

## 시설재배 오이의 물 절약 관개시점 구명

전상호 · 허승오<sup>1\*</sup> · 하상건 · 전현정 · 한경화 · 조희래 · 홍순달<sup>2</sup>

국립농업과학원, <sup>1</sup>농촌진흥청, <sup>2</sup>충북대학교

## Water Saving Irrigation Point in Cucumber Cultivation under Greenhouse

Sang-Ho Jeon, Seung-Oh Hur<sup>1\*</sup>, Sang-Keun Ha, Hyun-Jung Jun, Kyung-Hwa Han, Hee-Rae Cho,  
and Soon-Dal Hong<sup>2</sup>

National Academy of Agricultural Science, Suwon 441-707, Republic of Korea

<sup>1</sup>Rural Development Administration, Suwon 441-707, Republic of Korea

<sup>2</sup>Department of Agricultural Chemistry, Chungbuk National University

This study was conducted to investigate effects of irrigation points on cucumber growth and water saving under greenhouse. Automatic irrigation system and tensiometers were installed at four plots to measure soil water tension and properties of irrigated water. Each plot was irrigated at different irrigation points; soil water tension of 15, 20, 30, and 40 kPa, respectively. Conventional irrigation plot without tensiometer was also investigated. The total yield and sugar contents of cucumber had no significant differences between plots. However, irrigated water volumes were saved most when irrigation points were 30, and 40 kPa. The two plots of 30, and 40 kPa treatments used about 60% less of irrigated water than the plot of conventional practice did. In conclusion, this research suggested that the optimum irrigation point for cucumber cultivation in greenhouse can be soil water tension of 30 kPa based on the results of overall cucumber quality, and Greenhouse water usage.

**Key words:** Automatic irrigation control system, Cucumber, Tensiometer, Water tension

## 서 언

시설재배 작물은 노지의 밭작물과 달리 양분 및 토양 수분의 정밀한 관리방법 개발이 필요하다. 이를 위해 양분흡수량, 물소모량 등 기초자료의 구축이 필요하지만 현재까지 이 부분에 대한 연구결과는 미흡한 실정이다. 그리고 시설재배 작물을 위한 물관리는 농가마다 작물 생육 기간이 다르기 때문에 표준 작기를 기준으로 하는 총량적인 물관리 방법을 적용하기가 어렵다. 따라서, 농업인들을 위한 관개방법 또는 물관리 방법은 이러한 영농기술 수준까지도 고려해야 하며, 물관리의 기본인 물 이용효율까지도 고려하는 것이 바람직하다.

토양수분은 작물에 대한 영향성 외에도 두 번째로 큰 대기의 수증기 공급원이며 지표면의 특성인 알베도, 증발산, 열용량, 지표면 온도, 식생 분포 등에 영향을 주는 중요한 요소이며 (Dirmeyer, 1995), 또한 토양 수분은

양분을 용해하여 식물의 물 흡수기작인 능동수송, water potential, 모세관 현상 등으로 흡수되며 유기질 및 무기질의 양분을 공급하는 효과적인 용매이며 증발, 증산을 통해 지구 대기에 큰 영향을 미치는 요소이다 (Scott, 2000). 수분부족 때문에 일어나는 작물의 생리적 변화는 줄기와 잎의 생육이 멈추게 되고 동시에 세포벽과 같은 분열조직이 필요로 하는 물질의 감소가 현저하게 일어나 세포분열도 쇠퇴하고 이어서 기공이 닫혀져 증산작용과 광합성작용도 약해지며, 식물이 이런 상태가 되면 호흡작용과 광합성 산물의 수송도 감소된다. 토양이 물에 잠기거나 토양수분이 과다하면 뿌리 생육이 빈약해지며, 산소가 결핍되고 물질 전류와 양분이용 효율이 감소하고, 지하수를 오염시키는 역할을 하기도 한다 (Ryu, 1986). 그러므로 적절한 관개관리는 작물 생산성 뿐만아니라 환경적 측면에서도 중요한 화두가 된다.

관개시점이란 작물이 토양수분 부족으로 수분 스트레스를 받기 전에 물을 공급해주는 시점을 말하며, 포장용수량과 위조점 사이에 존재하며, 토양수분센서를 이용한 자동관개시스템구축에는 가장 핵심적인 요소가 된다. 과거 객관적 기준에 의한 관개를 체계화하기 위한 여러 연

접수 : 2010. 10. 7 수리 : 2010. 10. 20

\*연락처 : Phone: +82312992576

E-mail: jeon45@korea.kr

**Table 1. Physico-chemical properties of soil for cucumber cultivation.**

Experimental site	Soil texture	pH	EC	OM	CEC	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ca	K	Mg
		1:5	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	-----	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	-----
Yeoncheon	SL	6.4	2.65	23.9	13.8	1,547	9.3	1.1	2.6
Optimum level <sup>†</sup>		6.0~6.5	2.0 <	20~30	10~15	300~500	5.0~6.0	0.7~0.8	1.5~2.0

<sup>†</sup>NAAS, 2006.

구가 수행되었으나 (Kim et al., 1989; Lee and Shin, 1998; Shin and Lee, 1999; Sato and Hasegawa, 1995; Bum et al., 1999), 효율적인 물의 이용과 토양 수분의 정밀관리를 위한 관개시점을 통한 자동관개시스템은 발달되지 못하는 실정이다 (Kim et al., 2003).

우리나라는 인구의 증가와 산업의 발달에 따라 수자원 부족량이 2020년에는 약 559백만m<sup>3</sup>으로 예상되고 있으며, 농업용수는 전체 수자원의 47%로 큰 비중을 차지하고 있다 (MLTM, 2008). OECD에서 농업용수의 사용효율과 관련해 지속적으로 물 시장과 전체비용회수(full cost recovery)논리를 회원국들에게 지속적으로 요구하는 현실은 지구 온난화와 더불어 물 사용 효율성을 높여야만 하는 당위성을 제공한다 (OECD, 2002).

따라서 본 연구는 시설재배 오이의 적정 관개시점을 평가하고 친환경 고품질 작물 생산기반을 유지하면서 물을 절약할 수 있는 방법을 설정하는데 그 목적이 있다.

## 재료 및 방법

**재배개요** 본 시험은 2009년에 경기도 연천군 전곡읍 소재의 농가의 시설재배 하우스에서 수행했다. 시험작물은 시설재배 오이 (*Cucumis sativus* L., 신정품)를 선정하였으며, 시비처리는 농가의 관행의 시비법 (기비 : N-P-K = 9.2-10.3-8.1 kg 10a<sup>-1</sup>, 추비 : N-K = 1.0-1.0 kg 10a<sup>-1</sup>)을 따랐다. 오이는 6월 10일에 정식했으며 첫 수확은 7월 28일에 시작하여 실시해 9월 20일까지 하였다. 시험구의 배치는 완전임의배치 3반복으로 시험했다. 공시작물의 당도는 오이 수확기간 중 3회에 걸쳐 7반복씩 디지털굴절당도계 (Atago, PAL-1)를 이용하여 측정했다.

**시험전 토양 이화학성** 시설오이 재배를 위한 연천 농가 토양은 사양토 (Sand : 61%, Silt : 29%, Clay : 10%)이고, Disc Tension Infiltrometer로 측정된 이랑의 침투속도는 5.42 cm hr<sup>-1</sup>로 물빠짐이 매우 양호하였다. 시험전의 토양 화학적 특징은 Table 1에서 보는 바와 같이 오이시설재배지 적정양분 수준과 비교하면 pH는 6.4이고 CEC는 13.8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> 그리고 유기물

의 함량은 23.9 g kg<sup>-1</sup>으로 적정 수준이었다. EC와 양이온 함량이 적정기준보다 높고, 인산의 경우 적정범위보다 3배 이상을 초과하였다.

**시험처리** 관개는 20 cm 간격의 점적공 (Driper)이 있는 1.5 mm 점적호스 (1.5 L hr<sup>-1</sup>)를 사용하였으며, 수압을 일정하게 유지하기 위하여 자동펌프 (PW-350SMA 350W)를 연결하고, 각 처리별로 공급되는 관수량을 정확하게 측정 위하여 유량계 (Aichi tokei denki, 7.69 mL pulse<sup>-1</sup>)와 솔레노이드 밸브를 설치하였다. 자동으로 물관리가 되도록 프로그램이 입력된 데이터 수집장치를 관개시스템 관리에 활용했다. 토양수분 상태를 판단하기 위해 토양수분 퍼텐셜을 압력센서로 읽어내는 디지털 타입의 Tensiometer (Dai-3023, Daiki)를 활용했으며, 관개량은 관개시점과 관개중점의 토양수분 퍼텐셜 차이를 토양수분 특성곡선을 이용해 토양수분 함량으로 환산하고, 이를 다시 작물의 근권을 고려한 관개량으로 환산했다. 관개중점은 10 kPa로 설정했으며, 관개시점은 노지오이의 관개시점인 15 kPa를 기준으로 해서 제어했다. 텐시오미터의 매설위치는 점적공 (Driper)의 위치부터 10 cm, 토양 깊이 15 cm에 매설하였다. 설치된 텐시오미터로부터 전자적 신호를 받아들여 자동으로 관개되도록 관개제어 시스템을 구성하였으며, 관개에 사용된 알고리즘은 아래 그림과 같다 (Fig. 1). 최초 1회 관개된 후 다음 관개 개시까지 30분의 여유시간을 두어 수분변화에 둔감한 Tensiometer의 단점을 보완하였다. 자료수집장치 (CR-1000, Campbell Scientific)를 통해 1분 간격으로 자료를 수집하도록 프로그램을 작성했다. 시설오이의 처리 관개시점은 ① 15 kPa 처리구, ② 20 kPa 처리구, ③ 30 kPa 처리구, ④ 40 kPa ⑤ 관행 등 5개의 처리구를 두었다. 농가에서 실시하는 관행의 경우 시험내용에 포함이 되어 있지는 않았지만 동시에 수확이 되었던 관계로 비교가 가능했다. 관개량 산정은 다음과 같은 식을 이용해 작성하였다.

$$\begin{aligned}
 \cdot \text{관개량 (mm)} &= [\text{관개목표점 (\%)} - \text{관개개시점 (\%)}] \\
 &\quad \times \text{주근권깊이 (cm)} \times 10 \\
 &= \text{토양의 수분 보유능} \times \text{주근권깊이} \\
 &\quad \text{(cm)} \times 10
 \end{aligned}$$

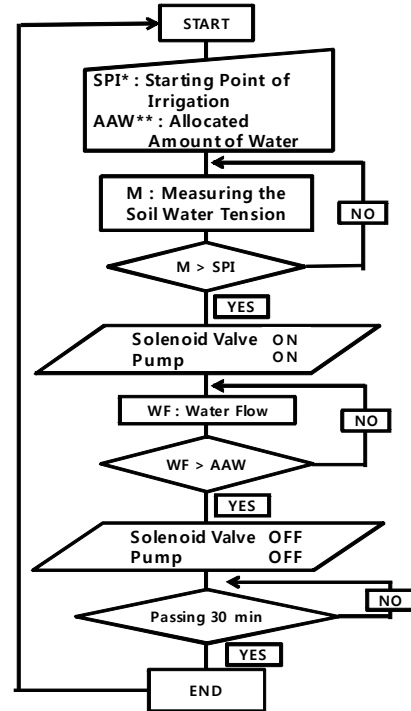
$$\begin{aligned} \cdot \text{관개량 (톤)} &= \text{관개량 (mm)} \times \text{관개면적 (평)} / 300 \\ &\quad (\text{평}) \times \text{관개효율 (\%)} / 100 \\ &= \text{관개량 (mm)} \times \text{관개면적 (m}^2\text{)} / \\ &\quad 1000 (\text{m}^2) \times \text{관개효율 (\%)} / 100 \end{aligned}$$

**토양 이화학성 분석** 시험전 토양시료는 오이 재배 전에 채취 풍건한 후 2 mm체에 통과된 것을 분석 시료로 하였다. 토양의 물리성 중 토성은 비중계법을 이용하여 미 농무성 기준의 삼각도표법 (USDA법)에 의하여 분류하였으며, 침투속도는 Disc Tension Infiltrometer (Eijkelkamp사)로 측정하였다. 토양 화학성은 농업과학기술원 (현 국립농업과학원) 토양 및 식물체 분석법 (2002)에 준하여 다음과 같이 분석하여 작물별 시비처방기준 (NIAST, 2006)과 비교하였다. pH는 풍건한 토양을 증류수와 1 : 5로 혼합하여 30분간 진탕한 현탁액을 Ion analyzer를 이용하여 측정하였고, 전기전도도 (Electrical Conductivity, EC)는 토양과 증류수를 1 : 5의 비율로 혼합하여 30분간 진탕한 후 Conductivity Meter로 측정한 값에 희석배수 5를 곱하여 분석하였다. 유기물 함량은 Tyurin법으로 분석하였고, 유효인산은 Lancaster법으로 분광광도계를 이용하여 분석하였다. 치환성 양이온 (K, Ca, Mg)은 5 g의 토양시료에 50 ml의 1N-Ammoniumacetate (pH=7.0)를 가하여 30분간 진탕하여 No.2 여지로 여과 후 원자방출분광광도계 (ICP)를 이용하여 분석하였다. 양이온 치환용량 (Cation Exchange Capacity, CEC)은 Mechanical Vacuum Extractor (Centurion International, Inc., Lincoln, NE Model 24)를 이용하여, 풍건토양 5 g에 50 ml의 1N-Ammonium acetate (pH=7.0)를 가하여 치환성 양이온들을 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>로 포화시키고, 과잉의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>을 80%의 에틸 알콜 (pH=7.0)로 세척 후, Kjeldahl 증류법으로 측정하였다.

**통계분석** SAS프로그램을 이용하여 수분조건 처리별 수량과 과실의 당도의 차이를 비교하기 위하여 분산 분석을 수행하였으며, 그 처리간 차이는 던컨의 다중범위 검정 (DMRT)으로 분석하였다.

**결과 및 고찰**

**토양수분의 변화** 2009년에 실시한 시설오이 여름 재배 시 처리별 토양수분 장력의 변화는 Fig. 2에 나타내었다. 1분 간격으로 측정된 장력그래프로 부터 오이가 어떠한 수분 환경에서 성장하였는지를 알 수 있다. 토양수분 장력그래프는 처리된 관개시점 토양수분장력 (a :



**Fig. 1.** Flow chart of automatic irrigation system (\* SPI : Staring Point of Irrigation, \*\* AAW : Allocated Amount of Water - Water volume needed to reach the end point of irrigation).

15 kPa, b : 20 kPa, c : 30 kPa, d : 40 kPa)보다 거의 낮게 나타나고 있으며 일부 이러한 현상은 Tensiometer의 늦은 반응성 때문이다. 관개시점의 토양수분장력이 낮은 처리일수록 진동수가 많은 것은 토양수분장력이 빠르게 관개시점의 토양수분 장력에 도달하여 관개가 이루어지기 때문이고, 처리된 관개시점의 토양수분장력이 클수록 진동폭이 큰 것은 관개시점과 관개중점 (10 kPa)과의 차이가 크기 때문이었다.

**생육 및 수량** 생산된 오이의 총 수량, 당도, 오이 수량지수는 Table 2에 나타냈다. 우선 과실의 수량은 관행, 30 kPa, 20 kPa, 15 kPa, 40 kPa 처리구의 순서였지만 처리구별 통계적인 차이는 없는 것으로 나타났다. 처리 토양수분장력이 가장 낮은 15 kPa보다 20 kPa 처리구와 30 kPa 처리구에서 수량이 6%와 7% 높게 나타났으며, 농가에서 실시하는 관행의 경우 수량이 15 kPa에 비해 9% 높게 나타났다. 당도는 관행구와 40 kPa에서 가장 낮은 값을 보였고, 30 kPa 처리구에서 당도가 가장 높은 값인 4.1 °brix를 나타냈다. 그러나 관개처리 수준에 따른 당도의 차이는 통계적으로 유의성이 없었다.

Table 3은 오이식물체 지상부의 건물중, 식물체수분함량을 나타낸 표이다. 건물중은 30 kPa에서 건물중이

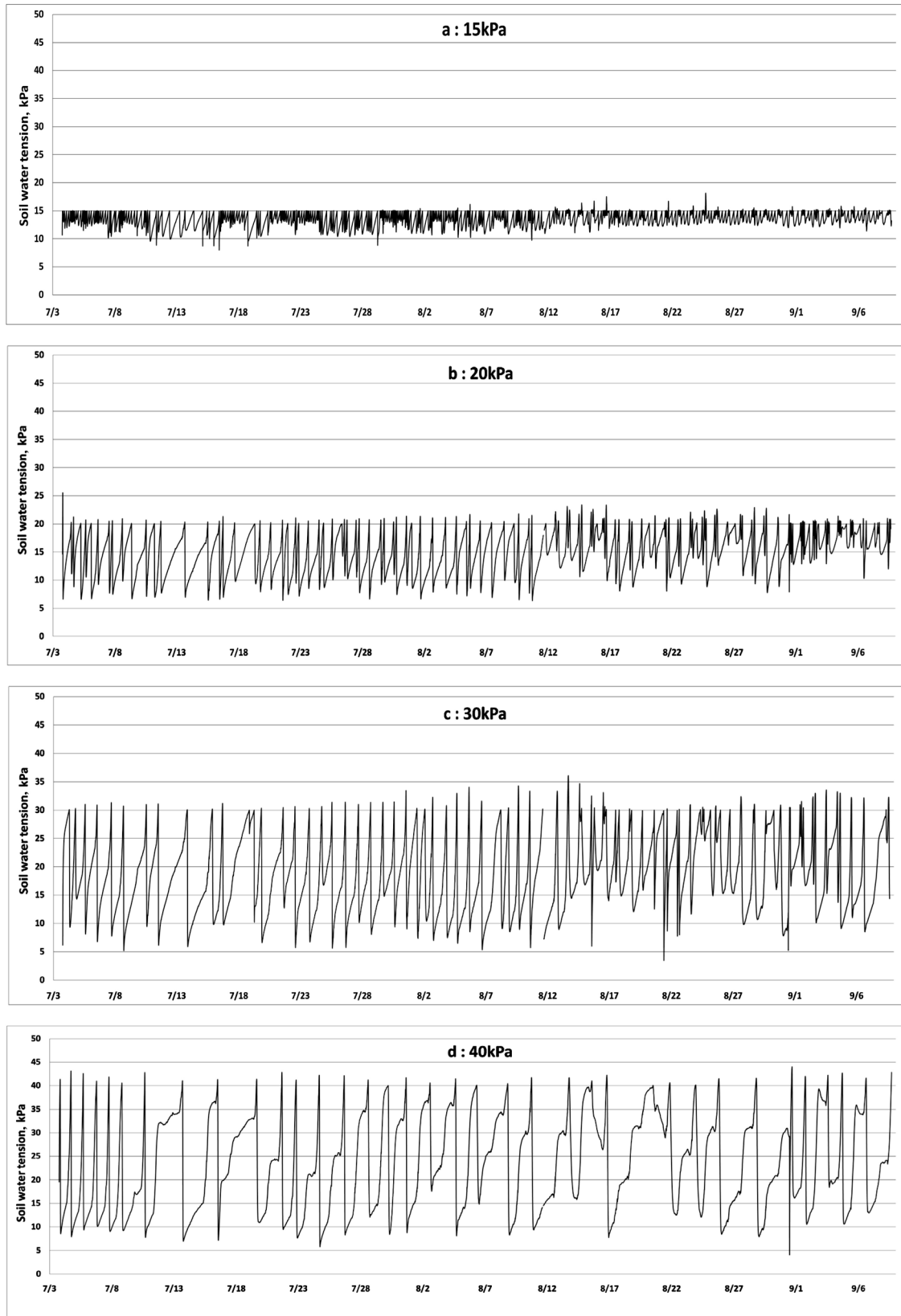


Fig. 2. Changes in soil water tension during cucumber culture (a: 15kPa, b: 20kPa, c: 30kPa, d: 40kPa).

가장 크며 40, 20, 15 kPa 순으로 조사되었으나 처리별 통계적으로 유의한 차이가 없었으며, 식물체 수분함량은 15 kPa 처리구에서 92%로 가장 높고 20 kPa에서 86%,

30 kPa에서 85%, 40 kPa에서 84%로 순으로 조사되었다. 이러한 결과는 토양수분처리와 동일한 순서로 토양수분이 식물의 수분함량에 영향을 준 것으로 생각되어졌다.

**Table 2. Total amount of fruit yield and Brix degree affected by irrigation treatments.**

Irrigation treatments	Fruit yield	Yield index	Sugar content
	Mg 10a <sup>-1</sup>		°Brix
15 kPa	18.1a <sup>†</sup>	92	3.8±0.5 <sup>‡</sup>
20 kPa	19.1a	97	4.0±0.6
30 kPa	19.4a	98	4.1±0.6
40 kPa	17.0a	86	3.7±0.4
Conventional	19.7a	100	3.7±0.3

<sup>†</sup>DMRT at  $P<0.05$ .<sup>‡</sup>Mean±Standard Deviation.**Table 3. Above-ground dry matter and plant water content affected by irrigation treatments.**

Irrigation treatments	Dry matter	Plant water content
	g plant <sup>-1</sup>	%
15 kPa	96±3a <sup>†</sup>	92
20 kPa	105±7a	86
30 kPa	113±23a	85
40 kPa	112±12a	84

<sup>†</sup>DMRT at  $P<0.05$ .**물이용 효율** 오이 생육 중 사용된 총 관개량은

Table 3에서 보는 것과 같이 관행 > 15 kPa > 20 kPa > 30 kPa > 40 kPa 로 조사되었다.

과실을 생산하기 위한 물이용 효율 (WUE1)은 총관개량을 총 과실의 무게로 나누어 계산하였는데 1 kg의 과실을 생산하는데 소모된 물의 양을 말하며, 15, 20, 30, 40 kPa 처리구가 관행구 보다 41~63%정도 물이 적게 사용되었다. 1 kg의 식물체 건중을 생산하기 위한 물이용 효율 (WUE2)은 관행구에서 15, 20, 30, 40 kPa 처리구가 관행구보다 36~67%정도 물이 적게 사용되었다.

실험 결과를 바탕으로 관개처리별로 관행구대비 절수율을 비교해보면 15, 20, 30, 40 kPa 처리구에서 각각 46, 48, 58, 69%의 절수율을 나타내고 있다. 이러한 결과는 양토 시설오이 재배 시 20과 33 kPa간의 관개량이 차이가 없었던 결과 (Bum et al., 1999)와 상반된 결과이다. 그러한 원인은 토성과 배수 등 토양의 시험처리구의 물리적 차이에서 오는 결과로 판단되어졌다. 가뭄 시에 40 kPa로 경작하였을 경우 관행구의 31%의 물만 가지고 경작이 가능하다는 말이며, 이러한 결과는 물 절약 가능성상과 물 부족시의 대처정도를 판단하는 근거가 될 수 있을 것이다. 농가관행적인 관개방법이 상당히 비효율적으로 많이 이루어지고 있으며, 과학적인 영농관리를 위해서는 자동관개 시스템의 도입이 필요한 것으로 여겨졌다. 최근 특히 시설재배지의 과다시비로

**Table 4. Total amount of irrigation and water use efficiency during the growing season.**

Irrigation treatments	Total irrigation	Saving irrigation	WUE1 <sup>‡</sup>	WUE2 <sup>§</sup>
	ML 10a <sup>-1</sup>	%	L kg <sup>-1</sup>	L kg <sup>-1</sup>
15 kPa	1,782	46	98	159
20 kPa	1,703	48	89	169
30 kPa	1,396	58	72	133
40 kPa	1,020	69	60	88
Conventional	3,303 <sup>†</sup>	-	167	264

<sup>†</sup>Estimated form Amount of irrigation from August 11 to September 8.<sup>‡</sup>Water use efficiency 1 was calculated by total irrigation (L) / total amount of fruit yield (kg).<sup>§</sup>Water use efficiency 2 was calculated by total irrigation (L) / dry weight of above ground part.

인한 연작장해 등의 문제점이 화두가 되고 있다. 관비재배에서 관개횟수와 관수량은 재배작물, 재배토양, 관수방법 등에 따라 크게 달라지며, 적절한 관개는 비료량을 50% 절감 (Locascio et al., 1977)할 수 있기 때문에 적정 관개시점을 기준으로 하는 자동관개시스템을 활용한 관개방법은 절수를 넘어 비료 시비량의 절약과 연작장해 감소에도 도움이 될 것으로 판단되었다.

**시설오이의 적정 관개시점** 시설오이의 과실수량

과 당도는 통계학적 유의한 차이가 존재하지 않았지만 수량지수로 판단하면 20 kPa, 30 kPa과 관행과 차이가 없었으며, 절수율은 30, 40 kPa에서 가장 높았다. 이러한 결과는 표준영농교본의 오이생육에 적당한 토양수분 조건 5~20 kPa (RDA, 2001)보다 더 높은 토양수분 장력이며, 양토의 오이 수량성은 수분조건이 20 kPa일 때 좋고 33 kPa일때 좋지 않은 (Bum et al., 1999)결과와 다르게 나타났다. 과실수량과 당도 등에 처리별 유의한 차이가 없으므로 30~40 kPa 수준으로 관개시점 설정 시 60%이상의 물 절약이 가능 할 것으로 판단되었다.

**적 요**

본 연구는 시설재배오이의 적정 관개시점의 평가를 통한 물 관리 방안을 설정하기 위하여 수행하였다. 경기도 연천군 전곡읍 소재의 오이 시설재배 농가에서 Ten-siometer를 이용한 자동관개시스템을 구축하고, 이를 이용하여 관개시점이 15, 20, 30, 40 kPa인 4개의 처리구를 두어 일반농가의 관행 관개방법과 비교하여 오이의 생산력과 물의 이용효율을 평가하였다.

관개방법에 따른 오이과실의 수량과 당도는 통계학적

차이는 없었으나 15 kPa보다 20, 30 kPa, 관행 처리구에서 각각 수량이 6%, 7%, 9% 높게 나타났으며, 과실의 당도는 30 kPa 처리구에서 가장 높은 값인 4.1 °brix, 관행과 40 kPa에서 가장 낮은 값인 3.7 °brix를 나타냈다. 건물중은 30 kPa에서 가장 큰 값을 나타내었으며 15, 20, 30 40 kPa처리구의 식물체 수분함량은 92, 86, 85, 84%로 조사되었다.

오이의 생육 기간 중 사용된 관개량은 관행 > 15 kPa > 20 kPa > 30 kPa > 40 kPa 순이었으며, 절수율은 관행을 기준으로 15 kPa 처리구에서 46%, 20 kPa 처리구에서 48%, 30 kPa 처리구에서 58%, 40 kPa 처리구에서 69%가 절약되었다. 1 kg의 과실을 생산하는데 사용되는 물이용률은 관행이 가장 비효율적이며, 관행에 비해 15, 20, 30, 40 kPa처리구가 관행구보다 36~67% 정도 물이 적게 사용되었다. 과실수량과 당도 등에 처리별 유의한 차이가 없으므로 30~40 kPa수준으로 관개시점 설정 시 60%이상의 물절약이 가능 할 것으로 판단된다.

### 인 용 문 헌

Bum, I.S., Y.W. KiM, K.S. Kim, K.Y. Kim, B.K. Sohn, and H.W. Kim. 1999. Effect of soil water potential on physico-chemical properties of soil and cucumber growth. Korea. J. Soc. Soil Sci. Fert. 32:171-181.  
 Kim, C.S., J.H. Kim, and S.W. Chung. 1989. A Study on the Automatic Irrigation Control System in the Vinyl - House Cultivation Utilizing Microcomputer. Korea Society for Agricultural Machinery. 14:128-136.

Kim, K.D., T.Y. Kim, I.H. Cho, E.Y. Nam, and B.H. Mun. 2003. Development of Tensiometer for Automatic Water Filling in Tube and Monitoring of Soil Moisture. Korea Society for Bio-Environment Control. :177-182.  
 Lee, B. and J.H. Shin. Optimal irrigation management system of greenhouse tomato based on stem diameter and transpiration monitoring. Agricultural Information Technology in Asia and Oceania 1998:87-90.  
 Locascio, S.J., J.M. Myers, and F.G. Martin. 1977. Frequency and role of fertilization with trickle irrigation for strawberries. J. Amer. Soc. Hortic. Sci. 102:456-458.  
 MLTM(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs). 2008. A long-term master plan report on water resources 2006-2020.  
 NAAS. 2000. Method of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.  
 NAAS. 2006. Fertilization standard of crop plant. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea. pp. 69.  
 OECD. 2002. Transition to Full-cost Pricing Irrigation Water for Agriculture in OECD countries, pp.9-21.  
 RDA. 2001. Standard farming Manual - cucumber. pp.51.  
 Ryu, K.S. and K.C. Eom. 1986. The effect of irrigation on the growth of horticultural crops in a sandy loam. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer. 19:14-20.  
 Sato, N. and K. Hasegawa. 1995. A Computer controlled irrigation system for muskmelon using stem diameter sensor. Acta Horticulturae 399:161-165.  
 Shin, J. H. and B. W. Lee. 1999. Effect of irrigation Automation Using Stem Diameter Variation as an Indicator of Irrigation Timing in Greenhouse Tomato. J. Bio-Env. Con. 8:232-241.