

무계측 자동제어형 관수튜브 개발에 관한 기초연구

A Fundamental Study on the Development of Automatic Irrigation Tube without Instrumentation System

남 상 운

충남대학교 농업생명과학대학 농업공학부

Nam, Sang-Woon

Dept. of Agricultural Eng., Chungnam National Univ., Daejeon, 305-764

서 론

우리 나라 농업에서 시설농업이 차지하는 비중과 수출농업에서의 역할은 날로 증가하고 있다. 그리고 최근의 농업분야에서는 환경오염 최소화를 위한 정밀농업에 대한 관심이 고조되고 있다. 원예상품의 품질향상은 광, 온도, 습도, 토양수분, 탄산가스 등과 같은 환경의 효율적인 제어 없이는 불가능하며, 특히 효율적인 수분관리는 우수한 상품 생산의 필수적인 요소이다. 또한 농업인력의 노령화가 심각한 현실에서 노동력의 절감을 위하여 수분관리의 생력화와 자동화가 절실히 요구되고 있다.

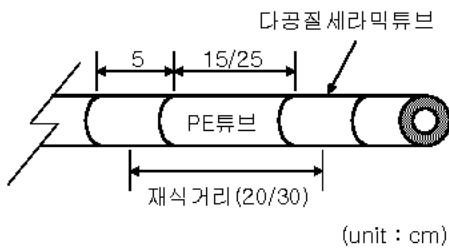
최근의 조사에 의하면 대부분의 온실재배에서 작물의 요구량 보다 많은 물을 공급하는 것으로 보고하고 있다. 작물이 이용하고 남은 물은 지하로 스며들거나 하천으로 유출되며, 이와 같은 초과 유출수에는 다량의 N, P등이 포함되어 있으며 이들은 재이용되는 경우도 있지만 대부분 하천이나 지하수로 유입되어 환경오염을 유발시키게 된다. 물부족과 환경오염의 극복을 위한 양액, 비료, 물 등의 최소공급과 완전소비 시스템의 구축이 필요하다. 환경친화적인 시스템으로 가기 위해서는 작물의 수분 요구량에 기초한 물 공급이 이루어져야 한다. 그러나 지금은 대부분 재배자의 경험에 따라 타이머 등에 의한 물 공급의 제어가 이루어지고 있는 실정이다. 최근에 조금 진전된 기술로써 적산일사량에 기초한 관수제어나 토양수분 계측에 의한 제어가 이루어지고 있으나, 시설 내부에서는 일사량이 균일하지 않기 때문에 적산일사량에 의한 제어는 부정확하고, 또한 제어시스템이 고가여서 일반농가에는 널리 보급되지 못하고 있다. 토양수분 계측에 의한 제어는 토양수분 측정의 기술적 불완전과 대표적인 계측점을 찾기가 곤란하므로 영농현장에서의 사용에 제한을 받고 있다.

시설의 환경제어는 계측을 기본으로 하지만 토양수분의 경우 계측시스템은 부정확한 기술적 문제를 안고 있으며 또한 시설내의 대표 값을 찾기 위해서는 많은 계측 포인트를 선정해야 하고 그로 인한 비용의 증가는 제어시스템의 경제성을 떨어뜨리는 문제가 있다. 이를 극복하기 위한 방안으로 토양의 수분장력(soil water tension)을 활용할 수 있을 것으로 생각한다. 작물이 필요한 수분을 흡수하면 토양의 함수율이 떨어지므로 수분장력이 증가하게 되는데, 그 힘을 이용하면 토양수분의 계측 없이 또한 물 공급을 위한 동력 없이도 자동으로 수분을 공급할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 토양의 수분장력과 다공질 세라믹 튜브의 투수율 특성을 이용한 무계측 자동 관수시스템의 개발을 최종 목표로 토양수분장력과 세라믹튜브의 투수특성에 관한 기초실험을 실시하였다.

재료 및 방법

1) 무계측 자동 관수시스템의 구성

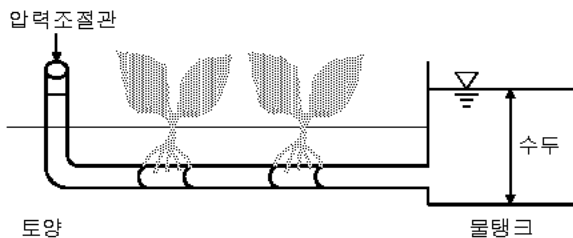
토양수분이나 기타 환경요인의 계측시스템과 연계시키지 않고, 컴퓨터와 같은 제어시스템 없이 작물의 요구량에 따라 자동으로 물을 공급할 수 있는 관수시스템을 개발하는 것이 목표이다.



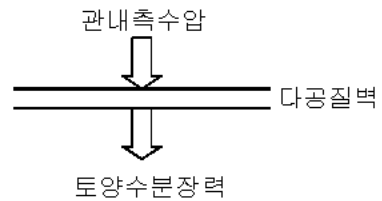
<그림 1> 자동 관수튜브의 모식도

사용재료는 PE튜브와 미세 다공질 세라믹 튜브를 일정 간격으로 결합한 형태를 이용하고(그림 1), 미세 다공질 튜브의 구비조건은 일정 압력 이하에서는 투수율이 0%가 되는 물리적 특성을 찾는 것이다. 이를 위하여 관수개시점 설정치별 압력과 미세 다공질 세라믹튜브의 물리적 특성을 분석하여 적합한 튜브를 설계한다.

개발하고자 하는 시스템의 작동원리는 다음과 같다. 토양이 건조하면 토양수분장력(pF)이 커지면서 물이 공급되고, 물이 공급되면 수분장력이 떨어져 작용압력은 설정값 보다 작아진다. 그러면 투수율이 0이 되어 물 공급이 차단된다. 작물이 토양수분을 흡수하여 건조해지면 수분장력이 커져서 자동으로 물이 공급된다. 클레이 포트를 땅에 매설하여 관수하는 방식(pitcher method or buried clay pot irrigation)의 원리와 유사한 것이다. 이때 관수개시점의 조절은 물탱크의 수두로 조절한다(그림 2 참조).



<그림 2> 무계측 자동관수시스템 설치 모식도



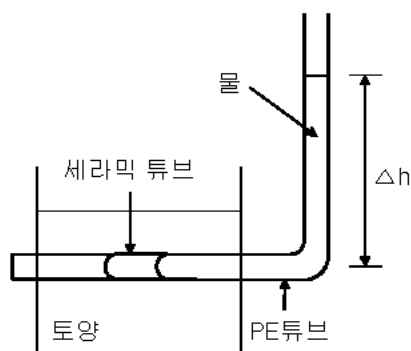
<그림 3> 튜브벽면의 작용압력

다공질 세라믹 튜브의 벽면에 작용하는 압력은 토양수분장력(물분자 상호간 인력은 제외) + 관내측수압(일정수위에 의한 수두)으로 <그림 3>과 같다. 수분 공급과 차단 원리는 토양수분장력(pF)과 미세 다공질 세라믹 튜브의 압력에 따른 투수율 변화이다. 그러므로 미세 다공질 세라믹튜브는 일정압력 이상에서만 물이 투과되도록 공극율과 물성을 선정한다. 여기서 토양수분장력은 다음과 같다. pF 1.5 0.032 kg/cm^2 , pF 2.0 0.1 kg/cm^2 , pF 2.5 0.32 kg/cm^2 . 작물의 유효수분 범위는 pF 1.8~3.3이고, 시설재배 작물의 관수개시점은 pF 2.0 내외이므로 pF 2.0~pF 2.5를 기준으로 관수 제어가

이루어질 수 있도록 시스템을 설계한다. 작물의 요구량에 따른 완전소비형 물공급 시스템의 개발은 물절약 뿐만 아니라 환경오염 방지효과도 기대할 수 있을 것이다.

2) 토양수분장력과 세라믹튜브의 투수특성에 관한 기초실험

세라믹 튜브의 투수특성을 알아보기 위하여 텐시오미터에 사용되는 세라믹 원료로 만든 튜브를 실험재료로 사용하였다. 튜브의 외부직경은 22.0 mm, 두께는 3.0 mm로서 동일한 직경의 PE튜브에 길이 5.0 cm를 잘라서 접합한 형태를 제작하여 사용하였으며 표면적은 346 cm²이다. 먼저 공기중에서 튜브 내부의 압력에 따른 투수율을 측정하였다. 압력은 그림 4에서와 같이 관내의 수두(Δh)를 이용하여 측정하였다.

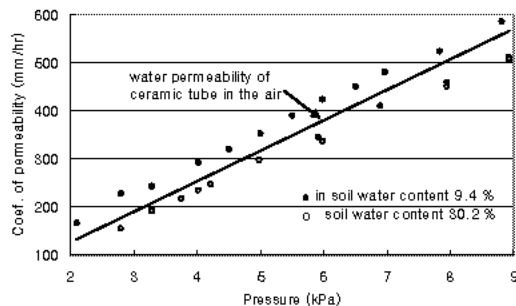
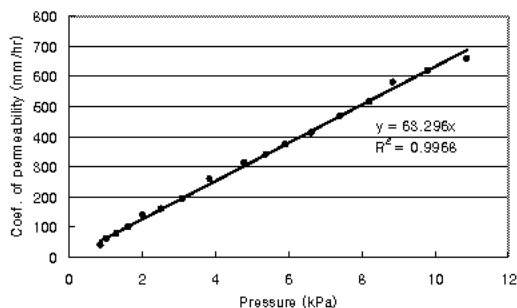


토양의 함수비에 따른 세라믹 튜브의 투수특성을 알아보기 위하여 <그림 4>와 같은 실험장치를 제작하였다. 토양 탱크내에 세라믹튜브를 매설하고, 토양의 함수비를 조절하면서 세라믹 튜브의 투수율을 측정하였다. 이 때 압력은 공기중에서와 마찬가지로 관내의 수두로 측정하였으며, 압력은 일정시간 동안의 평균수두를 kPa 단위로 환산하여 표시하고, 그 때 투과된 물의 양을 mm/hr 단위로 표시하였다.

<그림 4> 투수특성 실험장치

결과 및 고찰

<그림 5>는 공기중에서 실험한 압력에 따른 세라믹튜브의 투수율 변화를 나타낸 것이다. 미세 다공질 세라믹튜브의 투수율은 압력에 정비례하는 것으로 나타났다. 압력 10 kPa은 약 100 cm의 수두에 해당되는 것으로서 토양수분장력으로 환산하면 pF 2.0 이 된다. 이 때의 투수율은 약 633 mm/hr로 나타났다.



<그림 5> 공기중에서 실험한 압력에 따른 세라믹튜브의 투수율 변화

<그림 6> 토양속에 매설한 세라믹튜브의 함수비와 압력에 따른 투수율

<그림 6>은 토양속에 매설한 세라믹튜브의 토양함수비와 관내 압력에 따른 투수율 변화를 나타낸 것이다. 흑점은 토양함수비 9.4%에서 실험한 결과이고, 백점은 30.2%에서 실험한 결과이다. 함수비가 높으면 토양수분장력이 떨어지므로 세라믹튜브의 투수율도 낮아지는 것을 알 수 있다. 전체적으로 투수율 차이는 73 mm/hr 정도로서, 압력에 따른 투수율 변화 63.3 mm/hr/kPa를 적용하면 두 경우의 토양수분장력 차이는 약 1.2 kPa인 것으로 나타났다. 함수비 30.2%에서의 투수율이 공기중에서 실험한 결과보다 더 낮게 나타난 것은 토양입자 표면의 물분자에 대한 흡인력이 물분자 상호간의 인력보다 작기 때문으로 판단된다. 실험에 사용한 튜브는 낮은 압력에서도 투수성이므로 관내의 압력이 0이라면 함수비 30.2%의 조건에서는 토양에서 관내로 수분이 이동할 것이다. pF 2.0에서 자동 조절되는 세라믹 튜브를 설계하기 위해서는 10 kPa 이하의 압력에서는 투수율이 0이 되는 물성을 찾아야 할 것이다. 그러나 본 실험 결과로부터 유추할 때 관내의 수두를 적절히 조절하면, 낮은 압력에서 투수율이 0이 아닌 튜브재료를 사용하여도 목표로하는 토양수분 상태의 자동관수 조절이 가능할 것으로 판단되었다.

요약 및 결론

본 연구는 토양의 수분장력과 다공질 세라믹튜브의 투수율 특성을 이용한 무게측 자동관수시스템의 개발을 목표로 수행하였다. 토양수분장력의 변화를 이용한 자동관수튜브의 설계 및 시스템의 설치와 작동에 대하여 구상하고, 이와 관련된 기초실험을 실시하였다. 토양수분 측정용 텐시오미터에 사용되는 세라믹원료로 만들어진 튜브를 이용하여 관수튜브 모형을 제작하고, 압력에 따른 투수율 변화를 공기중 그리고 함수비가 다른 토양중에서 측정하였다. 미세다공질 세라믹튜브의 투수율은 압력에 정비례하는 것으로 나타났고, 토양함수비가 낮을수록 커지는 것으로 나타났다. 실험결과로 볼 때 적당한 물성의 튜브재료를 선택하고, 관내의 수두를 적절히 조절하면 계측시스템 없이 목표로하는 토양수분 상태의 자동관수 조절이 가능할 것으로 판단되었다.

인용문헌

1. Bainbridge, D.A. 2001. Buried clay pot irrigation: a little known but very efficient traditional method of irrigation. *Agricultural Water Management* 48 : 79-88.
2. Voogt, W., J.A. Kipp and L. Spaans. 2000. A fertigation model for glasshouse crops grown in soil. *Acta Hort.* 537 : 495-502.
3. 구보따 미노루. 1996. 부압차 관수장치. 대한민국특허청 특허공보 4277호.
4. 남상운 외. 1999. 양액재배 급액제어모델 개발에 관한 기초연구. *한국농공학회지* 41(2) : 37-43.
5. 양원모. 1999. 세라믹 종류, 두께 및 소성온도에 따른 식물개체 제어형 세라믹 자동점적관수시스템의 점적성능. *생물환경조절학회지* 8(4) : 257-264.
6. 유광수 역. 1997. 세라믹스 물성학. 반도출판사.