

과제구분	기관고유	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제명		연구분야	수행기간	연구실	책임자
시설채소 안정생산 기술 개발		채소	'20~'23	원예연구과 도시원예팀	이진구
ICT적용 시설가지 일사량에 따른 금액 제어기술개발		채소	'20~'23	원예연구과 도시원예팀	황지은
색인용어	가지, 시설재배, 수경재배, 일사량 금액제어				

ABSTRACT

In agricultural settings, the timer-based method is commonly used for nutrient solution supply in fruit and vegetable cultivation. However, a drawback of using timers is that without adjusting the supply frequency or volume according to weather changes, the substrate's moisture content can easily become excessive or dry. To address this issue and enhance high-quality fruit production and increase farm income, research have been conducted on developing irrigation control technology based on solar radiation in greenhouse facilities. This study conducted from 2020 to 2022, aimed to validate the effect of solar radiation-based irrigation control compared to timer-based control. A regression equation was established under the condition of fixing the solar radiation threshold value for initiating irrigation at $70\text{J}/\text{cm}^2$ and a drainage rate of 30%, to calculate the monthly supply volume. The results indicated that, while the supply volume per irrigation event was lower with solar radiation control compared to timer control, the frequency of supply was higher. There were no significant differences observed in plant growth characteristics such as leaf length, leaf width, and stem length among treatments, but significant differences were observed in fruit growth characteristics, with fruit weight being 148g/fruit under solar radiation control and 137g/fruit under timer control. Throughout the entire growing period, the total yield per 10a was 10,592kg under solar radiation control, which was 12% higher than the yield under timer control (9,495kg). When comparing monthly yields, a decrease in yield was observed from late January due to reduced supply volume, followed by a recovery trend from March onwards. Therefore, according to the regression

equation, solar radiation-based irrigation control with a drainage rate of 30% is considered advantageous, particularly during January and February.

Key word: Eggplant, Facility cultivation, Hydroponics culture, Integrated solar radiation

1. 연구목표

스마트팜에 적용한 급액제어 기술이 개발되고 있으며 토마토, 파프리카 등 과채류에서 누적일사량에 의한 급액제어 기술이 적용되고 있다. 가지는 수분요구도가 높은 작물로 급액량은 평균 일일 주당 1~2L이나 최대 4L이상을 물을 흡수하기도 한다(RDA, 2013). 이러한 수분 흡수가 높은 가지 재배에서 보편적으로 사용하는 타이머 제어법으로 급액시 날씨의 변화에 공급 횟수나 공급량을 제어하지 않으면 배지 내의 수분이 과습되거나 건조해지기 쉬운 단점이 있어 작물의 수분 흡수량과 외부일사량과의 상관관계를 이용하여 누적일사량이 일정 시점에 도달할 때 배양액 공급이 이루어지도록 하는 방법인 누적일사량 방법으로 급액량을 조절할 수 있다(Choi et al., 2001; Sim et al., 2006). 토마토, 파프리카 등 과채류에서 스마트팜에 누적일사량에 의한 급액제어 기술이 적용되고 있으며 Lizarraga et al.(2003)은 토마토 수경재배시 타이머 급액제어 하였을 때 오전동안 낮은 온도와 높은 습도로 공급된 물량보다 증산량이 낮아 기준 배액을 보다 높았으며 오후에는 높은 일사량과 낮은 습도로 충분한 급액 관리가 안되어 수분스트레스를 받는 것으로 보고했다. 즉 하루에 시간당 작물의 수분요구량이 다르므로 타이머 급액은 적절하지 않다. 또한 누적일사량 급액제어시 오전동안에는 일사량이 낮아 공급 빈도가 낮으나 낮 동안에는 양액 공급주기가 30분 이내로 짧아 기준 배액율과 비슷하게 유지되어 수분스트레스를 줄일 수 있다. 이러한 수분 부족 스트레스는 광합성과 식물의 생산성에 대한 주요 제한 요소 중 하나이다(Elshibli et al., 2015). 그러므로 일사량에 따른 자동급액제어 시스템으로 정밀한 수분 관리를 하게 된다면 작물의 수확량 증대로 이어질 수 있을 것이다. 본 연구는 가지 코이어 수경재배에서 누적일사량에 따른 양액 공급개시점을 설정하여 가지의 효과적인 양·수분 흡수와 이에 따른 생육과 과실 수량의 변화를 살펴보고자 한다.

2. 재료 및 방법

<시험 1> 시설가지 급액제어를 위한 적정 일사량 설정

본 연구에서 90일 재배된 ‘튤밤비가’ 대목을 접목한 가지 ‘축양’ 품종을 사용하였다. 수경재배는 폭 7m, 높이 3.5m, 길이 25m인 3연동 비닐하우스를 3구역으로 나누어 수경재배로 수행하였다. 배지는 코이어 슬라브(100×20×10cm, Hyosung onb, Grow bag)는 dust: chip = 5: 5로 혼합해 사용하였으며 코이어 슬라브 1개당 3주씩 총 648주를 정식하였다. 겨울 축성재배 작형으로 2020년 9월 24일 정식하여 2021년

4월 30일까지 1차 유인법으로 재배하였다.

양액 공급은 주당 드리퍼 한 개씩을 근권부에 설치하였고 급액 방법은 각 처리별 설정한 누적일사량 급액개시점인 $70\text{J}/\text{cm}^2$, $100\text{J}/\text{cm}^2$, $130\text{J}/\text{cm}^2$ 에 도달시 외부 누적일사량을 기반으로 한 자동양액관수제어기(Magma-1000 V 2.0, Green Control System Ltd, Jeollanam-do, Korea)를 통해 공급하였다. 일일 배양액은 정식 후 30일 동안 배액을 20~30% 이내 공급하였으며 이후부터 배액을 30~40% 이내로 공급하였다. 야마자키 가지 배양액 조성으로 공급했으며 배양액 농도는 생육 초기 $1.2\sim 1.6\text{dS}/\text{m}$, 생육 중기 $1.8\sim 2.0\text{dS}/\text{m}$, 생육 후기 $1.5\text{dS}/\text{m}$, pH는 5.5~6.5 기준으로 공급하였다. 급액 개시는 일출 1시간 후부터 시작하여 일몰 2시간 전에 종료하였다.

각 처리별 온도 및 습도 등 기상조건을 분석하기 위해 온도, 습도, 일사량 센서를 설치하여 10분 단위로 실시간으로 수집하였고, 생육 조사 및 과실 품질은 농업과학 기술 연구조사분석 기준에 준하여 실시하였다(RDA, 2012).

<시험 2> 적정 일사량에 따른 생육단계별 급액량 구명

<시험 1> 연구 결과에 따라 급액개시점인 외부누적일사량 $70\text{J}/\text{cm}^2$ 기준으로 적정 급액량을 구명하고자 처리별 급액량을 배액을 30%, 40%, 50%로 공급하였다. 2021년 9월 7일에 정식하여 6월 29일까지 재배하였으며 생육 및 수량 등은 <시험 1>과 동일한 방법으로 조사하였다. 또한 가장 우수한 처리에 대해 외부일사량에 따른 공급량 추이를 조사하여 회귀분석을 통한 상관관계식을 산출하였다.

<시험 3> 시설가지 급액제어 기술 실증

<시험 1>, <시험 2> 연구 결과를 바탕으로 $70\text{J}/\text{cm}^2$ 당 1회 공급량 회귀식을 만들어 본원 2연동 비닐하우스에서 2022년 9월 6일에 정식하여 2023년 6월 30일까지 실증 실험을 추진하였다. 표 1의 월별 일일 총 양액 공급량을 산출하는 회귀식에서 x값은 일일 외부 누적일사량이며 y값은 이에따른 일일 총 공급량이다. 1회 공급량은 일일 총 양액공급량을 공급 횟수(전일 누적일사량을 $70\text{J}/\text{cm}^2$ 으로 나눠 산출)로 나누어 계산하였다. 또한 흐린날을 제외한 전일 누적일사량이 $900\text{J}/\text{cm}^2$ 이상 일 때만 적용하도록 하였다.

$$\text{※ } 70\text{J}/\text{cm}^2\text{당 1회 공급량} = \text{월별 회귀식 값에 의한 일일 총 양액 공급량} \div \text{공급 횟수(전일 누적일사량} \div 70\text{J}/\text{cm}^2)$$

표 1. 월별 일일 총 양액 공급량 계산식

정식 후 경과일(월)	일일 총 양액공급량 계산식
10월	$y = -0.0016x^2 + 3.8103x - 1026.5$
11월	$y = -0.0005x^2 + 1.9099x - 433.83$
12월	$y = -0.0023x^2 + 5.0863x - 1856.9$
1월	$y = -0.0046x^2 + 10.425x - 4973.8$
2월	$y = 0.0002x^2 - 0.3531x + 1422.4$
3월	$y = 0.0006x^2 - 1.5575x + 1671.4$
4월	$y = 0.0001x^2 - 0.3039x + 794.14$
5월	$y = 0.3286x + 372.92$
6월	$y = -0.0003x^2 + 1.6856x - 737.83$

대조는 농촌진흥청에서 발간된 표준영농교본(가지재배 매뉴얼)의 월별 타이머 제어 공급 방법대로 양액을 공급하였으며, 1회 급액량은 배액율이 30%되도록 하였다(표 2).

표 2. 타이머 제어 공급 방법: 표준영농교본(가지재배 매뉴얼)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1	5:00	5:00	5:00	5:00	5:00	5:00	5:00	5:00	5:00	5:00	5:00	5:00
2	9:30	9:15	8:45	8:15	8:00	8:00	8:15	8:15	8:45	9:15	9:35	9:45
3	10:45	10:15	9:45	9:15	9:00	9:15	9:15	9:15	10:00	10:30	10:45	11:00
4	11:45	11:00	10:30	10:15	10:00	10:15	10:15	10:15	11:00	11:30	11:45	12:00
5	12:00	12:00	11:15	11:00	10:45	11:00	11:00	11:00	12:00	12:30	12:45	13:00
6	13:15	12:45	12:00	11:45	11:15	11:45	11:45	11:45	12:45	13:15	13:45	14:15
7	14:15	13:45	12:45	12:30	12:00	12:45	12:45	12:30	13:45	14:45	14:45	16:00
8	15:30	15:00	13:30	13:15	12:45	13:30	13:45	13:15	14:45	16:00	16:00	19:00
9	19:00	19:00	14:30	14:00	13:00	14:30	14:45	14:00	16:00	19:00	19:00	
10			16:00	15:15	14:15	15:30	16:00	15:00	19:00			
11			19:00	16:30	15:30	16:45	17:30	16:00	19:00			
12					16:45	19:00	19:00	17:30				
13					19:00			19:00				

3. 결과 및 고찰

<시험 1> 시설가지 급액제어를 위한 적정 일사량 설정

가지 코이어 수경재배시 누적일사량에 따른 양액 공급시 월별 공급 빈도, 공급액과 배액량을 조사한 결과 표 3과 같다. 양액 공급 빈도는 외부일사량에 따라 달라지나 공급량은 계절적 요인과 정식 후 생육시기 등에 영향을 받은 것으로 보인다. 공급 빈도는 외부일사량이 가장 낮은 1월엔 70J/cm² 처리시 11회, 100J/cm² 처리시 8회, 130J/cm² 처리시 6회로 낮았으나 외부일사량이 가장 높은 4월엔 70J/cm² 처리시 27회, 100J/cm² 처리시 19회, 130J/cm² 처리시 15회로 큰 차이를 보였다(그림 1). 정식 후 한 달 동안 과채류 표준 배액율인 20~30% 기준(Roh et al., 1997)으로 공급한 결과 전체적으로 가지 생육 상태가 좋지 못하였다. 그래서 정식 30일 이후 Kim et al.(2005)이 보고한 방법과 같이 30~40%의 배액율로 공급하였다. 기존 토마토, 딸기 등 일사량에 따른 급액제어 연구에서 1회 공급량을 고정하여 공급되게 하였으나(Kim et al., 2015; Choi et al., 2021) 생육단계 및 계절별 수분 요구도가 다르고 수분을 많이 요구하는 가지에서 수분 부족이나 과습으로 인한 해를 입을 수 있어 배액율 기준으로 하였다(Sim et al., 2006; Choi et al., 2021). 각 처리구별 1회 공급량은 생육 초기인 10월엔 70J/cm² 처리시 25mL, 100J/cm² 처리시 31mL, 130J/cm² 처리시 40mL로 조금씩 공급되었으며 공급량이 생육 중기인 2월까지 증가하다 외부일사량이 증가하는 3월부터 공급 빈도수는 높아 1회 공급량은 감소하였다. 1회 공급량은 130J/cm² > 100J/cm² > 70J/cm²로 급액 개시점이 70J/cm²일 때 가장 적게 들어갔으나 일일 평균 공급량은 처리 간의 큰 차이를 보이지 않았다(표 1).

표 3. 급액개시점에 따른 급액량 및 배액량

정식 후 경과일(월)	일사량 급액개시점	양액 공급 횟수 (회/주/일)	1회 공급량 (ml)	공급량 (ml/주/일)	배액량 (ml/주/일)
6-31(10월)	70J/cm ²	18	25	436	126
	100J/cm ²	13	31	382	87
	130J/cm ²	10	40	376	106
32-62(11월)	70J/cm ²	13	80	916	384
	100J/cm ²	9	120	951	355
	130J/cm ²	7	140	839	329
63-94(12월)	70J/cm ²	12	100	1,192	539
	100J/cm ²	8	170	1,408	617
	130J/cm ²	6	160	971	402
95-126(1월)	70J/cm ²	11	142	1,515	633
	100J/cm ²	8	204	1,468	641
	130J/cm ²	6	234	1,265	498
127-156(2월)	70J/cm ²	17	129	2,067	935
	100J/cm ²	11	199	2,194	951
	130J/cm ²	9	207	2,043	840
157-188(3월)	70J/cm ²	23	80	1,808	796
	100J/cm ²	16	109	1,673	768
	130J/cm ²	12	120	1,430	658

※ 정식: 2020년 9월 22일

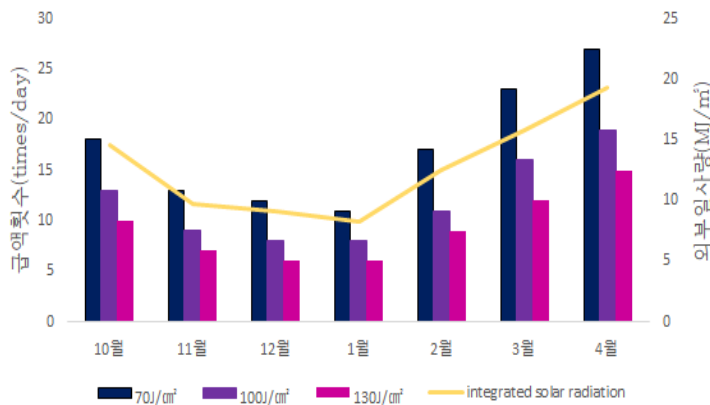


그림 1. 월별 양액 공급 횟수

급액 개시점별 수분 흡수량을 알아보기 위해 급배액 유량 센서를 설치하여 시간대별로 조사한 결과 그림 2와 같다. 배액율은 70J/cm² 40.5%, 100J/cm² 40.0%, 130J/cm² 41.7%이었고 일일 총 수분 흡수량은 70J/cm² 2,450ml, 100J/cm² 1,995ml, 130J/cm² 2,340ml로 70J/cm²로 급액시 수분 흡수량이 가장 많았다. Mahmud et al.(2021)은 1회 공급량이 적을수록 수분이용효율이 높았다고 하였으며 Meric et al.(2011)은 급액 개시점이 빠를수록 증발산량이 높다고 하였는데 1회 공급량이 적고 급액개시점이 빠른 70J/cm² 처리시 수분 흡수량이 많은 결과와 일치하였다. 수분 흡수량은 오전 10시부터 증가하여 외부 일사량이 높은 오후 3시까지 변화폭이 컸으며, 그 이후로 일사량이 감소하면서 흡수량 또한 감소하는 경향을 보였다. 각 처리별 수분 흡수량이 가장 높은 시간대는 70J/cm² 처리시 13시에 375ml, 100J/cm² 처리시 15시에 245ml, 130J/cm² 처리시 12시에 375ml로 일사량이 높은 시간대에 흡수량이 많았다. 이는 Lizarraga et al.(2003)과 같이 일사량이 높고 습도가 낮은 오후가 오전의 낮은 온도와 높은 습도보다 수분 흡수를 많게 한 요인이라 생각된다. 그러나 급액 개시점이 늦은 130J/cm²은 14시~15시 사이에 수분 흡수량이 감소하였다가 16시경 다른 처리 대비 많은 양을 흡수하였는데, 이는 일사량이 높은 앞 시간대에 충분한 양액 공급이 되지 않아 수분 흡수를 못한 결과라고 생각된다.

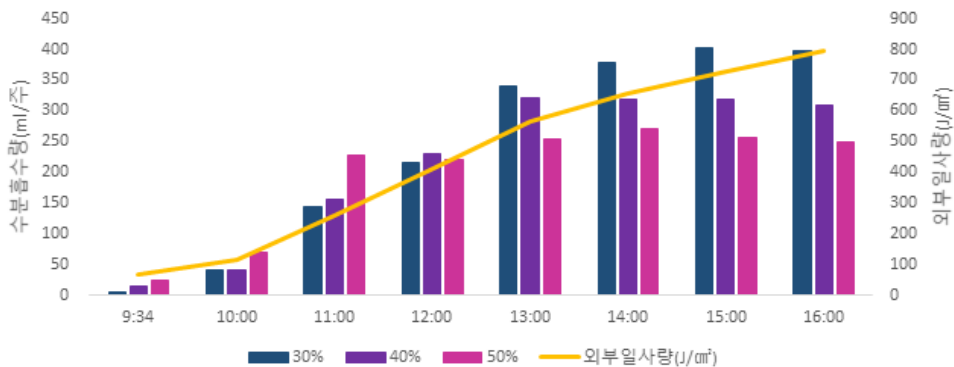


그림 2. 급액개시점별 일일 수분 흡수량(정식 후 247일)

배지 수분함량은 작물의 뿌리 발달과 생육에 큰 영향을 미친다. 배지 내 함수량이 높으면 초장이 길어지며 뿌리 발육이 저해되고, 함수량이 지나치게 낮으면 생산량과 과중이 작아지고 수량과 과중이 적어질 수 있어(Kim et al., 2012; Moon et al., 2018) 배지 내 수분함량을 적절하게 유지하여 식물의 양분 흡수를 돕고 근권 환경 안정화가 필요하다. 급액개시점에 따른 일일 배지 수분함량을 분석한 결과 그림 3과 같다. 일일 공급량의 증감에 따라 배지 수분함량은 유사한 경향을 보였으며 각 처리별 정식 후 배지 수분함량은 21.0~26.9%로 낮았으나 3월 중순 경에 70J/cm² 처리시 58.1%, 100J/cm² 처리시 56.7%, 130J/cm² 처리시 57.3%로 약 2배 이상

증가하였다. 그 후 3월부터 온도 및 증산량 증가로 인해 배지 수분함량이 떨어지기 시작하는데 4월 수확기 때 37.8~41.7%로 다소 수분함량이 낮아졌다. Yoon et al.(2020)은 재배기간 동안 일사량 제어구의 경우 배지 함수율이 39~72%의 범위로 유지되었다고 하였다. Choi et al.(2021)은 일사량에 따른 급액개시점이 낮은 처리구가 높은 처리구보다 근권 함수율이 높아 딸기 생육이 증진된다고 보고하였다. 본 시험에서는 처리별 일일 공급량 간에는 큰 차이를 보이지 않았지만 배지 함수량은 70J/cm²처리시 다른 처리보다 높게 다소 높게 유지되었다(그림 3).

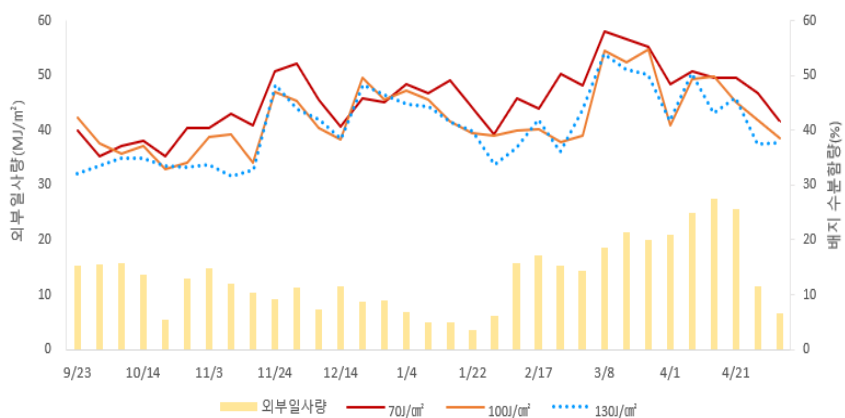


그림 3. 급액개시점에 따른 배지 수분함량 비교

코이어 수경재배시 날씨에 따른 배지 수분함량 변화를 비교한 결과는 표 4와 같다. 일사량이 낮은 1월과 일사량이 높은 4월의 맑은 날과 흐린 날을 비교한 것으로 4월 맑은 날엔 외부누적일사량이 11.9MJ/m²로 양액 공급 횟수가 19회에서 최대 35회까지 1월의 약 2배 이상 자주 공급되었으며 흐린 날에는 1, 4월 둘 다 10회 미만으로 낮은 빈도를 보였다. 이러한 기상환경에 따른 배지 수분함량을 분석한 결과, 처리별 간에 맑은 날과 흐린 날 큰 차이를 보이지 않았다.

표 4. 날씨별 금액개시점에 따른 배지 수분함량 비교

시 기	누적 일사량 (MJ/m ²)	일사량 금액 개시점	양액 공급 횟수 (회/주/일)	1회 공급량 (ml)	공급량 (ml/주/일)	배액량 (ml/주/일)	배지 수분함량 (%)	
1월	맑은 날 (1월 27일)	70J/cm ²	16	150	2,400	700	44.1	
		11.9	100J/cm ²	11	218	2,400	800	40.2
			130J/cm ²	8	238	1,900	570	37.9
	흐린 날 (1월 22일)	70J/cm ²	4	167	500	0	44.3	
		3.5	100J/cm ²	2	250	500	0	39.5
			130J/cm ²	2	225	450	0	39.9
4월	맑은 날 (4월 14일)	70J/cm ²	35	53	1,850	780	49.7	
		27.5	100J/cm ²	26	71	1,850	900	49.8
			130J/cm ²	19	66	1,250	500	43.2
	흐린 날 (4월 12일)	70J/cm ²	7	71	500	0	44.3	
		5.7	100J/cm ²	5	90	450	0	40.1
			130J/cm ²	4	213	850	0	40.5

각 처리별 배액의 EC농도를 측정한 결과 표 5과 같다. 정식 후 평균 0.5dS/m에서 증가하여 12월 중순까지 공급액의 농도보다 배액의 EC 농도가 낮았으나, 12월 하순부터 공급액 2.0dS/m으로 공급했을 때 배액의 EC가 공급액 EC보다 높았다. 3월 초부터는 EC농도를 1.5dS/m로 공급하여도 공급액 대비 배액의 EC농도가 떨어지지 않았으며 각 처리 별 배액의 EC변화는 비슷한 경향을 보였다. Kim et al.(2005)과 Choi et al.(2018)는 생육 후기 배액의 EC가 금액보다 높아지는 건 온도 상승과 낮은 습도로 인한 증발산의 증가로 양분보다 수분의 흡수율이 높았기 때문이라는 결과와 일치하였으며 배지 함수량 변화와 유사하였다.

표 5. 급액개시점에 따른 배액 EC농도 변화

정식 후 경과일(월)	EC(dS/m)		
	70J/cm ²	100J/cm ²	130J/cm ²
6-31(10월)	1.05	0.87	1.00
32-62(11월)	1.47	1.25	1.39
63-94(12월)	1.97	1.87	1.91
95-126(1월)	2.47	2.32	2.48
127-156(2월)	2.41	2.50	2.53
157-188(3월)	2.45	2.48	2.58
189-219(4월)	2.04	2.00	2.07

코이어 수경재배시 배지 내 EC 농도의 변화를 살펴본 결과는 그림 4와 같다. 배지 내 EC농도가 70J/cm² 급액했을 때가 다른 처리보다 다소 높았고 130J/cm²일 때 가장 낮았다. 이는 70J/cm² 처리시 소량 다회 공급되기 때문에 무기이온이 배지 내 축적되어 농도가 높아진 것으로 생각된다. 그러나 각 처리구별 공급액보다 배지 EC농도가 높아지진 않았다. Na et al.(2008)는 생육 후기로 갈수록 무기이온이 집적되었으나 배지 EC는 크게 변화하지 않았다는 결과와 비슷하였다. 각 처리별 배지 EC농도가 공급액 EC농도 보다도 낮은 2.0ds/m이하로 유지되어 작물 생육에 적절한 수준으로 생각된다.

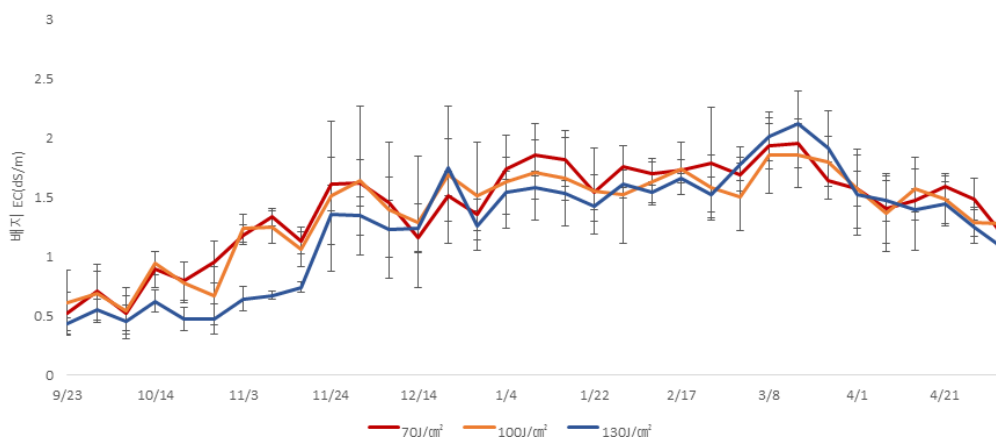


그림 4. 급액개시점에 따른 배지 내 EC농도 변화

가지의 생육 특성 분석시 가지의 엽장, 엽폭, 경경, 제 1절 간장에서는 처리 간의 유의한 차이가 없었고 초장은 130J/cm²처리가 가장 낮은 경향을 보였으며 70J/cm², 100J/cm²은 유의한 차이가 없었다(표 6). 표 7의 과실 특성은 꽃자루 길이, 꽃받침 길이, 과장은 처리 간의 유의한 차이가 없었으나, 과폭과 과중은 70J/cm² 처리시 가장 높았다. 가지 10a당 총 무게는 70J/cm²(8,401kg) > 100J/cm²(7,321kg) > 130J/cm²(6,677kg) 순으로 많았으며 급액 개시점이 빠를수록 수량이 높았다. RDA(2018)에서는 펄라이트 배지를 사용하여 누적 일사량에 따른 양액 공급 시 급액 개시점이 더 빠른 0.5MJ/m²보다 1.0MJ/m²일 때 수량이 증대되었다는 결과와 차이를 보였다. 일일 수량 비교시 정식 후부터 1월 중순까지 100J/cm²처리가 70J/cm²보다 수확시 수량이 높은 날이 많았으나 1월 하순부터 생육 후기로 갈수록 70J/cm²처리시 수량이 더 높았다. 1월부터 70J/cm²처리시 배지 내 수분함량이 다른 처리구 보다 높게 증가한 것과 비슷한 경향치를 보여 근권부 수분 흡수 증가가 수량 증대 효과를 가져왔다고 생각된다(그림 5).

표 6. 가지 식물체 생육 특성(정식 후 120일)

일사량 급액개시점	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	경경 (cm)	제 1 절간장 (cm)	SPAD
70J/cm ²	175.7a	21.3a	14.9a	5.7a	30.2a	48.3b
100J/cm ²	180.7a	22.3a	15.2a	5.6a	33.0a	49.4ab
130J/cm ²	164.1b	21.6a	14.5a	5.4a	33.1a	50.4a

J DMRT at 5% level

표 7. 가지 수량 및 과실 특성(정식 후 120일)

일사량 급액개시점	꽃자루 길이 (cm)	꽃받침 길이 (cm)	과장 (cm)	과폭 (mm)	과중 (g/개)	수량	
						갯수 (개/10a)	무게 (kg/10a)
70J/cm ²	6.0a	6.3b	22.4a	49.5a	185.9a	48,863a	8,401a
100J/cm ²	6.0a	6.9a	21.5a	45.9b	171.4b	44,671b	7,321b
130J/cm ²	6.3a	6.9a	21.5a	48.4ab	156.8c	39,562c	6,677c

J DMRT at 5% level

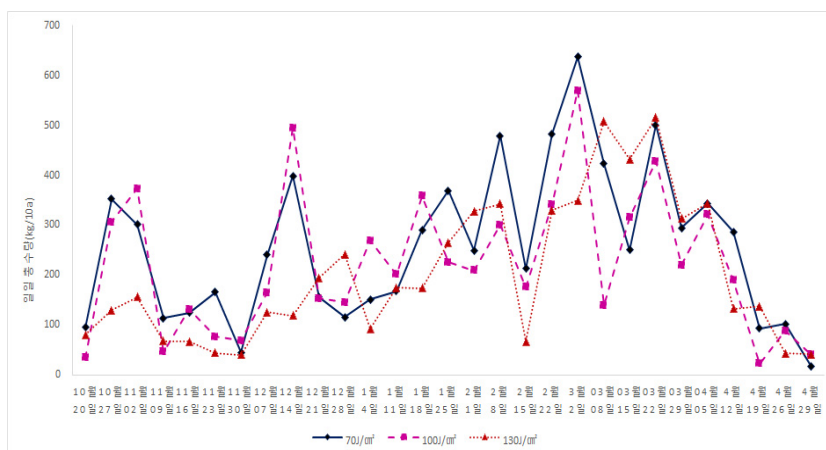


그림 5. 처리별 일일 수량 변화

<시험 2> 적정 일사량에 따른 생육단계별 급액량 구명

급액개시점인 누적일사량 70J/cm²을 기준으로 하여 배액율에 따른 평균 양액 공급량 및 배액량은 표 8과 같다. 가지의 경우 수분요구량이 높아 급액량이 많게 배액율 30%, 40%, 50% 처리하였으며 생육기간 동안 월 평균 양액 공급량은 30%처리시 868ml, 40%처리시 951ml, 50%처리시 1,232ml으로 50%처리가 가장 많이 공급되었다.

표 8. 배액율별 평균 양액 공급량 및 배액량 비교

처리 (배액율, %)	정식 후 경과일	공급량 (ml/주/일)	배액량 (ml/주/일)	월별 배액율 (%)
30	25-56(10월)	920	310	33.7
	57-87(11월)	1,008	350	34.7
	88-119(12월)	914	316	34.6
	120-150(1월)	910	310	34.1
	151-179(2월)	538	181	33.6
	180-211(3월)	637	227	35.6
	212-242(4월)	986	361	36.4
	243-274(5월)	1,123	351	31.1
	275-305(6월)	772	270	35.2
40	25-56(10월)	1,333	578	43.4
	57-87(11월)	1,025	464	45.3
	88-119(12월)	920	423	46.0
	120-150(1월)	850	381	44.8
	151-179(2월)	753	343	45.6
	180-211(3월)	745	326	43.8
	212-242(4월)	906	405	44.6
	243-274(5월)	1,107	502	45.0
	275-305(6월)	948	442	46.6
50	25-56(10월)	1,560	847	54.3
	57-87(11월)	1,600	892	55.8
	88-119(12월)	1,205	674	55.9
	120-150(1월)	1,263	688	55.7
	151-179(2월)	852	484	56.8
	180-211(3월)	769	442	57.5
	212-242(4월)	936	405	53.0
	243-274(5월)	1,429	757	53.1
	275-305(6월)	1,472	832	55.5

※ 정식: 2021년 9월 7일

생육기간 동안 처리별 배지 수분함량 변화 조사시 배액율 30% 처리가 가장 높게 유지되었다(그림 6). 급액 간격이 세 처리 모두 동일하나 1회 공급량은 배액율이

낮을수록 적게 공급되는데 정식 전 포습된 배지 수분함량이 배액을 30% > 50% > 40%)로 생육 후기까지 유지된 것으로 생각된다.

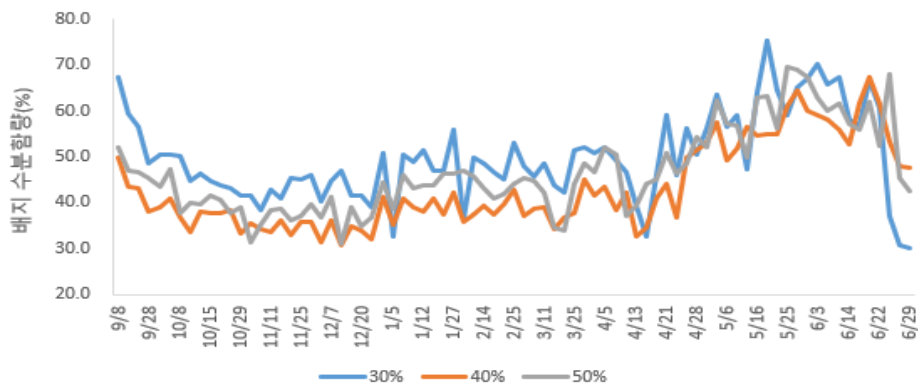


그림 6. 배액율별 배지 내 수분함량 변화

일일 양액공급량은 수분흡수량 30% 처리할 때 가장 많이 흡수되었는데 1회 공급량이 많은 배액을 50%처리시 오전 중에 수분흡수량이 많으나 일사량이 많은 오후부터 흡수량이 가장 떨어지는 양상을 보였다(그림 7). 이는 일사량이 높은 오후에 공급빈도가 많아지면서 많은 양의 양액 공급시 오히려 수분흡수가 저조해지는 것으로 생각된다. 또한 1년차 결과 같이 Mahmud et al.(2021)의 1회 공급량이 적을수록 수분이용 효율이 높다는 결과와 일치하였다.

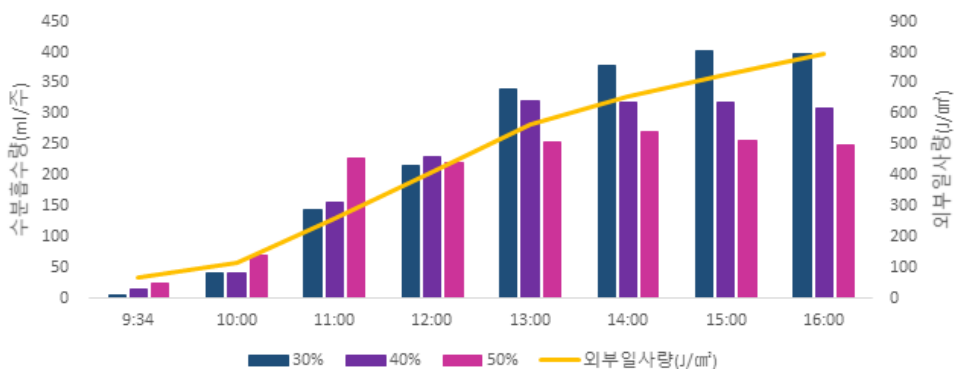


그림 7. 배액율별 배지 내 수분함량 변화

처리별 생육조사 결과 가지의 초장, 엽폭, 제 1절간장, SPAD값은 처리간에 유의한 차이를 보이지 않았으나, 엽장은 50%처리가 가장 높았고 경경은 30%처리가 가장 높은 경향을 보였다(표 9). 과실 특성은 꽃자루 길이, 꽃받침 길이, 과폭, 과중은 처리

간의 유의한 차이가 없었으나 과장은 50% 처리가 가장 높았다. 가지 10a당 총 무게는 30%(13,305kg) > 40%(11,740kg) > 50%(11,269kg) 순으로 배액율이 낮을수록 수량이 높은 결과를 보였다(표 10).

표 9. 식물체 생육 특성(정식 후 109일)

배액율	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	경경 (cm)	제 1 절간장 (cm)	SPAD
30%	165.0a	22.4b	14.7a	4.7a	30.0a	41.4a
40%	163.0a	23.4ab	15.0a	4.0b	30.9a	44.0a
50%	158.3a	23.9a	15.6a	4.1ab	27.2a	40.2a

↓ DMRT at 5% level

표 10. 과실 특성 및 수량(정식 후 109일)

배액율	꽃자루 길이 (cm)	꽃받침 길이 (cm)	과장 (cm)	과폭 (mm)	과중 (g/개)	상품과 수량	
						개수 (개/10a)	무게 (kg/10a)
30%	5.9a	5.0a	20.2b	45.1a	140.0a	89,640a	13,305a
40%	6.4a	5.7a	21.1ab	44.1a	149.0a	78,660b	11,740b
50%	6.6a	5.2a	22.4a	47.8a	152.0a	75,060b	11,269b

↓ DMRT at 5% level

<시험 3> 시설가지 급액제어 기술 실증

1년차 연구 결과인 급액개시점 70J/cm², 2년차 연구 결과인 배액율 30%처리시 데이터를 바탕으로 월별 일사량에 따른 공급량을 표 11과 같이 회귀분석을 통해 상관관계 식으로 나타내었다.

- 10월: $y = -0.0016x^2 + 3.8103x - 1026.5(R^2 = 0.993)$
- 11월: $y = -0.0005x^2 + 1.9099x - 433.83(R^2 = 0.8707)$
- 12월: $y = -0.0023x^2 + 5.0863x - 1856.9(R^2 = 0.5285)$
- 01월: $y = -0.0046x^2 + 10.425x - 4973.8(R^2 = 0.318)$
- 02월: $y = -0.0008x^2 + 1.805x + 428.08(R^2 = 0.3008)$
- 03월: $y = 0.0006x^2 - 1.5575x + 1671.4(R^2 = 0.9617)$
- 04월: $y = 0.0004x^2 - 0.6251x + 466.24(R^2 = 0.5066)$
- 05월: $y = 0.3286x + 372.92(R^2 = 0.4187)$
- 06월: $y = -0.0003x^2 + 1.6856x - 737.83(R^2 = 0.96)$

표 11. 일사량에 따른 공급량 추이

시기 (월)	일사량에 따른 공급량	시기 (월)	일사량에 따른 공급량
10월	<p>$y = -0.0016x^2 + 3.8103x - 1026.5$ $R^2 = 0.993$</p>	3월	<p>$y = 0.0006x^2 - 1.5575x + 1671.4$ $R^2 = 0.9617$</p>
11월	<p>$y = -0.0005x^2 + 1.9099x - 433.83$ $R^2 = 0.8707$</p>	4월	<p>$y = 0.0001x^2 - 0.3039x + 794.14$ $R^2 = 0.5066$</p>
12월	<p>$y = -0.0023x^2 + 5.0863x - 1856.9$ $R^2 = 0.5285$</p>	5월	<p>$y = 0.3286x + 372.92$ $R^2 = 0.4187$</p>
1월	<p>$y = -0.0046x^2 + 10.425x - 4973.8$ $R^2 = 0.318$</p>	6월	<p>$y = -0.0003x^2 + 1.6856x - 737.81$ $R^2 = 0.96$</p>
2월	<p>$y = 0.0002x^2 - 0.3531x + 1422.4$ $R^2 = 0.3008$</p>		

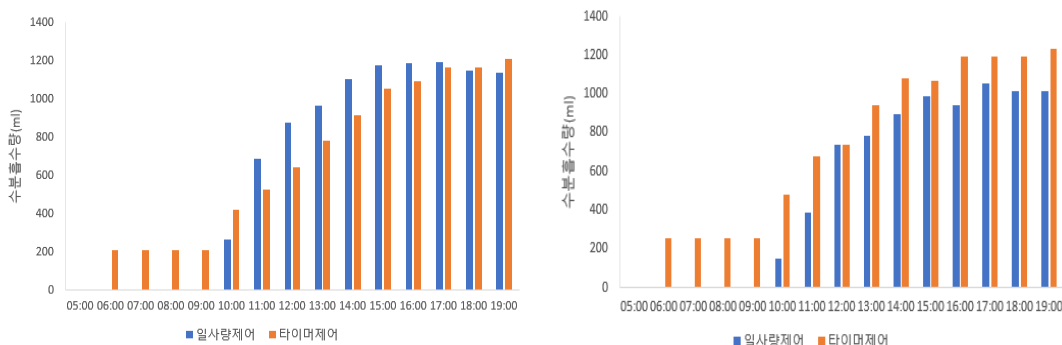
표 12는 처리별 양액 공급량 및 배액량 등을 비교한 것으로 처리 간에 1회 공급량과 공급 횟수에서 큰 차이를 보였다. 일사량 제어시 1회 공급량은 15~90ml, 타이머 제어시 40~180ml로 타이머 제어시 1회 공급량이 많았고 공급 횟수는 일사량 제어시 3~41회, 타이머 제어시 8~13회로 일사량 제어시 더 빈번히 공급되었다. 처리별 수분 흡수량은 겨울철에 특히 일사량 제어시 낮았는데 이는 겨울철 낮은 일사량으로 처리별 배액율을 조정하기 어려워 확보된 데이터가 적어 상관계수 값이 1월엔 0.3180, 2월엔 0.3008로 낮아 수분 흡수량도 적은 것으로 생각된다.

표 12. 처리별 양액 공급량 및 배액량 비교

정식 후 경과 (월)	1회 공급량 (ml/회)		공급 횟수 (회/일)		공급량 (ml/주/일)		배액량 (ml/주/일)		수분 흡수량 (ml/주/일)	
	일사량 제어	타이머 제어 (대조)	일사량 제어	타이머 제어 (대조)	일사량 제어	타이머 제어 (대조)	일사량 제어	타이머 제어 (대조)	일사량 제어	타이머 제어 (대조)
10월	15~90	40~150	13~27	9	1,695	1,745	459	443	1,325	1,303
11월	21~70	50~130	10~17	9	1,809	1,466	904	594	905	872
12월	50~71	50~80	8~16	8	1,665	1,010	957	368	709	637
1월	20~71	80~120	5~19	9	2,207	1,736	1,370	695	837	1,041
2월	16~70	70~105	3~23	9	1,278	1,547	296	536	983	1,091
3월	30~57	70~105	14~30	11	1,946	1,608	643	793	1,304	815
4월	16~40	45~100	3~35	11	1,439	2,168	264	538	1,267	1,711
5월	30~70	105~180	12~37	13	3,527	3,211	951	1,235	2,576	2,186
6월	21~52	80~130	8~41	12	2,715	2,675	1,495	948	1,893	1,774

※ 정식: 2022년 9월 6일

또한 11월과 2월의 시간별 수분 흡수량을 비교하였을 때 상관계수 값이 0.8707인 11월에는 매시간 일사량 제어가 타이머 제어 대비 수분 흡수율이 높았으나, 상관계수 값이 0.3008로 낮은 2월에는 타이머 제어일 때가 수분 흡수량이 더 높은 경향을 보였다. 그래서 상관계수 값이 낮은 1~2월에는 회귀식에 의한 금액 방법보다는 과채류의 적정 배액율 30%로 공급해야 될 것으로 사료된다(그림 8).



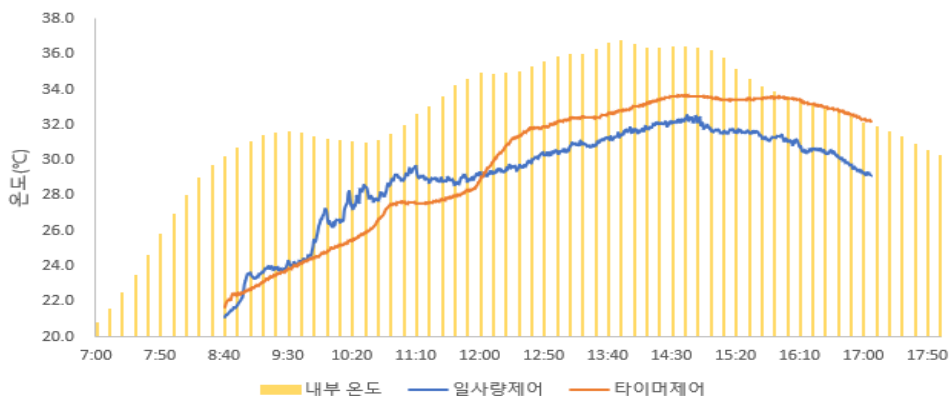
< 11월 18일 >

< 2월 23일 >

※ 11월 상관계수(R2): 0.8707, 2월 상관계수(R2): 0.3008

그림 8. 시간별 수분 흡수량

그림 9는 재배기간 동안의 배지 내 온도변화로 일사량이 높고 고온일 때 조금씩 자주 공급되는 일사량 제어시 타이머제어보다 일일 최대 2.6℃ 온도를 낮출 수 있었으며 하루 중 가장 고온인 시간대에 타이머 제어시 최고 33.7℃, 일사량 제어시 31.7℃로 1.9℃의 온도차를 보였다. 가지가 고온성 작물이나 뿌리 성장 최고 온도는 25℃로 배지 온도를 낮추는 일사량 제어가 효과적으로 보인다.



※ 조사일: 2023년 6월 17일

그림 9. 일일 배지 내 온도 변화

그림 10은 생육기간 동안 일일 배지 내 수분함량 조사한 것으로 1회 공급이 많은 타이머 제어가 일사량 제어보다 더 높게 유지되었으며, 최대 23.7% 차이를 보였다. 그림 11의 배지 내 EC농도는 생육 후기로 갈수록 일사량 제어시 높아지는 경향을 보였는데 타이머 제어보다 소량 다회 양액이 공급된 결과로 보이며 처리구 모두 3dS/m 이하로 과채류 적정 배지 EC농도 이하로 유지되었다.

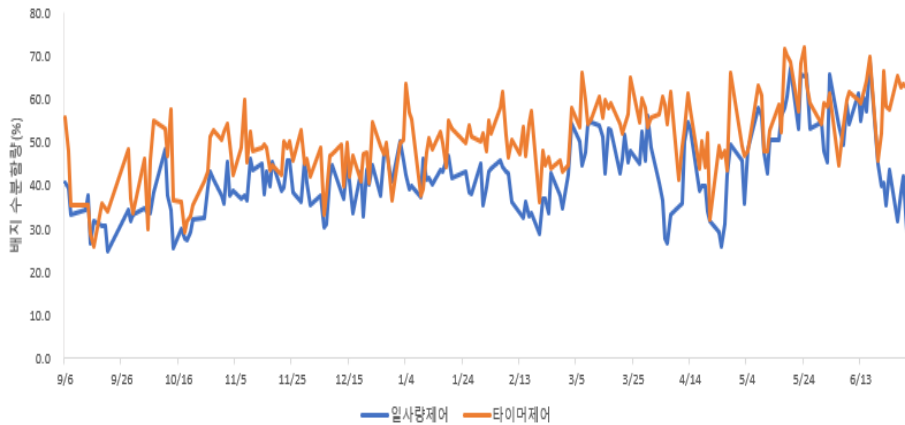


그림 10. 생육기간 동안 배지 내 수분함량 변화

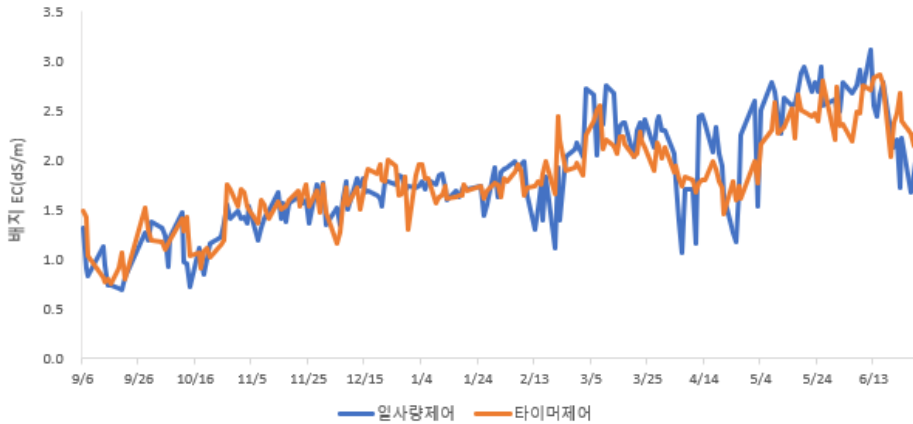


그림 11. 생육기간 동안 배지 내 EC 변화

착과 후 수확까지 과장을 비교하였을 때, 일사량 제어시 21.5일, 타이머 제어시 22.3일로 일사량 제어시 수확시기를 앞당길 수 있었다(그림 12). 초장, 엽장, 엽폭, 과장, 과폭 등에서 유의한 차이를 보이지 않았으나 과중은 일사량 제어 148g/개, 타이머 제어 137g/개로 일사량 제어가 더 높게 유의한 차이를 보였다. 10a당 상품과 개수는 일사량 제어시 23,859개, 타이머 제어시 22,431개로 일사량 제어시 더 많았으며 10a 상품과 수량 또한 일사량제어시 10,592kg, 타이머 제어시 9,495kg로 12% 더 높은 수량성을 보였다(표 13, 14, 그림 13).

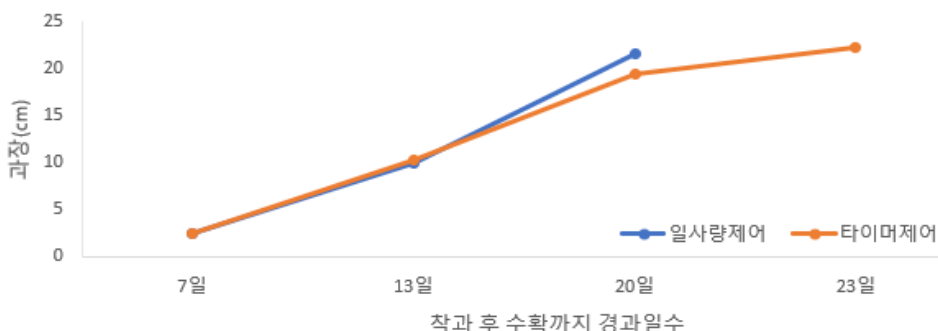


그림 12. 착과 후 수확까지의 과장 비교(착과일: 정식 후 45일)

표 13. 식물체 생육 특성(정식 후 78일)

처리	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	경경 (cm)	제 1 절간장 (cm)	SPAD
일사량제어	169.3a	27.8a	16.6a	5.3a	28.8a	45.3a
타이머제어 (대조)	169.5a	27.3a	16.1a	4.3b	30.0a	44.9a

↓ DMRT at 5% level

표 14. 과실 생육 특성(정식 후 78일) 및 수량

처리	꽃자루 길이 (cm)	꽃받침 길이 (cm)	과장 (cm)	과폭 (mm)	과중 (g/개)	상품과 수량	
						개수 (개/10a)	무게 (kg/10a)
일사량제어	5.3a	6.0a	21.8a	41.9a	148a	23,859a	10,592a
타이머제어 (대조)	5.3a	5.2a	19.9a	42.7a	137b	22,431b	9,495b

↓ DMRT at 5% level

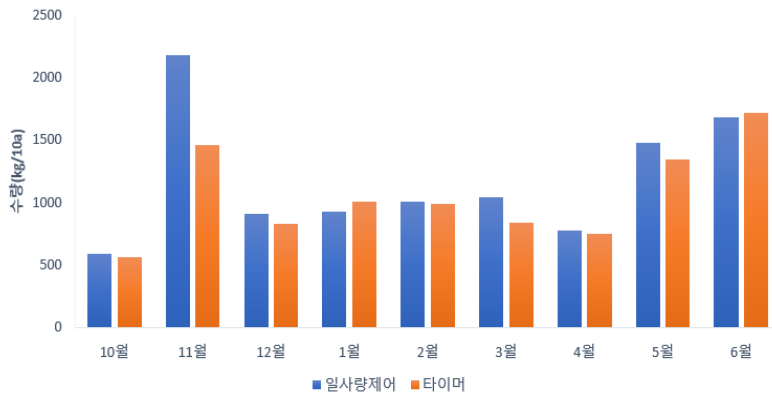


그림 13. 월별 수량 비교

이와 같은 결과를 바탕으로 농가에서 쉽게 적용할 수 있는 방법을 제시하고자 표 15와 같이 월 평균 1회 공급량을 고정하여 제시하였다.

표 15. 농가 적용 월별 급액개시점 70J/cm² 기준 1회 양액 공급량

정식 후 경과 (월)	월 평균 1회 공급량 (ml/주)
10월	53
11월	46
12월	66
3월	36
4월	30
5월	35
6월	32

※ 1~2월의 경우 일사량 70J/cm² 기준 배액을 30%로 1회 공급량 설정

표 16은 타이머 제어 대비 일사량 제어시 경제성 분석을 한 것으로 손실적 요소로는 기존 양액재배 농가에서 양액 공급기가 설치되어 있다는 전제하에 일사량 제어를 위한 외부일사량센서 설치비, 타이머 제어 대비 추가 양액비료 소모량 6%를 포함하였다. 이익적 요소로는 일사량 제어시 가지 10a당 조수입에 타이머 제어시 가지 10a당 조수입을 제외한 금액을 포함하였으며, 이익적 요소에 손실적 요소를 제외한 10a당 추정 수익액은 2,246,150원의 소득 향상을 보였다.

표 16. 타이머제어 대비 일사량제어 경제성 분석(단위: 원/10a)

손실적 요소 (A)	이익적 요소 (B)
<ul style="list-style-type: none"> ○ 증가되는 비용 <ul style="list-style-type: none"> · 외부 일사량센서 설치비: 1,200,000원 · 타이머 제어 대비 추가 양액 비료 소모량(6%) : 43,400원 ○ 계: 1,243,400원 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 증가되는 이익 <ul style="list-style-type: none"> · 일사량제어시 가지 10a당 조수입(33,693,150원) - 타이머제어시 가지 10a당 조수입(30,203,600원) ○ 계: 3,489,550원
<hr/> <p>○ 추정수익액(B-A) = 2,246,150원/10a</p>	

※ 가지 단가(8kg, 상): 서울특별시농수산물공사(2023년 ~ 2019년 평균 가격, 10월~6월)

※ 양액 비료 소모량: 723,300원/년 1기작/10a

♪ 가지 조수입 계산

- 일사량 제어: 10a당 총 무게 × kg당 가격 = 10,592kg/10a × 3,181원/kg = 33,693,150원/10a
- 타이머 제어: 10a당 총 무게 × kg당 가격 = 9,495kg/10a × 3,181원/kg = 30,203,600원/10a

4. 적요

시설가지 양액재배시 효율적인 양액 공급을 위해 일사량에 따른 급액제어 기술을 개발하고자 하였으며 이를 활용하여 실증 재배 실험을 수행한 결과 다음과 같다.

- 가. 배지 내 온도는 일사량이 높고 고온일 때 빈번하게 자주 급액되는 일사량 제어시 타이머 제어보다 최대 2.6℃ 온도를 낮출 수 있었다.
- 나. 착과 후 수확까지 경과일 수는 일사량 제어시 20일, 타이머 제어시 23일로 일사량 제어시 과실 성장 속도가 빨랐으며 10a당 상품과 수량은 일사량 제어시 10,592kg, 타이머 제어시 9,495kg으로 12% 증대하였다.
- 다. 스마트팜 양액재배 농가 기준으로 일사량 제어시 2,246,150원/10a 향상되었다.
- 라. 매일 회귀식에 누적일사량을 입력하여 1회 공급량 산출하는 번거로움을 해결하여 농가 활용도를 높이기 위해 급액개시점 70J/cm²기준으로 월 1회 공급량을 평균화하였다.
- 마. 1~2월에는 낮은 일사량으로 배액율을 맞추기 어려워 상관계수 값이 낮아 이 시기에 배액율 30%로 급액량 조절이 필요하다.

5. 인용문헌

- Choi, E.Y., Lee, Y. B. (2001). Determination of total integrated solar radiation range for the optimal absorption by cucumber plant in different substrates. *Journal of The Korean Society for Horticultural Science*, 42(3):271-274.
- Choi, G. L., Y, K. H., Choi, H. S., Jeong, J. H., Kang, J. N.(2018). Effect of concentration of nutrient solution on water and nutrient uptake of tomato cultivars in hydroponics. *Journal of Agriculture & Life Science*, 53(1):13-21
- Choi, S. H., Kim, S. H., Choi, G. H., Jeong, H. J., Lim, M. Y., Kim, D. Y., Lee, S. Y. (2021). Growth and Quality of the Strawberry (*Fragaria annanassa* Dutch. cvs. ‘Sulhyang’) as affected by Complex Nutrient Solution Supplying Control System using Integrated Solar Irradiance and Substrate Moisture Contents in Hydroponics. *Journal of Bio-Environment Control*, 30(4):367-376.
- Elshibli, S., Mohamed, E. E., Korpelainen, H. (2015). Growth and photosynthetic CO₂ responses of date palm plants to water availability. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(1), 58-65.
- Kim, J., Kim, J. M., Park, E. S., Jeon, H. K., Jeong, J. S., Bae, J. H. (2005). The study on the perlite medium hydroponics technique for eggplant forcing culture. Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services.
- Kim, W. I., Ok, J. Y., An, C. G., Kim, H. D., Hong, G. P. (2015). Evaluation about the irrigation strategies for tomato(*Solanum lycopersicum L.*) cultivation under the perlite substrate bag. Gyeongnam Agricultural Research and Extension Services.
- Lizarraga, A., Boesveld, H., Huibers, F., and Robles, C.(2003). Evaluating Irrigation Scheduling of Hydroponic Tomato in Navarra. *Irrigation and Drainage*, 52: 177-188
- Meric, M., Tuzel, I., Tuzel, Y. and Oztekin, G. (2011). Effects of nutrition systems and irrigation programs on tomato in soilless culture. *Agricultural Water Management*, 99(1), pp.19-25.
- Moon, M.G., Kim, S. M., Cho, M. H., Yu, I. H., Ryu, H. R., Choi, G. H., Kwon, Y. H., Le, S. J. (2018). Effect of Plant Growth and Production of Tomato on the Water Content Control in Rockwool Culture. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 20(2):183-189.
- Mahmud, A., Cafer, G., Serpil, G., Ali, B. U. (2021). Yield and Water Use of Eggplant (*Solanum melongena L.*) Under Different Irrigation Regimes and Fertilizers, *Journal*

of Tekirdag Agricultural Faculty, 18 (3), 533-544.

Na, T. S., Kim, J. G., Choi, K. J., Gi, G. Y., Yoo, Y. K. (2008). Study on optimum water supply by solar radiation in cut rose(*rosa hybrida cv cardinal*). Journal of Bio-Environment Control, 17(3):215-220.

Roh, M.Y. (1997). Development of irrigation control system based on integrated solar radiation and nutrient solution suitable for closed system in substrate culture of cucumber. PhD. Diss., Univ. of Seoul, Seoul, Korea.

RDA(2013). Water culture. Wanju; RDA.

RDA(2018). Manual for eggplant cultivation. Wanju: RDA.

Sim, S. Y., Lee, S. Y., Lee, S. W., Seo, M. W., Lim, J. W., Kim, S. J., Kim, Y. S. (2006). Characteristics of root media moisture in various irrigation control methods for tomato perlite bag culture. Journal of Bio-Environment Control, 15(3):225-230.

Yoon, B. H., Cho, E. K., Baek, J. H., Cho, I. H., Woo, Y. H., Choi, E. Y. (2020). Comparison of Irrigation and Drainage Volumes, Growth and Fruit Yield under Different Automated Irrigation Methods in Tomato Rockwool Hydroponics. Journal of Bio-Environment Control. 29(1):28-35.

6. 연구결과 활용제목

- 일사량에 따른 급액 제어시 가지 생산성 효과(영농활용)

7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도			
						'20	'21	'22	'23
ICT적용	책임자	원예연구과	농업연구사	황지은	세부과제총괄	○	○	○	○
시설가지	공동연구자	원예연구과	농업연구관	이진구	분석자료검토	-	-	○	○
일사량에 따른	〃	〃	농업연구사	김대균	자료조사	○	○	○	○
급액 제어	〃	〃	농업연구사	최란선	재배관리	○	○	○	○
기술개발	〃	〃	농업연구관	이수연	결과검토	-	-	○	○
	〃	소득자원 연구소	농업연구관	김진영	연구자문	○	○	-	-