



## 오이 시설재배지에서의 토양수분 소비특성 분석

### Soil Moisture Extraction Characteristics of Cucumber Crop in Protected Cultivation

홍은미\* · 최진용\*\*† · 남원호\*\*\* · 강문성\*\*\*\* · 장정렬\*\*\*\*\*

Hong, Eun Mi · Choi, Jin-Yong · Nam, Won Ho · Kang, Moon-Seong · Jang, Jeong-Ryel

#### ABSTRACT

Water for crop growth were supplied by irrigation in protected cultivation and these are accumulated in the soil and utilized for crop evapotranspiration. The study for analyzing soil moisture characteristics is necessary for adequate irrigation water and soil water management in protected cultivation. Soil moisture content, irrigation water quantity and meteorological data were monitored to analyze soil moisture increment and extraction characteristics in terms of soil layers and cucumber crop growth stages. In first cropping period, the total amount of irrigation water was 5.07 mm/day, soil moisture increment was 4.82 mm/day and soil moisture extraction was 5.56 mm/day. In second cropping period, the total amount of irrigation water was 4.82 mm/day, soil moisture increment was 4.65 mm/day and soil moisture extraction was 4.73 mm/day. Soil moisture extraction rate from 0 to 75 cm is 90.3 % in first cropping period and 79.1 % in second cropping period. The majority irrigation water were consumed in root zone, however, about 15 % of soil moisture were losses by infiltration in lower soil layer. Soil moisture extraction and extraction pattern of cucumber crop calculated in this study can be utilized as a basic data for irrigation water management in protected cultivation.

**Keywords:** cucumber cultivation; protected cultivation, soil moisture extraction, soil moisture extraction pattern, soil moisture monitoring

#### 1. 서 론

최근 고부가가치 농산물에 대한 수요 증대로 시설재배농업의 중요성이 확대되고 있다. 우리나라 토지이용변화를 살펴보면 논과 밭의 면적은 지속적으로 감소하는 추세인 반면 시설재배지는 면적은 유지되고 있으며 규모면에서는 증가하고 있어, 2010년 기준 시설재배지 농가는 전체 농가의 10.2 %를 차지하였다 (<http://kosis.kr/>). 시설재배지는 논에 59.7 %, 밭에 39.8 %, 임야에 0.5 % 위치하고 있어 기존 논 위에 시설재배지를 설치하는 비율이 가장 높다 (Lee et al., 1998a; Lee et al., 1998b). 시설재배지에서 재배되는 작물은 노지재배작물과 달리 수분을 흡수하는 토층의 범위가 좁고 뿌리가 얇게 분포하여 건조에 취약하기 때문에 충분한

한 수분 공급이 필요하다. 게다가 시설재배지 내부 온도는 시설재배지 밖과 비교하여 상대적으로 높게 유지되므로 토양 증발량 및 작물 소비량이 증가할 수 있어 이에 대한 작물의 수분 요구량도 높아질 수 있다 (RDA and NAAS, 2007; Hong, 2013). 하지만, 시설재배지는 강수가 차단되어 작물 생육에 필요한 물을 전량 인위적으로 공급받아야하기 때문에 작물 생육에 적절한 토양수분 관리를 위해서는 관개 관리가 필요하다.

농촌진흥청에서 밭작물 관개 기준량을 제시되고 있음에도 불구하고, 시설재배지에서의 작물 재배를 위한 관개 가이드라인은 부족한 실정이다. 시설재배지에서는 대부분 토양건조를 막기 위하여 필요 이상으로 관개를 하고 있으며, 게다가 작물 생육에 필요한 양분을 관비 (fertigation: fertilization and irrigation) 형태로 공급하고 있기 때문에 과다 관개로 인한 영양물질의 용탈도 문제가 되고 있다 (Shi et al., 2009; Min et al., 2012). 따라서 시설재배지에서 토양수분의 합리적 관리와 과다관개로 인한 피해를 줄이기 위해서는 기초자료로서 작물 생육에 따른 시설재배지에서의 토양수분의 모니터링과 소비 특성에 대한 분석이 필요하다.

국내에서 시설재배지 작물의 증발산량 산정 및 물 요구량 산정에 대한 연구는 다음과 같이 진행되었다. Lee and Oh (2001)는 시설재배지에서 잔디를 이용하여 기준작물증발산량을 측정하고

\* 서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원  
 \*\* 서울대학교 조경·지역시스템공학부 부교수, 농업생명과학연구원  
 \*\*\* School of Natural Resources, University of Nebraska-Lincoln, Visiting Scholar  
 \*\*\*\* 서울대학교 조경·지역시스템공학부 부교수, 농업생명과학연구원  
 \*\*\*\*\* 한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원  
 † Corresponding author Tel.: +82-2-880-4583  
 Fax: +82-2-873-2087  
 E-mail: iamchoi@snu.ac.kr

2014년 1월 6일 투고  
 2014년 2월 17일 심사완료  
 2014년 2월 24일 게재확정

기상인자를 고려한 다중회귀분석을 통해 시설 내 기준작물증발산량 모형을 개발하였다. Jung et al. (2005)은 시설재배지에서 점적관개에 따른 증발산량을 Penman-Monteith 방정식 및 라이시미터를 이용하여 산정하여 주요 시설작물의 작물계수를 산정하였다. Choi (2012) 및 Choi et al. (2012)은 관개 및 인위토양조건을 고려한 근구역 토양수분분포 균일성을 분석하고, 수치해석을 이용하여 점적관개 토양수분 재분배를 분석하였다. Han et al. (2013)은 실측자료 기반 수원지역 주요 시설재배작물의 물요구량을 산정하였다.

이처럼 시설재배지에서 작물의 소비 및 물 요구량 분석 등에 대한 연구는 최근 일부 진행되고 있으나, 모니터링을 기반으로 토양수분 변화 특성 및 소비량을 산정하여 소비특성을 분석한 연구는 미비하다.

본 연구에서는 시설재배지 토양수분 소비특성분석을 위하여 물소모가 많다고 알려져 있는 오이 시설재배지에서 관개량, 토양수분 및 기상 모니터링을 하였다. 토양수분 모니터링 결과를 기반으로 토양수분 증가량 및 소비량을 산정하여, 관개량과 토양수분 증가량을 비교하였다. 또한, 시설재배지 오이재배에 따른 토양수분의 소비 특성 및 패턴을 분석하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상 지역

본 연구에서는 경기도 용인시 처인구 남사면 진목리 (E 37° 06' 04", N 127° 08' 08")에 위치한 이동저수지 주변 시설재배지를 연구 대상 지역으로 선정하였다 (Fig. 1). 본 연구지역은 과거 미곡 위주의 재배가 이루어 졌으나, 최근 시설재배지 면적이 증가하고 있는 지역이다. 본 연구지역 토양통은 석천통 (Se, coarse loamy, mixed, nonacid, mesic family of Fluvaquentic Endoaquepts)으로, 사양질계 회색토의 배수는 약간 불량하고 투수성은 보통이며 유거는 느린 토양이다 (<http://soil.rda.go.kr>).

### 2. 모니터링 시스템 구축

시설재배지 시험포장에 2010년 12월 모니터링 시스템을 구축하여 2011년에 모니터링 하였다. 시설재배지 시험포장에서는 점

적관개 (drip irrigation, 점적기 간격 20 cm)를 이용하여 오이를 1년에 2번 연작으로 재배하였다. 시설재배지 모니터링 면적은 3,000 m<sup>2</sup>이며, 주요 모니터링 항목은 기상, 관개량 및 토양수분이다. 모니터링 시스템 구축 현황 모식도는 Fig. 2와 같으며, 모니터링 항목 및 주기는 Table 1과 같다.

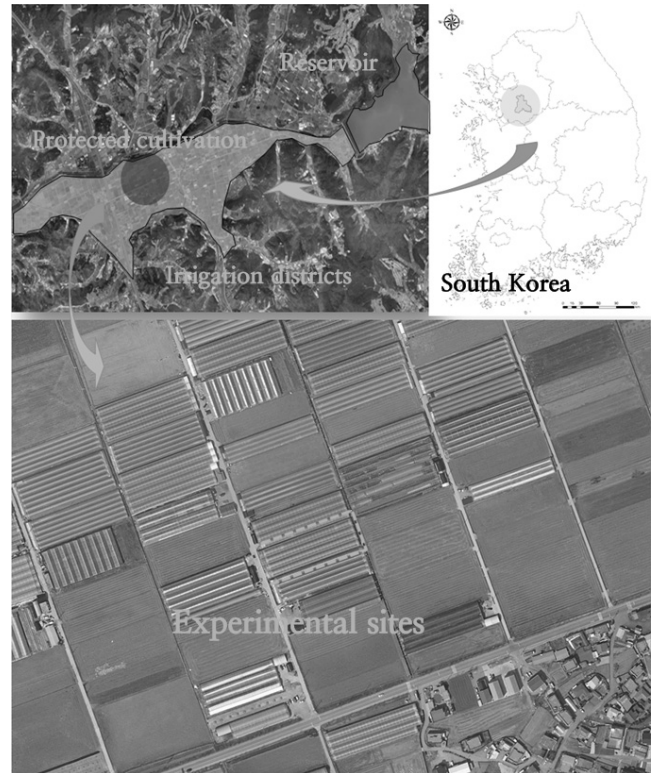


Fig. 1 Location of the experimental sites (Hong, 2013)

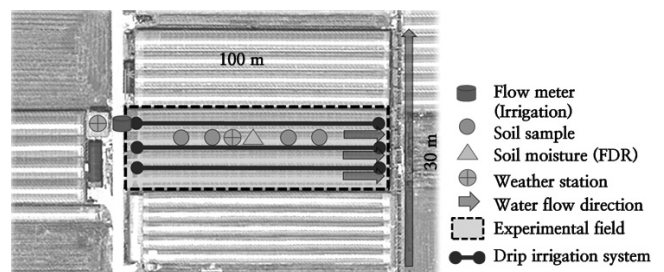


Fig. 2 Monitoring system in protected cultivation

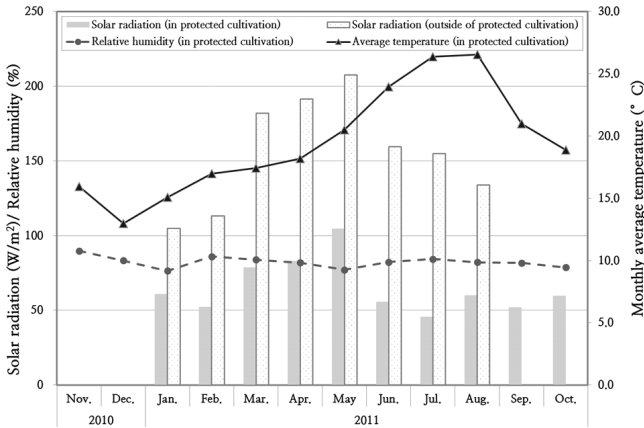
Table 1 Monitoring items, equipments and installed locations

Items	Monitoring period	Locations	Equipments
Irrigation	Every 10 minutes	Inside of protected cultivation	Flow meter
Soil moisture content	Every 15 minutes	Inside of protected cultivation (Soil depth: 10, 30, 60, 90 cm)	EnviroSMART FDR (Frequency Domain Reflection)
Meteorological data (humidity, wind speed, solar radiation, temperature)	Every 15 minutes	Inside of protected cultivation	Automatic Weather Station (WatchDog weather station, Spectrum technologies, Inc.)

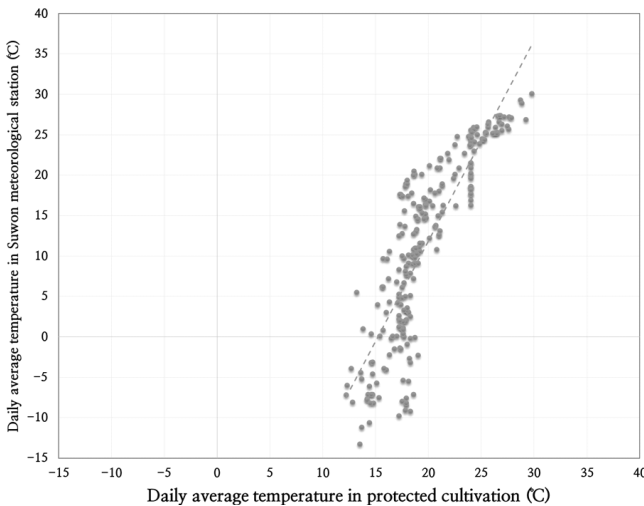
**Table 2 Dates of planting, harvesting and irrigation times of cucumber**

Crop planting periods	Fallow period	Planting date	Final harvesting date	Monthly total irrigation times
First cropping period (FCP)	Dec. 2~23, 2010	Dec. 24, 2010	Jun. 20	Jan. (10) <sup>1)</sup> , Feb. (11), Mar. (16), Apr. (16), May (17), Jun. (11)
Second cropping period (SCP)	Jun. 21~Aug. 2	Aug. 3	Nov. 2	Aug. (13), Sep. (18), Oct. (17)

1) ( ) : times



(a) Monthly average temperature, relative humidity and solar radiation during cucumber cultivation



(b) Daily average temperature differences between in Suwon meteorological station and protected cultivation

**Fig. 3 Meteorological characteristics in protected cultivation**

본 시설재배지에서 영농은 농민의 관행농법에 의해 이루어졌다. 농민의 판단에 의해 관개 또는 관비하였으며, 주로 2~3일에 한 번씩 관개를 통하여 수분을 공급하였다. 오이 정식 열은 총 15 개 소이며 정식길이는 100 m이었다. 본 연구에서는 농민의 관개량, 횟수 및 시간을 파악하기 위하여 유량계 및 데이터 로거를 시설재배지 내부에 설치하여, 10분 단위로 모니터링 하였다. 또한, 일부 모니터링이 결측된 시기에 대해서는 농민이 기록한 영농일지의

**Table 3 Soil physical characteristics in the experimental fields**

Soil depth (cm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil texture
0~10	61.6	22.4	16.0	Sandy loam
10~20	53.4	32.4	14.2	Sandy loam
20~30	62.6	20.5	16.9	Sandy loam
30~60	54.5	31.8	13.7	Sandy loam
60~90	45.8	43.4	10.8	Loam
90~120	63.8	28.2	8.0	Sandy loam
120~150	53.5	32.1	14.4	Sandy Clay Loam

관개시간을 참고하여 모니터링으로 측정된 시간당 관개량의 평균값을 적용하였다. Table 2는 시설재배지 오이 재배 영농 정보로써, 첫 번째 영농 시기 (FCP, first cropping period)에는 2011년 1~6월 (180일), 두 번째 영농 시기 (SCP, second cropping period)에는 8~10월 (91일) 오이를 재배하였다. 일반적으로 시설재배지에서는 일년에 2번 작물을 재배하는데, 상반기에는 봄철에서 여름철에 작물을 재배하기 때문에 오랜기간동안 작물을 재배하고 수확하는 반면, 하반기에는 겨울철로 넘어가면서 실내 환경조절 및 영농에 어려움이 있어 작물 수확기간이 짧다.

기상 자료는 자동기상관측시스템을 시설재배지 내부에 설치하여 습도, 기온, 풍속, 풍향 등을 2011년 영농 기간 동안 15분 간격으로 모니터링 하였다. Fig. 3(a)는 시설재배지 외부 일사량 및 시설재배지 내부 일사량, 기온, 상대습도 모니터링 결과의 월 평균값으로써, 시설재배지 내부는 평균 15 °C 이상을 유지하였다. 하지만, 시설재배지 내부는 기상조건을 일정하게 유지하기 위하여 환경조절을 함에도 외부 기상조건에도 영향을 받았다 (Fig. 3(b)). 외부 기온이 높은 8월에는 시설재배지 내부 기온도 높았으며 일사량은 모니터링 기간 동안 평균 62.8 W/m<sup>2</sup>으로써, 외부 일사량과 비교하여 평균 일사투과율은 약 46 %였다.

본 시설재배지에서는 1년에 2번 정식 전 토양 일부를 성토하고, 정지작업을 하였다. 시설재배지에서의 토성 특성을 파악하기 위하여 작물을 정식하기 전 150 cm까지 샘플링 하여 USDA (United States Department of Agriculture) 삼각토양분류법 (Soil Taxonomy)에 의해 토성분석을 하였다. Table 3은 시설재배지 모니터링 지역 토양 물리적 특성으로, 0~60 cm 성토된 인위토양은 사양토 (sandy loam), 60 cm 이하 토층은 양토 (loam),

사양토 및 미사질 식양토 (sandy clay loam)로 구성되어 있었다. 본 연구에서는 안정적인 토양수분 모니터링을 위하여 Sentek사에서 개발한 EnviroSMART FDR (Frequency Domain Reflection)을 이용하여 10, 30, 60, 90 cm 토층에서 15분 간격으로 토양수분을 모니터링 하였다. FDR은 염농도가 높은 지역에서도 모니터링할 수 있는 장점이 있다 (Hur et al., 2007). 시설재배지는 염 농도가 높기 때문에 FDR을 이용하여 토양수분을 모니터링 하였다.

### 3. 토양수분 모니터링 결과 분석

본 연구에서 토양수분은 부피단위 함수량 ( $\theta$ , %)으로 모니터링 되었다. 측정된 토양수분 함수량을 토층의 깊이 ( $d$ , mm)를 고려하여 토층 사이에 함유되어 있는 토양수분함양 (SMC, mm)을 Eq.(1)과 같이 산정하였다.

$$SMC = \frac{\theta \times d}{100} \quad (1)$$

Fig. 4는 토양수분 모니터링 지점 및 각 토양수분 측정값의 대푯값이다. 10 cm 토층의 토양수분 측정값은 0~25 cm 깊이의 대푯값으로, 30 cm 토층의 토양수분 측정값은 25~45 cm 깊이의 대푯값으로, 60 cm 토층의 토양수분 측정값은 45~75 cm 깊이의 대푯값으로, 90 cm 토층의 토양수분 측정값은 75~100 cm 깊이의 대푯값으로 가정하였다. 근근역에서의 토양수분 소비

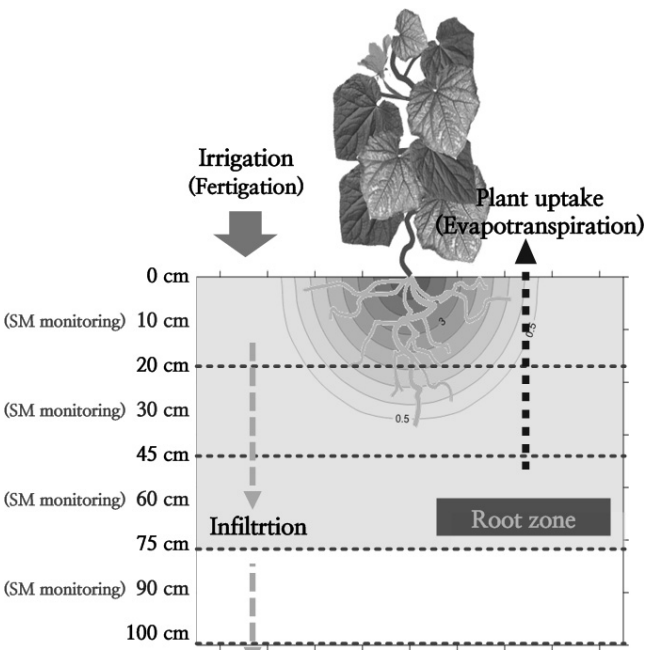


Fig. 4 Depth range for soil moisture monitoring

는 대부분 작물에 의해 흡수되며, 근근역 이하 토층에서의 토양수분 소비는 작물에 의한 소비보다는 하부 토층으로 침투된다. 오이는 친근성 작물로서, 종자 파종 4주후 뿌리는 약 70 cm까지 성장하지만 대부분 30 cm 이내에서 집중적으로 분포한다 (Kim et al., 2001). 따라서 토양수분의 작물에 의한 소비와 침투로 인한 손실을 구분하기 위하여 본 연구에서는 0~45 cm를 작물 생육 초기단계의 근근역, 0~75 cm를 작물 생육말기단계의 근근역으로 가정하여 토양수분 모니터링 결과를 분석하였다.

본 연구에서는 위의 가정과 Eq.(2)~(4)을 이용하여 토양수분 증가량 (SMI, Soil Moisture Increment), 토양수분 소비량 (SME, Soil Moisture Extraction) 및 소비패턴 (SMEP, Soil Moisture Extraction Pattern)을 산정하였다.

$$\Delta SMC_{t,n} = SMC_{t,n} - SMC_{t,n-1} \quad (2)$$

$$SMI_t = \sum \text{ of } \Delta SMC_{t,n} \text{ if } \Delta SMC_{t,n} > 0 \quad (3)$$

$$SME_t = \sum \text{ of } \Delta SMC_{t,n} \text{ if } \Delta SMC_{t,n} < 0 \quad (4)$$

여기서,  $t$ 는 일 (day),  $n$ 은 시간 (hr),  $SMC_{t,n}$ 는  $t$ 일  $n$ 시간에서의 토양수분 함수량 (mm/hr),  $SMI_t$ 는  $t$ 일의 토양수분 증가량 (mm/day),  $SME_t$ 는  $t$ 일의 토양수분 소비량 (mm/day)이다.

토양수분의 소비패턴은 작물 생육 단계별, 토층깊이별로 다르게 나타난다 (Chung et al., 1993; Bruno et al., 2006). 따라서 본 연구에서는 토층별, 작물 생육단계별 토양수분 소비패턴을 Eq.(5)을 이용하여 산정하였다.

$$SMEP_i = \frac{SME_i}{\sum_{i=1}^p SME_i} \times 100 \quad (5)$$

여기서,  $SMEP_i$ 는  $i$ 번째 토층에서의 토양수분 소비패턴 (%),  $p$ 는 토층수,  $i$ 는  $p$ 개 토층 중 산정하고자 하는 토층이다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 관개 및 토양수분 모니터링 결과

2011년 두 번의 오이재배기간동안 시설재배지에서의 토층별 토양수분 기술적 통계 (평균, 편차, 최솟값 및 최댓값) 특성은 Table 4와 같으며, 관개일, 관비일 및 토양수분 모니터링 결과는 Fig. 5와 같다. 유량계를 이용하여 관개량을 10분 단위로 측정된 결과, 관개시 첫 번째 영농 시기 (FCP)에는 1회 3.85 시간, 2.57 m<sup>3</sup>/hr

**Table 4** Descriptive statistics for soil moisture content considering soil depth

Samples		Soil depth (cm)			
		10	30	60	90
First cropping period (FCP)	avg.	32.2	36.8	12.8	22.3
	med.	30.6	36.0	12.4	22.2
	std.	4.2	3.3	1.8	1.2
	min.	27.1	32.1	10.9	20.8
	max.	39.9	42.9	30.7	34.3
	CV	0.1	0.1	0.1	0.1
Second cropping period (SCP)	avg.	27.2	35.4	17.0	31.0
	med.	27.1	35.3	17.0	31.6
	std.	0.6	0.6	1.0	2.8
	min.	25.5	34.0	14.8	26.5
	max.	28.6	36.6	22.0	36.6
	CV	0.0	0.0	0.1	0.1

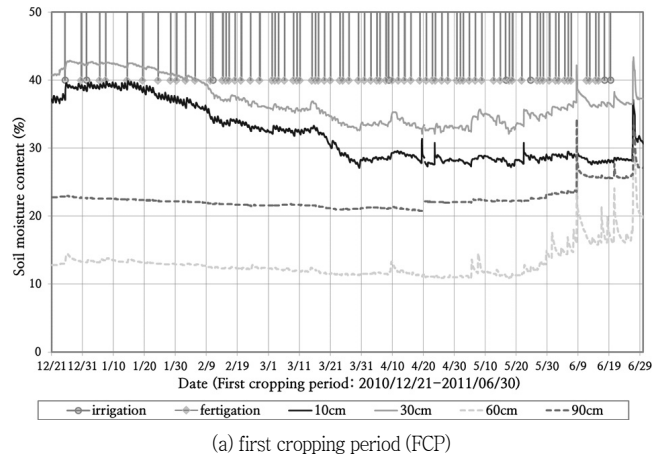
\*avg.: average, med.: median, std.: standard deviation, min.: minimum, max. maximum, CV: coefficient of variation

총 781.7 m<sup>3</sup> 관개하였으며, 두 번째 영농 시기 (SCP)에는 1회 2.90 시간, 2.87 m<sup>3</sup>/hr, 총 399.5 m<sup>3</sup> 관개하였다. 또한, 두 번째 영농의 정식 전인 6월 26일과 27일 각각 정식 전 토양수분의 충분한 공급을 위하여 15시간 (45.8 m<sup>3</sup>), 7시간 (22.6 m<sup>3</sup>) 관개를 하였다.

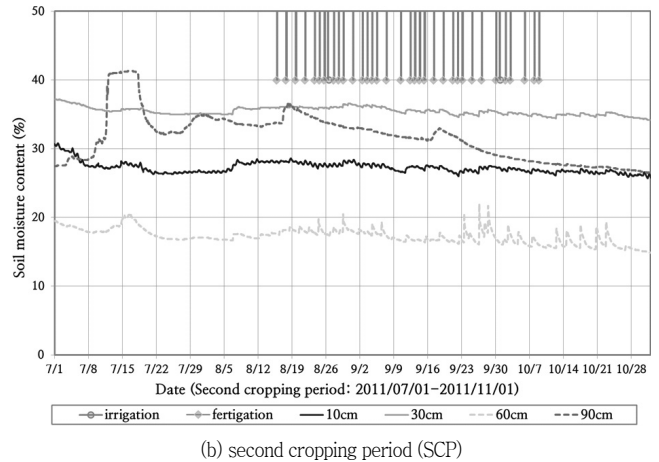
10 cm 토층에서는 관개 후 토양수분 증가가 뚜렷하였으며, 첫 번째와 두 번째 영농 시기간의 차이는 있었으나 10 cm 토층은 평균 32.2 % (FCP), 27.2 % (SCP), 30 cm 토층은 평균 36.8 % (FCP), 35.4 % (SCP)로 10~30 cm 토층에서의 토양수분함량은 평균적으로 60 cm (FCP: 12.8 %, SCP: 17.0 %), 90 cm (FCP: 22.3 %, SCP: 31.0 %) 토층과 비교하여 높았다. 90 cm 토층에서는 10~60 cm 토층과 달리 관개에 의한 토양수분 변화는 미비하였으나, 6월 26, 27일과 같이 과다 관개시 토양수분 변화가 컸다. 또한, 7월 초 휴경기 관개를 하지 않았음에도 불구하고 90 cm 토층의 토양수분이 증가하였는데, 이는 강우기 시설재배지 지역의 천층지하수위가 상승하여 이에 영향을 받았기 때문으로 판단된다 (Hong, 2013).

## 2. 시설재배지 토양수분 소비량 산정

본 연구에서는 토양수분 모니터링 결과를 활용하여 관개 후 토양수분 증가량 및 소비량을 산정하였다. Fig. 6은 일별 토양수분 증가량 및 토양수분 소비량 (0~45 cm, 45~75 cm, 75~100 cm)이다. Fig. 6(a)는 첫 번째 영농 시기의 토양수분 증가량 및 소비량으로써, 작물 생육 초기에는 토양수분 소비량 대부분이 0~45 cm 토층에서 소비되었으나, 5월 이후에는 45 cm 이하



(a) first cropping period (FCP)



(b) second cropping period (SCP)

**Fig. 5** Temporal changes of soil moisture content and irrigation (fertigation) times in cucumber cropping periods of protected cultivation

및 75 cm 이하 토층에서의 소비도 증가하였다. Fig. 6(b)는 두 번째 영농 시기의 토양수분 증가량 및 소비량으로써, 첫 번째 오이 재배기간과 유사하게 초기에는 대부분 0~45 cm 토층에서 토양수분이 소비되었으나 후반기에는 45~75 cm 토층에서도 토양수분 소비가 증가하였다.

Table 5은 토양수분 증가량 및 관개량을 비교한 것이다. 관개 후 전 토층 (0~100 cm)에서의 토양수분 증가량을 산정해본 결과, 첫 번째 영농 기간에는 814.4 mm (4.82 mm/day), 두 번째 영농 기간에는 460.0 mm (4.65 mm/day)이었다. 또한, 관개량을 관개면적을 고려하여 산정한 결과, 첫 번째 영농 시기 관개량은 868.5 mm (5.07 mm/day), 두 번째 영농시기 관개량은 443.9 mm (4.82 mm/day)이었다. 첫 번째, 두 번째 영농 시기 모두 관개량과 비교하여 토양수분 증가량과의 차이는 미비하였다. 하지만, RDA and NAAS (2007)에서 제시한 오이 시설재배작물 물 요구량 (평균: 2.3 mm/day, 최대: 4.6 mm/day)과 비교하여 많

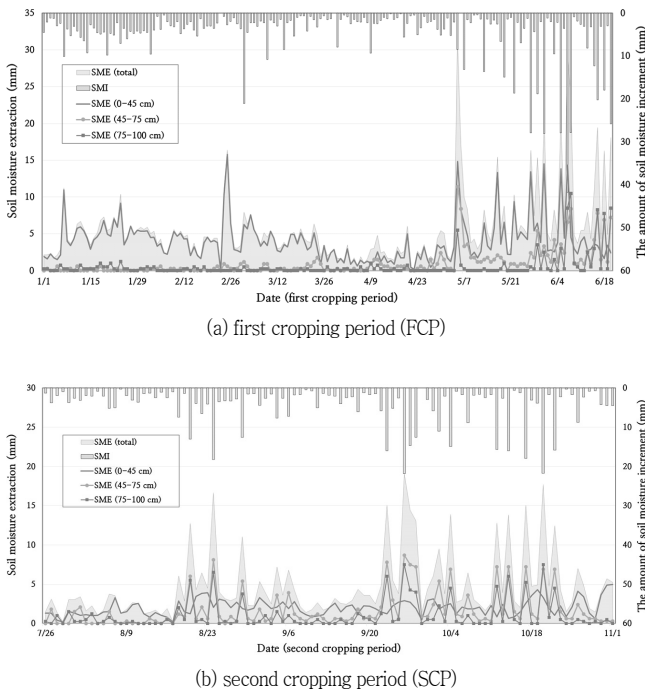


Fig. 6 Soil moisture extraction and increment in protected cultivation

은 양의 물이 관개되고 있었다. 토층별 토양수분 증가량을 살펴 보면, 첫 번째 영농 시기에는 0~45 cm에서 3.37 mm/day, 0~75 cm 토층에서 4.18 mm/day, 두 번째 영농 시기에는 0~45 cm에서 2.04 mm/day, 0~75 cm 토층에서 3.70 mm/day가 증가하여 RDA and NAAS (2007)에서 제시한 물 요구량이 근근역 내에 충분히 공급되었다. 하지만 75~100 cm 토층에 공급된 토양수분이 첫 번째 영농시기에는 전체의 12.2%, 두 번째 영농 시기에는 전체의 20.4%로 작물 생육에 활용되지 못하고 하부토층에 공급되는 양도 많았다.

Table 6은 토층별 토양수분 소비량으로써, 전 토층 (0~100 cm)에서의 토양수분 소비량은 첫 번째 영농 시기에는 950.0 mm (5.56 mm/day), 두 번째 영농 시기에는 468.5 mm (4.73 mm/day)으로 Table 5의 관개량 및 토양수분 증가량과 비교하여 첫 번째 영농시기에는 소비량이 많았으나 전반적으로 유사하였다.

생육단계별로 작물재배기간별로 토양수분 소비량 및 특성이 다르기 때문에 본 연구에서는 Table 7과 같이 생육단계별 토층별 토양수분 소비량을 산정하였다. G1 (Growth Stage-1)은 작물생육 초기단계, G2 (Growth Stage-2)는 작물 신장기, G3 (Growth Stage-3)은 작물 생육 중기 및 G4 (Growth Stage-4)는 수확기를 의미한다. 첫 번째 영농 시기 생육단계별 토양수분 소비량을 살펴보면, 0~45 cm 토층 및 0~75 cm 토층에서의 토양수분 소비량은 G2 시기에 5.37 mm/day, 5.49 mm/day로 가장 컸으며,

Table 5 The amount of irrigation and soil moisture increment in first and second cropping period under protected cultivation

Cropping period	Irrigation	Soil Moisture Increment					
		0-20	20-45	45-75	75-100	Total	
		(cm)					
FCP	Total (mm)	868.5	389.2	186.5	139.2	99.5	814.4
	Daily (mm)	5.07	2.28	1.09	0.81	0.58	4.76
	Daily (%)	-	47.9	22.9	17.0	12.2	100.0
SCP	Total (mm)	443.9	156.4	45.5	164.1	94.0	460.0
	Daily (mm)	4.82	1.58	0.46	1.66	0.95	4.65
	Daily (%)	-	34.0	9.9	35.7	20.4	100.0

Table 6 Soil moisture extraction in first and second cropping period under protected cultivation

Cropping period		Soil Moisture Extraction				
		0-20	20-45	45-75	75-100	Total
		(cm)				
FCP	Total (mm)	437.0	251.5	169.5	92.0	950.0
	Daily (mm)	2.56	1.47	0.99	0.54	5.56
	Daily (%)	46.0	26.4	17.8	9.7	100.0
SCP	Total (mm)	151.6	46.2	171.9	98.8	468.5
	Daily (mm)	1.53	0.47	1.74	1	4.73
	Daily (%)	32.3	9.9	36.8	21.1	100.0

Table 7 Soil moisture extraction of cucumber crop in protected cultivation

Soil depth (cm)	Crop growth stage				Average	
	G1 <sup>1)</sup>	G2	G3	G4		
	(0-10 days)	(11-25 days)	(26-50 days)	(after 50 days)		
FCP	0-25	1.74	3.27	3.45	2.35	2.56
	25-45	1.65	2.10	0.65	1.55	1.47
	45-75	0.12	0.12	0.13	1.35	0.99
	75-100	0.18	0.47	0.15	0.66	0.54
	0-100	3.69	5.95	4.38	5.90	5.56
SCP	0-25	0.70	1.19	1.66	1.74	1.53
	25-45	0.32	0.40	0.57	0.46	0.47
	45-75	0.54	0.36	1.66	2.44	1.74
	75-100	0.50	0.30	0.87	1.38	1.00
	0-100	2.06	2.25	4.75	6.03	4.73

1) Growth stage: G1 = Growth Stage-1, G2 = Growth Stage-2, G3 = Growth Stage-3, G4 = Growth Stage-4

초기생육단계인 G1 시기에 3.39 mm/day, 3.51 mm/day로 가장 적었다. 작물에 의해 소비되지 않고 대부분 심토로 침투될 것으로 판단되는 75~100 cm 토층에서는 G4 시기에 0.66 mm/day로 가장 많았으며, G3 시기에 0.15 mm/day로 가장 적었다. 두 번째 영농 시기의 생육단계별 토양수분 소비량을 살펴보면 0~45 cm 토층에서 G3 시기 토양수분 소비량이 2.23 mm/day로 가장 많았으며, G1 시기에 1.02 mm/day로 가장 적었다. 75~100 cm 토층에서의 토양수분 소비량은 첫 번째 영농시기와 유사하게 G4 시기에 1.38 mm/day로 가장 많았으며, G2 시기에 0.30 mm/day로 가장 적었다. 첫 번째, 두 번째 영농 시기에 토양수분 소비량의 차이는 있었으나, 0~45 cm 토층에서의 토양수분 소비량은 생육이 활발한 G2 및 G3 시기에 많았으며 오이 수확기간인 G4 시기에는 45~75 cm 토층에서도 토양수분 소비량이 많았다. 이는 오이 뿌리가 성장하면서 근근역의 범위가 넓어지면서 작물이 토

양수분 소비에 이용하는 범위가 넓어졌기 때문으로 판단된다. 반면, G4 시기에는 관개횟수도 증가하여 관개에 의한 토양수분 증가량이 많아 75 cm 이하 토층에서의 토양수분 소비량도 많았는데, 이는 대부분 작물에 의해 소비되지 않고 침투된 것으로 판단되며 향후 영양물질의 용탈 (leaching)의 기작이 될 수 있을 것으로 판단된다.

### 3. 시설재배지 토양수분 소비패턴 분석

본 연구에서는 토층별 생육단계별 토양수분 소비량 산정 결과를 이용하여 토층별 생육단계별 토양수분 소비패턴을 산정하였다. Fig. 7~8은 첫 번째 및 두 번째 영농 시기의 작물 생육단계별 토층별 토양수분 소비패턴이다. 0~25 cm 토층의 첫 번째 영농 시기의 토양수분 소비비율은 39.8 % (G4)~78.8 % (G3), 두 번

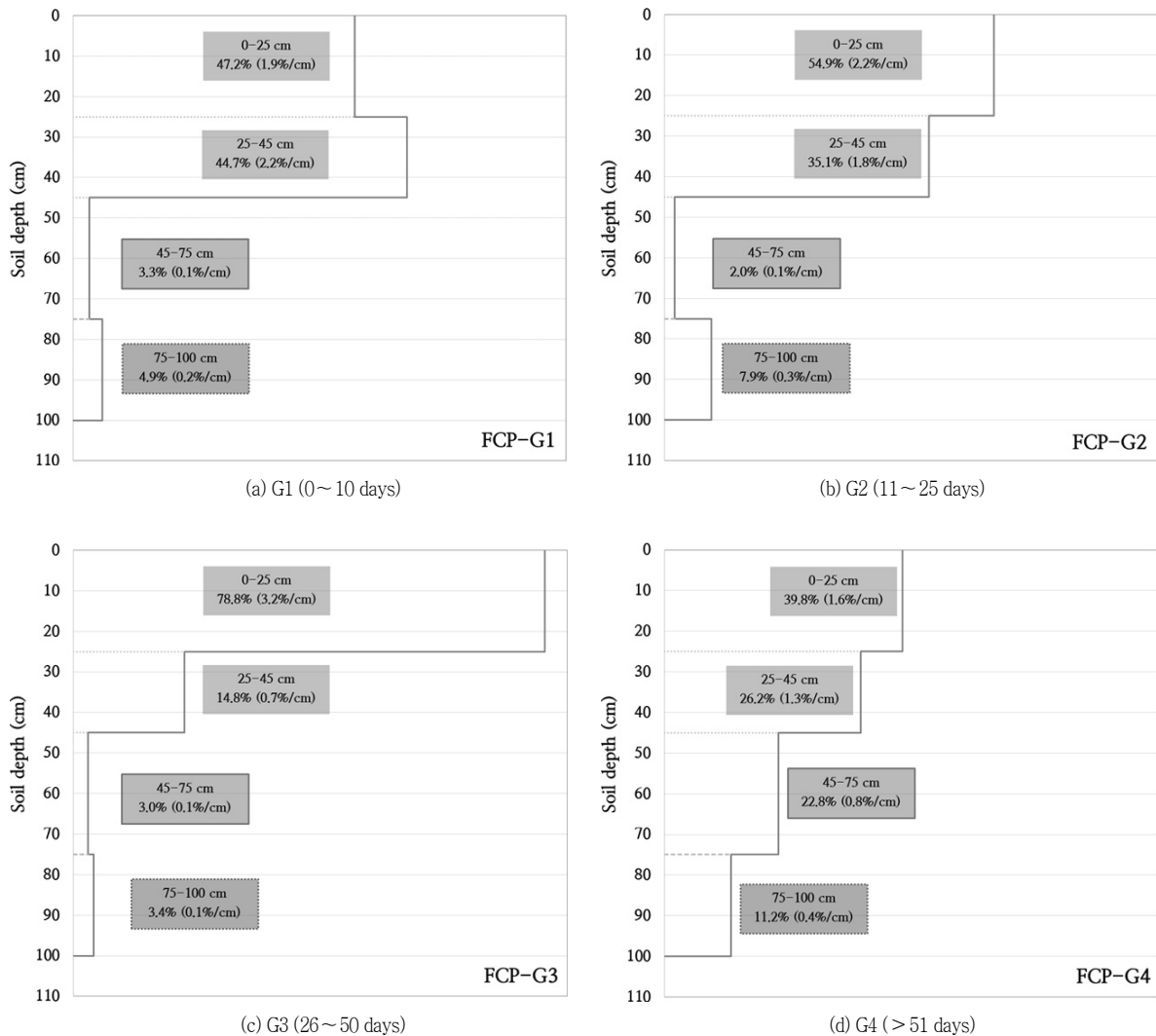


Fig. 7 Soil moisture extraction pattern in first cropping period

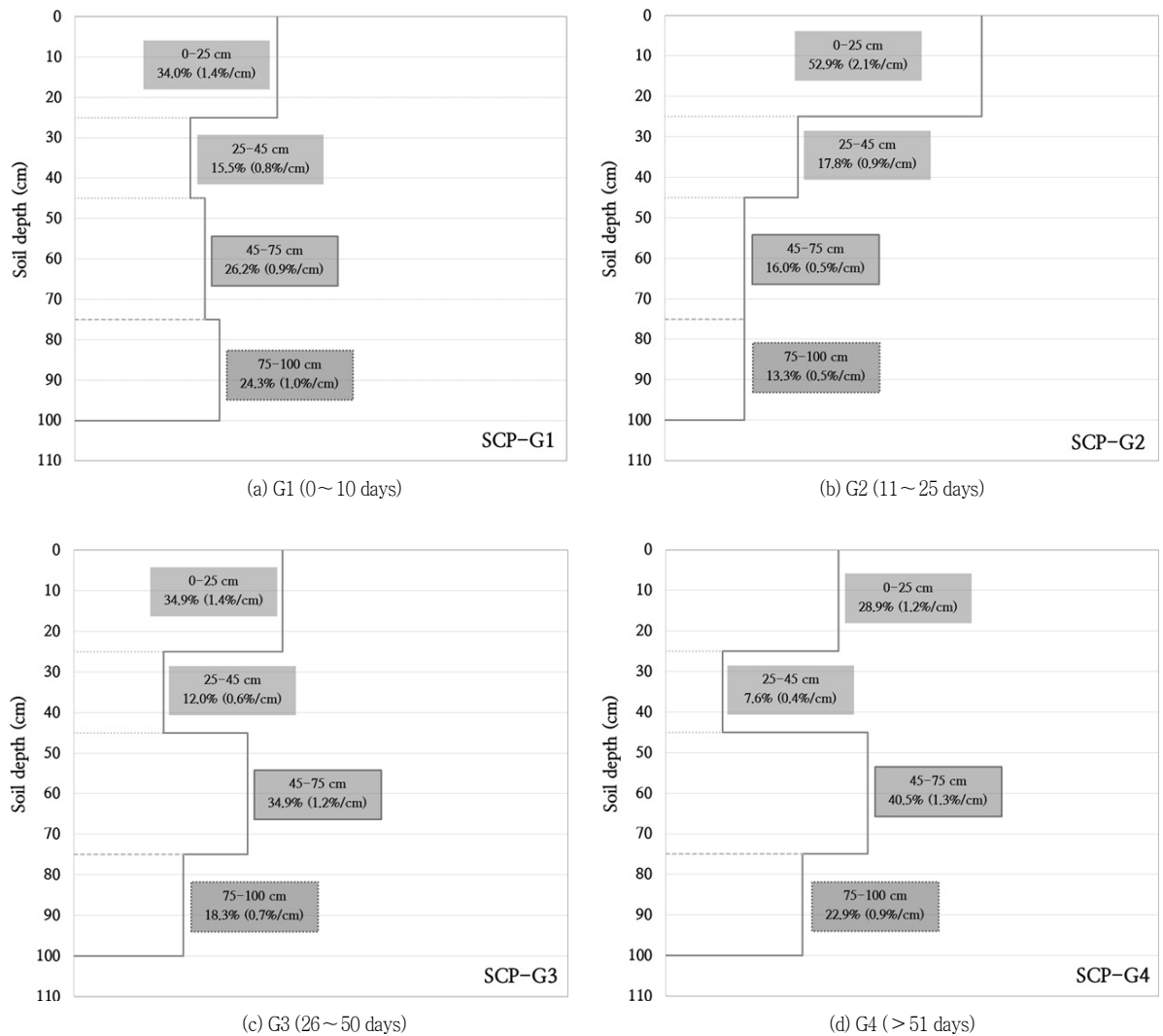


Fig. 8 Soil moisture extraction pattern in second cropping period

째 영농 시기의 토양수분 소비비율은 28.9 % (G4)~52.9 % (G2)이다. 0~45 cm 토층의 첫 번째 영농 시기의 토양수분 소비비율은 66.1 % (G4)~93.6 % (G3), 두 번째 영농 시기의 토양수분 소비비율은 36.5 % (G4)~70.7 % (G2)이었다. 첫 번째 영농 시기에는 G4 시기를 제외하고는 0~45 cm 토층에서 전체 토양수분 소비량의 90 % 이상을 소비한 반면, 두 번째 영농 시기에는 0~75 cm 토층에서 토양수분 소비비율이 75.5 % (G1)~86.7 % (G2)이었다.

작물에 의한 소비보다 침투에 의한 손실이 더 많을 것으로 판단되는 75~100 cm 토층에서의 토양수분 소비비율은 첫 번째 영농 시기에는 3.4 % (G3)~11.2 % (G4)인 반면, 두 번째 영농 시기에서는 13.3 % (G2)~24.3 % (G1)으로 10 % 이상의 토양수분이 침투 되는 것으로 분석되었다. Table 4에 의하면 첫 번째 영농 시기와 비교하여 두 번째 영농시기의 60 cm 이하 토층의 평

균 토양수분함량이 높게 유지된 반면, 관개량 및 토양수분 증가량은 0.1 mm 정도로 차이가 미비하여 관개 후 일부 토양수분이 근구역에서 소비되기 전에 하부토층으로 침투되어 75 cm 이하에서의 토양수분 소비비율이 높은 것으로 판단된다.

Fig. 9는 첫 번째 및 두 번째 영농시기 전체의 토양수분 소비패턴이다. 모니터링 기간 동안 0~45 cm 토층에서 전체 토양수분의 58.6 % (FCP: 72.5 %, SCP: 42.3 %), 0~75 cm 토층에서 전체 토양수분의 85.0 % (FCP: 90.3 %, SCP: 79.1 %)를 소비하였다. 평균적으로 0~25 cm 토층에서는 토층별 1.6 %/cm, 25~75 cm 토층에서는 0.9 %/cm, 75~100 cm 토층에서는 0.6 %/cm로 전반적으로 상부토층에서 토양수분 소비비율이 높았으며, 하부토층으로 내려갈수록 토양수분 소비비율이 감소하였다. 하지만, 일부 생육단계 75 cm 이하 하부토층에서의 토양수분 소비비율이 높았는데 이는 관비형태로 관개되거나 시비량이 많



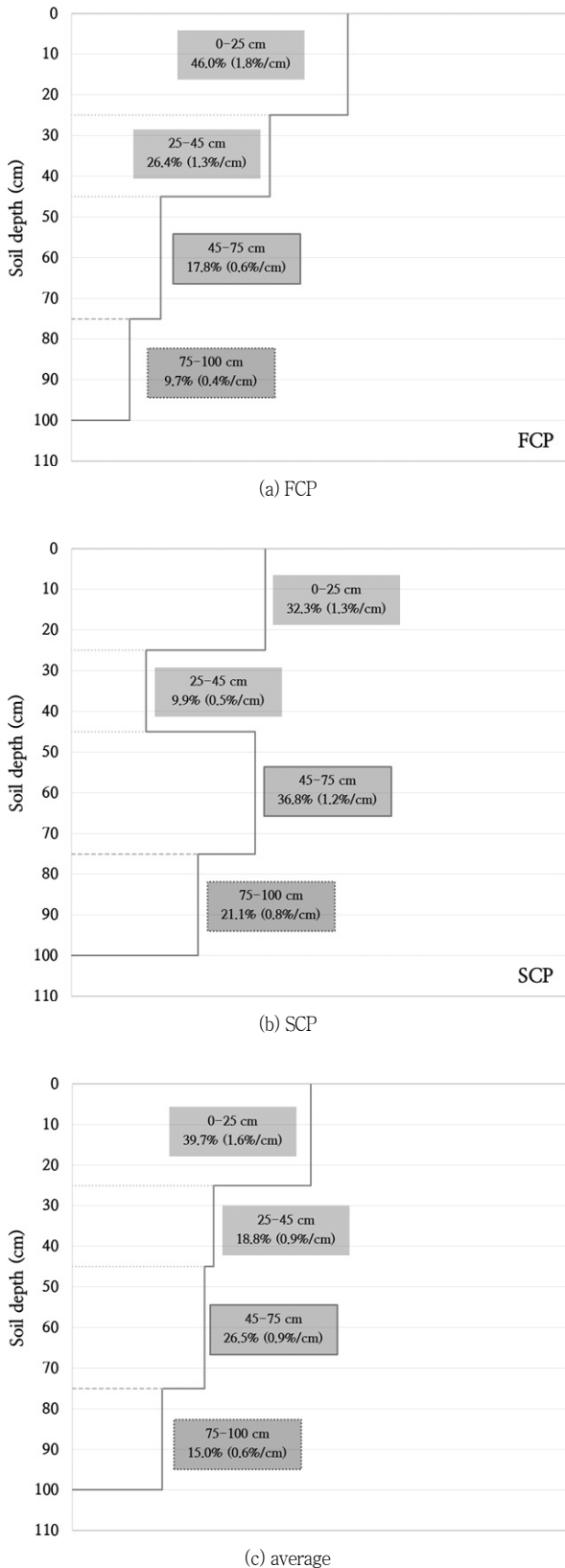


Fig. 9 Soil moisture extraction pattern

은 시비 토양 내 질산성질소와 같은 이동성이 좋은 영양물질의 지하침투에도 영향을 줄 수 있어 이에 대한 관리도 필요할 것으로 판단된다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 시설재배지에서의 토양수분 소비 특성을 분석하기 위하여 관개량, 토양수분 및 기상을 2011년 1~6월 (180일, FCP), 8~10월 (91일, SCP) 두 번의 영농 기간 동안 모니터링 하였다. 토양수분 모니터링 결과를 이용하여 오이 재배에 따른 시설재배지에서의 토양수분 소비량을 산정하고 토층별 생육단계별 토양수분 소비패턴을 분석하였다.

1. 토양수분 모니터링 결과, 10 cm 토층에서 토양수분은 평균 32.2 % (FCP), 27.2 % (SCP), 30 cm 토층은 평균 36.8 % (FCP), 35.4 % (SCP), 60 cm 토층은 평균 12.8 % (FCP), 17.0 % (SCP), 90 cm 토층은 평균 22.3 % (FCP), 31.0 % (SCP)이었다.

2. 시설재배지 관개량은 868.5 mm (5.07 mm/day, FCP), 443.9 mm (4.82 mm/day, SCP)이었으며, 관개 후 전 토층 (0~100 cm) 에서 토양수분 증가량은 814.4 mm (4.82 mm/day, FCP), 460.0 mm (4.65 mm/day, SCP)으며, 토양수분 소비량은 950.0 mm (5.56 mm/day, FCP), 468.5 mm (4.73 mm/day, SCP)이었다. 토양수분 소비량은 관개량 및 토양수분 증가량과 비교하여 전반적으로 유사하였다.

3. 토층별 생육단계별 토양수분 소비패턴을 분석한 결과, 첫 번째 영농 시기 토양수분 소비비율은 0~25 cm 토층에서 평균 46.0 % (39.8 % (G4)~78.8 % (G3)), 0~45 cm 토층에서 평균 58.6 % (66.1 % (G4)~93.6 % (G3)), 45~75 cm 토층에서 평균 17.8 % (2.0 % (G2)~22.8 % (G4)), 75~100 cm 토층에서 평균 9.7 % (3.4 % (G3)~11.2 % (G4))이었다. 두 번째 영농 시기 토양수분 소비비율은 0~25 cm 토층에서 평균 39.7 % (28.9 % (G4)~52.9 % (G2)), 0~45 cm 토층에서 평균 42.2 % (36.5 % (G4)~70.7 % (G2)), 45~75 cm 토층에서 평균 36.8 % (16.0 % (G2)~40.5 % (G4)), 75~100 cm 토층에서 평균 21.1 % (13.3 % (G2)~24.3 % (G1))이었다.

4. 오이 시설재배지에서의 토양수분 소비비율은 0~25 cm 토층에서 토층별 1.6 %/cm (39.7 %), 25~75 cm 토층에서 0.9 %/cm (45.3 %), 75~100 cm 토층에서 0.6 %/cm (15.0 %)로 근근역에서 토양수분 소비비율이 높았다. 75~100 cm 토층에서의 토양수분 소비비율은 낮았으나 일부 생육단계에서는 소비비율이 20 % 이상으로 높았다.

본 연구에서 시설재배지에서 오이재배에 따른 토양수분 소비특성 분석 결과, 근근역에서 토양수분의 대부분이 소비되고 있었으나, 일부 과다관개에 의해 하부 토층에서의 토양수분 손실량도

일부 발생하였다. 특히, 생육 말기 단계의 과다관개로 하부토층에서의 토양수분 소비비율이 높아 작물 생육에 따른 관개량 분석 및 이에 대한 관리가 필요할 것으로 판단되었다.

본 연구는 『농업비점오염 저감을 위한 영농방법 개선기법 개발』 과제의 일환으로 농림수산식품부·한국농어촌공사 농어촌연구원의 연구지원으로 수행되었습니다.

## REFERENCES

1. Allen, R. G., L. S. Periera, D. Raes, and M. Smith, 1988. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements, Irrigation and Drainage Paper No. 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
2. Bruno, R. D., H. R. da Rocha, H. C. de Freitas, M. L. Goulden, and S. D. Miller, 2006, Soil moisture dynamics in an eastern Amazonian tropical forest. *Hydrological Processes* 20: 2477-2489
3. Choi, S. G., 2012. Analysis of soil moisture redistribution under drip irrigation using numerical method. MS. diss., Seoul: Seoul National University (in Korean with English abstract).
4. Choi, S. G., J. Y. Choi, W. H. Nam, S. O. Hur, H. J. Kim, S. O. Chung, and K. H. Han, 2012. Uniformity Assessment of Soil Moisture Redistribution for Drip Irrigation. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 4(3): 19-28 (in Korean with English abstract).
5. Chung, H. W., S. H. Park, S. J. Kim, and Y. S. Chung, 1993. A Study on Root Growth and Soil Moisture Extraction Patten during Growing Period of Upland Crops -Soybean, Redpepper, Sesame-, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 35(1): 67-75 (in Korean with English abstract).
6. Han, K. H., Y. S. Zhang, and D. B. Lee, 2013. Development of irrigation system using IT technologies in protected cultivation. *Korean National Committee on Irrigation and Drainage* 51: 34-42 (in Korean).
7. Hong, E. M., 2013. Nutrient assessment of soil and shallow groundwater in protected cultivation and forest plantation. Ph.D. diss., Seoul: Seoul National University (in Korean with English abstract).
8. Hur, S. O., K. H. Jung, C. W. Park, S. K. Ha, and J. G. Kim, 2007. Verification of soil volumetric water content measured by TDR, FDR sensors. *Proceedings of 2007 Korea Water Resources Association meeting*: 229-235 (in Korean).
9. Jung, K. H., D. S. Oh, and S. O. Hur, 2005. Estimation of evapotranspiration in plastic house. 320-327. Sustainable Agriculture Research. Suwon, Gyeonggi: National Academy of Agricultural Science (in Korean with English abstract).
10. Kim, K. Y., NHRI (National Horticultural Research Institute), GARES (Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services), and , Cucumber experimental site in Gurye, 2001. Cucumber cultivation. Suwon,, Gyeonggi: Rural Development Administration (in Korean).
11. Lee, N. H., and S. T. Oh, 2001. A model for estimating reference crop evapotranpiration in the greenhouse, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 43(4): 50-56 (in Korean with English abstract).
12. Lee, N. H., H. H. Hwang, S. W. Nam, S. G. Hong, and W. J. Jean, 1998a. A study on the utilization of irrigation systems for greenhouse farming. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 40(6): 37-45 (in Korean with English abstract).
13. Lee, N. H., H. H. Hwang, S. W. Nam, S. G. Hong, and W. J. Jean, 1998b. A study on the utilization of irrigation water for greenhouse farming. *Journal of Korean Society of Rural Planning* 4(2), 96-102 (in Korean with English abstract).
14. Min, J., H. Zhang, and W. Shi, 2012. Optimizing nitrogen input to reduce nitrate leaching loss in greenhouse vegetable production. *Agricultural Water Management* 111: 53-59.
15. RDA (Rural Development Administration) and NAAS (National Academy of Agricultural Science), 2007. Water management of upland crops for efficient use of agricultural water. 11139009300016001. Suwon,, Gyeonggi: National Academy of Agricultural Science (in Korean).
16. Shi, W. M., J. Yao, and F. Yan, 2009. Vegetable cultivation under greenhouse conditions leads to rapid accumulation of nutrients, acidification and salinity of soils and groundwater contamination in South-Eastern China. *Nutrient Cycle Agroecosystem* 83: 73-84.