최 종
연구보고서

농가보급형 무인 양액관리 시스템 및 활용기술 개발에 관한 연구

Development of an Unmanned Nutrient-Solution Control System and its Application Technology

연 구 기 관

서 울 대 학 교

농 림 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 "농가 보급형 무인 양액 관리 시스템 및 활용기술 개발"에 관한 연구 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1997. 12. 29.

주관연구기관명 : 서울대학교
농업생명과학대학
총괄연구책임자 : 류 관 희
연 구 원 : 이 규 철
연 구 원 : 신 태 웅
연 구 원 : 김 기 영
연 구 원 : 김 효 중
연 구 원 : 이 정 훈
연 구 원 : 황 호 준
연 구 원 : 이 재 환
연 구 원 : 한 재 성
연 구 원 : 이 희 환
연 구 원 : 이 재 욱
연 구 원 : 전 성 필
연 구 원 : 남 윤 일
연 구 원 : 홍 순 호
연 구 원 : 송 기 헌
연 구 원 : 박 명 성

요 약 문

I. 제목

농가보급형 무인 양액관리 시스템 및 활용기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

우리 나라는 농산물의 시장개방이라는 심각한 문제에 직면해 있으며, 이러한 위기상황을 극복하기 위한 대책이 시급히 요구되고 있는 실정에서 양액재배는 매우 각광을 받고 있다. 하지만 아직까지 국내의 양액 조제 및 공급시스템의 연구는 취약하고 외국의 시스템은 경제적으로 농민들에게 부담이 되고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구는 양액재배에 필수적인 양액 조제, 공급, 관리시스템 개발 및 그 활용기술을 개발하는 연구로서 그 구체적인 목적은 다음과 같다.

1. 양액상태 계측하고 양액상태를 제어할 수 있는 조제 전용 제어기 개발
2. 상용 정량펌프를 대체할 수위센서식 액제 정밀 계량 장치와 오버플로우식 액제 정밀 계량 장치를 개발하여 양액 공급 시스템 개발
3. 다른 작물의 양액 재배에도 응용할 수 있으며, 대상작물에 따른 양액의 상태를 예측하고 이에 따른 양액의 전기전도도 및 공급량을 사용자에게 표시해줄 수 있는 양액 관리 시스템 및 활용기술 개발

III. 연구개발의 내용 및 범위

양액 조제, 공급, 관리의 자동화를 위하여 다음과 같은 연구를 수행하였다.

1. 양액의 온도, 산도, 농도를 계측, 제어할 수 있는 장치를 구성하고, 정확한 양액의 조제와 취급의 용이성을 고려하여 원칩 마이크로컴퓨터를 이용한 양액 조제 전용 제어기를 제작하였으며, 이를 통한 양액의 자동 조제와 양액 공급시스템에 활용할 수 있는 센서를 선정할 수 있도록 하였다.

2. 농가 실증시험에서 나타난 문제점을 해결하고자 기 개발된 조제 제어기를 새롭게 수정한 양액 조제 및 공급 시스템을 개발하였다. 전용제어기를 개발하여 시스템의 호환성 및 구동 알고리즘을 단순화시킴으로써 시스템 구성의 어려움을 해결하였으며, 시스템 각 부의 재질을 내화학성, 내환경성을 고려하여 내환경성 미흡이라는 문제점을 해결하였다. 또한, 자동 조제 공급 알고리즘을 추가하여 반복적인 사용자 노동시간을 경감시켰으며, 고가의 상용 정량펌프를 대체할 수위센서식 액제 정밀 계량 장치와 오버플로우식 액제 정밀 계량 장치를 개발하여 양액 조제 공급시스템의 생산원가를 감소시키고, 반복사용에 따른 편차를 감소시켰다.

3. 자료조사를 통하여 작물의 생육에 영향을 미치는 인자를 일사량, 온도, 습도, 생육단계로 설정하였으며, 이를 이용하여 개발한 양액 관리 시스템은 대상작물에 따른 양액의 상태를 예측하고 이에 따른 양액의 전기전도도 및 공급량을 사용자에게 표시해줄 수 있으며, 새로운 작물에 대한 규칙과 함수를 추가함으로써 다른 작물의 양액 재배에도 응용할 수 있다.

IV. 연구개발사업 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발사업 결과

가. 센서의 선정과 양액 자동 조제기 개발 및 이를 이용한 실증재배

나. 양액 공급방식의 선정 및 개발한 액제 정밀계량 장치를 이용한 양액 조제 공급 시스템 개발과 이를 이용한 실증재배

다. 작물의 생육에 알맞는 양액관리를 위한 양액 공급 및 조제 알고리즘 개발과 이를 이용한 양액 관리시스템 개발

2. 활용에 대한 건의사항

○ 활용방안

가. 양액 관리의 자동화 기술은 기술 집약형 원예시설의 양액 관리장치 설계 및 식물공장 개발의 기초 자료로 활용한다.

나. 양액 관리 장치는 간단한 조작만으로도 양액의 상태를 조절할 수 있기 때문에 기업체에 기술을 이전하여 시설원예 농가에 보급하도록 한다.

다. 양액 관리에 대한 데이터 베이스 구축과, 작물별 설정 기준을 확립, 보급함으로써 기술집약형 시설원예를 조속히 보급하고 양액관리 데이터 베이스구축을 위한 시스템을 제공한다.

○ 건의사항

가. 개발된 액제 정밀 계량장치를 기존의 계량펌프를 대체 하도록 연구 개발성과를 홍보 할 것.

나. 개발된 무인양액관리 시스템의 농가 보급을 적극적으로 추진할 것.

다. 양액관리 시스템과 작물의 복합적 환경제어에 대한 지속적이고 심도 있는 연구를 유도하고 연구비를 지원할 것.

SUMMARY

This study was conducted to develop an automatic nutrient-solution control system and its application technology. Temperature, electronic conductivity(EC), and pH were selected as control variables. The nutrient-solution mixing system consisted of a low-cost and precise metering device, A/DC and microcomputer with a F8680A. The overflow type metering device was composed of three parts those were supply pumps, metering cylinders and venturi tube. The usefulness of overflow type metering device was certified by regression between A and B device and comparing the amount of discharge. Nutrient-solution system uses metering device instead of high price metering pumps.

The system controlled electric conductivity(EC) and pH of nutrient-solution based on the fuzzy logic controller by fuzzy control algorithm in control and supply routine. Fuzzy controller was certified by simulation and experiment. Also an experimental cultivation of tomato was conducted to verify and to improve the developed system.

The major results of the study are summarized as follows.

1. By Measuring of the nutrient-solution state sensors were selected. Selected sensors were temperature sensor, electronic conductivity sensor, pH sensor and environmental sensor which were solar radiation sensor, temperature and humidity sensor.

2. Low-cost and precise metering device which reduced supply error

between A and B liquid was developed. And controller which determine supply amount and control actuator was developed.

3. A low-cost and precise overflow type metering device was developed for the automatic nutrient-solution mixing system for small hydroponic growers. The accuracy of the overflow type metering device in terms of the FS error was 0.2% by using solenoid valve and flow control valve together. But two type commercial pump was ±2.45 % and ±1.38 % FS error respectively.

4. The developed nutrient-solution control system showed ±0.05 mS/cm of deviation from the setting EC value over the experimental cultivation period. And the deviation from the average values of Ca and Mg mass content in the several nutrient-solution were 0.5% and 1.8% respectively.

5. By developing a controller considering EC, pH and environmental factors, It was possible to use fuzzy prediction algorithm in nutrient-solution system. Fuzzy Inference makes us prediction of EC and supply amount with better rule-base. and This information can be used to the automatic nutrient-solution mixing system.

6. Fuzzy Inference makes us control EC. and showed a satisfactory control performance with the max overshooting of 0.035mS/cm and max settling time of 15minute within 0.7mS/cm EC error range.

CONTENTS

목 차

제1장 서 론

제1절 연구의 필요성

최근 우리 나라는 농산물의 시장개방이라는 심각한 문제에 직면해 있으며, 이러한 위기상황을 극복하기 위한 대책이 시급히 요구되고 있는 실정이다. 이러한 가운데 자본과 기술이 집약적으로 투입된 원예시설을 이용한 고품질의 농산물을 생산하여 국제 경쟁력을 갖추려는 농가들이 늘어나고 있다. 또한, 토양 재배시 문제가 되고 있는 연작장해, 생산성의 감소, 그리고 품질의 저하를 줄이기 위하여 고급 원예시설의 경우 양액 재배 방식을 채택하고 있다.

1954년 진흥청에서 시작된 우리나라의 시설내 양액재배는 1985년도 원예연구소에서 한국원시액을 만들어 사용한 이래 10년간 양액재배면적이 167.7ha로 약 42배의 급속한 증가를 보이며 시설재배에서 양액재배의 중요성이 증대되고 있다.

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 노동력이 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 여러 가지 원소 즉 16종류의 원

소가 반드시 필요한 것으로 알려져 있다. 이중 탄산가스(CO_2)로부터 공급되는 탄소와 산소를 제외한 원소는 대부분이 뿌리를 통해서 흡수되기 때문에 원칙적으로 양액 중에는 이와 같은 원소들이 적당한 농도의 배율로 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 이룰 수 있다.

그러나 양액재배에 있어서 양액 관리는 중요한 요인이 되는데 우리나라 양액재배는 양액 조성 및 관리에 부적합한 조건을 주어 품질, 수량 등 안정생산을 못하는 경우가 많다고 한다.

또한, 양액재배가 가능하게 된 것은 양액조제 및 공급시스템의 개발과 그에 따른 사용자 편의의 콘트롤러와 알고리즘의 개발이 선행되었기 때문인데, 지금까지는 국내의 기술이 취약해서 외국의 기술에 의해 만들어진 양액조제 및 공급시스템을 사용하고 있는 실정이다. 이들 양액조제 및 공급시스템은 농민이 사용하기엔 경제적으로 부담이 많이 되기 때문에 양액재배보급의 제약 요인이 되고 있다. 농가에서 저렴하면서 관리가 편리한 여러 재배시스템을 개발하는 것이 무엇보다도 중요하며 앞으로 작물 생육별, 환경인자별 생장데이터를 축적하고 이를 이용한 작물의 생장과 환경인자 사이의 관계를 파악하여 일사량이나 온도 및 습도와 같은 환경인자를 양액관리에 응용하는 인공지능을 이용한 지능적인 작물의 양액제어가 필요하게 될 것이다.

제2절 기술현황 및 문제점

1. 기술현황

양액 조제 시스템은 조제 방식에 따라 직접 관로 투입 시스템, 혼합후 공급 시스템, 연속 혼합 시스템으로 나뉘며 각각의 특징 및 장단점은 다음과 같다.

직접 관로 투입 시스템은 별도의 양액 혼합 탱크가 없고, 양액 주입 펌프를 시간이나 유량으로 제어하여 농축된 양액을 주관로에 직접 투입하는 시스템으로 주관로 안에서는 양액의 농도와 산도가 불규칙할 수 있으나 긴 관로를 통과하여 베드에 공급될 때에는 설정한 양액의 농도와 산도로 조절되는 시스템이다. 이 시스템은 전기전도도 및 산도 센서와 제어기를 사용치 않으므로 다른 양액 조제 시스템에 비하여 가격이 다소 저렴한 편이나, 짧은 관로를 통과하여 혼합된 양액이 베드에 유입될 경우 양액의 농도와 산도의 편차가 커질 수 있으므로, 베드의 배지 용량이 큰 고형배지경 재배나 토양관비 재배 등에 주로 사용된다. 기존의 시판되는 양액 조제 시스템 중 RotaDos 사의 제품은 직접 관로 투입 시스템의 한 형태로서 혼합탱크를 따로 두지 않고 유입되는 지하수의 유량에 비례하여 농후양액을 혼합하여 공급하는 방식으로 다른 동력원이 필요치 않다. 설치 및 유지가 간단하며 6000평까지 재배가능하다. 농후양액 공급으로 무동력자동 액비 주입장치를 이용한다.

혼합후 공급 시스템은 큰 양액 혼합탱크를 필요로 하며 양액 혼합탱크에 부착되어 있는 전기전도도 및 산도 센서에 의해 필요한 양의 농후양액을 공급하여 조제한 후 배지에 공급하는 시스템으로 재배 면적에 따라 혼합탱크의 용량이 커져야 하고 혼합 시간 또한 증가되므로 큰 면적에 사용할 경우 이에 대한 고려가 필요하며 소규모 면적에서 사용하기에 적합하다고 볼 수 있다. 이 시스템의 양액 혼합 방법은 농후양액 공급시간 혹은 유량 센서에

의해 제어할 수 있으며, 폐양액 회수처리 시스템이 아닌 경우 EC나 pH센서에 의한 제어는 시스템 가격을 상승시키므로 시간과 유량에 의한 방법을 선택할 수 있다. 동일계기(주)의 제품은 혼합후 공급시스템으로 혼합탱크내로 4가지의 농후양액을 공급하여 조제가 완료된 후 베드로 양액을 공급하는 방식이다. 1500평까지 재배가능하며 제어대상은 전기전도도, 산도, 용존산소량, 온도 등이다. 농후양액 공급을 위하여 정량펌프를 사용한다.

연속 혼합 시스템은 200ℓ정도의 혼합탱크가 부착되어 있는 시스템으로 시간, 유량 및 각종 센서에 의해 양액의 농도와 산도를 조절하면서 공급하며, 재배면적에 상관 없이 양액의 농도와 공급횟수를 다양하게 제어할 수 있는 시스템으로 현재 대규모 고형배지경 재배에 많이 보급되고 있다. NETAFIM 사의 제품은 연속 혼합 시스템으로 60ℓ의 버퍼탱크내로 3가지 농후양액을 공급하여 조제하면서 베드로 공급하는 방식이다. 원수의 유량과 센서의 계측값으로 농후양액의 공급량을 제어한다. 재배가능면적은 6000평이며 제어 대상은 전기전도도, 산도, 온도 등이다. 농후양액 공급을 위하여 Blue White사의 정량펌프를 사용한다.

일본의 경우에는 양액 관리에 필요한 각종 부품과 센서들이 많이 개발되어 있으나 이들을 사용하여 장치를 제어하는 소프트웨어의 개발은 간단한 피드백제어에 머무르고 있는 실정이며, 네덜란드의 경우에는 컴퓨터를 이용한 양액순환장치가 실용화되어 농촌에 사용되고 있고, 2000년대까지 환경보전을 위해 100%의 양액 순환 시설 보급을 추진중이다. 그러나 본 연구와 관련된 높은 기술 수준을 보유한 외국의 기업체는 불과 몇 개 회사에 불과하고, 이 기업체들은 대부분 시설 자동화 장치를 Total package단위로 공급하기 때문에, 기기제어 및 생육 제어와 관련된 소프트웨어의 공개를 기피하고 있는 실정이므로 당분간 외국 기업체로 부터의 기술 이전은 어려울 것으로 판단된다.

2. 문제점

현재 국내 대부분의 시설원예 농가에서는 직접 비료를 섞어서 양액을 조제하여 공급하거나, 이미 조제된 농후양액을 일정한 비율로 혼합시킬 수 있는 액비 혼입기를 사용하여 공급하고 있기 때문에 작물에 적절한 양액의 상태를 정확하게 조절하지 못하고 있다. 또한 양액의 공급시에도 양액 공급배관과 流路의 적정설계가 되지 않았으며, 작물의 흡수정도와 일사량 등의 작물 주변환경을 고려하지 않은 상태에서 시간을 조절하여 공급하는 방식을 채택하고 있기 때문에 작물의 품질면에서나 비용면에서 비효율적이다.

이와 같이 현재의 시설원예 농가의 양액 관리 방법은 많은 노동력을 요구하고 있으며, 부정확한 양액의 조제로 인한 비료의 낭비와 염류의 축적을 가중시키고 있다. 따라서 정확한 양액의 조제와 시설내의 환경과 작물의 흡수상태를 고려한 양액의 자동조제 및 공급장치가 필요한 실정이다.

양액의 조제는 인력에 의해 농후양액을 물에 희석시키거나 직접 양액 탱크에 물을 넣고 비료를 적당한 비율로 섞는 방법으로 이루어지고 있다. 이러한 방법보다는 농후양액을 물에 희석시키는 방법이 자동화에 적합하며, 실제로 일부의 양액재배 시설에서 물의 흐름에 따라 일정한 비율로 농후양액이 흘러들어 혼합되는 개루프 제어방식이 이용되고 있다.

그러나, 이러한 개루프 제어방식의 양액 조제 방법은 몇 가지 문제점을 안고 있다. 첫째, 물과 농후양액의 정확한 혼합이 어렵다. 일정한 비율로 혼합되기 위해서는 혼입기를 통과하는 유속이 일정하게 유지되어야 한다. 둘째, 작물의 종류, 생육단계에 따라서 농도의 변경이 어렵다. 유체역학적인 원리를 이용한 간단한 장치이므로 혼합비의 변경이 어렵다. 셋째, 순환식 재배법에서의 경우 개루프 방식의 제어는 부적합하다. 환경문제로 인한 순환식 재배방식으로의 전환은 불가피한 것으로 생각되며, 작물의 선택적 이온의 흡수로 인하여 회수된 양액내의 이온의 불균형이 발생하므로 폐루프 제

어 방식이 요구된다.

제3절 연구의 목적

1. 양액 조제 및 공급 시스템 개발

가. 시스템 구성품의 재질 선정 및 현장 적용성 검토

약산성의 농후양액을 다루기 위한 내산성 및 내환경성을 고려한 구성품의 재질 선정 및 시스템의 현장 적용성을 검토한다.

나. 액제 정밀 계량 장치 개발

상용의 정량펌프를 대체할 목적으로 저가의 정밀한 액제 정밀 계량 장치를 개발하여 농후양액 계량 장치를 개발한다.

다. 양액 조제 및 공급 컨트롤러 개발

액제 정밀 계량장치와 조제 및 공급 컨트롤러를 개발하여 경제성과 사용자편의를 고려한 양액 조제 및 공급시스템을 개발한다.

2. 양액 관리 알고리즘 개발

가. 퍼지제어를 이용한 양액 조제 알고리즘 개발

지금까지 양액조제 및 공급시스템의 연구개발에 있어서 양액 조제 알고리즘에 대한 연구가 취약하며 양액 조제 알고리즘은 단순히 양액의 농도 및 산도를 사용자 설정한 목표값에 도달하게 하는 것으로 ON-OFF 피드백 제어나 피드포워드 제어에 머물러 있다.

본 연구는 퍼지제어를 이용하여 설정된 양액농도로 조제하는 알고리즘을 개발하여 양액 조제 및 공급시스템의 조제 알고리즘을 개발하였다. 특히, 농도차가 크더라도 조제가 가능하도록 하여 여러 다른 농도상태를 요구하는 여러 작물에 양액 관리시스템을 응용할 수 있도록 한다.

나. 퍼지제어를 이용한 양액 관리 알고리즘 개발

양액 관리 알고리즘은 양액의 농도와 산도 뿐만아니라 광합성에 직접적인 영향을 미치는 일사량, 외기온도, 상대습도 등의 생육환경정보를 이용하여 복합적인 제어알고리즘을 개발하여 전문가의 지식을 활용한 양액 조제 및 공급시스템의 양액 관리 알고리즘을 개발하였다.

제4절 연구의 범위 및 내용

본 연구의 내용은 다음과 같이 수행되었다.

1. 양액 자동조제 장치의 개발

○ 양액 상태 검출용 센서의 선정

○ 양액 조제 장치의 재질 선정

○ 구동장치의 적정선정 및 제작

○ 개발된 자동조제 장치를 이용한 시험재배

○ 개발된 자동조제 장치의 활용기술 개발

○ 개발된 자동조제 장치의 적용성 검토 및 실증재배

2. 양액 자동공급 장치의 개발

○ 양액 공급방식 선정

○ 배양액 공급용 배관의 재질 선정

○ 설계된 공급장치의 제작

○ 개발된 배양액 공급장치를 이용한 시험재배

○ 개발된 배양액 공급장치의 활용기술 개발

○ 양액 공급장치의 적용성 검토 및 실증재배

3. 양액 관리용 소프트웨어 개발

○ 각종 작물 생장특성의 데이터 베이스화

○ 전문가 시스템을 이용한 제어 프로그램 개발

○ 농가보급형 양액관리 컨트롤러의 제작

○ 개발된 컨트롤러를 이용한 시험재배

○ 개발된 컨트롤러의 활용기술 개발

○ 양액 관리 시스템의 적용성 검토 및 실증재배

제2장 양액 조제 자동화 분야

제1절 서설

양액 조제 자동화는 양액의 상태를 검출하고 사용자의 설정값에 따른 양액을 조제하여 공급하기 위한 것으로 원칩 마이크로 프로세서인 MC68705와 농후양액을 원수에 공급시키기 위한 상용 정량펌프를 이용하여 양액 조제 제어기를 개발하였다.

제2절 조제 자동화의 목적

개발된 양액 조제기는 사용자가 양액의 농도, 산도, 액온을 설정하면 설정값에 맞추어 양액의 상태를 조절하는 것으로서 양액 공급방식 결정에 대한 기초연구와 양액 조제방식에 대한 기초연구 자료로서 활용할 수 있도록 수행 되었다.

특히 조제 자동화 연구를 수행해 나감에 있어서 조제 방법과 센서의 선정 그리고, 농가에 직접 적용함으로써 현장애로 사항을 향후 연구 방향에 충분히 영향을 주도록 하였다.

앞으로 연구에는 사용자가 반복적으로 양액 상태를 설정하는 것과 공급시간을 설정하는 애로사항을 보완하는 양액 공급의 자동화에 대한 연구를 수행해 나갈 것이며, 최종적으로 대상작물과 외기환경조건을 고려한 무인양액 조제 및 공급시스템을 개발하는 양액 관리의 자동화에 대한 연구를 수행할 것이다.

제3절 구동장치 및 기타 구성품 선정

구성품으로는 원수와 농후배양액을 혼합하기 위한 순환펌프, 농후배양액과 원수를 혼합시켜주기 위한 혼합탱크, 양액의 온도를 작물의 생육에 적합한 온도로 유지하기 위한 히터, 지하수 공급과 배드로의 공급을 제어하기 위한 솔레노이드 밸브, 농후배양액 및 산, 알카리 탱크로 구성하였다.

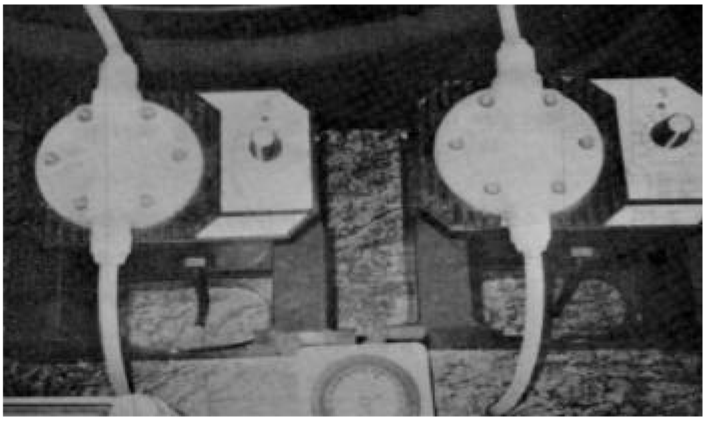
1. 정량펌프

양액조제는 일반적으로 많이 사용되고 있는 표준양액인 야마자끼나 플로리다 원액을 이용하여 조제하게 되는데, 보통 A, B액이 서로 나뉘어져 있고 이를 원수와 동시에 혼합하여 양액을 조제하게 되는데 보통 100 1000 배율로 이루어진 고농도의 농후배양액으로 사용되고 있다.

따라서, 이 양액과 산도 조절용 산, 알카리액을 양액통 내로 정량적으로 공급하기 위하여 정량펌프를 사용하였는데 작동시간의 조절에 의해 공급량이 조절되도록 하였다. 사용된 정량펌프의 규격은 <표 2-1>에 정리하였으며 외형을 <그림 2-1>에 나타내었다.

<표 2-1> 정량펌프 규격

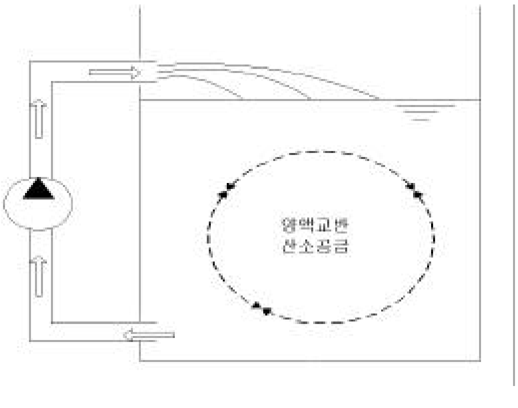
용 도	제조회사	구동전압	소비전력	유량
산,알카리공급	HANNA (Italy)	110VAC	200W	5*l*/h
A, B액공급	HANNA (Italy)	220VAC	200W	15*l*/h



<그림 2-1> 정량펌프의 외형

2. 순환펌프

양액탱크 하단부에서 교반용 펌프로 양액을 흡입하여 양액탱크 상단부로 배출시켜 양액을 수면위로 낙하시킴으로써 양액이 균일하게 혼합되도록 하였다. 또한 상기 방법을 이용하면 별도의 산소공급용 폭기 펌프를 사용하지 않고도 양액이 수면위로 떨어지는 과정에서 대기와의 접촉면이 증가하여 산소의 혼입량을 증대시켜 양액내의 용존산소량을 충분하게 할 수 있다는 장점이 있다. <그림 2-2>에 교반과정을 나타내었다.



<그림 2-2> 혼합탱크내의 양액 교반과정

3. 양액탱크

채택한 양액 조제 방식은 배치(batch)형이므로 1회 공급량을 조제할 수 있는 용량의 탱크가 선정되었다. 양액 탱크 용량의 선정에 고려한 요소는 작물 1주당 공급량, 재배면적, 재식밀도, 급액계획 등이며, 1회 공급량은 다음 <식 2-1>과 같이 구해진다.

$$\text{양액 탱크의 용량} = \frac{\text{재식밀도} \times \text{재배면적} \times \text{주당공급량}}{\text{급액계획상 분할한 면적의 개수}} \quad \text{<식 2-1>}$$

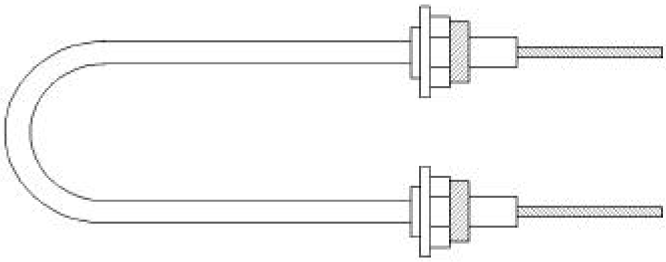
총 재배 면적이 300평인 온실을 기준으로 하고, 작목을 토마토로 하였을 때, 양액 탱크의 용량을 계산하면 600ℓ가 되나, 수위센서의 위치와 교반펌프 배출구의 위치, 배양액 공급 펌프 흡입구의 위치 등을 고려하여 1000ℓ로 선정하였다.

4. 히터

작물의 생육에 적합한 온도의 액온을 유지하기 위하여 양액의 온도 제어 장치를 설계 및 제작하였다. 이 때 고려된 항목은 탱크의 용량, 지하수의 온도, 목표 양액 온도, 가열 시간 등이며 다음 <식 2-2>와 같이 히터의 용량을 구하였다.

$$\text{히터의 용량} = \frac{\text{물의 질량} \times \text{물의 비열} \times \text{온도차}}{\text{가열 시간}} \quad \text{<식 2-2>}$$

지하수의 온도를 17℃, 양액의 양을 1000ℓ, 설정 온도를 20℃, 가열시간을 10분으로 하였을 때 필요한 히터의 용량은 21kW정도가 된다. <그림 2-3>에 선정된 히터의 외형을 나타내었다.



<그림 2-3> 선정된 히터의 외형

5. 솔레노이드 밸브

양액 탱크 내부로 지하수를 공급하고, 재배 베드로의 양액 공급을 제어하기 위하여 솔레노이드 밸브를 장착하였다. 또한 솔레노이드 밸브를 공급라인의 앞단에 장착하여 양액 탱크로부터 수위차에 의한 베드로의 자연급수를 막았다.

6. 농후양액 및 산, 알카리 탱크

농후양액은 성분 이온간의 화학적 반응에 의한 침전을 막기 위하여 A, B의 두 종류로 분리하여 조제하는 방식을 선택하였으며, 이들을 공급하기 위하여 두 개의 탱크를 사용하였다. 또한 양액 산도의 조절을 위하여 고농도의 산, 알카리를 담은 탱크를 설치하였다.

제4절 양액 조제 전용제어기 개발

1. 양액 조제 방식

양액의 조제를 위하여 각 양액 상태 변수들 간의 조절 순서를 결정하였다. 양액의 농도는 전기전도도로 측정하기 때문에 산도 조절시 공급되는 산, 알칼리에 의해 전기 전도도가 영향을 받아 농후양액이 적당량 공급되기 전

에 설정값에 도달하는 것을 방지하기 위하여 양액의 농도 제어가 완전히 끝난 후에 산도의 조절이 이루어지도록 하였다.

또한, 용존산소량의 조절과 농후양액의 혼합을 촉진하고, 양액 탱크내의 농도, 산도의 구배가 생기지 않도록 하기 위하여 양액 조제가 시작되는 시각부터 공급되는 시각까지 계속하여 혼합펌프가 작동되도록 하였다.

각 양액 상태변수들은 ON/OFF 제어방식에 의하여 제어되도록 하였다. 또한 제어의 안정성을 기하기 위하여 각 양액 상태변수들의 설정값과 오차가 사역(dead band) 범위내에 들었을 때 제어를 끝내도록 하였으며, 제어 및 계측 주기는 0.1초가 되도록 하였다.

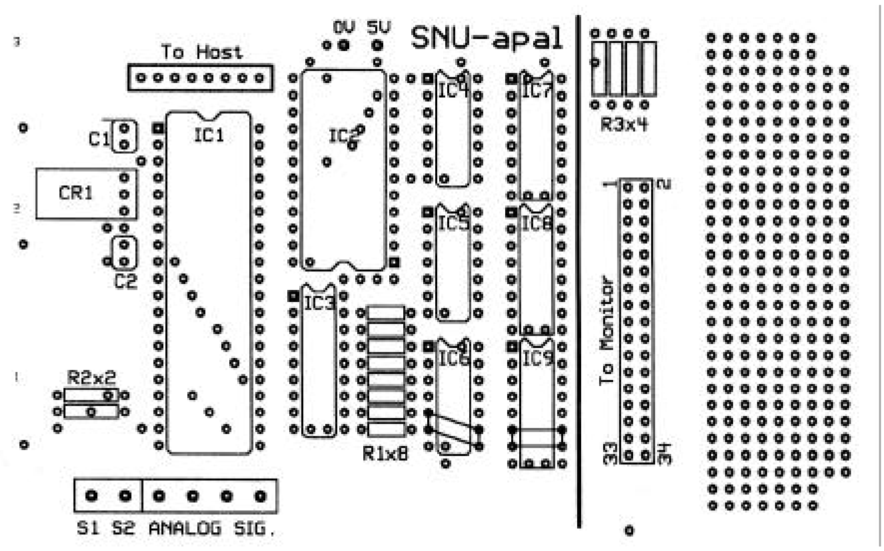
2. 양액 조제 전용제어기

양액 조제 전용 제어기의 개발에 있어서 우선적으로 고려된 사항은 농민이 조작하기 쉽고, 기기의 고장이 없는 양액 자동조제 제어기의 개발이었다. 개발된 양액 조제용 전용 제어기에 사용된 원칩 마이크로 컴퓨터는 미국 MOTOROLA사의 MC68705로서 32개의 데이터 입출력용 핀을 가지고 있으며, 4채널의 A/D변환기를 내장하고 있다. <표 2-2>에 MC68705의 구체적인 제원을 나타내었다. 또한 회로의 설계후 PCB를 제작하였고 <그림 2-4>에 부품배치도, <그림 2-5>에 부품면, <그림 2-6>에 PCB제작 도면을 나타내었다.

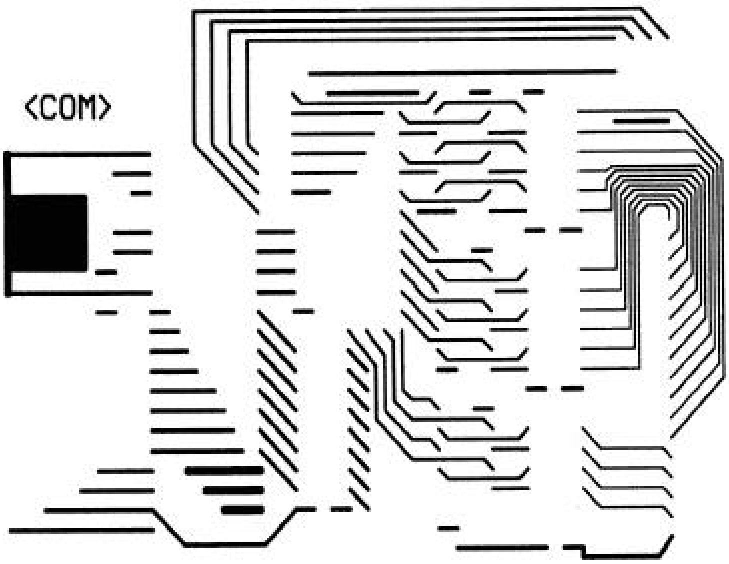
개발된 양액 조제 제어기는 전면에 4개의 7세그먼트 LED를 부착하여 양액의 현재 상태를 출력할 수 있도록 하였으며, 키 입력부는 출력부의 출력항목을 선택하기 위한 선택키, 설정값 변경 모드 전환을 위한 설정키, 그리고 설정값 변경을 위한 증가, 감소 키 등 4개의 키로 구성하였다. 또한 현재 출력되는 항목을 지시하는 4개의 LED를 부착하였다. <그림 2-7>에 개발된 제어기의 외형을 나타내었으며 <그림 2-8>에 회로도를 나타내었다.

<표 2-2> MC68705명세

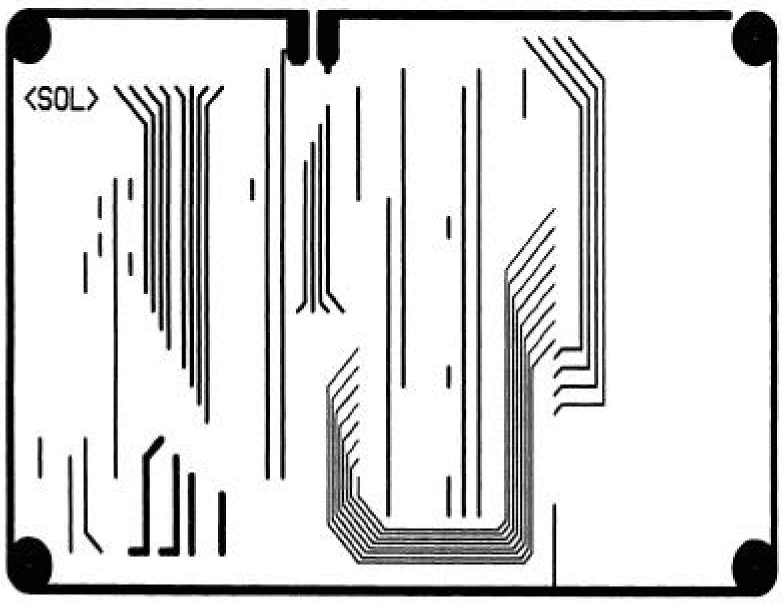
Manufacturer	MOTOROLA (USA)
Model	MC68705R3
RAM	112 bytes
ROM	3968 bytes
Digital I/O port	Port A, B, C(bidirectional) Port D(input)
Analog Input	4 channel, 8 bit A/D conversion
external clock	4Mhz



<그림 2-4> 부품배치도

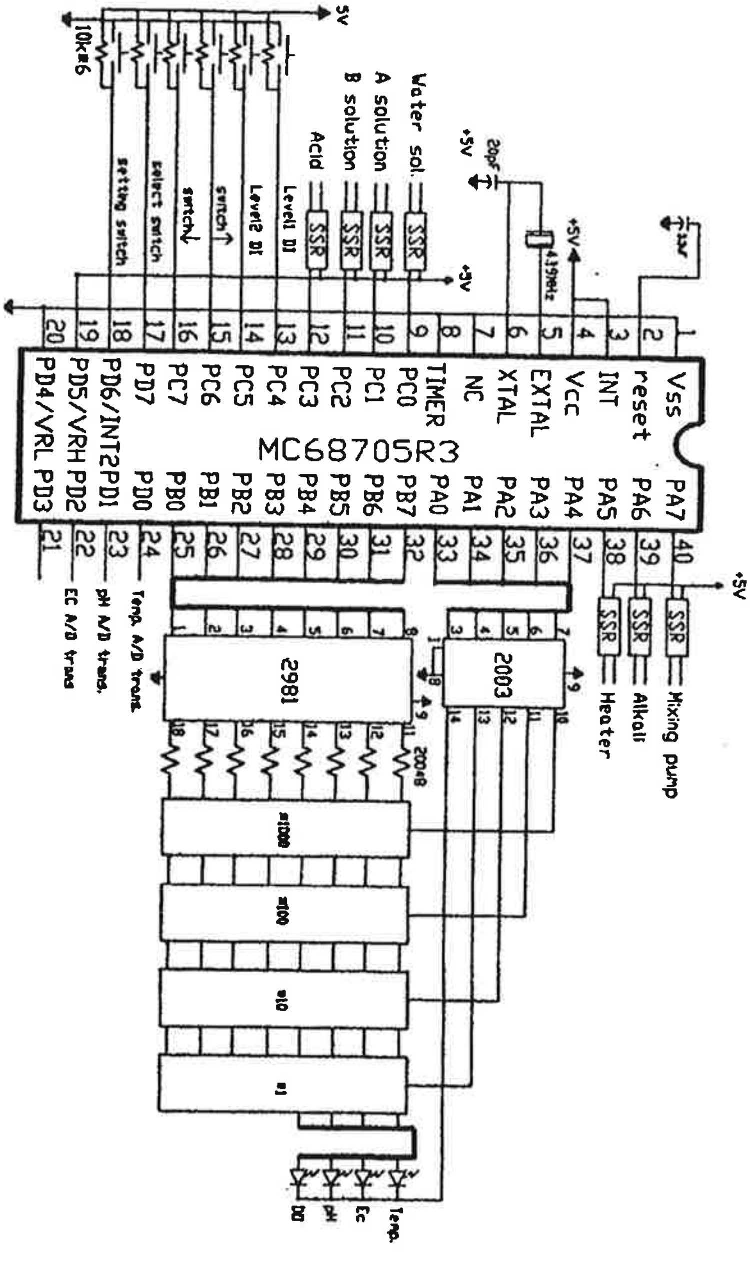


<**그림** 2-5> **부품면**



<**그림** 2-6> **납땜면**

<**그림** 2-7> **개발된 제어기 외형**

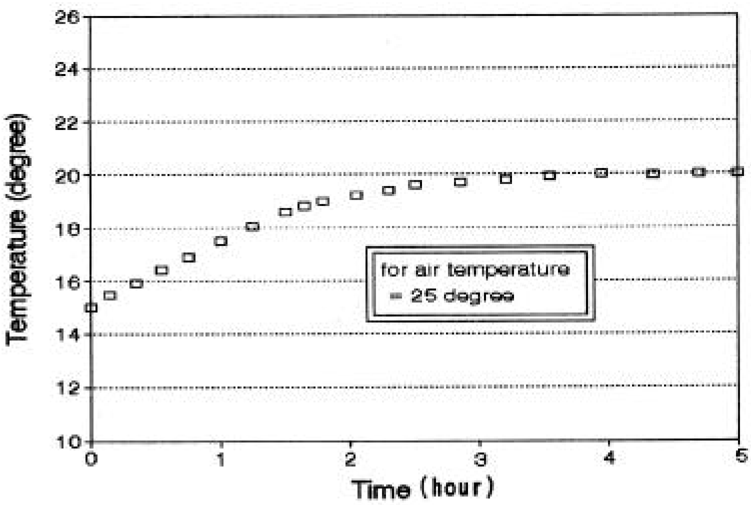

MC68705R3
Vss
reset
INT
Vcc
EXTAL
XTAL
NC
TIMER
PC0
PC1
PC2
PC3
PC4
PC5
PC6
PC7
PD7
PD6/INT2PD1
PD5/VRH PD2
PD4/VRL PD3
PA7
PA6
PA5
PA4
PA3
PA2
PA1
PA0
PB7
PB6
PB5
PB4
PB3
PB2
PB1
PB0
PD0
Water sol.
A solution
B solution
Acid
SSR
Level1 DI
Level2 DI
select switch
setting switch
10kΩ6
+5V
5V
Mixing pump
Alkali
Heater
2981
2003
Temp. A/D trans.
pH A/D trans.
EC A/D trans.
DO
pH
Ec
Temp.

<그림 2-8> 제어기 회로도

3. 조제 성능 시험

가. 양액 온도 제어

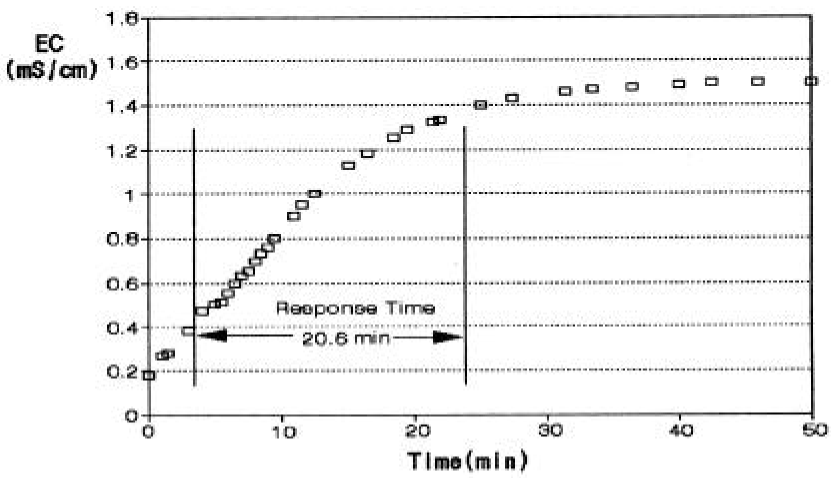
<그림 2-9>는 양액 온도 제어 성능을 검증하기 위하여 15℃의 양액을 5℃상승시키는 계단 응답 시험의 결과를 나타낸 것이다. 정정시간과 제어오차는 각각 2시간, 0.06℃로 나타났다.



<그림 2-9> 온도 제어

나. 양액 농도 제어

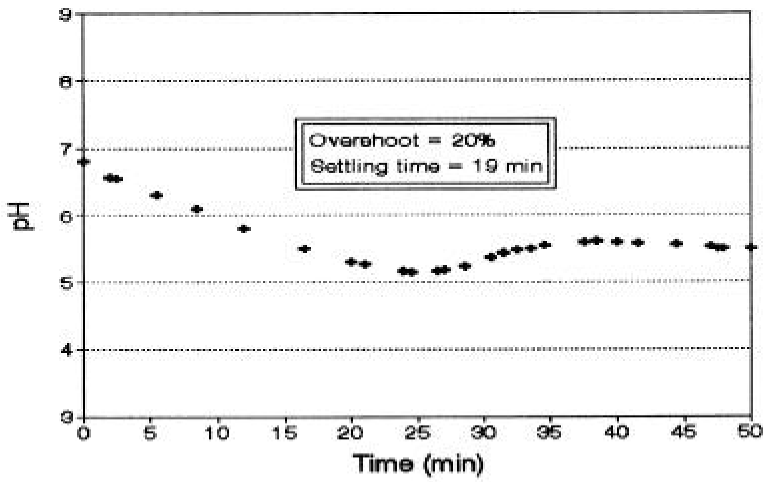
<그림 2-10>은 양액 농도 제어의 계단 응답 시험 결과를 나타낸 것이다. 시험에 사용된 농후양액은 농촌진흥청 원예연구소 토마토용 추천액의 50배 농축액을 사용하였으며, 상수원으로 사용되는 수돗물을 사용하여 조제하였다. 농도 설정값이 1.5mS/cm일 때, 정정 시간은 20분 6초, 제어 오차는 0.03mS/cm로 나타났다.



<그림 2-10> 농도 제어

다. 양액 산도 제어

양액 산도 제어 성능 시험은 산, 알칼리 용액으로 각각 황산(H_2SO_4), 수산화나트륨(NaOH) 0.1M 농도 용액을 사용하였다. <그림 2-11>은 산도 제어 시 계단 응답 시험결과를 나타낸 것이다. 정정 시간은 19분, 제어 오차는 0.08pH로 나타났다.



<그림 2-11> 산도 제어

제5절 실증 재배

양액 자동 조제 제어기를 이용한 자동 조제 시스템의 성능 및 적용성을 검증하기 위하여 300평 규모의 비닐하우스 내에 장치를 설치하였으며, 배지는 펄라이트를 이용하여 재배하였다. 또한 공시작물은 오이를 선택하였으며 작물의 정상적인 생육을 기대하기 위하여 양액의 비순환방식을 채택하였다.

실증 재배결과 정식 후 20일이 경과하여 생장점 부근의 줄기 상태가 굵고 건실한 것으로 보아 작물에 적합한 배양액의 조제가 이루어진 것으로 판단할 수 있었으며, 양액이 작물의 재배 베드 내로 공급되기 전에 임으로 추출하여 양액의 농도, 산도, 온도의 오차를 조사한 결과 작물의 생육에 장해를 주지 않는 범위 내에 있었다. 양액 조제의 신뢰도를 알아 보기 위해 <표 2-3>에 센서검증 결과를 나타내었다.

<표 2-3> 실증재배 센서검증 결과

측정대상	설정값	오차
농도	2.2 mS/cm	±0.3 mS/cm
산도	6.0 pH	±0.2 pH
온도	17℃	±2℃

제6절 결 론

본 자동 양액 조제 시스템연구를 통하여 양액 조제 방식의 결정과 계측센서의 선정을 수행하였으며, 온도, 산도, 농도의 계측과 제어할 수 있는 조제 알고리즘을 개발하였다. 개발된 자동 양액 조제 시스템을 이용한 실증재배를 실시한 후 농가의 의견을 들어 농가 보급을 위한 기초 자료로 삼았다. 특히 농가 애로사항중 시스템의 내환경성 문제는 내화학성을 고려한 재질로서 해결할 수 있다고 판단되었다.

3. 농후양액 공급장치

3.1. 서설

수경재배에 채택되어 사용된 농후양액 공급용 장치로는 정량펌프, 벤튜리관 등이 있다. 정량펌프는 미량의 액제 제어가 가능하고, 조작 및 제어가 간단하나, 장치의 가격이 높고 반복 구동에 따른 제품간 토출량 편차로 인해 일정한 양액조성을 필요로 하는 양액재배에 적용하기에 어려움이 있다. 벤튜리관을 이용하는 방법은 장치의 구조가 간단하고 저가인 반면, 관내를 흐르는 유체의 압력을 이용하여 농후양액을 공급하는 방식으로 인해 균일한 토출량의 확보가 어려운 문제점을 가지고 있다.

3.2. 농후양액 공급장치 개발 목적

최근 들어 양액재배에서 양액 조제의 자동화를 위하여 다양한 방식의 농후양액 공급장치가 채택되어 사용되고 있으나, 대부분 고가의 화학용 정량펌프의 사용에 그치고 있다.

본 연구는 다이아프램(diaphragm)식 상용정량펌프의 단점을 해결하기 위하여 유체 정역학적인 원리를 이용한 저렴한 가격과 정밀한 계량 성능을 확보하고, 구동시간에 따라 증가하는 제품간 배출량 편차를 줄이는 액제 정밀계량 장치를 개발하였다.

그 구체적이 목적은 다음과 같다.

- 액제 정밀계량장치는 양액 조제를 위해서 두 종류의 농후양액 공급의 정밀도가 우선적으로 고려되어야 하므로 높은 정밀도를 가지고 있어야 한다.

ㅇ 전 작물생육기간에 걸쳐 농후양액의 일정한 토출량을 확보해야 한다.

ㅇ 저가의 농후양액 공급장치를 개발함으로써 양액 자동조제 장치의 제작비용을 절감시킬 수 있어야 한다.

3.3. 농후양액 공급방법

본 연구에서는 상용화된 소형 임펠러 펌프와 간단한 부자형(float type) 수위센서 및 전자밸브로 조합된 장치를 제작하여 수위센서식 액제 정밀계량 장치를 개발하였으며, 또한 수위센서기 액제 정밀계량장치와 유체정역학적인 원리를 이용하지만 부자형 수위센서를 사용하지 않고 수위센서식 구동알고리즘의 단점을 수정 보완한 오버플로우식 액제 정밀계량장치를 새롭게 개발하여 농후양액 공급장치로서 채택하였다.

3.4. 농후양액 공급장치

3.4.1. 액제 정밀 계량 장치 설계기준

정량펌프를 대체할 정밀한 액제 정밀 계량 장치를 개발하였는데 설계기준은 다음과 같다.

3.4.1.1. 저렴한 가격으로 소규모 양액 재배 농가에서도 구입이 가능하다.

3.4.1.2. 반복사용으로 인한 두 제품간의 배출량 편차를 제거한다.

3.4.1.3. 구동 시간에 따른 배출량이 비례적이어야 한다.

3.4.1.4. 100배 이상의 농후양액을 취급하므로 내화학성을 가져야한다.

이상의 설계기준을 바탕으로 농후양액 공급부, 농후양액 계량 및 배출부, 양액 희석부 등의 세 부분으로 구성된 액제 정밀계량 장치를 개발하였다.

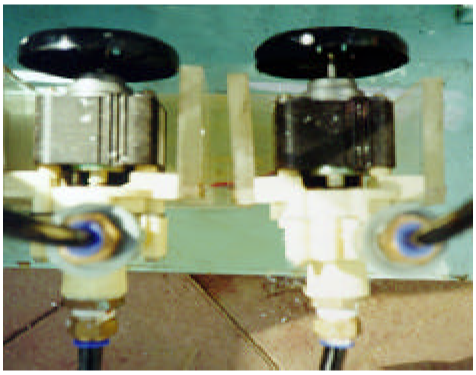
3.4.2. 수위센서식 액제 정밀 계량 장치

3.4.2.1. 농후양액 공급부

농후양액 탱크에 저장된 농후양액을 농후양액 계량 및 배출부로 공급하기 위한 공급펌프와 그 공급량을 조절할 수 있는 수동밸브로 구성된 농후양액 공급부를 개발하였다. 농후양액 공급펌프의 선정기준은 경제성, 내구성, 내화학성이며 정밀한 양의 제어를 위하여 적은 배출량을 확보할 수 있어야 한다. 그러나 제품간의 배출량 편차는 농후양액 계량 및 배출부에서 제거할 수 있도록 하였으므로 본 장치의 선정에는 고려되지 않았다. 선정된 농후양액 공급펌프는 임펠러 형식이고 재질은 폴리프로필렌으로 내구성 및 내화학성을 가진다. 농후양액 공급펌프의 배출구 쪽에 수동밸브를 장착하여 농후양액 계량 및 배출부로의 공급유량을 다소간 결정할 수 있도록 하였다. <표 3-1>에 선정된 펌프의 명세를 나타내었고 <그림 3-1>에 펌프의 외형을 보였다.

<표 3-1> 농후양액 공급펌프 명세.

명세	농후양액공급펌프
규격	200×100×150 mm
재질	폴리프로필렌
중량	3kg
구동전압	110/220V; 50/60Hz



<그림 3-1> 농축배양액 공급 펌프

3.4.2.2. 농후양액 계량 및 배출부

농후양액 공급부로부터 공급된 액제를 계량하기 위한 계량용기 및 액제의 높이를 일정하게 유지시켜 농후양액의 정밀한 공급이 가능하도록 하는 수위 센서와 양액역류 방지부로 농후양액을 배출하기 위한 전자밸브로 구성된 농후양액 계량 및 배출부를 개발하였다. 농후양액 계량 및 배출부의 설계는 유체정역학적 분석을 통해 구현하였으며 그 기준은 경제성, 내구성 및 내화학성이다.

연속적으로 분포된 균일한 정지상태의 유체에서 압력은 용기의 모양에는 관계가 없으며 유체의 깊이에 따라 증가하는 유체정역학적 원리를 이용하여 계량용기를 설계하였다. 계량용기의 규격은 다음의 <식 3-1>과 <식 3-2>를 이용하여 결정하였다.

$$Q = \frac{A \times V}{1000} = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) \times \frac{V}{1000} \qquad \text{<식 3-1>}$$

$$V = \sqrt{2gH} \qquad \text{<식 3-2>}$$

여기에서,

Q = 농후양액 배출 유량 (ℓ/s),

A = 계량용기의 배출구 단면적 (cm^2),

V = 농후양액 배출 속도 (cm/s),

D = 계량용기의 배출구 직경 (cm),

H = 계량용기 높이 (cm),

g = 중력가속도 (cm/s^2).

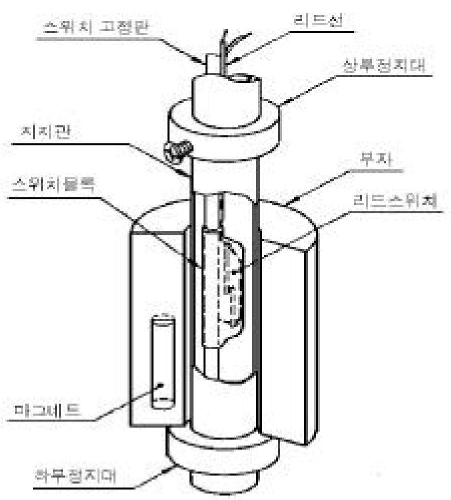
위 식을 이용한 계량용기의 높이는 20 cm, 직경은 10 %의 마찰손실을 고려하여 9.53 mm (3/8 in)로 결정하였으며 <표 3-2>에 계량용기의 명세를 나타내었다.

<표 3-2> 계량 용기 명세

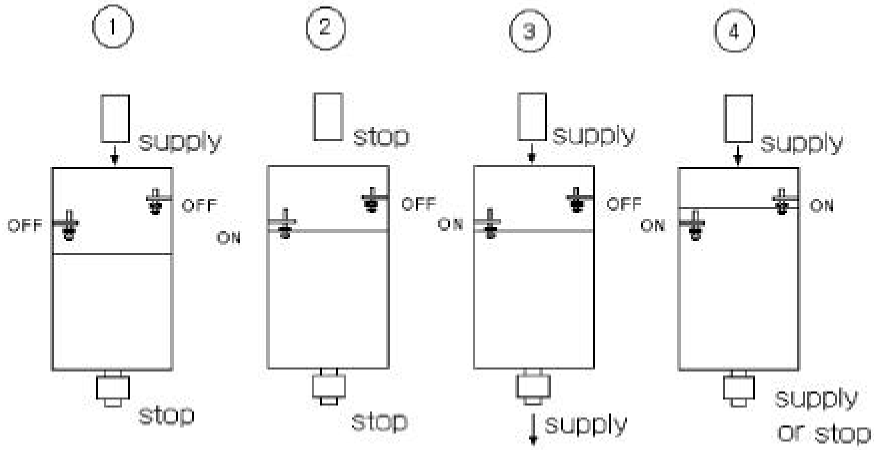
Contents	Specifications
Type	Cylinder (ϕ80 × H30 mm)
Height	20 mm
Diameter	9.53 mm (3/8 in)
Material	Acryl

부자형(float type) 수위센서를 이용하여 계량용기내 농후양액의 수위를 일정하게 유지하였다. 부자형 수위센서는 자석 부자(magnetic float)를 사용하여 지지관 내에 고정되어 있는 리드스위치(reed switch)의 접점을 개폐하는 방식이다. 리드스위치(reed switch)는 관내에 내장되어 있으므로 액체와 완전 분리가 되어 부식 및 진동에 강하다. <그림 3-2>에 부자형 수위센서

의 구성도를 나타내었으며 이를 이용한 계량용기내 농후양액의 수위를 유지하는 방법을 <그림 3-3>에 나타내었다. ①은 농후양액을 하부 수위센서 위치까지 공급하는 그림이고 ②는 일정 높이의 수위를 확보한 후 조제하기 전 대기 상태이고 ③은 수위를 유지하며 농후양액을 공급 및 배출하는 그림이며 ④는 상부 수위센서로 농후양액의 넘침을 방지하는 그림을 나타낸다.



<그림 3-2> 부자형 수위센서

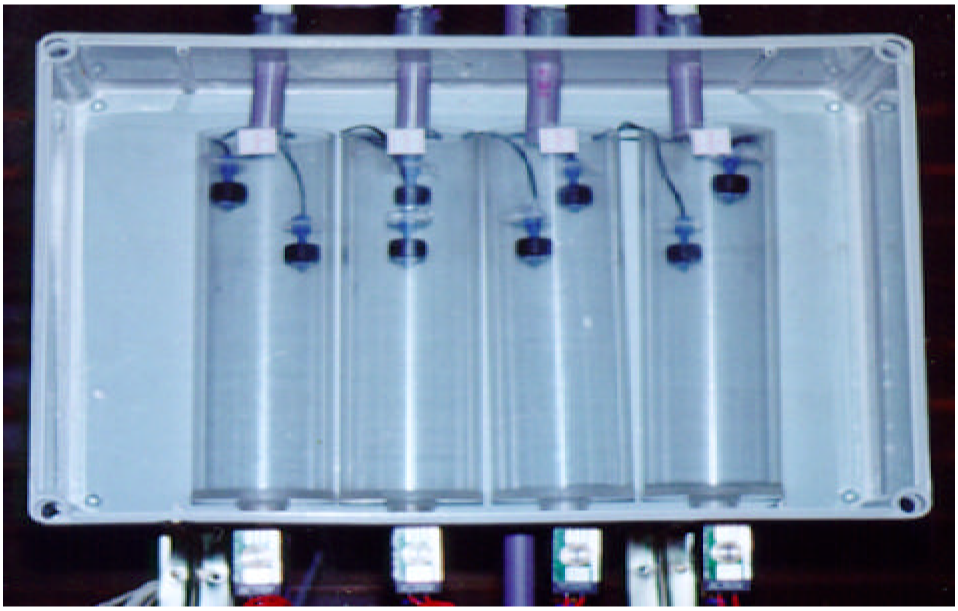


<그림 3-3> 수위 유지 방법

수위센서를 이용하여 농후양액을 계량용기내에서 일정수위로 유지하게 한 후 양액역류 방지부로 배출하기 위하여 솔레노이드 밸브를 설치하였다. 솔레노이드 밸브는 빠른 응답특성을 가지며 분해 및 조립이 간단하고 내구성이 뛰어난 장점이 있다. <표 3-3>에 선정된 솔레노이드 밸브의 명세를 나타내었으며 <그림 3-4>에 농후양액 계량 및 배출부의 형태를 나타내었다.

<표 3-3> 솔레노이드 밸브 명세

Manufacturer	Diameter (in)	Orifice (mm)	Area (mm2)	Pressure min. (MPa)	Pressure max. (MPa)	Weight (g)	Power
SMC	3/8	10	43	0.05	2	550	220 V; 60 Hz



<그림 3-4> 농후양액 계량 및 배출부

3.4.2.3. 양액 희석부

파이프내의 압력을 낮추고 유체의 속도를 증가시켜 농후양액의 흡입을 원활히 하고 양액의 혼합성능을 향상시키며 양액이 계량용기내로 역류하는 현상을 방지하기 위한 양액 희석부를 설계·제작하였다. <그림 3-5>에서 지점 1과 2에 대한 비압축성 유체의 에너지 방정식을 유도하면 <식 3-3>과 같이 된다.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2} + Z_2 \quad \text{<식 3-3>}$$

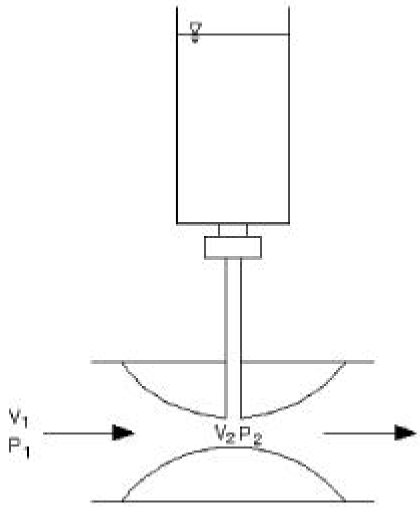
여기에서,

P1, P2 = 지점 1, 2에서의 압력,

V1, V2 = 지점 1, 2에서의 속도,

Z1, Z2 = 지점 1, 2에서의 높이,

ρ = 유체의 밀도.



<그림 3-5> 양액 희석부 유체 정역학적 분석

또한 연속방정식을 <식 3-4>와 같이 나타낼 수 있으므로,

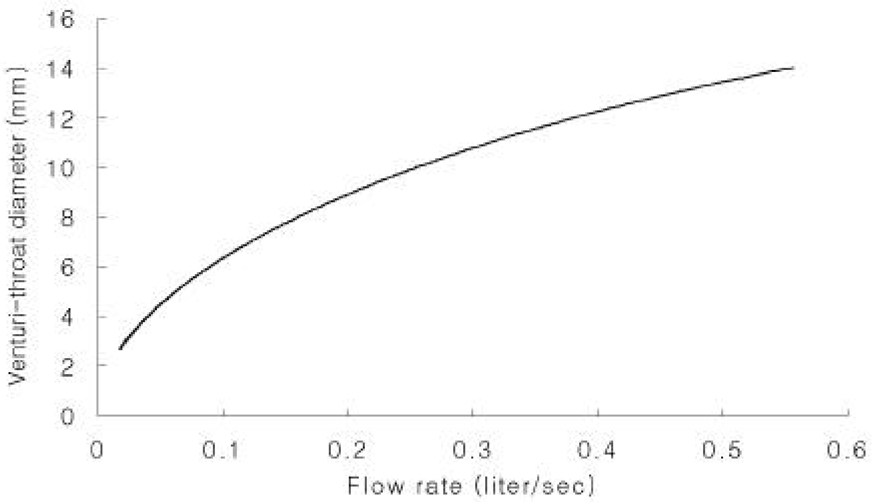
$$Q = A_1V_1 = A_2V_2 \qquad \text{<식 3-4>}$$

여기에서,

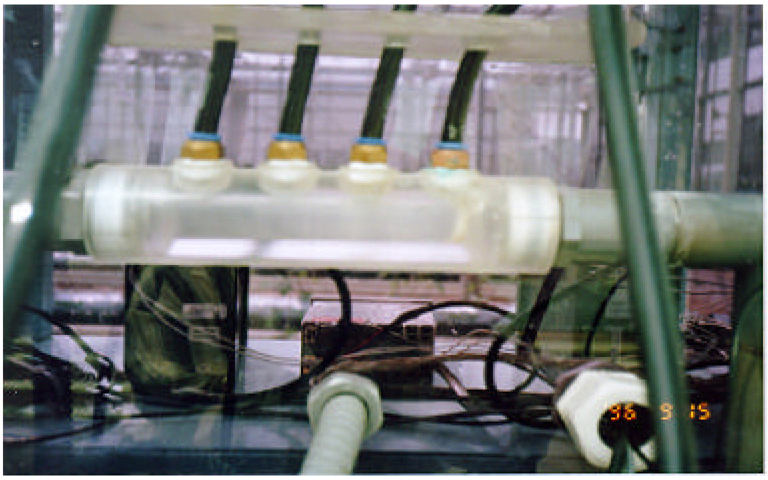
Q = 유량,

A1, A2 = 지점 1, 2의 면적.

<식 3-3>과 <식 3-4>를 전개하여 지점 2에서의 직경과 배출유량과의 관계를 <그림 3-6>에 나타내었고 개발된 양액 희석용 벤튜리관을<그림 3-7>에 나타내었으며 본 연구에서는 지점 2의 직경을 14mm로 하였다.



<**그림** 3-6> Relationship between venturi-throat diameter and flow rate.



<**그림** 3-7> **양액 희석용 벤튜리관**

3.4.2.4. **계량 원리**

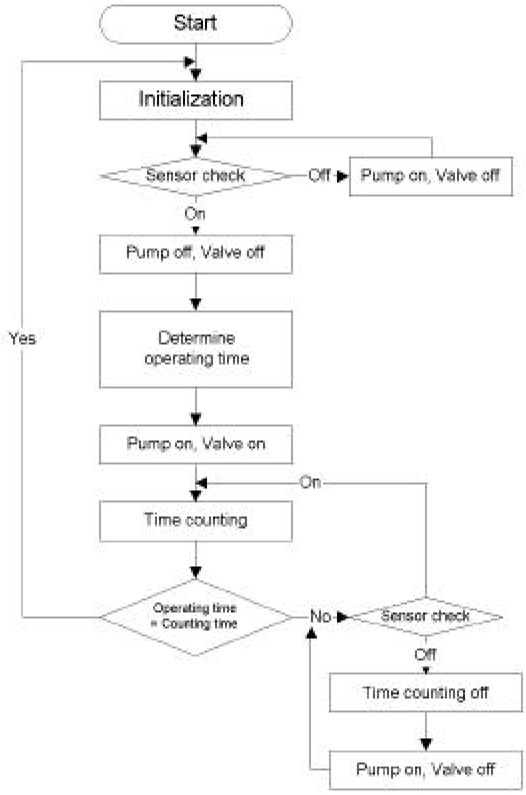
정밀액제 계량이 구현되는 원리를 설명하면 다음과 같다. 농후양액 공급 부로부터 소형 임펠러 펌프를 이용하여 농후양액을 농후양액 계량 및 배출

부로 공급하면, 농후양액 계량 및 배출부에서는 수위센서를 이용하여 일정 높이로 농후양액을 유지하게 되며 전자 밸브를 이용하여 계량된 농후양액을 양액 희석부로 배출하게 된다. 벤튜리관으로 구성된 양액 희석부는 압력차에 의한 양액의 역류현상을 방지하고 농후양액 흡입 및 혼합성능을 향상시키며 양액 혼합부와 연결되어 물공급부로부터 유입된 물과 혼합되어 양액을 공급하게 된다. 이러한 일련의 과정은 양액 계측부 및 양액 제어부의 계측 및 제어 신호로 수행된다.

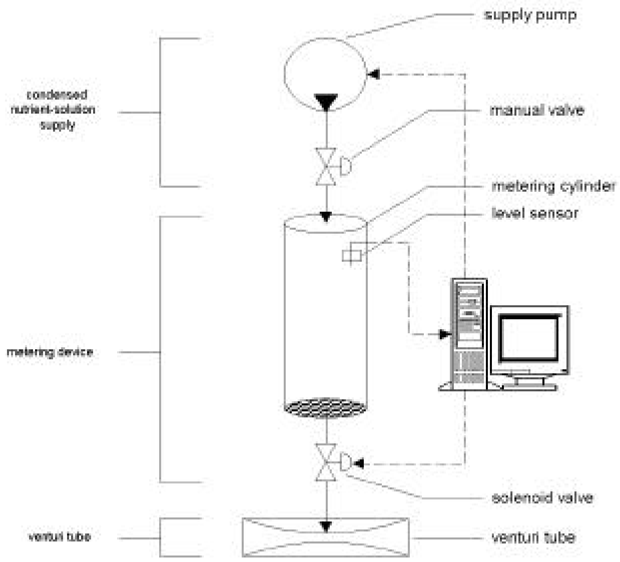
3.4.2.5. 구동 프로그램

상술한 액제 정밀계량 장치를 구동하기 위하여 볼랜드사의 C/C++ 프로그램을 이용하여 프로그램을 작성하였다. 프로그램이 구동되면 DIO 포트를 초기화 한 후, 네 개의 수위센서를 점검하고 농후양액 공급용 펌프를 작동하여 계량용기내 농후양액의 수위를 유지한다. 그 후 공급할 농후양액에 대한 작동시간을 결정한 후 농후양액 공급 펌프와 솔레노이드 밸브를 동시에 가동하여 농후양액을 벤튜리관으로 배출하게 되며, 매 순간 공급시간과 설정시간을 비교하게 된다. 이때 농후양액의 수위를 유지하기 위한 각 펌프의 개별 작동시간은 작동시간 계산에서 제외하여 공급시간에 포함시키지 않도록 하여 순수한 공급시간만을 계산하도록 하였다. 이런 순서로 계량용기내 농후양액의 수위를 일정하게 유지하면서 공급함으로써 두 종류의 농후양액 공급량은 정밀하게 제어된다. <그림 3-8>에 프로그램의 순서도를 나타내었다.

농후양액 공급부, 농후양액 계량 및 배출부 및 양액 희석부로 구성된 액제 정밀계량 장치는 퍼스널 컴퓨터를 이용하여 시간에 기초한 제어를 수행하였다. 액제 정밀계량 장치의 전체 시스템 구성도를<그림 3-9>에 나타내었다.



<그림 3-8> **농후양액 구동 순서도**



<그림 3-9> **액제 정밀계량 장치의 전체 시스템 구성도**

3.4.2.6. 수위센서식 액제 정밀계량 장치 성능 실험

3.4.2.6.1. 성능 평가 항목

제작된 액제 정밀계량 장치 및 양액 자동조제 시스템의 성능을 평가하기 위한 실험을 수행하였다. 액제 정밀계량 장치의 성능평가 항목은 구동시간에 따른 배출량, 제품간 배출량 편차 및 상용 정량펌프와의 비교실험이며 양액 자동조제 시스템의 성능평가 항목은 농도 제어 성능, 산도 제어 성능으로 하였고 실증재배를 통하여 개발된 장치의 개선점을 도출하고자 하였다.

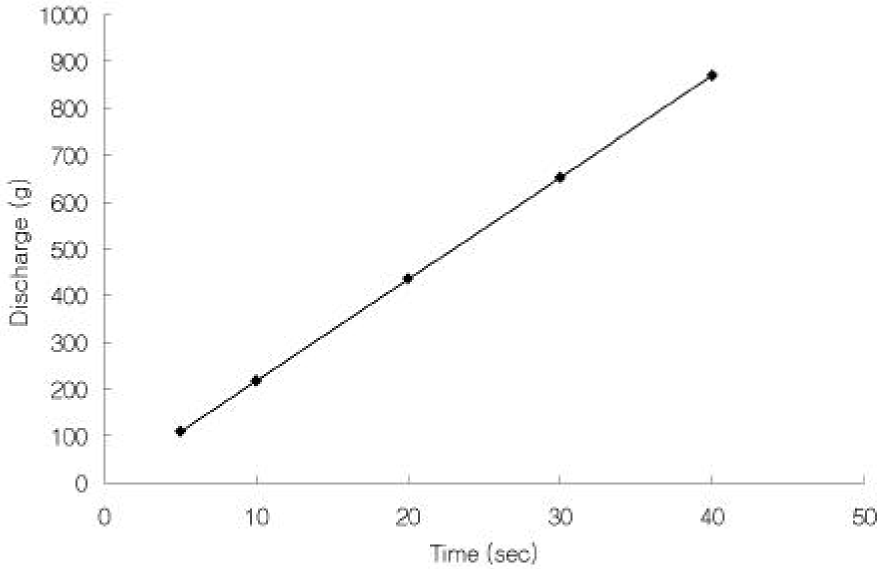
액제 정밀계량 장치의 성능을 실험하기 위한 측정 항목은 구동시간에 따른 배출량, 제품간 배출량 편차로 하였다.

개발된 계량장치를 구동시간으로 제어하기 위하여 구동시간과 배출량의 관계를 구명하고자 하였다. 계량용기내 수위를 20 cm로 유지하면서 구동시간을 10초씩 증가시켜가며 배출량을 조사하는 방식으로 수행하였다.

4개의 액제 정밀계량 장치의 제품간 배출량 편차는 10회에 걸쳐 각각 30초간 구동한 배출량으로 비교하였으며 4개월 동안 600시간을 구동한 후 배출량을 조사하였다. 또한 상용 정량펌프와의 비교실험을 위하여 한나(HANNA, Italy)사와 블루화이트(Blue White, USA)사의 정량펌프를 각각 2개씩 채택하여 5회에 걸쳐 각각 30초간 구동시 나타나는 제품간 배출량 편차실험을 수행하였다.

3.4.2.6.2. 액제 정밀계량 장치의 배출량 실험

개발된 액제 정밀계량 장치의 구동 시간과 배출량의 관계를 <그림 3-10>에 나타내었으며 회귀방정식을 <식 3-5>에 나타내었다.



<그림 3-10> 구동 시간과 배출량의 관계

$$Discharge(g) = 21.759 \times Time\ (sec) \qquad \text{<식 3-5>}$$

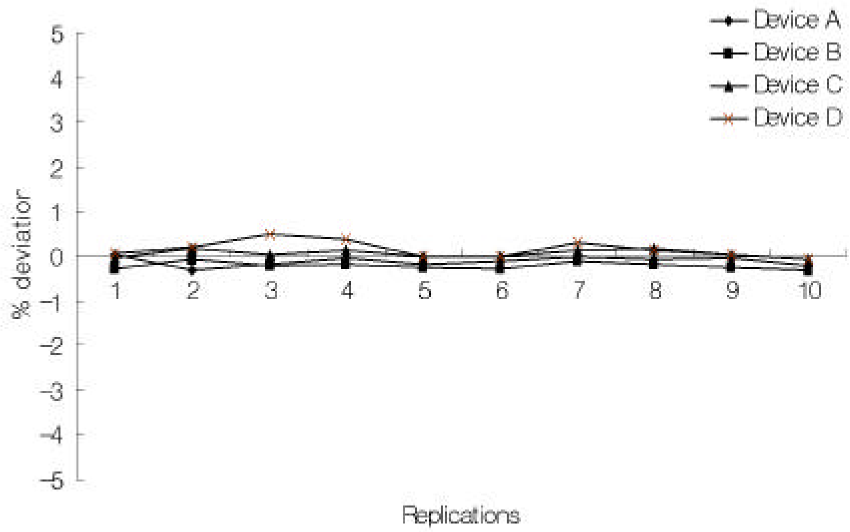
구동시간과 배출량과의 결정계수(R^2)**는** 0.9999**로 나타났으며 구동시간을 이용하여 액제 정밀계량 장치의 제어가 가능함을 확인하였다.**

3.4.2.6.3. **제품간 배출량 편차**

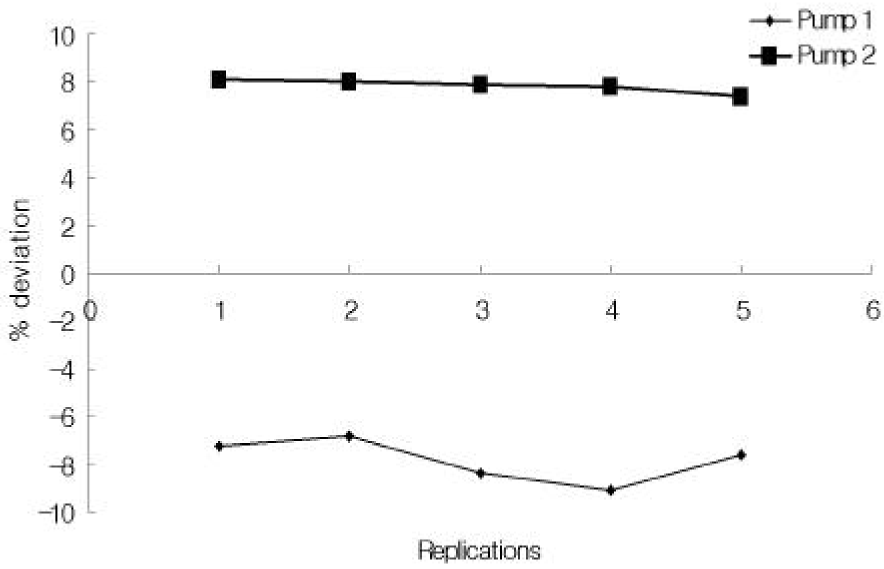
개발된 4**개의 액제 정밀계량 장치의 제품간 배출량 편차 그래프를** <**그림** 3-11>**에 나타내었다. 또한 한나**(HANNA, Italy)**사와 블루화이트**(Blue White, USA)**사의 정량펌프에 대한 제품간 배출량 편차 그래프를** <**그림** 3-12> **및** <**그림** 3-13>**에 각각 나타내었다.**

개발된 액제 정밀계량 장치를 4**개월 동안** 600**시간을 구동한 후 제품간 배출량 편차를** 10**회에 걸쳐 각각** 30**초간 구동하여 성능실험을 수행한 결과** <**그림** 3-11>**에서와 같이 제품간 편차가** 0.48 %**로 나타났다. 반면에 상용 정**

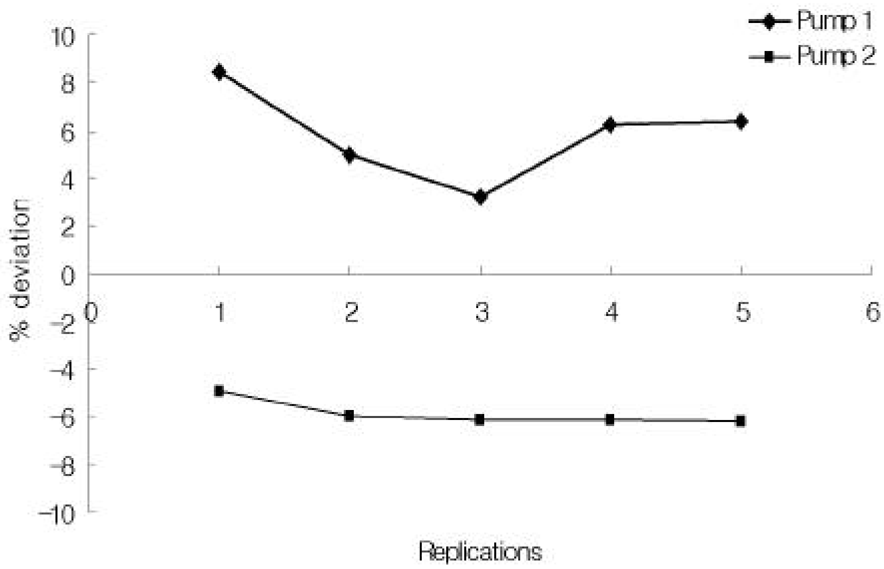
량펌프의 경우 <그림 3-12>의 HANNA사의 제품은 9.11 %, <그림 3-13>의 Blue White사의 제품은 8.46 %로 각각 나타났다. 따라서 개발된 액제 정밀계량 장치를 이용하는 경우 상용의 정량펌프를 사용한 경우에 비해 양액의 정밀한 조제가 가능하며 주기적인 배출량 점검 및 교정이 필요 없다고 판단된다.



<그림 3-11> 개발된 액제 정밀계량 장치의 토출량 편차



<그림 3-12> HANNA **정량펌프의 토출량 편차**



<그림 3-13> Blue White **정량펌프의 토출량 편차**

3.4.3. 오버플로우식 액제 정밀 계량 장치

3.4.3.1. 개발 목적

오버플로우식 액제 정밀 계량 장치는 수위센서식 액제 정밀 계량 장치를 보완하여 약산성에 견딜수 있는 재질로 구성된 구성품과 일정 수위에서만 농후양액을 배출하여야 하는 복잡한 구동 알고리즘을 보완하기 위하여 개발하였다. 이 장치도 유체 정역학적 원리를 이용하였지만, 액면을 유지하기 위하여 수위센서를 사용하지 않기 때문에 구동 알고리즘이 단순화되었으며 가격이 저렴하고 내산성을 가지는 구성품으로 이루어져 있어서 내구성이 향상되었다.

계량원리는 다음과 같다. 이 방식은 계량 용기 상부의 유입부에서 실린더 내부의 액면까지 액체를 계속해서 공급하여, 일부는 배출되며 나머지는 계량용기에서 넘쳐흘러 바이패스(bypass)관을 통하여 다시 농후양액통으로 재유입된다. 따라서 농후양액은 계량용기에 일정한 양이 담겨 있는 상태가 되며, 항상 일정한 수위에서 전자밸브 구동시간 동안 배출되는 구조이다.

3.4.3.2. 농후양액 공급 펌프

농후양액을 계량 용기로 공급하기 위한 농후양액 공급펌프는 소형 마그네틱 펌프를 사용하였으며, 선정된 마그네틱 펌프의 주요부 재질은 케이싱과 케이싱 안쪽 임펠러는 폴리프로필렌이며 축은 세라믹으로 되어 있고 구동 마그네트는 페라이트 계열이 사용되어 약산성 용액에 사용할 수 있도록 되어 있다. 펌프 제원 및 펌프 외형은 다음 <표 3-4>와 <그림 3-14>에 각각 나타나 있다.

<표 3-4> 공급 펌프의 제원

Manufacturer	Source	Max flow rate (l/min)	Max head(m)	Operating Temperature
LG(KOREA)	AC 220V 60Hz	19	3.5	60℃이하

<그림 3-14> 공급 펌프의 외형

3.4.3.3. 오버플로우식 액제 정밀 계량 및 배출부

오버 플로우식 액제 정밀 계량 장치를 제작하기 위하여 정밀 계량 용기 개발시 고려된 사항은 다음과 같다.

① 유입부의 유입유량은 배출부의 배출유량에 영향을 미치지 말아야 한다. 즉, 배출되는 유량은 실린더내의 농후양액 무게에 의해서만 각각 A, B 농후양액은 배출되어야 한다.

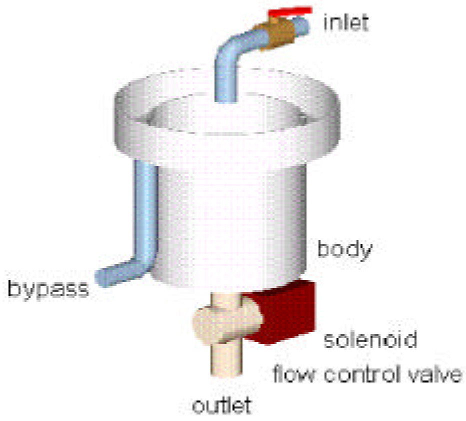
② 유입유량은 배출유량보다 커야 하며, 이럴 경우에만 일정한 수위에서 농후양액이 배출된다. ($Q_{유입}$ > $Q_{배출}$)

③ 바이패스 유속은 오버플로우 유속보다 크거나 같아야 한다.

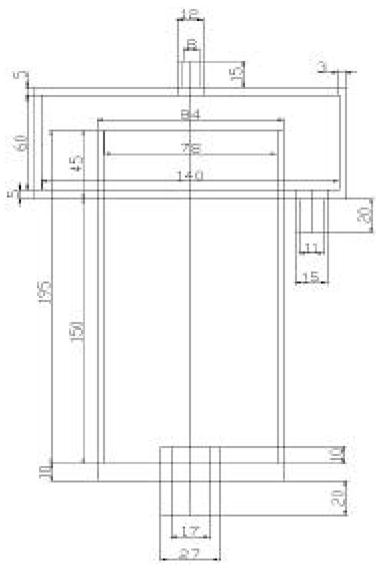
④ 농후양액이 배출구 쪽으로 배출시 항상 계량용기로 유입된 농후양액의 일부는 오버플로우 되어야 한다.

($Q_{오버플로우} \geq 0$ @ t = 배출시간)

이를 기준으로 설계된 계량용기의 개념도를 <그림 3-15>, 외형 치수를 <그림 3-16>와 <표 3-5>에 나타내었다.



<그림 3-15> 계량용기의 개념도



<그림 3-16> 계량용기의 외형 및 치수

<표 3-5> 계량용기의 재료 및 제원

Material	Diameter(mm)			Height(mm)	Volume(l)
	Inlet	Solenoid orifice	Bypass		
acryl	4	4	11	195	1

3.4.3.4. 배출 밸브

제작된 계량용기에 사용된 솔레노이드 밸브와 유량 제어밸브는 산도 4.2pH의 A용액과 7.8pH의 B용액을 고려하여 내화학성이 강한 SS(stainless steel)재질로 구성된 밸브를 이용하였다.

이들 솔레노이드 밸브와 유량조절 밸브의 제원은 각각 <표 3-6>과 <표 3-7>와 같으며 이들은 <그림 3-17>과 같이 계량용기 하단의 출구쪽에 설치 하였다.

<표 3-6> 솔레노이드밸브의 제원

Material	Orifice diameter (mm)	Source	Manufacturer
Stainless steel	4	220V 60Hz	CKD (Japan)

<표 3-7> 유량조절밸브의 제원

Material	Inner diameter (mm)	Flow coefficient (Cv)	Manufacturer
Stainless steel	6	0.73	Union Metal (Korea)

<그림 3-17> 유량 조절밸브의 설치 모습

3.4.3.5. 구동 프로그램

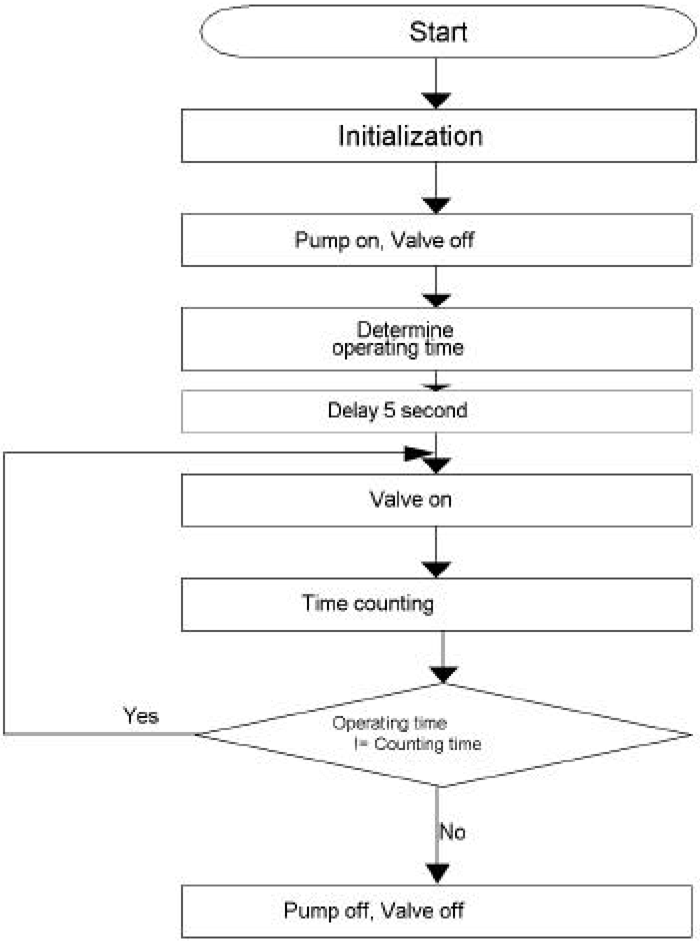
오버플로우식 액제 정밀계량 장치를 구동하기 위하여 볼랜드사의 C/C++ 프로그램을 이용하여 프로그램을 작성하였다. 프로그램이 구동되면 DIO 포트를 초기화 한 후, 각각 서로 다른 두 개의 농후양액 A, B액이 농후양액 공급펌프를 통해 농후양액 계량용기로 유입되면 계량용기 수두까지 농후양액이 계량용기 내부로 공급되게 된다. 그리고, 각각 두 개의 농후양액이 계량용기의 수두까지 완전히 차 있으면 이때부터 유입되는 농후양액은 계량용기에서 넘쳐서 일부는 계량용기 내부에 유지되고 나머지는 계량용기 밖으로 빠져나가게 되는데, 빠져 나가는 농후양액은 다시 농후양액 탱크로 유입되어 다시 농후양액 공급펌프를 통해 계량용기로 유입되게 된다. 따라서, A, B농후양액 계량용기의 수두가 서로 일치한다면 계량용기내에는 동일한 부피의 농후양액이 존재하게 된다. 그러므로, 계속해서 농후양액이 유입되면 일부는 넘치고 일부는 항상 계량용기의 수위를 일정하게 유지시키게 되는데, 이때 계량용기 하단의 솔레노이드 밸브를 열면 두 종류의 서로 다른 농후양액은 동일하게 배출 될 수 있다.

이런 방법으로 계량용기내 농후양액의 수위를 일정하게 유지하면서 공급

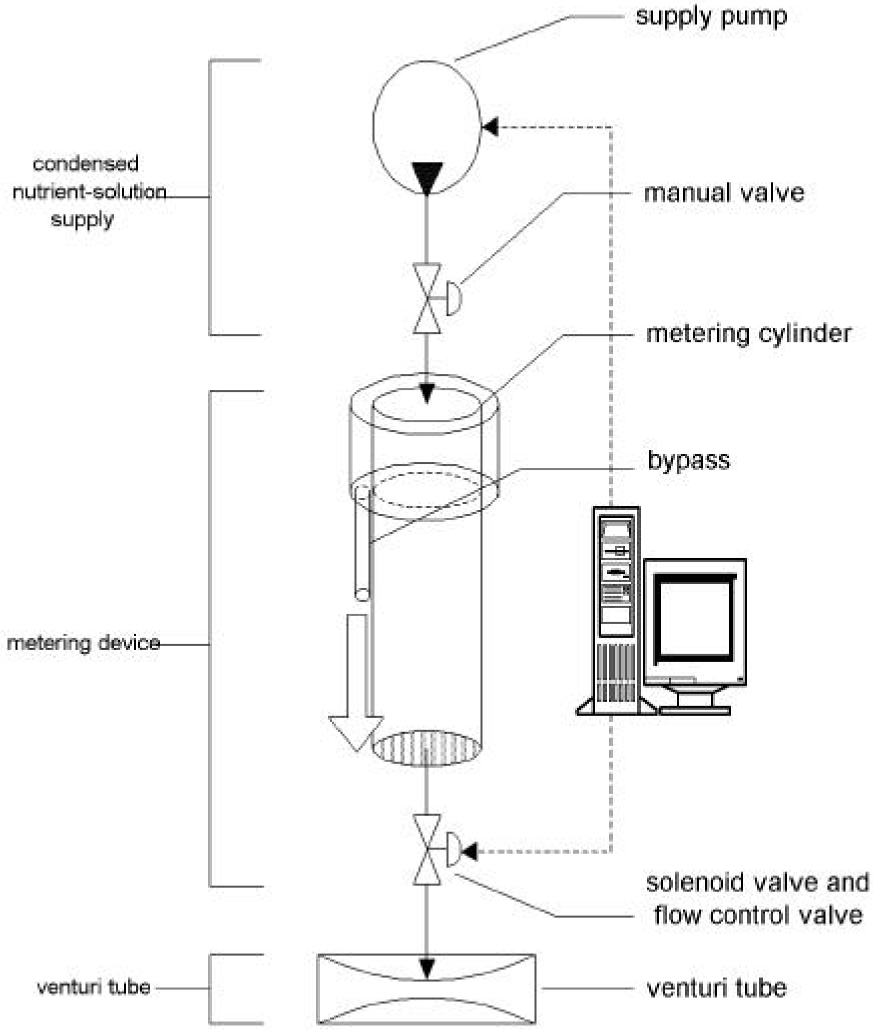
함으로써 두 종류의 농후양액 공급량은 정밀하게 제어된다.

<그림 3-18>에 프로그램의 순서도를 나타내었다.

농후양액 공급부, 농후양액 계량 및 배출부 및 양액 희석부로 구성된 액제 정밀계량 장치는 전용제어기를 이용하여 시간에 기초한 제어를 수행하였다. 액제 정밀계량 장치의 전체 시스템 구성도를 <그림 3-19>에 나타내었다.



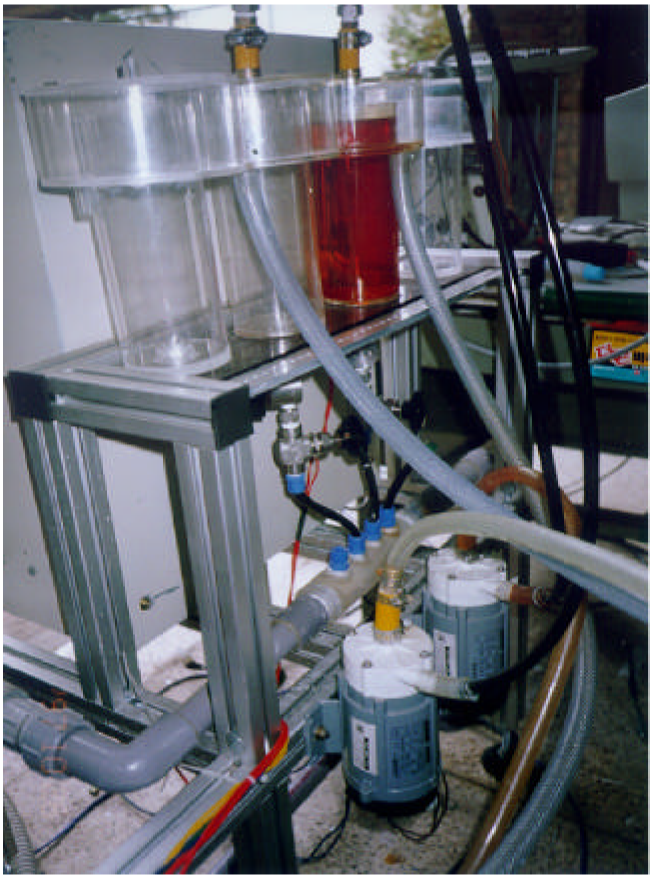
<그림 3-18> 프로그램 순서도



<그림 3-19> 오버플로우식 계량장치 구성도

다음 <그림 3-20>은 계량용기 사진이며, <그림 3-21>은 오버플로우식 액제 정밀계량 장치 사진이다.

<그림 3-20> 계량용기 사진

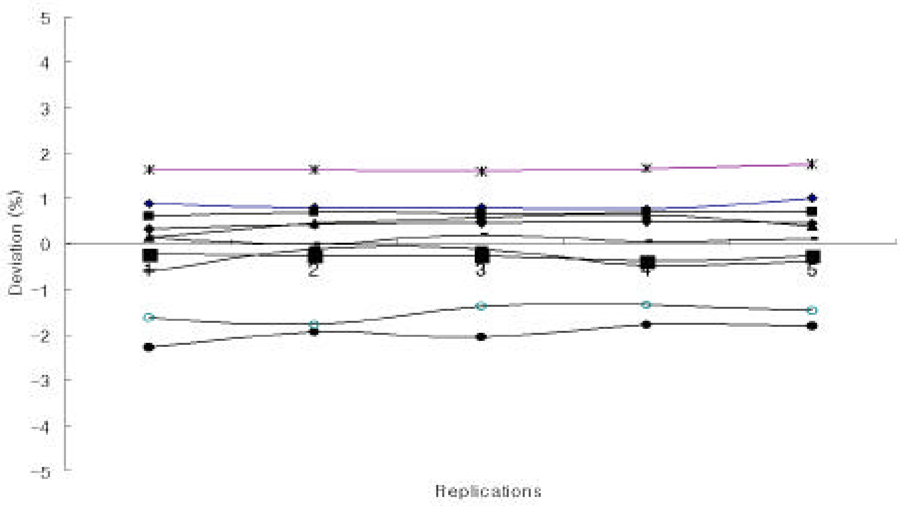


<그림 3-21> 오버플로우식 계량장치 사진

3.4.3.6. 오버플로우식 액제 정밀계량 장치 성능 실험

3.4.3.6.1. 솔레노이드 밸브의 토출량 실험

개발된 액제 정밀 계량 장치를 이용하여 토출량 실험을 수행하였다. 실험은 10개의 솔레노이드 밸브간의 토출량 편차 실험을 수행하여 그림 4.6에 나타내었다. 10개의 솔레노이드 밸브의 토출량 편차를 5회에 걸쳐 10초동안 구동하여 성능평가를 수행한 결과 <그림 3-22>에서와 같이 10개 샘플중 7개는 최대 1% 이었으며, 나머지 3개의 샘플간의 편차는 최대 2.29% 이었다.

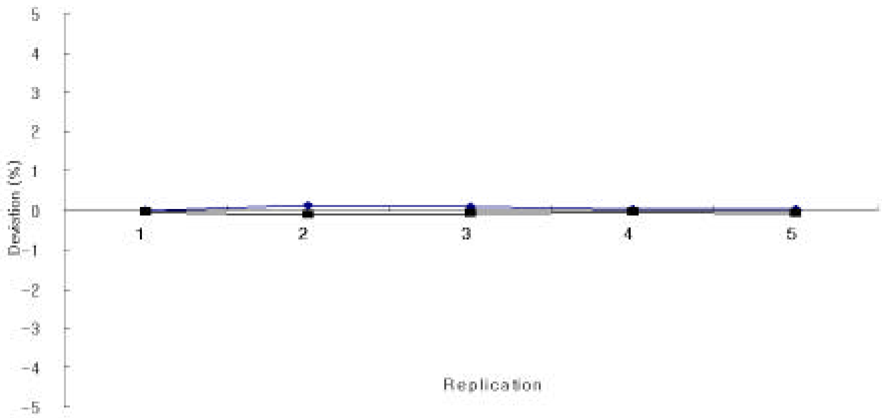


<그림 3-22> 솔레노이드 밸브의 토출량 편차

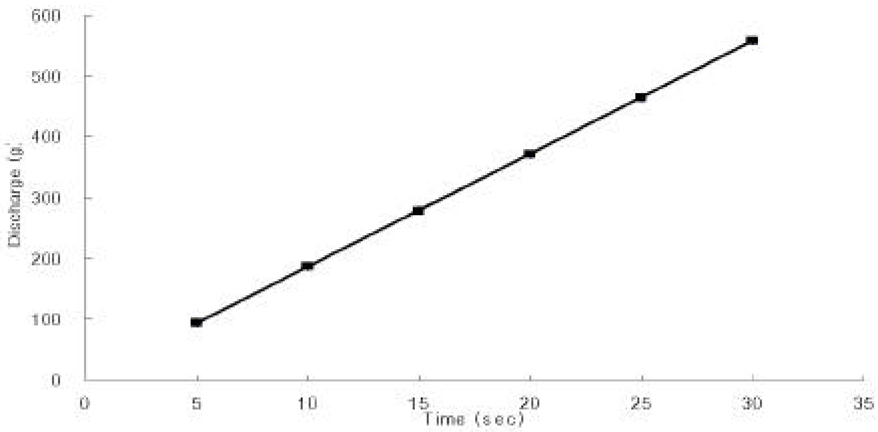
3.4.3.6.2. 유량조절밸브를 이용한 토출량 실험

솔레노이드밸브 하단에 유량조절 밸브를 설치하였을 때의 토출량 편차 실험을 수행하였다. 위의 솔레노이드 밸브만을 이용한 토출량 실험에서 가장 편차가 심한 두 개의 솔레노이드 밸브를 이용하여 하단에 유량조절 밸브를 부착하여 각각 유량을 조절하면서 두 개의 토출량이 서로 일치하도록 조절하면서 실험을 수행하였다. 다음 <그림 3-23>에서와 같이 2개 샘플은 편차

가 최대 0.2% 이내까지 토출되도록 할 수 있었다.



<그림 3-23> 유량 조절밸브를 이용한 솔레노이드 밸브의 토출량 편차



<그림 3-24> 계량장치의 토출량 회귀방정식

또한, 토출량의 편차를 <그림 3-24>에 나타내었으며, 토출량의 회귀방정식을 <식 3-6>에 나타내었다.

구동시간과 토출량과의 결정계수(R^2)는 0.999999로 나타났으며 구동시간을 이용하여 액제 정밀 계량 장치의 제어가 가능함을 확인하였다.

$$Discharge(g) = 18.59 \times Time(sec) \qquad <식\ 3\text{-}6>$$

3.5. 결 론

상용의 정량펌프를 대체하여 농가보급형 무인 양액관리시스템의 농후양액 계량장치로 사용될 수위센서식 액제 정밀계량장치와 오버플로우식 액제 정밀계량장치를 개발하였다. 개발된 계량장치는 두 종류의 농후양액 토출량 정밀도는 우수하였으며 저가의 액제 정밀계량장치로서 양액 자동조제 및 공급 시스템에 적용하면 제작비용을 절감시킬 수 있다고 사료된다.

다음 <표 3-8>은 상용정량펌프와 두 종류의 자체 개발한 액제 정밀계량장치의 비용, 토출편차, 구동알고리즘, 구성품을 비교한 것이다.

<표 3-8> 정량펌프와 두 액제 정밀계량 장치의 비교

	상용 정량 펌프		액제 정밀계량 장치	
	HANNA (Italy)	Blue White (USA)	수위센서식	오버플로우식
비 용	고가		저가	
최대토출량 편차	9.11%	8.46%	0.48%	0.2%
구동알고리즘	단순		복잡	단순
구성품	다이아프램, 감속기, 볼밸브, 구동모터 등 약 11종으로 구성		공급펌프 볼밸브 계량용기 솔밸브 4종으로 구성	공급펌프 볼밸브 계량용기 솔밸브 유량조절밸브 5종으로 구성

4. 양액 공급 자동화 분야

4.1. 서설

양액 공급 자동화를 위해서 수위센서식 액제 정밀계량 장치와 PC를 이용하여 양액 조제 및 공급 시스템을 개발하였다.

농도 및 산도 조제는 사용자의 설정값까지 조제 가능하도록 자동조제용 알고리즘을 개발하였으며 조제된 양액을 자동으로 공급하기 위하여 사용자가 임의로 1일 최대 10회에 걸쳐 배양액 공급시간을 설정하면 설정한 시간에 자동으로 공급하는 공급 알고리즘을 개발하였다.

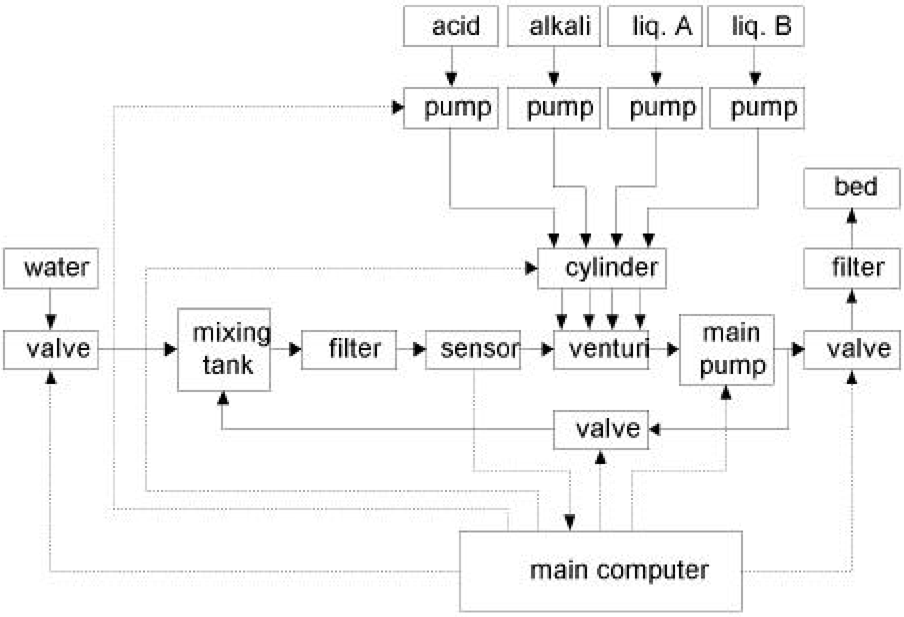
4.2. 제어 시스템

4.2.1. 제어 시스템의 구성

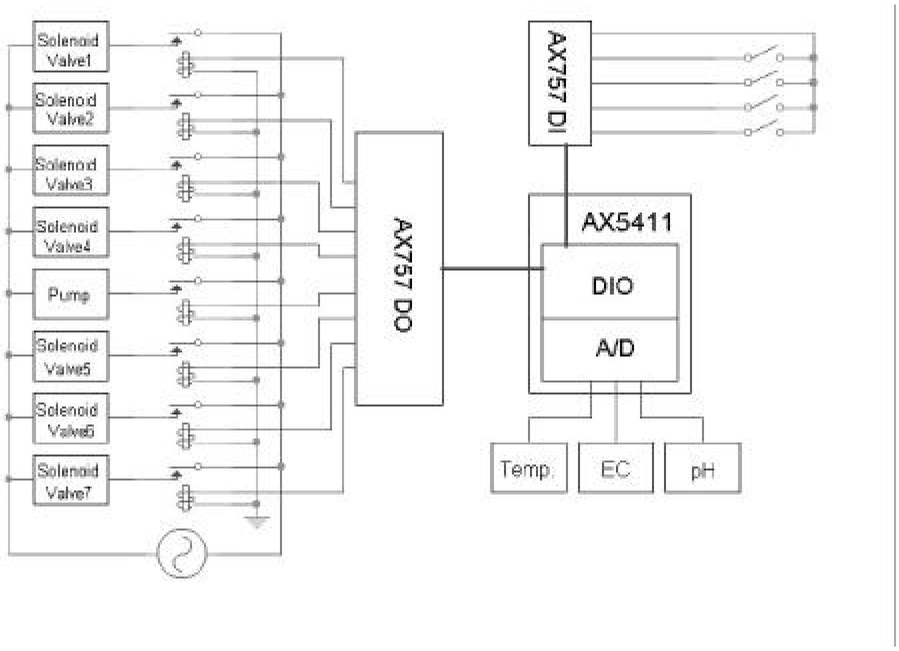
양액의 농도 설정 및 산도 설정 과 공급시간 설정의 입력에 의해 양액을 자동조제할 수 있는 양액 자동조제용 제어 시스템은 PC에 기반을 두었다. 사용된 인터페이스 A/D input/output board는 AXIOM사의 AX5411로서 12 비트 16채널의 A/D converter와 24개의 DIO 채널을 가지고 있다. <표 4-1>에 AX5411의 구체적인 명세를 나타내었고 <그림 4-1>에 PC를 이용한 양액 자동 조제 및 공급 시스템의 구성도를 나타내었으며 <그림 4-2>에 전체 회로도를 나타내었다.

<표 4-1> **인터페이스** AX5411**의 명세**

Contents	Specification
Manufacturer	AXIOM
Model	AX5411
A/D	12 bit, 16 channel, 60kHz
D/A	0 5, 5 10V output, 2channel
DIO	24 channel, TTL/DTL compatible
CLOCK	4MHz



<그림 4-1> PC**를 이용한 자동조제 및 공급시스템 구성도**



<그림 4-2> 시스템의 회로도

4.2.2. 제어 알고리즘

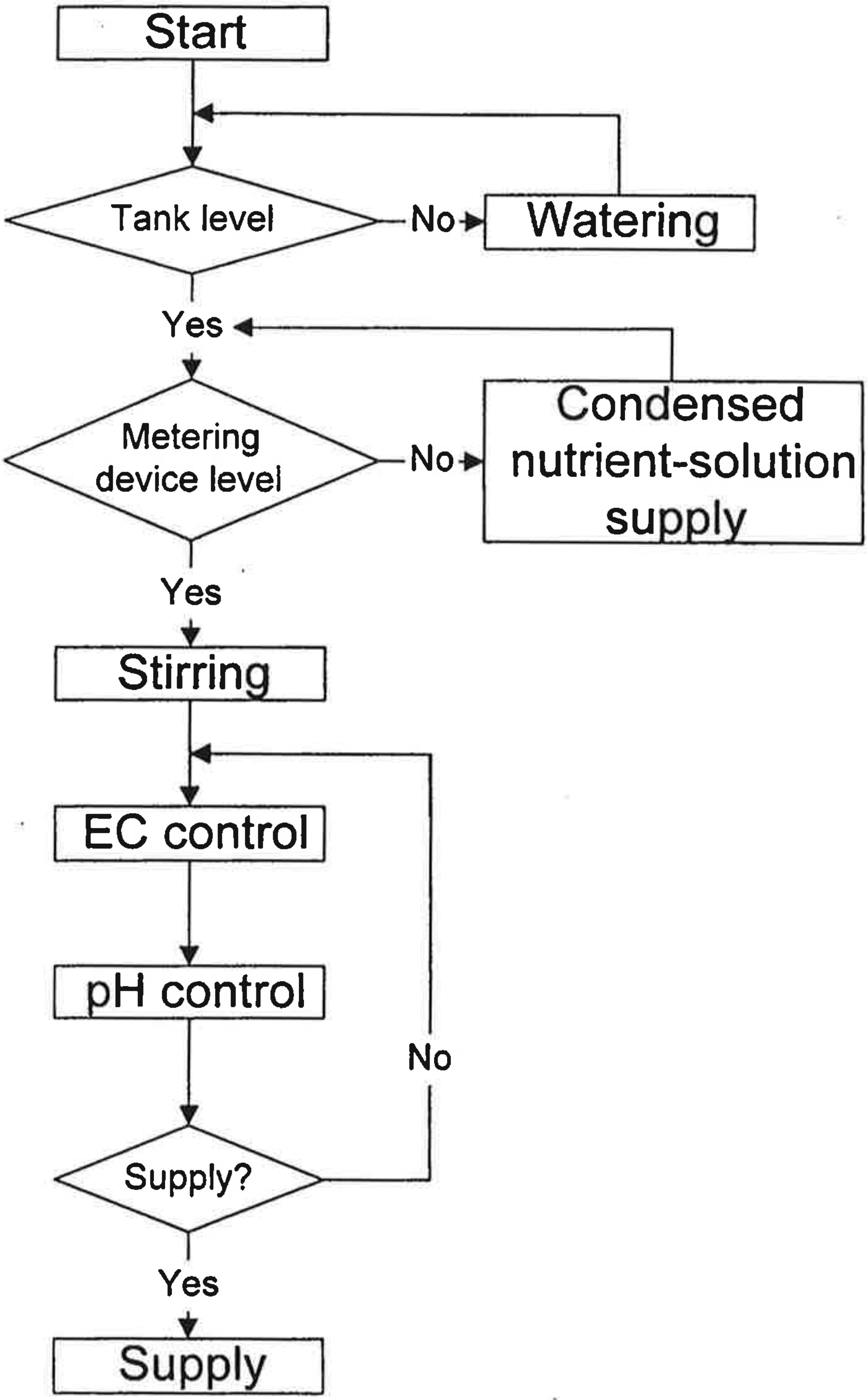
<그림 4-3>에 개발된 소프트웨어의 흐름도를 나타내었으며, Borland사의 C/C++로 개발되었다.

전기전도도는 0.1 9.9 mS/cm 범위에서 설정 가능하도록 하였으며 전기전도도 센서의 특성을 고려하여 ±0.05 mS/cm의 사역범위를 두었다. 농도 제어 방식은 초기에 설정치의 50%에 도달하도록 농후양액을 공급한 후 도달정도를 판단하여 다음 목표값을 결정하게하여 일정 범위의 농후양액 농도 변화에서도 안정된 농도제어가 가능하도록 하는 피드백(feedback)방식을 적용하였다. 이러한 제어의 프로그램화 과정을 <그림 4-4>에 순서도로 나타내었다.

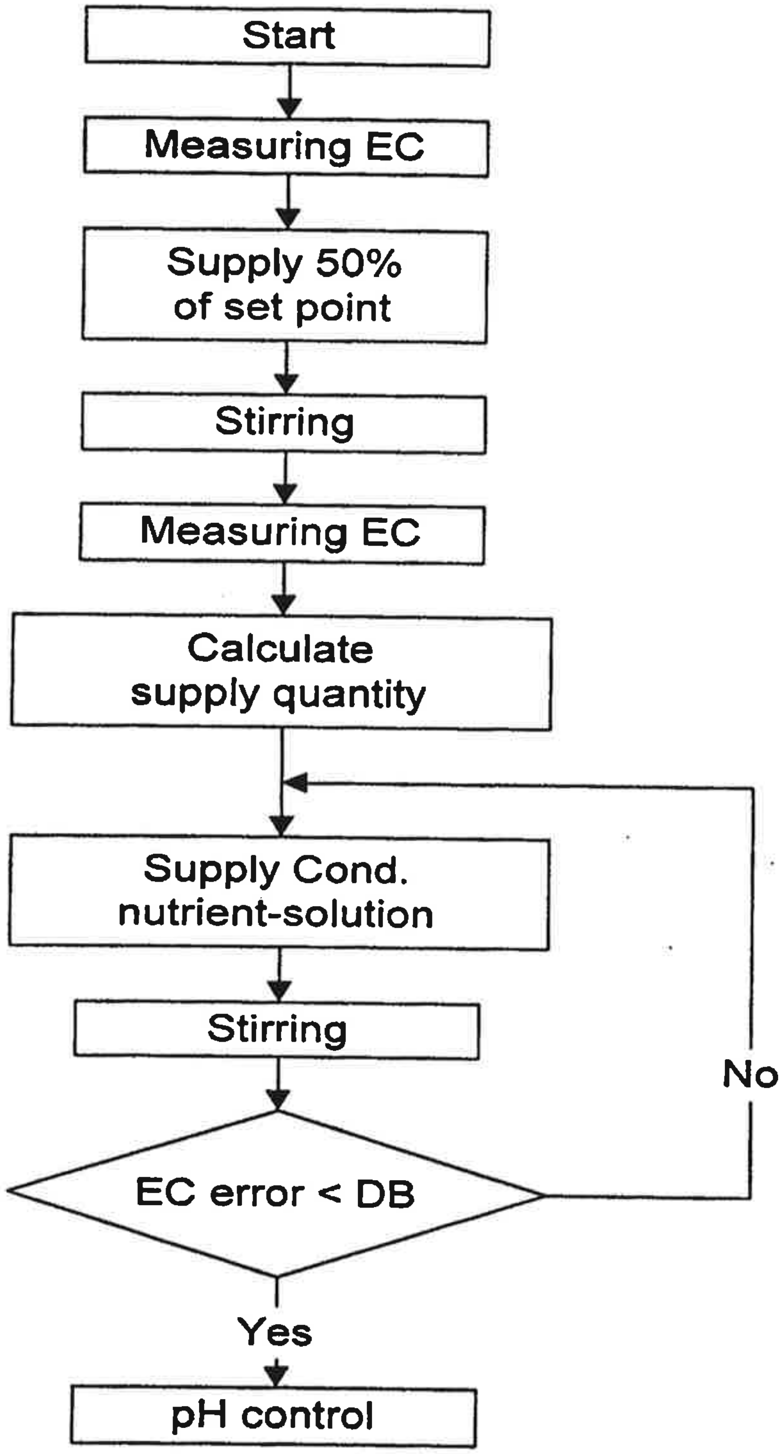
산도의 제어방식은 농도의 제어방식과 동일하나 액제의 투입량에 따른 산

도값의 변화를 2차함수로 회구하여 적용하였으며 산도 설정 범위는 0.1 9.9pH로 하였고 사역범위는 ±0.2pH로 하였다.

조제된 양액을 작물에 공급하기 위하여 사용자가 임으로 1일 최대 10회에 걸쳐 배양액 공급시간을 결정하도록 하였으며 조제 및 공급시간을 통하여 양액을 순환하도록 하여 양액내 용존산소량을 높이도록 하였다.



<그림 4-3> 양액 자동 조절 공급 프로그램의 순서도

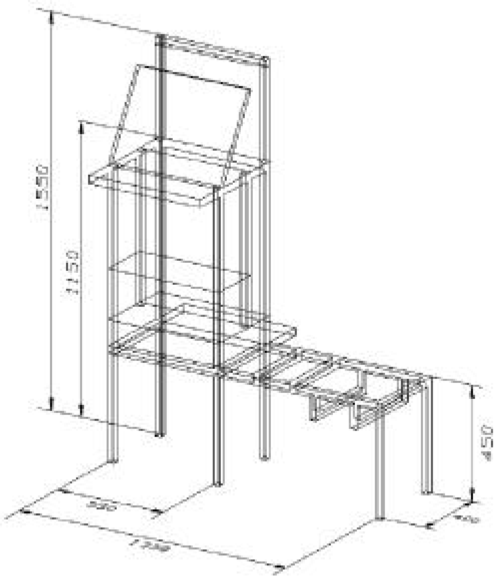


<그림 4-4> 제어 프로그램의 순서도

4.3. 양액 자동 조제 및 공급 시스템 제작

4.3.1. 외형 프레임 및 치수

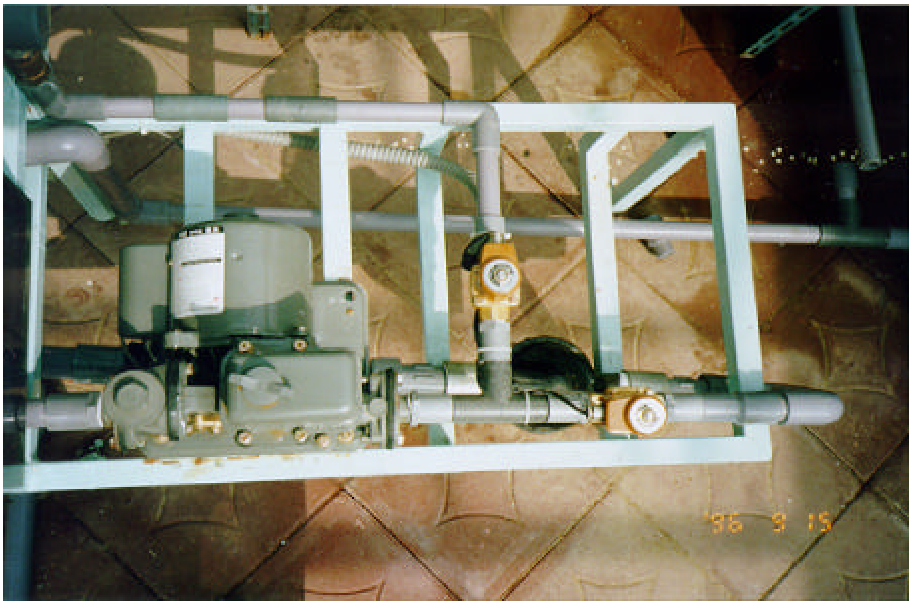
설계된 양액 조제 및 공급 시스템의 프레임의 외형과 치수를 <그림 4-5>에 나타내었다.



<그림 4-5> 설계된 프레임의 외형과 치수

4.3.2. 전체 시스템

<그림 4-6>에 펌프 및 밸브의 설치도를 나타내었으며 전체 시스템의 외형을 <그림 4-7>에 나타내었다.



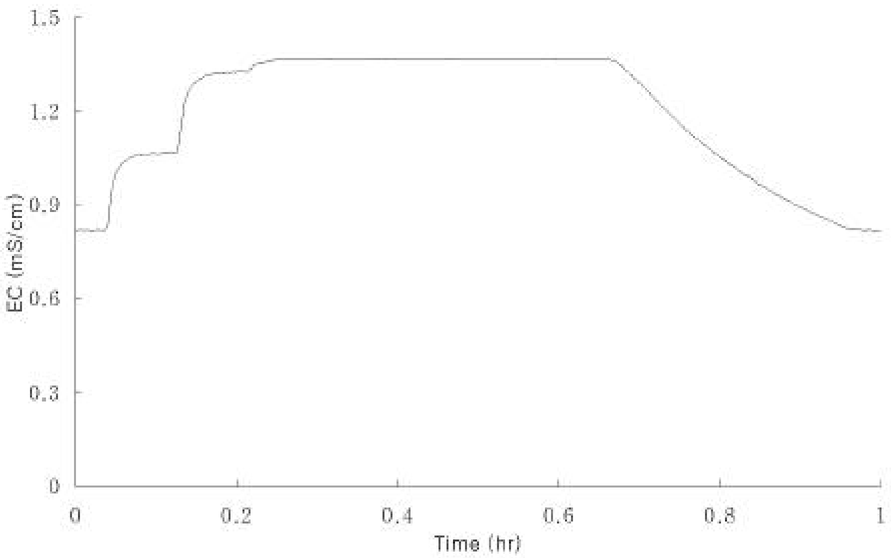
<그림 4-6> 펌프 및 밸브 설치 그림

<그림 4-7> 전체 시스템 외형

4.3.3. 비교 조제 시험

4.3.3.1. 전기전도도

개발된 양액 자동조제 시스템의 양액조제 성능을 평가하기 위하여 전기전도도 제어를 수행하였으며 <그림 4-8>에 성능 곡선을 나타내었다. 양액의 농도는 24℃에서 ±0.05 mS/cm의 오차 범위 내에서 제어되었으며, 0.8 mS/cm에서 1.4 mS/cm까지 조제하는데 걸린 정정시간(settling time)은 15분이었다.

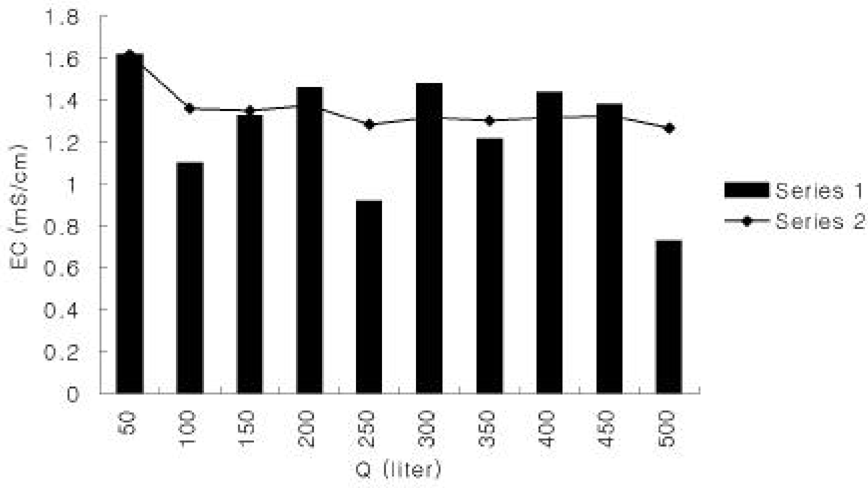


<그림 4-8> 개발된 양액 조제 및 공급시스템의 전기전도도 조제성능 곡선

상용 양액 자동조제 시스템과의 조제성능 비교를 위하여 NETAFIM 사의 제품에 대한 전기전도도 제어성능을 조사하였으며 그림 <4-9>에 성능곡선을 나타내었다. 계열1은 50ℓ에 대한 평균 전기전도도 값이며 계열2는 50ℓ씩 누적한 전기전도도 값의 평균값이다. 양액의 온도가 22℃이고 설정치를 1.4 mS/cm로 하였을 때 500ℓ에 대한 누적 평균이 1.29 mS/cm로 나타났다.

개발된 양액 자동조제 시스템이 상용의 시스템에 비하여 조제성능이 우수

하게 나타났다. 개발된 시스템은 작물에 일정한 농도의 양액을 공급하지만 상용 시스템은 양액농도의 변화가 연속적으로 나타나므로 작물의 정상적인 생장을 보장하기 위해서는 고형배지와 같이 완충역할이 가능한 배지가 필요하게 된다.

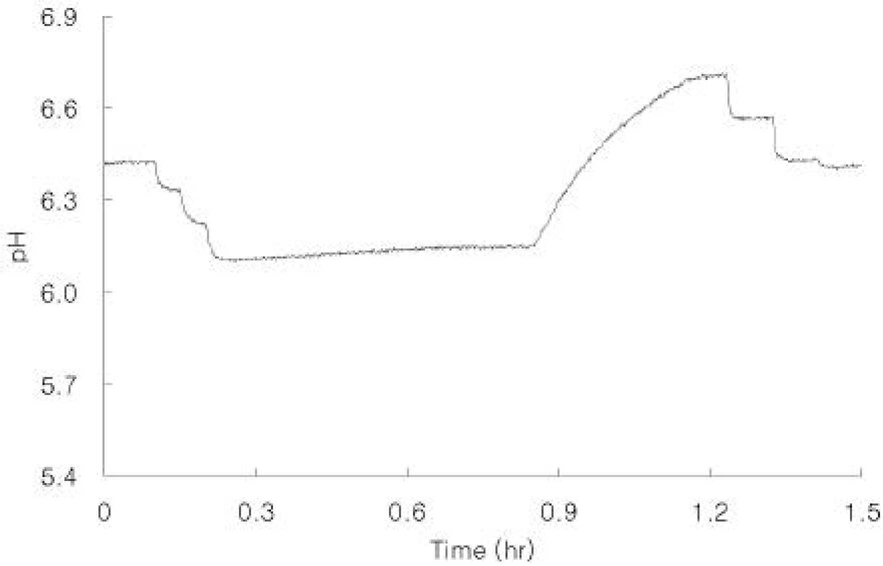


<그림 4-9> NETAFIM사 제품의 전기전도도 조제성능곡선

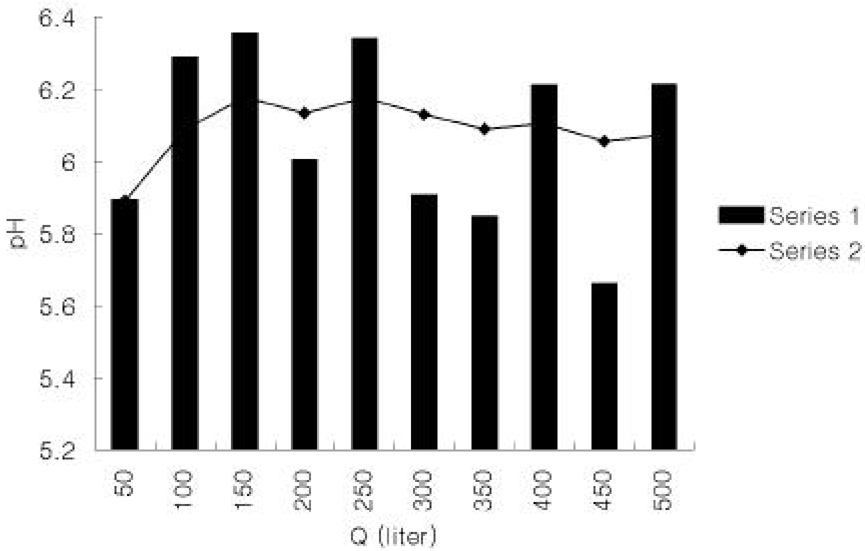
4.3.3.2. 산도

개발된 양액 자동조제 시스템의 양액 조제성능을 평가하기 위하여 산도 제어를 수행하였으며 <그림 4-10>에 성능곡선을 나타내었다. 양액의 산도는 24℃에서 ±0.2 pH의 오차 범위 내에서 제어되었으며, 6.4 pH에서 6.0 pH까지 조제하는데 걸린 정정시간(settling time)은 15분이었다. 상용 NETAFIM의 제품에 대한 산도 제어성능을 조사하였으며 <그림 4-11>에 성능곡선을 나타내었다. 계열1은 50ℓ에 대한 평균 산도 값이며 계열2는 50ℓ씩 누적한 평균 산도 값이다. 양액의 온도가 22℃이고 설정치를 6.0 pH로 하였을 때 500ℓ에 대한 누적 평균이 6.1 pH로 나타났다. 따라서 농도제어와 같이 산도의 연속적인 변화에서도 작물의 정상적인 생장을 보장하기 위해서

는 고형배지 등의 완충역할이 가능한 배지가 필요하게 된다.



<그림 4-10> 개발된 양액 조제 및 공급시스템의 산도조제 성능 곡선



<그림 4-11> NETAFIM사 제품의 산도 조제 성능 곡선

<그림 4-12>는 개발된 양액 자동 조제 및 공급 시스템을 이용한 전기전도도 및 산도의 반복실험 결과를 나타낸 것으로 전기전도도 및 산도의 재현성이 우수하게 나타났다.

<그림 4-12> 개발된 양액 자동 조제 및 공급 시스템의 전기전도도 및 산도의 반복실험

4.3.4. 실증 재배

개발된 수위센서식 액제 정밀계량 장치와 시스템을 이용하여 실증재배를 수행하였으며 2개월 동안의 전기전도도 제어 결과를 <표 4-2>에 나타내었다. 최대 오차가 2.4%로 나타났고 설정된 사역범위 ±0.05 mS/cm 안에서 제어되는 등 실증재배 기간에 걸쳐 안정된 제어성능을 나타내었다.

<표 4-2> 2개월 동안의 전기전도도 제어 결과

Date	10/21	10/28	11/4	11/11	11/18	11/25
EC (mS/cm)	1.385	1.401	1.366	1.391	1.421	1.391
Error (%)	1.4	0.07	2.4	0.6	1.5	0.6

방울 토마토 실증재배 결과를 엽장, 엽폭, 엽장/엽폭, 줄기 직경에 대하여 <표 4-3>에 나타내었다. 토마토의 수확은 11월 1일부터 12월 15일까지 5일 단위로 9회에 걸쳐 실시한 결과를 <표 4-4>에 나타내었다.

<표 4-5>와 <표 4-6>에 조제된 양액의 Ca과 Mg에 대한 질량분석 결과를 나타내었다. 반복조제에 따른 Ca과 Mg의 최대 편차는 0.5 %, 1.8 %로 각각 나타났으며 액제 정밀계량 장치의 토출량편차인 0.48 % 보다 크게 나타난 이유는 농후양액을 조제할 때 나타나는 계량오차와 질량분석시 나타나는 희석배율의 오차 등에 기인한다고 판단된다.

<표 4-3> 토마토의 엽장 및 줄기직경 조사

Date	Leaf position	Leaf length, (L) (mm)	Leaf width, (W) (mm)	L/W	Stem diameter (mm)
10/21	3	54.5	48.2	1.13	16.77
	4	51.9	46.1	1.13	
10/28	3	55.6	50.1	1.11	17.33
	4	52.5	46.3	1.13	
11/4	3	56.2	50.7	1.11	17.73
	4	53.2	47.5	1.12	
11/11	3	56.6	60.0	1.13	17.83
	4	53.5	47.7	1.12	
11/18	3	56.8	51.1	1.11	17.90
	4	53.7	48.2	1.11	
11/25	3	57.0	51.8	1.10	17.91
	4	54.0	48.5	1.11	

<표 4-4> 방울 토마토 수확량

Period	11/1 11/5	11/6 11/10	11/11 11/15	11/16 11/20	11/21 11/25	11/26 11/30	12/1 12/5	12/6 12/10	12/11 12/15
Yield (kg/day)	0.53	0.73	1.04	1.14	3.06	3.44	3.70	3.96	4.70

<표 4-5> **반복조제에 따른 Ca편차**

Replication No.	1	2	3
Mass (mg/ℓ)	162.5	163.8	162.7
Deviation (%)	0.3	0.5	0.2

<표 4-6> **반복조제에 따른 Mg편차**

Replication No.	1	2	3
Mass (mg/ℓ)	50.3	52.0	51.5
Deviation (%)	1.8	1.4	0.5

4.4. 결과

본 연구를 통하여 액제 정밀계량 장치를 이용하여 양액 공급시스템을 개발하였으며, 성능실험과 실증재배를 통하여 조제 및 공급의 자동화가 가능하다고 사료되며, 특히 실증재배 결과 100배 이상의 고농도의 농후양액을 사용하는 양액 조제 관점에서 파이프 연결구, 수동 밸브 및 전자 밸브 등을 내화학성이 보강된 제품으로 선정할 필요성이 제시되었고, 정전 등 돌발적 사태에 대비하기 위하여 안전장치가 부착된 공급 전용 제어기의 개발이 필요하다고 판단된다.

앞으로의 연구는 PC기반의 조제 및 공급 시스템에서 PC를 이용하지 않는 독립적인 내장 전용 제어기를 이용한 시스템으로 새롭게 발전시킬 것이며, 특히 관리의 자동화를 위하여 지식베이스의 전문가 시스템 알고리즘을 이용한 관리 알고리즘을 관리 전용제어기의 새로운 알고리즘으로 개발하고자 한다.

5. 양액 관리 자동화 분야

5.1. 양액 관리

Benoit(1992)는 양액재배 시스템의 자동화가 진행되면서 양액 농도의 자동 제어에 대한 필요성도 대두되고 있음을 강조하였다. 따라서, 양액 농도에 영향을 미치는 요인들을 살펴본 후 자동제어에 적합하다고 판단되는 요인을 선정해야 한다고 하였다.

양액 재배에 있어서 양액 관리가 중요한데, 양액은 시간이 지남에 따라 양액 조성의 불균형 및 용수 속의 불용성염 축적 등에 의해 양액 농도가 변하게 된다. 또한, 김형준 등(1995)은 양액의 EC와 pH는 식물체가 생장하면서 양분을 흡수하기 때문에 수시로 변하여 양액재배에 있어서 커다란 문제 중의 하나라고 하였다. 이는 작물의 정상적인 양수분 흡수에 차질을 일으키므로 양액재배시 양액 관리는 안정생산을 위한 중요한 기술이다(과학원예, 1996). 따라서, 생육 전단계를 모두 일정한 양액 농도 및 공급량으로 설정하는 것은 위험하며, 이를 자동적으로 제어하는 양액조제 및 공급시스템이 필요한 실정이다.

서범석(1995)은 토마토의 양액 농도 관리는 생육단계별, 계절별로도 변화시켜 관리하게 되는데 육묘시에는 1.1mS/cm 전후, 정식후 과실착과 및 비대 발육기까지는 1.7mS/cm 수준으로 관리하며 수확 1주일 전부터는 EC를 높여 2.3mS/cm정도로 관리하는 것이 보통이고, 급액 양액중 배액되는 양액량의 비율을 30% 내외로 관리하면 근권EC, pH는 물론 용존산소, 온도변화 등의 문제가 거의 없게 되는 장점이 있다고 보고하였다.

Taikichi(1988)은 양액의 EC를 1mS/cm 2mS/cm로 항상 유지하면 작물이 건장생육을 하지 못하므로 시간에 따라서 EC를 증가시켜 주는게 좋다고 하였다.

이경환(1995)은 양액재배시 요구되는 농도는 광선조건, 실내기온, 상대습도, 기타환경에 의해서 결정된다고 보고하였다. 즉, 일반적으로 암면 블록이나 슬라브내의 EC는 공급되는 양액의 EC보다 0.2mS/cm 1.5mS/cm 높게 나타난다. 그 이유는 식물체가 자라면서 증산으로 인하여 물이 흡수되어 암면 블럭이나 슬라브에는 농도가 진한 수용성 염류가 남게 되기 때문이다. 강한 광선조건이나 낮은 습도조건에서 식물체는 많은 물을 흡수하므로 매우 높은 비료 용해 농도치가 배지내에 존재하게 된다. 낮은 광선조건, 높은 습도조건에서는 좀더 치밀하고 강한 식물체를 만들기 위해 높은 수치의 EC가 이용될 수도 있다. EC조절이 중요하게 여겨지는 또 다른 상황은 어린 식물체가 빠른 속도로 자랄 때이다. 이 시기에는 식물체가 슬라브내 양액 중의 영양분을 흡수하되, 공급양액으로부터 보충되는 것보다도 더 빨리 흡수하게 될 것이다. 예를 들자면, 배지내의 EC를 2.5mS/cm로 유지하기 위해서 2.7mS/cm 2.8mS/cm의 EC로 공급해야 할 경우도 있다. 공급양액의 EC와 슬라브내 EC간의 관계를 조절할 때는 식물의 생육단계, 온실내부와 외부의 온도차, 상대습도, 과일중량 등을 반드시 고려해야 함을 주목해야 한다. 광도가 높을 경우 1회 공급량은 감소시키며, 1일 공급횟수는 증가시킨다. 낮은 광도일 경우는 각각 그 반대이다. 급액요구 정도는 다음의 요소와 밀접한 관계가 있는데 관계요소를 살펴보면 광선, 온도, 습도, 생육단계 및 식물 활력정도이며 이 중 일반적으로 광선이 가장 중요한 요소이다.

Boertje(1986)은 환경인자 중 일사량에 의한 농도 제어는 여름처럼 일사량이 많을 때는 배양액 농도를 낮게, 겨울처럼 일사량이 적을 때는 양액 농도를 높게 관리하였다고 한다.

Sonneveld (1980)에 의하면 토마토는 1.7mS/cm 2.2mS/cm의 양액을 공급하여 배지내 EC를 2.5mS/cm 3.0mS/cm로 유지하는 것이 바람직하다고 하였다.

山崎(1984)는 작물의 종류나 생육단계에 따라 양액 농도를 제어하였다.

노미영(1997)은 재배 환경 중에서도 광환경, 즉 적산일사량에 따라 양액 농도를 예측 제어할 수 있는 시스템을 개발하였으며, 적산일사량에 따른 농도 제어구는 생육 단계에 따른 농도 제어구에 비하여 근권내 EC, pH 변화가 적고 적정 무기성분으로 유지되어, 생육이 좋았으며 총수량, 상품수량, 평균과중 및 상품수량율도 높다고 하였다. 과채류 배지경 재배시 적정 양액 공급횟수는 1시간당 10 15분 정도로 1일 8 10회 정도면 적당하고, 작물 1주당 1일 1 2ℓ정도 급액하면 되는데 생육초기나 겨울철 재배시는 1일 1ℓ 이하로, 생육성기나 여름철 재배시는 1일 2ℓ정도 급액하는 것이 좋다고 하였다.

Gieling(1988)은 폐루프 자동조제 시스템을 개발하여 생육단계별로 공급량과 EC제어를 수행하였다.

우리 나라의 경우 수경재배 작물 중 가장 많은 것이 잎상추이고, 그 다음이 토마토인데 이는 토마토가 다른 열매채소류 작물에 비해 물에 대한 환경 적응성이 높아 재배가 용이하기 때문이다. 반면에 토마토는 영양생장과 생식생장을 균형 있게 관리하지 않으면 고품질 다수확을 기대하기 어려운 특성을 지니고 있어서 양액의 조성과 농도관리가 중요하다. 본 연구에서는 공급량과 농도를 예측하기 위한 대상작물을 토마토로 선택하였다. 그리고, 토마토에 관한 국내외 자료 및 전문가의 의견을 조사하여 공급량과 EC농도와 환경인자들의 관계를 체계화하였다

5.2. 환경 인자

5.2.1. 일사량

먼저 일사량의 영향을 보면 광포화점까지는 광합성량이 증가하며 최적조도는 최저 40kLux 70kLux이며 포화점은 70kLux이다. 따라서 이때까지는

광합성량이 증가하고 그 이상은 증가하지 않는다고 한다. 일반적으로 일사량이 많으면 증발량이 많기 때문에 EC를 낮추는 것이 좋다고 하며, 여름에는 일사량이 증가하므로 증발량이 많기 때문에 EC를 낮춰주는 것이 좋다고 한다.

5.2.2. 온도

온도는 Went(1994)가 토마토에 관해서 주간과 야간의 온도차이를 주어 생장량을 측정하였는데 주간 26.6℃, 야간 17℃가 가장 좋다고 하였다. 온도와 광합성량과의 관계는 주간 28℃, 야간 20℃에서 광합성량과 증산량이 좋았다고 한다. 분화시기의 적합한 온도는 낮 23℃이며, 밤 16℃부근이라고 하였으며, 토마토의 성숙기가 3월에서 5월까지라면 17℃에서 점차 23℃로 높여주는 것이 좋다고 한다.

또한, 온도별로 양액 농도관리를 보면 양액 온도가 높고 기온도 높으며 일조가 강한 조건하에서는 농도를 낮게 하는 것이 일반적이다.

5.2.3. 습도

습도의 영향은 습도가 높으면 기공 전도계수와 광합성이 증가한다는 보고가 있고, Bakker(1990)는 실험을 통해 계속적인 과습처리는 기공 전도계수, 화방의 뒤틀림 현상, 칼슘 결핍을 높이고, 계속적인 저습처리는 과실의 수확량과 과질의 향상에 효과적이라고 보고했다. 토마토의 생육단계별로 적정 습도는 생장기에는 65%, 수확기에는 60%정도가 적당하다고 한다.

5.2.4. 생육 단계

생육단계별로 양액 농도관리를 보면 영양생장기에는 비교적 저농도에서 관리하여 기본적인 영양기관인 뿌리와 잎의 생장을 촉진시키고, 그 후 서서

히 농도를 높여 생식생장 쪽으로 생장을 유도하여 착과기부터 고농도로 한다.

5.2.5. 퇴액량

퇴액량의 영향을 보면 증발량이 많으면 퇴액량이 적어지고 경제적인 측면에서 퇴액량은 줄이는 편이 좋다. 하지만 퇴액량이 전혀 없는 것보다는 약 20%정도일 때가 적당하다고 한다.

5.2.6. pH

양액 pH와 농도의 영향을 보면 다음과 같다. 양액의 pH 변화와 관계되는 것은 양액 조성시 이용되는 물의 종류와 화학성, CO_2농도, 뿌리로부터 배출되거나 뿌리의 부패에 의하여 생성되는 유기산의 농도 등이 있는데 Schwarz(1995)는 토마토의 생육에 가장 좋은 pH는 생육단계에 크게 변화없이 5.5 6.5사이가 적당하다고 한다.

5.2.7. 외국의 양액 농도관리

토마토의 적정 EC는 수경재배의 방법과 계절, 생육시기에 따라 차이를 주어 조절하여야 하는데 유럽에서 사용되는 암면재배용 표준은 2.5mS/cm이고, 덴마크에서는 1.8 2.0mS/cm, 네덜란드에서는 1.7mS/cm로 조성하고 있다. 일반적으로 적정 농도는 1.5 2.0mS/cm이고, 계절별로는 여름에는 1.5 2.0mS/cm, 겨울에는 2.0 3.0mS/cm정도로 차이를 주는 것이 좋다고 한다.

그러나, 작물은 종류에 따라서 각각의 영양 특성이 있지만 실제로 이것에 부합되는 양액 조성이나 농도를 추구하는 것이 매우 곤란하다. 왜냐하면, 식물에 따라 각 요소와 수분흡수는 온도나 광조건 등의 주위 환경에 의해서 직접영향을 받을 뿐만 아니라 수분흡수 변화에 따라 간접적으로 흡수에 영

향을 주는 요소 즉, 선택흡수 등이 있기 때문에 고정된 전형적인 양액 처방은 존재할 수 없다고 한다.

5.3. 계측 시스템 개발

5.3.1. 서 설

양액의 계측 시스템 개발에 있어서의 기본 방향은 측정항목, 측정범위, 정확도 및 내환경성 등에 있어서 작물의생육에 적합하게 설계되어야 한다는 점과, 표준화된 신호처리 방법에 의하여 온라인화된 계측 시스템의 구축이 가능해야 한다는 점이다. 본 연구에서는 양액의 환경요인으로 온도, 산도, 전기전도도가 설정되었으며, 적용 대상의 특성을 고려하여 공업용으로 상용화된 계측기에서와는 다소 다른 측정 범위를 부여하였다.

외기환경을 양액의 상태에 이용하기 위해서 고려해야할 첫 번째 사항은 생육인자의 구명 즉 작물의 생육에 절대적인 영향을 미치는 생육인자를 결정하는 것인데 일반적으로 많은 연구에서 작물의 생육에 영향을 가장 많이 미치는 인자로 밝혀진 일사량, 외기온도, 상대습도를 생육인자로 결정하였으며, 외기환경을 계측하기 위한 센서로는 일사량, 온도, 상대습도 센서를 사용하였다.

계측된 신호의 신호전송방법에 있어서는 최근 공장자동화 등의 분야에서 보편적으로 사용되고 있는 4 20mA 2선식 표준 전류전송 방식을 채택하였고, 16채널의 2중 적분형 A/D 변환 카드를 이용하여 컴퓨터로 입력하여 데이터를 수집하였다.

5.3.2. 양액상태 검출용 센서

양액 탱크내 양액의 온도, 농도(전기전도도), 산도를 계측하고 이를 환경

제어의 피드백 신호로 활용하기 위하여, 양액 환경계측 시스템을 구성하였다.

5.3.2.1. 온도센서

양액 온도의 계측을 위한 온도 센서를 선정함에 있어서 주된 고려 사항은 사용 온도 범위와 신호의 안정성이다. 우선 농업용으로 주로 사용되고 있는 온도 센서로는 금속선이나 반도체의 전기 저항 측정에 의한 측온 저항체, 열기전력 검출에 의한 열전대 및 단위 면적당의 방사 검출에 의한 방사 온도계가 대표적이다.

측온 저항체의 소재로는 백금, 구리, 니켈 등이 사용되지만 특히 백금선이 많이 사용되는데, 화학적으로도 안정되어 있으므로 경시적(經時的)인 특성 변화가 없는 우수한 온도 센서로서, 특히 기록 온도계용 센서로서 많이 사용되고 있다. 반도체를 사용한 것은 백금선의 경우보다 고감도이며 시정수(時定數)가 작아 응답성이 좋다는 장점이 있으나 경시적인 특성의 변화가 심하다는 단점이 있다. 최근에는 그 성능이 많이 향상되어 휴대용 지시 온도계, 온도 조절기의 센서로서 많이 사용되고 있다.

열전대는 응답성이 서미스터 등을 사용한 온도 센서보다 더욱 좋은 것으로 측온 온도 대역이 넓어 분해능이 떨어지며 출력신호가 미약하다는 단점은 있지만 최근들어 고감도의 기록 전위차계가 보급되면서 미약한 검출 특성을 보완 할 수 있게 되었다.

본 연구에서 양액의 온도를 검출하기 위한 소자로 백금 측온저항체(Pt-100)를 선택하였다. 이 방식은 온도에 따라 금속의 전기저항이 달라지는 현상을 이용한 것으로, 별도의 보상장치를 부착하지 않아도 절대적인 온도의 측정이 가능하며 상온 범위에서의 정밀 측정이 용이하다는 장점을 가지고 있다.

백금 측온저항체는 온도변화에 대응하는 전기저항의 변화를 측정함으로써 온도를 환산한다. 일반적으로 측온저항체는 브리지 회로를 구성하여 저항값의 변화를 측정하지만, 본 시스템에서와 같이 측정온도의 범위가 비교적 좁고, 신호처리 회로에서 검출기까지의 경로가 일정치 않으며, 높은 증폭도를 요구하는 경우에는 센서에서 초단 증폭회로의 안정도도 매우 높아야 한다. 또한 2선식이나 3선식 배선에서 발생할 수 있는 도선의 저항값과 온도계수의 차이나 도선의 온도분포가 균일하지 않음으로써 발생할 수 있는 측정오차를 최소화하기 위하여 4선식 배선을 이용하여 회로를 구성하였다. 4선식 배선은 전류를 공급하는 단자와 측정용 전압단자를 각각 2개의 다른 도선으로 접속하고, 전류단자에서 일정한 전류를 흘리면서 전압단자 양끝의 전압을 높은 임피던스 상태에서 측정하기 때문에 배선의 영향을 전혀 받지 않게 된다.

본 연구에서는 온도 신호처리를 위하여 코닉스사의 KH-2110 신호변환기를 사용하였다. 선정된 트랜스미터의 분해능은 0.1 ℃이고 정밀도는 ±0.1 ℃이며 4 20 mA의 출력을 갖는다(<표 5-1> 참고).

<표 5-1> 온도 신호변환기의 제원

Specifications	Temperature
Manufacturer	KONICS Co.
Range	-200 600℃
Resolution	0.1℃
Accuracy	±0.1℃
Sensoring type	Resistance detector
Output	4 20 ㎃

5.3.2.2. 전기전도도 센서

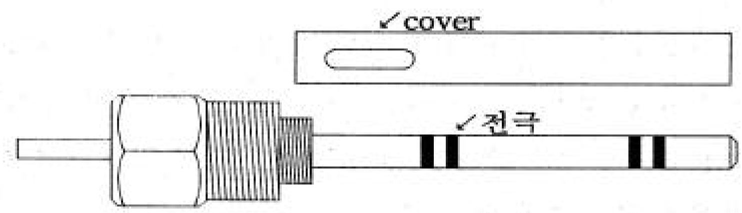
양액의 농도를 검출하기 위하여 전기전도도 방식을 선택하였다. 이 방식은 양액 중에 포함된 무기양분의 농도와 비례하여 두 전극 양단의 전위차가

변화하는 특성을 이용한 것으로 4개의 스테인레스 금속링을 에폭시 축에 감아서 전압강하를 측정하며 고농도에서 전류의 양이 과다하여 발생하는 분극현상을 막아 넓은 범위의 측정이 가능하여 사용자 부주위로 인한 센서검출기의 오동작을 막을 수 있다. 검출셀을 통과한 전류는 교류신호이며 이를 전압 형태로 변환하고 다시 정밀 직류회로에 의해 직류로 변환하는 일련의 과정을 수행하기 위하여 HANNA사의 HI943500을 신호변환기로 사용하였다(<표 5-2> 참고). 사용된 신호변환기의 측정범위는 0 19.99 mS/cm이고 분해능은 0.01 mS/cm, 정밀도는 ±2 % F.S.이며 4 20 mA의 출력신호를 갖는다.

<표 5-2> 전기전도도 신호변환기의 제원

Specifications	EC
Manufacturer	HANNA Inst.
Range	0 19.99 mS/cm
Resolution	0.02 mS/cm
Accuracy	±2% FS
Sensoring type	Impedance type
Output	4 20 mA

<그림 5-1>은 전기전도도 측정용 센서 소자의 모습을 나타낸 것이다.

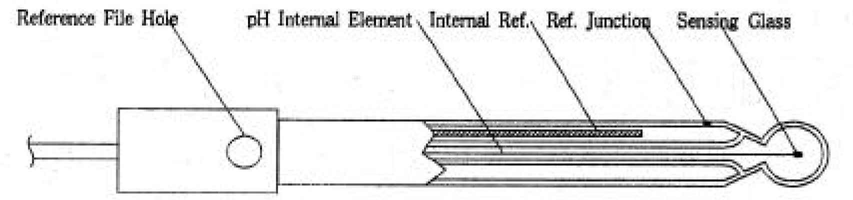


<그림 5-1> 전기전도도 측정용 센서 소자

5.3.2.3. 산도 센서

산도는 양액 내부에 포함된 수소이온의 활동도를 대수적으로 나타내지는 상수로 pH를 측정하는 방법으로는 유리전극법, 전지법, 안티몬 전극법, 퀸하이드론 전극법 등이 있는데, 특정요소 시간과 전자회로 결합에 의한 자동화의 용이성, 정밀 정확도 등을 고려하여 양액산도를 검출하는 소자로 유리전극 방식을 선택하였다.

유리전극법은 용액의 조성이나 온도에 무관하게 일정한 전위를 나타내는 기준전극(reference electrode)과 유리전극(glass electrode)간의 전위차에 의하여 산도를 측정하는 방법이다. 유리전극은 측정용액의 산도에 비례하여 기전력을 발생하는 특수한 조성의 유리박막을 선단으로 하고 내부용액과 전극을 봉입한 것이다. 산도를 측정하기 위한 셀의 모습을 <그림 5-2>에 나타내었다.



<그림 5-2> 산도측정용 센서 소자

또한 산도센서 전극간의 기전력 신호 처리 및 자동 온도보상 등을 갖춘 신호변환기로 HANNA사의 HI8710을 채택하였다. 선정된 신호변환기는 0 14 pH의 측정범위를 가지며 분해능은 0.01 pH, 정확도는 ±0.02 pH이고 4 20 mA의 출력을 갖는다(<표 5-3> 참고).

<표 5-3> **산도 신호변환기의 제원**

Specifications	pH
Manufacturer	HANNA Inst.
Range	0 14 pH
Resolution	0.01 pH
Accuracy	±0.02 pH
Sensoring type	Combination electrode type
Output	4 20 ㎃

5.3.2.4. 수위 센서

수위 센서는 양액의 수위를 계측하여 1회 조제되는 양액의 양을 일정하게 하기 위한 용도로 사용된다.

일반적으로 레벨(level)센서라고 불리는 수위 센서는 크게 나누어서 기계식과 전기식으로 분류할 수 있다. 기계식 수위 센서는 부력식, 중량식등 기계적인 원리를 이용하여 작동되는 것을 말하며, 전기식 수위 센서는 정전용량, 초음파, 방사선 등과 같이 수위의 변화를 전기적 신호로 출력해 주는 센서를 말한다(<표 5-4> 참고).

<표 5-4> **수위센서의 종류**

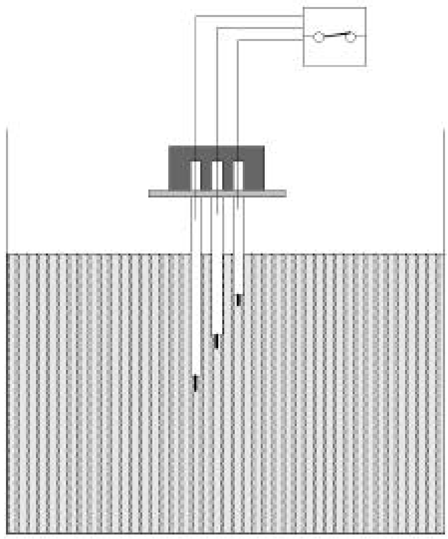
구조상의 분류		종 류
기계식 수위 센서	직독식	게이지 유리, 슬립 튜브 게이지
	중량식	기계 저울, 로드셀 저울
	부력식	플로트(float), 디스플레이서식
	압력식	차압식, 기포식
전기식 수위 센서	전자식	정전 용량식, 도전율식
	음파 전파식	초음파식, 마이크로파식
	방사선식	감마선식

수위 센서의 용도를 고려할 때, 수위 센서는 연속적인 수위의 측정은 필

요하지 않지만, 전기적인 신호를 출력할 수 있어야 하며, 신뢰성과 내구성이 높아야 한다. 기계식 수위 센서중 직독식은 전기적인 신호 출력이 불가능하며 중량식은 연속적인 출력은 가능하지만 전기적인 신호를 내기 어렵거나 신호처리 회로가 추가되야 하는 부담이 생긴다. 부력식은 장치가 비교적 간단하며, 여러 제품에 사용할 수 있고 정확도가 높지만 기계적인 장치가 필요한 단점을 가지고 있다. 압력식은 설치가 간단하고 비교적 정확하지만 비중에 따라 지시값이 변화되며, 가격이 비싼 단점을 가지고 있다.

위와 같은 내용을 고려해 볼 때, 연속적인 수위의 측정이 가능하고 전기적인 신호를 출력할 수 있으며 2-점 조절도 가능한 도전율식 수위센서를 양액의 수위 측정용 센서로 채택하였다. 이 방법은 양액과 같은 전도성 액체에 사용하기에 적합하며 부분적으로 절연된 probe에 도전성 매체가 닿았을 때와 떨어졌을 때의 전기 도전율의 차이를 측정하는데 검출용 probe는 stainless강으로 만드나 때로는 tantalum이나 hastelloy로도 만든다.

<그림 5-3>은 도전율식 수위센서의 모습을 나타낸 것이다.



<그림 5-3> 도전율식 수위센서

5.3.3. 외기환경 검출용 센서

온실내의 환경중 일사량, 온도, 상대습도를 계측하고 이를 지식베이스용 퍼지제어의 신호로 활용하기 위하여, 외기 환경계측 시스템을 구성하였다.

5.3.3.1. 일사량 센서

5.3.3.1.1. 일사량 검출 원리

광전(光電)효과는 크게 광도전(Photoconductive)효과, 광기전력(Photovoltaic)효과, 광전자방출(Photoemissive)효과 등이 있으며, 이를 이용하여 일사량을 검출한다. 본 연구에서 사용된 센서는 광기전력효과를 응용한 것으로서 그 원리는 아래에서 서술하기로 한다.

5.3.3.1.2. 광기전력 효과

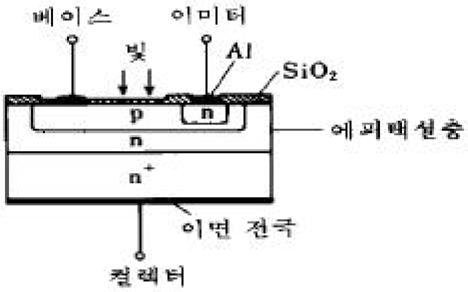
광기전력셀로는 포토다이오드나 포토트랜지스터를 사용하는데, 포토트랜지스터는 내부 증폭 기능을 가지며, 포토다이오드 보다 몇 배 감도가 높아 많이 사용되고 있다. 구조는 NPN에피택셜(epitaxial)플레이너로 P형 영역이 크게 만들어지며, 통상 이미터(emitter), 컬렉터(collector)사이에 전압을 인가하여, 베이스는 개방하여 사용한다.

빛의 조사에 의해 생성된 전자는 이미터측과 컬렉터측에 확산하지만 정공은 베이스 영역 안에 축적하여, 베이스를 정(正)으로 하기 위해 이미터, 베이스사이가 순바이어스된다. 따라서 전자는 베이스 영역에 많이 흘러들고, 이것이 얇은 베이스를 통과하여 역바이어스된 컬렉터 접합부의 내부전계에 가속되어 증폭하며, 광전류로서 컬렉터측으로부터 출력된다.

<그림 5-4>는 광기전력효과를 이용한 센서로서 포토트랜지스터를 나타낸 것이다.

선정된 센서의 제원은 <표 5-5>에 나타내었으며, 이를 4 20mA의 직류전류로 신호를 변환하기 위하여 사용된 CRN-96R 신호변환기의 제원은 <

표 5-6>에 나타내었다.



<그림 5-4> 포토트랜지스터

<표 5-5> 일사량 센서의 제원

Type	Photovoltaic detector
Range	280 2,800 nm
Temperature	-15 +50℃
Wire Length	15m

<표 5-6> 일사량 신호변환기의 제원

Output	Ampere	4 20mA DC
	Solar Energy	0 1500 W/m2
Dimension		96(W)×96(H)×146(D)
Source		AC 110/220V

5.3.3.2. 온도-습도 센서

온실내의 온도와 습도를 검출하기 위한 센서의 원리는 각각 PT100 RTD와 정전용량을 이용하는 센서를 사용하였다.

온도센서는 Pt-100원리를 이용하였으며, 위의 양액검출용 온도센서와 같은 원리로 구성되어 있다.

습도란 공기 중에 포함된 수증기의 양으로, 단위체적당 수증기의 질량을

나타내는 절대 습도(g/m3), 건조 공기 단위질량당의 수증기 질량인 비습도(kg/kg'), 그리고 어떤 온도에서 대기의 포화수증기압에 대한 실제 수증기압의 비로 나타내는 상대습도(%RH) 등으로 표현되며, 이들 각각의 단위는 露點 온도나 건습구 온도 등에 의하여 서로 환산될 수 있다.

습도검출 원리로는 모발이나 셀룰로오스와 같은 물질과, 건구 및 습구온도차, 반도체 및 다공성 세라믹과 같은 감습체의 전기저항이나 정전용량 변화, 노점온도, 적외선 흡수 등이 있다.

본 연구에서 사용한 습도센서는 수증기가 금속층을 통과 하여 다공성 산화층에 흡수되면 흡수된 물 분자의 수에 따라 전기 저항이나 정전용량이 변화하는 현상을 이용한 정전용량식 센서를 사용하였다.

5.4. 양액 관리 알고리즘 개발

양액 관리 알고리즘은 사용자가 양액재배시 발생하는 기존의 양액 조제 및 공급 시스템의 애로사항을 절감시키고 또한 보다 작물측면에서 작물생육에 적절한 양액 상태를 자동으로 예측하여 이 예측에 따른 양액의 상태를 자동으로 조제하는 것이라고 볼 수 있다.

관리 알고리즘은 무인양액 제어로서 사용자의 공급시간 설정에 따라 자동적으로 양액의 농도와 공급량 두가지를 퍼지추론으로써 예측하며, 자동으로 예측된 양액 농도를 퍼지추론으로써 조제하여 공급설정 시간에 예측된 농도로서 그 환경과 작물의 생육시기에 적절한 공급량을 작물에 급액하게 구성하였다.

따라서 사용자의 노동 투하시간을 줄일 수 있으며, 전문가의 경험적인 지식으로써 작물을 재배할 수 있게 되며, 또한 전문가의 규칙이 더욱더 추가되고 수정됨으로써 향후 예측 알고리즘이 더욱 향상된다고 할 수 있다.

5.4.1. 예측 알고리즘 개발

생육인자를 이용하여 양액의 농도 및 공급량을 예측하는 퍼지알고리즘을 개발하였다. 예측정보로 이용된 사항은 생육인자중에서 일사량, 온도, 습도, 생육단계이며 개발 과정은 먼저 생육인자의 규명 즉 작물의 생육에 절대적인 영향을 미치는 생육인자를 결정하고, 둘째로 결정된 주된 생육인자에 따른 양액의 농도 및 공급량 사이의 관계를 구명하며, 셋째 이들 상호관계를 이용하여 각각의 입출력 귀속도 함수 및 규칙을 개발하여 양액 농도 및 공급량을 예측할 수 있는 알고리즘을 개발하도록 하였다.

그리고, 이를 전용 제어기에 사용할 수 있도록 독립적인 전문가의 경험적인 지식기반의 프로그램을 개발하였다.

5.4.1.1. 경험적 지식 수집

양액 자동조제 및 공급시스템에서의 농도와 공급량의 예측은 경험적인 지식을 기반으로 해서 이루어지는데, 여기서 경험적인 지식을 기반으로 하는 접근은 재배 전문가의 경험적 지식을 기반으로한 직관적인 지식과 경험에 따른 접근을 말한다.

양액의 농도 및 공급량 조건과 생육인자와의 관계를 규명하기 위하여 질문지 FAX송신, 전화문의 및 개별방문을 통하여 규칙을 찾도록 하였다. 그러나, 토마토 재배자와 몇몇 연구소의 토마토 전문가의 의견을 수렴하여 규칙 및 귀속도함수를 작성하는데는 몇 가지 문제가 있었다. 첫째로 아직까지 작물의 생육과 양액의 조건과의 관계가 충분히 구명되지 않았기 때문에 기본적인 상식수준의 지식이 대부분이었고, 둘째로 여러 전문가의 의견이 서로 일치하지 않는 경우가 있었는데 예를 들어서 습도를 “낮다”-“중간이다”-“높다”라고 생각하는 경우가 있는 반면 “아주 낮다”-“낮다”-“중간이다”-“높다”라고 하는 의견도 있는 등 입출력 귀속도 함수의 퍼지 라벨의 갯수가 서로 일치하지 않는 경우가 있었으며, 셋째로 퍼지언어 변수의 crisp 입력이 얼마만큼의 가능성 정도로 표현되는가도 불확실하였다. 즉, 높고 낮은 수치를 명확히 도출해 주지 않아서 “온도가 높다”를 30℃부터 보는 경향도 있었고 어떤 경우에는 25℃를 “높다”라고 보는 경향이 있었다.

그러나, 충분히 구명되지 않은 애매함을 IF-THEN의 production rule로 정량화하는 것과 여러 전문가의 의견을 수렴해서 통일된 귀속도 함수를 개발하기 위하여 재배 전문가들의 의견이 상호 유기적으로 수렴되도록 귀속도 함수와 규칙을 작성하였다.

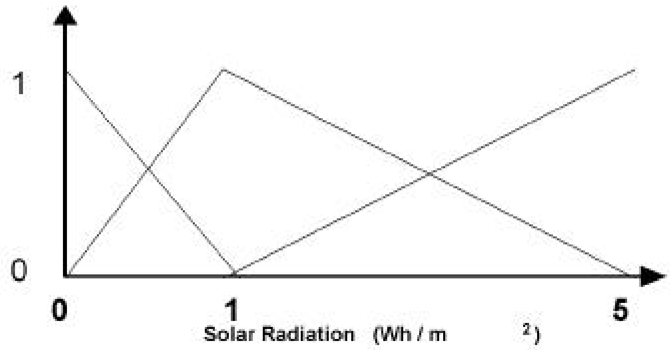
5.4.1.2. 입·출력언어 변수와 귀속도 함수

일사량, 온도, 습도, 생육 시기를 입력 언어변수로 채택하였으며, 농도와 급액량을 출력 언어변수로 채택하였다. <표 5-7>은 입·출력 언어변수에 대한 퍼지라벨(label)을 나타낸 것이며, <그림 5-6> <그림 5-8>은 각각 일사량, 온도, 습도, 생육 시기의 농도와 공급량 예측에 대한 입력 귀속도 함수이다.

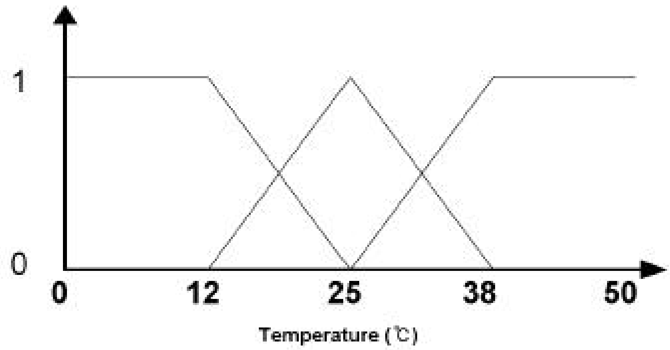
<그림 5-9>과 <그림 5-10>는 각각 농도 및 급액량에 대한 출력 귀속도 함수이다.

<표 5-7> 퍼지 라벨

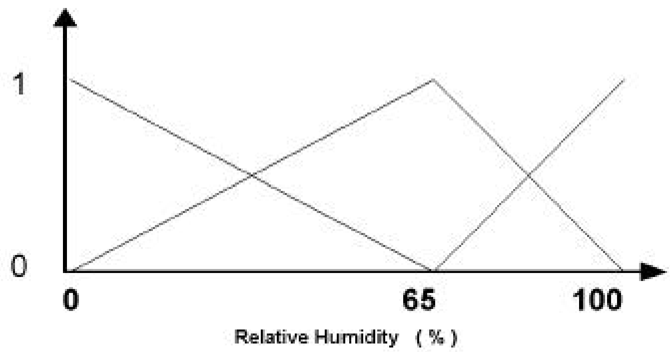
		변 수	라 벨
퍼지 예측	입력 변수	일 사 량	Low Medium High
		온 도	Low Medium High
		습 도	Low Medium High
		생육시기	Seed Culture Harvest
	출력 변수	EC	VLow Low Medium High VHigh
		급 액 량	Low Medium High



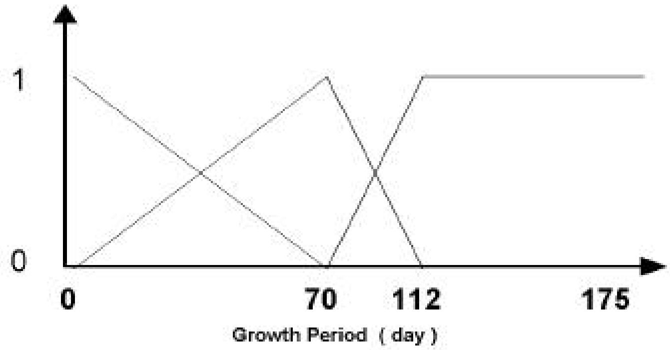
<그림 5-5> 일사량에 대한 귀속도 함수



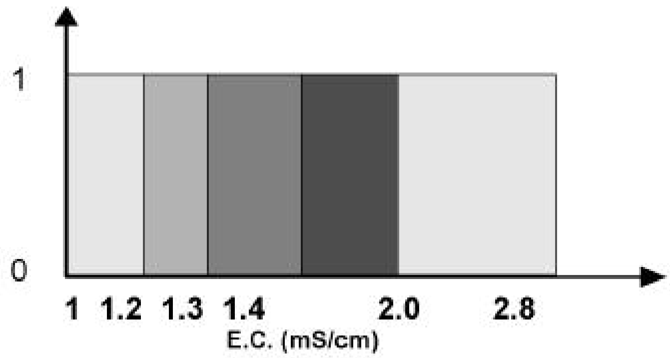
<그림 5-6> 온도에 대한 귀속도 함수



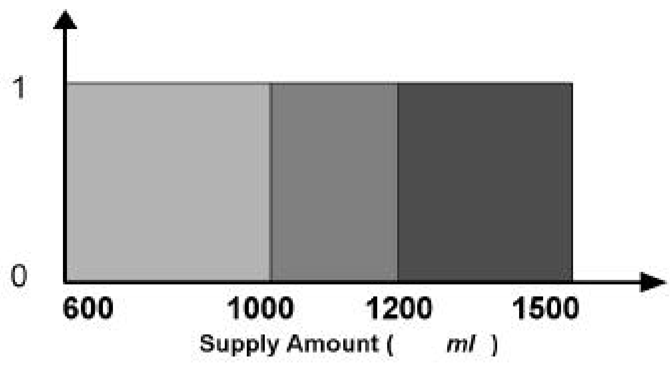
<그림 5-7> 습도에 대한 귀속도 함수



<그림 5- 8> **생육 시기에 대한 귀속도 함수**



<그림 5- 9> **농도에 대한 출력 귀속도 함수**



<그림 5- 10> **급액액에 대한 출력 귀속도 함수**

5.4.1.3. 농도 및 급액량 예측 규칙

농도 및 급액량 예측에 사용될 규칙은 [IF 전제(前提, antecedent) THEN 결과(結果, consequent)]의 production rule 로 구성하였다. 농도예측에 대한 규칙은 3개, 급액량 예측에 대한 규칙은 4개, 농도 및 급액량 예측에 대한 동시에 이용되는 규칙 2개로 구성되어 있는 총 9개의 규칙을 작성하였다. 다음은 이들 9개의 규칙을 production form으로 구성한것이며 <표 5-8>에서 이들 규칙을 도시적으로 나타내었다.

규칙 1. IF [온도 “High"] THEN [Supply-amount "High"]

규칙 2. IF [일사량 “High"] THEN [EC "VLow”
& Supply-amount "High"]

규칙 3. IF [상대습도 “Low"] THEN [Supply-amount "High"]

규칙 4. IF [상대습도 “Medium"] THEN [Supply-amount "Medium"]

규칙 5. IF [상대습도 “High"] THEN [Supply-amount "Low"]

규칙 6. IF [온도 “Medium"] THEN [EC "Medium"
& Supply-amount "Medium"]

규칙 7. IF [생육시기 “Seed"] THEN [EC "Medium"]

규칙 8. IF [생육시기 “Culture"] THEN [EC "VHigh"]

규칙 9. IF [생육시기 “Harvest"] THEN [EC "High"]

<표 5-8> **농도와 급액량에 대한 규칙**

	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.												■				■				

5.4.2. 조제 알고리즘 개발

예측된 양액 농도를 조제 하는 데에는 총 9개의 규칙과 퍼지추론으로 구성된 퍼지제어 알고리즘을 구성하였다. 입력 퍼지변수로는 설정치와 현재 농도차, 현재농도와 이전 농도차의 각각 두 개의 오차 및 오차변화신호를 이용하였다. 그리고 출력 퍼지변수로는 농후양액 공급 시간으로 하였다.

그리고, 이를 전용 제어기에 사용할 수 있도록 독립적인 전문가의 경험적인 지식기반의 프로그램을 개발하였다.

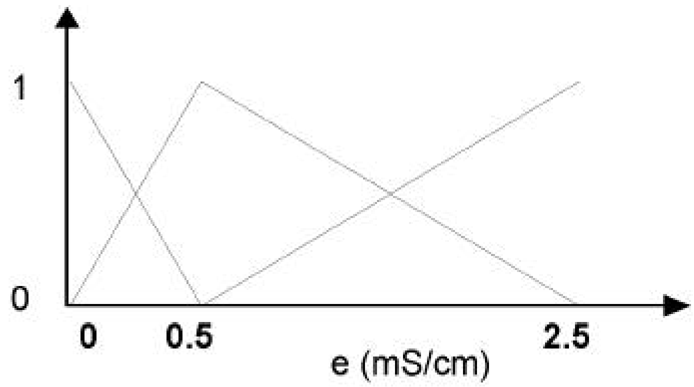
5.4.2.1. 시행착오법을 통한 규칙과 귀속도함수 개발

예측된 양액 농도를 조제 하는 데에는 총 9개의 규칙이 이용되었으며, 규칙과 귀속도함수의 개발은 시행착오법(trial and error)을 거쳐서 이루어졌다.

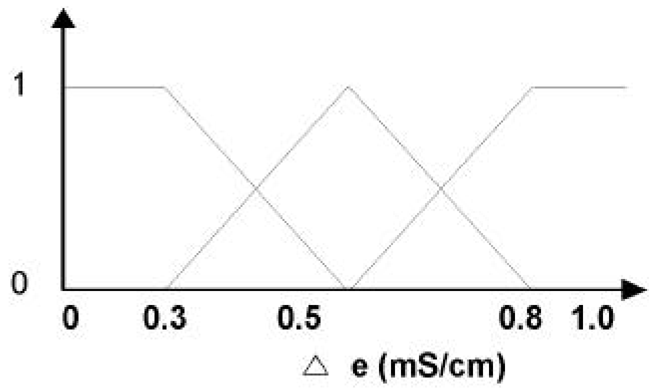
5.4.2.2. 입·출력 언어 변수와 귀속도 함수

출력 귀속도 함수를 바꾸면서 정정시간을 줄이도록 하였으며, 시행착오를 거쳐서 최종적으로 다음과 같은 귀속도 함수로 결정하였다. 입력 귀속도 함수는 사다리꼴과 삼각형 함수를 조합해서 작성하였으며, 출력 귀속도 함수

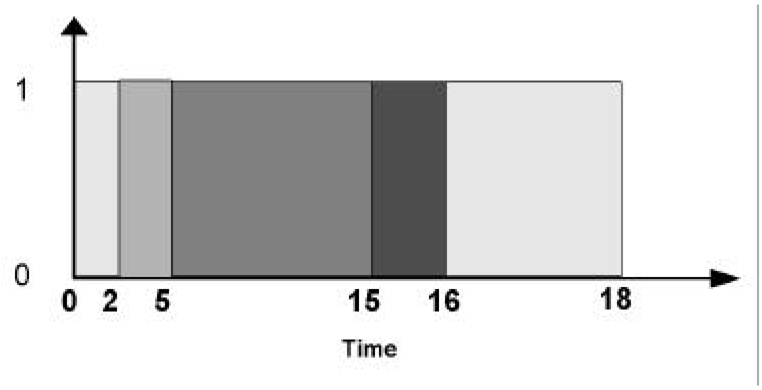
의 형태는 singleton으로 하였다. 다음 <그림 5-11>과 <그림 5-12>은 각각 오차와 오차변화율에 대한 입력 귀속도 함수이며, <그림 5-13>은 농후양액 공급용 솔레노이드 밸브 개폐시간에 대한 출력 귀속도 함수이다.



<그림 5-11> 오차에 대한 입력 귀속도함수



<그림 5-12> 오차변화신호에 대한 입력 귀속도함수



<그림 5-13> 밸브 개폐시간에 대한 출력 귀속도함수

5.4.2.3. 조제 규칙

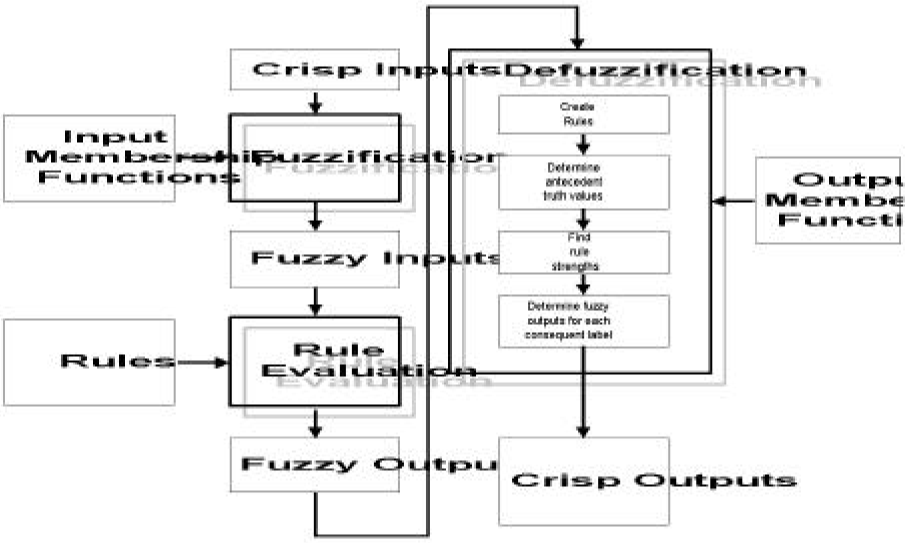
조제 규칙은 시행착오법을 통하여 개발되었고, 총 9개의 규칙을 <표 5-9>에 정리하였다. 오차가 크면 클수록 즉, 예측된 양액 농도와 현재 양액 농도의 차가 크면 클수록 농후양액 공급시간을 증가시키도록 하였으며, 오차변화율이 작으면 작을수록 농후양액 공급시간을 증가시키도록 하였다.

<표 5-9> 조제 규칙

	e			△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.											

5.4.3. 퍼지 추론 및 비퍼지화

퍼지제어는 크게 입력의 퍼지화, 규칙의 적합도 계산, 그리고 비퍼지화하는 3단계로 구성되어 있으며, 개발된 예측 및 조제 프로그램도 이런 과정을 거쳐서 개발되었다. 다음 <그림 5-14>는 이 프로그램의 순서도를 나타낸 것이다.



<그림 5-14> 퍼지 추론 과정

일반적으로 퍼지추론 후 출력값은 퍼지집합(fuzzy set)이나 퍼지분포(fuzzy distribution)중 하나로 나타나게 된다. 그러나, 실제 퍼지제어는 단지 제어장치에서 필요한 제어량 단일값이 필요하게 된다. 그래서 이 값은 출력 퍼지집합이나 퍼지분포를 가장 잘 표현하는 하나의 값이 되어야 하는데 이런 출력 퍼지집합을 단일값으로 변환하는 것을 비퍼지화(defuzzification)라고 한다.

비퍼지화 방법에는 여러 가지 방법이 있는데 서로 장단점을 가지고 있다. 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 방법은 집합의 무게중심(center of gravity, COG)을 이용하는 것이다.

이 방법은 출력 단일값이 부드럽게 변하는 경향을 나타내지만, 영향을 주는 규칙의 무게가 덜 실릴 수도 있고, 모든 단면적의 중심을 구하여 계산하므로 출력퍼지집합의 개수가 많아지면 계산시간이 길어지는 단점을 가지고 있다. 또 하나의 방법인 MOM(mean of maxima)는 전자 보다는 덜 유연한 제어를 하지만 가장 큰 단면적 하나만을 계산하기 때문에 알고리즘상으로 계산시간이 짧은 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 빠른 계산시간 보다는 적은 오버슈트를 요구하기 때문에 COG방법을 사용하여 비퍼지화를 수행하였다.

COG알고리즘의 일반적인 식은 출력 퍼지집합이 직선들로 구성되어진 단면적으로 이루어져 있다면 이 구간에서의 적분은 각각의 합으로 주어질 수 있고 <식 5-1>과 같이 표현될 수 있다.

$$x' = \frac{\int_{x \in U} (x \cdot f(x))dx}{\int_{x \in U} f(x)dx} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x'_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i} \qquad \text{<식 5-1>}$$

여기서, x_i = recommended value

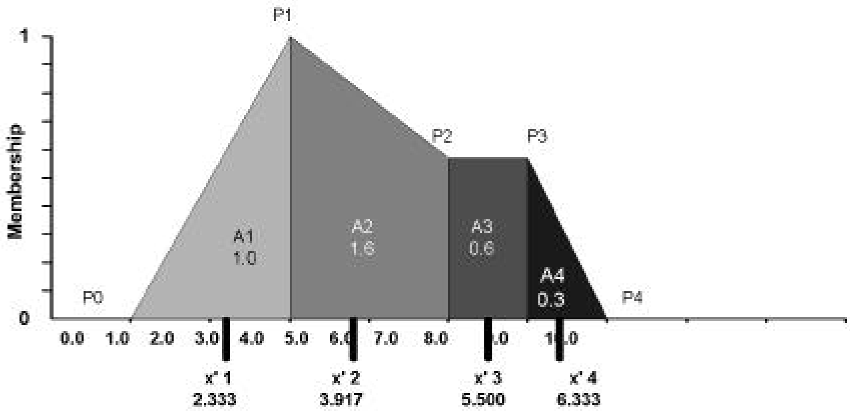
x'_i = 구간 $[P_{i-1} \quad P_i]$에서의 조각에 대한 COG

A_i = 구간 $[P_{i-1} \quad P_i]$에서의 조각에 대한 단면적

U = universe of discourse

n = 꼭지점의 개수

다음 <그림 5-15>는 COG 비퍼지화 방법을 나타낸 것이다.



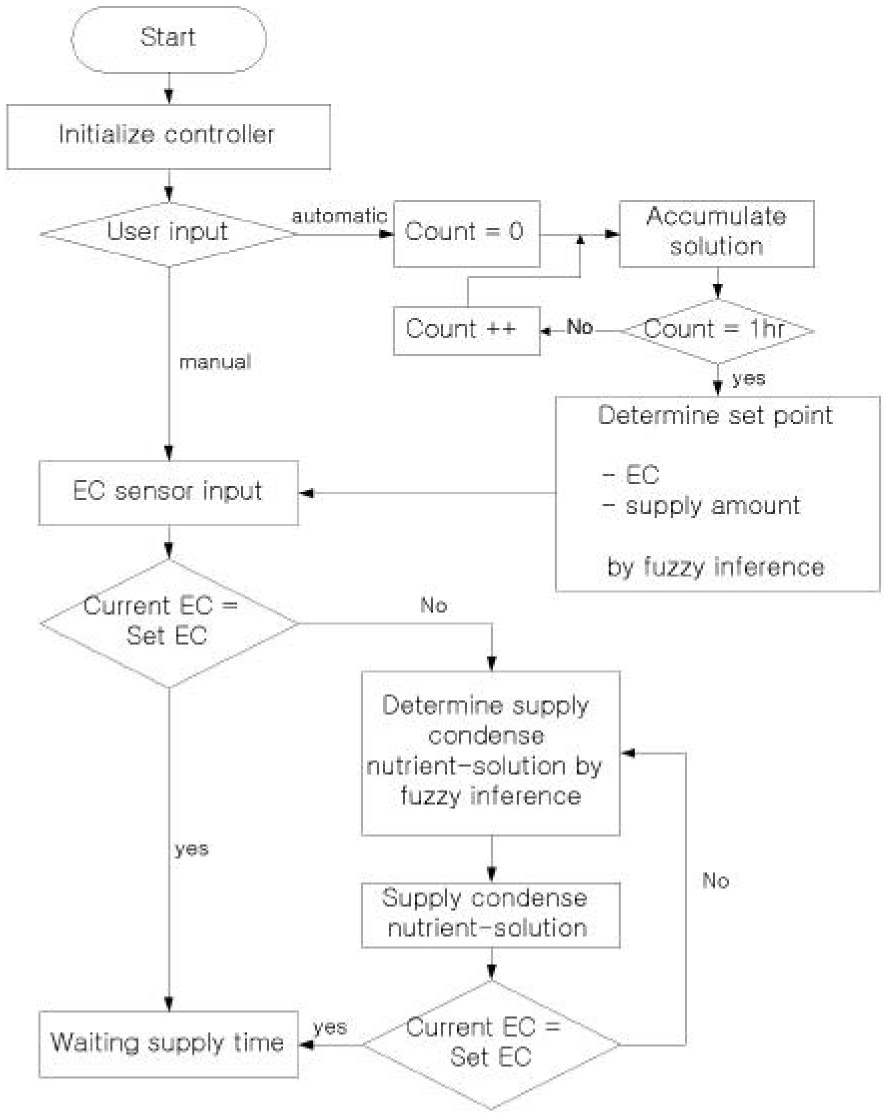
<그림 5-15> COG비퍼지화 예

여기서 출력 퍼지집합이 4개의 요소로 이루어져 있고 면적 A1 A4는 각각 1.0, 1.6, 0.6, 0.3이므로 이 출력 집합의 무게 중심은 다음 <식 5-2>와 같이 구해질 수 있다.

$$x' = \frac{2.333 \times 1.0 + 3.917 \times 1.6 + 5.5 \times 0.6 + 6.333 \times 0.3}{1.0 + 1.6 + 0.6 + 0.3} = 3.943 \qquad \text{<식 5-2>}$$

5.4.4. 알고리즘 구성도

이상으로 예측과 조제 프로그램의 알고리즘을 다음 <그림 5-16>에 나타내었다.



<그림 5-16> 예측 및 조제 순서도

5.5. 양액 관리 시스템 개발

5.5.1. 양액 전용 제어기 개발

위에서 개발된 양액 농도 및 공급량 예측 알고리즘과 양액 농도 조제 알고리즘을 기반으로 한 양액 조제 및 공급 시스템에 사용될 전용제어기를 개발하였다.

5.5.1.1. 개발 목적

양액 조제 및 공급시스템에 독립적인 제어기는 사용자와 개발자에게 동시에 이익을 주기 위해서 개발되었으며 그 목적은 다음과 같다.

첫째로 양액 농도 및 공급량 예측 전문가 시스템을 상용 PC기반에서 벗어나 전용 제어기를 이용하여 독립적으로 구축하는데 있으며, 둘째로 독립적으로 구축된 전용 제어기는 양액 조제 및 공급시스템과 서로 개별적으로 개발되므로 상호 유기적인 관계를 유지한다면 개발 및 유지 · 보수가 용이하다. 따라서 전용제어기를 개발하여 경제적인 측면 뿐 만 아니라 향후 더 좋은 규칙과 귀속도 함수를 이용하여 프로그램을 수정 · 보완할 수 있도록 하였다.

5.5.1.2. 구성 및 개발 방법

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

산업용 내장형 제어기(Embedded controller)로 쓰이고 있는 Single Board PC 는 현재 486, Pentium급으로부터 8bit CPU까지 다양한 모델들이 있다. 그러나, 주로 32bit CPU를 사용한 제품이 주류를 이루어서 상당히 높은 가격대가 형성되고 있고, 주로 외국의 제품을 그대로 수입해서 사용하는 실정이라 A/S, 기술지원, Application 개발 등에서 여러 가지 어려움을 겪고 있

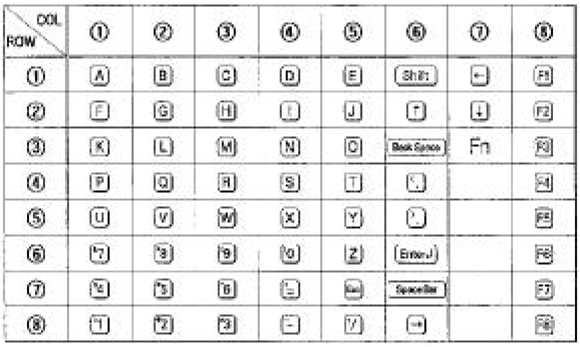
다. 또한 V40, V25 등의 CPU를 채용한 시스템의 경우에는 IBM-PC와 100%호환이 되지 않아서 프로그램개발과 응용에 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서 이를 해결하고자 국산 자체 기술로 제작한 PC86-single board PC를 전용 제어기로 채택하였다. 다음 <표 5-10>은 이 전용제어기의 특징을 나타내고 있다.

<표 5-10> 전용 제어기의 제원

Manufacturer	TURSystem (KOREA)
CPU	F8680A-3MIPS (Chips&Technology, USA)
Operating System	ROM-DOS 6.22
Graphic	CGA Graphic Controller
COM	RS-232, RS-422, RS-485
RAM	640 Main Memory
Keyboard Interface	Standard XT keyboard Interface + 64key matrix
SIZE	189(H)×120(V)

개발된 8×8 keymatrix는 XT keyboard의 QWERTY 순서로 하지 않았으며 알파벳 A Z까지 26개의 alphabet key와 F1 F8의 8개의 function key, 좌, 우, 상, 하의 4개의 direction key, 0 9까지 10개의 numeric key와 enter, back space, space bar, shift의 control key등으로 구성되도록 하였다.

실제로 사용자의 keymatrix 사용은 숫자키에만 국한되어 있도록 하였으며, 나머지 키는 프로그램의 수정 및 ROM-DOS 명령상태에서 필요한 키들로 구성되도록 하였다. 다음 <그림 5-17>은 keymatrix의 배열을 나타낸 것이다.



<그림 5-17> 8×8 keymatrix

제어기에 사용될 AD 채널의 수는 예측 및 조제를 위하여 양액의 농도, 그리고 외기 환경 중에서는 일사량, 온도, 습도센서 신호의 4개와 양액 계측을 위하여 pH 및 온도신호 2개가 사용되어 총 6개의 AD신호를 가지고 있다. 그리고, 원수 탱크의 수위를 검출하기 위해서 1개의 DI를 사용하며, 8개의 작동기를 구동시키기 위하여 DO는 8 채널을 사용하게 된다. AD변환기의 제원은 <표 5-11>에 나타내었다.

<표 5-11> AD변환기의 제원

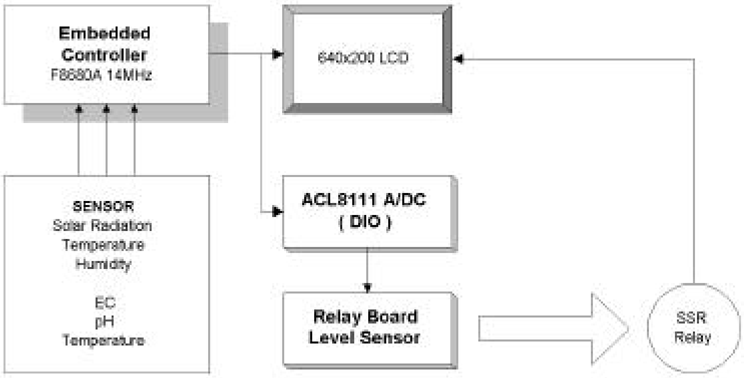
Manufacturer		ADLink Technology Inc.,
Model		ACL8111
A/D	Type	successive approximation
	Resolution	12-bit
	Input Range	±5V,±2.5V, ±1.25V, ±0.625V,±0.3125V
	Conversion Time	25μ sec
	Accuracy	0.015% of reading ±1 Bit LSB
DIO		16TTL compatible inputs & outputs

제어기전용 모니터로서 640×200 화소를 가지는 백라이트부착 LCD를 사용하였다. 양액 전용 제어기는 자체 LCD내장 제어기를 가지고 있지 않기

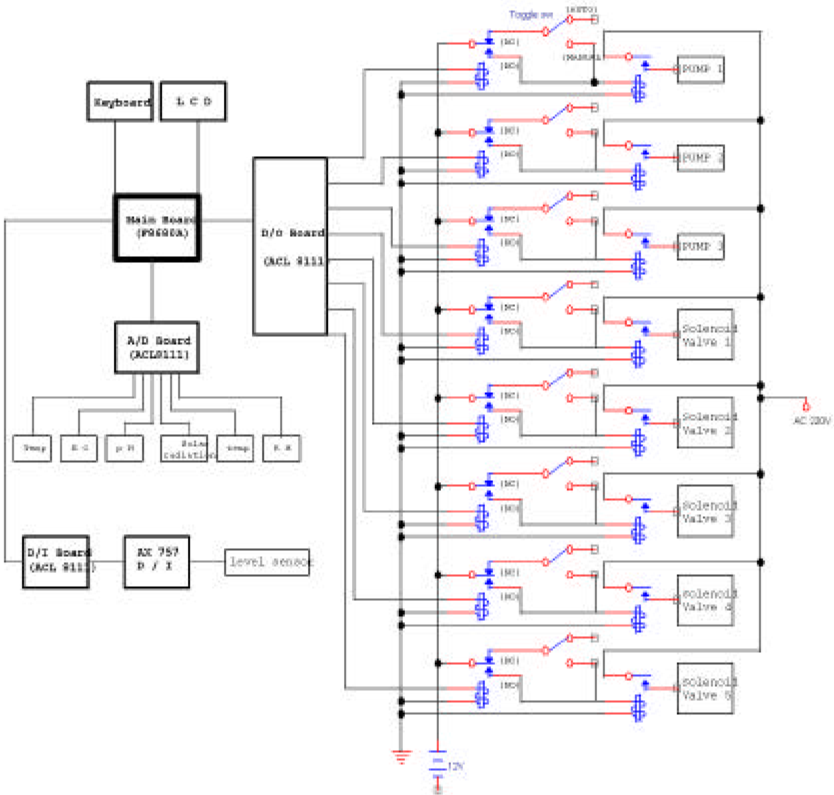
때문에 따로 내장 제어기를 사용하여 연결하였다. 연결은 14pin CGA monitor connector를 이용하여 제어기의 CPU인 PC86과 연결하여 사용하였다.

AD보드와 PC86은 ISA 4 BUS-Slot을 이용하여 AD보드와 PC86간의 DATA, CONTROL, ADDRESSING이 가능하도록 하였다.

다음 <그림 5-18>은 F8680A, LCD, Sensor, ADC, Relay, SSR들의 구성도를 나타낸 것이며 <그림 5-19>는 내부 회로도를 나타낸 것이다.



<그림 5- 18> 전용 제어기의 구성도

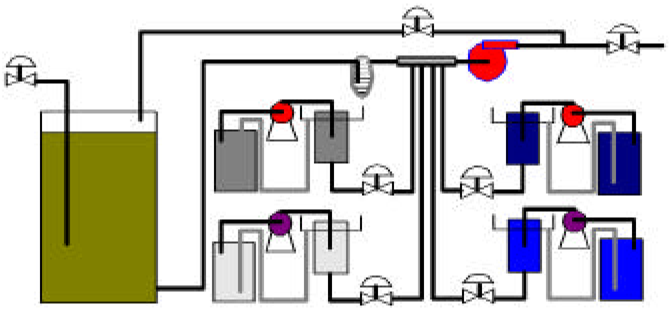


<그림 5- 19> 전용 제어기의 회로도

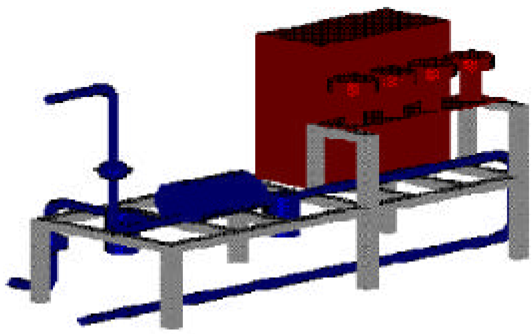
5.5.2. 양액 관리 시스템 개발

5.5.2.1. 시스템 구성품

A, B 두 종류 농후양액을 계량 및 공급하는 오버플로우식 액제 정밀계량장치와 이를 이용한 양액 자동 조제 및 공급 시스템을 개발하였다. <그림 5-20>은 개발된 양액 자동 조제 및 공급시스템의 요약도를 나타낸 것으로서, 액제 정밀 계량 장치, 혼합탱크, 솔레노이드 밸브 및 배관으로 구성되어 있으며 <그림 5-21>은 외형 프레임 및 배관을 나타낸 것이다.



<그림 5-20> 양액 관리 시스템

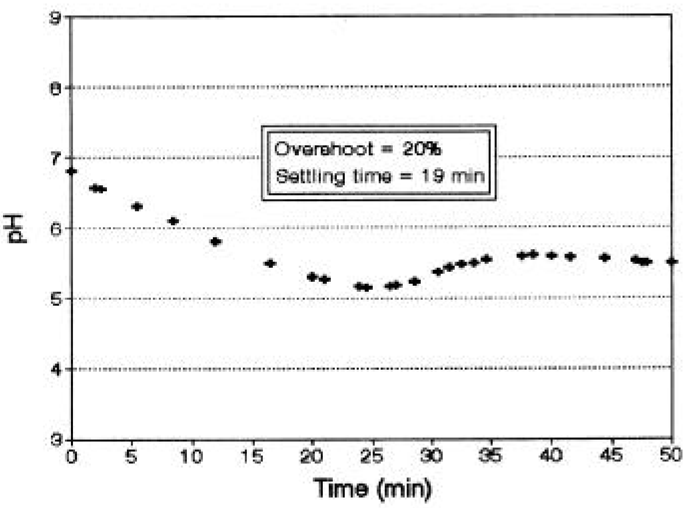


<그림 5-21> 외형 프레임 및 배관

5.5.2.2. 외형 구조

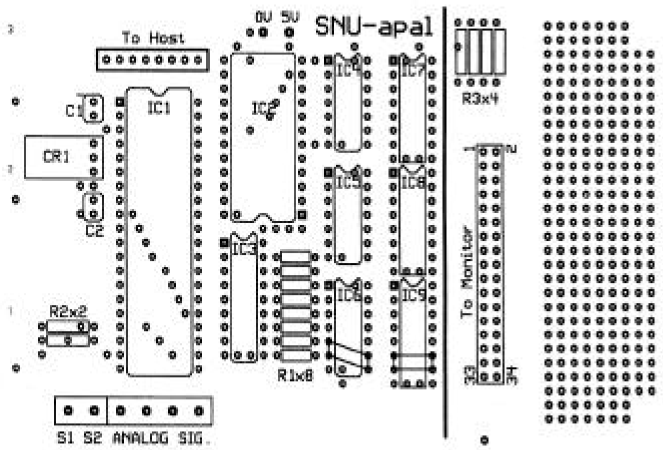
양액 조제 및 공급시스템 외형은 알루미늄 프레임으로 구성되어 있으며, 이 프레임에 펌프 및 배관 등이 부착되어 있는 구조로 이루어져 있다. 배관은 PVC파이프를 이용하여 구성하였으며, 필터를 거쳐서 펌프로 유입되는 구조로 되어 있다.

펌프는 두 가지 기능을 수행하게 되는데 하나는 계량장치로 계량된 농후 양액과 원수를 혼합하는 혼합기능과 조제된 양액을 배지로 공급하는 공급기능을 수행하게 된다. 그리고 이 두 가지의 기능은 두 개의 솔레노이드 밸브를 이용하여 가능하도록 하였으며, <그림 5-22>는 펌프, 배관, 필터를 나타낸 것이다.



<그림 5-22> 시스템의 펌프, 배관, 필터 사진

위에서 설명한 개별적인 장치로 구성된 양액관리시스템을 <그림 5-23>에 나타내었다.

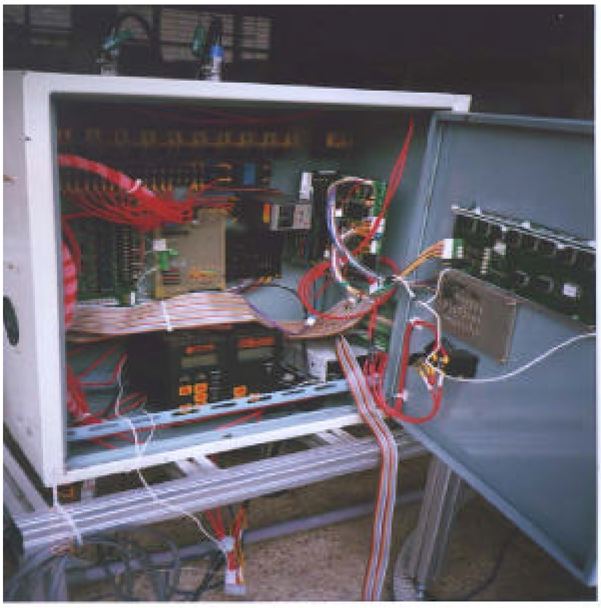


<그림 5-23> 양액 관리시스템 사진

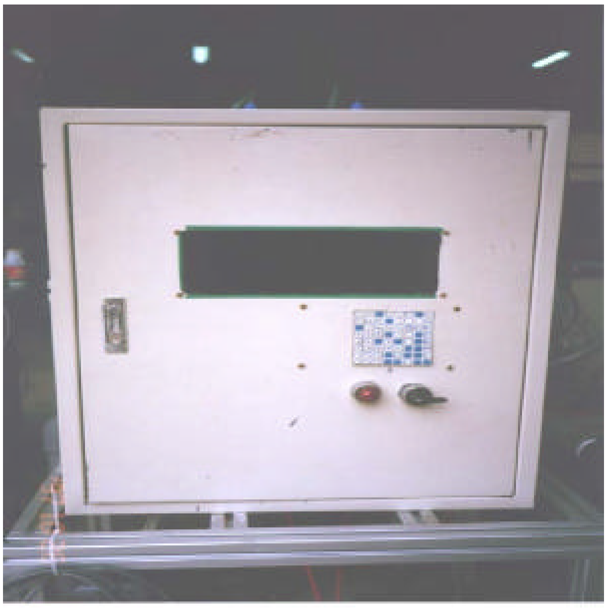
5.5.2.3. 양액 관리 전용 콘트롤러

양액 관리 전용 콘트롤러는 keymatrix와 LCD를 통하여 사용자가 수동 및 자동 조제와 공급을 가능하도록 하였으며, 시스템과는 별개로 독립적으로 개발되었기 때문에 유지 및 보수가 용이하다.

다음 <그림 5-24>, <그림 5-25>는 각각 개발된 양액관리 전용 콘트롤러 내부 및 외부 모습을 나타낸 것이다.



<그림 5-24> 양액관리 전용콘트롤러 내부 모습



<그림 5-25> 양액 관리전용 콘트롤러 외부

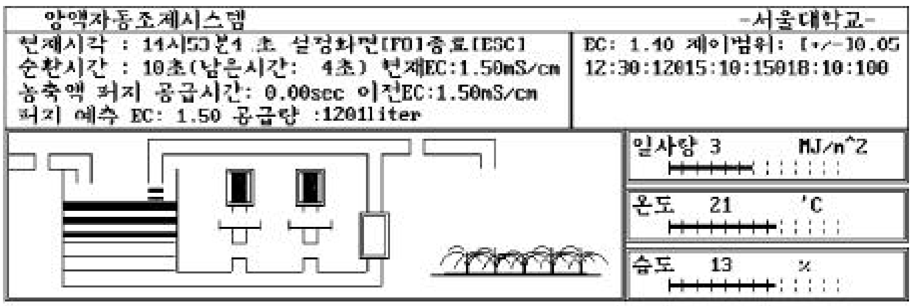
5.5.2.4. 사용자 접속 기능

사용자는 수동으로 원하는 액츄에이터를 구동시킬 수가 있도록 수동 및 자동메뉴를 사용하였으며 수동모드에서는 주펌프, 순환밸브, 공급밸브, A밸브, B밸브, A액 공급펌프, B액 공급펌프, 원수 공급 밸브를 ON-OFF할 수 있도록 하였다.

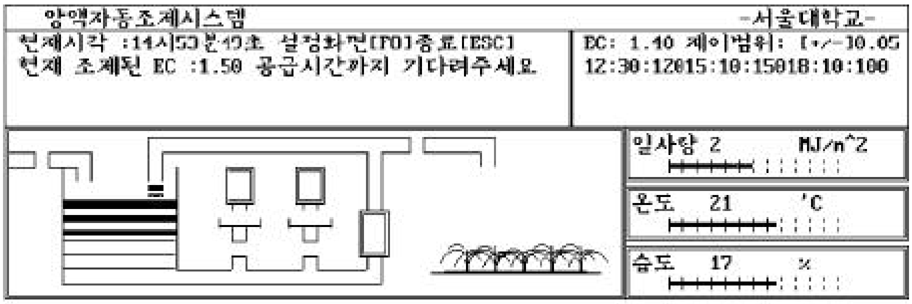
자동 모드에 들어가면 사용자는 양액 공급 시각과 퍼지예측 유무를 질문하게 되는데 퍼지 예측을 안하면 사용자는 원하는 설정농도를 설정해야 한다. 그러나, 퍼지 예측을 하도록 하면 사용자는 양액 공급시각만 설정해주면 자동으로 설정농도와 공급량을 예측하여 설정한 공급시각에 공급하게 된다.

다음 <그림 5-26>, <그림 5-27>는 양액관리 전용 제어기의 640×200 LCD 화면이며 좌상단의 윈도우는 설정값 입력 및 표시, 우상단의 윈도우는 설정값과 공급시간 표시, 좌하단은 양액조제 및 공급시스템의 작동상황 표시기, 우하단의 윈도우는 계측된 일사량, 온·습도표시를 각각 표시하도록 되어 있다.

<그림 5-26>은 예측된 농도를 조제하는 화면이며, <그림 5-27>은 조제된 상태에서 공급시간을 기다리는 대기화면이다.



<그림 5-26> 예측된 농도를 조제하는 화면



<그림 5-27> 조제된 후 공급시간 대기화면

5.5.3. 시스템의 성능 실험

5.5.3.1. 예측 알고리즘

예측 알고리즘은 온실내의 온도 및 습도, 그리고 일사량 센서를 이용하여 온실내의 환경을 계측한 후 이를 작물의 생육에 알맞는 적정 농도와 공급량을 예측하기 위한 모듈이다.

5.5.3.1.1. 온도와 습도에 따른 공급량 변화

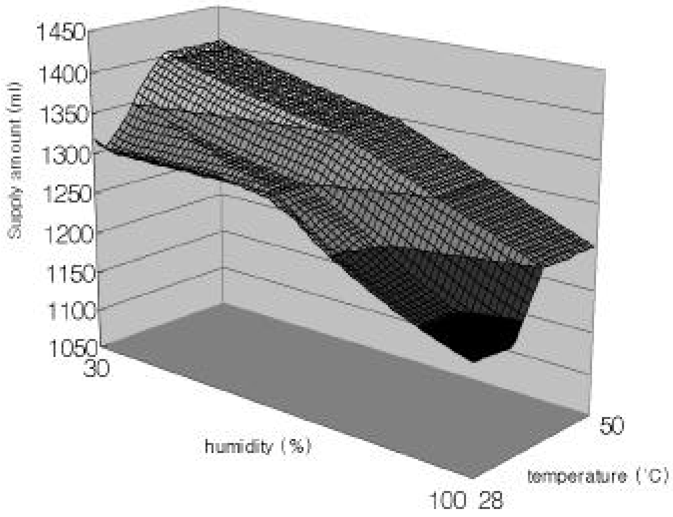
개발된 공급량 예측 알고리즘의 타당성을 검토하기 위해서 공급량 변화에 가장 영향이 크게 미치고 있다고 판단되는 입력 퍼지 언어변수중의 하나인 외기온도와 상대습도를 변화시키면서 공급량의 변화 추이를 고찰하였다.

다음 <그림 5-28>은 일사량을 3Wh/m2, 생육시기를 정식 후 70일로 유지시키고, 온도를 28℃에서 50℃까지, 습도를 30%에서 100%까지 변화 시켰을 때의 공급량의 변화를 나타낸 그림이며, x축은 상대습도, y축은 외기온도, z축은 공급량을 나타낸다.

그림에서 보면 온도가 증가할수록 공급량이 증가하며 습도가 증가할수록 공급량이 감소함을 알 수 있는데 특히, 온도가 매우 높고(50℃) 습도가 매우 낮은(30%) 상태에서의 공급량은 1405㎖이며, 온도가 매우 적고(28℃) 습도가 매우 높은(100%) 상태의 공급량 1179㎖이어서 고온·저습의 이전 상태

의 공급량보다 226㎖적게 공급함을 알 수 있다.

전체적으로 고온과 저습에서 공급량이 높아지며, 저온과 고습에서 공급량이 적어짐을 보여서 개발된 규칙에 잘 부합되며 퍼지제어에 의한 공급량 예측이 타당함을 알 수 있다.



<그림 5-28> 온도와 상대습도에 따른 공급량 변화

5.5.3.1.2. 일사량과 생육 시기에 따른 농도 변화

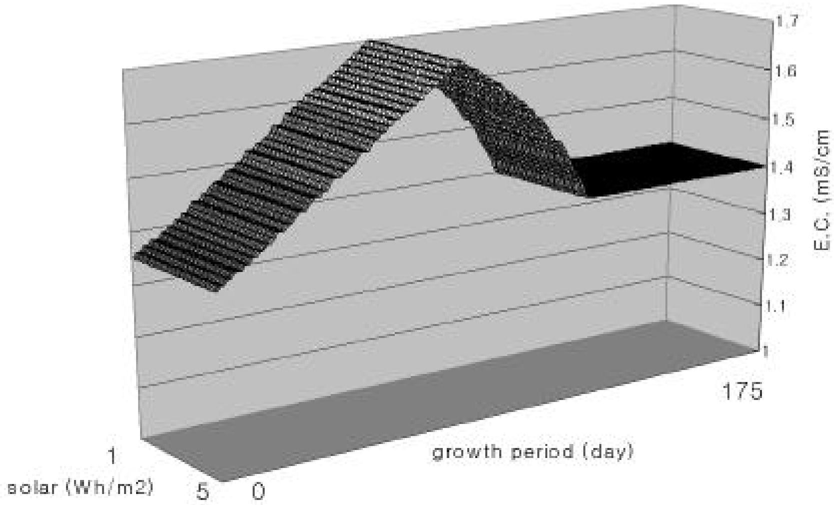
개발된 농도 예측알고리즘의 타당성을 검토하기 위해서 농도변화에 가장 크게영향을 미치고 있다고 판단되는 입력 퍼지 언어변수 중의 하나인 일사량과 생육단계를 변화시키면서 공급량의 변화 추이를 고찰하였다.

다음 <그림 5-29>는 규칙 2번이 없는 경우를 나타내는데 규칙 2번은 일사량에 대한 규칙이다. 이 그림에서 중요한 것은 생육단계에 따라서 적절히 양액 농도가 변화하였지만 일사량에 따라서는 변하지 않았다는 것이다. 즉, “일사량이 높으면 양액의 농도를 낮춰준다.”라는 규칙이 없기 때문에 일사량이 높아도 변화하는 양상을 볼 수 없다.

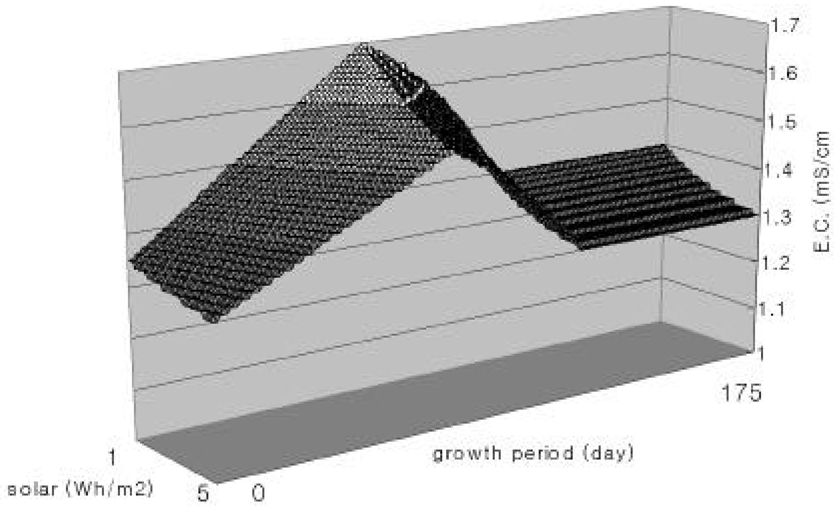
<그림 5-30>은 규칙 2번이 있는 경우를 나타내는데 <그림 5-29>에서 보

다 더 바람직한 결과를 보였으며, 일사량이 높으면 양액의 농도를 낮춰주는 양상을 알 수 있다.

본 연구에서는 최종적으로 규칙 2번을 추가하여 예측 알고리즘을 개발하였다.



<그림 5-29> 일사량에 대한 규칙이 없을 때 생육시기에 따른 농도변화



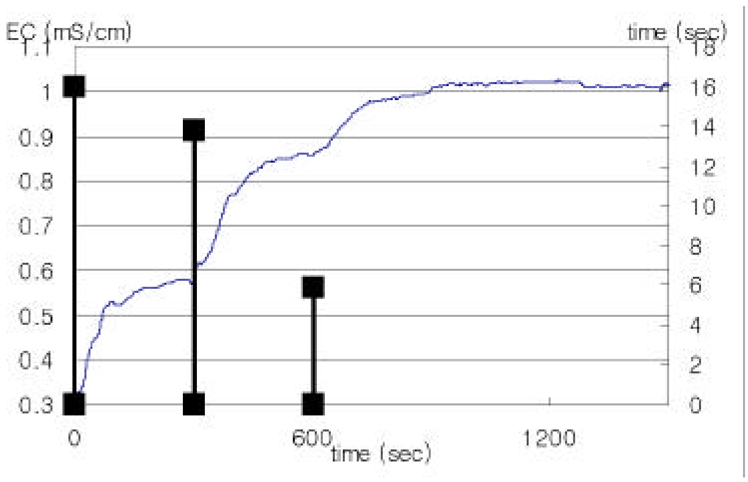
<그림 5-30> 일사량에 대한 규칙을 추가하였을 때 생육시기에 따른 농도변화

5.5.3.2. 조제 알고리즘

예측된 양액의 농도를 조제하기 위하여 퍼지제어를 수행하였다. 실제로 양액조제는 설정 또는 예측된 농도로 양액을 조제하기 위하여 농후양액 공급시간을 길게 하거나 짧게 하여 수행 하는데, 보통 배지내로 공급된 후 원수와 섞이면 공급된 농도보다 최대 0.7 mS/cm 정도 낮은 농도로 된다. 따라서, 조제 성능평가 실험은 초기 농도와 설정 농도의 차이를 변화시켜 가면서 수행하였다.

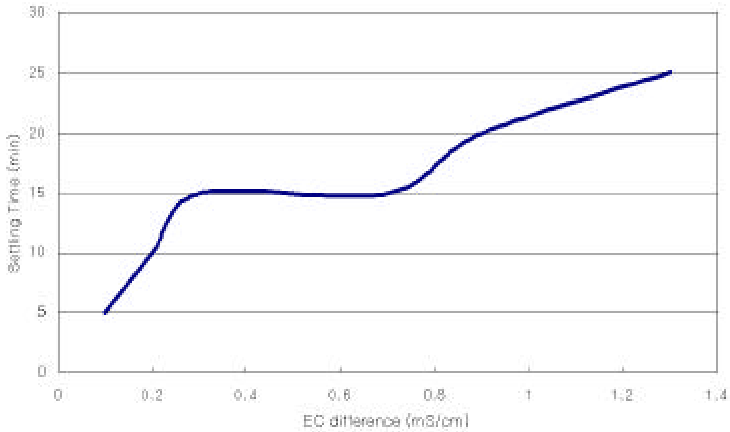
조제 성능 평가에서는 설정 농도까지 조제하는데 걸리는 정정시간을 조사하였다. 실험 결과를 보면 현재의 농도와 설정 농도의 차가 0.1mS/cm인 경우 약 5분, 0.2 mS/cm인 경우 약 10분, 0.3 mS/cm 0.7 mS/cm까지는 약 15분, 1.0 mS/cm인 경우 약 20분, 1.3 mS/cm인 경우는 약 25분 정도 소요되었다.

<그림 5-31>은 설정 농도(1.0 mS/cm)와 현재 농도(0.3 mS/cm)의 차이가 0.7 mS/cm인 경우이며, 정정시간은 15분이고, 최대 오버슈트는 0.015 mS/cm 이었다. 흑색 막대는 농축배양액 공급시간을 나타낸 것이고 농축배양액을 3회에 걸쳐서 설정값에 도달함을 알 수 있다.



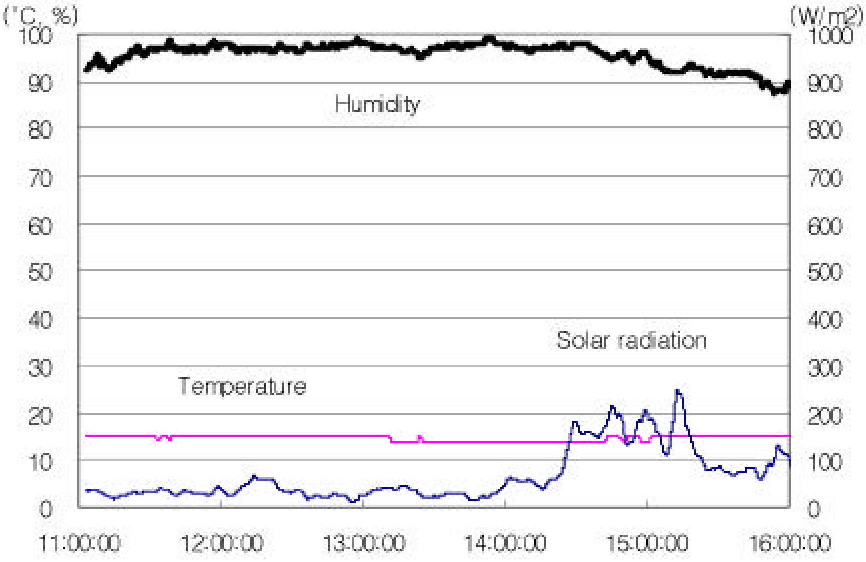
<그림 5-31> 농도차가 0.7mS/cm일때의 조제 성능곡선

<그림 5-32>은 설정 농도와 현재 농도의 차이에 따른 정정시간의 변화를 나타낸 것이며, 농도차가 0.1mS/cm   0.7mS/cm의 적정 사용 범위에서는 최대 정정시간이 15분이며, 최대 오버슈트는 0.035mS/cm 이었다.

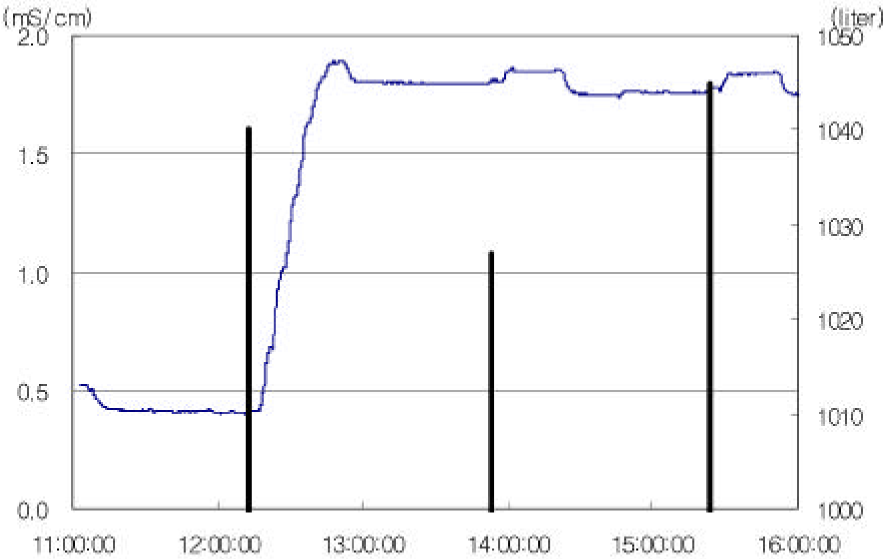


<그림 5-32> 농도차에 따른 정정시간 변화 곡선

환경인자가 <그림 5-33>과 같을 때 예측된 농도와 공급량을 조제하는 것을 <그림 5-34>에 나타내었다. <그림 5-34>에서의 흑색 막대는 양액 공급량이며 시간에 따라 변하는 흑색선은 예측된 농도를 조제하는 경향을 나타낸 것이다.



<그림 5-33> **일사량, 온도, 습도의 외기환경 계측 기록**



<그림 5-34> 3**회의 설정시각에 농도,급액량 예측 및 농도제어 결과**

5.6. 결 론

무인양액 관리시스템을 개발하였으며, 개발된 무인양액 관리시스템은 크게 3가지의 특징이 있다.

첫째는 수위센서식 액제 정밀계량 장치를 보완한 오버플로우식 액제 정밀계량 장치를 이용함으로써 시스템의 생산 원가를 절감하였으며,

둘째는 독립적인 전용 콘트롤러에 전문가 지식에 기초한 퍼지예측 알고리즘을 부가함으로써 재배작물에 대한 양액조성을 예측할 수 있으며,

셋째는 대상작물에 따라 규칙과 귀속도함수를 바꿈으로써 전용 조제알고리즘을 이용하여 여러 작물을 대상으로 양액 무인 관리가 가능 하다는 점이다.

6. 요약 및 결론

우리 나라는 농산물의 시장개방이라는 심각한 문제에 직면해 있으며, 이러한 위기상황을 극복하기 위한 대책이 시급히 요구되고 있는 실정에서 양액재배는 매우 각광을 받고 있다. 하지만 아직까지 국내의 양액 조제 및 공급시스템의 연구는 취약하고 외국의 시스템은 경제적으로 농민들에게 부담이 되고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구는 산업체, 농민, 대학이 서로 유기적인 작업체계와 상호보완적인 협조체제 하에서 양액재배에 필수적인 양액조제, 공급, 관리를 가능케 하는 시스템을 개발하는 연구로서 농가보급형 무인양액 관리 시스템 및 그 활용기술개발 과제를 수행하였는 바 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 양액의 온도, 산도, 농도를 계측, 제어할 수 있는 장치를 구성하고, 정확한 양액의 조제와 취급의 용이성을 고려하여 원칩 마이크로컴퓨터를 이용한 양액 조제 전용 제어기를 제작하였으며, 이를 통한 양액의 자동 조제와 양액 공급시스템에 활용할 수 있는 센서를 선정할 수 있도록 하였다.

개발된 조제 전용 제어기의 성능시험을 실시한 결과, 양액의 온도, 농도, 산도는 각각 ±0.06℃, ±0.03mS/cm, ±0.08pH 의 오차 범위 내에서 제어되었다. 개발된 자동 양액 조제 시스템의 농가 실증재배 결과 농가설치시에 장치구성의 어려움, 개발제품 및 데이터 수집장치의 내환경성 미흡이 단점으로 제시되었다.

2. 농가 실증시험에서 나타난 문제점을 해결하고자 기 개발된 조제 제어기를 새롭게 수정한 양액 조제 및 공급 시스템을 개발하였다. 전용제어기를 개발하여 시스템의 호환성 및 구동 알고리즘을 단순화 시킴으로써 시스템 구성의 어려움을 해결하였으며, 시스템 각 부의 재질을 내화학성, 내환경성

을 고려하여 내환경성 미흡이라는 문제점을 해결하였다. 또한, 자동 조제 공급 알고리즘을 추가하여 반복적인 사용자 노동시간을 경감시켰으며, 고가의 상용 정량펌프를 대체할 수위센서식 액제 정밀 계량 장치와 오버플로우식 액제 정밀 계량 장치를 개발하여 양액 조제 공급시스템의 생산원가를 감소시키고, 반복사용에 따른 편차를 감소시켰다.

3. 두 종류의 상용 정량펌프에 대한 배출량 실험 결과, 배출량 편차는 최대 9.11%, 8.46%로 나타났으며 수위센서식 액제 정밀계량 장치의 성능평가를 수행한 결과, 구동시간과 배출량의 결정계수(R^2)는 0.9999이었으며 두 제품간의 배출량 편차는 최대 0.48%로 나타났다. 또한 오버플로우식 액제 정밀계량 장치의 성능평가를 수행한 결과, 구동시간과 배출량의 결정계수(R^2)는 0.9999이었으며 두 제품간의 배출량 편차는 유량 조절밸브를 설치하였을 때 최대 0.2%로 나타났다.

4. 양액 공급 시스템의 전기전도도와 산도에 대한 조제성능 실험 결과 24℃±1℃에서 전기전도도는 ±0.05 mS/cm, 산도제어는 ±0.2pH 범위에서 제어되었고 정정시간은 모두 15분 이었다. 또한, 상용의 양액 공급시스템에 대한 전기전도도와 산도의 조제성능 실험 결과 22℃±1℃에서 전기전도도는 설정값을 1.4mS/cm로 하였을 때 500ℓ에 대한 누적평균은 1.29mS/cm, 산도제어는 설정값을 6.0pH로 하였을 때 500ℓ에 대한 누적평균은 6.1pH로 나타났다. 또한 개발된 양액 공급 시스템의 실증실험을 통하여 개발된 양액조제 시스템은 ±0.05mS/cm의 사역 범위내에서 안정적인 성능을 나타냈다.

5. 자료조사를 통하여 작물의 생육에 영향을 미치는 인자를 일사량, 온도, 습도, 생육단계로 설정하였으며, 이를 이용하여 개발한 양액 관리 시스템은

대상작물에 따른 양액의 상태를 예측하고 이에 따른 양액의 전기전도도 및 공급량을 사용자에게 표시해줄 수 있으며, 새로운 작물에 대한 규칙과 함수를 추가함으로써 다른 작물의 양액 재배에도 응용할 수 있다.

또한 시스템의 조제 성능은 적정사용범위에서 최대 편차는 약 0.035mS/cm이었고 정정시간은 약 15분이었다.

연구개발사업 결과로 예상되는 효과

농가에서 부담이 되지 않는 농가보급형 무인 양액관리 시스템을 개발하고 대상 작물에 대한 활용기술이 개발됨으로써 다음과 같은 효과가 기대된다.

가. 기술적 측면

- 양액 자동 조제 및 공급 시스템의 국산화 개발과 작물의 양분 흡수 특성을 고려한 재배 기술의 고급화에 관한 기술을 확보하였다.
- 작물 생장특성의 데이터들을 체계적으로 데이터 베이스화함으로써 여러 가지 정보획득과 동시에 양액관리 소프트웨어에 중요한 지식베이스를 제공해 줄 수 있으며 다른 작물의 생육연구에 중요한 데이터를 제공할 수 있다.
- 양액재배에 경험이 없는 재배자도 컴퓨터 내부에 축척된 지식 베이스를 토대로 전문가 처럼 고도의 지식과 경험을 가진 양액관리를 할 수 있다.
- 양액관리 시스템의 지식베이스를 독립적으로 구축해 놓음으로써 계속적으로 확장하여 시스템의 유용성 및 신빙성을 증가시킬 수 있다.

나. 경제 · 산업적 측면

- ㅇ 기술 집약적 시설 원예가 가능함으로써 채소류의 수출에 기여할 수 있다.
- ㅇ 양액 관리시스템의 국산화에 의한 수입대체 및 수출 극대화를 도모할 수 있다.
- ㅇ 생산성의 향상과 소요 노동력의 절감에 기여할 수 있다.
- ㅇ 양액 관리 장치의 국산화 보급으로 설비 도입비용을 감소시킬 수 있다.

다. 사회 · 문화적 측면

- ㅇ 현대화된 시설 농업의 추진으로 농민들의 영농 의욕을 고취시킬 수 있다.
- ㅇ 손쉬운 양액공급시스템 기술의 개발로 인한 양액 재배를 확대할 수 있다.

연구개발사업 결과의 활용방안

양액 관리의 자동화 기술은 기술 집약형 원예시설의 양액 관리장치 설계 및 식물공장 개발의 기초 자료로 활용한다. 또한 양액 관리 장치는 간단한 조작만으로도 양액의 상태를 조절할 수 있기 때문에 기업체에 기술을 이전하여 시설원예 농가에 보급하도록 한다. 양액 관리에 대한 데이터 베이스 구축과, 작물별 설정 기준을 확립, 보급함으로써 기술집약형 시설원예를 조속히 보급하고 양액관리 데이터 베이스구축을 위한 시스템을 제공한다.

연구개발성과에 대한 활용과 관련한 건의 사항

가. 개발된 액제 정밀 계량장치를 기존의 계량펌프를 대체 하도록 연구 개발성과를 홍보 할 것.

나. 개발된 무인양액관리 시스템의 농가 보급을 적극적으로 추진할 것.

다. 양액관리 시스템과 작물의 복합적 환경제어에 대한 지속적이고 심도 있는 연구를 유도하고 연구비를 지원할 것.

산업화에 대한 검토 의견

가. 개발된 액제 정밀계량장치는 기존의 정량펌프보다 가격이 저렴하고 배출량 편차가 적으므로 산업화가 가능하다.

나. 개발된 무인양액 관리 시스템은 1 2년의 농가 실증 실험 후 산업화가 가능하다.

참고문헌

1. 노미영. 1997. 오이 固形培地耕에서 積算日射量에 따른 給液制御 시스템 및 循環式 培養液 開發. 서울시립대학교. pp97.
2. 박권우. 1996. 양액재배의 신기술 개발 및 보급방향. 농경과원예. pp190-192.
3. 박권우, 김영식. 1991. 수경재배의 이론과 실제. 고려대학교 출판부.
4. 박상근 외. 1995. 수경재배 <기초이론부터 산업화까지>. 오성출판사.
5. 山崎肯哉, 1984, 養液栽培全編, 博友社, 東京, pp. 34-40.
6. 송대빈. 1997. 벼의 횡류 연속식 건조 모델 개발과 퍼지 논리를 이용한 건조속도 제어에 관한 연구. 서울대학교 공학박사 논문. pp 105-130
7. 오길근. 1995. 양액 자동제어 장치 및 공급량 예측 프로그램의 개발. 서울대학교 석사학위논문.
8. 이영희. 1988. 수경재배기술. 도서출판 대학서림.
9. 조성인. 1995,6. 퍼지 시스템의 농업응용과 전망. 한국생물생산시설환경학회. pp89-95.12. 조성인, 기노훈. 1995. 퍼지논리와 유전알고리즘을 이용한 트랙터-트레일러의 후진제어 시뮬레이션. 한국농업기계학회. Vol. 20, No. 1. pp87-94.
10. 퍼지技術硏究會 編. 1992. 퍼지시스템 入門. 機電硏究社. pp18-23.
11. 편집부. 1991. 센서의 원리와 사용법(III). 도서출판 세화.
12. 편집부. 1994. 시설원예핸드북. 한국원예기술정보센터.
13. A. Araya, H. Oritz, E Van der Meer and A. Torres. 1991. Automation of a drip irrigation system. IFAC Mathematical and Control Applications in Agriculture and Horticulture. 433-437.
14. Benoit, F. 1992. Practical guide for simple soilless culture techniques. European Vegetable R & D centre, Belgium. pp. 33.

15. Boertje, G. A. 1986. The effect of the nutrient concentration in the propagation of tomatoes and cucumbers on rockwool. Acta Hort. 178: pp59- 65.

16. Frank M. White. 1986. Fluid mechanics- 2nd ed. McGraw- Hill Book Company.

17. H. H. van den Vlekkert, J. P. M. Kouwenhoven. 1992. Application of ISFETs in closed- loop system for horticulture. Acta Horticulturae 304. 309- 320.

18. Ing. Th. H. Gieling외 1. 1988. The application of chemo- sensors and bio- sensors for soilless cultures. Acta Hort. 230: pp357.

19. Mamdani, E. A. 1974. Application of Fuzzy Algorithms for Control of a Simple Dynamic Plant. Proc. IEEE. 121, 12. pp1584- 1588.

20. Karr, C. L., Gentry, E.J. 1993. Fuzzy Control of pH Using Genetic Algorithms. IEEE Trans. on Fuzzy Systems. Vol. 1, No. 1. pp 46- 53.

21. Robert L. Mott. 1994. Applied fluid mechanics- 4th ed. Macmillan Publishing Company.

22. Sonneveld, C. 1980. Growing cucumbers and tomatoes in rockwool. ISOSC Proc. 5th Int. Congr. Soilless culture, Wageningen pp. 253- 262.

23. S. Sase, H. Ikeda and T. Takezono. 1988. Plant production in the artificial environment. Acta Horticulturae 230. 323- 328.

24. Taikichi Takano. 1988. Effect of conductivity and temperature of nutrient solution on the mineral nutrition of horticultural crops in water culture. Acta Horticulturae 230. 299- 305.

25. T. Okano, T. Hoshi and H. Terazoe. 1988. Development of hygroponic system and adaptation of microcomputers for a commercial size vegetable factory. Acta Horticulturae 232. 343- 348.