

## 시설팍고추 재배에서의 지중관수 및 공기주입 효과

권준국<sup>1\*</sup> · 강남준<sup>1</sup> · 조명환<sup>1</sup> · 강윤임<sup>1</sup> · 박경섭<sup>1</sup> · 이재한<sup>2</sup>

<sup>1</sup>국립원예특작과학원 시설원예시험장, <sup>2</sup>국립원예특작과학원 원예기획조정과

## Effects of Subsurface Drip Irrigation and Aeration in Green Pepper Cultivation

Joon Kook Kwon<sup>1\*</sup>, Nam Jun Kang<sup>1</sup>, Myeomg Whan Cho<sup>1</sup>,  
Yun Im Kang<sup>1</sup>, Kyoung Sub Park<sup>1</sup>, and Jae Han Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Protected Horticulture Research Station, NIHHS, RDA, Busan 618-300, Korea

<sup>2</sup>Planning & Coordination Division, NIHHS, RDA, Suwon 440-706, Korea

**Abstract.** ‘Nokkwang’ green pepper plants were grown in soil system (silty loam with pH 6.5) under the greenhouse, to determine the effects of subsurface drip irrigation (SDI) and subsurface drip irrigation plus aeration (SDIA) into root zone comparing with conventional surface drip irrigation (DI) in terms of water use efficiency, soil properties, and growth and fruit yield. Two drip lines per crop row were laid on the soil surface in DI system, buried at a depth of 20cm below the soil surface in SDI system, and also buried at a depth of 20cm below the soil surface and aerated for 3minutes a hour during the daytime (08:00~19:00) by a air compressor in SDIA system. A automatic irrigation with starting point of -20kPa and ending point of -10kPa based on soil moisture contents was applied by controllers and electronic vacuum soil moisture sensors. Reduction in soil moisture contents was delayed in SDI and SDIA, compared to DI. Irrigation amount applied in pepper cultivation was around 30% less in SDI than in DI. Electric conductivity and nitrate nitrogen content in the surface soil grown green pepper were significantly lowered in SDI and SDIA, compared to DI. Better development of root system was observed in SDIA and SDI than in DI. Results showed that pepper fruit yield increased by 30% in SDIA and 22% in SDI in comparison with DI.

**Key words :** subsurface drip irrigation, aeration, green pepper, automatic irrigation

### 서 언

인구증가와 산업화에 따라 국내의 수자원 부족량은 2011년에 3.4억톤으로 예상하고 있으며, 수자원 부족의 중요한 요인이 되는 농업용수는 전체 수자원의 47%(160억톤, '07)나 차지하고 있어 농업용수의 절감 기술 등에 대한 관심이 높아지고 있다.

농작물 중에서 채소, 화훼 등 원예작물의 재배시설은 강우가 차단된 데다가 외기에 비해 기온이 월등히 높아 증발산량이 많으므로 다른 작물에 비해 물 소비량이 많다(Kim 등, 2005). 이들 작물의 관수는 주로 점적호스나 분수호스로 관수하는 것이 대부분인데 이

러한 관수방법은 토양의 지표면에 관수함으로써 증발산량의 손실이 많고 뿌리가 분포해 있는 곳까지 용수가 공급되지 않는 등의 문제점이 있다(Ayars 등 1999; Kim 등, 2005). 최근 지표관수의 단점을 개선하고 농업용수를 절감하기 위한 방법으로 지중관수가 긍정적으로 검토되고 있으며 이에 대한 관심도 높아지고 있다.

지중관수는 토심 20~30cm에 관수호스를 매설하여 관수하는 방법으로 1971년경 도입 초기에는 관수호스 구멍이 막히거나 뿌리가 관수호스를 막는 등의 문제점이 있어 실용화되지 못했으나 최근에는 성능이 우수한 관수자재가 개발되는 등 문제점이 보완되어 실용화 연구가 진전되고 있다(Ayars 등, 1999). 지중관수는 관수호스를 철거하지 않고 계속 사용할 수 있고, 지표에 설치했을 때보다 포장관리가 용이하고 잡초발생이 감

\*Corresponding author: theehc@rda.go.kr  
Received August 7, 2009; Revised August 18, 2009;  
Accepted September 18, 2009

소되며, 또한 지표층에서의 수분 증발이 적고 지표관수보다 관수한 수분이 넓게 퍼짐으로써 물의 이용률이 높은 이점이 있는 것으로 알려져 있다(Haley, 2004; Kim 등 2005; Ng, 2002). 그래서 강수량이 적고 물이 부족한 국가를 중심으로 농업용수를 절감하기 위한 농법으로 농작물 재배에 지중점적관수 시스템의 도입이 늘어나고 있는 추세에 있다(Ayars 등, 1999; Jianjun, 2003; Patel 등, 1999). 한편 토양의 공극률을 높이고 통기성을 좋게 하여 작물의 뿌리생육을 촉진시키고자, 지중관수시스템을 이용하여 작물 근권부에 산소를 공급하려는 여러 가지 연구가 이루어지고 있다(Bhattarai 등, 2006; Isram 등, 1998; Kim 등, 2005; Su 등 2005).

본 연구는 시설팻고추 재배에서 지중점적관수와 공기주입이 관수량, 토양 물리화학적 및 작물 생육과 수량 등에 어떠한 영향을 미치는 가를 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 시험작물 및 재배관리

시험작물로 ‘녹광’ 풋고추(Seminis Korea)를 2005년 3월 10일에 50공 트레이에 파종하여 4월 20일에 이랑 너비 120cm, 포기사이 50cm 간격으로 유리온실 내 배수가 잘되는 미사질양토(silty loam)에 정식하였다. 정식 전에 토양검정을 실시하여 그 결과에 의거하여 부숙시킨 퇴비와 기비를 사용하고 로터리작업을 하여 이랑을 만든 다음 녹색비닐로 멀칭하였다. 정식 이후 작물 생육상태를 감안하여 액비를 수시로 사용하였고, 병해충 방제를 위하여 살충제 및 살균제를 살포하였다. 풋고추 과실은 6월 15일부터 8월 31일까지 주 1~2회 수확하였다.

### 2. 관수방법 및 공기주입

처리는 지표점적관수, 지중점적관수, 지중점적관수 + 공기주입의 3가지 방법을 비교하였다. ① 지표점적관수는 점적구(dripper) 간격이 20cm이고 직경이 16mm인 압력보상형 점적호스(Uniram, Netafim)를 이랑 위에 2열/이랑 배열한 후 비닐멀칭을 하였고, ② 지중점적관수는 지표관수와 동일한 점적호스를 지표아래 20cm 깊이에 관리기를 이용해 골을 판 다음 점적호스를 2열/이랑 깔고 흙으로 덮어 지표면을 평평하게 한 후 비

닐멀칭하였다. ③ 지중관수 + 공기주입 처리는 지중점적관수와 함께 공기압축기(air compressor 0.75HP)를 이용해 점적호스에 주기적으로 공기를 분사해 주었다. 이때 압축기의 튜브를 지중점적 관수파이프의 입구에 연결하고 controller(Meteor, Netafim)를 이용해 낮 동안(08:00~19:00)에 시간당 3분간 근권부에 공기가 유입되도록 조절하였다. 작물 근권부로의 공기 주입은 공기만을 직접 주입하는 방법과 공기 주입한 물을 관수하는 방법이 있는데 본 연구에서는 보다 적용하기 쉽고 간단한 전자의 방법을 이용하였는데 이것은 분사한 공기가 굴뚝효과에 의해 근권부 밖으로 다소 이동할 가능성이 있다(Bhattarai 등, 2004).

### 3. 토양수분 관리 및 관수량 측정

관수는 전자식 토양수분장력센서(Gare37310, Sdec-France), 콘트롤러(RICH-5330, Agronet), 관수모터(1HP), 전자밸브(25mm), 타이머 등을 이용해 토양수분에 기초한 자동관수를 실시하였다. 이때 관수개시점은 -20kPa, 관수종료점은 -10kPa로 설정하여 토양수분을 관리하였고, 토양수분장력센서는 점적호스와 점적호스 사이 중간지점의 지표아래 20cm 깊이에 센서가 위치하도록 설치하였다. 관수량 측정은 물탱크의 물이 나가는 출구에 유량측정계(UltraTech, Korea)를 부착하여 매일 및 누적 관수량을 조사하였다.

### 4. 온실환경 관리 및 측정

온실 내 환기, 차광, 난방 등은 하우스마스터 controller(DTW7A, E-Tech)를 이용하여 온도와 시간을 기준으로 외기온과 생육단계에 따라 조절하여 관리하였다. 시설 내 기온과 지온은 HOBO 온도센서(HOBO Inc.)를 온실당 1개씩 설치하고 시험기간 동안 1시간 간격으로 측정·저장하여 컴퓨터로 부터 download하여 평균값을 나타내었다. 기온은 온실지면에서 약 1.0m 높이에, 지온은 토심 15cm 지점에 측정센서를 설치하여 측정하였다.

### 5. 토양환경, 작물 생육 및 수량 조사

토양 화학성은 작물 수확이 끝난 후 토양 깊이별(지표, 지표아래 10cm와 20cm)로 EC 수준과 무기이온 함량을 분석하였다. 토양 내 질소와 인산은 시료 10g을 칭량하여 침출액으로 침출한 후 질소는 간이 증류

법으로 분석하였고, 인산은 Vanadate법으로 분해하여 비색계(UV/VIS spectrophotometer, Lamdda 18, Perkin Elmer)를 이용하여 측정하였다. 그리고 K, Ca 및 Mg는 tenery solution으로 분해한 후 원자흡광분광광도계(atomic absorbtion spectrophotometer 3300, Perkin Elmer)로 분석하였다. 팻고추 뿌리의 길이 및 무게는 재배를 끝낸 후에 조사하였으며, 팻고추의 생육, 과실수량(과실수, 무게) 등은 처리당 20주(반복당 5주)를 조사하여 평균치를 구하였다.

6. 시험구 배치 및 데이터 분석

시험은 300m<sup>2</sup> 크기의 양지붕형 유리온실을 3구역으로 나누어 3처리를 두고, 한 처리면적(100m<sup>2</sup>)에 완전임의배치법 4반복으로 이랑을 배치하여 수행하였다. 통계처리는 SAS statistical package(SAS Institute, 2004)를 이용하여 Duncan의 다중검정(P < 0.05)으로 평균치의 유의성을 나타내었다.

결과 및 고찰

Fig. 1은 토양수분장력센서와 controller 등을 이용하여 토양수분함량이 거의 동일한 시점에 관수를 시작하여 토양수분함량이 -10kPa에 도달했을 때 관수를 종료한 다음 그 이후 10일 간의 토양수분함량 변화를 조사한 것이다. 토양수분의 감소속도는 지중관수한 것과 지중관수와 근권부에 공기주입을 동시에 한 것에 비해 지표관수가 빨랐는데, 이는 지표관수한 것이 토양 표면에 관수함으로써 지중관수에 비해 지표면에서의 수

분증발이 상대적으로 많이 이루어지기 때문인 것으로 판단되었다. 이것은 관수한 물의 습윤패턴 차이와도 관련이 있다고 한다(Kim 등, 2005). 즉 지중관수는 토양 내부에 관수되므로 토양압력과 중력에 의해 토양주변으로 자유로이 이동되어 확산영역이 커지게 되는데 반하여, 지표관수는 토양압력과 중력에 의해 이동되기는 하나 지표면 위로 이동될 수 있는 삼투에너지가 작용될 수 없어 관수지점이 과습한 상태로 되는데 이것은 결국 공기 증으로 증발되어 수분의 손실을 가져오게 된다는 것이다(Kim 등, 2005). 따라서 지표관수는 지중으로 이동되기도 하지만 공기 중 증발로 인해 지표면이 건조해지면서 지중의 수분이 지표면으로 이동되기 때문에 토양수분의 감소가 빨라진다고 생각된다.

관수방법 간의 누적관수량을 비교해 본 결과, 지표관수에 비해 지중관수가 30%, 지중관수+공기주입이 28% 각각 적었다(Fig. 2). 이러한 요인은 기본적으로 지중관수에 비해 지표관수가 지표면에서의 수분증발량이 많기 때문이라고 판단된다. 이와 관련하여 Kim 등(2005)은 지표관수는 토양의 습윤영역이 제한적이고 공기 증으로 증발되는 점을 감안할 때 관수량의 약 50%가 손실되고, 지중관수가 지표관수에 비해 지중의 습윤체적이 약 2배 넓어 관수효율이 약 25% 높다고 보고하였는데 본 연구결과와 유사하였다. 또한 Gencoglan 등(2006)은 녹두재배에서 지중관수는 지표관수에 비해 16%의 용수절감 효과가 있었다고 보고하였다. 한편 토양수분함량을 기준으로 하여 자동관수를 할 때, 지중관수는 관수한 물이 토양수분장력센서가 위치한 토심 20cm 부위에 빨리 도달하지만 지표관수는 지하로의 수분이동이 상대적으로 늦어 관수시간이 다소 더 길어져 관수량이 다소 많았을 것으로 생각되었

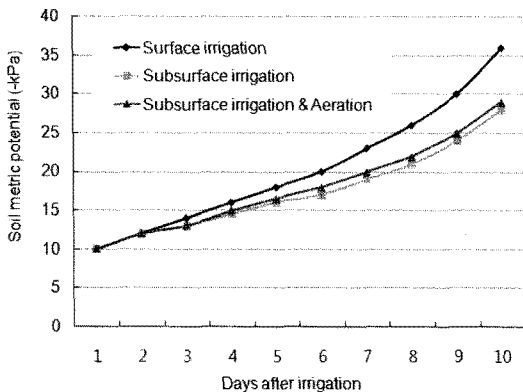


Fig. 1. Changes in soil metric potential under different irrigation systems in green pepper cultivation.

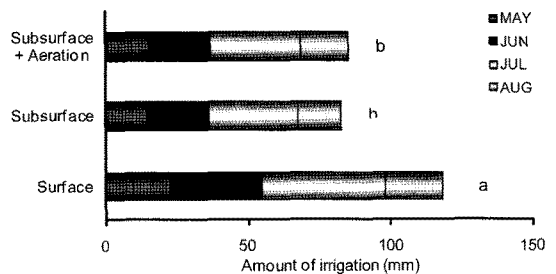


Fig. 2. Comparison of irrigation amount applied for four months under different irrigation systems in green pepper cultivation.

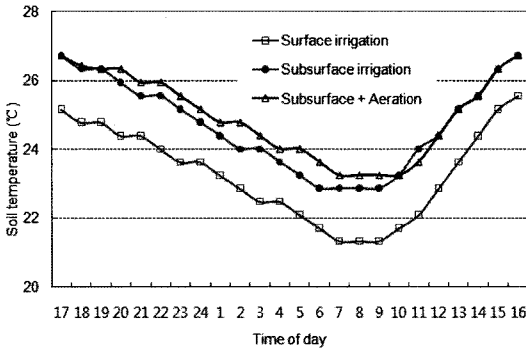


Fig. 3. Changes in soil temperature at a depth of 10cm below the soil surface under different irrigation systems in green pepper cultivation.

다. 이 외에도 Ayars(2001), Enciso(2007), Lindblom(2007) 등 많은 연구자들이 지표관수에 비해 지중관수가 뚜렷한 농업용수 절감효과 있음을 보고하고 있다.

관수방법 간의 평균지온(Fig. 3)은 지중관수에 비해 지표관수가 약 1°C 낮았는데 이는 지표관수가 관수

회수와 관수량이 다소 많아서 지온 저하를 초래하였기 때문인 것으로 추정되었다.

꽃고추 재배가 끝난 후 관수방법 간에 토양깊이별 EC 및 무기이온 함량을 조사한 결과(Table 1), 토양깊이 간에는 표토층이 토심 10cm와 20cm 지점보다 높았고, 토심 20cm 지점이 가장 낮은 수준이었다. 이는 토양 속에 남아있는 무기이온이 모세관현상으로 상승하는 수분과 함께 표토로 이동하기 때문인 것으로 시설토양의 전형적인 특성이라고 할 수 있다(Ayars, 1999; Phene, 1995). 이러한 현상은 특히 지표관수에서 현저하게 나타났는데, 표토의 EC, Ca, NO<sub>3</sub>-N 등은 지중관수보다 지표관수에서 높았다. 한편 토심 10cm나 20cm 위에서는 관수방법 간에 약간의 차이는 있었으나 통계적 유의성은 없었다. 본 결과를 고려해 볼 때 지표관수에 비해 지중관수한 것이 토양 내 염류집적이 다소 감소됨을 알 수 있었다. 이와 관련하여 Hanson 등(2004)도 지중점적관수가 스프링클러에 의한 지표관수에 비해 토양 EC가 낮고, 지중점적관수

Table 1. Chemical properties of the soil grown green pepper over five months under different irrigation systems.

Soil position	Irrigation system	EC (dS/m)	Ex. cations(cmol/kg)			NH <sub>4</sub> -N (mg/kg)	NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)
			Ca	Mg	K		
Top soil layer	Surface	5.60 a	10.52 a	2.17 a	0.26 b	21.9 a	354.1 a
	Subsurface	3.01 b	7.35 b	1.89 a	0.49 a	21.8 a	208.8 b
	Subsurface + Aeration	1.40 c	8.17 b	1.85 a	0.26 a	20.1 a	181.6 b
Depth of 10cm	Surface	1.48 a	5.41 a	1.57 a	0.18 a	5.4 a	108.9 a
	Subsurface	1.63 a	6.36 a	1.80 a	0.16 a	6.7 a	86.7 b
	Subsurface + Aeration	1.20 a	5.92 a	1.42 a	0.12 a	5.4 a	91.9 b
Depth of 20cm	Surface	1.40 a	5.88 a	1.62 a	0.11 a	4.8 a	72.4 a
	Subsurface	1.28 a	6.15 a	1.50 a	0.09 a	4.9 a	61.6 a
	Subsurface + Aeration	1.05 b	5.82 a	1.35 a	0.09 a	4.4 a	66.8 a

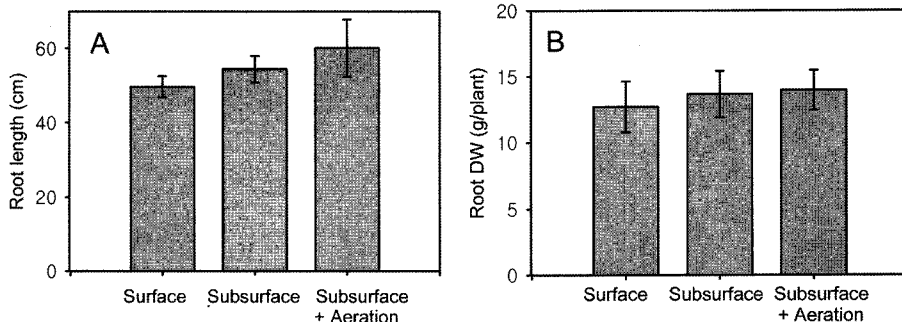


Fig. 4. Root length (A) and root weight (B) of green pepper grown at different irrigation systems.

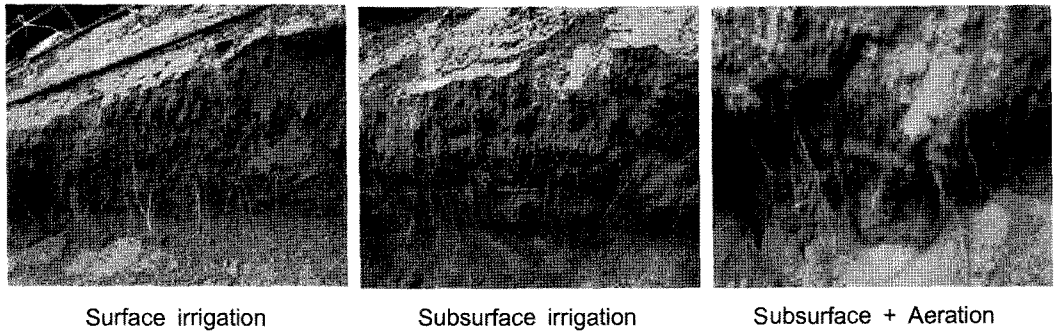


Fig. 5. A cross section view of the soil grown green pepper under different irrigation systems.

의 경우 EC 수준은 토심이 깊은 곳이 낮고 표층에 가까울수록 증가하였다고 보고하였는데 본 결과와 유사하였다.

Fig. 4는 풋고추재배 후 뿌리의 길이와 무게를 조사한 것이다. 공기주입 지중관수한 것이 뿌리의 길이와 무게가 가장 길고 무거웠고 지중관수한 것도 지표관수에 비해 뿌리 발육이 좋았다. 특히 공기주입하거나 지중관수한 것이 뿌리의 무게보다는 길이가 길었고, 토양 단면 관찰(Fig. 5)에서도 지중관수호스 주위에 세근의 생성이 많음을 알 수 있었다. 이는 지중관수와 공기주입을 함으로써 세근이 자라는 영역까지 수분과 양분이 적절하게 공급되고 통기성이 좋아져 뿌리의 발육이 촉진된 것으로 분석되었다. 이와 관련하여 Bhattarai 등(2006)은 지중관수와 공기주입을 함으로써 지표관수에 비해 토마토의 뿌리 길이와 무게가 15~20% 증가되고 지상부 생육이 촉진되며 개화 및 착과시기가 크게 단축되었다고 보고하였다. Islam 등(1998)도 당근재배 토양에 플라스틱튜브를 이용하여 공기주입을 함으로써

당근의 건물중이 1.7배 무거웠고, 뿌리길어도 최대 1.8배 길었다고 보고한 바 있다.

기본적으로 고추는 뿌리가 얇게 분포하는 친근성으로 토양수분이 적당하고 통기성이 좋아야 잘 자라는 것으로 알려져 있는데, 본 연구를 토대로 토양수분량에 기초한 자동관수에 의해 근권부에 적당한 수분을 공급하고 통기성을 개선함으로써 뿌리를 깊게 뻗게 하여 작물 생육을 촉진시킬 수 있음을 알 수 있었다.

관수방법 및 공기주입에 따른 풋고추의 과실 수량은 Fig. 6과 같다. 지표관수에 비해 과실수량이 지중관수가 22%, 지중관수+공기주입이 30% 많았다. 풋고추의 과실 수량이 증가된 것은 작물체의 세근까지 적절하게 수분과 양분이 공급되어 뿌리의 발육과 작물체 전반적인 생육이 양호하였기 때문인 것으로 생각되었다. Bhattarai 등(2006)은 염류가 집적된 토양에 지중관수와 공기주입을 함으로써 토마토 수량이 38% 증가하였다고 하였으며, Yun 등(2007)은 포도재배에 토양수분 감응형 지중점적관수를 적용함으로써 관수량 절감은 물

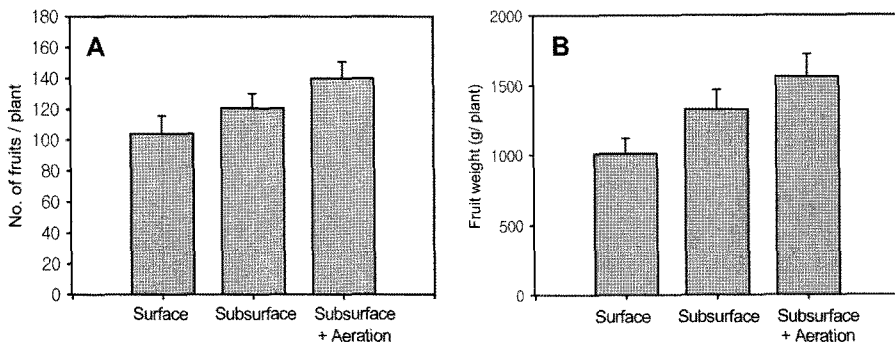


Fig. 6. The number of fruits (A) and fruit weight (B) of green pepper harvested for three months (from June to August) under different irrigation systems.

론 열과 방지, 품질 향상 및 잡초 억제 등의 효과가 있다고 하였다. 또한 지중관수에 의한 토마토(Phene 등, 1987), 알팔파(Hutmacher 등, 1996), 목화(Ayars 등 1999) 등의 수량증가에 관한 다수의 연구가 보고 되었다.

## 적 요

지표관수와 비교하여 지중관수 및 지중관수 시 공기 주입의 효과를 검토하고자 ‘녹광’ 풋고추를 온실 내에서 토양재배(silty loam) 하여 관수효율, 토양특성, 과실 생육 및 수량 등을 조사하였다. 관수방법은 관수호스를 이랑당 2열 배열하되 지표관수는 토양표면, 지중관수는 지표 20cm 아래에 설치하였고, 공기주입은 air compressor를 이용하여 낮 동안에 시간당 3분간 주입하였다. 관수는 콘트롤러, 전자식 토양수분장력센서 등을 이용, 토양수분에 기초한 자동관수를 실시하였는데, 관수개시점은 -20kPa, 관수종료점을 -10kPa로 설정하여 관리하였다. 그 결과, 토양수분의 감소속도가 지표관수에 비해 지중관수와 지중관수 + 공기주입이 늦었으며, 관수량도 지중관수가 지표관수에 비해 지표면에서의 증발 감소 등으로 약 30% 적었다. 표토층의 EC 및 무기이온함량은 지표관수에 비해 지중관수나 지중관수 + 공기주입이 낮은 수준이었다. 뿌리의 발달은 지표관수에 비해 지중관수+공기주입한 것이 가장 좋았는데, 특히 뿌리가 길고 세근의 발달이 많았다. 이로 인해 풋고추 수량이 지표관수에 비해 지중관수가 22%, 지중관수 + 공기주입이 30% 각각 증가되었다.

**주제어** : 지중점적관수, 공기주입, 풋고추, 자동관수

## 인 용 문 헌

1. Ayars, J.E., C.J. Phene, R.B. Hutmacher, K.R. Davis, R.A. Schoneman, S.S. Vail, and R.M. Mead. 1999. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the water management research laboratory. *Agricultural Water Management* 42:1-27.
2. Ayars, J.E., R.A. Schoneman, F. Dale, B. Meso, and P. Shouse. 2001. Managing subsurface drip irrigation in the presence of shallow ground water. *Agricultural Water Management* 47:243-264.
3. Bhattarai, S.P., S. Huber, and D.J. Midmore. 2004. Aerated subsurface irrigation water gives growth and yield benefits to zucchini, vegetable soybean and cotton in heavy clay soils. *Ann. Appl. Biol.* 144:285-298.
4. 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* 108:278-288.
5. Enciso, J., J. Jifon, and B. Wiedenfeld. 2007. Subsurface drip irrigation of onions: Effects of drip tape emitter spacing on yield and quality. *Agricultural Water Management* 92:126-130.
6. Gencoglan, C., H. Altunbey, and S. Gencoglan. 2006. Response of green bean (*P. vulgaris* L.) to subsurface drip irrigation and partial rootzone-drying irrigation. *Agricultural Water Management* 84:274-280.
7. Haley, T.B. and D.W. Reed. 2004. Optimum potassium concentrations in recirculating subirrigation for selected greenhouse crops. *Hortscience* 39:1441-1444.
8. Hanson, B. and D. May. 2004. Effect of subsurface drip irrigation on processing tomato yield, water table depth, soil salinity, and profitability. *Agricultural Water Management* 68:1-17.
9. Hutmacher, R.B., R.M. Mead, and P. Shouse. 1996. Subsurface drip: Improving alfalfa irrigation in the west. *Irrig. J.* 45:48-52.
10. Islam, S., Y. Kitaya, H. Hirai, M. Yanase, G. Mori, and M. Kiyota. 1998. Growth characteristics and yield of carrots grown in a soil ridge with a porous tube for soil aeration in a wet lowland. *Scientia Horticulturae* 77:117-124.
11. Jianjun, C., C.B. Richard, T.H. Yeager, R.H. Stamps, and L.A. Felter. 2003. Evaluation of captured rainwater and irrigation runoff for greenhouse foliage and bedding plant production. *Hortscience* 38:228-233.
12. Kim, J.H., C.S. Kim, T.W. Kim, and J.H. Hong. 2005. *J. Biosystems Engineering* 30:102-109.
13. Lindblom, J. and B. Nordell. 2007. Underground condensation of humid air for drinking water production and subsurface irrigation. *Desalination* 203:417-434.
14. Ng, H.Y.F., C.S. Tan, C.F. Drury, and J.D. Gaynor. 2002. Controlled drainage and subirrigation influences tile nitrate loss and corn yields in a sandy loam soil in Southwestern Ontario. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 90:81-88.
15. Patel, R.M., S.O. Prasher, D. Donnelly, R.B. Bonnell, and R.S. Broughton. 1999. Subirrigation with brackish water for vegetable production in arid regions. *Bioresource Technology* 70:33-37.
16. Phene, C.J., K.R. Davis, R.B. Hutmacher, and R.L. McCormick. 1987. Advantage of subsurface drip irrigation for processing tomatoes. *Acta Hort.* 200, 101-113.
17. Phene, C.J. 1995. The sustainability and potential of subsurface drip irrigation. *Proc Fifth Int Microirrig Congr Orlando, Florida ASAE Publ* 4:359-368.

시설팻고추 재배에서의 지중관수 및 공기주입 효과

18. Su, N. and D.J. Midmore. 2005. Two-phase flow of water and air during aerated subsurface drip irrigation. *Journal of Hydrology* 313:158-165.
19. Yun, S.K., J.B. Kim, M.S. Ryou, S.J. Park, B.S. Yoo, Y.S. Park, K.B. Kweon, and Y.C. Kim. 2007. Effect of water sensing and underground system on the fruit quality and cracking of grape berries. *Korean Journal Horticultural Science & Technology* 25 (Supplement): 96.