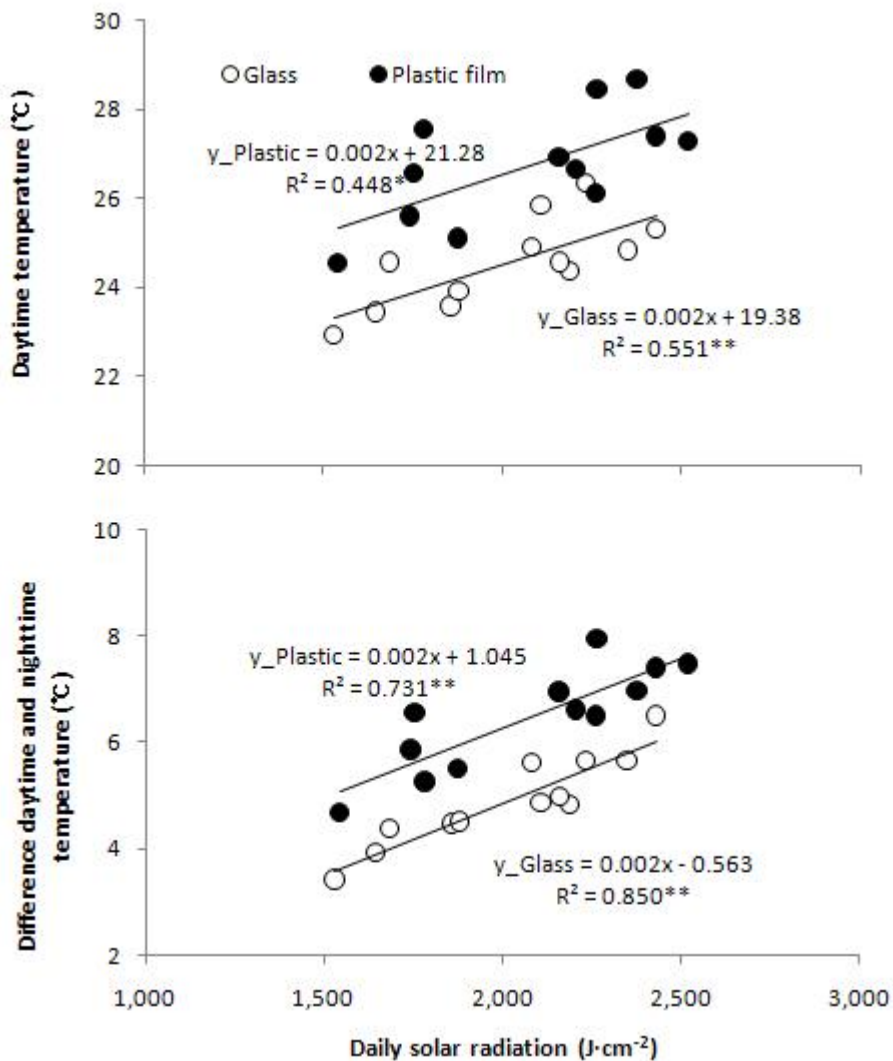


Fig. 11. Effects of solar radiation on daytime temperature and difference between daytime and nighttime temperature from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

- 온도 요인이 다른 요인에 대한 영향력을 비교하고자 분석한 결과(Fig. 13), 작물의 배양액 흡수율은 일평균온도의 1°C 증가 시 두 온실에서 각각 4.221%와

-6.721%, 주간온도의 1°C 증가 시 각각 3.969%와 -4.966%의 변화하는 것으로 나타내었다. 유리 온실과 플라스틱필름 온실에서 각각 다른 방향으로 영향을 받았는데, 이는 Fig. 4에서와 같이 유리 온실에 비해 플라스틱필름 온실에서는 주간온도가 지나치게 높게 관리가 되었기 때문으로 생각된다.

- 주간온도의 1°C 증가 시 주야간온도차는 두 온실에서 각각 0.654°C와 0.573°C 증가하나 큰 차이를 나타내진 않았다(Fig. 14). 그러나 Fig. 4의 조사 기간 동안 온도 요인 변화를 살펴보면, 야간온도는 큰 차이를 나타내지 않았으나 주간온도는 플라스틱필름 온실에서 유리 온실에 비해 월등히 높게 관리되어 실질적으로 1°C 증가의 영향은 플라스틱필름 온실에서 상당히 크게 작용했던 것으로 생각된다. 주야간수분부족분차는 주간온도의 1°C 증가 시 두 온실에서 각각 $0.447\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 와 $1.252\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 으로 나타나 유리 온실에서는 상대습도가 잘 관리되나 플라스틱필름 온실에서는 유리 온실에 비해 2.8배나 빠른 급격한 감소가 일어나 습도 관리가 잘 이루어지지 않았던 것으로 생각된다. 그리고 이러한 경향은 주간온도의 영향을 크게 받는 주야간온도차의 영향을 더 크게 받는 것으로 나타났다(Fig. 15).

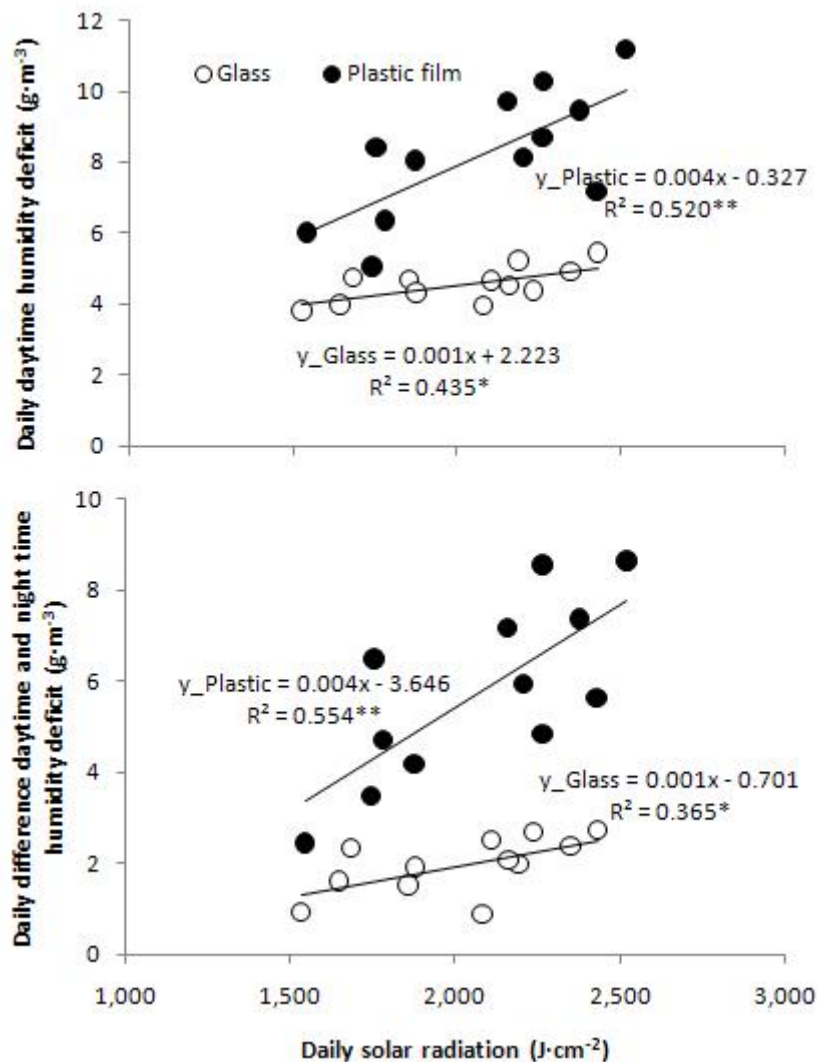


Fig. 12. Effects of solar radiation on daytime humidity deficit and difference daytime and nighttime humidity deficit from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

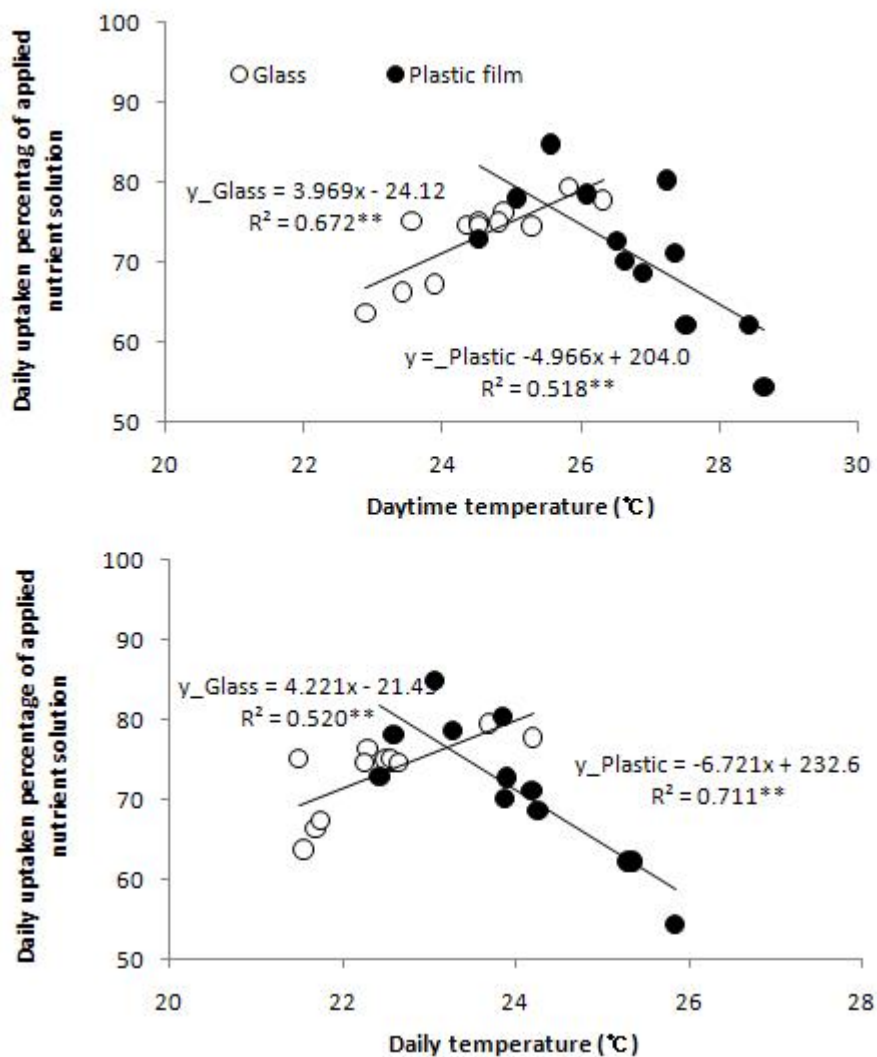


Fig. 13. Effects of temperature factors on uptaken percentage of applied nutrient solution from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

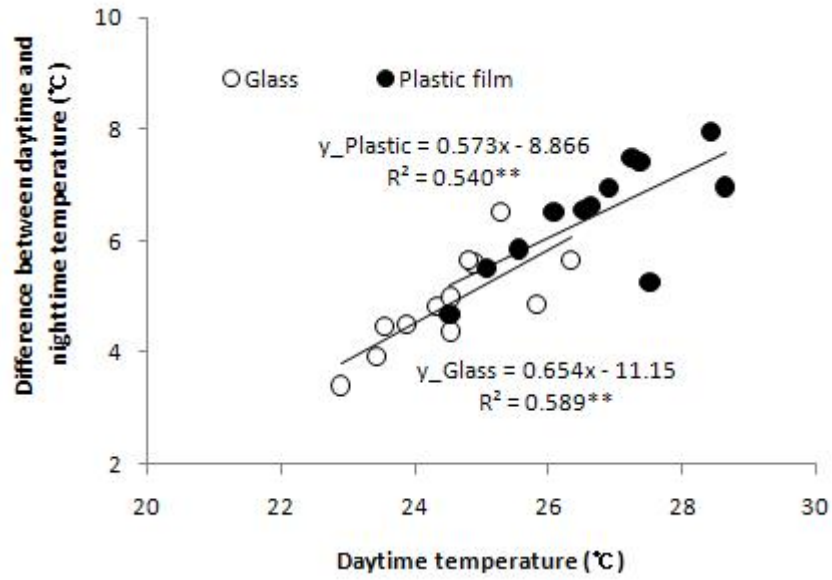


Fig. 14. Effects of daytime temperatures on difference daytime and nighttime temperature from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

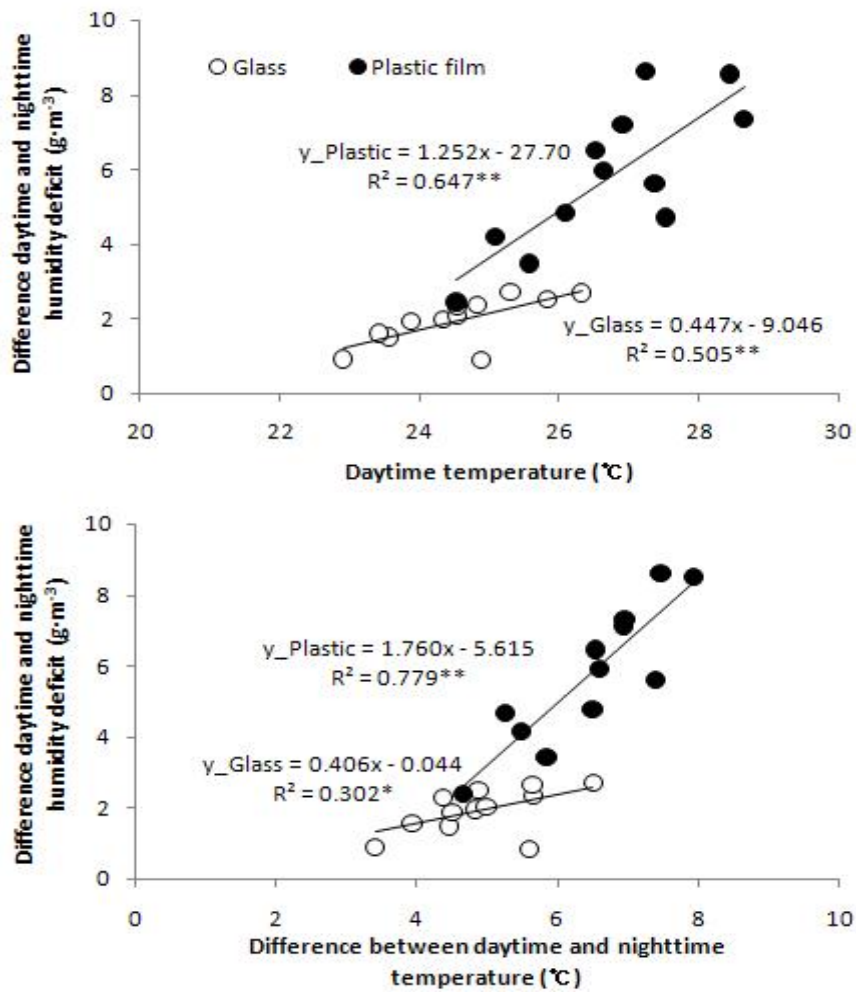


Fig. 15. Effects of temperatures factors on difference daytime and nighttime humidity deficit from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

나. 피복재별 온실의 파프리카 생육 및 생산량 차이

(1) 두 온실 간 잎의 생육 차이

- 정식 후 16-27주까지 정단부로부터 6번째 마디에 착생되는 잎의 주간 생육 정도를 조사하였다(Table 3). 잎의 면적은 유리온실에서 평균 123.0cm²로 플라스틱필름 온실의 119.5cm²보다 다소 넓었다. 그리고 편차는 유리 온실에서 적게 나타나 평균적으로 잎의 생육이 규칙적이었던 것으로 생각된다. 그리고 잎의 생체 중, 건물중 및 건물물은 두 온실 간 유사한 수준이었다.
- 잎의 면적 및 엽록소 함량 변화를 살펴본 결과(Fig. 16), 엽록소 함량은 두 온실에서 평균적으로 유사한 수준이었으나, 플라스틱필름 온실에서는 정식 후 20주째부터 변화가 심하였다. 이에 따른 잎의 면적도 조사 후기에 감소되는 경향이 플라스틱필름 온실보다 유리 온실에서 적게 나타났다. 이러한 경향은 두 온실의 피복재 간 투광률 차이와 더불어 흐린 날의 투광량이 플라스틱필름 온실에서는 파프리카 광합성에 다소 부족하여 잎의 면적 변화가 심하였던 것에 비해 유리 온실에서는 다소 안정적이었기 때문으로 생각된다. 또한 식물체 전체의 잎 면적을 고려한다면 이러한 차이는 더욱 클 것으로 판단되어 차후 생장 및 동화물질의 전류량에 영향을 줄 것으로 생각된다.

Table 3. Weekly growth characteristics of leaf on the 6th node from stem-end from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

	Area (cm ²)		Fresh weight (g)		Dry weight (g)		Dry matter (%)	
	Glass	Plastic	Glass	Plastic	Glass	Plastic	Glass	Plastic
Mean	123.0	119.5	4.4	4.5	0.60	0.61	13.5	13.6
SD ^z	8.62	13.94	0.28	0.60	0.05	0.08	0.79	0.86
CV ^y (%)	7.0	11.7	6.5	13.4	9.0	13.1	5.9	6.4

^zStandard deviation (n=12).

^yCoefficient of variation.

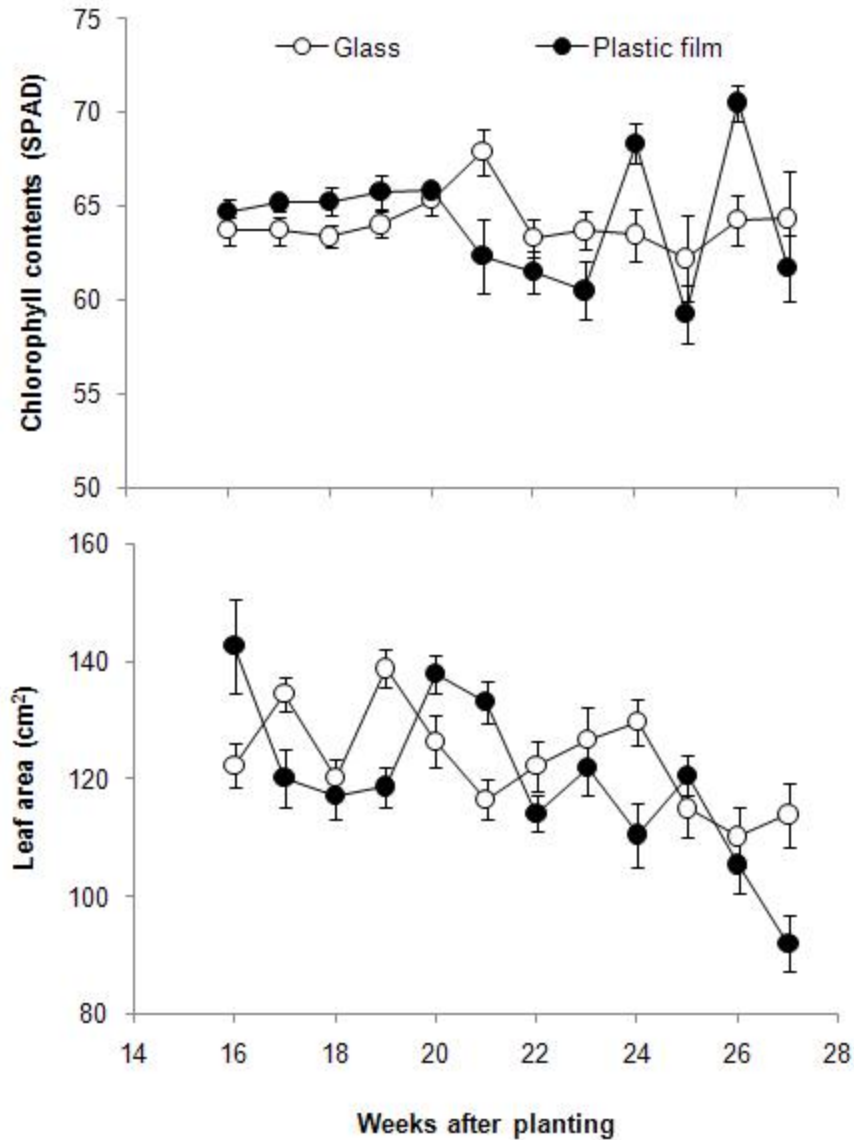


Fig. 16. Weekly change of chlorophyll contents and area of leaf on the 6th node from stem-top from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house. Bars represents Mean \pm SD (n=12).

○ 잎의 생체중 및 건물률 변화를 살펴본 결과(Fig. 17), 잎의 생체중은 면적과 비슷한 경향을 나타내었다. 그러나 건물율은 조사후기로 갈수록 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 잎의 면적이 조사 후기 감소하고 엽록소 함량이 크게 증가하지 않은 경향(Fig. 15)을 고려하면 건물율 증가는 조사 시기가 지나면서 식물체의 전체 잎의 수가 증가하고 기존 잎의 면적 및 광합성 능력 증가가 새로 나온 잎이 전개할 시 도움을 주었기 때문으로 생각된다.

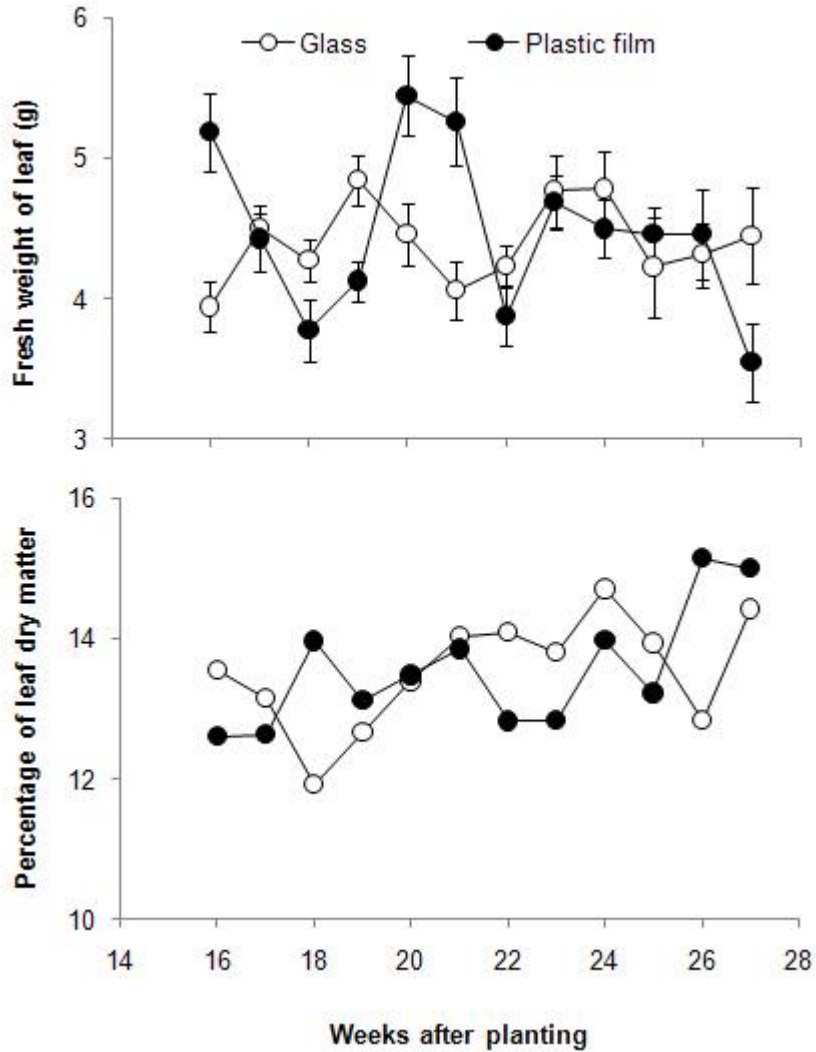


Fig. 17. Weekly change of fresh weight and dry matter of leaf on the 6th node from stem-top from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house. Bars represents Mean \pm SD (n=12).

- 조사 기간 동안 3주마다 정단부로부터 6번째 마디에 착생한 잎의 호흡량 및 광합성률 변화를 살펴본 결과(Fig. 18), 호흡량은 유리 온실에서 $2.6\text{umol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 으로 플라스틱필름 온실의 $2.3\text{umol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에 비해 다소 높은 경향이였다. 특히, 조사 초기와 후기 모두 플라스틱필름 온실에서 변화가 심하였으나 유리 온실에서는 꾸준히 증가하는 경향을 나타내었다. 최대 광합성률도 유리 온실에서 평균 $15.8\text{umol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 플라스틱필름 온실의 $15.3\text{umol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에 비해 다소 높은 수준이였다. 조사 초기에는 플라스틱필름 온실에서 높은 경향이였으나 후기로 가면서 급격하게 꾸준히 감소한 반면, 유리 온실에서 증가 후 24주째에 급격히 감소한 것을 제외하고는 높은 경향을 나타내었다. 특히, 플라스틱필름 온실의 경향은 엽록소 함량과 잎의 면적 변화(Fig. 16)와 다소 유사한 경향이였다.

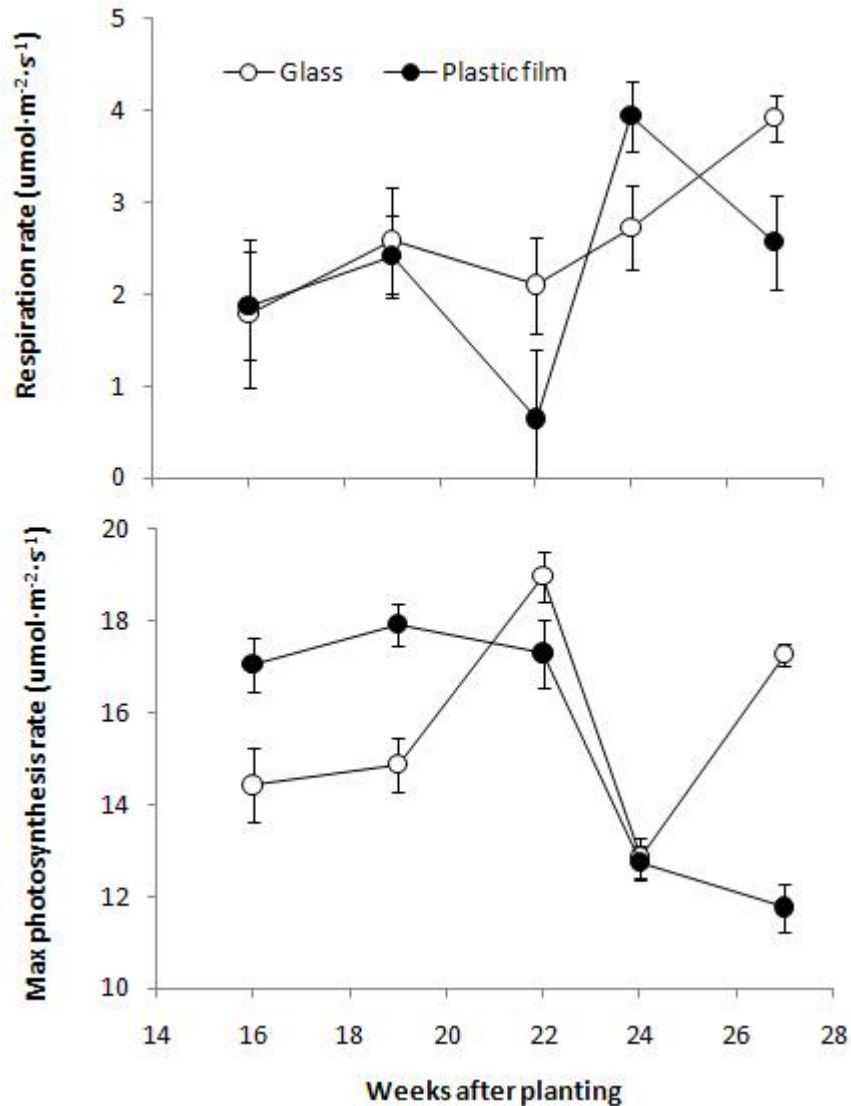


Fig. 18. Weekly change of respiration rate and maximum photosynthesis rate of leaf on the 6th node from stem-top from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house. Bars represents Mean \pm SD (n=3).

- 이러한 잎의 생육 차이는 조사 초기에는 광의 이용 효율성이 비슷하였으나 조사 후기로 가면서 작물 생육의 차이와 외부 날씨에 따른 내부 광량 차이 등에 의해 유리 온실에서 광의 이용 효율이 높아졌기 때문으로 생각된다(Fig. 19). 특히, 피복재에 따른 투광률을 고려하면 광량 차이에 의한 생육 차이가 더욱 컸을 것으로 생각되나 큰 차이를 나타내지 않았다. 이는 조사 시기 동안 투광량이 적은 플라스틱필름 온실에서도 파프리카의 광포화점에 크게 떨어지지 않았기 때문으로 생각된다. 따라서 유리 온실에서는 전반적으로 호흡량 및 최대 광합성률이 높게 나타나 광합성이 플라스틱필름 온실에 비해 활발하였던 것으로 생각된다.

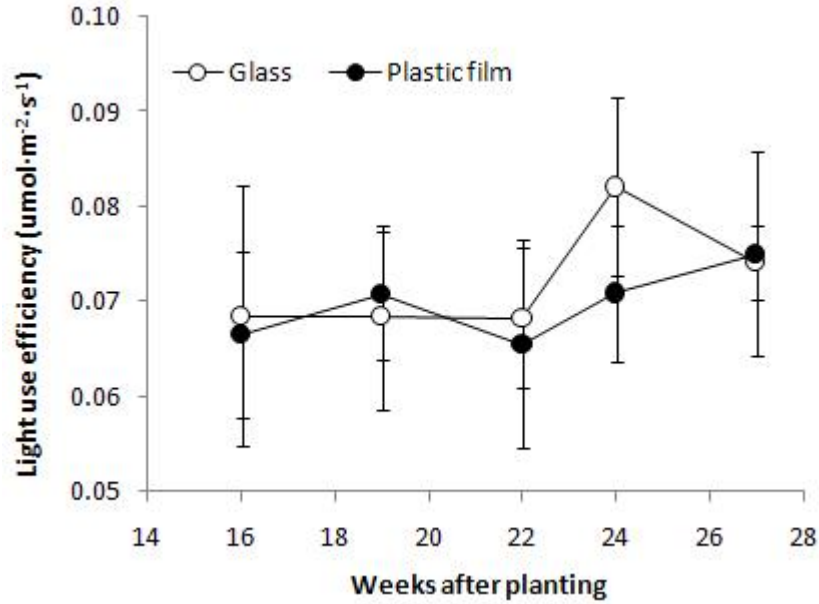


Fig. 19. Weekly change of light use efficiency of leaf on the 6th node from stem-top from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house. Bars represents Mean \pm SD (n=3).

(2) 두 온실 간 줄기, 과실 성장 및 생산량 차이

○ 두 온실에서 정식 후 16-27주까지 줄기 및 과실 성장, 그리고 단위면적당 생산량을 조사하였다(Table 4). 줄기 성장량은 유리 온실에서 0.07mm/week에 비해 플라스틱필름 온실에서 0.11mm/week로 아주 많았다. 그러나 두 온실 모두에서 주간 편차가 아주 컸다. 과실 직경은 플라스틱필름 온실의 3.9mm·week⁻¹에 비해 유리 온실에서 5.4mm/week로 1.4배나 많았다. 특히, 조사 기간 동안 유리 온실에서는 최대 10.3mm/week까지 성장하기도 하였다. 이에 따른 단위면적당 생산량은 플라스틱필름 온실의 650g·m⁻²/week보다 유리 온실에서는 1.3배가 많은 850g·m⁻²/week을 나타내었다.

Table 4. Weekly stem diameter, fruit diameter, and yield per week from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

	Stem diameter (mm/week)		Fruit diameter (mm/week)		Yield (g·m ⁻² /week)	
	Glass	Plastic	Glass	Plastic	Glass	Plastic
Mean	0.07	0.11	5.4	3.9	850	650
SD ^z	0.08	0.11	4.9	3.6	250	380
CV ^y (%)	118.7	105.60	89.9	91.9	29.0	57.9

^zStandard deviation (n=12).

^yCoefficient of variation.

- 조사 기간 동안 줄기 및 과실 직경의 성장량 변화를 살펴본 결과(Fig. 20), 줄기 직경은 플라스틱필름 온실에서는 초기 급격한 증가와 감소가 나타났으며 중반기 낮은 수준으로 꾸준한 증가를 나타내었다. 그러나 유리 온실에서는 조사 초기부터 중기까지 적지만 일정한 증가량을 유지하였다. 그리고 조사 후기에는 두 온실 모두에서 급격한 상승이 나타났다. 과실 직경은 두 온실 모두 유사한 경향을 나타내었지만 주마다의 성장량은 유리 온실에서 플라스틱필름 온실보다 꾸준히 높게 나타났다. 특히, 두 온실 간 줄기 직경의 차이를 많이 나타낸 조사 초기에 과실 직경의 차이도 다른 조사 시기에 비해 다소 큰 편이었다. 이를 고려하면 플라스틱필름 온실에서 유리 온실에 비해 영양생장이 강했던 것으로 생각된다.
- 조사 기간 동안 주마다 단위면적당 생산량의 변화를 살펴본 결과(Fig. 21), 플라스틱필름 온실에서는 정식 후 18 및 19주째의 생산량은 높았으나 이후 감소하였으나, 유리 온실에서는 조사 초기부터 후기까지 크게 높아지거나 감소하는 경향이 나타나지 않고 꾸준한 생산량을 유지하는 경향을 나타내었다. 특히, 27주째에 급격히 상승하였는데 이는 수확된 과실의 비대 시기에 잎의 건물량이 증가되고(Fig. 17) 광합성이 왕성하여(Figs. 18; 19) 과실로의 동화산물 전류량이 많았기 때문으로 생각된다. 또한 작물의 배양액 흡수율을 고르게 관리함으로써(Figs. 7; 10) 작물의 생육 안정성을 도모하였기 때문으로 생각된다.
- 조사 기간 동안 단위면적당 누적 생산량을 살펴본 결과(Fig. 22), 생산 시기가 1주 지날 때마다 단위면적당 생산량은 유리 온실에서는 $784\text{g}\cdot\text{m}^{-2}/\text{week}$, 플라스틱필름 온실에서는 $649\text{g}\cdot\text{m}^{-2}/\text{week}$ 정도 누적되는 것으로 나타나 유리 온실에서 1.2배 정도 높게 나타났다. 따라서 두 온실 수확 기간을 고려하면 총 재배 기간 동안 단위면적당 생산량은 다소 더 큰 차이를 나타낼 것으로 생각된다(Table 1).

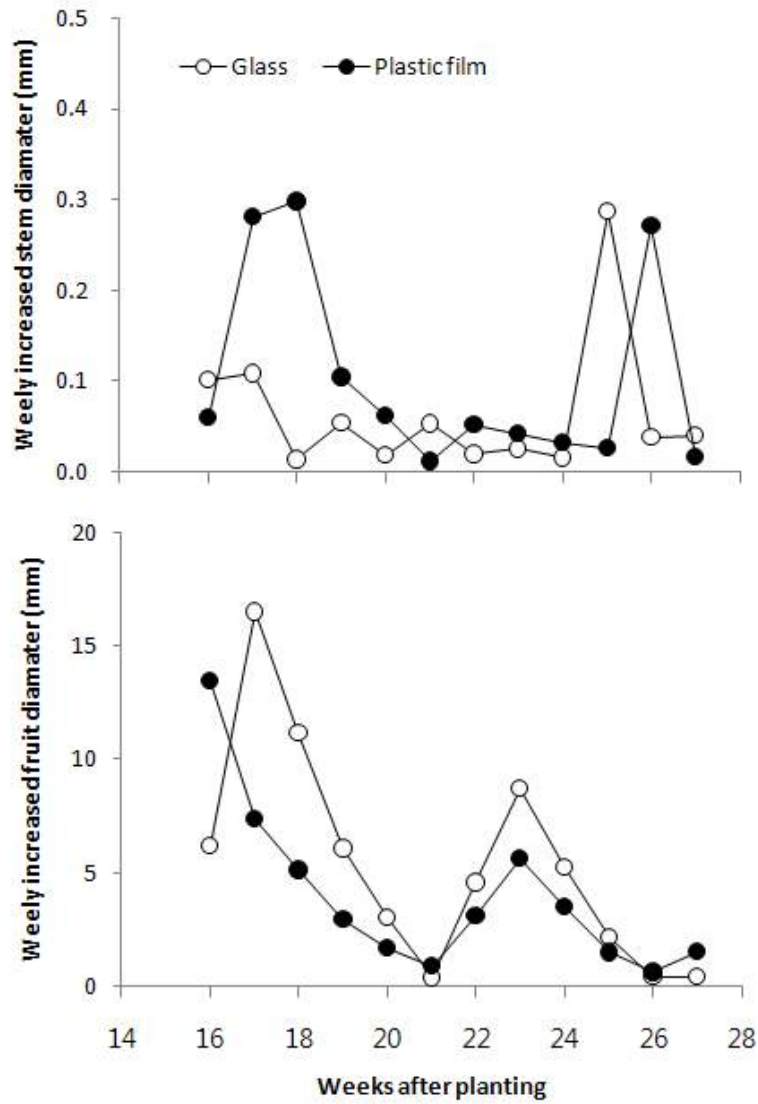


Fig. 20. Weekly change of stem and fruit diameter from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

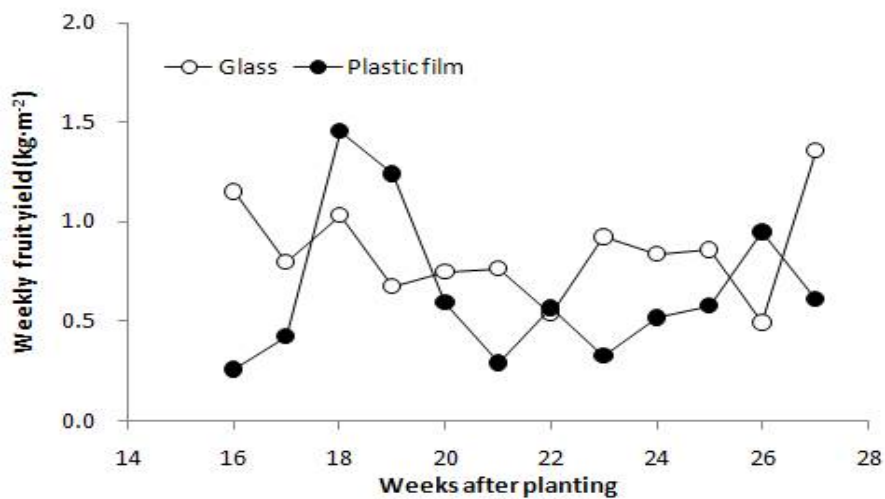


Fig. 21. Weekly change of fruit yield from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

(3) 두 온실의 파프리카 생육 특성 간 상관성

- 조사 기간 동안 잎, 줄기, 과실의 생육 및 생산량 간 상관성을 분석한 결과는 Table 5와 같다. 유리 온실에서는 잎의 면적과 생체중 및 과실 직경, 잎의 생체중과 건물중, 잎의 건물중과 건물률 간 모두 정의 상관을 나타내었다. 따라서 유리 온실에서는 잎의 면적이 증가하면서 원활한 광합성(Figs. 18; 19)이 이루어지면서 잎의 확대가 잘 이루어지고 과실 비대기에 동화 산물의 전류가 잘 이루어진 것으로 생각된다. 반면 플라스틱필름 온실에서는 잎의 면적과 잎의 생체중 간에는 정의 상관을 나타내었으나 잎의 건물율과는 부의 상관, 잎의 생체중과 잎의 건물중 간 정의 상관, 잎의 건물률과 과실 직경, 과실 직경과 단위면적당 생산량 간에는 부의 상관을 나타내었다. 특히, 과실 직경이 증가하지만 단위면적당 생산량이 감소한 것을 고려하면 작물의 낮은 배양액 흡수율(Fig. 7), 온도 및 광에 따른 수분의 높은 변화(Figs. 12; 14), 그리고 지나치게 높은 수분부족분(Fig. 5) 등이 영향을 주어 과실 크기보다는 착과수가 적었기 때문으로 생각된다.

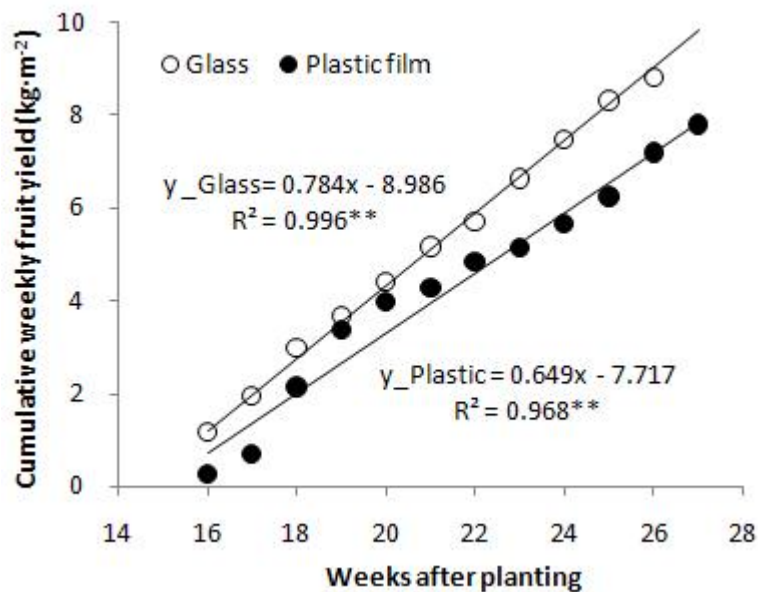


Fig. 22. Weekly accumulative yield from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

Table 5. Correlation coefficients among weekly growth characteristics from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

Glass	a ²	b	c	d	e	f	g	h
a	1.000	-.130	-.182	-.033	.091	-.364	-.265	-.215
b		1.000	.606*	.386	-.146	.637*	-.208	.012
c			1.000	.638*	.025	.226	-.269	.036
d				1.000	.661*	-.239	-.343	.235
e					1.000	-.426	.058	.254
f						1.000	-.070	.185
g							1.000	-.409
h								1.000

Plastic	a	b	c	d	e	f	g	h
a	1.000	-.088	.108	.433	.394	.010	.510	.192
b		1.000	.824**	.382	-.642*	.467	-.102	-.336
c			1.000	.778**	-.279	.185	-.204	-.152
d				1.000	.334	-.145	-.019	.238
e					1.000	-.601*	.095	.512
f						1.000	.187	-.764**
g							1.000	-.126
h								1.000

²a, chlorophyll contents; b, leaf area; c, leaf fresh weight; d, leaf dry weight; e, dry matter ratio of leaf; f, fruit diameter; g, stem diameter; h, yield per square meter.

- 생육 특성 간 상관 분석에 따라 상관 요인 간 영향력의 차이를 알아보았다(Fig. 23). 잎의 면적이 1cm² 증가 시 과실 직경은 두 온실에서 각각 0.359mm와 0.121 mm가 증가하는 것으로 나타나 유리 온실에서 잎의 면적 확보에 따른 효율성이 3.0배 정도나 컸다. 또한 잎의 건물률이 1% 증가할 시 두 온실에서 각각 -0.361mm와 -0.373mm가 감소하는 경향으로 플라스틱필름 온실에서 잎의 건물률에 따른 영향을 크게 받았다. 따라서 플라스틱필름 온실에서는 잎의 면적이 확보되었어도 유리 온실에 비해 과실로의 동화물질의 전류가 잘 이루어지지 않았던 것으로 생각된다.

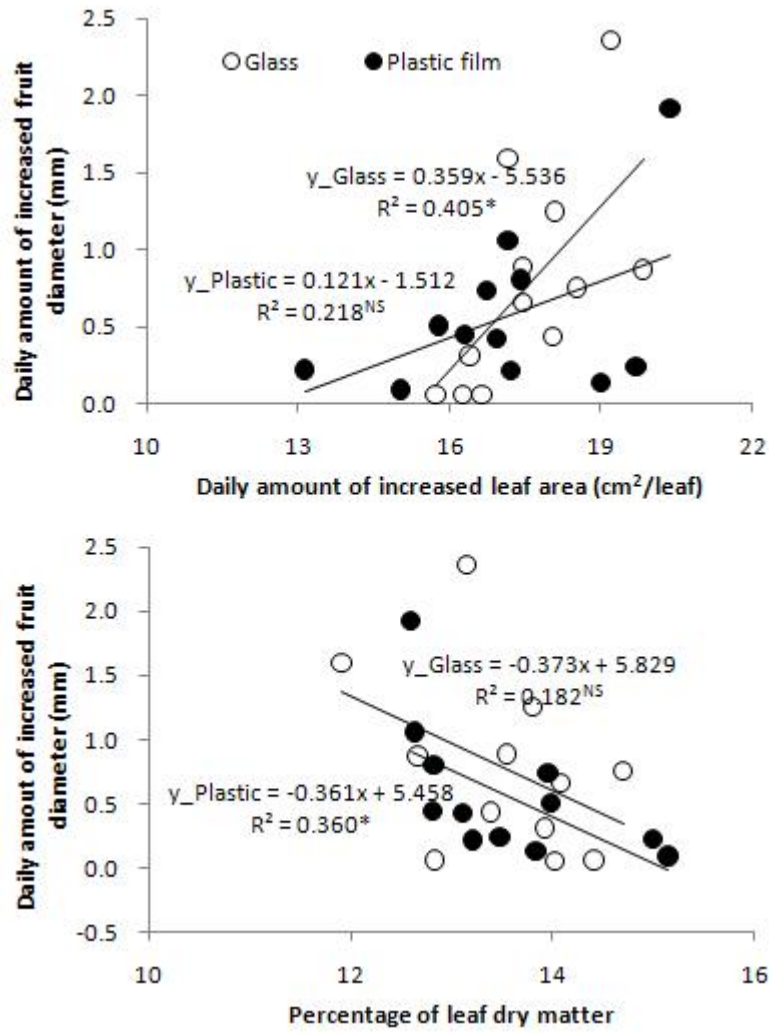


Fig. 23. Effects of leaf area and dry matter on fruit diameter from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

다. 피복재별 온실의 파프리카 생육 및 생산량에 대한 환경 요인 영향

(1) 두 온실 파프리카의 생육 특성에 대한 환경 요인의 영향력 차이

- 조사 기간 동안의 생육 특성에 대한 환경 요인의 영향력을 비교하고자 상관 분석을 수행하였다(Table 6). 상관계수 0.700 이상의 높은 관계를 나타낸 요인들을 추출하면 유리 온실에서는 외부 광량과 잎의 건물량, 주간온도, 야간온도 및 일평균온도와 잎의 온도, 야간수분부족분과 잎의 면적 및 과실 직경, 그리고 일평균수분부족분과 잎의 면적 등 이었다. 플라스틱필름 온실에서는 암면 배지의 pH와 과실 직경, 배양액의 배액량과 잎의 온도, 주간온도와 잎의 온도, 야간온도와 잎의 면적 및 건물량, 일평균온도와 잎의 온도, 야간수분 부족분과 과실 직경, 이산화탄소 공급량과 잎의 면적 및 과실 직경 간 높은 상관성을 나타내었다. 대부분 온도 및 수분 요인을 중심으로 잎의 온도, 면적 및 과실 직경에 영향을 준 것으로 나타났다.

Table 6. Correlation coefficients between growth characteristics and environmental factors from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

Glass	a ^y	b	c	d	e	f	g	h	i
1 ^z	0.07	-0.12	-0.49	-0.28	-0.11	0.07	-0.09	-0.34	-0.37
2	0.18	-0.24	0.18	0.04	0.25	-0.01	0.03	0.39	0.43
3	-0.06	-0.02	-0.48	-0.21	0.10	0.16	0.33	0.29	-0.06
4	0.26	0.34	0.55	0.27	-0.15	0.00	-0.16	0.18	0.09
5	0.51	0.37	0.34	-0.04	-0.36	0.16	-0.35	0.15	-0.47
6	0.16	0.30	0.55	0.33	-0.07	-0.05	-0.10	0.17	0.24
7	-0.24	0.02	0.34	0.37	0.22	-0.17	0.27	0.10	0.67
8	-0.14	-0.27	-0.37	-0.21	-0.19	-0.25	-0.17	0.14	0.14
9	0.02	0.29	0.58	0.71	0.25	-0.18	-0.38	0.05	0.34
10	-0.05	-0.33	0.20	0.42	0.34	-0.56	0.02	0.21	0.73
11	-0.12	-0.69	-0.08	-0.11	0.08	-0.56	0.34	0.06	0.82
12	-0.07	-0.48	0.20	0.31	0.29	-0.62	0.09	0.26	0.84
13	-0.09	0.45	0.67	0.49	-0.02	-0.02	0.07	-0.37	0.02
14	-0.14	0.75	0.07	-0.24	-0.57	0.71	0.00	-0.14	-0.56
15	-0.04	0.71	0.59	0.26	-0.38	0.16	-0.01	-0.27	-0.07
16	-0.12	0.36	0.13	0.24	0.18	0.18	-0.13	-0.29	-0.37
17	0.03	0.13	0.29	0.57	0.34	-0.24	-0.23	0.20	0.23
18	0.03	-0.18	0.48	0.57	0.39	-0.53	0.06	-0.19	0.43

Plastic	a	b	c	d	e	f	g	h	i
1	-0.03	-0.42	-0.44	-0.29	0.20	0.23	0.17	0.00	0.39
2	-0.06	0.23	0.01	-0.34	-0.47	0.40	0.29	0.07	-0.08
3	0.23	0.53	0.30	-0.04	-0.54	0.74	0.34	-0.09	-0.60
4	-0.05	-0.15	0.14	0.44	0.53	-0.62	-0.13	-0.07	0.49
5	0.15	-0.50	-0.12	0.29	0.68	-0.57	0.13	0.07	0.77
6	-0.15	0.08	0.24	0.41	0.32	-0.50	-0.24	-0.13	0.22
7	-0.07	0.57	0.24	-0.04	-0.48	0.36	-0.14	0.00	-0.66
8	0.20	0.26	0.04	-0.03	-0.25	0.40	0.54	0.13	-0.68
9	0.02	-0.06	-0.22	-0.17	0.00	-0.31	0.11	0.60	0.39
10	-0.05	-0.54	-0.34	-0.06	0.48	-0.67	-0.17	0.32	0.83
11	0.07	-0.75	-0.38	0.05	0.77	-0.48	-0.02	0.06	0.65
12	-0.05	-0.64	-0.34	0.01	0.61	-0.66	-0.15	0.20	0.84
13	0.13	-0.04	-0.10	-0.07	-0.08	-0.04	0.04	0.49	0.32
14	0.25	0.37	0.05	-0.09	-0.38	0.80	0.61	0.22	-0.54
15	0.14	0.10	0.05	0.05	-0.14	0.17	0.21	0.35	0.14
16	0.10	0.71	0.32	-0.07	-0.62	0.71	0.30	0.02	-0.68
17	-0.13	-0.05	-0.10	-0.13	-0.05	-0.44	-0.20	0.36	0.51
18	0.01	-0.20	-0.11	-0.02	0.09	-0.40	-0.24	0.36	0.54

^y1-16, see Table 2; 17-18, Difference between day and night temperature and humidity deficit, respectively.

^za-h, see Table 5; i, leaf temperature.

○ 추출된 요인 중 주요 요인 간 영향력을 조사한 결과, 잎의 온도는 두 온실 모두 내부 온도 3요인의 영향을 받았다(Fig. 24). 주간온도가 1℃ 증가 시 잎의 온도는 각각 0.736℃와 0.456℃으로 유리 온실에서 1.6배가 높았다. 그리고 야간온도에 따라서는 각각 1.283℃와 0.520℃으로 유리 온실에서 2.5배나 높았다. 또한 일평균온도에 따라서는 각각 1.019℃와 0.530℃으로 유리 온실에서 1.9배 정도 높았다. 그러나 Fig. 4의 내부 온도 변화를 보았을 때 플라스틱필름 온실에서 3요인 모두 높게 관리된 것을 고려하면 유리 온실에서 잎의 온도가 높은 것은 내부온도 보다는 투광률에 의한 영향이 컸을 것으로 생각된다.

○ 이에 따라 잎의 온도가 잎의 호흡률에 미치는 영향을 살펴본 결과(Fig. 25), 잎의

온도가 1°C 증가하면 두 온실에서 호흡률은 각각 $0.913 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 과 $1.051 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로가 증가하는 것으로 나타나 플라스틱필름 온실에서 온도에 대한 호흡률의 변화가 다소 심한 것으로 나타났다. 이는 잎의 온도가 상승함에 따라 호흡량이 급격히 증가되는 것으로 동화 산물의 축적이 원활하지 않으면 차후 생육에 영향을 줄 것으로 생각된다.

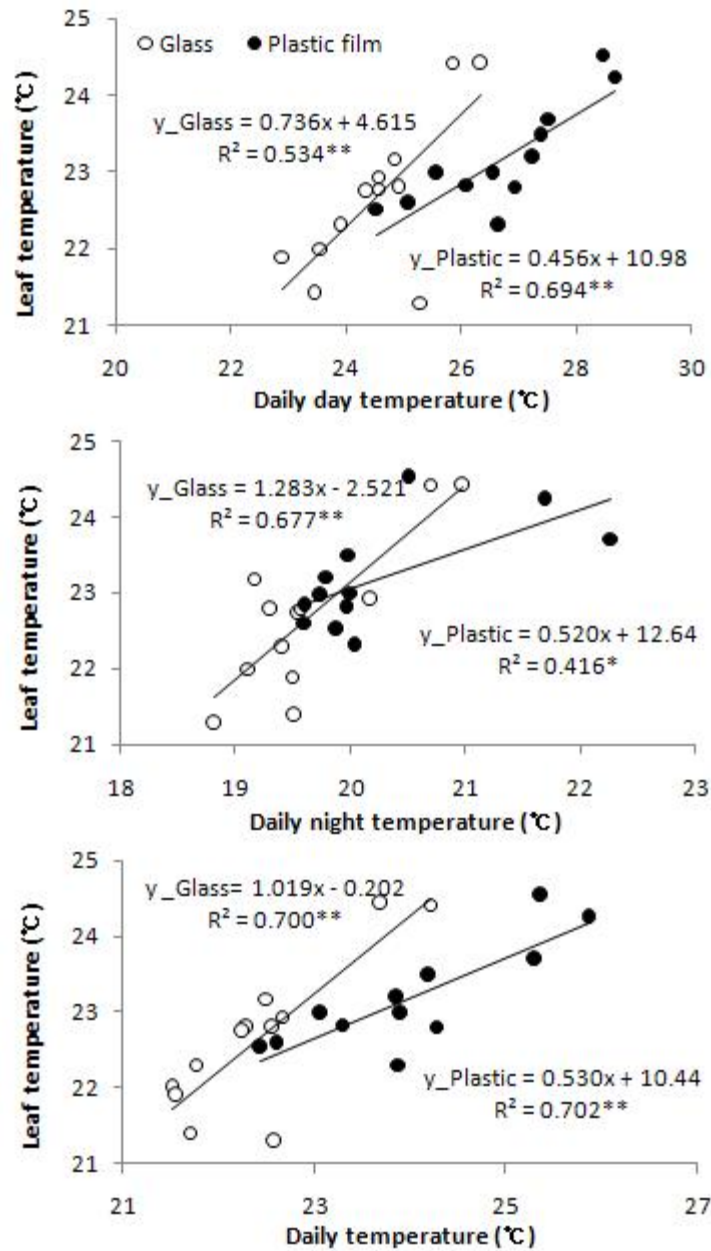


Fig. 24. Effects of temperatures factors on leaf temperature from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

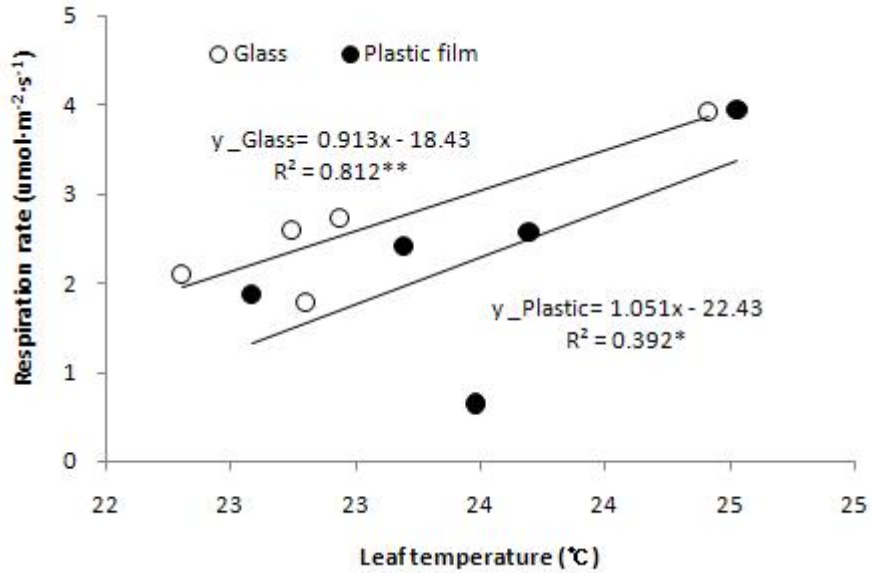


Fig. 25. Effects of leaf temperature on respiration rate from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

- 광 이용효율이 잎의 건물률에 미치는 영향을 살펴본 결과(Fig. 26), 유리 온실에서는 광 이용효율에 영향을 받지 않았던 것으로 나타났으나 플라스틱필름 온실에서는 큰 영향을 받은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 유리 온실에서는 투광량이 좋아 동화 작용에 있어 광량이 충분하였는데 비해 플라스틱필름 온실은 그러하지 못하여 외부 광량이 낮을 때는 내부에 광량이 부족하였거나, 또는 이에 따른 잎의 면적이 확보되지 못하고 광합성이 저하된 데에서 온 것으로 생각된다(Figs. 16; 18).
- 야간온도가 잎의 면적에 미치는 영향을 살펴본 결과(Fig. 27), 야간온도가 1°C 증가 시 두 온실에서 잎의 면적은 각각 1.308cm²과 1.739cm² 정도 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 플라스틱필름 온실은 주야간온도차가 매우 컸고(Fig. 4), 피복재에 따른 일몰 직전 투광량이 부족하고, 건물을 생성하는데 광의 이용효율이 낮았기 때문으로 생각된다(Fig. 26).
- 야간수분부족분이 과실 직경에 미치는 영향을 살펴본 결과(Fig. 28), 야간수분부족분이 1gm⁻³ 증가 시 두 온실에서 과실 직경은 각각 1.08mm와 0.47 mm 정도로 유리 온실에서 플라스틱필름 온실에 비해 2.3배가 높게 나타났다. 이러한 결과는 수분 관리에 있어 유리 온실에서는 유사한 수준으로 꾸준히 관리되고 과실 성장도 좋았으나(Table 4), 플라스틱필름 온실에서는 수분의 잦은 큰 변화(Fig. 5), 큰 주야간온도차(Fig. 4), 그리고 주야간온도차에 대한 수분의 큰 변화(Fig. 14)가 나타났기 때문으로 생각된다.

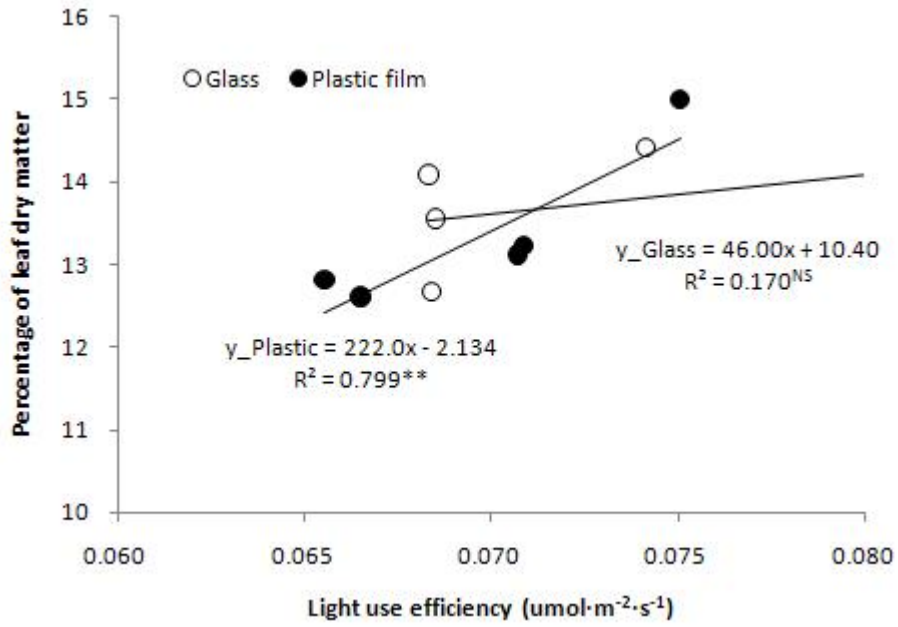


Fig. 26. Effects of light use efficiency on leaf dry matter from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

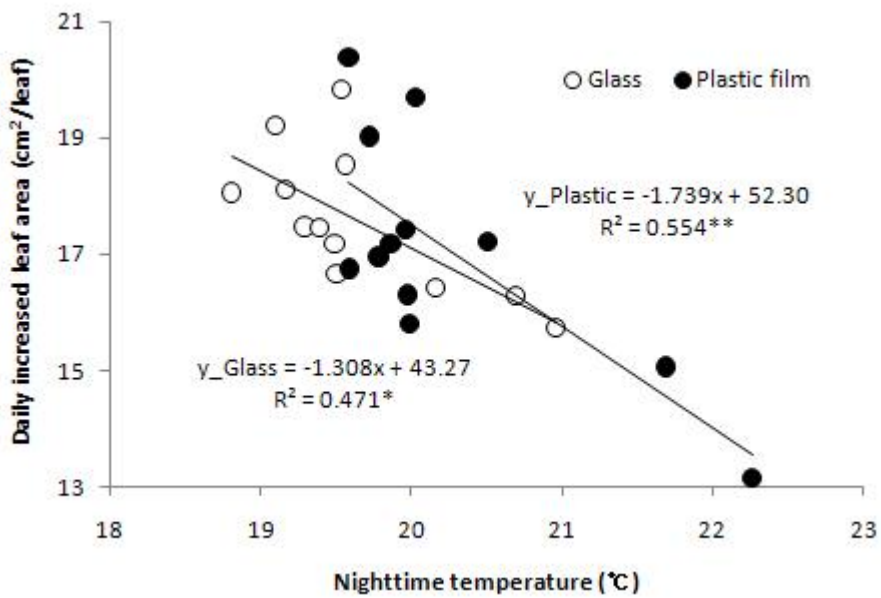


Fig. 27. Effects of nighttime temperature on leaf area from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

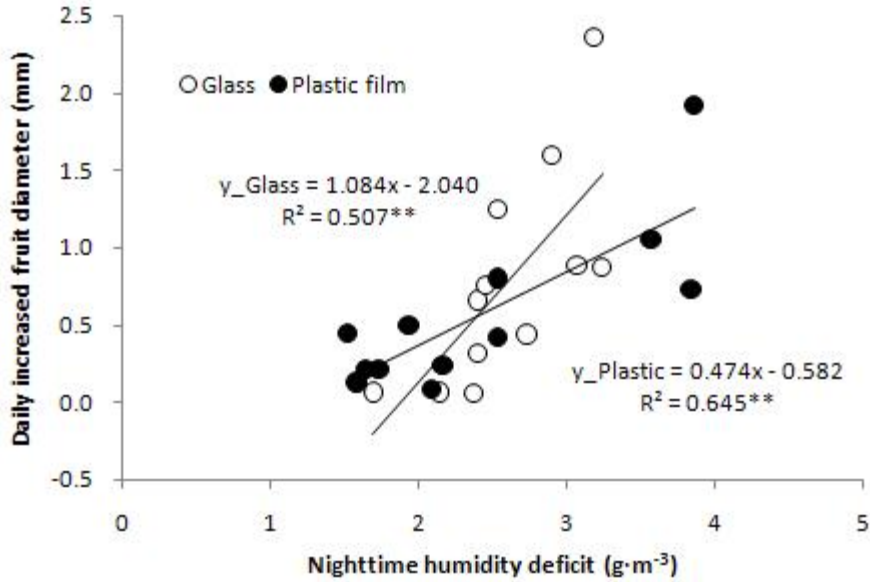


Fig. 28. Effects of nighttime humidity deficit on fruit diameter from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

(2) 두 온실 파프리카의 생산량에 대한 환경 요인의 영향력 차이

- 조사 기간 동안 누적 생산량에 대한 환경 요인의 누적값의 영향을 알아보았다. 조사 기간 동안 광량의 누적에 따른 줄기 직경, 과실 직경 및 생산량을 살펴보면 (Fig. 29), 광량이 $1\text{kJ}\cdot\text{cm}^{-2}$ 누적되면 줄기 직경은 유리 온실에서는 0.004mm , 플라스틱필름 온실에서는 0.005mm 정도 누적되는 경향을 나타내었다. 그리고 과실 직경은 두 온실에서 각각 0.341mm 과 0.196mm 정도 누적되어 유리 온실에서 1.7배 정도 빠르게 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 단위면적당 누적 생산량은 두 온실에서 각각 $55\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 과 $43\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 정도 누적되어 유리 온실에서 1.3배 정도 빠르게 증가하였다. 이러한 생산성 차이는 조사 기간 동안 주간 과실 직경 증가량이 경향은 비슷하나 매주 유리 온실에서 높았고 (Fig. 20), 주간 단위면적당 생산량이 유리 온실에서는 꾸준한 수준을 유지했는데 비해 플라스틱필름 온실에서는 그 변화폭이 심했던 것 (Fig. 21)이 원인으로 생각된다.
- 조사 기간 동안 온도 요인의 누적에 따른 생산량을 살펴보면 (Fig. 30), 일평균온도가 1°C 누적되면 단위 면적당 생산량은 두 온실에서 각각 $5\text{g}\cdot 3\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, 주야간온도차에 의해서는 $161\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 과 $95\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 정도 누적되어 유리 온실에서 모두 1.7배 정도 빠르게 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 일의 온도가 1°C 누적되면 과실 직경은 두 온실에서 각각 0.03mm 와 0.02mm 정도 누적되었고, 이에 단위면적당 생산량은 각각 $5\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 과 $4\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 정도 누적되어 유리 온실에서 다소 빠르게 증가하는 경향을 나타내었다 (Fig. 31).

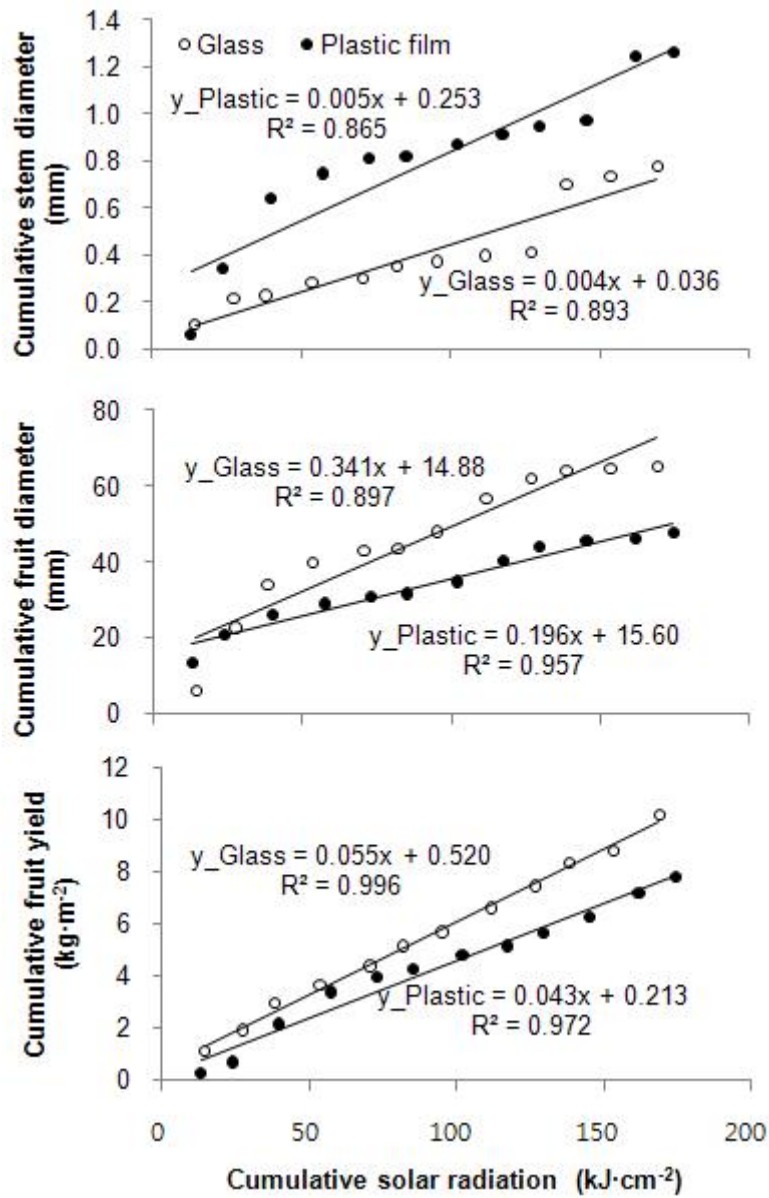


Fig. 29. Change of fruit yield depending on accumulative amount of solar radiation from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

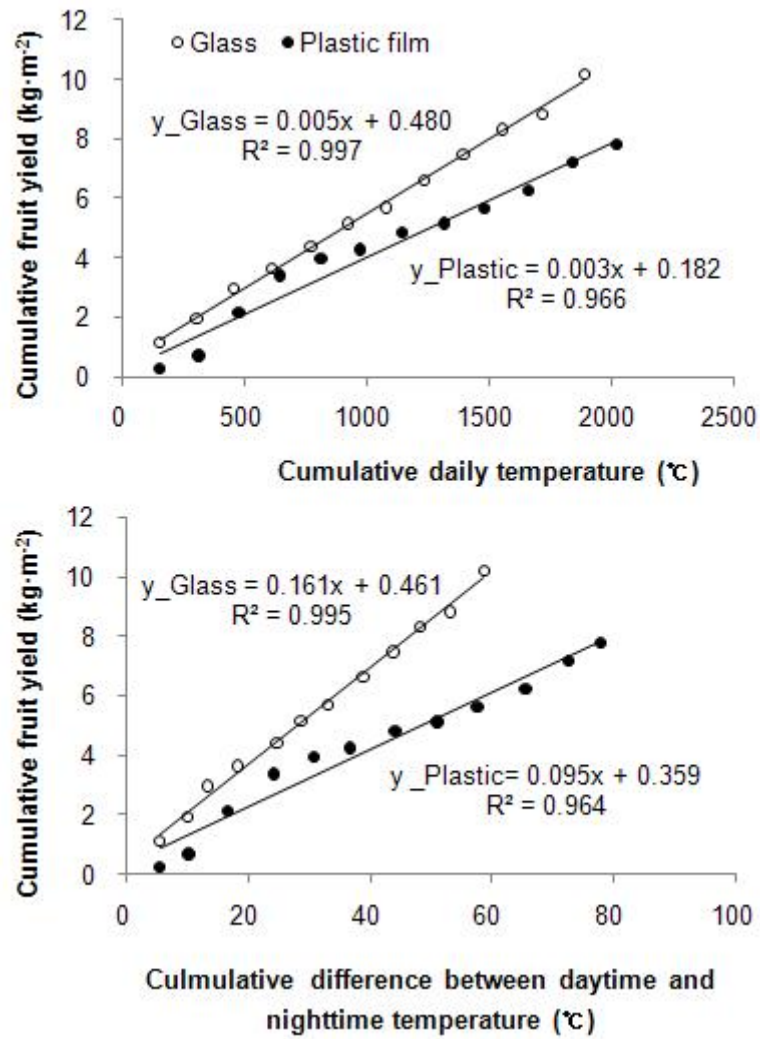


Fig. 30. Change of fruit yield depending on accumulative amount of daily temperature and difference between daytime and nighttime temperature from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

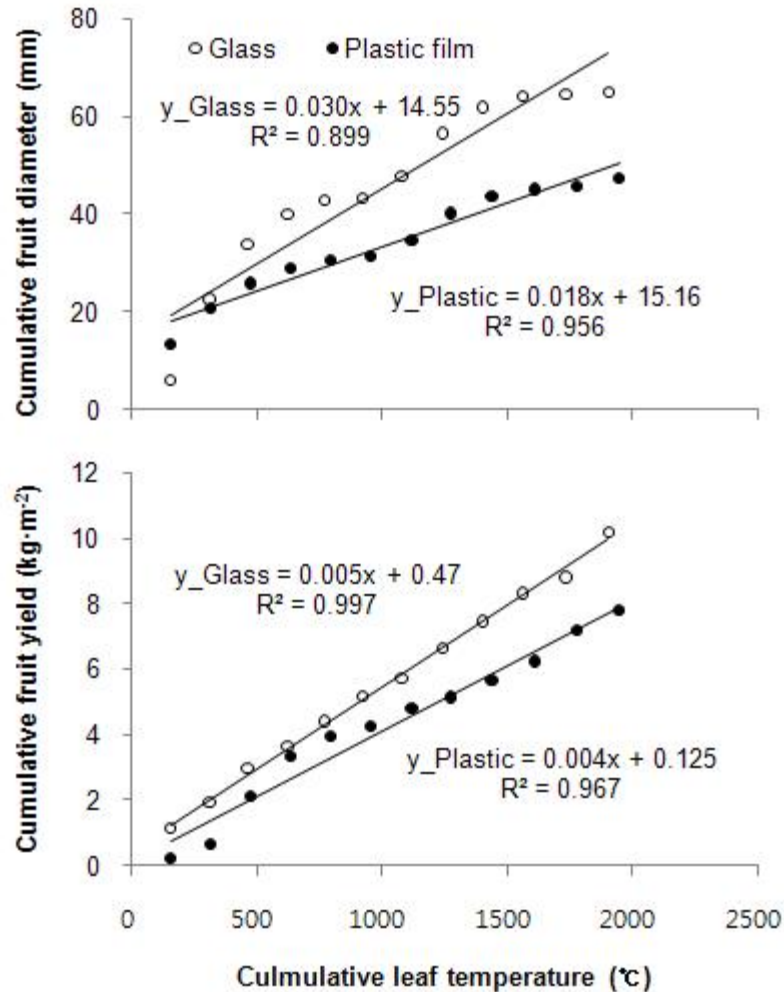


Fig. 31. Change of fruit diameter and yield depending on accumulative amount of leaf temperature from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

- 조사 기간 동안 수분부족분의 누적에 따른 생산량을 살펴보면(Fig. 32), 일평균수분부족분이 $1\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 누적되면 생산량은 두 온실에서 각각 $28\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 와 $16\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, 주간수분부족분에 의해서는 $24\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 와 $11\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 정도 누적되어 각각 요인에 의해서 유리 온실에서 1.8과 2.2배 정도 빠르게 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 조사 기간 동안 수분부족분의 주간 변화폭(Fig. 4)과 생산량의 주간 변화폭(Fig. 21)을 고려하면 유리 온실에서 수분부족분 변화폭에 대한 생산량의 변화폭이 플라스틱필름 온실보다 컸기 때문으로 생각된다.
- 조사 기간 동안 CO_2 공급량의 누적에 따른 생산량을 살펴보면(Fig. 33), CO_2 공급량이 $1\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 누적되면 단위면적당 생산량은 두 온실에서 각각 $1.649\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 와 $2.337\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 정도 누적된 것으로 나타났다. 그러나 조사 기간 동안 단위면적당 생산량(Table 4), 잎의 면적, 엽록소 함량, 건물율 및 광합성률(Figs. 16; 17; 18)을 고려하면 플라스틱필름 온실에서는 CO_2 공급 관리가 효율적으로 이루어지지 않았고, 광합성에 필요한 투광량, 수분(수분부족분)에 대하여 지나치게 공급된

것으로 생각된다.

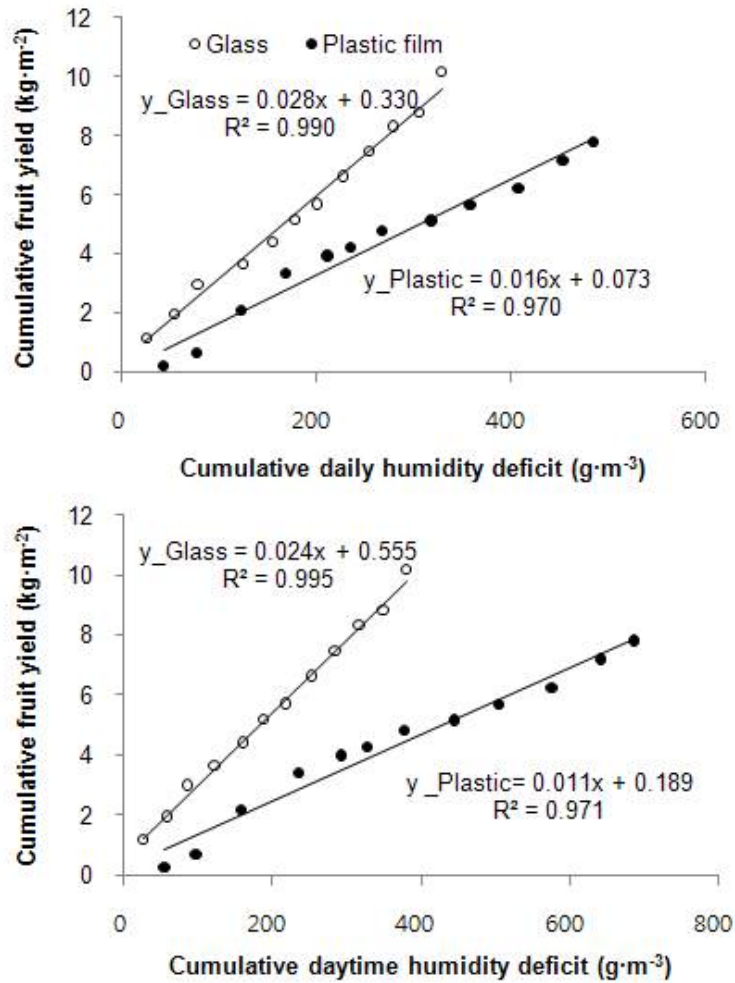


Fig. 32. Change of fruit yield depending on accumulative amount of humidity deficit from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

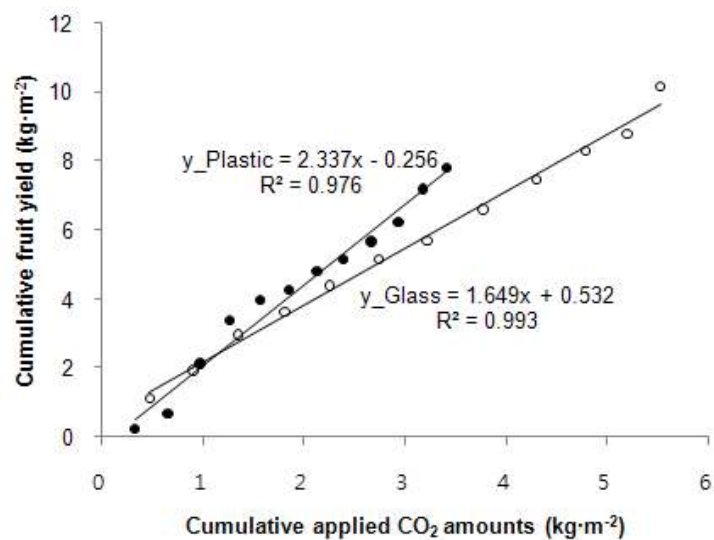


Fig. 33. Change of fruit yield depending on accumulative amount of CO₂ application from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

○ 조사 기간 동안 공급 배양액 흡수율의 누적에 따른 생산량을 살펴보면(Fig. 34), 배양액의 흡수율이 1% 누적되면 줄기 직경은 두 온실에서 차이를 나타내지 않았으나, 과실 직경은 각각 0.009mm와 0.005mm정도 누적되었고, 단위면적당 생산량은 $1\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 와 $1\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 큰 차이 없이 누적되었지만 상수값에 차이로 인해 유리 온실에서 다소 높은 경향으로 나타났다. 배양액의 흡수율은 유리 온실에서 플라스틱필름 온실에 비해 높게 관리되었으나(Fig. 6) 이에 따른 단위면적당 생산량에는 크게 영향을 주지 않은 것으로 생각된다.

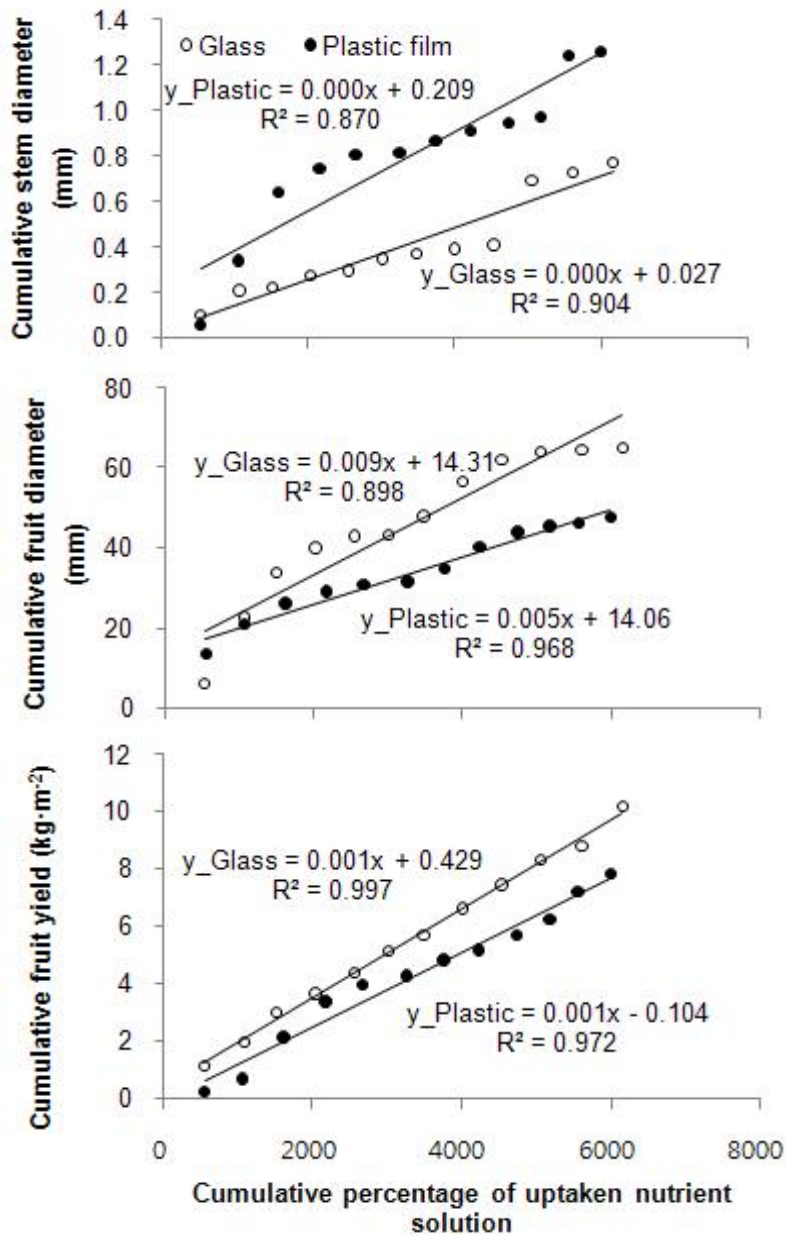


Fig. 34. Change of stem and fruit diameter, yield depending on accumulative amount of percentage of uptaken nutrient solution from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

- 조사 기간 동안 엽록소 함량의 누적에 따른 생산량을 살펴보면(Fig. 35), 엽록소 함량이 1SPAD가 누적되면 줄기 직경은 두 온실에서 각각 0.0001mm와 0.0002mm 정도 누적되고, 과실직경은 각각 0.010mm와 0.006mm 정도 누적되는 경향을 나타내었다. 그리고 단위면적당 생산량은 $1\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 와 $1\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 큰 차이 없이 누적되었지만 상수값에 차이로 인해 유리 온실에서 다소 높은 경향으로 나타났다.

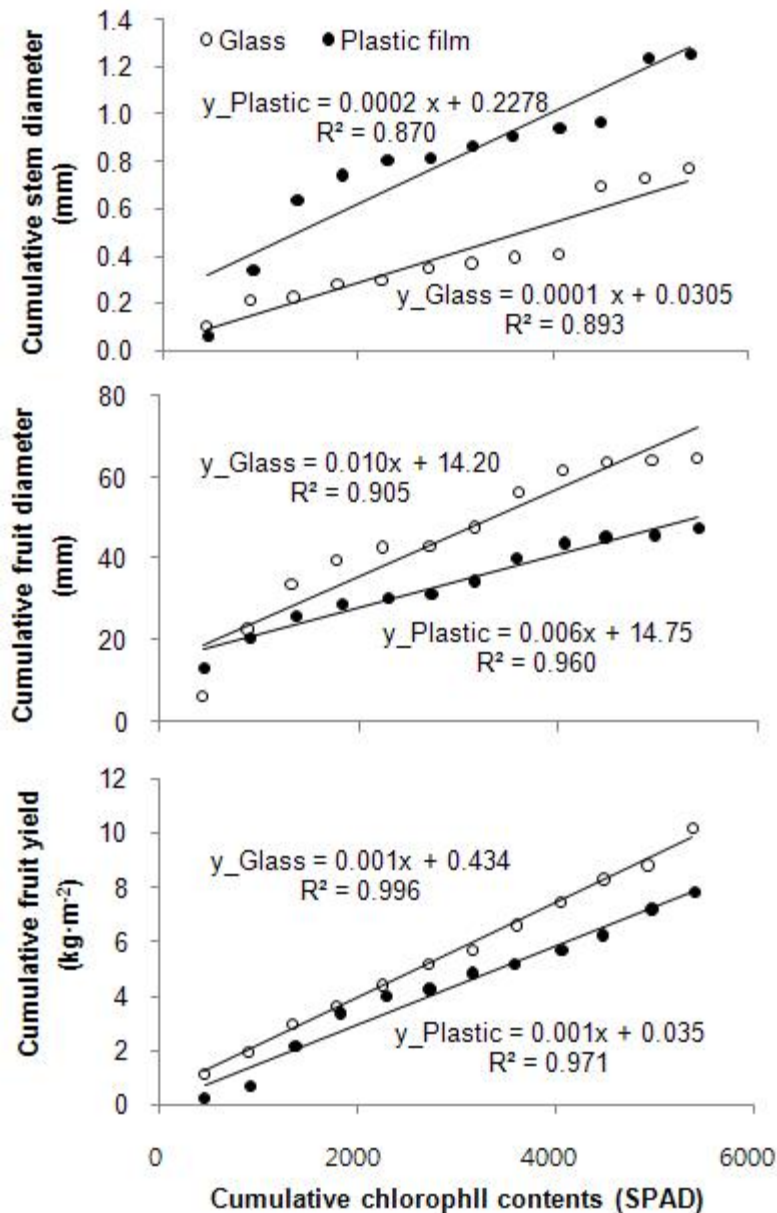


Fig. 35. Change of stem and fruit diameter, yield depending on accumulative amount of chlorophyll contents from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

- 누적 생산량에 대한 잎의 건물물의 영향을 살펴보면(Fig. 36), 잎의 건물률이 1% 누적되면 단위면적당 생산량은 두 온실에서 각각 $8\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 와 $6\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 정도 누적되어

유리 온실에서 다소 높게 나타났다.

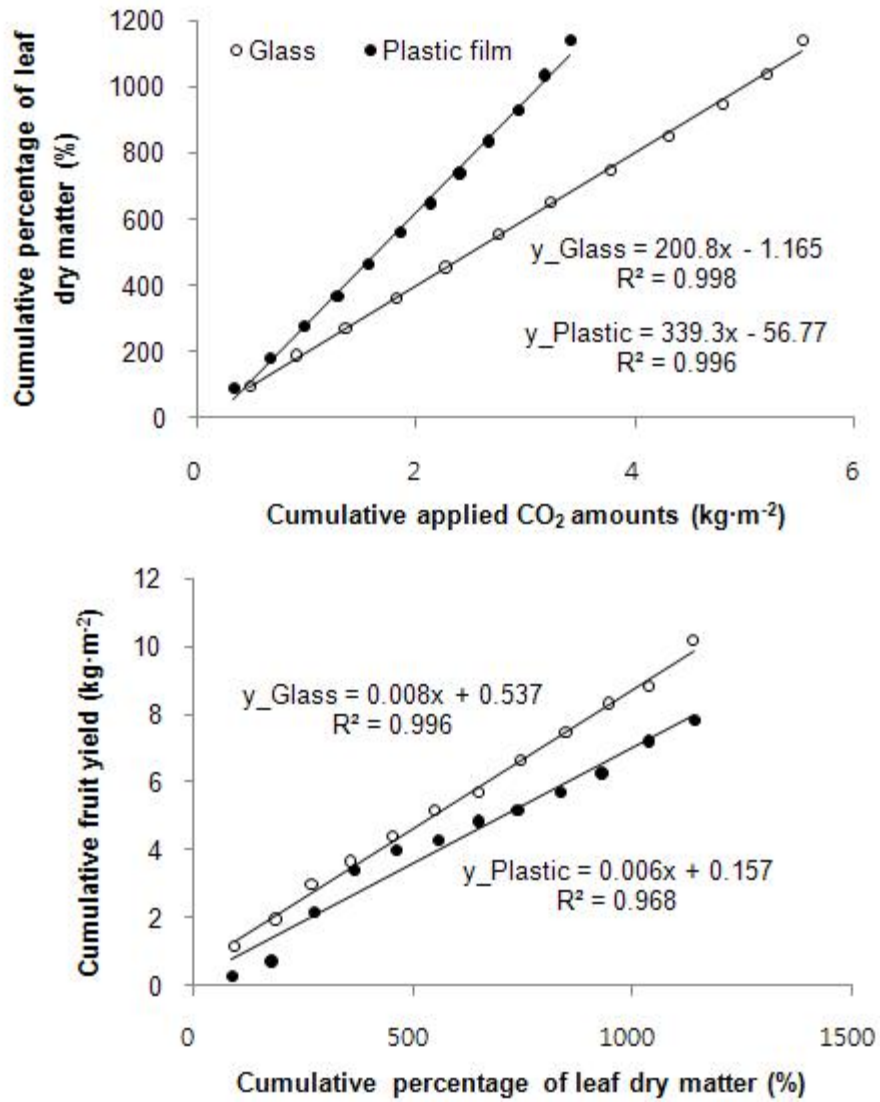


Fig. 36. Change of percentage of leaf dry matter and fruit yield depending on accumulative amount of applied CO₂ and dry matter ratio of leaf from 16th week to 27th week after planting of sweet pepper in glass and plasticfilm house.

3. 파프리카 재배 온실의 피복재 종류에 따른 외부 환경 변화에 대한 내부 환경 변화

가. 두 온실의 작기 동안 온습도 변화

(1) 온도 변화

- 착색단고추 재배 기간 동안의 유리 온실과 플라스틱필름 온실의 내부 온도 변화를 살펴본 결과(Fig. 1), 평균 내부 온도는 두 온실 간에 비슷한 경향이었으나, 그 변화폭은 플라스틱필름 온실에서 더 큰 경향을 나타내었다. 그리고 재배 기간 초반에는 유리 온실에서 다소 높게 관리되고 있었으나, 중·후반에는 플라스틱필름 온실에서 더 높게 관리되는 경향을 나타내었다.

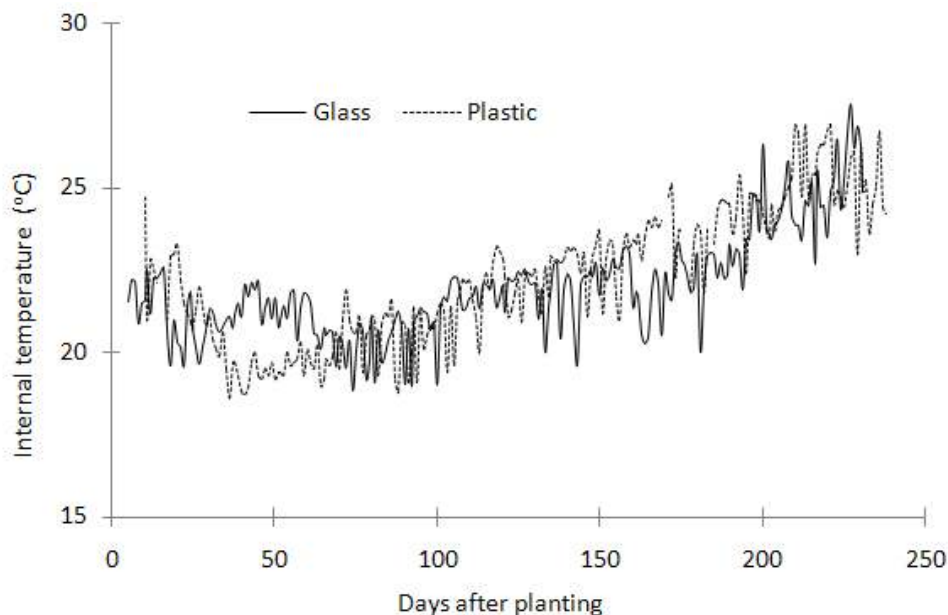


Fig. 1. Change of internal temperature for growing period in sweet pepper's glass and plastic film house.

(2) 습도 변화

- 이러한 내부 온도 변화에 따라 재배 기간 동안의 유리 온실과 플라스틱필름 온실의 내부 수분부족분을 살펴본 결과(Fig. 2), 두 온실의 평균 수분부족분은 각각 $4.3\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 와 $5.6\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 플라스틱필름 온실에서 $1.3\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 정도 높아 유리 온실에 비해 시설내부가 건조하게 관리된 것으로 나타났다. 그리고 수분부족분의 변화폭도 플라스틱필름 온실에서 다소 큰 경향을 나타내었다. 온실 내 포화수분의 급격한 변화는 내부 광의 산란 정도에 영향을 주고 또한 식물체의 광합성 능력에도 관여하여 생육 정도에 있어 피복재 간 차이를 가져올 것으로 생각된다.

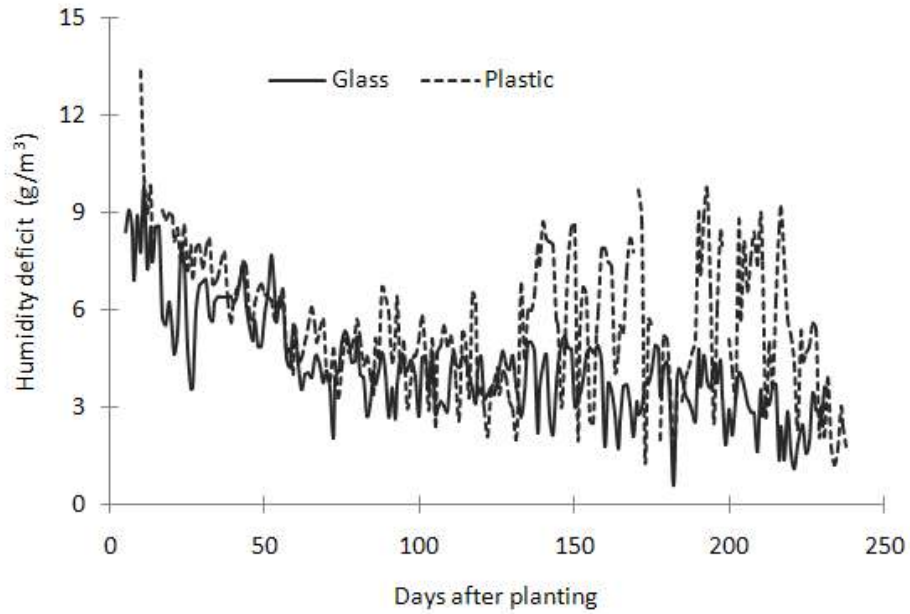


Fig. 2. Change of internal humidity deficit for growing period in sweet pepper's glass and plastic film house.

나. 외부 환경 변화에 따른 내부 환경 변화

(1) 내부 온습도 변화에 대한 외부 광도의 영향

- 착색단고추 재배 기간 동안 일출 후 유리 온실과 플라스틱필름 온실의 내부 온도 변화에 대한 외부 광도의 영향을 알아본 결과(Fig. 3). 외부 광도 1w당 내부 온도 증가량은 유리 온실에서 0.01℃, 플라스틱필름 온실에서 0.02℃이었다. 이는 일출 후 외부 광에 따른 내부 온도 변화가 유리 온실에 비해 플라스틱필름 온실에서 2배나 빠르게 변화하는 것으로 시설 내부의 포화 수분의 변화((Fig. 2)에도 크게 영향을 주었을 것으로 생각된다. 따라서 플라스틱필름 온실에서는 유리 온실에 비해 일출 전 조기 가운이나 일출 후 환기 관리 등으로 온실 내부 환경의 급격한 변화를 최소화해야 할 것으로 생각된다.

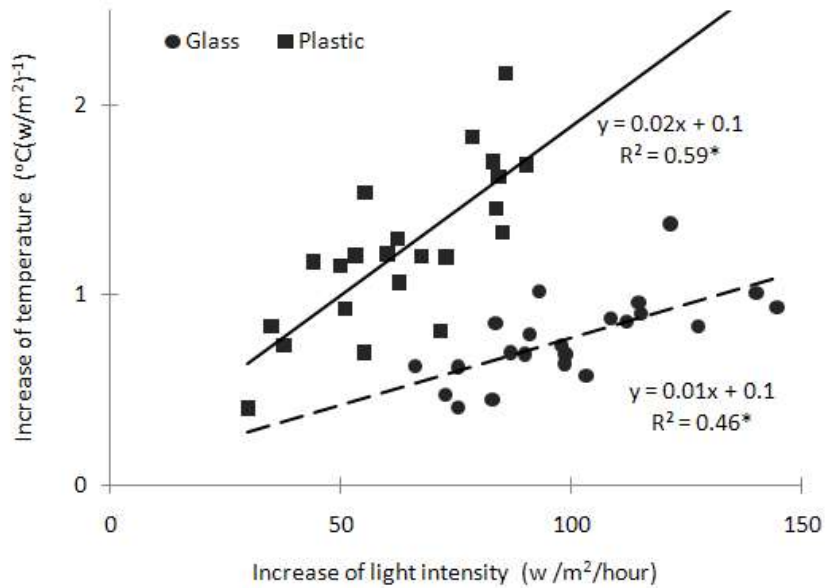


Fig. 3. Change of internal temperature by increase of external light intensity from sunrise to sundown in sweet pepper's glass and plastic film house.

- 착색단고추 재배 기간 동안 외부 광량의 증감에 따른 유리 온실과 플라스틱필름 온실 내 온도 변화를 살펴본 결과, 일출 후 4시간 동안에 내부 온도의 증가량은 유리 온실에서 시간당 평균 0.7°C, 플라스틱필름 온실에서 평균 1.2°C 정도로 유리 온실에 비해 플라스틱 온실에서 70% 이상 높았다(Fig. 4). 그리고 일몰 전·후 5시간 동안에 내부 온도의 감소량은 유리 온실에서 시간당 평균 0.84°C, 플라스틱 필름 온실에서 평균 0.78°C로 유리 온실에서 다소 심하였다(Fig. 5). 일중 온도 증가량(Fig. 3)을 고려하면, 두 온실 간에는 일출 후 초기의 온도 변화가 내부 환경 차이에 가장 큰 영향을 주는 것으로 생각된다. 또한 착과를 유도시키기 위한 온도 관리도 일몰 전·후 온도 변화를 비교해보면 플라스틱필름 온실보다 유리 온실에서 잘 관리되고 있어 이후 착과율도 유리 온실에서 좋을 것으로 예상되었다. 특히, 플라스틱필름 온실의 일출 후 급격한 내부 온도 증가는 식물체의 잎, 과실, 그리고 온실 피복재 및 골격체에 결로 현상을 유발할 수 있는 것으로 생각된다. 또한 이러한 결로 현상은 물방울의 낙하에 따른 식물체의 스트레스 유발과 증산 스트레스를 가져올 것으로 생각된다.

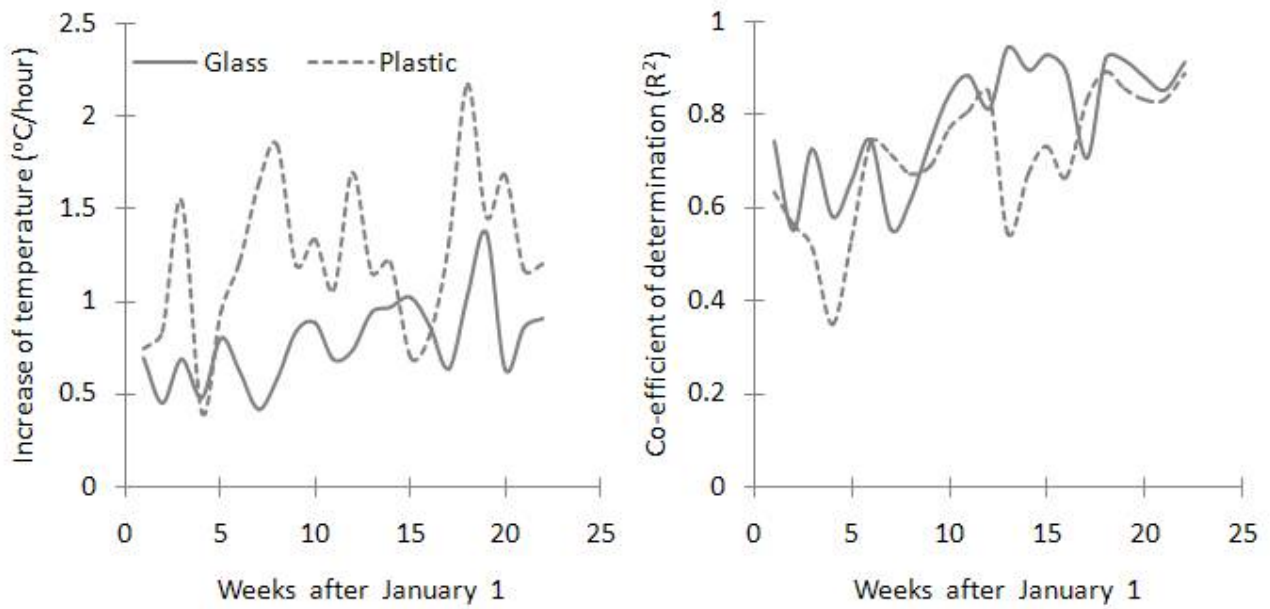


Fig. 4. Change of internal temperature for four hours after sunrise in sweet pepper's glass and plastic film house.

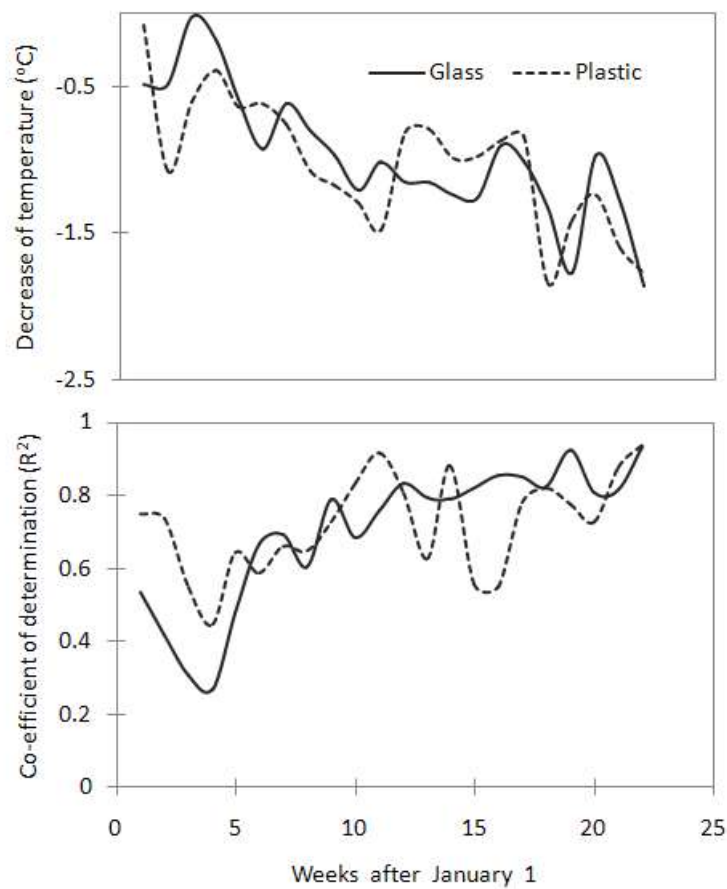


Fig. 5. Change of internal temperature for five hours before and after sundown in sweet pepper's glass and plastic film house.

(2) 외부 광도 영향 내 내부 온습도 변화에 따른 생육 차이

- 착색단고추 재배 기간 동안 유리 온실과 플라스틱필름 온실 간 내부 온도 및 수분 차이(Fig. 1, 2, 3, 4 및 5)로 인한 식물체의 생육 차이를 알아보기로 생산성 및 잎 생육을 조사하였다(Table 1). 수확량은 유리 온실에서 $14.1\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$, 플라스틱 필름 온실에서는 $7.8\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 생산성이 유리 온실에서 플라스틱필름 온실보다 80% 정도 더 높았다. 잎의 평균 면적 및 생체중은 두 온실 간 큰 차이를 나타내지는 않았다. 그러나 잎당 건물중은 유리 온실에서 0.59g으로 플라스틱필름 온실의 0.57g 보다 다소 무거웠다. 엽당 평균 광합성 산물 생산율도 유리 온실에서 13.9%로 플라스틱필름 온실의 13.2% 보다 5% 정도 더 높았다. 이러한 두 온실 간 생산성 및 광합성 산물의 생산 정도의 차이는 피복재의 투과율 차이에 의해 온실의 내부 광량 및 온도 변화, 그리고 이에 따른 식물체 광합성 능력 차이를 가져왔기 때문으로 생각된다(Jeong 등, 2008; Kwon과 Chun, 1999).
- 따라서 재배 현장에서 유리 온실 대비 플라스틱필름 온실의 생산성을 높이기 위해서는 일출 후 초기와 일몰 전·후 시기에 집중적인 환경관리가 세밀히 이루어져야 할 것으로 생각된다.

Table 1. Productivity and leaf growth in sweet pepper's glass and plastic film house.

Covering materials	Amount of harvest ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	Leaf growth			
		Area (cm^2/leaf)	Fresh weight (g/leaf)	Dry weight (g/leaf)	(Dry weight /fresh weight)*100 (%)
Glass	14.1	117.4 ± 11.8^z	4.3 ± 0.60	0.59 ± 0.11	13.9 ± 1.08
Plastic film	7.8	118.5 ± 13.3	4.3 ± 0.67	0.57 ± 0.10	13.2 ± 1.08

^zStandard deviation

4. 온실 내 위치에 따른 환경 차이 및 파프리카 생산성 차이 구명

가. 온실 위치별 내부 온도 차이

(1) 온실의 측정 위치 지정

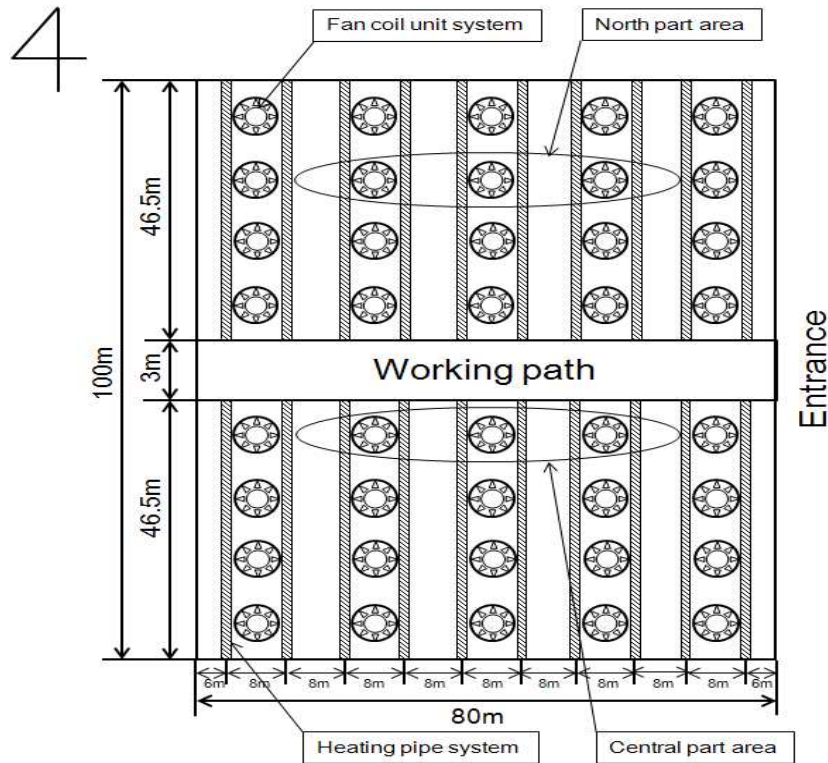


Fig. 1. The ground plan used in this experiment.

(2) 온실의 위치별 작기 동안 내부 온도 차이

- 조사 기간 중 온실 내 평균 대기온도는 중앙에서 20.8℃로 나타났고 북측은 이보다 1.6℃가 낮은 19.2℃로 나타나 온실의 중앙이 북측보다 대기온도가 높게 유지되는 것을 확인할 수 있었다(Table 1). 온실 내 시간대별 평균온도는 야간의 온도가 중앙에서 북측보다 높게 유지되는 것이 확인되었다(Fig. 2).

Table 1. The variation of air temperature averaged from November 8th to February 28th in glasshouse.

Source of variation	Daily temperature (°C)		
	Maximum	Minimum	Average
	Central part area		
Max.	32.9	20.2	23.7

Min.	25.8	16.8	17.4
Mean	27.1	18.9	20.8
SD ^z	3.86	1.24	2.57
CV ^y (%)	14.2	6.6	12.4

North part area

Max.	32.4	18.2	22.5
Min.	23.5	15.6	16.9
Mean	26.5	16.7	19.2
SD	3.84	1.51	3.38
CV (%)	14.7	9.3	18.5

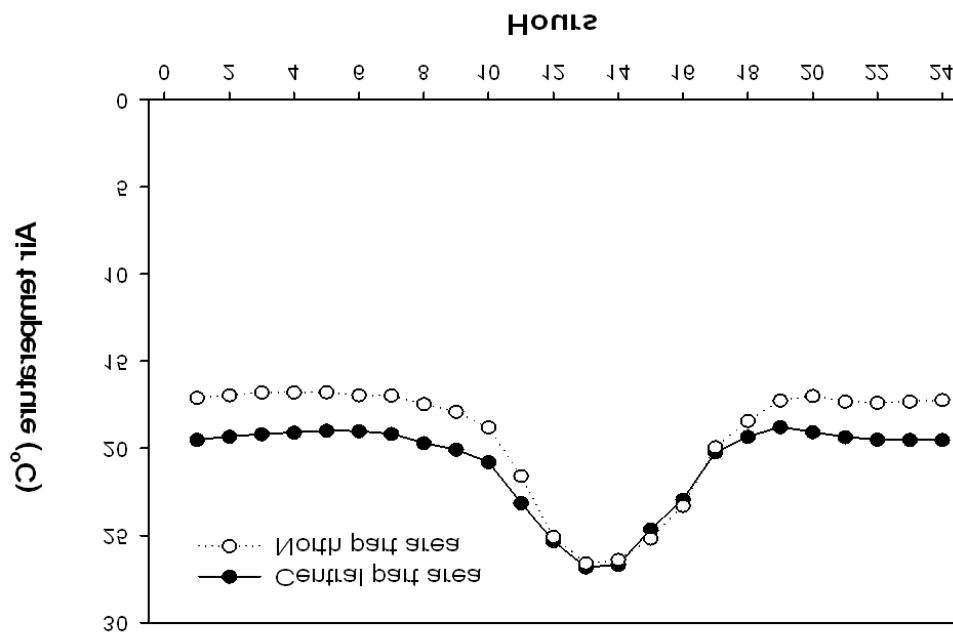


Fig. 2. The changes of air temperature averaged from November 8th to February 28th in glasshouse between two areas.

○ 근권부의 평균 온도는 온실의 중앙에서 22.3℃, 그리고 북측에서는 20.1℃로 중앙이 북측보다 2.2℃ 높게 유지되었다(Table 2). 주간의 온도상승이 북측에서 더 늦게 상승되는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3). 이러한 온실내부의 위치별 대기와 근권부 평균온도의 차이는 재배기간 동안 누적온도에도 영향을 미쳤다. 15주간 측정된 온실 내 대기온도의 일일 평균 누적값은 중앙에서 1920℃로 조사되었고 반면 북측에서는 1764℃로 약 156℃정도가 중앙측이 높게 나타났다. 이러한 온도차에 대한 경향은 근권부에서도 나타나는데, 중앙에서 1853℃ 그리고 북측에서는 1767℃로 그 경향은 대기온도와 비슷하게 나타났다. 파프리카의 온실 재배 시 적정온도는 21~23° C이며 수량을 높이기 위한 일일 적정온도는 21° C로 보고되고 있다(Rylski와 Spigelman, 1982). 파프리카는 온도가 낮을 경우에는 수체의 발육이 나빠져서 화아의 형성이 불량해진다. 반면, 16~21° C에서는 꽃이 많이 형성되어 결실비율이 양호해진다. 파프리카의 착과는 24시간동안 낮과 밤의 온도 차에 의하여 좌우되며(Bakker와 Uffelen, 1988) 개화와 착과에 필요한 야간온도는 16~18° C로 유지하는 것이 바람직하다(Pressman 등, 1998). 본 시험에서 재배기간 동안 측정된 온실 내 두 위치별 대기 온도에서 북측은 파프리카 재배의 적정 온도보다 다소 낮게 유지되고 있는 것으로 확인되었다. 여름철 파프리카 재배시 배지의 수분함량은 초기생육에 큰 영향을 미치게 된다(Rhee 등, 2010). 대부분의 농가에서 급액관리는 일률적으로 관리되어지므로 근권부의 온도 차이가 배지 내의 수분함량에도 영향을 줄 수 있을 것이라 판단되어진다. Rhee 등(2010)은 파프리카의 초기 생육부진은 근권의 함수율이 낮고 양분농도의 상승으로 양분흡수의 불균형과 식물체의 수분스트레스에 의해 야기되어진다고 하였다.

Table 2. The variation of root zone temperature averaged from November 8th to February 28th in glasshouse.

Source of variation	Daily temperature (°C)		
	Maximum	Minimum	Average
Central part area			
Max.	27.1	22.4	25.2
Min.	23.6	18.9	17.8
Mean	26.1	21.2	22.3
SD ^z	2.09	1.44	1.76
CV ^y (%)	8.1	6.3	12.4
North part area			
Max.	24.9	21.2	23.9
Min.	18.6	17.7	16.5
Mean	21.6	18.6	20.1
SD	1.97	3.16	1.56
CV(%)	13.6	8.6	17.8

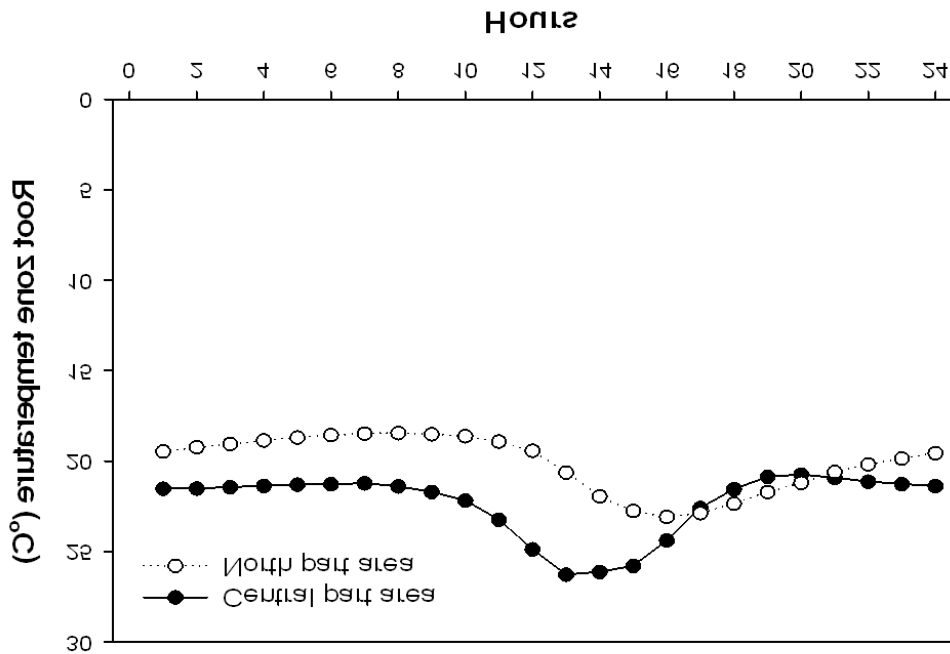


Fig. 3. The changes of root zone temperature averaged from November 8th to February 28th in glasshouse between two areas.

나. 온실 위치별 파프리카 생육, 수량 및 품질 차이

(1) 온실 위치별 파프리카 생육 차이

- 정식 후 3주째 온실의 위치별 초기 생육을 살펴보았다(Table 3). 중앙과 북측에서 생육된 파프리카의 초장은 각각 42.7cm와 40.7cm로 중앙이 북측보다 2cm 가량의 차이를 나타내었지만 유의성은 나타나지 않았다. 방아다리 분지에서의 절간수와 분지아래의 줄기 직경 또한 온실 내 두 위치별 그 차이가 없는 것으로 나타났다. 엽장과 엽폭을 통한 잎의 모양도 차이가 크지 않았으며 엽내 엽록소의 함량도 두 위치 간 비슷하였다. 따라서 정식 후 3주째 초기의 파프리카 생육은 온실 내 위치별로 차이가 없는 것으로 확인되었다.
- 정식 후 9주째 온실의 위치별 초기 생육은 중앙과 북측에서 생육된 파프리카의 초장은 각각 110.2cm와 97.1cm로 중앙이 북측보다 13cm가량의 차이를 나타내었지만 유의성은 나타나지 않았다. 방아다리 분지에서의 절간수에서는 유의성이 나타났으나 분지아래의 줄기 직경은 온실 내 두 위치별 그 차이가 없는 것으로 나타났다. 엽장과 엽폭을 통한 잎의 모양도 차이가 크지 않았으며 엽내 엽록소의 함량도 두 위치 간 비슷하였다. 따라서 정식 후 9주째 초기의 파프리카 생육은 온실 내 위치별로 차이가 없는 것으로 확인되었다.

○ 정식 후 16주째 온실의 위치별 파프리카의 생육 변화를 살펴본 결과, 중앙과 북측에서 생육된 파프리카의 초장은 각각 153cm와 127.2cm로 중앙이 북측의 초보다 약 20% 길게 나타났다. 정식 후 3주째의 초기생육결과에서는 그 차이가 없는 것으로 나타난 반면, 이러한 생육의 차이는 분지 위의 절간수에서도 나타났는데 중앙의 절간의 수가 북측의 절간수보다 2개가 더 많았다. 또한 분지아래의 줄기 직경도 1.5mm가 중앙에서 더 두꺼운 것으로 나타났다. 정식 이후 시간의 경과에 따라 온실 내 위치별 생육의 차이가 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. 일반적으로 파프리카 생육의 차이는 원예시설(Kim 등, 2009)과 시설재배의 방법(Kang 등, 2007)에 따라 크게 달라질 수 있으며 내부 환경의 제어에 크게 영향(Macelis 등, 2004)을 받는 것으로 알려져 있다. 본 실험의 결과, 두 위치 간 생육의 차이는 온실내부의 대기 및 근권부의 온도환경 차이에 따른 결과라 생각된다. 근권온도는 새로운 뿌리의 발육이나 양·수분흡수를 직접적으로 지배한다. 그러므로 근권온도가 적온보다 낮게 되면 뿌리의 활성이 낮아지게 되고, 무기물의 흡수가 낮아지는 것으로 알려져 있다(Gosselin와 Trudel, 1986). 한편, 식물체 선단부 앞에서 조사한 엽의 모양은 위치별 큰 차이를 나타내지 않았다. 북측에서 생육한 파프리카의 잎의 엽록소 함량은 중앙보다 다소 높은 것으로 나타났다. 일반적으로 과실이 있는 식물체에서는 높은 광합성률에 의한 전분축적과 동화산물의 이동률이 높아 식물체의 동화대사산물이 빠르다(Macelis, 1991). 정식 16주째의 온실 내 위치별 생육의 차이는 동화산물의 축적과 재분배에 의한 차이로 생각된다.

Table 3. Plant growth responses grown for two areas.

Location	Plant height (cm)	No. of internode	Stem diameter (mm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Chlorophyll (SPAD value)
Three weeks after planting						
Central part area	42.7	2.8	8.2	17.4	10.6	49.1
North part area	40.7	2.4	7.7	17.7	10.5	47.3
Significance ^z	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nine weeks after planting						
Central part area	110.2	8.8	14.1	16.1	10.9	52.5
North part area	97.1	7.0	14.2	18.0	11.6	57.8
Significance	**	***	NS	NS	NS	*
Sixteen weeks after planting						
Central part area	153.0	13.6	15.5	17.7	10.9	57.3
North part area	127.2	11.8	15.1	16.5	9.9	66.8
Significance	**	***	NS	NS	NS	*

- 식물의 성장과 발달은 축적된 동화산물의 이동과 분배에 의해 나타나게 된다. 동화산물의 축적은 주간의 생육조건하에서의 순 광합성률에 의해 결정된다. 정식 후 3주째 온실의 위치별 잎의 광합성 특성을 파악하기 위하여 선단부 5번째 마디의 전개된 잎에서 광합성특성을 조사하였다(Table 4). 온실 내 두 위치별 순광합성량은 중앙과 북측에서 각각 $16.2 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ 과 $15.5 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 그 차이가 나타나지 않았다. 또한 기공전도도, 세포내부 이산화탄소의 농도, 증산량 등 조사된 잎에서의 광합성 특성에는 유의성 있는 차이를 발견할 수 없었다. 정식 후 9주째의 광합성 특성의 결과는 정식 후 3주째의 결과와 유사하게 순광합성량, 기공전도도, 세포내 이산화탄소의 농도, 증산량 등에서 유의성 있는 차이를 발견할 수 없었다.

- 정식 후 16주째 온실의 위치별 광합성 특성을 살펴본 결과, 정식 초기와는 달리, 온실 내 두 위치별 순광합성량은 중앙에서 $13.5 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 유지되는 반면 북측에서는 $10.3 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 그 차이가 $3.2 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 나타났다. 즉, 순광합성량이 중앙에서 약 32% 높게 나타났다. 기공전도도와 증산량도 중앙에서 북측에 비해 유의성 있게 높았다. 이러한 결과는 온실 내 두 위치에 따른 평균온도의 차이에 따라 광합성율이 시간의 경과에 따라 달라지는 것으로 생각된다. 광합성 능력의 차이는 동화산물의 양을 다르게 결정했을 것이고 그에 따른 동화산물의 분배율의 차이에 따라 두 위치별 작물의 생장이 달랐을 것으로 생각된다. 일반적으로 파프리카 재배 시 투과광량의 차이는 동화산물의 분배에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Jeong 등, 2009). 두 위치별 순광합성율의 차이는 광도를 증가 시켰을 때 그 양상의 차이가 확연히 달라지는 것을 확인하였다(Fig. 4). 즉, 중앙에서 생육된 파프리카의 잎에서 광포화점이 더 높은 것을 알 수 있었다.

Table 4. Net photosynthesis, stomatal conductivity, internal CO₂ concentration, and transpiration rate in leaves grown for two areas.

Location	Net photosynthesis ($\mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$)	Stomatal conductivity ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Internal CO ₂ concentration ($\mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$)	Transpiration rate ($\mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$)
Three weeks after planting				
Central part area	16.2	0.811	330	2.73
North part area	15.5	0.765	331	2.86
Significant ^z	NS	NS	NS	NS
Nine weeks after planting				
Central part area	14.9	0.713	331	2.63
North part area	13.5	0.665	321	2.56
Significant	NS	NS	NS	NS

Sixteen weeks after planting				
Central part area	13.5	0.665	319	2.46
North part area	10.3	0.554	332	1.98
Significant	*	*	NS	*

○ 광도에 따른 순광합성률을 조사한 결과(Fig. 4), 중앙에서 조사된 파프리카 잎의 광포화점은 2000에 이르러서 확인이 되었지만 북측에서 조사된 잎의 광포화점은 800에서 확인되는 것으로 나타났다. 일반적으로 광합성의 특성은 생육온도에 의해 그렇게 민감하게 나타나지 않는다. 생육적온범위에서의 광합성특성은 동화산물의 생성과 분배에 영향을 미치지 않는바, 본 시험의 결과에서 두 위치별 광합성의 특성 차이는 생육적온의 범위에 벗어난 경우를 의미하는 것으로 생각된다. 따라서 북측에서 생육된 파프리카는 일몰 전후의 온도 저하에 따른 생육과 광합성율의 저조가 나타난 것으로 판단된다.

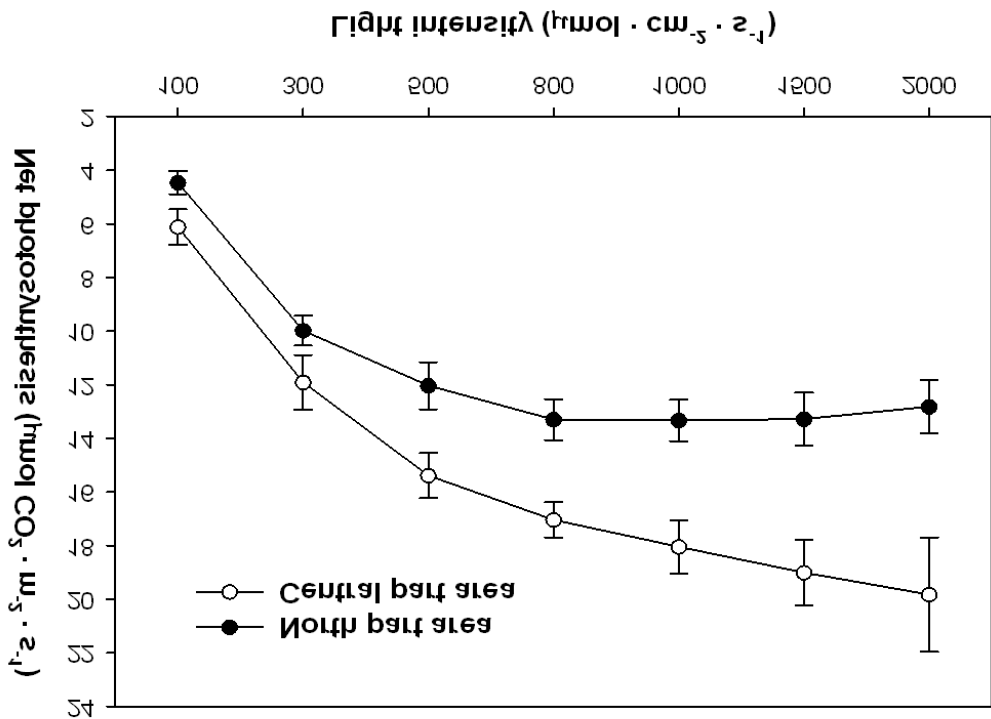


Fig. 4. Net photosynthesis rate in leaves grown for two areas (n=10).

○ 본 시험의 결과에서 확인된 온실 내 두 위치별 광합성과 생육의 차이는 잎에서 만들어진 탄수화물의 양에도 영향을 미칠 수 있다. 따라서 정식 후 16주째 온실의 위치별 잎에서의 수용성당과 전분의 함량을 비교하였다(Fig. 5). 수용성당과 전분의 함량 모두 중앙에서 생육된 잎에서 그 함량이 높은 것으로 나타났다. 잎의 형태와 크기는 큰 차이가 나타나지 않았으므로(Table 3), 이러한 차이는 농도의 차이로 해석된다. 시설 과채류의 생산량은 잎에서 만들어진 동화산물의 축적과 분배

에 의한 크게 좌우된다(Macelis 등, 2004). 온실 재배위치별에 따른 수용성 당과 전분의 축적이 북측에서 낮게 나타난 것은 온실내부의 대기온도와 근권부의 온도가 낮게 유지되어 무기물의 흡수나 광합성율의 저하에 따른 동화산물 축적과 분배가 적게 이루어졌던 것으로 생각된다.

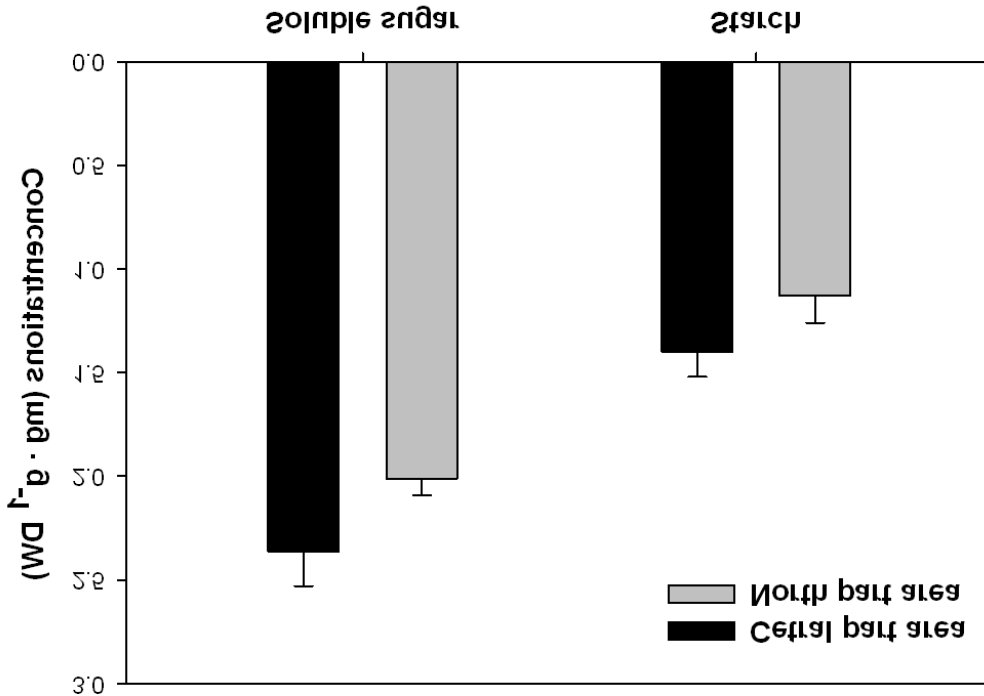


Fig. 5. Total soluble sugar and starch contents in leaves grown for two areas, measured on 12 weeks after planting.

- 정식 후 12주에서 15주까지 1그룹의 착과된 과실의 성장 변화를 온실의 위치별로 조사한 결과(Fig. 6), 첫 번째 착과된 과실의 과장은 중앙에서 생육된 과에서 북측보다 18.3mm가 길었으며 두 번째 과실의 과장에서도 중앙에서 생육된 과실에서 과장이 길게 나타났다. 반면, 세 번째 과실과 네 번째 착과된 과실의 과장은 북측에서 생육된 과의 길이가 더 길게 나타났다. 이에 따라 과실의 형태가 달라졌는데, 중앙의 과실이 보다 긴 종형의 모양을 나타내었다. 파프리카 과실의 외형적 특성은 품질에 큰 영향을 미친다. 일반적으로 파프리카 과실의 과형지수를 통해 과실의 품질 특성을 평가하게 되는데 재배온도가 높아지면 과고가 길어지고 과육의 두께가 얇아지는 것으로 보고되고 있다(Lee 등, 2008). 과실의 생육에 영향을 미치는 동화산물의 공급과 분배에 의한 균형은 온실 내 복잡한 환경과 관련이 있다(Marcelis 등, 2004). 본 시험의 결과 착과위치에 따른 과실의 크기의 다른 양상은 온실 내 온도차에 따른 동화산물의 분배차이와 sink-strength에 의한 차이로 생각되어진다. 일반적으로 파프리카의 주기적인 수량 변동은 과실의 착과성향에 의존하고, 식물체의 sink-strength에 의존된다고 보고되고 있다(Lee와 Cha, 2009). 파프리카의 야간온도는 16~18℃가 필요하며, 10~14℃에서는 과실은 작

고, 변형이 되어 상품성이 없어진다. 일반적으로 낮은 야간온도에서는 착과가 많아 지지만 종자가 없거나 종자가 적은 변형과가 된다(Nilwik, 1981).

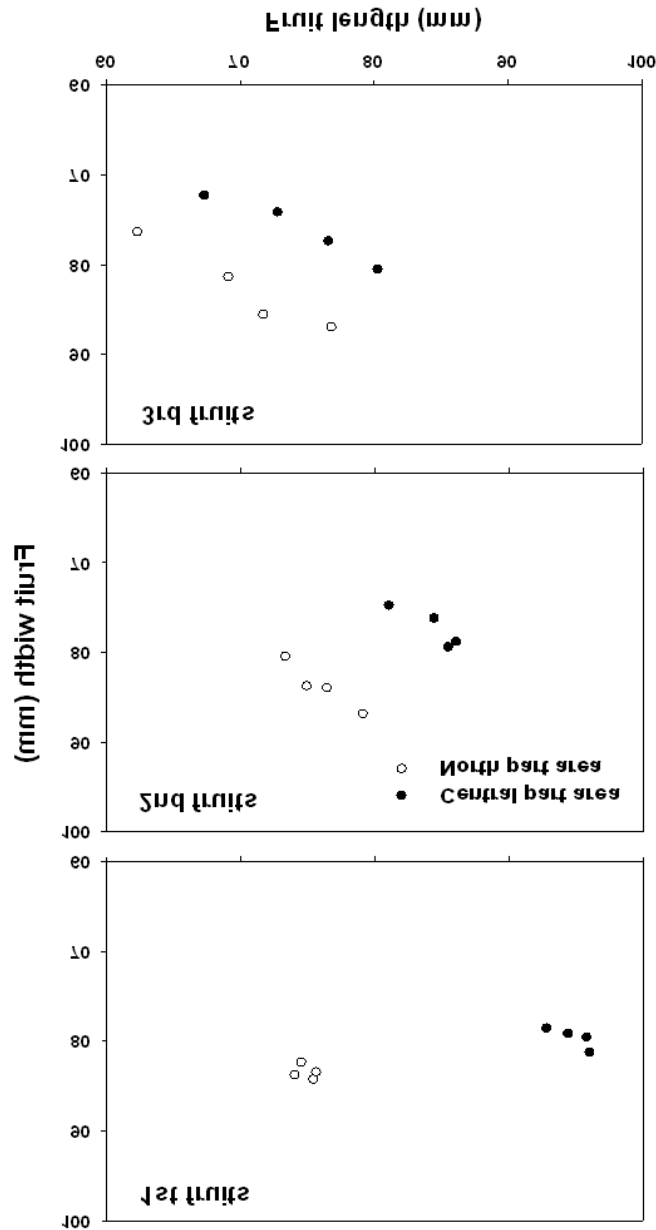


Fig. 6. The patterns of fruits growth under two areas in glasshouse.

- 정식 후 16주째 온실의 위치별 잎의 무기성분의 함량을 살펴본 결과(Table 5), 중앙에서 생육된 식물체 잎에서의 질소의 농도가 더 높게 나타났으며, 북측에서 생육된 식물체 잎에서는 칼슘의 농도가 더 높게 나타났다. 일반적으로 식물체의 양분흡수는 근권부의 뿌리활력에 의해 좌우되는데 본 시험의 두 위치별 식물체의 질소 농도는 Jones 등이(1991) 제시한 파프리카 식물체내 적정농도보다 약간 낮게 나타났다. 이는 근권부의 누적온도가 낮는데 기인한 것으로 생각된다.

Table 5. Mineral concentrations in leaves grown for two areas, measured on 12 weeks after planting.

Location	N	P	K	Ca	Zn	Cu	Fe
	(% DW)			(g/kg DW)			
Central part area	4.14	1.04	5.69	1.47	0.015	0.015	0.27
North part area	3.68	1.01	5.84	2.29	0.019	0.010	0.23
Significance ^z	*	NS	NS	**	NS	NS	NS

(2) 온실 위치별 파프리카 수량 차이

○ 정식 16주까지의 총 수확된 상품과의 과실 수량을 조사한 결과(Fig. 7), 중앙에서 재배된 5주에서의 총 수량은 49.1개이며 북측에서 재배된 5주에서의 총 수량은 40.5개로 중앙에서 약 9개의 상품과가 더 많은 것으로 나타났다. 본 시험의 결과에 따라, 온실내부의 위치별 온도 차이는 파프리카의 과실 수량을 달리하였으며 이는 잎의 광합성율과 탄수화물의 축적의 차이에서 발생된 것으로 생각된다.

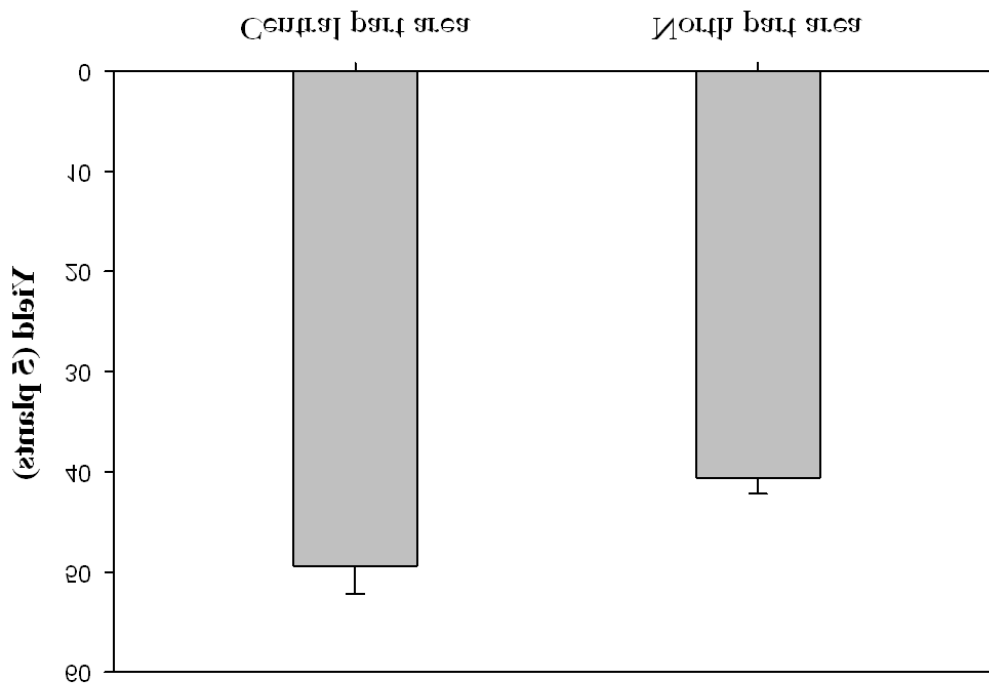


Fig. 7. The comparison of total yields grown for two areas until 12 weeks after planting (n=10).

다. 온실 위치별 내부 온도 환경과 파프리카 생육간 상관성

(1) 온실 위치별 내부 환경과 생육 간 상관 분석

- 조사 기간 동안의 생육, 배지 내 수분함량과 EC 등 요인간의 상관관계를 비교하고 상관 분석을 수행하였다(Table 6). 상관계수 0.700 이상의 높은 관계를 나타내는 요인들을 추출하면 온실의 중앙에서는 초장과 경경, 초장과 절간수, 초장과 엽록소 농도, 초장과 EC, 경경과 절간수, 경경과 엽록소 농도, 절간수와 엽록소 농도, 절간수와 EC, 엽록소 농도와 EC 등이 높은 상관성을 나타내었다. 반면, 조사된 요인들과 엽장과 엽폭은 상관관계가 매우 낮은 것으로 나타났다. 한편, 온실의 북측에서는 초장과 경경, 초장과 절간수, 초장과 엽록소 농도, 경경과 절간수, 경경과 엽록소 농도, 절간수와 엽록소 농도, 엽장과 엽폭 등이 높은 상관성을 나타내었으며 절간수와 엽장, 엽장과 EC, 엽장과 엽록소 농도는 음의 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

Table 6. Correlation coefficients among weekly observed parameters from 4th to 12th weeks after planting of paprika in different two areas.

Central part area	PH ²	SD	NI	CH	LL	LW	WC	EC
PH	1.000	0.945	0.979	0.756	0.084	-0.162	0.11	0.824
SD		1.000	0.95	0.72	0.02	-0.06	0.19	0.69
NI			1.000	0.82	0	-0.24	0.16	0.84
CC				1.000	-0.17	-0.46	-0.02	0.84
LL					1.000	0.58	0.1	0.08
LW						1.000	0.315	-0.43
WC							1.000	-0.113
EC								1.000
North part area	PH ²	SD	NI	CH	LL	LW	WC	EC
PH	1.000	0.972	0.976	0.916	-0.594	-0.004	0.135	0.617
SD		1.000	0.93	0.87	-0.48	0.14	0.21	0.54
NI			1.000	0.96	-0.71	-0.13	0.16	0.66
CC				1.000	-0.77	-0.29	0.09	0.65
LL					1.000	0.75	0.36	-0.77
LW						1.000	0.598	-0.546
WC							1.000	-0.24
EC								1.000

²PH, plant height; SD, stem diameter; NI, number of internodes; CC, chlorophyll content; LL,

leaf length; LW, leaf width; WC, water content; EC, electronic conductivity.

- 상관계수가 높은 조사항목들을 추출하여 나타낸 결과(Fig. 8), 초장과 줄기직경 그리고 줄기직경과 절간수와의 상관관계는 $R^2=0.86$ 이상으로 높게 나타났으며 회귀 직선상의 기울기는 중앙에서 생육된 파프리카에서 더 높게 나타나 줄기직경과 절간수의 생장은 중앙에서 생육된 파프리카에서 더 빠른 것으로 해석되었다. 반면, 초장과 절간수간의 회귀직선상의 기울기는 온실 내 두 위치 간 기울기가 유사한 것으로 나타나 온실 내 위치에 따른 파프리카의 초장과 절간의 수의 상관관계는 그 차이가 크지 않은 것으로 해석되었다.

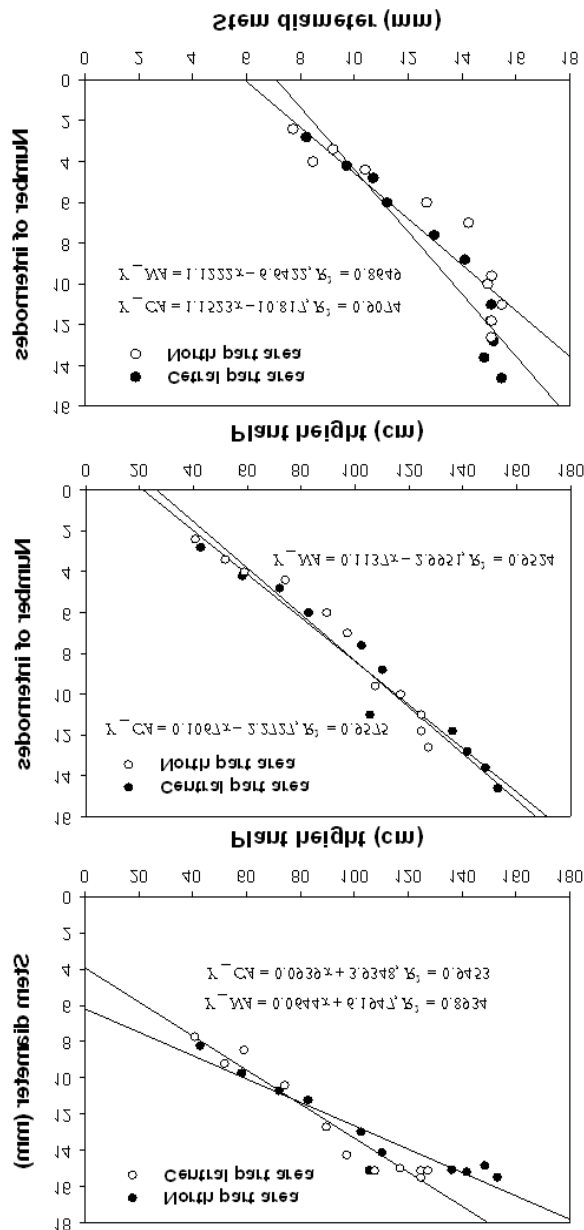


Fig. 8. Correlation relationship among the plant height, the stem diameter, and the number of internodes in two part areas.

(2) 온실 위치별 내부 온도 환경과 생육 간 상관 분석

- 누적온도와 초장과의 연관성을 알아보기 위해 정식 후 3주에서 16주까지의 온실 내 위치별 누적 대기온도에 따른 파프리카 초장의 변화를 살펴보았다(Fig. 9). 두 위치 모두에서 누적온도가 증가 되면서 파프리카의 초장도 선형적으로 증가하였으며, 온실 내부의 누적 온도 증가에 따른 초장의 변화는 1차함수 회귀직선상에 위치되었다. 온실의 위치별로는 중앙에서의 초장이 약간 길게 나타났으나 그 계수 값 즉 중앙 0.0798과 북측 0.0656의 차이가 크지 않았다. 따라서 온실의 위치별 파프리카의 초장은 누적온도에 의해 발생하는 것으로 확인되었다.

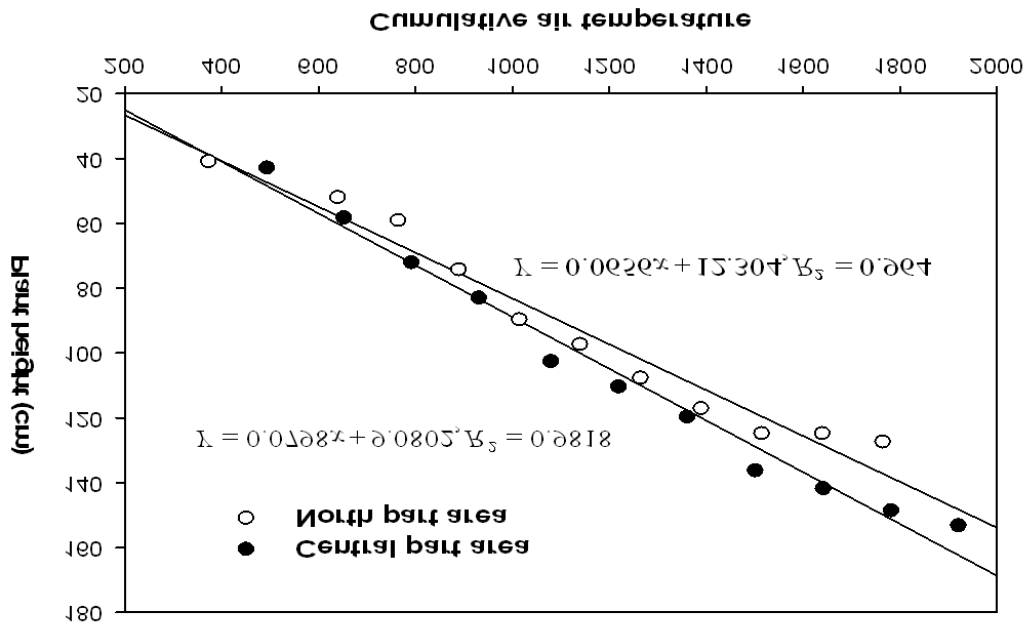


Fig. 9. The regression difference in plant height affected by cumulative air temperature between central part area and north part area.

- 정식 후 3주에서 16주까지의 온실 위치별 누적 근권부온도에 따른 초장의 변화를 살펴본 결과(Fig. 10), 온실 내부의 위치에 따른 근권부의 누적 온도는 초장의 변화에 영향을 미치는 것으로 나타났으며 온실의 중앙에서 초장이 길게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다.
- 적산온도는 파프리카의 잎의 전개와 마디의 전개에 직접적인 영향을 준다. 본 연구에서 시험재배기간 동안인 13주간 온실 내 누적 대기온도에 따른 절간의 수 변화를 살펴보았다(Fig. 11). 두 위치 모두에서 누적온도가 증가 되면서 분지 위 절간의 수도 선형적으로 증가하였으며, 온실 내부의 누적 온도 증가에 따른 절간수의 변화는 1차함수 회귀직선상에 위치되었다. 온실 내부의 누적 온도 증가 시 절간수의 증가가 중앙에서 다소 높게 나타났다. 관측된 두 상관값은 온실 내 두 위치별로 그 계수값이 동일하여 중앙과 북측의 누적온도차에 따른 생육후기의 유의적인 차이는 온도에 의한 것으로 해석된다.

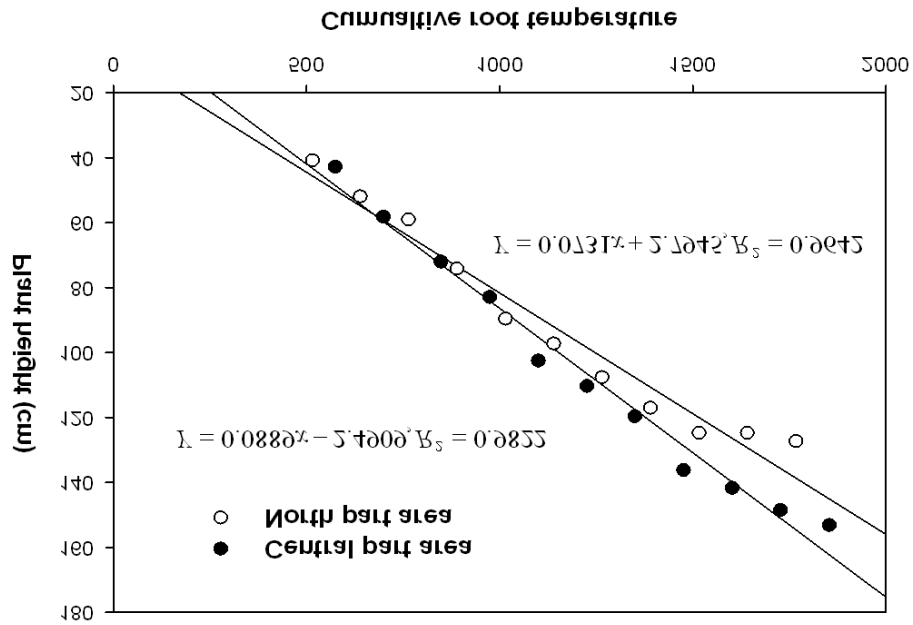


Fig. 10. The regression difference in plant height affected by cumulative root temperature between central part area and north part

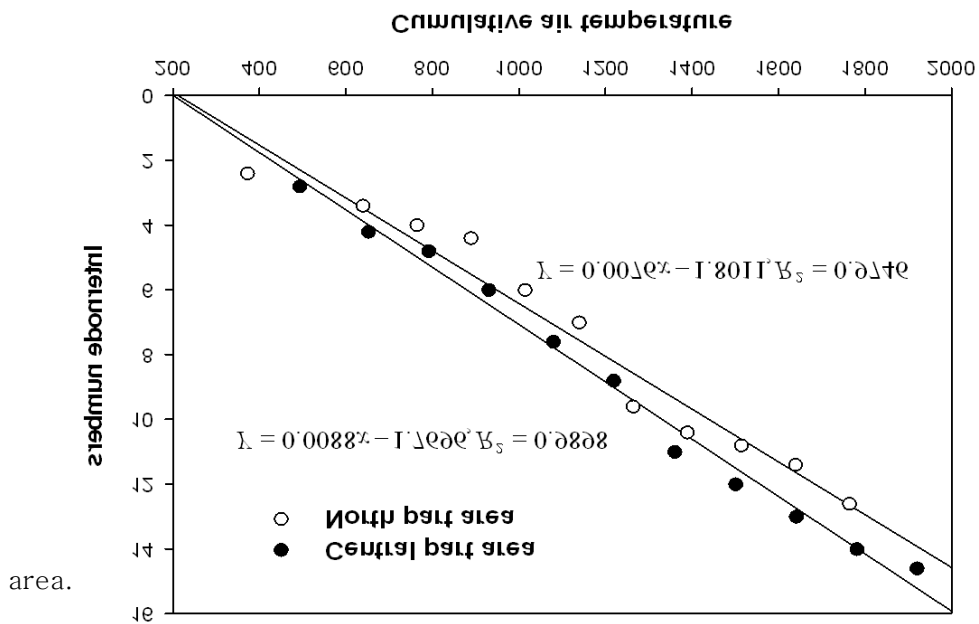


Fig. 11. The regression difference in internode numbers affected by cumulative air temperature between central part area and north part area.

- 정식 후 3주에서 16주까지의 근권부 누적 온도에 따른 절간수를 살펴보았다(Fig. 12). 온실 내부의 위치에 따른 누적 광량 증가 시 절간수의 증가는 중앙과 북측 모두 비슷한 계수값으로 증가되는 것으로 확인되었다.

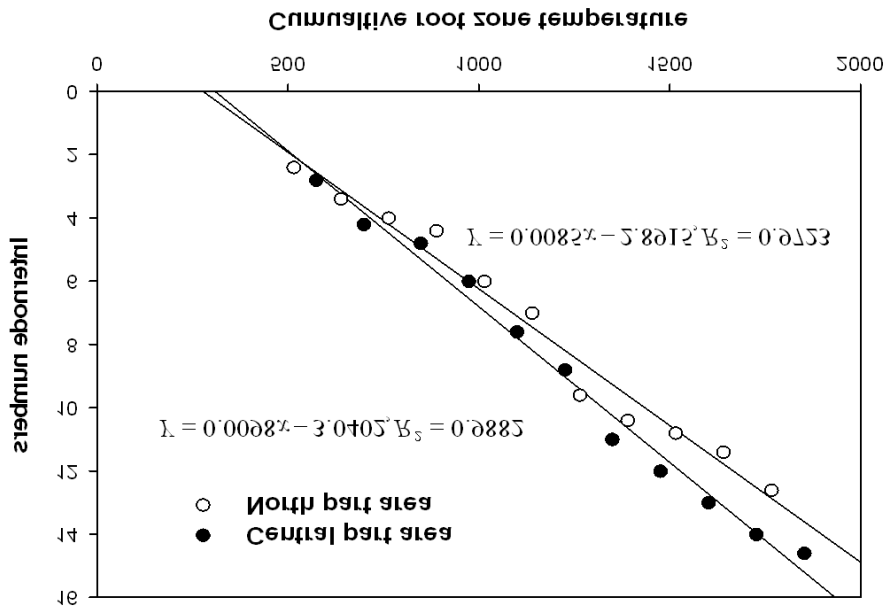


Fig. 12. The regression difference in internode numbers affected by cumulative root temperature between central part area and north part area.

- 정식 후 3주에서 16주까지의 지상부 누적 온도에 따른 1차 분지의 하부 줄기의 두께를 살펴보았다(Fig. 13). 온실 내부의 위치에 따른 누적 온도 증가 시 줄기의 직경 증가가 비슷한 경향으로 보여지고 있다. 이는 야간온도의 편차에 따른 북측부의 식물체에서 동화산물이 생장으로 덜 사용되어졌기 때문이라 생각된다.

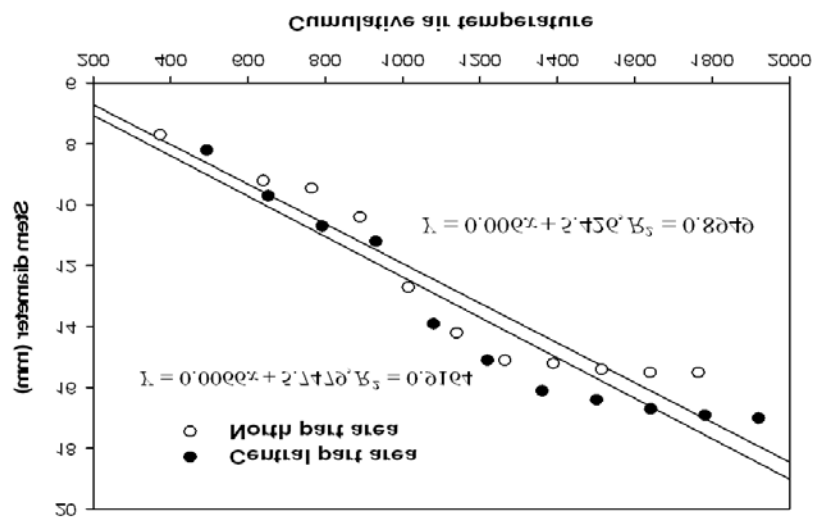


Fig. 13. The regression difference in stem diameter affected by cumulative air temperature between central part area and north part area.

- 정식 후 3주에서 16주까지의 근권부 누적 온도에 따른 줄기의 두께를 살펴보았다 (Fig. 14). 온실 내부의 위치에 따른 근권부 누적 온도 증가 시 절간수의 증가가 비슷한 경향으로 보여지고 있다. 온실의 중앙과 북측의 누적온도차에 따른 절간수의 차이가 나타난 것으로 해석된다.
- 온실 내 위치별 대기누적온도에 따른 엽록소 함량을 비교분석한 결과(Fig. 15), 누적온도가 증가할수록 엽록소의 함량이 높아지는 것으로 나타났다. 누적온도에 대한 엽록소의 함량은 중앙에서 북측보다 다소 높은 것으로 나타났다.

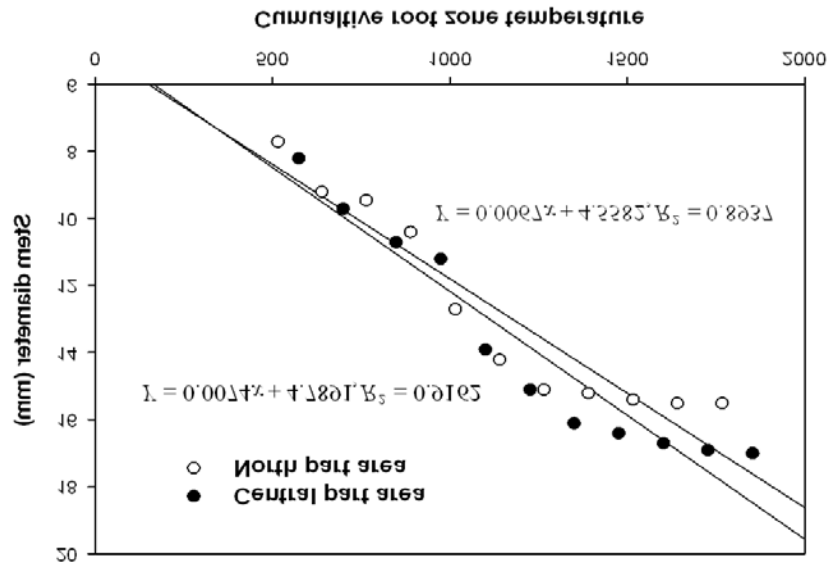


Fig. 14. The regression difference in stem diameter affected by cumulative root temperature between central part area and north part area.

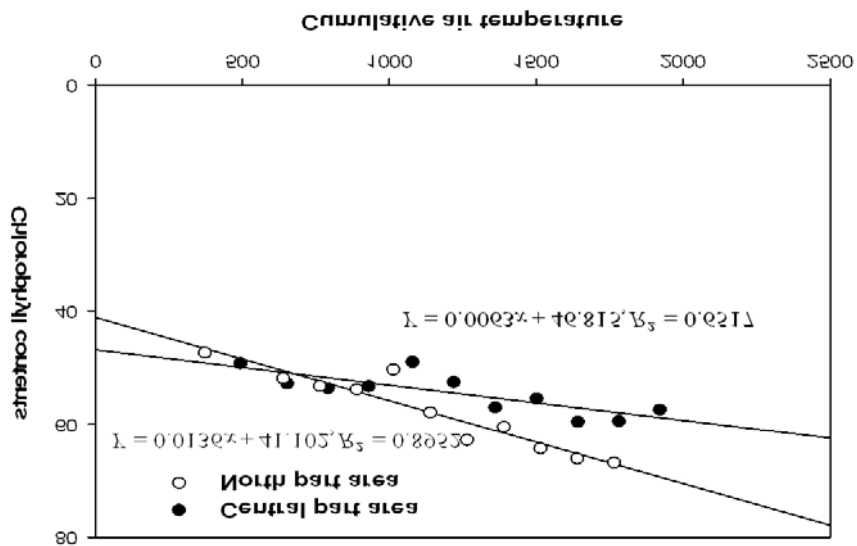


Fig. 15. The regression difference in chlorophyll contents affected by cumulative air temperature between central part area and north part area.

- 온실 내 두 위치별 근권누적온도에 따른 엽록소 함량을 비교분석한 결과(Fig. 16), 누적온도가 증가할수록 엽록소의 함량이 높아지는 것으로 나타났다. 근권부의 누적온도에 대한 엽록소의 함량은 중앙에서 북측보다 다소 높은 것으로 나타났다.

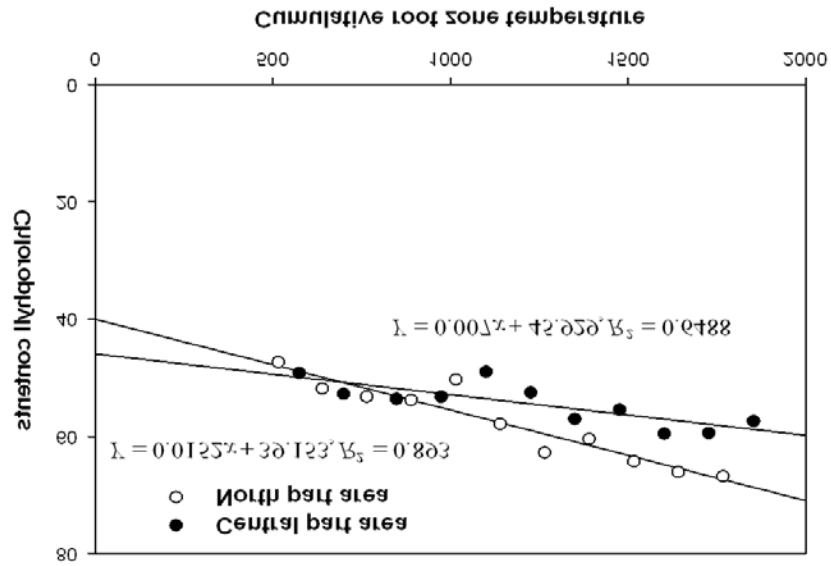


Fig. 16. The regression difference in chlorophyll contents affected by cumulative root zone temperature between central part area and north part area.

5. 온실 내 온습도 관리 차이에 따른 파프리카 생육 변화

가. 주야간온도차(DIF) 차이에 따른 파프리카 생육 차이

(1) 재배 농가의 DIF 관리 차이와 이에 따른 파프리카 생육 차이

- 두 온실에서 주야간 온도 차이는 각각 평균 4.9℃ (A) < 6.5℃ (B) (그림 1). 정식 후 초기 생육에서는 건물중은 A온실의 수준(4.9℃)에서 다소 효과적이었고, 건물율은 두 온실 간 뚜렷한 차이가 없음(그림 2). 수확기 동안 엽면적 확보, 과실 비대에 대하여 A온실의 DIF 수준에서 효과적이었음(그림 3).

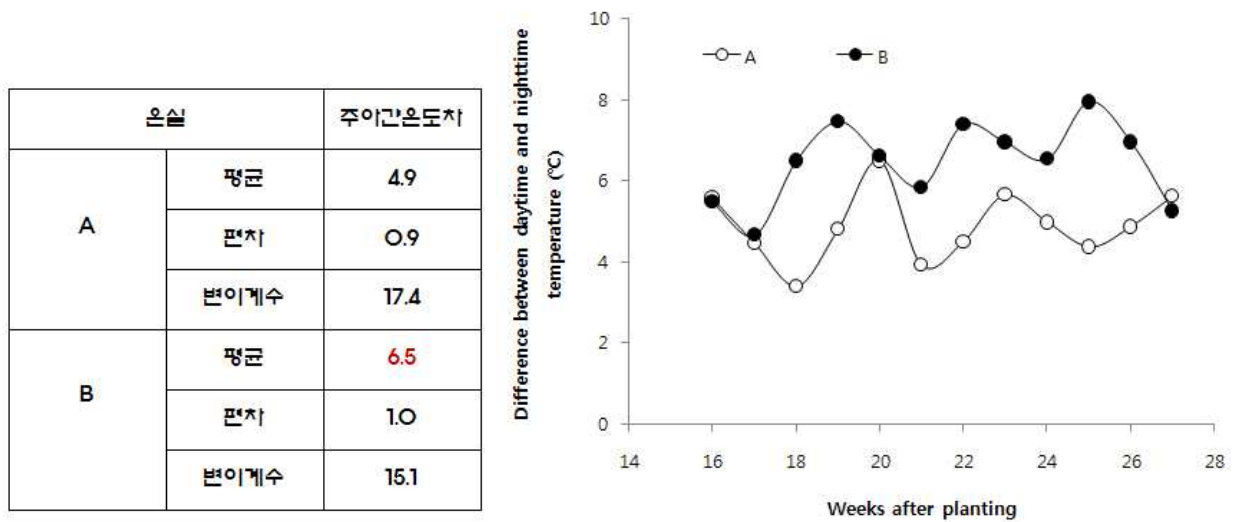


그림 1. 두 온실의 파프리카 생육 동안 주야간온도차 관리 차이.

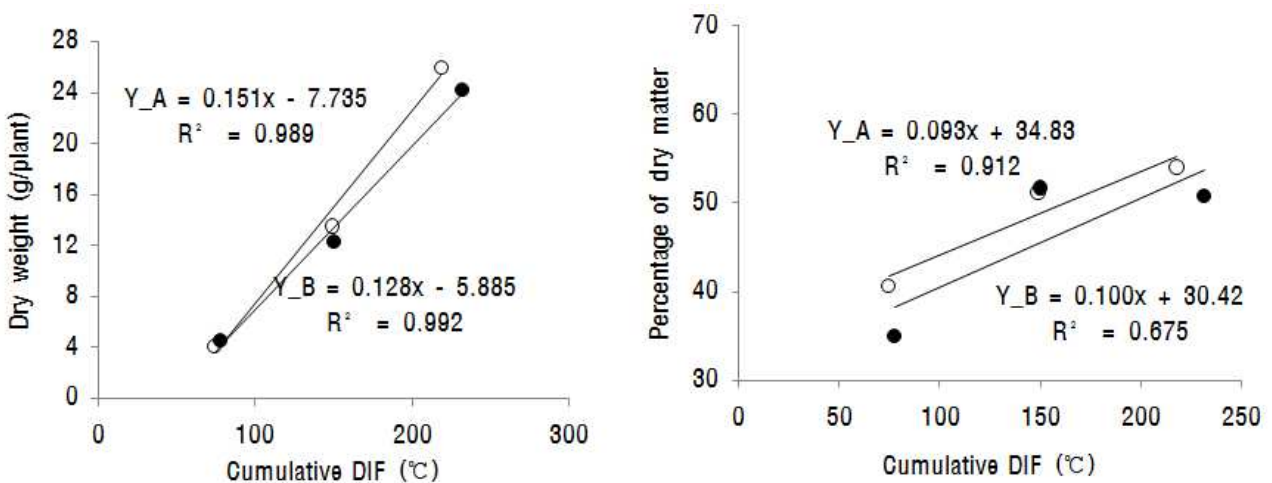


그림 2. 파프리카 생육 초기 주야간 온도차에 의한 건물중 및 건물율.

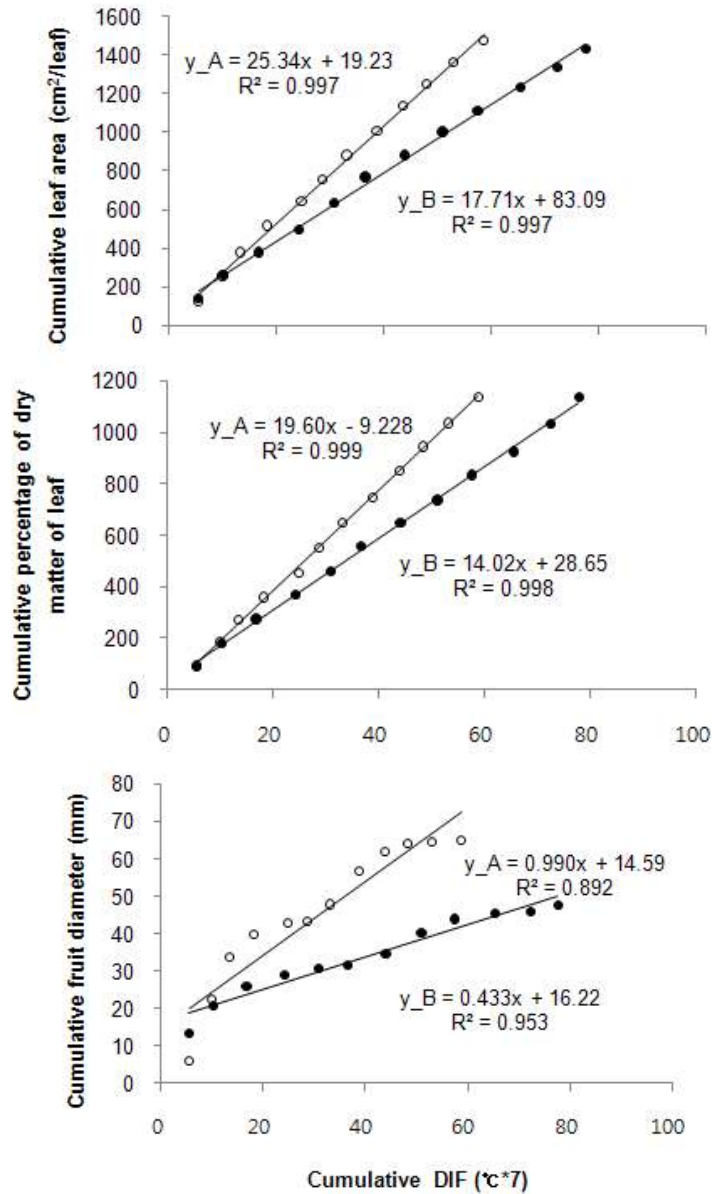


그림 3. 주야간 온도차가 엽면적, 엽의 건물율, 과실 직경에 미치는 영향.

(2) 설비를 이용한 정량적 DIF 처리에 따른 파프리카 생육 차이

- 정식 후 초기에는 DIF -6 °C 처리에서 엽면적 저조, 엽색 옅음, 화아 형성 저조 하였음(그림 4). 정식 후 후기(11주 후)에는 특정 파장대의 광 부족에 따라 화아 형성이 불량하였고, DIF -6과 0°C 처리에서 초장 및 절간장이 짧았음(그림 5).

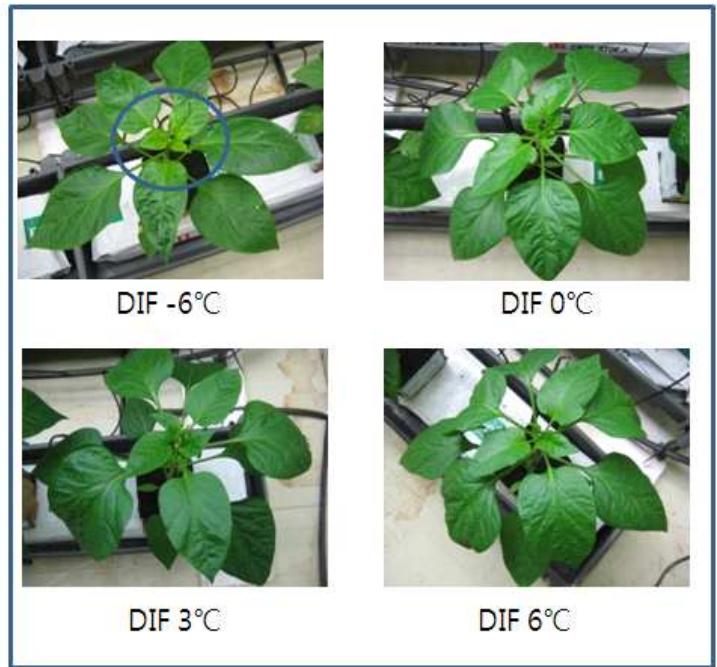
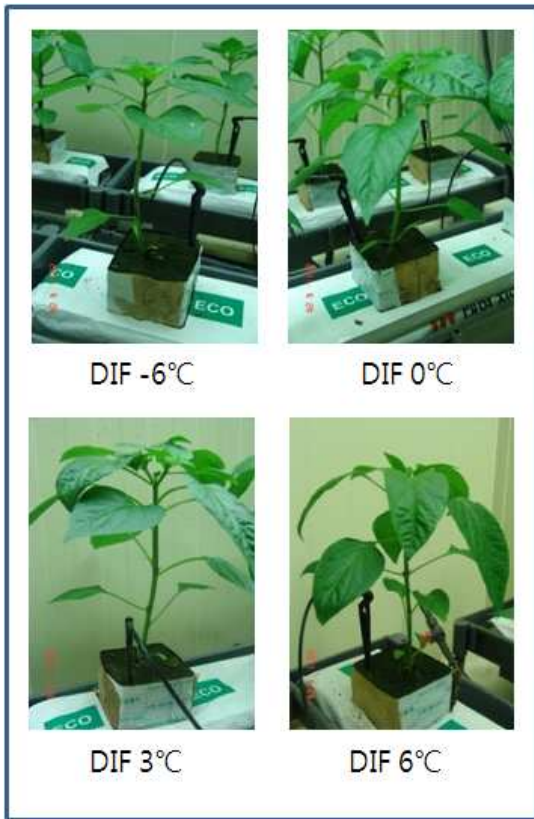


그림 4. 정량적 주야간온도차 처리에 따른 파프리카 초기 생육 상태.



그림 5. 정량적 주야간온도차 처리에 따른 파프리카 후기 생육 상태.

○ 시험 기간 동안 DIF -6°C 에서 초장, 엽면적, 건물중이 저조하였고, DIF 3°C 처리에서 높은 경향이었음(그림 6). 성장속도 및 상대성장율도 DIF -6 처리에서 낮았고, DIF 0°C 처리에서 상대성장율이 가장 높게 상승하는 경향을 보였음. 그리고 조사기간 동안 성장속도는 DIF -6°C 처리에서 다른 처리에 비해 유의하게 낮았음(그림 7).

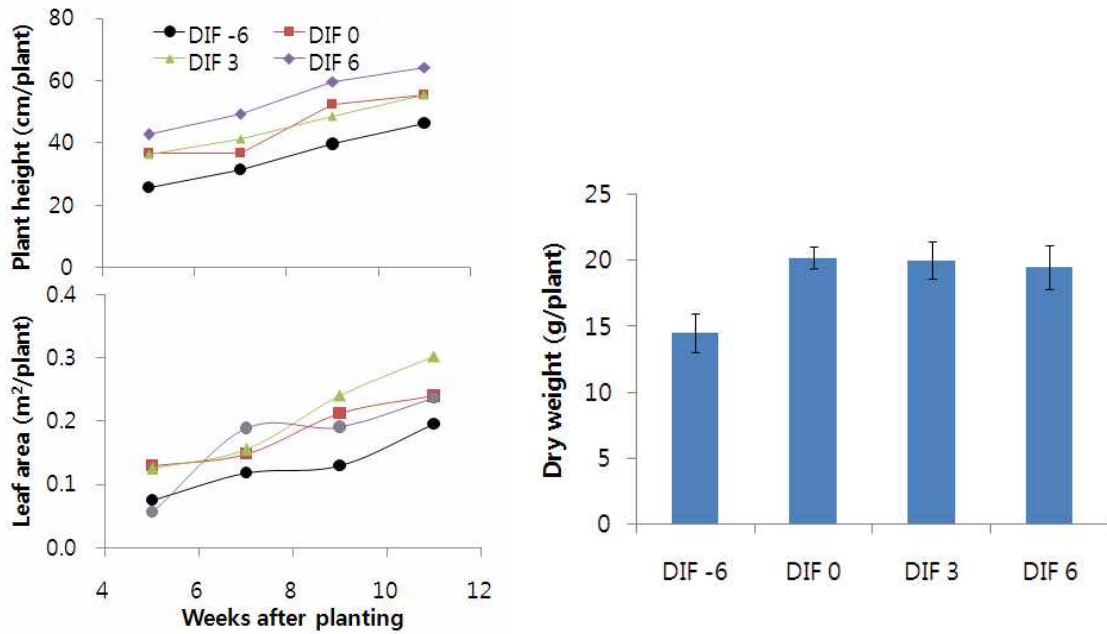


그림 6. 정량적 주야간온도차 처리에 따른 파프리카 생육 변화 및 건물중.

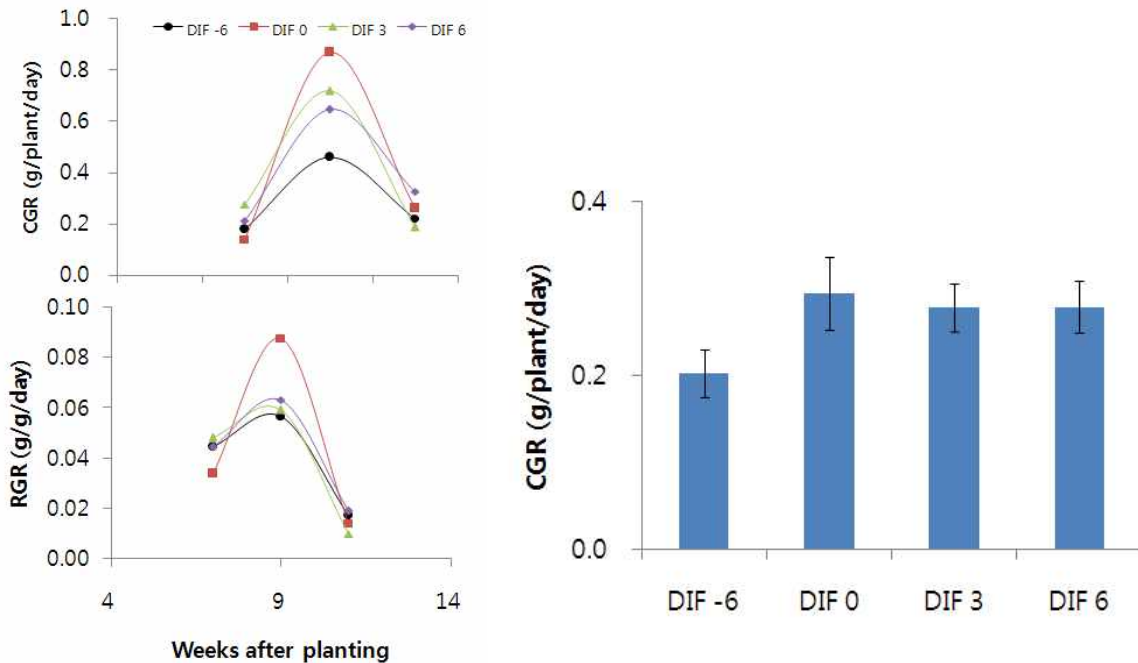


그림 7. 정량적 주야간온도차 처리에 따른 파프리카 성장속도 및 상대성장율 변화.

- 이에 따라 엽면적에 대한 주야간온도차의 회귀모형을 그려본 결과, DIF 2℃ 기준으로 1℃ 상승시 마다 엽면적 20cm²/plant의 배수로 감소하였음(그림 8).

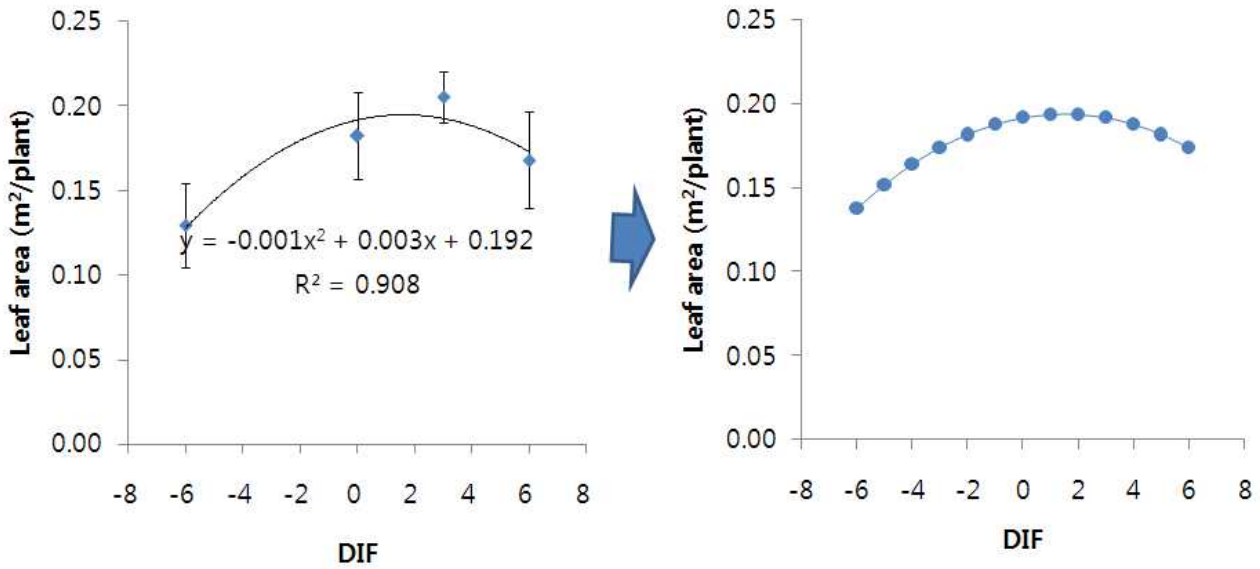


그림 8. 엽면적에 대한 주야간온도차의 회귀 모형.

나. 습도관리 차이에 따른 파프리카 생육 차이

(1) 재배 농가의 습도 관리 차이와 이에 따른 파프리카 생육 차이

- 두 재배 농가의 수분부족분은 일평균 3.9와 5.8g/m³이었으나, 주간에 그 차이가 컸고, 특히 B 온실의 경우는 8.28g/m³로 일반적인 유리 온실 재배보다 건조하게 유지되었음(그림 9). 수확기 동안 엽면적 확보, 과실비대는 A온실의 습도 관리 수준에서 효과적이었음(그림 10).

온실		Day	Night	Daily
A	평균	4.5	2.6	3.9
	편차	0.5	0.5	0.9
	변이계수	11.1	17.6	23.8
B	평균	8.2	2.4	5.8
	편차	1.8	0.9	1.2
	변이계수	22.3	36.3	20.0

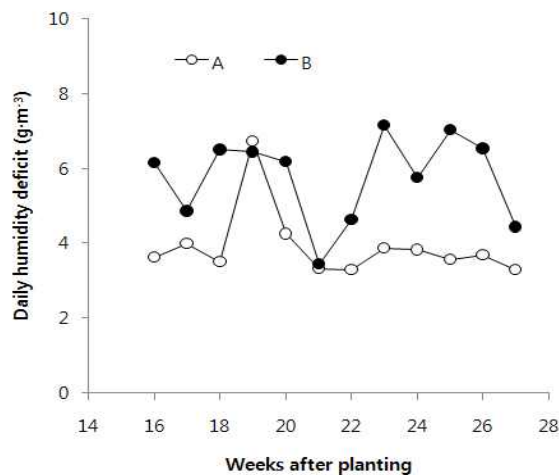


그림 9. 파프리카 재배 기간 동안 두 재배 농가의 수분관리 차이.

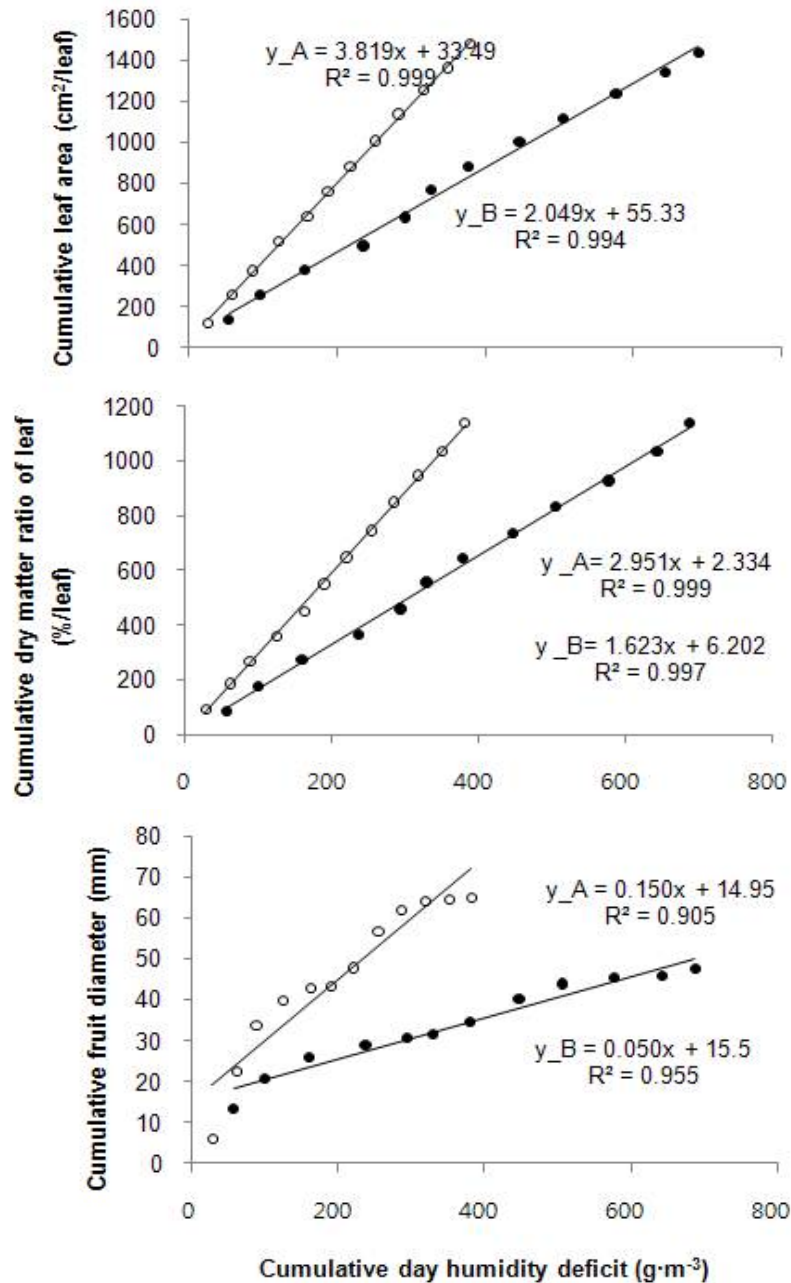


그림 10. 습도 관리 차이가 엽면적, 엽의 건물율, 과실 직경에 미치는 영향.

(2) 설비를 이용한 정량적 습도 처리에 따른 파프리카 생육 차이

- 정식 후 초기 생육에서 63% 처리에서 엽면적 및 분지발생이 늦은 경향이었음(그림 11). 정식 후 후기(13주째) 생육에서는 다습한 83% 처리에서는 화아형성 및 이후 과실 성장 및 착색이 늦었고, 75% 처리에서 착과력이 가장 좋았음(그림 12).
- 시험 기간 동안 초장은 높은 습도일수록 높았고, 엽면적은 75% 처리에서 급변하지 않고 일정하게 증가하였음(그림 13). 그리고 75% 처리에서 영양 및 생식 생장의

패턴이 뚜렷하였고, 조사기간 동안 75% 처리에서 성장(건물생산) 속도가 빨랐음 (그림 14).

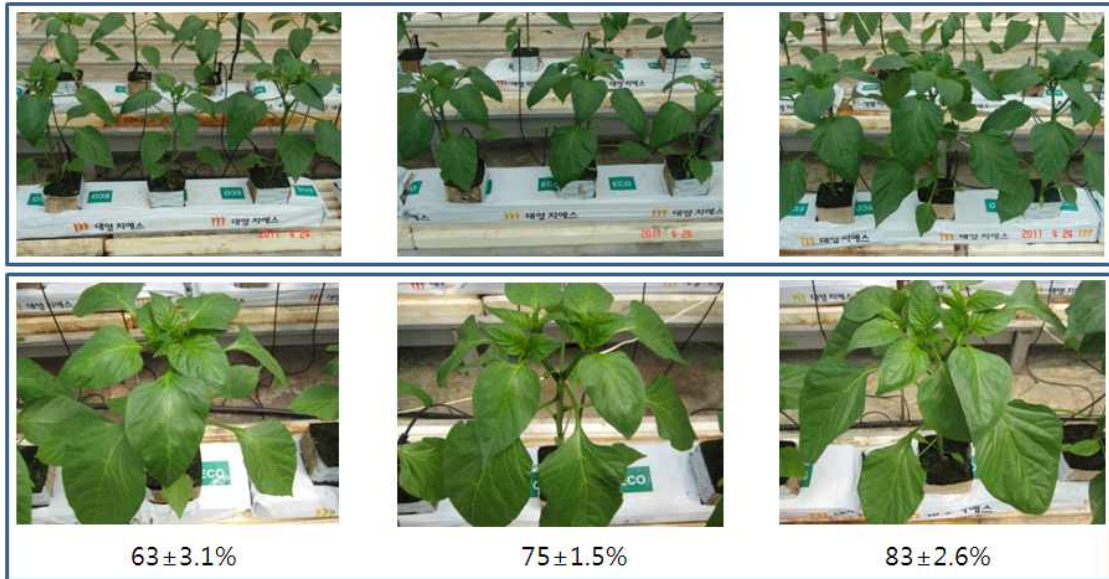


그림 11. 정량적 습도관리 차이에 따른 정식 후 초기 생육 상태.



RH	착과 수준		
	착과수 (ea/plant)	총 과중 (g/plant)	평균 과중 (g/fruit)
63±3.1%	16.7	1828.2	109.5
75±1.5%	20.0	2259.1	113.0
83±2.6%	14.0	1412.4	100.9

그림 12. 정량적 습도관리 차이에 따른 정식 후 초기 생육 상태 및 과실 생산.

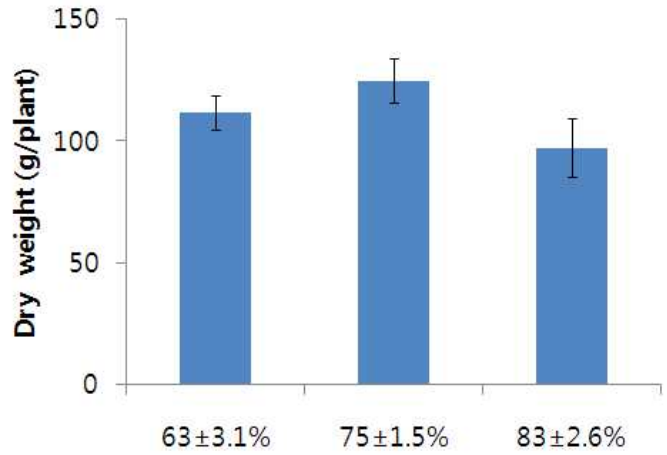
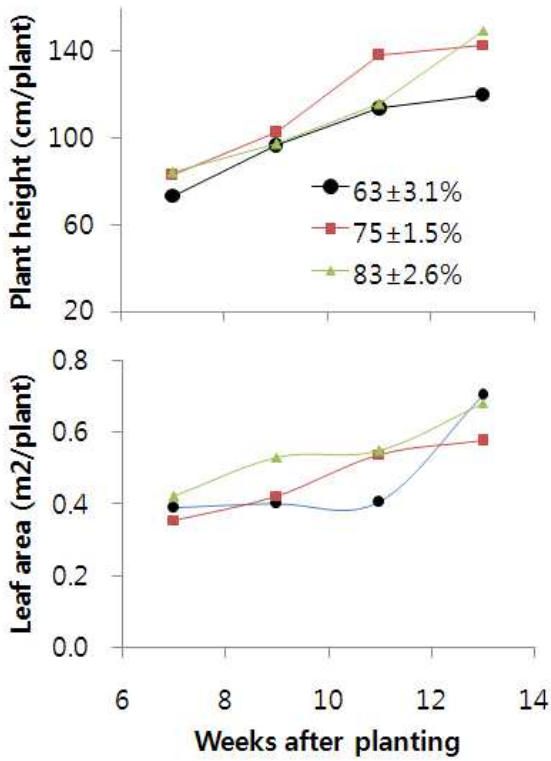


그림 13. 정량적 습도 관리 차이에 따른 초장, 엽면적 변화와 건물중.

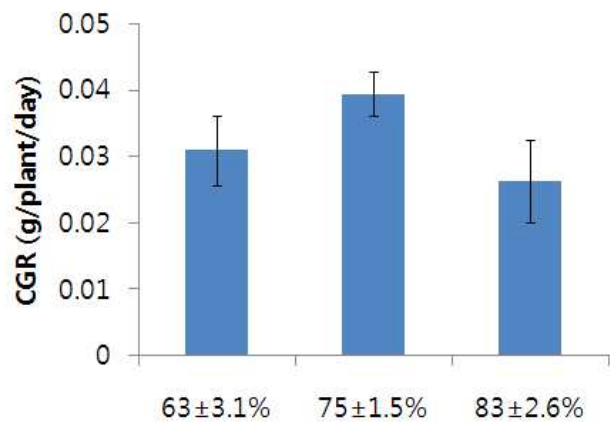
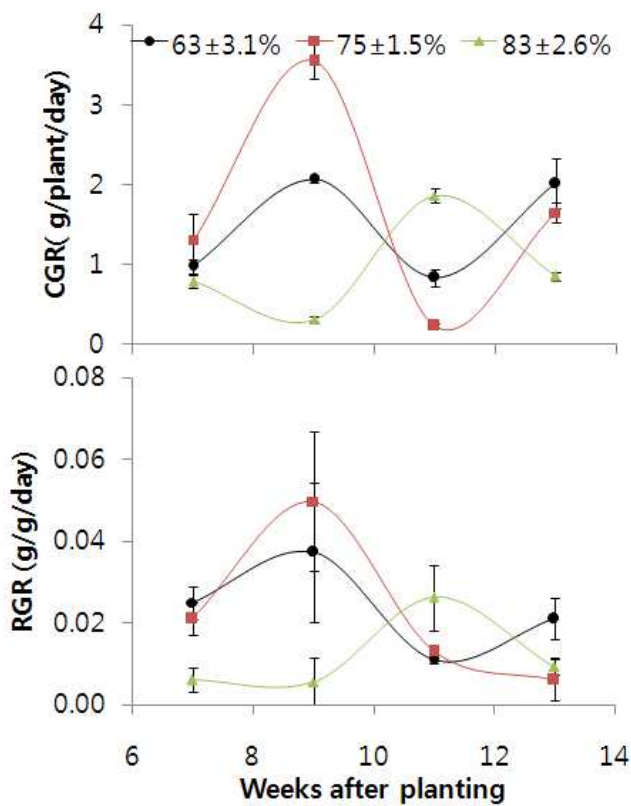


그림 14. 정량적 습도 관리 차이에 따른 성장속도와 상대성장율.

- 과실로 이동되는 건물은 RH 75%에서 가장 잘 분배가 되었지만, 다습 조건인 83% 처리에서는 과실로의 건물분배가 적었음(그림 15).

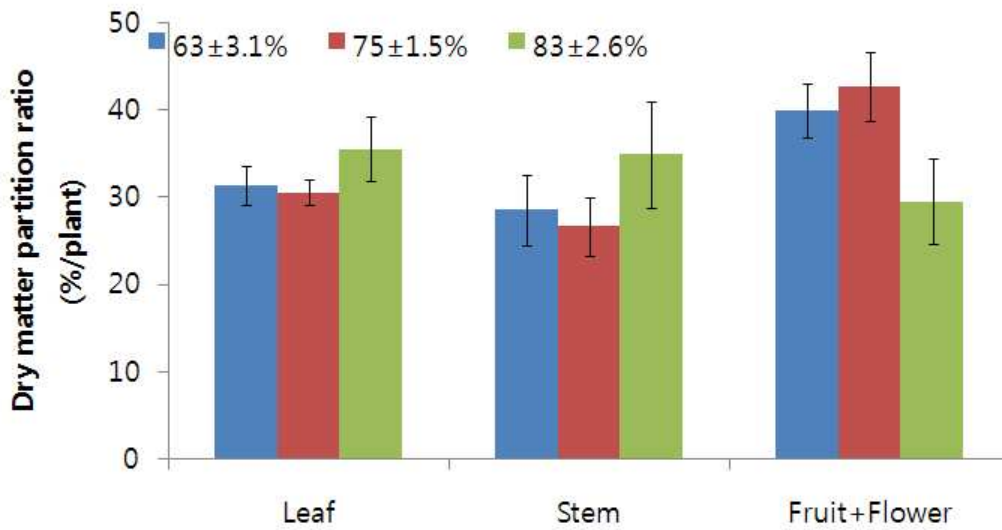


그림 15. 정량적 습도 관리 차이에 따른 기관별 건물 분배율.

- 정량적 습도 처리에 따른 엽면적에 대한 회귀 모형은 RH 1% 상승 마다 30cm²/plant 증가하는 경향이있음(그림 16).

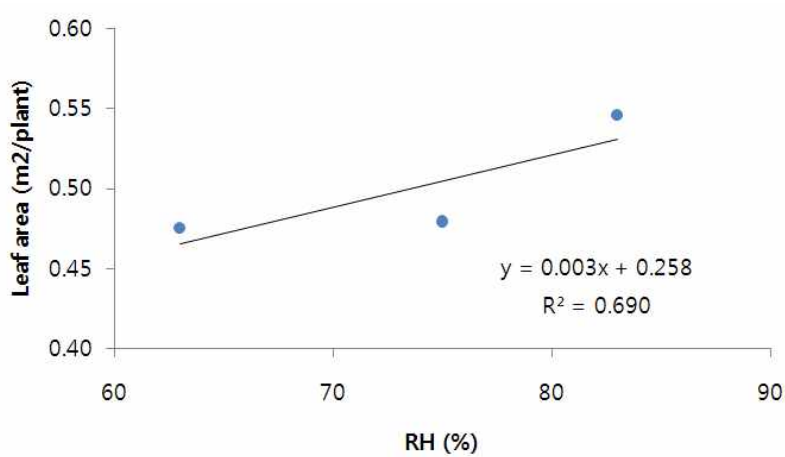


그림 16. 정량적 습도 처리에 따른 엽면적에 대한 회귀 모형.

- 건물중에는 RH 72%를 기준으로 1% 증감 시 평균 0.3g/plant 감소하는 경향이 있음(그림 17).

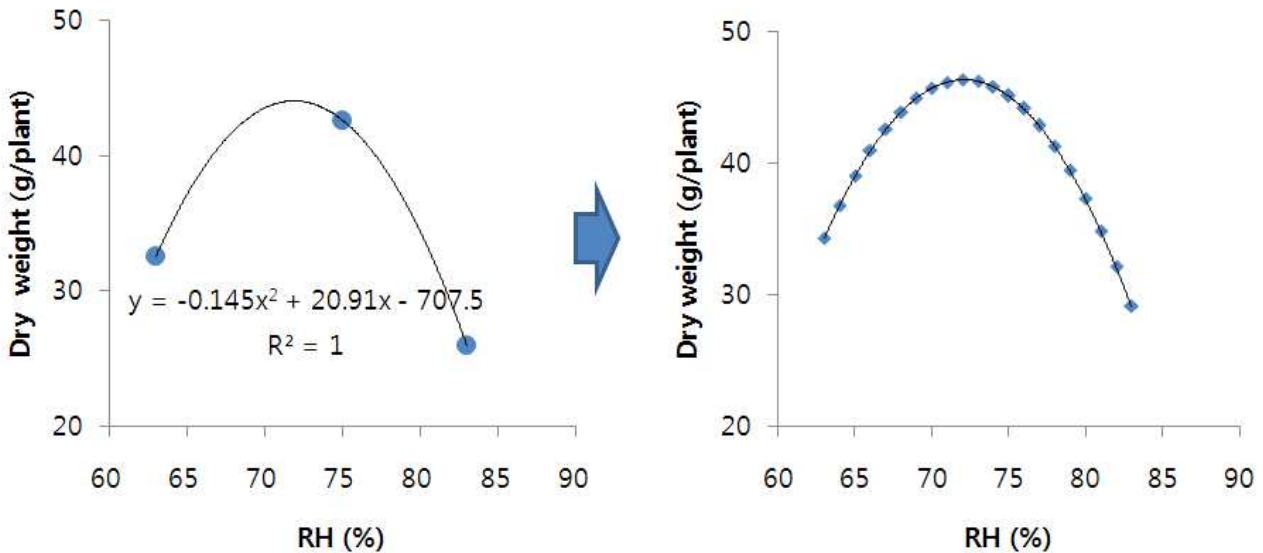


그림 17. 정량적 습도 처리에 따른 건물중에 대한 회귀 모형.

6. 온실의 현대화(측고 개량, 4m→5.5m)에 따른 내부 환경 변화

가. 측고에 따른 온실(벤로형) 내부 환경 요인 차이

(1) 내부 온도 요인 차이

- 일평균 외부누적광량을 조사한 결과(Fig. 1) 6월 중순부터 7월 중순까지 광량이 점점 줄어들었고, 8월부터 10월까지 평균광량이 $1,500\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$ 이상 높게 나타났지만, 11월 이후에는 평균광량이 $1,000\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$ 이하로 낮게 나타났다. 일평균 외부누적광량은 4.0m 벤로형 유리온실과 5.5m 벤로형 유리온실에서 각각 $1,400\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$ 와 $1,340\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$ 로 두 온실의 일평균 외부누적광량의 차이는 극히 적었다.
- 온실 내부의 일평균 온도는 4.0m 벤로형 유리온실에서는 평균 23.1°C , 5.5m 벤로형 유리온실에서는 23.3°C 로 두 온실 모두 비슷한 수준을 보였다(Fig. 2). 하지만 5.5m인 벤로형 유리온실의 경우 7월 중순~8월 중순까지 약 30일간 온도 변화폭이 심했는데, 이는 작과유도를 위한 온도관리 방법인 것으로 판단된다. 내부 주간 평균온도는 4.0m 벤로형 유리온실이 25.0°C , 5.5m 벤로형 유리온실이 25.1°C 로 두 온실 모두 비슷한 경향을 보였다(Fig. 3). 여름철 내부 주간 온도의 변화가 심한 것은 내부의 온도제어 영향보단 외부의 영향이 큰 것으로 보인다. 특히, 4.0m 벤로형 유리온실에 비해 5.5m 벤로형 유리온실의 6월달 내부 주간 온도의 변화가

심한 것은 내부 설정 온도(Fig. 4)의 영향으로 판단된다. 측고 높이에 따른 온실의 온도 조절을 알아보려고 내부 주간 온도에서 내부 주간 설정 온도를 뺀 결과 온도 차이는 4.0m 베로형 유리온실 평균 5.7℃, 5.5m 베로형 유리온실 평균 5.5℃로 큰 차이는 없었지만, 측고가 높은 5.5m 베로형 유리온실이 여름철 온도 조절이 잘 되었다고 판단된다(Fig. 5).

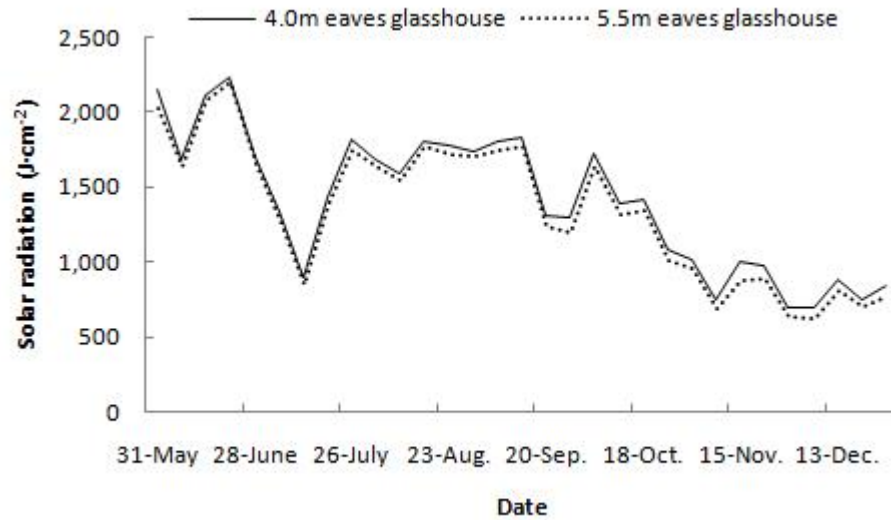


Fig. 1. Change of solar radiation from May 31 to Dec. 13 in 2009 in 4.0 m and 5.5 m eaves height of venlo type glasshouse.

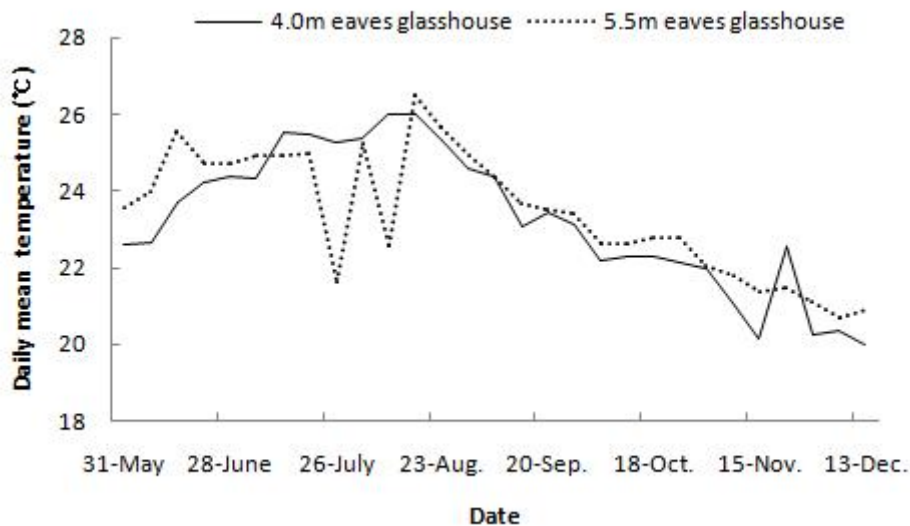


Fig. 2. Change of daily mean temperature from May 31 to Dec. 13 in 2009 in 4.0 m and 5.5 m eaves height of venlo type glasshouse.

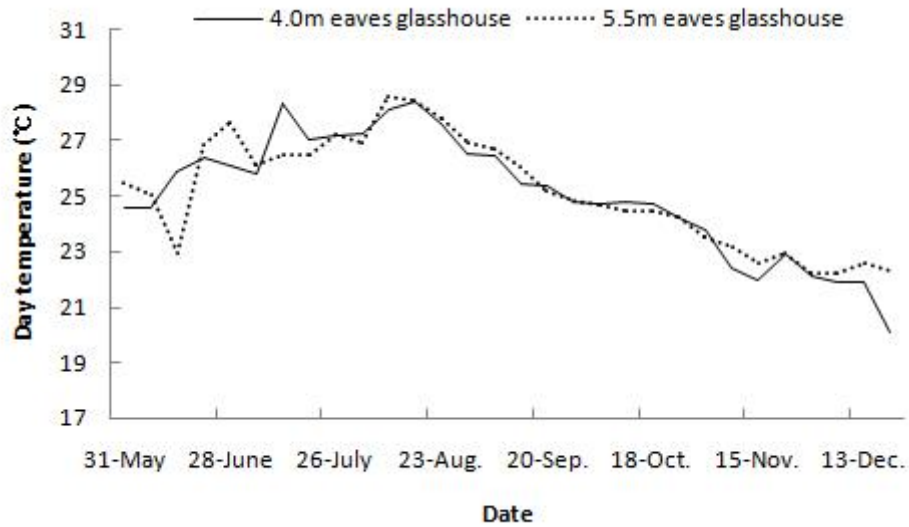


Fig. 3. Change of day temperature from May 31 to Dec. 13 in 2009 in 4.0 m and 5.5 m eaves height of venlo type glasshouse.

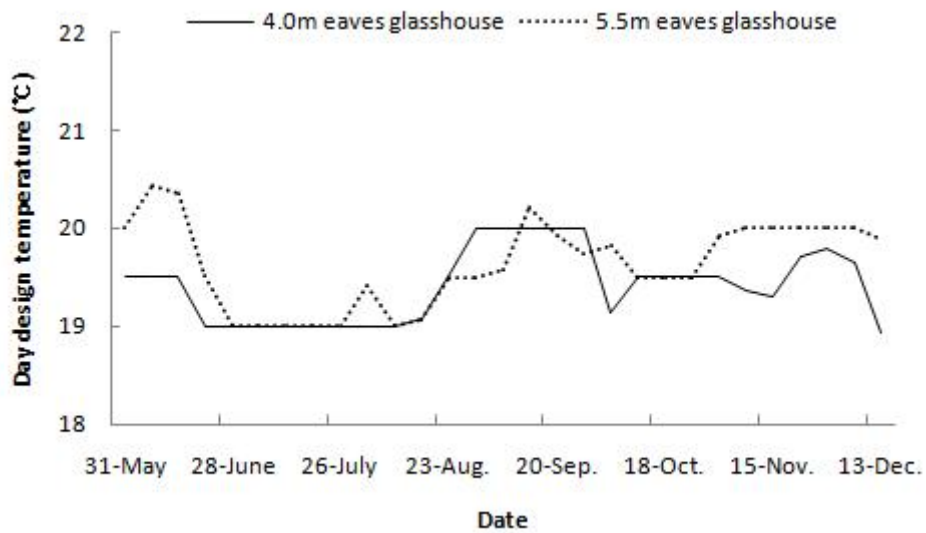


Fig. 4. Change of day design temperature from May 31 to Dec. 13 in 2009 in 4.0 m and 5.5 m eaves height of venlo type glasshouse.

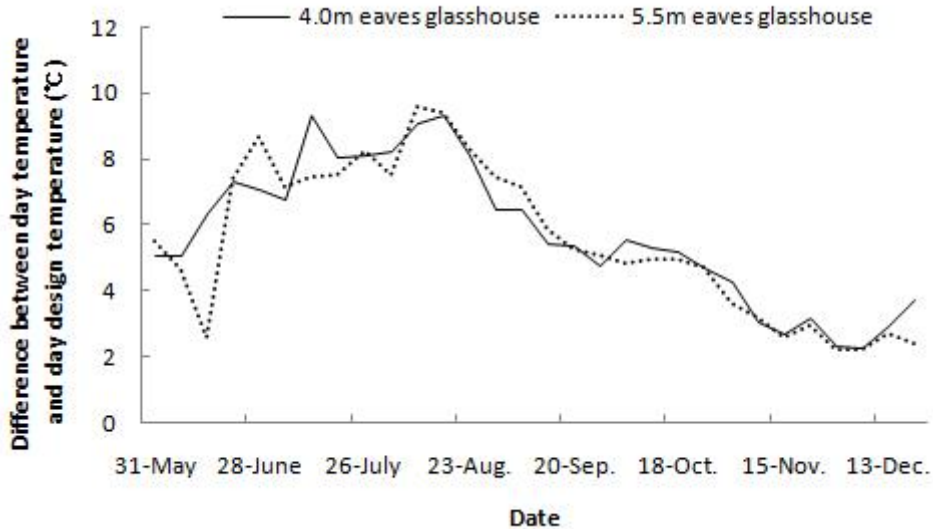


Fig. 5. Change of difference between day temperature and day design temperature from May 31 to Dec. 13 in 2009 in 4.0 m and 5.5 m eaves height of venlo type glasshouse.

- 내부 야간 온도를 살펴본 결과(Fig. 6) 4.0m 벤로형 유리온실이 20.8°C, 5.5m 벤로형 유리온실이 21.6°C로 5.5m 벤로형 유리온실에 비해 측고가 낮은 4.0m 벤로형 유리온실이 내부 야간 온도를 낮게 관리하고 있었다. 이는 설정 온도의 영향도 있겠지만 측고가 높은 5.5m 벤로형 유리온실의 온도조절이 더 잘된 것으로 판단된다. 또한 4.0m 벤로형 유리온실은 야간 설정온도를 일정하게 유지하는 반면 4.0m 벤로형 유리온실의 9, 10월의 경우 변화 폭이 큰 것은 첫 그룹 수확 및 착과 유도를 위한 온도관리 방법인 것으로 생각된다(Fig. 7). 전반적으로 야간 온도는 측고가 높은 5.5m 벤로형 유리온실이 온도를 높게 관리하는 것으로 나타났다. 내부 야간 온도에서 내부 야간 설정 온도를 뺀 차이는(Fig. 8) 4.0m 벤로형 유리온실의 경우 평균 2.8°C, 5.5m 벤로형 유리온실의 경우 평균 1.9°C로 주간에 비해 외부 광량의 영향이 적은 야간에는 측고가 높은 온실이 온도조절이 더 잘됐다고 볼 수 있다. 주야간 온도차는 4.0m 벤로형 유리온실 평균 4.1°C, 5.5m 벤로형 유리온실 평균 3.4°C로 재배기간 내 큰 차이는 없었지만, 10월 이후에는 다소 차이가 나타났다(Fig. 9). 이러한 이유는 4.0m 벤로형 유리온실의 경우 재배 마지막인 반면 5.5m 벤로형 유리온실의 경우 생식생장을 유도하기 위한 온도 관리라고 생각된다.

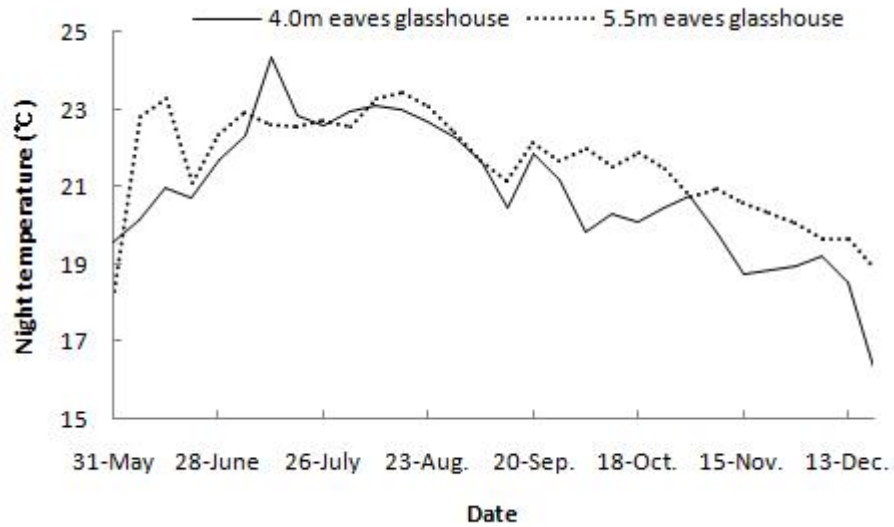


Fig. 6. Change of night temperature from May 31 to Dec. 13 in 2009 in 4.0 m and 5.5 m eaves height of venlo type glasshouse.

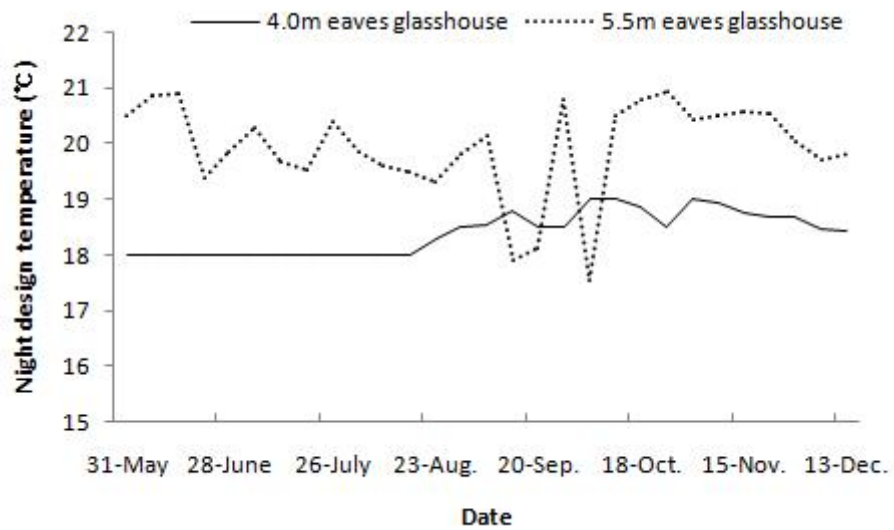


Fig. 7. Change of night design temperature from May 31 to Dec. 13 in 2009 in 4.0 m and 5.5 m eaves height of venlo type glasshouse.

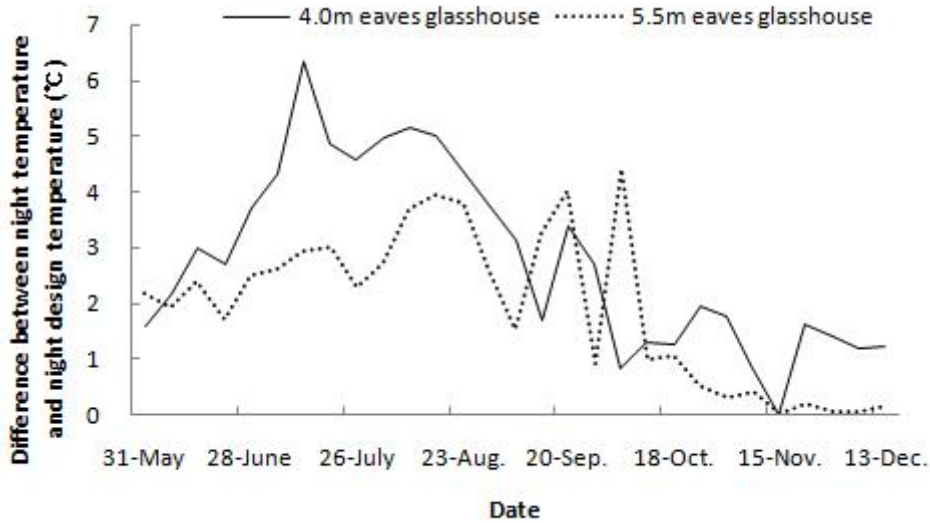


Fig. 8. Change of different between night temperature and night design temperature from May 31 to Dec. 13 in 2009 in 4.0 m and 5.5 m eaves height of venlo type glasshouse.

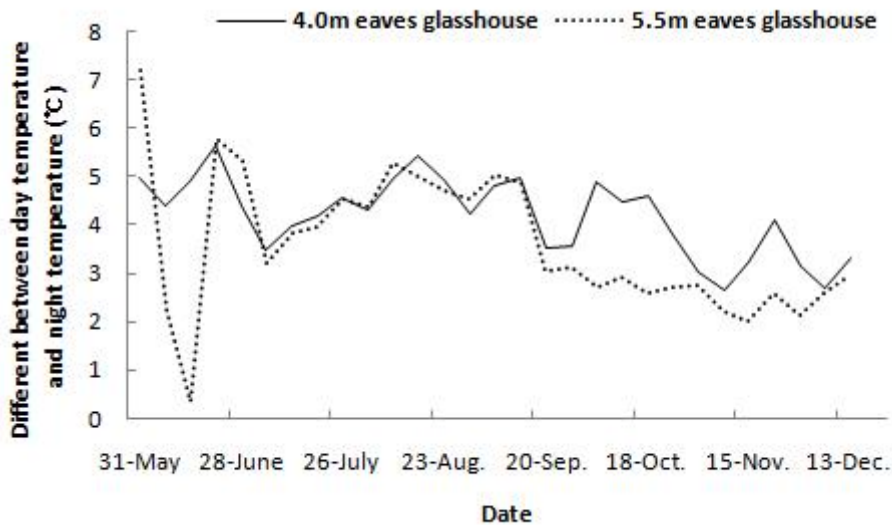


Fig. 9. Change of different between day temperature and night temperature from May 31 to Dec. 13 in 2009 in 4.0 m and 5.5 m eaves height of venlo type glasshouse.

(2) 내부 습도 요인 차이

- 파프리카 재배 온실의 습도 조건은 RH 70~80%이며, HD $4\sim 8\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 정도가 적당하다. 시설내에 증발량이 적고, 가온에 의해 습도가 급격히 낮아지면 엽면적의 확보가 곤란하여 광합성량이 줄어들며 착과 이후에 배꼽썩음과, 낙과 및 낙화, 기형과 등의 생리장해가 발생될 수 있다. 시설 내부 평균 수분부족분은 4.0m 벤로형 유리온실 $3.4\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 5.5m 벤로형 유리온실 $4.5\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 로 4.0m 벤로형 유리온실의 시설 내부 평균 습도가 높게 관리되었다(Fig. 10). 주간 평균 수분부족분은 4.0m 벤로형 유리온실 $4.3\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 5.5m 벤로형 유리온실 $5.2\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 로 5.5m 벤로

형 유리온실이 $0.9\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 높았다(Fig. 11). 야간 평균 수분부족분은 4.0m 베로형 유리온실 $2.5\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 5.5m 베로형 유리온실 $3.8\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 로 5.5m 베로형 유리온실이 $1.3\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 높았다(Fig. 12). 5.5m 베로형 유리온실이 조사기간 초반에 $8.0\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 이상 높은 이유는 정식 초반으로 작물이 어려 엽면적이 확보되지 않아 작물의 증산량이 낮기 때문인 것으로 보인다.

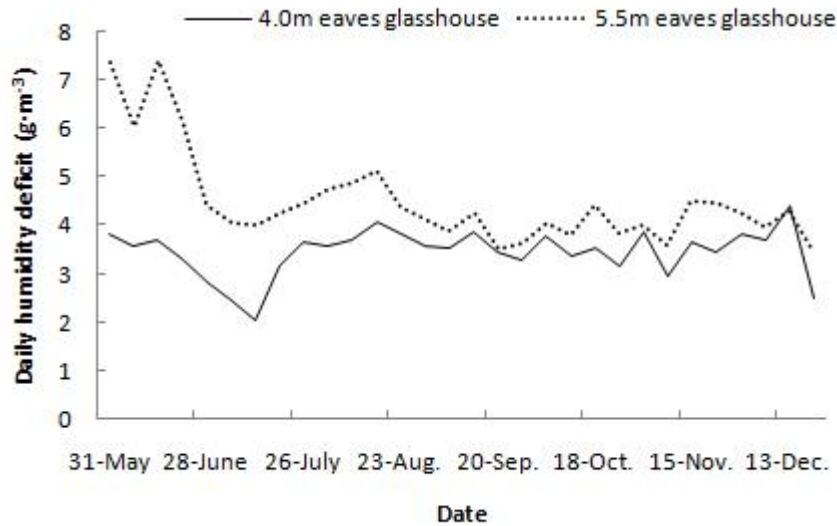


Fig. 10. Change of averaged daily humidity deficit from May 31 to Dec. 13 in 2009 in 4.0 m and 5.5 m eaves height of venlo type glasshouse.

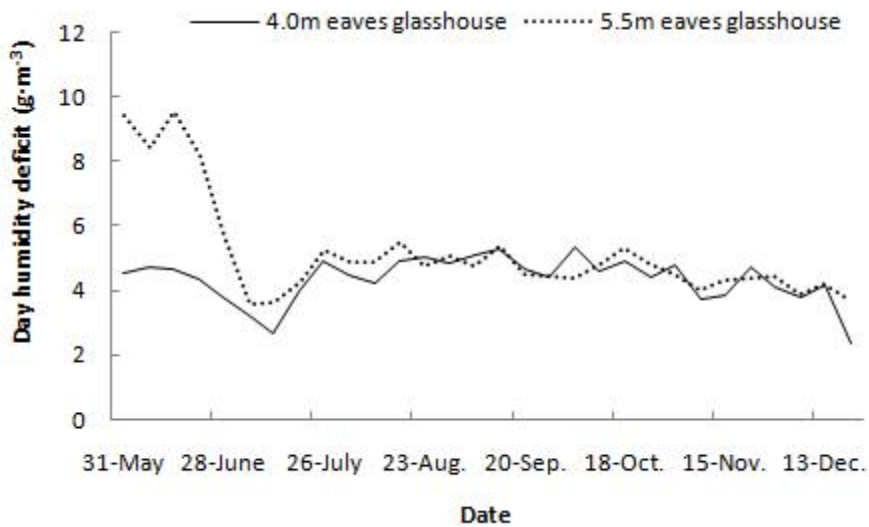


Fig. 11. Change of day humidity deficit from May 31 to Dec. 13 in 2009 in 4.0 m and 5.5 m eaves height of venlo type glasshouse.

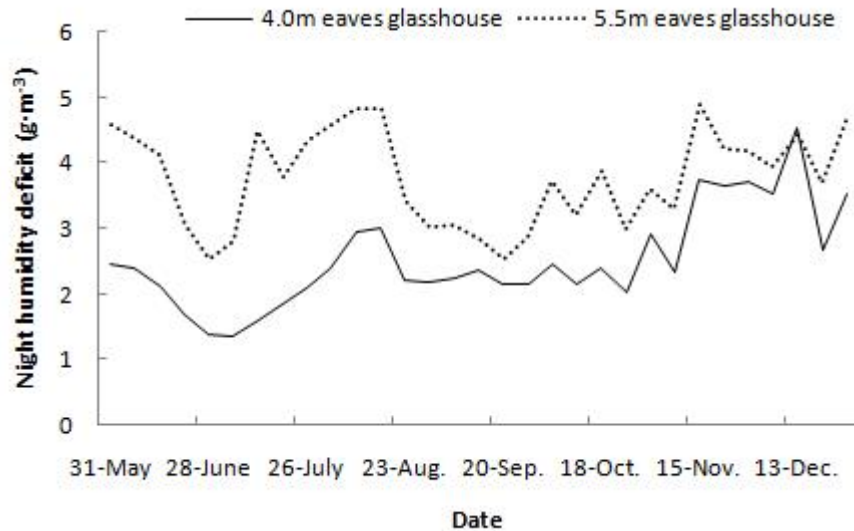


Fig. 12. Change of night humidity deficit from May 31 to Dec. 13 in 2009 in 4.0 m and 5.5 m eaves height of venlo type glasshouse.

(3) 탄산가스 요인 차이

- 탄산가스 농도가 높아질 경우 순광합성량, 엽면적, 건물량 등이 증가하고 증산, 기공전도도는 감소하는 등 다양한 식물 생리 반응에 영향을 미친다(Nederhoff 등, 1992). 두 온실의 내부 탄산가스 농도는 다음과 같다(Fig. 13). 5.5m 벤로형 유리온실에서 8월 중순이후 약 한달 간 내부 CO₂를 낮게 관리하는 것은 생식생장이 지나치게 강해 생육이 약해 CO₂를 대기수준과 비슷하게 공급하거나 공급하지 않는 것으로 판단된다. CO₂ 사용량이 증가 할수록 수량의 증가하지만 고농도의 CO₂를 짧은시간에 시비하는 것보다 저농도의 CO₂로 긴 시간 시비하는 것이 바람직하다.

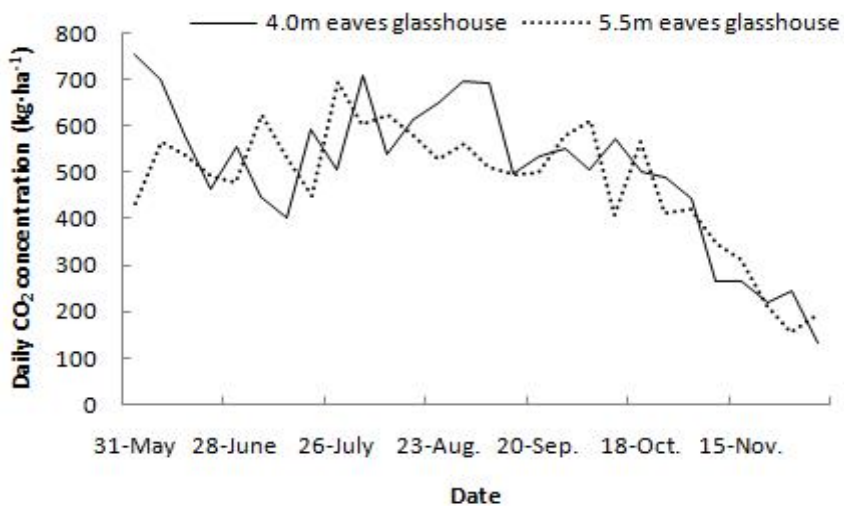


Fig. 13. Change of daily CO₂ concentration from May 31 to Dec. 13 in 2009 in 4.0 m and

5.5 m eaves height of venlo type glasshouse.

나. 측고에 따른 온실(벤로형) 환경 요인 간 상관성

(1) 외부 광량과 다른 환경 요인간 상관성

○ 광, 온도, 습도 등 환경요인과의 상관성을 알아보려고 각 요인별로 회귀분석을 통해 나타내었다(Fig. 14-15). 일평균 온도는 일평균 광량 $1\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ 상승시 4.0m 벤로형 유리온실에서 0.001°C , 5.5m 벤로형 유리온실에서 0.002°C 씩 상승하는 경향을 보였고, 수분부족분은 4.0m 벤로형 유리온실에서 $-0.0007\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 5.5m 벤로형 유리온실에서 $0.0006\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 정도가 변화하는 경향을 보였다(Fig. 14). 또한 일평균 온도 1°C 당 4.0m 벤로형 유리온실에서 $-0.295\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 5.5m 벤로형 유리온실에서 $0.206\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 정도 변화라는 경향을 보였다(Fig. 15).

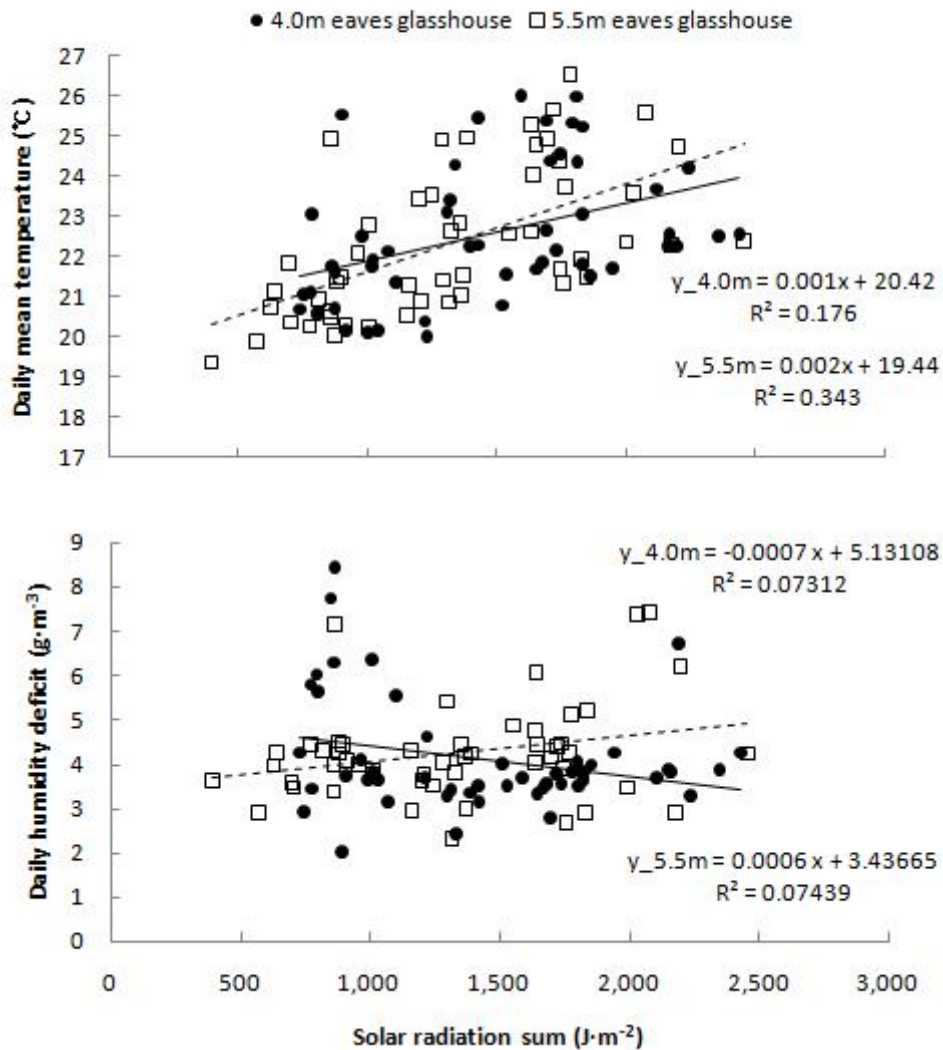


Fig. 14. Effect of solar radiation on daily mean temperature and daily humidity deficit in 4.0 m and 5.5 m eaves height of venlo type glasshouse.

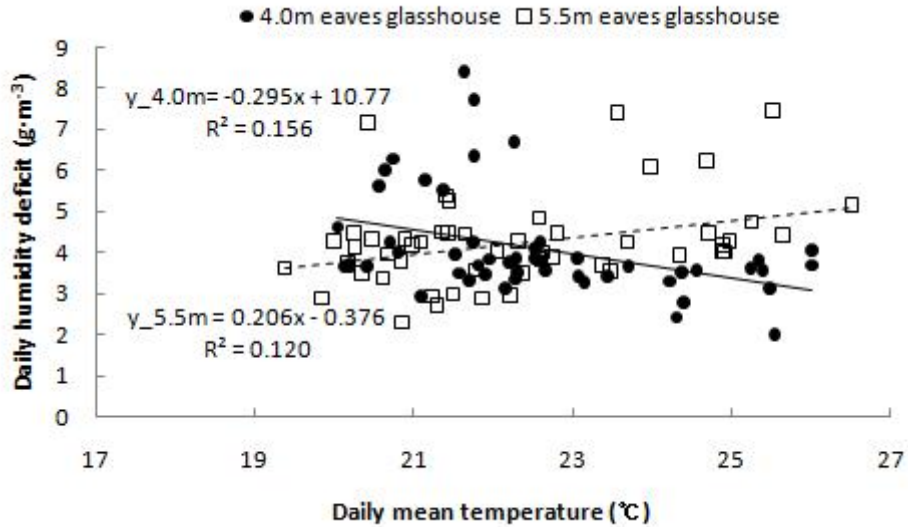


Fig. 15. Effect of daily mean temperature on daily humidity deficit in 4.0 m and 5.5 m eaves height of venlo type glasshouse.

다. 측고에 따른 온실(벤로형) 내부 환경 요인과 파프리카 생육 간 관계

(1) 환경 요인과 초장 간 관계

○ 두 온실간 파프리카의 주간 초장 길이 변화는 4.0m 벤로형 유리온실에서 평균 7.1cm, 5.5m 벤로형 유리온실에서 평균 6.7cm 정도 증가하는 것으로 큰 차이는 나타나지 않았다(Fig. 16). 파프리카의 주간 성장 길이와 누적광량 및 적산온도간 연관성을 알아보기 위해 회귀 분석한 결과, 일평균 누적광량 $1\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 상승시 5.5m 벤로형 유리온실에서 0.553cm, 4.0m 벤로형 유리온실에서 0.403cm 정도 길어져 측고가 높은 온실에서 1.37배 높았다(Fig. 17). 그리고 일평균 적산온도 1°C 상승시 주간 성장 길이는 두 온실에서 0.29cm 정도 길어지는 것으로 나타났다(Fig. 18).

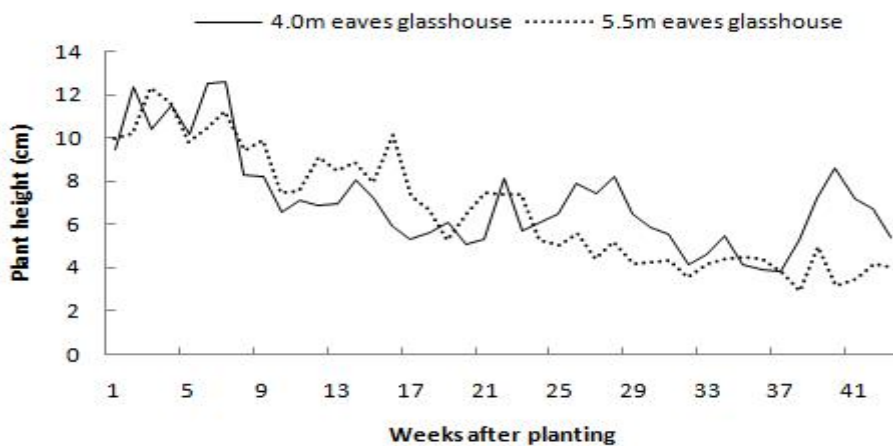


Fig. 16. Change of plant height to 43 weeks after planting in 4.0 m and 5.5 m eaves height of venlo type glasshouse.

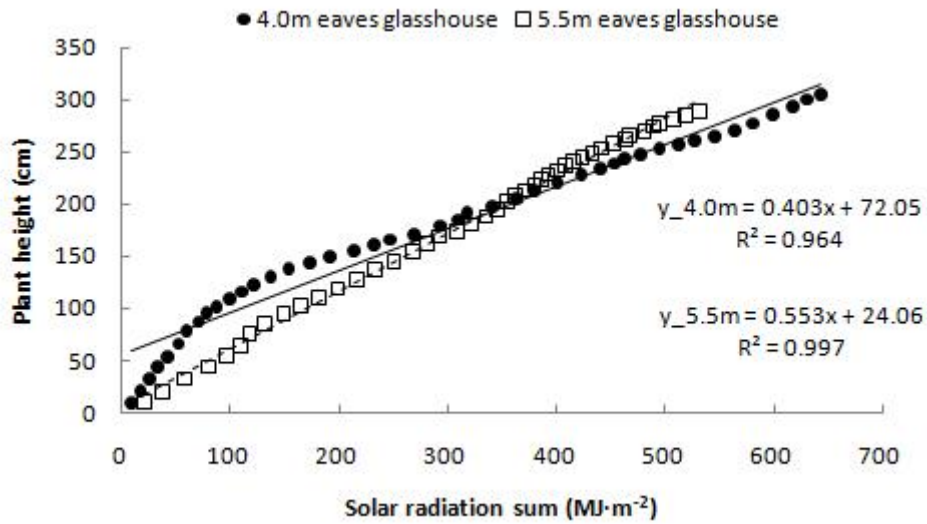


Fig. 17. Effect of solar radiation sum on plant height in 4.0 m and 5.5 m eaves height of venlo type glasshouse.

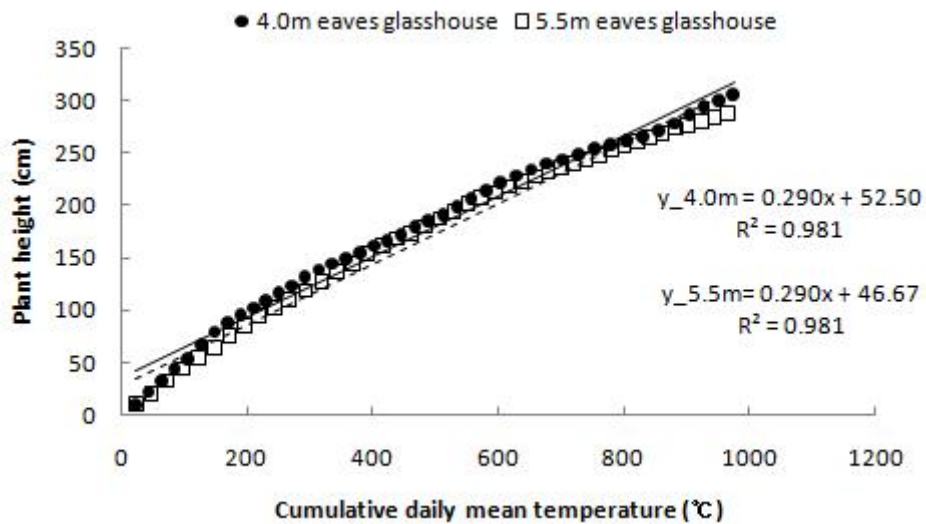


Fig. 18. Effect of cumulative daily mean temperature on plant height in 4.0 m and 5.5 m eaves height of venlo type glasshouse.

(2) 파프리카 생산량에 대한 환경 요인의 영향

- 51주 동안 두 온실에서 수확한 과실의 생산량을 보면(Fig. 19) 4.0m 베로형 유리 온실에서는 $17.7\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 5.5m 베로형 유리온실에서는 $16.4\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 로 나타났다. 보통 고추류는 측지 발생이 왕성할 경우 영양생장을 억제하여 수량감소의 원인이 된다고 보고되었는데(이 등, 2002), 5.5m 베로형 유리온실의 생산량이 적은 이유는 측지 발생으로 인해 영양생장 확보를 하지 못한 것으로 판단된다. 누적 광량에 대한 생산량의 영향을 알아보고자 회귀분석을 통해 나타내었다(Fig. 20). 두

온실 간 같은 품종이 재배되진 않았지만 광량이 $1\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 상승시 생산량은 4.0m 벤로형 유리온실 $0.031\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 5.5m 벤로형 유리온실에서는 $0.040\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 증가하여 측고가 높은 온실에서 약 1.3배 높았다. 이 차이는 4.0m 벤로형 유리온실에 비해 5.5m 벤로형 유리온실이 광이용 효율이 높기 때문으로 생각된다. 적산온도 대비 파프리카의 누적 생산량을 보면(Fig. 21) 일평균온도가 1°C 누적되면 단위면적당 생산량은 4.0m 벤로형 유리온실에서 $0.022\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 5.5m 벤로형 유리온실에서는 $0.020\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 정도 누적되어 측고높이가 낮은 온실에서 조금 높게 나타났다.

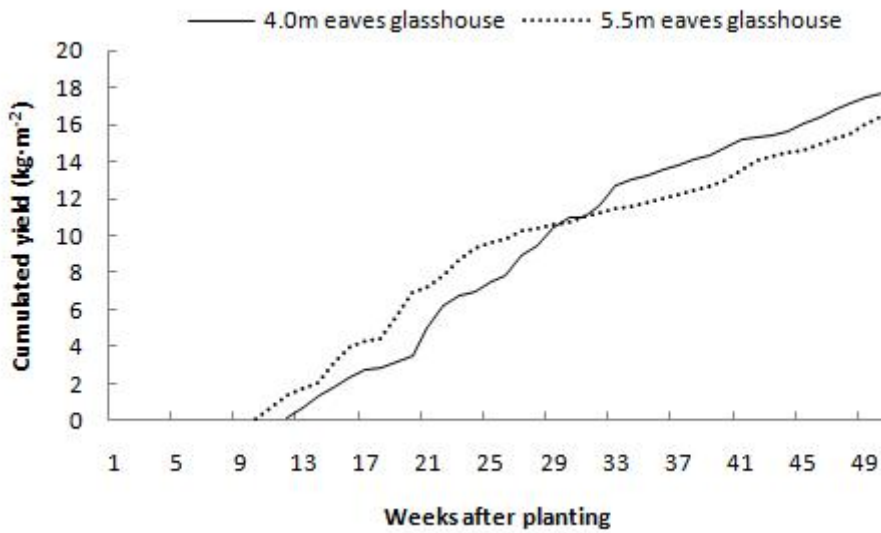


Fig. 19. Change of cumulated yield to 51 weeks after planting in 4.0 m and 5.5 m eaves height of venlo type glasshouse.

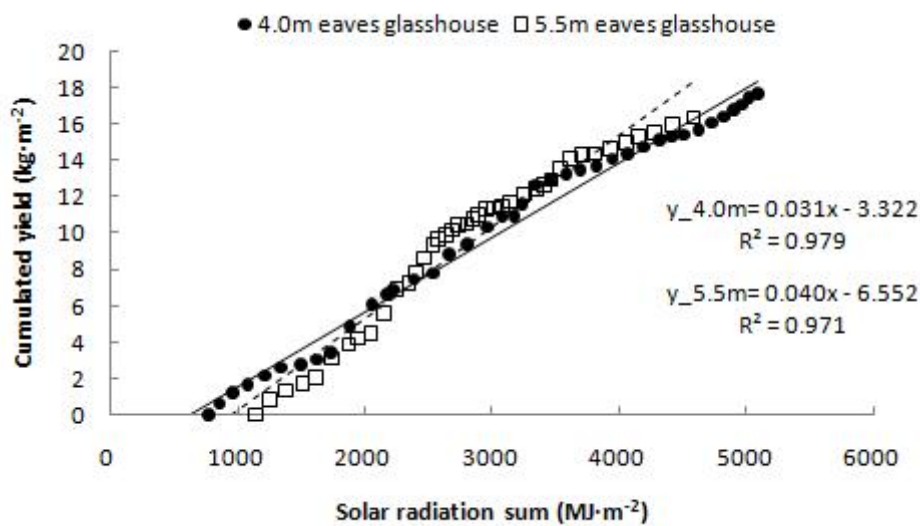


Fig. 20. Effect of solar radiation sum on cumulated yield in 4.0 m and 5.5 m eaves height of venlo type glasshouse.

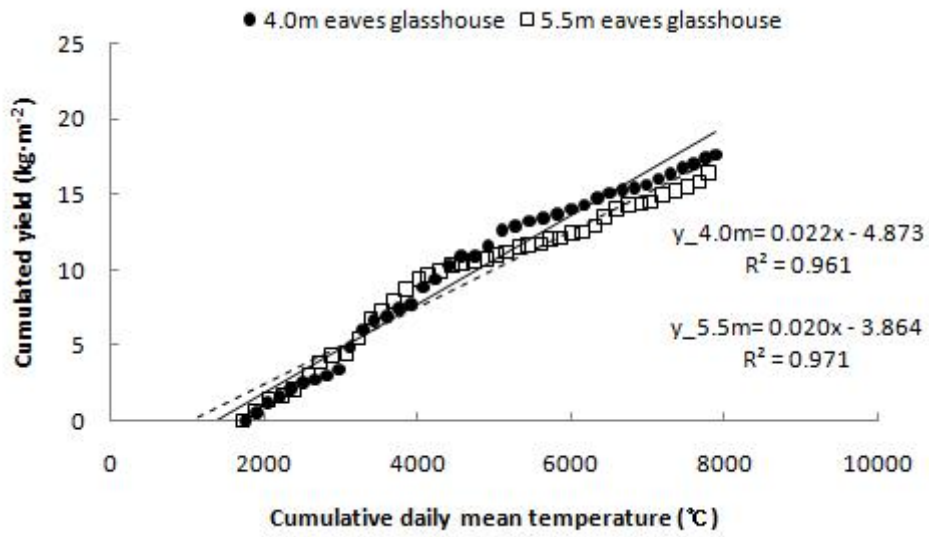


Fig. 21. Effect of cumulative daily mean temperature on cumulated yield in 4.0 m and 5.5 m eaves height of venlo type glasshouse.

제2-3절 우리나라 환경에 적합한 온실 환경제어 시스템 및 프로그램 개발

1. 권취식 환기창 제어를 위한 환기창 모터 개별 제어 알고리즘 작성 및 시험연구

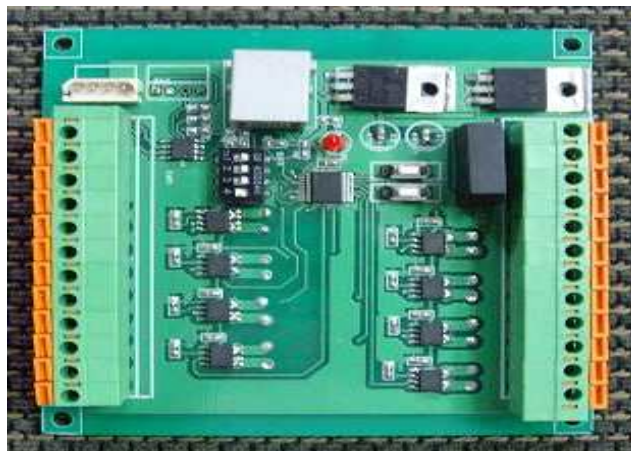
가. 제어기 시뮬레이터 개발

- (1) 목적 : 개발된 제어기 프로그램이 정상적으로 작동하는지와 각종 센서값들이 변경될 때 개발자의 의도대로 작동이 되는지를 사전에 테스트하는 장치
- (2) 센서값 종류 : 외부온도, 내부온도, 내부습도, 일사량, 풍향, 풍속, 감우, CO₂ , 등을 볼륨조절기를 부착하여 임의로 센서값을 조작할 수 있음.
- (3) 사진



나. 홀소자를 이용한 개도값 자동 산출 장치 기판 설계 및 시제품 생산

- (1) 목적 : 각 개폐모타의 전류를 측정 과부하시 차단, 각 개폐모타의 개도값 표기
- (2) 사진 : 홀소자 기판



(3) 사진 : 측정장치 실험모습



다. P밴드 설정값이 외부온도의 변화에 의해 연동되는지 규명

- (1) P(Proportional:비례)-밴드란 창을 100% 여는데 있어서 설정온도로 부터 초과분 만큼에 해당하는 온도를 섭씨로 나타낸 범위

예)

환기 온도가 20°C로 설정되었다. 다시 말하면 온실의 온도가 20°C를 넘어서면 바로 창이 열리게 된다. 이때 P-밴드를 5°C로 설정했다면, 결국 측정된 온실 온도가 설정 온도를 5°C만큼 초과하면 환기창이 100% 모두 열리게 된다는 뜻이다. 따라서 설정온도로부터 매 1°C 초과할 때마다 환기창의 열림이 20%씩 증가하게 된다. 온실의 온도가 23°C가 되면 환기창은 60%만큼 열리게 된다. 계산과정은 다음과 같다.

$$((\text{온실 온도} - \text{환기 온도}) / \text{P-밴드}) * 100 = \text{환기창 위치}$$

즉, $((23 - 20) / 5) * 100 = 60\%$

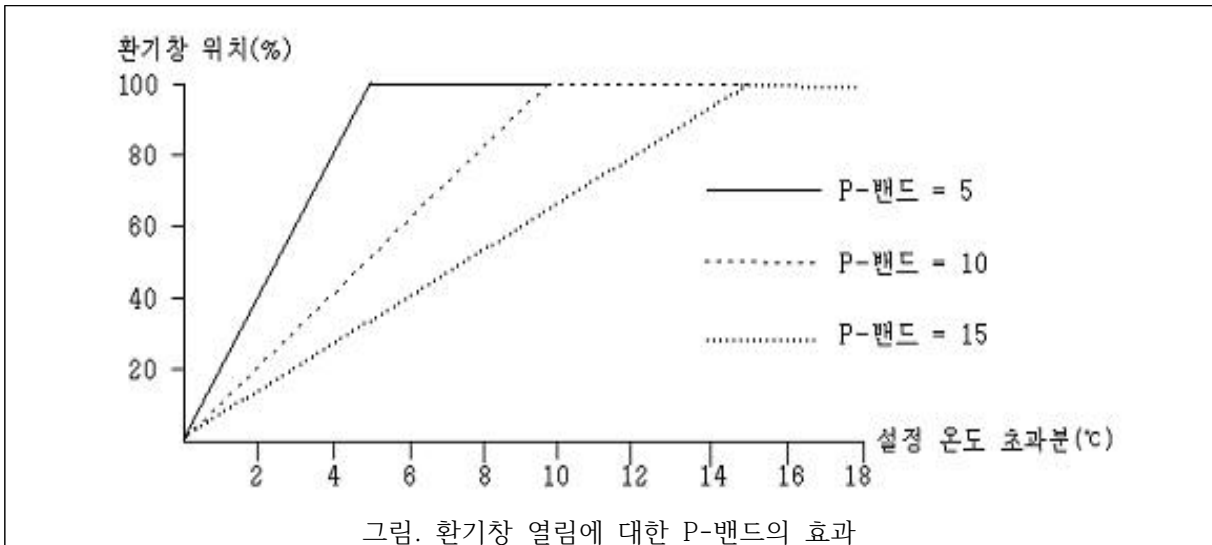
계산된 이 결과치는 그림1에서 구할 수 도 있다.

P-밴드를 10°C로 변경하고, 여타 설정치는 그대로라면, 환기창의 열림 위치는 다음과 같이 계산 된다.

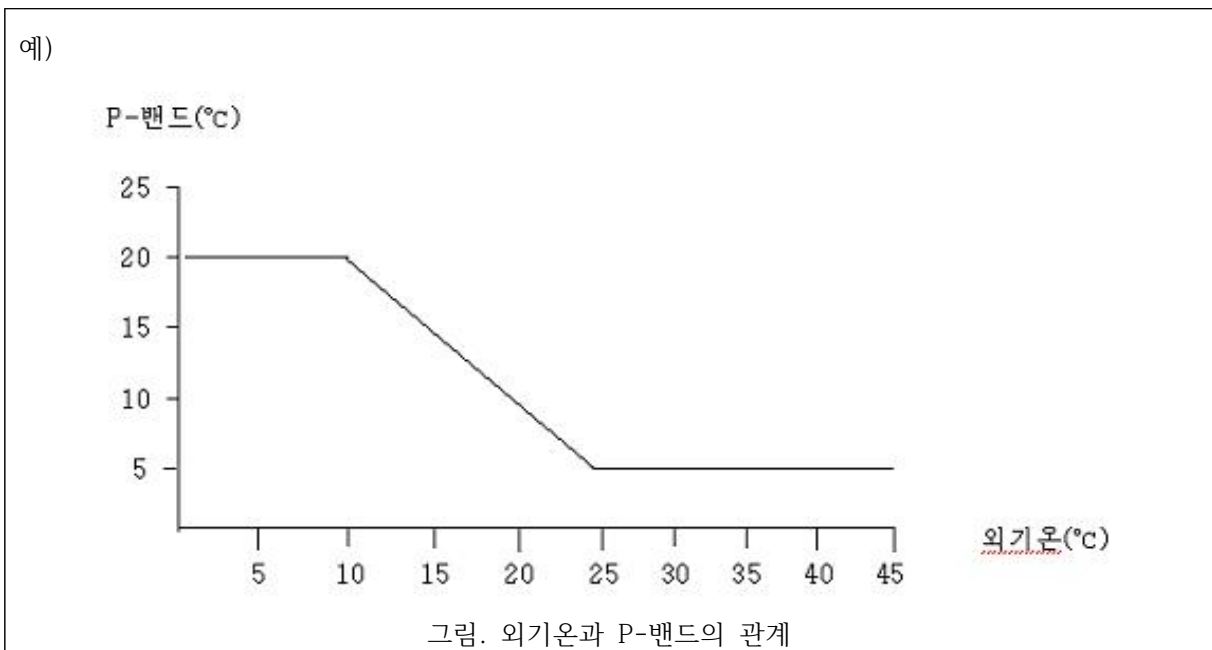
$$((\text{온실 온도} - \text{환기 온도}) / \text{P-밴드}) * 100 = \text{환기창의 열림 정도}$$

즉, $((23 - 20) / 10) * 100 = 30\%$

계산된 이 결과치도 그림1에서 구할 수 있다.



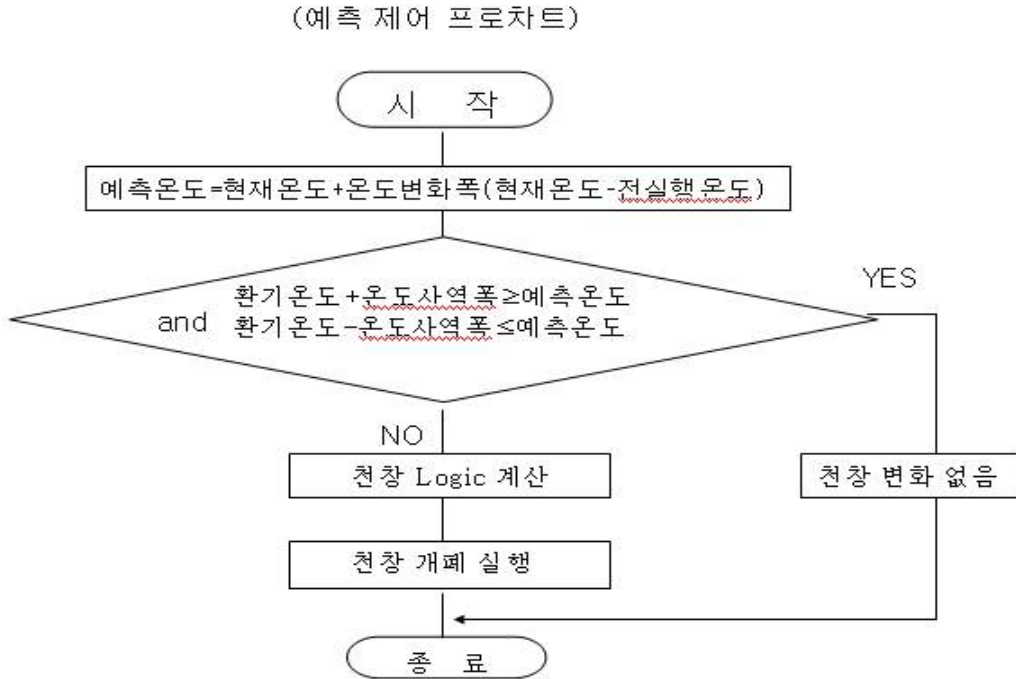
(2) P-밴드와 외기온의 관계 : 그림에서 P-밴드는 외기온이 10°C에서 25°C 사이에서 변하고 있다. 이 두 가지 온도는 환기가 요구될 때 보편적으로 야기되는 외기온의 범위다.



그림에서 외기온 10°C 이하에서는 P-밴드가 20°C 다. 환기온도가 18°C 일때 온실 기온이 21°C 라면 환기량의 열림 위치는 15%가 된다. 이 값은 이미 앞에서 언급했던 계산 방식으로 구할 수 있다. 그러나 외기온이 25°C 이상에서는 P-밴드가 5°C 다. 환기온도 18°C, 온실 기온 21°C에서 환기량의 열림 정도는 60%가 되어, 전자(15%)의 4배에 해당한다. 그러므로 외기온에 따라 설정 온도에서 매 1°C 만큼 더워질 때마다 환기량이 열리는 단계별 정도가 달라지는 셈이다. 그러나 이 두가지 경우에서 외부로 열이 제거되는 속도는 동일하다. 즉, 외기온 10°C 일 때 환기량이 15% 열리는 경우와 외기온 25°C 일 때 환기량이 60% 열리는 경우에 제거되는 열량은 유사한 것이다. 따라서, 제어기의 천창 환기 설정값에 외온 최저 10°C, 외온 최고 25°C를 입력하면 현재 외부 온도의 값에 따라 P-밴드값이 연동하여 외부온도의 변화에 의해 환기폭을 조절할 수 있다.

라. 온수, 온풍 난방기 제어를 위한 온수, 온풍 온도 제어 알고리즘 작성 및 실증 Tset

(1) 온실내 공기 볼륨 계산 및 예측 온도 적용비율 알고리즘 플로차트



(2) 난방설정 프로그램 화면

난방 설정

1 주기 데이터

사용여부	사용
작동조건	일출
시각	+ 00 시 00 분
난방 최저	18.0
난방 최고	22.0
난방온도 (°C)	19.0

P	사용여부	작동조건	작동시각	상대시각	난방 최저	난방 최고	난방온도(°C)
1	사용	일출	06:28	+00:00	18.0	22.0	19.0
2	사용	일몰	18:09	+00:00	20.0	40.0	19.0
3	사용안함	일출	08:26	+01:58	1.0	1.0	25.0
4	사용안함	일몰	18:07	-00:02	1.0	1.0	20.0
5	사용안함	일몰	18:11	+00:02	1.0	1.0	35.0
6	사용안함	고정	22:18	+00:00	1.0	1.0	23.0

전문의 설정

일사량 조절(°C)	0.0	습도 조절(°C)	0.0
일사량최소	100	습도최소	20.0
일사량최대	1000	습도최대	80.0
누적일사조절(°C)	0.0	상승시간(분/°C)	60
누적일사최소	5	하강시간(분/°C)	30
누적일사최대	100		

저장 닫기

(3) 온실내 스크린류 제어를 위한 알고리즘 개발

○ 외부스크린, 차광스크린, 보온스크린, 측면스크린 총 4개의 스크린이 개별 작동하는 프로그램 완성

○ 커튼상 설정 프로그램 화면

커튼상 설정

1 주기 데이터

사용여부	보온
작동조건	일출
시간설정	+ 00 시 33 분
최대커튼위치(%)	100

7 8 9
4 5 6
1 2 3
- 0 .

전문가 설정 (보온)

외부온도설정(℃)	10.0
열림일사설정(w/m ²)	100
닫힘일사설정(w/m ²)	1000
최소열림단계(%)	5
최대열림단계(%)	20
닫힘단계(%)	80

P	사용	작동조건	시작시각	시작상대시간	최대위치
1	보온	일출	07:00	+00:33	100
2	보온	일출	09:00	+02:33	100
3	보온	일몰	16:00	-02:13	100
4	보온	일몰	20:00	+01:47	0
5	사용안함	고정	23:14	+00:00	0
6	사용안함	고정	23:50	+00:00	0

저장 닫기

전문가 설정 (차광)

일사한계1(w/m ²)	100
일사한계2(w/m ²)	200
일사한계3(w/m ²)	500
일사한계4(w/m ²)	800
위치 (1 이하)	0 %
위치 (1~2)	20 %
위치 (2~3)	50 %
위치 (3~4)	70 %
위치 (4 이상)	0 %

공통 설정

대기시간(최소)	01 분 00 초	온도사역폭	1 ℃
대기시간(최대)	05 분 00 초	일사사역폭(w/m ²)	10
외부온도(최소)	1.0 ℃	최소커튼조절(습도)	0 %
외부온도(최대)	20.0 ℃	최대커튼조절(습도)	0 %
최소커튼조절(온도)	0 %	최소습도	90 %
최대커튼조절(온도)	20 %	최대습도	92 %
최소온도	20 ℃		
최대온도	22 ℃		

2. 피복재(유리, 비닐)에 따른 온도 변화 패턴 모니터링

가. 연구의 필요성

- (1) 우리나라 파프리카 재배는 70%가 비닐온실, 30%가 유리온실에서 재배되고 있고 재배시설내부 환경 중 특히 온도관리가 개별 농가마다 차이가 크기 때문에 파프리카의 재배시 시설내부 환경관리의 일반화를 위한 각 농가별 시설 환경데이터 수집 분석이 필요
- (2) 파프리카의 생육상 조절은 시설내부 환경중 특히 온도에 의해 영향을 크게 받지만 작물 생육의 예측이 없는 상태에서 시설내부의 온도 조절은 농가의 재배적 경험등의 현실적이지 못하고 매우 추상적인 조절만 이루어지고 있음

나. 연구목표

- (1) 피복재(유리, 비닐)에 따른 시설내부 온도변화 패턴 DB화
- (2) 우리나라 파프리카 재배의 시설내부 온도 관리의 농가별 차이 감소

다. 연구방법

- (1) 재배장소 : 청하영농조합법인(4,950m², 유리온실, 전남), 경남 L농가(9,900m², 비닐 온실, 경남)
- (2) 품종 :
 - 청하 : Helsingy(Yellow, Rijk zwaan seeds, NL),
 - 경남 L농가 : Cupra(Red, Enza zaden, NL), Kelly(Yellow, Deruiter seeds, NL)
- (3) 재식밀도
 - 청하 : 3.5plants/m² (7 stems/m²), 경남: 3.4plants/m² (6.8stems/m²)
- (4) 재배기간:

청하: 2008년 8월 29일 ~ 2009년 7월 27일	경남 L농가: 2008년 8월 27일 ~ 2009년 7월 30일
- 파종: 2008년 7월 27일	- 파종: 2008년 7월 29일
- 정식: 2008년 8월 29일	- 정식: 2006년 8월 27일
- 첫 수확일: 2008년 11월 18일	- 첫 수확일: 2008년 11월 15일
- 수확종료일: 2009년 7월 27일	- 수확종료일: 2009년 7월 30일

- (5) 작물재배
 - 수경재배
 - 배양액 처방: 농촌진흥청 표준 배양액 처방전
 - 근권부 관리: 급액 EC 2.5 ~ 3.0, pH 5.5 ~ 6.0
 - 시설내부 환경관리: Magma(그린씨에스, 한국) 복합환경제어기
- (6) 조사항목
 - 온실별 시설내부 온도(Interval 1 minute)

라. 연구결과

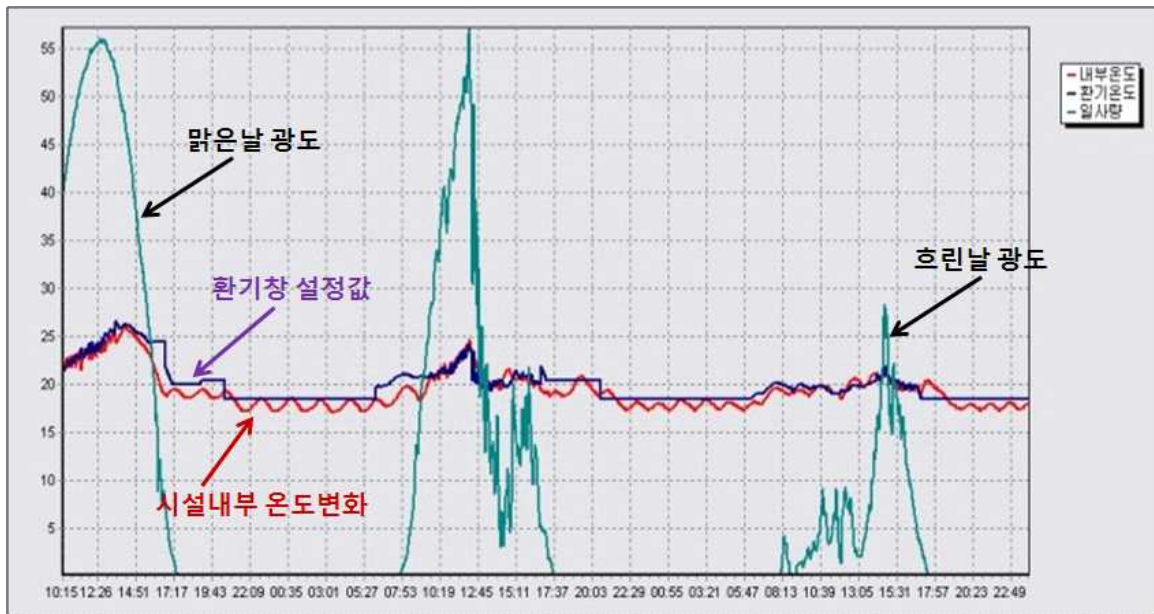


그림 2-1. 맑은날과 흐린날의 광도, 환기량 설정과 시설내부 온도변화 패턴 모니터링

- 시설내부 온도변화는 일중 광도의 변화 패턴과 긴밀한 연관이 있고 복합환경 제어기를 통한 광도변화에 따른 환기량 설정값과 시설내부 온도변화 패턴이 비슷한 경향으로 관리되고 있었음(그림 2-1).

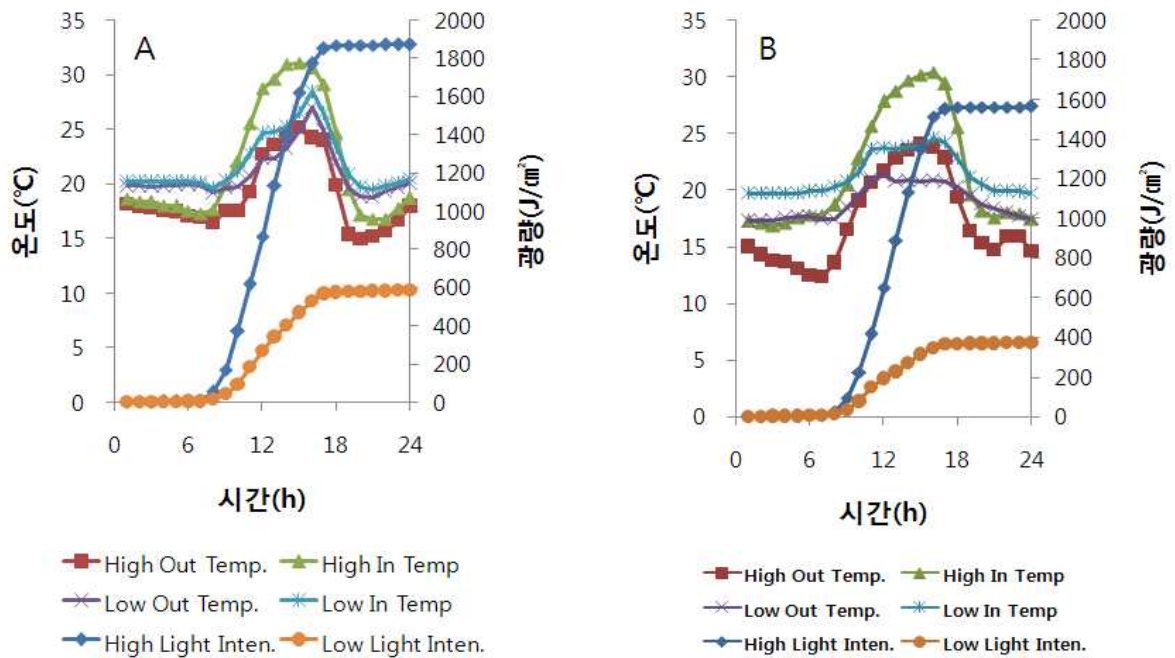


그림2-2. 가을철(10월) 비닐온실(A)과 유리온실(B)의 온실내부 온도변화

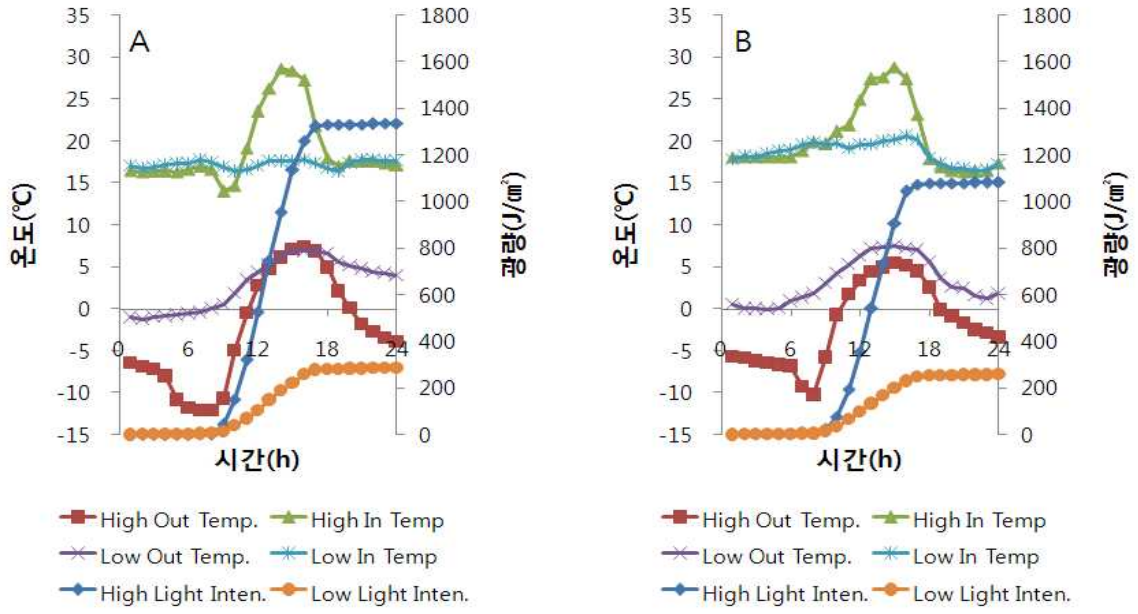


그림 2-3. 겨울철(1월) 비닐온실(A)과 유리온실(B)의 온실내부 온도변화

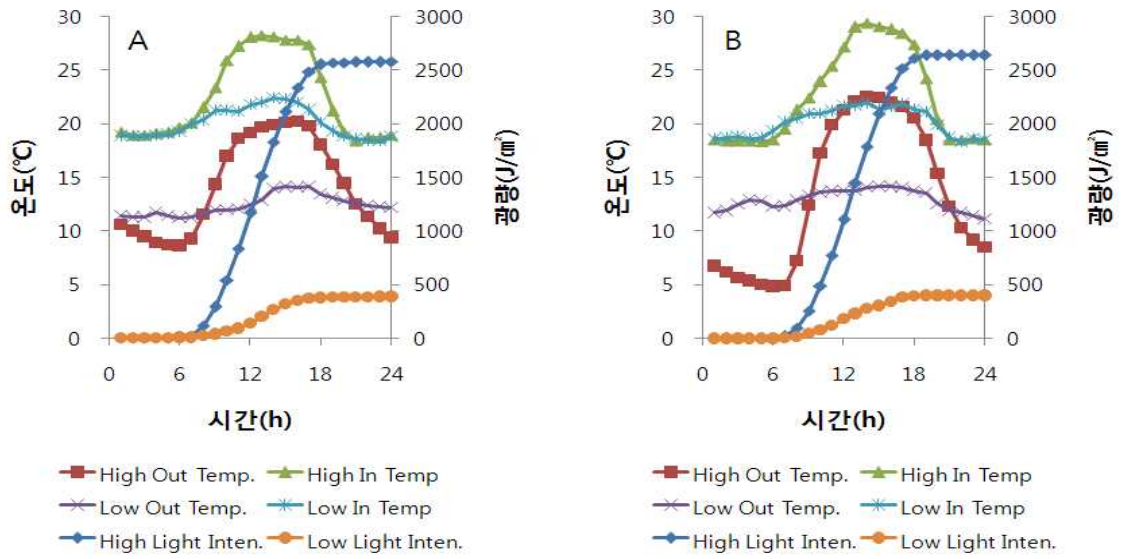


그림 2-4. 봄철(4월) 비닐온실(A)과 유리온실(B)의 온실내부 온도변화

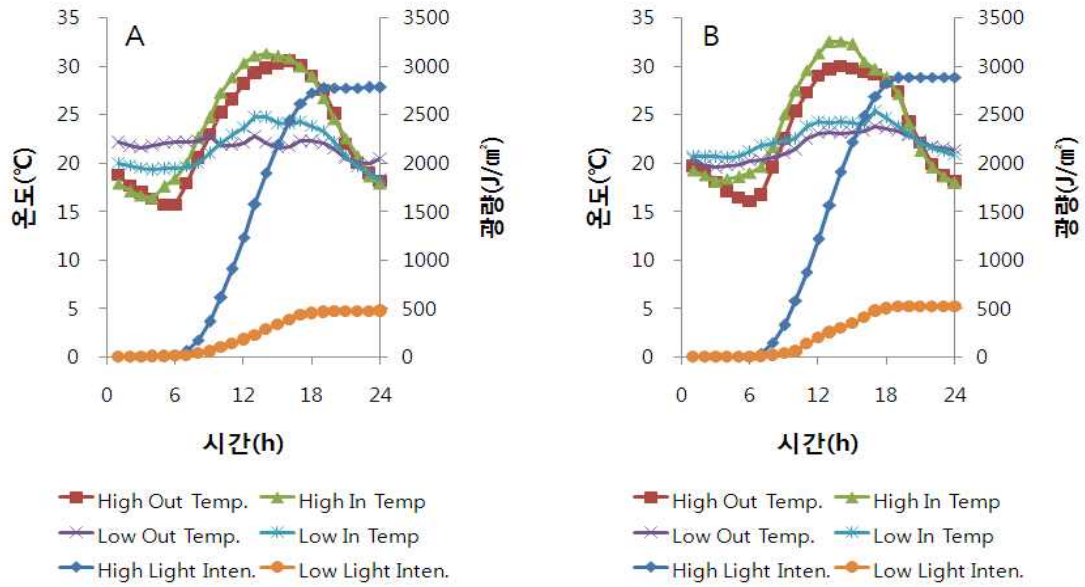


그림 2-5. 여름철(6월) 비닐온실(A)과 유리온실(B)의 온실내부 온도변화

- 계절별 시설내부 온도변화는 외부 광도와 밀접한 관련성을 가지고 있고 일중 광도가 일정하기 증가하여 감소하는 맑은날의 경우는 시설내부 온도관리 마찬가지로 비닐온실과 유리온실에서 균일하게 증가 감소 하였고, 흐린날의 경우는 시설내부 온도가 비닐온실과 유리온실 모두 불균일하게 관리되는 것을 알 수 있었음(그림 2-2 ~ 그림 2-5).
- 시설내부 온도변화는 광도 뿐만아니라 외부 온도에 의해서도 큰 영향을 받았고, 특히 비닐온실의 가을철과 겨울철 일출전 시설외부 온도가 급격하게 감소하고 일출 후 증가 패턴을 보이는데 비닐온실의 시설내부 온도 변화 마찬가지로 일출 전후를 기점으로 변화 폭이 커 작물관리 측면에서 식물체 및 과실에 결로를 유발시켜 각종 병과 생리장애의 원인이 될 수 있어 일출 전·후 시설내부 온도가 급격히 변하는 것을 방지해야함.
- 일출후 차광 및 보온 스크린의 개폐단계 및 개폐범위가 실내온도와 습도에 영향을 받지 않도록 차광과 보온스크린의 제어프로그램을 적극 활용 하여야 함.

3. 외부온도와 일사가 온실 내 온도 변화에 미치는 영향 분석

가. 연구의 필요성

- (1) 시설내부 온도 변화는 외부 광도, 외부 온도, 환기창 설정값에 의해 영향을 받는데 그중 가장 중요하게 다뤄야 할 것은 에너지 절감 차원에서 외부 광도와 외부 온도에 의한 시설내부 온도관리 임.
- (2) 현재 파프리카 재배 농가들 대부분 외부 환경 변화에 의한 시설내부 온도관리가 미흡하고 한번 설정값을 셋팅해 놓으면 바꾸지 않으려는 성향이 강함.

나. 연구목표

- (1) 외부 온도와 일사강도가 시설내 온도 변화에 미치는 영향 분석
- (2) 외부 온도와 일사강도에 따른 시설내부 온도 설정값 다변화 모색

다. 연구방법

- (1) 재배장소: 청하영농조합법인(4,950m², 유리온실, 전남), 경남 L농가(9,900m², 비닐온실, 경남)
- (2) 품종:
 - 청하 : Helsinky (Yellow, Rijk zwaan seeds, NL),
 - 경남 L농가 : Cupra (Red, Enza zaden, NL), Kelly (Yellow, Deruiter seeds, NL)
- (3) 재식밀도
 - 청하 : 3.5plants/m² (7 stems/m²), 경남 : 3.4plants/m² (6.8stems/m²)
- (4) 재배기간:

청하: 2008년 8월 29일 ~ 2009년 7월 27일	경남 L농가: 2008년 8월 27일 ~ 2009년 7월 30일
- 파종: 2008년 7월 27일	- 파종: 2008년 7월 29일
- 정식: 2008년 8월 29일	- 정식: 2006년 8월 27일
- 첫 수확일: 2008년 11월 18일	- 첫 수확일: 2008년 11월 15일
- 수확종료일: 2009년 7월 27일	- 수확종료일: 2009년 7월 30일

- (5) 작물재배
 - 수경재배
 - 배양액 처방: 농촌진흥청 표준 배양액 처방전
 - 근권부 관리: 급액 EC 2.5 ~ 3.0, pH 5.5 ~ 6.0
 - 시설내부 환경관리: Magma(그린씨에스, 한국) 복합환경제어기
- (6) 조사항목
 - 온실별 시설외부 온도 및 광도, 시설내부 온도(Interval 1 minute)

라. 연구결과

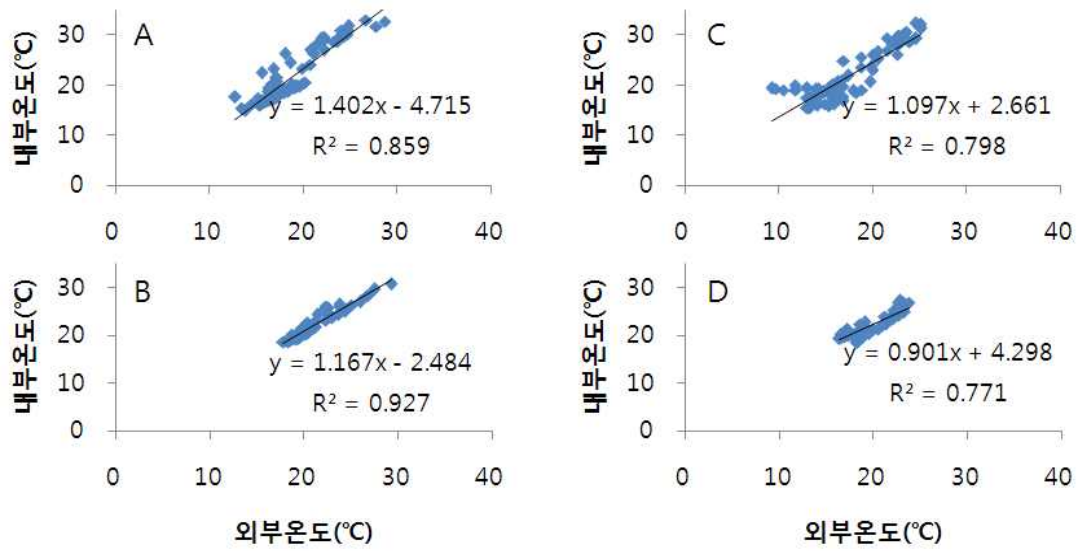


그림 3-1. 가을철(10월) 외부 온도에 따른 시설내부 온도변화(3일간 시간당 평균온도)
(A:맑은날 비닐온실, B:흐린날 비닐온실, C:맑은날 유리온실, D:흐린날 유리온실)

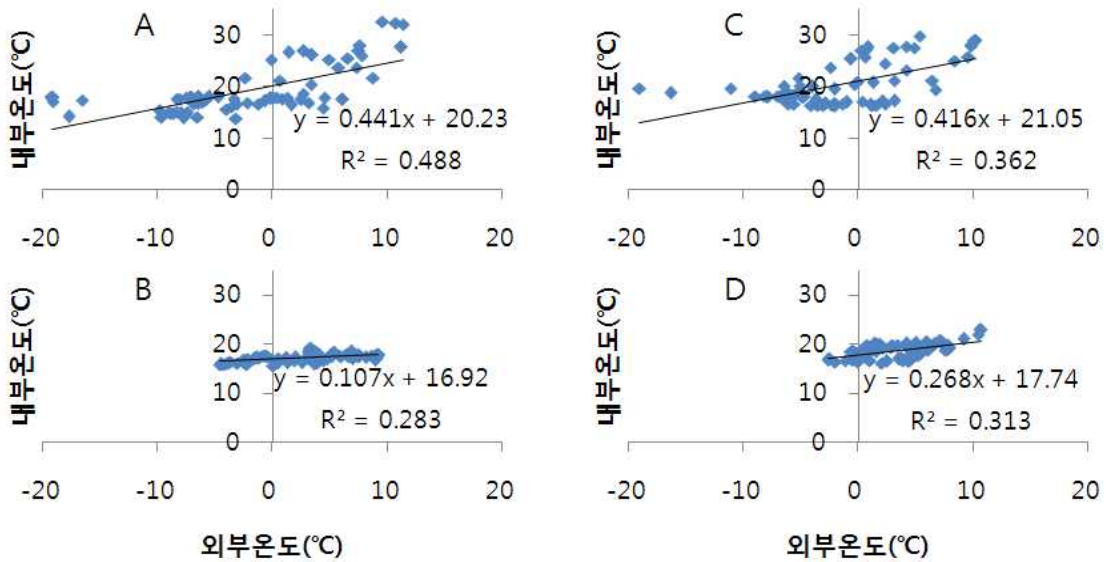


그림 3-2. 겨울철(1월) 외부 온도에 따른 시설내부 온도변화(3일간 시간당 평균온도)
(A:맑은날 비닐온실, B:흐린날 비닐온실, C:맑은날 유리온실, D:흐린날 유리온실)

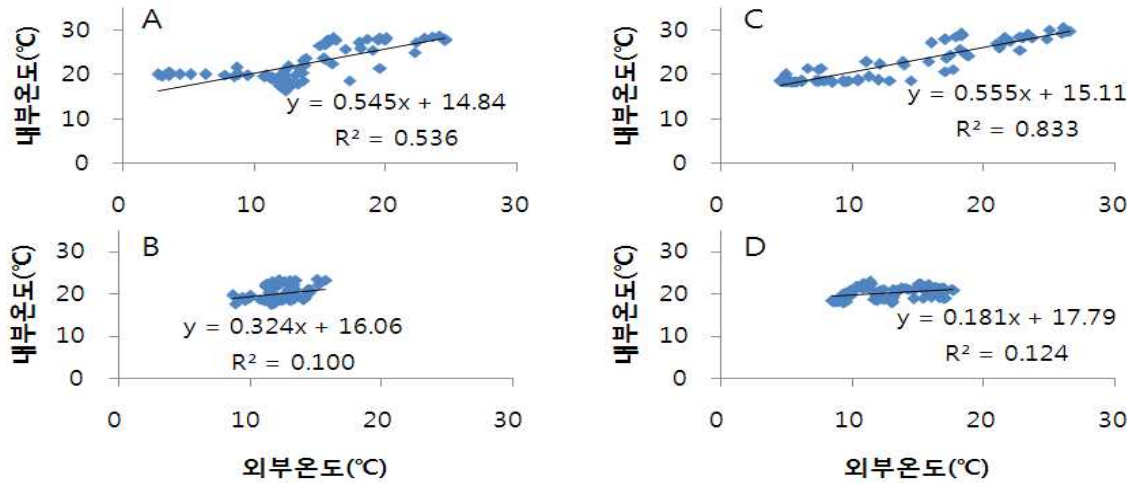


그림 3-3. 봄(4월) 외부 온도에 따른 시설내부 온도변화(3일간 시간당 평균온도)
(A:맑은날 비닐온실, B:흐린날 비닐온실, C:맑은날 유리온실, D:흐린날 유리온실)

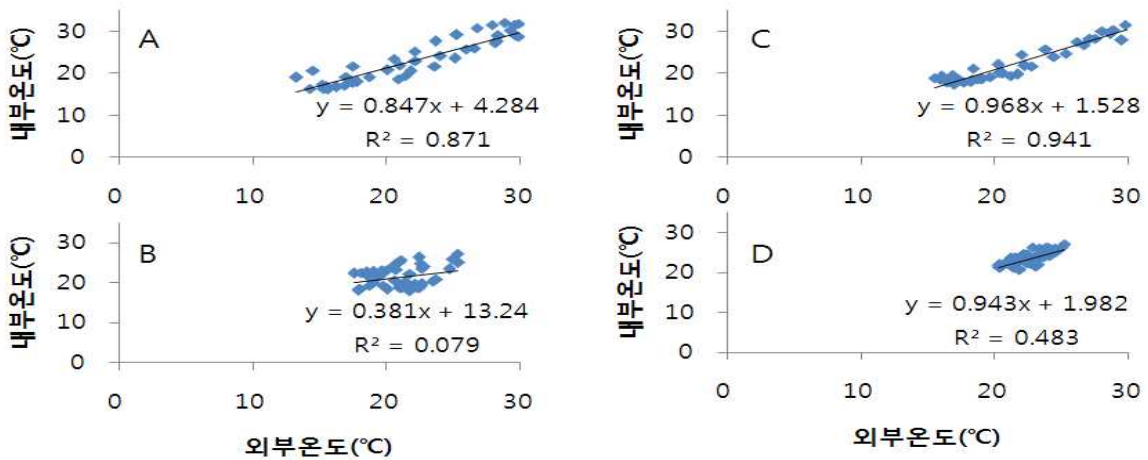


그림 3-4. 여름철(6월) 외부 온도에 따른 시설내부 온도변화(3일간 시간당 평균온도)
(A:맑은날 비닐온실, B:흐린날 비닐온실, C:맑은날 유리온실, D:흐린날 유리온실)

- 파프리카의 정식 후 가을철 외부 온도 대비 시설내부 온도변화는 매우 유의한 선형적인 관계가 있었지만 외부온도가 급격히 감소하는 겨울철의 경우 외부 온도와 시설내부 온도는 큰 상관관계가 없었음(그림 3-1, 그림 3-2).
- 유리온실(0.545 inside °C/outside °C)과 비닐온실(0.555 inside °C/outside °C) 모두 봄철의 맑은날에는 외부온도의 영향을 많이 받았지만 흐린날은 큰 영향을 받지 않음(그림 3-3).
- 여름철 마찬가지로 유리온실(0.847 inside °C/outside °C)과 비닐온실(0.968 inside °C/outside °C) 모두 외부온도의 영향을 많이 받았지만 흐린날은 큰 영향을 받지 않음 (그림 3-4)
- 비닐온실과 유리온실 모두 흐린날에 비해 맑은날 외부 온도에 따른 시설내부 온도 변화가 영향을 크게 받음.
- 에너지 절감 측면과 계절별 균일한 환경관리 측면에서 겨울철을 중심으로 외부 온

도가 매우 낮은 겨울철과 늦가을, 초봄에는 외부 온도에 따른 시설내부 온도관리가 매우 중요하게 여겨지며, 환기창 설정값을 외부 온도변화에 따른 시시각각 바뀔 수 있는 프로그램 개발이 시급할 것으로 사료됨.

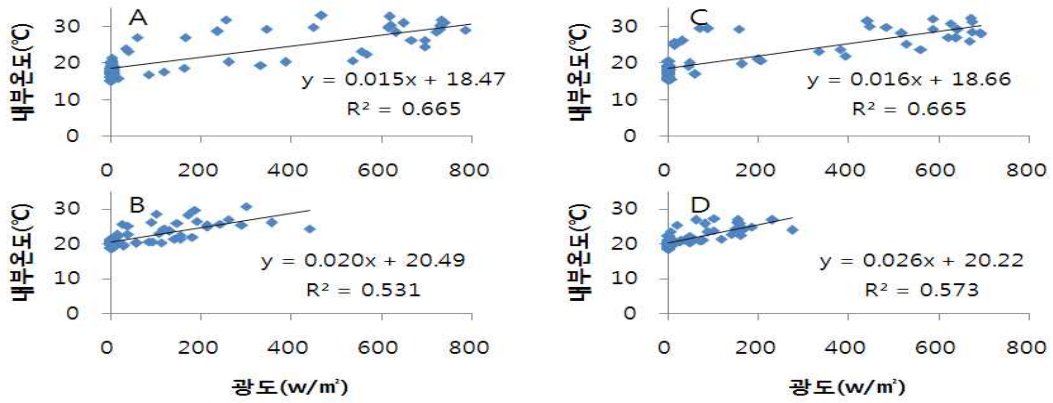


그림 3-5. 가을철(10월) 외부 광도에 따른 시설내부 온도변화(3일간 시간당 평균온도)
(A:맑은날 비닐온실, B:흐린날 비닐온실, C:맑은날 유리온실, D:흐린날 유리온실)

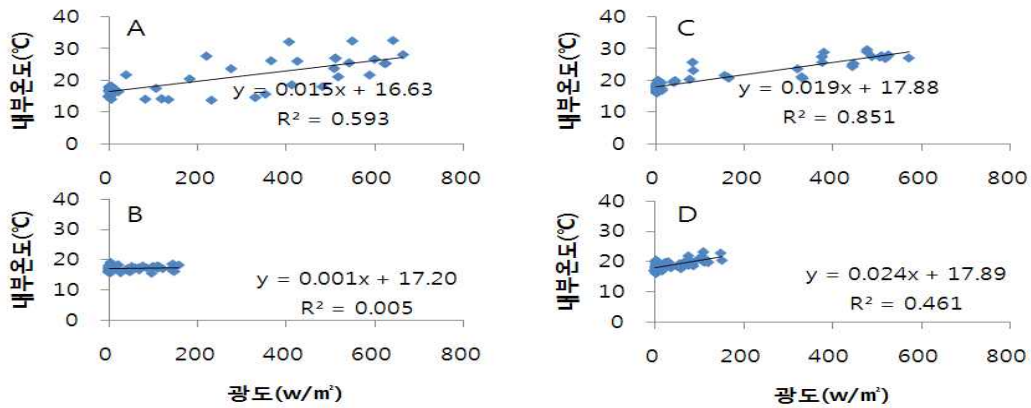


그림 3-6. 겨울철(1월) 외부 광도에 따른 시설내부 온도변화(3일간 시간당 평균온도)
(A:맑은날 비닐온실, B:흐린날 비닐온실, C:맑은날 유리온실, D:흐린날 유리온실)

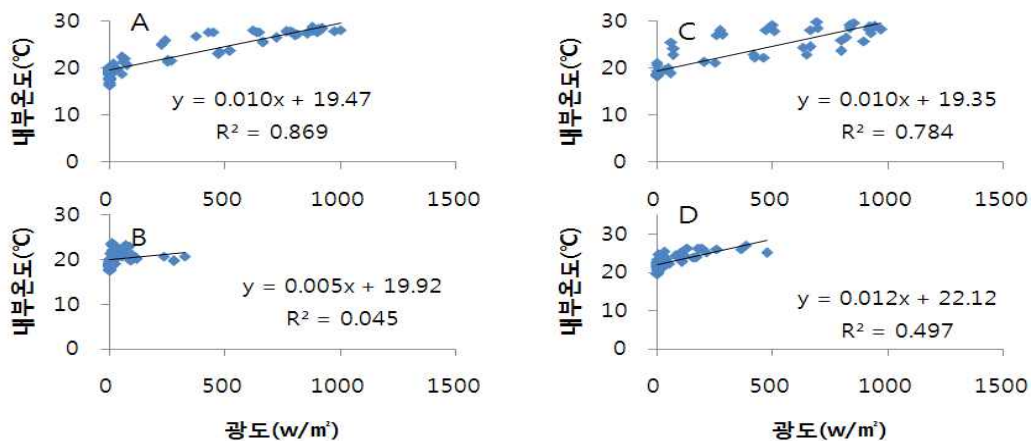


그림 3-7. 봄철(4월) 외부 광도에 따른 시설내부 온도변화(3일간 시간당 평균온도)
(A:맑은날 비닐온실, B:흐린날 비닐온실, C:맑은날 유리온실, D:흐린날 유리온실)

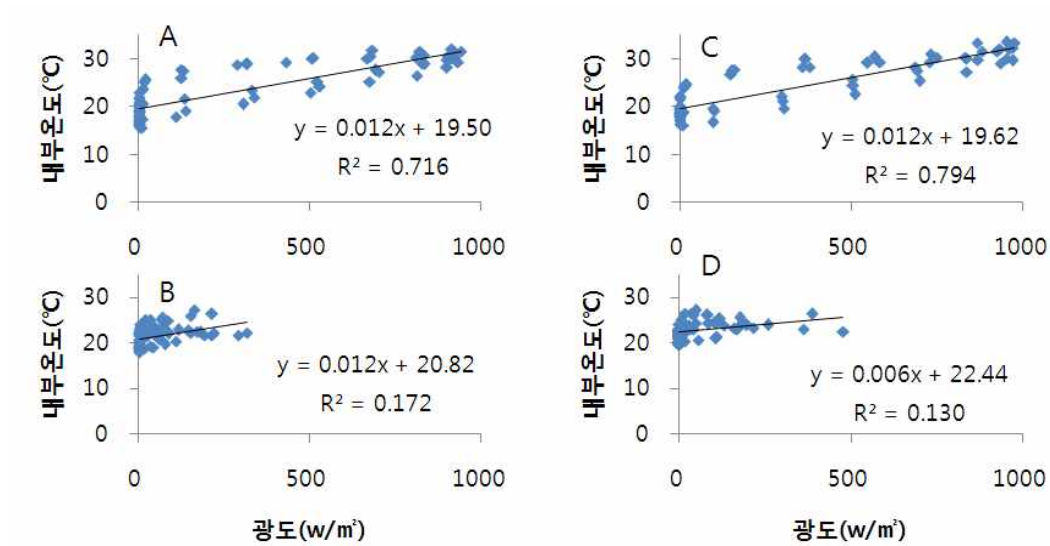


그림 3-8. 여름철(6월) 외부 광도에 따른 시설내부 온도변화(3일간 시간당 평균온도)
(A:맑은날 비닐온실, B:흐린날 비닐온실, C:맑은날 유리온실, D:흐린날 유리온실)

- 가을철 단위 외부 광도 1w당 시설내부 온도는 비닐온실 0.015℃, 유리온실 0.016℃로 외부 광도가 증가 할수록 시설내부 온도 마찬가지로 증가하였으나, 흐린날은 외부 광도가 낮기 때문에 시설내부 온도에 큰 영향을 주지 못하였음(그림 3-5).
- 겨울철은 비닐온실 0.015℃, 유리온실 0.019℃로 외부 광도 대비 시설내부 온도 증가율은 비닐온실에 비해 유리온실에 0.004℃가 더 높았음(그림 3-6).
- 봄철의 경우 두 온실 모두 0.010℃로 비슷한 경향을 보였고, 여름철도 0.012℃로 두 온실이 비슷한 경향을 보였음(그림 3-7, 그림 3-8).
- 여름을 제외한 겨울, 늦가을, 초봄에는 시설내부 난방소모량이 매우 높은 계절로 맑은날의 경우 자연 태양에너지에 의한 시설내부 온도관리가 충분히 가능할 것으로 사료되며 난방비 절감에 크게 영향을 미칠 것으로 사료됨.
- 외부 광도 변화에 따른 시설내부 24시간 평균온도 관리가 병행이 되면 시설 내·외부 환경에 따른 작물관리가 유리해져 균일한 작물생장과 외부 환경 이용효율이 현재보다 높아질 것으로 판단됨.

4. 일출, 일몰시 온도와 습도변화에 따른 환경조절 프로그램 개발

가. 연구의 필요성

- (1) 외부 온도가 낮은 겨울철의 경우 일출과 일몰 전후로 시설내부 온·습도 변화 패턴이 농가별로 매우 상이하고 작물생장에 불리한 조건으로 관리되고 있어 일출과 일몰을 기점으로 효율적인 환기 및 온도제어가 되지 않고 있음.
- (2) 일출 전후의 온도변화와 일몰 전후의 온도변화는 작물의 성장 및 상 전환(착과 및 건물분배)에 가장 큰 영향을 미치고 있는데 이 시기 온도변화는 농가별 매우 상이하고 균일한 작물 관리를 위한 일출, 일몰 전후의 온·습도 관리가 필요함.

나. 연구목표

- (1) 일출 및 일몰 전후 온·습도변화의 효율적 제어 환경조절 프로그램 개발

다. 연구방법

- (1) 재배장소 : 청하영농조합법인(4,950㎡, 유리온실, 전남), 경남 L농가(9,900㎡, 비닐온실, 경남)
- (2) 품종 :
 - 청하 : Helsingy (Yellow, Rijk zwaan seeds, NL),
 - 경남 L농가 : Cupra (Red, Enza zaden, NL), Kelly (Yellow, Deruiter seeds, NL)
- (3) 재식밀도
 - 청하 : 3.5plants/m² (7 stems/m²), 경남 : 3.4plants/m² (6.8stems/m²)
- (4) 재배기간:

청하: 2008년 8월 29일 ~ 2009년 7월 27일	경남 L농가: 2008년 8월 27일 ~ 2009년 7월 30일
- 파종: 2008년 7월 27일	- 파종: 2008년 7월 29일
- 정식: 2008년 8월 29일	- 정식: 2006년 8월 27일
- 첫 수확일: 2008년 11월 18일	- 첫 수확일: 2008년 11월 15일
- 수확종료일: 2009년 7월 27일	- 수확종료일: 2009년 7월 30일

- (5) 작물재배
 - 수경재배
 - 배양액 처방: 농촌진흥청 표준 배양액 처방전
 - 근권부 관리: 급액 EC 2.5 ~ 3.0, pH 5.5 ~ 6.0
 - 시설내부 환경관리: Magma(그린씨에스, 한국) 복합환경제어기
- (6) 조사항목
 - 온실별 시설외부 온도 및 광도, 시설내부 온도(Interval 1 minute)

라. 연구결과

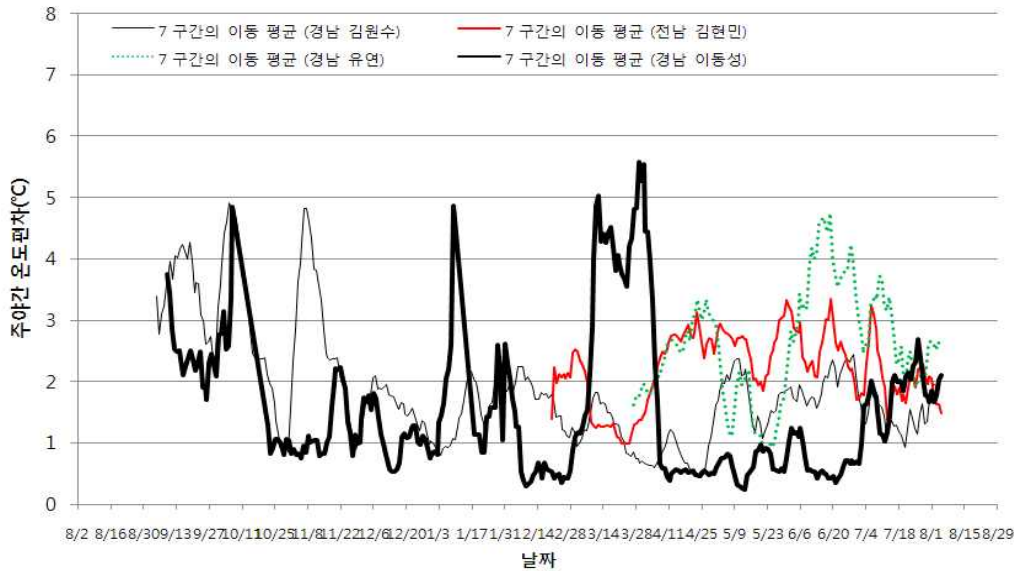


그림 4-1. 농가별 파프리카 작형 내 주야간 온도 편차(DIF)
(DIF = 일출 후 4시간 평균온도 - 일출 전 4시간 평균온도)

- 일출 전후 온도편차(DIF)는 작물의 길이생장에 크게 영향을 미치는데 DIF는 농가별 큰차이를 나타내고 있으며 불균일한 DIF의 관리는 작물의 불균일한 길이생장의 원인을 초래함(그림 4-1).
- 주야간 온도 편차가 2 ~ 3 °C 나는 붉은색 그래프가 굵은 검은색 그래프보다 수확량이 월등히 높았음.

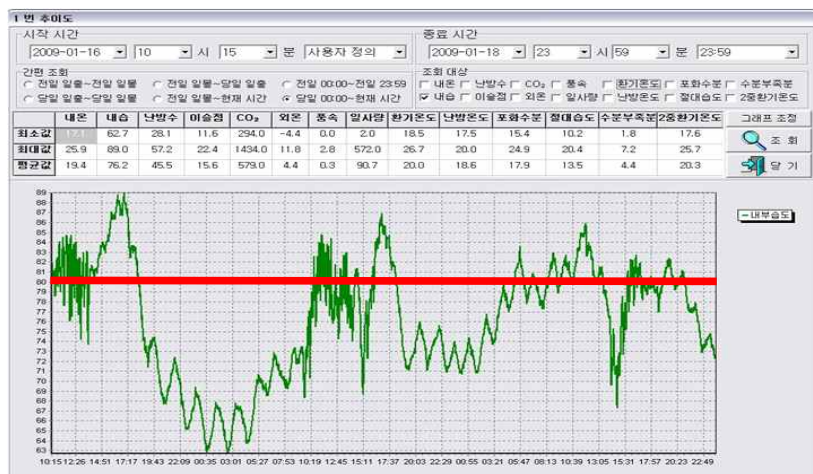


그림 4-2. 일중 습도 변화 패턴 모니터링

- 일출전후에 습도를 80%에 맞추기 위해 제어되는 모습을 볼 수 있음.

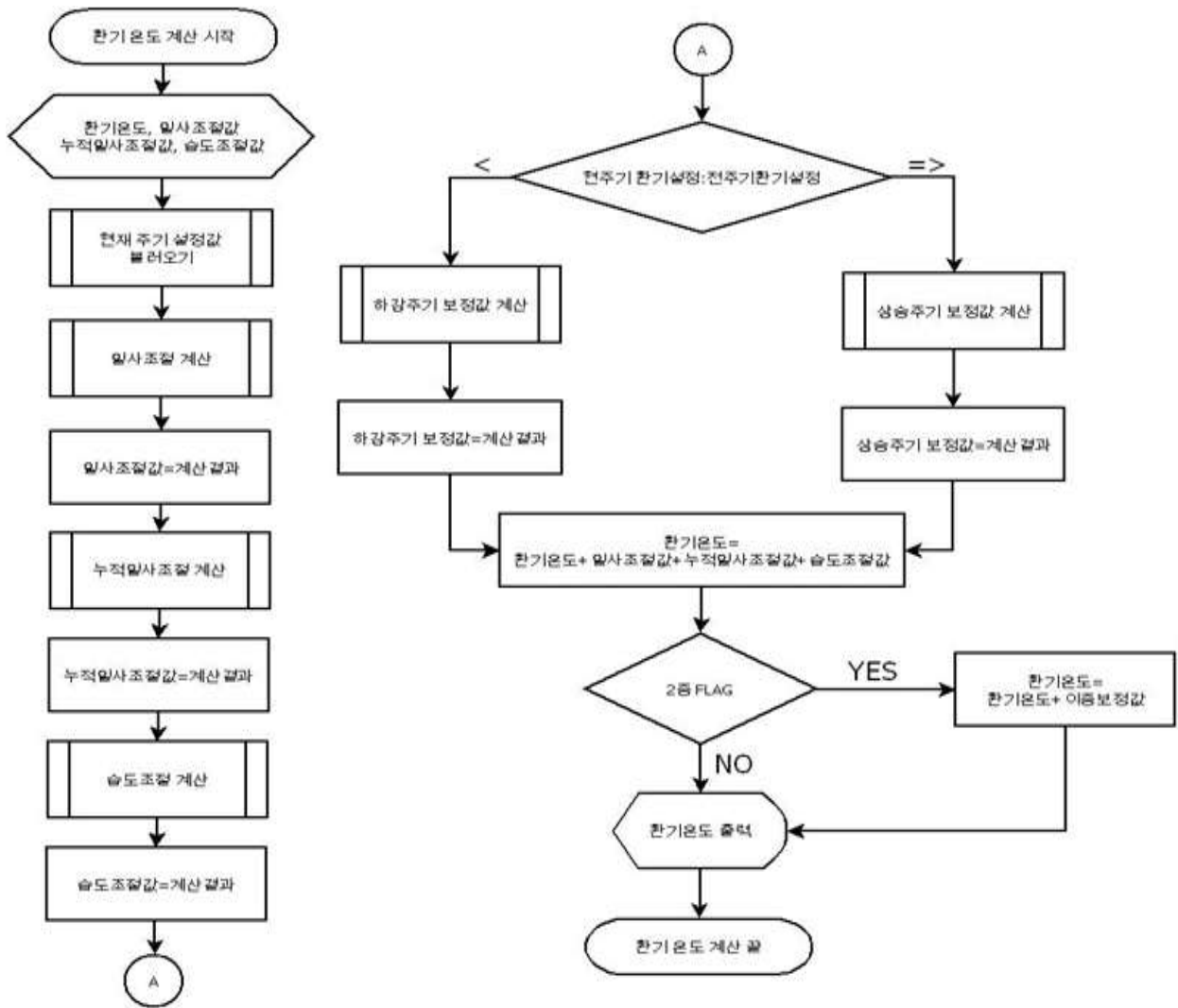


그림 4-3. 온·습도 조절 프로그램의 제어 플로어 차트

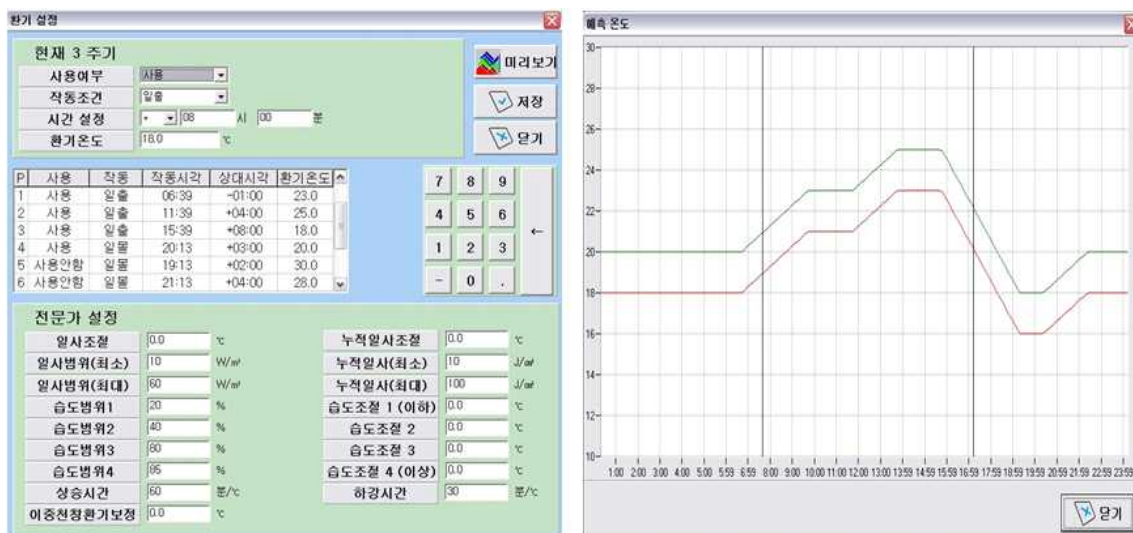


그림 4-4. 개발 프로그램 상의 시설내부 온·습도 조절(A) 및 설정값(B) 현황
 - 파프리카 재배 농가의 효율적인 일출, 일몰 전후의 온·습도 관리를 위한 쉬운 설정 방법 및 제어 방법으로 시설내부 온·습도 온도 변화를 예측할 수 있는 프로그램 개발 후 농가에 배포 중임

5. CO₂ 사용을 위한 제어 알고리즘 개발

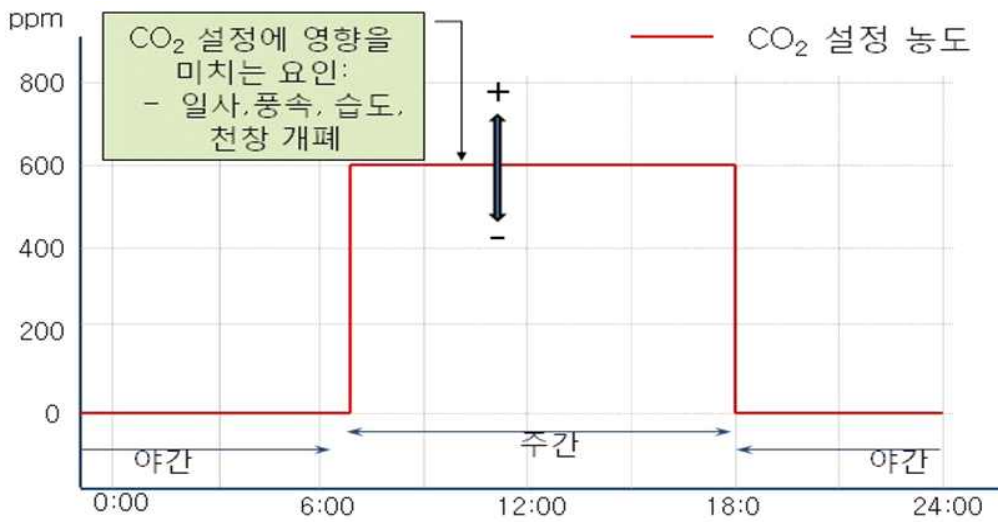


그림 5-1. 환경요인에 따른 CO₂ 설정 방안

- 온실내 CO₂ 공급을 위한 알고리즘을 구현하기 위해 고려되어야 할 환경요인은 일사, 풍속, 습도, 천창개폐 속도 등이 있음
- 주간에 공급되는 CO₂ 의 경우 설정 목표 농도를 600ppm으로 하였으며, 환경요인을 고려한 알고리즘을 구현하였음

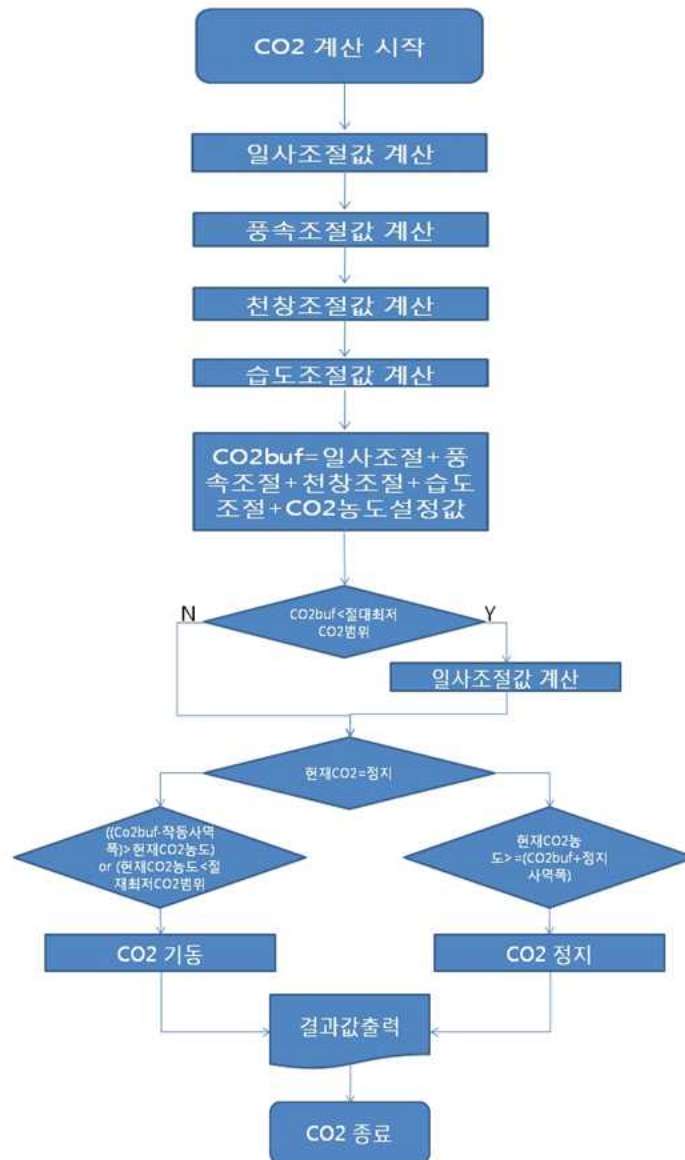


그림 5-2. CO₂ 제어 알고리즘

- CO₂ 제어를 위한 알고리즘 중 가장 먼저 고려한 환경요인은 일사로 조정하였으며, 이후 풍속, 천창조절값, 습도조절값의 순서로 결정하였음
- 주간 온실내 환경에서 환기창의 개폐에 관여하는 요인은 외부환경요인인 일사량이므로 이에 따른 추가 인자를 CO₂ 시비를 위한 버퍼값으로 설정하였으며, 버퍼값의 환산은 일사조절, 풍속조절, 천창조절, 습도조절 및 CO₂ 농도 설정값을 합산하여 고려하였음
- CO₂ 버퍼값이 최저 절대값 범위내에 있을 경우에는 일사조절을 위한 환기창 조절을 통해 CO₂ 버퍼값이 최저 절대값보다 크게 될 때까지 CO₂ 시비가 이루어질 수 있도록 하였으며, 최대 절대값보다 클 경우에는 CO₂ 시비를 정지하기 위한 조건으로 진입할 수 있도록 하였음
- CO₂ 시비의 시작과 정지에 관여하는 요인으로는 CO₂ 버퍼의 작동 사역폭을 주어 현재 CO₂ 농도보다 버퍼값과 사역폭의 합산값이 크거나 작은 조건을 통해 이

루어 질 수 있도록 하였음

- CO₂ 제어의 전체 알고리즘은 온실내 환경요인과 이를 조절하기 위한 버퍼값, 사역폭을 통해 이루어질 수 있도록 구성하였음



그림 5-3. CO₂ 설정 프로그램 화면

- 환경제어 시스템내 CO₂ 설정을 위한 메뉴 구성은 전문가 설정 모드를 통해 이루어질 수 있도록 하였고 이중 일사량 조절 및 범위, 풍속조절 및 범위, 천창조절 및 범위, 습도조절 및 범위의 설정을 통해 가능하도록 하였음
- CO₂ 제어의 사역폭은 작동사역폭 및 정지사역폭으로 구성하였으며, 이는 작동 및 정지를 위한 보정값으로 사용자 설정이 가능하도록 하였음
- 사역폭의 최소값은 50ppm 이상으로 구성되는데 이는 CO₂ 계측 센서의 오차범위를 고려하였음
- CO₂ 농도 변경을 위하여 하루를 6개의 주기로 구분하여, 주기마다 설정값을 달리 할 수 있도록 하였음

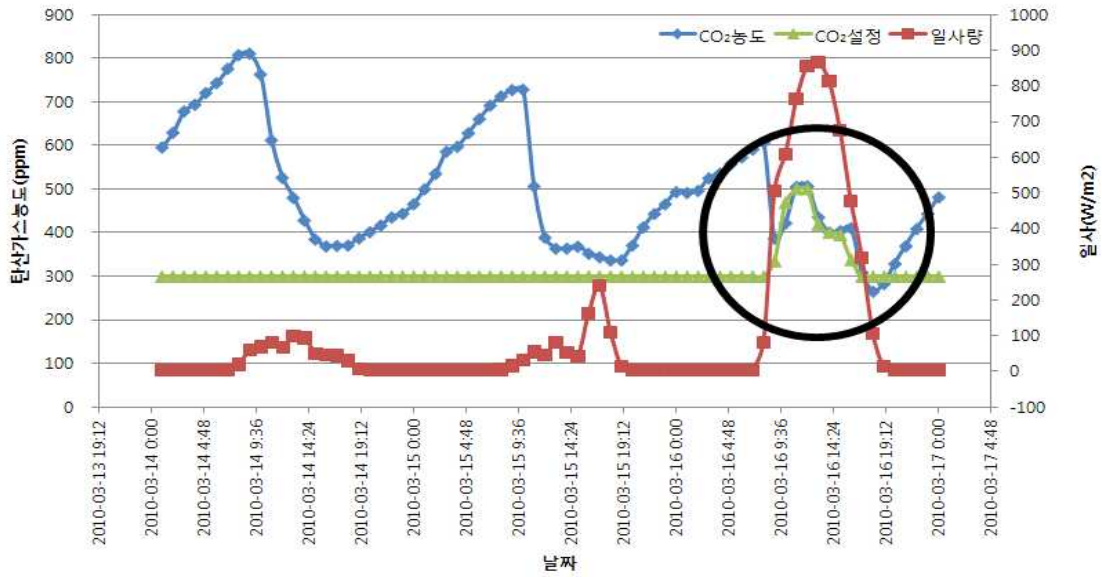


그림 5-4. 일사값 변화에 따른 CO₂ 설정값 자동 변경

- 재배온실내 일사값 변화에 따른 CO₂ 설정값과 CO₂ 농도변화에 대한 실제 작동 양상을 보면 작물광합성이 이루어지는 주간에는 설정값에 근접한 결과를 나타내고 있음
- 일사량 증가에 따른 환기조절로 온실내 CO₂ 농도 변화에 대한 값은 사역폭 및 버퍼값 설정으로 제어될 수 있도록 하였음

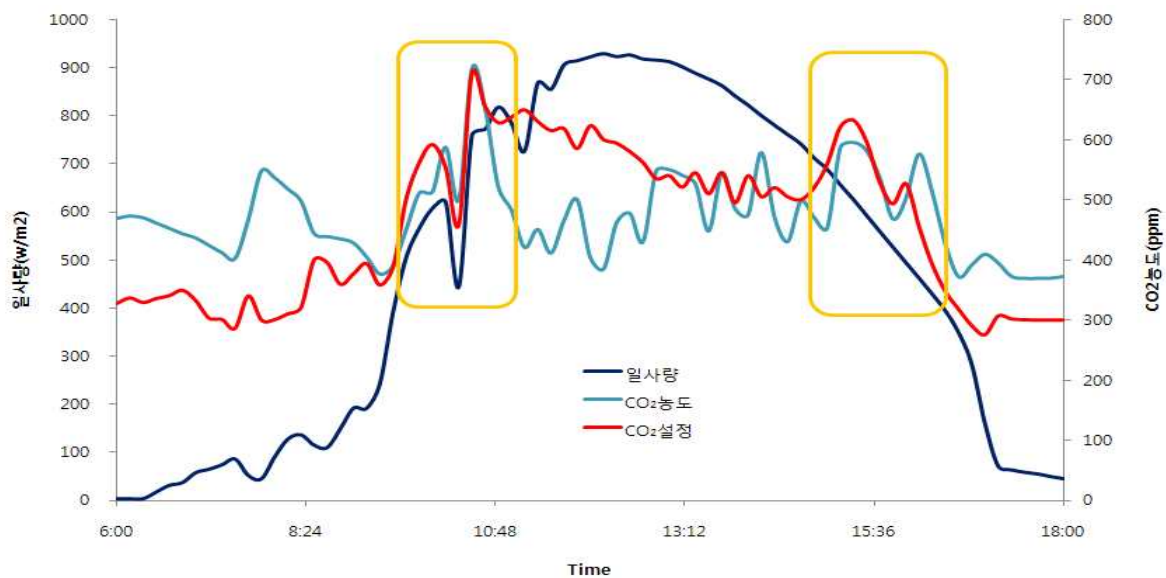


그림 5-5. 일사량에 따른 CO₂ 설정값 변동 및 온실내 CO₂ 농도 관계

- 일중 CO₂ 설정과 공급농도에 관련된 제어는 일사량 변화에 의한 제어가 이루어질 수 있도록 하였으며 특히 오전 동안의 CO₂ 농도는 일사량 및 환기설정 에 따른 온실내 공기유동 변화값을 고려하여 제어될 수 있도록 하였음

6. 난방수 PID 제어프로그램 개발

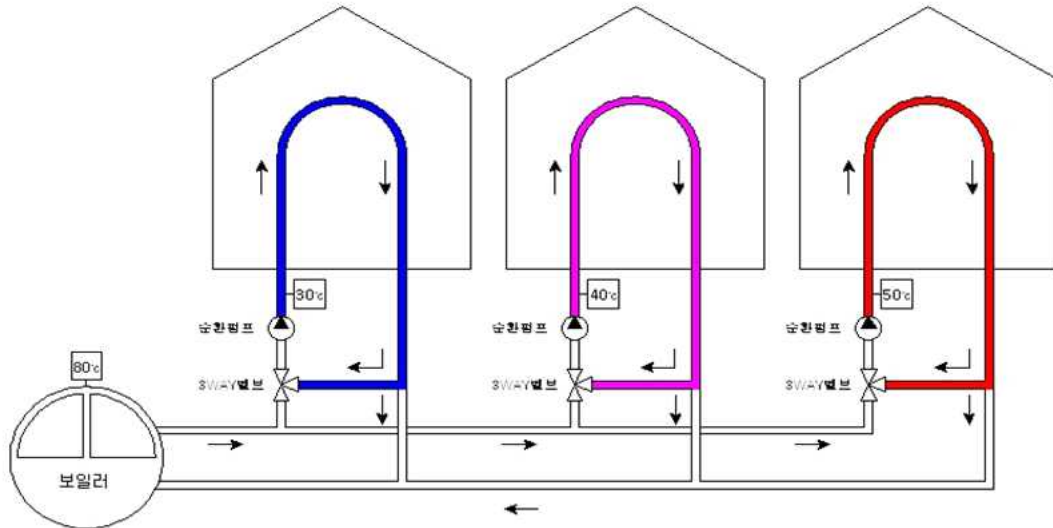


그림 6-1. 난방수 제어를 위한 3Way 밸브, 온도센서 위치

- 온실난방은 동계 작물 생육을 위한 적온 유지를 위한 중요한 방안임
- 온실난방은 난방수 제어를 통해 이루어지게 되는데 공급라인, 회수라인, 순환라인 이 만나는 지점의 3Way 밸브를 통해 제어되고 있음
- 난방의 유효성 여부는 각 라인의 정확성을 통해 이루어지게 되는데 이를 위한 방안으로 순환라인 안쪽으로 온도 센서를 부착하여 온실내 공급되는 온수의 온도를 파악하여 이를 환경제어컴퓨터에 정보를 보낼 수 있도록 하여 적정 난방이 이루어질 수 있도록 하였음
- 온수난방이 아닌 공기난방에서는 난방시작부분과 종결부분의 온도편차가 많아 균일한 온도설정 및 분포가 어려운 구조로 되어 있으나 온수난방의 경우에는 온실 바닥 및 벽면에 설치된 난방파이프를 통한 난방이 이루어지는 구조이므로 좀 더 정밀한 난방제어가 가능하게 됨
- 3Way 밸브의 제어는 순환라인내에 설치된 온도센서의 온도값을 통해 이루어지도록 하였으며, 각 밸브의 제어는 PID제어를 통해 이루어지도록 하였음

현재 1 주기

사용여부	사용
작동조건	일몰
시각	- 01 시 00 분
난방수온도	20.0 °C
온도사역폭	0.5 °C
산정수온도	0.0 °C

7 8 9
4 5 6
1 2 3
- 0 .

저장 닫기

주기	사용	작동조건	작동시각	상대시각	최저온도(1)	최고온도(1)	최저온도(2)	최고온도(2)	난방수온도
1	사용	일몰	04:39	-01:00	30.0	70.0	30.0	70.0	20.0
2	사용	일몰	19:18	+00:00	30.0	70.0	30.0	70.0	26.0
3	사용	고정	11:00	+00:00	30.0	80.0	30.0	80.0	22.0
4	사용안함	고정	12:01	+00:00	10.0	50.0	10.0	50.0	40.0
5	사용안함	고정	18:00	+00:00	10.0	70.0	10.0	80.0	35.0
6	사용안함	고정	20:00	+00:00	10.0	80.0	10.0	80.0	32.0

산정온도 설정

일사영향	0.0 °C	습도영향	0.0 °C
일사최소	100.0 W/m²	습도최소	20.0 %
일사최대	600.0 W/m²	습도최대	49.0 %
상승시간	60 분/°C	하강시간	30 분/°C

3 WAY 설정

최저온도 (1)	30.0 °C
최고온도 (1)	70.0 °C
최저온도 (2)	30.0 °C
최고온도 (2)	70.0 °C

그림 6-2. 난방 설정 프로그램 화면

- 난방 설정을 위해서 이용되는 3Way 밸브의 설정은 각각 설치된 최고, 최저온도의 설정을 통해 이루어지도록 하였음

3 WAY 밸브 - (1)

개폐단계 10 %

3 WAY 밸브 - (2)

개폐단계 10 %

공동 설정

열림대기(최소)	00 분 10 초	외부온도(최저)	1.0 °C
열림대기(최대)	00 분 20 초	외부온도(최고)	20.0 °C
닫힘대기(최소)	00 분 10 초	온도사역폭	0.1 °C
닫힘대기(최대)	00 분 20 초	최소개폐폭	1 %

7 8 9
4 5 6
1 2 3
- 0 .

저장 닫기

그림 6-3. 3Way 밸브 개폐 단계 설정 프로그램 화면

- 3Way 밸브의 개폐는 단계별 조절이 가능하도록 하였고 각 개폐단계에서는 열리거나 닫히는 대기시간을 두어 이를 버퍼로 이용할 수 있도록 하였음
- 3Way 밸브 대기시간은 외부 온도가 낮을 때, 열림 신호가 빨리 오도록 하였고, 외부 온도가 높을 때에는 닫힘 신호가 빨리 오도록 하여, 외부 온도의 높낮이의 따라 열고 닫힘 시간이 비례적으로 작동하게 하였음

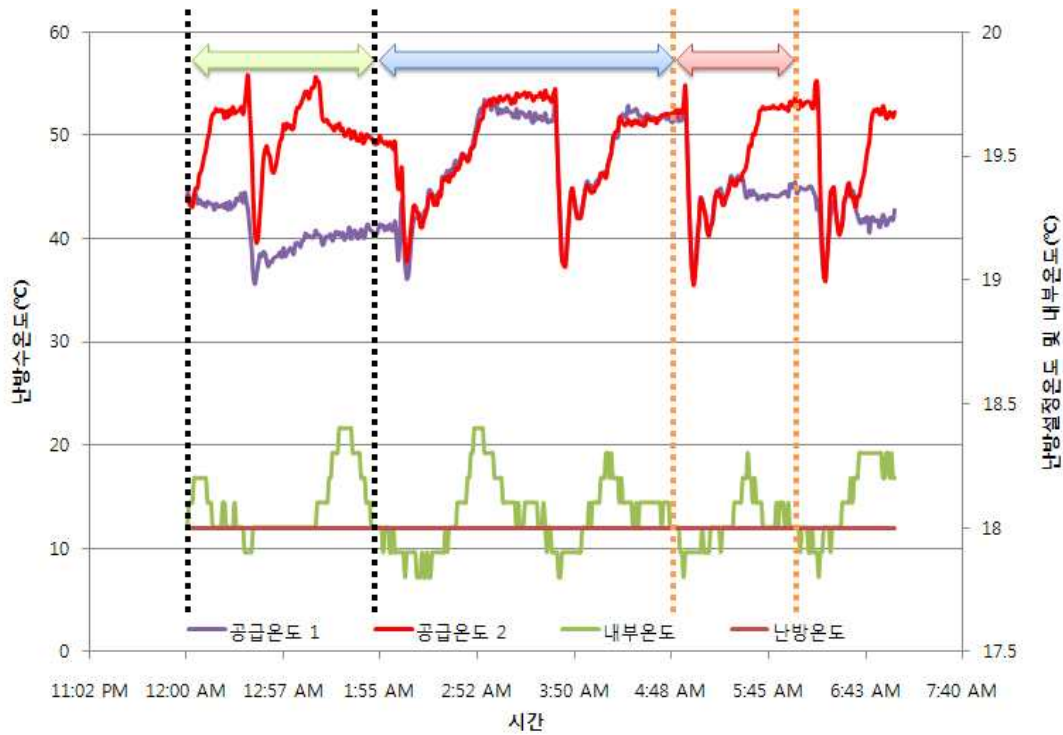


그림 6-4. 난방수 공급 온도 변화에 따른 온실 내부온도 변화 추이

- 난방 온수 공급은 1구역에 2개의 3Way 밸브를 제어하도록 프로그램 되어 있어, 3Way 밸브 마다 별도의 온도값을 설정하여, 난방수 온도를 조절할 수 있음(공급온도1, 공급온도2)
- 난방 설정 온도값인 18℃를 기준으로 난방수 온도가 내려가면 실내온도도 내려가고, 난방수 온도가 올라가면 실내온도도 올라감을 볼 수 있음
- 난방수 온도에 따라 실내온도 편차가 0.1℃ ~ 0.4℃ 편차가 나타남
- 외부 온도가 영하로 내려가면 난방수 공급온도가 50℃ 전후가 되고, 영상의 기온에서는 40℃~50℃ 사이에 분포함을 볼 때 난방수 공급온도는 외부온도와 밀접한 관련이 있음을 알 수 있음
- 외부 온도가 낮을 때에는 3Way 밸브 열림 횟수가 잦아 순환펌프의 작동 횟수 및 시간이 많았고, 외부 온도가 높을 때에는 3Way 밸브 열림 횟수가 적어 순환펌프의 작동 횟수 및 시간이 짧음을 볼 수 있음
- 주간 실내 온도가 상대적으로 낮은 11월, 12월 1월, 2월에는 야간 실내 온도 변화가 적고, 주간 실내 온도가 상대적으로 높은 3월, 4월에는 초저녁 온도를 2~3 시간 가량 낮추고, 다시 18℃로 유지하는 난방온도 설정을 볼 수 있음

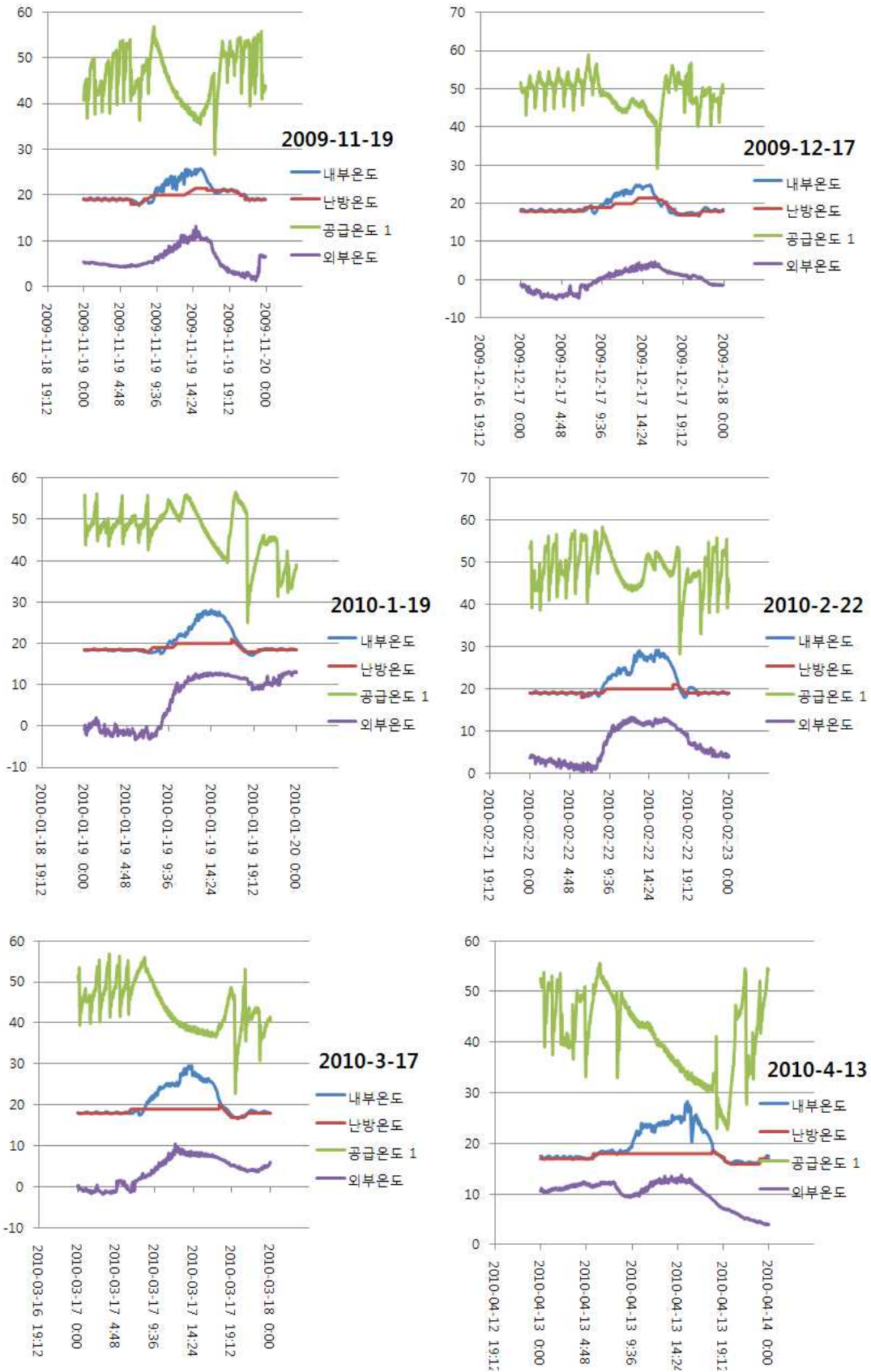


그림 6-5. 외부기온변화에 따른 난방수 온도 데이터

7. 권취식 천창 환기 방법에 적합한 감우센서 개발

천창 열림

천창 닫힘



그림 7-1. 비닐온실 천창 개폐 형태

- 재배온실의 많은 면적을 차지하고 있는 비닐온실은 천창환기를 위해 모터에 의한 권취식 방식을 이용하고 있음
- 권취식 천창 개폐 방법은 비용 및 수리 등에 있어 록피니언 방식의 전체 구동 방식에 비해 유리한 점이 있으나 외부 환경조건에 대한 반응이 더딜 수 밖에 없는 구조이며 특히 강우시 쉽게 온실내부로 빗물의 유입이 발생할 수 있음
- 유리온실 기준의 민감도는 권취식 개폐에 있어서는 강우의 유입으로 이어지므로 감지센서의 민감도가 유리온실의 민감도 보다 높아야 함

천창 열림

천창 닫힘



그림 7-2. 유리온실 천창 개폐 형태

- 유리 온실의 천창 개폐 방법인 록피니언 방식으로 천창을 위로 밀어 올려 개폐를 하므로 비가 올 경우에도 빗물이 온실내로 쉽게 유입되지 않음
- 감우센서의 민감성보다 안정성이 보다 더 요구됨



그림 7-3. 감우센서 감지판 수정

- 현재 사용중인 수입 센서를 참조하여 감우감지 센서판을 제작하였음
- 외국 감우센서는 물고임홈이 3곳으로 제작되어 감우에 대한 민감도가 낮아질 수 있는 구조로 되어 있음
- 수입센서의 간격을 참고하여 첫 번째 감우센서를 좁은 간격으로 제작하였으며 두 번째 감우센서는 물고임홈을 위치시키고 센서라인을 감우센서 전체적으로 위치하도록 설계를 변경하였음
- 개발한 감우센서의 적용은 감우센서1과 수입센서를 비닐온실에 감우센서2를 유리 온실에 설치하였음

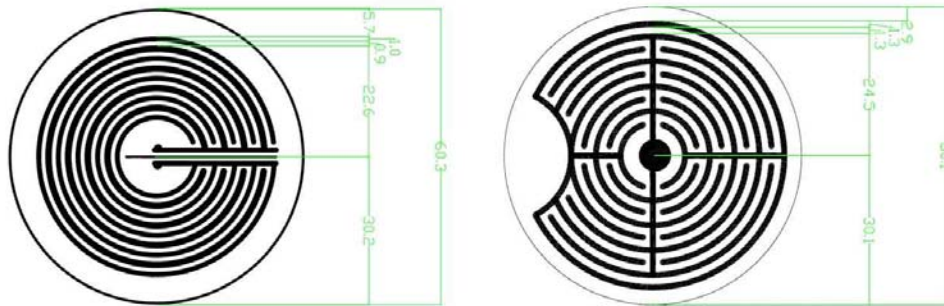


그림 7-4. 감우센서 개발 도면(1차, 2차)

- 센서 간격이 0.9mm인 1차 센서와 센서 간격이 1.3mm인 2차 센서로 설계하였음
- 감지판 넓이는 60mm로 설계하였음
- 2차 설계에는 물고임 방지홈을 반영하였음



그림 7-5. 감지판 기울기 및 물고임 방지홈

- 감우센서 설치대의 기울기는 16° 로 설정하였는데 급격하거나 완만한 기울기는 강우의 흘러내림 또는 비갠 후에도 빗물의 뭍침현상 등이 발생할 수 있어 이를 고려한 기울기를 적용하였음
- 수입센서의 물고임 방지홈은 길이가 5mm로 수분장력에 따른 물고임 현상이 발생할 수 있어 비갠에 따른 정확한 감우감지 기능이 다소 떨어질 수 있음
- 따라서 개발한 센서에는 물고임 방지홈의 길이를 넓혀 이를 개선할 수 있도록 하였으며 열선간격과 열선의 전체면적을 조절하여 감우에 대한 민감도를 증대할 수 있도록 제작하였음



그림 7-6. 감지판 히터 형태

- 감우에 대한 감지정도는 뒷면에 설치된 히터판의 면적에 따라 달라지게 되는데 전체 면적으로 확대할 경우 소량 감우에 대한 민감도가 떨어지게 되므로 히팅면적을 기존 센서보다 약간 넓혀 제작하였음
- 또한 10w급의 히터봉 1개 설치 모델을 5w급 2개로 분할하여 열전달의 효율성을 개선하였고, 외부 온도가 낮을 때에도 비갠 후 감지판의 빗물 제거가 용이하도록 하였음



그림 7-7. 감우 감지 프로그램 화면

표 7-1. 외국감우센서와 개발한 감우센서의 비교

구 분	외국센서	감우센서 1	감우센서 2
감지판 직경	6cm	6cm	6cm
센서동판간격	1cm	0.5cm	1cm
감지판기울기	30°	16°	16°
감지판히터용량	10W*1개	10W*1개	5W*2개
물고임방지홈	0.5cm	없음	1cm
적용온실	유리온실	유리온실 플라스틱온실	유리온실 플라스틱온실
특징	센서의 민감성이 다소 약하나 안정성이 뛰어남	센서의 민감성이 뛰어나지만 동판 간격이 좁아 이물질에 의한 오작동 위험이 높음	-적절한 센서 동판 간격 확보로 이물질에 의한 안정성을 높임 -기울기가 완만하여 작은 빗물에도 감지 -물고임 방지 홈이 넓어 비 갠후 감지판의 빗물 제거 용이 -감지 히터판을 넓히고 기존 1개의 히팅봉을 2개로 늘려 열이 골고루 분배되도록 하여 외부 온도가 낮은 때에도 비 갠후 감지판의 빗물 제거 용이

- 감우가 감지될 때 일정 시간동안 감지가 지속되어야 감지로 인식되도록 프로그램화 하였음
- 감우의 한계를 “10” 으로 설정하여 사용자에게 의한 설정 변경이 가능하도록 하였으며, 사용환경에 따른 조절의 목적으로 이용될 수 있도록 하였음
- 감우감지 시작과 해제를 위한 지속시간을 설정하여 감지와 해제를 반복하면서 발생할 수 있는 오차를 최소화 하도록 함

시간	환기온도	내부온도	외부온도	일사량	감우	천창 좌
2010-06-25 16:51	20.2	23.6	21.6	37	100	0
2010-06-25 16:52	20.2	23.6	21.9	37	100	0
2010-06-25 16:53	20.2	23.6	21.6	34	0	0
2010-06-25 16:54	20.2	23.6	21.6	34	100	0
2010-06-25 16:55	20	23.6	21.5	30	0	0
2010-06-25 16:56	19	23.5	22	30	100	0
2010-06-25 16:57	19	23.5	22.1	30	0	0
2010-06-25 16:58	19	23.5	22	38	0	10
2010-06-25 16:59	19	23.5	21.9	38	0	20
2010-06-25 17:00	19	23.4	21.8	36	0	10
2010-06-25 17:01	19	23.4	21.8	30	0	20
2010-06-25 17:02	19	23.4	21.9	30	100	0
2010-06-25 17:03	19	23.4	21.8	36	100	0
2010-06-25 17:04	20.1	23.3	22.1	38	0	0
2010-06-25 17:05	20.2	23.3	21.9	34	0	10
2010-06-25 17:06	20.3	23.3	21.7	30	0	20
2010-06-25 17:07	20.4	23.2	21.9	28	0	30
2010-06-25 17:08	20.4	23.2	21.9	28	100	0
2010-06-25 17:09	20.4	23.2	21.6	27	0	0
2010-06-25 17:10	20.4	23.2	21.6	27	100	0

그림 7-8. 환경제어프로그램 자료분석을 통한 감우데이터 확인

- 실내 온도가 환기 설정값보다 높을 때 천창을 열어야 할 조건에서 감우의 감지로 천창을 닫고 있음(감우감지 : 100, 감우해제 : 0)
- 감우가 해제될 때에는 천창이 1분 후에 열리기 시작함을 볼 수 있음(감우해제지속 시간:1분이 설정됨)

8. 천창 개도값 확인 장치 및 피드백 제어 프로그램 개발



랙&피니언 활용 개폐

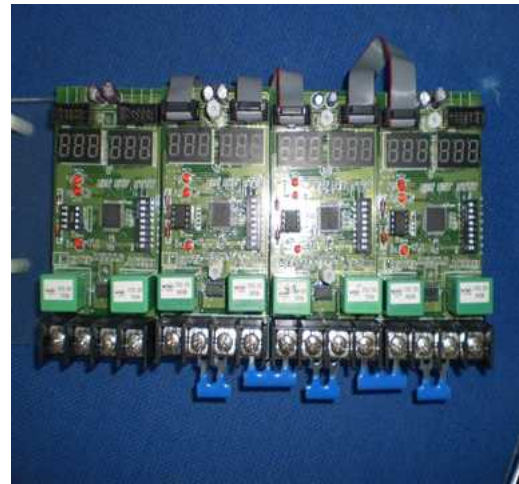


개도계 활용 창문 개폐 감지

그림 8-1. 유리온실 천창환기를 위한 랙&피니언 장치



DC모터 권취식 개폐



흡소자 활용 모터의 정·역 회전 감지

그림 8-2. 비닐온실 천창환기를 위한 권취식 개폐장치 및 작동 감지 장치



메인 화면 모니터링 및 천창 확인
(천창 10%(10cm) 열림 확인)



메인 화면 모니터링 및 천창 확인
(천창 20%(20cm) 열림 확인)



메인 화면 모니터링 및 천창 확인
(천창 30%(30cm) 열림 확인)



메인 화면 모니터링 및 천창 확인
(천창 50%(50cm) 열림 확인)

그림 8-3. 유리온실 천창환기 제어를 위한 제어프로그램 및 개도개를 통한 개도값 확인
- 제어기의 개도값과 천창의 실제 열림을 실측하여 개도의 정확성을 확인함

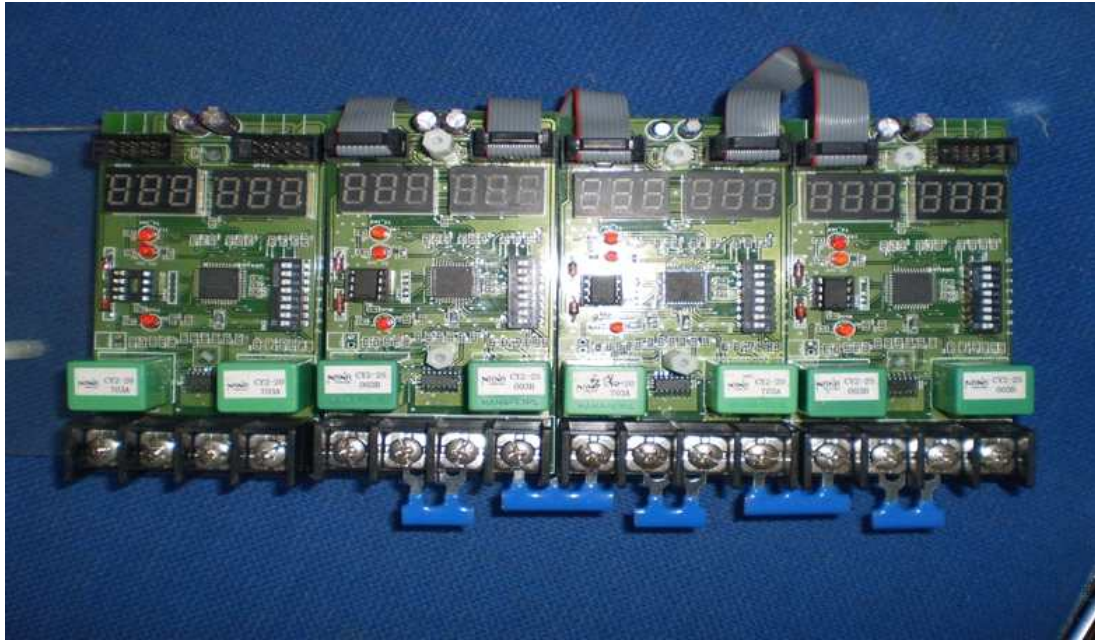


그림 8-4. 홀소자를 활용한 개도값 확인 장치 PCB

- 홀소자는 홀 효과를 이용하여서 자기량을 전압으로 바꾸는 소자임
- 게르마늄이나 실리콘 등을 주재료로 하여 만들어지며 반도체가 이용됨
- 자기장의 강도를 측정하거나 자기 마당의 변화에 따른 전류나 위치 따위의 측정에 응용할 수 있으며, 전력계 · 변조기 · 아날로그 계산기에 주로 이용됨
- 이러한 홀소자는 비교적 가격이 저렴하고 고장 등의 오작동이 적기 때문에 이를 활용하여 제어기를 만들게 될 경우 효율성이 높아지게 됨

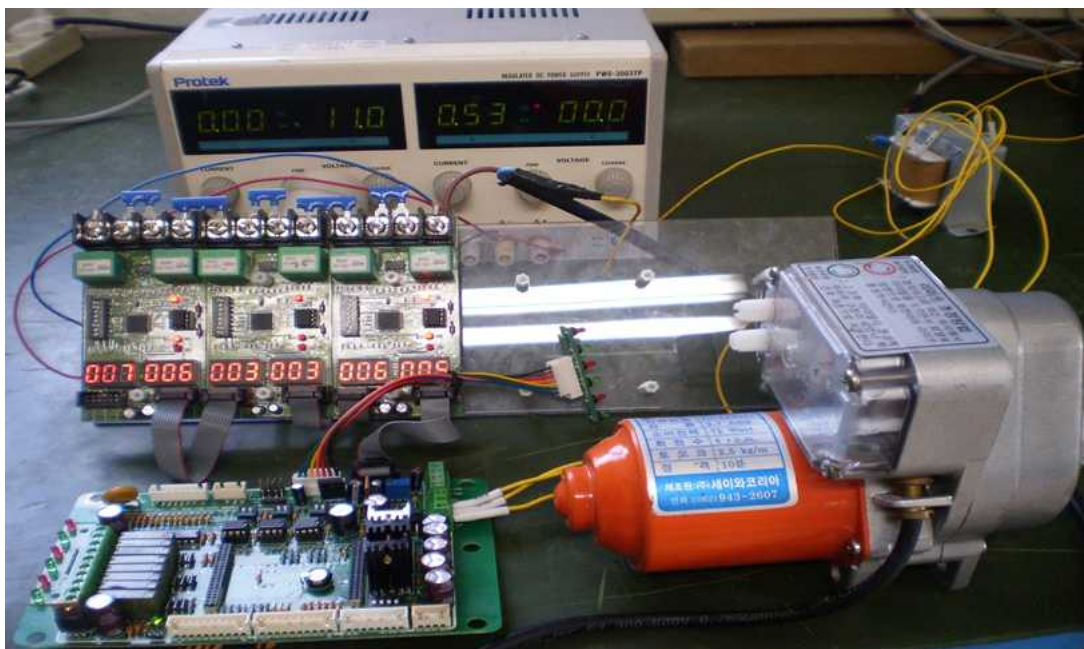


그림 8-5. 홀소자를 활용한 개도값 PCB 테스트 과정



그림 8-6. 흡소자를 활용한 개도값 확인 장치 개념도

- 권취식 모터의 정방향 회전수와 역방향 회전수를 측정하여 개도의 위치를 결정함

9. 유동팬 프로그램 개발



그림 9-1. 온실내 설치된 유동팬

- 온실내에서 유동팬 가동의 목적은 실내온도, 습도를 균일하게 유지하는데 주된 목적이 있음
- 실내온도가 설정값보다 높거나 낮을때 유동팬이 가동될 조건이 됨
- 실내습도가 설정값보다 높거나 낮을때 유동팬이 가동될 조건이 됨

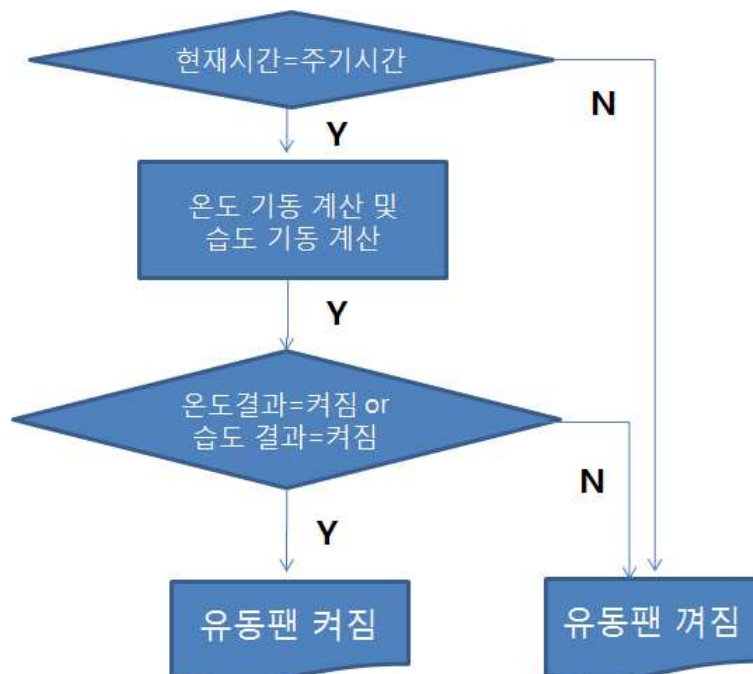


그림 9-2. 유동팬 작동을 위한 통합 로직(다이아그램)

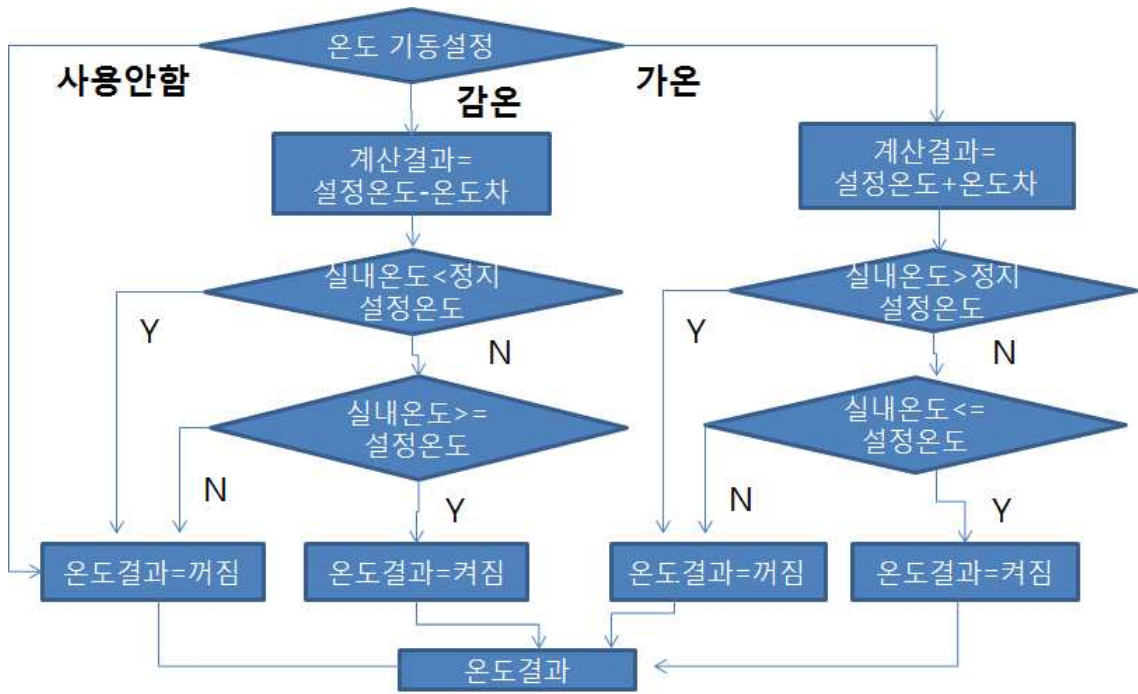


그림 9-3. 온도 기동 설정에 따른 유동팬 작동 로직

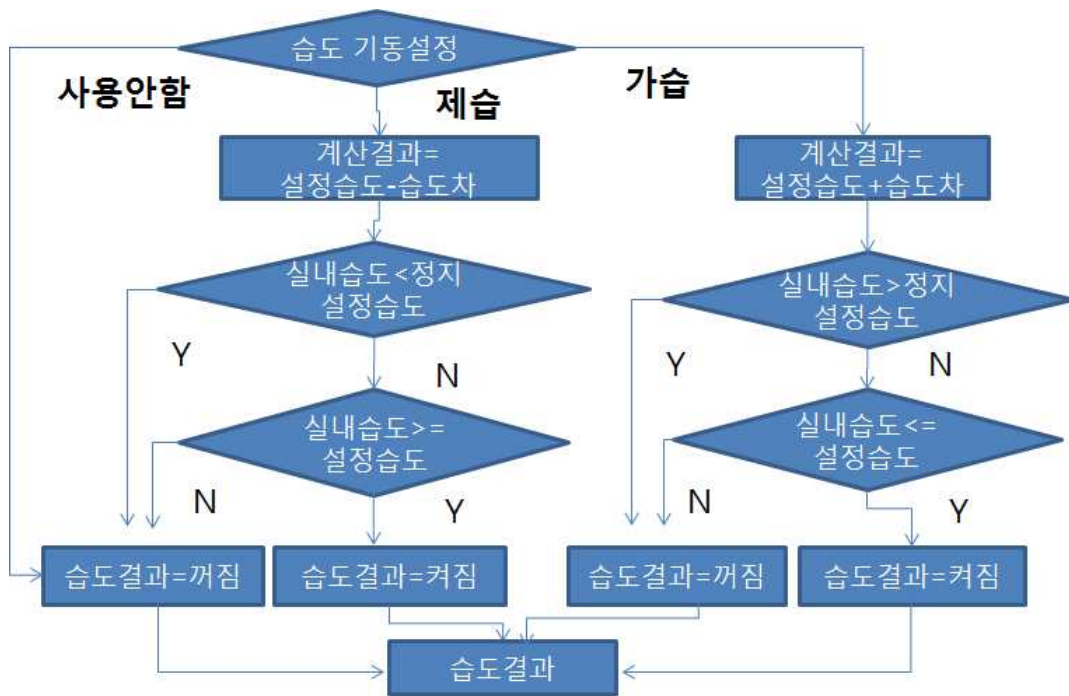


그림 9-4. 습도 기동 설정에 따른 유동팬 작동 로직

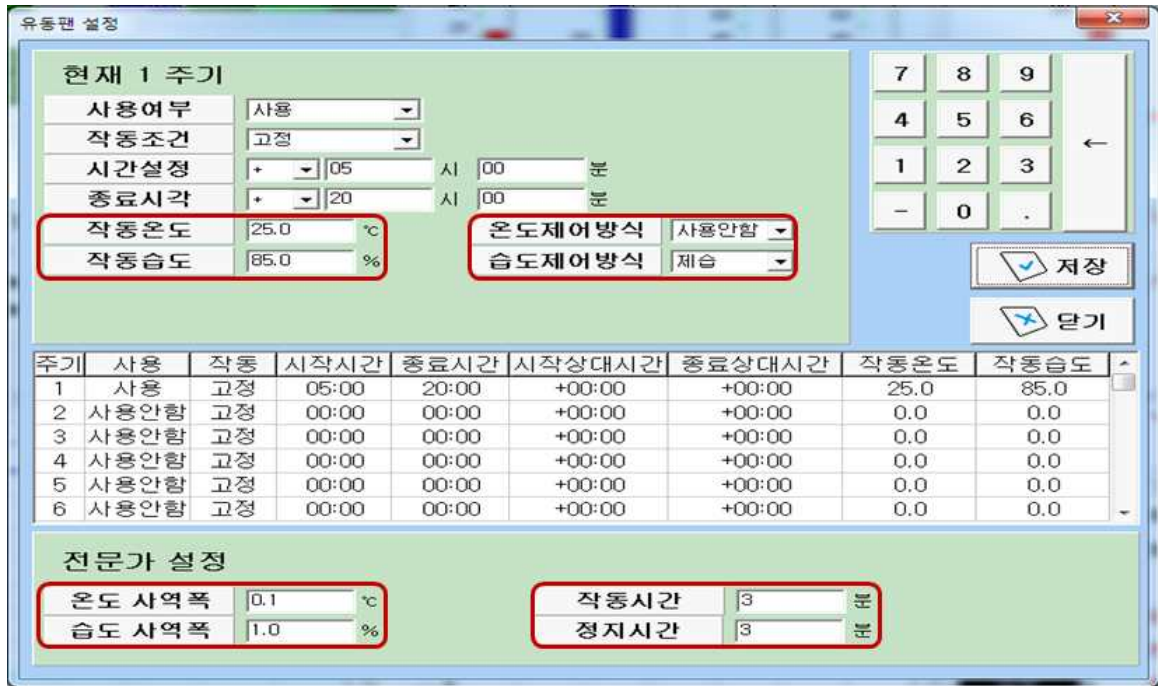


그림 9-5. 제어프로그램내 유동팬 설정 화면

- 그림 9-5 에서는 5시에서 20시까지 1개 주기만을 사용하였으며 습도를 제어할 목적으로 상대습도가 85% 이상의 조건이 되면 유동팬이 작동시간 3분, 정지시간 3분의 간격으로 작동 됨
- 작동 도중 습도 사역폭인 1%미만 즉, 실내습도가 84% 이하의 조건이 되면 유동팬이 정지 함.
- 습도제어 방식에서 가습을 선택하면 설정 작동습도보다 실내습도가 낮을 때 유동팬이 작동 됨
- 같은 방법으로 온도제어 방식을 감온이나 가온을 선택하여 온도제어를 할 수 있음
- 하루 24시간을 기준으로 하여 6개까지 시간대별로 설정값을 달리 할 수 있음
- 작동시간의 기준을 일출 또는 일몰을 기준으로 설정할 수 있음

시간	내부온도	내부습도	일사량	직사일사량	천장좌	천장우	커튼상	커튼하	유동팬	배기팬
15:21	17.7	100.0	660	1024	30	30	100	100	정지	정지
15:22	17.7	100.0	658	1028	40	40	100	100	정지	정지
15:23	17.7	100.0	655	1032	50	50	100	100	기동	정지
15:24	17.8	100.0	653	1035	60	60	100	100	기동	정지
15:25	17.8	100.0	647	1039	60	60	100	100	기동	정지
15:26	17.8	98.5	653	1043	70	70	100	100	정지	정지
15:27	17.8	95.0	647	1047	80	80	100	100	정지	정지
15:28	17.8	95.0	644	1051	90	90	100	100	정지	정지
15:29	17.9	95.0	642	1055	90	90	100	100	기동	정지
15:30	17.9	95.0	638	1059	100	100	100	100	기동	정지
15:31	17.9	95.0	635	1063	100	100	100	100	기동	정지
15:32	17.9	95.0	632	1066	100	100	100	100	정지	정지
15:33	17.9	95.0	627	1070	100	100	100	100	정지	정지
15:34	17.9	95.0	626	1074	100	100	100	100	정지	정지
15:35	17.9	95.0	622	1078	100	100	100	100	기동	정지
15:36	17.9	95.0	620	1081	100	100	100	100	기동	정지
15:37	17.9	95.0	617	1085	100	100	100	100	기동	정지
15:38	17.9	95.0	614	1089	100	100	100	100	정지	정지
15:39	17.9	95.0	614	1092	100	100	100	100	정지	정지
15:40	17.9	95.0	612	1096	100	100	100	100	정지	정지
15:41	17.9	95.0	609	1100	100	100	100	100	기동	정지
15:42	17.9	95.0	602	1103	100	100	100	100	기동	정지
15:43	17.9	95.0	601	1107	100	100	100	100	기동	정지
15:44	17.9	95.0	598	1111	100	100	100	100	정지	정지
15:45	17.9	95.0	593	1114	100	100	100	100	정지	정지
15:46	17.9	95.0	591	1118	100	100	100	100	정지	정지
15:47	17.9	95.0	585	1121	100	100	100	100	기동	정지

그림 9-6. 유동팬 설정에 따른 유동팬 작동 모니터링 결과

- 그림 9-5. 의 설정내용으로 유동팬의 작동 상황을 모니터링 한 결과 실내습도가 85%보다 높을때 15시 23분부터 15시 25분까지 기동되고 15시 26분부터 15시 28분까지 유동팬이 정지됨을 알 수 있음
- 3분 간격을 두고 계속해서 유동팬이 기동과 정지를 반복함

10. 보광등 프로그램 개발



그림 10-1. 파프리카재배 온실내 고압나트륨등을 이용한 보광시스템

- 현재의 보광시설은 고압 나트륨등, 형광등, LED등 시설 내용에 따라 다양한 용도의 보광프로그램의 요구가 있음
- 일사값이 낮거나 당일 적산광량이 당일 목표치에 도달하지 못하였을 때 보광이 가능하도록 프로그램이 요구됨

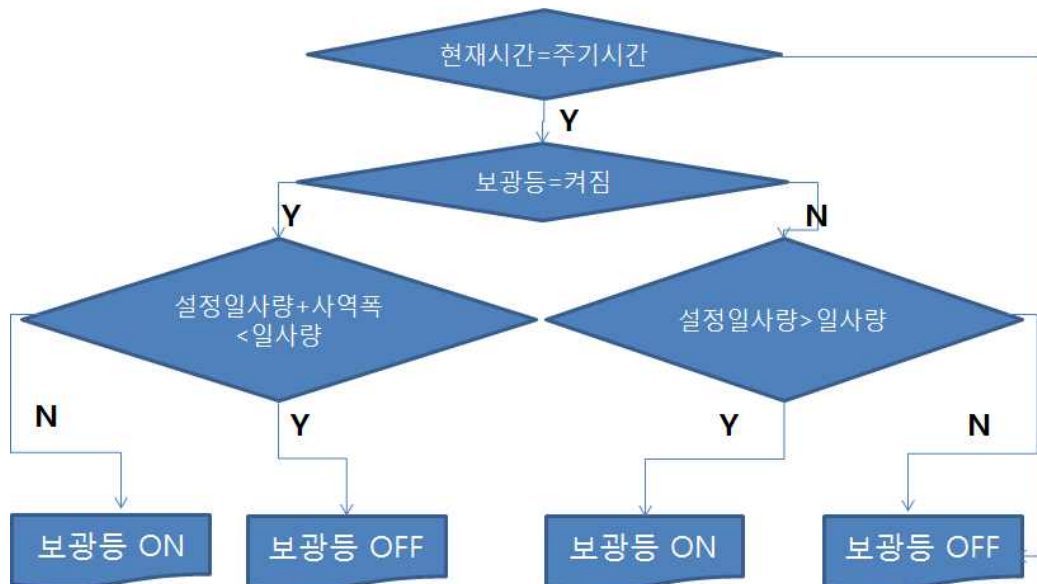


그림 10-2. 온실내 보광등 작동 로직(다이아그램)

보광등 설정

현재 1 주기

사용여부: 사용

작동조건: 일몰

시각설정: - 02 시 00 분

종료시각: + 03 시 00 분

일사값: 200 w/m²

일사 지속 시간: 10 초 보광등 일사값: 200

P	사용여부	작동조건	시작시간	종료시간	시작상대시간	종료상대시간	일사량
1	사용	일몰	17:05	22:05	-02:00	+03:00	200
2	사용안함	일몰	18:01	18:01	+00:00	+00:00	20
3	사용안함	일출	06:30	06:29	+00:05	+00:04	20
4	사용안함	일출	07:28	07:28	+00:00	+00:00	900
5	사용안함	일출	06:30	06:29	+00:05	+00:04	20
6	사용안함	일출	06:30	06:29	+00:05	+00:04	20

적산일사량: 1500 J/cm²

저장 닫기

그림 10-3. 보광등 작동을 위한 제어프로그램 설정 화면

- 보광등 설정화면에서 작동조건은 일출, 일몰, 고정시간을 기준으로 설정할 수 있음
- 현재의 설정시간은 일몰 2시간 전부터 일사값이 200W/m² 미만이 일사지속 시간인 10초 이상 유지되면 보광등이 켜지게 설정되어 있음
- 하루의 적산일사량이 1500J/cm² 이상이 되면 보광등 작동이 정지됨
- 설정 적산일사량에 도달하지 않아도 종료시간인 22시 05분에는 보광등 작동이 정지됨.

11. 온실복합환경제어시스템 보급에 따른 농가 경영 분석

(1) 파프리카재배농가 소득조사(전남 5, 경남 4, 전북 1)

표 11-1. 파프리카 재배농가 지역별 소득조사표

농가명 (지역)		전남 화순			
규 모 (평)		3,500			
항 목		제어기 사용전		제어기 사용후	
		2007년	2008년	2009년	2010년
조수입(천원)	주산물 생산량(kg)		131,000	154,000	122,500
	평균단가(kg)		2.800	2.900	3.600
	조수입		366,800	446,600	441,000
경영비(천원)	종자비		25,000	25,000	25,000
	비료비		30,000	30,000	30,000
	농약비		10,000	10,000	10,000
	천적비				
	제재료비				
	광열동력비 (유류비+전기세)		180,000	180,000	180,000
	고용노력비(인건비)		30,000	30,000	30,000
	농구,시설 감가상각비		82,863	82,863	82,863
	기 타				
	계		357,863	357,863	357,863
소득(조수입-경영비)(천원)		-	8,938	88,738	83,138

농가명 (지역)		전남 광양			
규 모 (평)		3,000			
항 목		제어기 사용전		제어기 사용후	
		2007년	2008년	2009년	2010년
조수입(천원)	주산물 생산량(kg)		134,200	170,000	165,000
	평균단가(kg)		3.050	2.800	3.150
	조수입		409,310	476,000	519,750
경영비(천원)	종자비		35,000	35,000	35,000
	비료비		16,000	16,000	16,000
	농약비		13,000	13,000	13,000
	천적비				
	제재료비		10,000	10,000	10,000
	광열동력비 (유류비+전기세)		90,000	90,000	90,000
	고용노력비(인건비)		50,000	50,000	50,000
	농구,시설 감가상각비		39,000	-	6,000
	기 타		10,000	10,000	10,000
	계		263,000	224,000	230,000
소득(조수입-경영비)(천원)		-	146,310	252,000	289,750

농가명 (지역)		전남 화순			
규 모 (평)		1,200			
항 목		제어기 사용전		제어기 사용후	
		2007년	2008년	2009년	2010년
조수입(천원)	주산물 생산량(kg)		47,000	50,400	48,000
	평균단가(kg)		3.300	3.200	5.000
	조수입		155,100	161,280	240,000
경영비(천원)	종자비		9,000	9,000	9,000
	비료비		7,500	7,500	7,500
	농약비		3,000	3,000	3,000
	천적비				
	제재료비				
	광열동력비 (유류비+전기세)		30,000	30,000	30,000
	고용노력비(인건비)		10,000	10,000	10,000
	농구,시설 감가상각비		26,400	26,400	26,400
	기 타				
	계		85,900	85,900	85,900
소득(조수입-경영비)(천원)		-	69,200	75,380	154,100

농가명 (지역)		전남 화순			
규 모 (평)		1,400			
항 목		제어기 사용전		제어기 사용후	
		2007년	2008년	2009년	2010년
조수입(천원)	주산물 생산량(kg)		50,400	58,800	49,000
	평균단가(kg)		2.900	3.100	4.000
	조수입		146,160	182,280	196,000
경영비(천원)	종자비		10,000	10,000	10,000
	비료비		20,000	20,000	20,000
	농약비		8,000	8,000	8,000
	천적비				
	제재료비				
	광열동력비 (유류비+전기세)		40,000	40,000	40,000
	고용노력비(인건비)		20,000	20,000	20,000
	농구,시설 감가상각비		12,600	12,600	12,600
	기 타		5,000	5,000	5,000
	계		115,600	115,600	115,600
소득(조수입-경영비)(천원)		-	30,560	66,680	80,400

농가명 (지역)		전남 화순			
규 모 (평)		2,000			
항 목		제어기 사용전		제어기 사용후	
		2007년	2008년	2009년	2010년
조수입(천원)	주산물 생산량(kg)		72,000	84,000	80,000
	평균단가(kg)		3.050	2.950	4.000
	조수입		219,600	247,800	320,000
경영비(천원)	종자비		10,000	10,000	10,000
	비료비		12,000	12,000	12,000
	농약비		10,000	10,000	10,000
	천적비				
	제재료비				
	광열동력비 (유류비+전기세)		65,000	65,000	65,000
	고용노력비(인건비)		36,000	36,000	36,000
	농구,시설 감가상각비		57,700	57,700	57,700
	기 타		25,000	25,000	25,000
	계		215,700	215,700	215,700
소득(조수입-경영비)(천원)		-	3,900	32,100	104,300

농가명 (지역)		경남 거제			
규 모 (평)		1,000			
항 목		제어기 사용전		제어기 사용후	
		2007년	2008년	2009년	2010년
조수입(천원)	주산물 생산량(kg)		62,000	69,500	67,000
	평균단가(kg)		3.500	3.200	5.000
	조수입		217,000	222,400	335,000
경영비(천원)	종자비		5,000	5,000	5,000
	비료비		4,000	4,000	4,000
	농약비				
	천적비		5,300	5,300	5,300
	제재료비				
	광열동력비 (유류비+전기세)		38,000	38,000	38,000
	고용노력비(인건비)		15,000	15,000	15,000
	농구,시설 감가상각비		29,875	29,875	29,875
	기 타		8,000	8,000	8,000
	계		105,175	105,175	105,175
소득(조수입-경영비)(천원)		-	111,825	117,225	229,825

농가명 (지역)		경남 산청			
규 모 (평)		6,000			
항 목		제어기 사용전		제어기 사용후	
		2007년	2008년	2009년	2010년
조수입(천원)	주산물 생산량(kg)		297,000	330,000	360,000
	평균단가(kg)		3.100	3.250	3.500
	조수입		920,700	1,072,500	1,260,000
경영비(천원)	종자비		40,000	40,000	40,000
	비료비		40,000	40,000	40,000
	농약비				
	천적비		30,000	30,000	30,000
	제재료비				
	광열동력비 (유류비+전기세)		400,000	400,000	400,000
	고용노력비(인건비)		240,000	240,000	240,000
	농구,시설 감가상각비		153,000	153,000	153,000
	기 타		40,000	40,000	40,000
	계		943,000	943,000	943,000
소득(조수입-경영비)(천원)		-	-22,300	129,500	317,000

농가명 (지역)		경남 함안			
규 모 (평)		1,700			
항 목		제어기 사용전		제어기 사용후	
		2007년	2008년	2009년	2010년
조수입(천원)	주산물 생산량(kg)		78,600	95,200	102,000
	평균단가(kg)		2.900	3.150	4.000
	조수입		227,940	299,880	408,000
경영비(천원)	종자비		10,000	10,000	10,000
	비료비		10,000	10,000	10,000
	농약비		7,000	7,000	7,000
	천적비				
	제재료비				
	광열동력비 (유류비+전기세)		75,000	75,000	75,000
	고용노력비(인건비)		14,000	14,000	14,000
	농구,시설 감가상각비		48,153	48,153	48,153
	기 타		1,000	1,000	1,000
	계		165,153	165,153	165,153
소득(조수입-경영비)(천원)		-	62,787	134,727	242,847

농가명 (지역)		경남 함안			
규 모 (평)		1,700			
항 목		제어기 사용전		제어기 사용후	
		2007년	2008년	2009년	2010년
조수입(천원)	주산물 생산량(kg)		62,900	71,400	68,000
	평균단가(kg)		3.120	2.890	3.000
	조수입		196,248	06,346	204,000
경영비(천원)	종자비		10,000	10,000	10,000
	비료비		15,000	15,000	15,000
	농약비		7,000	7,000	7,000
	천적비				
	제재료비				
	광열동력비 (유류비+전기세)		30,000	30,000	30,000
	고용노력비(인건비)		20,000	20,000	20,000
	농구,시설 감가상각비		28,900	28,900	28,900
	기 타		10,000	10,000	10,000
	계		120,900	120,900	120,900
소득(조수입-경영비)(천원)		-	75,348	85,446	83,100

농가명 (지역)		전북 김제			
규 모 (평)		1,500			
항 목		제어기 사용전		제어기 사용후	
		2007년	2008년	2009년	2010년
조수입(천원)	주산물 생산량(kg)		66,500	79,000	75,000
	평균단가(kg)		3.150	3.200	4.000
	조수입		209,475	252,800	300,000
경영비(천원)	종자비		8,000	8,000	8,000
	비료비		8,000	8,000	8,000
	농약비				
	천적비		8,000	8,000	8,000
	제재료비				
	광열동력비 (유류비+전기세)		49,000	49,000	49,000
	고용노력비(인건비)		20,000	20,000	20,000
	농구,시설 감가상각비		36,750	36,750	36,750
	기 타		4,900	4,900	4,900
	계		134,650	134,650	134,650
소득(조수입-경영비)(천원)		-	74,825	118,150	165,350

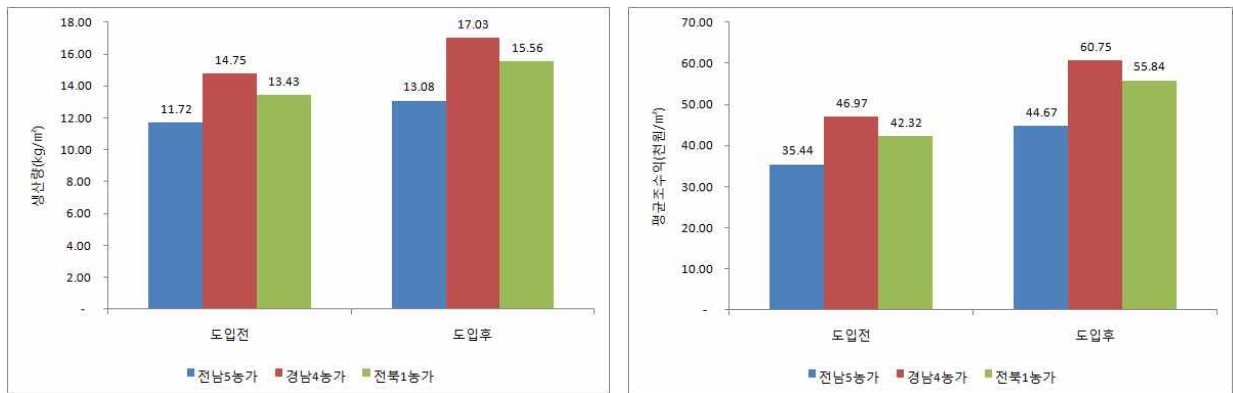


그림 11-1. 전남5농가, 경남4농가, 전북1농가 파프리카 재배농가의 제어기 설치 전후 평균 생산량 및 조수익

- 단위면적당 파프리카 재배농가 생산량 및 조수익 증대
- m²당 생산량 증대(전남지역 11.6%, 경남지역 15.5%, 전북지역 15.8%)
- m²당 조수익 증대(전남지역 26.0%, 경남지역 29.3%, 전북지역 31.9%)

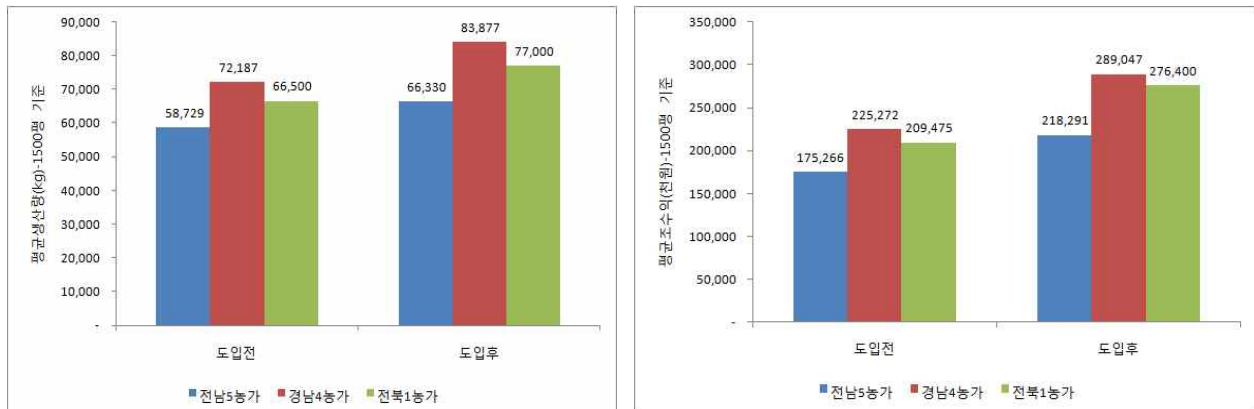


그림 11-2. 전남5농가, 경남4농가, 전북1농가 파프리카 재배농가의 제어기 도입에 따른 단위면적당 평균생산량 및 평균 조수익

- 단위면적당 파프리카 재배농가 생산량 및 조수익 증대
- m²당 생산량 증대(전남지역 8.3%, 경남지역 13%, 전북지역 23%)
- m²당 조수익 증대(전남지역 28.5%, 경남지역 29.8%, 전북지역 33%)

12. 온실환경 제어센서 계측값과 작동기기의 개도값 모니터링

가. 목표 : 각 구역별 센서 계측값과 작동기기의 개도값을 통합하여 모니터링할 수 있는 데이터베이스를 구축한다.

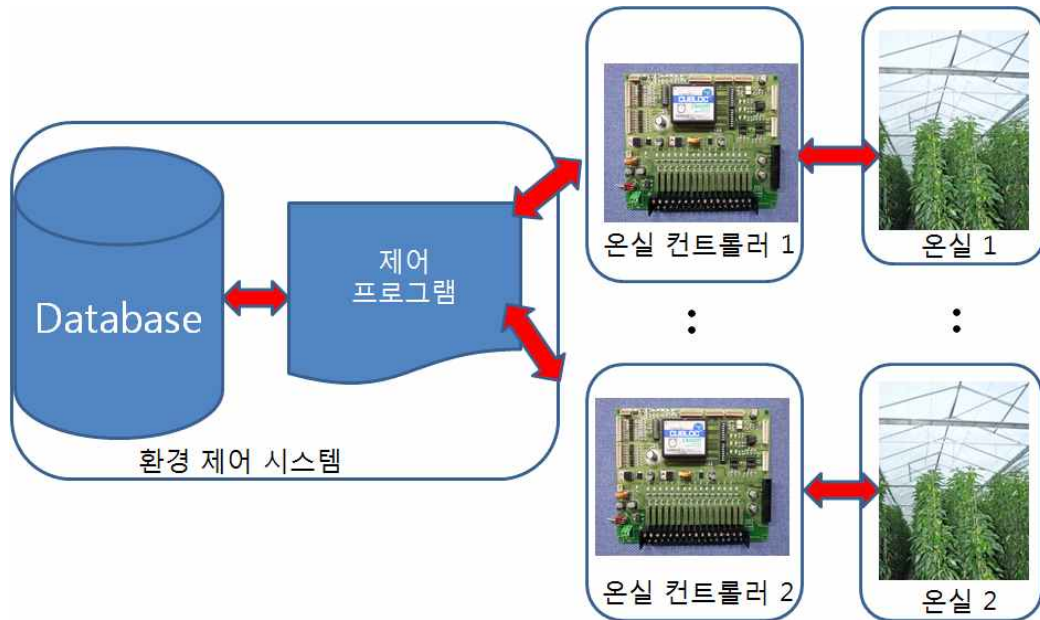


그림 12-1. 기존 시스템 구성도

- 기존 환경제어 시스템은 단일 온실 기준으로 1온실, 1컨트롤러, 1DB 구조로 되어 있다.

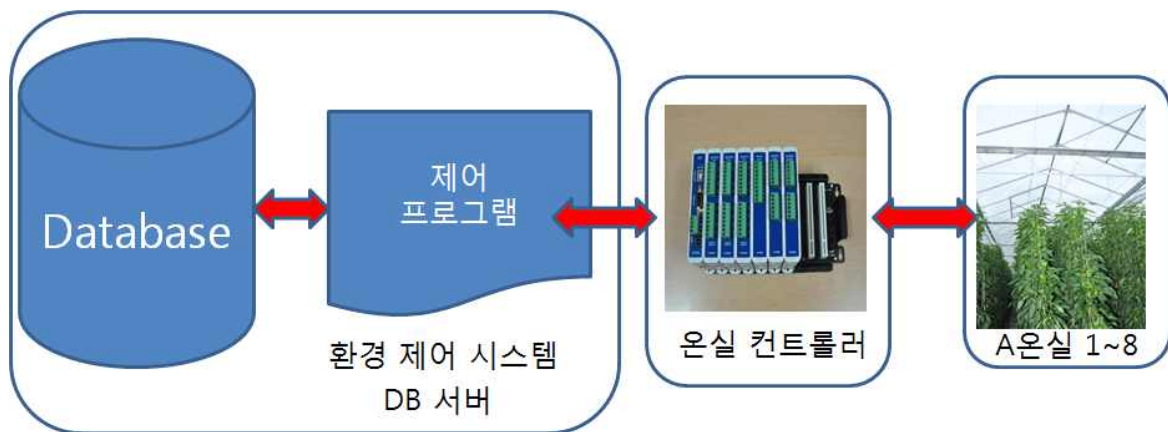


그림 12-2. 향후 통합시스템 구성도 A

- 기존 시스템과 달리 1DB, 1컨트롤러 8온실로 구성되어 있다.

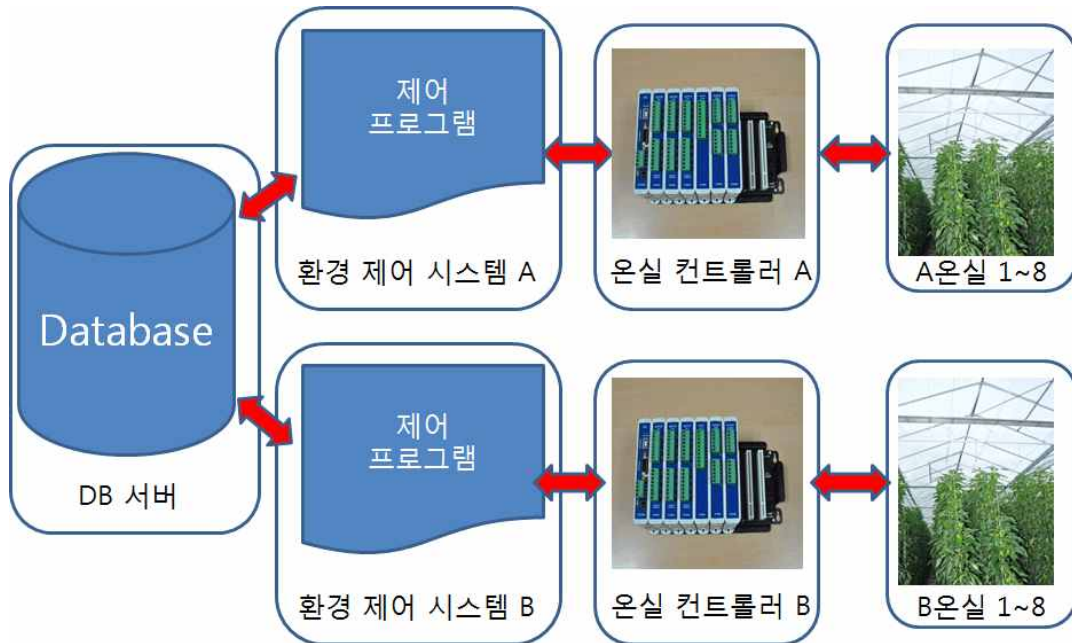


그림 12-3. 향후 통합시스템 구성도 B

- 기존 시스템과 큰 차이점은 1 DB, 1컨트롤러 8온실로 구성되어 있다. 거리가 많이 떨어진 온실 같은 경우에선 인터넷망을 이용하여 데이터를 수집하는데 용이한 구조이다.
- 위의 시스템을 개발 하게 되면 복수의 환경제어시스템의 데이터를 한 데 모아 좀더 전문적인 통계와 연구자료로 활용할 수 있게 된다.
- 대규모 온실에 적합한 구조이며, DB를 따로 분리하여 통계를 효율적으로 모을수가 있으며, 단일 컨트롤러로 온실 8개를 제어 할 수 있도록 설계하였다.

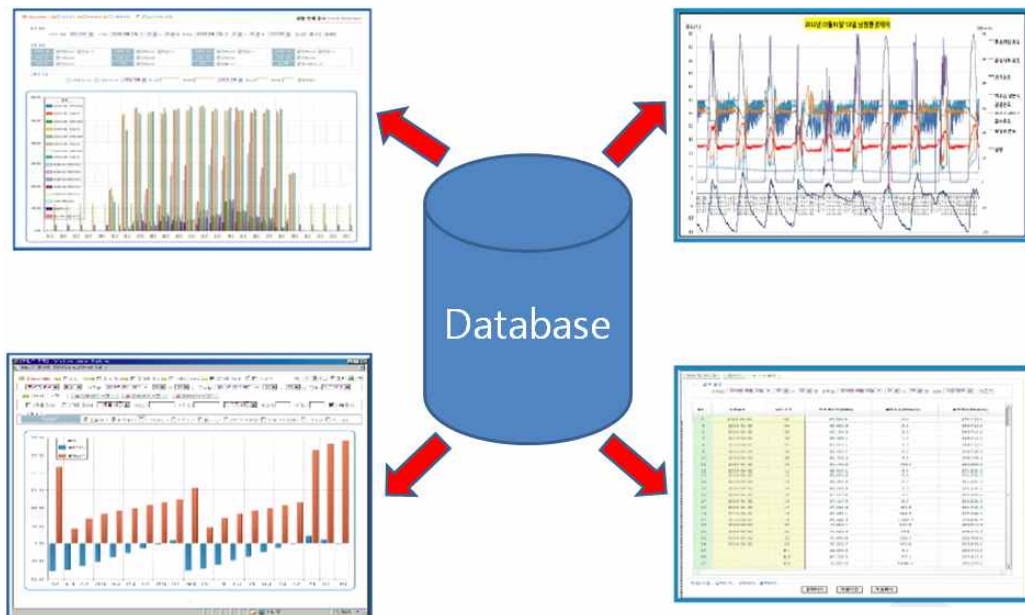


그림 12-4. 통합시스템 응용 기술

- DB의 Back data를 활용한 각종 통계 시스템 구축으로 각종 연구자료와 통계분석 등을 통해 생산성 향상 및 각종 학술 활동에 도움을 줄 수 있도록 구성(그외 예측 시스템, 통계관리 시스템 등 연계)하였다.

나. 제어기 업그레이드 내용

(1) 하드웨어 변경

- CPU 프로그램 메모리 증가 : 200KB 512KB
- 고정 입출력단자 확장형 입출력 카드
- 다양한 센서 입력 카드 증설 가능
- 한대의 제어기로 8구역까지 제어 가능

(2) 소프트웨어 변경

- 기존 1컨트롤러 1온실 시스템에서 1컨트롤러 8온실 체제로 변경.
- 일원화된 DB 지원으로 응용통계 프로그램 연계 가능
- 여러대의 제어기를 하나의 DB로 통합 관리.

(3) PLC(Programmable Logic Controller) 변경



1구역



2구역

그림 12-5. 변경전 PLC



그림 12-6. 변경후 PLC

- 개발중인 제어기의 PLC는 한 개의 CPU에 아날로그, 디지털 입출력 단자가 카드 형태로 메인보드에 필요에 따라 삽입하는 형태로 구성되며 1~8구역까지 가능

13. 공급양액의 EC, pH 변화 모니터링

가. 목표 : 공급양액, 배액의 EC센서, pH센서 모니터링 모듈 개발

나. 공급양액의 EC, pH 정보

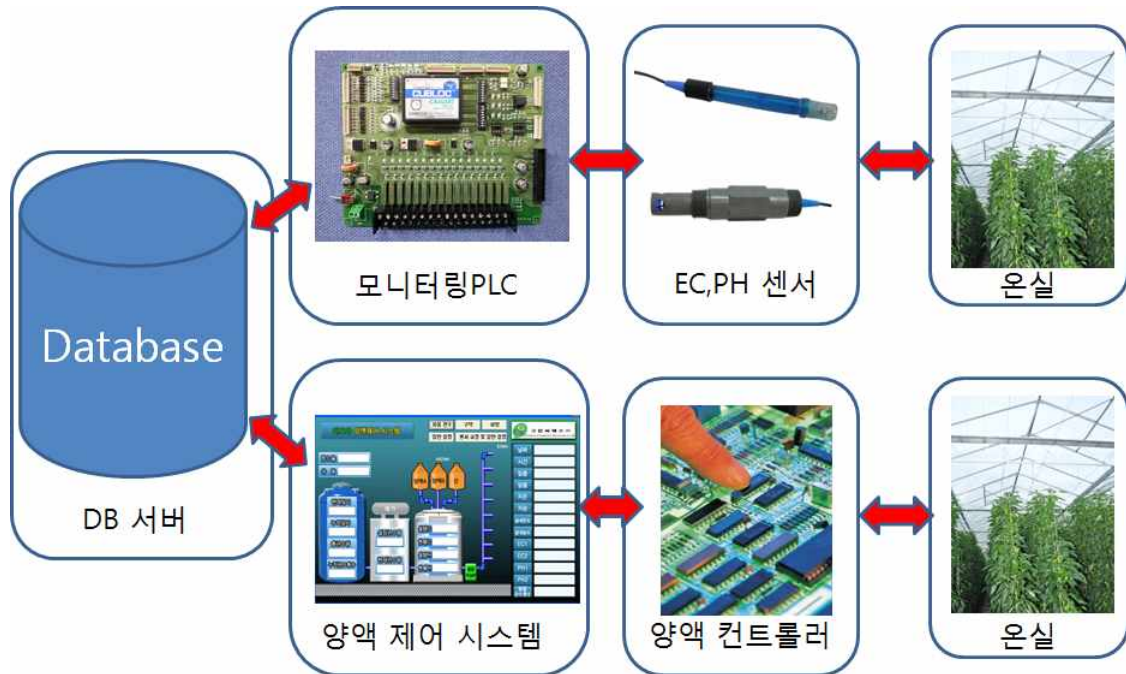


그림 13-1. 공급양액의 EC, pH 모니터링 및 DB연계 모식도

- 양액제어시스템도 기존 환경제어 기능에 추가하여 통합관리할 수 있도록 설계하였다.
- 온실의 EC, pH 변화를 모니터링하여 양액기 없이 센서값만 모니터링 가능

다. 메인화면 EC, pH 모니터링

- 메인화면에서 모니터링된 EC, pH 값의 표시는 사용자로 하여금 양액기계에 접근하지 않아도 양액의 상태를 확인할 수 있도록 하였다.
- 추가 센서를 설치할 경우 센서의 이상유무 확인이 용이하도록 하였다.

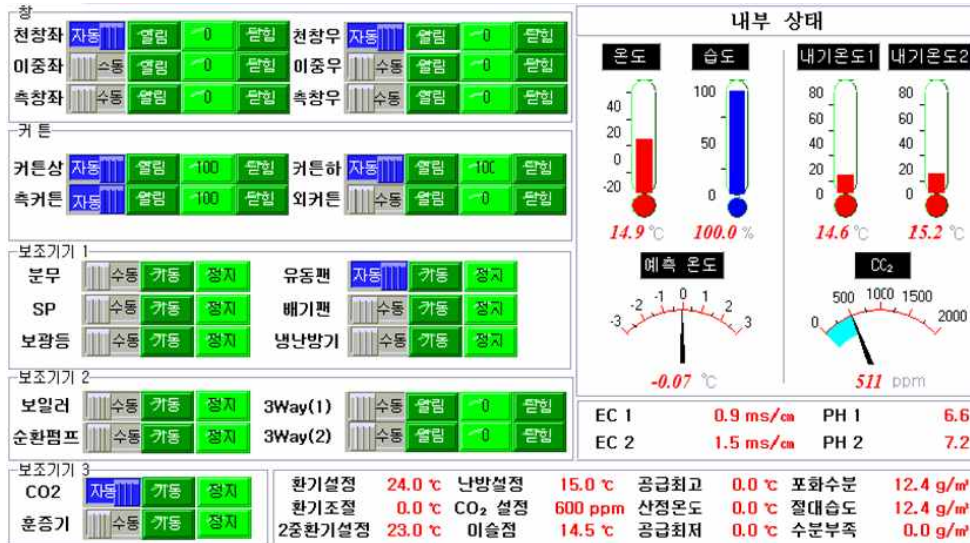


그림 13-2. 양액 EC, pH 모니터링값의 온실환경제어시스템 구현

라. 센서 및 개도값 보기 모니터링



그림 13-3. 센서 및 개도값의 모니터링을 위한 사용자 선택 구현

- 온실내 장치의 개도값과 모니터링을 위한 사용자 선택을 다양화 할 수 있도록 유저 인터페이스를 개선하였다.

시간	환기온도	내부온도	CO ₂ 농도	일사량	EC1	EC2	PH1	PH2
14:42	24.0	17.6	505	753	0.9	1.5	6.6	7.1
14:43	24.0	17.5	504	762	0.9	1.5	6.5	7.3
14:44	24.0	17.6	503	762	0.9	1.5	6.5	7.2
14:45	24.0	17.7	505	761	0.9	1.5	6.5	7.2
14:46	24.0	17.7	497	205	0.9	1.5	6.5	7.1
14:47	24.0	17.5	500	608	0.9	1.5	6.4	7.1
14:48	24.0	17.3	501	454	0.9	1.5	6.4	7.2
14:49	24.0	17.0	499	248	0.9	1.5	6.4	7.2
14:50	24.0	16.6	507	237	0.9	1.5	6.4	7.1
14:51	24.0	16.2	507	180	0.9	1.5	6.5	7.2
14:52	24.0	15.8	514	173	0.9	1.5	6.5	7.1
14:53	24.0	15.3	520	207	0.9	1.5	6.5	7.2
14:54	24.0	15.0	525	375	0.9	1.5	6.6	7.2
14:55	24.0	14.8	514	150	0.9	1.5	6.5	7.1
14:56	24.0	14.7	527	653	0.9	1.5	6.6	7.2
14:57	24.0	14.7	547	692	0.9	1.5	6.5	7.1
14:58	24.0	15.0	545	720	0.9	1.5	6.6	7.2
14:59	24.0	15.2	547	691	0.9	1.5	6.5	7.1
15:00	24.0	15.4	536	673	0.9	1.5	6.5	7.2
15:01	24.0	15.6	535	705	0.9	1.5	6.6	7.1
15:02	24.0	15.8	531	702	0.9	1.5	6.6	7.2
15:03	24.0	16.1	528	709	0.9	1.5	6.6	7.1
15:04	24.0	16.4	513	708	0.9	1.5	6.6	7.2
15:05	24.0	16.5	512	705	0.9	1.5	6.6	7.1
15:06	24.0	16.6	511	694	0.9	1.5	6.6	7.2
15:07	24.0	16.7	518	688	0.9	1.5	6.6	7.1
15:08	24.0	16.9	505	681	0.9	1.4	6.5	7.2
15:09	24.0	16.9	509	673	0.9	1.5	6.6	7.1

그림 13-4. 사용자 선택에 따른 DB 출력

- 사용자가 원하는 데이터베이스에 접근하여 저장된 데이터를 화면에 쉽게 출력할 수 있도록 개선하였으며, 이러한 데이터를 기준으로 사용자는 매년 누적된 환경데이터를 확보할 수 있도록 하였다.

14. 설정값 저장 프로그램 개발

가. 목표 : 설정값 변경시마다 일별 데이터 저장 및 불러우기 실행

나. 환경제어 설정 로직 변경



그림 14-1. 기존 환경제어 설정 로직

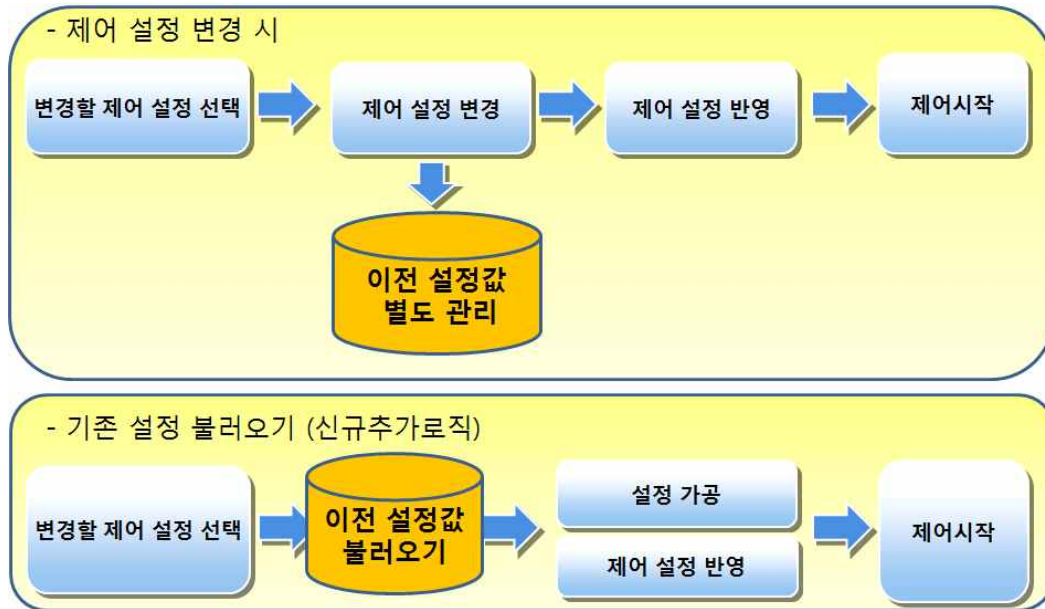


그림 14-2. 신규 환경제어 설정 로직

다. 프로그램 변경 내역

(1) DB 부분

- Firebird -> MySQL로 변경.

MySQL의 특징

- MySQL은 빠르고, 안정적이며, 사용하기가 쉬움.
- MySQL은 클라이언트-서버 환경은 물론 embedded 시스템 환경에서도 이용할 수 있음.
- 스토리지 엔진의 독립적 선택 가능
- 다양한 플랫폼 (Cross-platform) 지원
 - 지원 플랫폼: Linux, Microsoft Windows, FreeBSD, Sun Solaris, IBM's AIX, Mac OS X, HP-UX, AIX, QNX, Novell NetWare, SCO OpenUnix, SGI Irix, and Dec OSF.
- 다양한 데이터베이스 드라이버 제공

15. “마그마” 온실 환경제어 기술과 네델란드 프리바 “맥시마이저” 온실 제어기와의 비교

항목	비교내용	비고
권취식 환기창 제어를 위한 환기창 모터 개별 제어 알고리즘 작성 및 시험연구	맥시마이저에는 천창 개별제어기능이 없음	
피복재(유리, 비닐)에 따른 온도 변화 패턴 모니터링	네델란드 제어기와 실내온도 변화 추이 차이가 없음	
외부온도와 일사가 온실 내 온도 변화에 미치는 영향 분석	일사값과 누적일사값이 반영됨으로 차이 없음	
일출, 일몰시 온도와 습도변화에 따른 환경조절 프로그램 개발	네델란드 제어기의 90%수준	
CO ₂ 사용을 위한 제어 알고리즘 개발	일사와, 실내습도에따라CO ₂ 공급량 조절기능 100%수준	
난방수 PID 제어프로그램 개발	다양한 난방기능에서 80%정도 수준임	
권취식 천창 환기 방법에 적합한 감우센서 개발	감우센서의 민감도에서 90%정도 수준임	
천창 개도값 확인 장치 및 피드백 제어 프로그램 개발	개도계의 종류에따라 약80% 정도의 수준임	
유동팬 프로그램 개발	실내온, 습도에따라 제어기능 100%수준임	
보광등 프로그램 개발	보광등의 다양성에서 약80%정도 수준임	
공급양액의 EC, pH 변화 모니터링	양액공급 기능이 없으므로 비교가 어려움	
설정값 저장 프로그램 개발	맥시마이저에는 기능이 없음	

제2-4절. 파프리카 근권 환경 최적화를 위한 함수율 조절 장치 개발

1. 실시간 배지 (슬라브) 함수율 변화 및 작물 증산량 측정 시스템 구축

(1) 실시간 배지 함수율 변화 측정 및 제어 시스템 구축

- 컴퓨터에 의한 배지 함수율계측 제어시스템 및 프로그램 구축
CR10X이용 제어/계측 장치, TDR 센서, PPF, 온습도 센서
암면을 이용한 재배 장치 (Fig. 1)
- 배지 함수율 처리 조건: 3처리
하한 기준 45%-, 55%-, 65%- 에서 배액 20% 이상 조건의 함수율 수준
- 전체 시스템 숫자: 배지 함수율 3처리 x 4 시스템 반복 = 12개 시스템
1개 재배시스템 당 2개 슬라브 (각 슬라브당 식물 3주) (Fig. 2)
- 배지 함수율 측정 시스템의 개요 (Fig. 3)
- 재배품종: Paprika 'Boogie' 이용

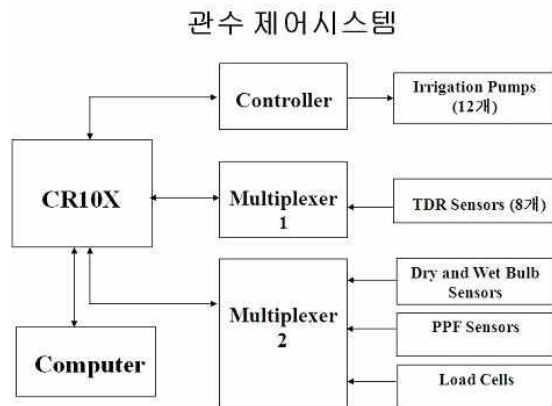


Fig. 1. Schematic diagram of a measuring and control system .

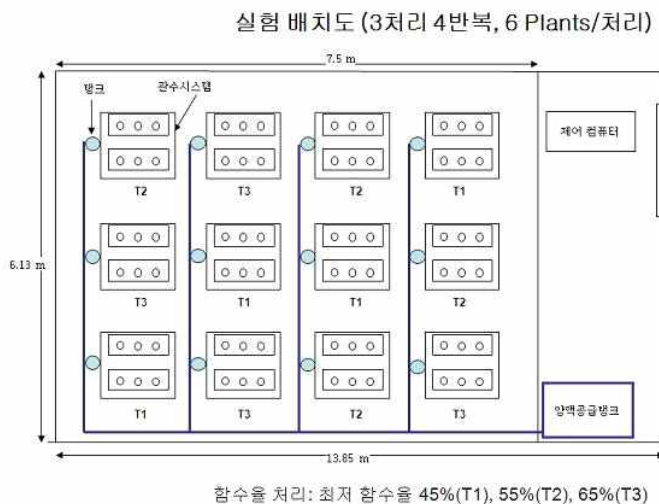


Fig. 2. Experimental design for measurement and control of moisture contents in growing media. (3 moisture contents x 4 system replications)

배지 함수율 및 배수율 측정

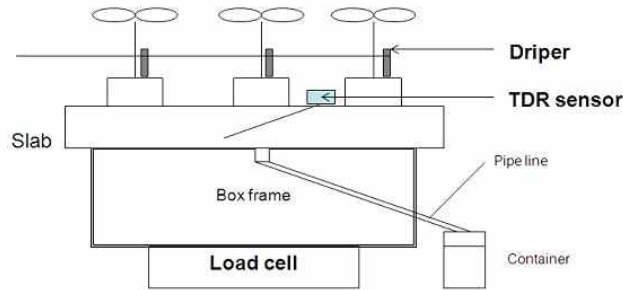


Fig. 3. Schematic diagram of a measuring system for moisture contents.

- 함수율 제어 특성 분석 (Fig. 4)

전체적으로 설정치를 중심으로 비교적 정확하게 제어되고 있다. 상한선은 개략 85% 전후에서 배액이 시작되므로 추후 배액과의 관계를 정확하게 분석할 필요가 있다.

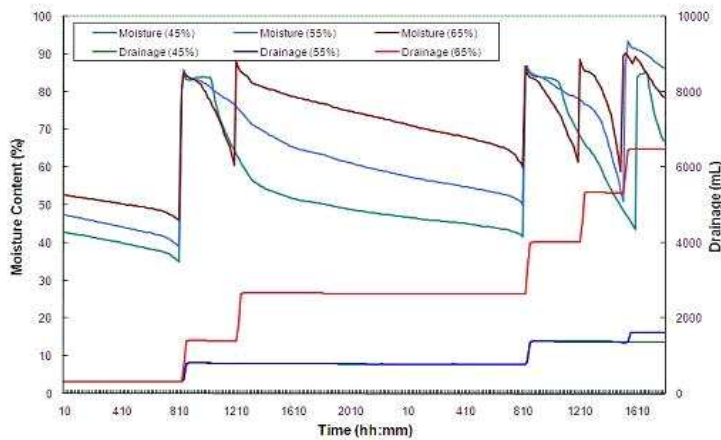


Fig. 4. Controlled situation of moisture contents (left axis) under three different set oints (45%, 55%, and 65%), and corresponding drained volume (right axis).

(2) 함수율 조건별 배지의 관배수 특성 분석 (배액 비율 포함)

- 함수율 설정 조건에 따른 관수시간, 배액개시, 배액량과의 관계 (Fig. 5)기본적으로 배지 함수율 70% 이상에서 배액이 85% 전후가 되면 투입된 관수량 전체가 배출된다. 따라서 함수율 설정치가 높을 경우, 관수 시간이 짧아야 되며 함수율 설정치가 낮을 경우는 하한치에서 상한치 사이의 간격이 크기 때문에 관수시간이 길어야 한다. 이러한 관수 시간 조정이 적절치 않을 경우, 배액량이 20-30%의 범위를 벗어난다.

- 환경조건 및 생육 단계에 따른 관배수 특성 (Fig. 6)환경조건과 생육 단계에 따라서 관수시간 조정이 필요하기 때문에 이러한 부분에 대한 모델이 필요하다. 일사량이

큰 조건에서 필요 관수량이 증가하고, 이에 비례해서 배수량도 증가하였다. 그러나 환경 보전과 양액 손실 방지를 위하여 정확한 배액 비율의 조절이 필요하다.

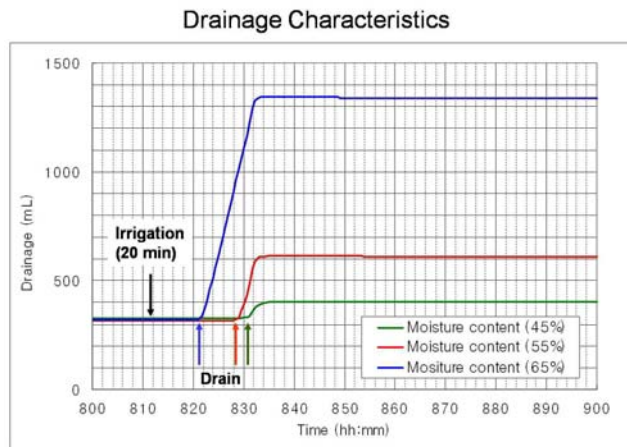


Fig. 5. Drainage characteristics of growing media under different set values of moisture contents.

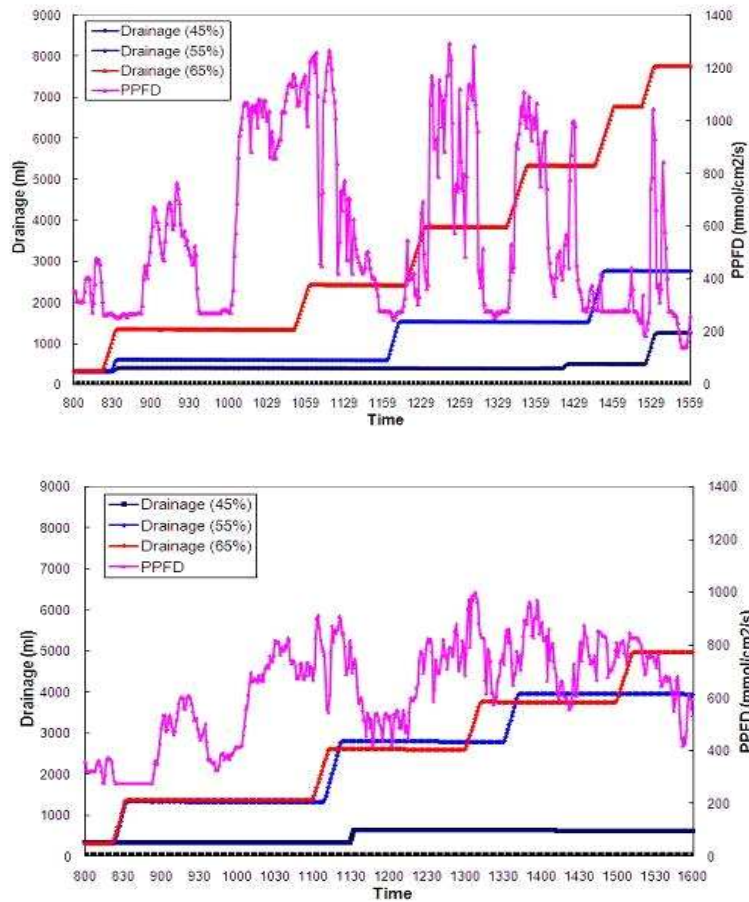


Fig. 6. Drainage amount of nutrient solution at different moisture contents under high (upper) and low (bottom) light intensities.

(3) 재배장치에 로드셀, TDR 센서, 관배수 측정을 이용한 증산량 측정장치 구축

2. 광 및 온습도 변화에 따른 배지 함수율 및 작물의 증산량 분석

(1) 상업용 온실에서 일사량, VPD, 작물의 증산량과의 관계 분석

- 상업용 온실: 아트팜 (강진 소재)
- 재배 품종: Paprika 'Special'
- 측정 자료: 일사량, 온습도 (VPD), 누적 관수량/배수량 (2008. 1-2월)
- 증산량, 일사량, VPD와의 관계 분석 (Fig. 7)
- 증산량, 누적관수량, 배수량과의 관계 분석 (Fig. 8)

일사량은 VPD의 변화에 영향을 주는 것으로 나타났다. 일사량에 의한 온도 상승은 상대습도 하
 강 을 유발시키기 때문에 VPD의 값이 높아지는 것으로 분석된다. 또한 VPD도 증산량에 간접적
 인 영향을 미치지만, 주간에는 일사량에 의한 온도가 엽온에 영향을 준다.
 따라서 공기의 VPD보다는 엽면-공기사이의 VPD 바람직하기 때문에, 세밀한 예측을 위해서는
 미 기상 모델을 이용하는 것이 바람직하다.

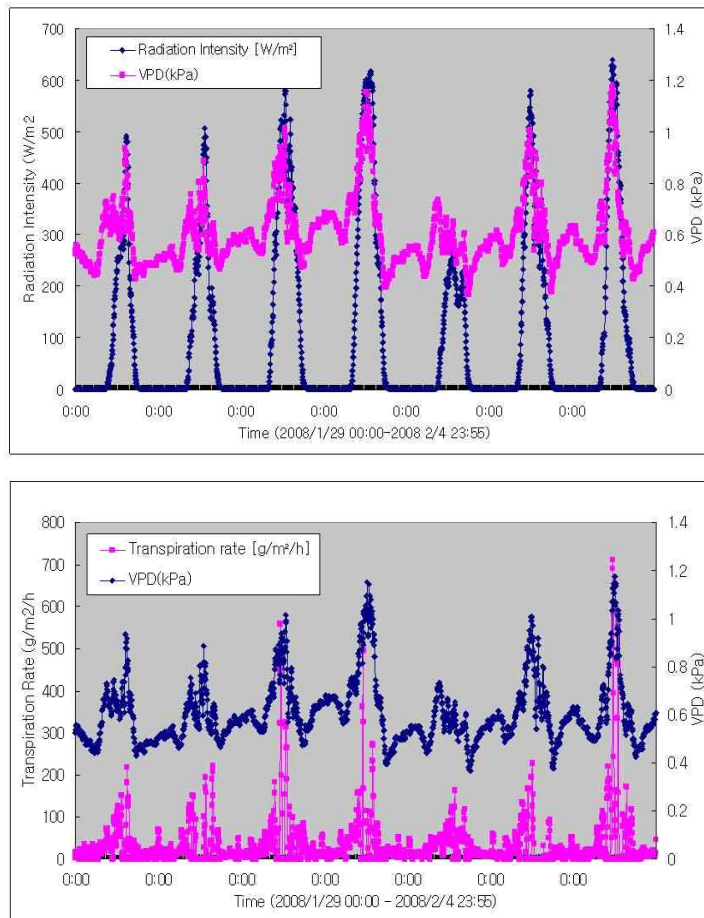


Fig. 7. Relationships between radiation and VPD (upper), and between transpiration rate and VPD (bottom).

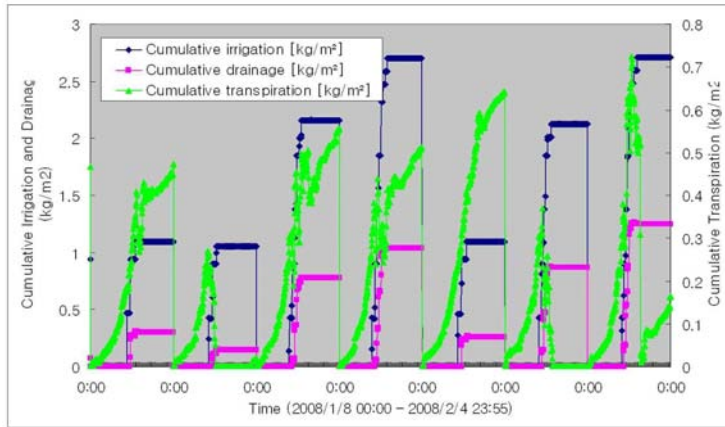


Fig. 8. Relationship among cumulative irrigation, drainage, and transpiration.

- 증산량과 누적 일사량과의 관계 분석 (Fig. 9, Table 1)

증산량은 누적 일사량과 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났고, 엽면적 지수(LAI)는 간이식에서 증산량과 비례 관계가 있는 것으로 나타났다.

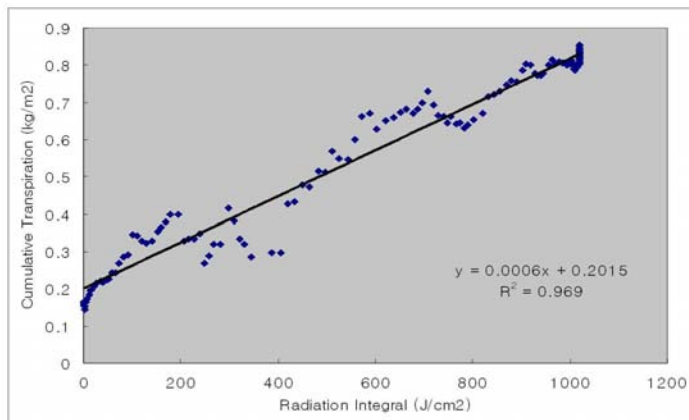


Fig. 9. Relationship between cumulative transpiration and radiation integral at LAI 2.66.

Table 1. Parameters of a transpiration model at different LAIs.

	LAI	Parameter		
		a	b	c
Transpiration Model	2.22	0.0006	0.2095	-
	2.66	0.0006	0.2015	-

$$W_T = (a \cdot RAD + b) \cdot LAI \quad (\text{단순화})$$

(2) 일사량, 온습도, 배지 함수율, 작물의 증산량 측정 관계 분석 중

3. 배지 함수율 처리에 따른 파프리카 작물의 생육 영향 분석

- (1) 배지 함수율 (하한기준 45%, 55%, 65%)에 따른 작물의 초장 및 엽면적 분석
 - 파프리카 작물의 실험 광경 (Fig. 10)



Fig. 10. Paprika plants grown in an experimental glasshouse of Seoul National University.

- 배지 함수율 (45%, 55%, 65%)에서의 작물의 초장 및 엽면적 (Figs. 11, 12)
 초장은 배지 함수율 3처리에서 큰 차이가 없었다. 엽면적은 배지 함수율 45%에서 가장 낮았고, 55%와 65%는 유사하였다. 전체적으로 생육단계에 따라서 증가하였다.

Fig. 11. Change in plant height at different moisture contents.

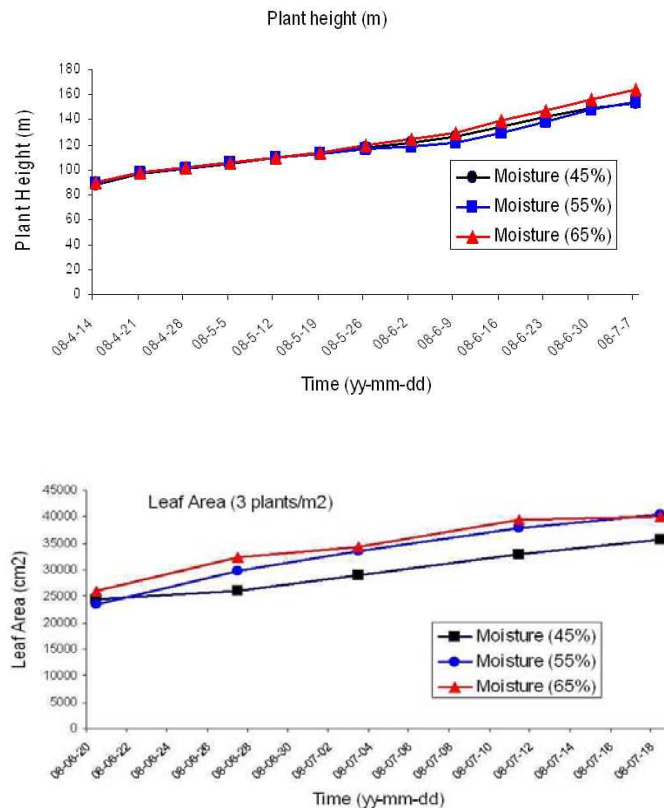


Fig. 12. Change in leaf area at different moisture contents.

(2) 배지 함수율에 따른 과실의 건물중 및 생체중 분석

- 배지 함수율에 따른 과실의 건물중 및 생체중 분석 (Table 2)

배지 함수율 55%에서 과실당 건물중, 주당 건물중이 가장 큰 것으로 나타났다. 생체중은 과실별, 주별 상이한 결과가 나타났지만, 전체적으로 배지함수율 65%에서 가장 큰 것으로 나타났고, 과실수도 많은 것으로 나타났다.

Table 2. Drainage characteristics of growing media under different set values of moisture contents.

Treatment (Moisture Content)	Number of Fruits	Fresh weight (gr)			Dry weight (gr)		
		Total	/Plant	/Fruit	Total	/Plant	/Fruit
45% -	266	45,655.8	1902.3	171.6	2,960.08	123.33	11.13
55% -	268	44,185.2	1841.1	164.9	3,158.68	131.61	11.79
65% -	278	46,995.0	1958.1	169.0	2,993.87	124.74	10.77

(>100g, no physiological disorder)

- 배지 함수율에 따른 과실의 정상/비정상과 분석 중 (Fig. 13)

배지함수율에 따른 정상 및 비정상과의 비율은 9-10% 전후로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

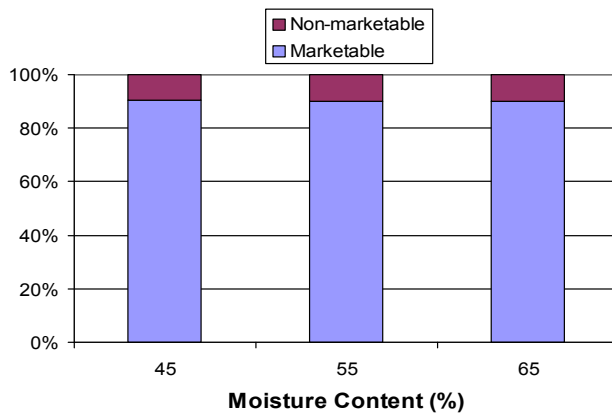


Fig. 13. Comparison of number of normal and abnormal fruits at different moisture contents.

4. 배지 함수율 조절개념 정립과 배지의 배액 특성 및 증량법과 TDR법의 수분함량 특성 분석

(1) 배지 함수율 조절개념 정립

- 최적 함수율 유지와 작물 최적 재배 환경 유지를 위하여 배지 함수율 조절개념에 대한 정립이 필요하다.
 - 배지의 물리성과 온실의 물리적 환경요소를 고려한다.
 - 관수모델과 증산모델을 이용하여 함수율 조절개념을 설명한다.
- 누적 관수량과 누적 배수량의 특성을 분석하여 배수시점을 광강도, VPD, 배지의 수분, 생육 특성 등의 환경에 따라 분석한다 (Fig. 14).
 - 배지의 함수율 변화는 관수강도 및 관수시간, 설정 함수율 등에 영향을 받는다.
 - 배수율은 관수량에 대한 배수량이 20-30%가 되도록 설정한다.
 - 관수모델과 증산모델은 일사량, VPD, 생육 단계 등의 함수에 따라서 결정된다.
 - 증산량 추정은 급수량에서 배액량과 배지에 흡수된 양을 제외한 양으로 계산한다.
 - 종합적으로 배지의 물리적 특성, 설정 배지 함수율, 외부의 물리적 환경요인들, 관수 특성, 생육 단계 등을 이용하여 관수모델과 증산모델을 구축하고 이러한 모델을 기반으로 급액량의 20-30%가 배수 되도록 한다 (Fig. 14).

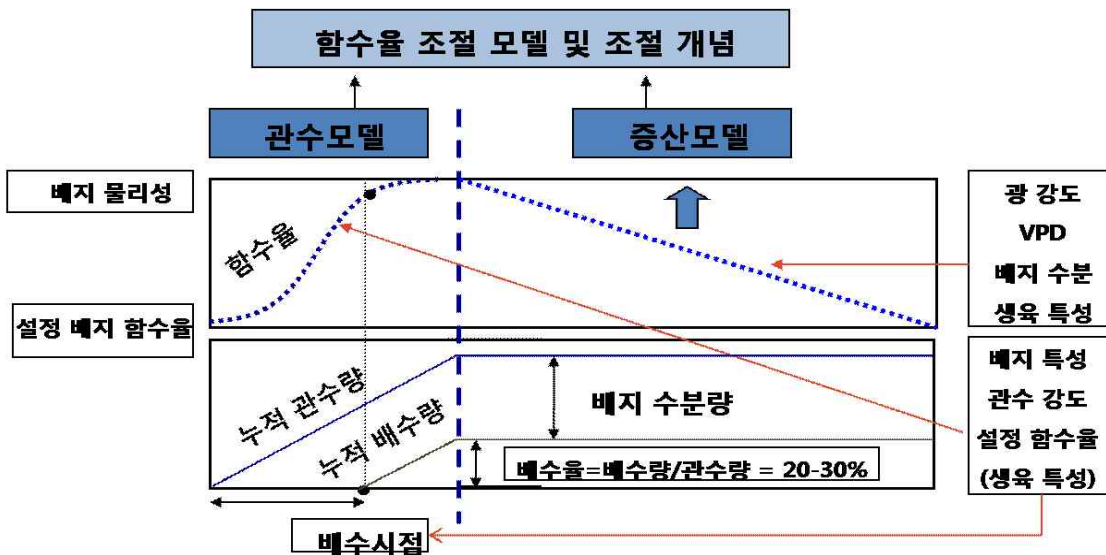


Fig. 14. Concept of moisture content control in a soilless culture.

(2) 슬라브의 위치별 수분분포 및 배액의 배액 특성

- 실제 현장에서 TDR 센서를 설치한 위치를 보면 급액되고 있는 암면 큐브의 아래에서 측정하는 것이 아니라 수평으로 10-15cm 정도 떨어진 위치에서 측정하는 것을 볼 수 있다.
- 따라서 본 실험은 큐브에서 급액되고 있는 조건에서 급액위치에서 수평으로 떨어진 슬라브의 수분 함량을 측정하여 그 값을 비교하고자 본 실험을 수행하였다.
- 슬라브(7X15X90cm)내의 위치별 수분분포와 급액량과 배액량과의 관계를 분석하기 위하여 건조한 상태의 슬라브와 큐브를 각각 재배조건에 맞추어 배치(3 plants/slab)시켰다.
- 배양액(EC 1.0 dS/m, 파프리카 재배용; PBG)을 제조하고 수중펌프를 이용하여 점적관수 시스템으로 100mL/min의 유속으로 급액하였다.
- 큐브와 큐브사이에 등간격으로 5개의 TDR 센서(CoCo, 미래센서 Co. Ltd. Kor)를 데이터 로거(CR10x, campbell Co. Ltd. USA)에 연결하여 연속적으로 수분함량을 측정하였다.
- 배액되는 양액의 시점과 배액량을 측정하기 위하여 로드셀(psa30-50, 봉신로드셀 Co. Ltd. Kor)을 설치하여 연속적으로 배액 무게를 측정하였다.
- 급액은 0-2.0L/cube 범위에서 0.2L 씩 증가시키면서 연속적으로 측정하였다.
- CR10X를 이용하여 정확한 급액과 로드셀의 무게등을 측정하였다.

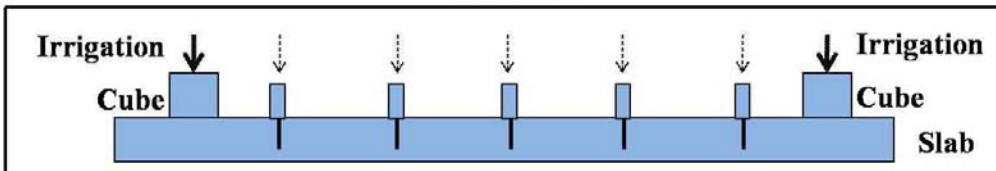
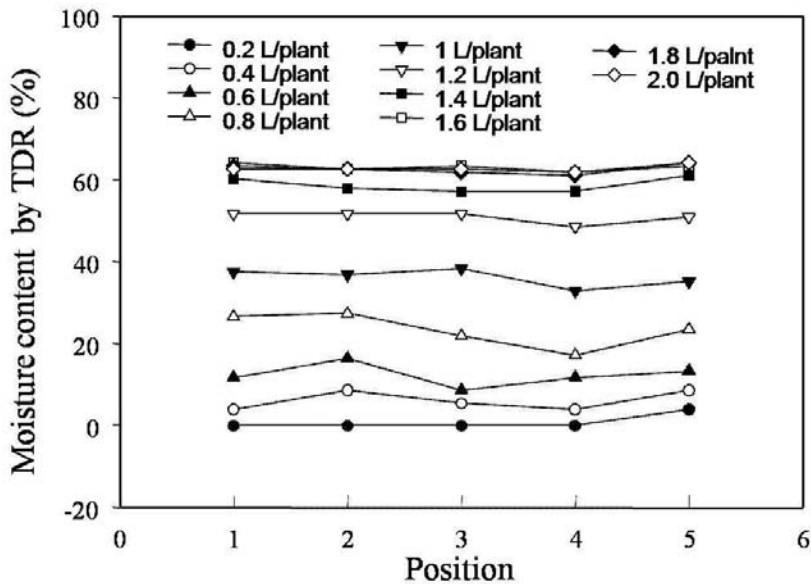


Fig. 15. Distribution of moisture contents in a slab measured with five TDR sensors equally spaced between two irrigation points.

- 큐브에서 점적 방식에 의해 양액을 점차 증가시킬 경우 큐브와 큐브사이의 슬라브내 수분 함량은 그림에서와 같이 큰 차이가 없는 것으로 나타났다 (Fig. 15).
- 공급하는 물의 공급량에 비례하여 슬라브내의 수분함수량은 비례하게 증가하는 경향을 나타내었다 (Fig. 15).
- 큐브당 0.6L를 공급한 조건에서 위치별 수분함량의 편차가 가장 크게 나타났으며, 큐브당 공급량이 증가되어 1.4L/min 이상 되었을 경우에는 위치별 수분함량의 편차가 나타나지 않았다.
- 본 실험조건에서 포화수분 함수량은 약 65% 정도로 나타났으며 암면 슬라브는 통기성이 우수하기 때문에 큐브에서 공급된 수분은 슬라브를 수직으로 흐르면서 공극부분을 통과해 쉽게 슬라브의 하층에 집적이 된다.
- 하부에 집적된 수분은 모세관현상에 의하여 빠르게 수평으로 이동된 것을 관수 후 포장 비닐을 제거한 후에 확인하였다.
- 슬라브내의 수분분포가 관수위치와 상관없이 매우 균일한 높이로 슬라브내에 분포되어 있는 것을 확인할 수 있었으며, 따라서 TDR 센서를 이용하여 배지내의 수분을 측정하고자 할 경우 관수 위치에 따른 센서 설정 위치는 크게 중요하지 않다고 생각된다.

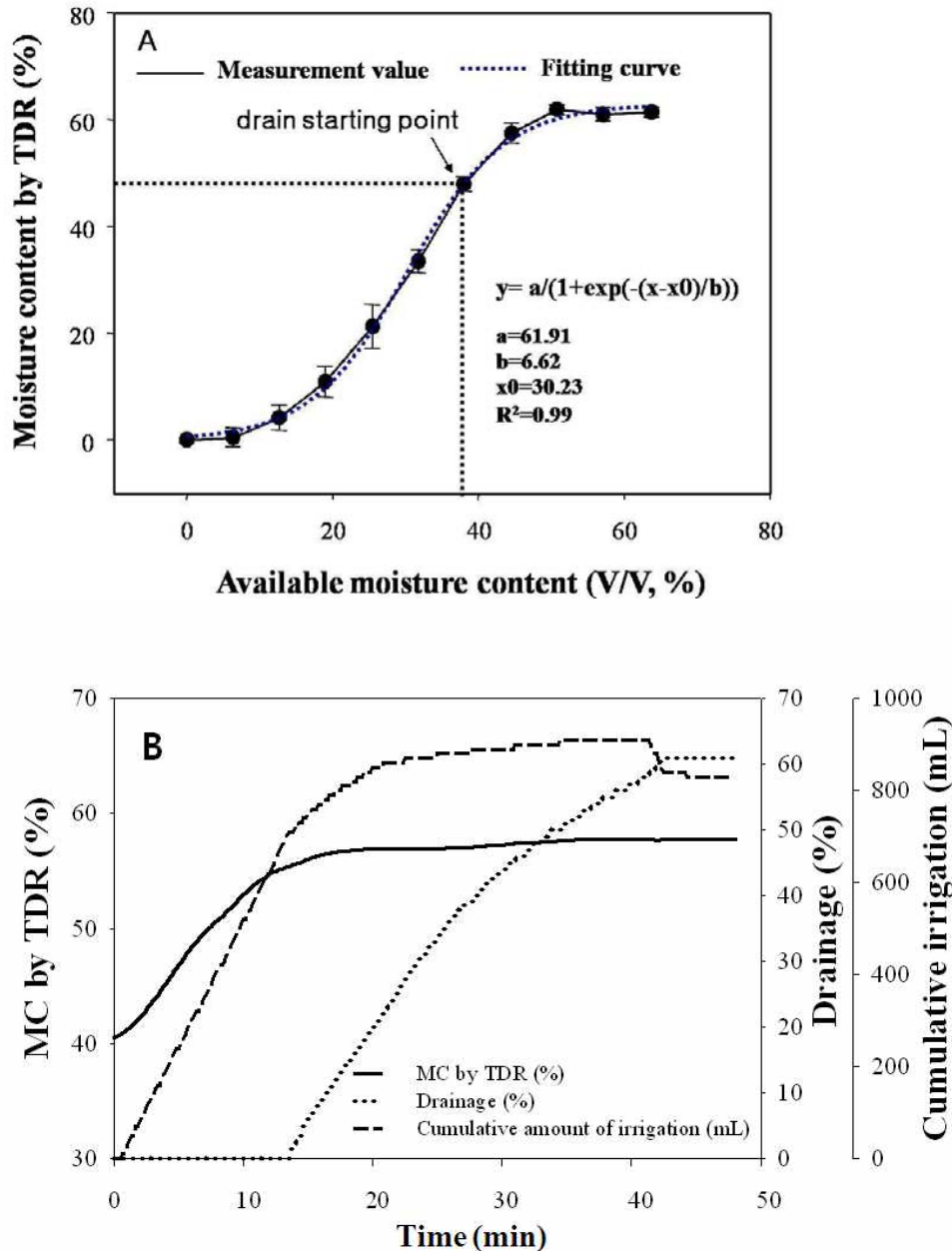


Fig. 16. Moisture content (MC) measured by TDR sensors about available moisture content (v/v, %) (A), and drainage (%), cumulative irrigation (mL), and MC by TDR (B).

- 실제 유효수분함량(v/v, %)에 따른 TDR 센서값에 의한 배지내 수분 함량의 변화는 Fig. 2(A)와 같이 sigmoid curve (3 변수)를 나타내었으며 포화수분함량이 되기 약 10%전 수분함량 상태에서 배액이 시작되는 것으로 나타났다 (Fig. 16).
- 암면슬라브 배지에서의 유효수분함량과 실제 TDR 센서에 의한 값의 관계는 $y = a / [1 + \exp(-(x-x_0)/b)]$ 의 함수에서 $a = 61.91$, $b = 6.62$, $x_0 = 30.23$, 결정계수(R^2)는 0.99로 나타났으며, 따라서 실제 공급된 유량이나 TDR 센서로부터의 함수량값을 이용하면 상대의 값을 유추할 수 있다.
- 각 배지의 배액특성은 배지의 기울기, 배지내 배수구의 위치 및 배수구 크기에 따라서 조금

씩 달라지는 것을 반복 실험을 통하여 관찰하였다.

- 본 실험조건인 수평상태에서 거터위에 슬라브를 올려놓고 정중앙부의 양쪽에 T자로 배수구를 만들어 실험한 결과 매우 유사한 결과들을 얻을 수 있었다.
- 암면 슬라브배지의 포화수분함량은 배액 시키는 조건에서 58-65%사이 값을 가지는 것으로 나타났으며 배액은 50-55%의 시점에서 배액이 시작되었다 (Fig. 16). 이러한 암면 배지의 급액량에 대한 배액특성을 근간으로 TDR 센서를 이용하여 관수시점을 결정하고 전체 급액에 대한 배액이 약 20-30%가 될 수 있도록 급액량을 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

(3)중량법과 TDR법의 수분함량 특성

- TDR센서에 의한 배지 수분함수량을 보다 정확하게 검증하기 위하여 로드셀을 이용한 배지 중량법과 TDR 센서값을 비교하였다.
- 유리온실에서 거터의 배수구를 막고, 12L의 물을 거터에 담고 포장 비닐을 벗긴 슬라브 배지를 거터에 놓고 포수 시켰다. 이후 배수구를 열어 중력수를 모두 제거한 후 로드셀을 이용하여 배지의 무게를 연속적으로 측정하였으며, 이때 슬라브 양쪽에서 30cm 씩 떨어진 곳에 2대의 TDR센서를 수직으로 꽂아 연속적으로 수분함량 변화를 측정하였다.
- 수평으로 놓여진 거터위에 슬라브를 놓고 배양액(EC: 2.2 dS/m)으로 포수시킨 후, 슬라브의 양쪽에 등간격으로 설치된 TDR 센서 2대의 평균값과 배지 전체의 무게를 측정하여 두 개의 값을 비교하였다 (Fig. 17).
- 중력수로 배액된 부분을 확인 한 후, TDR 센서의 값은 100%를 보인 반면에 로드셀 값은 약 90%의 값을 나타내었으며, 그 이후 온실에서 자연 건조 시키면서 두 개의 값을 비교한 결과 유사한 경향을 나타내면서 하강하는 것을 알 수 있다 (Fig. 17).
- 물의 유전상수는 약 80으로 매우 건조한 토양에서의 유전상수 2.7보다 매우 큰 값을 나타내므로 수분이 함유된 토양의 유전상수는 증가하게 되므로 일반 토양이 아닌 슬라브 배지는 공극이 많아 완전 포수를 시킨다고 하여도 중력수로 하강하는 량이 발생하게 된다
- 이번 실험을 통해서 이러한 중력수로서 배지로부터 빠져나가는 수분량이 전체 포수된 물의 약 10%정도 되는 것을 알 수 있었으며, 따라서 초기 포수조건에서 TDR센서와 중량법 사이에 10%의 차이를 보이는 것으로 나타났다.
- 시간이 경과하면서 배지내의 수분량이 적어짐에 따라, 두 방식의 측정간 오차가 줄어드는 것을 알 수 있다 (Fig. 17). 특히 TDR센서에 의한 배지수분 함량이 60% 미만인 조건에서는 중량법과의 오차가 5% 정도의 범위에서 움직이고 있었으며, 암면 슬라브 배지의 유효수분 관리에 있어 TDR 센서를 이용할 경우 지표가 될 것으로 판단된다.
- 또한 두 방식에 대한 직선 회귀모델을 구하였을 경우 결정계수(R^2)는 0.992를 나타내었으며, 이는 중량법으로 계산된 배지의 수분함량과 TDR센서에 의해 측정된 수분함량이 매우 높은 유사관계를 나타내는 것이라 할 수 있다.

•이상의 결과와 같이 TDR 센서를 이용하여 슬라브 배지내 수분함량을 측정하고 이 값을 근거로 배지 수분 조절이 가능할 것으로 판단되었다.

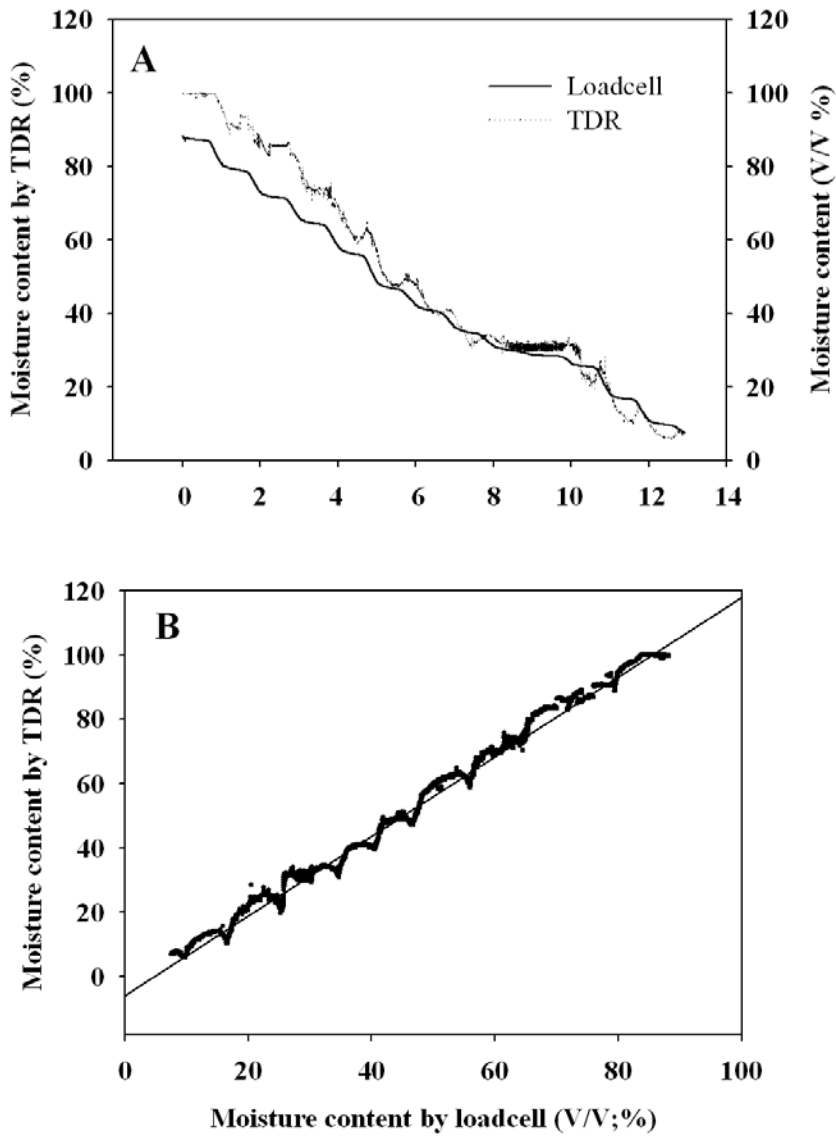


Fig. 17. Comparison of moisture contents measured by TDR sensors and loadcell within a full scale moisture content (0-100%).

5. 적산 일사량 제어시 환경조건 및 급배액 특성에 따른 생육단계별 증산량 추정 연구

- 재배 작물은 파프리카(*Capsicum annuum* L.) “Cupura”이며, 2008년 9월 10일에 암면 큐브에 파종되고 15일 후 암면 큐브에 이식되었으며, 이후 15일간의 육묘기간을 거친 후 2008년 10월 12일에 암면 큐브를 슬라브(90cm x 15cm x 10cm, Coco Slab, 대영 GS, Korea)위에 올려 정식하였다.
- 1개의 암면 큐브에 2주의 식물이 정식되었으며, 1개의 슬라브에 4개의 큐브가 설치되었다. 재식밀도는 $4.05\text{주}\cdot\text{m}^{-2}$ 이며 1주당 2개의 줄기를 유인하였다. 작물은 전남 강진 소재 유리온실(아트팜)에서 재배되었다.
- 정식 이후 2월 중순까지 난방 설정온도는 주간 20°C , 야간 19°C , 상대 습도는 주간 75%, 야간 85%로 유지하였다. 2월 중순부터는 난방 설정온도는 주간 20°C , 야간 18°C , 상대 습도는 주간 70%, 야간 80%로 유지하였다.
- 배양액의 EC와 pH는 정식 후 2월 중순까지 EC $3.2\sim 3.5\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, pH 5.5을 유지하였으며, 2월 중순부터는 EC $2.5\sim 3.0\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, pH 5.5를 유지하였다. 급액 방법은 외부 광량을 기준으로 $80\sim 120\text{ J cm}^{-2}$ 범위에서 공급하였으며, 배양액은 파프리카 전용 배양액(EC $2.2\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$)을 비순환식으로 급액 관리하였다.
- 생체중, 엽면적 및 엽면적지수는 생육단계를 기준으로 매 1개월 단위로 식물을 파괴적으로 샘플링하였으며 각 단계별로 5 개체를 측정하였다.
- 온실 내 환경요인으로는 일사량, 온도, 습도를 측정하였고, 이 데이터를 근거로 적산 일사량과 공기 중의 포차(Vapor pressure deficit, VPD)를 계산하였다. 일사량, 온도 및 습도 측정을 위해서 일사계(CMP22, Kipp & Zonen, Netherlands), 온도계(Pt 1000 Ohm, Visala, Netherlands), 습도계(HMM30D, Visala, Netherlands)를 설치하였다.
- 온실 전체의 환경제어를 위하여 상업용 환경제어시스템(Multima-500, Hortimax, Netherlands)이 사용되었으며 증산량 측정을 위하여 관수 측정장치(Prodrain 125, Horti,max., Netherlands)가 이용되었다.
- 작물로부터의 증산량 측정을 위하여 1개의 거터 위에 4개의 슬라브(90cm x 15cm x 10cm)을 설치하였으며, 슬라브의 무게, 관수 및 배수량은 로드셀(STC-Series, Vishay, USA)를 사용하여 측정하였다.
- 증산량은 다음과 같은 방식으로 추정하였다.

$$\text{TRS} = \text{IRR} - \text{DRA} + \Delta\text{BDW}$$

단, TRS: 증산량(mL/s), IRR: 관수량(mL/s), DRA: 배수량(mL/s), ΔBDW : 생육베드의 중량 증가량(kg/s)

(1) 관수 및 배수 특성

- 일사량 제어시 하루 총 10회 관수 되었으며, 배액율은 약 30% 정도 유지 되었다 (Fig. 18).
- 오전중에는 배액이 일어나지 않았으며 12시를 전후하여 배액이 시작되었다.
- 오전중에 배액이 일어나지 않은 것은 야간 파프리카의 증산을 통하여 배지의 수분함량이 매우 낮은 상태를 유지하는 조건에서 일출 이후 초기 급액량이 배지를 포화시키는 수준까지 공급되지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

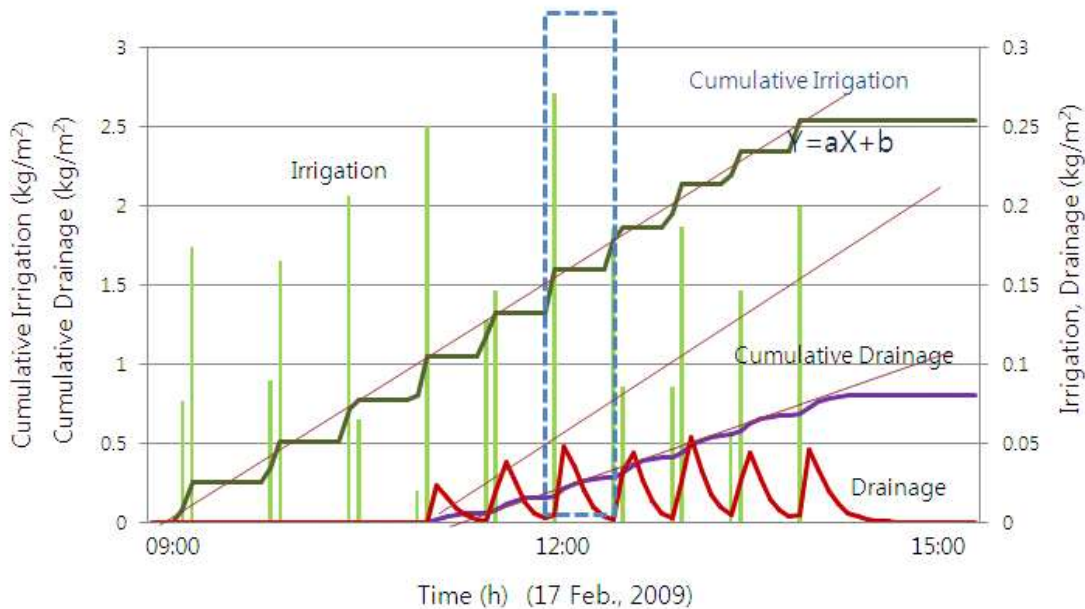


Fig. 18. Changes in irrigation and drainage in a paprika rock-wool culture.

- 누적 급액량은 직선적인 증가를 나타내었으며, 누적 배액량도 배액 시작이후 직선적인 증가를 보여주고 있다. 그러나, 배수량 곡선의 경사가 관수량 곡선의 경사보다 낮은 것은 관수량에 대한 배수량의 절대적 차이, 배지에 흡수되는 물량 및 이 기간에 발생한 증발산량의 영향이라고 판단된다.

(2) 외부환경 요인과 증산과의 관계

- 증산 속도는 일중의 일사량 변화에 대하여 밀접하게 반응하였으며, 온도와 상대습도의 함수로 표현되는 공기중의 포차의 경우도 동일한 경향을 나타냈다 (Fig. 19).
- 계절별로는 일사량이 낮은 1월의 경우 증산속도도 낮았으며 일사량이 증가한 3월의 경우, 증산속도도 이에 상응하게 증가하였다.

- 포차의 경우도 3월의 경우가 1월에 비하여 증가하였다. 그러나 단위 재배면적당 증산속도는 이러한 생육 단계의 변화에 대하여 기후 변화에 따른 일사량에만 의존하는 것은 아니기 때문에 엽면적의 증가 요인도 고려되어야 한다.

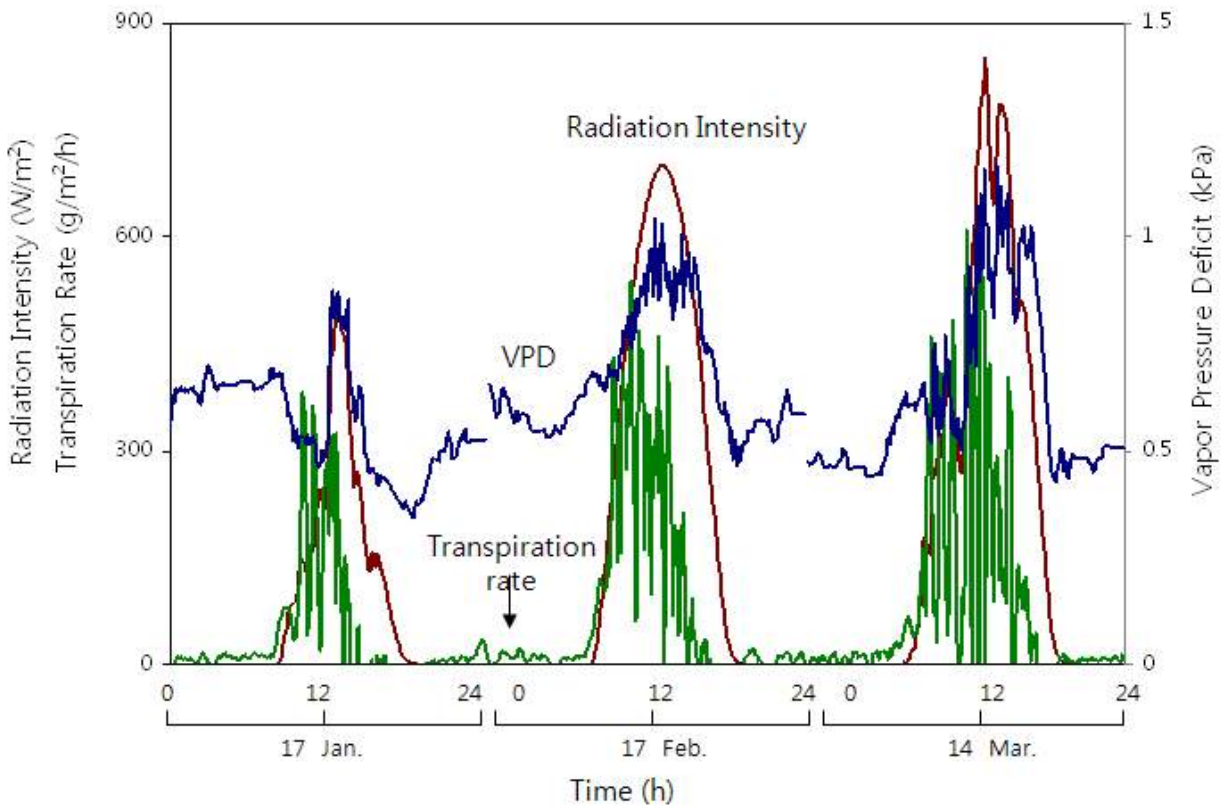


Fig. 19. Changes in radiation intensity, vapor pressure deficit (VPD), and transpiration rate of paprika in different growth stages.

- 1일 중의 누적 증산량과 누적 일사량과 누적 VPD를 분석한 결과, 누적 VPD가 1일중 거의 선형으로 증가하는 것으로 나타났지만, 누적 증산량은 이에 비례하지 않고 주간에 급속히 증가하고 야간에는 거의 일정한 값을 나타냈다 (Fig. 20).
- 이러한 결과는 야간에 발생하는 소량의 증산량은 거의 누적 VPD에 비례하지만 주간의 증산량은 누적 일사량에 의한 것을 나타낸다.
- 즉 주간의 VPD는 독립변수가 아니고 일사량 증가에 의한 실내 온도 증가 및 상대습도 강하, 포차 증가의 순서로 발행하는 종속 변수의 특징이 강하다는 것을 알 수 있다. 따라서 주간의 누적 증산량은 누적 일사량으로 추정하여도 충분할 것으로 판단된다.

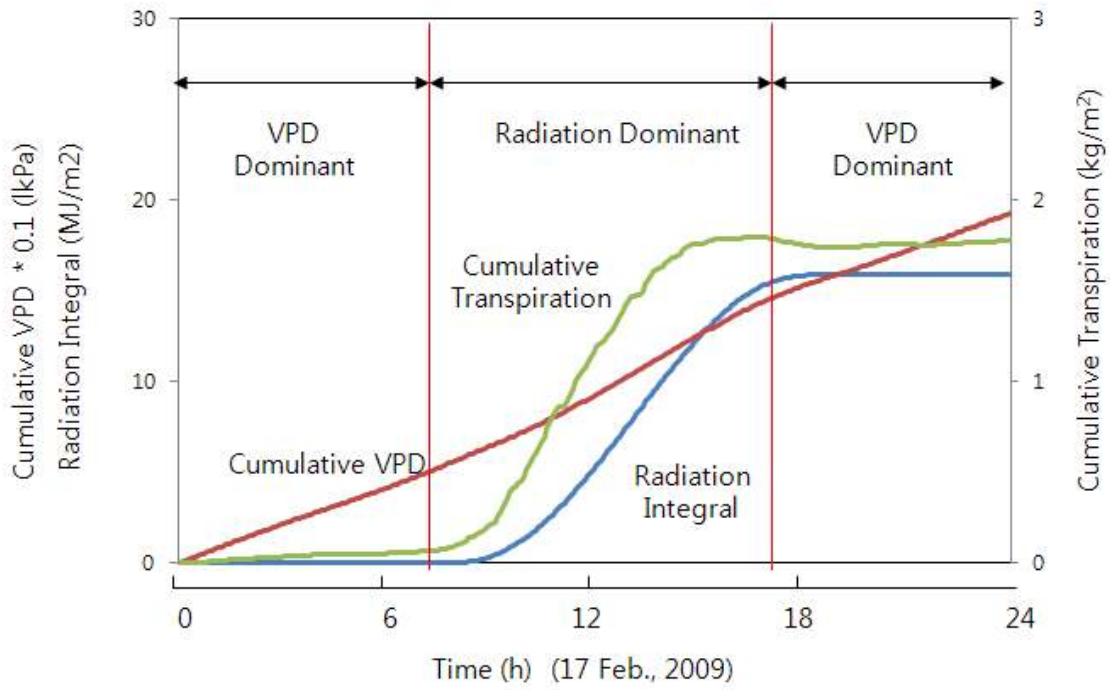


Fig. 20. Relationship among radiation integral, cumulative vapor pressure deficit (VPD), and cumulative transpiration in a day.

- 파프리카의 생육 단계별 누적 일사량에 대한 누적 증산량은 생육이 진전됨에 따라서, 일사가 길어지는 계절에 따라서 증산량이 증가하였다 (Fig. 21).

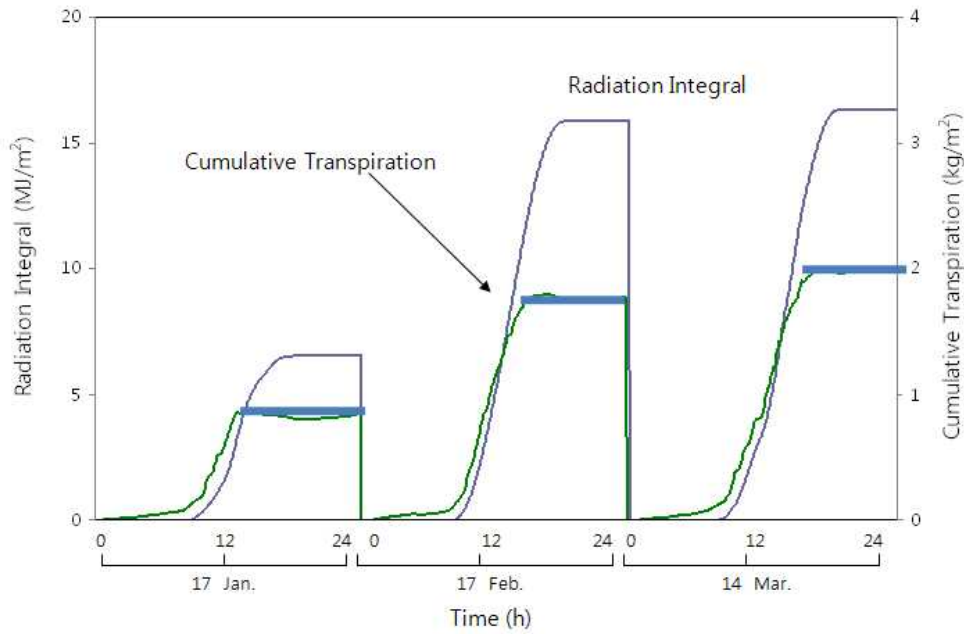


Fig. 21. Relationship between radiation integral and cumulative transpiration of paprika in different growth stages.

- 생육단계에 따라서 누적 관수량, 증산량과 배수량이 증가하는 경향이 나타났다(Fig. 22).
- 생육 단계별, 계절별로 누적 일사량이 증가하고 이에 따른 누적 관수량이 증가하였다.
- 실질적으로 누적 일사량과 엽면적지수의 증가에 따라 누적 증산량도 증가하였다.
- 누적 배수량의 경우는 배지의 특성과 1회 관수량에 좌우되지만 전반적으로 누적 관수량과 유사한 경향을 나타내었다.

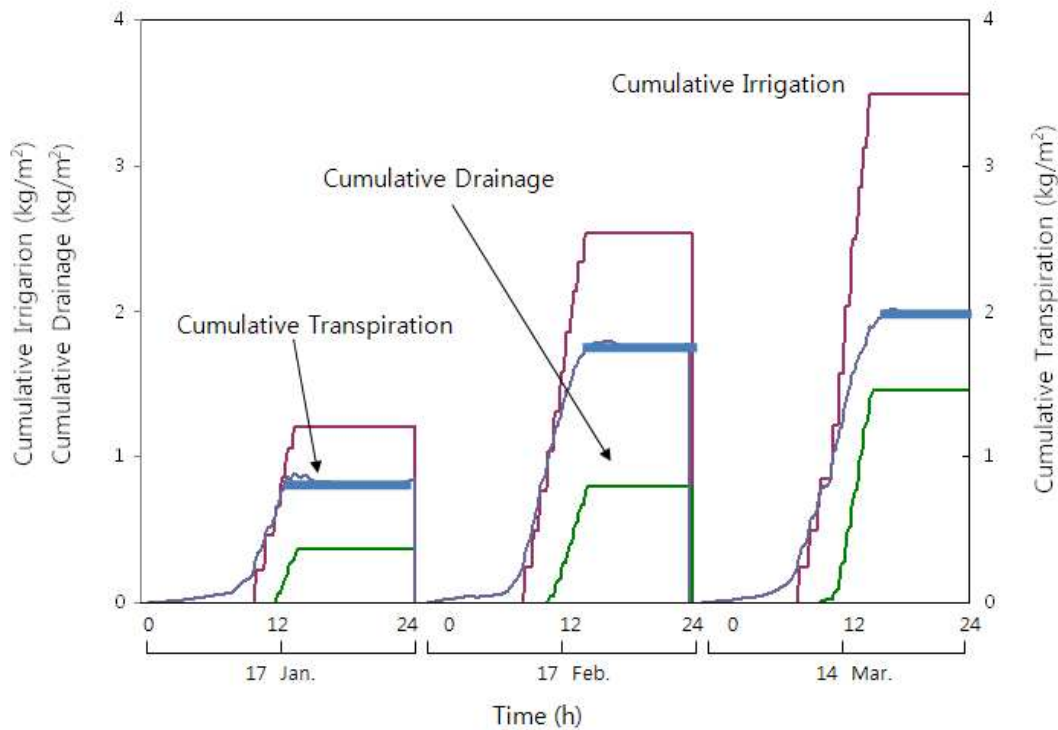


Fig. 22. Comparison of cumulative irrigation, transpiration, and drainage in different growth stages.

- 2월 17일 자료를 세부적으로 분석해보면 1일중 관수량이 여러 회에 걸쳐서 이루어지며 개략 09:00시부터 시작한 관수는 개략 3회 정도 관수 이후에 배수가 시작되었다(Fig. 23)
- 이러한 이유는 야간에 발생된 증산에 의해서 오전중 배지의 수분함량이 매우 낮다는 사실과, 이러한 배지의 수분 특성에서는 배수가 일어나지 않는다는 것이다.
- 일반적인 작물의 생리적 특성을 고려할 때 오전 중에 특히 일출 후 1시간 후부터 약 2-3시간 동안 활발한 광합성을 한다고 알려져 있다.
- 이러한 생리적 특성과 지하 수분관리는 물에 관한 싱크와 소스로서 밀접한 관계를 가지고 있으므로 좀 더 세밀한 수분관리가 필요하다.
- 특히 12시 전후부터 시작되는 관수에서 매 관수에 대하여 배수가 발생하고 있다는 것은 관수시점이 배수가 시작되는 함수율에 근접해 있다는 것으로 추측할 수 있다.
- 또한 배수량 곡선의 경사가 관수량 곡선의 경사보다 낮은 것은 관수량에 대한 배수량의 절대적 차이, 배지에 흡수되는 물량 및 이 기간에 발생한 증발산량의 영향이라고 판단된다.
- An 등 (2009)은 균일한 착과와 생육을 위해서 암면배지는 급액 (150mL/작물/회)을 유지해야 하며, 배지 함수율은 60~65% 유지할 필요가 있다고 하였다. 실제로 이러한 비율을 유지하고 배액 비율을 20-30% 유지하기 위해서는 배지 특성과 일사량-증산량을 고려한 관수량 설정이 매우 중요하다.

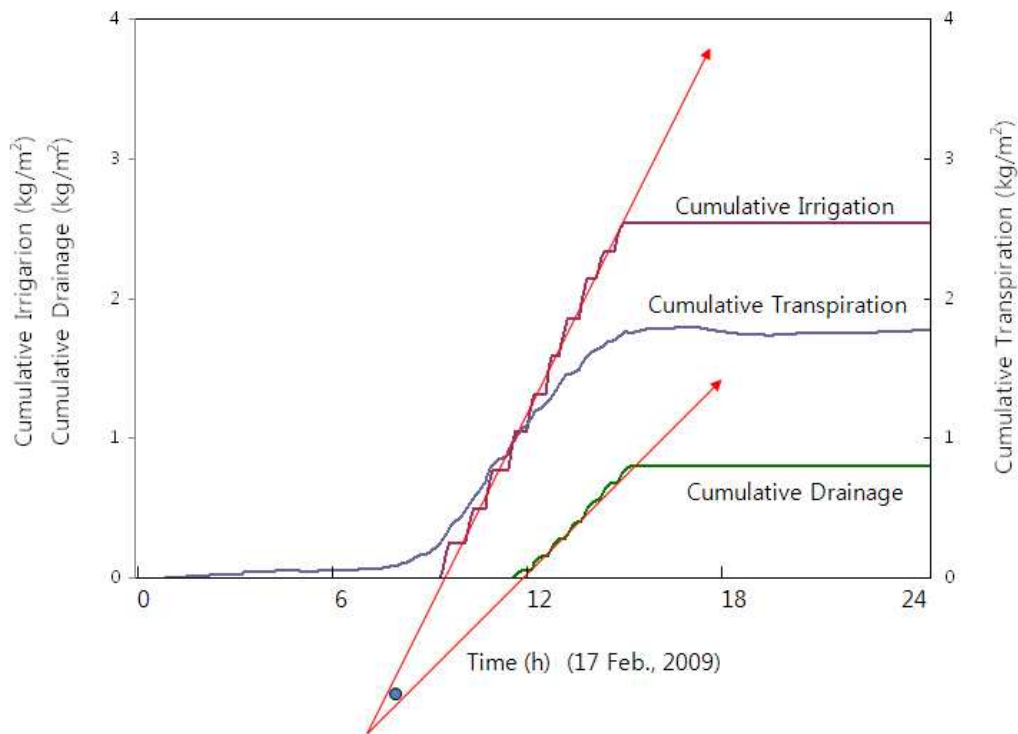


Fig. 23. Relationship between radiation integral and cumulative transpiration of paprika in different growth stages.

(3) 생육단계별 엽면적 변화 및 외부환경과 증산량과의 관계 분석

- 생육이 진전됨에 따라서 파프리카 작물의 생체중, 엽면적, 엽면적 지수(LAI)가 증가하였다(Table 3).
- LAI는 생육단계에 따라서 2.39부터 3.51까지 증가하였지만, 생육 단계에 따른 LAI의 증가 속도는 서서히 감소하는 경향을 나타냈다.
- 이러한 결과는 LAI 증가에 따른 전체 엽면적에 대한 수광량의 감소 및, 과실의 발달에 따른 엽과 과실의 양분 경합 관계가 주요인으로 판단된다.

Table 3. Changes in fresh weight, leaf area, and leaf area index (LAI) of paprika in different growth stages.

Date	Fresh weight (g)	Leaf area (cm ² /plant)	LAI (m ² /m ²)
17 Jan., 2009	1173.9±121.50 ^z	5885.1±427.07	2.39±0.173
17 Feb., 2009	1044.8±167.62	6829.4±592.34	2.77±0.240
14 Mar., 2009	1540.7±329.68	8240.1±704.15	3.34±0.285
04 Apr., 2009	1553.0±170.33	8661.2±1114.26	3.51±0.451

^zValues are means±SD of five paprikas (n=5).

- 생육 단계별 1일 중 일출 이후부터 기준 시점까지의 누적 일사량과 누적 증산량은 2차 선형식으로 근사되었다(Table 4).
- 일반적으로 1일 기준 적산 일사량(또는 평균 일사량)과 적산 증산량(또는 평균 증산량)은 1차 선형의 형태로 비례된다고 알려져 있다.

Table 4. Analysis of relationship between radiation integral and cumulative transpiration during the day with leaf area index (LAI).

Parameter	LAI	Equation	R ²
Y: Cumulative Transpiration (kg/m ²)	2.39	Y = - 0.040 X ² + 0.379 X	0.990
X: Radiation Integral (MJ/m ²)	2.77	Y = - 0.008 X ² + 0.247 X	0.994
	3.34	Y = - 0.006 X ² + 0.239 X	0.996

- 생육 단계별 1일중 누적 VPD와 누적 증산량은 1차 선형식으로 근사되었다 (Table 5).
- 특히 생육 단계를 나타내는 엽면적 지수와도 비례관계를 나타내서 비록 소량이기는 하지만 야간의 증산량을 누적 VPD로 용이하게 추정할 수 있다.
- 본 연구에서는 엽면적지수를 누적 증산량 추정식에 포함시킬 수 있는 1개의 범용 추정식의 개발에는 도달하지 않았지만 보다 많은 자료를 수집하여 분석한다면 생육 단계와 환경 요인을 고려한 누적 증산량 추정이 가능할 것으로 생각된다.

Table 5. Analysis of relationship between cumulative vapor pressure deficit (VPD) and cumulative transpiration with leaf area index (LAI).

Parameter	LAI	Equation	R ²
Y: Cumulative Transpiration (kg/m ²)	2.39	Y = 0.0012 X	0.951
	2.77	Y = 0.0013 X	0.955
X: VPD (kPa)	3.34	Y = 0.0016 X	0.973

- 보다 세부적으로 생육 단계별 누적 관수량과 배수량 곡선의 변화와 두 곡선 기울기 차이의 변화를 분석한 결과, 누적 관수량은 0.027로부터 0.065, 누적 배수량은 0.014로부터 0.031, 두 곡선의 기울기 차이는 0.013으로부터 0.033으로 증가하는 것으로 나타났다 (Table 6).
- 따라서 이러한 기울기의 변화와 누적 일사량의 변화와의 관계를 분석한다면 보다 세밀한 변화를 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 6. Analysis of relationship among cumulative irrigation and drainage with leaf area index (LAI).

Parameter	LAI	Equation	Difference in slope ^z	R ²
Y ₁ : Cumulative Irrigation (kg/m ²)	2.39	Y ₁ = 0.027 X	0.013	0.973
		Y ₂ = 0.014 X		0.943
Y ₂ : Cumulative Drainage (kg/m ²)	2.77	Y ₁ = 0.037 X	0.019	0.991
		Y ₂ = 0.018 X		0.985
X: Time (h)	3.34	Y ₁ = 0.065 X	0.033	0.985
		Y ₂ = 0.031 X		0.968

^zDifference in slope of equations Y₁ and Y₂.

6. 파프리카 생육 정보 추정 및 생육 실험

- 재배 종료 후 과수, 과중, 식물체중을 측정하였고, 70℃의 건조기에서 1주일간 건조시켜 건물중을 측정하였다.
- 세개 수준(40%, 50%, 60%)의 수분함량 처리를 두었으며, 각 수준당 4처리의 반복을 두었다. 각 처리구는 6주씩 구성되었으며 각 슬라브당 3주씩 정식하여 완전임의 배치법으로 실험하였다. 통계분석으로 위하여 SAS 프로그램을 이용하였다.

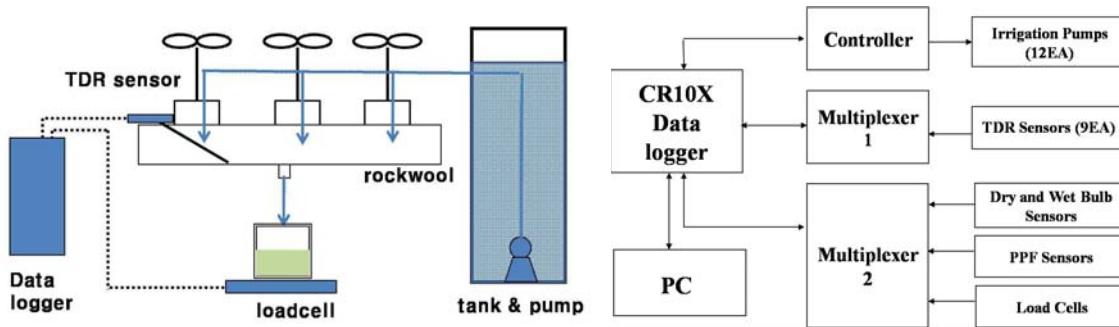


Fig. 24. Schematic diagram of the experimental set-up used for paprika culture using TDR sensors (left) and data logging and control systems (right).

- 배지의 수분 함수율에 따른 파프리카의 경장 및 엽면적은 재배기간 동안 유의적인 차이를 보이지 않았다 (Table 7).
- 또한 수확 후 파프리카의 과수와 과중에 있어서도 3가지 수분조절의 처리에서 유의적인 차이를 보이지 않았다 (Table 7).
- 일사량에 의한 제어의 경우 적산 일사량이 보통 80–120 J/cm² 정도를 기준으로 파프리카의 급액 시점을 결정한다. 적산 일사량은 이러한 급액 시점을 결정하는 바로미터의 역할을 하고, 대상 작물별, 생육단계별, 계절별, 재배 노하우별 급액량을 결정하여 급배액 관리를 할 수 있을 것이다.
- 위에서 살펴본 결과를 바탕으로 TDR 센서를 이용한 급액 시점의 결정은 새로운 수분 관리 방법으로 이용 할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 7. Fruits number, fresh weight, and dry weight of harvested paprika plants which were cultured under the different three moisture contents during experiment.

Treatment	Fruits No. (/plant)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
		(/plant)	(/fruit)	(/plant)	(/fruit)
45%	12.6 ns	2,105 ns	167.0 ns	138.4 ns	10.9 ns
55%	12.5 ns	2,011 ns	160.8 ns	144.5 ns	11.5 ns
65%	13.9 ns	2,273 ns	163.5 ns	146.3 ns	10.5 ns

DMRT (P<0.05)

ns: no significant

7. 생육환경 정보를 이용한 관수 시스템, 배지 함수율 및 증산량 추정 모듈 개발

(1) 관수량, 배액량, 배지 중량 변화를 이용한 증산량 정밀 측정 시스템 구축 (Fig. 25, 26, 27)

- 철제 프레임을 설계 후 제작 의뢰하여((주)그린플러스, Kor) 측정에 필요한 센서를 설치하였다.
- 두 개의 hanging gutter를 로드셀에 설치하고 암면 슬라브와 큐브를 이용하여 하나의 gutter에 3주씩 시스템 하나에 총 6주의 식물체로 실험을 하였다.
- 관수량, 배액량, 배지의 중량변화 측정
 - 식물체의 중량 변화를 측정하기 위하여 로드셀(JSB-50, CAS전자저울, Co. Ltd. Kor)을 설치하여 연속적으로 식물체와 배지 무게를 측정하였다.
 - 배액되는 양액의 시점과 배액량을 측정하기 위하여 로드셀(JSB-20, CAS전자저울, Co. Ltd. Kor)을 설치하여 연속적으로 배액 무게를 측정하였다.
 - 급액량 측정을 위해 배액량 측정과 같은 방법으로 로드셀(JSB-20, CAS전자저울, Co. Ltd. Kor)을 설치하고 dripper에서 나오는 양액의 양을 연속적으로 측정하였다.
 - 배지의 함수율 변화는 TDR 센서를 슬라브의 2/3 지점에 설치하여 측정하였다.
- 일사량은 pyranometer (SP-110, Apogee Co. Ltd., USA) 센서를 프레임의 상단에 설치하여 데이터를 수집하였다.
- hanging gutter 아래부분으로 나오는 배액을 모아 배액통으로 모이기전 pH 센서와 EC 센서(DIK-004,SCF-01A, 디에스파워 Co. Ltd., Kor)를 이용하여 배액의 pH와 EC를 측정하였다.
- 3대의 module을 이용하여 관수강도에 따른 변화를 연속적으로 관찰하였다(Fig. 26).
- 급액펌프와 관수, 배액용기의 배수는 relay switch를 이용하여 제어하였다.

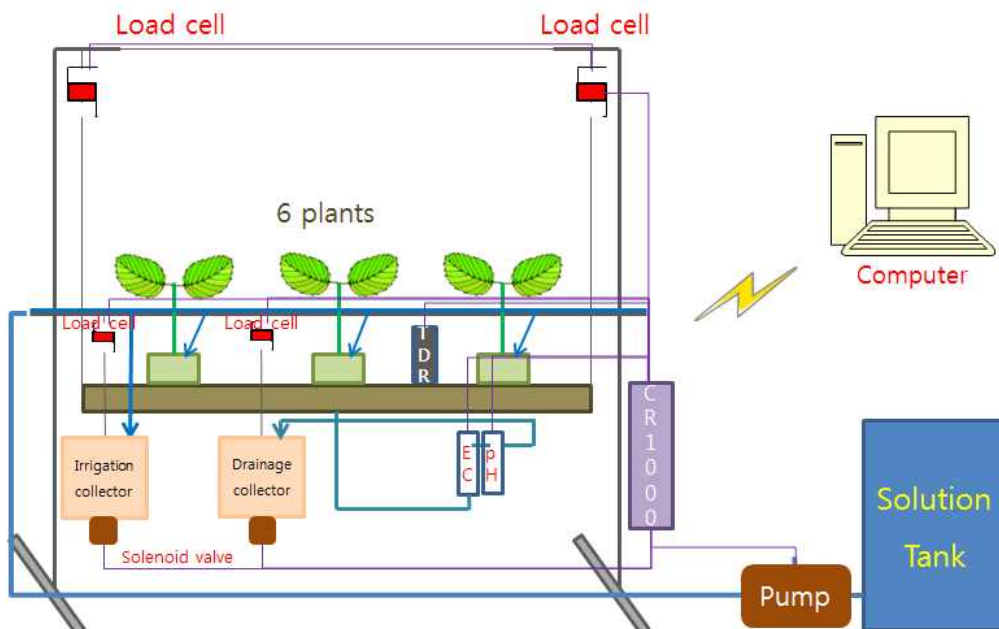


Fig. 25. 관수조절장치 개념도



Fig. 26. 실험 전경



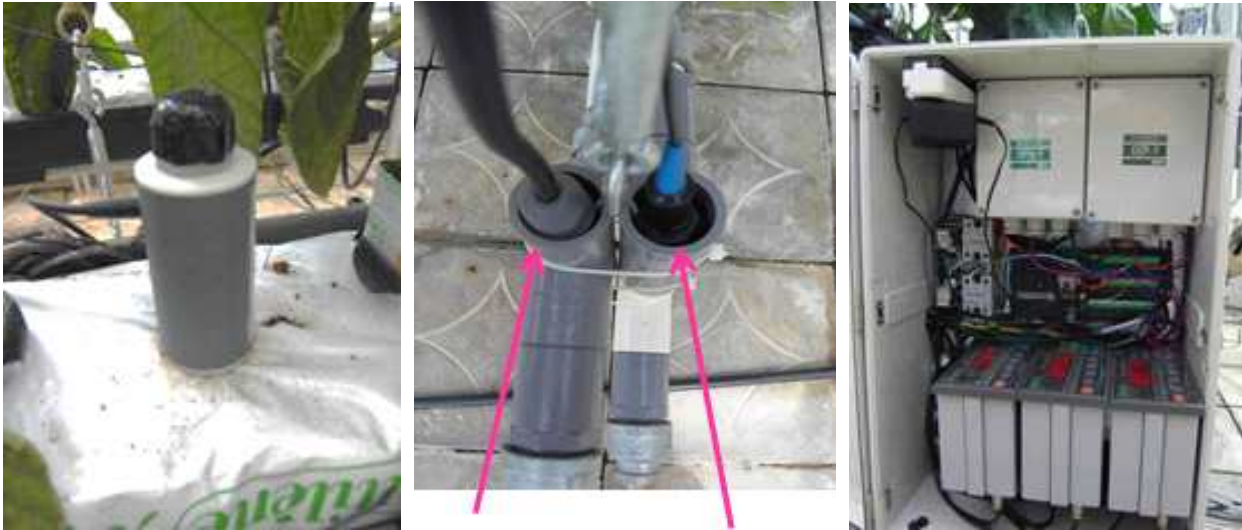
<SDM-CD16AC>



<Relay switch>



<Pyranometer>

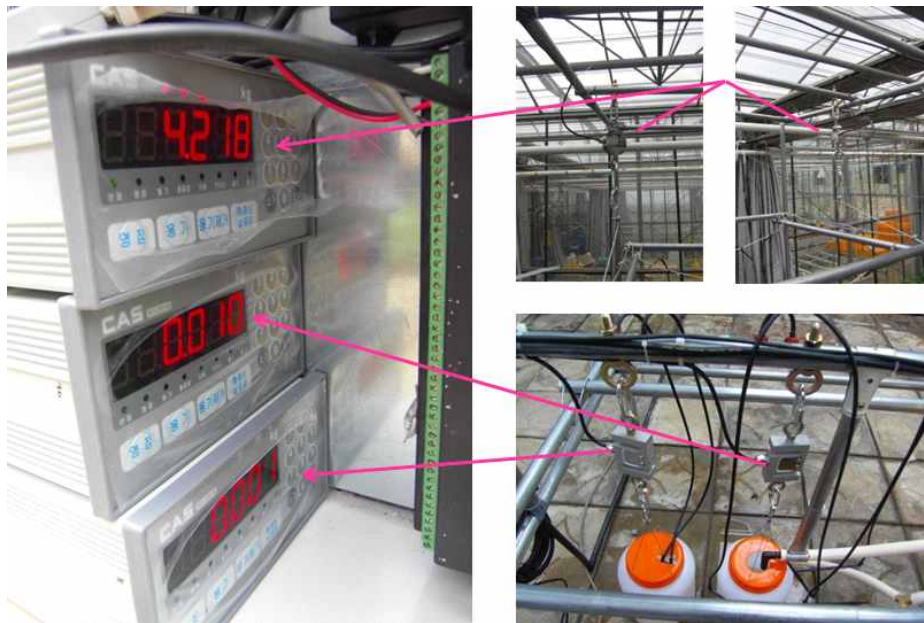


<TDR sensor>

<EC sensor>

<pH sensor>

<Controller>



<Load cells>

Fig. 27. 관수 시스템 구성요소

(2) 환경정보, 배지 특성, 생육 단계를 고려한 관수 제어 시스템 구축

○ 관수주기, 관수시간의 변화에 따른 관수강도 변화는 다음 표(Table. 8.)와 같이 해주었다.

Table. 8. 관수강도 처리

기준 누적 일 사량(J/cm ²)	관수시간 (second)	관수량 (ml)	1200J/cm ² 당 관수량 (ml)	처리기간	Module No.
45	180	100	2,667	7/22~7/31	1
60	180	100	2,000	7/13~7/13	2
60	300	167	3,334	7/14~7/31	2
80	360	200	3,000	7/21~7/31	3
80	480	267	4,000	7/6~7/21	3
100	360	200	2,400	7/3~7/5	1
100	600	336	4,000	7/6~7/21	1
120	360	200	2,000	7/3~7/5	2
120	720	400	4,000	7/6~7/12	2

- 현재 일반 파프리카 농가에서는 누적 일사량이 단위면적(cm²)당 100J이 되었을 때, 관수가 시작되어 하루중의 배액이 급액의 20~30%수준에서 정해지게 관수가 진행되고있다.
- 이번 실험에서는 일반 파프리카 농가에서 사용되고 있는 관수강도를 기준으로 적산일사량에 따른 관수주기에 변화를 주고 그에 따라 배액량을 기준으로 관수량을 바꾸어 관수강도를 실험기간중 시기 별로 9회 처리해 주었다.
- 관수강도에 따른 관수량은 배액율을 기준으로 20~30% 수준에서 결정되도록 위의 표와같이 조절 하였다.
- 일조가 매우 좋은 청명일 기준으로 누적 일사량이 1200 J/cm² 이 되었을 경우 관수량은 dripper 당 2000~4000ml 범위에서 결정되었다.

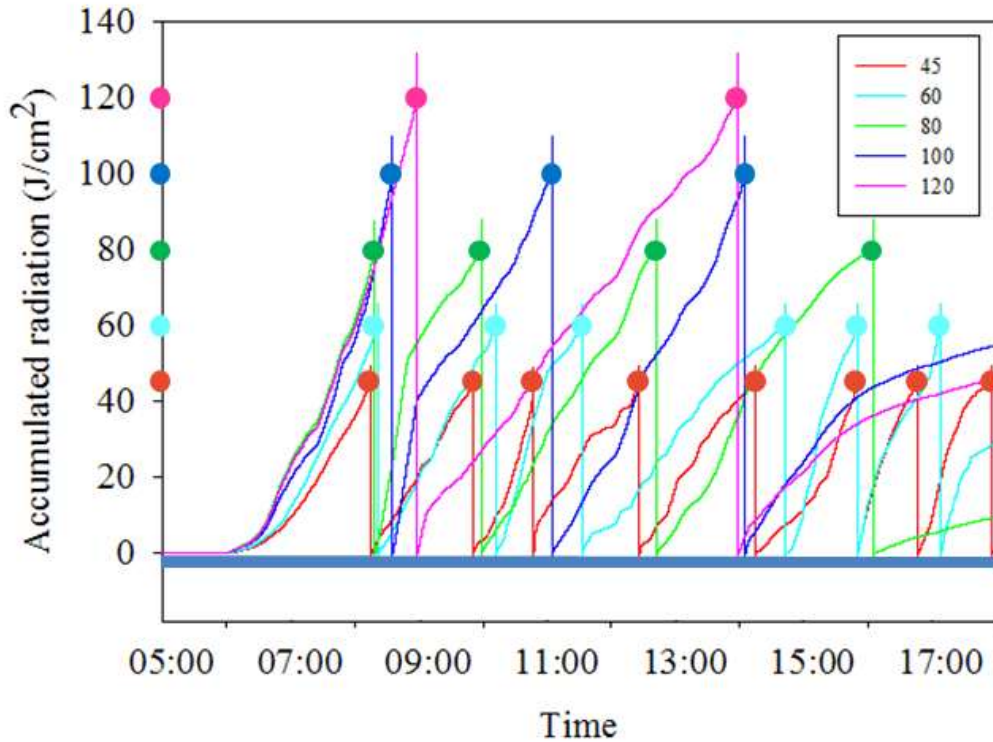
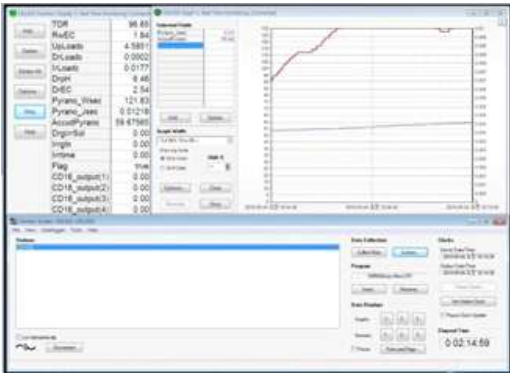


Fig. 28. 관수강도에 따른 관수시점

- 관수시점은 7/21일 누적일사량이 1183J/cm² 일 경우를 기준으로 위의 그림과 같이 45J/cm² - 8회, 60J/cm² - 6회, 80J/cm² - 4회, 100J/cm² - 3회, 120J/cm² - 2회로 실시됨을 확인 하였다(Fig. 28).

(3) 생육환경 측정 데이터 수집 (Fig. 29)

- 데이터로거 (CR1000, Campbell Sci. Co. Ltd., USA)를 이용하여 일사량, 중량변화, 배액의 pH, EC 데이터를 5초 간격으로 하루 17,280회 측정 저장하였다.
- 모든 센서로부터 측정치는 전기적신호 (0~5V)로 변환되어 CR1000 데이터로거에 입력되었다.
- 데이터로거에 저장된 데이터는 매일 1회 컴퓨터와 wireless (X-bee 무선통신)으로 컴퓨터에 자동 저장하였다.
- 프로그램 (CR Basic, Campbell Sci, Co. Ltd, USA)을 이용하여 측정된 데이터를 바탕으로 관수 펌프와 급,배액의 배수 솔레노이드 밸브를 제어 하였다.

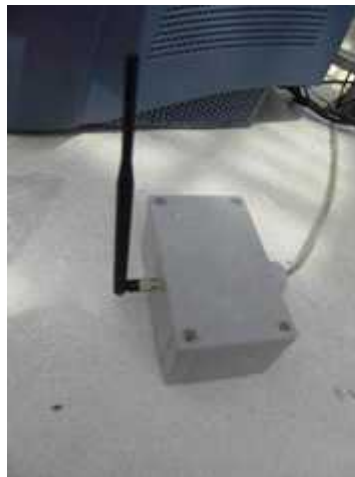


<Control program>

TDR	67.04
RwEC	4.83
UpLoadc	8.19
DrLoadc	1.66
IrLoadc	0.6093
DrpH	5.83
DrEC	5.10
Pyrano_Wsec	204.68
Pyrano_Jsec	0.02
AccudPyrano	30.53
DrgIrrSol	0.00
Irrgth	0.00
Irrtime	0.00



<Control computer>



<Wireless communication>

Fig. 29. 제어 프로그램, 컴퓨터 및 무선통신 시스템

(3) 배지내 함수율 변화에 기여하는 관수, 배수 및 증산 과정

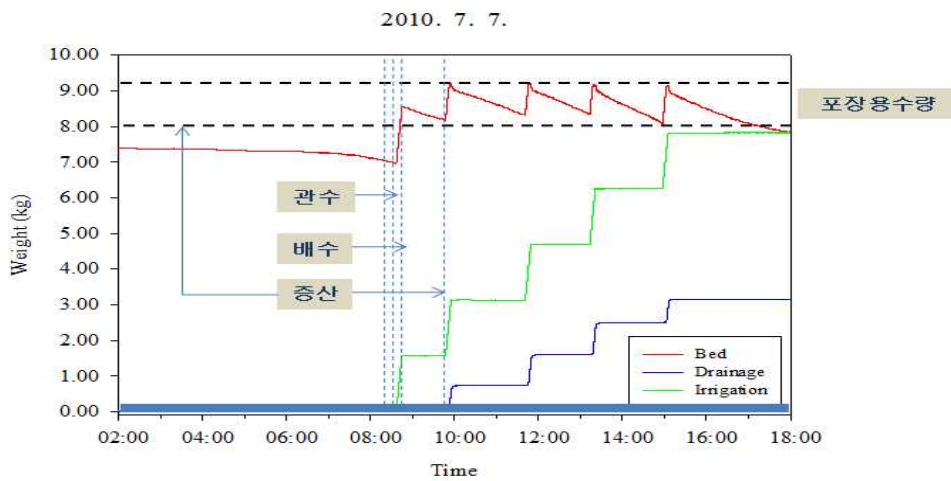


Fig. 30. 관수량, 배액량, 그리고 식물체의 무게변화

○ 2010. 7. 7. 의 관수에 따른 관수량, 배액량, 식물체의 무게변화는 다음과 같았다(Fig. 30).

- 일출 후 관수가 이루어지고 두 번째 관수가 진행되면서 배액이 나오기 시작하였다. 이는 야간에 VPD에 의한 증산으로 배지내 수분함량이 많이 감소한 상태이고 1회 관수량이 배지의 수분함량을 포화시키지 못한것에 기인함으로 생각된다.
- 2차 관수시점부터 배액이 발생되기 시작하여 배지의 수분함량은 증산이 활발히 이루어지는 주간에 일정 수준 유지되는것을 알 수 있었다.
- 증산량은 다음과 같은 방식으로 추정하였다(Fig. 31).

$$TRS = IRR - DRA + \Delta BDW$$

단, TRS: 증산량(mL/s), IRR: 관수량(mL/s), DRA: 배수량(mL/s), ΔBDW : 생육베드의 중량 증가량(kg/s)

- 차년도 관수제어 알고리즘 작성시 관수가 시작되는 시점에는 일사량제어 방식이 아닌 배수가 이루어지는 시점까지 관수를 실시하고 그 차이를 지금의 증산량 데이터와 비교할 필요가 있을 것으로 생각된다.

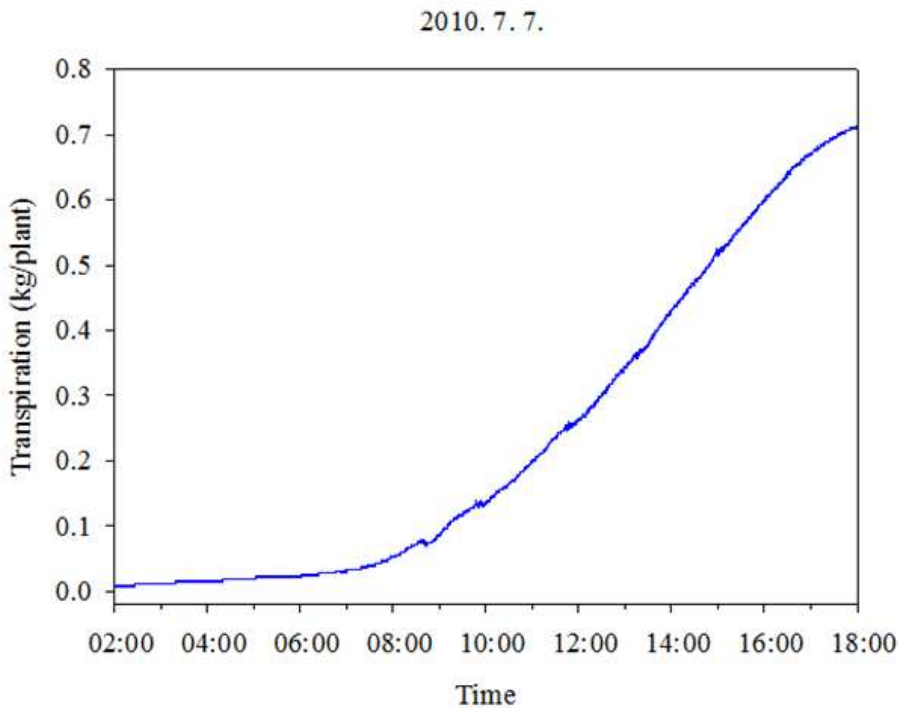


Fig. 31. 증산량 추정

8. 관수 제어 모듈을 이용하여 증량 변화 측정을 통한 식물체의 증산량 추정

(1) 실험 기간 중 누적 일사량과 누적 증산량의 관계

○ 실험기간 중 개발한 장치로 측정한 누적증산량과 누적일사량과의 관계는 유사한 경향으로 변화하는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 32).

- 증산량에 영향을 미치는 환경요인으로는 일사량, 시설내의 온습도, 환기율 등이 복합적으로 관여하지만 위의 그래프에서 보듯이 일사량과 증산량과의 변화 추세에 밀접한 영향이 있는 것으로 이 실험을 통해 알 수 있었다.

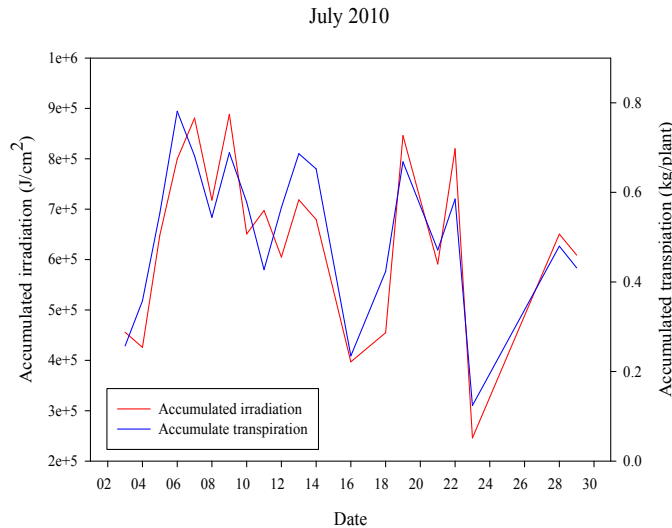


Fig. 32. 실험 기간 중 누적 일사량과 누적 증산량의 관계

(2) 관수강도의 변화에 따른 누적 증산량 분석

- 2010. 7. 13. 일 하루동안의 관수강도에 따른 증산율 변화는 다음과 같았다(Fig. 33).
- 2010. 7. 13. 하루동안의 총 누적 일사량은 745 kJ/cm²/day 이었다.
- 관수강도는 100ml(180sec) / 60J/cm², 334ml(600sec) / 100J/cm², 267ml(480sec) / 80J/cm² 이었고 배액율은 각각 25.4%, 34%, 34.9% 이었다.
- 세 처리중 267ml(480sec) / 80J/cm² 처리의 경우 유의성은 없었으나 다른 두 처리에 비해 증산량이 증가하는 경향이 나타났다.
- 관수강도는 관수주기와 관수량의 두 변수가 존재하므로 무수히 많은 조합이 존재할 수 있고, 앞으로 다양한 관수강도의 처리를 통한 데이터 분석이 더운 진행되어야 할 과제이다.
- 최적 관수강도 추정시 생육단계와 다른 환경 특성(온도, 습도 등)도 고려사항으로 생각된다.

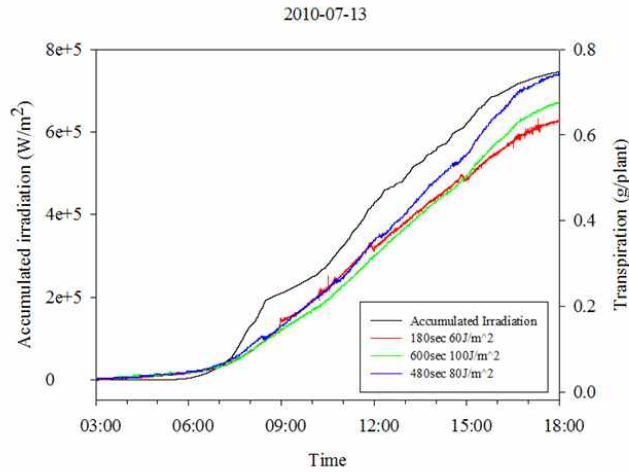


Fig. 33. 관수강도의 변화에 따른 누적 증산량 분석

(3) 관수강도에 따른 배지내의 함수율 변화량 분석

Table 9. 관수강도에 따른 배지내의 함수율 변화량 분석

기준 누적 일사량 (J/cm ²)	관수시간 (second)	관수량 (ml)	1200 J/cm ² 당 관수량 (ml)	배지함수율 변화량 (%)	배액율 (%)
60	300	400	6000	3	24
60	180	200	4000	5	25
45	180	200	5333	5	24
120	360	400	4000	8	0
80	360	400	6000	8	33
80	480	533	8000	9	35
120	720	800	8000	9	34
100	360	400	4000	11	1
100	600	667	8000	12	34

○ 관수주기와 관수량이 다음과 같이 변함에 따라 배지내의 함수율의 변화량은 표(Table. 9)에서 보는 것과 같이 변화하였다.

- 관수량이 같을 경우 관수주기가 짧아질수록 배지내의 함수율 변화량은 적었고, 관수주기가 일정할 경우 관수량이 증가함에 따라 함수율의 변화량은 증가하는 경향을 보였다.
- 또한 관수량이 많아지고 관수주기가 길어질수록 배액율이 증가하는 경향을 나타내었다.
- 하지만 이번 실험은 유리온실내에서 진행되어 실험기간동안 일사량이 일정하지 않았고 생육환경이 일정하지 않아 그 오차를 무시할 수 없지만 관수강도에 대한 배지내의 함수율 변화량과 배액율에 대한 경향은 알 수 있었다.
- 이 또한 관수강도 추정과 마찬가지로 관수강도에 따른 배지 함수율 변화량과 배액율의 추정에 있어 많은 데이터가 필요하고 다른 환경요인들과의 관계에 대해서도 연구가 필요할 것으로 생각된다.

9. 생육환경 변화와 생육단계에 따른 관수량 추정

(1) 관수량 추정 개념도 (Fig. 34)

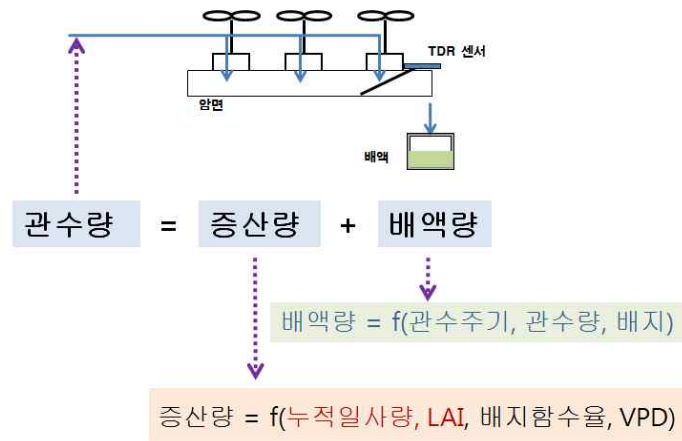


Fig. 34. 관수량 추정식

○ 관수량을 추정을 위해서는 증산량과 배액량 산출이 요구된다.

- 증산량은 누적일사량, LAI, 배지함수율, VPD의 영향을 받으며 기본적인 관계식은 다음과 같다.

$$Tr = a \cdot LAI \cdot Rad \cdot MC + b \cdot VPD$$

- 엽면적지수(LAI), 일사량(Rad), 그리고 배지수분함량(MC)과 누적 증산량과의 관계는 모든 범위에서 정비례관계를 가지지 않으므로 실제 데이터 수집 후 분석이 필요하다고 생각된다.
- 야간에 일사량에 의한 증산이 미미할 경우 VPD가 증산량에 미치는 영향이 큰 것으로 알려져 있고 야간에 증산량과 VPD와의 관계 또한 관수량 추정에 고려해야할 사항이다.
- 배액량은 배지특성에 맞추어 관수주기와 관수량을 적정수준으로 제어하고 증산량 추정과 마찬가지로 생육단계와 생육환경 조건에 맞는 배액량을 추정하면 관수량 조절에 소프트웨어 개발에 유용할 것이라 생각된다.

(2) 누적일사량, 엽면적 지수(LAI), 배지함수율과 증산량과의 관계 비교

○ 누적일사량과 증산량과의 관계

- 증산량 추정식에서 다른 조건을 배제하고 적산일사량과 누적 증산량과의 관계만을 비교해봤을 경우 일사량의 증가 따라 증산량이 선형으로 증가하는 것이 아님을 알 수 있었다(Fig. 35).

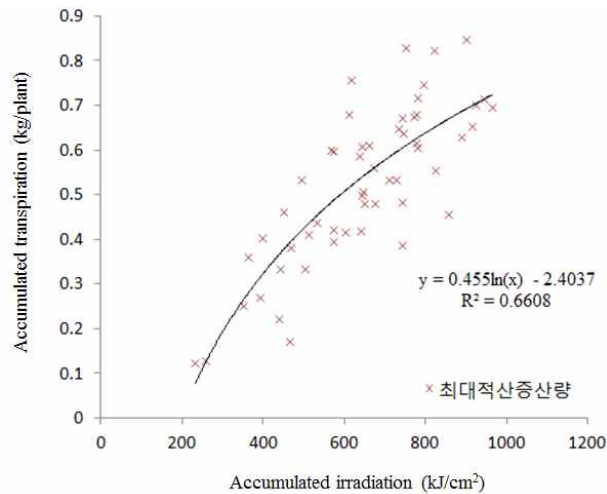


Fig. 35. Relation of accumulated irradiation and transpiration

- 이같이 적산일사량과 증산량이 정비례관계를 가지지 않는 것은 엽면적, 배지수분함량, 시설내의 온습도 환경등의 영향인 것으로 생각되고 무엇보다도 우리나라의 기후 특성상 여름이 고온 다습하므로 고온에 대한 증산의 감소가 이유인 것으로 사료된다.

○ 누적일사량과 엽면적 지수(LAI)에 의한 증산량 추정

- 앞의 증산량 추정식에 일사량과 LAI 데이터를 대입하여 증산량을 추정한 결과 다음 그림과 같이 정비례 관계가 있음을 알 수 있었다(Fig. 36).

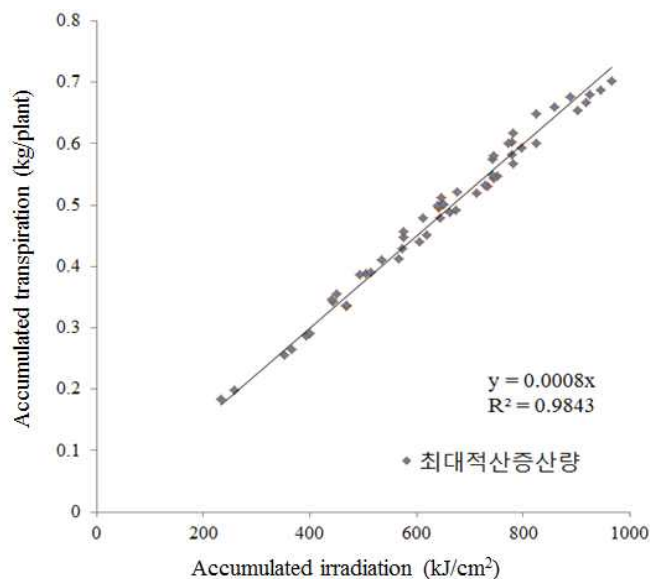


Fig. 36. 누적일사량과 엽면적 지수(LAI)에 의한 증산량 추정

- LAI 변수는 다음 식에 의해 군락상태에서의 LAI로 변환하여 계산하였다(Fig. 37).

$$\text{canopy LAI} = 1 - \exp^{-k \cdot \text{LAI}}$$

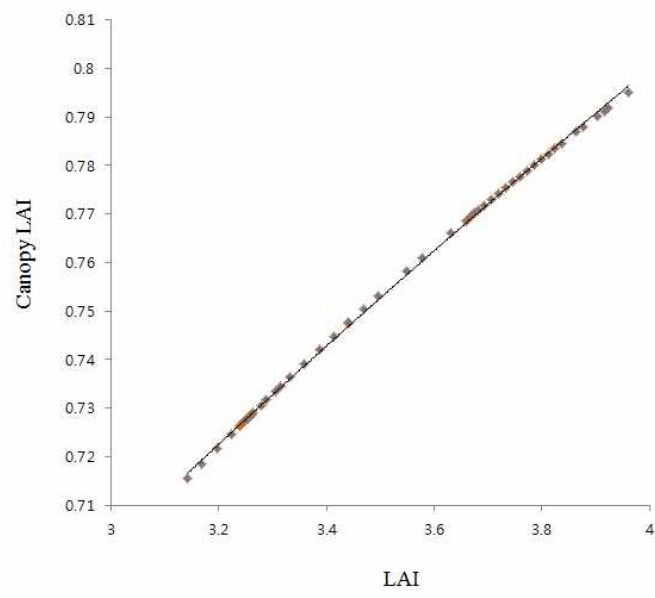


Fig. 37. Canopy leaf area index(LAI)

10. 환경요인, 관수정보, 배지특성에 따른 배지 함수율 측정 및 작물의 증산량 추정

■ 실험개요

- 실험 대상 작물 : 파프리카 (*Capsicum annuum* 'Fiesta')
- 실험장소 : 서울대학교 부속농장 유리온실
- 실험기간 : 2010. 10. - 2011. 7.
- 실험장치 : 파프리카 근권환경 최적화를 위한 관수조절 실험장치(서울대학교) (Fig. 38, 39)

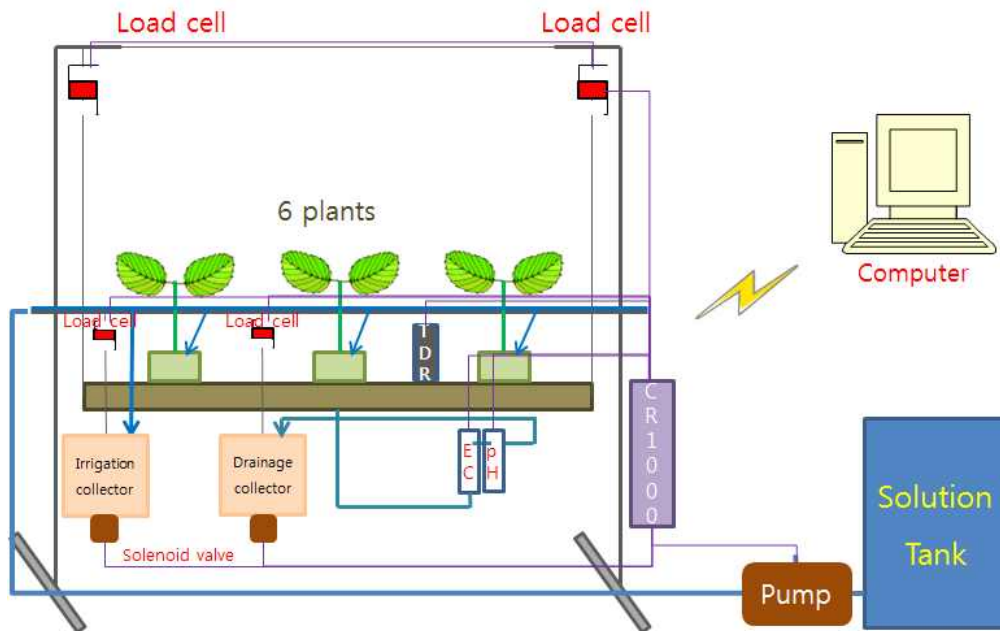


Fig. 38. 관수조절 실험장치 개념도



Fig. 39. 실험 전경 (관수조절 실험장치 module #1, #2, #3)

(1) 암면배지에서의 급액시 배지 함수율 변화 특성

○ 급액시 암면배지에서의 함수율 변화 (Fig. 40)

- 배지함수율 77% 수준에서 관수가 시작되었고 한 슬라브내의 3개의 cube에 각각 dripper 1개씩을 이용하여 1 dripper 당 36ml/min 속도로 양액을 공급하였다.
- 관수가 시작 된 후 약 15분 후 배액이 시작되었고 이때의 배지의 함수율은 84% 수준이었다.
- 배액이 시작된 이후로는 배지의 함수율이 더 이상 증가하지 않았고 급액량은 모두 배액되었다.
- 실험에 사용한 암면 (cultilene)의 경우 포화함수율은 84%이었다.
- 배지함수율이 포화점에 다다르고 배액이 시작되기까지 약 20초의 지연시간이 있었고, 이와같은 배지의 배액특성은 관수조절에 감안하여야 될 부분이다.

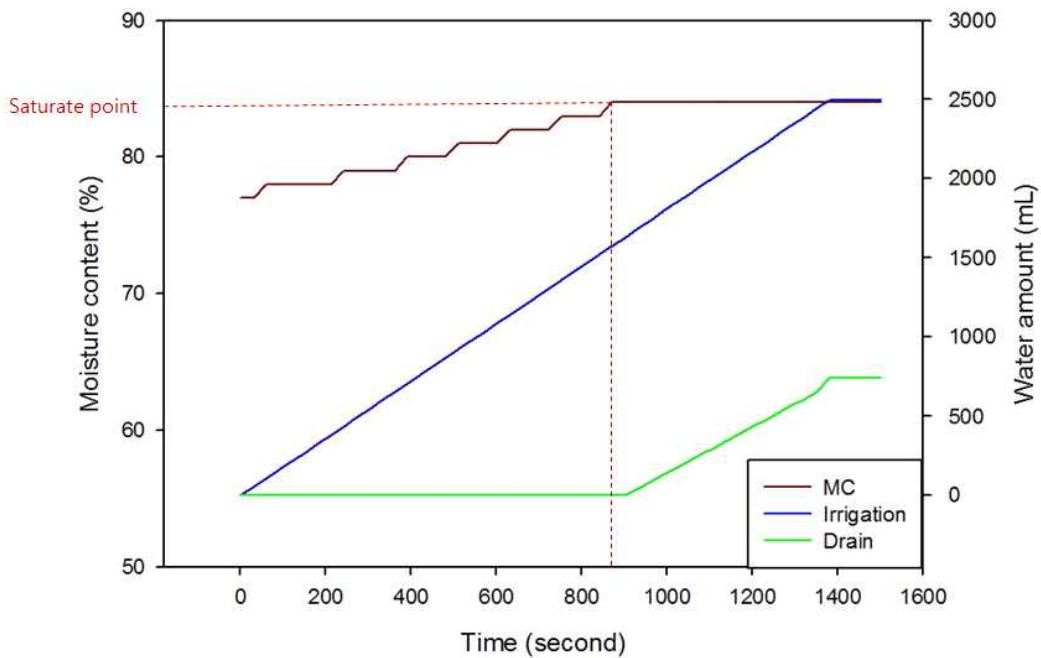


Fig. 40. 급액시 암면배지에서의 함수율 변화

(2) 관수강도에 따른 작물의 증산량 비교

○ 관수강도 처리 (Table 10)

Table 10. 관수강도

처리	누적광량 (J·cm ⁻²)
HIF	60
LIF	80

- 누적일사량을 기준으로 급액시점을 결정하는 방법으로 2개의 관수강도 처리를 정하였다.
- 누적광량 $60\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$ 와 $80\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$ 기준으로 각각 HIF(High Irrigation Frequency)와 (LIF(Low Irrigation Frequency) 두개의 처리를 두었다.
- 관수시간은 배액율(20-45%)을 기준으로 작물생육에 따라 변화시켜주었다.

○ 관수강도에 따른 엽면적지수(LAI)의 변화

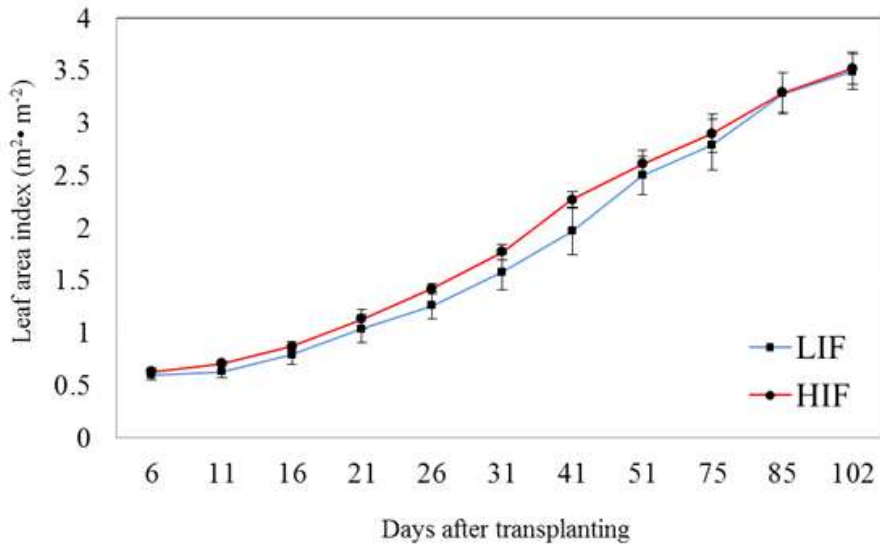


Fig. 41. 급액시 암면배지에서의 함수율 변화

- HIF와 LIF 처리에서 모두 생육이 진전됨에 따라 LAI는 지속적으로 증가하는 경향을 보였다.
- 정식 이후 20-85일 기간에는 HIF 처리에서 LAI가 다소 빠르게 증가하는 경향을 보이지만 통계적 유의차는 없었다.
- 영양생장과 생식생장을 무한히 거듭하면서 성장하는 파프리카의 특성상 잎의 형태변화에 따라 측정 값에 차이가 있을 수 있다고 추정하였다.
- 정식 이후 100일이 되는 생육시점에 LAI는 동일한 값을 보였다.
- 생육시기와 LAI 증가와의 관계는

$$LAI = \frac{a}{1 + \exp\left(\frac{x_0 - DAT}{b}\right)}$$

식에 의해 나타낼 수 있으며 HIF와 LIF 처리에서의 상수는 Table 11와

같았다.

Table 11. HIF와 LIF 처리에 따른 LAI의 변화

	HIF	LIF
<i>a</i>	3.38	3.45
<i>b</i>	16.14	18.24
x_0	31.20	35.91
R^2	0.99	0.98

○ 관수강도에 따른 작물의 생육 비교 (Fig. 42)

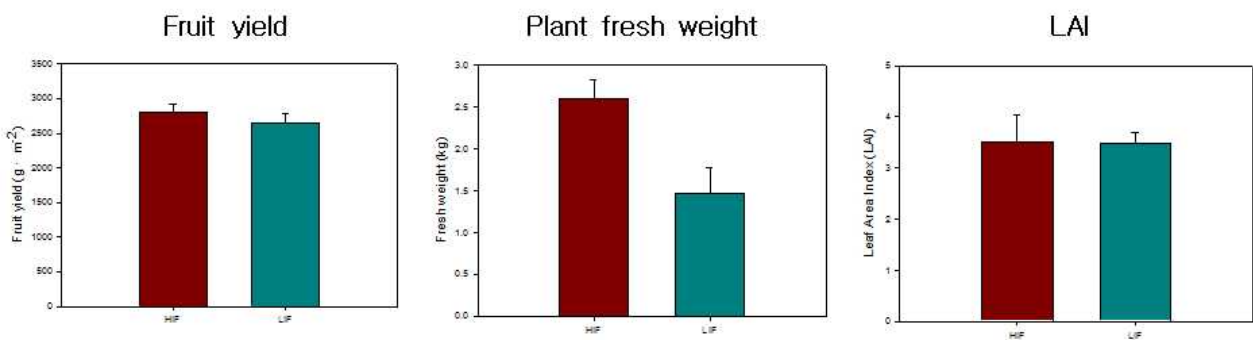


Fig. 42. HIF와 LIF 관수강도 처리에 따른 작물의 생육비교

- 정식 후 108일째 작물의 누적 수확량, 작물의 생체중 증가량, 그리고 LAI에서 작물의 생체중 증가량을 제외한 성장지표에서는 HIF와 LIF처리에서 유의한 차이를 보이지 않았다.
- 작물의 생체중 증가에 있어서는 HIF처리가 LIF처리에서 보다 평균 1kg 정도 더 많이 증가함을 보였다. 생체중은 식물내의 수분무게가 포함된 중량이므로 생체중의 차이가 처리에 의한 차이를 보여주는 데 있어 의미를 가질 수 없다. 실험기간 중 일조가 좋은 맑은 날의 경우 증산이 활발히 일어나면 생체중이 1.5 kg 까지도 차이가 나는 것을 관찰하였다. 따라서 측정하는 시기에 처리간에 의한 증산과 함수율을 고려해본 결과 이 둘의 차이는 의미있는 차이로 간주할 수 없었다.
- 정식후 150일이 되는 생육단계에서 실험을 종료하고 작물을 수확하여 건조후 건물중을 측정한 결과 처리가 차이는 없었다.

○ 관수강도에 따른 생육기간 중 증산량의 변화 비교 (Fig. 43)

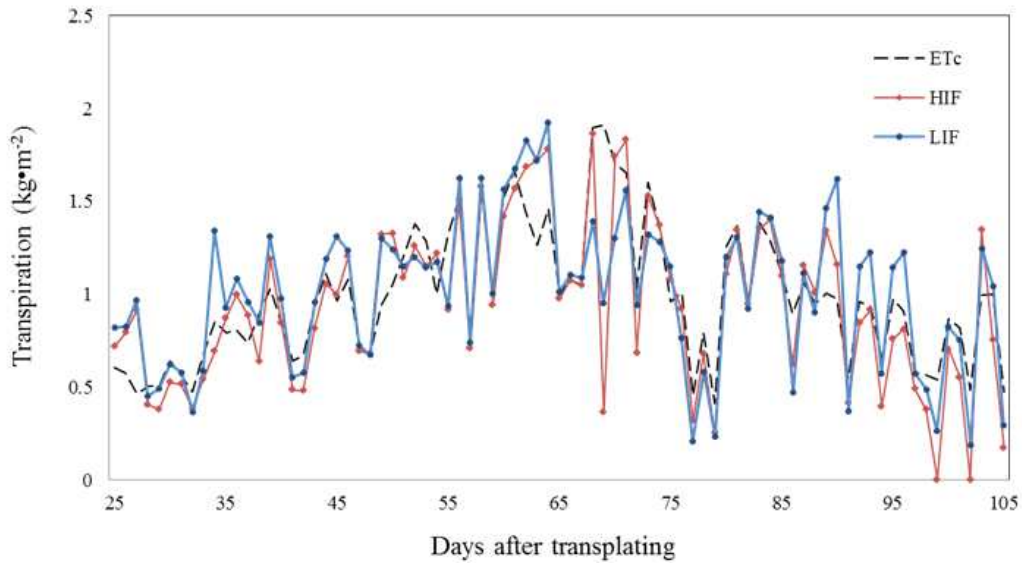


Fig. 43. 관수강도에 따른 생육기간 중 증산량의 변화 비교

- 위의 그림에서 3년차에 개발한 변형된 증산모델에 의한 증산추정량(ETc)을 점선으로 나타내었다.
- HIF처리와 LIF처리에서의 증량법에 의한 증산량과 증산모델에 의한 증산추정량은 동일 조건에서 비슷한 경향을 보였다.
- 증산량에 있어서는 관수강도에 의한 유의한 차이는 보이지 않았다.
- 각 생육시기별 증산량을 누적하여 변형된 증산모델과 비교하면 Fig. 44과 같이 나타낼 수 있다.

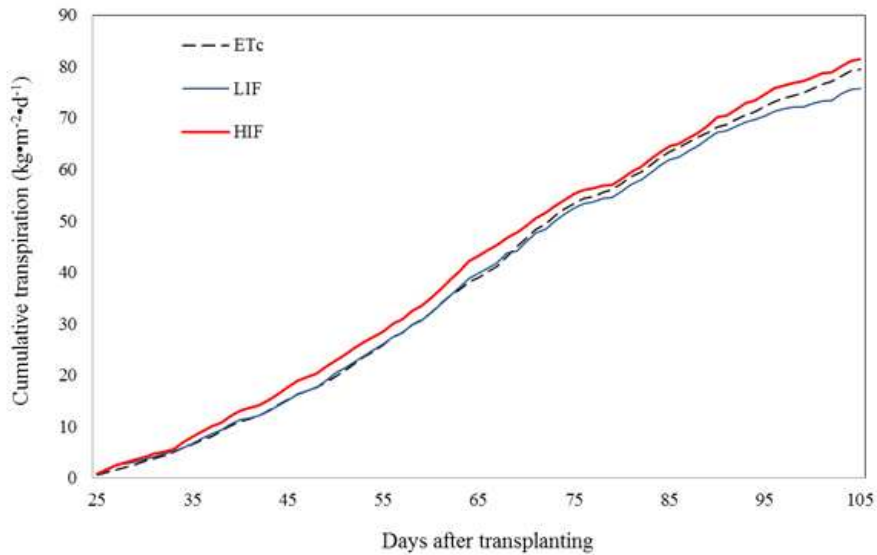


Fig. 44. HIF와 LIF의 관수강도 처리에 따른 누적 증산량 비교

- 변형된 증산공식에 의한 증산추정량과 비교하여 누적 증산량에서는 HIF처리가 LIF처리에 비해 더 많은 증가를 보였으나 그 차이가 유의한 차이는 아니다.

○ HIF처리와 LIF처리에서의 누적일사량과 증산량과의 관계 비교 (Fig. 45)

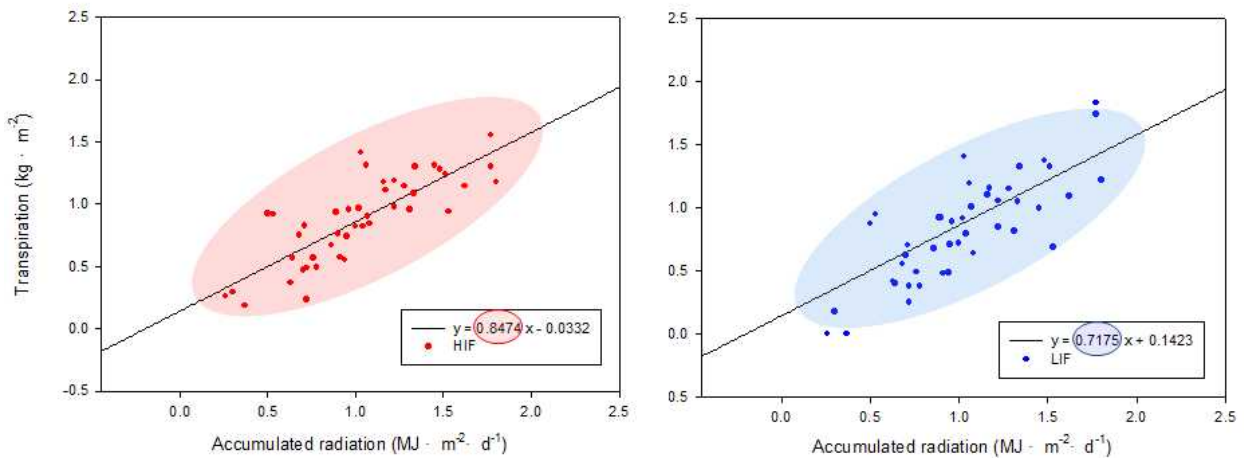


Fig. 45. HIF처리와 LIF처리에서의 누적일사량과 증산량과의 관계 비교

- 누적일사량의 증가에 따른 증산량의 증가는 HIF처리와 LIF처리에서 모두 동일하게 증가하는 경향을 보였다.
- 하지만 위의 두 그림의 비교에서 알 수 있듯이 누적일사량의 증가에 대한 증산량의 증가 비율은 HIF처리에서 LIF처리보다 크게 나타났다.
- 증산효율 측면에서 누적광량증가에 대한 증산율은 HIF관수처리가 LIF관수처리에 비해 18% 높았다.
- 위의 데이터로 미루어 일중 누적광량이 많은 하기재배의 경우 관수간격을 좁혀 자주관수 해주는 것이 증산효율의 높일 수 있는 대안이 될 수 있을 것이라 사료된다.

(3) 환경요인에 의한 작물의 증산효율 분석

○ 광강도에 따른 증산효율 (Fig. 46.)

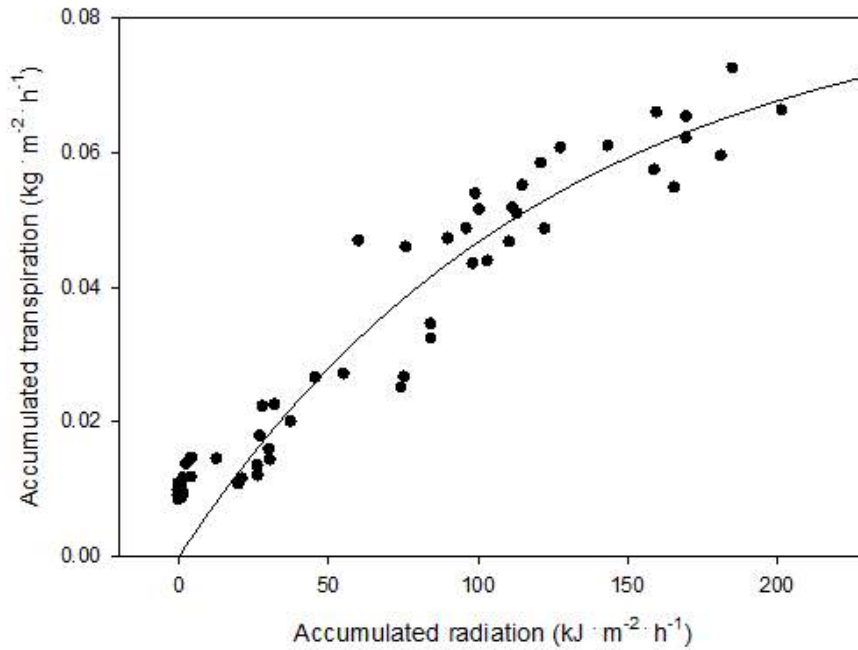


Fig. 46 광강도 따른 증산효율

- 일중에도 광도는 수시로 변화하므로 누적일사에 대한 증산효율의 관계를 구하기 위하여 한시간 간격으로 누적일사량에 대한 증산량을 구하고 관계를 분석하였다.
- 파프리카의 증산량은 광도의 증가에 대해 예상과 같이 증가하는 경향을 보이지만 그 관계를 선형함수로 표현되지는 않는다.
- 광도의 증가와 누적증산량과의 관계는 $f = a \times (1 - \exp^{-b \cdot x})$ 식에 의해 나타낼 수 있으며 상수 a, b, 그리고 R^2 는 각각 0.0847, $8.0069e^{-6}$, 0.83 이었다.
- 파프리카의 재배역사가 오래되고 세계적으로 생산량이 많은 네덜란드의 기후조건과 비교하면 위의 결과는 우리나라에 국한되는 결과라 할 수 있다. 네덜란드의 기후특성상 일년 중의 광도의 변화폭이 우리나라와 같이 크지 않으므로 위와 같은 고광도에 의한 증산효율 감소식이 적용되기 어렵다.

○ 배액율에 따른 근권부 EC 변화

- 배액율에 따른 근권부 EC의 변화를 관찰하기 위하여 누적 일사량이 $80 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$ 에 도달하면 관수가 진행되고 관수시 마다 배액율이 20%, 30%, 40%로 일정하도록 관수를 조절하였다(Table 12.).

Table 12 배액율에 따른 근권부 EC 변화 관찰을 위한 관수 처리

처리	누적광량 ($J \cdot cm^{-2}$)
배액율 20%	80
배액율 30%	
배액율 40%	

- 1회 관수시 배액율을 높게 유지할수록 배지내의 근권부 EC는 낮고 변화폭이 적었다(Fig. 47).

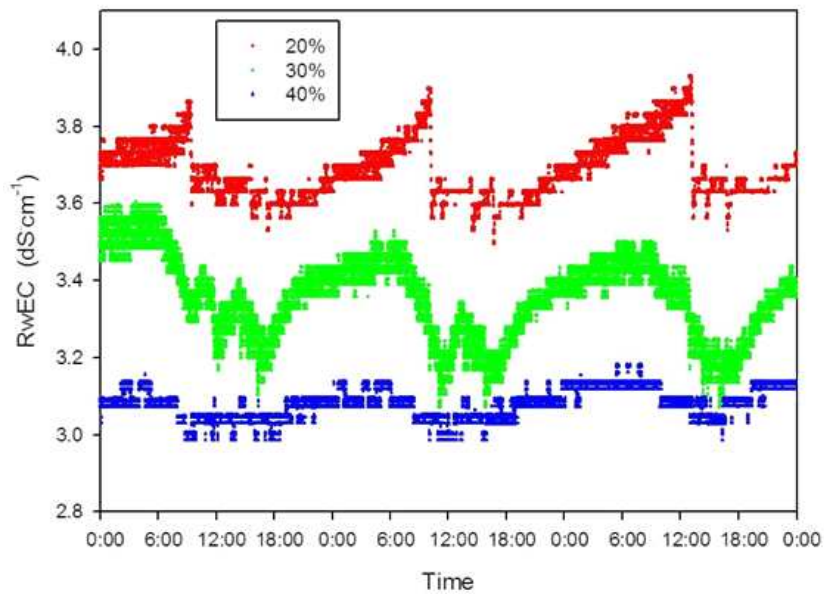


Fig. 47. 배액율에 따른 근권부 EC변화 (3일간)

- 매 관수시마다 20% 배액율을 유지한 경우 배지내의 근권부 EC는 $3.58-3.95 \text{ dS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 으로 변화폭이 크고 근권부 EC가 높은 수준에서 유지되었다.
- 배액율을 30%, 40%로 유지해주었을 경우 배지내의 근권부 EC의 변화범위는 각각 $3.13-3.60 \text{ dS} \cdot \text{cm}^{-1}$, $2.98-3.20 \text{ dS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 이었으며 배액율을 높은 상태로 유지시킬수록 근권부 EC는 낮은 수준에서 유지되었으며 그 변화폭도 적었다.
- 이와 같이 배지내의 근권부 EC변화는 배지 함수율과는 부의 관계를 가지는 것을 관찰할 수 있었고 그 관계는 Fig. 48 과 같았다.

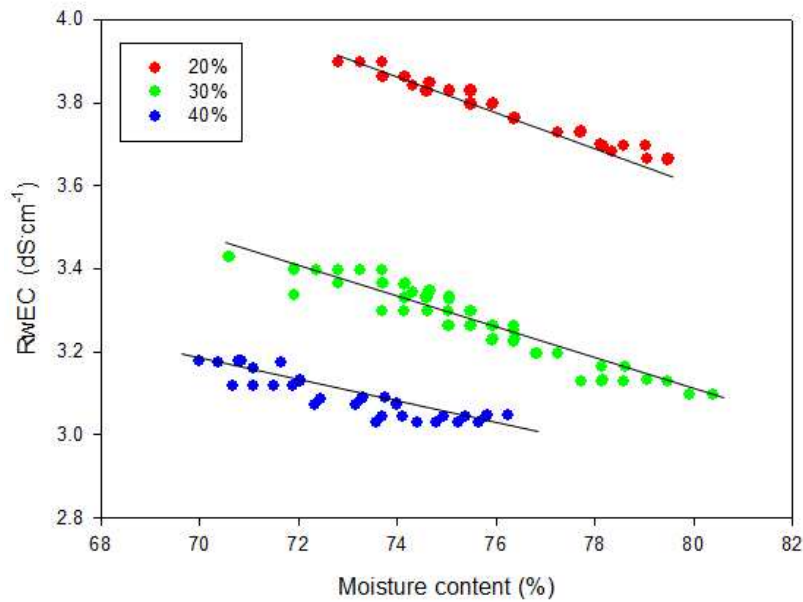


Fig. 48. 배지함수율과 근권부 EC와의 관계

- 배액율에 따른 근권부 EC와 배지 함수율과의 관계는 $f = a \cdot x + b$ 식에 의해 나타낼 수 있으며 각각의 배액율에 대한 함수율과 근권부 EC와의 관계식은 Table 4와 같았다.

Table 13. 배지함수율과 근권부 EC와의 관계

	20%	30%	40%
a	-0.0373	-0.0399	-0.0264
b	6.6209	6.2865	5.0183
R^2	0.99	0.95	0.89

■ 실험결과 요약

- 관수강도에 의한 엽면적의 증가에서 관수주기가 짧을 수록 파프리카의 생육(LAI, 수확량)이 좋았다.
- 누적 일사량의 증가에 따른 증산량의 증가폭은 관수주기가 짧을수록 크다.
- 관수전략에 의한 작물 생육정도에 따라 증산효율이 변화한다.
- 배지의 함수율이 높아질 수록 배지내 EC는 감소하는 경향을 보인다.
- 1회 급여시 배액율을 높게 유지할 수록 근권부 EC는 낮고 변화폭이 적다.
- 관수제어 프로그램에 관수강도, 작물의 생육환경요인, 그리고 생육단계가 중요한 변수로 작용한다.

11. 배지 함수율, 배액율과 증산량을 고려한 관수제어 알고리즘 개발

(1) 관수제어 알고리즘 작성을 위한 요인분석

○ 관수제어와 관련되는 환경, 생육요인의 분류(Fig. 49)



Fig. 49. 관수제어 알고리즘 작성을 위한 요인 분류

- 관수에 직접적인 영향을 주는 환경요인은 온도, 습도, 광, 급액량, 그리고 배액량이 있다.
- 이러한 환경요인으로부터 관수에 의해 배지함수율, 근권부 EC, 배액율, 배액 EC, 그리고 배액 pH가 연동하여 변화하게 된다. 이와 같은 요소들이 관수제어에서 제어의 대상이 된다.
- 배지함수율과 근권부 EC는 작물생육에 있어 근권부 수분 스트레스와 밀접한 연관성을 가지며, 특히 영양생장과 생식생장을 계속반복하여 무한성장하는 파프리카의 경우 근권부 수분 스트레스는 이러한 생육단계 조절에 중요한 인자가 된다.
- 배액율은 배지함수율과 근권부 EC와 앞의 실험에서처럼 상관관계를 가지고 있으며, 관수시 급액량과 배액량의 조절에 의해 조절가능한 요인이다.
- 이러한 관수 조절에 의해 작물의 증산량, LAI, 수량, 성장형태가 변하게되며 이러한 생육변수는 생장의 지표로 활용이 가능하고 다음 관수조절에 다시 이용되는 자료가된다.

(2) 알고리즘 작성을 위한 관수제어 flow chart

○ 관행으로 실시되고 있는 관수제어 방식(Fig. 50)

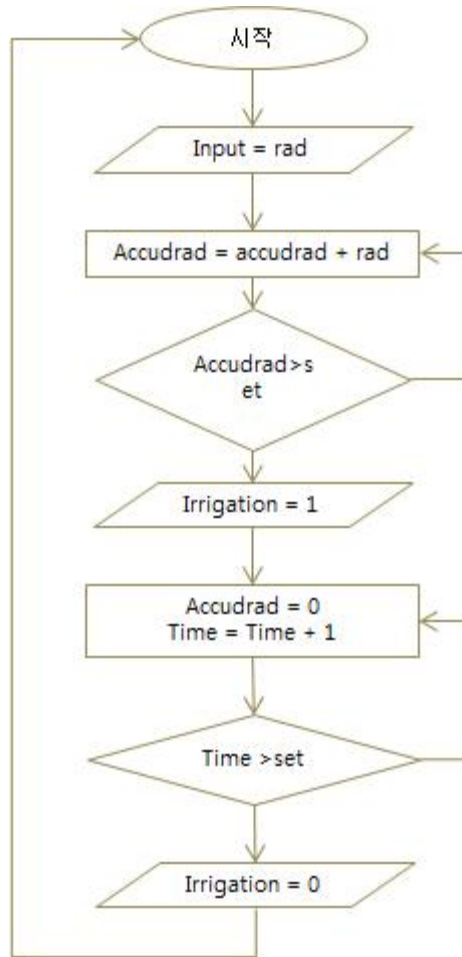


Fig. 50. 관행의 관수제어 흐름도

- ▶ 광도(rad) 데이터가 입력된다.
- ▶ 누적일사량이 (설정값) 이상이면 관수가 진행된다.
- ▶ 관수가 진행되면 누적일사량은 0 이된다.
- ▶ 관수가 진행되면 관수시간이 count된다.
- ▶ 관수시간이 (설정값) 에 도달하면 관수가 중단한다.

○ 배지함수율, 배지 EC, 배액율을 고려한 관수제어 방식(Fig. 51)

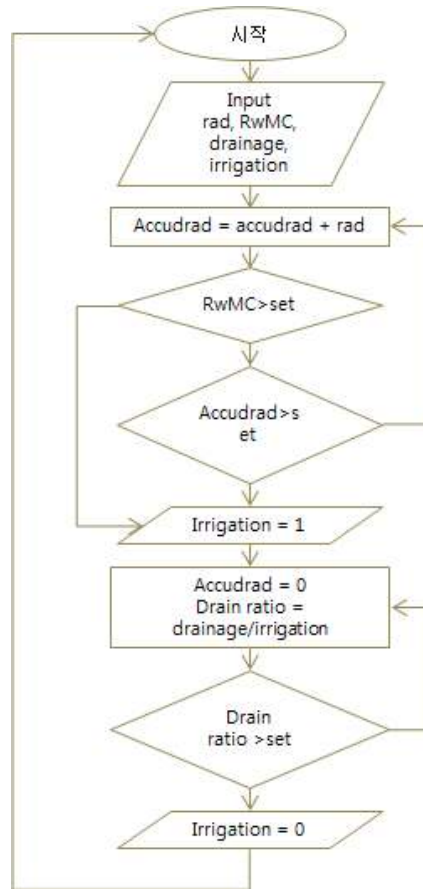


Fig. 51. 최적 관수제어 흐름도

- ▶ 광도(rad), 배지수분함량 데이터가 입력된다.
- ▶ 누적일사량이 (설정값) 이상이면 관수가 진행된다.
- ▶ 누적일사량이 (설정값)에 도달하지 못할 경우에도 배지함수율이 (설정값) 이하이면 관수를 시작한다.
- ▶ 관수가 진행되면 누적일사량은 0 이된다.
- ▶ 관수가 진행되면 관수량과 배액량에 의해 배액율이 결정된다.
- ▶ 관수가 진행되고 배액율이 (설정값) 에 도달하면 관수를 중단한다.

- 관행으로 실시되고있는 일사량 비례제어 방식의 경우 관수의 시작 시점은 누적광량에만 제한을 받으며 다른 환경요인에 대한 작물의 증산량 증가에 대한 보상을 해줄 수 없는 단점이 있다.
- 이러한 부분은 배지의 수분을 함께 측정함으로써 일부 보상이 가능하므로 최적 관수제어 알고리즘에서는 관수가 시작되도록 하는 요인에 배지함수율을 추가하였다.
- 지금까지의 일사량 비례제어에서 관수시간은 하루중의 급액량과 배액량으로 배액율을 산정하여 경험에 의해 일정 수준의 배액율 범위에서 관수가 진행되도록 관수시간을 설정하여 작물에 매관수시마다 같은량의 수분을 공급하였다.
- 그러나 이와 같은 방법의 경우 상대적으로 배지함수율이 낮은 오전의 경우 배액이 나오지 않고 어느 정도 배지의 함수율이 증가된 오후에 배액이 집중되는 경우가 많다.

- 배액이 오후에 집중되고 하루중의 급액량과 배액량을 누적하여 배액율을 계산하게 되면 관수시기마다 작물의 근권부 수분스트레스 강도가 달라지게되며, 이것은 작물의 생육을 제한하는 요인이 된다.
- 그러므로 최적 관수제어 알고리즘에서는 매 관수시기마다 배액율 기준으로 관수를 중단하여 관수량에 의한 작물의 근권부 수분스트레스를 최소화하고자 하였다.
- 최적관수 알고리즘에서 설정해 주어야할 부분은 관수간격(누적광량), 최저배지함수율(배지특성), 배액율(근권부 수분환경 제어) 이다.
- 각각의 설정값은 증산모델, 관수모델, 배액모델에 의해 계산되어야하며, 각 작물에 맞는 보다 정확한 모델의 개발이 앞으로의 과제이다.

12. 환경정보, 배지특성, 생육단계를 고려한 관수, 배지함수율 조절기술 개발 및 모듈 제작

(1) 배지 함수율 조절 상업용 모듈 개발의 필요성

- 현재 농가에서 관수제어에 활용이 용이하지 않은 외산 제품이 이용되고 있다.(Fig. 52)



Fig. 52. 현재 관수제어에 이용되고있는 외산제품(ProDrain, Hortimax)

- 개발한 최적관수제어장치(서울대학교)와 측정원리는 비슷하지만 급액제어 알고리즘과 제어 소프트웨어가 미비한 실정이다.
- 일반 농가에서 개인이 사용하기 용이하지 않다.
- 자재의 수입에 따른 금액의 부담이 크다.
- 유지관리에 많은 비용과 시간이 소요된다.

(2) 상업용 최적 관수제어 모듈 제작(대영GS, 세기교역상사)

- 유지관리의 용이성과 비용절감을 목적으로 측정 및 제어에 사용되는 부품을 국산화하였다.
- 최적 관수제어에 이용되는 알고리즘을 개발 탑재하고 업그레이드 가능하도록 제품을 디자인하였다.
- 상업용 관수 모듈의 현장적용 시험 및 성능검증이 앞으로의 과제이다.
- 소프트웨어의 보완 및 작물에 적합한 모델의 개발 및 검증이 앞으로의 연구되어할 부분이다.

제 3-1절. 파프리카 주요 병해충 방제 농약의 안전사용 및 잔류 농약 클레임해소방안

가. 생산단계 잔류시험을 통한 잔류특성 구명

1. 생산단계 잔류시험을 통한 농약의 생물학적 반감기 산출 및 생산단계 잔류허용기준 설정

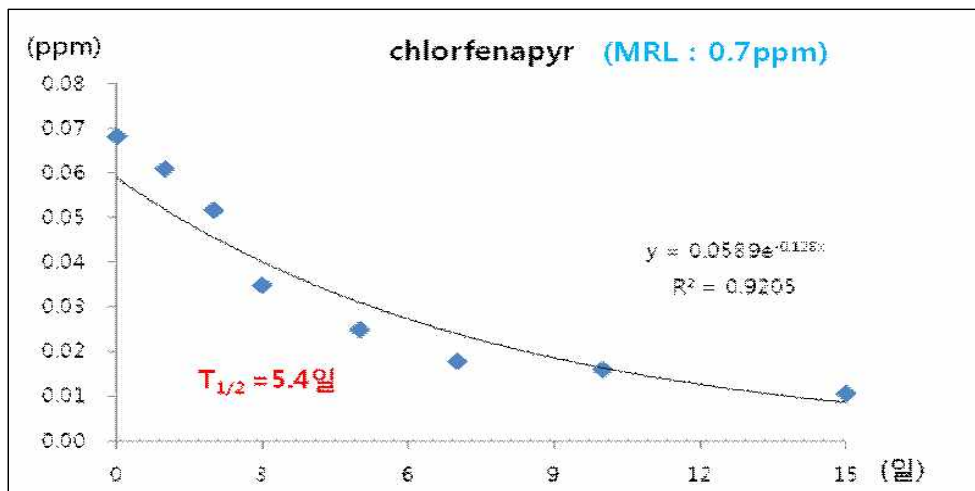
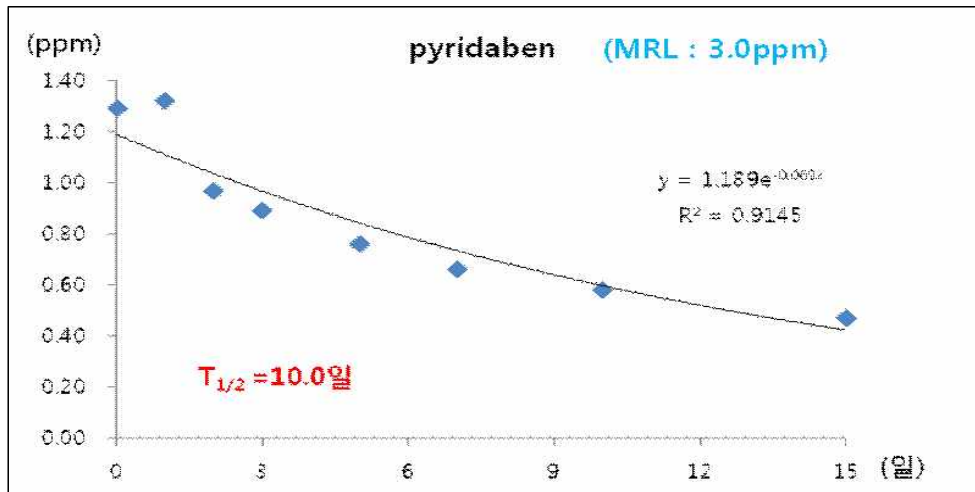
표 3-1. 살포 후 농약의 잔류량 변화 추이 연구에 사용한 살충제

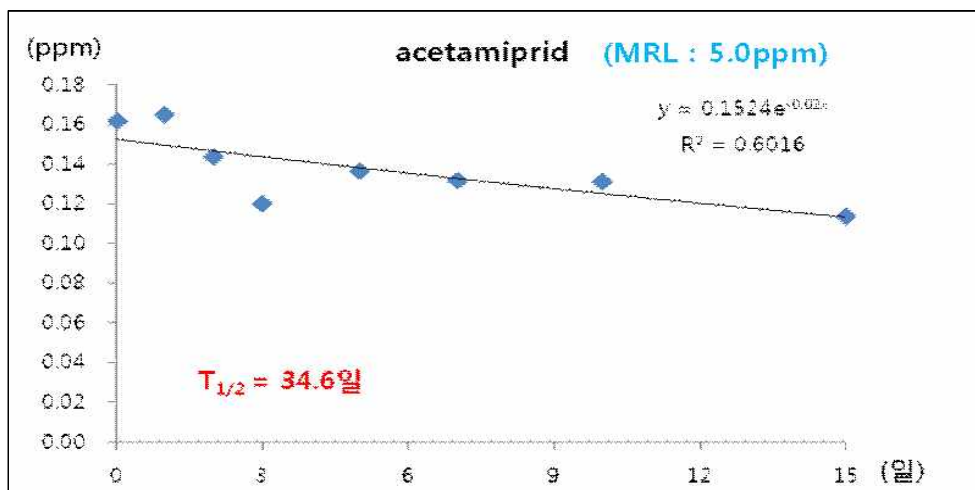
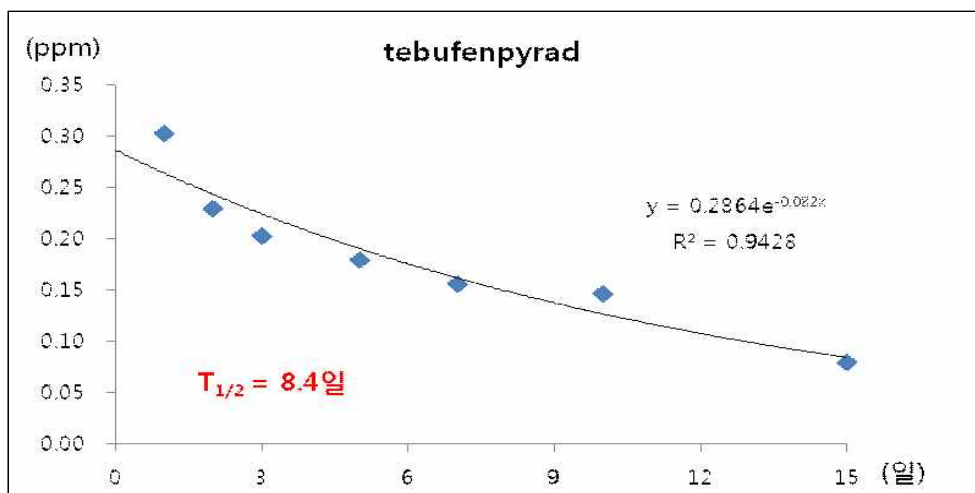
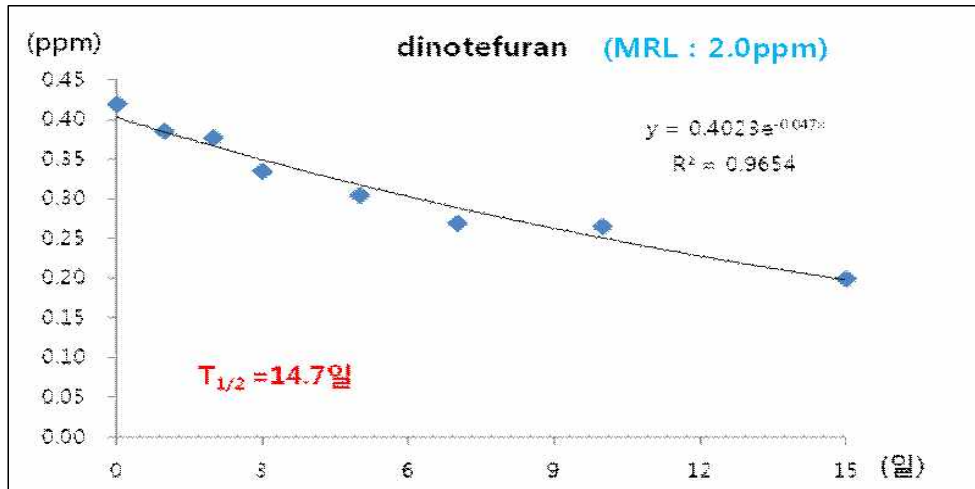
성분	제형	안전사용기준		잔류허용기준 (ppm)		적용	함량 (%)
		시기	회수	한국	일본		
chlorfenapyr	액상수화제	3	3	0.7	1.0	꽃노랑총채벌레, 차면지응애, 담배나방	10
dinotefuran	입상수화제	5	3	2.0	3.0	목화진딧물, 복숭아혹진딧물, 담배가루이	20
pyridaben	수화제	3	2	3.0	3.0	차면지응애, 담배가루이	20
tebufenpyrad	유제	3	2	-	0.5	차면지응애	10
acetamiprid	수화제	2	2	5.0	5.0	꽃노랑총채벌레, 담배가루이, 담배나방, 작은뿌리파리, 진딧물	4
indoxacarb	액상수화제	2	2	1.0	1.0	꽃노랑총채벌레, 담배가루이, 담배나방, 작은뿌리파리, 진딧물	5
flufenoxuron	분산성액제	7	3	0.3	1.0	차면지응애	5
imidacloprid	수화제	3	3	1.0	3.0	진딧물, 작은뿌리파리	10
thiamethoxam	입상수화제	3	3	1.0	1.0	목화진딧물, 복숭아혹진딧물, 오이총채벌레	10
bifenthrin	수화제	7	3	0.5	0.5	담배나방	2
chlorantraniliprole	입상수화제	3	3	1.0	-	담배나방	5
clothianidin	액상수화제	3	3	2.0	3.0	담배가루이, 목화진딧물, 복숭아혹진딧물	8
lamda-cyhalothrin	수화제	5	3	1.0	1.0	담배나방, 목화진딧물, 복숭아혹진딧물	1
methoxyfenozide	액상수화제	7	3	1.0	3.0	담배나방	21

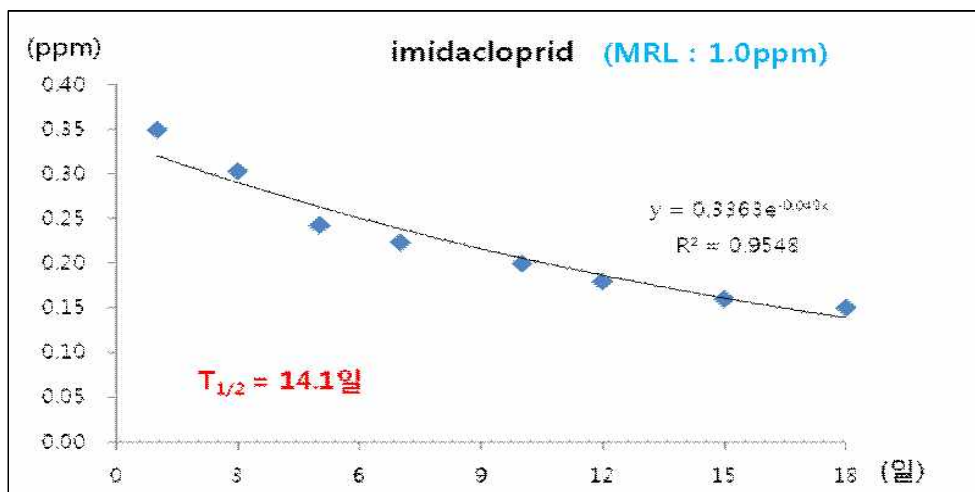
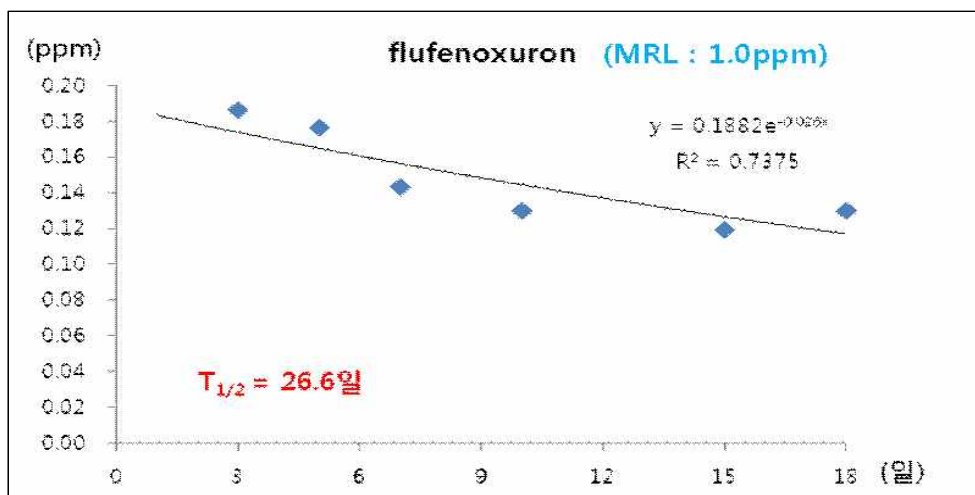
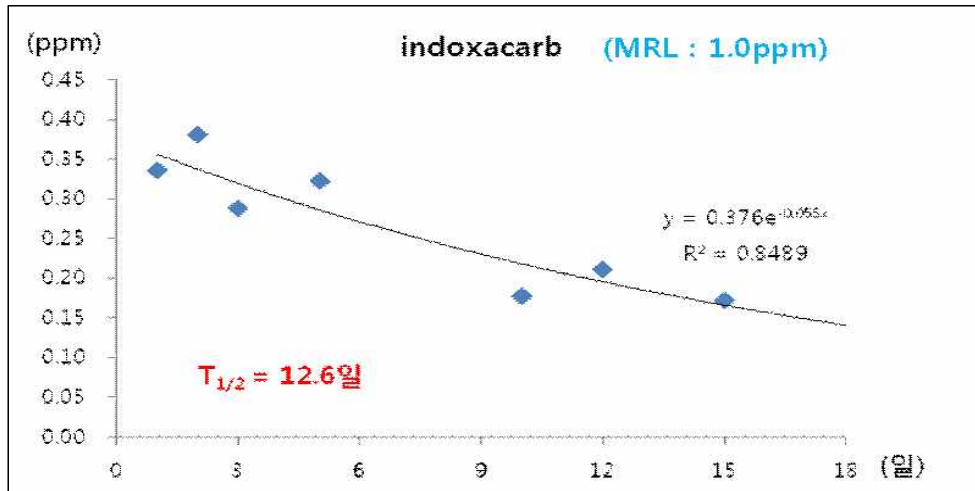
아래 그래프들 중 살비제 pyridaben(수화제)을 예로 들어 설명하면 살비제 살포 후 2시간 후(0일), 1, 2, 3, 5, 7, 9, 12, 15일째 과실을 수확하여 수확일 별 농약 잔류농도를 정량분석한다. 0일에 검출된 양이 1.3 ppm, 1일째가 1.4 ppm, 2일째가 1.0 ppm, 3일째가 0.9 ppm 등 각각 15일째 까지 그 양을 그래프 y축 상에 찍고 감소 곡선을 지수함수 그래프로 나타낸 것이 실선으로 된 감소 곡선이다.

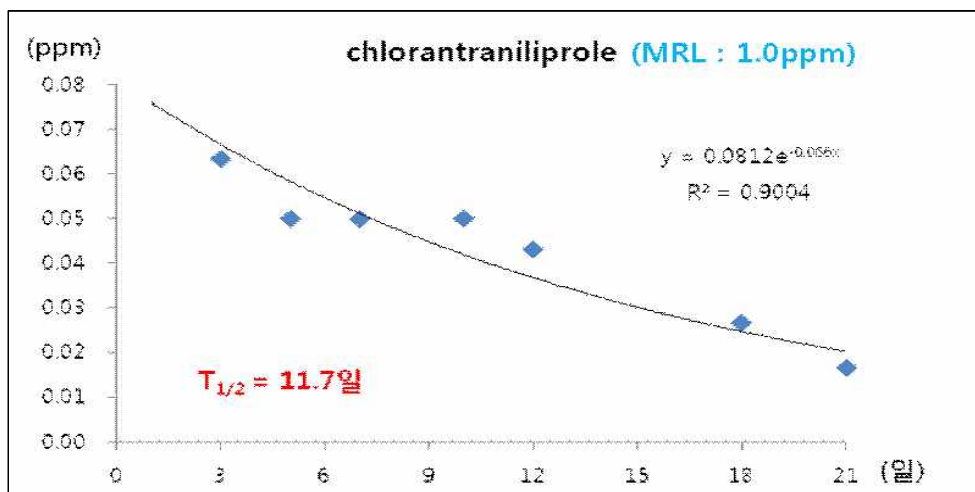
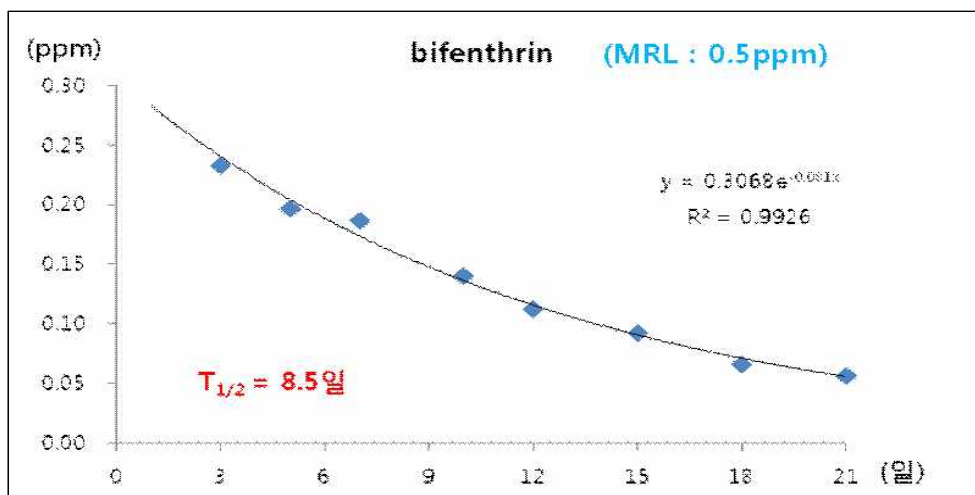
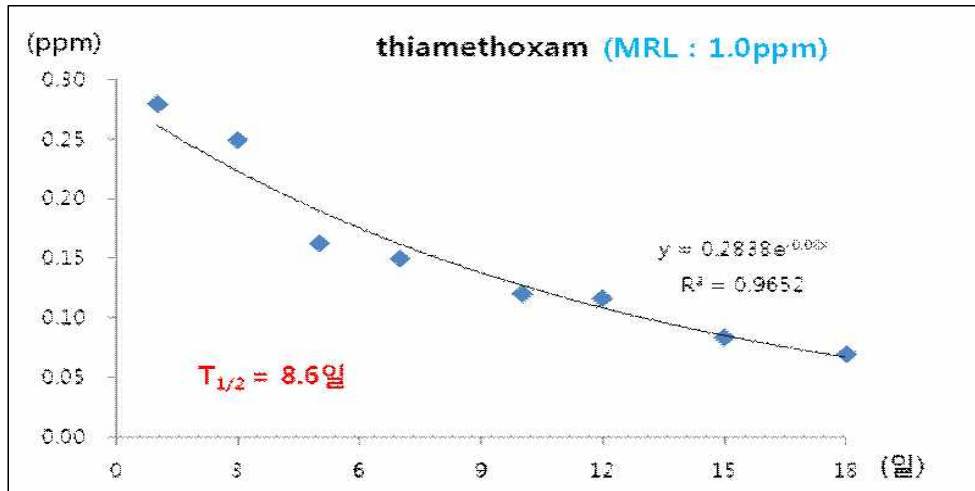
이 지수 감소 곡선에서 1) 농약의 잔류가 반으로 줄어드는데 소요되는 기간인 반감기($T_{1/2}$)

가 10.0일로 적색으로 표시된 값이 반감기 추정 값이 된다. 2) 각 살충제 별 MRL은 청색으로 상단에 표시 되어있다. pyridaben의 경우 MRL이 3 ppm으로 살포 1일 후 잔류량이 1.4 ppm으로 안전성에는 문제의 소지가 적다고 할 수 있다. 14 종의 살충제에 대한 잔류 곡선도 같이 적용할 수 있다. 그러나 전술한 대로 반감기 감소곡선에서 대부분의 농약들의 반감기가 길어(길수록 감소곡선의 기울기가 완만하게 낮다) 초기 농약의 부착농도가 잘 감소되지 않고 오래 동안 지속 될 수 있다는 것을 의미하므로 과용하거나 고농도 제형들을 살포 할 때 꼭 유념해야 하겠다.









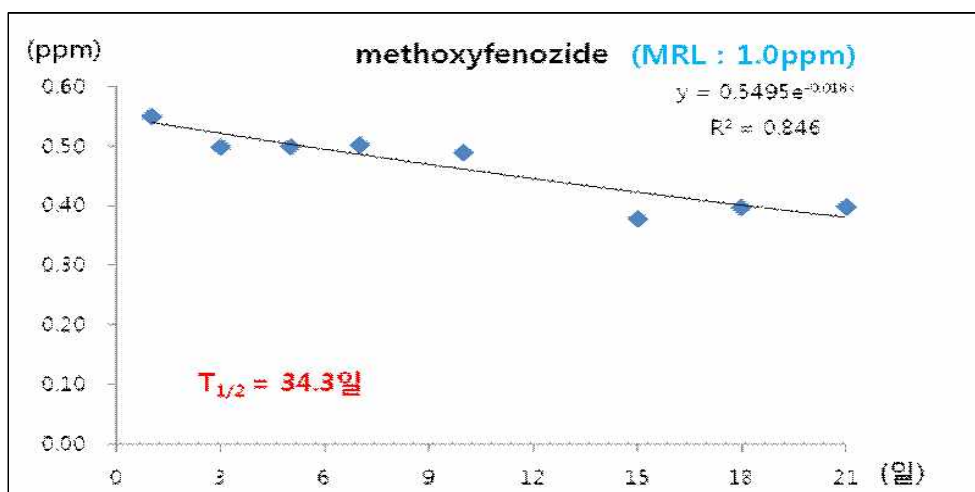
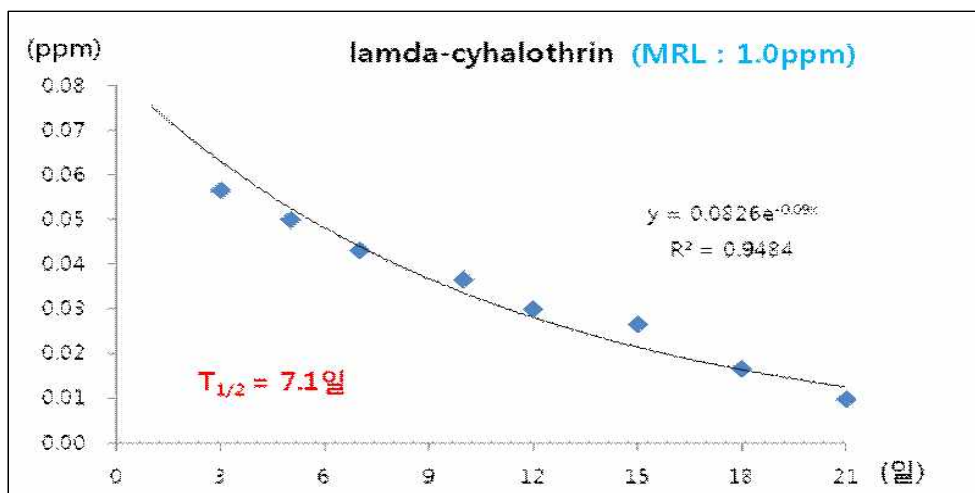
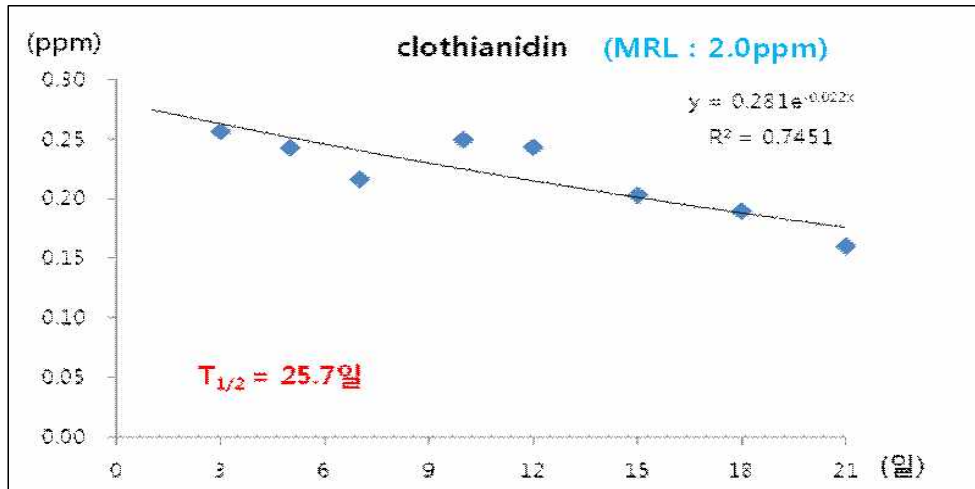


그림3-1 . 살충제 살포 후 시일별 과실에서의 감소량 변화와 추정 반감기.

표 3-2. 시험 살충제의 생산단계 잔류허용 기준

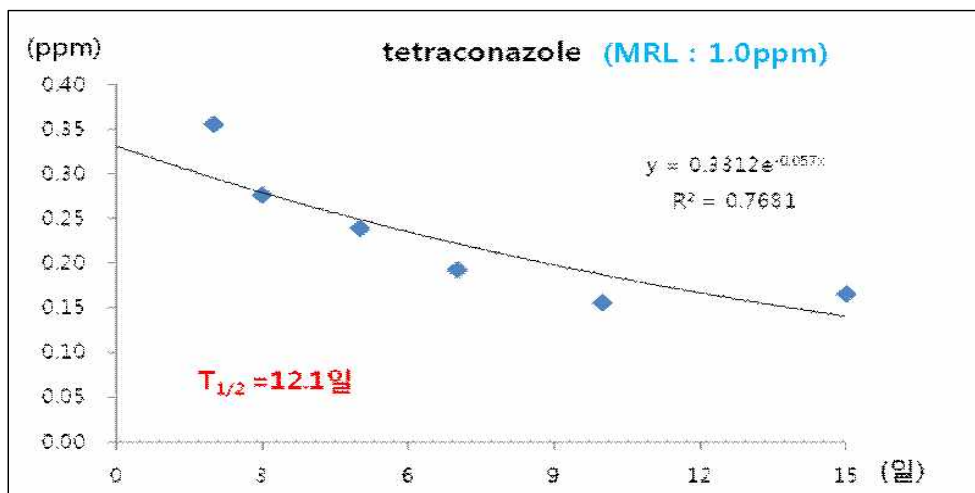
농약	MRL (ppm)	회귀계수 최소값	생산단계 잔류허용 기준 (ppm)										
			10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	출하일
chlorfenapyr	0.7	0.0882	1.69	1.55	1.42	1.30	1.19	1.09	1.00	0.91	0.83	0.76	0.7
dinotefuran	2.0	0.0385	2.94	2.83	2.72	2.62	2.52	2.42	2.33	2.24	2.16	2.08	2.0
pyridaben	3.0	0.0479	4.84	4.62	4.40	4.20	4.00	3.81	3.63	3.46	3.30	3.15	3.0
tebufenpyrad	0.5	0.0560	0.88	0.83	0.78	0.74	0.70	0.66	0.63	0.59	0.56	0.53	0.5
acetamiprid	5.0	0.0138	5.74	5.66	5.58	5.51	5.43	5.36	5.28	5.21	5.14	5.07	5.0
indoxacarb	1.0	0.0357	1.43	1.38	1.33	1.28	1.24	1.20	1.15	1.11	1.07	1.04	1.0
flufenoxuron		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
imidacloprid	1.0	0.0386	1.47	1.42	1.36	1.31	1.26	1.21	1.17	1.12	1.08	1.04	1.0
thiamethoxam	1.0	0.0633	1.88	1.77	1.66	1.56	1.46	1.37	1.29	1.21	1.14	1.07	1.0
bifenthrin	0.5	0.0746	1.05	0.98	0.91	0.84	0.78	0.73	0.67	0.63	0.58	0.54	0.5
chlorantraniliprole	1.0	0.0345	1.41	1.36	1.32	1.27	1.23	1.19	1.15	1.11	1.07	1.04	1.0
clothianidin	2.0	0.0125	2.27	2.24	2.21	2.18	2.16	2.13	2.10	2.08	2.05	2.03	2.0
lamda-cyhalothrin	1.0	0.0724	2.06	1.92	1.78	1.66	1.54	1.44	1.34	1.24	1.16	1.08	1.0
methoxyfenozide	1.0	0.0075	1.08	1.07	1.06	1.05	1.05	1.04	1.03	1.02	1.02	1.01	1.0

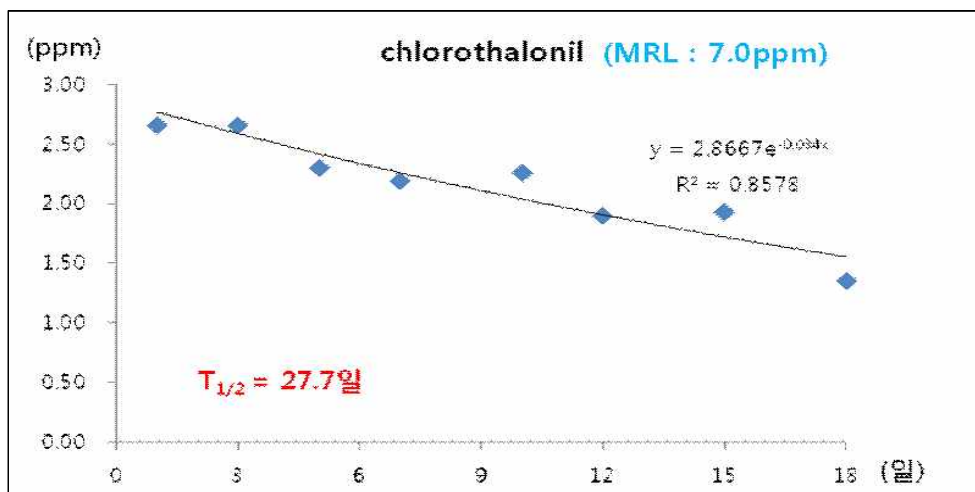
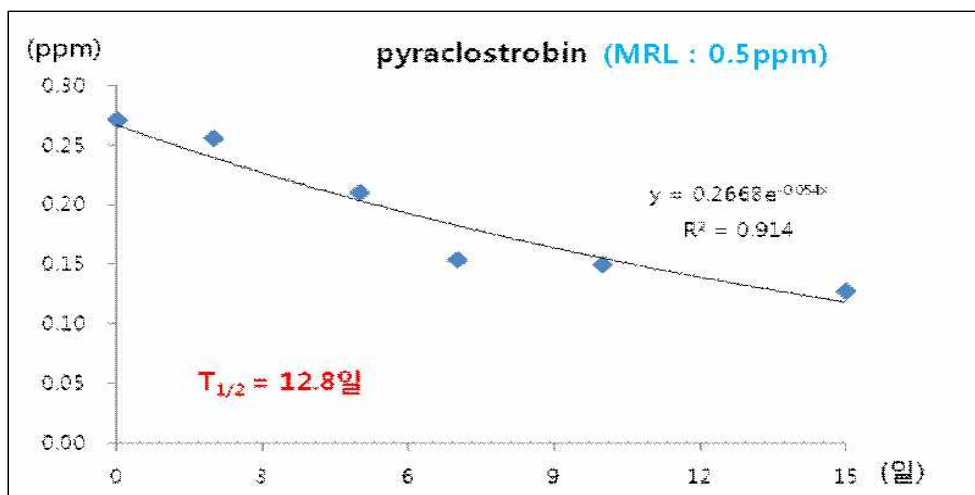
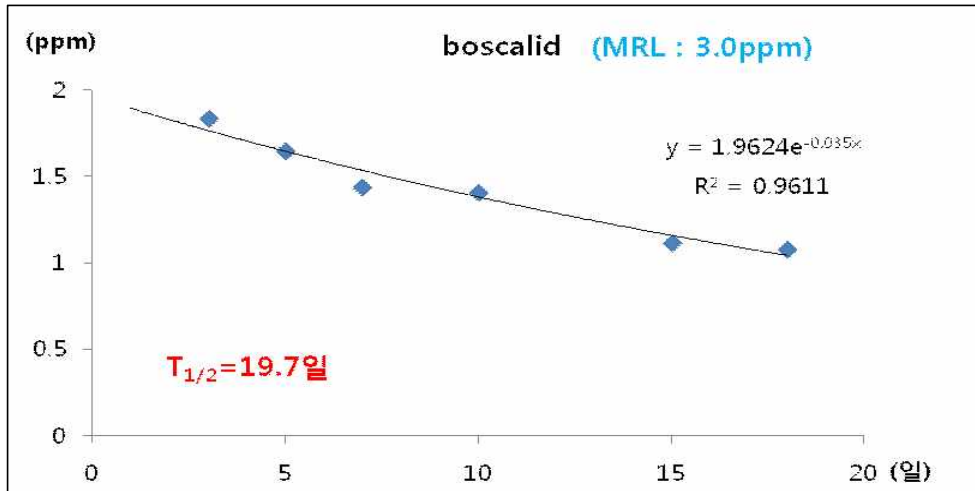
상기 살충제들의 생산단계 잔류허용기준 설정은 현행 국립 농산물품질관리원 매뉴얼에 맞춰 생물학적 반감기와 통계적 처리를 거쳐 생산 직전 날짜별 잔류 허용기준량을 설정해 둠으로써 수확시기에 잔류허용기준(MRL)을 상회하지 않도록 하는 예방적 조치이다. 예로 chlorfenapyr 경우 일본에서 파프리카에 대한 MRL이 0.7 ppm이므로 만약 농장에서 5일 후 또는 10 일 후 수확하여 출하 한다면 각각 5 일 전에는 1.09 ppm, 10일 전에는 1.69ppm 이상이 검출 된다면 5일 10 일 후 출하시에는 MRL 0.7 ppm을 상회 할수 있기 때문에 부적합하다는 말이다. 따라서 현재 국내에서 농민들이 주로 많이 사용하는 21종의 농약에 대한 수확전 잔류 허용기준량의 가이드라인으로 긴요하게 사용할 수 있다.

살균제[표 3-3]의 경우도 살충제의 그것과 원칙적으로 유사하며 반감기가 긴 것을 알 수 있다[그림3-2]. 일부 살균제의 경우 제형중 주성분 함량이 살충제보다 비교적 높으므로 초기 부착량이 다소 높고 예로 tebuconazole 경우 MRL 값이 0.5 ppm으로 낮아서 과다사용 시 안전성 문제가 발생할 가능성이 크므로 살포 시주의가 필요하다.

표 3-3. 살포 후 농약의 잔류량 변화 추이 연구에 사용한 살균제

성분	제형	안전사용기준		잔류허용기준 (ppm)		적용	함량 (%)
		시기	회수	한국	일본		
tetraconazole	유탁제	3	3	1.0	1.0	흰가루병	12.5
boscalid	입상수화제	2	2	3.0	1.0	젓빛곰팡이병	47
pyraclostrobin	입상수화제	2	3	0.5	0.5	탄저병	18.8
chlorothalonil	액상수화제	7	4	7.0	7.0	탄저병	75
kresoxim-methyl	입상수화제	7	2	2.0	5.0	탄저병	47
prochloraz	입상수화제	7	3	3.0	1.0	흰가루병, 탄저병	50
tebuconazole	유탁제	7	3	0.5	0.5	갈색점무늬병, 탄저병	25





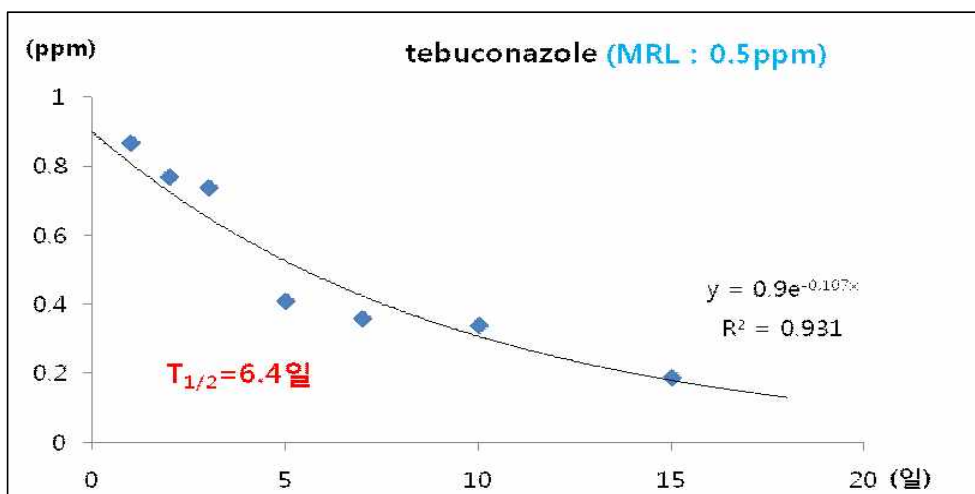
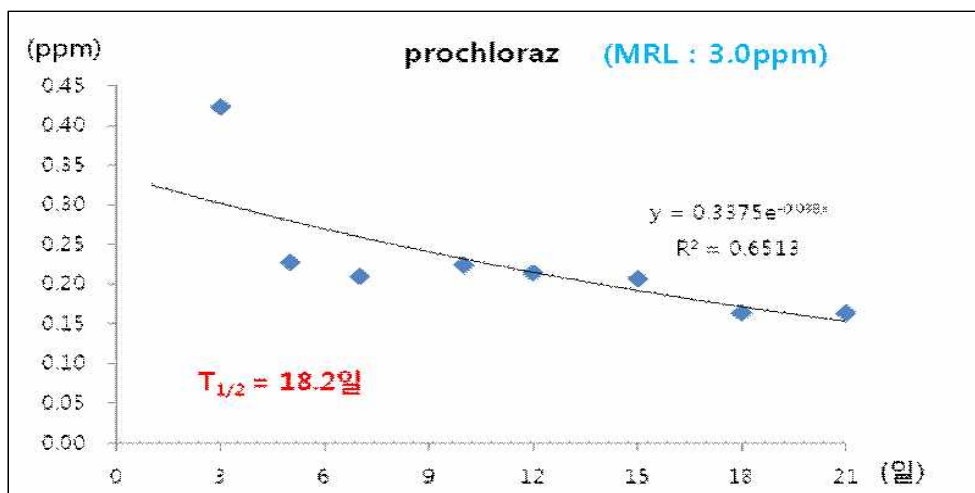
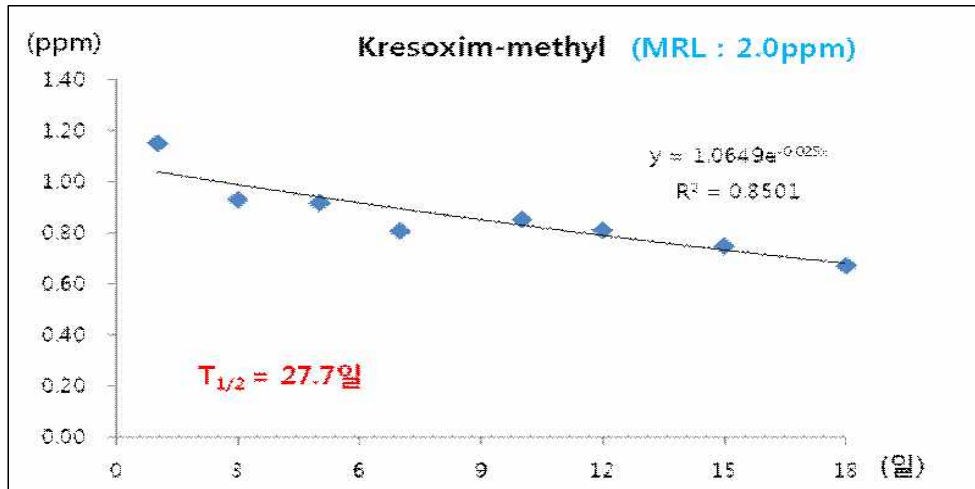


그림 3-2. 살균제 살포 후 시일별 과실에서의 감소량 변화와 추정 반감기.

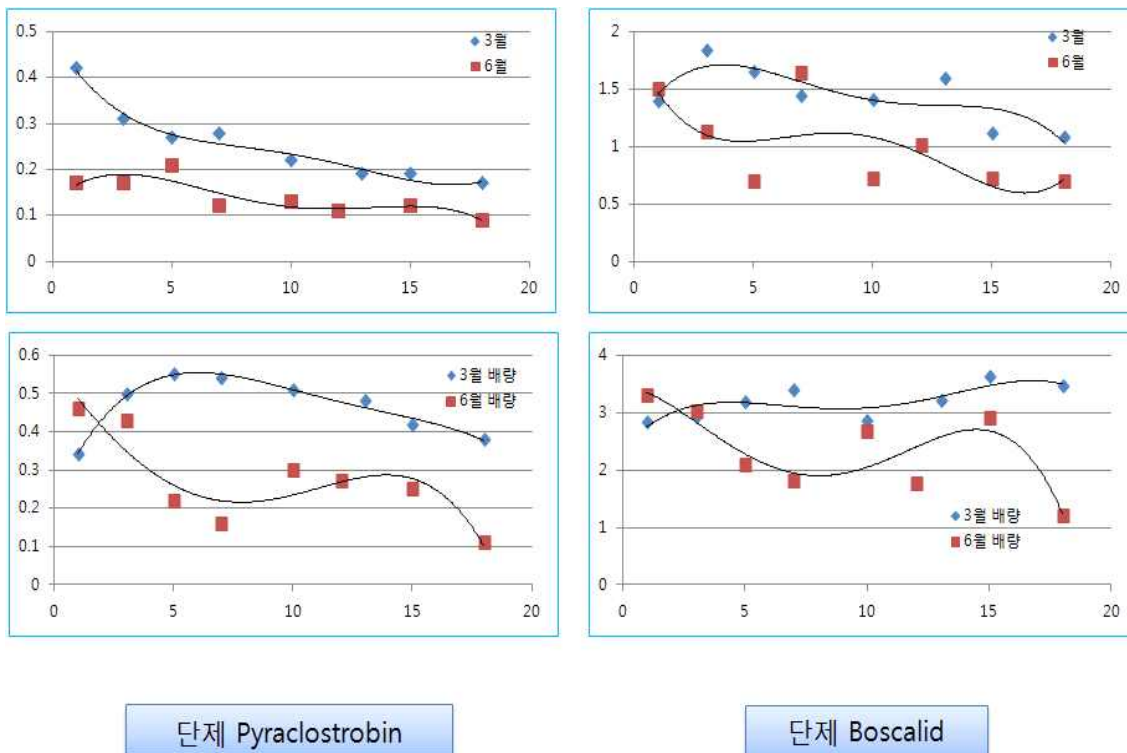
표3-4. 시험 살균제의 생산단계 잔류허용 기준

농약	MRL (ppm)	회귀계수 최소값	생산단계 잔류허용 기준 (ppm)										
			10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	출하일
tetraconazole	1.0	0.0110	1.12	1.10	1.09	1.08	1.07	1.06	1.04	1.03	1.02	1.01	1.0
boscalid	3.0	0.0254	3.87	3.77	3.68	3.58	3.49	3.41	3.32	3.24	3.16	3.08	3.0
pyraclostrobin	0.5	0.0350	0.71	0.68	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.5
chlorothalonil	7.0	0.0197	8.53	8.36	8.20	8.04	7.88	7.72	7.57	7.43	7.28	7.14	7.0
kresoxim-methyl	2.0	0.0136	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.14	2.11	2.08	2.06	2.03	2.0
prochloraz	3.0	0.0208	3.69	3.62	3.54	3.47	3.40	3.33	3.26	3.19	3.13	3.06	3.0
tebuconazole	0.5	0.0473	0.80	0.77	0.73	0.70	0.66	0.63	0.60	0.58	0.55	0.52	0.5

2. 계절별 잔류시험을 통한 농약의 잔류특성

앞에서 기술한 바와 같이 농약의 잔류양상은 화학적 성질, 작물의 상태, 기후환경조건에 따라 변화하기 때문에 겨울철 재배 시 농약 살포 후 작물의 크기도 작아 농약/작물 생체 중의 분산이 적고, 온도 조건도 낮아서 농약 성분의 휘산이 적어 여름철 보다 잔류의 가능성이 높다고 본다. 그 예를 보면 아래 그림에서 잘 나타내었다. 따라서 특히 겨울 재배 시 과도한 농도나 빈번한 살포를 삼가 해야 이로 인한 안전성 위반 문제를 사전에 대처할 수 있겠다.

재배시기에 따른 농약 잔류농도 비교



단제 Pyraclostrobin

단제 Boscalid

그림3-3. 농약 계절별(3월, 6월) 정량 및 배량 처리시 잔류량 변화 추이.

상기 그림에서 잘 나타냈듯이 살균제 pyraclostrobin과 boscalid를 예로 실험한 결과 각각 같은 포장에서 3월과 6월에 살포했을 때의 살포 후 18일까지 과실 중 두 살균제의 잔류농도 변화를 보면, 두 살균제 모두 추천량(위)과 과량(아래)으로 살포 후 잔류되는 농도는 3월 처리가 6월보다 높고 시간에 따른 잔류량 감소추세가 아주 미미함을 볼 수 있다. 따라서 겨울작기 재배 시에는 이런 점을 충분히 고려한 농약사용이 필요하다.

3. 식물 부위별 잔류특성

파프리카는 엽면적이 크고 잎의 수가 많아 농약 살포 후 노출되는 잎에서 잔류 농도가 높을 것으로 예상된다. 실험 결과 아래 두 살균제의 잎과 과실에서의 잔류 농도를 정량하여 비교해 보면 잎에 잔류하는 농도는 열매의 그것보다 약 50 배 높은 것을 알 수 있고 18일 동안 잔류 농도 변화도 완만하며 방제효과를 충분히 발휘 할 만큼의 농도가 유지됨으로 잎에 서식하는 병, 해충을 대상으로 하는 경우 자주 살포할 필요가 적다고 할 수 있다[그림 3-4].

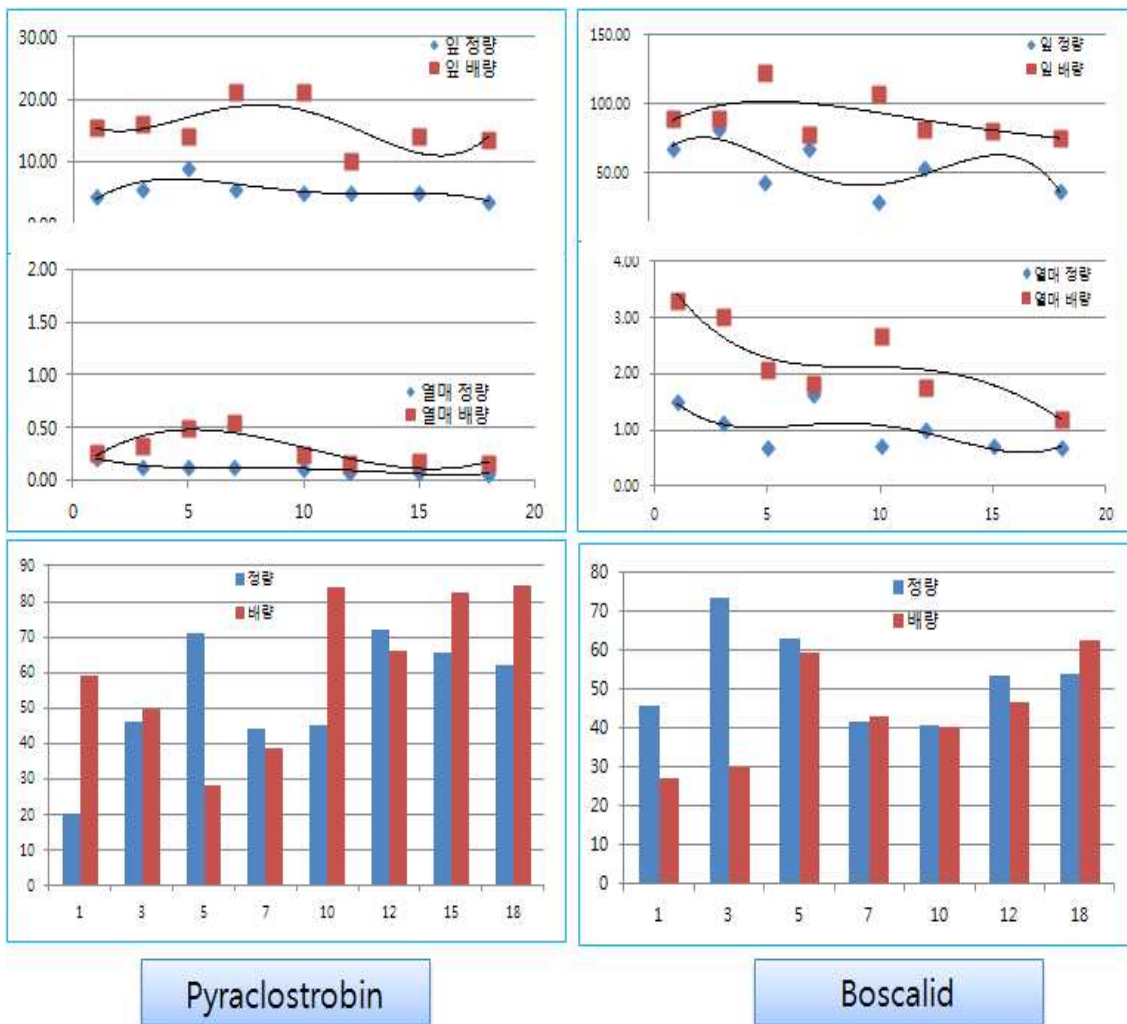


그림 3-4. 잎과 과실에서 농약 잔류량 비교.

4. 농약의 처리 방법별 잔류 특성

파프리카 겨울재배는 여름철 육묘 후 정식하고도 외부 온도가 높아 측창을 열어두고 재배하다가 외부 온도가 떨어지면 측창을 닫고 재배하는 것이 대부분의 관행이다. 그러다보니 시설 주변의 잡재 서식지(고추, 가지, 콩 등 작물과 잡초)에 있던 가루이류, 총채벌레, 진딧물, 나방류 등이 시설 안으로 들어가 겨울철 시설 내에서 1차 감염원으로 증식하여 피해를 주게 되고, 이를 방제하기 위해 농약을 살포할 수밖에 없고, 이로 인해 겨울철 저온 환경조건으로 잔류문제를 야기할 가능성이 높고, 이로 인해 천적사용도 제한을 받아 큰 피해를 준다.

따라서 본 연구진이 개발한 입제 살충제를 캡슐에 담아 큐브에 넣고 사용하면 그 약효 지속기간이 40-60일 지속되므로 해충의 초기 방제에 획기적인 방법이라 하겠다. 최근 등록된 네오니코티노이드 살충제 4종을 1) 입제 제형을 캡슐(1-2 g/capsule)로 제작하여 처리[표 3-5], 2) 이들 농약의 관주 처리(watering)[표 3-6], 3) 엽면 처리(spray)[표 3-7], 4) 현재 농민들이 일부 사용하고 있는 입제를 큐브위에 흩어 놓은 처리(deposit on cube)[표 3-5] 등 네 가지 방법으로 구분하여 처리 하고 파프리카 잎은 10일 간격, 열매는 처리 60일 후에 수거하여 그 살충제 잔류농도를 각각 잎, 과실에서 분석해 보았다. 처리한 살충제의 함량은 입제가 1.5-2.0 %이고, 관주처리와 엽면 살포제는 8-10% 수준이었다.

아래 그림에서 thiamethoxam을 예로 설명하면 입제 캡슐 처리의 경우 초기 잎 중 농도가 25 ppm 이고 시간이 지남에 따라 서서히 감소하다가 처리 60일 후가 되면 약 5ppm 수준으로-이 농도이면 진딧물을 방제 할 수 있는 최소 농도 수준으로 추정-제 1장에서 보여준 생물활성 지속기간과 잘 일치하는 놀라운 결과를 보여 주고 있다. 한편 엽면 살포의 경우 30일 정도까지 그 약효가 지속될 것으로 예상된다. 그러나 관주와 큐브 위 산파 처리는 잔류 농도도 낮고 기간도 짧아 시설내 측창 개방형 초기 재배 양식에는 소기의 목적 달성이 어렵다는 것을 보여주고 있다. 특히 강조하고 싶은 것은 아직 해충을 섭식, 기생하는 천적에 농약의 간접 노출에 의한 실험적 자료는 부족하지만 캡슐 처리의 경우 제 1장에서 보여준 결과처럼 살충제 직접 살포보다 천적에 해가 적다는 점이다.

이런 결과는 우리가 사용한 4 가지 살충제에서도 유사한 양상으로 아주 좋은 결과를 보여주고 있다[그림 3-5, 6, 7, 8].

표3-5. 입제 캡슐처리/큐브 위 산파 처리에 사용한 살충제

성분	제형	안전사용기준		잔류허용기준 (ppm)		적용	함량 (%)
		시기	회수	한국	일본		
imidacloprid	입제	정식전	1회 이내	1.0	3.0	진딧물, 온실가루이	2
thiamethoxam	입제	정식전	1회 이내	1.0	1.0	목화진딧물, 복숭아혹진딧물	1.5
acetamiprid	입제	정식전	1회 이내	5.0	5.0	목화진딧물, 복숭아혹진딧물	1.5
clothianidin	입제	정식전	1회 이내	2.0	3.0	목화진딧물, 복숭아혹진딧물	1.8

표 3-6. 관주처리에 사용한 살충제

성분	제형	안전사용기준		잔류허용기준 (ppm)		적용	함량 (%)
		시기	회수	한국	일본		
imidacloprid	액상수화제	30일 이상 간격	2회 이내	1.0	3.0	진딧물, 온실가루이	8
thiamethoxam	입상수화제	30일 이상 간격	2회 이내	1.0	1.0	목화진딧물, 복숭아혹진딧물	10
acetamiprid	수화제	30일 이상 간격	2회 이내	5.0	5.0	목화진딧물, 복숭아혹진딧물	8
clothianidin	액상수화제	수확 3일전 까지	3회 이내	2.0	3.0	작은뿌리파리	8

표 3-7. 엽면살포에 사용한 살충제

성분	제형	안전사용기준		잔류허용기준 (ppm)		적용	함량 (%)
		시기	회수	한국	일본		
imidacloprid	수화제	3	3	1.0	3.0	목화진딧물, 복숭아혹진딧물, 작은뿌리파리	10
thiamethoxam	입상수화제	3	3	1.0	1.0	목화진딧물, 복숭아혹진딧물	10
acetamiprid	수화제	3	3	5.0	5.0	목화진딧물, 복숭아혹진딧물	8
clothianidin	액상수화제	3	3	2.0	3.0	작은뿌리파리	8

thiamethoxam

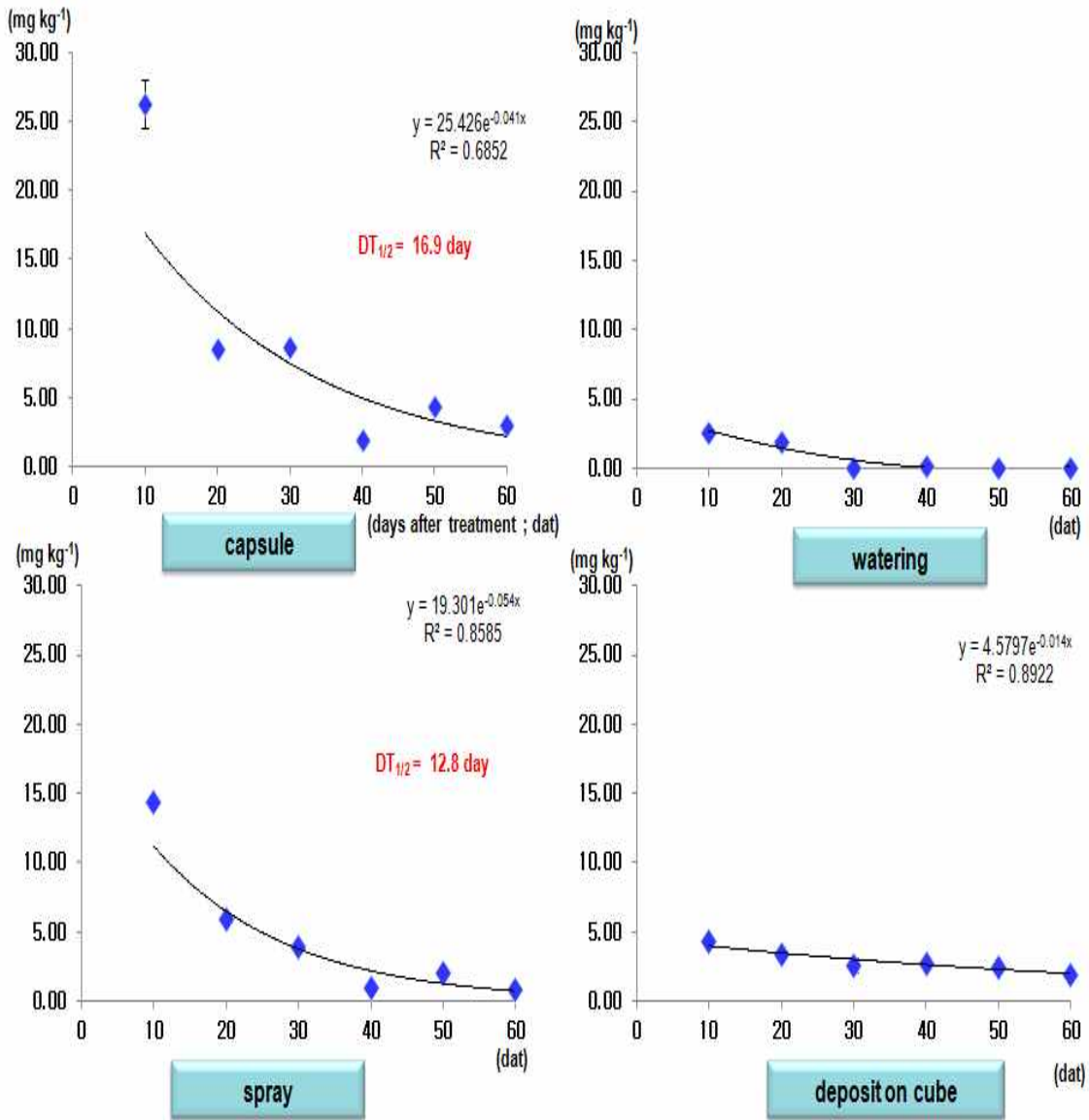


그림 3-5. thiamethoxam 처리별 시간에 따른 엽중 잔류량 변화.

acetamidrid

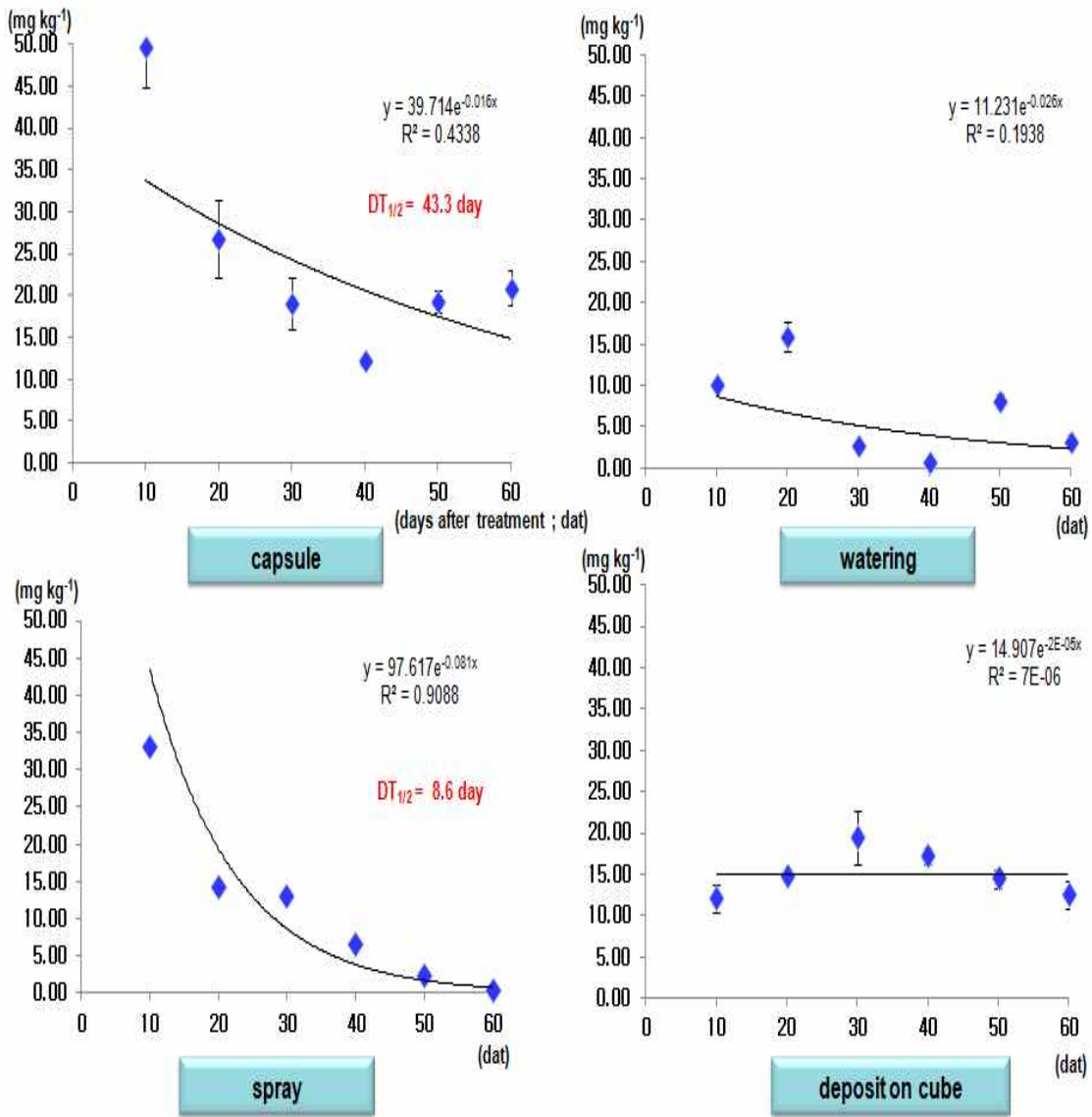


그림 3-6. acetamidrid 처 리별 시간에 따른 엽중 잔류량 변화.

imidacloprid

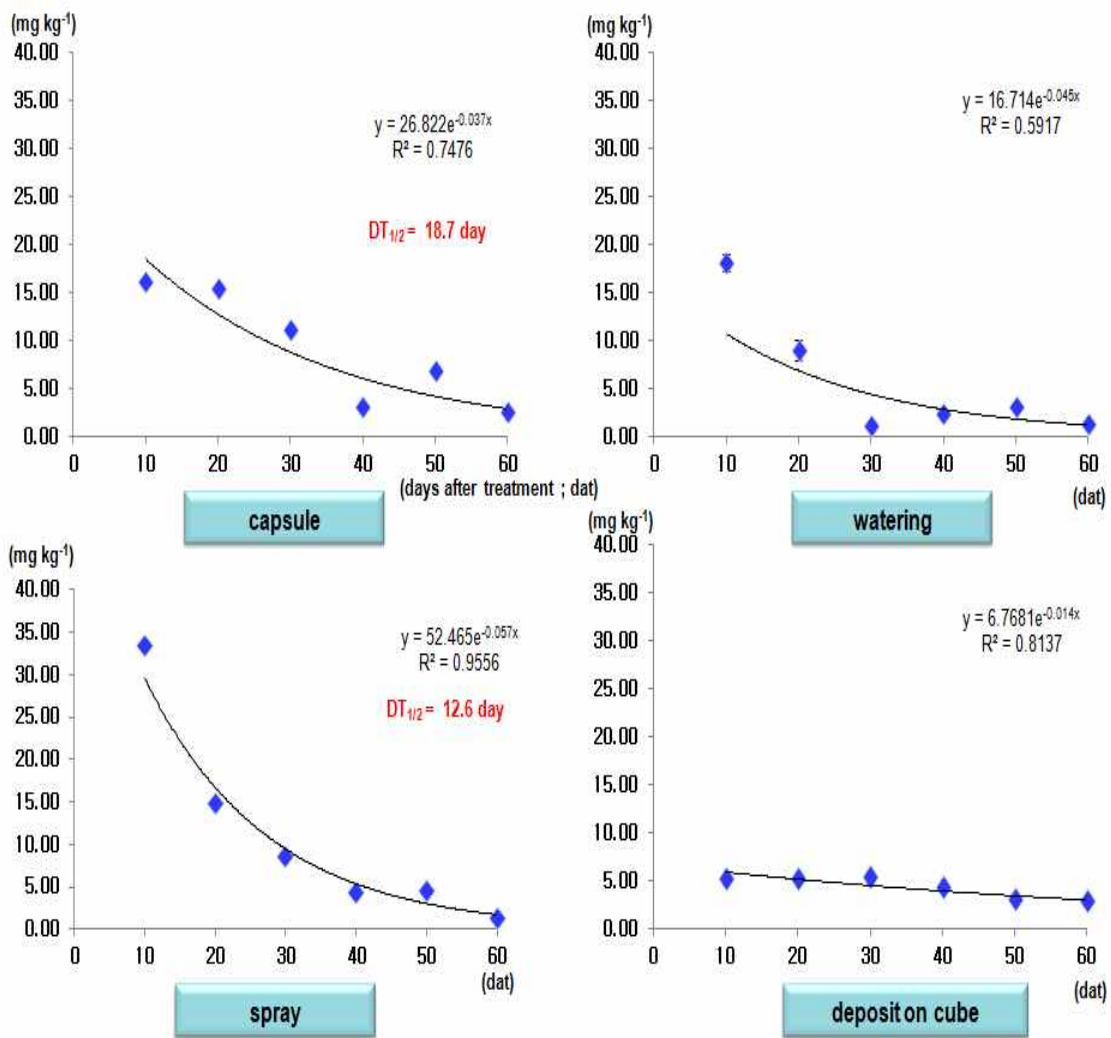


그림 3-7. imidacloprid 처리별 시간에 따른 엽중 잔류량 변화.

clothianidin

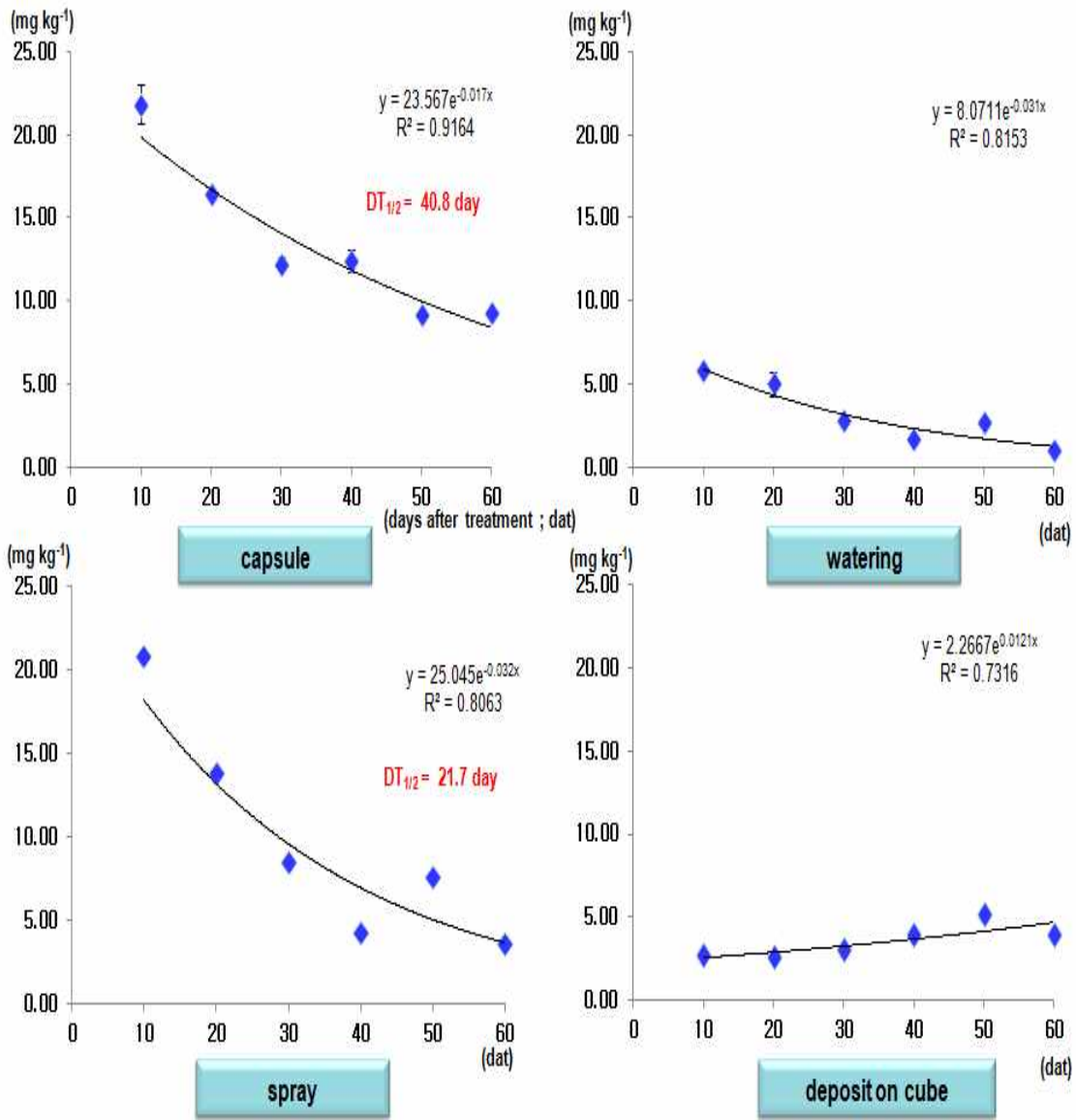


그림 3-8. clothianidin 처리별 시간에 따른 엽중 잔류량 변화.

처리 60일 후 파프리카 과실에 잔류하는 살충제 농도:

neonicotinoid 살충제 처리 방법별 과실에 농약의 잔류량은 아래 그림에서 보는바와 같이 처리 후 60일째 잔류량을 분석한 결과 4가지 살충제 모두 잔류허용기준량(MRL)을 초과 하지 않았다[그림 3-9]

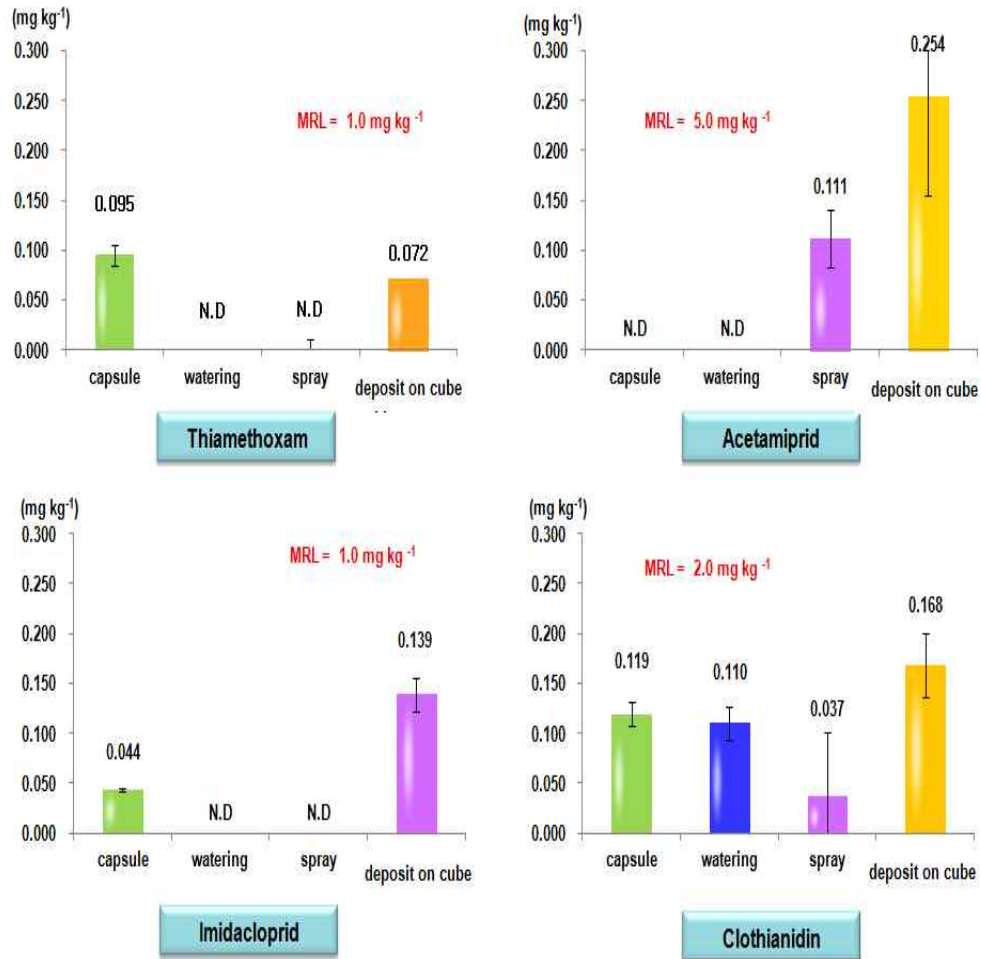
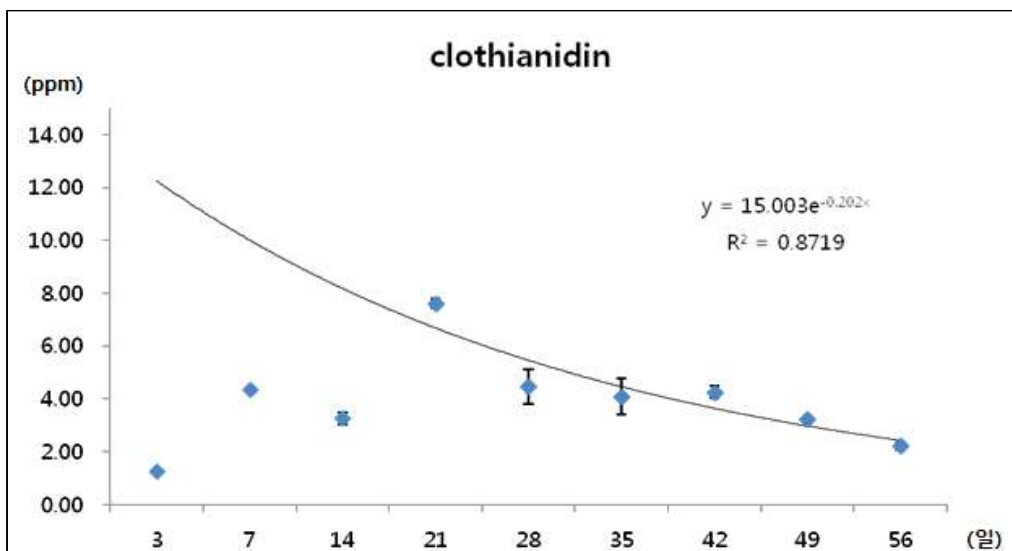
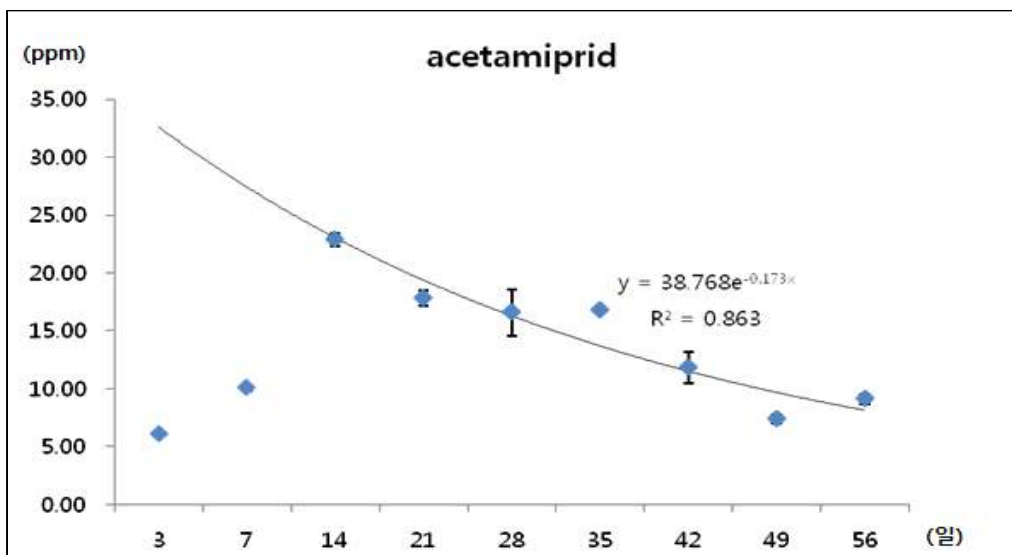


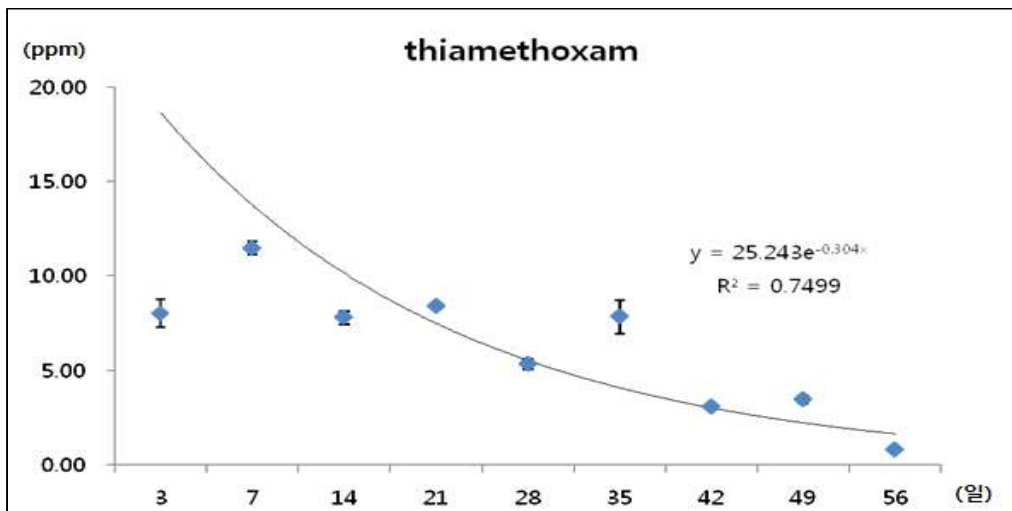
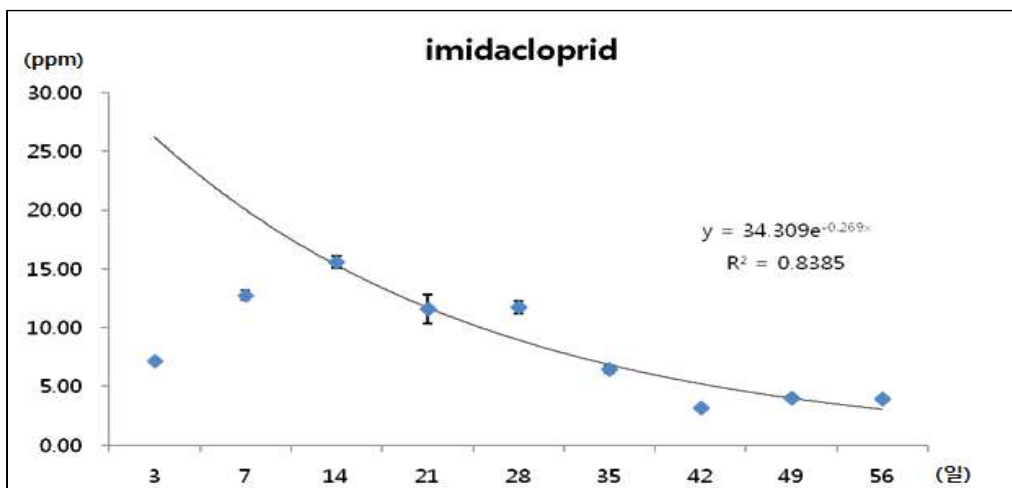
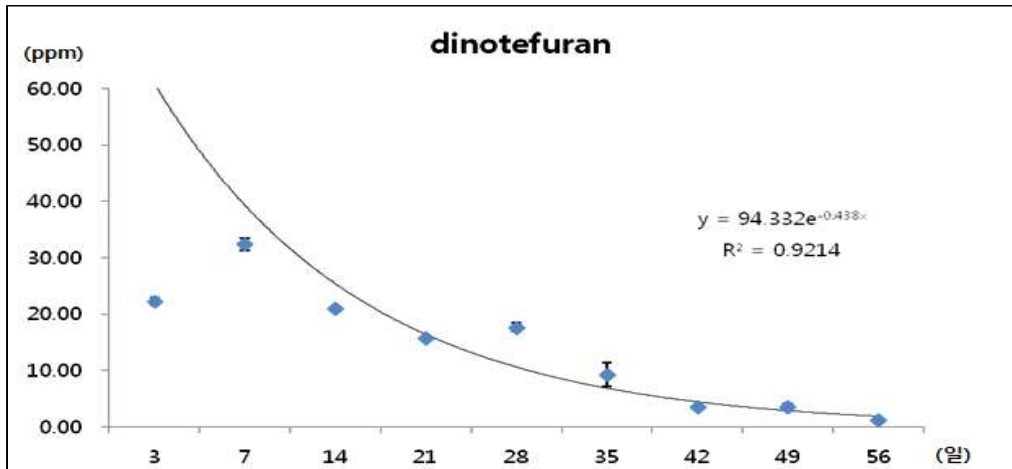
그림 3-9. 농약 처리별 60일 후 과실에 잔류하는 살충제 농도.

5. neonicotinoid 살충제 입제 캡슐 처리 후 잎에서의 잔류 특성

2012년도에 다시 5종의 neonicotinoid 살충제 입제를 1g 씩 캡슐에 넣고 프라그 옆 큐브에 처리하고 7일 간격으로 파프리카 잎에서 각 살충제 잔류 농도를 분석한 결과는 그림 3-10에 서와 같은 추이를 보여 주고 있다[그림 3-10].

이는 겨울재배 초기 시설 내 해충 유입을 방지 또는 억제 하여 동절기 시설 내 해충 발생을 미연에 차단하는 아주 좋은 방법으로 입증 되었다. 하절기 재배의 경우 초기 해충 발생은 동절기 시설이 동파 되지 않는 범위에서 저온 처리 하면 대부분 외래 해충인 가루이류, 총채벌레 등의 해충 1차 발생을 억제 할 수 있다.





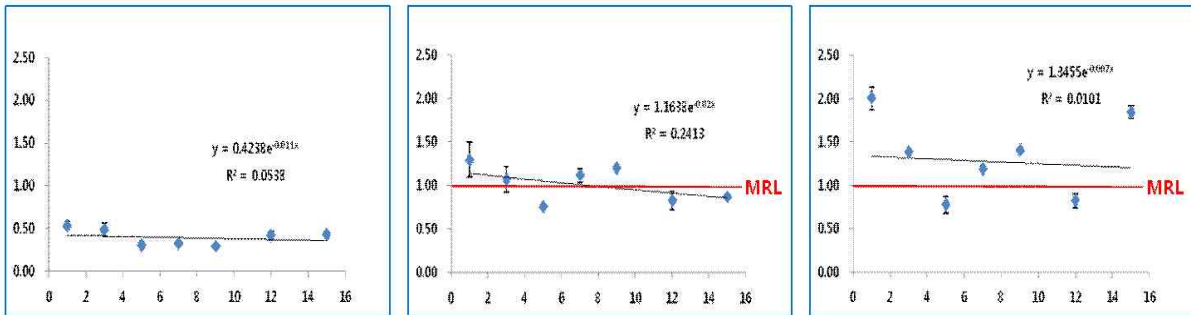
3-10. 근부 캡슐처리 후 8 주간 이내에서의 살충제 잔류농도.

6. 농약의 반복처리 시 계절별 살포횟수별 잔류특성

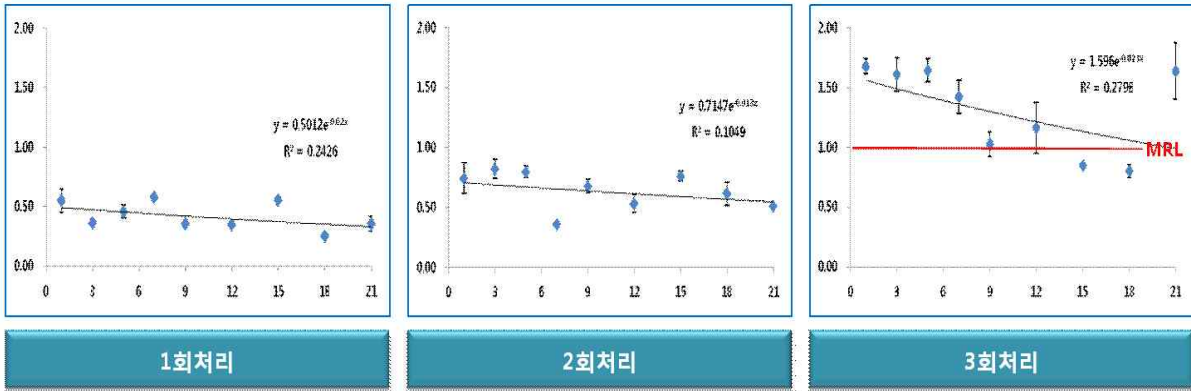
표 3-8. 살충제 methoxyfenozide의 1, 2, 3회 처리 후 각각 계절별 수확 전 잔류량 비교

성분	주성분 함량(%)	사용적기 및 방법	안전사용기준		잔류허용기준 (ppm)		생산단계 농약 반감기			
			시기	회수	한국	일본	처리	1회	2회	3회
살충제 Methoxyfenozide	21	발병초 10일 간격	7	3	1.0	3.0	1~2월	-	34.6	-
							4~5월	26.6	53.3	14.4

1~2월 처리



4~5월 처리



1회처리

2회처리

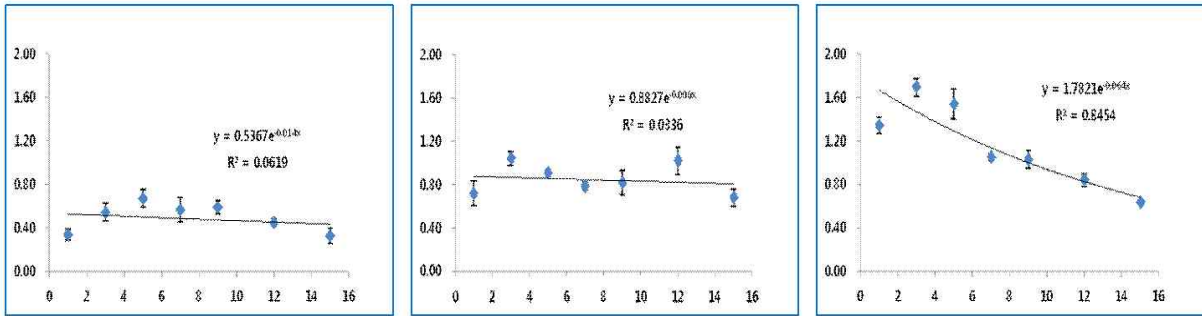
3회처리

그림 3-11. 살충제 계절별 반복 처리 한 후 과실에서 생산단계 농약 잔류량.

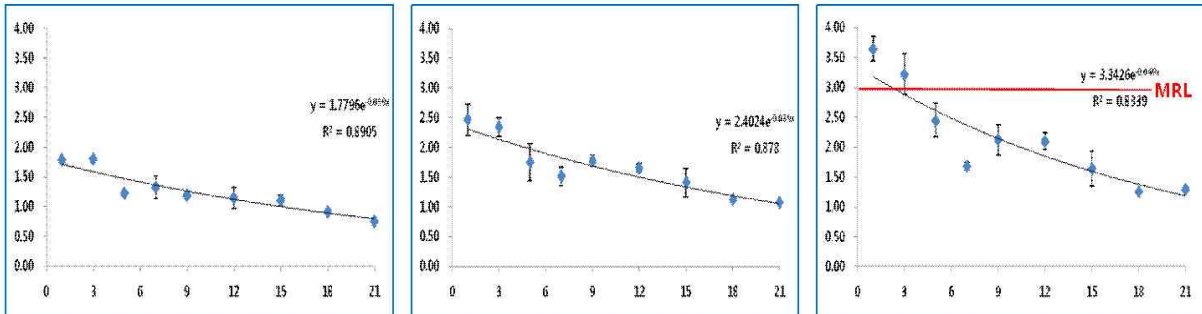
표 3-9. 살균제 prochloraz의 1, 2, 3회 처리 후 각각 계절별 수확 전 잔류량 비교

성분	주성분 함량(%)	사용적기 및 방법	안전사용기준		잔류허용기준 (ppm)		생산단계 농약 반감기			
			시기	회수	한국	일본	처리	1회	2회	3회
살균제 Prochloraz	50	발병초 10일 간격	3	3	3.0	1.0	1~2월	49.5	-	10.8
							4~5월	17.7	17.7	14.1

1~2월 처리



4~5월 처리



1회처리

2회처리

3회처리

그림 3-11. 살균제 계절별 반복 처리 한 후 과실에서 생산단계 농약 잔류량.

상기 그림 [3-10, 11]은 살충제, 살균제 하나씩을 예로 겨울(1-2월) 과 봄(4-5월)에 처리한 후 사용적기를 10일 간격으로 추천하는 농약을 각각 1회, 10일 후 2회, 또 10일후 3회 처리하고 각각의 처리 후 1, 2, 3, 5, 7, 9, 12..일 후 생산단계 농약 잔류 분석과 같이 분석한 값이다. 그림 [3-10], [3-11]에서 보여 주는 것은 1) 겨울 철 살포한 시료에는 농약의 날짜별 감소 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 이는 농약의 종류에 따라 다르겠지만 앞에서 강조한 것과 같이 수확 전 농약의 잔류는 살포시 초기 부착 농도가 수일간 그대로 유지되어 고농도 살포시 안전성에 심대한 영향을 미친다는 사실이다. 2) 추천 살포 간격으로 하더라도 2회, 3회 연속해서 동일한 농약을 살포할 경우 MRL 농도를 초과 검출 될 수 있는 가능성이 있다는 것을 적시해 준다.

나. 병해충 방제를 위한 농약의 약효 연구

1. 주요 병원균에 대한 살균제의 약효 지속기간

살균제들의 작용기작은 그 그룹별로 각 작용점에서 화학적 반응이 동일(유사)하여 살균작용이 같고 이로 인해 대부분의 경우 저항성 기작도 공통적으로 적용되므로 같은 그룹의 농약을 연용하는 것은 저항성 균(충)을 출현시키는 지름길이므로 유의해야 한다.

또 한가지 명심해야 할 점은 작용기작이 서로 다른 농약을 잘 조합하면 1) 병해충 적용 범위도 넓힐 수 있고, 2) 저항성 병해충 출현을 억제 또는 지연 시킬 수 있고, 3) 경우에 따라서는 서로 작용기작이 다른 농약의 합제의 경우 단제보다 농약의 주성분 함량이 적으면서 약효 지속 기간이 거의 같거나 우수하면서도 잔류에 대한 우려도 현저히 줄일 수 있으므로 잘 활용하면 아주 만족할 만한 결과를 얻을 수 있다. 단 유의할 점은 적용 병해충의 우려가 없는(복합 감염/2종이상 충 발생이 없는) 경우에는 시설 내에 불필요한 합제 살포는 할 필요가 없다.

아래 실험 결과는 그중 하나의 예로 합제를 사용 했을 경우 적용 범위도 넓히고, 약효 지속 기간도 양호하고, 잎에서 주성분 잔류량의 변화를 보여 주는 것으로 높은 농도의 단제를 사용하는 경우 보다 잔류 우려도 낮은 것을 시사한다. 단 필요 하지 않는 경우 굳이 혼합제를 사용 할 필요는 없다. 아래 사진은 잣빛곰팡이(*B. cinerea*), 푸사리움(*F. oxysporum*), 탄저병(*C. gloeosporioides*) 균을 각각 살균제 처리한 잎이나 처리 하지 않은 잎에 접종하여 3-5일 후 병 감염 정도를 보여 준다[그림 3-12].

농약 약효 지속효과 시험


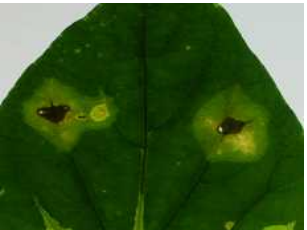



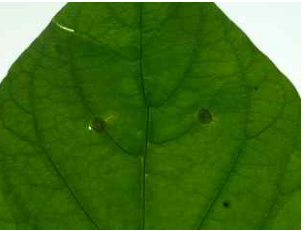
	<i>Botrytis cinerea</i>	<i>Fusarium oxysporum</i> ,	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>
무처리			
약제처리			

그림 3-12. 잣빛곰팡이(B.c), 푸사리움(F.o), 탄저병(C.g) 접종 후 병 감염사진.

아래 [표 3-10]는 그 결과를 보여 주는 것으로 보호용 살균제 chlorothalonil 과 호흡을 저해하는 스트로빌루린계 침투성 살균제 kresoxim-methyl 단제 와 합제, 또 잣빛곰팡이 균에 적용하는 침투성 살균제 boscalid 와 스트로 빌루린계 침투성 살균제 pyraclostrobin 단제 와

합제의 약효 지속 기간과 적용 범위를 보여 주고 있다.

표 3-10. 살균제 단제와 합제 처리후 약효 및 그 지속 기간

	병원균	1일	3일	5일	7일	10일	12일	15일	18일	21일
control	B.c	2	5	2	3	3	3	4	3	5
	C.g	2	4	5	4	4	4	4	5	5
	F.o	1	5	5	5	4	4	2	4	3
	P.c	5	5	3	4	5	5	5	5	6
Chlorothalonil (75%, WP)	B.c	0	0	0	0	0	0	0	1	2
	C.g	0	0	4	0	0	0	0	2	4
	F.o	0	0	0	0	0	0	0	1	3
	P.c	4	4	4	3	4	4	4	3	6
Kresoxim-methyl (47%, WG)	B.c	0	0	0	0	0	0	0	1	2
	C.g	0	0	4	0	0	0	0	3	4
	F.o	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	P.c	5	3	2	4	4	4	5	4	6
Chlorothalonil (35%, SC) + Kresoxim-methyl (7%, SC)	B.c	0	0	0	0	0	0	0	2	5
	C.g	0	0	3	0	0	0	0	2	3
	F.o	0	0	0	0	0	0	0	1	3
	P.c	4	4	4	4	5	4	4	4	6
Boscalid (47%, WG)	B.c	0	0	0	0	0	1	3	2	4
	C.g	0	2	4	2	1	2	3	3	5
	F.o	0	0	0	0	0	0	1	2	3
	P.c	5	4	5	5	5	4	5	4	6
Pyraclostrobin (18.8%, WG)	B.c	0	0	0	0	0	0	1	2	5
	C.g	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	F.o	0	2	0	0	0	1	2	3	5
	P.c	0	4	0	4	4	4	5	3	6
Boscalid (13.6%, WG) + Pyraclostrobin (6.8%, WG)	B.c	0	0	0	0	0	0	1	3	5
	C.g	0	0	0	0	0	2	1	5	5
	F.o	0	0	0	0	0	5	1	2	4
	P.c	3	5	3	5	4	4	5	3	6

병들지 않음 : 0, 0.5cm미만 : 1, 0.5~1cm : 2, 1~1.5cm : 3, 1.5~2cm : 4, 2~2.5cm : 5, 2.5cm 이상 : 6

WP : Wettable Powder, 수화제

WG : Wettable Granule, 입상수화제

SC : Suspension Concentrate, 액상수화제

F.o : *Fusarium oxysporum*, 시들음병

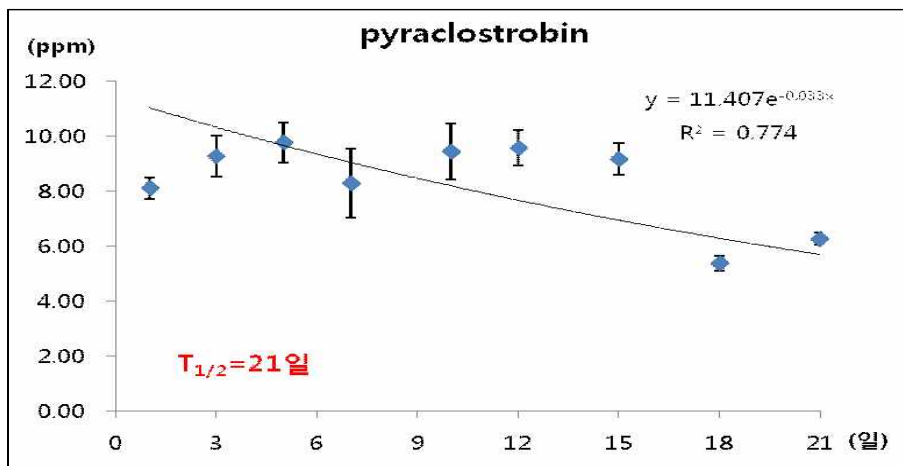
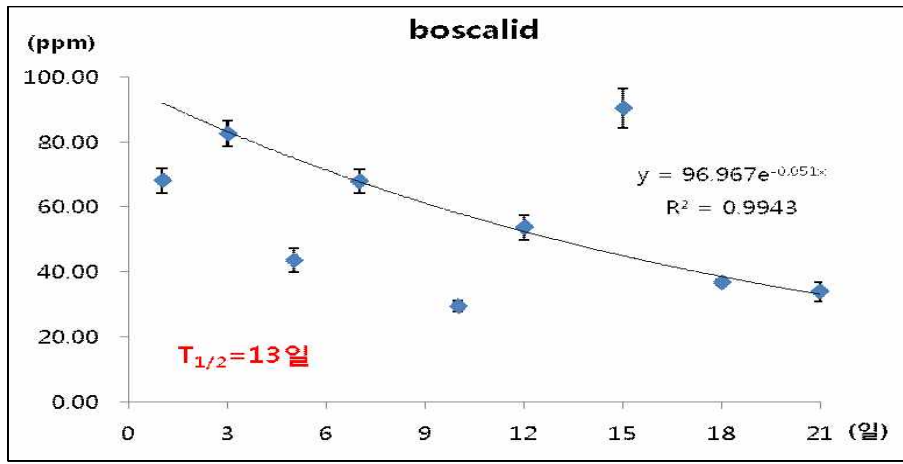
P.c : *phytophthora capsici*, 역병

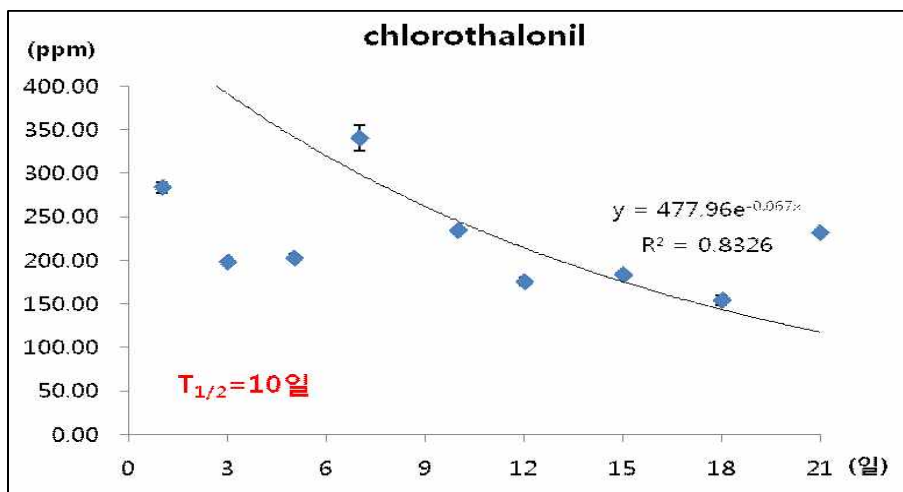
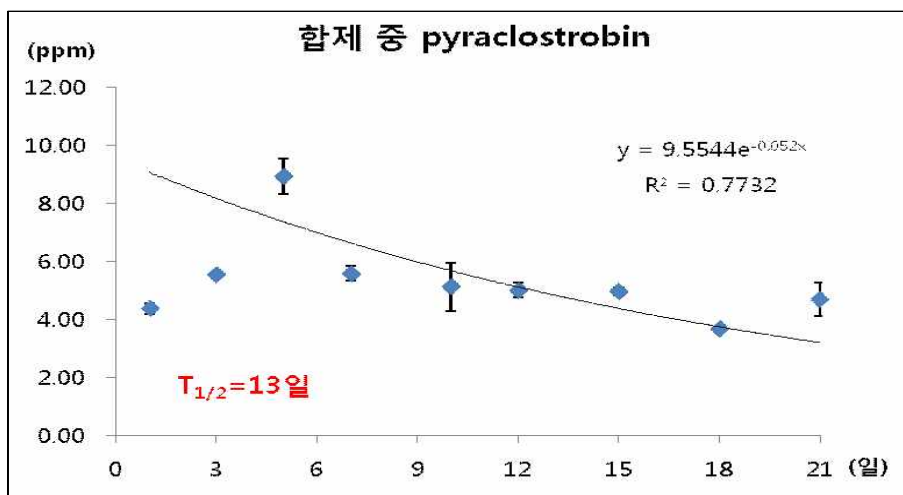
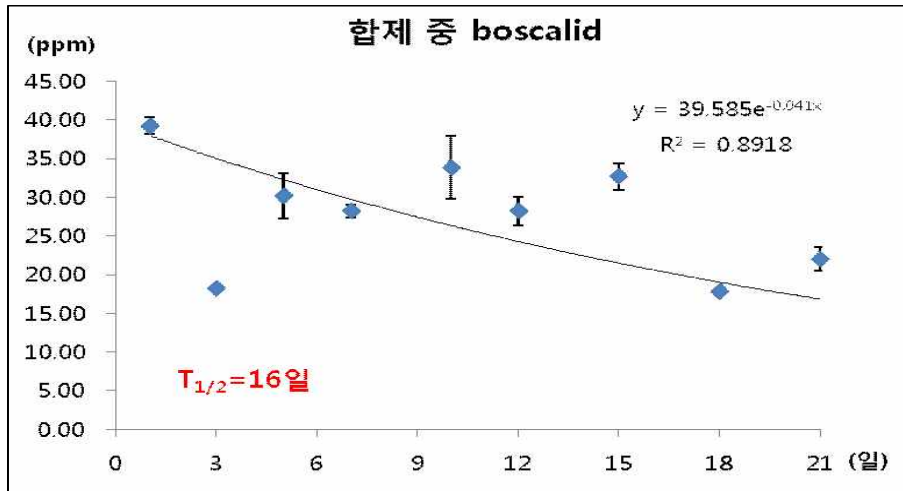
B.c : *Botrytis cinerea*, 잿빛곰팡이병

C.g : *Colletotrichum gloeosporioides*, 탄저병

두 조합 공히 합제의 주성분 함량이 단제의 그것보다 아주 낮으면서도 약효 지속 기간(약 2 주)은 거의 동등하며 boscalid 는 잣빛 곰팡이 병 전문 농약이므로 탄저병에는 약하다. 따라서 잣빛 곰팡이와 탄저병 발생이 우려 되는 곳에는 각각의 단제를 혼용 또는 연용하는 것보다 합제를 사용하는 것이 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

아래 [그림 3-13]은 각각의 살균제 단제와 합제 처리 후 파프리카 잎에서 살균제의 잔류량 감소 패턴을 보여 주고 있다. boscalid를 예로 들면 단제의 경우 초기 잎에잔류하는 농도는 80 ppm으로 반감기가 약 13일 이며 처리 21일 후에는 약 25 ppm정도 유지되었고 합제의 경우 초기 40ppm에서 3주후 15 ppm 수준으로 감소하였다.





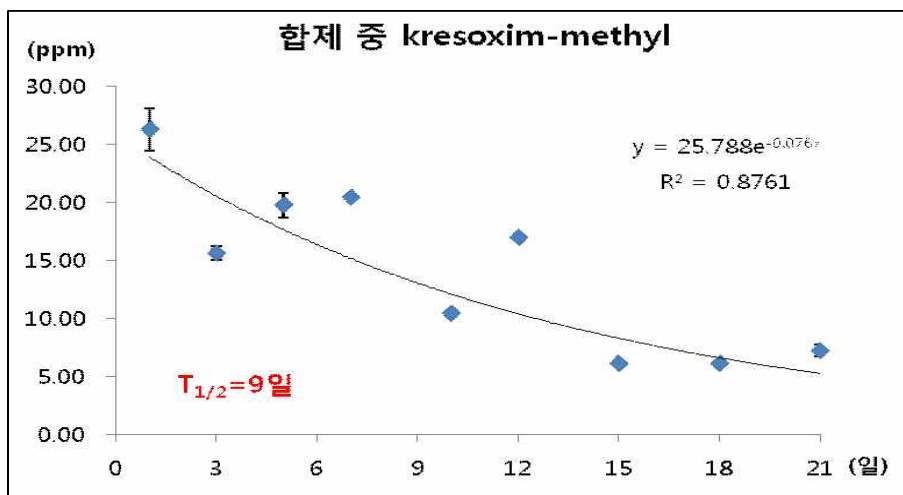
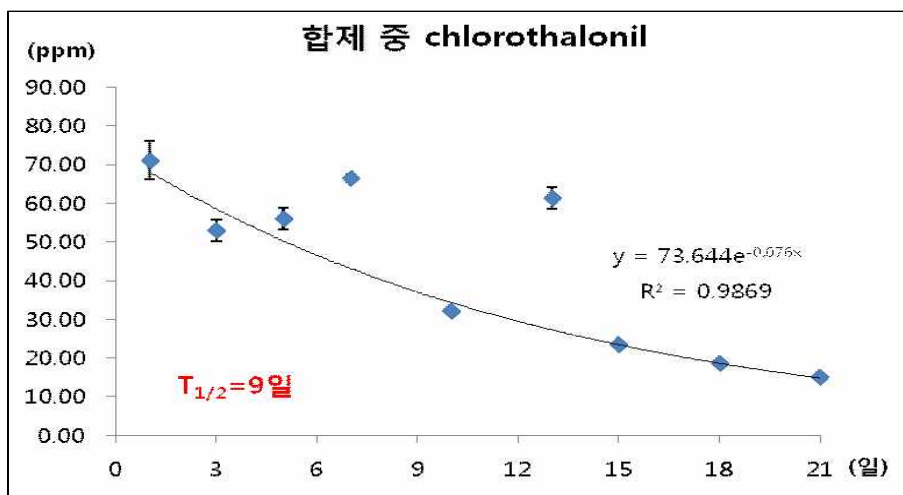
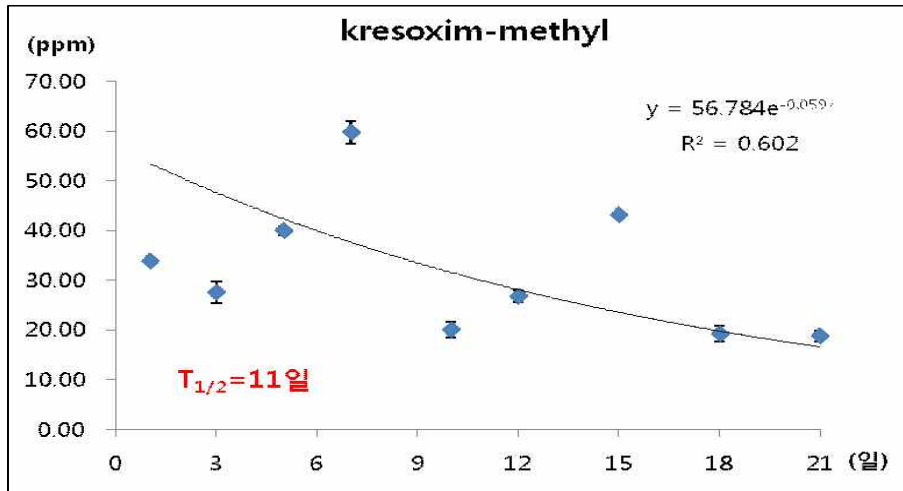


그림 3-13. 살균제 단제, 합제 처리 후 기간별 잎에 잔류하는 살균제 농도

2. 근부 캡슐처리를 통한 초기 해충방제 연구

담배가루이는 유묘를 큐브에 착상하는 단계에서 이미다클로프리드 나 치아메톡삼 등 네오니코티노이드 살충제 입제를 약 1g 을 캡슐에 담아 뿌리 부위에 넣어주는 근부처리가 매우 효과적이다. 입제를 아래 그림[그림 3-14]과 같이 캡슐에 담아서 큐브에 유묘를 이식할 때 구멍에 넣고 절곡하여 이식하면 입제에서 약제가 서서히 녹아서 뿌리를 통해 작물체 전체로 침투이행되어 약효가 50-60일 정도 오래 지속된다.



그림 3-14. 근부캡슐처리의 방법

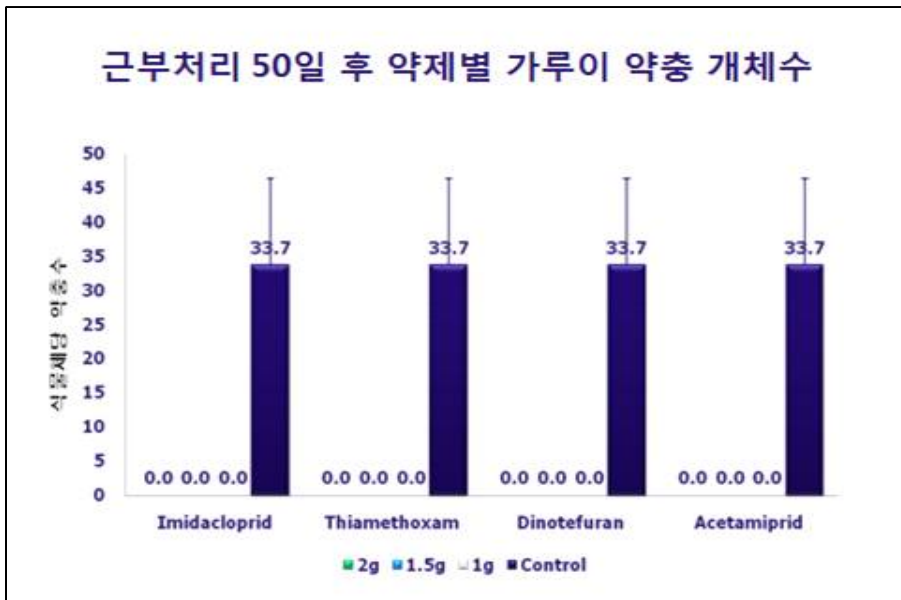


그림 3-15. 약제별 근부캡슐처리 방법과 양에 따른 담배가루이 방제효과
(처리 50일후에도 100% 방제해 주고 있다)

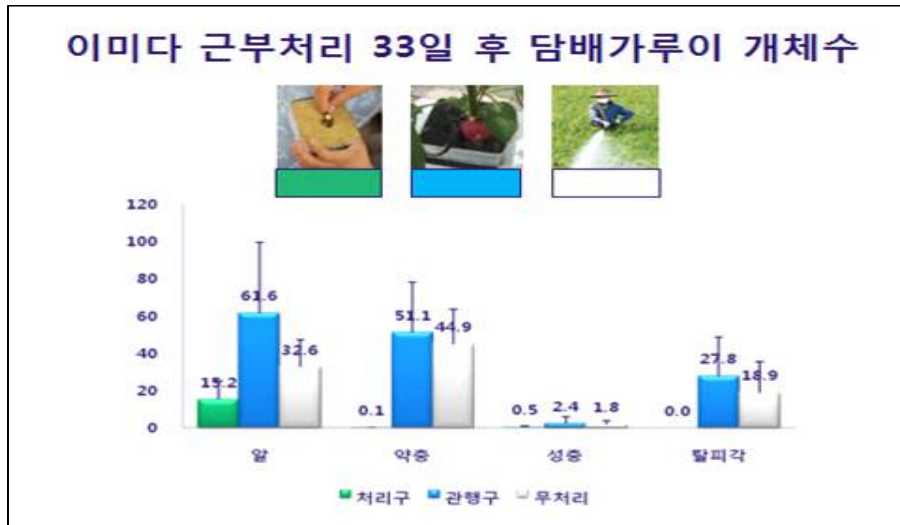


그림 3-16. 이미다클로프로리드 캡슐 처리 후 담배가루이 개체수
(약제처리 33일 후 담배가루이의 약층 수가 관행구에서는 51.1마리,
무처리에서는 44.9마리였다. 반면에 이미다클로프로리드 처리구의
약층 수는 0.1마리로 관행구나 무처리구에 비해 밀도가 낮았다)

담배가루이와 마찬가지로 유묘를 큐브에 착상하는 단계에서 “이미다클로프로리드” “치아메톡삼” 등 네오니코티노이드 살충제 입제를 약 1-2g 정도 캡슐에 담아 뿌리 부위에 넣어주는 근부처리가 매우 효과적이다. [그림 3-16, 17, 18]에서 보여 주는바와 같이 단기적인 방제는 물론 처리 후 50 일까지 아주 좋은 방제 지속 효과도 확인할 수 있다. 이러한 침투성 살충제의 근부 큐브처리 방법은 담배가루이, 총채벌레, 진딧물 등 흡즙성 해충을 동시에 예방하는데 탁월한 효과를 보인다.

진딧물을 방제하기 위해 농약을 살포하면 천적을 기반으로 하는 방제체계 전체가 무너지게 되는데 근부 큐브처리하면 1-2일 이내에 진딧물이 사멸되고 작물이 회복된다. 이 경우 **천적과 동시에 사용이 가능하다**. [그림 3-19]의 시험 결과는 이미다클로프로리드와 치아메톡삼 입제 캡슐제를 처리하면 여러 살충제에 아주 약한 천적인 담배 장님노린재에까지도 거의 독성을 찾아 볼 수 없지만 반면 경엽 처리할 때는 동일 살충제에 의해 이 천적은 큰 피해를 본다.



그림 3-17. 큐브 약제처리 50일 후 약제별 복숭아혹진딧물의 개체수.

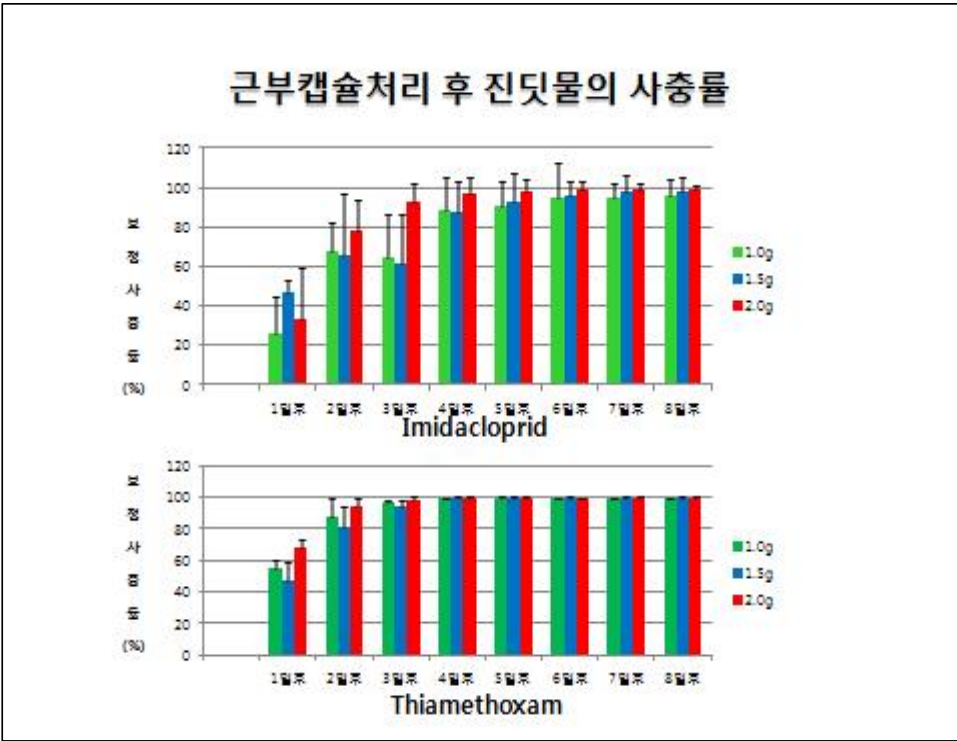


그림 3-18. 근부처리 후 일자별 약제별 복숭아혹진딧물의 방제효과.

성체식물의 근부캡슐처리 후 진딧물의 방제 모습



그림 3-19. 진딧물이 발생한 식물체에 근부처리 3일 후 진딧물 방제.

약제 처리 3일 후 담배장님노린재의 생충률

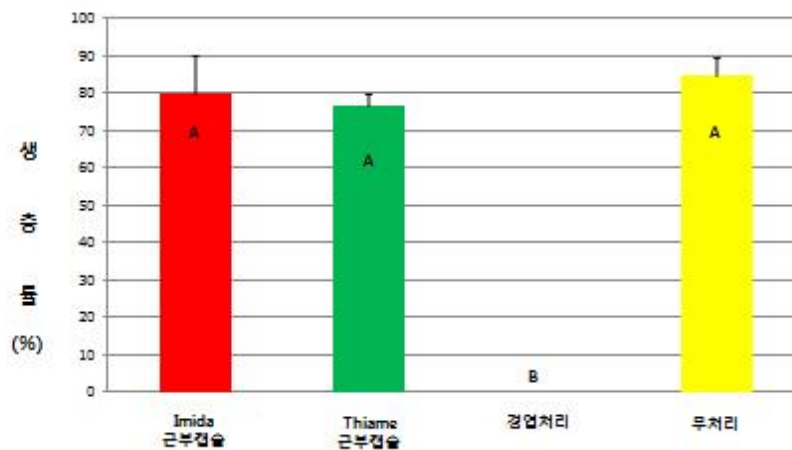


그림 3-20. 근부캡슐처리가 천적인 담배장님노린재에 미치는 영향.

3. 흰가루병 방제를 위한 개선된 난황유 사용법 개발

식용 기름과 난황을 잘 섞어 흰가루병의 예방 및 치료 목적으로 친환경 방제제로 사용해 오고 있다. 그러나 농민들의 사용이 보편화 되지 못하고 제조방법의 재현성이 다소 일정하지 않다는 점에 착안하여 본 연구단에서는 보완을 해 보았고 또 난황유에 흰가루와 응애에 효과있는 유황을 추가해 제조함으로써 효과도 높이고 치료 지속 기간을 늘리는 효과를 거두었다.

탄소수가 20여개 넘는 기름은 살충제 효능뿐만 아니라 최근에는 작물에 뿌리면 일종의 코팅 작용으로 병 발생을 줄인다는 보고가 있다. 우리 주변에 가용한 식용유에 계란 난황 중에 포함된 레시틴 같은 계면활성 작용을 이용해서 아주 가는 유탁액으로 제조하면 난황유는 물에 500배-1000배로 희석해도 아래 현미경 사진에서 보는 것처럼 작은 콜로이드 입자처럼 고르게 물에 분포되면서 그 효과를 높일 수 있다.

제조법: 난황 한 개 + 식용유 100 + 물 50-100 ml 비율(살포하려는 전체 용량으로 적용)로 섞어서 믹스기에 아주 세게 2 분 정도 혼합해 본다[그림 3-21, 22].

점검법: 성공 여부는 젓가락으로 섞은 용액을 묻혀서 한 방울을 물에 떨어뜨렸을 때 순식간에 고르게 퍼지면 잘 제조된 것이요, 그렇지 않으면 다시 혼합 시간을 늘려서 다시 체크해 본다. 아래 현미경 사진처럼 식용유 입자 크기가 작고 고르게 분포되어야 살포 후 효과도 좋고 시설 내 비린내도 나지 않는다[그림 1-3-23].

단 사용 후 방제기기에 기름성분이 남아 있어 차후 사용 시 불편을 줄 수 있으므로 살포 후 반드시 비눗물로 깨끗이 씻어주는 것이 좋다.

난황유 제조 방법



그림 3-21. 난황유 제조 방법

우수한 난황유의 제조 사진



그림 3-22. 난황유 제조시 물 첨가량에 따른 점성변화.

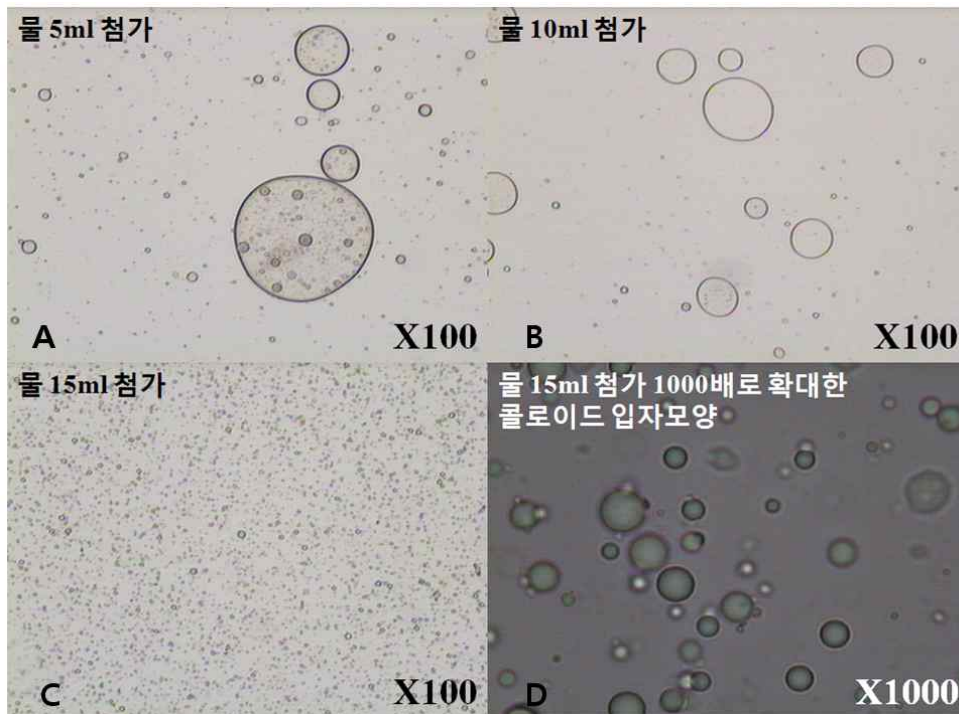


그림 3-23. 난황유 제조 시 물 첨가량에 따른 유화정도.
 (그림 C처럼 기름의 입자가 작고 고르게 분산될수록 우수한 난황유임).

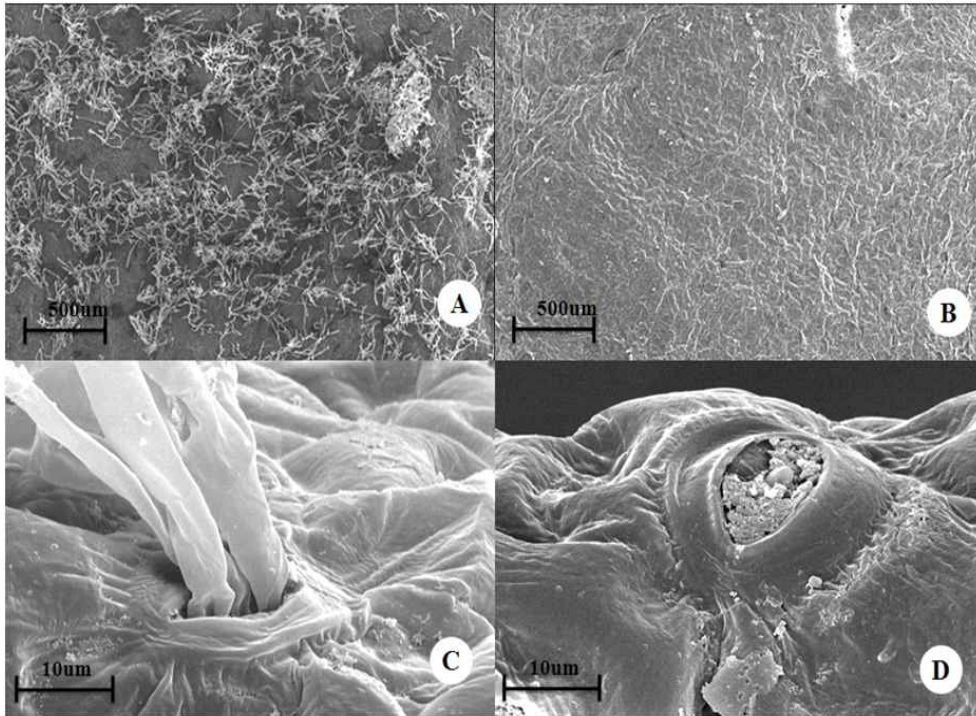


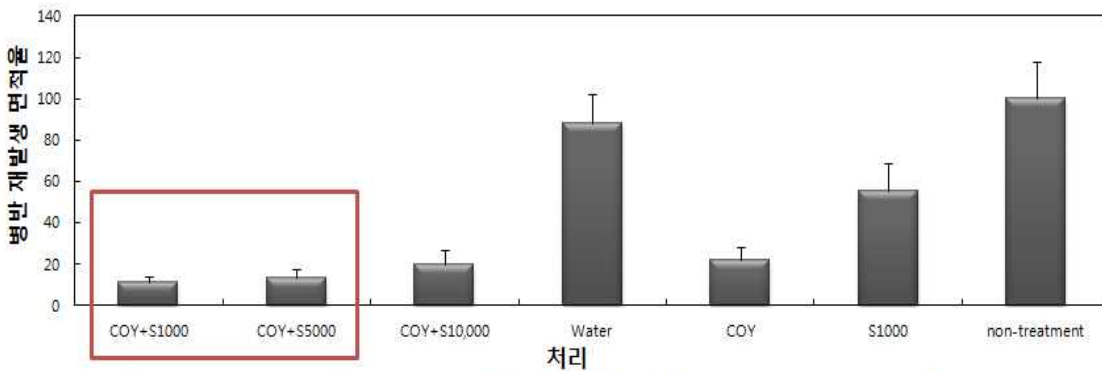
그림 3-24. 난황유의 흰가루병 제거효과 주사현미경 사진.



그림 3-25. .난황유, 난황유+유황 수화제 혼합제의 흰가루병 방제효과.

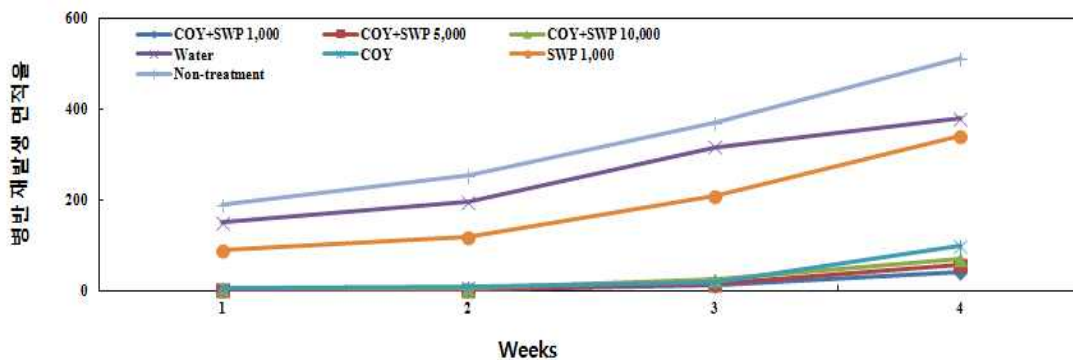


그림 3-26. 난황유+ 유황수화제(5000배 처리) 혼합 처리 후 잎 표면 관찰(1주 간격 2회 처리).



난황유 및 난황유 유황수화제 혼합제 처리 2주 후 흰가루병반 재발생 면적율. COY, 난황유; S, 유황수화제

그림 3-27. 난황유+유황수화제 혼합제 1회 처리 2주후 방제 효과.



난황유 및 난황유 유황수화제 혼합제 1주간격 2회처리 후 흰가루병반 재발생 면적율. COY, 난황유; S, 유황수화제

그림 3-28. 난황유+유황수화제 혼합제 1주간격 2회 처리 후 효과.

상기 그림[3-24, 25, 26] 과 그래프[그림 3-27, 28]에서 보는바와 같이 난황유에 유황 수화제를 최종적으로 1,000배 또는 5,000배 희석하는 농도로 혼합해 살포하면 난황유 단독 또는 수화제 단독 처리 보다 방제 효과도 탁월하고 병의 재 발생율도 4 주까지도 현저히 줄여주는 결과를 볼 수 있다.

다. 천적에 안전한 농약 선발

1. 농약과 병행 사용이 가능한 천적에 안전한 살충제 선발

진딧물, 총채 벌레, 가루이류, 응애에 사용하는 8종의 천적에 대해 급성 독성과 처리 후 7일째 천적을 죽이는 잔효독성의 보정 사충률이 각각 25% 이하인 농약을 현행 국내에 등록된 살충, 살균제를 망라하여 시험해 보았다.

그 결과는 천적인 진디혹파리[표 3-1], 콜레마니진디벌[표 3-2], 황온좀벌[표 3-3], 온실가루이좀벌[표 3-4], 사막이리응애[표 3-5], 칠레이리응애[표 3-6], 오이이리응애[표3-7], 유럽애꽃노린재[표 3-8]에 대한 안전한 살충제를 표시 하였다.

이는 1) 천적이 정착하기 전 해충의 밀도를 줄이거나 또는 2) 해충의 대발생이 일어나 천적으로 안정된 해충의 밀도를 유지하기 힘들 때 우선 천적에 안전한 농약으로 그 밀도를 줄이고 천적 정착과 안정화에 크게 도움을 받을 수 있는 실험적 결과이다.

표 3-10. 진디혹파리에 대한 살충제 안전성.


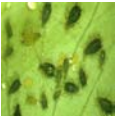




천적	적용해충	천적에 안전한 농약(급성독성) 보정사충률 25% 이하	잔효독성 (7일) 보정사충률 25% 이하
진디 혹파리 	진딧물 	indoxacarb(10)WP lufenuron(5.0)EC chlorfluazuron(5)EC acetamiprid(8)WP indoxacarb·teflubenzuron(1+2)WP propamocarb+hydrochloride(66.5)S L acetamiprid,etofenprox(2.5+8.0)W P pymetrozine(25)WP acetamiprid(5)SL methoxyfenozide(21)SC	alpha-cypermethrin(2)EC thiodicarb(40)WP esfenvalerate+fenitrothion(1.25+15)EC fluacrypyrim+tetradifon(20+16)SC diazinon+ethofenprox(25+8)WP deltamethrin(1)EC spinosad(10)SC chlorfenapyr+clothianidin(2.5+3)EC chlorfluazuron(5)EC ethofenprox+indoxacarb(10+1.5)WP methomyl(45)WP flufenoxuron+indoxacarb(2+2.5)WP methomyl(24.1)SL deltamethrin(2.7)EW



표 3-11. 콜레마니진디벌에 대한 살충제 안전성.

천적	적용해충	천적에 안전한 농약(급성독성) 보정사충률 25% 이하	잔효독성 (7일) 보정사충률 25% 이하
콜레마니 진디벌 	진딧물 		deltamethrin lufenuron pyriproxyfen spiroadiclofen bistrifluron pyridalyl etoxaole fenvalerate imidacloprid methoxyfenozide

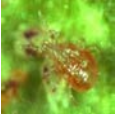

3-12. 황온좀벌에 대한 살충제 안전성.

천적	적용해충	천적에 안전한 농약(급성독성) 보정사충률 25% 이하	잔효독성 (7일) 보정사충률 25% 이하
황온 좀벌 	온실가루이 담배가루이 	fluacrypyrim+tetradifon(20+16)SC pyridalyl(10)EW methoxyfenozide(21)SC indoxacarb+teflubenzuron(1+2)WP novaluron(10)SC fenvalerate(5)EC	lambda-cyhalothrin (1)EC deltamethrin+profenofos(0.6+15)EC chlorfenapyr(5)EC lufenuron(5.0)EC bifenthrin(8)WG indoxacarb(5)SC gamma-cyhalothrin(1.4%)CS

3-13. 온실가루이좀벌에 대한 살충제 안전성.

천적	적용해충	천적에 안전한 농약(급성독성) 보정사충률 25% 이하	잔효독성 (7일) 보정사충률 25% 이하
온실 가루이좀벌 	온실 가루이 	oxychloride(5.75+45)WP methoxyfenozide(21)SC spiromesifen(20)SC pyridalyl(10)EW fluacrypyrim+tetradifon(20+16)SC lufenuron(5.0)EC milbemectin(1)EC novaluron(10)SC	carbosulfan+imidacloprid(10.0+2.5)WP clothianidin(8)SG pyridalyl(10)EW bifenthrin(8)WG methoxyfenozide(21)SC lufenuron(5.0)EC chlorfluazuron(5)EC bifenthrin+chlorpyrifos(1.2+15)WP milbemectin(1)EC fluacrypyrim+tetradifon(20+16)SC chlorfenapyr+bifenthrin(2+1)WP gamma-cyhalothrin(1.4%)CS emamectinbenzoate(2.15)EC fenvalerate(5)EC indoxacarb(5)SC

3-14. 사막이리응애에 대한 살충제 안전성.

천적	적용해충	천적에 안전한 농약(급성독성) 보정사충률 25% 이하	잔효독성 (7일) 보정사충률 25% 이하
<p>사막이리 응애</p> 	<p>응애</p> 	<p>flonicamid(10)WG acetamiprid(5)SL clothianidin(8)SG diflubenzuron(25)WP novaluron(10)SC indoxacarb(5)SC</p>	<p>flonicamid(10)WG tebufenpyrad(10)EC indoxacarb(5)SC novaluron(10)SC thiodicarb(40)WP clothianidin(8)SG acetamiprid(5)SL spinosad(10)WG pyriproxyfen(10)EC methoxyfenozide(21)SC gamma-cyhalothrin(1.4%)CS diflubenzuron(25)WP benfuracarb(30)WG</p>

3-15.. 칠레이리응애에 대한 살충제 안전성.





천적	적용해충	천적에 안전한 농약(급성독성 보정사충률 25% 이하	잔효독성 (7일) 보정사충률 25% 이하
<p>칠레이리 응애</p> 	<p>응애</p> 	<p>pymetrozine(25)WP imidacloprid+methoxyfenozide(4+8)W P acrinathrin+spiromesifen(6+30)SC metaflumizone(20)SC acnathrin(5.7)SC spirodiclofen(36)WP hexythiazox WP flufenoxuron(5)SL lambda-cyhalothrin+lufenuron(1+4)S C thiamethoxam(10)WG bifenthrin(8)WG pyriproxyfen(10)EC beta cyfluthrin EC flufenoxuron·indoxacarb(2+2.5)W P clothianidin(8)SG flonicamid(10)WG clothianidin+pyridalyl(8+16)SC bifenthrin+Imidaoloprid(2+8)WP flubendiamide(20)SC chlorfenapyr+fluacrypyrim(4+18)S C indoxacarb(5)SC</p>	<p>spirodiclofen(36)WP metaflumizone(20)SC pymetrozine(25)WP flufenoxuron(5)SL fluquinconazole+flusilazole(7+1.5)SC acnathrin(5.7)SC bifenthrin(8)WG thiamethoxam(10)WG spinosad(10)SC hexythiazox WP etoxazole(10)SC acrinathrin+spiromesifen(6+30)SC imidacloprid+methoxyfenozide(4+8)WP chlorfluazuron(5)EC clothianidin+pyridalyl 8+16SC clothianidin(8)SG pyriproxyfen(10)EC flonicamid(10)WG bifenthrin+Imidaoloprid(2+8)WP lambda-cyhalothrin(6.7)SG alpha-cypemethrin(13.8)WG imidacioprid(10)WP flufenoxuron+indoxacarb(2+2.5)WP lambda-cyhalothrin+lufenuron(1+4)SC beta cyfluthrin EC spiromesifen(20)SC flubendiamide(20)SC fenvalerate(5)EC thiacloprid(10)SC esfenvalerate(1.5)EC lambda-cyhalothrin(1)EC lufenuron(5.0)EC chlorfenapyr·fluacrypyrim(4+18)SC milbemectin(1)EC dinotefuran(20)WG pyridalyl(10)EW etofenprox+methoxyfenozide(8+32)WP indoxacarb(5)SC</p>

표 3-16. 오이이리응애에 대한 살충제 안전성.

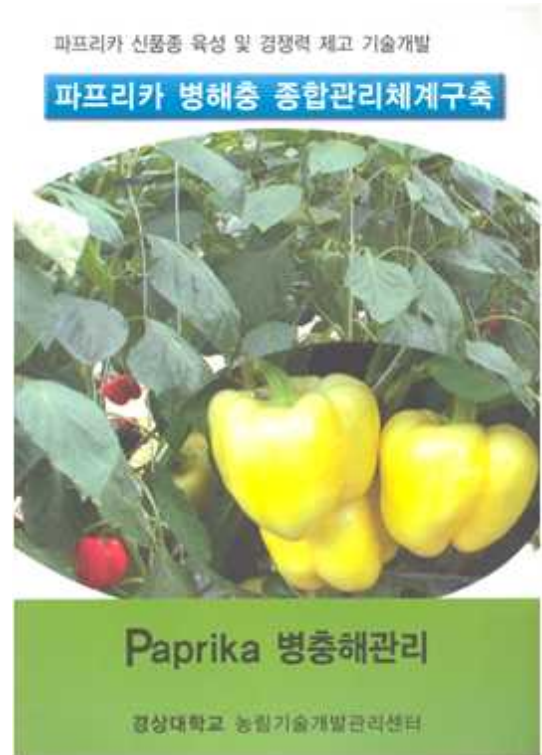
천적	적용해충	천적에 안전한 농약(급성독성 보정사충률 25% 이하)	잔효독성 (7일) 보정사충률 25% 이하
<p>오이이리 응애</p> 	<p>총채벌레</p> 	<p>pyridaben(20)WP acetamiprid(5)SL pyridalyl(10)EW flonicamid(10)WG dinotefuran(20)WG imidacloprid+methoxyfenozide(4+8)WP P fenvalerate(5)EC acetamiprid(8)WP chlorfenapyr·bifenthrin(2+1)WP flufenoxuron(5)DC pymetrozine(25)WP dinotefuran(10)WP</p>	<p>dinotefuran(20)WG dinotefuran(10)WP imidacloprid·methoxyfenozide(4+8)WP flonicamid(10)WG chlorfluazuron(5)EC etoxazole(10)WP chlorfenapyr(10)SC pymetrozine(25)WP indoxacarb+teflubenzuron(1+2)WP pyraclofos(35)WP pyridalyl(10)EW lamda-cyhalothrin(1)WP chlorfenapyr+fluacrypyrim(4+18)SC acetamiprid(8)WP methoxyfenozide(21)SC pyridaben(20)WP bifenthrin+imidacloprid(2+8)WP emamectinbenzoate(2.15)EC milbemectin(1)EC methoxyfenozide(4)WP esfenvalerate(1.5)EC indoxacarb(10)WP novaluron(10)SC bifenthrin(8)WG clothianidin(8)SC spinosad(10)SC methomyl(45)WP chlorpyrifos+bifenthrin(15+1.2)WP methomyl(24.1)SL diflubenzuron(25)WP clothianidin(8)SG chlorfenapyr·bifenthrin(2+1)WP bifenthrin·indoxacarb(1+2.5)WP acetamiprid(5)SL clothianidin(8)WP alpha-cypermethrin(2)EC clothianidin+chlorfenapyr(3+2.5)EC chlorpyrifos+alpha-cypermethrin(10+1)EC spinosad(10)WG flufenoxuron(5)DC fenvalerate(5)EC</p>

3-17. 유럽애꽃노린재에 대한 살충제 안전성.

천적	적용해충	천적에 안전한 농약(급성독성) 보정사충률 25% 이하	잔효독성 (7일) 보정사충률 25% 이하
<p>유럽애꽃 노린재 (미끌애 노린재)</p> 	<p>총채벌레</p> 	<p>milbemectin(1)EC flonicamid(10)WG flufenoxuron(5)DC tebufenpyrad(10)EC diflubenzuron lufenuron(5.0)EC pyridalyl(10)EW deltamethrin (1)EC</p>	<p>flonicamid(10)WG pyridalyl(10)EW deltamethrin(1)EC methoxyfenozide(4)WP chlorpyrifos(25)WP methoxyfenozide(21)SC flufenoxuron(5)DC tebufenpyrad(10)EC diflubenzuron fluacrypyrim·tetradifon(20+16)SC novaluron(10)SC lufenuron(5.0)EC imidacloprid·methoxyfenozide(4+8)WP diflubenzuron(25)WP bistrifluron(10)EC thiodicarb(40)WP chlorfluazuron(5)EC ethofenprox indoxacarb chlorantraniliprole(5) WG deltamethrin(2.7)EW pyriproxyfen etofenprox etoxazole(10)WP chlorantraniliprole+thiamethoxam(8+16.5)S C spirodiclofen(36) diflubenzuron-indoxacarb(7),(3.5)WP chlorfenapyr(10)SC indoxacarb</p>

라. 농약안전사용 교육 및 홍보

1. 농약안전사용 교육 및 책자 제작/보급을 통한 안전한 농약사용과 병해충 방제의 중요성 교육



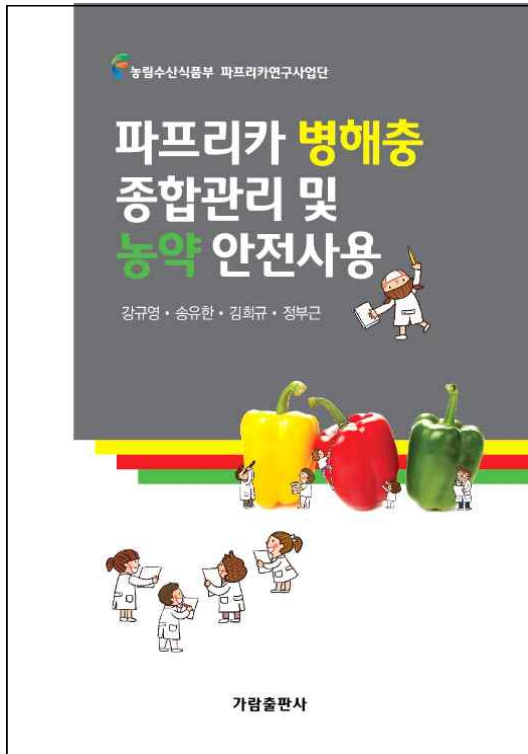


그림 3-29. 본 연구과제를 통해 제작/배포한 책자.

제 3-2절 파프리카 작물의 천적 (생물적)방제 프로그램 개발 및 천적에 사용 가능한 선택적 농약선발 안전사용 설정

가. 생육단계별 천적 방사기기 규명

1. 가루이류(온실가루이, 담배가루이) 천적의 방사기기 규명

1) 재료 및 방법

가. 시험농장 개요

시험장소 및 면적: 경상남도 함안군 가야읍 묘사리 275-1, 비닐온실 5,900m²

재배작물: 겨울작형 파프리카(스페살 품종)

재배기간: 2007년 8월말 정식 후 2008년 7월 5일까지 재배

온실환경: 평균온도 20.6±1.0℃, 평균 상대습도 RH 75.5±3.1%

나. 가루이류 밀도조사 및 천적 밀도조사 방법

온실 내 구역설정: 16개 임의 구역설정 후 8개 구역내의 240주 조사

작물체 조사위치 설정: 상, 중, 하위엽으로 나누어 각 1잎을 조사.

- 상위엽: 작물체 최상단에서 아래로 40cm

- 중위엽: 마지막 상위엽에서 아래로 50cm

- 하위엽: 마지막 중위엽에서 아래로 50cm

조사간격: 주 1회

* 조사기간 중 담배가루이(*Bemisia tabaci*)만 발생됨.

가루이류 밀도조사: 약충은 현장 육안조사 실시

알은 상,중,하위엽을 샘플채취 후 현미경조사 실시

천적 밀도조사: 지중해이리응애(*Amblyseius swirskii*)의 약충 및 성충수는 육안조사 실시

황온좀벌(*Eretmocerus eremicus*)의 기생 및 섭식율은 현미경조사 실시

다. 가루이류 천적 방사

천적방사 전 농약사용: 나방류 및 진딧물류 방제를 위해 총 7회에 걸쳐 살충제 살포
(2007년 8월 27일부터 2007년 10월 2일까지)

지중해이리응애 : (주)세실의 지중해이리응애(S) 또는 지중해이리응애(C)

황온좀벌 : (주)세실의 황온좀벌(카드) 또는 황온좀벌(카톤)



◀지중해이리응애(S)
5×6cm, 250마리/봉지



◀지중해이리응애(C)
5×6×1.5cm, 500마리/카톤



◀황온좀벌(카드)
4×6cm, 60마리/카드



◀황온좀벌(카톤)
5×6×1.5cm, 10,000마리/카톤

그림 3-30. 시험에 사용된 천적 제품 종류

라. 온·습도측정

작물체 사이에 7개의 Data Logger(Onset computer crop. HOBO[®]. Model:H08-003-02)를 설치하여 1시간 간격으로 온·습도 자동기록 후 분석

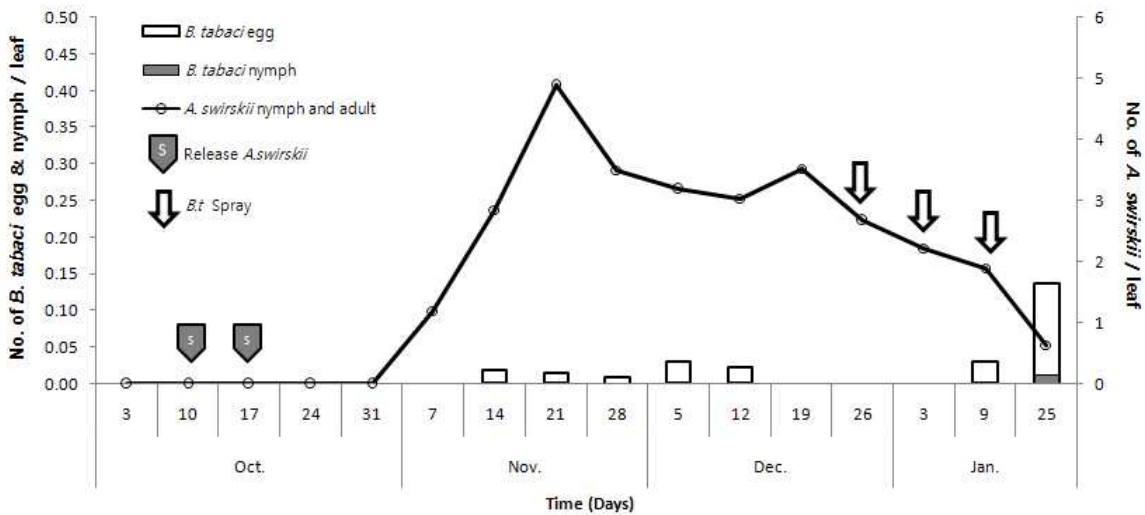


그림 3-31. 예방적 수준에서 지중해이리응애 정착에 의한 담배가루이의 알과 약충의 밀도 변화.

* 10월 12일 지중해이리응애 118마리/m² 방사, 10월 15일 지중해이리응애 444.9마리/m² 방사, B.t spray: *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* NT0423 1.0×10⁹cfu/g

2) 결과

가. 예방수준에서의 천적 방사

예방수준에서 지중해이리응애를 3~4마리/잎으로 미리 정착시킨 결과, 담배가루이 알 및 약충 밀도가 0.04마리/잎 수준이하로 억제되었다.

담배거세미나방(*Spodoptera litura*) 방제를 위해 12월 26일부터 3주간 5회 연속 미생물농약(*B. thuringiensis*) spray로 지중해이리응애가 물리적 영향을 받아 정착밀도가 0.6마리/잎까지 감소하였다. 동시에 담배가루이의 밀도도 상승하게 되었다.

나. 소발생 수준에서의 천적 방사

소발생된 담배가루이 밀도를 억제시키기 위해 지중해이리응애와 황온좁벌 2종을 방사한 결과는 그림 3-32, 33과 같다.

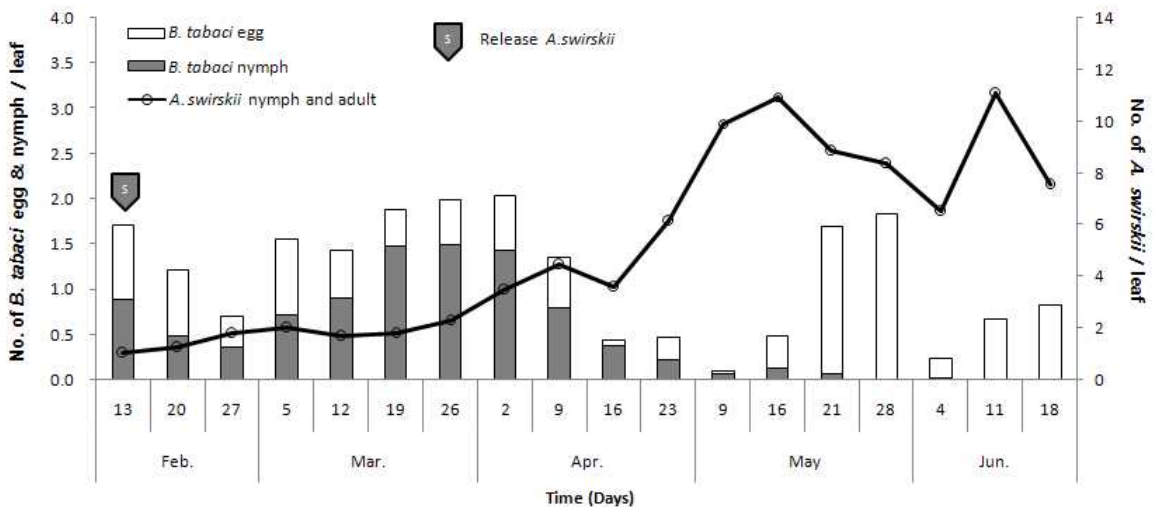


그림 3-32. 소발생 수준에서 지중해이리응애 정착에 의한 담배가루이의 알과 약충의 밀도변화.

* 2월 11일 지중해이리응애 211.9마리/㎡ 방사

지중해이리응애는 1.0마리/잎으로 시작하여 8주후 4.4마리/잎에 도달하였으며 최대 11.0마리/잎까지 증가하였다.

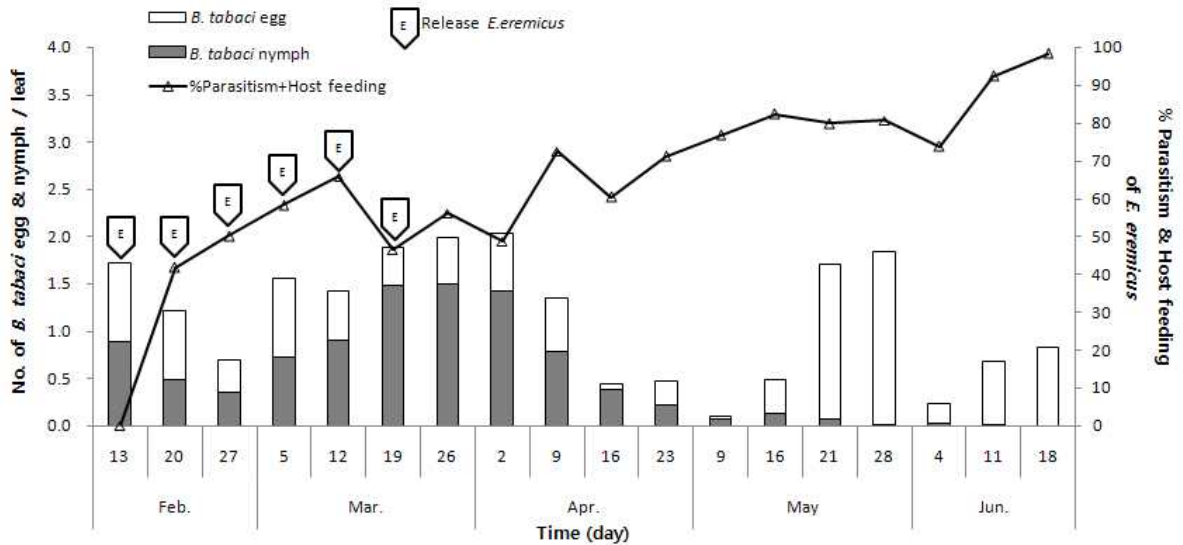


그림 3-33. 소발생 수준에서 황온좀벌 기생율 및 섭식율에 따른 담배가루이 약충밀도 변화.
 * 2월 13일부터 3월 24일까지 총 6회에 걸쳐 황온좀벌 267.7마리/㎡ 방사

황온좀벌은 방사시작 1주후부터 기생 및 섭식율이 관찰되기 시작하였고 최대 98.2%에 달하였다. 17주간 평균 68.0%로 조사되었다.

이상과 같은 수준으로 지중해이리응애와 황온좀벌을 정착시킨 결과 담배가루이 밀도를 0.3~0.6마리/잎 수준으로 감소시킬 수 있었다.

다. 중·대발생 수준에서의 천적 방사

담배가루이 대발생 수준에서 밀도를 억제시키기 위해 지중해이리응애와 황온좀벌 2종을 방사한 결과는 그림 5와 같다.

지중해이리응애는 2.3마리/잎으로 시작하여 6주후 최대 7.7마리/잎까지 증가하였다. 하지만 10마리/잎 수준 이상으로 증가하지 못하였는데 이는 담배가루이 약충의 감로로 인해 행동의 장애를 받았기 때문이다.

황온좀벌의 기생 및 섭식율은 최저 37.3%에서 최대 100.0%까지 조사되었다.

담배가루이 밀도의 빠른 감소를 위해 담배장님노린재 (*N. tenuis*)를 부분적 방사를 시행하였다.

이상과 같이 천적을 정착시킨 결과 담배가루이 밀도를 8.5마리/잎 수준으로 감소시킬 수 있었다.

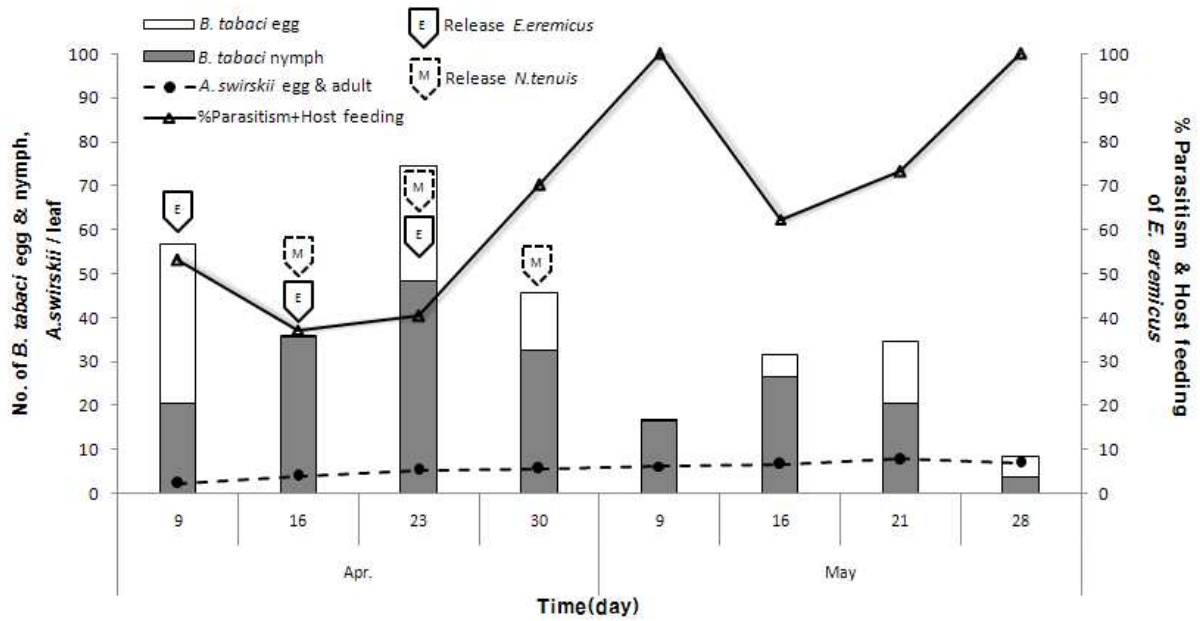


그림 3-34. 대발생 구역의 지중해이리응애와 장님노린재(*Nesidiocoris tenuis*)의 포식과 황온좀벌 기생율 및 섭식율에 따른 담배가루이 밀도변화.

※ 4월 10일부터 4월 21일까지 3회에 걸쳐 황온좀벌 총 237.2마리/㎡ 방사, 4월 18일부터 4월 28일까지 3회에 걸쳐 장님노린재 총 1.3마리/㎡ 방사

중·대발생의 경우 천적들에 의해 밀도가 감소하였으나 작물에 감로피해가 발생되었다. 따라서 작물에 피해를 줄이면서 방제하고자 할 때에는 농약과 병행해야할 것이다.



그림 3-35. 담배가루이 감로피해

3) 시험 결과요약

표 3-18. 가루이류 발생정도에 따른 천적방사 기준 설정

발생수준	가루이류 밀도 (마리/잎)	천적 정착정도	
		지중해이리응애 (마리/잎)	황온좀벌 (기생율+섭식율%/잎)
예방	<0.04	3~4	-
소발생	0.3~0.5	4~5	40~50
중·대발생	0.6<	5<	60<

천적을 이용한 담배가루이 방제시 관행 방제(화학적 방제)와는 다르게 낮은 수준으로 관리가 되어야 한다.

예방과 소발생 수준에서의 방제는 파프리카에 피해없이 방제가 가능하나 중·대발생 수준에서는 최종적으로 방제가 가능하나 담배가루이에 의한 감로피해도 동반되므로 화학적 방제와 병행되어야 할 것으로 생각된다.

나. 선발된 가루이 농약의 가루이류 천적에 대한 포장안전 사용법 규명

1) 재료 및 방법

가. 지중해이리응애 (*Amblyseius swirskii*) 에 대한 안전한 농약선발

대상작물: 고추 (Pot)

대상천적: 지중해이리응애 (*A. swirskii*),

시험농약: 시험 2.에서 선발된 천적에 안전한 농약 중 농가에서 가장 많이 사용하는 아세타미프리트수화제(제품명: 모스피란), 피메트로진수화제(제품명: 체스)을 선택

희석배수: 500배, 1,000배

시험장소: (주)세실 내 온실

평균 온·습도: 35℃, RH90%이상

조사방법: 완전임의배치법 3반복

주요 조사항목: 생충수

나. 황온좁벌 (*Eretmoceirus eremicus*) 에 대한 안전한 농약선발

대상작물: 담배

시험방법: 황온좁벌 (*E. eremicus*) 번데기가 부착된 담배잎을 2cm×2cm로 준비 후 페트리디쉬 내의 젖은솜 위에 올려놓은 뒤 관찰

대상천적: 황온좁벌 (*E. eremicus*),

시험농약: 시험 2.에서 선발된 천적에 안전한 농약 중 농가에서 가장 많이 사용하는 아세타미프리트수화제(제품명: 모스피란), 피메트로진수화제(제품명: 체스)을 선택

희석배수: 1,500배, 3,000배

시험장소: (주)세실 내 중앙실험실

평균 온·습도: 25℃, RH 75%

조사방법: 완전임의배치법 5반복

주요 조사항목: 생충수

2) 결과

가. 포장내에서 지중해이리응애(*A. swirskii*)에 대한 잔효독성

표 3-19. 지중해이리응애(*A. swirskii*)에 대한 살충제 2종의 잔효독성

농약 품목명	사 충 율							
	0 DAT		3 DAT		7 DAT		14 DAT	
	평균±편차	C.M ²	평균±편차	C.M	평균±편차	C.M	평균±편차	C.M
아세타미프리트수화제 500배	75±41.1	-	26.0±6.0	43.4	20.7±2.5	43.2	11.3±6.8	22.8
아세타미프리트수화제 1,000배	66.7±20.4	-	34.7±12.6	15.1	23.7±6.7	26.8	13.7±5.5	0
피메트로진수화제 1,500배	96.3±50.6	-	30.7±15.8	48.0	30.7±18.6	34.4	19.0±10.4	0
피메트로진수화제 3,000배	78.3±27.8	-	57.5±9.0	0	40.7±7.1	0	24.3±13.8	0

C.M²: 보정사충율 = {(처리구의 사충율 - 무처리구의 사충율) / (100 - 무처리구의 사충율)} × 100

아세타미프리트 수화제 500배액은 포장 내에서 약 2주간의 잔효독성을 보임
 피메트로진 수화제 1,500배액은 약 1주일간의 잔효독성을 보임
 추천농도로 처리하였을 경우에는 아세타미프리트 수화제가 약 1주일의 잔효독성을 나타냈으며, 피메트로진 수화제는 지중해이리응애(*A. swirskii*)에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타남

나. 포장내에서 황온좀벌(*E. eremicus*)에 대한 잔효독성

표 3-20. 황온좀벌(*E. eremicus*)에 대한 살충제 2종의 잔효독성

농약 품목명	사 충 율					
	0 DAT		3 DAT		7 DAT	
	평균±편차	C.M	평균±편차	C.M	평균±편차	C.M
아세타미프리트수화제 500배	76±17.8	-	3.4±1.3	87.2	5.4±2.5	87.3
아세타미프리트수화제 1,000배	60.6±23.2	-	3.0±1.9	85.8	3.8±1.6	88.8
피메트로진수화제 1,500배	50.8±15.3	-	14.4±4.7	18.9	29.4±6.6	0
피메트로진수화제 3,000배	42.2±17.1	-	16.6±7.8	0	27.0±10.7	0

아세타미프리트 수화제는 3,000배액 및 1,500배액으로 처리한 실험구가 약 1주일간의 비슷한 잔효독성을 지니는 것으로 나타남
 피메트로진 수화제는 배량으로 처리한 경우 약 3일의 잔효독성이 나타났으나, 기준량으로 처리한 경우는 보정사충율이 0으로 나타남.

3. 연구개발에 따른 기대성과

- 1) 천적사용 농가에서 가루이류 발생 시 천적을 방사할 경우 해충의 발생밀도 또는 생육 단계에 따른 효과적인 천적 방사가 가능
- 2) 가루이류 중·대발생시 천적에 안전한 약제를 선발하여 효과적인 방제가 가능
- 3) 연구결과물은 농가에 정보를 제공하여 안전한 파프리카를 생산하는데 큰 도움을 줄 것이라 기대함

다. 총채벌레류(꽃노랑총채벌레) 천적의 방사기기 규명

1) 재료 및 방법

가. 시험농장 개요

시험장소 및 면적: 경상남도 마산시 진전면 신기, 비닐온실 4연동

재배작물: 겨울작형 미니파프리카

재배기간: 2008년 9월 1일 정식 후 2009년 6월 말까지 재배

나. 가루이류 밀도조사 및 천적 밀도조사 방법

온실 내 구역설정: 16개 임의 구역설정 후 구역내의 80주 조사

작물체 조사위치 설정: 상, 중, 하위엽으로 나누어 각 1잎을 조사

- 상위엽: 작물체 최상단에서 아래로 40cm

- 중위엽: 마지막 상위엽에서 아래로 50cm

- 하위엽: 마지막 중위엽에서 아래로 50cm

조사간격: 주 1회

* 조사기간 중 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*)만 발생됨.

꽃노랑총채벌레 밀도조사: 약충과 성충을 10배 Lope를 이용한 현장 육안조사 실시

천적 밀도조사: 지중해이리응애(*Amblyseius swirskii*)의 약충 및 성충수는 10배 Lope를 이용하여 잎에서 활동하고 있는 개체를 현장 육안조사 실시 / 미끌애꽃노린재(*Orius laevigatus*)의 약충 및 성충수는 꽃에서 활동하고 있는 개체를 현장 육안조사 실시

다. 가루이류 천적 방사

천적방사 전 농약사용 : 육묘기와 유묘기에 발생한 병해충 예방 및 방제를 위해 총 11회에 걸쳐 살충제 살포

지중해이리응애 : 2006년 국립식물검역소의 금지품수입허가(허가번호 제2006-15호)에 의해 수입된 것으로 실내증식 및 농업해충 방제 가능성 연구 결과물에 의해 개발된 (주)세실의 지중해이리응애(S)를 사용함.

미끌애꽃노린재 : (주)세실의 유럽애꽃노린재(병)을 사용함.



◀지중해이리응애(S)
5×6cm, 250마리/봉지



◀유럽애꽃노린재
500마리/병

그림 3-36. 시험에 사용된 천적 제품 종류

라. 온·습도측정

작물체 사이에 5개의 Data Logger(Onset computer crop. HOBO®, Model:H08-003-02)를 설치하여 1시간 간격으로 온·습도 자동기록 후 분석

2) 결과

가. 예방 및 소발생 수준에서의 천적 방사

예방 및 소발생 수준에서 지중해이리응애와 미끌애꽃노린재 2종을 방사한 결과는 그림 3-37, 38과 같다.

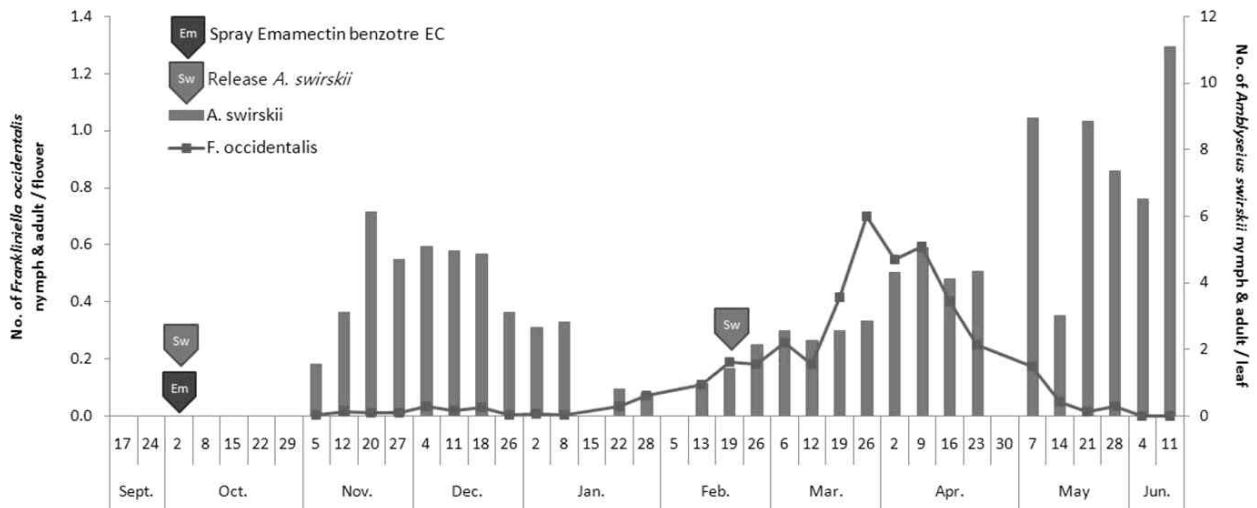


그림 3-37. 예방 및 소발생 수준에서 지중해이리응애 정착에 의한 꽃노랑총채벌레의 약충과 성충의 밀도변화.

* 10월 2일과 2월 19일에 각각 지중해이리응애 75마리/㎡ 방사

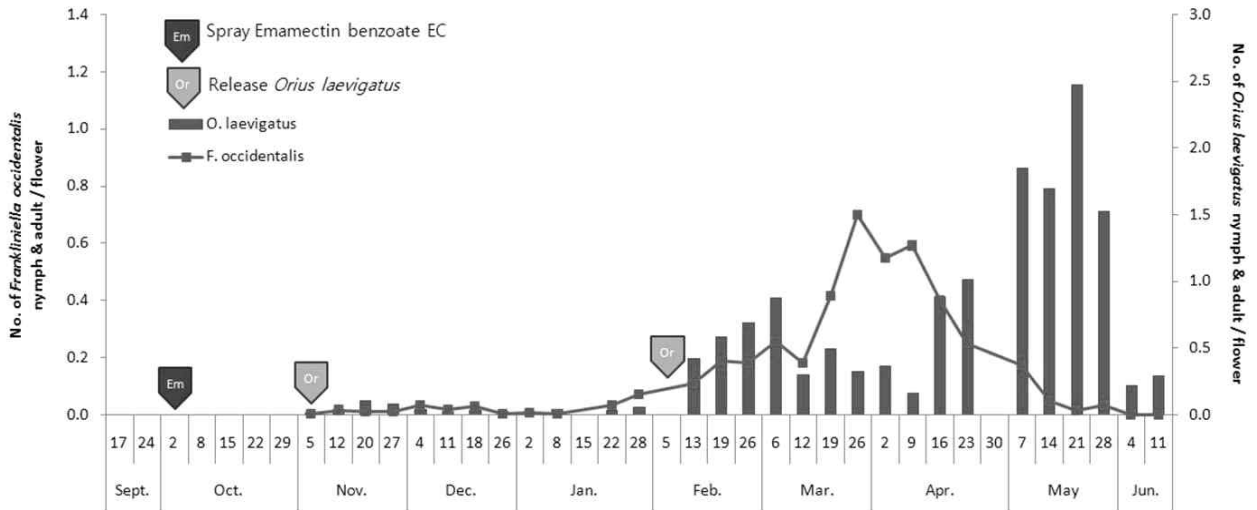


그림 3-38. 예방 및 소발생 수준에서 미끌애꽃노린재 정착에 의한 꽃노랑총채벌레의 약충과 성충의 밀도변화.

* 11월 5일과 2월 5일에 각각 미끌애꽃노린재 4마리/㎡ 방사

지중해이리응애를 3~4마리/잎로 미리 정착시킨 결과, 꽃노랑총채벌레(*F. occidentalis*) 밀도 증가 속도를 늦출 수 있었다.

2~3월에 꽃노랑총채벌레의 밀도가 증가하는 하였으나 직접적으로 피해를 줄 수 있는 수준에 미치지 못하였다.

미끌애꽃노린재를 0.5~1.0마리/꽃로 정착 시킨 결과, 꽃노랑총채벌레를 0.1~0.2마리/꽃 이하의 수준으로 방제할 수 있었다.

3월초 미끌애꽃노린재 밀도감소 원인은 [담배거세미나방]의 발생으로 인한 농약 살포 (Indoxacarb 5% SC 1,000배 분무처리)의 영향이었다.

이상과 같이 지중해이리응애와 미끌애꽃노린재를 정착시킨 결과 꽃노랑총채벌레 밀도 증가를 억제시켰을 뿐만 아니라 0.1~0.2마리/꽃 수준으로 방제할 수 있었다.



[담배거세미나방 유충]



[담배거세미나방 난괴]

그림 3-39. 담배거세미나방에 의한 파프리카 잎 피해

나. 소발생 이상 수준에서의 천적 방사

소발생 이상된 꽃노랑총채벌레 밀도를 억제시키기 위해 지중해이리응애와 미끌애꽃노린재 2종을 방사한 결과는 그림 5, 6과 같다.

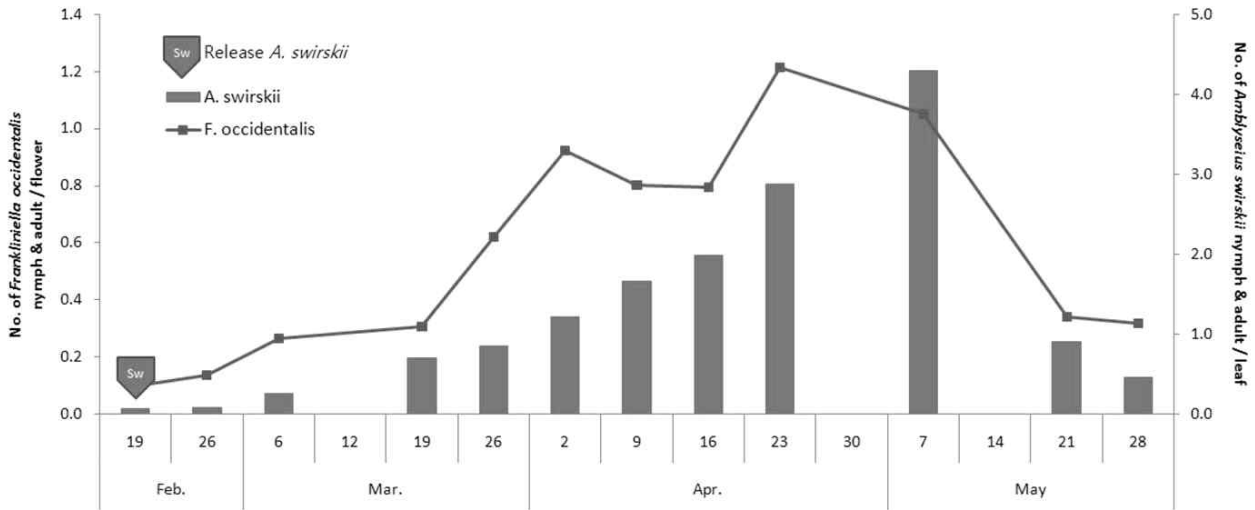


그림 3-40. 소발생 이상 수준에서 지중해이리응애 정착에 의한 꽃노랑총채벌레의 약충과 성충의 밀도변화.

* 2월 3일에 지중해이리응애 300마리/㎡ 방사

지중해이리응애는 3~4마리/잎까지 정착하였으나 이미 소발생 이상 수준(0.1~0.2마리/꽃)으로 발생되어진 꽃노랑총채벌레의 밀도를 과실에 피해가 나타나지 않을 정도로 충분히 억제시키지 못하였다.

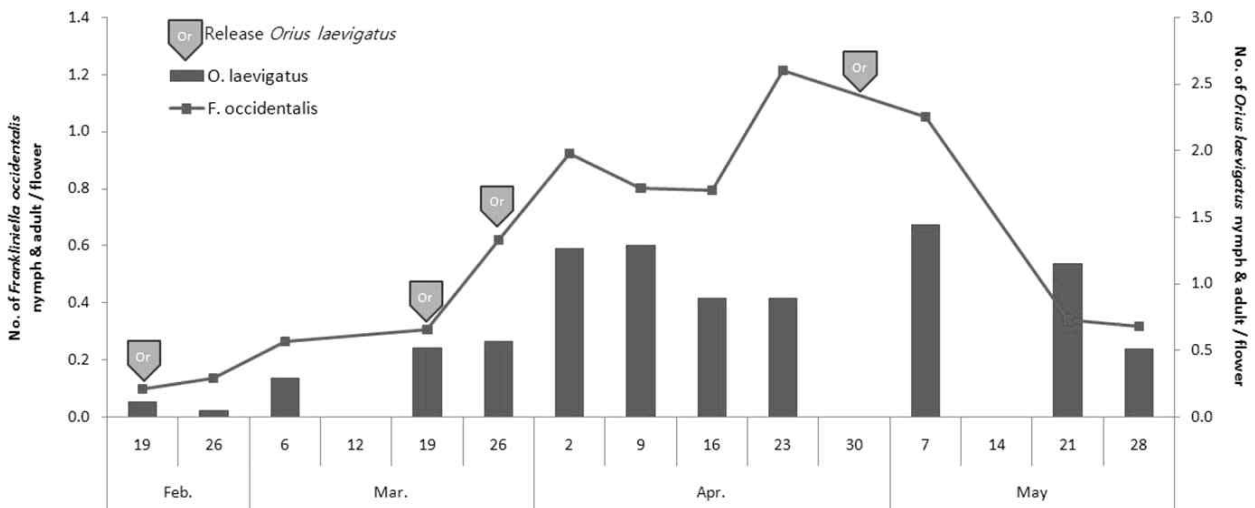


그림 3-41. 소발생 이상 수준에서 미끌애꽃노린재 정착에 의한 꽃노랑총채벌레의 약충과 성충의 밀도변화.

* 2월 3일, 3월 19일, 26일, 4월 30일에 각각 미끌애꽃노린재 5.6마리/㎡ 방사

소발생 이상된 꽃노랑총채벌레 방제를 위해서 미끌애꽃노린재 방사량을 예방적 수준 대비 약 3배를 방사해야 1.0~1.5마리/꽃 수준으로 빠른 시간에 정착시킬 수 있고 피해를 감소시킬 수 있었다.

그러나 고온기인 관계로 일부 총채벌레 밀도가 1.0마리/꽃 이상 증가하여 피해가 발생하였다.

소발생 이상의 경우 천적들에 의해 밀도가 감소하였으나 작물에 피해가 발생되었다. 따라서 작물에 피해를 줄이면서 방제하고자 할 때에는 농약과 병행하거나 예방수준에서 정착을 잘 시키는 것이 중요하다.



[꽃노랑총채벌레 산란흔적]



[꽃노랑총채벌레 섭식]

그림 3-42. 꽃노랑총채벌레 피해

3) 시험 결과요약

표 3-21. 총채벌레류 발생정도에 따른 천적방사 기준 설정

발생수준	총채벌레류 밀도 (마리/꽃)	천적 정착정도	
		지중해이리응애 (마리/잎)	미끌애꽃노린재 (마리/꽃)
예방·소발생	<0.05	3~4	1.0~1.5
소발생 이상	0.1~0.2	3~4	2.0~2.5

지중해이리응애는 소발생 또는 그 이상의 총채벌레류 발생 수준에서 사용하기 보다는 발생되기 전 예방용으로 미리 정착시켜 총채벌레류의 급속한 밀도 증가를 억제시키는 데 효과적인 천적이다.

미끌애꽃노린재는 총채벌레류의 밀도를 효과적으로 낮출 수 있는 천적이다. 하지만 총채

벌레류의 밀도가 소발생 이상 수준일 경우에는 빠른 시일 내에 방제해야 하므로 미끌애꽃노린재의 방사량이 예방 또는 소발생 수준에서 보다 2배 이상이 소요된다. 소발생 이상의 수준에서도 천적으로 총채벌레류의 방제가 가능하나 일시적인 기간동안 총채벌레류에 의한 피해가 발생될 수 있으므로 적절한 화학적 방제와 병행되어야 할 것으로 사료된다.

라. 선발된 총채벌레 농약의 총채벌레류 천적에 대한 포장안전 사용법 규명

1) 재료 및 방법

가. 미끌애꽃노린재(*Orius laevigatus*)에 대한 안전한 농약선발

대상작물: 파프리카(미니)

실험방법: 이미 대상천적이 정착되어 있는 파프리카에 농용 고압분무기를 이용하여 경엽살포한 후 꽃속의 생충수 조사

대상천적: 미끌애꽃노린재(*O. laevigatus*)

시험농약: 시험 1.수행 온실에서 담배거세미나방이 발생하여 시험 2. 에서 선발된 천적에 안전한 농약 중 담배거세미나방 방제에 가장 효과적인 인독사카브 5% 액상수화제(제품명: 스투어드골드)를 선택하여 실제 포장 시험을 수행

희석배수: 1,000배

시험장소: 경남 마산시 진전면 신기리

조사방법: 난괴법 3반복

주요 조사항목: 생충수

나. 지중해이리응애(*Amblyseius swirskii*)에 대한 안전한 농약선발

대상작물: 파프리카(미니)

실험방법: 이미 대상천적이 정착되어 있는 파프리카에 농용 고압분무기를 이용하여 경엽살포한 후 잎 위의 생충수 조사

대상천적: 지중해이리응애(*A. swirskii*)

시험농약: 시험 1.수행 온실에서 담배거세미나방이 발생하여 시험 2. 에서 선발된 천적에 안전한 농약 중 담배거세미나방 방제에 가장 효과적인 인독사카브 5% 액상수화제(제품명: 스투어드골드)를 선택하여 실제 포장 시험을 수행

희석배수: 1,000배

시험장소: 경남 마산시 진전면 신기리

조사방법: 난괴법 3반복

주요 조사항목: 생충수

2) 결과

가. 포장내에서 미끌애꽃노린재 (*O. laevigatus*)에 대한 독성

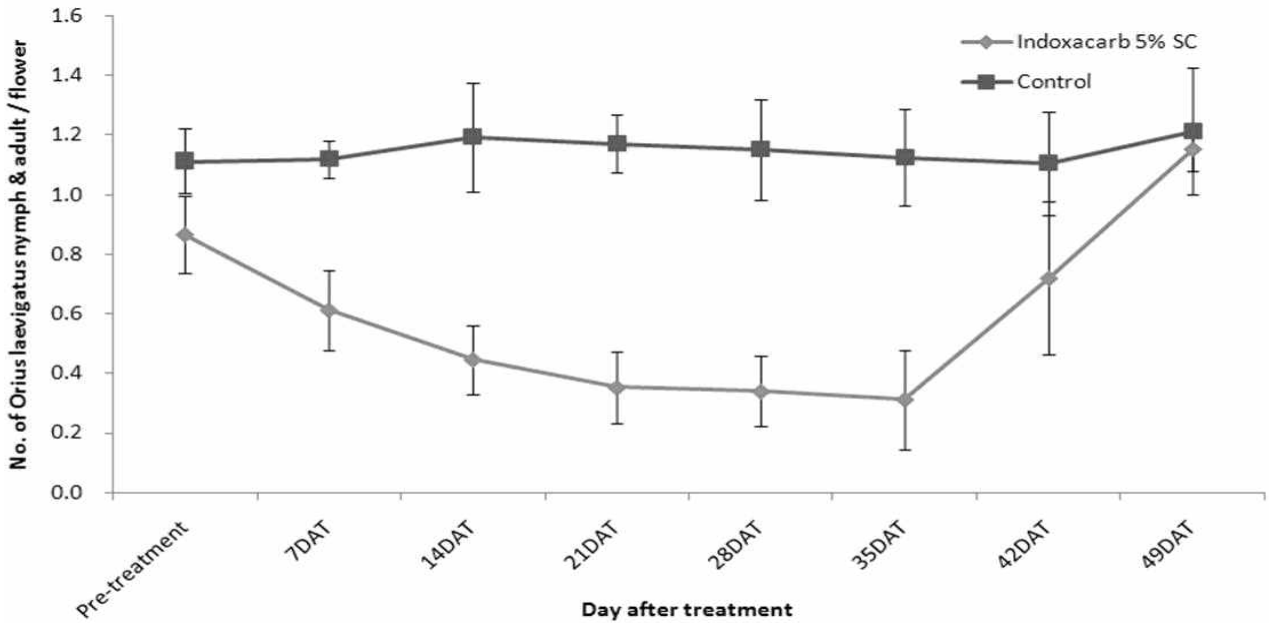


그림 3-43. 미끌애꽃노린재 (*O. laevigatus*)에 대한 인독사카브 5% 액상수화제의 독성

살포 14일차에 약 50%의 밀도감소가 나타났으며 35일차 까지 감도된 밀도를 유지하였다.

35일차 이후부터 다시 미끌애꽃노린재의 밀도회복이 일어나 42일차에 약제 살포전 밀도로 회복하였다. 미끌애꽃노린재의 부화기간과 어린 약충의 발육기간인 약 15일을 고려하였을 때 약제처리후 20일전후로 잔효독성이 거의 사라진 것으로 판단할 수 있다. 따라서 직접독성 약 70%, 잔효독성 21일로 나타났다.

시험 2.의 실내시험의 결과는 직접독성 98%, 잔효독성 28일로 나타나 본 시험과는 차이가 있었으나 이는 실내시험과 포장시험의 시험환경에서 오는 차이라고 판단된다.

포장시험의 결과는 네델란드 천적회사인 Koppert B.V. 가 홈페이지를 통해 명기하고 있는 독성수준(직접독성 Level 3(사충율 50~75%), 잔효독성 14일 이상)과 유사하게 나타났다.

나. 포장내에서 지중해이리응애 (*A. swirskii*)에 대한 독성

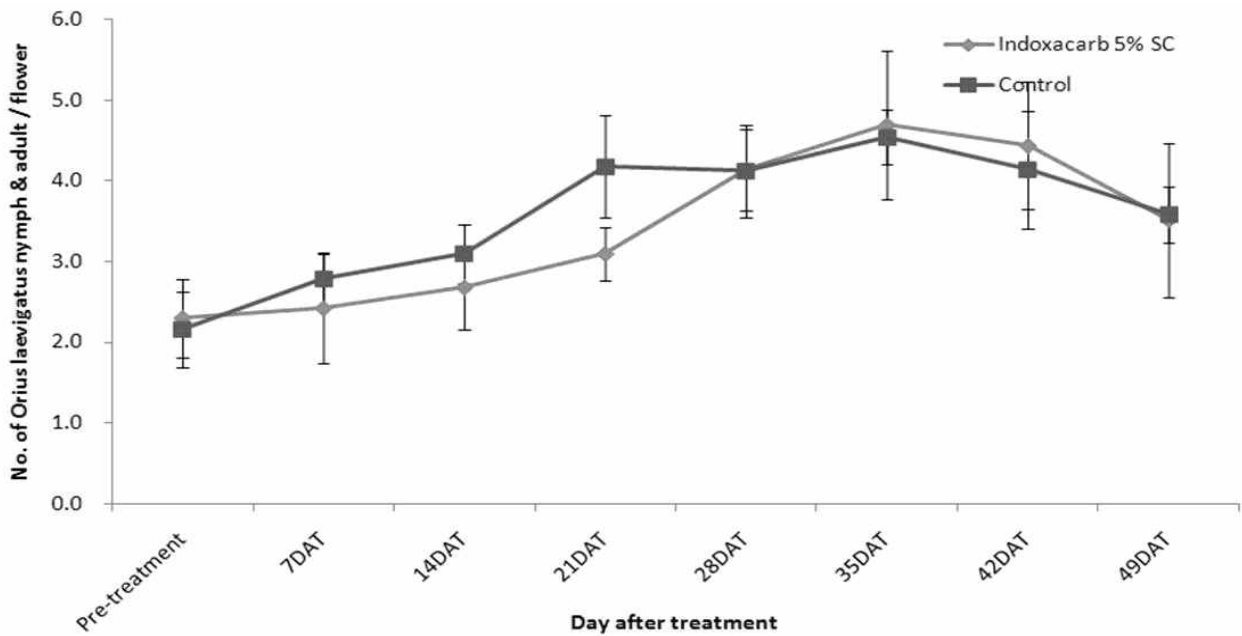


그림 3-44. 지중해이리응애 (*A. swirskii*)에 대한 인독사카브 5% 액상수화제의 독성

살포후 지중해이리응애의 밀도 증가가 무처리에 비해 약간 주춤한 경향을 보이나 크게 차이나지는 않았다.

따라서 지중해이리응애에 대한 직접독성과 잔효독성은 거의 없는 것으로 나타나 안전하게 사용할 수 있는 약제인 것으로 판단된다.

시험 2의 실내시험의 결과는 직접독성 11.7%로 매우 안전한 것으로 나타났다. 잔효독성 시험이 이루어지지 않았으나 동일 유효성분의 제형이 다른 인독사카브 입상수화제의 경우 잔효독성이 7일로 나타나 잔효독성도 역시 안전할 것으로 생각된다.

네델란드 천적회사인 Koppert B.V. 가 홈페이지를 통해 명기하고 있는 독성수준은 직접독성 Level 3(사충율 50~75%), 잔효독성은 자료 없음. 으로 표기하고 있으며, 본 시험과는 약간의 차이를 보였다.

마. 진딧물류(복숭아혹진딧물, 목화진딧물) 천적의 방사기기 규명

1) 재료 및 방법

가. 시험농장 개요

시험장소 및 면적: 전남 고흥군 흥양면 가야리, 유리온실 24,750m²

재배작물: 파프리카(쿠프라,피에스타,오렌지글로리)

재배기간: 2009년 11월 07일 정식 후 2010년 7월 초까지 재배

온실환경: 평균온도(20.6±2.21℃), 평균 상대습도(7.5±10.0%)

나 진딧물류 밀도조사 및 천적 밀도조사 방법

온실 내 구역설정: 12개 임의 구역설정 후 구역내의 72주 조사

작물체 조사위치 설정: 상, 중, 하위엽으로 나누어 각 1엽을 조사

- 상위엽: 작물체 최상단에서 아래로 40cm

- 중위엽: 마지막 상위엽에서 아래로 50cm

- 하위엽: 마지막 중위엽에서 아래로 50cm

조사간격: 주 1회

* 조사기간 중 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae*),

목화진딧물(*Aphis gossypii*) 발생됨.

진딧물류 밀도조사: 약·성충을 10배 Lope를 이용한 현장 육안조사 실시

천적 밀도조사: 콜레마니진디벌(*Aphidius colemani*)의 유충은 잎에 존재하는 진딧물을 현미경에서 해부하여 조사 실시 / 호랑풀잠자리(*Micromus angulatus*)의 약충 및 성충 수는 잎에서 활동하고 있는 개체를 현장 육안조사 실시

다. 진딧물류 천적 방사

천적방사 전 농약사용 : 육묘기와 유묘기에 발생한 병해충 예방 및 방제를 위해 단 1회만 살충제(아세타리프리트) 살포

콜레마니진디벌 : 2006년 국립식물검역소의 금지품수입허가(허가번호 제2003-9호)에 의해 수입된 것으로 실내증식 및 농업해충 방제 가능성 연구 결과물에 의해 개발된 (주)세실의 콜레마니진디벌(Bottle, Carton)을 사용함.

호랑풀잠자리 : (주)세실의 호랑풀잠자리(Tray)을 사용함.



◀ 콜레마니진디벌(Carton)
5×6cm, 50마리/Carton



◀ 콜레마니진디벌(Bottle)
500마리/Bottle



◀ 뱅커플랜트
500마리/화분



◀ 호랑풀잠자리(Tray)
200마리/Tray

그림 3-45. 시험에 사용된 천적 제품 종류

라. 온·습도측정

작물체 사이에 7개의 Data Logger(Onset computer crop. HOBO[®]. Model:H08-003-02)를 설치하여 1시간 간격으로 온·습도 자동기록 후 분석

2) 결과

가. 예방수준에서의 천적 방사

예방 수준에서 콜레마니진디벌과 뱅커플랜트 2종을 방사한 결과는 그림 3-46과 같다. 진딧물 발생 전 예방 수준에서 콜레마니진디벌과 뱅커플랜트를 방사한 결과 진딧물 발생 초기에 진딧물 밀도를 억제할 수 있었음. 콜레마니진디벌과 뱅커플랜트를 예방수준에서 방사한 후 콜레마니진디벌을 추가(2회) 방사한 결과 9주간 진딧물 밀도를 2마리/잎 이하로 유지 가능함.

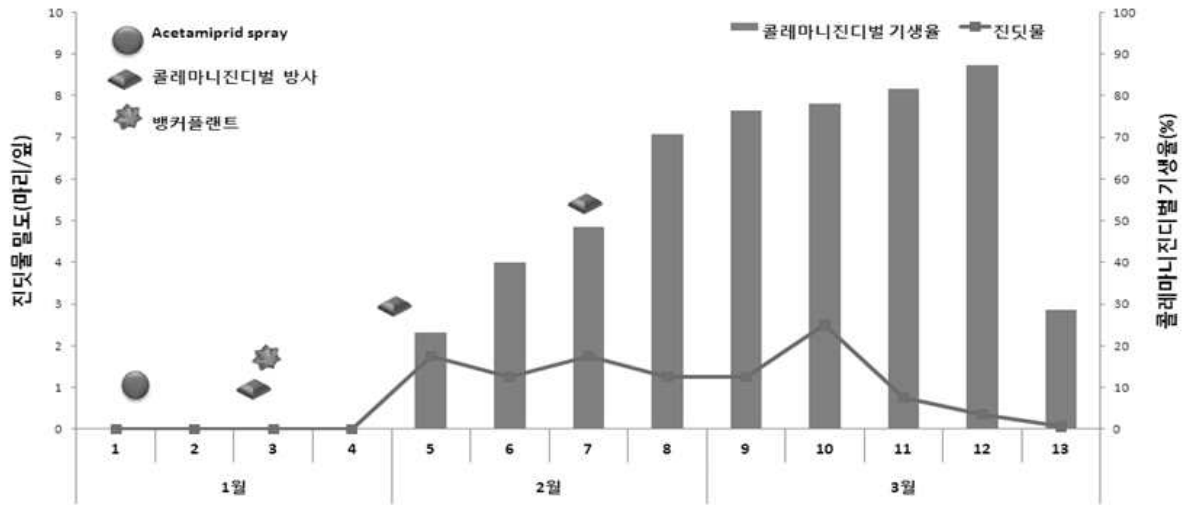


그림 3-46. 예방 수준에서 콜레마니진디벌 및 벙커플랜트 방사에 의한 진딧물류 밀도 변화.

* 01월 05일 모스피란(Acetamidrid) 전체 Spray, 01월 29일(0.8마리/㎡), 02월 09일(0.2마리/㎡), 02월 18일(0.2마리/㎡) 콜레마니진디벌 방사함.

나. 소발생 수준에서의 천적 방사

소발생 수준에서 콜레마니진디벌 1종을 방사한 결과는 그림 3과 같다.

진딧물이 소발생(0.02~0.11마리/잎) 일 때 콜레마니진디벌 방사로 진딧물 발생 밀도를 0.3마리/잎 이하로 방제할 수 있었음.

예방수준에서와 달리 벙커플랜트를 설치하지 않고 콜레마니진디벌을 방사하여 진딧물을 방제함.

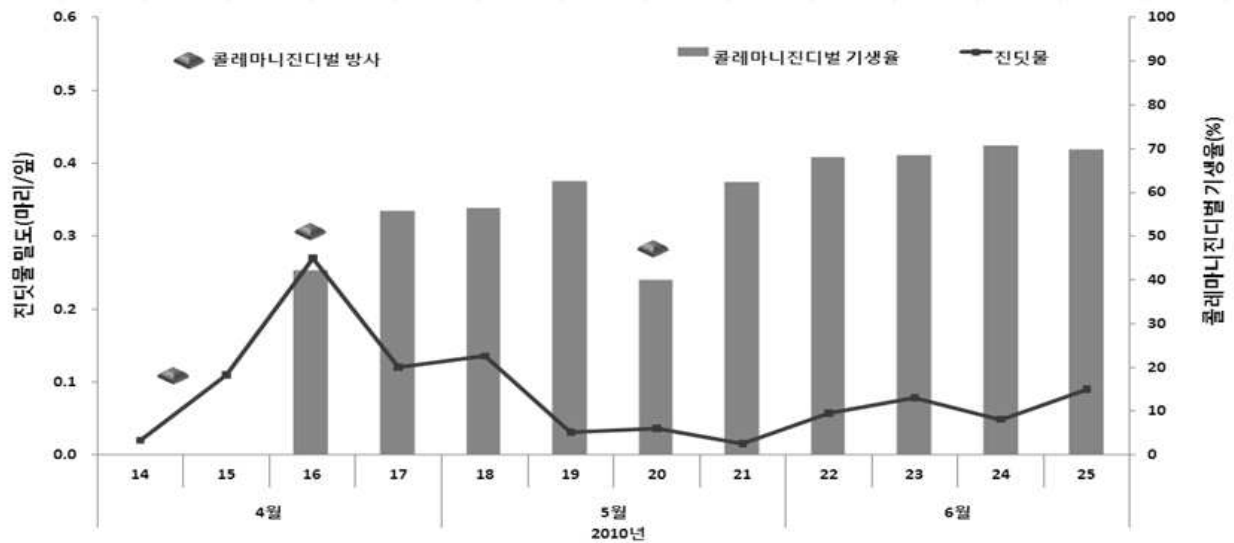


그림 3-47. 소발생 수준에서 콜레마니진디벌 방사에 의한 진딧물류 밀도 변화.

* 04월 09일(0.8마리/㎡), 04월 21일(0.8마리/㎡), 05월 25일(2.0마리/㎡) 콜레마니진디벌 방사함.

다. 중발생 이상 수준에서의 천적 방사

중발생 이상된 진딧물 밀도를 억제시키기 위해 콜레마니진디벌과 호랑풀잠자리 2종을 방사한 결과는 그림 4와 같다.

호랑풀잠자리(포식성)를 진딧물이 중·대발생(Hot spot)한 구간에 방사하여 3.5마리/plant로 정착시킨 결과 진딧물 밀도를 감소시켰으나, 방사 3주 후 세대가 순환하지 못함.

호랑풀잠자리로 인하여 진딧물 밀도를 감소시킨 후 콜레마니진디벌을 추가로 방사한 경우 진딧물 밀도를 억제할 수 있었음.

호랑풀잠자리 방사 후 Hot spot 구간의 과실에 감로 피해는 발생하지 않음.

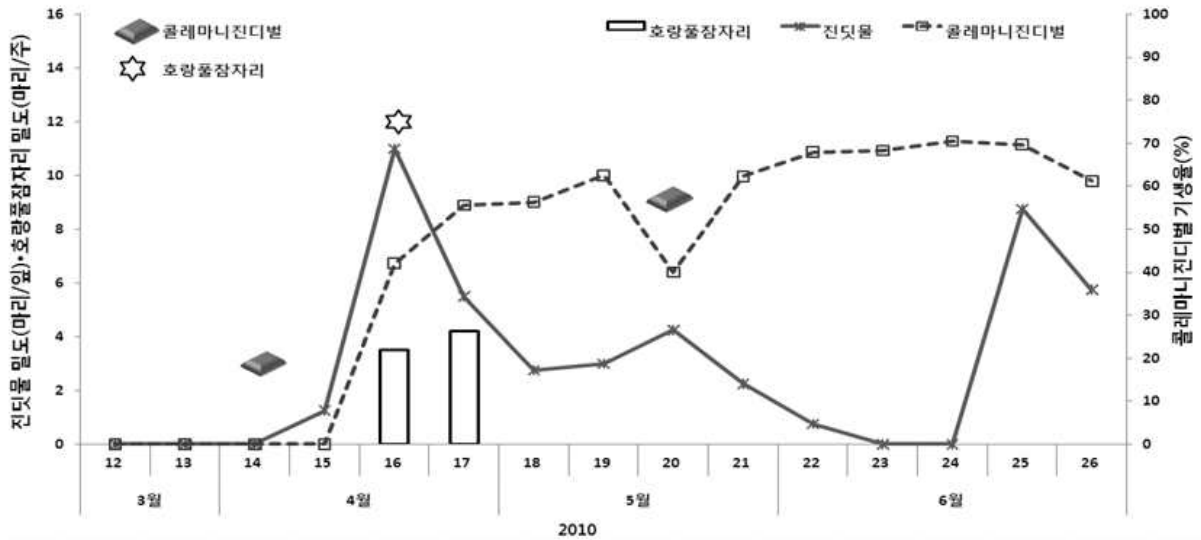


그림 3-48. 중발생 이상 수준에서 콜레마니진디벌과 호랑풀잠자리 방사에 의한 진딧물류 밀도 변화.

* 04월 09일(0.8마리/㎡), 05월 25일(2.0마리/㎡) 콜레마니진디벌 방사, 04월 21일 (10.0마리/㎡) 호랑풀잠자리 방사함.

다) 시험1 결과요약

표 3-22. 진딧물류 발생정도에 따른 천적방사 기준 설정

발생수준	진딧물류 밀도 (마리/일)	천적 정착정도		
		콜레마니진디벌 기생율(%)	호랑풀잠자리 (마리/주)	뱅크플랜트
예방	<0.0	20% 이상	-	사용
소발생	0.02~0.11	45% 이상	-	-
중발생 이상	1.3~11.0	45% 이상	3.5~4.0	-

콜레마니진디벌과 뱅커플랜트를 예방용으로 함께 사용하여 미리 정착시킬 경우 진딧물의 급속한 밀도 증가를 억제시키는 데 효과적인 천적이다.

콜레마니진디벌은 진딧물류의 밀도를 효과적으로 낮출 수 있는 천적이다. 소발생에서 뱅커플랜트를 사용하지 않고, 콜레마니진디벌을 추가(2회) 방사하여 진딧물 밀도를 억제

할 수 있다. 하지만 콜레마니진디벌 방사량이 예방 수준에서 보다 2배 이상이 소요된다. 중·대발생(Hot spot) 이상의 수준에서는 기생성(콜레마니진디벌) 천적과 포식성(호랑 풀잠자리) 천적 2종을 사용할 경우 진딧물의 급속한 밀도 증가를 억제시킬 수 있다.

바. 선발된 진딧물 농약의 진딧물류 천적에 대한 포장안전 사용법 규명

1) 재료 및 방법

가. 콜레마니진디벌(*A. colemani*)에 대한 안전한 농약선발

대상작물: 파프리카

실험방법: 이미 대상천적이 정착되어 있는 파프리카에 농용 고압분무기를 이용하여 경엽 살포한 후 기생율 조사

대상천적: 콜레마니진디벌(*A. colemani*)

시험농약: 시험 1.수행 온실에서 진딧물이 발생하여 시험 2. 에서 선발된 천적에 안전한 농약 중 진딧물 방제에 효과적인 아세타미프리트 5% 액제(제품명: 신엑스)를 선택하여 실제 포장 시험을 수행

희석배수: 1,000배

시험장소: 전남 고흥군 홍양면 가야리

조사방법: 난괴법 3반복

주요 조사항목: 기생율(%)

2) 결과

가. 포장내에서 콜레마니진디벌(*A. colemani*)에 대한 독성

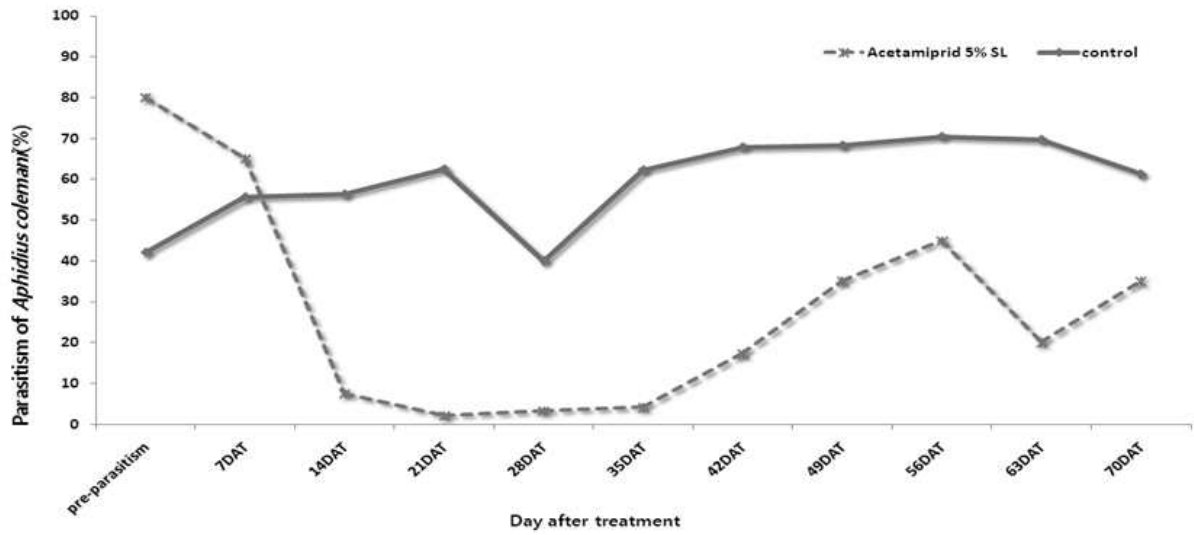


그림 3-49. 콜레마니진디벌(*A. colemani*)에 대한 아세타미프리트 5% 액제의 독성

살포 14일차부터 콜레마니진디벌 기생율이 감소하는 것으로 나타났으며, 35일차 까지 10% 이하의 기생율을 유지하였다.

42일차부터 기생율이 증가하였으며, 약제 처리 35일 전후로 잔효독성이 거의 사라진 것으로 판단할 수 있다.

포장시험 및 실내시험 결과는 네델란드 천적회사인 Koppert B.V. 가 홈페이지를 통해 명기하고 있는 독성수준(직접독성 Level 4(사충율 75%), 잔효독성 14일 이상)과 다소 상이하게 나타났다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 목표달성도

1. 연차별 연구 목표 및 내용

가. 1차년도

구분	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
1차 년도 (200 7)	[1-1] 수출용 및 국내보급용 파프 리카 품종개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 세대진전 및 계통선발 (200계통) ○ 약배양 순계육성(100계통) 	<ul style="list-style-type: none"> - 세대진전 : 2회 - 계통선발 : 445계통 - 순계육성 : 170계통
	[1-2]	<ul style="list-style-type: none"> ○계통선발(제 1작형) ○선발된 계통의 성검정 (제 1작형) ○분리용 교배 조합의 작성 (제 1 작형) ○계통선발 (제 2작형) ○선발된 계통의임성검정 (제 2작형) ○분리용 교배 조합의 작성 (제 2작형) ○한국과 태국의 특성발현 차 이에 대한 올바른 해석 	<ul style="list-style-type: none"> ○공시 계통의 특성 선발을 위한 정밀한 재배, 선발 개체의 양질의 종자 수확 완료 ○총 97 계통에 대한 임성검정을 한국 정식 전에 마무리함 ○TSWV 저항성 계통육성을 위한 분리용 조합작성 저항성소재:EZ와 ZR의 저항성 F1 각 3품종 교배모본 : SPC, CPR, DB, JRS, HSK, FIR, PRSDT, BG 총 8조합 작성 ○공시 계통의 특성 선발을 위한 정밀한 재배. 선발 개체의 양질의 종자 수확 ○선발된 개체에 대한 임성검정 예 정 ○MS 검정을 위한 교배조합 작성 ms1 × msk, ms1 × ms3, ms3 × msk, ms3 × ms1, msk × ms1, msk × ms3 ○ 8월 말 태국 조사 후 토의 예정

구분	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
	[1-3] 응성불임을 이용한 파프리카 F ₁ 종자 생산 체계 확립	<ul style="list-style-type: none"> ○ 파프리카 시판 F₁ 품종에 존재하는 응성불임 유전인자 분석 ○ 응성불임을 이용한 시판 품종의 F₂ 분리집단에서 응성불임과 연관된 마커 개발 ○ 분자마커를 이용한 품종별 hetero(모계 후보) 및 homo(부계 후보)형 개체 선발 	<ul style="list-style-type: none"> - 이미 유전인자형을 알고 있는 응성불임 계통에 파프리카 F₁ 교잡, 후대의 응성불임 유전인자 분석 - BSA-AFLP법을 이용하여 응성불임과 연관된 분자마커 개발 - 개발된 분자마커를 PCR용 우성마커로 전환 후 적용성 조사 - 분자마커를 이용하여 품종별 또는 과색별로 후대 분리집단에서 응성불임 hetero(Msms, 모계후보)형 및 homo(MsMs, 부계 후보)형 개체 선발
	[1-4] 분자유종 기술을 이용한 복합 바이러스 내병성 파프리카 계통 육성	<ul style="list-style-type: none"> · TMV 저항성 분자마커 활용 기술 확립 · CMV 저항성 계통 교배 조합작성 · Potyvirus 저항성 계통 선발 · 분자 표지를 이용한 계통 선발 지원 	<ul style="list-style-type: none"> · TMV 저항성 분자표지의 파프리카 적용 및 유용표지 선발 · Potyvirus 저항성 파프리카와 CMV 저항성 계통교배 · Potyvirus 분자표지를 이용한 파프리카 저항성 품종 선발 · TMV 및 TSWV 분자표지를 이용한 육성 계통 검정 지원
	[1-5] 선발계통과 신품종의 특성 평가 및 병 저항성 검정	우수계통 선발을 위한 세대진전 선발계통에 대한 생육특성 분석 주요 바이러스에 대한 저항성 검정 여름재배용 계통 육성	1년 2작기 계통 분리 및 선발 기존 품종과의 생육특성 비교분석 저항성 품종 선발 여름재배용 계통 세대 전개
	[2-1] 네덜란드와 우리나라의 생산성 차이 원인 극복 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○우리나라 파프리카 농가의 작물 수광율 조사 및 수량관계 분석 ○계절별 수확과실의 생과중과 건과중비(건물함량)의 비교분석 ○네덜란드와 우리나라의 기간별 단위면적당 지상부 총 생장량 비교 분석 ○국내 파프리카 재배의 계절적 환경변화에 따른 육묘기의 생장 패턴 비교 분석 ○네덜란드와 우리나라의 파프 	<ul style="list-style-type: none"> ○파프리카 수광율 계산 모델 확립 ○농가별 엽면적지수변화 패턴 ○엽면적지수 대비 건물생산량 및 과실생산량 상관관계 분석 ○기간별 수확과실의 건물함량 변화 패턴 및 부위별 동화산물 분배 패턴 분석 ○KOR과 NL의 정식 후 파프리카 재배기간 동안 지상부 총 건물생산량 비교 분석 ○파프리카 품종별 육묘기의 상대 생장율을 통한 생장패턴 구명

구분	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
		리카 재배 기간 동안의 각 기관별 건물분배율 비교 분석	○파프리카 육묘기 암면큐브내 EC 농도에 따른 생장 패턴 분석 ○정식후 파프리카 재배기간 동안 네덜란드와 국내 농가의 총 건물생산량 및 과실생산 패턴 비교 분석
	[2-2] 파프리카 생육단계별 최적 생육환경(지상부, 근권)조건개발	○ 파프리카의 온실 내외부환경의 차이에 의한 작물의 생장량 비교 및 작물의 생장에 영향을 미치는 환경 요인 구명 ○ 양적인 자료 수집에 따른 생산량 증수 및 연관 독립변량 모색	○ 농가 누적 환경 데이터 및 작물 생육 자료 수집 및 분석 ○ 작물 생육 및 생산성에 대한 관련 주요 환경 요인의 영향 분석 ○ 작물의 파괴조사를 통한 환경요인과 건물생산 간 관계 분석
	[2-3] 우리나라 환경에 적합한 온실 환경제어 시스템 및 프로그램 개발	-권취식 환기창 제어를 위한 환기창 모터 개별 제어 알고리즘 작성 및 시험연구 -온수, 온풍 난방기 제어를 위한 온수, 온풍 온도 제어 알고리즘 작성 및 실증 Test -온실내 스크린류 제어를 위한 알고리즘 개발	제어기 시뮬레이터 개발을 위해 외온, 내온, 내습, 일사, 풍향, 풍속, 감우, CO ₂ 의 증감을 제어요인으로 두고 임의로 조절할 수 있는 장치 개발 ·홀소자를 이용한 개도값 자동 산출 장치 기관설계 및 시제품 생산을 위해 8채널 입출력 카드를 개발하여 각 개폐모터의 전류를 측정하여 과부하시 차단할 수 있도록 하였으며 각 개폐모터의 정방향, 역방향 시간 측정을 통해 개도값을 표기 천칭, 보일러제어 예측 온도값 산출 방법을 위한 설계와 테스트를 진행하였으며 예측온도 측정값을 환기 및 보일러 제어의 설정값과 연동되도록 설계
	[2-4] 파프리카 근권 환경 최적화를 위한 함수율 조절 장치 개발	○ 실시간 배지 (슬라브) 함수율 변화 및 작물 증산량 측정 시스템 구축 ○ 광 및 온습도 변화에 따른 배지 함수율 및 작물의 증산량 분석 ○ 배지 함수율 처리에 따른 파프리카 작물의 생육 영향 분	·컴퓨터, 제어장치, TDR 센서, 재배 장치를 구축 후, 3처리 배지 함수율 조건에서 함수율 계측 및 제어 시스템 구축 ·함수율 조건별 배지의 관/배수 특성 분석(배액비율 포함) ·재배장치에 로드셀, TDR 센서, 관 배수 측정방식을 이용한 증산량 측정 체계 구축 ·상업용 온실)에서 일사량, VPD,

구분	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
		석	<p>작물의 증산량과의 관계를 분석한 결과 변수에 대하여 유의적으로 도출</p> <ul style="list-style-type: none"> ·일사량, 온습도, 배지 함수율, 작물의 증산량 측정 데이터를 이용하여 환경조건과 작물의 증산량과의 관계 분석 ·배지 함수율에 대하여 작물의 초장 및 엽면적이 유의적이었음 ·배지 함수율에 따른 과실의 중량(건물중, 생체중)이 유의적이었음 ·배지 함수율에 따른 과실의 품질(정상, 비정상과) 수량 분석
	[3-1] 파프리카 주요 병해충 방제 농약의 안전사용 및 잔류농약 클레임 해소 방안	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농약의 생산단계 잔류시험 ○ 생물농약 탐색 및 효과검증 ○ 생육단계별 생물농약과 화학농약 방제 최적 IPM 프로그램 설정 ○ 병해충 인터넷 진단키 개발 ○ 농약안전사용 교육홍보 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농가조사를 통하여 선발한 농약 5성분의 생물학적 반감기 산출 및 생산단계 농약 잔류특성 구명. ○ 흰가루병 방제에 효과적인 난황유 파프리카 시설 내 적용 방법 개발을 통한 현장적용 시험 기초 확립. ○ chlorfenapyr의 잔류량 변화와 점박이 응애에 대한 생물학적 활성을 측정하여 방제 최적 IPM 프로그램 설정. ○ 재배시기별 주요발생 병해충 조사 및 사진자료 수집을 통한 Fact Sheet를 DB화. ○ 파프리카 자조회를 중심으로 생산농민을 대상으로 안전한 파프리카 생산을 위한 교육홍보
	[3-2] 파프리카 작물의 천적(생물적)방제 프로그램 개발 및 천적에 사용가능한 선택적 농약 선발 안전사용 설정	<ul style="list-style-type: none"> ○ 가루이류 천적의 방사시기 규명 ○ 가루이류 천적의 안전농약 선발 및 포장안전성 규명 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 담배가루이 발생 수준에 따라 지중해이리응애와 황온점벌 방사 후 밀도억제효과 기준 설정 ○ 지중해이리응애, 황온점벌, 온실가루이좀벌의 급성독성 및 잔효독성 검증을 통한 농약선발 및 선발농약을 이용한 leaf-disk 실험 및 foliar spray 실험을 통한 field 안전성 검증

나. 2차년도

구분	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
2차 년도 (2008)	[1-1] 수출용 및 국내보급용 파프리카 품종개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 세대진전(년1회 이상) ○ 계통선발(200계통) ○ 약배양 순계육성(100계통) ○ 교배조합 작성 및 평가(20조합) 	<ul style="list-style-type: none"> - 세대진전 : 2회 - 계통선발 : 302계통 - 순계육성 : 323계통 - 교배조합 작성 : 34조합
	[1-2] 중국 종자 수출용 토경재배용 품종 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○태국 선발 계통과 한국 선발 계통의 세대진전 및 특성과약 ○태국 선발 계통을 이용한 test cross 조합 작성 및 특성조사 ○test cross 결과를 바탕으로 새로운 조합작성 ○토경과 수경의 특성 발현 차이 확인 	<ul style="list-style-type: none"> ○특성 파악을 위한 정밀한 재배, 선발 개체의 종자 확보 ○계획한 12 조합을 작성하여 충실한 종자를 확보함, 작성한 조합 중에서 8조합을 공시하여 특성 발현이 제대로 된 5조합에 대하여 특성조사를 실시함 ○금년도 파악된 조합의 특성을 토대로 2010년 조합 선발 시험을 할 조합 작성 중에 있음, 총 24조합 작성중 : R 8조합 Y 10조합 O 6조합 ○현재 토경 재배 시험을 수행중에 있으며 9월초에 특성조사를 실시할 예정임
	[1-3] 옹성불임을 이용한 파프리카 F ₁ 종자 생산 체계 확립	<ul style="list-style-type: none"> ○ 파프리카 GMS 유전인자 분석 ○ 파프리카 GMS 연관 마커 개발 ○ 마커를 이용한 품종별 모계, 부계 후보 개체 선발 	<ul style="list-style-type: none"> - 파프리카 시판 F₁ 품종에 존재하는 옹성불임 유전인자 분석 - 옹성불임을 이용한 시판 품종의 F₂ 분리집단에서 옹성불임과 연관된 마커 개발 - 분자마커를 이용한 품종별 hetero(모계 후보) 및 homo(부계 후보)형 개체 선발
	[1-4] 분자육종 기술을 이용한 복합 바이러스 내병성 파프리카 계통 육성	<ul style="list-style-type: none"> · CMV 저항성(<i>cmr2</i>) 품종 선발 · 세균성 점무늬병 저항성 분자표지의 활용 · CMV 및 potyvirus 저항성 계통 선발 · 분자마커를 이용한 계통 선 	<ul style="list-style-type: none"> · LAM32와 원예적 형질이 우수한 파프리카 시판품종과의 교배 · 기 개발된 분자표지의 활용 기술 확립 및 파프리카육종 체계에의 적용 · CMV, Potyvirus 병 저항성 분자표지를 이용한 파프리카 저항성 품

구분	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
		<ul style="list-style-type: none"> 발 지원 	<ul style="list-style-type: none"> 중 선발 및 여교잡 · TMV 및 TSWV 분자표지를 이용한 육성 계통 검정 지원
	<p>[2-1] 네덜란드와 우리나라의 생산성 차이 원인 극복 기술 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○계절적 환경변화에 따른 육묘기의 생장 패턴 비교 분석패턴 비교 분석 ○네덜란드와 우리나라의 파프리카 재배 기간 동안의 각 기관별 건물분배율 비교 분석 ○계절별 초기 엽면적 지수와 광수광량이 후기 착과 및 수확량에 미치는 영향 비교 분석 ○계절별 수확과실의 생과중과 건과중비(건물함량)의 비교분석 및 계절적 환경요인에 따른 건물함량 예측 모델 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○파프리카 육묘기 근권부 환경(EC, 절곡)에 따른 생장패턴 비교 분석 ○파프리카 육묘기 지상부 재식밀도에 따른 생장패턴 비교 분석 ○가식 시기별 건물생산 패턴 비교 분석 ○정식후 파프리카 재배기간 동안 NL과 KOR 농가의 총 건물생산량 및 건물분배 패턴 비교 분석 ○정식후 파프리카 재배기간 동안 NL과 KOR의 온실환경 비교 분석 ○NL과 KOR 농가의 기간별 과실 생산 패턴 비교 분석 ○재식밀도(엽면적 조절)에 따른 과실 착과 및 수량과 수광량 비교 분석 ○정식초기 엽면적 조절(적엽)에 따른 착과 및 수량과 수광량 비교 분석 ○전체 파프리카 수확기간 동안 수확과실의 건물함량 분석 ○과실의 기관별 동화산물 분배 패턴 비교 분석
	<p>[2-2] 파프리카의 시설별 지상부 최적 생육환경 조건 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 온실 형태에 따른 환경 요인 조사 및 분석 ○ 온실 형태 차이에 따른 파프리카 생육 및 생산량 차이 구명 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 온실 형태에 따른 누적 환경 자료 수집 및 분석 ○ 온실 형태별 지상부 및 지하부 요인과 파프리카 생육 및 생산성 간 관계성 분석 및 비교 ○ 온실 형태 간 환경요인 및 파프리카 생육 차이를 이용한 단위 환경 요인 당 변화 모형 도출
	<p>[2-3] 우리나라 환경에 적합한 온실 환경제어 시스템 및 프로그램 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> -계절별 온실내부의 주야간 온도 편차 모니터링 및 데이터베이스와 -주야간 온도편차를 이용한 난방 및 환기온도 설정 제어 알고리즘 개발 -일출 전후 3~4시간 평균온도의 편차를 이용한 환기 및 난방 온도 조절 모듈개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 맑은날과 흐린날의 광도, 환기창 설정과 시설내부 온도변화 패턴 모니터링 - 봄,여름,가을,겨울 비닐온실과 유리온실에서 외부온도와 실내온도 변화 패턴 모니터링 - 외부온도와 광도가 온실의 흐린날과 맑은날 시설내부 온도변화에 미치는 영향분석 - 봄,여름,가을,겨울 비닐온실과 유리온실에서 온도변화에 미치는 영향분석 - 유리온실의 일출전4시간 평균온

구분	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
			<p>도와 일출후4시간 평균온도의 차이를 모니터링.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 비닐온실과 유리온실에서 DIF 값을 그래프로 표시. - 조사된 온습도값을 환기 프로그램에 반영
	<p>[2-4] 파프리카 근권 환경 최적화를 위한 함수율 조절 장치 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 배지 함수율 조절개념 정립과 배지의 배액 특성 및 증량법과 TDR법의 수분함량 특성 분석 ○ 적산 일사량 제어시 환경조건 및 급배액 특성에 따른 생육단계별 증산량 추정 연구 ○ 파프리카 생육 정보 추정 및 생육 실험 	<ul style="list-style-type: none"> ·관수모델과 증산모델을 기반으로 한 배지의 함수율 조절 개념 확립 ·컴퓨터, 제어장치, TDR 센서, 재배장치를 구축 후, 건조 상태에서 200 mL 씩 급액할 경우 슬라브의 수평 5점에서의 TDR 값의 측정 및 유효수분함량과의 비교분석 ·배지의 수분함량에 따른 증량법과 TDR값의 비교를 위해, 완전 포화된 슬라브 배지를 로드셀과 TDR센서를 이용하여 동시에 측정하였음 ·상업용 온실(아르팜, 강진)에서 급액량, 배액량, 적산급액량, 적산배액량, 전체 배지의 무게 데이터에 근거한 작물의 증산량을 추정하였음 ·적산일사량 제어시 급액 및 배액 특성에 따른 증산량의 변화 분석 ·적산급액과 적산배액의 경향 분석을 통한 적산일사량 제어시 배액을 증가에 대한 원인 규명 및 적정 급액방식을 위한 방안 제시 ·급액시점 기준 (TDR값의 45%, 55%, 65%)에 따른 파프리카의 초장 및 엽면적 분석 ·급액시점에 따른 배지의 함수율 분포 및 과실의 중량(건물중, 생체중) 분석
	<p>[3-1] 파프리카 주요 병해충 방제 농약의 안전사용 및 잔류농약 클레임 해소 방안</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농약의 생산단계 잔류시험 ○ 난황유 제조방법 개선 ○ 농약의 약효지속효과 검증 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농가조사를 통하여 선발한 농약 4성분의 생물학적 반감기 산출 및 생산단계 농약 잔류특성 구명. ○ 난황유의 제조법을 개선하여 얼룩 및 악취 제거 후 흰가루병에 대한 치료 및 방제효과와 지속기간 시험 및 포장 적용 ○ 살균제 2성분의 역병, 시들음병, 잣빛곰팡이병에 대한 효과 및 살충제 1성분의 총채벌레 방제효과 확인 및 잔

구분	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
		<ul style="list-style-type: none"> ○ 초기 농약사용에 의한 병해충 방제 시험 ○ 살균제 ED₅₀ 검증 ○ 병해충 인터넷 진단키 개발 ○ 농약안전사용 교육홍보 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 류농약농도와의 연관성을 통한 최적 사용 방법 설정 ○ 네오니코티노이드 살충제 4성분을 큐브 및 파종 처리하여 약효, 약해 시험 및 담배가루이 발생정도 조사를 통한 초기방제의 효과 및 기능성 검증 ○ 발생 빈도가 높은 3개 병원균에 살균제 4성분을 선발하여 in vitro 시험을 통한 ED₅₀ 설정 및 농약의 약효 상관성 연구 ○ 재배시기별 주요발생 병해충 조사 및 사진자료 수집을 통한 Fact Sheet를 DB화. ○ 파프리카 자조회를 중심으로 생산농민을 대상으로 안전한 파프리카 생산을 위한 교육홍보
	<p>[3-2] 파프리카 작물의 천적(생물적)방제 프로그램 개발 및 천적에 사용가능한 선택적 농약 선발 안전사용 설정</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 총채벌레류 천적의 방사시기 규명 ○ 총채벌레류 천적의 안전농약 선발 및 포장안전성 규명 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 꽃노랑총채벌레 발생 수준에 따라 지중헤이리응애와 미끌애노린재 방사 후 밀도억제효과 기준 설정 ○ 오이이리응애, 지중헤이리응애, 미끌애노린재의 급성독성 및 잔효독성 검증을 통한 농약선발 및 선발 농약을 이용한 leaf-disk 실험 및 foliar spray 실험을 통한 field 안전성 검증

다. 3차년도

구분	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
3차 년도 (2009)	[1-1] 수출용 및 국내보급용 파프 리카 품종개발	○ 세대진전(년1회 이상) ○ 계통선발(200계통) ○ 약배양 순계육성(100계통) ○ 교배조합 작성 및 평가 (20조합)	- 세대진전 : 2회 - 계통선발 : 302계통 - 순계육성 : 323계통 - 교배조합 작성 : 34조합
	[1-2] 중국 종자 수출용 토경재배 용 품종 개발	○태국 세대진전 ○태국 F1 조합작성 ○안성 조합 조사와 선발 ○안성 계통 조사와 선발 ○안성 F1 조합 작성 ○중국 하우스 예비 F1 조합 선발 시험	○특성 파악을 위한 정밀한 재배, 선발 개체의 종자 확보 ○계획된 조합 33개에 대한 충실한 종자 확보 ○공시된 조합에 대한 특성 조사 및 선발 ○특성 파악을 위한 정밀한 재배, 선발된 개체의 종자 확보 ○계획된 조합 38개에 대한 충실한 종자 확보 ○특성 파악을 위한 정밀한 재배, 공시된 조합에 대한 특성 조사 및 선발
	[1-3] 응성불임 을 이용한 파프리카 F ₁ 종자 생산 체계 확립	○ 파프리카 시판 F ₁ 품종에 존재하는 응성불임 유전인자 분석 ○ 파프리카의 응성불임성과 연관된 분자마커 개발 ○ MAS를 통한 파프리카 응성 불임 계통 육성 ○ 파프리카 CGMS system 확립	- Allelism test를 통한 서로 다른 파프리카 GMS에 대한 유전자 분석 - 고추 유전자 지도상에서 <i>ms_p</i> mapping 및 이를 이용한 새로운 <i>ms_p</i> 연관 마커 개발 - 선발된 모계(hetero) 후보 개체 의 고정화 및 <i>ms_p</i> 연관 마커를 이용한 모계(hetero) 후보 선발 - 파프리카 및 미니파프리카 CGMS A, B line 육성 - 파프리카 및 미니파프리카 CGMS 회복친 육성
	[1-4] 분자유종 기술을 이용한 복 합 바이러스 내병	· PMMoV 분자표지 개발 · CMV, Potyvirus 복합 저항 성 계통 선발	· <i>L⁴</i> 대립유전자 특이적 선발이 가능하고, 또한 <i>L⁴</i> 로부터 가장 유 전적 거리가 가까운 새로운 PMMoV 분자표지를 개발

구분	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
	성 파프리카 계통 육성	· 분자표지를 이용한 계통 선별	· CMV, Potyvirus 저항성 분자표지로 선별한 뒤, 원예적 형질이 우수한 계통을 선별 · PMMoV, TSWV 분자표지를 육성 계통의 병 저항성을 검정함
	[2-1] 네덜란드와 우리나라의 생산성 차이 원인 극복 기술 개발	○ 생산량 차이의 인과관계 분석을 통한 계절별 파프리카의 건물 함량 차이 원인 구명 ○ 네덜란드와 우리나라의 시설 내부의 환경조절 및 근권 환경조절의 차이점 비교 분석 ○ 파프리카의 각 기관별 동화산물 분배 모델을 이용한 생산량 예측 프로그램 개발	○ 네덜란드와 우리나라의 재배기간 동안 건물생산량 및 기관별 건물분배율, 건물함량 차이 비교 분석 ○ 네덜란드와 우리나라의 정식 후 시설내부 환경조절 차이점 비교 분석 - 일출 전후 온도변화 - 일몰 전후 온도변화 - 주야간 온도 편차 변화 ○ 근권부 환경조절의 차이점 비교 분석 - 배지내 EC 관리 및 함수율 관리 ○ 파프리카 각 기관별 동화산물 분배 모델 개발 ○ 계절별 초기 엽면적 지수와 광수광량이 후기 착과 및 수량에 미치는 영향 비교 분석 ○ 국내 파프리카 재배의 계절적 환경변화에 따른 육묘기의 생장 패턴 비교 분석
	[2-2] 파프리카의 시설별 지상부 최적 생육환경 조건 개발	○ 온실 내·외부기상요인의 변화에 따른 파프리카 생장량의 변화 모형 구명 ○ 온실의 현대화에 따른 내부 환경 변화 및 파프리카 생육 변화	○ 온실 외부 광량에 따른 플라스틱 필름 및 유리 온실 간 내부 환경 변화 비교 분석 ○ 온실 외부 광량에 의한 내부 환경 변화에 따른 파프리카 생육 차이 비교 분석 ○ 온실 내부 온실의 측고 개량에 따른 주요 내부 환경 요인 변화와 이에 따른 파프리카 생육 및 생산성 차이 분석
	[2-3] 우리나라 환경에 적합한 온실 환경제어 시스템 및 프로그램 개발	- 일사량, 습도량, 천창의 개폐 정도에 따른 적정 CO ₂ 공급 프로그램 연구 - PID제어방법 난방수 온도 제어에 활용 - 비닐온실용 감우센서 개발	- 일사량이 낮은 날과 높은 날의 광도 차이 모니터링 - 최저 실내습도에 따른 기공의 개폐 여부 조사 분석 - 최적의 광합성 광도 및 CO ₂ 량 조사 - 난방설정 및 난방수 온도와외 피드백 제어 개념 정립 - 외부온도에 비례한 3Way밸브 적정 개폐 시간 패턴 변화 모니터링

구분	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
			터링 - 3Way 개폐 단계 임의 조정 프로그램에 반영 - 감우센서 간격에 따른 적정 감우 민감도 반영 - 감지판의 크기에 따른 감우 감지 능력 측정 - 비관후의 감지판의 습기 제거를 위한 적정 히터 용량 적용
	[2-4] 파프리카 근권 환경을 최적화할 위한 함수율 조절 장치 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 생육환경 정보를 이용한 관수 시스템, 배지 함수율 및 증산량 추정 모듈 개발 ○ 관수 제어 모듈을 이용하여 중량 변화 측정을 통한 식물체의 증산량 추정 ○ 생육환경 변화와 생육단계에 따른 관수량 추정 	<ul style="list-style-type: none"> ·컴퓨터, 제어장치, TDR센서, 로드셀을 이용하여 관수에 따른 수분의 이동 상태를 추정 ·일사량 측정, 컴퓨터 프로그래밍을 이용한 관수제어 장치 개발 ·프로그램을 이용하여 관수주기, 관수량 조절을 통한 관수강도 결정 ·급,배액량의 무게, 배지와 식물체와의 무게변화의 정밀 측정을 통한 증산량 추정 ·누적일사량의 증가에 따른 증산량의 변화량 분석 ·고온기 일별 누적일사량과 누적증산량과의 관계변화 분석 ·누적일사량, 엽면적, 배지함수율 데이터를 분석한 관수량 결정방법 구명 ·누적일사량, 엽면적지수, 배지함수율과 증산량과의 관계분석 ·관수주기, 관수량에 따른 배액량 분석을 통한 관수량 추정
	[3-1] 파프리카 주요 병해충 방제 농약의 안전사용 및 잔류농약 클레임 해소 방안	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농약의 생산단계 잔류시험 ○ 농약 계절별 잔류 시험 ○ 천적사용과 병행한 난황유 사용 방제프로그램 개발 ○ 농약의 약효지속효과 검증 ○ 초기 농약사용에 의한 병해충 방제 시험 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농가조사를 통하여 선발한 농약 4성분 6품목의 생물학적 반감기 산출 및 생산단계 농약 잔류특성 구명. ○ 살균제 4성분 6품목의 여름철, 겨울철 잔류특성 구명. ○ 난황유 사용 시 천적의 활동을 조사하여 병행 가능한 방제프로그램 개발. ○ 살균제 4성분 6품목의 역병, 시들음병, 탄저병, 잿빛곰팡이병의 방제효과, 살충제 4성분 6품목의 진딧물에 대한 방제효과 시험 및 잔류농약농도 및 생물학적 반감기 산출을 통한 최적사용 방법 설정. ○ 플러그묘에서 큐브로 정식 시에 네오

구분	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
		<ul style="list-style-type: none"> ○ 병해충 인터넷 진단 및 농약정보 체계 개발 및 보급 ○ 농약안전사용 교육홍보 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 니코티노이드 살충제 2성분 처리 후 약효 및 잔류성을 구명하여 초기방제 안정성 검증. ○ DB화한 Fact Sheet를 인터넷, CD, 출판물을 통한 보급 ○ 농업기술원 교육과정을 통한 생산농민을 대상으로 안전한 파프리카 생산을 위한 교육홍보
	<p>[3-2] 파프리카 작물의 천적(생물적)방제 프로그램 개발 및 천적에 사용가능한 선택적 농약 선발 안전사용 설정</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 진딧물류 천적의 방사시기 규명 ○ 진딧물류 천적의 안전농약 선발 및 포장안전성 규명 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 복숭아혹진딧물(목화진딧물) 발생 수준에 따라 벵거플랜트, 콜레마니진디별, 호라폴 잠자리 방사 후 밀도억제 효과 기준 설정 ○ 콜레마니진디별, 진디혹파리,의 급성독성 및 잔효독성 검증을 통한 농약선발 및 선발 농약을 이용한 leaf-disk 실험 및 foliar spray 실험을 통한 field 안전성 검증

라. 4차년도

구분	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
4차 년도 (2010)	[1-1] 수출용 및 국내보급용 파프리카 품종개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 세대진전(년1회 이상) ○ 계통선발(200계통) ○ 약배양 순계육성(100계통) ○ 교배조합 작성 및 평가(30조합) 	<ul style="list-style-type: none"> - 세대진전 : 2회 - 계통선발 : 제1기작(207계통), 제2기작(177계통) - 순계육성 : 선발(215계통), 배상체(1,510개) - 교배조합 작성 : 제1기작(168조합), 제2기작(128조합) - 3개 품종등록
	[1-2] 중국 종자 수출용 토경재배용 품종 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○태국 세대진전 ○태국 F1 조합작성 ○한국 조합 조사와 선발 ○태국 우기 계통 조사와 선발 ○태국 F1 시교용 조합 증식 ○중국 하우스 F1 조합 선발 시험 	<ul style="list-style-type: none"> ○특성 파악을 위한 정밀한 재배, 선발 개체의 종자 확보 ○계획된 조합 28개에 대한 충실한 종자 확보하고 추가 20개 조합은 시교용으로 증식중에 있음 ○공시된 조합에 대한 특성 조사 및 선발 ○특성 파악을 위한 정밀한 재배, 선발된 개체의 종자 확보 ○계획된 조합 20개에 대한 충실한 종자 확보 ○특성 파악을 위한 정밀한 재배, 공시된 조합에 대한 특성 조사 및 선발
	[1-4] 분자육종 기술을 이용한 복합 바이러스 내병성 파프리카 계통 육성	<ul style="list-style-type: none"> · CMV 및 potyvirus 저항성 계통 선발 · <i>in vivo</i> 바이러스 저항성 검정 · 분자마커를 이용한 계통 선발 지원 · TMV 저항성 대립유전자 특이적 분자마커 개발 	<ul style="list-style-type: none"> · CMV, Potyvirus 저항성이 고정되고, 원예적 형질이 우수한 계통을 선발 · 분자마커 유전형이 저항성으로 고정된 계통을 <i>in vivo</i> 병리 검정으로 저항성 유무를 확인 · TSWV, 세균성 점무늬병 분자마커로 타 세부과제에서 육성중인 계통의 유전형을 분석 · PMMoV 저항성 대립유전자를 구별할 수 있는 분자마커를 개발
	[2-1] 네덜란드와 우리나라의 생산성 차이 원인	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지상부 및 근권환경개선을 통한 선도농가 생산성 증대 ○ 네덜란드와 우리나라의 파프리카 과실의 잠재적 생산량 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 근권부 환경 변화에 따른 파프리카 생육량 조사 및 분석 ○ 초저녁온도 관리가 파프리카 생육 및 생산성에 미치는 영향 분석

구분	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
	극복 기술 개발	추정 모델 검증	○ 국내 파프리카 재배기간 동안 동적 건물생산량 조사를 위한 주기적인 파괴조사 및 결과 분석 ○ 재배기간동안의 지상부 및 근권 환경조사 분석
	[2-2] 파프리카의 시설별 지상부 최적 생육환경 조건 개발	○ DIF 관리 차별화에 의한 동화 산물의 최적 분배 모델 개발 ○ 습도 관리 차별화에 의한 동화 산물의 최적 분배 모델 개발	○ DIF 4수준 처리에 따른 파프리카 생육 특성 조사 ○ DIF 변화에 따른 엽면적 회귀 모형 개발 ○ 습도 3수준 처리에 따른 파프리카 생육 특성 조사 ○ 습도 변화에 따른 엽면적, 건물중 회귀 모형 개발
	[2-3] 우리나라 환경에 적합한 온실 환경제어 시스템 및 프로그램 개발	- 다양한 형태의 천창 개폐방법을 충족시키는 제어기 개발 - 광역화된 온실 면적의 균일한 온습도 분포 유지 - 다양한 광조건 요구를 충족시키기 위한 프로그램 개발	- 계도계를 활용하여 유리온실에서의 천창 열림정도 확인 - 홀소자를 활용하여 비닐온실에서의 천창 열림정도 확인 - 작동기기의 작동조건이 감온, 가온 각각의 조건에서 작동여부 모니터링 - 작동기기의 작동 조건이 가습, 제습 조건에서 작동여부 모니터링 - 광도, 광량에 의한 보광 조건 반영 - 하루를 6개의 주기로 나눠서 각각의 기기마다 광도와 광량이 다르게 입력 가능토록 반영
	[2-4] 파프리카 근권 환경 최적화를 위한 함수율 조절 장치 개발	○ 환경요인, 관수정보, 배지특성에 따른 배지 함수율 측정 및 작물의 증산량 추정 ○ 배지 함수율, 배액율과 증산량을 고려한 관수 제어 알고리즘 개발 ○ 환경정보, 배지특성, 생육단계를 고려한 관수, 배지 함수율 조절기술 개발 및 모듈 제작	·배지내 수분이동과 함수율과의 관계 분석 ·일사량 측정, 컴퓨터 프로그래밍을 이용한 관수강도 차이에 따른 작물의 생육비교 ·배지함수율과 배지내 EC와의 관계분석 ·배액율과 배지내 EC와의 관계 분석 ·관수제어 알고리즘 작성을 위한 환경변수, 제어항목 분류 ·누적일사량, 배액율기준 관수제어 flow chart 작성 ·농가 적용을 위한 상업용 관수조절 장치 제작
	[3-1] 파프리카 주요 병해충 방제 농약의 안전사용	○ 농약의 생산단계 잔류시험	○ 살균제 2성분 3품목, 살충제 8성분 12 품목의 생물학적 반감기 산출, 생산단계 농약 잔류특성 구명 및 생산단계

구분	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
	<p>및 잔류농약 클레 임 해소 방안</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농약의 약효지속효과 검증 ○ 온실 내 초기해충방제 프로그램 개발 ○ 살충제 근부캡슐처리를 통한 해충 방제능력 시험 ○ 천적에 안전한 농약 선발 ○ 농약안전사용 교육홍보 	<p>잔류허용기준 설정.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 살균제 2성분 3품목의 시들음병, 탄저병, 잿빛곰팡이병의 방제효과 시험 및 잔류농약농도 및 생물학적 반감기 산출을 통한 최적사용 방법 설정. ○ 살충제의 관주살포와 캡슐처리를 통하여 진딧물 발생정도를 조사, 잔류특성을 파악하여 초기해충 방제를 위한 최적 처리시기와 효과지속기간 파악. ○ 진딧물 방제를 위한 입제제형 농약의 근부캡슐처리 시험을 통한 최적방제 농도와 처리횟수 설정. ○ 칠리이리응애, 사막이리응애의 살충제 안전성 (급성독성 및 잔효독성) 검증을 통한 천적에 안전한 농약 선발 ○ 초기 해충방제의 중요성을 알리기 위한 농민 세미나 개최, 및 병해충 관리 책자 제작/보급, e-book 온라인 배포.

마. 5차년도

구분	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
5차 년도 (2011)	[1-1] 수출용 및 국내보급용 파프리카 품종개발	<ul style="list-style-type: none"> - 우수 형질을 가진 계통선발 - 세대진전(수경재배용) - 옹성불임마커 이용 - 내병성 (TMV, Potyvirus, TSWV) 마커이용 - F₄, F₅세대 선발계통 약배양 - F₁ 교배조합 작성 - 농가실증 시험 	<ul style="list-style-type: none"> - 100계통 - 2세대 - (주)고추와육종 개발 옹성불임마커 이용 - 1-3세부과제 개발 내병성 마커이용 - 100계통 이상 - 30조합 - 4개 품종등록
	[1-2] 중국 종자 수출용 토경재배용 품종 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 토경용 품종 2건 품종 출원 ○ 태국 세대 진전 ○ 한국 조합 조사 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 저온 착과력과 신장성이 우수한 적색계 하나-알1호, 주황색계 하나-오1호 품종 보호 출원 ○ 특성 파악을 위한 정밀한 재배, 선발 개체의 종자 확보 ○공시된 조합에 대한 특성 조사 및 선발
	[1-4] 분자유종 기술을 이용한 복합 바이러스 내병성 파프리카 계통 육성	<ul style="list-style-type: none"> · CMV 및 potyvirus 저항성 계통 선발 · TMV 저항성 유전형 검정 · 분자마커를 이용한 계통 선발 지원 	<ul style="list-style-type: none"> · CMV, Potyvirus 저항성이 고정되고, 원예적 형질이 우수한 계통을 선발 · TMV 분자표지로 계통의 유전형 검정 · TSWV, 세균성 점무늬병 분자표지로 타 세부과제에서 육성중인 계통의 유전형을 분석
	[2-1] 델란드와 우리나라의 생산성 차이 원인 극복 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○파프리카 생과중 예측을 위한 건물함량 모듈개발 ○파프리카의 각 기관별 동화산물 분배 모듈을 이용한 생산량 예측 프로그램 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 1-4년차 연구결과를 이용하여 각 기관별로 분배되는 동화산물의 분배패턴을 모듈화함 - 5년차 근권환경관리에 따른 건물 생산성 모듈 검증

구분	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
		○네덜란드와 한국의 파프리카 생산량차이를 시뮬레이션프로그램에 의한 주요 환경분석	- 외부광량, 온실의 투광율, 가상인공광원 사용시 건물생산량 및 잠재적 생산성 향상 방안 도출
	[2-3] 우리나라 환경에 적합한 온실 환경제어 시스템 및 프로그램 개발	-온실환경 제어센서 계측값과 작동기기의 개도값 모니터링 -공급양액의 EC, pH 변화 모니터링 -설정값 저장 프로그램 개발	-각 구역별 센서 계측값과 작동기기의 개도값을 통합하여 모니터링할 수 있는 데이터베이스 구축 -공급양액, 배액부에 EC, pH 센서를 설치하여 실시간 측정값을 센서링한 후 이를 온실환경제어기에 연동할 수 있도록 모니터링 모듈 개발 -사용자의 설정값 변경에 따른 이전데이터 비교를 위해 일별 데이터 저장 및 불러오기가 가능하도록 함
	[2-4] 파프리카 근권 환경 최적화를 위한 함수율 조절 장치 개발	○ 최적 관수제어 시스템 성능평가 ○ 환경변수를 고려한 최적 관수 제어 알고리즘 개발 ○ 최적 관수를 위한 상업용 관수 모듈 개발	·증산량 추정량과 측정량의 비교 분석 ·관수제어 기준적용에 따른 제어범위 확인 ·광도에 따른 증산효율 분석 ·광도의 보정에 따른 수분 이용효율 비교 분석 ·상업용 관수장치의 하드웨어 및 제어 소프트웨어 ·상업용 관수장치의 기능 ·상업용 관수제어 장치의 성능 검증
	[3-1] 파프리카 주요 병해충 방제 농약의 안전사용 및 잔류농약 클레임 해소 방안	○ 농약의 생산단계 잔류시험 ○ 농약의 약효지속효과 검증 ○ 살충제 근부캡슐처리 약효 시험 ○ 살충제 처리 방법별 잔류시험	○ 7일간격 처리 농약 3성분, 10일간격 처리농약 4성분의 1~2월, 4~5월 시기별 생물학적 반감기 산출, 생산단계 농약 잔류특성 구명 및 생산단계 잔류허용기준 설정. ○ 살균제 3성분의 탄저병, 잿빛곰팡이병의 방제효과 시험을 통한 약효지속기간 확인. ○ 네오니코티노이드 살충제의 근부캡슐처리를 통한 해충방제 및 천적에 대한 안전성 검증. ○ 네오니코티노이드 살충제 4성분의 캡슐처리, 관주처리, 엽면처리, 관행처리

구분	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
		<ul style="list-style-type: none"> ○ 살충제 근부캡슐처리 잔류시험 ○ 천적에 안전한 농약 선발 ○ 농약안전사용 교육홍보 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 방법별 잔류특성 및 잔류농도 구명. ○ 네오니코티노이드 살충제 5성분의 근부캡슐 처리 후 잎에서의 잔류특성 및 진딧물 에 대한 생물활성 검증. ○ 진디혹파리, 콜레마니진디벌, 칠리이리응애, 사막이리응애, 온실가루이좀벌, 황온좀벌, 유럽애꽃노린재의 살충제 안전성 (급성독성 및 잔효독성) 검증을 통한 천적에 안전한 농약 선발 ○ 파프리카 병해충 관리 책자 제작 및 보급

2. 평가의 착안점에 따른 목표달성도에 대한 평가

구분	평가의 착안점	평 가
<p>[1-1] 수출용 및 국내보급 용 파프리카 품종개발</p>	<p>[1차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 계통선발은 예상대로 이루어졌는가? ○ 세대진전은 연 1회 이상 이루어졌는가? ○ 내병성 및 응성불임성을 활용하여 계통선발 효율성을 높였는가? ○ 약배양을 이용하여 계획대로 순계를 육성하였는가? 	<p>[1차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 계통선발은 제1차 세대진전시 204계통, 제2차 세대진전시 241계통을 선발하여 목표치 매세대 100계통 이상의 선발을 하였음. ○ 세대진전은 1기작 ('07.8~' 07.12)과 2기작('08.2~' 08.7)으로 2회 진전시켰으며 목표치 1회 이상을 달성하였음. ○ 제1-3세부와 제1-4세부에서 개발한 분자마커를 계통선발에 활용하였음 ○ 약배양을 이용하여 170개체의 식물체를 획득하여 목표치 100개 이상을 초과하여 달성하였음.
	<p>[2차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 계통선발은 예상대로 이루어졌는가? ○ 세대진전은 년1회 이상 이루어졌는가? ○ 내병성 및 응성불임성 분자마커를 활용하여 계통선발 효율성을 높였는가? ○ 약배양을 이용하여 계획대로 순계를 육성하였는가? ○ F1 교배조합을 계획대로 작성하여 평가하였는가? 	<p>[2차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 계통선발은 제1차 142계통, 제2차 세대진전시 160계통을 선발하여 목표치 매세대 100계통 이상의 선발을 하였음. ○ 세대진전은 1기작 ('08.08~' 08.12)과 2기작 ('09.02~09.07)으로 2회 세대진전시켰으며 목표치 1회 이상을 달성하였음. ○ 제1-3세부와 제1-4세부에서 개발한 분자마커를 계통선발에 활용하였음 ○ 약배양을 이용하여 323개체의 식물체를 획득하여 목표치 100개이상을 초과하여 달성하였음. ○ 34개의 F1 교배조합을 작성하여 평가하였음.

구분	평가의 착안점	평 가
	<p>[3차년도]</p> <p>○ 계통선발은 예상대로 이루어졌는가?</p> <p>○ 세대진전은 년1회 이상 이루어졌는가?</p> <p>○ 내병성 및 응성불임성 분자마커를 활용하여 계통선발 효율성을 높였는가?</p> <p>○ 약배양을 이용하여 계획대로 순계를 육성하였는가?</p> <p>○ F₁ 교배조합을 계획대로 작성하여 평가하였는가?</p> <p>[4차년도]</p> <p>○ 계통선발은 예상대로 이루어졌는가?</p> <p>○ 세대진전은 년1회 이상 이루어졌는가?</p> <p>○ 내병성 및 응성불임성 분자마커를 활용하여 계통선발 효율성을 높였는가?</p>	<p>[3차년도]</p> <p>○ 계통선발은 제1차 142계통, 제2차 세대진전시 160계통을 선발하여 목표치 매세대 100계통 이상의 선발을 하였음.</p> <p>○ 세대진전은 1기작(‘08.08~’ 08.12)과 2기작(‘09.02~09.07)으로 2회 세대진전시켰으며 목표치 1회 이상을 달성하였음.</p> <p>○ 제1-3세부와 제1-4세부에서 개발한 분자마커를 계통선발에 활용하였음</p> <p>○ 약배양을 이용하여 323개체의 식물체를 획득하여 목표치 100개이상을 초과하여 달성하였음.</p> <p>○ 34개의 F₁ 교배조합을 작성하여 평가하였음.</p> <p>[4차년도]</p> <p>○ 계통선발은 제1차 207계통, 제2차 세대진전시 177계통을 선발하여 목표치 매세대 100계통 이상의 선발을 하였음.</p> <p>○ 세대진전은 1기작(‘10.08~’11.01)과 2기작(‘11.02~’11.08)으로 2회 세대진전시켰으며, 목표치 1회 이상을 달성하였음.</p> <p>○ 제1-3세부에서 개발한 GMS, TMV, Potyvirus, TSWV 분자마커를 계통선발에 활용하여 6,708개체를 확인 하였음.</p>

구분	평가의 착안점	평 가
	<p>○ 약배양을 이용하여 계획대로 순계를 육성하였는가?</p> <p>○ F₁ 교배조합을 계획대로 작성하여 평가하였는가?</p> <p>[5차년도]</p> <p>○ 계통선발은 예상대로 이루어졌는가?</p> <p>○ 세대진전은 연 1회 이상 이루어졌는가?</p> <p>○ 내병성 및 응성불임성을 활용하여 계통선발 효율성을 높였는가?</p> <p>○ 약배양을 이용하여 계획대로 순계를 육성하였는가?</p>	<p>○ 약배양을 이용하여 농업형질이 우수한 215 계통을 선발하였으며 현재('11.08) 1,510개의 배상체를 획득하여 목표치 100 계통을 초과하여 달성하였음.</p> <p>○ 제 1기작에 40조합, 제2기작에 128 조합 총 168개의 F₁ 교배조합을 작성하여 평가하였음.</p> <p>○ 조합능력이 뛰어난 20개 F₁조합을 선발하여 태국에서 농가실증시험을 위한 종자생산 중이며, 10월 중 시료가 준비되는대로 3개 품종을 국내용으로 등록할 예정임.</p> <p>[5차년도]</p> <p>○ 계통선발은 제1차 177계통, 제2차 세대진전 시 185계통을 선발하여 목표치 매세대 100계통 이상의 선발을 하였음.</p> <p>○ 세대진전은 1기작('11.08~'12.02)과 2기작('12.03~'12.08)으로 2회 세대진전 시켰으며, 목표치 1회 이상을 달성하였음.</p> <p>○ 제1-3세부에서 개발한 GMS, TMV, Potyvirus, TSWV 분자마커를 계통선발에 활용하여 735개체를 확인 하였음.</p> <p>○ 약배양을 이용하여 농업형질이 우수한 152 계통을 육성하였으며 추가로('12.10) 428개의 식물체를 획득하여 순화중에 있으며 목표치 428 계통을 월등히 초과하여 달성하였음.</p> <p>○ 제 1기작에 78조합, 제2기작에 145</p>

구분	평가의 착안점	평 가
	<p>○제 1세부과제에서 의뢰받은 분리용 조합에 대하여 건강하고 정확한 후대의 종자를 확보하였는가 ?</p> <p>○한국과 태국의 특성발현 차이의 원인 분석과 올바른 해석에 대한 정리가 얼마나 되었는가 ?</p> <p>[2차년도]</p> <p>○선발이 가능할 정도로 재배가 잘 되었는가 ?</p> <p>○저온에 강한 계통이 10개 이상 선발 되었는가 ?</p>	<p>○제 1작형 임성 검정을 위한 과종을 할 시기는 우기가 시작되는 시점인 관계로, 시험지를 평지인 KhonKaen에서 고랭지인 ChiangMai인근으로 옮겨 수행하였다.시험의 결과는 만족스러웠고, 우기 임성 감별 시험지로는 고랭지를 이용하는 것이 좋을 것으로 판단되었다.8월 25일 1차 선발된 개체를 과종하였으며, 10월 초순에 임성 감별이 가능할 것으로 사료된다.</p> <p>○제 1 작형에서는 제 1 세부과제에서 의뢰받은 TSWV 저항성 도입을 위한 조합을 작성하여, 제 1 세부과제로 넘겼으며, 제 2 작형에서는 제 3 세부과제에서 의뢰받은 MS 마커 개발을 위한 조합을 작성하여, 9월초 수확예정에 있다. 작형이나 시기에 관계없이 다른 세부과제에서 의뢰받은 조합을 작성할 수 있을 것으로 판단되어, 향후 육종 계획 수립에 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다</p> <p>○ 온대지방과 열대지방의 특성 발현 차이에 대한 “감” 잡기가 아주 중요한 상태이다</p> <p>이를 위하여 제 2작형 시험이 완료된 후 제 1작형 팀과 심도 있는 토론이 필요 할 것으로 사료됨</p> <p>○태국 건기 토경 시험은 선발에 지장이 없을 정도로 무난하게 잘 진행이 되었다. 한국의 토경 시험은 선발에 지장이 없을 정도로 현재 시험이 진행중에 있다</p>

구분	평가의 착안점	평 가
	<p>○초세가 강한 계통이 20개 이상 선발 되었는가 ?</p> <p>○과형별, 과색별로 다양한 변이가 선발 되었는가 ?</p> <p>○3차년도 F1조합 시험을 위한 교배조합은 10개 이상 작성 되었는가 ?</p> <p>[3차년도]</p> <p>○저온에 강한 계통이 10개 이상 선발 되었는가 ?</p> <p>○초세가 강한 계통이 20개 이상 선발 되었는가 ?</p> <p>○과형별 과색별로 다양한 변이가 선발 되었는가 ?</p> <p>○4차년도 F1조합 시험을 위한 F1 교배조합이 30 개이상 작성 되었는가 ?</p>	<p>○진주 2월 과중 8월 선발 시험 (제 1-1과제) 결과 저온에 강한 계통은 충분히 선발되었으며 그중에서 32계통을 토경용으로 선발하였다. 선발된 32계통은 태국 건기 과중에 포함시켜 특성을 파악하고 조합을 작성하고자 한다.</p> <p>○태국 9월 과중 2월 선발 시험 결과 초세가 강한 계통이 30여 계통 선발되어 그들 계통을 이용한 F1조합을 작성 중에 있다.</p> <p>○과형별 과색별 다양한 형태의 개체가 선발되었다.</p> <p>○2008년도 test cross 조합 시험 결과를 참고로 2009년 조합 선발 시험용 F1 조합을 24개 작성 중에 있으며, 9월중 수확 예정이다.</p> <p>○태국 건기 토경 시험은 선발에 지장이 없을 정도로 무난하게 잘 진행이 되었다. 한국의 토경 시험은 선발에 지장이 없을 정도로 순조롭게 진행중에 있다. 마산 시험에서 저온 착과가 강한 계통을 다수 선발하였고, 안성 시험에서도 또 다른 저온 착과가 강한 계통을 선발하는데 어려움은 없을 것으로 사료된다.</p> <p>○태국 시험에서 초세가 강한 계통이 20개 이상 선발되었으며 현재 안성 시험에서 다시 선발 중에 있다. 마산 선발 시험(제 1-1과제)에서 초세가 강한 계통을 20개 이상 선발하였으며, 이들 계통을 태국 건기에 과중하여 새로운 조합을 작성하고자 한다.</p>

구분	평가의 착안점	평 가
	<p>○성능이 좋은 5조합이 1차로 선발 되었는가 ?</p> <p>[4차년도]</p> <p>○저온에 강한 계통이 10개 이상 선발 되었는가 ?</p> <p>○초세가 강한 계통이 20개 이상 선발 되었는가 ?</p>	<p>○과형별 과색별로 다양한 계통을 선발 하였으며, 특히 붉은색 계통을 집중적으로 선발하였다. 아직 보유 계통의 색깔이 노란색으로 약간 편중된 경향이 있어 향후에도 붉은색 선발에 더욱 노력을 해야 할 것으로 사료된다.</p> <p>○09-10년도 태국에서 조합 33개가 작성되어 안성에서 시험을 마쳤으며 안성에서 새로운 조합 38개가 작성 중에 있다. 안성 선발 결과 새로운 43조합을 작성하여 다음 작기에 교배 예정 중에 있다 (빨간 조합 19, 노란조합 10, 오렌지조합 14개) 이들 조합을 태국에 공시하여 성능을 검정할 계획이다.</p> <p>○금년도 1차 F1 조합 선발 시험을 수행한 결과 빨간색 4조합, 노란색 2조합, 오렌지색 1조합이 선발되었다.</p> <p>○태국 건기 토경 시험은 초기 잦은 강우로 인하여 나방의 유충에 의한 잎의 피해가 많아 초기 생육이 아주 불량하였으나 다행히 후기에는 초세가 많이 회복되어 개체 선발에 지장이 없을 정도로 무난하게 잘 진행이 되었다. 한국의 토경 시험도 정식초기의 저온과 이후 계속된 강우로 초기착과성의 선발에 아주 어려운 점이 많이 있으나, 현재 8월 말에 선발을 할 예정이다. 현재 공시된 조합의 저온 착과성을 충분히 검토한 후, 이를 통하여 양친의 평가를 할 예정이다.</p> <p>○태국 시험에서 초세가 강한 계통이 20개 이상 선발되었으며 현재 태국에서 후기 시험이 진행 중에 있다. 후기 시험을 통하여 고온 다습한 환경에서 과</p>

구분	평가의 착안점	평 가
	<p>○과형별 과색별로 다양한 변이가 선발되었는가 ?</p> <p>○5차년도 F1조합 시험을 위한 F1 교배 조합이 30 개 이상 작성 되었는가 ?</p> <p>○성능이 좋은 5조합이 1차로 선발 되었는가 ?</p> <p>[5차년도]</p> <p>○저온 및 초세가 강한 계통이 10개 이상 선발 되었는가 ?</p> <p>○저온에 강하고 착과력이 뛰어난 토경용 품종을 출원하였는가?</p>	<p>의 착과와 비대가 좋은 계통을 선발하고자 한다. 현재 생육이 진행 중에 있으며 10월 초에 선발을 진행하고 다시 태국에서 파종하여 세대를 진전시킬 계획이다</p> <p>○전체적으로 과의 크기가 작은 경향이 있어 대과를 중점적으로 선발 하였으며, 붉은색 계통을 중점적으로 선발하여 다양한 조합이 가능할 정도로 많은 계통을 확보하였다. 노란색과는 붉은색과에 비해 상대적으로 좋은 계통이 많은 편이다. 과색으로 보면 오렌지색이 가장 좋은 계통이 많으나 중국에는 오렌지색 시장이 극히 제한적이라 많은 계통을 도태시켰다.</p> <p>○10-11년도 태국에서 조합 28개가 작성되어 안성에서 시험 중에 있으며 8월말에 선발 예정이다. 차년도 시교용으로 사용할 조합 20개가 현재 태국에서 종자 생산이 진행 중에 있다. 이들 조합을 5차년도에 중국 현지에 대량으로 공시하여 성능을 검정하고 선발된 조합에 대해서 품종 보호 신청을 할 계획이다.</p> <p>○금년도 1차 F1 조합 선발 시험을 수행한 결과 빨간색 5조합, 노란색 2조합이 선발되었다. 이들 조합은 태국에서 시교용으로 증식중에 있다.</p> <p>○ 금년도 시험에서 토경용에 적합한 고정된 다수의 계통을 확보할 수 있었으며 추후 토경용 파프리카 육종에 적극 활용할 방침이다.</p>

구분	평가의 착안점	평 가
		○ 저온에 강하고 착과력이 뛰어난 적색계 하나-알1호와 하나-오1호를 품종보호출원하였다.
[1-3] 융성불임을 이용한 파프리카 F ₁ 종자 생산 체계 확립	<p>[1차년도]</p> <p>○ ms_1, ms_3, ms_k 이 외에 새로운 GMS 발굴이 성공적으로 수행되었는가?</p> <p>○ 파프리카 GMS에 연관된 마커를 찾았는가?</p> <p>○ 파프리카 F₂ 분리집단에서 마커를 이용하여 모계, 부계 후보를 선발할 수 있었는가?</p> <p>[2차년도]</p> <p>○ 몇 개의 파프리카 F₁ 품종을 조사하였는가?</p> <p>○ ms_1, ms_3, ms_k 이 외에 새로운 GMS resource가 있었는가?</p>	<p>- 이미 유전인자형 알고 있는 융성불임 계통에 파프리카 F₁ 교잡을 수행하였고, 11월 교잡 종자를 채종하면 후대의 융성불임 유전인자 분석이 완료될 것이다. 또한 기존의 융성불임과는 다른 새로운 인자에 의해 야기되는 파프리카 융성불임 개체 선발을 완료하였다.</p> <p>- BSA-AFLP법을 이용하여 융성불임과 연관된 분자마커를 성공적으로 개발하였으며, PCR용 공우성 마커로 전환 후 다양한 분리집단에서 적용성을 조사하였다.</p> <p>- 개발된 PCR 분자마커를 이용하여 품종별 hetero(모계 후보) 및 homo(부계 후보)형 개체 후보군을 성공적으로 선발하였다.</p> <p>- 이미 유전인자형을 알고 있는 융성불임 계통과 우리나라에서 재배되고 있는 대표적인 파프리카 F₁ 10품종 간의 교잡을 통해 6 품종에서 융성불임 유전인자 분석을 완료하였다. 또한 종자회사별 파프리카 시판 F₁ 품종간의 ms allelism test를 수행하여 회사별로 어떤 융성불임 인자를 종자 생산에 이용하는지 추정이 가능하였는데 현재까지 파프리카 F₁ 종자생산에 사용되고 있는 GMS 유전자는 적어도 3개 이상인 것으로 판단된다.</p> <p>- 1차년도에 개발 완료한 파프리카 융성불임 유전자(ms_p)와 서로 다른 새로운 융성불임 유전자를 선발하고 분리집단을 육성하였다. BSA-AFLP법을 이용하여 융성불임과 가임 형질에 각각 연관된</p>

구분	평가의 착안점	평 가
	<p>○ 파프리카 GMS에 연관된 마커를 몇 개 찾았는가? 각 마커의 효용성은 높은가?</p> <p>○ 몇 개의 후보친들이 선발되었나?</p> <p>[3차년도]</p> <p>○ 파프리카 시판 F₁ 품종에 몇 개의 서로 다른 GMS 유전자가 존재하는지 확인하였는가?</p> <p>○ 파프리카 GMS에 연관된 새로운 마커를 몇 개 찾았는가?</p> <p>○ 개발된 마커를 이용하여 GMS 인자형을 구분할 수 있는가?</p> <p>○ 개발된 마커를 이용하여 모계(hetero) 후보를 선발하였나?</p> <p>○ 여교잡 및 마커를 이용하여 일반고추로부터 CGMS 후보 계통을 선발하였는가?</p>	<p>후보 마커를 성공적으로 개발하였고 현재 PCR용 공우성 마커로 전환하여 적용성을 조사였다.</p> <p>- 현재까지 개발된 파프리카 GMS 연관 마커는 ms_I과 ms_p이며 이들 마커는 실제 육종현장에 이용하는데 큰 문제가 없는 것으로 판단되었다.</p> <p>- 1차년에 개발 완료한 ms_p 마커를 사용하여 86개의 hetero(모계 후보) 및 43개 homo(부계 후보)형 개체 후보군을 성공적으로 선발하였다.</p> <p>- 이미 유전인자형을 알고 있는 옹성불임 계통과 우리나라에서 재배되고 있는 대표적인 파프리카 F₁ 10품종간의 교잡을 통해 옹성불임 유전인자 분석을 완료하였다. 또한 종자회사별 파프리카 시판 F₁ 품종간의 ms allelism test를 수행하여 회사별로 어떤 옹성불임 인자를 종자 생산에 이용하는지 추정이 가능하였는데 현재까지 파프리카 F₁ 종자생산에 사용되고 있는 GMS 유전자는 2개로 판단된다.</p> <p>- 고추 유전자 지도상에서 ms_p 유전자를 mapping하고 이를 이용해 새로운 ms_p 연관 마커 개발을 수행하여 ms_p에 연관된 새로운 마커 2개를 찾아냈고 이를 이용하여 현재 육성 중인 파프리카 계통에 테스트한 결과 GMS 인자형을 구분할 수 있었다.</p> <p>- 올해 총 1,456개체를 개발된 3개의 마커를 이용하여 분석한 결과, 다양한 품종 후대에서 분리된 60여개의 모계 후보를 선발할 수 있었다.</p> <p>- 파프리카 CGMS 유지 계통(B계통)을 육성하기 위해서 안정하게 옹성불임을 유지할 수 있는 일본 피망에 다</p>

구분	평가의 착안점	평 가
		<p>양한 파프리카를 교배(8조합)하여 F₂ 분리세대를 만든 후, 마커를 이용하여 <i>rfrf</i> 유전자형을 선발하였다. 그리고 파프리카 CGMS 회복 계통(C계통)을 육성하기 위해서 9조합의 F₂ 세대를 육성하였고, 18조합의 BC₁F₃ 세대 또한 육성하였다.</p>
<p>[1-4] 분자유종 기술을 이용한 복합 바이러스 내병성 파프리카 계통육성</p>	<p>[1차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> · TMV 분자표지 파프리카 적용 검정 · CMV/potyvirus 교배 조합 작성 및 후대육성 · Potyvirus 저항성 계통 확보 유무 · TMV 및 TSWV 검정 시료수 <p>[2차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> · CMV 저항성(<i>cmr2</i>) 계통 육성 · 세균성 점무늬병 저항성 분자표지의 적용 · CMV/potyvirus 교배 조합 작성 및 후대육성 · TMV 및 TSWV 검정 시료수 	<p>[1차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> · 기존의 매운고추 TMV 연관표지를 활용하여 파프리카에 활용할 수 있는 공우성표지를 개발하였으므로 성과가 우수함. · CMV 저항성 단고추 계통과 Potyvirus 저항성 계통을 교배하여 성공적으로 교배되었음을 분자표지로 확인하였으므로 성과가 우수함. · 분자표지를 이용하여 Potyvirus 파프리카 품종을 선발하여 향후 교배조합 작성에 활용할 수 있도록 하였음. · TMV 검정을 위해 교배 후대 500점 및 TMV 후대 500 점을 선발하여 제 1 세부과제에 성공적으로 제공함. <p>[2차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> · CMV 저항성 유전자(<i>cmr2</i>)를 지닌 LAM32와 원예적 형질이 우수한 5가지 상용 품종을 성공적으로 교배하여 채종함. · 매운 고추에서 개발된 세균성 점무늬병 분자표지를 파프리카에 활용할 수 있는 공우성 분자 표지와 우성 분자 표지를 적용함 · CMV/potyvirus 저항성 계통을 분자표지로 선발하고, 원예적 형질이 우수한 파프리카 품종과 교배하여 다음 세대로 진전시킴. · TMV 검정을 위해 교배 후대 344점 및 TSWV 저항성 계통 후대 1,450 점을 선발하여 제 1 세부과제에 성공적으로 제공함.

구분	평가의 착안점	평 가
	<p>[3차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> · PMMoV 분자표지 개발 · CMV/potyvirus 저항성 선발 및 고정 · 타 세부과제 PMMoV/TSWV 저항성 검정 지원수 <p>[4차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> · CMV와 Potyvirus 저항성 계통 육성 · 고정된 계통의 <i>in vivo</i> 병리 검정 · 타 세부과제 분자마커 선발 지원 · PMMoV 저항성 대립유전자 특이적인 분자마커 개발 <p>[5차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> · CMV 및 potyvirus 저항성 계통 선발 · TMV 저항성 유전형 검정 	<p>[3차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> · 고추의 PMMoV P0~P3 pathotype 에 모두 저항성 L^4 대립유전자를 특이적으로 선발할 수 있는 분자표지를 개발하여 PMMoV 저항성 육종에 큰 기여를 할 수 있음 · 유묘기 때 분자표지로 저항성 개체를 1차적으로 선발함으로써 육종의 효율성을 제고했고, 과실의 원예적 형질이 우수한 계통만을 선발하여 다음 세대로 진전시킴 · 타 세부과제의 선발의 효율성을 제고하기 위해 27계통의 후대 집단 1400여 개체의 TSWV 저항성을 분자표지로 검정했고, 55계통의 후대 집단 700여 개체의 PMMoV 저항성을 검정함 <p>[4차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> · 분자마커로 저항성이 고정된 품질이 우수한 계통을 성공적으로 선발하였고, 태국 셔틀 육종 선발과 국내 육종 선발로 1년에 2세대를 진전함으로써 육종 연한을 줄이고 육종의 효율성을 제고함 · 분자마커로 선발한 계통의 <i>in vivo</i> 병리 검정을 통해 각 계통의 병 저항성의 고정 여부를 다시 한 번 확인함. 14개의 CMV/Potyvirus 저항성 계통, 35개의 TSWV 저항성 계통이 실제로 병 저항성을 나타냄을 증명함 · 타 세부과제의 선발 효율성을 제고하기 위해 TSWV 저항성 계통의 후대 집단 900여 개체와 세균성 점무늬병 저항성 계통의 후대 집단 1300여 개체의 유전형을 성공적으로 분석함 · 이병성 대립유전자인 L^0와 저항성 대립유전자인 L^1, L^2, L^3, L^4를 구별할 수 있는 분자마커를 개발하여 PMMoV 저항성 육종에 큰 기여를 함 <p>[5차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> · 태국 셔틀 육종 선발과 국내 육종 선발을 통해 최종적으로 4개의 계통을 선발했고, 이 중 2개의 계통을 품종보

구분	평가의 착안점	평 가
	<ul style="list-style-type: none"> · 분자마커를 이용한 계통 선발 지원 	<p>호출원 신청함.</p> <ul style="list-style-type: none"> · 파프리카 690계통에서 5개체씩 총 3,450개체의 TMV 저항성 유전형을 성공적으로 분석함. · 타 세부과제의 TSWV, 세균성 점무늬병, TMV 저항성 유전형을 분석하여 선발에 활용할 수 있도록 정보를 제공함.
<p>[1-5] 선발계통과 신품종의 특성평가 및 병저항성 검정</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 1년 2작기에 걸친 우수계통 선발을 위한 세대진전과 기존품종에 대한 특성 검정 - 주요바이러스 저항성 검정 - 품종등록을 위한 계통 고정 	<ul style="list-style-type: none"> - F3 ~ F5세대까지 세대진전과 우수계통 선발이 순조롭게 진행되었고 기존품종 특성 검정은 품종비교를 위한 자료로 활용 가능 - PeMV에 대한 F1 품종 저항성 검정이 수행되었고 TSWV, CMV 등 주요바이러스에 대한 저항성 검정이 요구되며, 현재 농가에 발생하는 바이러스 조사가 필요함 - 1차년도에는 F5세대까지 진행되어 2년차에는 교배조합에 대한 특성 검정이 시작될 것으로 판단되어 순조로운 결과가 예상됨
<p>[2-1] 네덜란드와 우리나라의 생산성 차이 원인 극복 기술 개발</p>	<p>[1차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○파프리카 수량차이의 원인 구명 ○건물분배 및 건물함량의 차이 원인 구명 ○건물분배 함수 개발 <p>[2차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○파프리카 육묘기 근권부 환경(EC, 절곡)에 따른 생장패턴 비교 분석 ○파프리카 육묘기 지상부 재식밀도에 따른 생장패턴 비교 분석 ○가식 시기별 건물생산 패턴 비교 분석 ○정식 후 파프리카 재배기간 동안 NL과 	<ul style="list-style-type: none"> ○육묘기 근권부 EC 수준은 2.0 ~ 3.0 수준이 가장 적합하였음. ○재식밀도가 증가 할수록 개체별 건물생산량은 감소하였음. ○9월 중순에 가식한 육묘의 건물생산량이 가장 높았고, 계절별로 상이한 패턴을 가지고 있어 연구를 조금 더 진행해야 함.

구분	평가의 착안점	평 가
	<p>KOR 농가의 총 건물생산량 및 건물분배 패턴 비교 분석</p> <p>○정식 후 파프리카 재배기간 동안 NL과 KOR의 온실환경 비교 분석</p> <p>○NL과 KOR 농가의 기간별 과실생산 패턴 비교 분석</p> <p>○재식밀도(엽면적 조절)에 따른 과실 착과 및 수량과 수광량 비교 분석</p> <p>○정식초기 엽면적 조절(적엽)에 따른 착과 및 수량과 수광량 비교 분석</p> <p>○전체 파프리카 수확기간 동안 수확과실의 건물함량 분석</p> <p>○과실의 기관별 동화산물 분배 패턴 비교 분석</p> <p>[3차년도]</p> <p>○ 네덜란드와 우리나라의 재배기간 동안 건물생산량 및 기관별 건물분배율, 건물함량 차이 비교 분석</p> <p>○ 네덜란드와 우리나라의 정식 후 시설 내부 환경조절 차이점 비교 분석</p>	<p>○NL과 KOR의 주별 영양성장량은 비슷한 경향을 나타내었으나 착과량 및 수량에서 NL이 우리나라에 비해 50%가 높았음.</p> <p>○NL과 KOR의 온실환경은 광량은 KOR이 20% 정도 높았으나, 시설내부 환경관리는 NL에 비하여 매우 불균일하였음</p> <p>○NL과 KOR의 기간별 과실생산 패턴은 NL의 경우 지속적이었지만 KOR의 경우 수확주기가 매우 불균일하였음</p> <p>○재식밀도가 낮아질수록 줄기당 착과 및 수확은 증가하였고, 수광량은 95% 이상으로 큰 차이는 없었음.</p> <p>○8월 정식(하계작형) 파프리카의 적엽에 따른 수량 패턴은 차이가 없었음</p> <p>○파프리카 과실의 건물함량은 1월부터 증가하여 첫 수확기인 11월-12월에 가장 높은 건물함량을 나타냈음. 평균 건물함량은 8.0(노랑)-8.5(빨강)%이었으나 건물함량의 편차가 심함.</p> <p>○과육, 종자, 태좌, 과경 순서로 과실 내 건물 분배가 되었음.</p> <p>○ 네덜란드 파프리카 재배기간동안 동적 건물생산량의 조사는 미흡하였으나 양국에서 재배된 파프리카의 각 기관별 건물분배율과 건물함량의 일반적인 모형을 구현하였음</p> <p>○ 한국과 네덜란드의 파프리카 재배 온실의 시설내외부 기상환경자료 분석하였으며, 생물환경조절학회지에 논문 인쇄되었음</p>

구분	평가의 착안점	평 가
	<p>○ 근권부 환경조절의 차이점 비교 분석 -배지내 EC 관리 및 함수율 관리</p> <p>○ 파프리카 각 기관별 동화산물 분배 모델 개발</p> <p>○ 계절별 초기 엽면적 지수와 광 수광량이 후기 착과 및 수량에 미치는 영향 비교 분석</p> <p>○ 국내 파프리카 재배의 계절적 환경변화에 따른 육묘기의 성장 패턴 비교 분석</p> <p>[4차년도]</p> <p>○ 지상부의 온도 및 이산화탄소 농도 관리가 광량에 비례하게 관리가 되었는가?</p> <p>○ 지상부 및 근권환경개선을 통한 선도 농가 생산성 증대가 되었는가?</p> <p>○기간별 파프리카 생육정보를 충분히 획득하고 성장해석을 충분히 하였는가?</p>	<p>○ 근권부 환경조절의 배액율과 배액의 EC등 한국이 높게 관리되고 있으며 국내 농가들의 높은 EC관리는 착과율을 낮게 하여생산성을 감소 시키는 요인으로 평가됨</p> <p>○ 각 기관별 동화산물의 분배 모듈개발을 위해 각 기관별 동화산물의 분배율을 예측하기 위해 단순모듈을 개발하였고, 과실의 건물함량이 생산량에 미치는 영향을 분석하여 건물함량에 따른 생산량의 증감에 대한 모듈을 개발하였음.</p> <p>○ 초기엽면적지수와 계절적 육묘기 성장패턴연구는 3년차에 연구 중간에 주요 연구원들의 급작스런 이직으로 인한 자료 확보가 불충분하였음. 3년차에 미비한 부분은 4년차 연구에서 보완하고자 함.</p> <p>○ 본 연구에서는 외부광량에 따른 작물 성장율의 변화를 모듈화 시켰으며, 광투과율이 생산성에 얼마나 영향을 주는지 질적인 자료를 제시할 수 있었음</p> <p>○ 관계식을 이용하여 이산화탄소를 사용을 감소시켰음</p> <p>○ 연구사업을 통해 지속적으로 급액회수와 급액량을 증가시켰으며, 급액 EC도 광량의 변화에 따라 조절하게 하여 생산성이 2008년 네덜란드의 파프리카 생산성이 60%수준이었지만, 2010년에는 네덜란드의 70% 수준, 2011년 현재(2011년 7월)은 네덜란드의 73% 수준</p> <p>○ 시뮬레이션 프로그램의 검증에 필요한 생육관련 자료 기상자료 확보하였음</p>

구분	평가의 착안점	평 가
	<p>○ 국내 파프리카 재배기간 동안 동적 건물생산량 및 기간별 동화산물의 분배율에 대한 분석결과를 제시하였는가?</p> <p>○ 네덜란드와 우리나라의 파프리카 과실의 잠재적 생산량 추정 모델을 검증하였는가?</p> <p>[5차년도]</p> <p>○ 과실의 생과중대비 건과중의 비를 백분율로 나타내며 시뮬레이션모델의 출력값인 건과중을 환산계수로 사용하였는가?</p> <p>○ 1-4년차 연구결과를 이용하여 각 기관별로 분배되는 동화산물의 분배패턴을 모듈화하였는가?</p> <p>○ 5년차 근권환경관리에 따른 건물생산성 모듈 검증하였는가?</p> <p>○ 외부광량, 온실의 투광율, 가상 인공광원 사용시 건물생산량 및 잠재적 생산성 향상에 관한 시뮬레이션 결과를 도출하였는가?</p>	<p>며,</p> <p>○ 각 연구별 파프리카 기관별 건물생산량을 지수선형함수를 이용하여 동적 동화산물의 이동에 관한 기본 자료 분석을 하였음</p> <p>○ 광원의 종류와 줄기밀도에 따른 동화산물의 이동을 분석하였고, 생육기간별로 엽면적지수와 생산량을 확보하여 모델에 필요한 기본 자료를 수집 분석하였음</p> <p>○ 기간별 과실의 건물함량(생과중/건과중 율) 별화를 SIN함수를 이용하여 모듈을 개발하였으며, 시뮬레이션결과값을 근거로 단위면적당 일일 생과중의 증가량(수량)을 추정하였음</p> <p>○ 파프리카의 엽, 줄기, 과실로의 건물의 분배 모듈을 Gompertz 성장 함수를 이용하여 일반화 하였으며, 일반화된 함수를 이용하여 시뮬레이션 한 성장량을 추정하였음</p> <p>○ 근권환경관리에 따른 건물생성 모듈 검증을 제한된 공간에서 실험을 수행하지 못했음.</p> <p>○ 투과율 및 인공광원의 광도에 따른 시뮬레이션 결과를 제시하였으며, 인공광의 조도에 따른 1ha에 필요한 인공광원의 개수로 추정할 수 있는 모델식을 구현하였으며, 광도에 따른 단위생산량의 증가도 추정하였음</p>

구분	평가의 착안점	평 가
<p>[2-2] 파프리카 의 시설별 지상부 최적 생육환경 조건 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농가 누적 환경 자료 수집 및 데이터화 ○ 온실 형태 및 현대화에 따른 내부 환경 요인 차이 및 파프리카 생육 차이 구명 ○ 온습도 관리 차이에 따른 파프리카 생육 차이 및 회귀 모형 도출 ○ 파프리카 생산성 증대를 위한 환경 요인 분석 기법 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 파프리카 자조회와 협조를 통한 ERP 누적 자료 활용이 가능해짐으로서 수시로 정보를 얻을 수 있고, 농가별 분석 및 컨설팅이 가능해졌음. ○ 플라스틱필름 온실과 유리 온실 간 생산성 차이 원인을 구명하였으며, 이로 인해 대부분을 차지하고 있는 플라스틱필름 농가의 생산성 향상을 위한 기초 자료가 마련되었음. ○ 측고 개량한 온실의 환경 제어 효율성을 증명하고 소개함으로서 국내 온실 개량 및 현대화의 중요성을 알렸음. ○ 온습도와 파프리카 생육 간 회귀 모형 도출에 따라 현장 컨설팅 효율성이 높아질 것으로 기대됨 ○ 타 작물의 분석기법과는 차별화된 환경분석 기법을 이용하고 검증하였다는 것에 의미가 있으며, 현장 적용 효율성에서도 인정받고 있음
<p>[2-3] 우리나라 환경에 적합한 온실 환 경제어 시스템 및 프로 그램 개 발</p>	<p>[1차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ P밴드 설정값이 외부온도의 변화에 의해 연동되는지 규명 ○ 변화 예측 온도값이 개폐모터 개도값에 반영되는지 여부 ○ 외온, 내온, 일사에 의한 비례제어 관계 규명 	<p>[1차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 제어기 시뮬레이터를 개발하였으며 컴퓨터와 제어기 시뮬레이터의 연결을 통해 제어요인별 사용자 임의 조절이 가능하도록 하였음 ○ 홀소자를 이용한 개도값 자동 산출장치 기관설계 및 시제품 생산을 통해 개폐모터의 정방향, 역방향 전류를 측정하여 시간으로 환산한 개도값 표시가 가능하도록 하였음 ○ 천창, 보일러 제어 예측 온도값 산출 방법 설계 및 테스트를 통해 예측온도 측정값을 환기 및 보일러 제어의 설정값과 연동되도록 하였음

구분	평가의 착안점	평 가
	<p>[2차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○유리온실과 비닐온실의 온도변화 패턴 모니터링 ○외부온도와 일사가 온실 내 온도 변화에 미치는 영향 분석 ○일출, 일몰시 온도와 습도변화에 따른 조절장치 프로그램 개발 <p>[3차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○광도, 습도에 따른 CO₂ 공급량 증감 여부 관계 규명 ○난방수 최저, 최고 온도 설정 범위 가능 여부 확인 및 난방온도에 따른 3Way 밸브 개폐상태 확인 ○감지 센서의 간격 및 센서판의 기울기 히터 용량 적정 여부 규명 <p>[4차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○유리온실 랙피니언 및 비닐온실 권취식 개폐를 위한 회전감지 홀소자를 적용한 제어 H/W 구성 ○주기시간에 따른 온실내 구역별 온도 모니터링과 설정온도에 따른 유동팬 온오프 프로그램 구성 ○주기시간을 메인팩터로하여 일사량 측정 및 사역폭에 따른 설정일사프로그램 구성 및 이에 따른 보광등 온오프 프로그램 구성 <p>[5차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○대용량 데이터 베이스 구축으로 다양한 데이터 가공의 기초 확립 ○일사값에 의한 EC변화 점검 및 EC 설정 	<p>[2차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○계절별 온실내부의 주야간 온도 편차 모니터링 및 데이터베이스화 ○주야간 온도편차를 이용한 난방 및 환기 온도 설정 제어 알고리즘 개발 ○일출, 일몰시 온도와 습도변화에 따른 조절장치 프로그램 개발 <p>[3차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○일기에 따른 일사량 모니터링과 최저 실내습도에 따른 기공 개폐 조사분석을 통해 적정 CO₂ 공급 프로그램 개발 ○난방설정 및 난방수 온도와 피드백 제어 개념 정립과 외부온도에 비례한 3Way 밸브 적정 개폐 시간 패턴 변화 모니터링을 통해 조정 프로그램에 반영한 PID제어방법 제시 ○감우센서 간격과 민감도를 고려한 국내 환경에 적합한 비닐온실용 감우센서 개발 <p>[4차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○다양한 형태의 천창 개폐 방법을 충족시키는 제어기 개발 ○광역화된 온실 면적의 균일한 온습도 분포 유지 ○다양한 광조건 요구를 충족시키기 위한 프로그램 개발 <p>[5차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○센서 계측값과 작동 기기의 개도값 모니터링 ○공급양액의 EC, PH변화 모니터링

구분	평가의 착안점	평 가
	값 변경방법 모색 ○설정 이벤트 발생시마다 데이터저장및 설정값 불러오기 실행	○설정값 저장프로그램 개발
[2-4] 파프리카 근권 환경 최적화를 위한 함수율 조절 장치 개발	[1차년도] 실시간 배지 (슬라브) 함수율 변화 및 작물 증 산량 측정 시스템 구축 광 및 온습도 변화에 따른 배지 함수율 및 작 물의 증산량 분석 배지 함수율 처리에 따른 파프리카 작물 의 생육 영향 분석 [2차년도] 배지 함수율 조절개념 정립과 배지의 배액 특 성 및 증량법과 TDR법의 수분함량 특성 분석 적산 일사량 제어시 환경조건 및 급배액 특성 에 따른 생육단계별 증산량 추정 연구 파프리카 생육 정보 추정 및 생육 실험	[1차년도] ·컴퓨터를 이용한 배지 함수율 제어시스 템을 구축하여, 배지 함수율이 정상적 으로 제어되었음 ·배지 함수율 조건 별 배액비율이 상이 하므로 이 부분의 제어가 필요함 ·재배장치에 로드셀, TDR 센서, 관배수 측정방식을 이용한 정밀 증산량 측정 체계가 필요함 ·침단 상업용 온실에서 일사량, VPD, 작물의 증산량과의 관계를 전 생육기간에 대하여 분석이 필요함 ·일사량, 온습도, 배지 함수율, 증산량의 실 측 데이터를 이용하여 증산량과의 관계 분 석이 진행 중임 ·배지 함수율에 따른 작물의 초장 및 엽 면적이 관찰되었고, 추후 증산량 추정 에 적용할 필요가 있음 ·배지 함수율에 따른 과실의 중량(건물 중, 생체중)결과는 적정 함수율 설정이 필요할 것임 ·배지 함수율에 따른 과실의 품질(정상, 비정상과) 수량 분석이 진행 중임 [2차년도] ·관수모델과 증산모델을 기반으로 한 배지 의 함수율 조절 개념 확립 ·컴퓨터, 제어장치, TDR 센서, 재배장치 를 구축 후, 건조 상태에서 200 mL 씩 급액할 경우 슬라브의 수평 5점에서의 TDR 값의 측정값은 크게 다르지 않아 서 어떤 지점의 슬라브에서 측정하여도 그 값은 유효할 것으로 판단됨 ·배지의 수분함량에 따른 증량법과 TDR값 을 비교한 결과 포화 조건에 가까울수록 TDR 값이 증량법에 비해 약 10%정도의 높게 관측되으나, 60% 이하의 조건에서는 그 오차가 작아지면서 두가지 측정 방법 에서 큰 오차가 없는 것으로 확인됨 ·상업용 온실(아트팜, 강진)에서 일사 량, 급액량, 배액량, 적산급액량, 적산배

구분	평가의 착안점	평 가
	<p>[3차년도] 생육환경 정보를 이용한 관수 시스템, 배지 함수율 및 증산량 추정 모듈 개발 관수 제어 모듈을 이용하여 증량 변화 측정을 통한 식물체의 증산량 추정 생육환경 변화와 생육단계에 따른 관수량 추정</p> <p>[4차년도] 환경요인, 관수정보, 배지특성에 따른 배지 함수율 측정 및 작물의 증산량 추정 배지 함수율, 배액율과 증산량을 고려한 관수 제어 알고리즘 개발</p>	<p>액량, 전체 배지의 무게 데이터에 근거한 작물의 증산량을 추정하였음 ·적산일사량 제어시 급액 및 배액 특성에 따른 증산량의 변화를 분석하였음 ·적산급액과 적산배액의 경향 분석을 통한 적산일사량 제어시 배액을 증가에 대한 원인을 분석하였으며 적정 급액방식을 위한 방안을 제시하였음 ·급액시점 기준 (TDR값의 45%, 55%, 65%)에 따른 파프리카의 초장 및 엽면적 분석 ·급액시점에 따른 배지의 함수율 분포 및 과실의 중량(건물중, 생체중) 분석</p> <p>[3차년도] ·컴퓨터, 제어장치, TDR센서, 로드셀을 이용하여 관수에 따른 수분의 이동 상태를 추정하였음 ·일사량 측정, 컴퓨터 프로그래밍을 이용한 관수제어 장치 개발하였음 ·프로그램을 이용하여 관수주기, 관수량 조절을 통한 관수강도 결정함 ·급,배액량의 무게, 배지와 식물체와의 무게 변화의 정밀 측정을 통한 증산량 추정하였음 ·누적일사량의 증가에 따른 증산량의 변화량 분석하였음 ·고온기 일별 누적일사량과 누적증산량과의 관계변화 분석하였음 ·누적일사량, 엽면적, 배지함수율 데이터를 분석한 관수량 결정방법 구명함 ·누적일사량, 엽면적지수, 배지함수율과 증산량과의 관계분석하였음 ·관수주기, 관수량에 따른 배액량 분석을 통한 관수량 추정하였음</p> <p>[4차년도] ·관수진행시 암면배지내의 함수율 변화, 배액특성을 구명함. ·작물의 생장지표 분석을 통해 관수강도에 따른 생장을 비교 분석함. ·급액 배액 조건에 따른 근권부 환경변화를 분석함.</p>

구분	평가의 착안점	평 가
	<p>환경정보, 배지특성, 생육단계를 고려한 관수, 배지 함수율 조절기술 개발 및 모듈 제작</p> <p>[5차년도] 최적 관수제어 시스템 성능평가 환경변수를 고려한 최적 관수 제어 알고리즘 개발 최적 관수를 위한 상업용 관수 모듈 개발</p>	<p>·관수제어 알고리즘 개발을 위한 변수항목에 대해 분석함. ·관수제어 프로그램 작성을 위한 순서도를 개발함. ·농가 적용을 위한 상업용 관수조절 장치를 개발함.</p> <p>[5차년도] ·최적 관수 제어 시스템 성능 검증을 위해 증산 추정량과 측정량을 비교 분석함. ·관수제어 기준적용에 따른 제어범위를 확인함 ·광도에 따른 증산효율을 분석하여 광도 보정에 따른 수분 이용 효율을 분석함 ·상업용 관수 장치를 개발함 ·상업용 관수 장치의 실용화 여부를 검증함</p>
[3-1]	<p>[1차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 생산단계 잔류시험 농약성분의 선발 품목 수 및 반감기 산출은 적절한가 ○ 생물농약의 선발은 친환경적이고 효율적인가 ○ 화학농약의 방제기간 설정은 신뢰성이 확보되는가 <p>[2차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 진단기 개발의 병해충 및 사진자료는 잘 선발되었는가 ○ 교육홍보의 횟수 및 내용은 적절한가 <p>[2차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 생산단계 잔류시험 농약성분의 선발 품목 수 및 반감기 산출은 적절한가 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농가조사를 통하여 사용빈도가 높은 농약을 선발하였고, 국립농산물 품질관리원에서 사용중인 통계프로그램을 사용하여 데이터의 신뢰성을 확보함. ○ 선발한 생물농약은 실질적으로 사용이 가능하고 방제효과도 검증이 되었고 잔류농약문제가 전혀 없으므로 효율적임. ○ 농약의 잔류농도 변화와 그에 따른 생물활성 시험을 통해 최적의 방제방법으로 신뢰성 확보함. ○ 주요 재배지에서 발생빈도가 높은 병해충 및 바이러스 등을 조사하여 제작함으로써 유용한 자료를 작성함. ○ 파프리카생산자자조회 농민을 중심으로 4회, 파프리카 재배 시 실질적으로 사용되는 농약안전사용에 대한 내용을 전달함. <p>[2차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 농가조사를 통하여 사용빈도가 높은 농약을 선발하였고, 국립농산물 품질관리원에서 사용중인 통계프로그램을 사용하여 데이터의 신뢰성을 확보함.

구분	평가의 착안점	평 가
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 난황유 개선의 효과 및 영농활용 방안은 긍정적인가 ○ 약효지속효과와 잔류특성의 연관성은 충분한가 ○ 초기 해충방제시험에 사용한 농약과 해충 선발은 적절한가 ○ 농약별 병원균의 ED₅₀ 설정과 약효 상관성은 ○ 진단키 개발의 병해충 및 사진자료는 잘 선발되었는가 ○ 교육홍보의 횟수 및 내용은 적절한가 <p>[3차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 생산단계 잔류시험 농약성분의 선발 품목 수 및 반감기 산출은 적절한가 ○ 시험목적과 계절적인 특성의 차이는 분명한가 ○ 천적과 난황유사용의 병행은 가능한가 ○ 약효지속효과와 잔류특성의 연관성은 충분한가 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 난황유 제조법 개선을 통하여 약취 및 얼룩 효과를 얻었고, 농가시험을 통한 효율성을 검증하여 실사용이 가능하다고 판단됨. ○ 시험 병원균에 대한 농약은 이미 등록되어있으며 파프리카에 실제로 살포하여 약효지속 시험을 함으로써 잔류특성과 연관성은 타당함. ○ 당해 년도 시험지역에서 가장 많이 발생한 해충을 선발하고 약효가 우수한 농약을 선발하여 시험에 사용하였으므로 농약과 해충의 선발은 적절함. ○ 실제 생산농가에서 수행이 어려운 병원균 시험을 in vitro 시험을 통하여 ED₅₀ 농도를 설정하였고, 이를 통해 생산농가에서 사용하는 살균제의 약효 예측이 가능할 것으로 기대됨. ○ 주요 재배지에서 발생빈도가 높은 병해충 및 바이러스 등을 조사하여 제작함으로써 유용한 자료를 작성함. ○ 파프리카 생산농민을 중심으로 4회, 파프리카 재배 시 실질적으로 활용가능한 농약안전사용에 대한 내용을 전달함. ○ 농가조사를 통하여 사용빈도가 높은 농약을 선발하였고, 국립농산물 품질관리원에서 사용중인 통계프로그램을 사용하여 데이터의 신뢰성을 확보함. ○ 여름철과 비교하여 겨울철에 생산되는 파프리카의 잔류농약 농도가 높고 계절별 시험을 통해 시기에 따른 적절한 농약사용을 추천가능. ○ 병해충 발생 시 천적이나 친환경 농약의 사용으로 방제가 어려운 부분을 상호보완하여 보다 효율적으로 사용이 가능하다고 판단됨.

구분	평가의 착안점	평 가
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초기 해충방제시험의 시험방법은 사용가능한가 ○ DB화 한 Fact Sheet의 보급은 잘 되었는가 ○ 교육홍보의 횟수 및 내용은 적절한가 <p>[4차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 시험농약의 선발 기준 및 설계는 적절한가 ○ 약효지속효과 검증과 잔류소장의 연관성으로 인해 얻을 수 있는 효과는 ○ 온실 내 초기 해충방제 능력은 조사되었는지 ○ 살충제 근부 처리를 통한 약효의 탁월성 여부 ○ 선발 천적에 대한 안전한 농약은 적절한 시험 방법으로 선발 되었는지 ○ 교육홍보의 방법 및 내용은 다양한가 <p>[5차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 시험농약의 선발 기준 및 설계는 적절한가 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시험 병해충에 대한 농약은 이미 등록이 되어있으며 파프리카에 실제로 살포하여 약효지속 시험을 함으로써 잔류특성과 연관성은 타당함. ○ 실질적으로 농가에서 발생하는 초기 해충 방제를 위한 in vivo 시험이 수행되었고, 사용가능하며 약효 및 안전성을 입증함. ○ DB화 한 Fact Sheet를 인터넷, CD, 홍보물 및 책자 발급을 통하여 농민들에게 전달함. ○ 농업기술원 파프리카 교육과정생을 중심으로 약 4개월, 파프리카 재배 중 농약안전 사용에 대한 내용을 교육함. ○ 사용빈도가 높고 최종희석 살포 농도가 높은 농약의 단제 및 합제를 선발하였고 최근 개발된 분석법으로 시험하여 신속성 및 정확성을 확보하였음. ○ 주요 발생 병의 병원균을 방제하는 살균제를 실제 파프리카에 살포하여 생물활성 시험에 사용하고 잔류특성을 파악함으로써 농가에서 사용 시 효과를 예측 가능. ○ 진딧물 방제를 위해 사용된 네오니코티노이드 살충제는 약효가 탁월하고, 이 농약들의 처리 방법별 잔류농도를 구명하여 해충방제를 위한 가이드라인을 제공함. ○ 진딧물 방제를 위한 입제제형의 근부캡슐 처리를 통해 최적방제 농도와 처리횟수를 설정함. ○ 칠리이리응애, 사막이리응애에 대하여 살충제 100종 이상의 안전성(급성독성 및 잔효독성) 시험을 통해 천적에 안전한 농약을 선발함. ○ 초기 해충방제의 중요성을 알리기 위한 대농민세미나 개최, ‘고추/파프리카 병해충 종합관리’ 책자 및 e-book 제작/보급을

구분	평가의 착안점	평 가
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 약효지속효과 검증과 잔류소장의 연관성으로 인해 얻을 수 있는 효과는 ○ 근부캡슐처리 약효시험의 지속효과는 검증되었는가 ○ 처리방법별 잔류특성 차이를 적절히 구명하였는가 ○ 다양한 천적에 대해 안전한 농약의 선발로 얻을 수 있는 장점과 실제 사용여부는 ○ 제가한 책자의 내용은 농민들에게 도움이 되는가 	<p>통한 교육 방법의 다양화.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 잔류소장이 길고 농도가 높으며 생물학적 반감기가 길게 나타난 농약을 선발하였고 처리횟수별 잔류시험을 통해 정확성을 확보하였음. ○ 주요 발생 병의 병원균을 방제하는 살균제를 실제 파프리카에 살포하여 생물활성 시험에 사용하고 잔류특성을 파악함으로써 농가에서 사용 시 효과를 예측 가능. ○ 네오니코티노이드 살충제의 근부캡슐처리를 통해 약효의 검증 및 지속기간을 확인하여 생물학적 활성 기간 검증 ○ 일정 간격을 두어 잔류농도 감소를 조사하여 캡슐처리, 관주처리, 엽면처리, 관행처리를 통하여 약효가 우수하고 잔류의 위험성이 적은 살포방법을 선발함. ○ 진디혹파리, 콜레마니진디벌, 칠리이리응애, 사막이리응애, 온실가루이좀벌, 황온좀벌, 유럽애꽃노린재 총 7종 천적에 대하여 100여성분 이상의 살충제 안전성 (급성독성 및 잔효독성) 검증을 통한 천적에 안전한 농약 선발하고 이를 통한 화학농약과 천적의 조화로운 사용으로 효율적인 해충방제가 가능하리라 판단됨. ○ ‘고추/파프리카 병해충 종합관리’ 책자 및 e-book, ‘파프리카 병해충 관리 Q&A’의 내용은 병, 해충, 바이러스, 농약안전사용, 천적사용 등 재배농민들에게 도움이 될 수 있는 내용을 자세히 기술하여 큰 도움이 되리라 사료됨.
[3-2]	<p>[1차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 가루이류 발생 수준에 따른 천적 적용기준은 적절하게 수립되었는가 ○ 가루이류 천적의 안전농약 선발 및 포장 안전 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 가루이류 발생 수준에 따라 지중해이리응애와 황온좀벌의 방사에 따른 가루이류 밀도억제효과 기준을 설정하였음. ○ 지중해이리응애, 황온좀벌 및 온실가루이

구분	평가의 착안점	평 가
	<p>성은 올바르게 규명하였는가</p> <p>[2차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 총채벌레류 발생 수준에 따른 천적 적용기준은 적절하게 수립되었는가 ○ 총채벌레류 천적의 안전농약 선발 및 포장 안전성은 올바르게 규명하였는가 <p>[3차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 진딧물류 발생 수준에 따른 천적 적용기준은 적절하게 수립되었는가 ○ 진딧물류 천적의 안전농약 선발 및 포장 안전성은 올바르게 규명하였는가 	<p>좀벌의 급성독성 및 잔효독성 검증을 통하여 안전한 농약을 선발하고 선발 농약을 이용하여 포장 시험을 통한 안전성을 검증함.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 꽃노랑총채벌레 발생 수준에 따라 지중해 이리응애와 미끌애꽃노린재의 방사에 따른 꽃노랑총채벌레 밀도억제효과 기준을 설정하였음. ○ 오이이리응애, 지중해이리응애 및 미끌애꽃노린재의 급성독성 및 잔효독성 검증을 통하여 안전한 농약을 선발하고 선발 농약을 이용하여 포장 시험을 통한 안전성을 검증함. ○ 복숭아혹진딧물(목화진딧물) 발생 수준에 따라 벵커플렌트, 콜레마니진디벌 및 호랑풀잠자리의 방사에 따른 복숭아혹진딧물(목화진딧물) 밀도억제효과 기준을 설정하였음. ○ 콜레마니진디벌과 진디혹파리의 급성독성 및 잔효독성 검증을 통하여 안전한 농약을 선발하고 선발 농약을 이용하여 포장 시험을 통한 안전성을 검증함.

제2절 관련분야에의 기여도

1. 기술적 측면

가. 수출용 및 국내보급용 파프리카 품종개발(제1-1세부과제)

고추육종에 대한 기술은 우리나라가 세계수준이지만 파프리카에 대한 연구나 육종은 전혀 경험하지 못했었다. 본 연구를 통해 국내에서 파프리카 품종 육종을 하게 되었고 국내 최초로 파프리카 품종을 개발하게 되었다. 고추 육종에서 이용한 선발에 대한 노하우를 적용하였고, 약배양을 이용한 세대단축, 그리고 옹성불임성 분자마커를 이용한 채종효율 증진, 내병성 분자마커를 이용한 계통선발의 효율을 증진 시킴으로서 짧은 기간안에 소기의 목표를 달성 할 수 있었다. 품종육종의 과정에서 중요한 파프리카 선발형질을 선발할 수 있는 안목을 가짐으로서 품종개발에 대한 자신감을 얻었다는 것은 무엇보다도 큰 자산이라 할 수 있을 것이다. 과제를 통해 계통분리와 약배양 기술을 통해 품종육성에 필요한 계통을 많이 육성하였고, 옹성불임성 및 TMV, CMV, Potyvirus, PMMoV, TSWV, 세균성 반점병 등 많은 분자마커를 개발하여 활용하였다. 앞으로 개발된 분자마커는 파프리카 품종개발의 육종효율을 증진시키는 데 유용하게 이용될 수 있을 것이다. 또한 파프리카 품종육종에 육종가, 분자마커 개발팀, 재배전문가가 한팀을 이루어 품종개발에 참여함으로써 품종육성중에 일어날 수 있는 에러를 최대한 줄일 수 있었다는 것도 짧은 기간안에 품종육성이 가능하게 된 원동력이 되었음을 부인 할수 없다.

나. 중국 종자수출용 토경재배용 파프리카 품종 개발(제1-2세부과제)

본 연구를 수행하면서 중국의 파프리카시장에 대한 이해도가 상당히 넓어졌고, 이는 향후 중국용 파프리카 육종을 함에 있어서 중요한 자산이 될 것으로 사료된다. 또한 중국 북방의 파프리카 주산지인 산둥성 수광지역의 하우스 재배에 관한 이해도가 증대되어 이 지역에서 재배되는 고추 품종개발에도 유용하게 사용될 많은 정보와 노하우를 습득하게 되었다. 이러한 경험과 지식은 우리보다 20배의 큰 시장을 가진 고추 육종에 그대로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 또한 이번 연구의 결과로 만들어진 많은 파프리카 계통들은 현재의 목표시장인 산동 무가온 재배 작형 뿐만이 아니고, 더 큰 시장인 중국 남방용 (광둥성, 해남성) 파프리카 육성의 중요한 재료로 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 아울러 중국 남방용 품종 육성을 위하여는 본 연구를 통하여 구축하게 된 “태국 시험포를 이용한 연 2회 세대진전 시스템이 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

다. 옹성불임을 이용한 파프리카 F₁ 종자 생산 체계 확립(제1-3세부과제)

- 분자마커를 이용하여 서로 다른 *ms* 유전자를 이용하여 효과적으로 two loci GMS system 확립
- 네덜란드를 포함하는 유럽의 파프리카 품종 개발 종자회사들과 미국의 파프리카 종자회사 등에서 사용하고 있는 옹성불임 유전인자가 무엇인지를 확인할 수 있으며 기존에 알려지지 않은 새로운 옹성불임 유전인자의 유무도 확인 가능.
- 매 세대마다 옹성불임 계통 육성을 위한 hetero형을 선발해야 하는데 분자마커를 사용할 경우 다음 세대의 확인없이 당대에서 직접 선발할 수 있으므로 육종연한 단축에 따른 신속한 품종 개발 가능.

라. 분자유종 기술을 이용한 복합 바이러스 내병성 파프리카 계통육성(제1-4세부과제)

- PMMoV, TSWV, Potyvirus, CMV, 세균성 점무늬병 저항성 연관 분자표지를 분석기술을 확립하여 파프리카 및 고추의 병 저항성 계통을 분석할 수 있고, 이를 통해 효율적인 계통 선발을 할 수 있는 기틀을 마련했다.
- 병 저항성 분자표지를 이용하여 육종회사의 계통 혹은 유전자원의 병 저항성을 분석하여 새로운 육종 소재를 발굴할 수 있다.
- CMV & Potyvirus 복합 저항성 계통을 중간모본으로 활용하여 여러 내병성 파프리카 품종 육성에 활용할 수 있다.
- 타 세부과제의 여러 계통들의 TSWV, PMMoV, 세균성 점무늬병 저항성의 유전형을 분자표지로 분석하여 이후 다양한 조합의 병 저항성 파프리카 F₁ 품종 개발에 활용할 수 있다.
- real-time based 분자표지로 전환하여 보다 많은 시료를 단기간에 분석할 수 있는 high-throughput 분석 체계의 기틀을 마련했다.

마. 선발계통과 신품종의 특성평가 및 병 저항성 검정(제1-5세부과제)

- 분리 계통들에 대하여 생육특성, 과실특성 및 병저항성 등을 조사하여 고정계통 육성하여 최종 파프리카 품종육성을 위한 로드맵 작성의 기초 자료 활용 및 기존 품종에 대한 바이러스 저항성 여부 판단 기준 마련

바. 네덜란드와 우리나라의 생산성 차이 원인 극복 기술 개발(제2-1세부과제)

- 지상부환경의 체계적인 관리로 인한 외부환경에 따른 수동적 태체에서 능동적대체로 전환
- 에너지절감과 에너지효율증대에 대한 환경관리 기술의 체계화
- 네덜란드의 지상부와 근권부환경관리의 모델 적용으로 생산성 증대
- 영양생장과 생식생장의 전환시기의 근권환경관리의 모순된 점 개선(근권환경의 안정화)
- 이산화탄소의 시용 방법을 개선 및 인공광원의 사용에 대한 가능성 제시(고압나트륨

- 등)
- 재배관리(정지 및 유인)에 따른 양분분배의 균형의 일반화(동화산물분배)에 따른 작물관리
- 광량에 따른 배액량 조절을 위한 기본 모델 제시

사. 파프리카의 시설별 지상부 최적 생육환경 조건 개발(제2-2세부과제)

- 국내 파프리카 재배 기술의 데이터 베이스화 및 체계화에 기여
- 파프리카 생산성에 대한 온실 피복재의 영향 구명
- 파프리카 재배 온실의 내부 환경 분석 및 제어 기법 개발
- 동일 온실 형태 간 환경 관리 차이에 따른 생산성 차이 구명
- 온실 개량(측고 상향에 따른 온실 볼륨 증대)에 따른 내부 환경 변화 구명

아. 우리나라 환경에 적합한 온실환경제어시스템 및 제어 프로그램 개발(제2-3세부과제)

- 기 출시된 국내 온실복합환경제어시스템은 온실내 환경인자에 대한 제어를 통해 온실내 환경을 작물생육에 적합한 환경으로 만들어주기 위한 일반적인 기술들을 제공하고 있음
- 앞에서 설명되었듯이 마그마는 기존 온실 복합환경제어 시스템이 갖추어야 할 요건들을 모두 갖추고 있을 뿐만 아니라 유비쿼터스 농업(u-IT)기술의 접목이 가능하도록 센서네트워크의 기능을 탑재하였으며 3G 통신 기반을 이용하여 스마트 생장환경 관리시스템이 가능하도록 구성되어 있음
- 환경모니터링을 위한 센서기술 과 작물의 기관별 생육과악을 위한 센서의 확장뿐만 아니라 이들 센서의 네트워크 연결을 통해 사용자가 데이터베이스와 접속하여 생육정보의 전송과 이전 생육정보와의 비교를 통해 작물생육 및 생산에 있어 스마트한 환경을 제공할 수 있음
- 현재는 엽온도, 실내온습도, 배지내 수분함량 등에 한정되어 있지만 다양한 센서의 연동을 통해 작물생육을 나타내는 다양한 인자들에 대한 모니터링이 가능해지므로 작물생육과 연동된 모든 데이터의 수집이 가능해질 것임
- 따라서 센서네트워크의 기술 접목을 위한 각종 센서 개발과 이와 연관된 기술의 연동된 발전이 가능해짐
- 또한 3G 통신 기반 기술은 농업분야에 있어 최근에 접목된 기술로 환경 모니터링값의 전송과 데이터베이스화, 작물생육량의 전송과 데이터베이스화를 통해 농업생산에 따른 국내 지역별, 작물별 데이터베이스 서버의 구축이 가능해짐으로써 u-IT농업의 진일보된 기술 개발이 가능해질 것임
- 2010년 전남도와 함께 연구한 u-IT 농업기술개발을 통해 파프리카 재배에 적합한 기술개발이 이루어졌으나 파프리카 이외의 과채류에 접목이 가능하므로 다양한 작물에 따른 센서네트워크 기술의 공동개발 등이 가능해질 것임
- 유럽의 온실복합환경제어시스템의 기술은 오랜기간 누적되어온 데이터를 근거로 작물에 따른 최적 생육환경을 제시하는 것으로 개발한 마그마시스템을 통해 국내 환경 및 생육데이터의 집적화를 통해 국내환경에 적합한 온실복합환경제어시스템의 구성이 가능해질 것임

- 또한 고비용 시스템의 저비용화를 통해 도입농가의 부담을 감소시켜 농업경쟁력 확보가 가능해질 것임
- 농업인의 고령화에도 온실 복합환경 제어기에 보다 쉽게 접근하여 사용할 수 있도록 유저인터페이스를 개선함으로써 폭넓은 사용자층이 형성됨.

자. 파프리카 근권 환경 최적화를 위한 함수율 조절 장치 개발(제2-4세부과제)

- 본 연구를 통해 실제 재배 농가에 활용할 수 있는 장치를 개발함으로써 이를 바탕으로 개선된 장치에 대한 연구가 가능할 것으로 기대된다. 기 개발된 장치를 기본으로 하여 필요한 기능을 추가하고 성능을 향상시켜 시설원예에 활용될 수 있는 독자적인 장치의 개발에 기틀을 마련하여 다는 것에 기술적 의의가 있다. 또한 장치를 이용하여 여러 가지 환경요인과 작물 생육과의 관계에 대한 분석이 가능할 것이고, 또한 이러한 분석은 재배기술의 향상과 체계화에 기여하는 바가 크다고 할 수 있다.

차. 파프리카 주요 병해충 방제 농약의 안전사용 및 잔류농약 클레임해소방안 (제3-1세부과제)

파프리카 주요 사용농약의 분석기술 방법을 정립하여 분석 비용과 시간을 최소화하였고 약효지속기간 연구 및 단제와 합제 사용에 의한 잔류특성을 파악하여 농민이 농약을 선택하는데 도움을 주었다. 초기 해충방제를 위한 근부캡슐처리 연구, 입제제형 농약의 캡슐처리 방법 개발 및 난황유 사용법의 개선으로 효율적인 방제 프로그램을 수립하여 재배 시 효율적으로 사용될 것으로 기대된다. 또한 천적에 안전한 농약을 선별하여 화학농약과 병행 사용함으로써 생산농가의 병해충 방제에 크게 기여할 것이며, 본 과제 연구를 통하여 얻은 결과물을 책자 제작 및 보급을 통해 안전하고 상품성이 있는 파프리카의 생산에 기여할 것으로 보인다.

카. 파프리카 작물의 천적 (생물적)방제 프로그램 개발 및 천적에 사용 가능한 선택적 농약 선별 안전사용 설정 (제3-2세부과제)

파프리카 재배 시 피해를 주는 해충인 가루이류, 총채벌레류, 진딧물류의 생물학적 방제를 위해 이들 해충을 방제하는데 사용되는 천적의 방사시기 및 투입량 적용기준을 수립하여 농가시험을 통해 해충의 발생 수준에 따른 적용 천적의 방사에 의한 밀도억제 효과 기준을 설정하여, 지속적으로 증가하고 있는 천적사용 파프리카 재배농가에서 병해충 관리에 효율적으로 기여할 수 있을 것이다.

2. 경제적·산업적 측면

가. 수출용 및 국내보급용 파프리카 품종개발(제1-1세부과제)

우리나라에 파프리카가 처음 도입된 것은 1994년으로 매우 역사가 짧지만 재배면적은 약 500ha가 될 정도로 매년 증가하고 있는 추세이다. 국내에서 사용하고 있는 종자값은 약 80억 정도로 추산하고 있는데 전량 네델란드 등 외국품종을 사용하고 있다. 본 연구를 통해 국산품종이 개발됨으로서 외국산에 의존하던 종자를 어느정도 국산으로 대체할 수 있을 것이다. 현재 외국에서 도입되는 파프리카 종자값은 1립당 500-600원정도로 매우 비싸며 재배농가에는 경영비 부담을 가중시키고 있다. 국산 파프리카 종자값을 싸게 공급함으로써 고가의 외국산 종자의 가격을 낮추는 견제역할을 할 수 있을 것이다. 지금까지 국내에서 이용하는 품종들은 외국에서 육성하여 우리나라에 도입하여 재배하기 때문에 국내 환경에 적합하지 않아 농가가 피해를 보는 경우도 종종 있었으나 본 연구팀이 개발한 품종들은 국내 환경에서 선발 육성하였기 때문에 외국품종을 이용하면서 발생할 수 있는 재배 불안정성은 상당히 줄일 수 있을 것이다. 본 과제를 통해 개발한 중국 수출용 품종들은 국산품종을 수출할 수 있는 계기를 마련하고 외화획득에도 기여할 수 있을 것이다.

나. 중국 종자수출용 토경재배용 파프리카 품종 개발(제1-2세부과제)

세계 최대 시장으로 급부상하고 있는 중국 시장의 진출은 한국의 종자산업 발전을 위하여 아주 중요한 사업이 될 전망이다. 중국은 고추와 파프리카의 재배면적이 업계추산으로 100만 ha가 넘는 세계 최대 시장이나 현재로서는 낮은 종자 가격으로 인해 세계적인 주목을 받고 있지 못한 상태이다. 그중에서도 파프리카와 피망, 안매운 우각초의 재배면적이 많이 증가하는 경향이 있다. 최근에 많은 세계적인 종자회사들 (몬산토, 신젠타, 리마그레인...)이 중국 시장의 잠재력을 인정하여 중국 시장으로 직접 진출하는 경향이 있다. 이에 우리도 현재 우리가 가지고 있는 높은 기술력에 대한 인지도를 바탕으로 빨리 중국으로 진출을 해야 하는 절박한 상황이다. 본 연구를 통하여 선발된 종자를 중국시장에 적응시키면서, 구축된 관계를 이용하여 현지 진출을 가속화하여, 향후 중국에서 전개될 치열한 시장 쟁탈전에서 우위에 점할 수 있을 것으로 기대하며 세계 최대 시장으로 급부상하고 있는 중국 시장의 진출은 한국의 종자산업 발전을 위하여 아주 중요한 사업이 될 것으로 생각된다.

다. 융성불임을 이용한 파프리카 F₁ 종자 생산 체계 확립(제1-3세부과제)

- 서로 다른 유전인자를 조합하여 two loci GMS system을 확립할 경우 종자생산 비용을 획기적으로 절감할 수 있을 뿐만 아니라 자체적인 품종 보호의 수단으로서 효용성이 높아짐.
- 열성유전 하는 GMS에 있어서 분자마커의 효용성은 매우 높기 때문에 각각의 품종별 또는 과색별로 맞춤형 분자마커를 개발할 경우 세대진전에 필요한 포장 면적 및 노동력 등을 획기적으로

절감할 수 있으므로 최종적으로 종자생산 비용 절감에 결정적인 역할을 함.

- 매 세대마다 옹성불임 계통 육성을 위한 hetero형을 선발해야 하는데 분자마커를 사용할 경우 다음 세대의 확인없이 당대에서 직접 선발할 수 있으므로 육종연한 단축에 따른 신속한 품종 개발 가능.
- 서로 다른 유전인자를 조합하여 two loci GMS system을 확립할 경우 종자생산 비용을 획기적으로 절감할 수 있을 뿐만 아니라 자체적인 품종 보호의 수단으로서 효용성이 높아짐.
- 신품종에 대한 육종가의 권리를 보호하고 우수한 품종의 수명을 연장하는 방법으로서 옹성불임의 이용은 매우 중요. 현재 신품종 파프리카의 약 70% 정도에서 이미 옹성불임의 사용을 확인할 수 있었고 앞으로의 품종은 거의 모두 옹성불임을 이용할 것으로 판단됨. 따라서 우리나라에서 옹성불임을 이용하여 파프리카 신품종을 육성하는 것은 파프리카 산업의 토착화 및 국산화를 이룩하기 위한 기초를 마련하는데 매우 중요.

라. 분자유종 기술을 이용한 복합 바이러스 내병성 파프리카 계통육성 (제1-4세부과제)

- 내병성 분자표지 분석 기술 확립을 통해 분자유종의 기틀을 마련하여 품종 개발에 소요되는 비용, 공간, 노력을 절감하여 다국적 종자회사와의 경쟁력을 확보할 수 있다.
- CMV & Potyvirus 복합 저항성 계통을 이용하여 국내 종자 시장, 아열대 온대 지방의 세계 종자 시장에서 경쟁력 있는 파프리카 품종을 만들 수 있다.
- 분자표지 분석 기술을 분자표지 분석 회사에 기술 이전하여 사업화할 수 있다.

마. 선발계통과 신품종의 특성평가 및 병 저항성 검정 (제1-5세부과제)

- 고정계통과 F3~5세대의 과실 및 생육특성을 조사하여 우수계통을 선발하고 시판 F1 품종의 대비특성을 분석하여 품종등록 시에 활용
- 시판 품종의 PeMV 저항성을 검정하고 여름재배용 순계를 지속적으로 육성

바. 네덜란드와 우리나라의 생산성 차이 원인 극복 기술 개발(제2-1세부과제)

- 선도 농가를 중심으로 네덜란드와의 생산성 차이를 80% 수준 달성함
- 지열히트펌프의 냉난방시스템 혼용사용에 의한 생산기간의 증대 및 에너지 사용효율의 극대화에 따른 생산비 감축
- 이산화탄소 시용방법의 개선 및 광환경에 따른 능동적인 농도관리로 액화탄소가스 사용량 감소
- 인공광원의 설치 수준에 따른 잠재적 생산량 증대 방안 도출 및 농가 투자기준 설정
- 네덜란드의 핵심기술 접목에 따른 병해 경감 및 지속적인 안정생산 기준 마련
- 과실의 건물함량의 증가 및 근권환경의 심한 변화는 생산량의 감소 원인 구명
- 동화산물의 분배의 일반화에 따른 작물의 관리 지침 마련에 따른 영양 및 생식 생장 균형으로 재배관리 작업의 효율성 증대로 인한 노동효율 증대

- 생산효율을 증대를 위한 에너지 투입, 노동투입에 따라는 기간별 생산효율 분석

사. 파프리카의 시설별 지상부 최적 생육환경 조건 개발(제2-2세부과제)

- 온실 내부 환경 분석 및 제어 기술 개발에 따른 파프리카 생산성 증대
- 파프리카 생산성에 대한 온실 개량 및 현대화를 위한 관련 산업 활성화
- 환경 요인의 효율적 관리에 따른 파프리카 생산 소요 비용 감소

아. 우리나라 환경에 적합한 온실환경제어시스템 및 제어 프로그램 개발(제2-3세부과제)

- 국내 온실면적은 2011년 기준 49,357ha로 이중 플라스틱온실이 49,175ha, 유리온실이 274ha, 경질판온실이 88ha로 플라스틱온실의 비율이 99.6%를 차지하고 있음
- 온실복합환경제어시스템의 설치가 가능한 비닐 온실은 대형 단동온실, 연동온실 등이 가능한데 단동아치 15,569ha, 연동 5,577ha로 21,146ha의 온실면적을 나타내고 있음
- 국내 재배농산물중 토마토, 딸기, 가지, 멜론 등의 과채류 재배면적은 13,239ha로 토마토, 딸기, 멜론, 가지 등의 순으로 높게 나타나고 있음
- 이러한 작물재배환경은 온실복합환경제어시스템의 보급이 가능한 시장으로 여겨지고 있으며 토마토, 딸기 재배농가를 대상으로 시장성을 확보할 수 있을 것임
- 2010~2011년 전라남도에서는 u-IT농업 기술 보급을 위해 웹서버와 연동된 온실복합환경제어시스템의 보급사업을 실시하였는데 사업기간중 대상농가는 40여 곳으로 전체 재배농가의 1%에도 미치지 못하였음
- 이러한 경향은 타시도에서도 비슷하게 나타나고 있으므로 전라남도와 경상남도, 충청남도를 중심으로 온실복합환경제어시스템의 시장형성이 가능할 것임
- 파프리카를 재배하는 유리온실 경영농가는 대부분 Priva, Hortimax 등의 외산 환경제어시스템을 사용하고 있음
- 이는 제품의 가격보다는 성능과 신뢰도를 중요시 여기는 특성에 기인하는데 또 다른 측면에서 보면 외산 환경제어시스템은 처음부터 유리온실을 대상으로 개발하였고 발전시켜왔기 때문에 국내 대부분을 차지하는 비닐 온실에서는 적합도가 떨어지는데 특히 권취식 측창을 이용하는 온실환경하에서는 연구개발이 이루어진 마그마시스템이 우수성을 가지고 있음
- 따라서 비닐 온실에 최적화된 마그마시스템은 외산시스템의 도입을 억제할 수 있을 뿐만 아니라 플라스틱온실의 보급률이 높은 중국, 동남아 등으로의 수출이 가능해질 것임
- 또한 기존 시스템의 교체를 원할 경우 외산시스템에 비해 월등한 가격경쟁력은 재배농가의 비용을 기존 비용 대비 50%이하로 줄이는 것이 가능해짐

자. 파프리카 근권 환경 최적화를 위한 함수율 조절 장치 개발(제2-4세부과제)

○ 본 연구를 통해 개발한 시스템은 제품화 할 수 있고, 상대적으로 부진했던 우리나라의 시설원예 관련 자재산업에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 주로 수입에 의존해오던 시설원예 관련 자재산업에 독자적인 기술을 이용하여 제품화함으로써 자재산업의 발전에 기여할 것이며 나아가 수출을 도모하여 원예산업에 경제적으로 도움이 될 것으로 판단된다.

차. 파프리카 주요 병해충 방제 농약의 안전사용 및 잔류농약 클레임해소방안 (제3-1세부과제)

파프리카의 생산단계에서 주요 사용 농약의 생물학적 반감기를 산출하여 각 농약의 잔류 특성에 따라 출하단계에서의 잔류농도 예측을 통하여 출하연기 및 용도의 전환 등의 조치를 취함으로써 화학농약의 과다 사용으로 인한 파프리카의 수출이나 국내 유통 시에 잔류 농약 초과검출 피해를 최소화할 수 있을 것으로 기대되며, 농약의 약효지속기간 연구 및 근부캡슐처리 방법 등의 효율적인 처리 방법의 개발, 흰가루병 방제를 위한 개선된 난황유 제조법의 보급 등으로 병해충 방제 시 안전성의 문제를 최소화 할 수 있을 것이다. 천적에 안전한 농약 선발을 통하여 화학농약과 천적의 조화로운 사용을 통해 효율적인 해충 방제에 기여할 수 있을 것이고, 본 연구의 결과를 토대로 병해충 종합관리 및 농약의 안전사용에 대한 내용을 책자로 제작하여 생산농가에 보급함으로써 생산자에게 큰 도움을 줄 수 있을 것이다. 파프리카 생산에 있어서 병해충 관리에 소요되는 비용이 매우 큰 비중을 차지하고 있고 본 연구를 통해 비효율적인 방제 방법을 지양하고 효율적이고 안전한 방제 방법의 선택으로 생산농가의 소득향상과 안전한 파프리카의 생산으로 수출 증대 및 국내 농산물 이미지 상승에도 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

카. 파프리카 작물의 천적 (생물적)방제 프로그램 개발 및 천적에 사용 가능한 선택적 농약선발 안전사용 설정 (제3-2세부과제)

파프리카 재배 시 피해를 주는 해충인 가루이류, 총채벌레류, 진딧물류의 생물학적 방제를 위해 이들 해충을 방제하는데 사용되는 천적의 최적 방사시기 및 투입량의 설정하여 천적으로 해충방제를 하는 생산농가에서 해충의 밀도를 판단하고 천적의 투입시기 및 투입량을 조절함으로써 천적 구입비용을 줄이면서도 효과적인 방제가 가능할 것으로 기대되며, 이들 천적에 대해 안전한 농약(급성독성 및 잔효독성)을 선발하여 천적사용만으로 병해충 방제가 어려운 경우 안전한 화학농약을 사용하여 천적사용과 화학농약 사용의 이점을 모두 볼 수 있을 것으로 기대된다.

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제1절 연구개발 성과

1. 연도별 목표

과제명	개발 기술	목표(수준, 성능, 품질)				
		1차년도 (2007-2008)	2차년도 (2008-2009)	3차년도 (2009-2010)	4차년도 (2010-2011)	5차년도 (2011-2012)
[1-1] 수출용 및 국내보급용 파프리카 품종개발	○ 파프리카 우수 계통선발	100계통	100계통	100계통	100계통	100계통
	○ 약배양 순계 육성	100계통	100계통	100계통	100계통	100계통
	○ F1 지역적응성 시험			30조합	30조합	30조합
	○ 품종 등록					7품종
[1-2] 중국 종자수출용 토경재배용 파프리카 품종 개발	Shuttle breeding system	80%	80%	100%	100%	100%
	내저온성 계통 육성	20	20	20	20	20
	초세 강한 계통 육성	20	20	20	20	20
	과형, 과색별 계통 육성	30	30	30	30	30
	품종보호출원					2
[1-3] 응성불임성 이용한 파프리카 F ₁ 종자 생산 체계 확립	○ 파프리카 응성불임성 연관 분자표지 개발	연관 분자표지 개발(1 개)	공우성 분자표지 개발(1 개)	추가적 인 연관 분자표지 개발(2 개)	-	-
	○ 파프리카 응성불임성 독립 성 검정	대립성 검정(11 조합)	대립성 검정(18 조합)	파프리카 응성불 임 유전자 확인(2 개)	-	-
	○ 파프리카 응성불임 연관 마커를 활용한 GMS 모계 육성	마커로 선발(50 계통)	마커로 선발(12 9계통)	마커로 선발(60 계통)	-	-
	○ 파프리카 CGMS 시스템 개발	A, B, C 계통육 성	A, B, C 계통육 성	A, B, C 계통육 성	-	-
[1-4] 분자유종 기술을 이용한 복합 바이러스 내병성 파프리카 계통육성	병 저항성 분자표지 분석 기 술	PMMoV / CMV / Potyviri s / TSWV		세균성 점무늬 병		
	PMMoV 저항성 분자표지 개	연관분		연관분	대립유	

	발	자표지 개발 (1.5cM)		자표지 개발 (0.5cM 이내)	전자 특이적인 분자표지 개발	
	real-time based 분자표지 분석 기술	PoMMV	CMV/Po tyvirus/ TSWV			
	타 세부과제 분자표지 분석 지원	800점	3,834점	5,428점	2,809점	4,530점
	CMV/Potyvirus 저항성 계통 육성	저항성 유전자 도입	저항성 고정	저항성 고정	세대 진전	세대 진전 품종보호출원
[1-5] 선발계통과 신품종의 특성평가 및 병 저항성 검정	F1 과실 및 생육특성 검정	11 품종 검정				
	PeMV에 대한 F1 품종 저항성 검정	19 품종 검정				
[2-1] 네덜란드와 우리나라의 생산성 차이 원인 극복 기술 개발	네덜란드와 우리나라의 파프리카 재배의 연중 건물생산량 차이 원인 구명	데이터 수집 및 분석	데이터 수집 및 분석	분석 및 체계화	분석 및 개선	확립
	네덜란드와 우리나라의 파프리카 재배의 연중 각 기관별 건물분배 차이 구명	데이터 수집 및 분석	데이터 수집 및 분석	분석 및 체계화	분석 및 개선	확립
	생산량 차이의 인과관계 분석을 통한 계절별 파프리카의 건물함량 차이 원인 구명	데이터 수집 및 분석	데이터 수집 및 분석	분석 및 체계화	개선	확립
	네덜란드와 우리나라의 시설 내부의 환경조절 및 근권 환경조절의 차이점 비교 분석	데이터 수집	데이터 수집 및 분석	데이터 수집 및 분석	체계화 및 개선	확립
	파프리카의 각 기관별 동화산물 분배 모델을 이용한 생산량 예측 프로그램 개발	데이터 수집 및 분석	데이터 수집 및 분석	분석 및 모델함수 개발	검증	확립
	네덜란드와 우리나라의 파프리카 과실의 포텐셜 생산량 추정을 위한 컴퓨터 시뮬레이션으로 주요 환경요인 구명	데이터 수집 및 분석	데이터 수집 및 분석	분석 및 모델함수 개발	검증	확립
	농가 생산성향상(톤/ha)_선도 농가 중심	15	18	20	22	25
	생산자 및 수출업체 종합 지도 (농가수/업체수)	50/3	50/3	50/5	60/6	60/6
[2-2] 파프리카의 시설별 지상부 최적 생육환경	온실 내부 환경 데이터화(%)	50	60	70	90	-
	파프리카 생산성 향상을 위한 환	60	70	80	95	-

조건 개발	경 요인 분석 기법 (%)					
	파프리카 환경요인별 관리 모델 개발	40	50	55	70	-
	환경요인 차이에 따른 파프리카 생육 차이 분석	40	60	70	90	-
[2-3] 우리나라 환경에 적합한 온실 환경제어 시스템 및 제어프로그램 개발	복합 환경제어 프로그램 보완 및 환기/난방온도 설정 알고리즘 개발	- 권취식 환기장치 제어 알고리즘 개발	- 주야간 온도편차에 따른 난방 및 환기온도 설정 제어 알고리즘 개발 - 일출전후 온도편차를 이용한 환기 및 난방 온도조절 모듈개발	- 난방수의 PID 제어	- 다양한 광조건 요구를 충족시키는 제어프로그램 개발	- 제어센서 개측값과 개도값의 DB화
	스크린 제어 및 CO ₂ 제어 알고리즘 개발	- 온실내 스크린류 제어 알고리즘 개발		- 일사량, 습도, 천창개폐에 따른 CO ₂ 공급프로그램 연구	- 다양한 형태의 스크린개폐방법 연구	- 온실환경제어시스템을 통한 EC, pH 모니터링 - 제어프로그램의 사용자 편의를 위한 기능 강화
	병해예방을 위한 온습도 환경조절 알고리즘 개발 및 비닐온실용 복합환경제어시스템 개발	- 온수, 온풍온도 제어 알고리즘 개발	- 계절별 온실내부 온도모니터링 및 DB화	- 비닐온실용 감우센서 개발	- 대형온실용 온습도 분포유지 알고리즘	
[2-4] 파프리카 근권 환경 최적화를 위한 함수율 조절 장치 개발	배지 함수율 조절 장치	개념정립	내용분석	모듈개발	모듈개발	현장검증 상품화

과제명	개발 기술	목표(수준, 성능, 품질)				
		1차년도 (2007-2008)	2차년도 (2008-2009)	3차년도 (2009-2010)	4차년도 (2010-2011)	5차년도 (2011-2012)
[3-1] 파프리카 주요 병해충 방제 농약의 안전 사용 및 잔류농약 클레임 해소 방안	주요 사용농약의 생물학적 반감기 산출	20%	40%	60%	80%	100%
	개선된 난황유 사용법 개발	20%	80%	100%		
	초기 해충방제를 위한 근부캡슐처리 방법 개발	20%	60%	100%		
	효율적인 해충방제를 위한 약제처리 방법 개발			30	70%	100%
	천적에 안전한 농약 선별	20%	40%	60%	80%	100%
[3-2] 파프리카 작물의 천적(생물적)방제 프로그램 개발 및 천적에 사용가능한 선택적 농약 선별 안전사용 설정	가루이류 생물적 방제 프로그램 개발	100%				
	총채벌레류 생물적 방제 프로그램 개발		100%			
	진딧물류 생물적 방제 프로그램 개발			100%		

2. 연차별 연구성과 목표 및 달성

(단위 : 건수)

구분		특허		신품종			유전자원 등록	논문		기타
		출원	등록	품종생산 등록	품종보호			SCI	비SCI	
					출원	등록				
1차년도	목표	2						2		
	달성	2					1	1		
2차년도	목표	1	2				1	5		
	달성	3	1				1	6		
3차년도	목표	1	1				2	4		
	달성	3					4	2		
4차년도	목표	2					2	3		
	달성		1	3			2	2		
5차년도	목표	2	1		7		2	4	4	
	달성	2			11		2	3	4	
계	목표	8	4		7		2	9	18	
	달성	10	4	3	11		2	11	15	

3. 논문게재 성과

○ 논문게재 26건 [SCI(E) 11건, 비SCI 13건, 예정 2건]

순번	발간연도	논문명	저자	학술지명	Vol (No.)	구분
1	2008	TSWV 저항성 검정을 위한 분자표지 선발	김현정, 강병철, 양희범, 정복남	한국원예학회지	26(4)	SCIE
2	2008	난황유를 이용한 파프리카 흰가루병 방제	이정환, 한기수, 권영상, 김동길, 김희규	식물병연구	14(2)	비SCI
3	2009	유리온실과 플라스틱온실 재배 환경하에서의 파프리카의 생장과 건물분배율 및 수량	정원주, 김호철, 배종향, 이정현	한국생물환경조절학회지	18(3)	비SCI
4	2009	Haplotype analysis of CMS-associated DNA markers in sweet peppers	김영민, 조영득, 강병철	Journal of Crop Science and Biotechnology	12(3)	비SCI
5	2009	TDR 센서를 이용한 암면 슬라브 수분 특성 분석 및 파프리카 재배의 적용 예	박종석 외 2명	생물환경조절학회지	18(3)	비SCI
6	2009	파프리카 재배 온실의 피복재 종류에 따른 내부 환경요인과 수량성	김호철, 배종향, 이정현	한국생물환경조절학회지	18(3)	비SCI
7	2009	Estimation of Leaf area, Fresh Weight, and Dry Weight of Paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) using Leaf Length and Width in Rockwool-Based Soilless Culture	뉴엔타이 외 3명	Hort. Environ. Biotechnol.	50(5)	비SCI

8	2009	한국과 네덜란드의 파프리카 재배온실의 시설 내·외부 기상환경 비교	정원주, 명동주, 이정현	생물환경조절학회지	18(3)	비SCI
9	2009	적화처리가 'Derby' 와 'Cupra' 파프리카의 건물생산량 및 광합성 효율에 미치는 영향	이정현, 차중철	원예과학기술지	27(4)	SCIE
10	2010	Discovery of single nucleotide polymorphism in <i>Capsicum</i> and SNP markers for cultivar identification	정진기, 박성우, Wing Yee Liu, 강병철	Euphytica	175	SCI
11	2010	Identification of <i>Capsicum</i> species using SNP markers based on high resolution melting analysis	정희진, 조영득, 박성우, 강병철	Genome	53(12)	SCI
12	2010	착색단고추 재배 온실의 피복재 종류에 따른 내부 온·습도 변화	김호철, 최준혁, 이정현, 배종향	한국생물환경조절학회지	19(1)	비SCI
13	2010	Analysis of Relationship Among Transpiration, Growth and Environmental Factors in Soilless Culture of Paprika Plants	손정익 외 6명	Kor. J. Hort. Sci. Technol	28(1)	SCI(E)
14	2010	A CAPS marker linked to a genic male-sterile gene in the colored sweet pepper, 'Paprika' (<i>Capsicum annuum</i> L.)	Jundae Lee, Jung-Heon Han, Chul-Geon An, Won Phil Lee and Jae Bok Yoon	Breed. Sci.	60: 93-98	SCI
15	2010	파프리카 흰가루병 방제용 난황유의 유화특성과 우황수화제와의 혼용 시 방제효과	이정환, 한기수, 배동원, 권영상, 김동길, 강규영, 김희규	식물병연구	16(1)	비SCI
16	2011	파프리카 재배 중 살균제 boscalid와 pyraclostrobin의 사용시기에 따른 작물 부위별 생산단계 잔류특성	조규성, 이소정, 이동열, 김영진, 최원조, 이제봉, 강규영	한국농약과학회지	15(3)	비SCI

17	2011	파프리카 시판 품종에 대한 유전자적 응성불임성의 대립성 및 분자표지의 유용성 검정	이준대, 도재왕, 한정현, 안철근, 권오열, 김용권, 윤재복	원예과학기술지	29(2): 130-134	SCIE
18	2011	Modeling of Transpiration of Paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) Plants Based on Radiation and Leaf Area Index in Soilless Culture	따더홍 외 2명	Hort. Environ. Biotechnol.	52(3)	SCI(E)
19	2011	파프리카 잎 중 chlorfenapyr의 잔류량 변화와 점박이응애에 대한 잔효 생물 활성	조규성, 이소정, 이동열, 김영진, 김경열, 정부근, 강규영	한국농약과학회지	15(3)	비SCI
20	2012	Development and validation of L allele-specific markers in <i>Capsicum</i>	양희범, Wing Yee Liu, 강원희, 김진희, 조화진, 유재형, 강병철	Molecular breeding	30	SCI
21	2012	Development of a precise system for transpiration monitoring and irrigation control based on radiation, electrical conductivity, and drainage ratio for soilless culture of Paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) plants	신중화 외 2명	Biosystems Engineering	투고	SCI
22	2012	Development of a non-linear equation for estimating transpiration amount with light intensity for enhancing irrigation efficiency in soilless culture of Paprika plants	신중화 외 2명		투고 예정	
23	2012	Analyses of Transpiration, Growth, Yield and Quality of Paprika Plants under Different Moisture Contents of Rockwool Media in Soilless Culture	뉴엔타이 외 3명		투고 예정	

24	2012	광량과 파프리카 품종에 따른 수량과의 상호관계	명동주, 배종향, 강종구, 이정현,	생물환경조절학회지	21(3)	비SCI
25	2012	Comparison of Growth, Transpiration, and Water Use Efficiency of Paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.) under Different Irrigation Frequencies Based on Solar Radiation	따더홍 외 3명	Hort. Environ. Biotechnol.		SCI(E)
26	2012	적색 계통 파프리카 품종 간 생육 및 착과 특성 비교	김호철, 이정현, 배종향	한국생물환경조절학회지	21(3)	비SCI

4. 학술발표

순번	발간연도	논문명	저자	학술지명	Vol (No.)	구분
1	2007	Study of the Dry Matter Distribution Pattern in Sweet Pepper Fruit	정원주, 명동주, 강인근, 송순, 이자영, 이정현	한국원예학회·한국생물환경조절학회 공동학술발표회 자료집		비SCI (구두)
2	2007	Effect of Difference in the Day and Night Temperature and Cultivars on the Rate of Plant Height of Sweet Pepper Plant	명동주, 이정필, 이정현	한국원예학회·한국생물환경조절학회 공동학술발표회 자료집		비SCI (구두)
3	2008	유리온실과 플라스틱 온실의 파프리카 과실무게와 수량 비교 연구	정원주, 강인근, 이자영, 박성훈, 김햇살, 명동주, 김근태, 이정현	한국생물환경조절학회 학술발표 논문집	17(1)	비SCI (포스터)
4	2008	광량과 파프리카 수량에 관한 상호관계 연구	명동주, 이정필, 정원주, 정갑채, 김성길, 이정현	한국생물환경조절학회 학술발표 논문집	17(1)	비SCI (포스터)
5	2008	파프리카 품종에 따른 육묘기 상대생장율에 미치는 영향	차중철, 명지은, 강보영, 이자영, 박성훈, 김햇살, 구양규, 이정현	한국생물환경조절학회 학술발표 논문집	17(1)	비SCI (포스터)
6	2008	암면큐브내 EC수준이 파프리카 육묘의 건물분배와 생육에 미치는 영향	이은규, 정원주, 강인근, 이자영, 명동주, 배종향, 손정익, 이정현	한국생물환경조절학회 학술발표 논문집	17(1)	비SCI (포스터)

7	2008	Dry matter production and yield of sweet pepper grown under glasshouse and plastic greenhouse in Korea	정원주, 손정익, 배중향, 차종철, 이선아, 이정현	2008AH C (아시아원예학회)	아시아원예학회 학술발표집	비SCI (삼지엄)
8	2008	Water uptake relation to radiation and yield of sweet pepper relation to water uptake	명동주, 정원주, 이정필, 명지은, 손정익, 배중향, 이정현	2008AH C (아시아원예학회)	아시아원예학회 학술발표집	비SCI (삼지엄)
9	2008	환경요인에 근거한 파프리카의 증산량 추정 모델	손정익 외 7명	원예과학기술지	26(별호1)	포스터발표
10	2008	파프리카 관수를 위한 수분조절 시스템 개발 및 증산량 예측	뉴엔타이 외 6명	생물환경조절학회 논문집	17(1)	포스터발표
11	2009	품종에 따른 적화 처리가 파프리카의 생장 특성에 미치는 영향	차종철, 정원주, 구양규, 손정익, 배중향, 이정현	한국원예학회 원예과학기술지	27(S1)	SCIE (포스터)
12	2009	Dry Mass Production of Sweet Pepper Plant Grown in Korea and in the Netherlands	정원주, 김햇살, 장인근, 차종철, 문현희, 명동주, 이정현	한국원예학회 원예과학기술지	27(S1)	SCIE (포스터)
13	2009	Analysis of Moisture Characteristics of Growing Medium Using Time Domain Reflectometry (TDR) Sensors in Rockwool Culture	박중석 외 3명	원예과학기술지	27(별호2)	포스터발표
14	2009	Prediction of Transpiration Using Cumulative Radiation and Vapor Pressure Deficit with Growth Stage in Soilless Culture of Paprika Plants	뉴엔타이 외 6명	원예과학기술지	27(별호2)	포스터발표
15	2009	Estimation of Leaf area using Fresh and Dry Weights of Paprika Plants (Capsicum annum L.) Using Leaf Length and Width in Rockwoo Culture	뉴엔타이 외 3명	원예과학기술지	27(별호2)	포스터발표
16	2010	파프리카의 환경관리 신기술	이정현, 명동주	한국원예학회 원예과학기술지	27(S2)	SCIE (포스터)
17	2010	네덜란드와 우리나라의 파프리카 재배시 근권환경 조건 비교 분석	김햇살, 김은정, 장구영, 문현희, 이정현	한국원예학회 원예과학기술지	27(S2)	SCIE (구두)

18	2010	Source strength(엽면적의 변화)의 변화가 파프리카의 개화 및 과실에 미치는 영향	정원주, 문현희, 명동주, 배종향, 이정현	한국원예학회 원예과학기술지	28(S1)	SCIE (포스터)
19	2010	Seasonal Difference of Dry Matter Content, Partitioning, and External Characteristics in Sweet Pepper Fruit	Jeong, WJ, Park, SH., Kim, HS., Kang, IG., Myoung, DJ., Lee, SA., Park, GY., Lee, JH	International Horticultural Congress	28th	비SCI (삼지엽)
20	2010	Analysis of paprika production gap between Netherlands and Korea	Lee, JH	International symposium on protected horticulture in North-East Asian Countries	The 2nd Sino-Japan-Korea joint symposium on protected horticulture and environmental control	비SCI (삼지엽)
21	2010	Effects of Greenhouse Covering Material on Environmental Factors and Fruit Yield in Protected Cultivation of Sweet Pepper	Ho Cheol Kim, Jong Hyang Bae, Jun Hyuk Choi, Jeong Hyun Lee	International symposium on protected horticulture in North-East Asian Countries	The 2nd Sino-Japan-Korea joint symposium on protected horticulture and environmental control	비SCI
22	2010	착색단고추 재배 온실의 피복재 종류에 따른 내부 온·습도 변화	최준혁, 이정현, 김호철, 배종향	Kor. J. Hort. Sci. Technol.	28 (SUPPL. I)	SCIE

23	2010	Analysis of water requirements with growth and environmental factors in soilless culture	신중화 외 3명	The 2nd Sino-Japan-Korea Joint Symposium on Protected Horticulture & Environmental Control		포스터 발표
24	2010	파프리카 최적 관수 시스템 개발	신중화 외 4명	한국생물환경조절학회	19(1)	포스터 발표
25	2010	Model-based prediction of water content of growing medium and development of irrigation strategy	신중화 외 3명	원예과학기술지	28(별호2)	포스터 발표
26	2010	Modeling of transpiration (<i>Capsicum annuum</i> L.) of Paprika plants using radiation and leaf area index in soilless culture	따더홍 외 3명	원예과학기술지	28(별호2)	구두 발표
27	2011	겨울철 줄기밀도 조절과 HPS보광이 파프리카 생산성에 미치는 영향	김은정, 구양규, 김다호, 명동주, 박시홍, 이정현	한국원예학회 원예과학기술지	29(S1)	SCIE (포스터)
28	2011	외출기 재배가 파프리카의 생육 및 수량에 미치는 영향	이정현, 김은정, 구양규, 박시홍, 송명준, 안갑주, 명동주	한국생물환경조절학회 학술발표논문집	20(1)	비SCI (포스터)
29	2011	하계 고온기 초저녁 온도 관리가 파프리카 생육 및 생산성에 미치는 영향	김은정, 김다호, 명동주, 배종향, 이정현	한국원예학회 원예과학기술지	29(S2)	SCIE (포스터)
30	2011	벤로형 유리온실 측고에 따른 내부 환경 및 파프리카 생산성 차이	최준혁, 배종향, 이명재, 이정현	Kor. J. Hort. Sci. Technol.	29 (SUPPL. I)	SCIE

31	201 1	주야간온도차가 파프리카 생육에 미치는 영향	김호철,배중향, 이명재,김문성,이정현	Kor. J. Hort. Sci. Technol.	29 (SUPPL. II)	SCIE
32	201 1	습도관리 차이가 파프리카 생육에 미치는 영향	이명재,배중향 김호철,정평화,이정현	Kor. J. Hort. Sci. Technol.	29 (SUPPL. II)	SCIE
33	201 1	Effect of Irrigation Frequency based Solar Radiation on Paprika Transpiration, Water Use Efficiency, and Yield Production in Greenhouse Soilless Culture	따더홍 외 2명	원예과학 기술지	29(별호1)	
34	201 1	Analysis of Transpiration Efficiency in Terms of Light Intensity in Soilless Culture	신중화 외 2명	원예과학 기술지	29(별호2)	포스 터발 표
35	201 1	Transpiration, Growth, and Water Use Efficiency of Paprika Plants (<i>Capsicum annuum</i> L.) as Affected by Irrigation Frequency	따더홍 외 3명	원예과학 기술지	29(별호2)	포스 터발 표
36	201 2	외줄기와 두줄기 재배가 단위면적당 파프리카의 생육에 미치는 영향	이정현, 김은정, 김다호, 명동주, 구양규, 배중향	한국생물 환경조절 학회 춘계공동 학술발표 논문집	21(1)	비SCI (포스터)
37	201 2	재식밀도가 파프리카 생육에 미치는 영향	명동주, 김은정, 김다호, 이선아, 김규하, 이정현	한국생물 환경조절 학회 춘계공동 학술발표 논문집	21(1)	비SCI (포스터)
38	201 2	파프리카 작물의 생육 모델 검증	김은정, 박창록, 이정현	한국생물 환경조절 학회 춘계공동 학술발표 논문집	21(1)	비SCI (포스터)
39	201 2	겨울철 LED 혼합광이 파프리카 생육에 미치는 영향	김은정, 김다호, 명동주, 박시홍, 이정현	한국생물 환경조절 학회 춘계공동 학술발표 논문집	21(1)	비SCI (포스터)
40	201 2	파프리카 생과중 예측을 위한 과실건물 함량 일반화	이정현, 김은정, 박창록, 박시홍, 서수원, 명동주	한국원예 학회 원예과학 기술지	30(S2)	SCIE (포스터)

41	201 2	시뮬레이션 모델을 이용한 산란광 투과율과 CO2에 따른 파프리카의 건물생산량에 미치는 영향	이정현, 배중향, Heuvelink Ep, Bakker Menno	한국원예 학회 원예과학 기술지	30(S2)	SCIE (구두)
42	201 2	Development of a Plant Growth Monitoring and Irrigation Control System for Soilless Culture of Paprika Plants	신중화 외 1명	원예과학 기술지	30(별호1)	구두 발표
43	201 2	Development of a Commercialized Irrigation Control System for Soilless Culture of Paprika Plants	신중화 외 1명	원예과학 기술지	30(별호1)	포스 터발 표

5. 특허 성과

○ 특허실적 14건(특허 출원 10건, 특허 등록4건)

순번	구분	출원 여부	년도	특허명	출원인	발명인	출원(등록)번호
1	특허	출원	2008	파프리카(착색단고추)의 유전자적 웅성불임성(GMS)과 연관된 분자표 지개발과 이를 이용한 새로운 GMS 계통 육성 방법	(주)고추와 육종	이준대, 윤재복, 안철근	10-2008-007043 4
2	특허	출원	2009	유전자적 웅성불임성(GMS) 연관마 커를 이용한 미니파프리카의 새로운 GMS 계통 육성 방법	(주)고추와 육종	이준대, 윤재복, 안철근	10-2009-007957 1
3	특허	출원	2009	세포질-유전자적 웅성불임성 (CGMS) 회복유전자좌(<i>Rf</i>) 연관마 커를 이용한 파프리카(착색단고추) CGMS 모계(A 및 B 계통) 육성 방법	(주)고추와 육종	이준대, 윤재복	10-2009-007957 2
4	특허	출원	2009	세포질-유전자적 웅성불임성 (CGMS) 회복유전자 도입을 통한 파프리카(착색단고추) CGMS 부계 (C 계통) 육성 방법	(주)고추와 육종	이준대, 윤재복	10-2009-007957 0
5	특허	등록	2010	파프리카(착색단고추)의 유전자적 웅성불임성(GMS)과 연관된 분자표 지개발과 이를 이용한 새로운 GMS 계통 육성 방법	(주)고추와 육종	이준대, 윤재복, 안철근	제10-0998124호
6	특허	출원	2010	PMMoV 저항성 고추 품종을 선별하기 위한 프라이머 세트, 방법 및 키트	서울대학교 산학협력단	강병철, 양희범	10-2010-004836 8
7	특허	출원	2012	TSWV 저항성 고추 품종을 선별하기 위한 프라이머 세트, 방법 및 키트	서울대학교 산학협력단	강병철, 양희범	10-2012-007482 5
8	특허	출원	2008	온실용 복합환경 제어기	그린씨에스 (주)	서민철, 배임성, 이정현, 서해근	2008-0070769
9	특허	등록	2009	온실용 복합환경 제어기	그린씨에스 (주)	서민철, 배임성, 이정현, 서해근	10-0908027
10	특허	출원	2010	온실환경 자동제어 방법 및 시스템	그린씨에스 (주)	배임성, 서민철, 이정현, 서해근	2010-0064357
11	특허	출원	2010	비닐하우스의 권취식 환기창을 개폐하기 위한 모터의 개별제어 시스템	그린씨에스 (주)	배임성, 서민철, 이정현, 서해근	2010-0064340

순번	구분	출원 여부	년도	특허명	출원인	발명인	출원(등록)번호
12	특허	등록	2011	온실환경 자동제어 방법 및 시스템	그린씨에스 (주)	배임성, 서민철, 이정현, 서해근	10-1031820
13	특허	등록	2011	비닐하우스의 권취식 환기창을 개폐하기 위한 모터의 개별제어 시스템	그린씨에스 (주)	배임성, 서민철, 이정현, 서해근	10-1031821
14	특허	출원	2012	근권환경 최적화를 위한 관수 제어 방법 및, 그 제어 시스템	서울대학교 산학협력단	손정익, 신중화	10-2012-005769 4

6. 품종등록

○ 품종실적 11건(품종 출원 9건, 품종보호등록 2건)

순번	구분	출원 여부	년도	특허명	출원인	발명인	출원(등록)번호
1	품종	출원	2012	하나-알1호	(주)하나종 묘 이용직		출원 2012-497
2	품종	출원	2012	하나-오1호	(주)하나종 묘 이용직		출원 2012-496
3	품종	품종 보호 출원	2012	SNU-CP-1	서울대학교 산학협력단	강병철, 양희범	102012000472
4	품종	품종 보호 출원	2012	SNU-CP-2	서울대학교 산학협력단	강병철, 양희범	102012000473
5	품종	품종 보호 출원	2012	레드스타	농업협동조 합중앙회	권오열	출원2012-543
6	품종	품종 보호 출원	2012	오렌지스타	농업협동조 합중앙회	권오열	출원2012-544
7	품종	품종 보호 출원	2012	옐로우스타	농업협동조 합중앙회	권오열	출원2012-548
8	품종	품종 보호 출원	2012	레드스마트	농업협동조 합중앙회	권오열	출원2012-549
9	품종	품종 보호 출원	2012	옐로우스마트	농업협동조 합중앙회	권오열	출원2012-545
10	품종	품종 보호 출원	2012	오렌지스마트	농업협동조 합중앙회	권오열	출원2012-546
11	품종	품종 보호 출원	2012	레드썬	농업협동조 합중앙회	권오열	출원2012-547

7. 사업화 현황

가. 사업화

사업화 년도	사업화명	사업화내용	사업화 업체 개요				기대출액	개발제품(기술) 매출액
			업체명	대표자	종업원수	사업화 형태		
2008	온실환경제어시스템	온실용 복합환경제어기 공급	그린씨에스주)	서일수	3	판매		210백만원
2009	온실환경제어시스템	온실용 복합환경제어기 공급	그린씨에스주)	서일수	3	판매	210백만원	330백만원
2010	온실환경제어시스템	온실용 복합환경제어기 공급	그린씨에스주)	서일수	3	판매	540백만원	375백만원
2011	온실환경제어시스템	온실용 복합환경제어기 공급	그린씨에스주)	배임성	3	판매	915백만원	240백만원
2012	온실환경제어시스템	온실용 복합환경제어기 공급	그린씨에스주)	배임성	3	판매	1155백만원	195백만원
	합계						1350백만원	

나. 기술 거래

○ 기술이전 10건

기술거래 일자	기술 내용	대상 기관
(진행중)	본 사업단의 특허 성과물인 “PMMoV 저항성 고추 품종을 선별하기 위한 프라이머 세트, 방법 및 키트” 를 기술 이전함.	솔젠트
(진행중)	파프리카 품종 “레드스타”	자체이전
(진행중)	파프리카 품종 “옐로우스타”	자체이전
(진행중)	파프리카 품종 “오렌지스타”	자체이전
(진행중)	파프리카 품종 “레드스마트”	자체이전
(진행중)	파프리카 품종 “옐로우스마트”	자체이전
(진행중)	파프리카 품종 “오렌지스마트”	자체이전
(진행중)	파프리카 품종 “레드썬”	자체이전
(진행중)	중국 토경재배용 적색파프리카 “하나-알1호”	농협종묘
(진행중)	중국 토경재배용 적색파프리카 “하나-오1호”	농협종묘

8. 인력활용/양성 성과

가. 인력지원 성과

지원 총인원	지원 대상 (학위별, 취득자)				성별		지역별		
	박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	대전	기타지역
103	23	24	43	13	84	19	19	1	83

나. 산업기술인력 양성 성과

일 자	프로그램명	프로그램 내용	교육기관	교육 개최회수	총 교육시간	총 교육인원
2008	지역농업 특성화교육사 업 파프리카교육 반	파프리카 재배 온실환경조절	전남대학교	10	40	20
2008	지역농업 특성화교육사 업 농업선진국교 육	파프리카 재배 농가의 네덜란드 PTC+교육 참여	네덜란드 PTC+교육센터, 지역농업특성화사업단 (전라남도, 경상북도)	3	120	45
2008	해외전문가초 청 강연	네덜란드 BLV 수석 컨설턴트 크리스 비번 초청 파프리카 재배 전반 강의	경상남도 농업기술원 및 파프리카 재배현장, 전라남도 농업기술원	3	24	100
2008	파프리카 재배관리	파프리카 하계작형 재배관리	파프리카 생산자자조회	2	8	40
2009	지역농업 특성화교육사 업	첨단시설원예 에너지관리 전문인력양성 (파프리카)	전남대학교, 전남농업특성화센터	15	90	20
2009	지역농업 특성화교육사 업 농업선진국교 육	파프리카 재배농가의 네덜란드 PTC+ 교육 참석	네덜란드 PTC+교육센터, 농산물유통공사	2	112 (28일)	26
2009	해외전문가 초청 강연	네덜란드 Wingerden horticultural advice 수석컨설턴트 Jhon van Wingerden 초청 재배 전반 강의	전남대학교, 농업회사법인 탐진들, 전남농업특성화센터, 회순도곡파프리카영농조합 법인	3	18	60
	네덜란드	전남대학교,		5	30	100

	Green Q 파프리카 전문컨설턴트 Wim van Wingerden 초청 재배 전반 강의	농업회사법인 탐진들, 전남농업특성화센터, 화순도곡파프리카영농조합법인				
2009	파프리카 재배 관리	파프리카 농가 및 연구교육기관 교육	전남대학교, 농업회사법인 탐진들, 화순도곡파프리카영농조합 법인 영광시설과채류 영농조합법인 등외다수	30	100	450
2010	해외전문가 초청 강연	네덜란드 Koppert 컨설턴트 Jan Rodenrijs 초청 수출파프리카 IPM관리	전남대학교, 농업회사법인 탐진들, 화순도곡파프리카영농조합 법인	3	12	30
2010	파프리카 재배 관리	파프리카 농가 및 연구교육기관 교육	전남대학교, 농업회사법인 탐진들, 화순도곡파프리카 영농조합법인 영광시설과채류 영농조합법인, 진부수출파프리카작목반	10	40	120

9. 홍보 실적

○ 보도 내역 45건

순번	홍보일자	언론매체명	내 용
1	2007-12-03	농민신문	파프리카 연구본격화
2	2007-12-04	환경TV, 한국정책TV	메이드인코리아-수출농산물
3	2008-07-30	농민신문	파프리카 연구사업단 추진과제 진도평가회
4	2009-03-18	원예산업신문	국내산 파프리카 종자개발 박차
5	2009-04-24	농민신문	파프리카 국산품종 개발'가속도'
6	2009-05-11	농민신문	파프리카 종자값은 금값
7	2009-08-19	원예산업신문	국산 파프리카 품종 개발 멀지 않아
8	2009-11-11	원예산업신문	'파프리카 재배기술'자료집 발간
9	2010-01-06	농민신문	'파프리카 재배...' 영농활용자료 발간
10	2010-05-12	농민신문	파프리카 종자 국산품종개발 "눈앞"
11	2010-08-20	농민신문	파프리카 국산품종 개발성과 "가시화"
12	2011-05-04	농민신문	파프리카 신품종 개발 '속도'
13	2011-01-10	원예산업신문	국산 파프리카 품종 올 여름 출현
14	2011-05-02	원예산업신문	“우리 파프리카품종 네덜란드 근접”
15	2011-12-05	원예산업신문	국내최초 국산파프리카 3품종 등록
16	2012-01-27	세계일보	농협종묘센터, 국내최초 국산 파프리카 품종개발
17	2012-01-27	프레시안	금보다 비싼 파프리카 씨앗, 드디어 국산화
18	2012-01-29	파이낸셜 뉴스	농협국산파프리카 품종 개발
19	2012-01-27	경향신문	수입에 의존했던 '파프리카 종자' 국내 최초 개발성공
20	2012-01-27	아시아 경제	전량수입했던 파프리카, 국산 품종 첫 개발
21	2012-01-27	농민신문	국산 파프리카 3품종 개발
22	2012-01-27	아주경제	국내최초 국산 파프리카 품종 개발
23	2012-01-27	머니투데이	농협종묘센터, 파프리카 3개 국산품종 첫 개발
24	2012-01-27	헤럴드경제	100% 수입하던 파프리카 종자...국산 신품종 첫 개발
25	2012-01-27	아시아투데이	농협, 국산 파프리카 신품종 개발 성공
26	2012-01-28	KBS	국산 파프리카 재배 성공...씨앗값 50% 낮아질듯
27	2012-01-27	농민신문	파프리카연구사업단, 특허출원 4년만에 9건...네덜란드 수준 품종개발 도전
28	2012-01-27	한국경제	농협종묘센터 국산 파프리카 신품종 개발 성공
29	2012-01-27	광주매일신문	국산파프리카 재배 성공...씨앗값 50% 낮출듯
30	2012-01-27	뉴스천지	농협종묘센터, 국내 최초 국산 파프리카 품종 개발
31	2012-01-27	뉴시스	농협, 파프리카 신품종 개발 ...수입대체 효과 기대
32	2012-01-27	식품저널	농협종묘센터, 국산 파프리카 품종개발

33	2012-01-28	강원일보	국산 파프리카 재배 성공
34	2012-01-30	전라일보	농협종묘센터, 국산 파프리카 품종 첫 개발
35	2012-01-30	한국농어민신문	국산파프리카 3개 신품종 개발
36	2012-02-01	원예산업신문	국내최초 파프리카 품종 개발
37	2012-01-30	NBS	농협종묘센터, 종자국산화 개발성공
38	2012-03-28	MBC	황금씨앗의 전쟁
39	2012-01-24	YTN	첫 국산 파프리카 개발
40	2012-01-24	MBN	파프리카, 이제 우리씨앗으로
41	2012-01-27	농민신문	[사설]국산품종 '파프리카 삼총사'가 쏘아올린 희망
42	2012-03-10	월간새농사	농협종묘, 파프리카 품종육성, 종자수출 신호탄 되나
43	2012-03-28	MBC	황금씨앗의 전쟁
44	2012-06-08	농민신문	국산파프리카 시험재배 '순항'
45	2012-09-19	농민신문	대과형 파프리카로 만리장성 넘는다

10. 책자 발간

○ 책자 발간 9건

연차	연도	제 목	저 자
1차 년도	2008	2008 하절기 파프리카 안전성 관리 홍보	경상대학교
	2008	고추,파프리카 Fact Sheets 병해충 천적 생리장해 관리	경상대학교
	2008	[파프리카] 천적을 활용한 가루이류 생물적 방제와 천적에 안전한 농약 사용법	(주)세실
2차 년도	2009	파프리카 병해충 종합관리체계 구축	경상대학교
	2009	[파프리카] 천적을 활용한 총채벌레류 생물적 방제와 천적에 안전한 농약 사용법	(주)세실
3차 년도	2010	파프리카 재배기술 향상 및 안전한 병해충 방제	파프리카 연구사업단
	2010	[파프리카] 천적을 활용한 가루이류 생물적 방제와 천적에 안전한 농약 사용법	(주)세실
4차 년도	2011	고추 파프리카 병해충 종합관리	파프리카 연구사업단
	2011	수출 파프리카 고품질 안정생산 기술	경상대학교
5차 년도			

11. 컨설팅 및 교육

순번	일자	내용	대상농가	참가인원
1	2008	파프리카 품질관리	파프리카자조회	172
2	2009	파프리카 품질관리	파프리카자조회	100
3	2010	파프리카 품질관리	파프리카자조회	56
4	2011	파프리카 품질관리	파프리카자조회	32

제2절 성과활용계획

가. 수출용 및 국내보급용 파프리카 품종개발(제1-1세부과제)

논문게재 1건[SCI(E) 1건], 품종출원 7건에 달하는 실적을 얻었다. 사업단 연구결과 품종육성에 이용할 수 있는 많은 육종재료를 확보하였으며, 국내 최초로 파프리카 국산 품종을 개발하였다. 개발된 품종들은 농가 실증실험중에 있으며 농가반응이 좋을 경우 적극적으로 품종을 공급할 계획이다. 일부 품종은 내년 공급계획으로 원종생산중이며 조합능력 결과 우수한 조합은 계속하여 품종출원할 예정이다. 국내 최초로 파프리카 품종육성이 성공함에 따라 그 동안 100%외국산 품종에 의존하던 종자를 국산으로 대체함으로써 종자의 원활한 공급 및 종자가격을 안정화시켜 농가 생산비를 줄일수 있을 것이다.

나. 중국 종자수출용 토경재배용 파프리카 품종 개발(제1-2세부과제)

본 연구의 결과물인 중국 시장에 대한 이해는 향후 산동지방의 파프리카와 고추 품종 개발 뿐만이 아니고, 더 큰 시장인 중국 남방 시장을 공략할 수 있는 중요한 자산으로 활용될 것으로 사료된다. 또한 이번에 품종 보호 출원을 하게 된 2가지 품종 (하나알1호, 하나오1호)은 2013년도에 현지 농가 확대 시험을 적어도 5곳 이상은 수행할 계획에 있다. 한국과 마찬가지로 중국도 파프리카 재배는 단위면적당 조수익이 많은 작형이므로 농가에서 품종을 잘 바꾸지 않으려는 기본적인 습성이 있다. 따라서 영업적인 접근을 위하여는 향후 2~3년의 시험포 운영을 통하여 품종의 우수성을 지속적으로 홍보를 하여야 할 것으로 사료되며, 이는 중국인들 특유의 “만만디” 와 더불어 빠른 시장 접근을 어렵게 하는 요인이 된다. 지속적인 시험포 운영을 통하여 단점을 보다 명확히 파악하고, 이를 보완하는 계통선발을 지속적으로 할 계획이다. 종자의 신규개발은 품종발표 -->결과feedback-->보완품종발표-->결과feedback의 과정을 2~3번은 거쳐야 가능하므로 조급하지 않게 지속적인 보완을 할 계획이다. 시장의 진입장벽이 높은 만큼 시장 진입에 성공하면 상당기간 동안 안정적인 판매가 가능할 것으로 기대된다.

다. 옹성불임을 이용한 파프리카 F₁ 종자 생산 체계 확립(제1-3세부과제)

○ 파프리카 옹성불임 유전인자 분석

- 네덜란드를 포함하는 유럽의 파프리카 품종 개발 종자회사들과 미국의 파프리카 종자회사 등에서 사용하고 있는 옹성불임 유전인자가 무엇인지를 확인할 수 있으며 기존에 알려지지 않은 새로운 옹성불임 유전인자의 유무도 확인 가능하여 옹성불임 유전자 연관 분자표지 개발에 유용한 정보로 활용될 수 있다.
- 서로 다른 유전인자를 조합하여 two loci GMS system을 확립할 경우 종자생산 비용을 획기적으로 절감할 수 있을 뿐만 아니라 자체적인 품종 보호의 수단으로서 효용성이 높아질 수 있

다.

- 파프리카 응성불임 유전인자와 연관된 분자마커 개발
 - 열성유전 하는 GMS에 있어서 분자마커의 효용성은 매우 크다. 따라서 각각의 품종별 또는 과색별로 맞춤형 분자마커를 개발할 경우 세대진전에 필요한 포장 면적 및 노동력 등을 획기적으로 절감할 수 있으므로 최종적으로 종자생산 비용 절감에 결정적인 역할을 할 수 있다.
 - 매 세대마다 응성불임 계통 육성을 위한 hetero형을 선발해야 하는데 분자마커를 사용할 경우 다음 세대의 확인 없이 당대에서 직접 선발할 수 있으므로 육종연한 단축에 따른 신속한 품종 개발 가능할 것이다.
 - 분자마커를 이용하여 서로 다른 *ms* 유전자를 집적시켜 효과적으로 two loci GMS system 개발에 유용하게 활용될 수 있다.
- 파프리카 응성불임 계통 육성
 - 신품종에 대한 육종가의 권리를 보호하고 우수한 품종의 수명을 연장하는 방법으로서 응성불임의 이용은 매우 중요하다. 현재 신품종 파프리카의 약 90% 정도에서 이미 응성불임의 사용을 확인할 수 있었고 앞으로의 품종은 거의 모두 응성불임을 이용할 것으로 판단된다. 따라서 우리나라에서 응성불임을 이용하여 파프리카 신품종을 육성하는 것은 파프리카 산업의 토착화 및 국산화를 이루는데 활용될 수 있다.
- CGMS system 도입을 통한 파프리카 계통 육성
 - 응성불임 불안정성으로 인하여 현재 파프리카에서 사용하지 못하고 있는 CGMS system을 일반 고추로부터 여교잡 및 분자마커를 이용하여 도입함으로써 CGMS 이용을 위한 계통 육성을 할 수 있을 것이다.
 - 가장 경제적인 채종방법임과 동시에 품종 보호 측면에서도 가장 유리한 방법이며 아직 전 세계에서 그 유래를 찾기 힘든 연구과제로서 파프리카 응성불임 불안정성 관련 연구에 많은 도움이 될 것이다.
 - 본 연구과제에서 생산되는 연구결과는 논문게재, 특허출원 및 기술이전을 할 것이다.

라. 분자유종 기술을 이용한 복합 바이러스 내병성 파프리카 계통육성(제1-4세부과제)

- 4개의 바이러스 저항성(PMMoV, CMV, TSWV, Potyvirus), 1개의 세균저항성(Xanthomonas) 연관 분자표지 분석 기술을 확립하여 복합 병 저항성 파프리카 분자유종 체계를 구축함.
- CMV&Potyvirus 복합 저항성 계통을 육성하여 다른 계통과 교배하여 CMV, Potyvirus 복합 저항성 파프리카 F1 품종을 개발할 수 있고, 또한 다른 계통과 교배하여 다른 계통에 CMV, Potyvirus 저항성 유전자를 도입할 수 있음.
- 타 세부과제에서 육성 중인 계통의 TSWV, PMMoV, 세균성 점무늬병 유전형질을 분석한 바 있고, 이들 계통을 이용하여 복합 병 저항성 파프리카 품종을 만들 수 있는 기틀을 마련함.

마. 선발계통과 신품종의 특성평가 및 병 저항성 검정(제1-5세부과제)

육성하고자 하는 파프리카와 미니파프리카의 분리계통에 대해 초기 단계에서부터 온실이나 비닐하우스의 수경과 토경 등 다른 조건에서 생육과 과실의 특성 및 병저항성 등을 검정하여 계통선발을 하고 제 1-1 세부과제에서 육성된 교배조합을 기존의 재배품종들과 비교 시험을 유리온실 수경재배, 비닐하우스 및 토경재배를 경남, 전남, 강원 농가포장 등에 시험 하여 평가한 후 우수한 조합은 품종등록 한다.

바. 네덜란드와 우리나라의 생산성 차이 원인 극복 기술 개발(제2-1세부과제)

- 생산량 감소요인의 홍보 및 생산자 자체 개선을 통한 생산량 증대 및 에너지 절감
- 환경관리 시스템 설치를 위한 생산량 예측과 투자효율 계산에 의한 농가의사결정지지
- 생산자의 생산면적 확대에 따른 재배관리 위험요소 중점관리 활용
- 복합환경조절시스템 개발에 필요한 생산함수 모듈적용 지원
- 학술 논문 발표 및 투고

사. 파프리카의 시설별 지상부 최적 생육환경 조건 개발(제2-2세부과제)

- 파프리카 재배에 있어 온실 종류, 다양한 환경 요인 중 생산성에 영향을 주는 주요인을 밝혀내었고, 이에 대한 영향력 정도를 회귀분석을 통하여 추정식을 도출하였다. 이는 차후 파프리카의 재배 면적 확대 및 설비 개선 등에 이용하면 그 효율성을 증대시킬 것으로 기대된다. 또한 현장 재배 적용 기술에 대한 보완을 가능케 함으로서 작물의 안정적 성장 및 발육을 도모하고 이에 생산성을 증대시킬 수 있을 것으로 기대된다.

아. 우리나라 환경에 적합한 온실환경 제어시스템 및 제어프로그램 개발(제2-3세부과제)

- 1) 온실 복합환경 제어기 판매
 - 유리온실, 플라스틱온실 등에 적합한 범용 환경제어 프로그램의 국내 자체 기술력 확보에 따른 잇점을 활용하여 국내 시설원에 농가 및 식물공장을 대상으로 계속 보급을 위한 사업 확대 실시
 - 지속적 소프트웨어 업그레이드를 통한 농가 경영비 감소를 위한 A/S 체계 구축
- 2) u-IT 농업연계
 - 지자체에서 추진하고 있는 u-IT 농업 확대와 연계하여 국내 환경에 적합한 온실 복합환경제어기 보급 추진
 - web 기반 통신을 활용한 원격지원 프로그램 제공에 따른 제품의 기능성 강화

자. 파프리카 근권환경 최적화를 위한 함수울 조절 장치 개발(제2-4세부과제)

- 파프리카의 배지 함수울 최적화 조절 기술 및 시스템 개발 활용
- ERP 이용농가들의 생산효율성과 프로그램 이용효율의 극대화

- 생산농가 간 상이한 수분관리에 의한 생산량 감소의 최소화
- 파프리카 근권 함수율 조절을 통한 작물 품질 및 생산성 향상

차. 파프리카 주요 병해충 방제 농약의 안전사용 및 잔류농약 클레임해소방안 (제3-1세부과제)

- 1) 파프리카 수출 및 유통 시에 발생하는 잔류농약 클레임해소를 위해서 생산단계 잔류허용기준을 적용하여 출하 시에 잔류허용기준(MRL, Maximum Residue Limit)을 초과하지 않는 안전한 파프리카 생산이 가능한 기반확립..
- 2) 계절별 농약의 잔류특성 구명을 통하여 겨울철 빈번히 발생하는 잔류농약 클레임 현상을 방지하고 사용 농약 선택에 가이드라인 제시..
- 3) 농약의 살포 후 잔류특성과 생물학적 활성 능력의 검증을 통한 상관성을 연구하여 병해충방제 시 사용하는 농약의 살포농도를 추천하고 과다사용을 방지하는 방법 제시.
- 4) 육묘 및 정식초기 살충제의 근부캡슐처리를 통하여 정식 초기에 해충을 방제하여 겨울철 시설 내 해충 발생 미연에 방지.
- 5) 해충 밀도가 높은 온실 내에서 처리 여러 가지 처리 방법으로 잔류성과 약효실험을 통하여 캡슐처리가 파프리카 재배 시에 해충을 방제하고 잔류문제도 줄일 수 있는 방법으로 적용, 추천.
- 6) 흰가루병 방제를 위해 개선된 난황유의 사용으로 농가에서 흰가루병 발생 시 잔류의 문제를 해결하고 약효를 얻을 수 있음.
- 7) 병해충 진단키 개발 및 보급을 통해 농가에서 발생하는 병해충의 정보를 확인하여 방제에 기여.
- 8) 농약 안전사용 교육 및 책자 제작/보급을 통하여 파프리카 재배중 발생하는 해충방제 방법 및 안전한 농약의 사용 등을 교육함으로써 농민들이 파프리카 재배하는데 실질적 도움제공.
- 9) 발생 빈도가 높은 해충에 사용되는 주요 천적에 대하여 안전한 농약을 선발하여 천적과 화학농약의 병행 사용이 가능한 효율적인 방제 방법을 적용.

카. 파프리카 작물의 천적 (생물적)방제 프로그램 개발 및 천적에 사용 가능한 선택적 농약선발 안전사용 설정 (제3-2세부과제)

- 1) 가루이류, 총채벌레류, 진딧물류 방제에 사용되는 천적을 해충밀도에 따라 투입량 및 방사시기를 설정하여 천적사용 농가에 실질적인 도움.
- 2) 가루이류, 총채벌레류, 진딧물류를 방제하는 천적에 대하여 안전한 살충제를 선발하여 천적과 농약의 조화로운 사용으로 효율적인 해충 방제를 수행.
- 3) 천적에 안전한 농약을 선발한 후 실제 적용 시험을 통한 안전성 검증으로 농민들이 천적과 안전한 농약을 병행 사용하는데 가이드라인을 제공해 줌.

제 6 장 참고문헌

제 6 장 참고문헌

제1-3세부과제 : 옹성불임을 이용한 파프리카 F₁ 종자 생산 체계 확립

- Csillery, G. 1989. More efficient pepper hybrid seed production by double male sterile mother line. Proc. Eucarpia VIIth Meeting on Genetics and Breeding of Capsicum and Eggplant (Kragujevac, Yugoslavia), pp. 129-133.
- Curtis, I.S., C. He, R. Scott, J.B. Power and M.R. Davey. 1996. Genomic male sterility in lettuce, a baseline for the production of F₁ hybrids. Plant Science 113:113-119.
- Daskaloff, S. 1968. A male sterile pepper (*Capsicum annuum* L.) mutant. Theor. Appl. Genet. 38:370-372.
- Daskalov, S. and L. Mihailov. 1983. A new method of pepper hybrid seed production based on mutant genes. In: Proc 5th Meeting Capsicum and Eggplant Working Group, EUCARPIA, Plovdiv, July 4-7, 1983 pp. 131-133.
- Daskalov, S. and L. Mihailov. 1988. A new method for hybrid seed production based on cytoplasmic male sterility combined with a lethal gene and a female sterile pollenizer in *Capsicum annuum* L. Theor. Appl. Genet. 76:530-532.
- Frankel, F. and E. Galun. 1977. Pollination mechanisms, reproduction and plant breeding, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Korean Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. 2009. Statistics of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries for 2009. Ministry Food Agr. For. Fisheries, Gwacheon, p.82.
- Lee, D.H. 2001. Studies on unstable fertility of CGMS (cytoplasmicgenic male sterility) in *Capsicum annuum* L. Ph.D. Dissertation, Seoul National University, South Korea.
- Lee, J., J.B. Yoon and H.G. Park. 2008. A CAPS marker associated with the partial restoration of cytoplasmic male sterility in chili pepper (*Capsicum annuum* L.). Mol. Breed. 21:95-104.
- Lee, J., J.B. Yoon, J.H. Han, W.P. Lee, S.H. Kim, and H.G. Park. 2010a. Three AFLP markers tightly linked to the genic male sterility *ms₃* gene in chili pepper (*Capsicum annuum* L.) and conversion to a CAPS marker. Euphytica 173:55-61.
- Lee, J., J.H. Han, C.G. An, W.P. Lee, and J.B. Yoon. 2010b. A CAPS marker linked to a genic male-sterile gene in the colored sweet pepper, 'Paprika' (*Capsicum annuum* L.). Breed. Sci. 60:93-98.
- Lee, J., W.P. Lee, J.H. Han, and J.B. Yoon. 2010c. Development of molecular marker

- linked to a genic male-sterile gene, msk in chili pepper. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 28:270-274.
- Lu, G.Y., G.S. Yang and T.D. Fu. 2008. Molecular mapping of a dominant genic male sterility gene *Ms* in rapeseed (*Brassica napus*). Plant Breed. 123:262-265.
- Meshram, L.D. and M.N. Narkhede. 1982. Natural male sterile mutant in hot chilli (*Capsicum annuum* L.). Euphytica 31:1003-1005.
- Michelmore, R.W., I. Paran and R.V. Kesseli. 1991. Identification of markers linked to disease resistance genes by bulked segregant analysis: A rapid method to detect markers in specific genomic regions by using segregating populations. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 88:9828-9832.
- Min, W.K., H. Lim, Y.P. Lee, S.K. Sung, B.D. Kim and S. Kim. 2008. Identification of a third haplotype of the sequence linked to the *restorer-of-fertility* (*Rf*) gene and its implications for male-sterility phenotypes in peppers (*Capsicum annuum* L.). Mol. Cell 25: 20-29.
- Peterson, P.A. 1958. Cytoplasmically inherited male sterility in *Capsicum*. Am. Nat. 92:111-119.
- Prince, J.P., Y. Zhang, E.R. Radwanski, and M.M. Kyle. 1997. A versatile and high-yielding protocol for the preparation of genomic DNA from *Capsicum* spp. (pepper). Hortscience 32:937-939.
- Rao, M.K., K.U. Devi and A. Arundhati. 1990. Applications of genic male sterility in plant breeding. Plant Breed. 105:1-25.
- Sambrook, J. and D.W. Russell. 2001. Molecular Cloning: A Laboratory Manual, 3rd ed. Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor, N.Y.
- Shifriss, C. 1973. Additional spontaneous male-sterile mutant in *Capsicum annuum* L. Euphytica 22:527-529.
- Shifriss, C. 1997. Male sterility in pepper (*Capsicum annuum* L.). Euphytica 93:83-88.
- Shifriss, C. and M. Pilowsky. 1993. Digenic nature of male sterility in pepper (*Capsicum annuum* L.). Euphytica 67:111-112.
- Song, J.Y., I. Sivanesan, C.G. An, and B.R. Jeong. 2009. Micropropagation of paprika (*Capsicum annuum*) and its subsequent performance in greenhouse cultivation. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 27:293-298.
- Tang, J.H., Z.Y. Fu, Y.M. Hu, J.S. Li, L.L. Sun and H.Q. Ji. 2006. Genetic analyses and mapping of a new thermo-sensitive genic male sterile gene in maize. Theor. Appl. Genet. 113:11-15.
- Tanksley, S.D., C.M. Rick and C.E. Vallejos. 1984. Tight linkage between a nuclear male sterile locus and an enzyme marker in tomato. Theor. Appl. Genet. 68:109-113.
- Vos, P., R. Hogers, M. Bleeker, M. Reijans, T. van de Lee, M. Hornes, A. Fritjers, J. Pot, J. Paleman, M. Kuiper and M. Zabeau. 1995. AFLP: A new technique for

- DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Res.* 23:4407–4414.
- Wang, D. 2006. The genes of *Capsicum*. *Hortscience* 41:1169–1187.
- Xie, Y.Z., D.F. Hong, Z.H. Xu, P.W. Liu and G.S. Yang. 2008. Identification of AFLP markers linked to the epistatic suppressor gene of a recessive genic male sterility in rapeseed and conversion to SCAR markers. *Plant Breed.* 124:367–370.
- Yoo, I.W. 1990. The inheritance of male sterility and its utilization for breeding in pepper (*Capsicum* spp.). Ph.D. Dissertation, Kyung Hee University, South Korea.
- Young, N.D. 1999. A cautiously optimistic vision for marker-assisted breeding. *Mol. Breed.* 5:505–510.
- Zhang, Y., J.X. Mao, K. Yang, Y.F. Li, J. Zhang and Y.X. Huang, F.C. Shen and C.D. Zhang. 2008. Characterization and mapping of a male-sterility mutant, tapetum desquamation (t), in rice. *Genome* 51:368–374.

제1-4세부과제 :

- 김현정, 양희범, 정봉남, 강병철 (2008) TSWV 저항성 파프리카 품종 개발을 위한 분자 표지의 검정. *Kor J Hort Sci Technol* 26:464–470
- Kang WH, Hoang NH, Yang HB, Kwon JK, Jo SH, Seo JK, Kim KH, Choi D, Kang BC (2010) Molecular mapping and characterization of a single dominant gene controlling CMV resistance in peppers (*Capsicum annuum* L.). *Theor Appl Genet* 120:1587–1596
- Moury B, Pflieger S, Blattes A, Lefebvre B, Palloix A (2000) A CAPS marker to assist selection of tomato spotted wilt virus (TSWV) resistance in pepper. *Genome* 43:137–142
- Tai T, Dahlbeck D, Stall RE, Peleman J, Staskawicz BJ (1999) High-resolution genetic and physical mapping of the region containing the Bs2 resistance gene of pepper. *Theor Appl Genet* 99:1201–1206
- Tomita R, Murai J, Miura Y, Ishihara H, Liu S, Kubotera Y, Honda A, Hatta R, Kuroda T, Hamada H (2008) Fine mapping and DNA fiber FISH analysis locates the tobamovirus resistance gene L 3 of *Capsicum chinense* in a 400-kb region of R-like genes cluster embedded in highly repetitive sequences. *Theor Appl Genet* 117:1107–1118
- Tomita R, Sekine KT, Mizumoto H, Sakamoto M, Murai J, Kiba A, Hikichi Y, Suzuki K, Kobayashi K (2011) Genetic Basis for the Hierarchical Interaction Between Tobamovirus spp. and L Resistance Gene Alleles from Different Pepper Species. *Mol plant-microbe interact* 24:108–117
- Yang HB, Liu WY, Kang WH, Jahn M, Kang BC (2009) Development of SNP markers linked to the L locus in *Capsicum* spp. by a comparative genetic analysis. *Mol*

breeding 24:433-446

Yang HB, Liu WY, Kang WH, Kim JH, Cho HJ, Yoo JH, Kang BC (2012) Development and validation of L allele specific markers in Capsicum

Yeam I, Kang BC, Lindeman W, Frantz JD, Faber N, Jahn MM (2005) Allele-specific CAPS markers based on point mutations in resistance alleles at the pvr1 locus encoding eIF4E in Capsicum. Theor Appl Gene 112:178-186

제1-5세부과제

Clack, M. F. and Adams, A. N. 1977. Characteristics of the microplate method of enzyme-linked immunosorbent assay for the detection of plant viruses. J. Gen. Virology. 34:475-483.

Zitter, T. A. & Cook, A. A. 1973. Inheritance of tolerance to a pepper virus in Florida. *Phytopathology* 63:1211-1212.

제2-1세부과제 : 네덜란드와 우리나라의 생산성 차이 원인 극복 기술 개발

Abdelhafeez, A.T., H. Harssema, G. Veri, and K. Verkerk. 1971. Effect of soil and air temperature on growth, development and water use of tomatoes. Neth. J. Agr. Sci. 19:67-75.

Acock, B. 1990. Effects of carbon dioxide on photosynthesis, plant growth, and other processes. In: Kimball, B. et al. (ed.), Impact of carbon dioxide, trace gases, and climatic change on global agriculture. ASA Special Publ. No. 53. Amer. Soc. Agron., Madison, WI, USA, 45-60.

Adams, P. 1991. Effect of increasing the salinity of the nutrient solution with major nutrients or sodium chloride on yield, fruit quality and composition of tomatoes grown in rockwool. J. Hort. Sci. 66: 201-207.

Ahn, C.k., Y.W. Choi, B.G. son, and J.S. Kang. 2003. Production of high quality tomato seedling by CO₂ and temperature control in Glasshouse. J. kor. Soc. Hort. Sci. 44(2):182-186.

Aljibury, F.K. and D. May. 1970. Irrigation schedules and production of processing tomatoes on the San Joaquin Valley Westside Calif. Agr. 24:10-11.

Aloni, B., L. Karni, Z. Zaidman, and A.A. Schaer. 1996. Changes of carbohydrates in pepper (*Capsicum annuum L.*) owners in relation to their abscission under different shading regimes. Ann. Bot. 78:163-168.

An, C.G., D.S. Kang. C.W. Rho, and B.R. Jeong. 2002. Effects of transplanting method of seedlings on the growth and yield of paprika. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 20: 15-18.

- An, C.G., Y.H. Hwang, G.M. Shon, C.S. Lim, J.L. Cho, and B.R. Jeong. 2009. Effects of irrigation amount in rockwool and cocopeat substrates on growth and fruiting of sweet pepper during fruiting period. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27(2):233–238.
- Andrews, J. 1984. *Peppers, The Domesticates Capsicums*. University of Texas Press, Austin. p. 321.
- Awang Y.B., J.G.Atherton, and A.J. Taylor. 1993. Salinity effects on strawberry plants grown in rockwool. I. Growth and leaf water relations. *J. Hort. Sci.* 68:783–790.
- Baden, S.A. and J.G. Latimer. 1992. An effective system for brushing vegetable transplants for height control. *HortTechnology* 2:412–414.
- Bae, J.H. and K.H. Kim. 2004. The effect of irrigation concentration on the growth and fruit quality of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) in fertigation. *J. of Bio-Environment Control*, 13(3):167–171.
- Baer, J. and L. Smeets. 1978. Effect of relative humidity on fruit set and seed set in pepper (*Capsicum annuum* L.) *Neth. J. Agr. Sci.* 26: 59–63.
- Bakker, J.C. and J.A.M. van Uffelen. 1988. The effects of diurnal temperature regimes on growth and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Neth. J. Agr. Sci.* 36: 201–208.
- Bakker, J.C. 1989. The effects of day and night humidity on growth and fruit production of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *J. Hort. Sci.* 64: 41–46.
- Bakker, J.C., G.P.A. Bot. H. Challa, and N.J. van de Braak. 1995. *Greenhouse climate control – an integrated approach*. Wageningen Pers. Wageningen. The Neth. ISBN 90–74134–17–3.
- Balibrea, M.E., E. Cayuela, F. Artes, and F. Perz-Alfocea. 1997. Salinity effects on some postharvest quality factors in a commercial tomato hybrid. *J. Hort. Sci.* 72:885–892.
- Bruggink, G.T. and Heuvelink, E. 1987. Influence of light on the growth of young tomato, cucumber and sweet pepper plants in the greenhouse: Effects on relative growth rate, net assimilation rate and leaf area ratio. *Sci. Hortic.*, 31:161–174.
- Buwalda, F. van Henten E.J., De Gelder A. J. Bontsema, J. Hemming, 2006. Toward an optimal control strategy for sweet pepper cultivation – 1. A dynamic crop model. *Acta Horticulturae* 718:391–398
- Carl, E.N., Jr., P.v. Nelson, D.H. Willits, and M.M. Peet. 1993. Short-term salt shock effects on tomato fruit quality, yield, and vegetative prediction of subsequent fruit quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118:12–16.
- Challa, H. and M. Bakker. 1999. Potential production within the greenhouse environment. In: *Greenhouse Ecosystems* (Stanhill G, Enoch ZH. Eds.), Amsterdam: Elsevier Science Publishers. p. 333–348.

- Choi, Y.H., J.L. Cho, H.C. Rhee, D.K. Park, J.K. Kwon, and J.H. Lee. 2002a. Effect of summer grown seedling quality on growth and yield of tomato. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 43(4):395–398
- Choi, Y.H., J.L. Cho, H.C. Rhee, J.K. Kwon, J.H. Lee, and D.K. Park. 2002b. Effect of seedling age on growth and yield of tomato and cucumber in forced culture. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 43(6):681–685.
- Choi, Y.W., C.K. Ahn, B.G. Son, J.S. Kang, Y.J. Lee, and I.S. Choi. 2003. Effect of ionic salt strength on the growth and photosynthetic rate of pepper plug seedling. *J. of Bio-Environment Control.* 12(2):68–71.
- Chong, P.C., and T. Ito. 1982. Growth, fruit yield and nutrient absorption of tomato plant as influenced by solution temperature in nutrient film technique. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 51:44–50.
- Chung, H.D., and Y.J. Choi. 2002. Growth responses on varying soil EC and selection of salt-tolerant rootstock of tomato (*Lycopersicon* spp.). *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 43(5):536–544.
- De Pascale, S., C. Ruggiero, and G. Barbieri. 2003. Physiological responses of pepper to salinity and drought. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128:48–54.
- Dorais, M. 2003. The use of supplemental lighting for vegetable crop production: Light intensity, crop response, nutrition, crop management, cultural practices. *Canadian Greenhouse Conference.* p. 1–8.
- Ehert, D.L., and L.C. Ho. 1986. Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *Annals of Botany.* 58:679–688.
- Erwin, J.E., P. Velgyth, and R.D. Heins. 1994. Diurnal temperature fluctuations affect *Lilium* cell elongation but not division. *J. Expt. Bot.* 45:1019–1025.
- Everett, P.H. 1983. Pepper production as influenced by plant spacing and nitrogen-potassium rates. *Proc. Flo. State. Hort. Soc.* 96: 79–82.
- Geiger, D.R. 1976. Effects of translocation and assimilate demand on photosynthesis. *Can. J. Bot.* 54:2237–2345.
- Gonzalez-real, M.M., A. Baill, and H.Q. Liu. 2008. Influence of fruit load on dry matter and N-distribution in sweet pepper plants. *Sci. Hort.* 117: 307–315.
- Gosselin, A. and M.J. Trudel. 1983. Interactions between air and root temperature on the yield and qualities of greenhouse tomatoes. *J. Hort. Sci.* 60:35–371.
- Gosselin, A. and Trudel, M. J. 1986. Root-zone temperature effects on pepper. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111: 220–224.
- Gregory, P.J. 1986. Response to temperature in a stand of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S & H): 8. Root growth. *J. Exp. Bot.* 37:379–388.
- Hand, D., J.W. Wilson and M.A. Hannah. 1993. Light interception by a row crop of glasshouse peppers. *J. Hort. Sci.* 68:695–703.
- Heuvelink, E. and M. Dorais. 2003. Crop growth and yield. In: *Tomato.* E. Heuvelink Ed. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.

- Heuvelink, E. and O. Kórner. 2001. Parthenocarpic fruit growth reduces yield fluctuation and blossom-end rot in sweet pepper. *Ann. Bot.* 88:69–74.
- Heuvelink, E. and R.P.M. Buiskool. 1995. Influence of sink source interaction on dry matter production in tomato. *Ann. Bot.* 75:381–389.
- Heuvelink, E., L.G.G. Batta, and T.H.J. Damen. 1995. Transmission of solar radiation by a multispan venlo-type glasshouse: validation of a model. *Agr. For. Meteorol.* 74: 41–59.
- Heuvelink, E., O. Kórner, and L.F.M. Marcelis. 2004. How to reduce yield fluctuations in sweet pepper. *Acta Hort.* 633:349–355.
- Heuvelink, E. 1995. Dry matter partitioning in a tomato plant: One common assimilate pool? *J. exp. Bot.* 46:1025–1033.
- Heuvelink, E. 1996. Dry matter partitioning in tomato: Validation of a dynamic simulation model. *Ann. Bot.* 77:71–80.
- Ito, H. and S. Kawai. 1994. Effects of watering control on the fruit qualities of tomato and cherry tomato. *Res. Bull. Aichi Agric. Res. Center* 26:191–199.
- Jeong, E.M., W.T. Kim, S.R. Kim, and S.H. Yun. 2008. The actual condition and subjects of Paprika in Korea. Korea Rural Economy Institute, Seoul, Korea.
- Jeong, W.J., I.K. Kang, J.Y. Lee, S.H. Park, H.S. Kim, D.J. Myoung, G.T. Kim, and J.H. Lee. 2008. Study of dry and bio-mass of sweet pepper fruit and yield between glasshouse and plastic greenhouse. *The Kor. Soc. Bio-Environ. Control.* 17(2): 541–544.
- Jeong, W.J., J.H. Lee, H.C. Kim, and J.H. Bae. 2009. Dry matter production, distribution and yield of sweet pepper grown under glasshouse and plastic greenhouse in Korea. *The Kor. Soc. Bio-Environ. Control.* 18(3): 258–265.
- Jeong, W.J. 2010. The Reason why Difference of Productivity between Korea and The Netherlands in Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.). M.S. Thesis. Chonnam Natl. Univ. Korea.
- Jieslin, N. and V. Gottesman. 1983. Involvement of ethylene in the abscission of flowers and petals of *Leptospermum scoparium*. *Physiol. Plant.* 58: 114–118.
- Jolliet, O. and B.J. Bailey. 1992. The effect of climate on tomato transpiration in greenhouse: measurements and models comparison. *Agric. and For. Meteorol.* 58:43–62.
- Jones, R.A. 1986. High salt tolerance potential in *Lycopersicon* species during germination. *Euphytica* 35:575–582.
- Jovicich, E., D.J. Cantliffe, and G.J. Hochmuth. 1999. Plant density and shoot pruning on yield and quality of a summer greenhouse sweet pepper crop in Northcentral Florida, p.184–190. In: K.D. Batal (ed.), 28th National Agricultural Plastics Congress. Proc. Amer. Soc. Plasticulture, Tallahassee, FL, May 19–22, 1999. ASP, State College, PA.
- Kemble, J.M., J.M. Davis, R.G. Gardner, and D.C. Sanders. 1994. Root cell volume

- affects growth of compact-growth-habit tomato transplants. HortScience. 29:261–262.
- Kim, H.J., and Y.S. Kim. 1998. The relation between sweetness and irrigation according to integrated solar radiation in substrate culture of cherry tomato. J. Bio. Fac. Env. 7:144–150.
- Kim, Y. B. 2005. Effect of supplemental lighting on growth and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) in hydroponic culture under low levels of natural light in winter. Ph.D. Thesis. Chonnam Natl. Univ. Korea.
- Kim, Y.S. and R. Sakiyama. 1989. Effects of quantity and temperature of storage roots on the elongation rates of asparagus spears. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 58:377–382.
- Kö ner, O. and H. Challa. 2003. Process-based humidity control regime for greenhouse crops. Com. Elec. Agr. 39: 173–192.
- Korea Agro-fisheries Trade Corperation. 2010. Korea Agricultural Trade Information.
- Kridermann P.E., B. R.Loveys, J.V. Possingham, and M. Satoh. 1976. Sink effects on stomatal physiology and photosynthesis. In: Transport and transfer process in plants. Proc. Symp. Canberra December 1975. Acad. Press, New York, pp. 401–414.
- KWIN 2008. Kwantitative Informatie voor de Glastuinbouw 2008. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving Glastuinbouw, Aalsmeer/Naaldwijk, The Neth. (in Dutch).
- Kridermann, P.E., B.R.Loveys, J.V. Possingham, and M. Satoh. 1976. Sink effects on stomatal physiology and photosynthesis, p. 401–414. In: Transport and transfer process in plants. Proc. Symp. Canberra, December 1975. Acad. Press, New York.
- Lee, J.H., E. Heuvelink, and H. Challa. 2002. Effects of planting date and plant density on crop growth in cut chrysanthemum. J. Hort. Sci. Biotech. 77:238–247.
- Lee, J.H., E. Heuvelink, and M.J. Bakker. 2009. Interaction effects between light level and plant density on plant growth, development and external quality in year-around cut chrysanthemum. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 27:391–398.
- Lee, J.H., J. Goudriaan, and H. Challa. 2003. Using the expolinear growth equation for modeling crop growth in year-round cut chrysanthemum. Ann. Bot. 92:697–708.
- Kim, H.C., S.G. Jung, J.H. Lee, and J.H. Bae. 2009. Effects of greenhouse covering material on environment factors and fruit yield in protected cultivation of sweet pepper. J. Bio-Environ. Control 18: 253–257.
- Lee, J.H., J.C. Cha. 2009. Effects of removed flowers on dry mass production and photosynthetic efficiency of sweet pepper cultivars 'Derby' and 'Cupra'. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 27(4):584–590

- Lee, J.P. 2003. Effects of light, nutrient solution and plant growth regulators on growth and development of chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora* Kitamura) in soil fertigation culture. PhD Diss., Chonnam National Univ., Kwangju, Korea.
- Lee, J.W., K.Y. Kim, and Y.M. Yu. 2001. Effect of nutrient solution strength, age, and container size on seedling quality and yield of 'Spirit' colored bell pepper (*Capsicum annuum* L.). J. Kor. Soc. Hort. Sci. 42(3):300–304.
- Lim, K.B., K.C. Son, and J.D. Chung. 1997a. Influences of difference between day and night temperature (DIF) on growth and development of bell pepper plants before and after transplanting. J. Biol. Prod. Facilities & Environment Control. 6:15–25.
- Lim, K.B., K.C. Son, and J.D. Chung. 1997b. Influences of DIF on growth and development of plug seedling of *Lycopersicon esculentum* before and after transplanting. J. Biol. Prod. Facilities & Environment Control. 6:34–42
- Li, X.R., H.N. Cao, K.C. Yoo, and I.L. Kim. 2001. Effect of limited supplying frequency and amount of nutrient solutions on the yield and fruit quality of tomato grown in ash ball. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 42:501–505.
- Li, Y.L., C. Stanghellini, and H. Challa. 2001. Effect of electrical conductivity and transpiration on production of green house tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). Scientia Hort. 88:11–29.
- Longuenesse, J.J., and C. Leonardi. 1994. Some ecological indicators of salt stress in greenhouse tomato plants. Acta Horticulturae. 366:461–467.
- Marcelis, L.F.M. and L.R. Baan Hofman–Eijer. 1997. Effects of seed number on competition and dominance among fruits in *Capsicum annuum* L. Ann. Bot. 79: 687–693.
- Marcelis, L.F.M., E. Brajeul, A. Elings, A. Garate, E. Heuvelink, and P.H.B. de Visser, 2005. Modelling nutrient uptake of sweet pepper. Acta Hort. 691:285–292.
- Marcelis, L. F. M., E. Heuvelink, L. R. Baan Hofman–Eijer, J. den Bakker, and L. B. Xue. 2004. Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength, J. Exp. Bot. 55:2261–2268.
- Marcelis, L.F.M. 1991. Effects of sink demand on photosynthesis in cucumber. J. Exp. Bot. 42:1387–1392.
- Marcelis, L.F.M. 1993a. Dry matter partitioning into the fruits: Effect of fruit load and temperature. Sci. Hort. 54:107–121.
- Marcelis, L.F.M. 1993b. Dry matter partitioning into the fruits: Effect of irradiation. Sci. Hort. 54:123–130.
- Markovic V., Djurovka M, Ilin Z. and Lazic, B. 2000. Effect of seeding quality on yield and characters of plant and fruits of sweet pepper. Acta Horticulturae 533:113–120
- Martin, P.E., J.C. Lingle, R.M. Hagan, and W.J. Flocker. 1970. Irrigation of tomatoes

- in a single harvest program. Calif. Agr. 6:13–14.
- Martinez, V., A. Cerda, and F.G. Fernandez. 1987. Salt tolerance of four tomato hybrids. Plant & Soil. 97:233–242.
- Myoung, D.J., J.P. Lee, and J.H. Lee. 2007. Effect of difference in the day and night temperature and cultivars on the rate of plant height of sweet pepper plant. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 16(2): 35–35.
- Myoung, D.J., J.P. Lee, W.J. Jeong, G.C. Chung, S.G. Kim, and J.H. Lee. 2008. Correlation between radiation and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) in glasshouse. The Kor. Soc. Bio-Environ. Control. 17(2): 541–544.
- Myoung, D.J. 2007. Correlation between climatic factors and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) in glasshouse. M.S. Thesis. Chonnam Natl. Univ. Korea.
- Nederhoff, E.M., A.N. Rijisdijk, and R. de Graaf. 1992. Leaf conductance and rate of crop transpiration of greenhouse grown sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) as affected by carbon dioxide. Sci. Hort. 52: 283–301.
- Nederhoff, E.M. and J.G. Vegter. 1994. Photosynthesis of stand of tomato, cucumber and sweet pepper measured in greenhouse under various CO₂ concentration. Ann. Bot. 73: 353–361.
- Nichols, T.j., and A.A. Alm. 1983. Root development of container-treated, nursery-grown, and naturally regenerated pine seedling. Can. J. For Res. 13:239–245.
- Nkansah, G.O., and T. Ito. 1995. Comparison of mineral absorption and nutrient composition of heat-tolerant and non heat-tolerant tomato plants at different root zone temperature. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 70:453–460.
- Nobuaki, F., T. Sugiyama, and R. Ogata. 1991. Effect of root temperature on the flower formation and fruit yield of tomatoes. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 60:97–103.
- Ootake, Y., Y. Ban, Y. Tanaka, and G. Hayashi. 1994. Changes of chemical constituents in tomato fruit in relation to soil moisture. Res. Bull. Aichi Agric. Center 26:209–212.
- Park, H.Y., K.C. Son, E.G. Gu, K.B. Lim, and B.H. Kim. 1996. Effect of different day and night temperature regimes on the growth of hot pepper plug seedlings. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 37:617–621.
- Peri, R.M. and J. Lopez-Galves. 2002. Effect of fruit removal on growth and biomass partitioning in cucumber. Acta Hort. 588:69–74.
- Pharr, D.M., S.C. Huber, and H.N. Sox. 1985. Leaf carbohydrate status and enzymes of translocate synthesis in fruiting and vegetative plants of *Cucumis sativus* L. Plant Physiol. 77:104–108.
- Potree, J. and A. Luczynski. 2005. Growing greenhouse peppers in British Columbia. A production guide for commercial growers. BC Greenhouse Growers' Association. British Columbia. Canada.

- Raschke, K. 1975. Stomatal action. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 26:309–340.
- Reddy, K.R., H.F. Hodges, and J.M. McKinion. 1993. A temperature model for cotton phenology. *Biotronics* 22:47–59.
- Reddy, K.R., R.R. Robana, H.F. Hodges, X.J. Liu, and J.M. McKinion. 1998. Interactions of CO₂ enrichment and temperature on cotton growth and leaf characteristics. *Environ. Exp. Bot.* 39:117–129.
- Richards, D., F.H. Goubran, and K.E. Collins. 1979. Root–shoot equilibria in fruiting tomato plants. *Ann. Bot.* 43:401–404.
- Ryan, M.G. 1991. Effects of climate change on plant respiration. *Ecol. Appl.* 1:157–167.
- Rylski, I. and M. Spigelman. 1986. Effect of shading on plant development, yield and fruit quality of sweet pepper grown under conditions of high temperature and radiation. *Sci. Hort.* 29: 31–35.
- Rylski I. 1985. CRC handbook of flowering. Vol. II. Capsicum: Effect of photoperiod, light intensity, and temperature. 140–146.
- Rylski I. 1986. Pepper (Capsicum). In: Handbook of fruit set and development (Monselise SP, ed.). Boca Raton: CRC Press. p. 341–354.
- Salisbury, F.B., and C.W. Ross. 1978. Plant physiology, 2th edition. Wadsworth Publishing Company, Inc. Belmont California.
- Schnelle, M.A., B.D. McCraw and T.J. Schmoll. 1994. A brushing apparatus for height control of bedding plants. *HortTechnology.* 4:275–276.
- Seo, J.U., J.M. Hwang, and S.M. Oh. 2006. Effects of night temperature treatment of raising seedlings before transplanting on growth and development of pepper. *J. Bio-Environment Control.* 15(2):149–155
- Shannon, M.C. 1985. Principles and strategies in breeding for higher salt tolerance. *Plant & Soil.* 89:227–241.
- Shinohara, Y., K. Akiba, T. Maruo, and T. Ito. 1995. Effect of water stress on the fruit yield, quality and physiological condition of tomato plants using the gravel culture. *Acta Hort.* 396:211–218.
- Si, Y.P. and R.D. Heins. 1996. Influence of day and night temperatures on sweet pepper seedling development. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121:699–704.
- Tadesse T., Nichols, M.A., and K.J. Fisher. 1999. Nutrient conductivity effects on sweet pepper plants grown using a nutrient film technique. 1. Yield and fruit quality. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science.* 27:239–247.
- Tadesse, T., M.A. Nichols, and K.J. Fisher. 1999. Nutrient conductivity effects on sweet pepper plants grown using a nutrient film technique 1. Yield and fruit quality, *New Zeal. J. Crop Hort. Sci.*, 27:229–237.
- Takano, T. 1988. Effect of conductivity and temperature of nutrient solution on horticultural crops in water culture. *Acta Hort.* 230:299–305.
- Valantin, M., C. Gary, B.E. Vaissiere, and M. Tchamitchian. 1998. Changing sink

demand affects the size but not the specific activity of assimilate sources in cantaloupe (*Cucumis melo* L.). Ann. Bot. 82:711–719.

Vermeulen, P.C.M. 2008. Kwantitative Informatie voor de Glastuinbouw 2008.

Weston, L.A., and B.H. Zandstra. 1986. Effect of root container and location of production on growth and yield of tomato transplants. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111:498–501.

Weston, L.A. 1988. Effect of flat cell-size, transplant age, and production site on growth and yield of pepper transplants. HortScience. 23:709–711.

Wien, H.C. 1997. The physiology of vegetable crops. Cornell Univ. Ithaca, NY, USA.

Willumsen, K., Y. Fjeld, and R. Moe. 1995. The effects of different day and night temperature regimes on growth, flowering, and keep ability of *Begonia* × *hiemalis* Fotsch. Gartenbau Wissenschaft. 60:167–170.

Wilson, J.W., D.W. Hand, and M.A. Hannah. 1992. Light interception and photosynthetic efficiency in some glasshouse crop. Journal of Experimental Botany. 43(248):363–373.

Xu, H.L., and L. Gauthier, A. Gosselin. 1994. Photosynthetic responses of greenhouse tomato plants to high solution electric conductivity and low soil water content. J. Hort. Sci. 69:821–832.

Xu, H., L. Gauthier, P.A. Dube, and A. Gosselin. 1997. Effects of fertigation scheduling on water relations of tomato plants grown in peat bags and rockwool slabs. J. Japan. Soc. Hort. 66:359–370.

제2-2세부과제 : 파프리카의 시설별 지상부 최적 생육환경 조건 개발

An, C.G., Y.H. Hwang, H.S. Yoon, H.J. Hwang, C.W. Rho, G.W. Gong, and B.R. Jeong. 2005. Effect of first irrigation time after sunrise on fruit quality and yield of sweet peppers (*Capsicum annuum* ‘Jubilee’ and ‘Romeca’) in rockwool culture. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 23:146–152.

Barradas, V.L., H.G. Jones, and J.A. Clark. 1994. Stomatal responses to changing irradiance in *Phaseolus vulgaris*. J. Expt. Bot. 45:931–936.

Both, A.J., D.E. Ciolkosz, and L.D. Albright. 2002. Evaluation of light uniformity underneath supplemental lighting system. Acta Hort. 580:183–190.

Bruggink, G.T. 1992. A comparative analysis of the influence of the light on growth of young tomato and carnation plants. Sci. Hort. Amsterdam 51:71–81.

Demers, D.A. and A. Gosselin. 1998. Supplemental lighting of greenhouse vegetables: limitations and problems related to long photoperiods. Acta Hort. 481:51–55.

Demers, D.A., J. Charbonneau, and A. Gosselin. 1991. Effects of supplementary lighting on the growth and productivity of greenhouse sweet pepper. Can J. Plant. Sci. 71:587–594.

Dorais, M., C. Menard, F.T. Ahmad, and A. Gosselin. 2002. Effect of low temperature pulse at night on photosynthate and carbohydrate partitioning of greenhouse

- tomato grown under supplemental lighting. XXVIth Intl. Hort. Congr., Toronto, Canada 11–17 Oct. 2002.
- Fierro, A., N. Tremblay, and A. Gosselin. 1994. Supplemental carbon dioxide and light improved tomato and pepper seedling growth and yield. *HortScience* 29:152–154.
- Jung, B.C. and C.H. Lee. 2000. Using chlorophyll fluorescence to study photosynthesis. *Biowave* 2(12):7.
- Jang, H.G. and S.J. Chung. 1998. Cultivar differences in dry matter production and potentially-grown fruits of sweet pepper in rockwool culture. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 39:676–679.
- Jeong, W.J., D.J. Myoung, and J.H. Lee. 2009. Comparison of climatic conditions of sweet pepper's greenhouse between Korea and the Netherlands. *J. Bio-Environ. Control* 18:244–252.
- Kim I.S., C. Zhang., H.M. Kang, and B. Mackay. 2008. Control of stretching of cucumber and tomato plug seedlings using supplemental light. *Hort. Environ. Biotechnol.* 49:287–292.
- Kim, Y.B., S.J. Chung, and J.H. Bae. 2005a. Response of the photosynthetic rate and stomatal pore opening reaction on light condition of hydroponically grown sweet paper in winter. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 23 (Suppl. D):35. (Abstr.)
- Kim, Y.B., S.J. Chung, and J.H. Bae. 2005b. The somatometrical reaction for sweet paper plants by the lights, temperature and CO₂ concentration. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 23 (Suppl. D):35.(Abstr.)
- Korea Agricultural Trade Information (KATI). 2011. The state of sweet pepper industry in Korea. Kor. Agro-Fisheries Trade Corporation, Seoul, Korea. 4.
- Korea Rural Economic Institute (KREI). 2010. Report : Income structure of paprika and consumer's purchasing behavior in Japan.
- Lee, J.N., K.Y. Shin, J.O. Lee, U.H. Lee, and Y.S. Kwon. 2001. Selection of paprika varieties suitable for soil-culture under rain-shelter in highland. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 42:163–166.
- Marcelis, L.F.M. 1993. Fruit growth and biomass allocation to the fruits in cucumber: 2. Effect of irradiance. *Scientia Hort.* 54:123–130.
- Masson, J., N. Tremblay, and A. Gosselin. 1991. Nitrogen fertilization and HPS supplementary lighting influence on vegetable transplants production. I. Transplant growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:594–598.
- Park, M. and Y.B. Lee. 1999. Effects of CO₂ concentration, light intensity and nutrient level on the growth of leaf lettuce in a plant factory. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 40:431–435.
- Raschke, K. 1986. The influence of the CO₂ content of the ambient air on stomatal conductance of CO₂ concentration in leaves. p. 87–103. In: H.Z. Enoch and B.A. Kimball (eds.). *Carbon dioxide enrichment of greenhouse crop*. CRC Press, New York.

- Turcotte, G. and A. Gosselin. 1989. Influence of continuous and discontinuous supplemental lighting on the daily variation in gas exchange in greenhouse cucumber. *Scientia Hort.* 40:9–22.
- Verrneulen, P.C.M. 2008. Kwantitative Inforrnatie voor de Glastuinbouw 2008.
- Wallace, R.A., G.P. Sanders, R.J. Ferl, and H. Collins. 1991. *Biology: The Science of life*. Haper Collins Publisher, New York, NY.
- Weyers, J.D.B. and A.J. Travis. 1981. Preperation of leaf epidermis for experiments on stomatal physiology. *J. Expt. Bot.* 32:337–350.
- Wien, H.C. 1997. *The physiology of vegetable crops*. Cornell. Univ. Ithaca. NY. USA.
- Wilson, J.W., D.W. Hand, and M.A. Hannah. 1992. Light interception and photosynthetic efficiency in some glasshouse crop. *J. Expt. Bot.* 43:363–373.
- Won, J.H., B.C. Jeong, J.K. Kim, and S.J. Jeon. 2009. Selection of sutiable cultivars for the hydroponics of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) in the alpine area in summer. *J. Bio-Environ. Control* 18:425–430.

제2-3세부과제 : 우리나라 환경에 적합한 온실환경 제어시스템 및 제어프로그램 개발

- Boodley, J.W. 1996. *The commercial greenhouse*. 2nd ed. Albany, New York: Delmar Publishers.
- Hanan, J.J. 1998. *Greenhouses: advanced technology for protected horticulture*. Boca Raton, Flodia: CRC.
- Ho Cheol Kim¹, Jun Hyuk Choi¹, Soo Won Lee³, Jeong Hyun Lee², and Jong Hyang Bae^{1*}, 2010 Change of Internal Temperature and Humidity According to Kind of Covering Materials in Sweet Pepper' s Greenhouse, *Journal of Bio-Environment Control* 19(1):1–5 (in Korean).
- Hortimax, 2007. Block. Hortimax growing solution.
- Hortimax, 2007. Energy control. Hortimax growing solution.
- Hortimax, 2007. Quick reference Clima 500 version 10.1GB. Hortimax growing solution.
- Hortimax, 2007. Screen. Hortimax growing solution.
- Japan Greenhouse Horticulture Association (JGHA), 1994. *Greenhouse horticulture handbook*. Tokyo: Japan Greenhouse Horticulture Association (in Japanese).
- Kim, M.G., S.W. Nam, W.M. Suh, Y.C. Yoon, S.G. Lee, and H.W. Lee. 2000. *Agricultural structural engineering*. Seoul: Hyangmunsa (in Korean).
- Lee, H.W., S.Y. Sim, and Y.S. Kim. 2010. Characteristics of PPF transmittance and heat flow by double covering methods of plastic film in tomato greenhouse. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(5):11–17 (in Korean).
- Lee H.W., SY Sim, and YS Kim, 2012** Characteristics of Temperature, Humidity and PPF Distribution by Covering Method and Environmental Control in Double Covering Greenhouse, *Journal of Bio-Environment Control* 21(1):1–11 (in

Korean).

- Mistry of Food, Agriculture, Forestry, and Fisheries (MIFAFF). 2010. Status of vegetable production in South Korea (in Korean).
- Nelson, P.V. 1991. Greenhouse operation and management. 4th ed. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Priva. 2000. User manual and reference material with Priva Integro program version 718. Priva Hortimation BV.
- Wu, C.H., H.S. Chang, and J.T. Shaw. 2002. Environmental control of double-layer greenhouse in Taiwan. *Acta Hort.* 578:71-78.

제2-4세부과제 : 파프리카 근권 환경 최적화를 위한 함수율 조절 장치 개발

- Bonachela, S., González, A., and Fernández, M., 2006. Irrigation scheduling of plastic greenhouse vegetable crops based on historical weather data. *Irrigation Science.* 25:53-62.
- Bougoul, S., Ruy, S., de Groot, F., and Boulard, T., 2005. Hydraulic and physical properties of stonewool substrates in horticulture. *Scientia Horticulturae.* 104:391-405.
- Fernández, J.E. and Cuevas, M.V., 2010. Irrigation scheduling from stem diameter variations: A review. *Agricultural and Forest Meteorology.* 150:135-151.
- Goldhamer, D. and Fereres, E., 2001. Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrigation Science.* 20:115-125.
- Gonzalez, R.A., Struve, D.K., and Brown, L.C., 1992. A Computer-controlled Drip Irrigation System for Container Plant Production. *HortTechnology.* 2:402-407.
- Hellemans, B., Lee, J.H., Lee, J.P., and Myoung, D.J.L., S.D., 2006. Environmental control and Paprika growing technique. 27-38.
- Jeong, W.J., Myoung, D.J., and Lee, J.H., 2009. Comparison of climatic conditions of sweet pepper 's greenhouse between Korea and The Netherlands. *Journal of Bio-Environment Control.* 18:244-252.
- Jolliet, O., 1994. HORTITRANS, a Model for Predicting and Optimizing Humidity and Transpiration in Greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research.* 57:23-37.
- Jolliet, O. and Bailey, B.J., 1992. The effect of climate on tomato transpiration in greenhouses: measurements and models comparison. *Agricultural and Forest*

Meteorology. 58:43–62.

- Jones, H.G., 2004. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*. 55:2427–2436.
- Locascio, S.J., 2005. Management of Irrigation for Vegetables: Past, Present, and Future. *HortTechnology*. 15:482–485.
- Medrano, E., Lorenzo, P., Sá nchez–Guerrero, M.C., and Montero, J.I., 2005. Evaluation and modelling of greenhouse cucumber–crop transpiration under high and low radiation conditions. *Scientia Horticulturae*. 105:163–175.
- Munoz–Carpena, R., Li, Y.C., Klassen, W., and Dukes, M.D., 2005. Field Comparison of Tensiometer and Granular Matrix Sensor Automatic Drip Irrigation on Tomato. *HortTechnology*. 15:584–590.
- Ngouajio, M., Wang, G., and Goldy, R.G., 2008. Timing of Drip Irrigation Initiation Affects Irrigation Water Use Efficiency and Yield of Bell Pepper under Plastic Mulch. *HortTechnology*. 18:397–402.
- Norrie, J., Graham, M.E.D., Dube, P.A., and Gosselin, A., 1994. Improvements in Automatic Irrigation of Peat–grown Greenhouse Tomatoes. *HortTechnology*. 4:154–159.
- Pardossi, A. and Incrocci, L., 2011. Traditional and New Approaches to Irrigation Scheduling in Vegetable Crops. *HortTechnology*. 21:309–313.
- Pardossi, A., Incrocci, L., Incrocci, G., Malorgio, F., Battista, P., Bacci, L., Rapi, B., Marzioletti, P., Hemming, J., and Balendonck, J., 2009. Root Zone Sensors for Irrigation Management in Intensive Agriculture. *Sensors–Basel*. 9:2809–2835.
- Park, J.S., Nguyen, H.T., An, T.I., and Son, J.E., 2009. Analysis of Moisture Characteristics in Rockwool Slabs using Time Domain Reflectometry (TDR) Sensors and Their Applications to Paprika Cultivation. *Journal of Bio–Environment Control*. 18:238–243.
- Saha, U.K., Papadopoulos, A.P., Hao, X., and Khosla, S., 2008. Irrigation Strategies for Greenhouse Tomato Production on Rockwool. *Hortscience*. 43:484–493.
- Scoggins, H.L. and van Iersel, M.W., 2006. In Situ Probes for Measurement of Electrical Conductivity of Soilless Substrates: Effects of Temperature and Substrate Moisture Content. *Hortscience*. 41:210–214.
- Sezen, S.M., Yazar, A., and Eker, S., 2006. Effect of drip irrigation regimes on yield

and quality of field grown bell pepper. *Agricultural Water Management*. 81:115–131.

Shelford, T.J., Lau, A.K., Ehret, D.L., and Chieng, S.T., 2004. Comparison of a new plant-based irrigation control method with light-based irrigation control for greenhouse tomato production. *Canadian Biosystems Engineering*. 46:1.1-1.6.

Smittle, D.A., Dickens, W.L., and Stansell, J.R., 1994. Irrigation Regimes Affect Yield and Water Use by Bell Pepper. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 119:936–939.

St. Hilaire, R., Feser, C.F., Sammis, T.W., and St. Hilaire, A.S., 2003. A System to Measure Evapotranspiration of In-ground Container Plants of Mexican Elder. *HortTechnology*. 13:185–189.

Ta, T.H., Shin, J.H., Ahn, T.I., and Son, J.E., 2011. Modeling of transpiration of paprika (*Capsicum annuum* L.) plants based on radiation and leaf area index in soilless culture. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 52:265–269.

Zotarelli, L., 2011. Irrigation Scheduling for Green Bell Peppers Using Capacitance Soil Moisture Sensors. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-ASCE*. 137:73.

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 아니 됩니다.