

양액 자동조제 공급장치 개발

Development of automatic nutrient solution adjustment and suppling system

김승희*	이공인*	장유섭*	홍성기*
정희원	정희원	정희원	정희원
S. H. Kim	K. I. Lee	Y. S. Chang	S. K. Hong

1. 서 론

원예시설민적이 증가함에 따라 양액재배에 대한 관심이 높아지 양액재배가 확대 보급되고 있는 추세며, 고품질의 농산물을 생산하는데 기여하고 있다. 양액재배 도입 초기에는 양액조제치방진에 따라 인력에 의존하여 작물에 필요한 영양소를 일시에 조제하고 타이머와 펌프만으로 양액을 순환 공급하는 방법을 사용하여 작물을 재배하였다. 이와 같은 방법은 양액재배 농가의 높은 지식수준을 요구하며 인력에 의존하기 때문에 장기간의 양액재배 경험으로부터 노하우가 축적되어야만 정밀한 양액관리와 고품질의 농산물을 생산할 수 있는 것으로 인식되고 있다. 현재까지도 일부 영세한 양액재배농가에서는 이와 같은 방법으로 재배하고 있고, 최근에는 첨단유리온실 보급에 따라 생력기계화가 가능한 양액재배 농산물을 생산하고자 고가의 외국산 양액시설을 갖추고 양액조제 및 공급을 하고 있으나 사용방법에 대한 기술을 습득하는데 어려움이 있어 우리실정에 적합한 양액재배용 자동조제 및 공급장치의 개발보급이 요구되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 양액재배작업의 생력화와 취급조작이 편리하고 작물의 안전생산을 위하여 양액 공급라인 계통의 이상이나 고장을 진단하는 기능을 구비한 양액 자동조제 공급장치를 개발하였다.

2. 재료 및 방법

가. 장치의 구성

양액 자동조제 공급장치는 마이크로컴퓨터·액정화면·릴레이 모듈로 구성된 양액제어부, 양액의 전기전도도(EC)·산도(pH)·수위·농축양액공급검출·제이기고장검출 등을 계측하는 계측부, 농축양액을 양액탱크로 공급하는 정량펌프·원수펌프·양액공급펌프·양액공급 전자밸브·양액혼합전자밸브 등의 제어기를 구동시키는 작동부로 구성되어있다. 주제어장치인 마이크로컴퓨터는 Chips & Technology사의 F8680A CPU를 탑재한 16bit의 TUR-PC86 보드를 사용하였으며, 이는 XT ISA 버스 확장슬롯에 장착하여 구동 할 수 있도록 구성되어

* 농업기계화연구소

확장이 용이하고 IBM계통의 PC와 호환되어 여러가지의 프로그램언어 사용이 가능하다. 계측센서로부터의 신호를 마이크로컴퓨터로 전송하기 위한 데이터수집기도 카드형태로 ISA 버스 확장슬롯에 장착하여 데이터를 전달할 수 있는 12bit의 A/D컨버터를 사용하였으며 디지털신호 입출력도 가능하다.

계측부의 EC, pH 센서 및 신호전송기는 국내 D사 제품을 사용하였으며, 각각의 측정범위는 0~10mS/cm, 0~14pH로 모두 4~20mA의 출력을 얻을 수 있다. 농축양액 A액·B액은 동일한 양을 공급해야하나 정량펌프의 농축양액 공급호스로 공기가 유입되거나 농축양액이 공급되지 않는 경우 양액조제가 불량하게 되는 문제점이 야기되어 작물생육에 지장을 초래할 수 있으므로 이와 같이 농축양액이 원활히 공급되는지를 검출하기 위하여 광센서를 이용한 농축양액공급검출기를 설계 제작하였다. 정량펌프, 양액공급펌프, 원수펌프, 전자밸브 등 작동부인 제어기 어느 한 부분이라도 고장이 발생하는 경우 작물에 양액이 공급되지 않거나 양액조제가 불량해지게 되는 경우가 발생할 가능성이 있어 이를 미연에 방지하고자 홀전류 센서를 이용하여 고장검출장치를 설계 제작하였다.

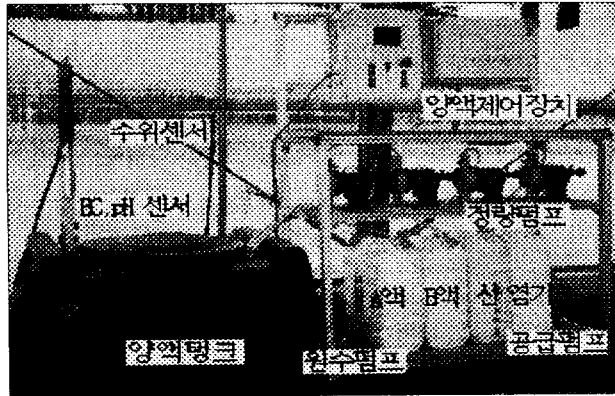


Fig. 1. View of the automatic nutrient solution adjustment and supplying system

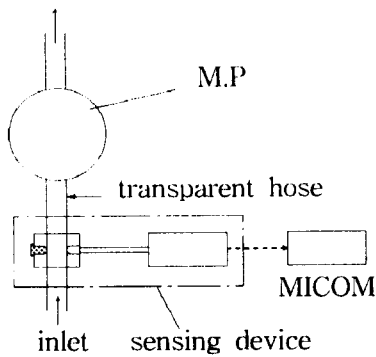


Fig. 2. Sensing device of concentrated solution supplying

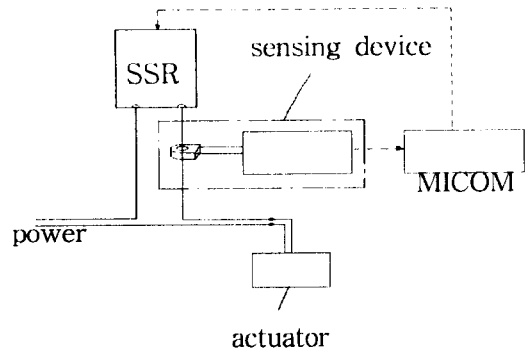


Fig. 3. Sensing device of actuator trouble

나. 제이 프로그램

양액 자동조제 공급장치는 그림 3의 블록선도와 같이 수행되며, 마이크로컴퓨터는 콘트롤러 패널상의 EC, pH, 시간 등 설정치 입력 기능키로부터 입력이 있었는지를 검사하여 입력된 값이 있으면 이 설정값을 초기값으로 읽어 들인 다음, 양액의 EC·pH·시간·양액공급횟수 등을 계측하여 측정치를 LCD화면에 표시하도록 한다. 마이크로컴퓨터는 설정치와 측정치를 비교하여 양액의 농도가 설정된 EC, pH값에 도달할 때까지 출력신호를 릴레이로 내보내어 농축양액A·B액 공급정량펌프, 산·염기 공급정량펌프 및 원수펌프를 구동하여 양액을 직정농도로 조제한다. 이때 각각의 농축양액 A·B액·산·염기 공급정량펌프 및 원수펌프가 작동되고 있는지 여부는 고장검출기에서 그리고 농축양액 공급 여부 검출은 농축양액공급검출기에서 감지하게 되고 여기서 측정된 신호는 디지털 신호로 변환되어 마이크로컴퓨터로 보내지며, 만약 작동이 원활하지 않은 상태라면 LCD화면에 고장이나 이상부분을 지적하여 작업자가 쉽게 양액공급 이상 또는 작동부 고장 유무를 인식하고 조치할 수 있도록 표시한다. 이와 같이 양액이 적정한 농도로 조성이 되고 난 후 양액공급시간이 되면 마이크로컴퓨터에서 출력신호를 내보내 양액공급 전자밸브가 열리고 양액공급펌프가 작동을 하게 되는데, 여기서도 양액 공급 작동부인 양액공급전자밸브와 양액공급펌프가 작동되고 있는지를 고장검출기에서 감지하게 된다.

양액이 전부 공급된 다음 다시 양액을 조제하고 공급을 반복하도록 하는 무한루프의 형식으로 되어있으며, 프로그램은 블랜드사의 C언어로 작성하여 각 제어기를 단순 제어할 수 있도록 on-off제어방식을 채택하였다.

다. 시험방법

양액제어 프로그램에 의한 시작기의 작동부 동작여부와 제어 성능시험을 위하여 농축양액 공급주기별 제어 응답특성을 측정하였다.

양액 공급이상 및 작동부 고장여부를 검출하는 장치로부터 신호를 측정하여 양액공급이상과 고장에 대한 기준을 판단할 수 있도록 오실로스코프를 이용하여 그 전기적특성을 조사하였다.

시작기의 작물적응성 시험을 하기 위하여 경기 화성 및 평택 2농가에서 각각 방울토마토와 추키니호박을 대상으로 농가실증시험을 수행하였으며, 양액조제공급의 성능시험과 작물생육조사 및 농가반응을 조사하였다.

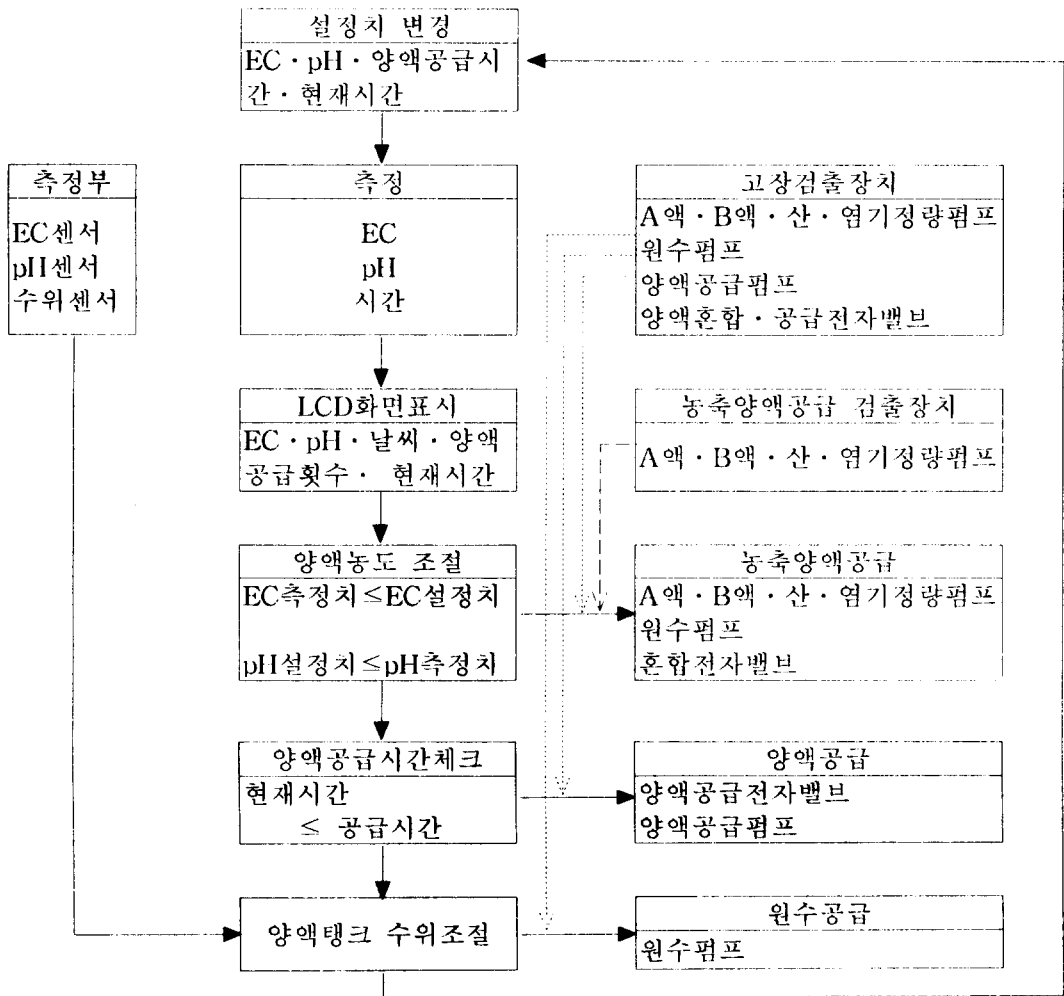
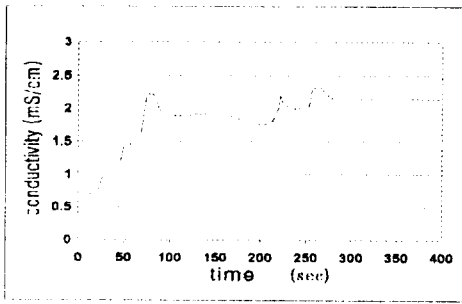


Fig. 4 . Block diagram of nutrients control system

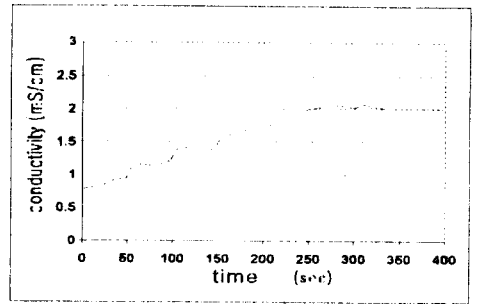
3. 결과 및 고찰

가. 제어 응답특성

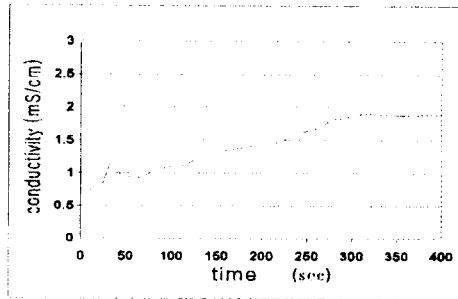
양액 농도를 간접적으로 측정하는 기준인 전기전도도(EC)를 2.0mS/cm로 하고 허용오차 범위(dead band)를 ± 0.2 로 설정하여 양액의 EC변화량을 측정한 결과 농축양액의 공급주기를 2초로 한 경우 설정값 부근에서 농축양액공급과 원수보급이 수 차례 반복되었으며 설정값 도달 안정시간은 278초이었고, 그 때 EC값은 2.15mS/cm인 것으로 나타났다. 농축양액 공급주기를 7초로 하여 측정한 결과 비교적 완만한 제어를 수행하였으며 설정값 도달 안정시간은 219초이었고, EC제어값은 1.9mS/cm로 나타났다. 농축양액 공급주기를 10초로 하였을 때 완만한 제어곡선을 보였으며 설정값 도달 안정시간은 278초이었고, EC값은 1.9mS/cm에서 제어되는 것으로 나타났다.



(a) 2 seconds



(b) 7 seconds

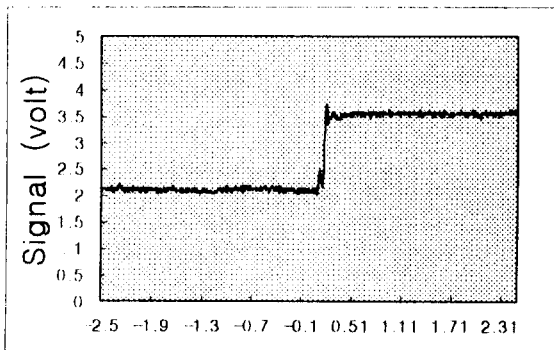


(c) 10 seconds

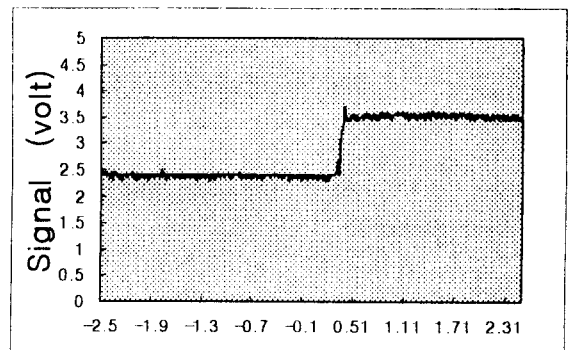
Fig. 3. Response of the nutrient solution control system by working cycle

나. 양액공급이상시 전압특성

농축양액을 공급하는 정량펌프 공급측 투명호스에 설치된 농축양액공급검출장치에서 양액이 정상공급되는 경우와 공급이 원활히 이루어지지않아 공기층이 있는 경우 광량의 변화를 측정하였다. 농축양액 공급 투명호스 사이를 통과한 전압은 그림 4에 표시된 바와같이 A액, B액이 공급호스를 통과할 때의 전압은 각각 2.2V, 2.4V였으며, 양액의 공급이 끊어져 호스내 공기가 차있을 때의 전압은 3.5V로 나타났다. 이와 같이 마이크로컴퓨터에서는 양액공급에 이상이 생기는 경우 전압차를 검출하여 판단하고 화면에 이상 부위를 표시하게 된다.



(a) A solution



(b) B solution

Fig. 4. Voltage characteristics represented by abnormal function in the sensing device of concentrated solution supplying

마이크로컴퓨터로부터 출력된 신호에 의해 작동부의 제어를 동작시킬 경우 정상 작동시와 고장으로 인하여 제어가 작동하지 않을 때의 고장검출신호특성을 측정해 본 결과 작동부의 제어기 중 전력용량이 가장 낮은 전자밸브에서 정상 작동시 2V 전압이 측정되었고 이상시는 전압출력이 0V로 나타나 작동부 고장에 대한 판단기준으로 하였다.

나. 농가실증시험

양액재배 농가에 양액 자동조제 공급장치를 설치하고 작물재배시험을 수행하였다. 제어성능은 전기전도도(EC)를 2.0mS/cm, 허용오차범위(dead band)를 ± 0.15 로 하고 pH를 6.5, 허용오차범위를 ± 0.15 로 설정하여 시험한 결과 EC 및 pH 측정치는 각각 1.91~1.98mS/cm, 6.62~6.65pH로 설정치에 근사하게 제어되는 것으로 나타났다.

양액 자동조제 공급장치의 농가적응성을 위하여 양액재배 하는 2농가를 대상으로 작물적응시험을 한 결과 작물생육은 개체간 균일한 생육을 보였으며, 시작기에 대한 농가반응은 작업성능에 100% , 작물생육에 있어 86%, 취급편이성 86%가 양호한 것으로 응답하였고, 구입은 100%가 구입하는 것으로 나타났다.

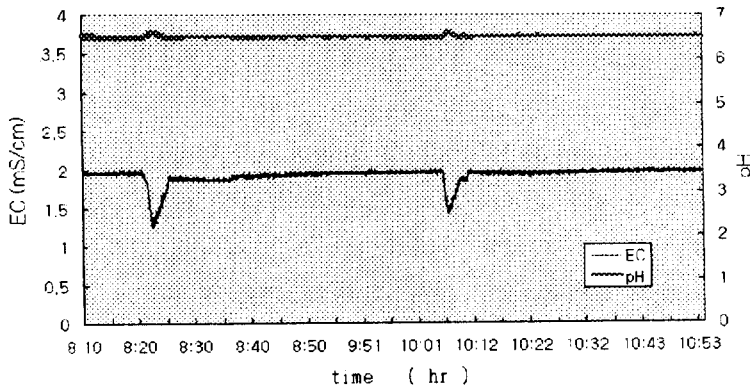


Fig. 4. EC and pH changes during hydroponic culture

Table 1. Growth condition of plants with hydroponic culture

Treatment	Pumpkin $\bar{x}(\sigma)$		Tomato $\bar{x}(\sigma)$
	Hydroponic culture	Soil culture	
Leaf area(cm^2)	12216.1	12854.3	3206.8
Fresh weight(g)	2155.2	2230.3	211.4
Dry weight(g)	178.5	177.5	21.3
Plant height(cm)	60.3 (8.52)	61.1 (9.75)	77.4 (7.54)
No. of leaves/plant	29.2 (1.37)	32.5 (3.73)	13.2 (0.45)
Fruit number/plant	4.2 (0.86)	4.6 (2.89)	-
Stem diameter(cm)	17.7 (1.70)	20.7 (3.94)	7.0 (0.19)

Table 2. Response in trial test

Working performance (good)	Growth condition (good)	Handling (good)	Desire of purchase (purchase)
100(%)	86	86	100

4. 요약 및 결론

본 연구는 양액재배작업의 생력기계화와 작물의 안전생산을 위하여 양액 공급라인 계통의 이상이나 고장을 진단하는 기능을 구비한 양액 자동조제 공급장치 개발을 하고자 하였으며 그 제어성능 및 농가조사 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가. 양액의 농도를 제어요인으로 하는 양액 자동조제 공급장치 및 제어 알고리즘을 개발하였다.
- 나. 제어장치의 응답특성을 조사한 결과 농축양액의 공급주기를 2초로 한 경우 EC조질의 제어빈도가 높고 설정값 도달 안정시간이 긴 것으로 나타났으나, 농축양액 공급주기를 7초로 한 경우 비교적 완만한 제어를 수행하였으며 설정값 도달 안정시간도 짧은 것으로 나타나 on-off 제어방식에 있어 농축양액공급주기 결정이 중요한 것으로 판단되었다.
- 다. 양액공급이 정상적인 경우 양액공급검출기로부터의 전압은 최고 2.4V와 이상시 3.5V의 전압특성을 얻었으며, 작동부 고장검출기 또한 고장시와 정상상태의 전위차를 이용하여 고장검출이 가능한 것으로 판단되었다.
- 라. 양액재배 농가에 양액 자동조제 공급장치를 설치하고 작물재배시험을 수행하였다. 제어성능은 전기전도도(EC) 설정치를 2.0mS/cm, 허용오차범위(dead band)를 ± 0.15 로 하고 pH 설정치를 6.5, 허용오차범위를 ± 0.15 로 설정하여 시험한 결과 EC 및 pH 측정치는 각각 1.91~1.98mS/cm, 6.62~6.65pH로 설정치에 근사하게 제어되는 것으로 나타났다.
- 리. 양액재배농가에서 작물적용시험을 한 결과 작물생육은 개체간 균일한 생육을 보였으며, 양액 자동조제 공급장치에 대한 농가반응은 작업성능, 작물생육, 취급편이성, 구입성 등에 양호한 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

1. 오길근. 1995. 양액 자동제어 장치 및 공급량 예측프로그램의 개발. 서울대학교 석사학위논문
2. 손정의. 1994. 양액조성 및 자동화. 한국생물생산시설환경학회 심포지엄 및 학술논문발표요지

3. 송현갑외 5인. 1993. 시설원예 자동화 -기초와 응용-. 문운당
4. 김문기, 남상운, 손정익. 1991. 식물생산 시스템내의 양액재배 환경관리 실태 및 계측시스템의 개발. 서울대농학연구지 16권 2호 : 233-238
5. 김철수와 6인. 1992. 시설재배지 관수, 관비, 방제종합시스템의 자동제어장치 개발. 농진청
6. 孫禎翼ら. 1987. 養液栽培における培養液管理の自動化に関する研究. 農業氣象 43(2) : 147-151
7. T.MORIMOTO, H.HASHIMOTO. 1991. Application of Fuzzy Logic and Neural Network to the Process Control of Solution pH in Deep Hydroponic Culture. IFAC Workshop Series