

## Development of an Automatic Nutrient-Solution Mixing and Supplying System

Ryu, Kwan-Hee\* · Kim, Gi-Young · Cheon, Sung-Pil  
Dept. of Agricultural Engineering, Seoul National University

### Abstract

In recent, multi-sector nutriculture in which each sectors are managed with different compositions and supplying amounts of nutrient solution is being prevalent especially in large-scale greenhouses. This study was carried out to develop an automatic mixing and supplying system of nutrient solution for the multi-sector greenhouse which can control various compositions of nutrient solution and supplying amounts for each sector. The stock solution control device could control discharge of the stock solution with device actuating time. The experimental result showed high correlation between the discharge and the actuating time. The system could make nutrient solution of various compositions and showed possibility of changing compositions of nutrient solution according to changes of growth stages or environments. Undesirable remnant nutrient-solution effect on the next supply was decreased by lowering EC of the previous nutrient solution remaining in the tank and supply pipe through rinse process. To evaluate performance of the developed system, experiments that compare  $NO_3^-$ , and  $PO_4^{3-}$  concentrations of nutrient solution made in laboratory level with those made by the developed system were conducted. The experimental results showed that the deviations for  $NO_3^-$  and  $PO_4^{3-}$  concentrations of nutrient solution composited by the developed system were -2.36% and -5.15%, respectively.

---

Key words : multi-sector nutriculture, nutrient concentration

\* Corresponding author

### 서론

작물은 종류와 생육단계, 환경변화에 따라 각 이온별 흡수속도가 다르기 때문에 배양액의 조성을 변화시켜 작물생육에 적합한 배양액을 공급하는 것이 적절하다. 따라서, 최근에는 넓은 면적을 여러 구역

으로 나누어 구역별로 공급 양액의 조성 과 급액량을 다르게 관리하는 다구역 양액재배가 증가하고 있다. 다구역 양액재배의 증가에 따라 구역별로 양액을 관리할 수 있는 시스템에 관한 연구가 진행되었다.

국내의 경우 Kim 등(1998)이 양액재배 전용 PLC를 이용하여 DFT, NFT 및 배

지 수정배배시 2개 이상의 작물에 대하여 구역별 EC와 pH를 자동 조절할 수 있는 연속식 양액 자동공급장치를 개발하였으며, Chung (1997)은 원수 성분에 따라 목표 이온농도와 비교하여 비료 투입량을 결정하는 관비지령 프로그램과, 생육단계에 따라 성분 제어를 하기 위해 비료별로 농후액을 혼합하여 EC, pH를 조절하는 배치식의 양액 희석기를 개발하였다.

국외의 경우 Bauerle (1988)는 10개의 농후액 인젝터 펌프를 이용하여 각 원소를 제어하는 이상적인 시스템을 기술하였는데, 혼합탱크를 사용하지 않고 물과 농후액을 섞어서 바로 배지에 공급하는 방식으로 뿌리에 공급되는 양액과 퇴액의 성분을 조사해서 배양액을 조성하는데 이용하였다. Fynn과 Roberts (1992)는 작물의 품종, 상태, 환경 조건, 설정값에 따라서 작물에 필요한 영양분의 농도를 제어할 수 있는 컴퓨터 관비 시스템 (computerized fertigation system)을 설계하였다. Lee 등(1998)은 5개의 농후액 인젝터와 관개밸브에 의해 각 구역별로 다른 조성의 양액을 원하는 시기에 공급할 수 있는 시스템을 개발하였다.

상용 다구역 재배용 양액 자동조제공급 시스템의 개발은 국내의 경우 중소기업을 중심으로 진행되고 있지만 이 장치들은 작물마다 A액, B액, 산 조절액으로 농후액을 나누고 구역별로 급액량과 EC, pH를 조절하는 방식을 사용하고 있어, 아직은 정확한 제어가 되지 않고, 작물마다 별도의 농후액을 조성해야 하며, 특정 성분 농도의 증감이 어렵다는 한계가 있다. 다구역 재배를 하는 농가를 중심으로 외국 제품도 많이 보급되어 있으나, EC 및 pH의 정확한 제어가 힘들고, 아주 고가이며 기능 조작이 복잡하다는 등 우리나라 실정에 부적합한 점들이 있다.

따라서 본 연구에서는 우리나라 실정에 적합한, 구역별로 원소별 성분 농도와 급

액량 제어가 가능한 연속식의 다구역 재배용 양액 자동조제공급 시스템을 개발하였다.

## 재료 및 방법

### 1.1. 원소별 농후액 공급조절장치

본 연구에서는 비료별로 따로 조제된 각 농후액의 토출량을 조절함으로써 원소별로 농후액의 증감조절이 가능한 원소별 농후액 공급조절장치를 개발하였다. 이 방식은 기존의 양액재배에서 주로 농후액을 A액, B액, 산, 알칼리의 4개로만 나누어 사용하는 방법에서 나타나는 문제점인 원소들간 화학반응과 불순물 등에 의한 침전물의 생성을 줄일 수 있다. 또한, 한 은실에서 공통 비료염을 사용하는 두 가지 종류 이상의 작물을 함께 재배하는 경우 원소별 농후액의 조합만 달리해 줌으로써 작물에 따라 각기 다른 농후액을 별도로 조제하지 않아도 되므로 노동력을 줄일 수가 있다.

농후액 공급조절장치는 각각 오버플로우식 액제정밀계량장치, 마그네트 펌프, 솔레노이드 밸브, 여과기, 농후액 소탱크로 구성된다. 조제 양액의 원소별 성분 농도를 정확하게 맞추기 위해서는 농후액 공급조절장치가 양액 조제에 필요한 원소별 농후액의 양을 정확하게 공급해 줄 필요가 있다. 농후액의 정밀 계량을 위하여 일반적으로 사용되는 정량펌프는 사용기간이 길어질수록 토출되는 농후액의 유량변화가 심하여 개선이 요구되어왔으며, 이를 위하여 선행 연구에서 (Hwang 등, 1998) 유체 정역학에 기초한 액제정밀계량 장치를 개발하였다. 이 액제정밀계량장치는 마그네트 펌프에 의해 농후액 탱크로부터 여과기를 거쳐 유입되는 원소별 농후액을 일정 수위에서 오버플로우 시킴으로써 항상 농후액의 수위를 일정하게 유지시킨다. 유입된 농후액은 토출부의 솔레노이드 밸

브가 닫혀있을 때는 흘러 넘쳐 다시 농후액 탱크로 되돌아 온다. 유입되는 농후액의 유량은 솔레노이드 밸브로부터 토출되는 유량보다 항상 많도록 맞추어져있어 밸브가 열렸을 때도 농후액의 수위가 일정하게 유지된다. 농후액은 대기압하에서 항상 일정한 수위를 유지하고 있기 때문에 솔레노이드 밸브가 열릴 때 일정한 토출량을 유지할 수 있게 된다.

본 연구에서는 부피가 작으면서도 여러 원소의 농후액을 정확한 양 만큼 공급할 수 있도록 하나의 몸체에 8개의 액제정밀계량 실린더를 설치하였다. 8개의 액제정밀계량장치에는 5가지 다량원소 농후액, Fe-EDTA 농후액, 미량원소 농후액 그리고 산 조절액이나 알칼리 조절액을 넣을 수 있도록 하였다.

개발된 농후액 공급조절장치의 성능평가를 위하여 8개 액제정밀계량 실린더의 농후액 토출량 편차를 각 각 살펴 보았으며 하나의 솔레노이드 밸브를 선정하여 시간과 토출량 사이의 관계를 조사하였다. 또한 상용 정량펌프의 문제점인 사용시간이 경과함에 따라 토출량이 변화하는 내구성 여부도 조사하였다.

토출량 편차는 각 실린더 별로 5회씩 5초간의 토출량을 측정하여 그 편차를 조사하였다. 시간과 토출량 사이의 관계는 구동시간을 3초부터 15초까지 변화시키면서 토출량을 측정하는 방법을 사용하였다.

반복 구동회수에 대한 내구성 시험을 위하여 시간에 따른 농후액 공급조절부의 토출량 변화를 측정하여 상용의 정량펌프 2개의 측정값과 비교하였다.

시험을 위하여 1일 조제횟수와 1회 조제시 필요한 시간으로부터 소요시간을 계산하였다. 1회 조제는 총 3회의 농후액 공급으로 이루어지며, 1일 동안 5번 배지에 공급하는 것으로 가정하였다. 1회 조제시간은 10초간 농후액 공급, 50초간 휴식의 과정을 3회 반복하여 총 3분 정도 소요되는

것으로 산정하였다.

## 1.2. 원수 유입량 계측 시스템

다구역 재배방식에서는 구역별로 배양액의 조성과 공급량이 다르기 때문에 구역별로 이를 조절하기 위해서는 유입되는 원수의 양을 정확히 계측하고 제어할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 부자식 레벨 트랜스미터(float-type level transmitter)를 사용하여 혼합탱크 내 수위를 계측함으로써 간접적으로 원수 유입량을 계측하였다.

개발된 원수 유입량 계측시스템의 성능은 목표 원수 유입량과 실제 원수 유입량 사이의 편차를 비교하는 방법으로 조사하였다. 실제 원수유입량의 편차를 알아보기 위하여 목표 원수유입량을 150 l 와 160 l, 170 l로 설정하여 원수유입량 편차 실험을 수행하였다.

## 1.3. 배양액의 조제 및 공급 알고리즘

본 연구에서는 비순환식 양액재배를 대상으로 하여 비료염을 양액 조성표의 비율대로 투입하므로 제어대상을 각 성분의 농도로 하는 방식을 사용했고, 배양액을 공급하는 방식은 넓은 재배면적에도 적용이 가능하고 혼합탱크가 차지하는 공간을 줄일 수 있는 연속식을 사용하였다. 제어대상을 각 성분 농도로 하는 방식은 필요에 따라 특정 성분의 농도와 전체 농도의 증감이 모두 가능하지만 원수 유입량과 농후액 토출량을 정확히 계측할 필요가 있다. 또한, 다구역 재배에서는 구역별로 배양액의 조성이 다를 수 있기 때문에 이전에 급액하고 혼합탱크나 관내에 남은 양액이 다음 급액때 영향을 줄 수 있다. 본 연구에서는 이것을 방지하기 위하여 이전 구역에 공급했던 양액을 원수로 씻어내어 가능한 낮은 농도가 되게 하여 그 부작용을 최소화 시키는 세척(rinse) 과정을 도입 하였다. 따라서, 목표 배지 급액

량에서 세척에 필요한 양을 뺀 나머지 양만을 농후액과 혼합하여 배지로 공급하고 세척과정에서 남은 양의 원수를 공급하게 된다.

위에 서술한 내용을 기반으로 본 연구에서 개발한 배양액의 조제 및 공급 알고리즘을 Fig. 1에 나타내었다.

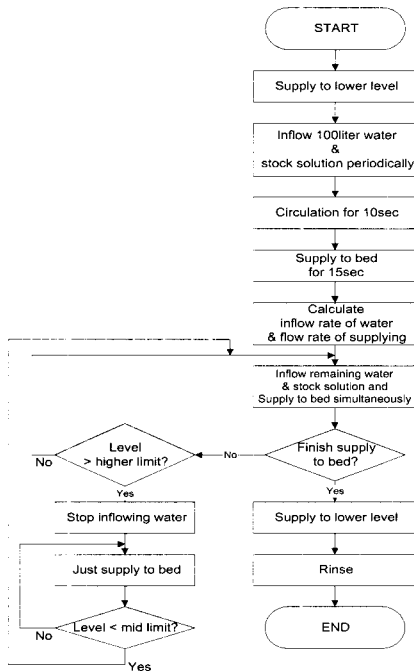


Fig. 1. Flowchart of the algorithm for mixing and supplying nutrient-solution.

#### 1.4. 다구역용 양액 자동조제공급 제어기

다구역용 양액 자동조제공급 시스템 제어기는 PC를 기반으로 사용자 인터페이스를 구축하고, 각 구동부를 <자동/수동>으로 제어할 수 있는 배전반에 제어 신호를 보내게 된다. 앞서 언급한 배양액 조제 및 공급 알고리즘을 구현하여 양액 자동조제 공급 제어기를 구동하기 위하여 Microsoft사의 Visual C++ 6.0을 이용하여 양액 자동조제용 소프트웨어를 개발하였다.

개발된 소프트웨어는 자동/수동 모드로

되어 있고 수동 모드에서는 원하는 구동기를 원하는 시간동안 구동할 수 있도록 되어 있다. 자동 모드에서는 사용자가 구역별로 양액조성과 농축배율, 급액량, 급액 스케줄을 입력하면 급액시간에 사용자 설정값에 맞도록 양액을 공급하도록 되어 있다. Fig. 2에 개발된 소프트웨어의 흐름도를 나타내었다.

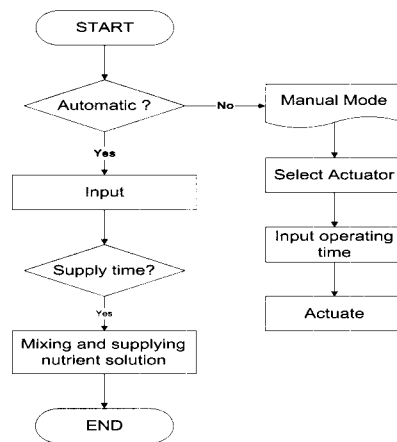


Fig. 2. Flowchart of the program for operating the automatic nutrient-solution mixing and supplying system.

배양액 조성표로부터 원수와 투입된 비료의 양을 알기 때문에 각 이온에 대한 이온 이온 농도를 알 수 있으나, 실제로는 비료의 순도나 용해도 등으로 인하여 이온 이온 농도와 일치하지 않을 수 있다. 따라서, 개발된 시스템의 조제 성능을 평가하기 위하여 오이용 야마자키액 180ℓ를 조제, 공급하였을 때 양액에 포함된 6개의 다량원소중 질산 이온과 인산 이온에 대해서 실험실에서 조제된 이온 농도와의 비교 실험을 3회에 걸쳐 수행하였고, 분석기기로는 이온 크로마토그래피(DX500, Dionex, USA)를 사용하였다.

개발된 양액 자동조제공급 시스템의 정면 외형도를 Fig. 3에 나타내었다.

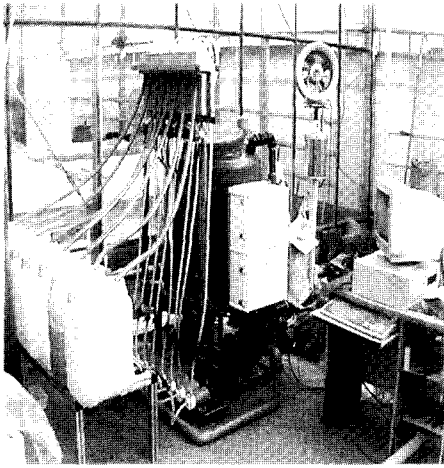


Fig. 3. Front view of the automatic nutrient-solution mixing and supplying system developed.

### 결과 및 고찰

#### 가. 원소별 농후액 공급조절장치

##### (1) 솔레노이드 밸브의 토출량 편차와 시간당 토출량 실험

각 액체정밀계량장치의 8개 액체정밀계량 실린더의 솔레노이드 밸브간의 토출량 편차 실험 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

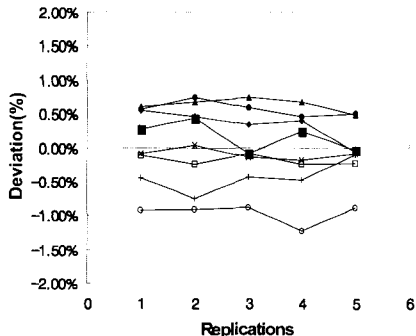


Fig. 4. Deviation in flow rate from an average flow rate when 8 solenoid valves were used.

토출량 편차 실험을 밸브당 각 5회에 걸쳐 5초씩 구동하여 수행한 결과 8개의 샘플 중 7개는 최대 1%편차 내에서 토출되었으며, 나머지 1개의 샘플간의 편차는 최대 -1.23% 내에서 토출이 되었다.

구동시간과 배출량의 관계를 Fig. 5에 나타내었으며 결정계수( $R^2$ )는 0.9999로 나타났다. 아래 회귀식에 의한 예측량과 실제 토출량이 거의 일치하여 솔레노이드 밸브 구동시간에 의한 농후액 토출량의 제어가 가능함을 확인하였다.

$$\text{Discharge (g)} = 41.329 \times \text{Valve actuating time (sec)} - 2.1364$$

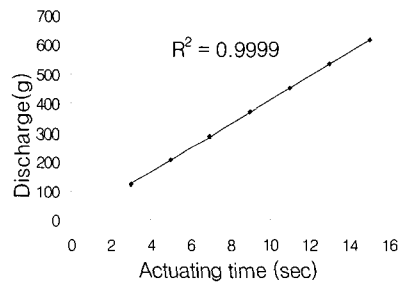


Fig. 5. Regression curve of the stock solution discharge with respect to actuating time of the solenoid.

##### (2) 농후액 공급조절장치의 반복 구동에 따른 내구성 시험

Fig. 6은 개발된 농후액 공급조절장치와 2가지 정량펌프의 사용기간 15개월에 상당하는 반복 구동회수에 대한 내구성시험 결과를 나타낸 것이다. 개발된 농후액 공급조절장치는 별개의 두 계량실린더 사이에 약 0.4%정도의 최대 편차를 보였으며, Hanna와 Blue White 정량펌프는 동종의 각 두 펌프 사이에 각각 4.3%, 4.4%의 최대 편차를 보이고 있다. 시험결과 개발된 농후액 공급조절장치의 반복 구동회수에 대한 내구성이 우수함을 확인하였다.

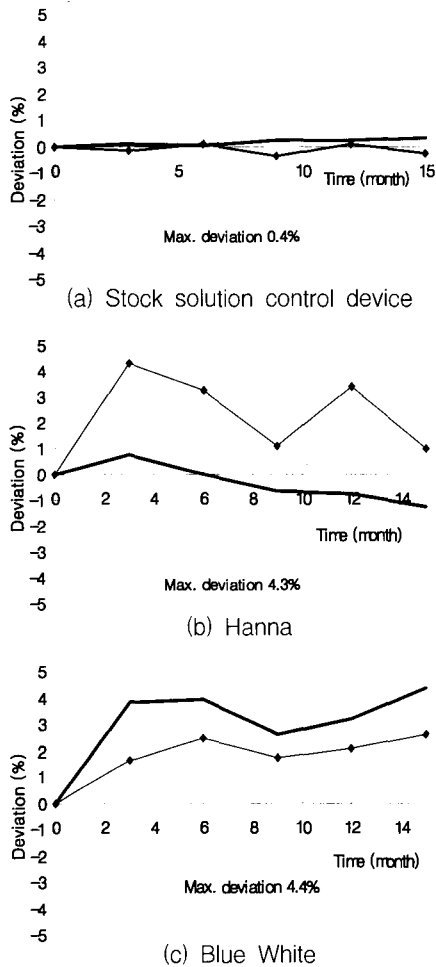


Fig. 6. Results of durability test against repeated operation for each devices.

Fig. 7은 농후액 공급조절장치의 사용기간 6년(72개월)에 상당하는 반복 구동회수에 대한 내구성시험 결과를 나타낸 것이다. 최대 편차는 1.8%로 나타났으며, 토출량이 계속 증가하거나 감소하는 상황은 일어나지 않음을 알 수 있었다. 시간이 경과하면서 토출량 편차가 초기보다 증가하는 이유는 시간이 지남에 따라 A, B 농후액에 의한 침전물이 발생하여 유로에 영향을 준 것으로 추정된다.

토출량 편차의 원인으로는 위에서 실험한 반복 구동에 따른 것뿐만 아니라 펌프

나 밸브 등이 농후액과 접촉하는 사용시간이 될 수도 있다. 그러나 실제 사용시간에 따른 내구성 시험을 위해서는 많은 시간이 소요되는 관계로 본 연구에서는 수행하지 못했다.

나. 원수 유입량 계측 시스템

Table 1에 나타난 원수유입량 편차 실험 결과에서 보듯이, 목표 원수유입량과 실제 원수유입량간의 편차는 2.73% 이내로 나타났다.

Table 1. Deviation in amount of inflow water based on float-type level transmitter.

Target inflow water	Repl-ication	Flow rate (ℓ/s)	Measurements (ℓ)	Deviation (%)
150 ℓ	1	2.301	145.9	-2.73
	2	2.301	149.4	-0.40
	3	2.249	149.4	-0.40
160 ℓ	1	2.302	159.3	-0.41
	2	2.353	159.7	-0.17
	3	2.251	161.6	1.00
170 ℓ	1	2.250	171.0	0.59
	2	2.198	171.0	0.59
	3	2.250	171.0	0.59

다. 양액의 조제 결과 및 고찰

(1) 세척

세척과정 전에 배지로의 양액 공급은 하한 수위에서 정지하게 된다. 하한 수위에서의 혼합탱크내 잔량은 약 13.0 ℓ인데, 이 때 잔량 농도를 최대한 신속하고 적은 세척량(clear volume)으로 낮출 수 있도록 세척량과 세척회수를 변화시키면서 실험을 수행하였다. 세척효율 실험결과 총 세척량을 일정하게 할 때 세척회수는 여러 번 나누는 것이 효율적이었고, 총 세척량은 소요시간과 세척후 잔존 양액의 EC등을 고려하였을 때 30 ℓ가 적당하였다. Fig. 8에 30 ℓ를 10 ℓ씩 3회로 나누어 세척을 하였을 때의 EC 변화량을 나타내었

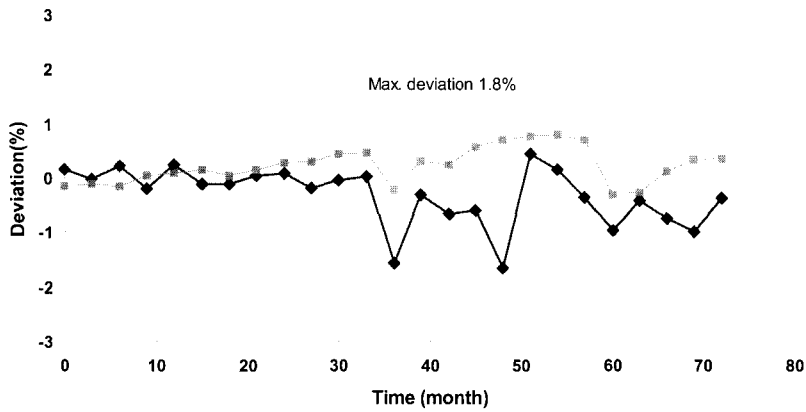


Fig. 7. Results of durability test against repeated operation of the stock solution control device (for 6 years).

다. 비교적 높은 잔존 양액의 EC도 짧은 시간 안에 급격히 낮아지는 것을 볼 수 있다.

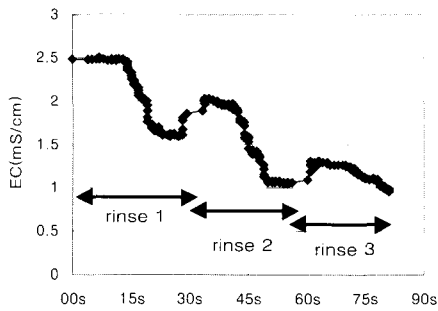


Fig. 8. EC change in rinse process.

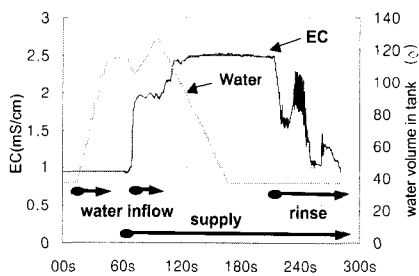


Fig. 9. Changes in EC and water volume in tank for supplying 180 l (Yamasaki solution for cucumber)

(2) 조제 및 급액시간 동안의 EC 변화 양상

Fig. 9는 오이용 야마자키액 조성 180 l 를 급액하는 경우 실제 급액이 시작될 때 부터 세척이 끝날 때까지 EC 변화와 탱 크내 수위 변화 양상을 보여주고 있으며 조제 및 급액 알고리즘을 알 수 있다.

기존에 공급하고 남은 양액으로 인해 초기 관로의 EC는 약 1.0mS/cm인 상태에서 2번에 걸쳐 원수가 유입되고 원수 유입시마다 일정간격으로 농후액이 공급된다. 1차로 원수와 농후액 유입이 끝나면 5초간 순환한 후 급액을 시작하게 되는데, EC는 급격히 증가한 뒤 세척이 끝나기 전까지 2~2.5mS/cm에서 공급이 됨을 알 수 있다. 세척은 3회에 걸쳐 진행되며, EC가 급격히 감소하게 되는데, 세척에 소요된 양은 30 l로 급액량이 많을 때는 EC변화에 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 사료된다. 180 l를 급액하는데 걸린 시간은 약 4분 45초이며, 세척을 제외한 실제 급액에 소요된 시간은 1분 19초 였다.

(3) 개발된 시스템

개발된 시스템의 조제 성능평가 실험 결과를 Table 2에 나타내었다. 개발된 시스

템으로 조제한 양액중에 포함된 질산 ( $NO_3^-$ )과 인산 이온 ( $PO_4^{3-}$ )의 농도는 실험실에서 조제한 양액에 비하여 각각 2.36%, 5.15% 낮게 나왔는데, 이는 원수유입량의 측정 오차(2.73%), 이온 크로마토그래피 본체 및 장비 운용시에 발생할 수 있는 오차(1%이내)등을 고려하면 설명 가능한 수치라고 사료된다.

Table 2. Comparison between element concentrations of nutrient-solution made in laboratory and element ones of nutrient-solution composited by developed system

	In laboratory (ppm)	Repli-cation	By system (ppm)	Deviation (%)
$NO_3^-$	750.98	1	727.39	-3.14
		2	734.93	-2.13
		3	737.55	-1.79
		Avg.	733.29	-2.36
$PO_4^{3-}$	92.97	1	88.69	-4.60
		2	87.04	-6.30
		3	88.81	-4.47
		Avg.	88.18	-5.15

개발된 다구역 양액자동조제공급 시스템은 연속식으로서 공급용량은 공급펌프의 작용하는 부하와 공급펌프의 용량에 따라 달라지므로 공급펌프를 교체하여 공급용량을 증가시킴으로써 더 넓은 면적에 급액할 수 있으리라 사료된다.

Literature cited

1. Kim, H.J., Y.H. Woo, Y.I. Nam, Y.S. Kwon. 1998. Development of nutrient solution automatic controller in hydroponics. Abstracts of Biological Production Facilities and Environment Control 7(1) : 83-88.
2. Lee, I.B., P.R. Fynn, T.H. Short. 1998. Automatic five headed nutrient injector system. Proceedings of the KSAM '98 Winter Conference. p. 395-400.
3. Chung, S.J. 1997. Development of nutrient-solution supply system. Research Report. Chun-Nam National University. p. 1-2, 5.
4. Hwang, H.J., K.H. Ryu, S.I. Cho, K.C. Lee, G. Kim. 1998. Development of an automatic nutrient-solution supply system using fuzzy control. Journal of the KSAM 23(4) : 365-372.
5. Bauerle, W., T. Short, E. Mora, S. Hoffman, and T. Nantais. 1988. Computerized Individual-nutrient Fertilizer Injector: The System. Hort-Science 23(5) : 910.
6. Fynn, P.R. and R. Roberts. 1992. Computerized fertigator applies water and nutrients based on plants needs. GrowerTalks 58(4) : 93-99.



## 다구역 재배용 양액 자동 조제·공급 시스템 개발

류관희\* · 김기영 · 전성필  
서울대학교 농공학과

### 적 요

본 연구는 다구역 양액재배에 적용할 수 있는 연속식 양액 자동조제공급 시스템 개발을 위한 목적으로 수행되었다. 기존의 정량펌프에 비해 정밀성 및 반복 구동회수에 대한 내구성이 우수하고 구동시간에 따라 토출량을 정밀 제어할 수 있는 원소별 농후액 공급조절장치를 개발하였으며, 개발된 원소별 농후액 공급조절장치의 시간당 토출량 실험 결과 결정계수는  $R^2 = 0.9999$ 이었고 3초~15초 구동시간동안의 회귀식에 의한 토출량과 실제 토출량 편차를 비교한 결과 최대 -1.23%로 나타나 회귀식에 의한 구동시간에 따른 토출량 제어가 가능함이 확인되었다. 원소별 농후액 공급조절장치의 원소별 토출량 증감을 통하여 조성이 다른 양액을 조제할 수 있었으며, 생육단계에 따른 원소별 농도의 증감 조절에 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 원수유입량 편차 실험 결과 목표 원수유입량과 실제 원수유입량간의 편차는 2.73% 이내로 나타났다. 세척 과정을 통해 EC가 1.4~1.6mS/cm인 경우에는 0.5~0.6mS/cm, 2.4~2.6mS/cm인 경우에는 0.9~1.0mS/cm 정도로 낮추어 급액후 잔류 양액의 영향을 줄일 수 있었다. 개발된 다구역 재배용 양액 자동조제공급 시스템의 성능을 평가하기 위하여 오이용 야마자키액 조성의 배양액 180ℓ를 조제, 공급하였을 때 양액에 포함된  $NO_3^-$ 와  $PO_4^{3-}$  이온에 대하여 실험실에서 조제한 양액의 이온 농도와의 비교 실험을 3회에 걸쳐 실시한 결과, 개발된 시스템으로 조제한 양액중에 포함된  $NO_3^-$  이온과  $PO_4^{3-}$  이온은 실험실에서 조제된 양액에 비하여 각각 2.36%, 5.15% 낮게 나타났다.

---

주제어 : 다구역 양액재배, 원소별 농도