

# 정량펌프를 이용한 무토양재배시스템의 증산량 추정 및 그 응용

손정익\* · 박종석  
서울대학교 원예학과

## Estimation of Transpiration Rate with a Metering Pump and its Application in Soilless Culture System

Son, Jung-Eek\* · Park, Jong-Seok  
Dept. of Horticulture, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea  
\*corresponding author

**ABSTRACT** Nutrient supplying by a metering pump often produces the inaccuracy in the rate of inflow than expected. In this study, we developed the transpiration estimation system using the metering pump to measure the continuous supplying rate as well as to estimate the accurate transpiration rate. The system showed the stable characteristics by eliminating the fluctuations in the head loss of nutrient tank. The direct proportionality between the supplying time and the supplied nutrient solution was obtained. The exact correlation between the integrated solar radiation and the transpiration rate using the system was calculated, and correlation coefficients between the two factors were 0.98 in the NFT system and 0.92 in the aggregate system. This results suggest that the integrated solar radiation was an important factor to directly decide the supplying volume of nutrient solution in soilless culture system. The developed system using the metering pump in the study was able to control the supply of the nutrient solution to the crops adjusting to the variation of solar radiation.

*Additional key words:* integrated solar radiation, nutrient solution supply, transpiration measuring system

### 서 언

무토양재배에서의 효율적인 관수량 결정은 정확한 증산량에 근거한다. 정확한 증산량 추정을 위하여 다양한 기법이 도입되었으며 무토양재배의 자동화가 진행될수록(Son, 1996; Son과 Takakura, 1986) 증산량 추정에 의한 관수량 결정이 중요하다. 작물의 실제 증산량을 위해서 개체 측정 등의 대표치를 이용하여 전체에 적용시키는 방법으로 식물체의 줄기경의 변화를 측정하여 관수량을 결정하였고(Kitano와 Eguchi, 1991; Nagano 등, 1993). De Leon Mojarro(1991)은 입력자료에 근거한 제어공학적 기법을 이용하였다. 또한 증산량 추정 및 관수량 결정을 위하여 Stanghellini(1988) 및 Yang 등(1989)은 미기상학인 모델을 사용하였다. 그러나 실용적인 방법으로는 환경요인과 증산량과의 관계를 분석한 후, 이 관계에 근거하여 관수량을 결정하는 것이 보편적이다. Roh와 Lee(1996)는 일사량을, Ibarahim 등(1992)은 일사량과 온도를, Okuya와 Okuya(1988)는 일사량, 온도 및 포차를 사용하여 증산량 추정 및 관수량 결정을 시도하였다. 그러나 이와 같은 방법은 작물개체를 사용할 경우는 적용성에 문제가 있으며, 양액재배시스템 전체를 대상으로 증산량을 연속적으로 정확히 측정할 필요가 있다. 본 연구에서는 양액재배시스템

에서의 증산량 측정을 위해서 정량펌프를 이용한 측정시스템을 구축하였으며, 측정된 증산량을 근거로 환경요인과 증산량과의 관계를 분석하였다.

### 재료 및 방법

양액공급을 위한 환경요인과 증산량과의 관계 분석을 위하여, 순환식 NFT 및 고행배지 시스템을 구축하였다(Fig. 1). NFT는 상주 100주(정식후 3주)를 재배하였고, 고행배지는 점적관수방식을 사용하였으며 토마토를 24주(정식후 2개월) 재배하였다. 배양액 탱크는 50L를 유지하며, 증산으로 손실되는 양액은 양액탱크내의 수위 센서와 타이머에 의하여 정량펌프(PRH035PHL1, LG)로 공급하는 시스템을 설치하였다.

사용된 펄라이트 배지는 파라트 1, 2호(삼손)를 사용하였다. 배양액은 야마자키 처방을 사용하여 양액탱크에서 pH 5.5-7.0와 EC 1.0-2.5 mS/cm를 유지하였으며, 정량펌프에 의해 공급되는 배양액은 pH 6.2와 EC 1.5 mS/cm를 사용하였다. 배지 상부는 반사필름(100%)으로 멀칭을 하였다. 양액공급용 점적관수는 정식후 1개월동안은 1회 10분씩 0.1L씩 20회/일 관수하고, 이후에는 0.2L씩 20회/일 공급하였다. 관수간격은 주간 10분-30분 간격과 야간에는 1시간 간격이었으며, 새벽에는 공급하지 않았다. 각 시스템은 벤치위에 설치되었으며 유량측정을 위하여 양액공급부에 유량계를 설치하였다. 각 재배시스템의 베드 크기는 NFT 시스템은 66cm×300m×4cm, 펄라이트 시스템은

36cm×300cm×15cm를 사용하였다.

정확한 공급조건을 유지하기 위하여 양액탱크와 정량펌프사이에 일정한 수두차를 형성하기 위한 보조탱크를 설치하였다. 이 보조탱크는 순환식 양액재배시스템의 양액회수용 탱크에 유입되는 양액의 유량을 일정하게 조절하는 기능을 가진다. 측정된 모든 데이터는 데이터수집장치(DA100, Yokogawa)에 입력후 컴퓨터(PC, IBM compatible)에 보관되었다. 정량펌프의 공급시간과 공급량과의 관계를 NFT와 고행배지시스템에 대하여 검정하였고, 또한 각 시스템에 대하여 추정된 시간당 적산 일사량과 작물의 증산량과의 관계를 조사하였다.

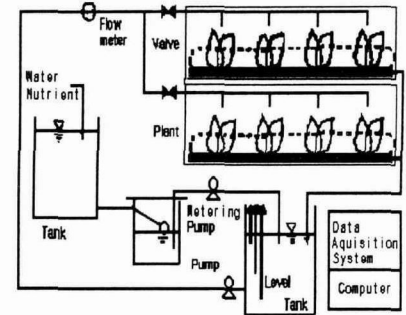


Fig. 1. Schematic diagram of a soilless culture system constructed for the experiment.

### 결과 및 고찰

정량펌프에 의한 양액공급시스템 성능 정량펌프에 의한 양액공급 방식은 양액재배시스템에서 사용되는 일반적인 방법이지만, 실제로 시간과 장소, 정량펌프의 종류 등에 따라서 상이한 공급량을 나타내기도 한다. 이러한 이유중의 하나는 양액 흡입구 측의 수위변화등의 수두차이에 기인한다.

본 실험에서 제시한 양액공급시스템은 흡입측의 수두차 조정용 보조탱크를 사용하였다. 이러한 방법에 근거하여 개발한 증산량 추정 시스템은 공급시간과 공급량과의 관계는 매우 안정적인 특성을 나타냈다. 작물의 증산량 추정을 위하여 재배시스템에 설치한 정량펌프의 공급시간과 투입량과의 관계는 Fig. 2와 같다. NFT와 고행배지 시스템에서 양액공급시간과 증산량과의 관계는 정비례 관계를 나타내었다. 본 실험에서는 2회 측정을 통하여 모두 동일한 결과를 나타냈다.

NFT의 경우, 공급시간과 양액공급량과의 관계는  $y = 437.4x$ 의 비례관계를 갖는 것을 알 수 있다. 고행배지의 경우도  $y = 203.4x$ 로 NFT에서와 같이 비례관계를 나타냈다. 이러한 결과는 전기적 출력인 공급시간을 계산함으로써 최종적으로 공급량을 정확하게 추정할 수 있음을 증명한다. 재배시스템에 따라 경사가 다른 것은 필요에 따라서 단위시간당 공급량을 사전에 조정하였으며, 사전에 양액재배시스템의 특성에 맞게 공급유량의 단위를 조절할 수 있다. 본 실험에서 나타난 결과는 양액공급시스템의 공급 정밀도를 나타낸다. 비료공급에 정량펌프를 적용할 경우, 다양한 조건에 따라서 공급량의 차이가 발생되

This study was sponsored by the Ministry of Education (Agricultural Science) in 1996.

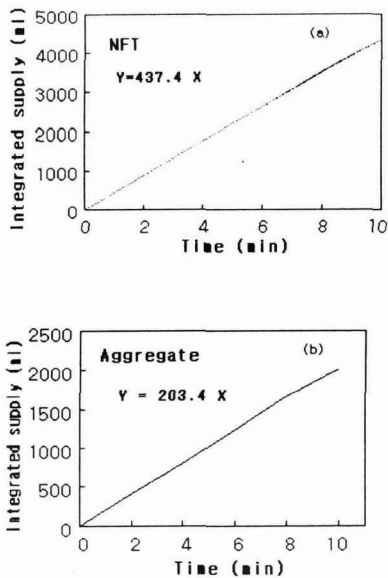


Fig. 2. Relationship between the time and the supplied nutrient solution using the metering pump. (a) NFT system, (b) aggregate system.

는 이유 중의 하나는 이미 언급한 바와 같이 양액 흡입구 측의 수위변화에 의한 수두차이에 의한 것이며, 이것이 유량을 변화시키는 요인이라고 사료된다. 연속적인 증산량 추정을 위하여 본 연구에서 개발된 정량펌프에 근거한 양액공급 시스템은 매우 정밀하며 안정적인 특성을 나타냈으며 공급시간 측정에 의하여 정확한 공급량을 추정할 수 있었다.

양액급액의 제어를 위한 증산량 추정시스템 정확한 유량을 공급할 수 있는 양액공급 시스템의 결과를 이용하여, 증산량을 정량펌프의 공급시간에 의한 공급량으로 추정하였다. 먼저, NFT 시스템에서의 적산일사량과 증산량을 실측한 결과, 증산량은 일사량의 변화에 직접적인 영향을 받고 있

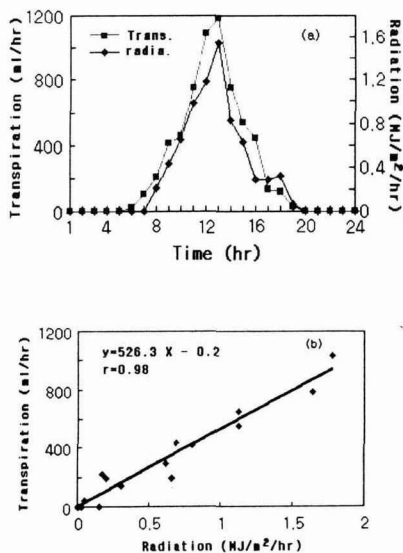


Fig. 3. Transpiration rate and integrated solar radiation in NFT system. (a) measured data, (b) linear regression.

음을 알 수 있었다. 또한 일사량과 증산량과의 상관관계를 조사한 결과,  $y=526.3x-0.2$ ,  $r=0.98$ 의 매우 높은 상관관계를 나타냈다(Fig. 3).

고형배지 시스템에서의 적산일사량과 증산량을 실측한 결과, NFT에 비하여 민감도는 다소 떨어지나, 증산량은 일사량의 변화에 직접적인 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 일사량과 증산량과의 상관관계를 조사한 결과,  $y=1224.2x+157.5$ ,  $r=0.92$ 의 높은 상관관계를 나타냈다(Fig. 4). 고형배지의 경우는 30분정도의 지연시간이 발생하여 이 부분을 고려하였다. 이러한 결과로부터 정량펌프에 의한 증산량의 연속적 추정은 효율적인 방법이며, 이러한 방법에 근거하여 적산일사량에 의한 양액급액 제어 및 정확한 비료투입량의 결정이 가능하다.

본 연구에서는 정량펌프에 의한 양액공급시스템을 사용하여 전체 재배조의 작물에 대하여 적산일사량과 증산량을 실측한 결과, 증산량은 일사량은 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 실제로 증산량과 일사량, 실내온도, 습도 또는 포차와의 관계에 관한 분석 예가 보고되고 있지만, 정량법을 사용한 개체 실험이 대부분이다. 따라서 전체 작물재배 상태에서 증산량의 연속적 측정과 적산일사량에 의한 증산량의 추정이 가능하기 때문에, 본 시스템을 이용하여 적산일사량에 의하여 정확한 관수량 결정 및 투입이 가능하다.

### 초 록

본 연구는 정량펌프를 이용한 정확한 증산량 추정 시스템의 구축 및 측정된 증산량과 환경요인과의 관계를 분석하는 데 있다. 정량펌프에 의한 양액공급 및 증산량 추정 시스템은 매우 안정적인 특성을 나타냈으며, 증산량 추정을 위하여 재배시스템에 설치한 정량펌프의 공급시간과 투입량과의 관계는 직선관계를 나타냈다.

NFT 및 고형배지 시스템에서의 적산일

사량과 증산량을 실측한 결과, 증산량은 일사량에 직접적인 영향을 받고 있었으며, NFT는 상관계수 0.98, 고형배지는 상관계수 0.92의 높은 상관관계를 나타내었다. 따라서 정량펌프에 의한 증산량 추정은 양액급액 제어에 효율적인 방법이며, 이러한 방법을 사용하여 적산일사량에 의한 관수량 조절 및 비료투입량의 결정에 적용이 가능하다. 따라서, 측정된 적산일사량에 의하여 증산량 추정이 가능하기 때문에, 정량펌프에 의하여 필요 관수량을 정확한 공급할 수 있다.

추가주요어: 적산일사량, 양액공급, 증산량 측정 시스템

### 인용문헌

De Leon Mojarro, B. 1991. A short irrigation by means of control technics. Mathematical and control applications in agriculture and horticulture. IFAC Workshop Series 1:439-442.

Ibrahim, M.A.M., A.M. Yousef, and S.A. Mohamedien. 1992. The effect of solar radiation and air temperature on potential evapotranspiration in greenhouses in the South Delta. Acta Hort. 323:107-108.

Kitano, M. and H. Eguchi. 1991. Dynamics of plant water relations as affected by evaporative demands. Mathematical and control applications in agriculture and horticulture. IFAC Workshop Series 1:367-372.

Nagano, T., T. Ishida, and S. Morita. 1993. Internal plant -water -status and its control. Environ. Control in Biol. 31(3):147-153.

Okuya, A. and T. Okuya. 1988. The transpiration of greenhouse tomato plants in rockwool culture and its relationship to climatic factors. Acta Hort. 230:307-311.

Roh, M.Y. and Y.B. Lee. 1996. Predictive control of concentration of nutrient solution according to integrated solar radiation during one hour in the morning. Acta Hort. 440:256-161.

Son, J.E and T. Takakura. 1986. A study on automatic control of nutrient solution in hydroponics. J. Agr. Met. 43(1):159-163.

Stanghellini, C. 1988. Microclimate and transpiration of greenhouse crops. Acta Hort. 229: 405-410.

Yang, T., T.H. Short, R.D. Fox, and W.L. Brauerle. 1989. The microclimate and transpiration of a greenhouse cucumber crop. Trans. ASAE 32(6):2143-2150.

손정익. 1996. 지속적 농업을 위한 무토 양재배시스템 개발. 과학기술처. p103.

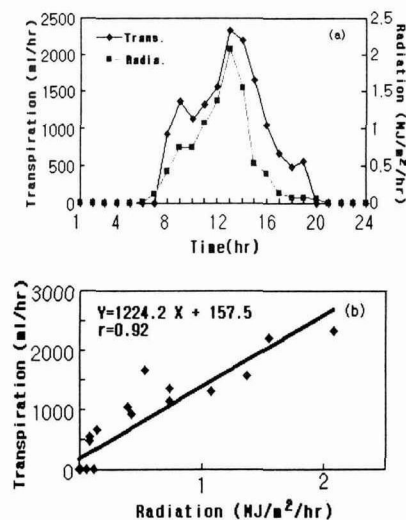


Fig. 4. Measured transpiration rate and integrated solar radiation in aggregate system. (a) measured data, (b) linear regression.