

토마토 펄라이트 자루재배시 배액전극제어법 적용시점 구명

김성은¹ · 심상연² · 김영식^{1*}

¹상명대학교, ²경기도농업기술원

Application Time of Irrigation Management by Drainage Level Sensor in Tomato Perlite Bag Culture

Sung Eun Kim¹, Sang Youn Sim², and Young Shik Kim^{1*}

¹Sangmyung University, 300 Anseo-dong, Cheonan, Choongnam 330-720, Korea

²GyeongGi-Do Agricultural Research & Extension Services, Hwasung-si 445-300, Korea

Abstract. The experiment was implemented to introduce the drainage electrode irrigation system as early as possible after transplanting in order to save the nutrient solution in a convenient way. Drainage electrode irrigation method was introduced 15, 19 or 22 days after transplanting after irrigation was firstly controlled by time clock. Time clock method was also treated as a control plot. Drainage electrode method could be adopted from 15 days after transplanting, 15 days earlier than the present introducing time. The growth and yield was better in treatments with drainage electrode method. Water and fertilizer use efficiency were the highest in the treatment of 15 days, the lowest in time clock treatment.

Key words : drainage electrode irrigation system, hydroponics, *Solanum lycopersicum*

서 론

수경재배에서 급액제어의 목적은 작물의 생육을 최적화하여 수확량을 극대화하기 위한 것이지만, 이와 함께 경제성도 고려해야 한다. 즉, 효율체감의 법칙에 의해 배양액 공급량을 늘리는 비용의 증가분이 수확량 증가에 의한 수익 증가분보다 높을 경우에는 효율이 떨어지는 것이므로 효율이 높은 급액제어를 행해야 한다. 배양액은 용수와 비료의 혼합물이므로, 효율을 고려할 경우 수확량에 대한 용수이용효율(WUE: water use efficiency)과 비료이용효율(FUE: fertilizer use efficiency)을 모두 고려해야 한다. WUE와 FUE는 각각 단위 소요된 용수나 비료의 양이 생산한 수확량을 의미하기도 하며, 단위 수확량에 대한 용수나 비료의 양으로 나타내기도 한다. 전자는 수확량을, 후자는 용수나 비료의 양을 중요시 할 때 사용하기 편리한 차이점이 있다. WUE와 FUE는 상황에 따라 차이가 있

으며, 토양재배와 수경재배간에도 다르다(Rouphael 등, 2005). WUE와 FUE를 높이는 방법으로는 환경관리(Zabri and Burrage, 1998), 재배법(Abou-Hadid 등, 1993), 배양액관리(Warren와 Bilderback, 2004) 등 여러 가지가 있다.

급액제어를 통해 급액량을 줄이는 방법이 WUE와 FUE를 높이는 방법으로 가장 단순하다. 그러나 이를 위해서는 먼저 배지내 수분함량과 작물의 수분흡수양상을 알 필요가 있는데, Sim 등(2006a)은 토마토 펄라이트 자루재배에서 타이머제어법과 일사량제어법, 배액전극제어법을 비교실험한 결과, 배액전극제어법이 작물의 생육과 배지내 수분조절에 가장 바람직한 급액제어법이라고 보고했다. 또한 배액전극제어법은 작물의 생육기간동안 필요로 하는 배지내 적정 함수율 변화에 민감하게 반응하여 생육시기에 관계없이 작물이 필요로 하는 고유의 적정 함수율 변화에 적극적으로 대처가 가능한 급액방법으로 보고했다(Sim 등, 2006b).

기존의 실험(Sim 등, 2006a, b, c)과 실제 상업적 재배에서 배액전극제어법을 시작하는 시기는 정식후 30일 이후로 적용하고 있다. 배액전극제어법은 재배틀

*Corresponding author: advenia@empal.com
Received December 21, 2009; Revised March 19, 2010;
Accepted March 22, 2010

바닥에 친수성매트가 있어 배지로부터 나오는 배액이 집액되었다가 배지가 건조해지면 재배틀의 배액이 다시 모세관 현상에 의해 배지로 재흡수되는 현상을 이용하여 급액을 제어하는 방법(Kim, 2003)인데, 정식 직후에는 뿌리의 활착이 미흡해서 배액전극제어법을 적용하기가 어렵다고 판단했기 때문이다. 이에 따라 배액전극제어법을 적용하기 이전에는 주로 타이머법에 의해 급액제어를 하였다. 그러나 타이머법에 의한 급액제어는 관수안정성이 낮은 문제점을 가지고 있어서 배액전극제어법을 조기에 적용시킬수록 재배와 경제성에서 유리하다.

본 연구는 토마토 펠라이트 자루재배에서 기존에 알려진 배액전극제어법 적용시기를 가능한 앞당기고, 배양액을 절감하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구는 2009년 5월 14일부터 경기도농업기술원 양지봉식 유리온실(폭: 9.6m, 길이: 16m, 측고: 4.6m, 동고: 7m)과 플라스틱 복층하우스(3연동, PE 이중피복, 폭: 21.9m, 길이: 24.4m, 측고: 3.05m, 동고: 4.85m)에서 수행되었다. 공시품종인 대과종 토마토 로꾸산마루(SAKATA, Japan)를 2009년 5월 14일 피트모스 상토를 채운 50공 공정 육묘판에 파종했으며, 양지봉식 유리온실에서 1일 1회(오전 11시30분) 관수하며 육묘하였다. 육묘중 비료를 시비하지는 않았다. 2009년 6월 25일 본엽 7~8매, 1화방 출현시 정식하였다. 펠라이트 자루(W 300 * L 1,000 * H 150mm, 용량 30L, 흑백비닐두께 0.1mm)는 정식 전날 포수한 후, 정식 직전 배액구를 뚫은 다음, 자루 당 3개의 구멍을 내고 한 구멍마다 2그루씩 정식하였다. 배액구는 자루의 한 쪽 면에만 그루와 그루 사이의 정중앙에 바닥에서 3cm 높이에 수평으로 5cm 길이로 만들었다. 재식간격 30cm, 줄 간 간격은 2m이었으며, 각 처리당 16자루를 1열로 하여 96개체를 사용하였다. 실험특성상 실험은 단구제였으며, 각 처리당 3반복 했으며, 반복당 5자루(30개체)를 사용하였다.

실험처리로는 정식후 15일차(7월9일), 19일차(7월13일), 22일차(7월16일)에 배액전극제어법을 적용하는 3개 처리와 타이머법 1개 처리를 두었다. 배액전극제어법은 Kim(2003)의 방법에 준해서 적용하였다. 타이머

법에서는 매일 11회(8시, 9시20분, 10시30분, 11시30분, 12시30분, 1시, 1시30분, 2시, 3시, 4시, 5시) 급액하였다. 4처리 모두 처리시작시 1회에 58mL씩 급액하였으며, 이후 생육단계에 따라 배액을 15~20%를 고려하여 1회당 70mL, 130mL, 170mL로 늘려주었다. 사용한 배양액은 Yamazaki 토마토 전용배양액이었으며, pH 7.0, EC 1.0dS · m⁻¹로 조정하였고, 배양액의 공급은 자동공급장치(Agronic 4000, Spain)를 이용하였다.

각 처리의 배지와 배액의 계측에는 weighing sensor로 load cell (model: SB-50L, CAS Corporation)을 사용하였으며, 중량값은 indicator(AI-1600, CAS Corporation)를 통해 24channel multiplexer(MOXA)에 연결되도록 설계하였고 1분마다 저장하였다.

재배시 측지는 7cm 이상에서 제거했으며, 뿌리발달을 위해 지제부로부터 5마디까지의 측지는 제거하지 않았다. 2009년 6월 3일부터 매주 3회 맑은 날에 착과제(토마토톤)를 살포하였다. 수확은 토마토가 80% 정도 착색 되었을 때 처리별, 화방별로 하였고, 상품과와 기형과(배꼽썩이, 창문과), 당도 등을 조사하였다. 2009년 8월 10일에 1단 수확을 시작으로 8월 17일에 2단, 8월 22일에 3단 수확을 시작하였다. 수확은 3단까지 조사하였으며, 수확종료는 9월 3일 이었다.

생육조사는 2009년 8월 6일과 9월 3일 2차례 실시하였고, 처리별로 12주씩 무작위 선정하여 생체중, 초장, 엽장, 엽폭, 경경, 마디수 등을 측정하였다. 엽장과 엽폭은 선정된 개체의 가장 긴 잎을 선정해 측정하였다. 또한 실험기간 중 급액과 배액의 pH와 EC를 조사하였고, 사용된 급액량을 조사하여 WUE(water use efficiency, 용수이용효율)와 FUE(fertilizer use efficiency, 비료이용효율)를 계산하였다. 통계처리에는 SAS 통계패키지를 이용하였다.

결과 및 고찰

타이머법으로 급액제어를 하다가 정식후 15, 19, 22일에 각각 배액전극제어법을 적용한 결과(Fig. 1), 기존의 정식 1개월 이후에 배액전극제어법 적용하는 관행보다 2주 앞당긴 15일차 처리부터 작물이 배액전극제어법에 반응하는 것으로 나타났다(Table 1). 또한 기존의 연구결과(Sim 등, 2006a, b, c)와 같이 배액전극제어법은 타이머제어법에 비해 다양한 일일 적산일사

토마토 펄라이트 자루재배시 배액전극제어법 적용시점 구명

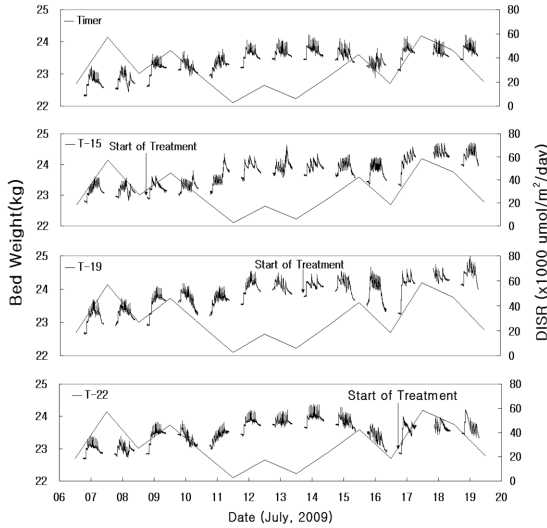


Fig. 1. Bed weight and daily integrated solar radiation (DISR) by various management methods. T-15, 19, and 22: Treatments were started at July 9, 13, and 16. Timer: Irrigation was controlled by time clock.

량, 온도, 습도에서도 식물체의 요구에 능동적으로 급액회수가 변하며 배지의 무게 즉 배지내 수분함량이 안정적으로 유지되었다. 일중 배지의 수분함량 변화는 배액전극제어법을 적용한 이후부터 5% 내의 편차범위 안에서 안정되었다.

배액전극제어법을 적용하기 이전에는 배액율이 매우 높고 일일변화폭도 큰 경향을 보였으나, 타이머법과 비교하여 배액전극제어법을 적용한 이후 작물이 배액전극제어법에 적응하여 배액률도 점차 15~25% 사이로 안정되어가는 양상을 보였다(Fig. 2). 배액전극제어법을 적용한 처리구의 경우, 급액량과 배액률이 DISR에 효율적으로 반응한 데 반해, 타이머법은 실험기간 내내

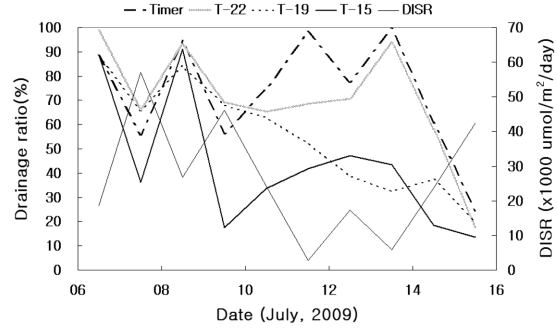


Fig. 2. Drainage ratio (%) in various irrigation management methods. T-15, 19, and 22: Treatments are started at July 9, 13, and 16. Timer: Irrigation is controlled by time clock.

날씨에 상관없이 급액이 되어, 비가 오거나 흐린 날은 배액률이 60~90%였고, 맑고 더운 날에는 배액률이 10% 이하일 때도 있어서 배액률이 매우 불규칙했다.

생육조사에서 초장은 T-15처리에서 가장 크고, T-19, T-22, 타이머법 처리 순서로 작아졌다. 또한 엽폭도 T-15와 T-19 처리에서 넓었다. 이를 통해 배액전극제어법이 토마토 펄라이트 자루재배에서 작물의 생육과 배지내 수분조절에 가장 바람직한 제어법이라는 보고(Sim 등, 2006a, b)를 확인하였다. 또한 배액전극제어법을 적용하는 시기가 빠를수록 작물의 초장과 엽폭 생육이 통계적 유의성을 갖는 범위 안에서 빨라짐을 알 수 있었다(Table 2). 엽장과 경경, 마디수는 전체 실험구에서 유사했으며, 생체중은 타이머법 처리에서 가장 큰 경향을 나타냈지만 통계적 유의성은 없었다.

충수확량과 상품과량은 T-15처리에서 가장 높았으며, T-22처리에서 가장 낮았다. 기형과 발생은 T-19에서 가장 적었고, 타이머법에서 가장 많았다. 따라서 상품과율이 T-19에서 가장 높고, 타이머법이 가장 낮았다.

Table 1. Irrigation counts in tomato perlite bag culture in various management methods.

Date	7/9	7/10	7/11	7/12	7/13	7/14	7/15	7/16	7/17	7/18	7/19
DISR ^z	26.9	46.2	24.2	2.8	17.3	5.9	23.6	42.5	18.5	58.5	46.6
Treatment ^y											
T-15	3	8	7	5	7	4	7	11	6	6	7
T-19	11	11	11	11	6	3	6	10	5	6	7
T-22	11	11	11	11	11	11	11	7	4	6	7
Timer	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11

^zDaily integrated solar radiation (umol/m²/sec).

^yT-15, 19, and 22: Treatments were started at July 9, 13, and 16.

Timer: Irrigation is controlled by time clock.

Table 2. Growth characteristics of tomato in perlite bag culture in various management methods.

Treatment ^z	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (mm)	Number of node	Fresh weight (g/plant)
T-15	165a ^y	45.5	40.7a	12.6	24.2	628
T-19	158b	46.3	40.5a	12.2	22.4	623
T-22	154c	44.0	37.0b	12.7	23.1	537
Timer	149d	44.6	38.9ab	12.3	23.0	708

^zT-15, 19, and 22: Treatments were started at July 9, 13, and 16.

Timer: Irrigation is controlled by time clock.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.005.

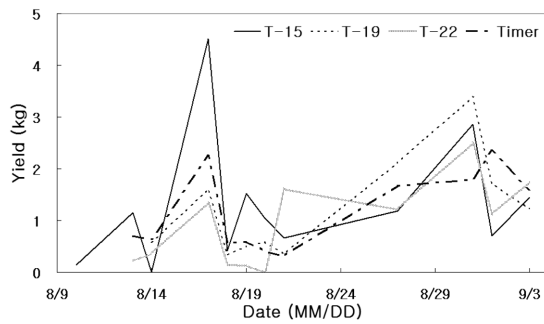


Fig. 3. Harvest dates in various management methods. T-15, 19, and 22: Treatments are started at July 9, 13, and 16. Timer: Irrigation is controlled by time clock.

과중과 당도는 처리간 차이를 보이지 않았다(Table 2).

수확시기는 T-15, 타이머법, T-19, T-22 순서를 나타냈다(Fig. 3). 따라서 생식생장도 배액전극제어법 적용시기 빠른 순서였다. 이에 따라 배액전극제어법이 영양생장과 생식생장 모두에서 작물이 요구하는 적정 함수율을 만족시키는 매우 효과적인 관수방법임을 알 수 있었다(Sim 등, 2006a, b).

실험기간동안 사용된 용수량과 비료량을 단순계산한 결과는 타이머법 처리에서 가장 많았고, T-15, T-19, T-22 처리 순으로 많았다. 급액제어의 효율을 판단하기 위해 실험기간 중 사용된 급액량을 조사하여

WUE(water use efficiency, 용수이용효율)와 FUE (fertilizer use efficiency, 비료이용효율)를 계산한 결과, 1kg의 과실을 수확하는데 T-15 처리가 57.2L의 물과 32.9g의 비료를 소비하여 가장 경제적이었다. 이러한 결과는 Bhattarai 등(2006)이 토양실험에서 보고한 WUE 78(L/kg), Martin와 Thorstenson(1988)이 토양실험에서 보고한 WUE 69(L/kg) 보다도 경제적인 것이었다. 반면, 타이머법 처리에서는 80.5L의 물과 46.3g의 비료를 소비하여 T-15와 비교할 경우 물소비 및 비료소비량이 약 41% 정도 높아서 상대적으로 경제성이 낮았다. 물론 타이머법에서 급액회수를 조절함으로써 소비량을 조절하여 경제성을 높일 수는 있으나 근본적으로 과다관수의 경향을 해소하기는 어려운 것으로 사료된다. T-19, T-22 처리는 T-15 처리보다 약간 많았으나 통계상으로 유사한 결과를 보였다. 따라서 배액전극제어법 처리 시기를 빨리 적용할수록 경제성을 알 수 있었다(Table 3).

실험결과 배액전극제어법은 타이머법에 비해 작물의 생육시기별로 변화하는 수분요구에 적극적으로 반응하며, 배액율을 비교적 균일하게 유지하는 급액제어법이며, 토마토의 영양생장과 생식생장에 효과적인 급액제어법이며, WUE와 FUE를 분석한 결과 경제적 경쟁력도 갖추고 있음을 확인하였다. 따라서 배액전극제어법

Table 3. Yield and fruit quality of tomato in perlite bag culture in various management methods.

Treatment ^z	Total yield (g/plant)	Marketable yield (g/plant)	Average of fruit weight (g/plant)	Malformed fruit (g/plant)	Marketable yield ratio (%)	Sugar contents (°Brix)
T-15	1,304a ^y	1,245a	189	59.3b	95.5b	5.7
T-19	1,034b	1,005b	199	28.7c	97.2a	5.5
T-22	816c	752c	192	63.8b	92.2b	5.8
Timer	1,051b	933b	188	117.8a	88.8c	5.7

^zT-15, 19, and 22: Treatments are started at July 9, 13, and 16.

Timer: irrigation control by time clock.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.005

토마토 펄라이트 자루재배시 배액전극제어법 적용시점 구명

Table 4. WUE and FUE of tomato in perlite bag culture in various management methods.

Treatment ^z	Water (L/plant)	Fertilizer (g/plant)	Marketable yield (kg/plant)	WUE (L/kg)	FUE (g/kg)
T-15	71.1	40.8	1.24	57.2b ^y	32.9b
T-19	64.9	37.2	1.01	65.2b	37.5b
T-22	48.4	27.8	0.75	64.4b	37.0b
Timer	75.0	43.0	0.93	80.5a	46.3a

^zT-15, 19, and 22: Treatments are started at July 9, 13, and 16.

Timer: irrigation control by time clock.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.005

의 적용시기가 빠를수록 용수량과 비료량을 절약하고, 생산량도 증가하여 경제적이다 할 수 있다.

본 실험을 통해 관행 배액전극제어법 적용 시작시점인 정식 후 30일에서 시기를 앞당겨서 정식후 15일차부터 배액전극제어법을 적용하여도 토마토의 생육에 문제가 없으며, 경제적 이익을 창출할 수 있음을 확인하였다. 그러나 본 실험은 작물의 생육에 적절한 외부환경(기온, 습도, 광도)을 유지하기 어려운 하절기에 수행된 것이므로, 뿌리생장이 다른 시기(동절기)에 대해서는 연구가 더 진행되어야 할 것으로 사료된다.

적 요

토마토 펄라이트 자루재배에서 기존에 알려진 배액전극제어법 적용시기를 가능한 앞당기고, 배양액을 절감하기 위해 수행되었다. 실험처리는 정식후 15일차(T-15), 19일차(T-19), 22일차(T-22)에 배액전극제어법을 적용하는 3개 처리와 타이머법 1개 처리를 실시하였다. 기존의 정식후 1개월 이후에 배액전극제어법 적용하는 관행보다 2주 앞당긴 15일차 처리부터 작물이 배액전극제어법에 반응하는 것으로 나타났다. 성장 및 수확량은 배액전극제어법에서 높았다. 용수이용효율과 비료이용효율은 T-15 처리에서 가장 경제적이었고, 타이머법 처리는 경제성이 낮았다. 따라서 배액전극제어법 처리시기를 빨리 적용할수록 경제성이 높음을 알 수 있었다.

주제어 : 배액전극제어법, 비료이용효율, 용수이용효율, 적용시기, 펄라이트 자루재배

사 사

본 연구는 농진청의 지원으로 수행되었습니다.

인 용 문 헌

1. Abou-Hadid, A.F., M.Z. El-Shinawy, A.S. El-Beltagy, and S.W. Burrage. 1993. Relation between water use efficiency of sweet pepper grown under nutrient film technique and rockwool under protected cultivation. *Acta Hort.* 323:89-96.
2. Bhattarai, S.P., L. Pendergast, and D.J. Midmore. 2006. Root aeration improves yield and water use efficiency of tomato in heavy clay and saline soils. *Scientia Horticulturae* 108(3):278-288.
3. Kim, Y.S. 2003. Possibility of water management in hydroponics by electrical signal. *Industrial Science Researches of Sangmyung University* 14:1-10.
4. Martin, B. and Y.R. Thorstenson. 1988. Stable carbon isotope composition (¹³C), water use efficiency, and biomass productivity of *Lycopersicon esculentum*, *Lycopersicon pennellii*, and the F₁ hybrid. *Plant Physiology* 88:213-217.
5. Roupael, Y., G. Colla, M. Cardarelli, S. Fanasca, A. Salerno, C.M. Rivera, A. Rea, and F. Karam. 2005. Water use efficiency of greenhouse summer squash in relation to the method of culture: Soil VS. soilless. *Acta Hort.* 697:81-86.
6. Sim, S.Y., S.Y. Lee, S.W. Lee, M.W. Seo, J.W. Lim, S.J. Kim, and Y.S. Kim. 2006. Appropriate set time in irrigation system by time clock in tomato perlite bag culture. *Journal of Bio-Environment Control*, 15(4): 327-334.
7. Sim, S.Y., S.Y. Lee, S.W. Lee, M.W. Seo, J.W. Lim, S.J. Kim, and Y.S. Kim. 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.
8. Sim, S.Y., S.Y. Lee, S.W. Lee, M.W. Seo, J.W. Lim, S.J. Kim, and Y.S. Kim. 2006b. Desirable particle size distribution of perlite for tomato bag culture. *Journal of Bio-Environment Control*, 15(3):231-238.
9. Warren, S.L. and T.E. Bilderback. 2004. Irrigation timing: Effect on plant growth, photosynthesis, water-use

- efficiency and substrate temperature. Acta Hort. 644: 29-37.
10. Zabri, A.W. and S.W. Burrage. 1998. The effects of vapour pressure deficit (VPD) and enrichment with CO₂ on photosynthesis, stomatal conductance, transpiration rate and water use efficiency (WUE) of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) grown by NFT. Acta Hort. 458:351-356.