

---

# 양액 자동 공급 제어 시스템의 설계 및 구현

정원근\* · 이병로\*\* · 김병철\*\*

## Design and Implementation of An Automatic Nutrient Solution Control System

Won-Geun Jeong\* · Byeong-Ro Lee\*\* · Byungcheul Kim\*\*<sup>1)</sup>

### 요 약

본 연구에서는 임베디드 RTOS와 퍼지제어 알고리즘을 이용하여 양액의 농도와 공급량을 자동으로 조절하는 양액 공급 제어 시스템을 설계 및 구현하였다. 작물의 생육에 영향을 미치는 인자는 일사량, 외부온도, 외부습도, 생육단계로 구성하였으며, 양액온도, 전기전도도(EC), 산도(pH)가 측정되었다. 그 결과를 바탕으로 양액의 농도와 공급량 조절을 위해 양액 조절 퍼지제어 알고리즘을 개발하였다. 일반 사용자를 위하여 임베디드 RTOS, 한글 LCD, 그리고 그래픽으로 구성된 양액 전용 임베디드 제어기를 개발하였다.

### ABSTRACT

In this study, an nutrient solution control system have been designed and implemented, which controls the density of nutrient and the nutrient supply automatically using embedded real time operating system and fuzzy control algorithm. The factors which affect the growth of crop consist of solar radiation, external temperature, and external humidity. Also, nutrient temperature, electric conductivity(EC), and pH are monitored. According to the surveyed results, a fuzzy control algorithm for nutrient control is developed in order to control the density of nutrient and the nutrient supply. The exclusive embedded controller which consists of an embedded real time operating system, a korean LCD, and a graphic is developed for common users.

### 키워드

Nutrient, RTOS, Fuzzy, Embedded System

## I. 서 론

최근 무공해 고품질 농산물의 소비가 급격히 증가하면서 양액재배를 목적으로 하는 시설원예도 따라서 증가하고 있는 추세에 있다. 이러한 가운데 자본과 기술이 집약적으로 투입된 원예시설을 이용한 고품질의 농산물을 생산하려는 농가들이 늘어나고 있다. 이에 따라 값비싼 외국의 양액 재배 시설이 대부분 사용되어 이를 대체하기위해 국내에도 양액 공급 제어기와 자동 알고리즘 개발이 많이 개발되고 있다[1].

양액재배는 작물을 위한 영양분들이 흡수에 적합한 이온형태로 존재하기 때문에 영양분의 부족으로 인한 생육제한 요인을 제거할 수 있고, 밀식이 가능하며, 무기염의 이용효율을 향상시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한, 작물이 수분부족으로 인한 스트레스를 거의 받지 않게 되고, 공급과 제어의 측면에서 생력화 및 자동화의 비율을 높일 수 있다는 장점을 갖는다. 그러나 양액재배가 부적절하게 수행될 경우, 대상 작물 전체가 치명적인 피해를 입게 되며, 작업에 요구되는 노

---

\* 경상대학교 공학연구원 자동화 컴퓨터 연구센터 연구원

접수일자 : 2005. 4. 21

\*\* 전주산업대학교 전자공학과 / 1) Corresponding Author

동력이 매우 크기 때문에 이에 따른 자동화가 절실히 요구되고 있다. 작물이 정상적으로 생육, 개화, 결실을 거쳐 종자를 형성하기 위해서는 탄소(C), 산소(O), 수소(H), 인(P), 칼륨(K) 등 16 종류의 여러 가지 원소가 반드시 필요한 것으로 알려져 있다. 이중 탄산가스(CO<sub>2</sub>)로부터 공급되는 탄소와 산소를 제외한 원소는 대부분이 뿌리를 통해서 흡수되기 때문에 원칙적으로 양액 중에는 이와 같은 원소들이 적당한 농도의 비율로 존재해야 한다. 또한, 작물에 따라 이와 같은 원소들의 요구량은 조금씩 다르며, 재배조건이나 생육단계에 따라서도 변화하기 때문에 작물의 종류에 따른 양액의 조성도 달리해야 할 필요가 있다. 특히 과채류의 경우에는 생육단계에 따른 농도변화가 있어야만 작물이 정상적인 생육을 할 수 있다[2][3].

그러나 양액재배에 있어서 양액 관리는 중요한 요인이 되는데 우리나라 양액재배는 양액 조성 및 관리에 부적합한 조건을 주어 품질, 수량 등 안정 생산을 못하는 경우가 많다고 한다. 또한, 양액재배가 가능하게 된 것은 양액조제 및 공급시스템의 개발과 그에 따른 사용자 편의의 컨트롤러와 알고리즘의 개발이 선행되었기 때문인데, 지금까지는 국내의 기술이 취약해서 외국의 기술에 의해 만들어진 양액 및 공급시스템을 사용하고 있는 실정이다. 이들 양액 및 공급시스템은 농민이 사용하기엔 경제적으로 부담이 많이 되기 때문에 양액재배 보급의 제약 요인이 되고 있다.

농가에서 저렴하면서 관리가 편리한 여러 재배시스템을 개발하는 것이 무엇보다도 중요하며 앞으로 작물 생육별, 환경 인자별 성장데이터를 축적하고 이를 이용한 작물의 성장과 환경인자 사이의 관계를 파악하여 일사량이나 온도 및 습도와 같은 환경 인자를 생육환경정보로 이용하는 복합적인 양액 공급 제어기기 및 제어 알고리즘이 필요하다[4]. 따라서 본 연구에서는 생육환경정보인 일사량, 외부온도, 외부습도, 양액온도, 전기전도도(EC), 산도(pH), 용존산소량을 측정하여 양액의 농도와 공급량을 자동으로 조절하는 양액 공급 제어 시스템을 구현하고자 한다.

## II. 양액 자동 공급 시스템

그림 1은 임베디드 컨트롤러를 내장시킨 양액 공급

장치의 기본적인 구성을 나타낸다.

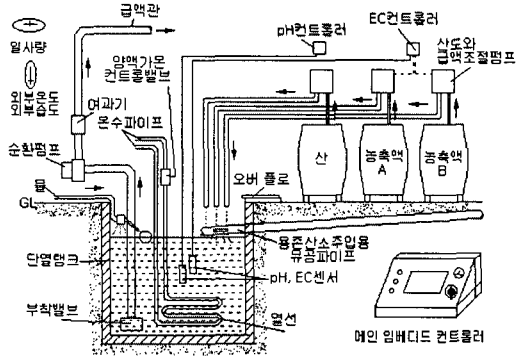


그림 1. 양액 공급 장치의 구성도  
Fig. 1. Block diagram of a nutrient system

외부 환경 측정용으로는 일사량 센서, 외부 온도 센서, 외부 습도 센서가 사용되며, 양액 관련 측정용으로는 양액의 온도와 전기전도도 센서, 산도 센서, 용존산소농도 센서를 통하여 환경 정보와 양액의 농도를 측정한다. 측정된 데이터는 메인 임베디드 컨트롤러를 통하여 실시간 측정되고 제어알고리즘으로 최적의 농도를 결정한 후 양액의 pH와 EC 편차가 없도록 센서와 유속 정압밸브 등을 임베디드 컨트롤러에 의해 자동으로 조절하며, 작물의 생육단계에 따른 양액 조절을 용이하게 관리할 수 있도록 지속적인 수행 data의 저장을 통해 재배 이력을 파악할 수 있도록 구성된다.

양액재배에는 각종 방식이 실용화되어 있지만 어느 방식이나 작물의 뿌리가 베드 내에 한정되어 있는 것과, 영양분과 수분이 양액으로 공급되는 점에 특징이 있다. 따라서 베드 내의 양액의 성분농도, pH, 온도 및 용존산소농도 등은 영양분과 수분의 흡수에 직접 작용하고 토경에서와 같은 완충작용이 거의 없기 때문에 주의 깊게 조절하여 관리할 필요가 있다. 따라서 배양액의 제조소에 대하여 재배작물, 생육단계마다의 적정값을 파악하는 것이 중요하며, 그 적정값을 목표로 하여 정확하고, 생력적인 조절이 필요하다[5]. 양액관리의 요소로서 배양액, 양분의 농도(EC), pH, 용존산소농도 등이 있다. 또 압면경 등의 고행배지에 있어서는 배지의 수분량이 조절의 대상이 된다. 양액관리의 요소로서는 양액의 유량, 농도(EC), 산도(pH) 및 용존산소농도 등이 있는데, 압면경 같은 배지경에서는 양액

조절을 위하여 배지의 수분함유율을 조절하는 것도 대상이 된다[6]. 양액재배 시스템에서는 이들 양액관리 요소를 정확하게 제어할 수 있어야 한다. 양액재배 시스템에서의 각 센서의 특징은 다음과 같다.

**온도센서 :** 양액 또는 고형배지의 온도관리를 위한 것으로 겨울철의 저온, 여름철의 고온에 의한 생육장애 방지를 위하여 근부의 생육적온 조절에 사용한다. 따라서 온도센서는 정밀도, 응답성 등이 중요한 지표이다.

**전기전도도(EC) 센서 :** 전기전도도는 ‘단면적 1cm<sup>2</sup>, 거리 1cm의 평형전극간에 있는 용액의 전기저항의 역수’로 정의된다. 용액중의 전기흐름은 용액중의 이온량에 영향을 받아 이온량이 많아지면 전기가 통하기 쉬워진다. EC가 큰 것은 용액중의 이온량이 많아진 것으로 양분농도가 진하다는 것을 의미한다. 따라서 양액의 EC를 측정함으로써 양액중에 포함되어 있는 전이온량의 변화를 추측할 수 있다.

**pH센서 :** pH는 수용액 중의 수소이온 농도를 나타내며, 양분의 흡수에 밀접한 관계가 있어 작물의 생육상에 적정한 범위가 있다. 일반적으로 양액의 양분농도를 조정후 산 또는 알칼리액을 서서히 가하여 pH를 조절한다.

**용존산소농도 센서 :** 양액중의 용존산소 농도는 시험연구의 경우에는 측정하지만 일반재배의 경우에는 양액의 순환량을 타이머 등으로 조정하여 적절한 농도를 유지하고 있으며 직접적으로 측정하는 경우는 적다.

**수분센서 :** 암면경 등에서 고형배지내의 수분량을 측정 및 조절하기 위해 센서가 필요하다. 그 하나로서 온도법에 기초를 둔 센서로서 암면매트의 히터에 의한 온도상승을 측정하기 위한 히터와 온도센서로 구성되어 있다. 이것은 양액 농도의 영향은 무시되지만 배지 온도의 일변화와 배지와 센서와의 접촉을 양호하게 하여 안정시키는 것에 유의할 필요가 있다.

**일사센서 :** 태양 복사에너지를 측정하는 계기는 보통 일사계라 한다. 지표면이 받는 일사에는 직달광과 산란광이 있으며, 두개를 합한 것을 보통 일사라 한다. 일사계의 수광부로는 열전대 혹은 포토다이오드가 일반적으로 사용되고 있다.

**2.1. 양액 공급 시스템의 하드웨어 설계**

양액의 농도 설정 및 산도 설정과 공급시간의 설정의 입력에 의해 양액을 자동으로 조절할 수 있는 양액 자동

공급 임베디드 제어기의 구성도를 그림 2에 나타내었다.

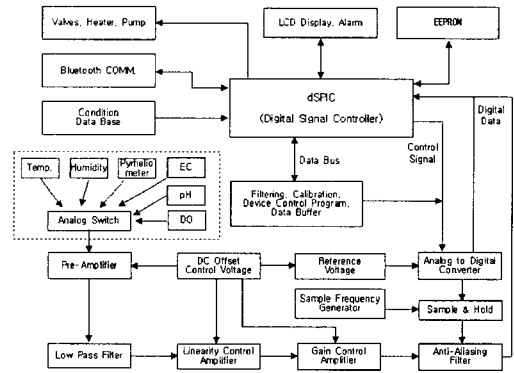


그림 2. 임베디드 제어기 구성도  
Fig. 2. Block diagram of the embedded controller

각 센서는 아날로그 필터를 거쳐 비교적 큰 잡음이 제거되며 측정된 데이터는 양액 제어 알고리즘에 의해 정압밸브를 구동하여 조절된다. 임베디드 제어기의 프로세서는 Microchip 사의 dsPIC30F2010으로 12KBytes 프로그램 플래시 메모리, 512Bytes SRAM, 1024Bytes EEPROM, 16bit Timer 3개, 10bit A/D 6개, 16bit PWM 2개를 가지고 30MIPS로 동작하는 디지털 신호 컨트롤러(DSC)로서 마이크로컨트롤러(MCU)의 제어력과 디지털 신호 프로세서(DSP)의 연산 및 처리성능 기능을 유연하게 결합시킨 임베디드 단일 칩 컨트롤러를 사용하였다.

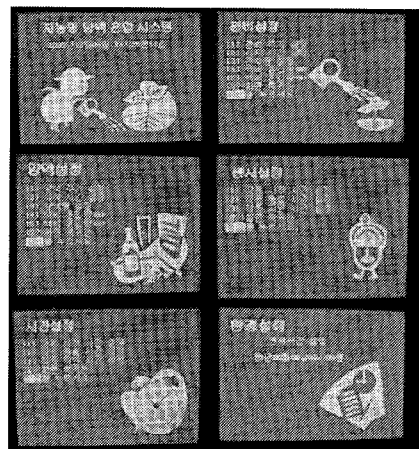


그림 3. 한글 및 그래픽을 이용한 화면  
Fig. 3. LCD screen using korean and graphic

입력장치는 숫자와 몇 개의 기능키로 이루어진 키 패드를 사용하였고, 출력장치는 원격 모니터링 시스템과 음성으로 시스템의 상태를 알려주는 음성 정보기 및 LCD 표시장치로 구성하였다.

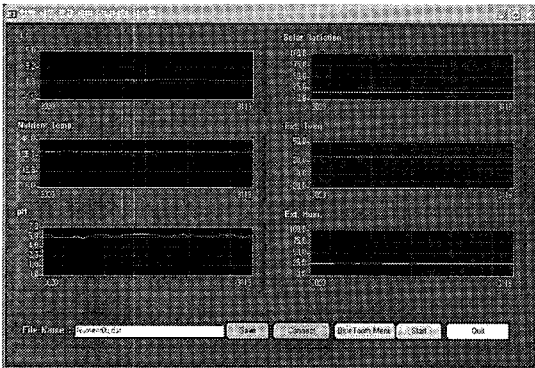


그림 4. 원격 모니터링 시스템  
Fig 4. Remote controlled monitoring system

표시장치는 그림 3과 같이 320X240의 LCD를 사용하였으며, 한글 설명과 그래픽으로 프로그램 하여 일반 사용자도 쉽게 사용할 수 있게 하였다. 원격 모니터링 시스템은 그림 4에서와 같이 원거리에서도 시스템의 상태를 실시간으로 양액 자동 공급기의 센싱 데이터 및 이상 유무를 실시간으로 확인이 가능하도록 블루투스 통신을 이용하였다.

2.2. 양액 공급 시스템의 소프트웨어 설계

본 논문에서는 Microchip사의 dsPIC30F 시리즈를 지원하는 RTOS의 하나인 CMX SYSTEMS의 CMX-Tiny+를 이용하여 실시간 양액 제어 시스템에 적용시켰다. CMX-Tiny+ 실시간 운영 체제는 dsPIC30F 계열의 다중작업 커널(kernel)이다. CMX-Tiny+ 실시간 커널은 시스템 설계와 프로그래밍을 간단하게 하고 시간 한계 이벤트(time critical events)에 빠른 반응이 필요한 복잡한 응용프로그램의 디버깅을 간단하게 하고 사용하기 쉽다. CMX-Tiny+은 dsPIC 디지털 신호 컨트롤러에 대해 빠른 속도와 간결한 코드를 생성하도록 치중되어있으며, dsPIC30F 시리즈는 C언어에 대해 최적화 되어 있어 프로그래밍 할 때 소프트웨어 개발자에게 유연성을 제공한다. C 언어와 같은 고수준의 언어를 사용하면 어셈블리 프로그래밍에 비해 여러 가지 장점이 있

다. 프로세서의 명령세트에 관한 지식이 필요 없으며, dsPIC의 메모리 구조에 관한 기본적인 지식이 필요하지만 반드시 필요한 것은 아니다. 어셈블리 프로그래밍과 비교해서 프로그램 개발 시간과 디버깅 시간이 획기적으로 줄어들었으며, 많은 표준 루틴을 제공하는 라이브러리 파일이 응용프로그램에 편입되어있다. 따라서 현재 루틴을 C 언어에서 모듈 프로그래밍 기법을 사용해서 새로운 프로그램에서 재사용할 수 있고, C 컴파일러는 거의 대부분의 시스템(target system)에 사용될 수 있으며 다른 프로세서나 환경에 맞춰지거나 빠르고 쉽게 변환될 수 있다.

그림 5는 본 논문에서 구성한 임베디드 제어기의 각 임무(task)간의 관계를 표시한 것이다. 그림 5에서 원으로 된 부분은 각 임무를 나타내고, 사각으로 된 부분은 인터럽트를 나타내고 있다. 각각의 임무는 독립적으로 존재하며, 임무 시그널링과 인터럽트 시그널링을 통해 서로 유기적으로 동작하고 있다. 양액 자동 공급 시스템의 동작에서 가장 중요한 부분이 양액공급을 위한 펌프 모터의 회전수를 검출하는 기능이므로 우선 순위가 가장 높은 인터럽트 0에 인코더를 부여함으로써 기본동작인 적량 양액 공급 기능을 수행한다.

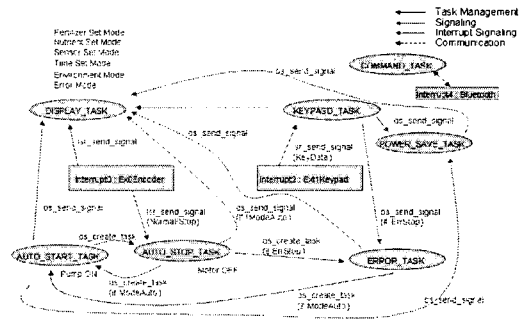


그림 5. 각 임무 간의 관계  
Fig. 5. Correlations of each tasks

2.3. 양액 자동 조절 알고리즘

양액 조절은 사용자가 공급 시간의 설정에 따라 자동으로 양액의 농도와 공급량을 작물의 생육시기에 적절하게 작물에 공급하는 것으로 전문가의 경험적 지식이나 규칙이 작물의 재배에 큰 영향을 준다. 따라서 본 논문에서는 이와 같이 불규칙적이고 예측이 어려운 환경에서 강인한 특성을 지니는 퍼지 제어 알고리즘을

양액 자동 조절 프로그램에 적용하였다.

입력 변수로는 그림 6과 같이 일사량, 외부온도, 외부습도를 사용하였고, 출력 변수로는 그림 7과 같이 EC, pH, 양액 공급량을 사용하였다.

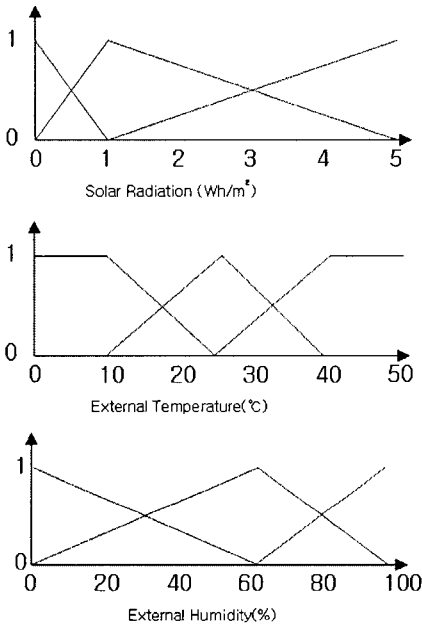


그림 6. 입력 소속 함수  
Fig. 6. Input membership function

비퍼지화 방법으로는 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 무게중심(center of gravity, COG)을 이용하였다. 이 방법은 출력 단일값이 부드럽게 변하는 장점이 있지만, 영향을 주는 규칙의 무게가 덜 실릴 수도 있고, 모든 단면적의 중심을 구하여 계산하므로 출력퍼지집합의 갯수가 많아지면 계산 시간이 길어지는 단점을 가지고 있다. 또 다른 방법으로는 최대값(mean of maxima, MOM) 방법으로 COG보다는 덜 유연한 제어를 하지만 가장 큰 단면적 하나만을 계산하기 때문에 알고리즘 상으로 계산시간이 짧아지는 장점을 지닌다. 본 논문에서는 빠른 계산시간 보다는 적은 오버슈트를 요구하기 때문에 COG 방법을 사용하여 비퍼지화를 수행하였다[7]. COG 알고리즘의 일반적인 식은 출력퍼지 집합이 적선들로 구성되어진 단면적으로 이루어져 있다면 다음의 식(1)과 같이 표현될 수 있다. 그림 8은 COG 비퍼지화 방법을 나타낸 것이다[8].

$$\omega = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i A_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (1)$$

여기서,  $\omega$  = recommended value

$\omega_i$  = 구간에서의 조각에 대한 COG

$A_i$  = 구간에서의 조각에 대한 단면적

$n$  = 꼭지점의 개수

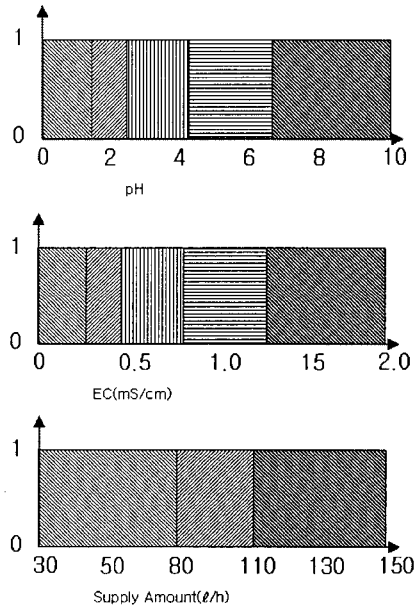


그림 7. 출력 소속 함수  
Fig. 7. Output membership function

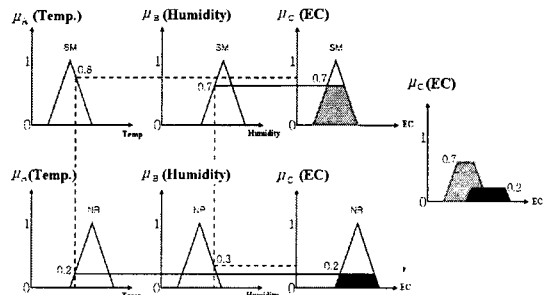


그림 8. COG 비퍼지화 예  
Fig. 8. Example of COG

### Ⅲ. 결과 및 고찰

본 연구에서 제작한 양액 자동 공급 제어 시스템으로 성능 실험을 하였다. 온실내의 온도 및 습도, 일사량 센서를 이용하여 온실내의 환경을 계측한 후 이를 작물의 생육에 알맞은 적정 농도와 공급량을 예측하기 위한 실험으로 온실내의 환경을 변화시키면서 농도와 공급량의 변화를 관찰하였다.

그림 9는 온도와 습도의 변화에 따른 공급량의 변화를 나타낸 결과로서 고온과 저습에서 공급량이 높아지며, 저온과 고습에서 공급량이 적어짐을 보여준다.

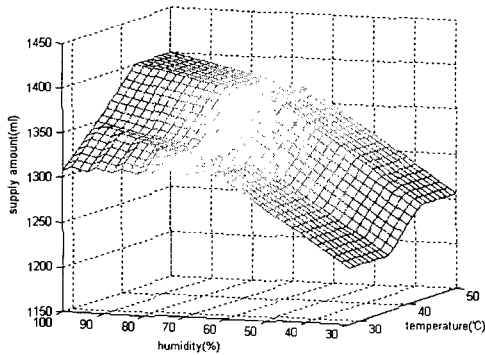


그림 9. 온도와 습도의 변화에 따른 공급량  
Fig. 9. The supply amount as a function of the temperature and humidity.

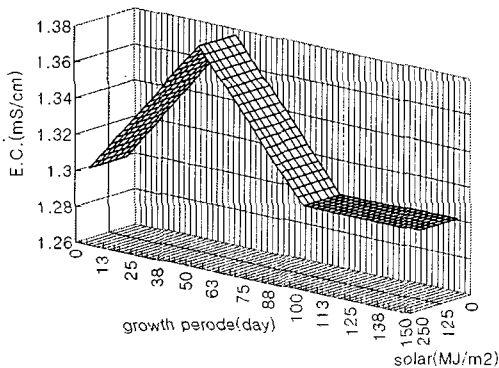


그림 10. 일사량과 생육시기의 변화에 따른 농도  
Fig. 10. The EC as a function of the solar radiation and growth period.

그림 10은 일사량의 변화에 따른 양액 농도의 변화를 보여주는 결과로서 일사량이 낮으면 양액의 농도를 높여주고, 일사량이 높으면 양액의 농도를 낮게 해주어야 함을 나타내고 있다.

### Ⅳ. 결 론

본 연구에서 설계 구현한 양액 자동 공급 제어 시스템은 양액의 온도, 산도, 농도를 계측, 제어할 수 있는 시스템으로 작물의 생육에 영향을 미치는 일사량, 외부온도, 외부습도를 입력으로 양액의 농도와 공급량을 퍼져 알고리즘에 의해 자동으로 조절, 공급하는 무인 양액 자동 공급 장치이다. 온도와 습도 및 일사량의 변화에 따라 양액의 농도와 공급량의 변화를 확인하였고, 예측된 양액의 농도를 작물의 성장시기에 따라 조절됨을 확인하였다.

### 참고문헌

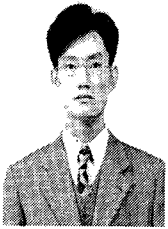
- [1] Hirahuji, M., "A plant growth model based on interference between organs and the method of identification", J. Agr. Met. 48. pp. 285-293, 1992.
- [2] Morimoto, T. and Y. Hashimoto, "Application of fuzzy logic and neural networks to the process control of solution pH in deep hydroponic culture", Proc. IFAC/ISHS workshop on mathematical and control application in agriculture and horticulture, pp147-152, 1991.
- [3] Adams, F., "Tonic concentration and activities in soil solutions", Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35, pp. 420-426, 1977.
- [4] Jones, J. B. Jr., A guide for the hydroponic and soilless culture grower, Timber press, 1983.
- [5] Jones, P. and J. Haldeman, "Management of a crop research facility with a microcomputer-based expert system", Trans. ASAE. 29, pp. 235-245, 1986.
- [6] Takadura, T., G. Shono and T. Honjo, "Application of knowledge engineering to crop cultivation consultation system for the management of tomato crops in

greenhouse", J. Agr. Met. 39, pp. 113-116, 1983.

[7] Son, J. E. and T. Okuya, "Prediction of electrical conductivity of nutrient solution in hydroponics. J. Agr. Met. 47, pp. 159-163, 1991.

[8] 채석, 오영석, 퍼지이론과 제어, 청문각, pp. 207-290, 1995.

### 저자소개



**정원근(Won-Geon Jung)**

2000년 8월 경상대학교 전자공학과 공학석사

2004년 8월 경상대학교 전자공학과 공학박사

2000년 3월~현재: 경상대학교 공학연구원 연구원

※ 관심분야: 디지털신호처리, 생체신호처리, 컴퓨터 응용 시스템



**이병로(Byung-Ro Lee)**

1989년 2월 아주대학교 전자공학과 공학사

1995년 2월 동아대학교 전자공학과 공학석사

1998년 2월 경상대학교 전자공학과 공학박사

2000년 3월~현재: 진주산업대학교 전자공학과 조교수

※ 관심분야: 멀티미디어 이동통신



**김병철(Byungcheul Kim)**

1988년 2월 광운대학교 전자재료공학과 공학사

1990년 2월 광운대학교 전자재료공학과 공학석사

2001년 2월 광운대학교 전자재료공학과 공학박사

2001년 9월~현재: 진주산업대학교 전자공학과 조교수

※ 관심분야: 비휘발성메모리 반도체기술