

## 전기저항식 워터마크센서기반 소형 관수장치의 토양 수분퍼텐셜 자동제어 효용성 평가

김학진<sup>1\*</sup> · 노미영<sup>2</sup> · 이동훈<sup>3</sup> · 전상호<sup>4</sup> · 허승오<sup>4</sup> · 최진용<sup>5</sup> · 정선옥<sup>6</sup> · 이종용<sup>1</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 바이오시스템 · 소재학부, <sup>2</sup>국립원예특작과학원 시설원예시험장,

<sup>3</sup>성균관대학교 생명공학부, <sup>4</sup>국립농업과학원 농업환경부,

<sup>5</sup>서울대학교 조경 · 지역시스템공학부, <sup>6</sup>충남대학교 바이오시스템기계공학과

## Feasibility Test on Automatic Control of Soil Water Potential Using a Portable Irrigation Controller with an Electrical Resistance-based Watermark Sensor

Hak-Jin Kim<sup>1\*</sup>, Mi-Young Roh<sup>2</sup>, Dong-Hoon Lee<sup>3</sup>, Sang-Ho Jeon<sup>4</sup>, Seung-Oh Hur<sup>4</sup>,  
Jin-Yong Choi<sup>5</sup>, Sun-Ok Chung<sup>6</sup>, and Joong-Yong Rhee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Biosystems & Biomaterials Science and Engineering, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

<sup>2</sup>National Institute of Horticulture & Medicinal Crop, RDA, Busan 618-800, Korea

<sup>3</sup>School of Life Science and Biotechnologies, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

<sup>4</sup>National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

<sup>5</sup>Department of Landscape Architecture & Rural Systems Engineering,

Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

<sup>6</sup>Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

**Abstract.** Maintenance of adequate soil water potential during the period of crop growth is necessary to support optimum plant growth and yields. A better understanding of soil water movement within and below the rooting zone can facilitate optimal irrigation scheduling aimed at minimizing the adverse effects of water stress on crop growth and development and the leaching of water below the root zone which can have adverse environmental effects. The objective of this study was to evaluate the feasibility of using a portable irrigation controller with a Watermark sensor for the cultivation of drip-irrigated vegetable crops in a greenhouse. The control capability of the irrigation controller for a soil water potential of  $-20$  kPa was evaluated under summer conditions by cultivating 45-day-old tomato plants grown in three differently textured soils (sandy loam, loam, and loamy sands). Water contents through each soil profile were continuously monitored using three Sentek probes, each consisting of three capacitance sensors at 10, 20, and 30 cm depths. Even though a repeatable cycling of soil water potential occurred for the potential treatment, the lower limit of the Watermark (about 0 kPa) obtained in this study presented a limitation of using the Watermark sensor for optimal irrigation of tomato plants where  $-20$  kPa was used as a point for triggering irrigations. This problem might be related to the slow response time and inadequate soil-sensor interface of the Watermark sensor as compared to a porous and ceramic cup-based tensiometer with a sensitive pressure transducer. In addition, the irrigation time of 50 to 60 min at each of the irrigation operation gave a rapid drop of the potential to zero, resulting in over irrigation of tomatoes. There were differences in water content among the three different soil types under the variable rate irrigation, showing a range of water contents of 16 to 24%, 17 to 28%, and 24 to 32% for loamy sand, sandy loam, and loam soils, respectively. The greatest rate increase in water content was observed in the top of 10 cm depth of sandy loam soil within almost 60 min from the start of irrigation.

**Key words :** control capability, drip irrigation, greenhouse water content, soil texture, Watermark sensor

\*Corresponding author: kimhj69@snu.ac.kr

Received March 21, 2011; Revised June 21, 2011;

Accepted June 27, 2011

## 서 론

작물재배를 위한 적정 관수관리는 식물의 수분스트레스와 물 사용량을 최소화하면서 식물생장에 필요한 양만 적소·적시에 투입하는 것을 의미한다. 필요이상의 과다관수는 토양 침식을 가중시키고 물의 이동과 용탈에 의해 지표수와 지하수의 오염을 발생시킬 수 있다. 반면에 부족한 관수는 재배 작물의 생산성과 품질을 저하시킬 수 있다. 미세 또는 점적라인을 이용하는 정밀관수(Precision irrigation)기술은 작물 근권부 주변에만 물을 공급할 수 있기 때문에 토양증발 및 지하배수에 의한 손실이 적으면서 작물 생육에 필요한 양만 투입할 수 있는 장점이 있다. 하지만, 이러한 정밀관수법을 사용하기 위해서는 작물 뿌리 근처의 수분 함량을 정확하게 측정하는 센서와 작물의 생육단계별 관수시점(timing)과 관수시간(duration) 조건에 따라 펌프와 밸브의 작동을 조절하는 자동제어 기술을 필요로 한다(Fares와 Alva, 2000a; 2000b, Hansen과 Pasian, 1999).

토양 내 작물이 필요로 하는 물의 양을 측정하는 방법으로 질량 또는 용적비로 나타내는 함량 측정법과 에너지 개념, 즉 식물체 내의 물의 필요 에너지를 측정하는 퍼텐셜(potential)법이 있다. 함량 측정법은 크게 전기적인 펄스의 전송시간을 측정하는 TDR(Time Domain Reflectometry) 법과 수분 정도에 따라 토양의 유전상수 값이 바뀌어 공명 진동수 변화를 측정하는 FDR(Frequency Domain Reflectometry)법을 사용하여 토양 수분의 이동특성이나 관개패턴, 증발산 등의 연구에 광범위하게 활용된다(Hur 등, 2009). 토양 내의 수분 퍼텐셜은 일반적으로 다공성 세라믹컵과 진공 압력계로 구성된 장력계(Tensiometer)를 이용하여 측정되는데, 관개시기와 관개량을 평가하는 데 유용하여 국내 농가현장에서 필요 수분퍼텐셜의 범위를 설정하여 물의 공급량을 조절하는 자동관수 시설에 많이 사용되고 있다. 하지만, 다공성 세라믹 컵에 물을 계속적으로 채워야 하는 관리의 번거로움과 토양과의 밀착성을 견고히 해야 정확한 측정이 가능한 점, 그리고 수분퍼텐셜 측정이 가능한 범위가 0~80kPa로 비교적 좁아 건조한 지역에서 재배되는 작물에는 적용이 어려운 문제가 있다(Thompson 등, 2006).

국외의 경우 1980년대 중반부터 많은 연구자들은

워터마크(Watermark) 센서가 토양 내 수분변화에 의한 전기저항 변화가 퍼텐셜과 높은 상관(correlation)이 있어 수분퍼텐셜을 측정할 수 있으며 다공침식 수분장력계에 비해 가격이 저렴하고, 설치하기도 쉬우며 측정대역도 0~200kPa로 넓은 장점이 있어 노지에서 채소 재배를 위한 자동관수 시설에 활용이 가능하다고 보고하였다(Thomson과 Armstrong, 1987; Thomson 등, 1996; Thompson 등, 2006). 워터마크 센서의 구조는 일반적으로 공극을 가진 세라믹 주형과 그 내부에 두 전극을 포함한 입체형태의 그물망 물질로 구성되어 있으며 그 세라믹 주형은 구멍이 뚫려있는 스테인레스 케이스 안에 감싸져 있는 형태이다(Irmak와 Haman, 2001). 원리적으로 센서 내부 두 전극사이의 저항은 토양의 매트릭 퍼텐셜과 일정한 관계를 나타내며 결과적으로 워터마크센서는 텐시오미터(tensiometer)의 수분장력 값을 측정할 수 있는 방식이다. 하지만, 워터마크 센서의 저항값은 온도에 의해서도 영향을 받기 때문에 온도영향 값을 보정해야 하고 이를 위해 많은 연구자들이 다양한 캘리브레이션 식을 개발하였다(Irmak와 Haman, 2001; Thomson 등, 2006).

국내의 경우 자동관수를 위하여 토양종류 및 작물 재배 시기별 필요 관수량 처방기준에 관하여 연구가 진행되어 왔으며 최근에는 토양수분 자동제어 시스템 개발을 위한 기초 연구(Lee 등, 2008)와 수분함량 측정을 위한 상용 센서의 검증(Hur 등, 2009), 관수와 토양 건조 시 토성별 수분변화 특성 비교 연구(Kim 등, 2009) 등 정밀관수를 위한 기반연구가 활발히 진행되어 왔다. 그러나, 자동관수조건에 따른 토성별 토양수분 변화특성과 작물생육에 미치는 영향을 실험적으로 구명한 연구사례는 아직까지 보고되지 않았다.

본 연구에서는 국내의 시설 내 작물재배에 적합한 자동관수 기술을 개발하기 위한 첫 단계로 최근 보급되고 있는 워터마크 센서를 장착한 소형 컨트롤러를 작물재배에 활용하여 자동관수기술의 효용성과 개선방향을 구명하고자 하였다. 이를 위해 비닐하우스 내에 다른 토성을 갖는 토양을 격리베드에 인공적으로 조성한 후 토마토를 정식하여 일정 수분퍼텐셜 조건에서 재배하였으며 그 때의 수분 퍼텐셜의 변화와 토성별 수분함량의 시간·위치별 변이를 비교분석하였다.

**Table 1.** Textural properties of soils used in the study (reproduced from ref. Kim et al. (2009)).

| Textural class | Textural properties (%) |      |      | Bulk density<br>( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) | Porosity<br>(%, v/v) | EC<br>( $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ) | Organic<br>matter (%) |
|----------------|-------------------------|------|------|---|----------------------|---|-----------------------|
|                | Sand                    | Silt | Clay |   |                      |   |                       |
| Loam           | 27.1                    | 48.9 | 24.0 | 1.42  | $46.33 \pm 1.13$     | 0.39                                      | 0.46                  |
| Sandy loam     | 62.4                    | 28.9 | 8.7  | 1.28  | $51.70 \pm 2.32$     | 0.48                                      | 0.47                  |
| Loamy sand     | 73.8                    | 19.8 | 6.4  | 1.15  | $56.55 \pm 0.92$     | 0.44                                      | 0.27                  |

## 재료 및 방법

### 1. 실험 토양 및 수분센서 설치

실험은 선행 연구(Kim 등, 2009)에서 수행하였던 곳과 같은 장소로 국립원예특작과학원 시설원예시험장(부산광역시 소재)의 소형 비닐하우스 내에 세가지 다른 토성으로 구성된 격리베드를 설치하여 수행하였다. 사양토(Sandy loam), 양질사토(Loamy sand), 양토(Loam) 3 종류(Table 1)의 실험 토양은 약 1.5ton의 토양을 각각의 베드(1m × 3m × 0.4m, 가로 × 세로 × 높이)에 충전하여 조성하였으며 작물정식 전에 2열 점적라인을 이용하여 1주일간 지속관수 시킨 후 20일간 건조시켜 균일한 토양 다짐 조건이 되도록 하였다.

재배 작물은 Fig. 1(left)에 나타난 바와 같이 파종 후 40일 지난 토마토 모를 2열 점적라인에 인접하여 정식하였으며 관수실험은 여름철인 2010년 7월부터 9월까지 약 90일 동안 수행되었다. 점적관수에 따른 토양 내 깊이별 수분변화를 측정하기 위하여 Fig. 1(right)에 나타난 바와 같이 10, 20, 30cm 깊이의 토양수분측정이 가능한 두 개의 Sentek 축전형 수분센서(Easy Ag, Sentek Co, Australia)를 두 점적라인에

5cm 간격으로 인접하여 설치하고 두 센서 사이의 중간(20cm 간격)에 센서를 추가 설치하였다. 또한, 비닐 하우스 내의 온습도 변화를 측정하기 위하여 Vaisala 프로브(Model HMP45A/D, Helsinki, Finland)를 온실 내 작물 부근 높이 1.2m에 설치하였다.

### 2. 자동관수 및 데이터 수집

점적 관수는 Fig. 2와 같이 전기저항의 변화원리를 이용하는 워터마크(Watermark)센서(Irrrometer Co. Inc., USA)가 장착 된 소형 자동관수장치(Encosys Co., Korea)를 이용하여 관수 설정값(수분장력값)에 따라 펌프가 On/Off 되면서 물이 가변적으로 공급되도록 하였다. 실험에서 사용한 워터마크 센서(Model 200SS-V)는 기존 방식인 저항출력 값 대신 전압신호로 변환된 방식으로 온도보정이 되어 토양의 수분장력을 직접 측정할 수 있는 구조로 작물에 인접하여 깊이 20cm에 설치하였다. 사용된 소형 자동관수장치는 설정된 수분장력값과 측정된 값을 실시간으로 비교하며 설정 값 이상이 되면 펌프에 설치된 솔레노이드 밸브를 작동시켜 설정된 관수시간에 따라 물 공급이 이루어지며 다시 측정값과 설정값을 비교하여 설정 값이 도달할



**Fig. 1.** Photos of tomato plants cultivated in the experimental station consisting of three different soil types (left) and Sentek soil moisture sensors and irrigation tubes installed in each soil bed (right).

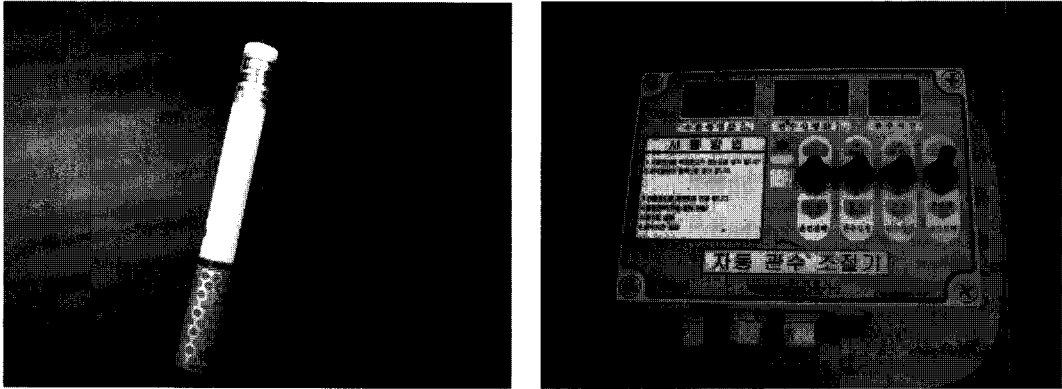


Fig. 2. Watermark 200SS-V sensor and ENCOSYS irrigation controller used in the study.

때까지 계속 관수가 진행되는 원리이다. 데이터 수집은 Sentek 수분함량 센서에서 전송되는 SDI-12 인터페이스 신호와 워터마크센서와 온습도센서에서 측정된 전압신호를 수집하는 데 적합한 DT80 범용데이터로거(DataTaker Pty Ltd, Rowville, Australia)를 사용하여 동시 수집 및 저장이 가능하도록 하였다.

본 실험에서 적용한 소형 자동관수기는 사양토 베드에서 측정된 수분퍼텐셜 값이 (-)20kPa로 되었을 때 작동하여 10초간 지속되도록 하였다. 즉, 토양이 건조하면서 수분장력이 감소하다가 (-)20kPa 이하가 되면 10초 동안 물 공급이 되고 다시 수분퍼텐셜을 측정하여 (-)20kPa 이상 조건이 될 때까지 물이 계속적으로 공급되는 방식이다. 이러한 관수조건에서 토양 내 수분함량, 수분퍼텐셜, 실내 온습도 값은 10분 간격으로 지속적으로 측정하여 로거에 저장되도록 하였다. 관수

제어기 작동기준 (-)20kPa 값은 시설재배 토마토 생육 초기에 일반적으로 적용되는 토양깊이 10cm 기준에서 (-)10~(-)12.5kPa 범위(Lee, 2009)로 설정하는 기준을 참고로 깊이 20cm 조건에 근거하여 정하였다. 토마토 재배는 일반 관행 방식과 같이 검은 비닐로 토양을 덮어 수분증발을 최소화 하였으며 생육상태를 관찰하기 위해 정식 후 20일부터 격리베드 별로 토마토를 인력으로 수확하여 무게를 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 토양 내 수분 퍼텐셜 제어 특성

여름철 비닐하우스 내 실험 토양은 Fig. 3(left)에 나타난 바와 같이 토양의 건조에 따라 시간이 지나면서 (-)수분퍼텐셜은 계속 증가하였으며 (-)20kPa 시점

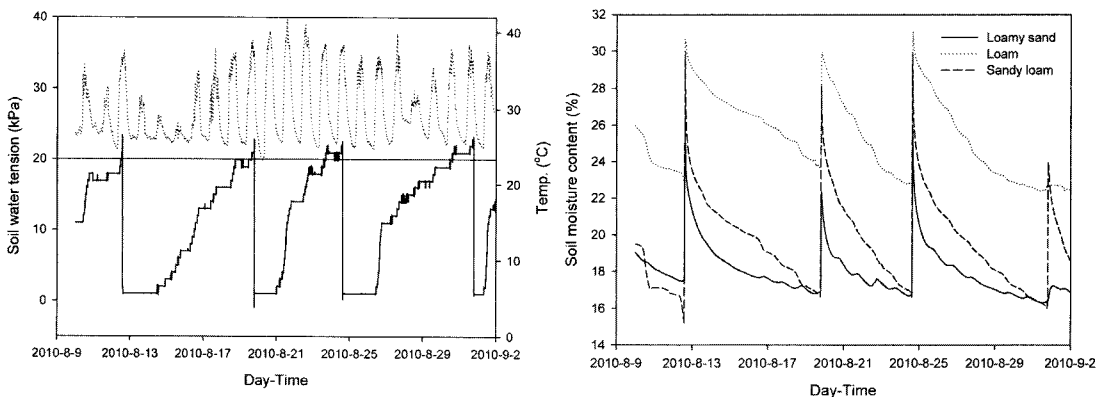


Fig. 3. Twenty-day history of water potential (left) and moisture content (right) measurements for three different soil types.

에서 관수기 작동으로 수분공급이 진행되었고 토양내의 (-)수분퍼텐셜은 급속히 감소하는 형태를 나타내었다. 물공급이 멈춘 후 약 4~7일 간 토양이 건조하면서 (-)수분퍼텐셜은 증가하고 다시 물 공급에 의해서 감소하는 것을 반복하였다. 관수간격이 일별로 차이가 발생하는 원인은 날씨조건의 차이에 의한 것으로 예를 들면, 2010년 8월 14일과 16일의 경우 강우(일일 강수량, 각각, 8.0mm, 22.0mm)로 인하여 온도가 다른 날에 비해 낮았고 일사량도 상대적으로 부족하기 때문에 관수 간격이 비교적 긴 약 7일인 반면 2010년 8월 19일과 8월 23일 중에는 비가 오지 않고 화창한 날씨가 계속되면서 상대적으로 고온인 상태가 지속되어 4일 간격의 상대적으로 짧은 관수간격을 나타내었다. 토양의 수분변화는 Fig. 3(right)과 같이 사양토의 경우 17~28%, 양토와 양질사토의 경우 각각 24~32%, 16~24%로 나타나 토성별로 수분 보유력 차이로 인하여 수분 함량 차이가 존재하는 것을 실험적으로 확인하였다. 이러한 온도 조건 변화에 따른 관수간격의 차이와 반복적으로 나타나는 유사한 수분퍼텐셜과 수분함량 반응곡선으로 부터 실험에 사용된 관수장치는 설정된 자동 관수조건에서 정상적으로 작동한 것으로 판단하였다.

하지만, 본 연구에서 적용된 Watermark 센서를 이용한 수분퍼텐셜 제어방식은 (-)20kPa 수준부근에서 지속적으로 유지되지 않고 반복적으로 0~(-)20kPa 대역에서 수분퍼텐셜이 변하는 불만족스러운 제어성능 결과를 나타내었다. 특히, 이론적으로 (-)20kPa 값보다 낮을 때 물 공급이 지속되고 (-)20kPa 보다 높을 때 관수기 작동이 멈추는 조건임에도 불구하고 점적관수는 약 50~60분 비교적 긴 시간동안 진행되면서 수분

퍼텐셜 값이 0kPa 대역부근으로 낮아져 결과적으로 수분공급이 과잉되는 문제가 나타났다. 또한, 건조 시에도 수분퍼텐셜의 변화가 연속적으로 증가하는 형태가 아닌 계단응답 반응의 형태로 변하는 불량한 측정 해상도(Resolution)를 나타내었다. 이러한 문제점은 본 연구에 사용된 워터마크 센서가 갖는 구조적인 제약점으로 인해 발생하는 것으로 판단하였다. 즉 미세한 기공(porus)을 가진 세라믹 컵 사용으로 토양과의 밀착 정도를 강하게 유지할 수 있는 다공컵식 수분퍼텐셜 측정 압력계에 비해 워터마크 센서는 구조적으로 토양과 접촉하는 세라믹 알갱이 다발에 감싸져 있어 그만큼 토양 내 수분의 퍼텐셜을 측정하는 데 어느 정도 한계점이 있는 점을 의미한다. 이러한 결론은 선행 연구결과(Thompson 등, 2006)에서도 언급되었듯이 토양과 감지부의 접촉의 한계로 수분퍼텐셜 변화에 비교적 느리게 반응하는 것과 관련된다. 결국, 워터마크 센서는 물 공급이 시작될 때 오랫동안 반응을 보이지 않다가 저항을 측정하는 전극체에 접촉이 되는 순간 급격히 변하는 형태이기 때문에 0~(-)20kPa 같은 비교적 습한 조건에서 조절되는 수분퍼텐셜 범위에서는 다공컵식 수분장력계에 비해 연속적인 수분퍼텐셜 변화 측정에는 적합하지 않는 것으로 나타났다. 결국, 워터마크 센서를 시설 재배에 효율적으로 활용하기 위해서는 토양 내 수분퍼텐셜 변화의 자체의 지연시간과 센서의 상대적인 느린 반응특성을 고려하여 관수 멈춤(pause)시간을 적용하여 일정시간 관수 후 물공급이 토양 내 작물뿌리 근처까지 도달하도록 하고, 일정시간이 지나 보다 정확한 퍼텐셜 값을 측정하여 물공급 여부를 판단토록 하는 소프트웨어적인 기술의 적용이 필요한 것으로 나타났다.

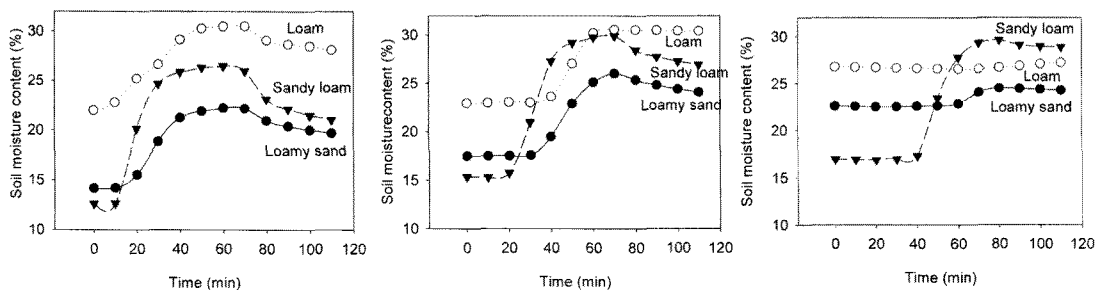


Fig. 4. Changes in water content measured in three different soil types over time elapsed after irrigation at different depths of 10 cm (left), 20 cm (middle), and 30 cm (right) from the soil surface under automatic irrigation control.

2. 자동관수에 의한 토양 내 수분 변화 특성

점적관수기 작동에 의한 토양 내의 수분변화는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 점적위치에 인접한 토양 내 수분함량은 관수 후 깊이와 토양종류에 상관없이 증가하는 경향을 나타내었다. 깊이 10cm 지점의 경우 관수 20분 후부터 세 가지 토양 모두 수분변화가 뚜렷하였으며 사양토의 경우 가장 큰 기울기를 가지면서 수분

변화가 이루어졌다. 깊이 20cm 지점의 경우에는 사양토의 경우 관수 후 20분과 30분 사이에 수분함량의 변화가 급격하였으나 양토와 양질사토는 그 변화가 크지 않았으며 관수 후 40분이 지나서야 수분의 변화가 나타나기 시작하였다. 깊이 30cm 지점의 경우 사양토는 관수 후 40분이 지나서 수분변화가 나타나 수분 도달시간과 토양 깊이는 비례적인 관계가 나타남을 확

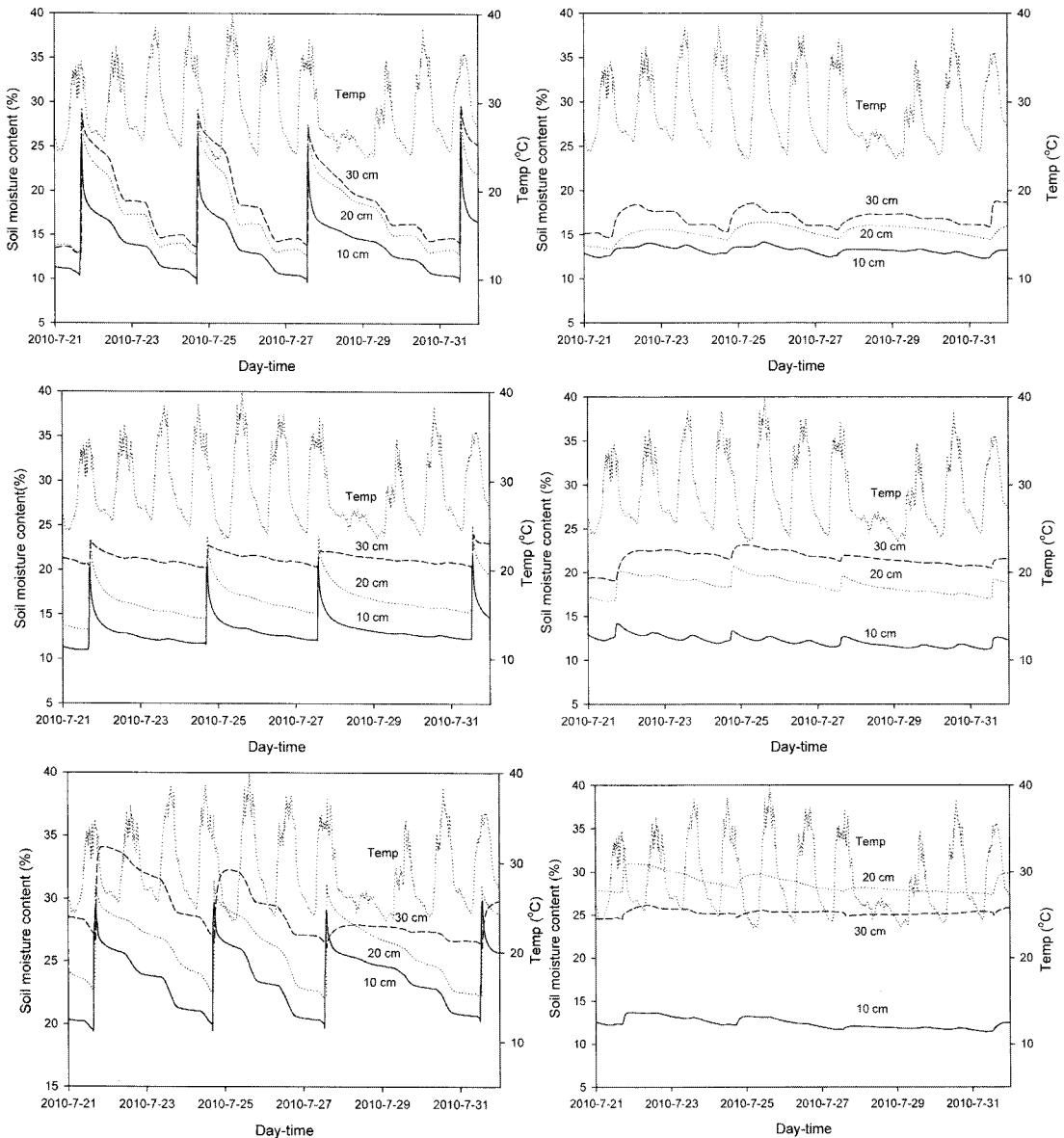


Fig. 5. Changes in water content measured close to the irrigation point (left) and at a distance of 20 cm from the irrigation point (right) in three different soil types (top: sandy loam, medium: loamy sand, bottom: loam) over time under automatic irrigation control.

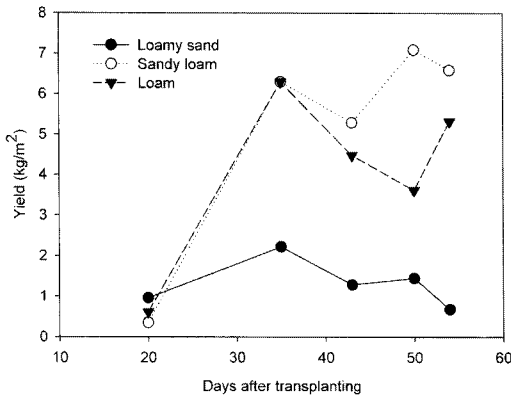


Fig. 6. Changes in yield of tomatoes grown in different soil type over time (left) and a photo of tomato plants grown in the test.

인하였다. 하지만, 양토의 경우는 30cm 깊이의 경우 수분 함량 변화는 거의 나타나지 않았다. 이러한 원인은 양토 내 점질 성분에 의한 높은 수분장력으로 깊이 30cm에 제대로 도달하지 않기 때문인 것으로 나타났다. 토성별로 깊이별 수분변화의 지연시간은 10cm, 20cm, 30cm 사이에서 대체적으로 10~30분 범위의 값을 나타내었다. 본 연구에서 이루어진 약 60분 동안의 관수와 관수가 멈추었을 때의 수분함량의 변화는 지속적으로 관수를 하였을 때의 변화를 관찰한 선행 연구결과(Kim 등, 2009)와 비교하여 관수가 멈춘 후 깊이 10cm, 20cm에서의 토양 내의 수분함량이 비교적 빠른 시간 안에 감소하는 특성을 보였다. 하지만, 30cm 깊이에서는 그 변화가 거의 없는 것으로 나타나 점적관수를 이용한 효율적인 수분제어 기술을 적용하기 어려운 깊이 인 것으로 판단하였다.

자동관수에 따른 위치별 수분변화는 Fig. 5와 같이 작물에 인접하는 위치의 경우 세가지 토양 모두 관수기 작동에 따라 수분함량은 급격히 증가하고 작동이 멈춤에 따라 일정한 반복 기울기를 가지면서 수분이 감소하는 것으로 나타났다. 토성별로 수분변화 기울기는 서로 달랐으며 양질사토의 경우 수분함량의 변화정도가 가장 높았다. 수분함량의 변화속도는 낮과 밤의 경우 시간에 따른 변화율이 달라서 반복선의 형태를 나타내었다. 이러한 이유는 낮과 밤의 일교차와 태양광 유무에 의하여 수분증발량 차이가 발생하였기 때문인 것으로 판단하였다. 작물에서 20cm 떨어진 지점의 깊이별 수분함량은 작물에 인접한 위치와 비교하였을 때 세가지 토양 모두 관수에 의한 변화정도는 미미하였다.

이러한, 결과는 작물에 인접한 곳만 수분공급이 이루어진 것을 뜻하며 점적관수 방식이 필요한 곳만 수분공급을 하는 효율적인 토양수분 관리 방법임을 나타내었다.

### 3. 자동관수에 의한 토마토 생육 특성

서로 다른 토양조건에 재배된 토마토는 Fig. 6에 나타난 바와 같이 양토와 사양토에서 정식 후 35일 경에 6kg/m<sup>2</sup> 이상의 수확량을 나타내었으며 대체적으로 4kg/m<sup>2</sup> 이상 익은 토마토가 시험토양에서 수확된 것으로 나타났다. 비록 반복실험이 없는 실험이어서 통계적으로 판단하기 어려운 결과였지만 40일 이후에는 사양토에서 자란 토마토의 수확량이 양토에서 재배된 토마토보다 많았다. 하지만, 양질사토의 경우는 정식 후 20일 경에 유사한 수확량 정도를 나타내었음에도 불구하고 25일 이후 갑작스러운 원인이 밝혀지지 않은 병으로 인하여 수확하지 못한 문제가 발생하였다. Fig. 6(right)은 오른쪽 베드에 재배되는 양질사토의 토마토 중 한쪽 열이 병 발생으로 제거된 모습을 보여준다. 따라서, Fig. 6(left)의 양질사토의 낮은 수확량은 병에 의해 토마토 생육이 올라가지 못해 그만큼 수확량이 적었다고 판단하였다. 이러한, 양질사토 내의 작물생육 문제로 인하여 추후연구에서는 토성에 따른 자동관수 조건이 작물생육에 미치는 영향을 재 구명할 필요가 있다고 판단하였다.

## 적 요

본 연구에서는 국내의 시설 내 작물재배에 적합한

자동관수 기술을 개발하기 위한 첫 단계로 전기저항의 변화원리를 이용하는 워터마크 센서를 장착한 소형 컨트롤러를 작물재배에 활용하여 자동관수기술의 효율성을 구명하고자 하였다. 이를 위해 비닐하우스 내에 다른 토성을 갖는 토양을 격리베드에 인공적으로 조성한 후 토마토를 정식하여 수분퍼텐셜을  $-20\text{kPa}$  수준으로 자동으로 조절하면서 재배하였다. 점적관수에 따른 토양 내 깊이별 수분변화는 Sentek 축전형 수분센서를 이용하여 측정하였다. 워터마크센서를 이용한 수분퍼텐셜 제어성능은  $(-20\text{kPa}$  수준부근에서 유지되지 않고 반복적으로  $0\sim(-20\text{kPa}$  대역에서 높은 변화 값을 나타내어 안정적이지 못한 것으로 나타났다. 특히, 물 공급은 관수시마다 약 50~60분 비교적 긴 시간동안 진행되어 수분공급이 과잉되는 문제가 나타났으며 건조시에도 수분퍼텐셜의 변화가 계단응답 반응의 형태로 변하는 불량한 측정해상도를 나타내었다. 이러한 문제는 워터마크센서의 토양과 전극 접촉형태가 다공질식 수분장력계에 비해 수분값에 연속적으로 반응할 수 없는 구조이기 때문인 것으로 판단하였다. 자동관수에 따른 토양종류별 수분변화는 그 기온기가 토성별로 서로 달랐으며 양질사토의 경우 수분함량의 변화정도가 가장 높았다. 수분함량의 변화속도는 낮과 밤의 경우 시간에 따른 변화율이 달라서 변곡선의 형태를 나타내었다. 이러한 이유는 낮과 밤의 일교차와 태양광 유무에 의하여 수분증발량 차이가 발생하였기 때문인 것으로 판단하였다. 작물에서 20cm 떨어진 지점의 깊이별 수분함량은 작물에 인접한 위치와 비교하였을 때 세가지 토양 모두 관수에 의한 변화정도는 미미하여 작물에 인접한 곳만 수분공급이 효율적으로 이루어지는 것을 확인하였다. 추후 연구에서 양질사토 베드에서 관찰된 토마토 생육 불량 문제 개선과 관수멈춤 시간을 적용하여 물공급의 과잉 문제를 해결하는 보완실험이 요구되었다.

**주제어** : 수분함량, 워터마크센서, 자동관수, 제어컨트롤러, 토성, 토양수분퍼텐셜

## 인 용 문 헌

1. Fares, A. and A.K. Alva. 2000a. Evaluation of capacitance probes for optimal irrigation of citrus through soil moisture monitoring in an entisol profile. *Irrig. Sci* 19:57-64.
2. Fares, A. and A.K. Alva. 2000b. Soil water components based on capacitance probes in a sandy soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:311-318.
3. Hansen, R.C. and C.C. Pasian. 1999. Using tensiometers for precision microirrigation of container-grown roses. *Appl. Eng. Agric.* 15(5):483-490.
4. Hur, S.O., S.K. Ha, and J.G. Kim. 2009. Verification of TDR and FDR sensors for volumetric soil water content measurement in sandy loam soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42(2):110-116(in Korean).
5. Irmak, S. and D.Z. Haman. 2001. Performance of the Watermark granular matrix sensor in sandy soils. *Appl. Eng. Agric.* 17(6):787-795.
6. Kim, H.J., D.W. Son, S.O. Hur, M.Y. Roh, K.Y. Jung, J.M. Park, J.Y. Rhee, and D.H. Lee. 2009. Comparison of wetting and drying characteristics in differently textured soils under drip irrigation. *J. Bio-Env. Con.* 18(4):309-315(in Korean).
7. Lee, D.H., K.S. Lee, and Y.C. Chang. 2008. Development of an automatic water control system for greenhouse soil water content management. *J. Biosys. Eng.* 33(2):115-213(in Korean).
8. Lee, B.I. 2009. Protected horticulture, pp. 187-189. Hyangmoon Sa, Seoul, Korea(in Korean).
9. Thompson, R.B., M. Gallardo, T. Aguera, L.C. Valdez, and M.D. Fernandez. 2006. Evaluation of the watermark sensor for use with drip irrigated vegetable crops. *Irrig. Sci.* 24:185-202.
10. Thomson, S.J., T. Younos, and K. Wood. 1996. Evaluation of calibration equations and application methods for the Watermark granular matrix soil moisture sensor. *Appl. Eng. Agric.* 12(1):99-103.
11. Thomson, S.J. and C.F. Armstrong. 1987. Calibration of the Watermark model 200 soil moisture sensor. *Appl. Eng. Agric.* 3(2):186-189.