

양액재배 급액제어모델 개발에 관한 기초연구

A Fundamental Study on the Development of Irrigation Control Model in Soilless Culture

남 상 운* · 이 남 호** · 전 우 정**
Nam, Sang Woon · Lee, Nam Ho · Jeon, Woo Jeong
황 한 철** · 홍 성 구** · 허 연 정***
Hwang, Han Cheol · Hong, Seong Gu · Heo, Yeon Jeong

Abstract

This study was conducted to develop the simple and convenient irrigation control model which can maintain the appropriate rates of irrigation and drainage of nutrient solution according to the environmental conditions and growth stages in soilless culture of cucumber. In order to obtain fundamental data for development of the model, investigation of the actual state of soilless culture practices was carried out. Most irrigation systems of soilless culture were controlled by the time clock. Evapotranspiration of cucumber in soilless culture was investigated and correlations with environmental conditions were analyzed, and its estimating model was developed.

In order to develop the irrigation system which can control the amount of nutrient solution applied according to seasons, weather conditions, and growth stages, a irrigation clock control was developed. Applicability of the model was tested by simulation. Drainage rates of nutrient solution controlled by conventional time clock, integrated solar radiation, and the developed model were 61%, 20%, and 32%, respectively in cucumber perlite culture.

I. 서 론

양액재배에 있어서 배양액의 공급량은 작물의 생육에 중대한 영향을 미친다. 작물에 의해서 흡수되는 물의 양은 작물의 증산과 관계되고, 증산

은 또한 환경요인과 밀접한 관련을 갖고 있다. 따라서 공급하는 배양액량은 작물의 종류, 계절 및 생육단계별로 증산량의 추이에 따라 조절해야 한다. 급액량이 적으면 수분 스트레스를 받게 되고 급액량이 과다하면 수확량에 부정적인 영향을 미

*충남대학교 농과대학

**한경대학교 농학부

***한경대학교 대학원

키워드 : 급액제어, 양액재배, 증발산량, 급배액률,
기준급액모델

친다(Boztok, 1992; Mahrer, 1990; Meurs, 1992; Roh and Lee, 1996).

고형배지경에서 급액량은 작물의 증산에 필요한 수량보다 많게 하여 배액이 되도록 해야한다. 배지로부터의 배액량을 감소시키면 흡수가 느리거나 선택성을 지닌 이온들의 배지내 농도가 높아져 작물의 생육에 해를 끼치게 된다. 반면에 배액량이 너무 많으면 배액처리나 비료구입비 면에서 불리하므로 적정 급배액율을 유지하는 것은 양액재배에서 매우 중요하다(Schwarz, 1995; Tantawy et al., 1992).

현재까지 알려진 급액제어 방법으로는 타이머에 의한 제어, 배지내 수분계측에 의한 제어, 적산일사량에 의한 급액제어 등이 주로 이용되고 있다(島地, 1990; Roh and Lee, 1996). 타이머에 의한 급액제어는 가장 간편한 방법이기 때문에 많이 이용되고 있지만 정밀성이 떨어지고 양액의 낭비가 많게 된다. 배지내 수분계측에 의한 제어는 직결한 센서의 선택과 측정지점의 대표성 등에서 문제점을 갖고 있으며, 적산일사량에 의한 급액제어는 상업적으로 많이 이용되고 있는 방법이지만 일사센서와 제어시스템이 고가인 관계로 국내에서는 널리 보급되지 못하고 있다(이 등, 1998; Roh and Lee, 1996).

본 연구는 과채류중에서 양액재배 면적이 급속히 확대되고 있는 오이를 대상으로 일관능가가 사 용하기에 간편하고 시설환경이나 생육단계에 따라 적정 급배액율을 유지할 수 있는 급액제어모델 개발에 필요한 기초자료를 얻고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 급액제어에 관한 실태조사 방법

급액제어모델 개발의 방향설정을 위하여 국내 양액재배 농가를 대상으로 급액제어 실태와 개발 방향에 대한 의견 및 개선방향을 조사하였다.

조사항목은 재배방식, 재배작목, 양액이용방식, 온실면적 대비 베드면적비, 급액제어방식, 타이머 제어시 배지경의 급액횟수, 계측제어시 계측항목, 급액제어에 관한 특기사항 및 개선방향 등이다.

2. 양액재배 오이의 증발산량 추정 방법

양액재배 오이의 배양액 소비량을 파악하기 위하여 증발산량 측정실험을 실시하였다.

공시작물은 홍농종묘 은성 백다다기였으며 재배 방식은 펄라이트 배지의 양액재배로 하였다. 실험은 97년 4월 26일~6월 27일, 10월 7일~11월 19일, 98년 4월 18일~6월 9일까지 3차에 걸쳐서 한 경대학교 실험포장에 위치한 PC 온실에서 실시하였다.

외부기상환경으로 온도, 습도, 일사, 풍속, 강우, 온실내부환경으로 온도, 습도, 일사, 증발계증발량, 토양수분 등을 계측하였으며, 증발산량은 수위법으로, 생장속도는 초장, 엽수, 엽면적, 수량 등을 계측하였다.

증발산량 측정실험 결과를 이용하여 증발산량과 시설환경요인과의 상관관계를 분석하였으며, 증발산량 측정실험 및 상관관계 분석결과를 이용하여 양액재배 오이의 생육단계별 시설환경요인에 따른 증발산량 추정모델을 개발하였다.

3. 급액제어모델의 개발 방법

급액제어에 관한 실태조사와 양액재배 오이의 증발산량 실험 결과를 이용하여 급액제어모델을 구성하였다. 급액제어의 기본은 타이머 제어로 하였으며, 계절별로 기준급액모델을 구축하고 일사량과 생육단계별로 가중치를 구하여 급액량을 조절하도록 하였고, 급액제어모델의 흐름도는 Fig. 1과 같다.

III. 결과 및 고찰

1. 급액제어에 관한 실태조사 결과

총 조사 대상 농가수는 52농가였으며 그 중 수경이 6농가(11.5%), 배지경이 46농가(88.5%)였다. 수경재배 농가 중에는 NFT가 4농가(66.7%), DFT가 2농가(33.3%)였으며, 배지경은 펄라이트가 35농가(76.1%), 락울이 11농가(23.9%)였다.

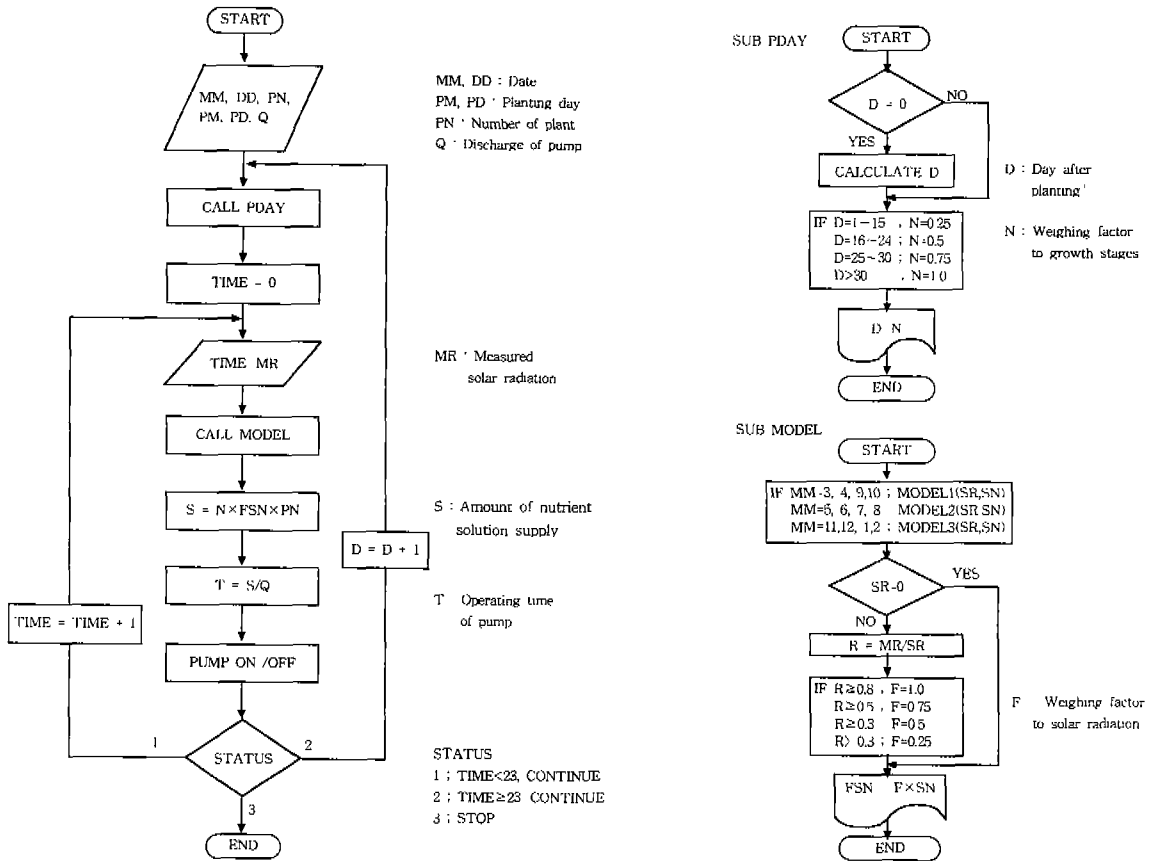


Fig. 1. Flow chart of irrigation control model in soilless culture

수경재배에서는 대부분 상추, 치커리, 케일 등의 엽채류를 재배하고 있었으며, 배지경에서는 오이(21농가), 토마토(11), 장미(8), 방울토마토(6), 고추(2), 호박(2), 멜론(1) 등의 과채류를 재배하고 있었다.

양액이용방식은 수경재배의 경우 모두 순환식이었으며, 배지경에서는 순환식이 11농가(23.9%), 내리흐림식이 35농가(76.1%)로 조사되었다. 내리흐림식중 6농가는 집수해서 토양 액비로 재활용하고 있었으나 나머지는 하천이나 논밭으로 방류하므로 양액이 낭비될 뿐만 아니라 수질오염문제가 야기할 수 있을 것으로 판단되었다.

온실면적에 대한 베드면적비는 수경재배에서 50~60%(평균 54%), 배지경에서 25~50%(평균 35%)

로 나타났다.

급액제어 실태는 Table 1과 같이 대부분의 농가가 타이머제어를 이용하고 있었으며 일부 농가만이 계측제어방식을 사용하고 있었다. 타이머제어시 1일 급액횟수(배지경)는 10회 미만이 8농가(17.4%), 10~15회가 33농가(71.7%), 15회 이상이 5농가(10.9%)로 조사되었으며, 대체로 생육단계(육묘기, 생육초기, 성장기, 수확기) 및 계절별로 급액횟수를 달리하고, 일정량을 시간대별로 세팅하여 급액하는 것으로 나타났다. 야간에는 1회만 급액하는 경우가 8농가(17.5%), 2회급액이 2농가(4.3%), 3회이상인 2농가(4.3%)였으며, 급액하지 않는 농가가 34농가(73.9%)로 대부분을 차지하였다. 계측제어시 계측항목으로는 일사량 계측이 7

Table 1. Actual state of irrigation control in soilless culture

unit : farms(%)

Control method	Hydroponics	Substrate culture	Total
Hand operation	1(16.7)	2(4.3)	3(5.8)
Time clock	5(83.3)	36(78.3)	41(78.8)
Instrumentation	0(0.0)	8(17.4)	8(15.4)
Total	6(100)	46(100)	52(100)

농가(87.5%), 배지내 수분 계측이 1농가(12.5%)로 나타났다.

급액제어에 관한 특기사항 및 희망사항을 조사해 본 결과 기능이 복잡하고, 정밀하고 가격이 비싼 것 보다는 단순하고, 경제적이며 사용이 편리하고 고장이 적은 것을 원하고 있었다. 따라서 가격이 비싼 계측제어시스템에 대하여 관행의 타이머제어로 충분하다고 생각하고 있으나 날씨가 흐린날은 낭비되는 양액이 너무 많으므로 타이머제어와 병행하여 3~4단계의 일사제어가 가능한 값싼 센서와 제어기의 개발이 요구되었다. 한편 급액시스템에 있어서 시간 경과에 따라 정량펌프의 균일성이 저하되어 문제가 있으므로 대책이 필요한 것으로 지적되었다.

2. 양액재배 오이의 증발산량 분석 결과

가. 증발산량과 환경요인과의 상관관계

증발산량과 환경요인과의 상관관계를 분석함에 있어서 육묘기는 제외하였으며, 생육기간을 수확전과 수확기로 구분하여 분석하였다. 수확전은 성장기로서 생장곡선이 정식후 경과일수의 제곱에 비례하는 것으로 나타났으며, 수확기에는 엽면적 등이 일정범위내에 분포하였다(남 등, 1997; 이 등, 1998). 따라서 수확전은 정식후 경과일수를 고려하였다.

수확전과 수확기의 구분은 대체로 다음과 같은 기준으로 이루어졌다. 시험재배 결과 과중 170~180g, 과장 20~22cm의 범위에서 오이를 수확하

였으며, 대체로 정식후 35~40일부터 수확이 시작되었고, 수확기의 생육은 LAI 3.5~5.0, 초장 170~190cm 정도였다.

Table 2. Correlation coefficients between evapotranspiration and environmental factors in soilless culture of cucumber

Item	Radi-ation	Temper-ature	Hu-midity	Pan-evaporation
Growing period	0.817	0.779	0.771	0.846
Harvesting period	0.780	0.418	0.777	0.817

나. 증발산량 추정모델

관수 및 급액제어 시스템에 대한 농민들의 요구는 염가이고 사용이 간편하며 고장이 적은 것을 원하였으며, 타이머제어와 병행하여 3~4단계의 일사 적응제어가 가능한 값싼 센서와 제어기의 개발을 희망하였다. 양액재배 오이의 증발산량과 환경요인과의 상관관계 분석결과는 Table 2에서와 같이 증발계증발량이 가장 높은 상관관계를 보이고 있으나, 다른 작물과 수경재배, 토양재배 등의 실험에서는 일사량이 가장 높은 상관관계를 보이는 것으로 나타났다(이 등, 1998). 실제 영농 현장에서의 요구도와 실용적인 측면에서 간편성이 무엇보다 중요하므로 단요인으로 가장 상관이 높은 일사량을 증발산량 추정모델에 우선적으로 고려하였다.

수확전과 수확기로 나누어, 수확전에는 생장이 급속도로 진행되므로 정식 후 일수를 고려하여 식 (1) 및 식 (2)와 같은 회귀모델을 구하였다.

$$\text{수확전: } ET = aR + bD^2 + c \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{수확기: } ET = aR + b \dots\dots\dots(2)$$

여기서, ET 는 증발산량(ml/plant/day), R 은 온실내 일사량(MJ/m²/day), D 는 정식후 경과 일수(days after planting), a, b, c 는 계수이다.

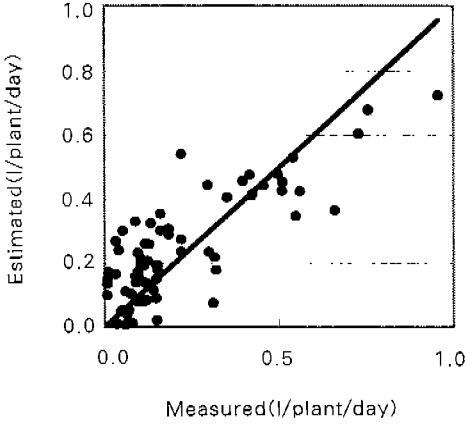


Fig. 2. Estimated and measured evapotranspiration rate in growing period

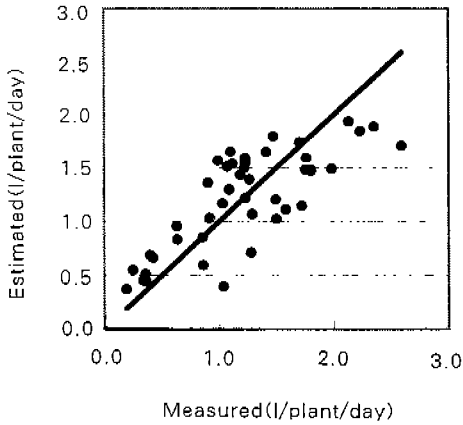


Fig. 3. Estimated and measured evapotranspiration rate in harvesting period

실험결과를 회귀분석하여 구한 양액재배 오이의 증발산량 추정 모델은 식 (3) 및 식 (4)와 같고, 실측치와 추정치를 비교하면 Fig. 2 및 Fig. 3과 같다.

$$\text{수확전: } ET = 20.592R + 0.538D^2 - 87.43 \dots (3)$$

($r = 0.817$, $RMS = 119.2$)

$$\text{수확기: } ET = 95.093R + 252.32 \dots (4)$$

($r = 0.780$, $RMS = 368.4$)

여기서, r 은 상관계수, RMS 는 표준오차이다.

3. 금액제어모델 개발

일사량의 월별 변화(Fig. 4)와 계절별 시간적 변화(Fig. 5, 북위 37도)를 기초로 하여 기준금액 모델을 구축하였으며 계절별 기준금액량은 Table 3과 같다. 계절별 기준금액량에 일사량과 생육단계별 가중치를 고려한 시간제어식 금액제어모델을 개발하였으며 시뮬레이션에 의하여 금액제어모델의 적용성을 검토하였다.

본 연구에서 개발된 모델에 의한 금액제어와 관행의 타이머에 의한 제어 및 적산일사량에 의한 제어를 비교한 결과는 Fig. 6과 같다. 본 모델에 의한 평균 배액율은 32%로서 일사 제어(20%)에

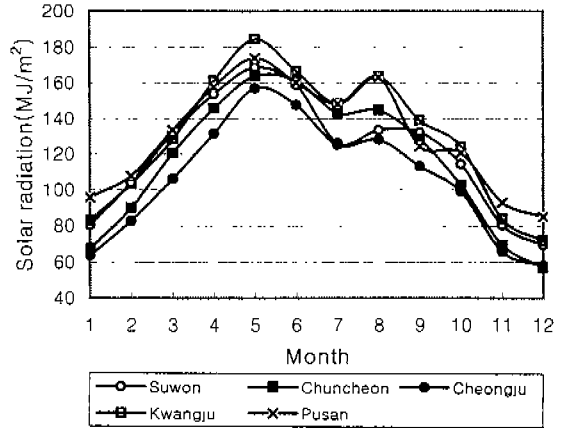


Fig. 4. Monthly change of solar radiation

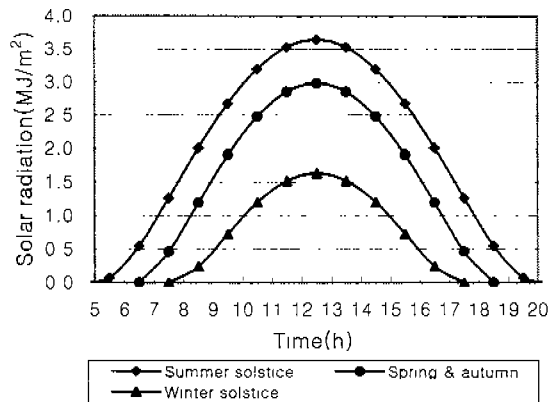


Fig. 5. Daily change of clear day solar radiation (Latitude 37°)

Table 3. Standard solar radiation(SR, MJ/m²/h) and supply of nutrient solution

(SN, ℓ/plant)

Time	Spring and autumn			Summer			Winter		
	SR	Ratio	SN	SR	Ratio	SN	SR	Ratio	SN
5				0.08	0.00	0.01			
6				0.55	0.02	0.04			
7	0.46	0.02	0.04	1.26	0.04	0.10			
8	1.19	0.06	0.10	2.01	0.07	0.16	0.24	0.03	0.02
9	1.91	0.09	0.16	2.68	0.09	0.21	0.73	0.08	0.07
10	2.48	0.12	0.20	3.20	0.11	0.25	1.20	0.13	0.12
11	2.85	0.14	0.23	3.53	0.12	0.27	1.52	0.17	0.15
12	2.98	0.14	0.24	3.64	0.12	0.28	1.63	0.18	0.16
13	2.85	0.14	0.23	3.53	0.12	0.27	1.52	0.17	0.15
14	2.48	0.12	0.20	3.20	0.11	0.25	1.20	0.13	0.12
15	1.91	0.09	0.16	2.68	0.09	0.21	0.73	0.08	0.07
16	1.19	0.06	0.10	2.01	0.07	0.16	0.24	0.03	0.02
17	0.46	0.02	0.04	1.26	0.04	0.10			
18				0.55	0.02	0.04			
19				0.08	0.00	0.01			
Total	20.74	1.00	1.70	30.25	1.00	2.34	8.99	1.00	0.91
Application	3, 4, 9, 10th month (10 times)			5, 6, 7, 8th month (14 times)			1, 2, 11, 12th month (8 times)		

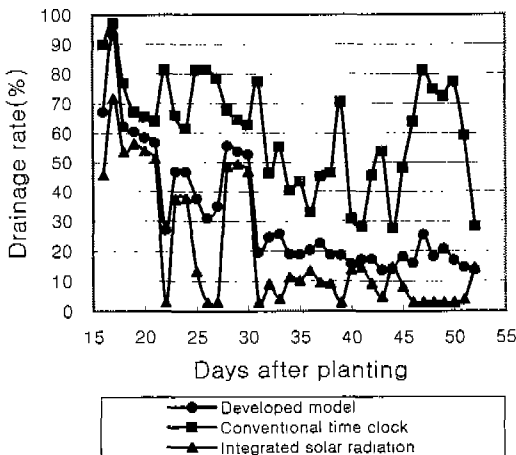


Fig. 6. Applicability test of irrigation control model by simulation

비하여는 조금 많았지만 관행 제어(61%)에 비하여는 훨씬 작았으며, 수확기의 평균 배액율은

19%로 나타났다. 과채류의 배지경 양액재배시 20~30% 정도가 적정 배액율로 보고되고 있는 것과 비교할 때 적용가능성은 비교적 큰 것으로 판단된다(Roh and Lee, 1996; Schwarz, 1995; Tantawy et al., 1992).

IV. 결 론

일반농가에서 사용하기에 간편하고 시설환경이나 생육단계에 따라 적정 급액액을 유지할 수 있는 급액제어모델을 개발하고자 본 연구를 수행하였다. 모델 개발에 기초자료로 활용하기 위하여 양액재배 농가의 급액제어 실태를 조사해본 결과 거의 대부분이 타이머에 의한 제어를 실시하고 있었으며, 타이머제어로 충분하다는 생각을 하고 있으나 날씨가 흐린날은 낭비되는 양액이 너무 많으므로 이를 보완할 수 있으면서 기능이 단순하고

경제적이며 사용이 편리한 제어시스템의 개발이 요구되었다.

양액재배 오이의 배양액 소비량을 파악하기 위하여 증발산량 측정실험을 실시하였고, 증발산량과 시설환경요인과의 상관관계를 분석하였으며, 생육단계별 시설환경요인에 따른 증발산량 추정모델을 개발하였다.

또한, 급액제어에 관한 실태조사와 양액재배 오이의 증발산량 실험 결과를 토대로 급액제어모델을 구성하였다. 급액제어의 기본은 타이머제어로 하되, 계절별로 기준급액모델을 구축하고 일사량과 생육단계별 가중치를 고려한 급액제어모델을 개발하였으며 시뮬레이션에 의하여 개발된 급액제어모델의 적용성을 검토한 결과 적용가능성이 비교적 높은 것으로 판단되었다. 본 연구에서 개발된 모델에 의한 급액제어시 평균 배액율은 32%로 시 직산일사 제어(20%)에 비하여는 조금 많았지만 관행 제어(61%)에 비하여는 훨씬 작았으며, 4~5단계의 일사강도 구분이 가능한 값싼 센서만 개발된다면 경제적인 제어시스템의 구축이 가능할 것으로 판단되었다.

본 논문은 1998년도 농림수산기술개발사업에 의하여 수행한 연구결과의 일부임.

참 고 문 헌

1. 권지선, 이재욱, 이응호, 1996, 양액재배기술 체계화 연구 - 양액의 적정 공급량 결정연구, 농촌진흥청 원예연구보고서, pp. 753-761.
2. 남상운, 이남호, 전우정, 황한철, 홍성구, 허연정, 1997, 시설재배 상추 및 오이의 재배방식별 증발산량, 생물생산시설환경학회지, 6(3), pp. 168-175.
3. 남상운, 이남호, 전우정, 황한철, 홍성구, 허연정, 1998, 양액재배 오이의 급액제어모델 개발에 관한 기초연구, 한국농공학회 학술발표논문집, pp. 224-229.

4. 이남호, 남상운, 황한철, 홍성구, 1998, 시설영농을 위한 용수 및 농지의 효율적 이용·관리 기술 개발, 농림수산기술개발사업 2년차 보고서.
5. 허노열, 1997, 시설내 원예작물의 합리적인 물 관리, 한국시설원예연구회 - 시설원예 관수와 시비기술 심포지움 자료집, pp. 57-103.
6. Boztok, K., 1992, The effects of different watering levels in relation to the amount of solar radiation on productivity and quality of some aubergine varieties, Acta Horticulturae, 303, pp. 73-77.
7. Mahrer, Y., 1990, Irrigation scheduling with an evapotranspiration model, Symposium on solar scheduling of irrigation for vegetable crops under field condition, ISHS, pp. 491-500.
8. Meurs, W.Th.M. van., 1992, Environmental control of a tomato crop using a transpiration model, Acta Horticulturae, 303, pp. 23-30.
9. Papadopoulos, A. P., M. E. D. Graham, & B. Anctil, 1992, On-line matric potential sensors for irrigation control in peat-based soilless media, Acta Horticulturae, 304, pp. 227-235.
10. Roh, M. Y. and Y. B. Lee, 1996, Control of amount and frequency of irrigation according to integrated solar radiation in cucumber substrate culture, Acta Horticulturae, 440, pp. 332-337.
11. Schwarz, M., 1995, Soilless culture management, Springer-Verlag, Berlin.
12. Tantawy, M.M., A.F. AbouHadid & A.S. ElBeltagy, 1992, Lysimetric studies on water consumption in tomato, Acta Horticulturae, 323, pp. 191-196.
13. 島地英夫, 1990, 養液栽培制御機器, 農業および園藝, 65(1), pp. 104-110.