

# 퍼지제어를 이용한 양액 자동공급 시스템 개발

## Development of an Automatic Nutrient-Solution Supply System Using Fuzzy Control

황 호준\*

H.J.Hwang

류 관희\*

정 회원

K.H.Ryu

이 규철\*\*

정 회원

K.C.Lee

김 기영\*

정 회원

G.Y.Kim

### 1. 서 론

최근에 이르러 무공해 고품질의 농산물을 생산할 수 있는 장점 때문에 양액재배 농가들이 많이 늘고있다. 이에 따라 값비싼 외국의 양액재배 시설을 대체할 국내의 기술에 의한 양액 공급 제어기와 이의 구동 알고리즘 개발이 많이 수행되고 있다. 특히, 양액의 정밀계량장치와 농민이 사용하기에 간단하고 조작하기 쉬운 전용제어기를 이용한 액제 자동공급시스템, 그리고 환경인자를 고려한 정밀한 양액의 제어 알고리즘 개발은 외국의 경우에서도 아직 찾아보기 힘든 첨단 연구로 우리의 양액재배 기술을 한 단계 높일 수 것으로 그 필요성이 매우 크다고 할 수 있다.

이 등(1997)은 소형 임펠러 펌프와 간단한 부자형 수위센서식 미터링 실린더 및 전자밸브로 조합된 수위센서식 액제 정밀 계량 장치를 개발하여 정밀한 액제 제어를 가능케 했지만, 수위센서의 작동 불량 및 구동 알고리즘의 복잡함이 문제점으로 나타나 이를 개선할 필요성이 대두되었다. 박 (1996)은 우리 나라 양액재배에 있어서 양액 조성 및 관리가 부적절하여 작물의 품질 및 수량이 안정적이지 못하다고 보고하였다. 그러므로, 전문적인 양액관리자의 확보 및 양액 관리 알고리즘을 응용한 전용 양액 제어기의 필요성이 대두되고 있다. 따라서 이러한 전용 양액 제어기의 개발의 기초 단계로 양액의 농도와 산도, 그리고 광합성에 직접적인 영향을 미치는 일사량과 온도 등의 생육환경정보를 이용한 복합적인 양액 공급장치 제어알고리즘이 필요하다.

본 연구의 목적은 퍼지제어기를 이용하여 온도, 습도, 일사량, 생육시기, EC등의 생육정보를 바탕으로 양액의 공급량 및 농도를 제어함으로써 작물생육에 적절한 양액을 공급하는 양액공급시스템을 개발하는 것이다. 본 연구의 그 구체적인 목적은 다음과 같다.

1. 양액 조제 및 공급 시스템을 개발을 위한 오버플로우식 액제 정밀 계량 장치를 개발한다.
2. 양액의 농도 및 공급량을 예측할 수 있는 퍼지제어 알고리즘을 개발한다.
3. 농도 조제 퍼지제어 알고리즘을 개발한다.

\* 서울대학교 생물자원공학부 농업기계전공

\*\* 마포산업 전자(주)

4. 내장형 제어기(embedded computer) 및 ADC, LCD를 이용한 양액 조제 및 공급 시스템용 전용제어기를 개발하고 개발된 시스템의 조제 성능을 평가한다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 양액 자동 공급 시스템 개발

#### (1) 오버플로우식 액제 정밀계량 장치 개발

기존의 수위센서식 액제정밀계량장치의 수위센서 문제점을 해결하고 일정한 액면을 유지시키기 위하여 오버플로우식 액제 정밀 계량 장치를 새롭게 개발하였다. 이 장치는 유체 정역학적 원리를 이용하여 수위센서를 사용하지 않고도 액면을 일정하게 유지하기 때문에 가격이 저렴하고 내구성이 향상되고 구동 알고리즘이 단순화되었다. 작동 방식은 계량 용기 상부의 유입부에서 미터링 실린더 내부의 액면까지 액체를 계속해서 공급하면, 일부는 배출되며 나머지는 계량용기에서 넘쳐흘러 바이패스(bypass)관을 통하여 다시 농후배양액통으로 재유입된다. 따라서 농후배양액은 계량용기에 일정한 양이 담겨 있는 상태가 되며, 항상 일정한 수위에서 전자밸브 구동시간 동안 동일한 압력으로 배출된다(그림 1). 계량용기 하단의 배출부에는 솔레노이드밸브와 유량조절 밸브를 설치하였고, 소형 마그네틱 펌프를 사용하여 농후배양액을 계량 용기로 공급하였다.

#### (2) 외형 프레임 제작

양액 조제 및 공급 시스템은 위에서 제작된 액제 정밀 계량 장치와 원수공급 및 혼합용 탱크, 양액 혼합과 공급용 펌프, 배관 등으로 구성된다. 혼합 탱크의 사용가능 용량은 약 800리터이며, 배관은 PVC 파이프 20 $\phi$ , 25 $\phi$ 를 이용하여 구성하였다. 그림 2는 알루미늄 외형 프레임과 양액 공급 파이프 배관 구성을 나타낸 것이다.

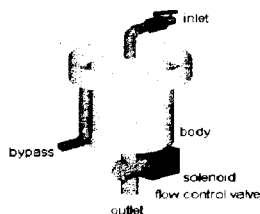


Fig. 1. Shape of Cylinder

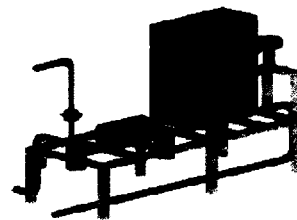


Fig. 2. Frame structure

### 나. 예측 및 조제 알고리즘 개발

#### (1) 예측 알고리즘 개발

일사량, 온도, 습도, 생육단계 등의 생육인자를 이용하여 양액의 농도 및 공급량을 예측하는 퍼지알고리즘을 개발하였다. 알고리즘 개발은 먼저 작물의 생육에 절대적인 영향을 미

치는 생육인자를 결정하고, 둘째로 결정된 주된 생육인자에 따른 양액의 농도 및 공급량 사이의 관계를 규명하며, 셋째 이들 상호관계를 이용하여 각각의 입출력 귀속도 함수 및 규칙을 개발하여 양액 농도 및 공급량을 예측할 수 있도록 하였다.

예측에 사용될 규칙들은 전문가들의 의견을 바탕으로 개발되었으며, 일반적으로 습도가 낮으면 공급량을 증가시키고 습도가 높으면 공급량을 줄여서 작물의 습해 및 고습으로 인한 병해를 줄이고자 하였다. 또한, 작물의 생육단계에 따라 양액의 농도를 증가시키면서 작물 수확기 때에는 농도를 낮춰주는 방향으로 규칙을 작성하였다. 일사량이 높으면 농도를 낮춰주는 것이 좋기 때문에 이에 따라서 규칙을 작성하였다.

Table 1 Decision table for set point of EC and supply amount

	Temperature			Solar Radiation			Relative Humidity			Growth Period			EC					Supply amount			
	L	M	H	L	M	H	L	M	H	S	C	H	VL	L	M	H	VH	L	M	H	
R 1.																					
R 2.																					
R 3.																					
R 4.																					
R 5.																					
R 6.																					
R 7.																					
R 8.																					
R 9.																					

(2) 조제 알고리즘 개발

예측된 양액 농도를 조제하는 데에는 총 9개의 규칙이 이용되었으며, 규칙은 시행착오법을 거쳐서 작성하였다. 입력 퍼지변수로는 설정치와 현재 농도차, 현재농도와 이전 농도차의 각각 두 개의 오차 및 오차변화신호를 이용하였다. 출력 퍼지변수로는 농후배양액 공급 시간으로 하였다. 귀속도 함수는 시행착오법을 이용하여 정정시간을 최대한 줄이도록 개발하였다. 다음 표2는 양액 조제 알고리즘에 사용된 9개의 규칙을 나타낸 것이다.

Table 2 Decision table for condensed-nutrient-solution supply in EC control.

	e						$\Delta e$			supply time				
	EL	EM	EH	EEL	EEM	EEH	t1	t2	t3	t4	t5			
R 1.														
R 2.														
R 3.														
R 4.														
R 5.														
R 6.														
R 7.														
R 8.														
R 9.														

다. 양액 전용 제어기 개발

양액 공급을 위한 전용 제어기는 Embedded Controller, Keymatrix, ADC보드, LCD, Sensor transmitter로 구성되어있다.

Embedded Controller(PC86)는 국산 자체 기술로 제작된 Single board PC로서, IBM-PC와 100%호환을 이루며, 제어 알고리즘에 의하여 양액 공급 장치의 동작을 제어한다.

Keypress는 A~Z까지의 알파벳등의 버튼으로 이루어져 있어 사용자로부터 제어기의 작동에 필요한 정보를 입력 받는다. 제어기에 사용될 데이터 입력보드는 양액의 농도, 일사량, 온도, 습도센서등 4개 신호와 양액 계측을 위한 pH 및 온도신호 2개 등 총 6개 신호 채널을 가지고 있는 보드를 사용하였다. 또한, 원수 탱크의 수위를 검출과 8개의 작동기를 구동시키기 위하여 DI 1채널, DO 8채널을 가지고 있는 디지털 입출력 보드를 사용하였다. 제어기 전용 모니터로서는 640×200 화소를 가지는 백라이트 부착 LCD를 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 액체정밀계량 장치 토출량 실험

개발된 액체 정밀 계량 장치를 이용하여 원수의 토출량 실험을 수행하였다. 10개의 솔레노이드 밸브간의 토출량 편차 실험의 결과를 그림 3에 나타내었다. 10개의 솔레노이드 밸브의 토출량 편차를 5회에 걸쳐 10초동안 구동한 성능평가 결과 솔레노이드 밸브 사이의 토출량 편차는 최대 2.29% 로 나타났다.

토출량 편차를 줄이기 위하여 솔레노이드 밸브 하단에 유량조절 밸브를 설치하여 각각 유량을 조절하면서 실험한 결과 10개의 솔레노이드 밸브 중 토출량 편차가 가장 컸던 두 밸브 사이의 토출량 편차를 그림 4에서 나타난 바와 같이 최대 0.2% 이내까지 줄일 수 있었다.

밸브의 구동시간과 배출량의 관계를 그림 5에 나타내었으며 회귀방정식을 식 (1)에 나타내었다. 구동시간과 배출량과의 결정계수( $R^2$ )는 약 1로 나타났으며 구동시간을 이용하여 액체 정밀 계량 장치의 제어가 가능함을 확인하였다.

$$\text{Discharge(g)} = 18.59 \times \text{Time (sec)} \dots\dots\dots (1)$$

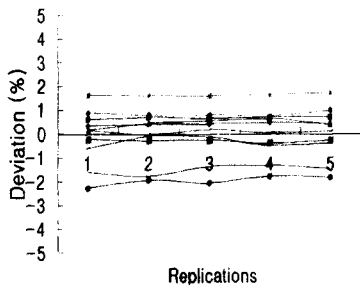


Fig. 3. Deviation in flow rate Using sol. valve only

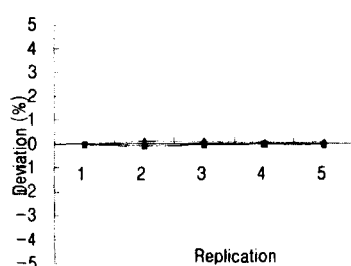


Fig. 4. Deviation in flow rate using sol. and control valve

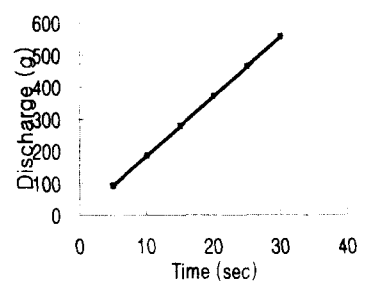


Fig. 5. Regression curve of the metering device

#### 나. 예측 및 조제 알고리즘

##### (1) 예측 알고리즘

개발된 농도 예측알고리즘의 타당성을 검토하기 위해서 농도변화에 가장 크게 영향을 미친다고 판단되는 입력 퍼지 언어변수인 일사량과 생육단계를 변화시키면서 공급량의 변화

추이를 고찰하였다. 예측알고리즘 수행 결과 그림 6과 같이 일사량이 증가할수록 양액 농도가 낮아지고, 생육단계에 따라 적절히 변화하는 것을 관찰할 수 있었다.

그림 7은 일사량을  $3\text{Wh}/\text{m}^2$ , 생육시기를 정식 후 70일로 유지시키고, 온도를  $28^\circ\text{C}$ 에서  $50^\circ\text{C}$ 까지, 습도를 30%에서 100%까지 변화 시켰을 때의 공급량의 변화를 시뮬레이션한 결과를 나타낸 것이다. 여기서 x축은 상대습도, y축은 외기온도, z축은 공급량을 나타낸다.

그림 7에서 보면 온도가 증가할수록 공급량이 증가하며 습도가 증가할수록 공급량이 감소함을 알 수 있는데 특히, 온도가 매우 높고( $50^\circ\text{C}$ ) 습도가 매우 낮은(30%) 상태에서의 공급량은  $1405\text{ml}$ 이며, 온도가 매우 적고( $28^\circ\text{C}$ ) 습도가 매우 높은(100%) 상태의 공급량은  $1179\text{ml}$ 이어서 고온·저습의 이전 상태의 공급량보다  $226\text{ml}$ 적게 공급함을 알 수 있다. 전체적으로 고온과 저습에서 공급량이 높아지며, 저온과 고습에서 공급량이 적어짐을 보여서 개발된 규칙에 잘 부합되어 퍼지제어에 의한 공급량 예측이 타당함을 알 수 있다.

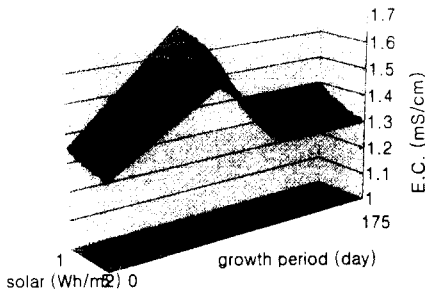


Fig. 6. Variation in EC

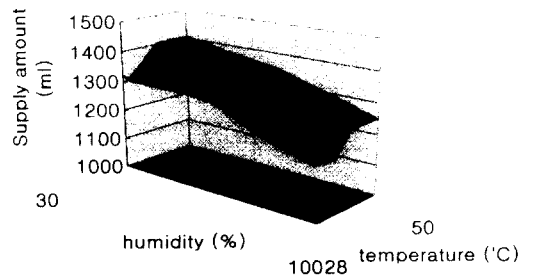


Fig. 7. Variation in supply amount

## (2) 조제 알고리즘

설정된 양액 농도를 조제 하는 알고리즘을 개발하였는데 그림 8~10과 같은 조제 응답특성을 보였다. 그림에서 검정 막대는 농축배양액 공급시간을 나타낸 것이다. 그림 11에선 농도차에 따른 정정시간의 변화를 나타낸 것이다.

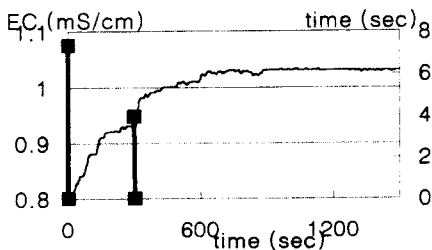


Fig. 8. Time response of EC control  
for an increase of  $0.2\text{mS}/\text{cm}$

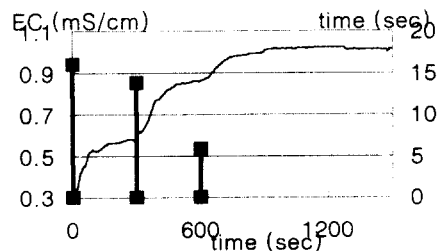


Fig. 9. Time response of EC control  
for an increase of  $0.7\text{mS}/\text{cm}$

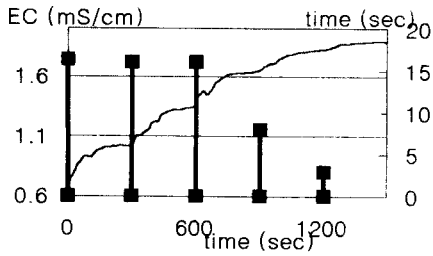


Fig. 10. Time response of EC control for an increase of 1.3mS/cm

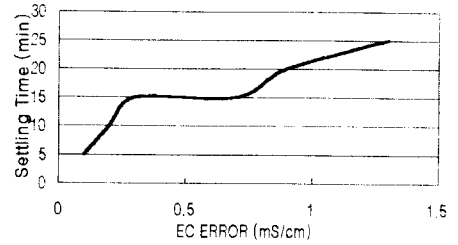


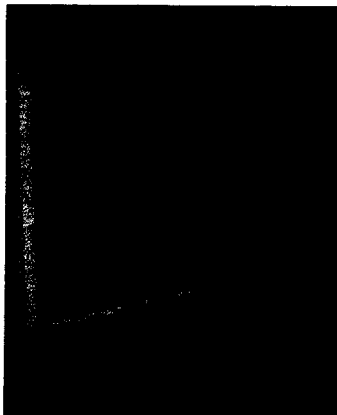
Fig. 11. Settling time vs difference EC difference

## 다. 전용제어기

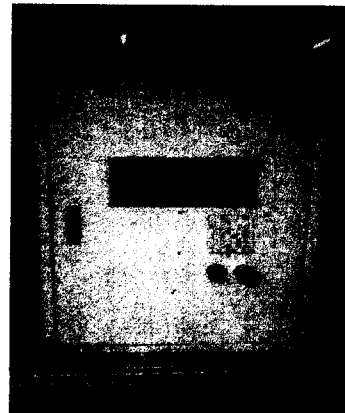
### (1) 외형

양액 조제 및 공급시스템을 위한 퍼지 전용 제어기를 개발하였다. 전용제어기는 keymatrix와 LCD를 통하여 사용자가 수동 및 자동 조제와 공급 모드를 선택 가능하도록 하였으며, 시스템과는 별개로 독립적으로 개발하여 유지 및 보수가 용이토록 하였다.

다음 그림 12는 개발된 제어기의 내부와 외부 모습을 나타낸 것이다.



(a) Inner



(b) Outer

Fig. 12. View of Controller developed.

## 4. 요약 및 결론

본 연구는 퍼지 제어에 의한 양액 전용 제어기 개발을 위한 목적으로 수행되었으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 정밀한 액체 계량을 위하여 오버플로우식 액체 정밀 계량 장치를 개발하였으며 이를 이용한 양액 자동 조제 및 공급 시스템을 개발하였다.
2. 오버플로우식 액체 정밀 계량 장치의 토출량 실험 결과, 솔레노이드 밸브만을 이용하였을 경우에는 밸브간 토출량 편차는 최대 2.29%로 나타났으며, 유량조절밸브를 이용하

여 토출량을 조정한 후에는 0.2%로 줄어들었다.

3. 자료 조사를 통하여 작물의 생육에 영향을 미치는 인자를 일사량, 온도, 습도, 생육단계로 설정하였으며 이에 대한 양액 농도 및 공급량의 귀속도함수와 9개의 규칙을 개발하였다. 또한 개발된 예측 귀속도 함수와 규칙을 이용하여 양액 농도 및 공급량 예측용 퍼지제어 알고리즘을 개발하였다.
4. 조제 입력변수를 오차와 오차변화율로 결정하고 이에 대한 귀속도 함수와 9개의 규칙을 시행착오법을 통하여 개발하였으며, 이를 이용한 양액 조제 퍼지제어 알고리즘을 개발하였다.
5. 조제 성능 실험을 실시한 결과 초기 농도와 설정 농도의 차이가 0.7mS/cm 범위 내에서 정정시간은 약 15분이었으며, 이 범위에서의 최대 오버슈트는 0.035mS/cm이었다.
6. 개발된 알고리즘과 내장형 제어기를 이용하여 한글 입출력이 가능한 양액전용제어기를 개발하였다.

## 5. 참고 문헌

1. 송대빈. 1997. 벼의 횡류 연속식 건조 모델 개발과 퍼지 논리를 이용한 건조 속도 제어에 관한 연구. 서울대학교 공학박사학위 논문. 105-130.
2. 이경환. 1995. 락울을 이용한 양액재배 기본(2). 농경과 원예.
3. 이정훈. 1997. 액세 정밀계량 장치를 이용한 양액 자동조제 시스템 개발. 서울대학교 공학석사학위 논문.
4. 조성인. 1995. 퍼지 시스템의 농업응용과 전망. 한국생물생산시설환경학회. 89-95.
5. 퍼지技術硏究會 編. 1992. 퍼지시스템 入門. 機電硏究社. 18-23.
6. 박상근:편집부. 1996. 배양액의 농도결정과 관리 및 교환. 과학원예. 81.
7. 山崎肯哉. 1984. 養液栽培全編. 博友社. 東京. 34-40.
8. Benoit, F. 1992. Practical guide for simple soilless culture techniques. European Vegetable R & D centre, Belgium. 33.