

제 1 차년도
연차보고서

양액재배 보급확대를 위한 자동양액
관리기기, 장치, 시스템의 국산화 개발

Domestic System Development of Automatic Nutrient
Solution Controller and Equipment for Expanding Nutriculture

연구기관
전남대학교 농과대학

농림수산부



제 출 문

농림수산부 장관 귀하

본 보고서를 “양액재배 보급확대를 위한 자동양액 관리기기, 장치, 시스템의 국
산화 개발”과제의 1차년도 연구보고서로 제출합니다.

1995. 12. 21

주관연구기관명 : 전남대학교 농과대학

총괄연구책임자 : 정 순 주

연 구 원 : 이 정 호

연 구 원 : 서 범 석

협동연구업체명 : 한가람아그리텍(주)

효성기업

백제엔지니어링

선진상사

요 약 문

I. 제목

양액재배 보급확대를 위한 자동양액 관리기기, 장치, 시스템의 국산화 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

WTO 체제 출범 이후 농업부문의 전면 개방화가 빠른 속도로 진행되고 있고 국제적으로 무한경쟁 여건하에 처하게 되는 한국농업의 체질강화 및 농가의 자생력 강화를 위해서는 기술농업, 품질농업, 수출농업이라는 3대 목표를 추구할 필요성이 절실해지고 있다. 화란, 프랑스, 벨기에 등 북유럽 선진국과 미국, 일본 등 농업 선진국에서는 이미 수십년 전부터 자국의 농업경쟁력을 높이기 위하여 생산 및 유통기술의 혁신을 꾀하였고 국제화 농업에 대한 준비를 완성하였던 반면 우리나라는 전근대적 수도작 위주의 농업에서 최근들어 시설원예로의 일대전환과 함께 과학영농기술의 총아인 양액재배기술이 도입, 확대되어 가고 있는 상황이다.

기존의 양액관리 시스템과 관비(fertigation) 지령장치의 종류는 벤츄리관과 정량펌프식, 마그네틱 펌프식, 다이아후램식, 유량계 조절식 등으로 구분되고 있으며 관비 지령은 일사량, 근권 수분, 시간비례 제어방식 등을 단용 또는 겸용하고 있다. 국내에는 네델란드, 일본, 이스라엘 등지에서 관비자재가 광범위하게 도입되고 있으며, 국내 몇몇 회사에서도 양액회석기의 개발을 서두르고 있다. 양액재배는 재배시스템의 종류나, 사용하는 배지 및 관비장치의 종류에 따라 급·배액 관리방법이 달라지며 특히 작물의

종류나 생육단계에 따라 양액 온도, 농도, 산도 등의 관리목표가 상이하므로 이들 분야별로 기술적인 축적이 필요하며 특히, 우리나라 농민 대다수의 체형과 경영 논리에 적합한 양액관리 시스템의 선정과 국산화가 절실한 실정이다.

양액재배는 토양재배와는 달리 작물의 종류에 따라 다소 다르지만 생력화 비율을 5~15배 정도 향상시킬 수 있고 생산성을 3~20배까지 증진시킬 수 있으며 특히 원하는 품질의 농산물을 원하는 시기에 생산할 수 있는 계획생산이 가능한 장점을 갖고 있어 양액재배 보급을 통한 경영성과는 시설 규모나 자재 및 기기의 활용성에 따라 팔목할만한 기대가 가능하게 된다. 따라서, 양액재배의 활용성을 극대화하기 위해서는 무엇보다 관련 기기/장치/시스템의 표준화 및 국산화 개발이 필요하며 그 결과 현재 전량 수입에 의존하고 있는 관련 자재/기기를 대체할 수 있고 특히, 관련 업계의 농업 부문에 대한 투자 활성화를 유도할 수 있어 농업생산 기반을 강화할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구개발의 목표는 우리나라 양액재배의 발전수준 향상을 위해 양액재배 구성부분중 중요한 부분의 하나인 기기와 장치의 개발에 목표를 두었다. 한국에 있어서 농민체형과 논리에 적합한 양액재배 시스템 개발, 환경오염이 없는 재배시스템 개발, 시설형태 및 시설규모별 급액관리 장치 및 소프트웨어 개발을 통한 실용화 검증 및 양액재배 교범작성과 개발제품의 국내, 국제특허출원 및 제품화를 기하고자 일련의 연구를 시도하고자 한다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 우리나라 양액재배의 보급확대를 위한 자동 양액회석기, 양액온도 조절기 및 양액살균기를 국산화개발을 위해 수행하였는데 그 내용과 범위는 다음과 같다.

1. 양액희석기 개발

본 연구를 통한 양액희석기 개발품의 종류는 2가지 형태로 구분할 수 있다. 일반 농가에서 300~800평 정도의 양액재배 면적을 관리할 수 있는 플라스틱 온실용 저가 보급품 1종으로 현재 700만원대의 가격을 300만원대로 낮출 수 있도록 개발하고자 하였다. 또한 고정형 영구온실용 고가 정밀품 1종은 유리온실이나 PET 및 PC온실을 대상으로한 재배면적 800~2000평까지의 면적에 이용되는 것으로 현재 2500만원대의 가격을 1500만원대 정도로 낮추면서도 정밀제어가 가능하도록 개발하고자 하였다.

2. 양액 온도(냉난방)조절 시스템 개발

양액온도는 작물의 근권환경에 중요한 영향을 미치므로 적온관리를 위해 가온과 냉각을 실시하는데 본 연구에서 개발하고자 하는 양액 온도조절 시스템의 개발원리 생에너지형, 다기능형 온도조절이 가능하고 가열살균장치와 병행가능한 시스템으로 개발하고자 하였다.

3. 양액소독기 개발

양액소독기는 양액내에 존재하는 유해미생물을 살균하는 것으로 선택적 살균이 아닌 전체적 살균으로서 다양한 방법이 이용되고 있으나 우리나라에서는 아직까지 인식의 부족으로 전혀 설치되지 않고 있는 실정이다. 양액소독의 방법은 자외선살균, 오존발생 살균, 고온살균, 화학처리제 사용, 필터를 이용한 균제거가 이용되고 있으나 본 연구에서는 가열살균과 자외선 살균을 대상으로하여 개발하였다. 또한 차기년도에는 미생물을 이용한 복합처리방법을 개발하고자 하였다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구를 수행한 결과 자동양액회석기, 양액온도조절기 및 양액살균기의 개발을 완료하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 양액회석기

양액회석기는 순수수경이나 고품배지경 등의 양액재배방식에서 다양하고 복합적인 조건의 양액 및 수분공급체제를 종합적으로 구성하고 유량이나 시간은 물론 pH와 EC측정치와 연동하여 자동제어할 수 있으며, 주조절장치와 일반 PC를 연결하여 작동상황, 조건의 내용 등을 검색하거나 조건의 변경, 수동작동, 각종 data의 출력보관이 가능하도록 하였다. 또한 외국산에 비하여 가격의 저렴성, 조작의 단순성, 제어프로그램의 단순명령화에 중점을 두어 제작하였다. 작물의 생육단계 및 계절에 따른 양액조절이 가능하고 상이한 생육단계의 작물을 동시에 제어가 가능하다. 대규모 재배시 main computer를 통한 제어의 package화가 가능하도록 설계되었다.

2. 양액온도조절기

양액온도조절기는 일정량의 양액을 목표온도로 지속적으로 유지할 수 있으며, 냉각과 가온을 분리하여 시기에 맞게 사용할 수 있도록 하였다. 냉각의 경우 지하수를 열교환 파이프에 순환시켜 냉각하며 가온은 버너를 장치한 가열탱크에 연결하여 가온할 수 있도록 제작하였다. 조절용량에 따라 스테인레스 파이프와 PE파이프를 교체할 수 있도록 하였으며, 가능하다면 스테인레스 파이프를 이용하도록 하였다. 또한 사용연료를 경유와 LPG로 선택가능하게 하여

LPG사용시 배기가스는 탄산가스 발생기의 역할도 겸용하는 것이 가능하며, 가열탱크의 열원을 이용하여 가열살균기로서의 역할이 가능하도록 다기능으로 설계되었다. 그러나 지하수를 사용할 수 없는 지역에서는 프레온가스를 냉매로한 냉각기로 공기를 냉각시켜 compressor로 회석탱크내에 냉각된 공기를 불어넣어 양액을 냉각하는 장치를 차기년도에 개발할 예정이다.

3. 양액소독기

양액소독기는 recycle system의 확대와 함께 중요한 장치로 인식되고 있는데 본 연구에서는 양액온도조절기와 연계된 가열살균기와 자외선살균장치를 개발하였다. 가열살균기의 경우 양액온도조절기의 가열탱크와 연결되어 온도조절에 필요한 열원을 공유하여 살균온도(60~95℃)의 임의조절이 가능하다. 자외선 살균기는 살균램프의 구입이 용이한 규격을 사용하였으며, 양액이 통과하는 수로부와 점등부가 분리되어 만일 램프가 파손되어도 처리수에 이물질이 혼입되지 않도록 하였으며 접속부의 보수가 용이하다. 또한 구조가 간단하여 장착이 용이하고 처리용량에 따라 병렬연결이 가능하다.

차기년도에는 작물별, 생육단계별, 계절별 급액 및 양액농도관리를 package화한 프로그램을 개발할 예정이며, 현장에서의 실증시험을 통해 개발기기의 기능을 보완하고 시설내 작물의 실제 양액재배를 통한 성능평가를 거쳐 제작된 기기의 문제점을 보완하여 국내 및 국외 특허출원과 함께 국내에는 특허를 공개하여 많은 양액재배 농민들에게 도움이 될 수 있도록 하고, 이 분야의 국내 제조업계의 활성화에 기여할 수 있도록 할 예정이다. 또한 현재 국내 몇개의 업체에서 독자적으로 개발중인 양액회석기의 기능 및 부품에 대한 일정한 표준을 마련하여 확장성 및 범용성의 기준이 확립될 필요가 있다.

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구개발의 목적	1
제 2 절 연구의 필요성	3
제 3 절 기술개발현황	7
제 4 절 현 기술상태의 취약성	9
제 5 절 연구개발의 범위	11
제 2 장 우리나라의 양액재배 현황 및 현장조사	16
제 1 절 서 설	16
제 2 절 조사방법	20
제 3 절 조사결과	20
제 3 장 양액희석기 개발	48
제 1 절 서 설	48
제 2 절 재료 및 설계	50
제 3 절 개발결과	55
제 4 장 양액온도조절기 개발	80
제 1 절 서 설	80
제 2 절 재료 및 방법	83
제 3 절 개발결과	84
제 5 장 양액살균기 개발	92
제 1 절 서 설	92
제 2 절 양액가열살균장치	97
제 3 절 자외선살균기	102

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 목적

WTO 체제 출범 이후 농업부문의 전면 개방화가 빠른 속도로 진행되고 있고 국제적으로 무한경쟁 여건하에 처하게 되는 한국농업의 체질강화 및 농가의 자생력 강화를 위해서는 기술농업, 품질농업, 수출농업이라는 3대 목표를 추구할 필요성이 절실해지고 있다. 화란, 프랑스, 벨기에 등 북유럽 선진국과 미국, 일본 등 농업 선진국에서는 이미 수십년 전부터 자국의 농업경쟁력을 높이기 위하여 생산 및 유통기술의 혁신을 꾀하였고 국제화 농업에 대한 준비를 완성하였던 반면 우리나라는 전근대적 수도작 위주의 농업에서 최근들어 시설원예로의 일대전환과 함께 과학영농기술의 총아인 양액재배기술이 도입, 확대되어 가고 있는 상황이다.

한국에 있어서의 양액재배는 1954년 4월 당시 이승만 대통령의 특명에 의해 중앙농업기술원(현 농촌진흥청)에서 연구를 시작했다. 그러므로 1954년부터 양액재배에 관한 기초적 시험연구가 시작되었으며 그때는 온실 1ha에서 시험과 생산을 동반한 hydroponic농장이 건설되었다. 때를 같이해서 1955년 7월부터 본격적인 시험연구가 시작되어 신선채소의 주년생산 공급가능성을 제시했다. 그러나 그 후 안타깝게도 한국의 사회정세의 불안때문에 hydroponic에 관한 시험연구는 물론 생산사업도 거의 중단되게 되었다. 1977년에 이르러 현 농촌지도소 원예시험장에서 다시 양액재배에 관한 연구가 시작되었다. 당시는 한일공동연구에 의해 양액재배의 급액방법 및 각종 배양액처방에 대한 비교시험을 하였다. 1982년 이후에는 배양액조성에 관한 시험과 농가형 양액재배 시설에 관한 연구도 실시되었다. 그동안 한국의 양액재배 발전에 열의를 갖고 혼신의 힘을 다한 선배 연구자들의

노력에 의해 최근의 양액재배는 차세대 주역농법으로 주목되고 있다. 이러한 우려곡절의 과정을 겪어 우리나라의 양액재배면적은 '92년말까지 17.4ha에 불과했으나 '94년말까지는70.17ha로 급증하였고, 다시 '95년말에는 106.41ha 정도로 확대되어 가고 있으며 이러한 추세로 증가할 경우 2004년까지는 1500ha 정도로 양액재배 면적이 늘어날 수 있을 것으로 전망된다. 양액재배 초기에는 대부분이 자동화된 유리온실내에 도입된 암면재배 방식을 취하였지만 최근에는 플라스틱하우스내에서 펄라이트, 왕겨 등과 같은 값이 저렴한 배지를 이용한 양액재배 방식이 많이 보급되고 있다. 그러나, 우리나라의 양액재배 상황은 네덜란드 3,750ha(93년말), 일본 690.2ha(94년말)에 비하면 극히 적은 면적에 지나지 않으며 양액재배 적용작물도 토마토, 오이, 상추, 장미 등 일부 작물에 국한되고 있는 상황에 있다.

따라서, 양액재배 선진제국들의 발전추세에 따라 이들 양액재배 작물의 생산성과 품질 향상을 위한 실용적인 재배시스템이나 재배기술(양액관리 기술)에 관해 명확하게 체계화된 연구가 필요하며 각 지역별로 또는 생산자 단위별로 차이가 많은 자재/기기/장치의 표준화 및 국산화를 통하여 기술보급 체계를 명확히할 필요가 있다. 또한, 현재의 상황은 양액재배에 소요되는 품종, 비료, 자재, 기기, 장치 등과 급액관리 프로그램 및 제어장치 등이 대부분 수입에 의존하고 있으며, '94년도 양액재배 자재/기기/장치의 수입금액은 약 40억원/연 이상으로 추정되고 있으며 매년 증가추세로 볼 때 이 분야에 대한 국산화 개발이 매우 시급한 실정이다.

한편, 리우회담이후 세계 각국의 농업생산 방식이 환경오염이 없는 환경친화적 양액재배방식으로 전환되고 있어 폐쇄형 재배시스템(closed growing system)에 대한 연구개발과 순환되는 배양액의 살균 소독장치의 개발도 우리나라의 양액재배 발전을 위해 시급한 개발을 요청하고 있는 분야이다.

또한, 우리나라는 사계성이 분명하고 계절, 지역별로 기후요소가 다르기 때문에 현재 사용되고 있는 외국의 양액관리 장치/프로그램으로는 정확한

양액관리를 수행하기 어렵거나 불필요한 조작이 반복될 우려가 있어 급액 관리 장치 및 software의 개발 및 국산화가 절실히 요구되고 있다.

따라서 본 연구개발의 목표는 우리나라 양액재배의 발전수준 향상을 위해 양액재배 구성부분중 중요한 부분의 하나인 기기와 장치의 개발에 목표를 두었다. 한국에 있어서 농민체형과 논리에 적합한 양액재배 시스템 개발, 환경오염이 없는 재배시스템 개발, 시설형태 및 시설규모별 급액관리 장치 및 소프트웨어 개발을 통한 실용화 검증 및 양액재배 교범작성과 개발제품의 국내, 국제특허출원 및 제품화를 기하고자 일련의 연구를 시도하는데 두었으며, 이 연구의 종료시는 양액재배 농민들이 현장에서 직면한 핵심적 애로사항을 해결하는데 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

제 2 절 연구의 필요성

가. 기술적 측면

양액재배는 미래지향적 농업생산 방식으로 기존에 토양재배에서 문제되었던 퇴비 만들기, 연작장해, 중작업성 등을 회피하면서 품질 및 생산성을 크게 증진시킬 수 있는 과학영농기술로 인식되고 있다. 그러나, 우리나라의 경우 실용적인 양액재배가 도입된지 약 15년 정도로 아직은 재배기술이나 작목의 확대가 담보상태에 있다.

국내에서 재배되고 있는 양액재배 시스템별 면적분포를 보면 비고형배지경이 26.5%로 28.16ha를 점유하고 있고 고형배지경은 73.5%로 78.25ha에 이르고 있어 고형배지경이 압도적으로 많은 특성을 보인다. 고형배지경에서는 펄라이트경>암면경>왕겨경 순으로 많이 재배되고 있으며 94년말에

는 암면경이 가장 많았던 것에 비하면 펄라이트경의 보급율이 급속하게 이루어지고 있는 특징을 보인다.

암면경의 경우에는 '92년초부터 건축되어 가고 있는 화란형 유리실과 함께 패키지 형태로 보급되었지만 최근에는 다양한 유리온실, 플라스틱하우스에 널리 재배되고 있는 경향이다. 그러나, 양액재배 전용품종, 비료, 자재 및 양액관리 장치 등이 취약한 우리 농업여건에 작물에 적합한 양액재배 방식과 기술적 체계화는 아직 완전하게 정립되어 있지 않아 실제 양액재배 농가들에 여러가지 문제점들을 노출시키고 있다.

기존의 양액관리 시스템과 관비(fertigation) 지령장치의 종류는 벤츄리관과 정량펌프식, 마그네틱 펌프식, 다이어램식, 유량계 조절식 등으로 구분되고 있으며 관비 지령은 일사량, 근권 수분, 시간비례 제어방식 등을 단용 또는 겸용하고 있다. 국내에는 네델란드, 일본, 이스라엘 등지에서 관비자재가 광범위하게 도입되고 있으며, 국내 몇몇 회사에서도 양액회석기의 개발을 서두르고 있다. 양액재배는 재배시스템의 종류나, 사용하는 배지 및 관비장치의 종류에 따라 급, 배액 관리방법이 달라지며 특히 작물의 종류나 생육단계에 따라 양액 온도, 농도, 산도 등의 관리목표가 상이하므로 이들 분야별로 기술적인 축적이 필요하며 특히, 우리나라 농민 대다수의 체형과 경영 논리에 적합한 양액관리 시스템의 선정과 국산화가 절실한 실정이다.

나. 경제적 측면

양액재배의 보급이 지연되고 있는 요인은 초기 시설비의 투자가 많고 작물 종류나 작기별로 양액관리가 상이하야 고도의 화학적, 생리적 및 공학적 지식이 필요하며, 특히 양액재배 전용품종이 개발되어 있지 않는 점과 양액재배 전용비료, 액체비료의 개발 등이 미흡한 점 등은 별도의 연구가 필요한

부분이다. 특히, 약 16가지 이상의 다양한 양액재배 시스템별로 경영사례가 부족하여 생산자가 재배방식을 선정하는 데에도 어려움이 있으며 양액재배용 자재/기기/부대장치/양액관리 시스템 등의 국산화가 전혀 이루어지지 않고 수입에 의존하므로써 적용 방법이나 작동법의 미숙에 따른 부실한 점도 문제가 되고 있다.

양액재배는 농업 생산성의 향상은 물론 작업을 기계화, 자동화로 대체하므로써 생력화된 농업을 실현하는 중요한 기술로써 인식되고 있다. 화란의 경우는 육묘공장에 양액재배 기법을 사용하므로써 12,000평의 유리온실을 2명의 작업자가 원활하게 수행해 가고 있으며 6,000평의 국화농장을 양액재배와 기계화, 자동화를 통하여 5명의 관리인만으로 작업을 수행하고 있어 생력화 농법의 최첨단을 실현하고 있다. 또한, 일본, 미국, 캐나다 등의 경우도 시설내 지상부의 복합환경조절과 지하부 양액재배기술을 접목시키고 일련의 작업과정을 컨베이어 시스템과 인공 기상조절 시스템설비에 힘입어 무인 자동화 식물공장을 실용화 검토가 끝나 현장운용에 들어가고 있다.

양액재배는 토양재배와는 달리 작물의 종류에 따라 다소 다르지만 생력화 비율을 5~15배 정도 향상시킬 수 있고 생산성을 3~20배까지 증진시킬 수 있으며 특히 원하는 품질의 농산물을 원하는 시기에 생산할 수 있는 계획생산이 가능한 장점을 갖고 있어 양액재배 보급을 통한 경영성과는 시설 규모나 자재 및 기기의 활용성에 따라 괄목할만한 기대가 가능하게 된다.

따라서, 양액재배의 활용성을 극대화하기 위해서는 무엇보다 관련 기기/장치/시스템의 표준화 및 국산화 개발이 필요하며 그 결과 현재 전량 수입에 의존하고 있는 관련 자재/기기를 대체할 수 있고 특히, 관련 업계의 농업 부문에 대한 투자 활성화를 유도할 수 있어 농업생산 기반을 강화할 수 있을 것으로 판단된다.

다. 사회적 측면

지금까지의 UR이후의 신농업 대책들의 대부분은 농가의 생산기반 조성을 통한 체질강화와 유통 시설 및 물류의 첨단화, 수출농업의 육성 등을 목표로 한 집단화, 단지화 영농의 구현과 시설구조개선 및 현대화를 통한 시설원예 분야의 질적, 양적 확대가 중심이 되고 있다. 그러나, 이를 받아들이는 농촌사회는 공동화, 고령화 현상이 심화되어 목표에 채 미치지 못하고 있는 것도 사실이다.

따라서, 생력화, 기계화 농업에 대한 농민의 요구도가 증폭되고 있으며 새로운 영농기술의 원활한 보급을 위하여 산,학,연,관 체제가 강화되어 가고 있다.

양액재배 기술분야도 생산자와 대학, 연구소, 시험장간의 기술적 교류가 증가하고 있으며, 생산자와 정부, 대학 및 연구소와 정부간의 행정기술적 체제가 새롭게 형성되어 가고 있는데 양액재배농가에서 애로를 갖는 부분이 바로 저렴한 기능성있는 양액공급 장치의 보급과 이의 원활한 작동이다.

양액공급장치는 정량펌프식의 경우 1,000만원 이상을 호가하고 있어 영세한 플라스틱하우스 재배농가에서의 도입이 어려우며 물탱크 자체를 양액탱크로 이용함으로써 원가를 절감하고 있지만 대부분 2~3일을 주기로 양액전량을 교환하여야 하며 대부분 수동으로 양액을 관리하고 있는 실정이다. 또한, 대형온실의 경우는 화란에서 도입되고 있으나 온실용 컴퓨터와 모뎀식으로 연결되어 있으며 양액 급액관리는 용이하지만 정밀한 양액관리를 위해서는 수동으로 양액의 농도와 산도를 점검할 필요가 있고 비용면에서도 2,500만원 이상 소요된다.

따라서, 양액재배용 관련 기기/장치 및 시스템은 시설규모별 소형, 중형 및 대형온실에 적합한 사양을 갖출 필요가 있으며 플라스틱 및 유리온실로 구분하거나 작물의 종류별로 적정한 모형과 기능을 갖춘 모델을 국산화할 필요가 있다. 이러한 기기/장치들이 개발되어 현장에 적용된다면 과거의 농업에 대한 인식이 새로워질 것이며, 영농후계자의 농촌유치가 가능하게 되어 첨단농업을 통한 차세대를 겨냥한 새로운 농업문화의 창조에 기여하게 될 것이다.

제 3 절 기술개발 현황

가. 국내 기술 현황

양액재배는 지상부 환경요인(광, 온도, 습도, 탄산가스, 기류속도 등)을 적정 수준으로 조절할 수 있고 작물의 뿌리에 양수분 및 산소를 공급함으로써 작물이 필요로 하는 지상 및 지하 환경 요인을 최상으로 유지할 수 있어 수확기간이 단축되고 품질 및 생산성을 증대시킬 수 있는 기술이다. 그러나, 국내에는 아직은 상업농적 양액재배를 성공적으로 수행할만한 시설구조가 많이 보급되어 있지 않은 실정이고 또한, 양액재배에 관한 연구 성과도 몇몇 대학과 시험장에서 제한적으로 수행되어 기술적 know-how 축적이 부족한 상황이다.

국내에서 양액재배에 관한 기술개발 예는 농촌진흥청 원예연구소, 각 도진흥원, 농과대학 및 사단법인 온실작물연구소, 특정기업 또는 농가단위 등에서 작물별로 고행배지를 이용한 양액재배 기술을 개발하고 있으며 각 지역의 기업 농장에서는 NFT, DFT, 암면경 등 외국에서 실용화 되고 있는 재배방식을 근간으로 하여 turn-key방식으로 기술이 도입되고 있다. 한편, 수개 농업관련 회사를 중심으로 외국산 양액재배용 자재가 수입되고 있고 또한 스티로폼을 주재료로 한 성형플랜트를 다양한 방식으로 제품화하고 있어 양액재배의 실용화가 더욱 진전되고 있다.

그러나, 본 연구에서 수행하고자 하는 양액급액 기기(액비혼입기), 양액환경 제어장치(다점식양액 온도조절 및 EC, pH조절 장치), 양액 살균소독기, 온실컴퓨터용 및 one-board 양액관리 프로그램 및 software, controller 등은 전량 수입에 의존하고 있어 양액재배의 가장 중요한 정밀기기는 외국기술에 의존되며, 영문코드, 복잡한 조작, 불필요한 기능, 높은 가격, 고장시 A/S의 불가 등 한국 체질과 논리에 적합하지 않는 점들이 지적되고 있어 국산화개발이 시급한 분야이다.

양액재배의 초기 설치비용과 생산비용을 절감하기 위해서는 작목별로 우수한 양액재배 방식을 표준화하여 이와 관련된 자재/기기/장치를 규격생산, 대량생산 하므로써 생산자재 비용을 절감할 수 있을 것이다. 이러한 것은 특히 장래 환경오염 회피를 위한 농업의 기술적 대응책을 수립하는 하는데에도 일관성 있게 추진이 가능하여 중요한 효과를 기대할 수 있으며 환경오염을 회피할 수 있는 순환식 양액재배로의 전환과 병충해 예찰 및 생물학적 방제법을 확립하기 위하여 저가의 효율적인 급액관리 시스템 및 순환양액의 살균소독장치의 개발이 절실한 것이다.

나. 국외 기술 현황

시설원예가 가장 발전된 화란의 경우는 거의 대부분의 시설재배 농가가 관비 재배와 양액재배 기술을 수용하고 있으며 최근에는 양액관리를 과거 2개의 탱크에서 6개의 탱크로 늘려 더욱 정밀하고 효율적인 양액관리 시스템이 보급되어 가고 있다. 양액재배 방식도 비순환식에서 순환식으로 전환되고 있으며 사용하는 배지도 암면에서 화산석(volcanic stone), 제올라이트(zeolite), 펄라이트(perlite) 등 무기광물과 코코넛 피트(coconut peat), 피트모스(peat moss) 등을 각각 단용 또는 혼용한 환경친화적 대체배지를 개발하여 이용하고 있다. 특히, 화란의 농가는 2ha 정도의 대형온실을 갖고 있는 상업농적 생산단위를 이루고 있으며 개개의 농가에서 재배에 관련된 일부 실험을 수행하기도 하지만 대학(바게닝겐 대학 등), 연구소(PTG, HORST 등)에 위탁연구를 수행하는 것이 일반화 되어 있다. 이러한 경향은 덴마크, 벨지움, 독일 등 북유럽 대부분의 국가들이 이러한 형태의 대농민 밀착, 현장연구를 통해 문제해결을 하고 있다는 점이 우리의 현실과 다른 점들이다. 따라서, 연구소 및 대학은 농가현장에 밀착된 시험, 연구사업을 수행할 수 있고 그 연구 성과는 곧 생산농가에 직접 적용되는 과학적이고 합리적인 기술보급 체제가 확립되어 있는 것이다. 채소류 재배

는 주로 암면재배에 의해 이루어지고 있으며 거베라, 장미 등은 암면에서 재배되기도 하지만 최근에는 코코넛 피트를 주재료로 한 배지재배가 이루어지고 있다. 분화류, 관상식물 등은 주로 간헐급액식(ebb and flow)으로 재배되고 있고 엽, 경채소류 및 근채류는 사경(sand culture)이나 박막수경(nutrient film technique, NFT) 방식으로 재배되고 있다.

일본의 경우는 양액재배의 주류가 과채류용 담액수경 방식(deep flow technique, DFT)과 엽.경채소류 재배용 NFT 및 사경재배가 대부분이며 일부 지역별로 왕겨, 훈탄 등 유기질 배지를 이용한 자루재배(bag culture)가 성행하고 있다. 최근에는 화란으로부터 암면재배 기술이 도입되어 암면경이 확대되고 있으며 토마토, 오이, 멜론 등 과채류와 장미가 대면적으로 재배되고 있다. 관수 및 급액자재는 이스라엘, 벨기에 등지에서 수입하여 사용하지만 정량펌프, 오존발생기 등 중형장비는 일본에서 독자적으로 개발하여 자체사용은 물론 세계에 공급하고 있다. 우리나라의 경우도 예외는 아니어서 이스라엘, 프랑스, 화란, 영국, 미국, 대만, 일본 등 세계 각지에서 수입하여 사용하고 있지만 이스라엘이 가장 많은 비중을 차지하고 있으며 급액펌프는 온실 시공시 일본 제품을 package 형태로 구비하는 경우가 허다하다. 따라서 우리나라에 있어서도 점진적으로 이들 선진국형 자재와 장비에 대한 인식을 바탕으로 도입, 응용 및 자체개발의 과정을 착실히 걸어야 할 것이다.

제 4 절 현 기술상태의 취약성

우리나라에 있어서 기존에 보급되고 있는 양액재배 시스템은 전항에서 서술한 대로 NFT와 암면경이 주류를 이루고 있으며 최근에는 펄라이트를 이용한 고품배지경이 급속히 확대 보급되고 있다. 양액재배에서 가장 주의를 요하는 분

야가 양액 조성 및 관리 방법의 적합성인데 재배방식이나 작물별, 생육단계별로 적절한 양액관리를 수행하기 위해서는 정밀한 액비회석기, 양액온도 조절기, 양액 살균소독기 및 양액관리시스템 controller 등이 구비되어야 한다. 그러나, 국내에는 이들 기기나 시스템 들이 국산화 되어 있지 않고 주로 화란이나 이스라엘, 일본, 미국 등지에서 수입하여 사용하고 있으며 가격도 매우 높아 양액재배를 도입하고자 하는 농가에 애로사항으로 남아 있다. 특히, 아직은 시설 영농규모가 영세한 우리나라에서는 저가의 고성능 양액관리 장치의 개발을 조속히 이루어낼 필요가 있다.

급액관리 기술도 화란의 경우는 지중해성 기후의 영향으로 매우 온화하여 대부분 일사비례 제어방식으로 급액하지만 일본이나 한국의 경우는 계절별 기후 차이가 매우 심하므로 장래에는 일사비례 제어방식 이외에도 수분비례 제어 또는 시간비례 제어방식의 채용이 불가피하다. 지금까지 국내에 수입되고 있는 양액 급액, 관비지령 시스템 및 프로그램도 일사비례 제어방식이 대부분이어서 작물의 뿌리 부분에 공급-이용-잔류되는 무기이온의 성분 농도나 수분량을 정확하게 파악하기가 곤란하고 계절별로 달라지는 시설내 미기상 요인을 감안하지 않으므로써 시간비례 제어방식을 절충하고 있다. 따라서, 작물의 근권 환경을 적절하게 조절할 수 있는 수분비례 제어방식을 포함한 새로운 방식의 급액관리 프로그램 및 부대 장치를 개발할 필요가 있다.

또한, 장치 환경오염이 없는 농업으로의 지향은 지구 환경보전 차원에서 환경친화적 농법의 실현은 국제적인 방향과 목표라고 할 수 있는데 양액재배 분야에서도 사용후 양액의 폐기 비용을 절감하고 환경오염 문제를 해결하기 위하여 순환식 양액재배로의 전환이 빠른 속도로 이루어 지고 있으나 여기에 필요한 안전하고 저가인 살균 소독장비의 개발과 재순환되는 양액의 가온 및 냉방을 위한 양액온도 조절시스템의 국산화 개발이 절실한 상황이다.

제 5 절 연구개발의 범위

가. 최종 연구개발사업 목표

본 연구의 최종적 수행 목표는 다음과 같다.

1. 한국농민의 체형과 논리에 적합한 양액관리 시스템의 개발
2. 환경오염이 없는 재배시스템 개발과 양액온도/농도/산도조절 및 살균소독 장치 개발
3. 시설형태 및 시설규모별 급액관리 장치 및 소프트웨어 개발
4. 주요 작물별, 계절별 양액관리 소프트웨어 개발
4. 실용화 검증 및 양액재배 교범 작성과 국제/국내 특허출원 및 제품화

나. 당해년도 연구개발사업 목표 및 범위

연구 1년차인 올해의 연구개발사업의 목표 및 범위는 다음과 같다. 양액재배에 소요되는 기기 및 장치부는 1) 양액탱크, 2) 양액공급기, 3) 재배조 등 3부분으로 구성되는데 주로 양액 공급기에 고성능 기기와 공급프로그램 소프트웨어가 필요하게 되며 양액 공급기는 다음과 같은 3가지 부분으로 구성되는데 각 장비가 상호보완성있게 optimal equipment system으로 개발하고자 하였다.

- (1) 양액회석기
- (2) 양액소독기 (순환식 폐쇄재배 시스템에 필요한 장비)
- (3) 양액 온도조절기 (가온 및 냉방 설비)

1. 양액회석기 개발

양액회석기 개발품의 종류는 2가지 형태로 구분할 수 있다. 일반 농가에서

300~800평정도의 양액재배 면적을 관리할 수 있는 플라스틱 온실용 저가 보급 품 1종으로 현재 700만원대의 가격을 300만원대로 낮출 수 있도록 개발하고자 하였다. 또한 고정형 영구온실용 고가 정밀품 1종은 유리온실이나 PET 및 PC 온실을 대상으로한 재배면적 800~2000평까지의 면적에 이용되는 것으로 현재 2500만원대의 가격을 1500만원대 정도로 낮추면서도 정밀제어가 가능하도록 개발하고자 하였다. 먼저 관행기기와 개발품의 특성을 비교해 보면 다음과 같다.

표 1-1. 관행기기와 개발품과의 특성비교

구 분	관 행	개 발 품
농축액 희석방법	A, B액 2종 혼입	A, B액 2종 혼입 또는 다량원소 5종 및 미량원소 1종 등 6종을 혼입할 수 있도록 함
농축액 희석원리	Ventury 또는 고가의 수입 정량 펌프	정량펌프를 다기능화하여 액비별 상이한 유량제어가 가능하게 함
양액제어 방식	-양액농도, 산도제어 -타이머와 디지털 제어반을 활용 -온실제어용 컴퓨터를 활용	-농도, 산도제어(순환식 병행) -컴퓨터, 마이크로프로세서 활용 -다기능 복합소자(one-board chip)의 개발 및 적용

2. 양액 온도(냉난방)조절 시스템 개발

양액온도는 작물의 근권환경에 중요한 영향을 미치므로 적온관리를 위해 가온과 냉각을 실시하는데 본 연구에서 개발하고자 하는 양액 온도조절 시스템의 개발원리 생에너지형, 다기능형 온도조절이 가능하고 가열살균장치와 병행가능한 시스템으로 개발하고자 하였다. 관행기기와 개발품의 특성을 비교하면 다음과 같다.

표 1-2. 관행기기와 개발품과의 특성비교

구 분	관 행	개 발 품
냉각매체	지하수	지하수를 이용한 냉각 (차기년도에 air compressor를 이용한 냉각법 개발 예정)
가온방법	온수보일러	최소유량의 제어를 통한 온수보일러 및 열교환기 개발
다기능화	양액의 냉난방에 한정됨	양액 냉난방 및 가열살균, 탄산가스발생 기능의 복합성 부여

3. 양액소독기 개발

양액소독기는 양액내에 존재하는 유해미생물을 살균하는 것으로 선택적 살균이 아닌 전체적 살균으로서 다양한 방법이 이용되고 있으나 우리나라에서는 아직까지 인식의 부족으로 전혀 설치되지 않고 있는 실정이다. 양액소독의 방법은 자외선살균, 오존발생 살균, 고온살균, 화학처리제 사용, 필터를 이용한 균제거가 이용되고 있으나 본 연구에서는 가열살균과 자외선 살균을 대상으로하여 개발하였다. 또한 차기년도에는 미생물을 이용한 복합처리방법을 개발예정이다. 관행기기와 개발품의 특성을 비교하면 다음과 같다.

표 1-3. 관행기기와 개발품과의 특성비교

관 행	개 발 품
<ul style="list-style-type: none"> - 국내에서는 오존발생기를 이용한 예비실험 단계 - 네델란드 일본 등지에서 개발 중(자외선 조사법, 고온멸균법) 	<ul style="list-style-type: none"> - 고온멸균법을 이용한 다기능장치 개발 - 가격이 저렴하고 관리가 용이한 자외선 살균장치 개발 - 미생물을 이용한 복합처리장치 개발예정

참 고 문 헌

1. 박권우, 김영식. 1992. 수경재배의 이론과 실제. 고려대학교 출판부.
2. 박권우. 1988. 세계의 시설원예(1). 시설원예연구 1 : 88-94.
3. 김광용, 박상근. 1992. 수경재배. 오성사.
4. 서울대 농업개발연구소. 1993. 국내 시설원예 산업 발전을 위한 심포지움. - 농업발전과 시설원예산업의 역할. pp 12-15.
5. 원예시험장. 1989. 원예작물의 생산과 연구의 국내외 동향.
6. 이병일 외. 1993. 시설원예학. 향문사.
7. 정순주. 1993. 우리나라 양액재배 현황과 발전전망. 호남지역 양액재배 발전 전망과 기술적 대응 세미나. pp 3-70.
8. 板木利隆. 1983. 施設園藝・装置と栽培技術. 誠文堂.
9. 山崎肯哉. 1982. 養液栽培全篇. 博友社.
10. 山崎肯哉. 1986. 養液栽培技術の發展經過と今後の方向. 農業および園藝 61:107-114.
11. Benoit, B. 1990. Economic aspects of ecologically sound soilless growing methods. Vegetable Res. Sta., B-2580 Belgium.
12. Cooper, A.J. 1985. Hydroponic worldwide : State of the art in soilless crop production. pp 180-185.
13. Cooper, A.J. 1979. The ABC of NFT. Growing Books.

14. Gericke, W.F. 1940. The complete guide to soilless gardening. Prentice-Hall, New York.
15. Jensen, M.H. and W.L. Collins. 1985. Hydroponic vegetable production. Hort. Rev. 7 : 483-558.
16. Resh, H.M. 1993. Hydroponic food production. Woodbridge Press Pub. Company.
17. Saunby, T. 1974. Soilless culture. Atlantic Arts, Inc.
18. Tibbits, T.W. and R.J. Bula. 198. Growing plants in space. In. Reports of international symposium on high technology in protected cultivation. Pub. Chiba Univ. Japan. pp 133-142.

제 2 장 우리나라의 양액재배 현황 및 현장조사

제 1 절 서 설

양액재배의 상업화에 대한 기원은 1860년경으로 알려지고 있으며 1844년에 6개의 필수 대량원소와 철이 동정되었지만 1860년까지 Sachs에 이르기까지는 식물을 재배하기 위한 완성된 양액처방이 확립되지 못했다. 1961년에서야 Knop이 오늘날 사용되고 있는 개량된 처방을 제시했다. 1800년대 말과 금세기 초반 30년에 양액재배 방식과 양액처방에 대한 연구개발이 이루어지고 나머지 미량요소들의 발견에 팔목할만한 노력이 집중되어 왔다. 양액의 통기와 정기적인 교체의 중요성이 알려지기는 했으나 이 기간동안에는 주로 연구목적에 위한 수단으로 활용되었다.

양액재배를 통한 영리적 작물생산 가능성을 개발하기 위한 최초의 시도는 1929년 미국의 Gericke였으며, 그는 모래를 이용한 사경재배를 1 ha정도 조성하여 상업적 생산을 시도한 것이 효시였다. 이러한 사경재배는 사실상 Count Salm-Horstmar(1849)의 연구로 거슬러 올라간다. 그는 배지자체가 화학적으로 불활성화된 배지를 사용해야 한다는 제안 뿐만 아니라 모래를 사용해야 한다는 것을 생각하였다. 유사한 상업적 시도로서 미국의 McCall(1916)은 사경재배가 양액을 조절하는 이점과 모래를 사용하므로 뿌리의 물리적 지지 및 통기성이 양호하다는 장점도 있다는 것을 알았다. Robbins(1928)는 온실환경에서 모래에 많은 식물을 재배하여 연구하였으며, Laurie(1931)는 사경재배를 이용한 카네이션 재배법을 개발하였고, 그후 Eaton(1936), Withrow와 Biebel(1936), Shive와 Robbins(1937), Chapmann과 Liebig(1938) 등의 많은 연구자들에 의해 사경재배와 역경재배를 위한 물리적 체계의 수정이 따른 미국의 양액재배 면적이 급격

히 늘어나게 되었으며, 영국에서는 Temperman과 Watson(1938)에 의하여 이러한 기술을 진전시켰으나 그들은 양액재배에 따른 우수한 성장차이를 발견하지는 못했다.

이후 양액재배에 관한 주목할만한 발전은 2차대전중에 이루어졌으며, 당시 일본과 미국은 전쟁노력을 위해 신선채소 자체의 공급을 위하여 사경재배와 역경재배에 의해 현지에서 직접 재배하여 조달하였다. Hoagland와 Arnon(1950)에 의하여 유명한 Hoagland양액이 개발되면서 연구와 상업용으로 많이 사용되었으며, 현재도 이 처방은 무리없이 사용되고 있다. 그들은 토마토로 토양, 모래, 수경재배한 결과 모든 처리에서 유사한 성장결과를 얻게 되었으며, 수경재배의 이용이 작물생산의 경제적인 고려의 수단이 될 것이라고 한 바 있다. 1970년대 초까지 사용된 가장 보편화된 상업용 양액재배 방식은 사경재배와 역경재배였다. 일반적으로 Hoagland양액과 유사한 양액이 계절이나 작물의 크기에 따라 1일 1-4회 공급되게 하였으며, 사경에서는 그보다 줄였고 보급한 양액은 회수되어 탱크에 저장되며 배지량, pH수준, 영양농도의 정기적 분석과 조절을 통하여 수주동안 계속 사용하도록 하였다. 이때 통기는 문제가 되지 않았다. 이렇게 해서 나타난 1차적인 문제는 양분 불균형, 특히 미량요소들과 병해문제였다. 따라서 신속한 양액분석과 영양화학에 정통한 장비와 인력이 필요하였고 병해의 급속한 확산을 방지할 수 있는 기술개발이 요구되었다. 병원균 발육억제를 위해 양액에 Diazoben을 사용하였으나 그 후 세계적으로 다수의 회사들이 자갈을 1.3cm의 Palabora vermiculite로 대체하였다. 그 이유는 가벼워서 이동식 벤치에 사용하기가 유리했기 때문이고 높은 양수분 보유력으로 양액시여를 주당 3-4회로 줄일 수 있었기 때문이었다. 그러나 이 시기에도 양액재배의 영리적 채용은 많지 않았다. 양액재배의 보급이 늦어진 이유는 주로 화학적 반응의 우려가 없는 플라스틱의 결여, 수분누수가 없는 시설의 부족, 양액의 자동 탐지 및 조절을 위한 장비부족, 전체적인 조절을 위한 컴퓨터제어장치 부족 등을 들 수 있다. 그렇지만 이 기간동안에 대규모 양액재배를 가능하게 하는 상당한 기술들이 개발된 것은 사실이다.

온실재배가 폭넓게 이해되고 경제적 효율이 입증된 최초의 양액재배 시스템이 바로 NFT이다. 따라서 그 발전배경에 대해서는 많은 관심을 불러일으키고 있다. 화란에 있는 식물생리연구센터(Plant Physiology Research Center)의 DeStiger(1961, 1969)가 이 시스템의 원형을 개발하였다. 최초에는 연구목적으로 자기방사그라프(autoradiograph)를 만들기 쉽도록 얇고 회수될 수 있는 막내에서 뿌리가 자라는 방식을 개발하였다. 이러한 내용을 접하게 된 영국의 Cooper (1973)는 DeStiger와 연락하여 이러한 절차에 대한 상업적 가능성을 타진한 후 그로부터 NFT 시스템을 개발하였다. NFT는 좁고 경사진 채널내에 식물을 재배하는 수경재배의 한 형식이다. 양액은 재순환되며 얇은 필름으로 깔린 채널내의 뿌리를 통과하게 된다. 고전적인 양액재배 시스템과는 달리 NFT는 양액의 깊이를 3mm 내외로 제한하기 때문에 통기에 문제가 없다. 따라서 1970년대초부터 NFT의 영리적 시설은 빠르게 보급되기 시작하였다. 1982년 영국의 설치면적은 약 50ha정도였고 화란에도 상당한 면적이 보급되었다. 미국에서는 양액재배 면적은 알려지지 않으나 수백개의 회사들이 온실에서 NFT시스템으로 채소를 생산하고 있다. 가장 광범위하게 NFT를 발전시킨 나라는 화란이었는데 한동안 보급이 이루어지다가 그 이상 늘어나지 않고 있으며, 그 이유는 소독문제였다. 화란에서 대부분의 온실은 더운물로 가열하는데 그것은 소독이 적절하지 못해 메틸브로마이드를 사용하였다. 그러나 메틸브로마이드는 쉽게 토양에 침투하여 그 결과 식수오염이 심해져 장래에 심각한 환경문제로 부각되었으며, NFT가 매력을 잃게 된 것이다. 북유럽에서 NFT를 이용한 생산은 1980년대를 기점으로 크게 전파되었으나, 그 후는 커다란 진전이 없었다. 그러한 이유는 폐쇄계내에서 순환되는 양액에 의하여 병해문제를 유발시켰기 때문이다. 식물체 하나가 오염되면 다른 식물에 급격히 전파되었고, 또한 NFT시스템은 초기 시설비와 지속적인 전력소모가 문제가 되어 더이상 늘어나지 않았던 것이다. 뿌리에 단순히 통과시킨 후 폐액시키는 개방재배 시스템은 병해문제를 경감시켰으며, 자동화문제도 손쉽게 해결되었다. 따라서 암면슬라브 재배체제로 대체된 작부방식이 1980년대 초에 개발되었다. 암면은 유리

섬유와 유사한 용융압축으로부터 만들어진 섬유로 되어있으며, 이들 섬유는 식물번식이나 육묘를 위한 큐브형태로 또는 성숙시까지 식물을 재배할 수 있는 슬라브로 만들어 이용되고 있다.

암면재배는 1950년말 덴마크에서 시작되었으며, 1970년대 초까지 원예용 암면은 덴마크에서 생산되어 오늘날 거의 모든 온실재배 오이와 토마토는 암면재배로 생산되고 있다. 이러한 암면은 세계 각국에 보급되어 양액재배의 새로운 전기를 마련하기도 하였다. 우리나라에서도 1992년부터 암면을 이용한 채소와 화훼재배가 시도되고 있으며, 채소는 주로 토마토와 오이, 화훼는 장미 절화재배를 목적으로 사용하고 있다.

우리나라의 양액재배 역사는 매우 짧아 1954년에 중앙농업기술원에 10a에 해당하는 온실을 만들어 양액재배를 시작했으나 그후 전혀 연구가 이루어지지 않았다. 그후 20여년간 양액재배에 대한 관심이 없다가 1977년 이후 현재 원예연구소에서 순수수경에 대한 연구를 본격화하였으며, 1989년에는 간이 식물공장의 실험에까지 급속한 연구 발전을 가져왔다. 이와같은 연구에 힘입어 독농가들이 일본의 훈탄수경법 등 여러가지 재배방식을 도입하여 양액재배를 시도하였으나 경제성이 없어 실패하는 사례가 많아 그 면적의 증가는 미미하였다. 그러나 최근들어 국내외적인 농업여건의 변화에 따라 고품질, 다수 및 생력농법으로의 전환을 강요받게 되었으며, 이러한 문제에 적극적으로 대처할 수 있는 농법으로 양액재배에 대한 관심이 급격히 고조되어 활발한 연구와 기술개발이 이루어지고, 많은 농가와 업체를 대상으로 양액재배가 보급되고 있다.

우리나라에서 양액재배가 낙후되어 있는 이유는 근본적으로 시설비가 많이 들고 국내에서는 아직 수경용 양액의 공급장치나 재료가 미흡하여 양액재배용 채소품종의 개발이 전무하여 생력적인 자동제어 기술의 보급이 거의 없기 때문이다.

따라서 본 조사연구는 양액재배 관련 기기의 개발과 국산화를 위해 현재 양액재배 농가에 설치되어 있는 양액회석기의 종류와 시스템상의 애로기술과 문제점을 파악하고, 전국적으로 분포되어 있는 양액재배 면적과 작물별 재배현황

을 조사하여 본 연구과제인 양액회석기, 양액온도조절기 및 양액소독장치의 개발에 대한 개발목표를 설정하였으며, 차기년도 수행예정인 과제에 대한 목표를 확실히 하고자 하였고, 또한 장래 우리나라 양액재배의 발전방향정립에 필요한 기반을 조성하는데 연구의 목적을 두었다.

제 2 절 조사 방법

가. 국내 양액재배 현황 조사

전국적인 양액재배 현황을 조사하기 위하여 전국 각 지역 및 광역자치단체의 농촌진흥원 및 농촌지도소를 통하여 통계자료를 수집하였다. 조사내용은 지역별, 재배 작물별 양액재배 방식과 재배면적 등이었으며, 조사기간은 1994년 12월말과 1995년 10월말 2회에 걸쳐 조사하였다.

나. 양액재배 기기, 장치 및 애로사항 조사

현재 양액재배 농가에서 사용하고 있는 양액회석기 및 부대장치를 전남·북 및 경기도지방을 중심으로 현장방문하여 직접 조사하였고, 재배자와 양액재배에 대한 상담을 실시하였으며, 현재 설치되어 있는 시스템의 개략도 및 제어방법 등을 조사하였고, 양액재배시 애로사항과 앞으로의 과제 등도 조사내용에 포함하였다.

제 3 절 조사 결과

가. 국내 양액재배 현황 조사

국내 양액재배 현황을 조사한 결과는 표 1과 같다. 표 1에 나타난 바와 같이 94년도 양액재배 면적은 총 319.4천평(106.4ha)에 이르며 이중 펄라이트경이 약 116.8천평(39ha)으로 가장 많은 면적을 차지하고 있으며 농가도 163농가로 전체 농가의 37%를 점하고 있다. 비고형배지경에서는 NFT 및 DFT가 19ha로 가장 많았다. 전국 시도별로는 전남이 20ha로 가장 많은 면적을 나타냈으며 호당 평균재배면적도 870여평으로 다른 지역에 비해 크게 나타났다. 다음으로는 경기도지역으로 13.6ha, 경남이 13.3ha로 나타났다. 국내에서의 양액재배 보급에 경향은 예로부터 시설재배가 성행하고 있는 남부지역 경남·북, 전남·북 그리고 대규모 시장을 인접하고 있는 경기도에서 양액재배 면적이 많은 것으로 나타났으며, 특히 전남지방은 타지역보다 왕겨 및 훈탄을 이용한 양액재배면적이 많은 것이 특징이었고, 제주도는 분무수경을 이용한 재배면적이 가장 많이 나타났다. 최근 급격히 보급되어가고 있는 유리온실 단지의 경우 암면재배를 채용한 예가 많아 차기년도에는 암면재배의 면적이 현저하게 늘어날 것으로 추정되며 남부지방을 중심으로한 과채류 펄라이트경의 보급 또한 상당한 면적으로 확대될 전망이다 있다.

또한 우리나라의 경우 비고형배지경과 고형배지경의 비율이 1 : 3으로 고형배지경이 많은데 이는 인접한 일본의 경우 비고형배지경인 NFT나 DFT가 많은 것에 비해 특이한 상황을 나타내고 있다.

표 2는 작물별 양액재배 면적을 나타낸 것이다. 재배작물은 토마토와 오이가 8만평과 7.6만평으로 가장 많은 면적을 나타내고 있으며, 다음으로는 방울토마토와 장미, 상추가 많은 면적을 차지했다. 경기도 지역은 토마토와 상추의 재배 면적이 많으며, 전남지역은 토마토, 방울토마토, 오이가 각각 2만평 정도로 거의 같은 비율로 재배되고 있다. 경북지역은 토마토와 오이가 각각 1만평, 상추가 7천평 정도였다. 경남은 토마토, 방울토마토, 장미가 주로 재배되고 있으며, 특히, 전북 지역은 장미가 총 재배면적의 50%를 넘게 차지하고 있으며 충남은 오이와 장미가 주요 재배작물이다.

표 2-1. 전국 양액재배 시스템별 면적 현황

(단위 : 평)

행정구역 (구, 군별)		비 고 형 배 지 경			고 형 배 지 경			합 계
		NFT 및 DFT	분무 수경	기 타	암 면	왕겨 및 훈탄	펄라이트	
서울	면 적	5,200		200			200	5,600
	농가수	9		1			1	11
부산	면 적	2,000			5,800		1,800	9,600
	농가수	4			6		1	11
인천	면 적	648					18	666
	농가수	4					1	5
대구	면 적	800			750			1,550
	농가수	1			1			2
광주	면 적		2,860			600	4,010	7,470
	농가수		7			1	7	15
대전	면 적		1,500				3,800	5,300
	농가수		3				8	11
경기	면 적	11,167			4,412		25,034	40,853
	농가수	19			6		26	52
강원	면 적	300			10,980		3,650	16,130
	농가수	1			22		10	37
충북	면 적	1,300			7,814		1,950	14,514
	농가수	3			3		3	13
충남	면 적				10,400		23,700	34,100
	농가수				7		38	45
전북	면 적	3,800			13,600		4,000	21,400
	농가수	2			14		5	21
전남	면 적	2,650	4,750		13,682	19,350	20,650	61,082
	농가수	4	7		10	21	28	70
경북	면 적	17,447			4,313	1,500	10,662	35,422
	농가수	13			8	1	15	38
경남	면 적	7,091			14,355	68	17,383	39,897
	농가수	24				1	20	71
제주	면 적	4,900	14,020		1,500			25,820
	농가수	8	24		1			38
합계	면 적	57,303	23,130	200	87,606	21,518	116,857	319,404
	농가수	92	41	1	78	24	163	440

표 2-2. 전국 양액재배 작물별 면적 현황(95년 10월말 기준)

(단위 : 평)

구분	토마토	방울 토마토	오이	상추	양채 류	고추	미나 리	케일	장미	카네 이션	기타	합계
서울			200	2,400	2,700			300				5,600
부산		2,600		900		300			5,300	500		9,600
인천			30	618		18						666
대구	750			800								1,550
광주	7,070									400		7,470
대전	1,300		1,500	1,500					600		400	5,300
경기	12,257	2,700	9,000	10,097	450	2,037	600	300	3,412			40,853
강원	10,500	600	4,280	750								16,130
충북		5,647	3,917	2,300		1,000		950	700			14,514
충남	250	3,500	16,200	200		3,050			10,000		900	34,100
전북	1,800	1,500	1,000	3,800		2,000			11,300			21,400
전남	20,382	19,900	18,500			1,300	100		600	300		61,082
경북	10,390	1,300	9,211	7,000	4,921	2,100			500			35,422
경남	8,460	3,455	6,996	5,360		5,653			9,973			39,897
제주	7,727	8,883	4,920	1,900			500		250		1,640	25,820
합계	80,886	50,085	75,754	37,625	8,071	17,458	1,200	1,550	42,635	1,200	2,940	319,404

표 2-3. 재배작물 및 양액 시스템별 면적 현황(95년 10월말 기준)

(단위 : 평)

품목	고형배지경				비고형배지경			합계	
	암면	펄라이트	왕겨	기타	NFT	DFT	분무경		
채소류	토마토	27,122	31,947	2,250	3,340	4,450	3,110	8,667	80,886
	방울토마토	5,447	22,170	3,400	8,000	1,930	2,885	6,253	50,085
	오이	11,000	46,112	8,100	1,500	1,880	2,742	4,420	75,754
	상추	1,070	2,810		1,500	15,555	15,190	1,500	37,625
	양채류		300			4,171	3,600		8,071
	고추	3,032	9,368	1,068	3,500	300	190		17,458
	미나리	500				600	100		1,200
	케일				950	600			1,550
	기타채소류		1,300					1,640	2,940
	소계	48,171	114,007	14,818	18,790	29,486	27,807	22,480	275,569
화훼류	장미	38,935	2,850		600			250	42,635
	카네이션	500			300			400	1,200
총계		87,606	116,857	14,818	19,690	29,486	27,817	23,130	319,404

표 2-3은 작물별 양액재배 시스템의 면적을 나타낸 것으로 채소류의 경우 펄라이트경이 압도적으로 많은데 비하여 화훼류는 암면재배면적이 많은 것이 특징적으로 나타났다. 과채류의 경우 암면경과 펄라이트경에서 주로 재배되고 있으며, 엽채류의 경우는 NFT와 DFT방식을 다수 채용하고 있는 것으로 조사되었다. 장미의 경우는 90%가 암면재배를 하고 있다.

표 2-4는 연도별 전국 양액재배 면적을 나타낸 것으로 90년 이전 2.83ha에 이르던 것이 93년에 16.36ha가 늘어났고, 95년말까지는 총 106.41ha의 양액재배 면적이 조성되었다. 이는 93년 이후 94년과 95년도에 각각 매년 36ha이상의 증가를 나타내어 UR과 WTO의 시기적 상황과 첨단재배에 대한 인식의 고조를 반영하고 있으며, 약 20여년에 걸친 시설재배에서 계속되는 연작장해의 발생 등 토양 환경조건의 악화로 미래지향적 양액재배 방법으로서의 전환을 꾀하는 농가가 늘어나고 있는 것으로 보인다. 또한 초기 양액재배가 이루어졌던 경기, 충북, 전남, 경북을 제외한 다른지역에도 92년 이후 양액재배의 보급이 현저하게 확대되고 있는 것을 알 수 있으며, 특히 충남, 전북, 경남지역의 재배면적이 급격히 증가하고 있다.

표 2-5는 전국 토마토 양액재배 면적을 나타낸 것으로 토마토는 전남이 2만여평으로 가장 많은 면적을 재배하고 있으며 경기, 경북, 강원이 1만평 이상의 면적을 재배하고 있다. 대부분 고품배지경으로 재배되고 있으며, 전남과 강원은 암면재배, 경기와 경북, 경남은 펄라이트재배가 상대적으로 많다. 비고형배지경에서는 광주, 전남, 제주가 분무경으로 8천여평이 재배되고 있으며 경북지역에서는 3천평이 DFT로 재배되고 있다. 특이한 것은 다른 지역에서는 대부분 고품배지경이 많은 반면 제주도에서는 비고형배지경을 이용한 토마토의 재배가 많다. 또한 전남과 광주지역에서는 일부 왕겨 또는 훈탄을 배지로 이용하여 토마토를 재배하고 있다.

표 2-4. 전국 시도별, 연도별 양액재배 면적 현황

(단위 : ha)

시도별	재배방식	'90년이전	'91	'92	'93	'94	'95	합 계
서울	고형						0.06	0.06
	비고형	0.8		0.06	0.5	0.43		1.79
	소계	0.8		0.06	0.5	0.43	0.06	1.85
부산	고형					0.5	2.03	2.53
	비고형			0.26	0.3	0.1		0.66
	소계			0.26	0.3	0.6	2.03	3.19
인천	고형					0.006		0.006
	비고형			0.01		0.006	0.2	0.216
	소계			0.01		0.012	0.2	0.22
대구	고형						0.25	0.25
	비고형					0.26		0.26
	소계					0.26	0.25	0.51
광주	고형		0.4			0.78	0.35	1.53
	비고형			0.13	0.45	0.36		0.94
	소계		0.4	0.13	0.45	1.14	0.35	2.47
대전	고형					0.86	0.4	0.90
	비고형		0.43	0.06				0.49
	소계		0.43	0.06		0.86	0.4	1.39
경기	고형			0.3	0.15	5.01	4.42	9.88
	비고형	0.78	0.63	0.35	1.42	0.46	0.06	3.7
	소계	0.78	0.63	0.65	1.57	5.47	4.48	13.58
강원	고형			2.0			2.91	4.91
	비고형		0.1			0.36		0.46
	소계		0.1	2.0		0.36	2.91	5.37
충북	고형	0.16	0.55		1.48	0.1	0.88	3.17
	비고형	0.16	0.16			1.31		1.63
	소계	0.32	0.71		1.48	1.41	0.88	4.80
충남	고형				0.46	6.8	4.1	11.36
	비고형							
	소계				0.46	6.8	4.1	11.36
전북	고형			0.1	1.0	0.73	4.03	5.86
	비고형			0.9	0.36			1.26
	소계			1.0	1.36	0.73	4.03	7.12
전남	고형	0.3	1.4	1.9	4.19	10.03	0.33	18.15
	비고형	0.23	0.15	0.46	0.98	0.33	0.03	2.18
	소계	0.53	1.55	2.36	5.17	10.36	0.36	20.33
경북	고형			0.06		2.0	3.92	5.98
	비고형	0.4	2.67	0.66		0.66	1.4	5.79
	소계	0.4	2.67	0.72		2.66	5.32	11.77
경남	고형				1.07	3.07	6.78	10.92
	비고형			0.01	0.7	0.31	1.33	2.35
	소계			0.01	1.77	3.38	8.11	13.27
제주	고형			0.5	0.1	1.4	0.3	2.3
	비고형			0.26	3.15	0.49	2.4	6.3
	소계			0.76	3.25	1.89	2.7	8.6
합계	고형	0.46	2.35	4.86	8.48	31.31	30.79	78.25
	비고형	2.37	4.16	3.2	7.88	5.1	5.45	28.16
	소계	2.83	6.51	8.06	16.36	36.41	36.23	106.41

표 2-5. 전국 토마토 양액재배 시스템별 현황

(단위 : 평)

구 분	고 형 배 지 경				비 고 형 배 지 경			합 계
	암 면	펄라이트	왕 겨	기 타	N F T	D F T	분 무	
서 울								
부 산								
인 천								
대 구	750							750
광 주		4,010	600				2,460	7,070
대 전		1,300						1,300
경 기	1,000	9,337		240	1,680			12,257
강 원	7,000	3,200		300				10,500
충 북								
충 남		250						250
전 북		1,800						1,800
전 남	13,082	1,800	1,650	1,500			2,350	20,382
경 북	2,590	4,800				3,000		10,390
경 남	2,700	5,450			200	110		8,460
세 주				1,300	2,570		3,857	7,727
합 계	27,122	31,947	2,250	3,340	4,450	3,110	8,667	80,886

표 2-6. 전국 방울토마토 양액재배 시스템별 현황

(단위 : 평)

구 분	고 형 배 지 경				비 고 형 배 지 경			합 계
	암 면	펄라이트	왕 겨	기 타	N F T	D F T	분 무	
서 울								
부 산		1,800			800			2,600
인 천								
대 구								
광 주								
대 전								
경 기		2,700						2,700
강 원				600				600
충 북	3,947	1,200		500				5,647
충 남		3,500						3,500
전 북	300	1,200						1,500
전 남	600	8,600	3,400	2,800	200	1,900	2,400	19,900
경 북		1,300						1,300
경 남	600	1,870				985		3,455
세 주				4,100	930		3,853	8,883
합 계	5,447	22,170	3,400	8,000	1,930	2,885	6,253	50,085

표 2-7. 전국 오이 양액재배 시스템별 현황

(단위 : 평)

구 분	고 형 배 지 경				비 고 형 배 지 경			합 계
	암 면	필라이트	왕 겨	기 타	N F T	D F T	분 무	
서 울		200						200
부 산								
인 천					30			30
대 구								
광 주								
대 전		1,500						1,500
경 기		8,400			600			9,000
강 원	3,980	300						4,280
충 북	3,167	750						3,917
충 남	400	15,800						16,200
전 북		1,000						1,000
전 남		9,950	8,100		450			18,500
경 북	1,223	3,762		1,500	800	1,926		9,211
경 남	2,230	4,450				316		6,996
제 주						500	4,420	4,920
합 계	11,000	46,112	8,100	1,500	1,880	2,742	4,420	75,754

표 2-8. 전국 고추 양액재배 시스템별 현황

(단위 : 평)

구 분	고 형 배 지 경				비 고 형 배 지 경			합 계
	암 면	필라이트	왕 겨	기 타	N F T	D F T	분 무	
서 울								
부 산					300			300
인 천		18						18
대 구								
광 주								
대 전								
경 기		2,037						2,037
강 원								
충 북				1,000				1,000
충 남		3,050						3,050
전 북	2,000							2,000
전 남		300	1,000					1,300
경 북		600		1,500				2,100
경 남	1,032	3,363	68	1,000		190		5,653
제 주								
합 계	3,032	9,368	1,068	3,500	300	190		17,458

표 2-6은 방울토마토 재배면적으로 총 5만여평에 재배되고 있으며 전남지역이 2만평으로 전체면적의 40%를 나타내고 있다. 다음으로는 제주도가 8,883평이며, 충북이 5천평 이상을 재배하고 있다. 전체 재배면적중 고행배지경이 78%로 필라이트나 암면 등을 이용한 재배가 많다. 재배면적이 가장 많은 전남지역은 대부분 필라이트경으로서 8,600평 정도가 재배되고 있고, 왕겨경 3,400평, 분무경과 DFT가 2천평 정도이다. 제주도는 송이를 이용한 재배와 분무경을 이용한 재배가 주를 이루며 충북의 경우 암면재배가 4천평을 나타내고 있다.

표 2-7은 오이의 양액재배면적을 나타낸 것으로 총 7만5천여평이 재배되고 있고 이중 전남지역이 18,500평과 충남지역이 16,200평으로 두 지역이 전체면적의 45%를 차지하고 있다. 대부분 고행배지경으로 재배되고 있으며 고행배지경에서도 필라이트를 이용한 것이 46,112평으로 전체면적의 60%를 점하고 있다. 충남지역은 거의 90%가 필라이트경인데 반해 전남지역은 필라이트와 왕겨경이 비슷한 면적을 나타내고 있다. 제주지역은 분무경이 대부분이며 강원지역에서는 암면경이 많다.

표 2-8은 고추의 양액재배 면적으로 전국적으로 17,458평이 재배되고 있다. 대부분 고행배지경으로 재배되고 있으며 비고행배지경은 모두 500평 정도로 적었다. 고행배지경중에서도 필라이트경이 42%인 9,368평이었다. 암면재배는 전북과 경남에서만 3,000여평이 재배되고 있었고 전남지역에서는 왕겨경으로 1,000평 정도가 재배되고 있었다. 경남지역이 5,653평으로 재배면적이 가장 많다.

표 2-10에 나타난 상추의 양액재배 면적을 보면 총면적 37,625평으로 엽채류의 대표적인 작물로 나타났다. 이중 경기지역으로 27%를 차지해 10,097평으로 나타났고 경북지역 7,000평, 경남지역이 5,360평이었다. 상추는 과채류와는 달리 비고행배지경이 많았고, 그중에서도 NFT와 DFT가 대부분을 차지했다.

표 2-11에 나타난 케일의 재배는 주로 서울, 경기지역과 충북지역에서만 재배가 이루어지고 있었으며, 표 2-12는 양채류의 재배면적을 나타낸 것으로 총 8,071평으로 서울지역과 경북지역이 대부분을 차지하고 있다. 또한 대부분의 양

채류가 엽채류이기 때문에 비고형배지경인 NFT와 DFT에서 많이 재배되고 있었다.

그림 2-9. 전국 기타 과채류 양액재배 시스템별 현황

(단위 : 평)

구 분	고 형 배 지 경				비 고 형 배 지 경			합 계
	암 면	필라이트	왕 겨	기 타	N F T	D F T	분 무	
서 울								
부 산								
인 천								
대 구								
광 주								
대 전		400						400
경 기								
강 원								
충 북								
충 남		900						900
전 북								
전 남								
경 북								
경 남								
세 주							1,640	1,640
합 계		1,300					1,640	2,940

표 2-10. 전국 상추 양액재배 시스템별 현황

(단위 : 평)

구 분	고 형 배 지 경				비 고 형 배 지 경			합 계
	암 면	필라이트	왕 겨	기 타	N F T	D F T	분 무	
서 울				200	700	1,500		2,400
부 산					900			900
인 천					618			618
대 구					800			800
광 주								
대 전							1,500	1,500
경 기		2,260			7,837			10,097
강 원		150		300	300			750
충 북				1,000		1,300		2,300
충 남		200						200
전 북								
전 남						3,800		3,800
경 북					3,500	3,300		7,000
경 남	70					5,290		5,360
세 주	1,000				900			1,900
합 계	1,070	2,810		1,500	15,555	15,190	1,500	37,625

표 2-11. 전국 케일 양액재배 시스템별 현황

(단위 : 평)

구 분	고 형 배 지 경				비 고 형 배 지 경			합 계
	암 면	펄라이트	왕 겨	기 타	N F T	D F T	분 무	
서 울					300			300
부 산								
인 천								
대 구								
광 주								
대 전								
경 기					300			300
강 원								
충 북				950				950
충 남								
전 북								
전 남								
경 북								
경 남								
세 주								
합 계				950	600			1,550

표 2-12. 전국 양채류 양액재배 시스템별 현황

(단위 : 평)

구 분	고 형 배 지 경				비 고 형 배 지 경			합 계
	암 면	펄라이트	왕 겨	기 타	N F T	D F T	분 무	
서 울					300	2,400		2,700
부 산								
인 천								
대 구								
광 주								
대 전								
경 기		300			150			450
강 원								
충 북								
충 남								
전 북								
전 남								
경 북					3,721	1,200		4,921
경 남								
세 주								
합 계		300			4,171	3,600		8,071

표 2-13. 전국 미나리 양액재배 시스템별 현황

(단위 : 평)

구 분	고 형 배 지 경				비 고 형 배 지 경			합 계
	암 면	펄라이트	왕 겨	기 타	N F T	D F T	분 무	
서 울								
부 산								
인 천								
대 구								
광 주								
대 전								
경 기					600			600
강 원								
충 북								
충 남								
전 북								
전 남						100		100
경 북								
경 남								
세 주	500							500
합 계	500				600	100		1,200

표 2-14. 전국 장미 양액재배 시스템별 현황

(단위 : 평)

구 분	고 형 배 지 경				비 고 형 배 지 경			합 계
	암 면	펄라이트	왕 겨	기 타	N F T	D F T	분 무	
서 울								
부 산	5,300							5,300
인 천								
대 구								
광 주								
대 전		600						600
경 기	3,412							3,412
강 원								
충 북	700							700
충 남	10,000							10,000
전 북	11,300							11,300
전 남				600				600
경 북	500							500
경 남	7,723	2,250						9,973
세 주							250	250
합 계	38,935	2,850		600			250	42,635

<부록15> 전국 카네이션 양액재배 시스템별 현황

(단위 : 평)

구 분	고 형 배 지 경				비 고 형 배 지 경			합 계
	암 면	펄라이트	왕 겨	기 타	NFT	DFT	분 무	
서 울								
부 산	500							500
인 천								
대 구								
광 주							400	400
대 전								
경 기								
강 원								
충 북								
충 남								
전 북								
전 남				300				300
경 북								
경 남								
제 주								
합 계	500			300			400	1,200

표 2-13은 미나리의 재배면적으로 전국에서 1,200평이 재배되고 있었으며 이 중 경기도 600평, 전남 100평, 제주지역이 500평 등으로 전국이 시작단계에 있다. 경기와 전남지역은 비고형배지경인 NFT와 DFT방식을 취하고 있으며, 제주 지역은 특이하게 암면재배가 검토되고 있다.

표 2-14는 장미의 양액재배로 총재배면적은 42,635평이었으며 이중 암면재배가 38,935평으로 91%를 차지했다. 지역별로는 전북, 충남, 경남지역이 1만여평으로 많은 면적을 재배하고 있고 부산지역이 5,300평, 경기지역이 3,412평이다.

표 2-15는 카네이션 재배현황으로서 전체면적은 1,200평으로 극히 적은 면적이며 부산지역이 500평의 암면재배, 광주지역이 400평의 분무경재배, 전남지역이 300평의 훈탄재배를 실시하고 있다.

나. 양액재배 기기, 장치 및 애로사항 조사

국내 양액재배 면적중 가장 많은 지역인 전남과 경기도 일원을 중심으로 양액재배 농가를 방문하여 현재 도입되어 있는 양액재배 장치중 양액회석기를 중점적으로 파악 조사하였으며 농가현장에서 가장 해결을 요하는 문제들을 청취하였다.

초기 양액재배 농가의 가장 큰 특징은 양액을 농후액으로 조제하지 않고 목표농도로 회석하므로써 양액탱크의 규모가 15톤 이상으로 크다는 것이다. 이러한 양액탱크에 많은 양의 양액을 한꺼번에 조제한 후 일정기간 사용후 다시 조제하는 등의 원시적 재배방법에 의존하고 있다는 것이다. 이 방법은 양액탱크를 건축하는데 소요되는 비용이 많이들고, 양액조제에 소요되는 노동력이 많아지며, 또한 콘크리트 구조물에서 유해성분이 녹아나와 작물의 생장에 영향을 미칠 수 있고, 탱크내부의 청결유지에도 문제가 있어 유해균이 상존할 가능성이 높다. 특히 양액의 교환시기가 길어지게 되면 특정성분의 과다나 결핍현상이 다발하게 된다.

그림 2-1은 현재 전남 무안군 몽탄면에서 풋고추를 재배하고 있는 농가가 자가제작한 것으로 5톤용량의 양액탱크에 pH와 EC센서를 넣어 계측하고 이중 EC만을 조절기를 통해 펌프를 가동시켜 농축양액을 양액탱크로 주입하는데 A, B액을 하나의 관을 통해 주입하므로써 특정원소간 반응으로 침전물이 생기고, 농축양액을 주입하는 펌프의 용량이 너무 커서 일순간에 많은 양의 액비가 들어가 EC의 변화폭이 크다는 문제점이 있다. 또한 액비탱크에 부착된 유량계도 정확성이 떨어지고 유량계내에 침전물이 많아 제대로 작동하지를 못하는 단점이 지적되었다. 급액은 타이머에 의해 1일 4~5회정도 주입되는데 생육단계에 따른 급액관리가 가장 문제라고 토로하고 있다.

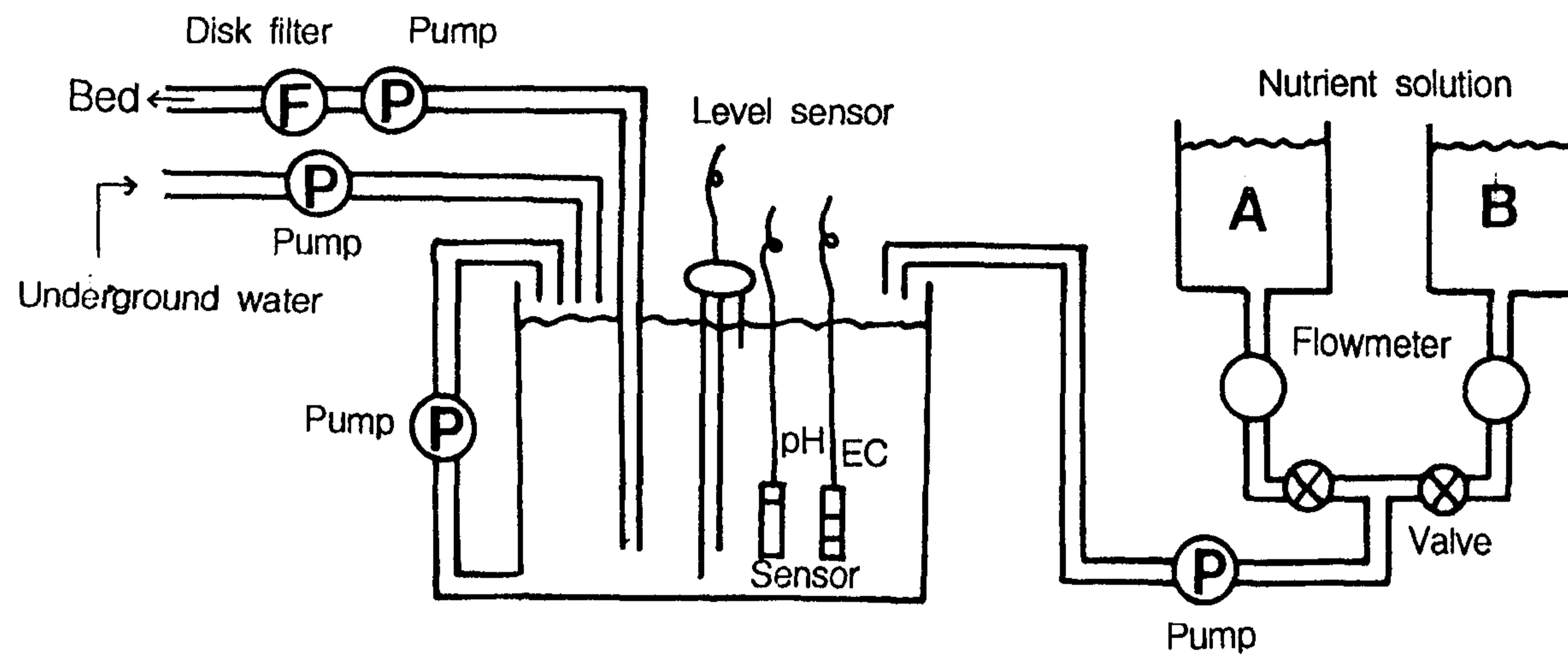


그림 2-1. 전남 무안군 몽탄면의 양액회석기(자가제작)

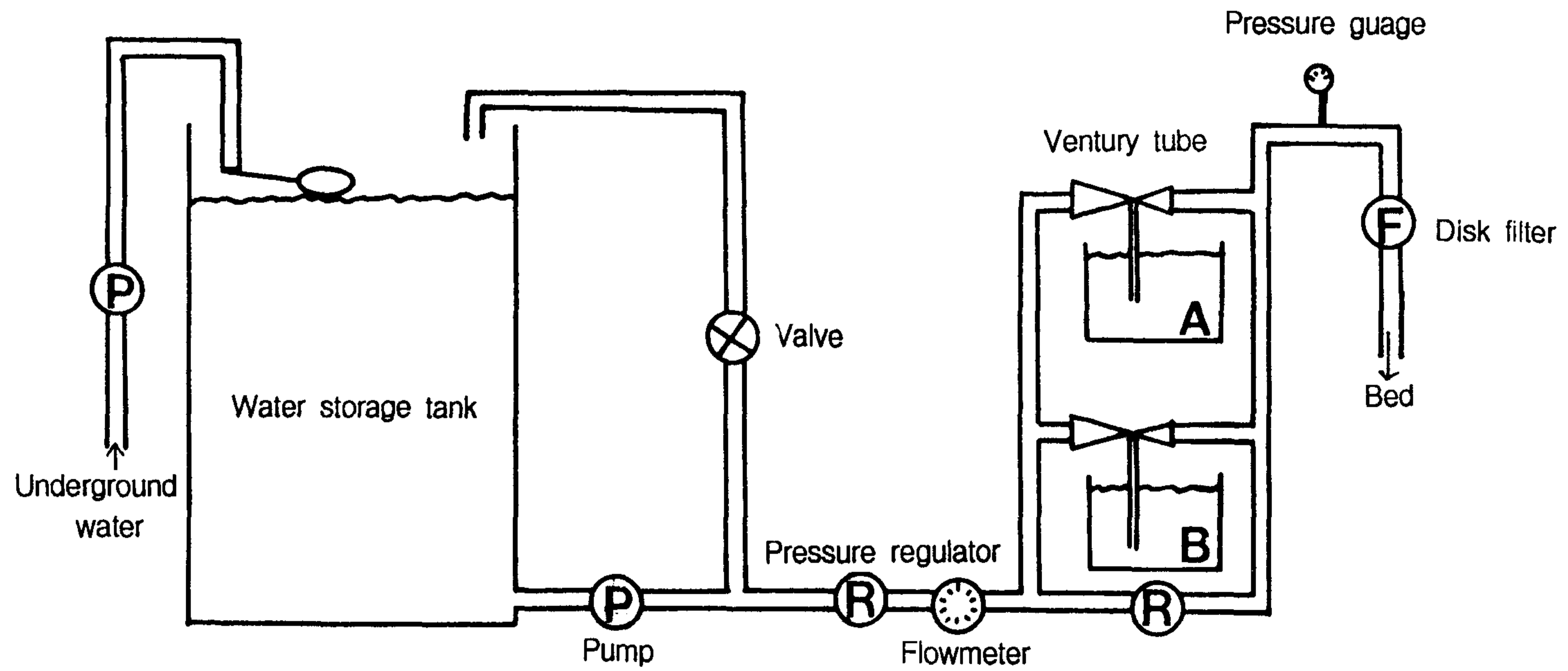


그림 2-2. 전남 구례군 구례읍 구례농고의 양액회석기(국산품)

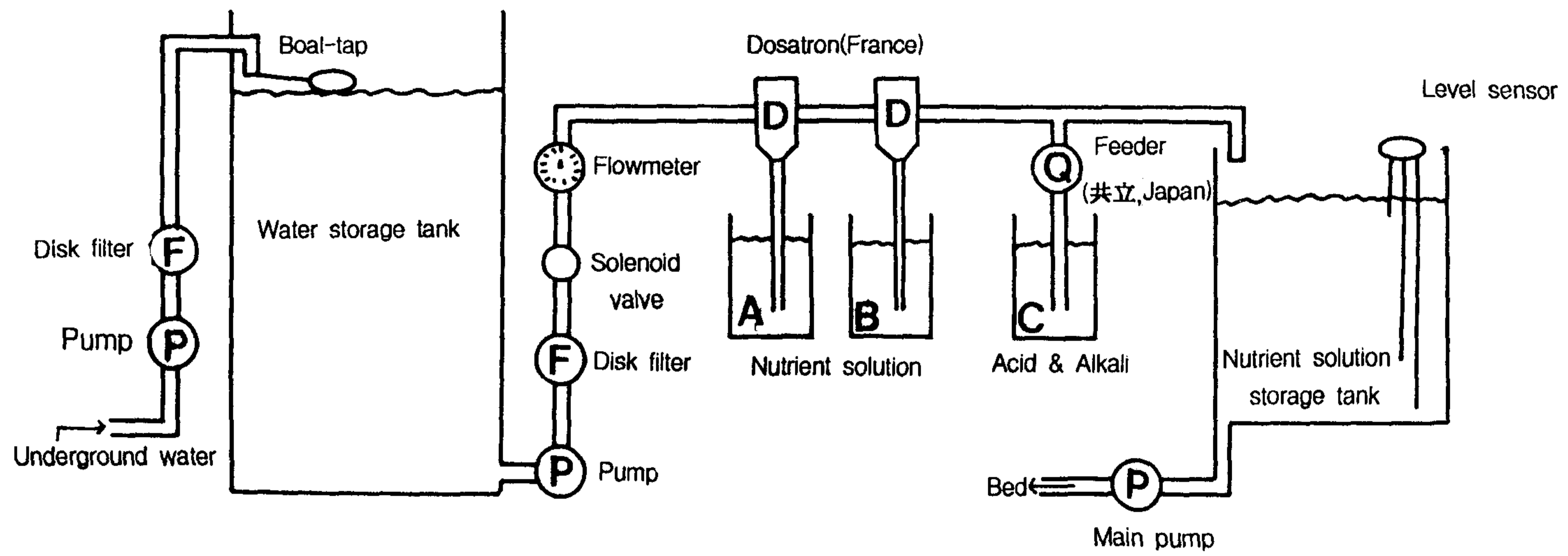


그림 2-3. 전남 장성군 장성읍 장성실고의 양액회석기(국산품)

그림 2-2는 전남 구례군 구례읍 구례농고에 설치된 양액회석기로 벤츄리관을 이용한 액비회석장치이다. pH나 EC의 조절없이 일정 유량에 따라 액비가 빨려 들어가는 식으로 농도의 조절을 위해서는 벤츄리관에 연결된 액비라인의 흡입 구멍을 선택하여 바꿔끼우거나 벤츄리관을 통하는 유량을 조절하는 방법을 사용하고 있었다. 간단한 장치로서 소규모 면적에 이용가능한 기기이나 양액의 재순환이 어렵고, pH나 EC의 임의적 조절이 불가능하다는 단점있다. 운영자에 따르면 큰 고장없이 사용할 수 있으나 생육단계별로 양액농도의 변환이 어렵고, 액비내 이물질에 의해 흡입관이 막혔을때 이를 곧바로 인지하기가 어려우며, A액과 B액이 흡입되는 양이 서로 다를 때가 많다는 것이다. 이는 벤츄리관을 통과하는 물의 유압 및 유량의 차이로 인한 흡입량의 차이이거나 흡입관로 내 이물질의 유로방해에 따른 것으로 생각되었다.

그림 2-3은 전남 장성군 장성읍에 소재한 장성실업고등학교 실험포에 설치된 양액회석기로 그림 2-3과 유사한 방식이나 벤츄리관 대신 벤츄리관과 유사한 '도사트론'을 사용해 액비를 혼입하였다. 이것은 기기 아래에 혼입량을 조절할 수 있는 장치가 부착되어 있다. 또한 pH 조절은 다이어프램방식의 정량펌프를 사용하여 조절하는 방식을 사용하였다. 원수탱크와 양액탱크를 따로 설치하여 일정량의 양액을 비축하는 방식이며 타이머를 이용하여 급액하게 된다. 이러한 방식은 간단한 장치로서 소규모 면적의 양액재배가 가능하며 고품배지경에 적합한 방식이다. 그러나, 양액을 회수하여 사용할 수 없고 EC 조절이 정확하지 못하고 생육단계에 따른 양액농도의 조절이 번거롭다는 단점이 있다.

그림 2-4는 전남 영광군 백수읍 하사리에 소재한 1500평의 유리온실에 암면 재배를 위한 시스템으로 온실자동화 관련업체(광주, Topse)에서 제작한 장치로서 pH, EC 및 급액조절이 컴퓨터에 의해 조절될 수 있도록 만든 것이다. 온실이 소재한 곳이 바다와 가까워 지하수에 함유된 염분이 많아 제염기(RO시스템)를 설치하고 있는데, 액비펌프는 모두 다이어프램방식의 정량펌프를 사용하고 있다. 회석탱크내의 pH와 EC센서에 의해 액비펌프가 작동하면 회석탱크내의 교반날개(2HP의 감속모터 사용)를 작동시켜 회석이 용이하게 하였으며, 회

석된 양액을 다시 1톤 용량의 저장탱크 4개에 분배시켜 사용할 수 있게 하였다. 이러한 방식은 양액 저장탱크의 설치가 과연 필요한가라는 의문을 갖게 하였으며, 회석탱크내의 교반날개와 모터 설치보다는 차라리 순환펌프를 이용한 회석탱크내의 교반 또는 폭기장치를 통한 교반(용존산소 공급효과)을 고려하는 것도 한가지 방법으로 고려되었다. 또한 양액회석기의 모든 장비가 너무 늘어져 있고 복잡하게 구성되어 있어 사후 관리도 복잡하고, 공간의 효율적 이용에도 불합리한 점이 지적되었다. 배관에 있어서도 접합제의 사용이 적합치 않은 것으로 여겨져 앞으로 양액누수 문제도 있을 것으로 추정되었다. 아직 공사를 진행중이라 사용상의 문제점은 청취하지를 못하였지만 온실 경영자는 양액재배를 처음 시작하는 농민으로 성공적 재배를 위한 지속적 지도체계의 미비함과 이를 해결할 수 있는 방안을 모색해 달라는 요청을 받았다.

그림 2-5는 전남 광양시 금호동의 농어촌진흥공사 광양온실의 벤로형 유리온실에 설치된 화란의 DACE사의 양액회석기를 개략적으로 나타낸 것이다. 모든 조절을 온실환경관리 컴퓨터와 연결하여 일괄적으로 조절할 수 있도록 되어 있었다. 이 장치는 순환식이 아닌 폐액식으로 사용할 수 있도록 설치되어 있으며, 액비펌프는 다이어프램방식의 정량펌프로 회석탱크없이 파이프내에서 회석되어 급액되도록 제작되었다. 액비는 A액과 B액으로 나뉘며 각각 탱크를 2개씩 설치하여 계속적 보충이 가능하도록 하였으며, 필요시 두종류의 양액을 사용할 수도 있었다. pH와 EC센서는 빠른 유속에서는 측정값의 변화가 심해 정확한 측정이 어렵기 때문에 이 기기에서는 주파이프에서 유속과 유압을 감소시킨 후 측정하는 방식을 사용하였다. pH센서의 정기적 교정이나 세척이 가능하도록 센서 양쪽에 밸브를 설치하였다. DACE사는 이러한 기기를 생산하는데 오랜 경험과 시공실적을 가지고 있어 배관라인의 구성이 좁은 공간임에도 잘 짜여져 있었으며 대규모 면적을 제어하기에 적합한 시스템이었다. 이 장치는 회석탱크가 없어 간단한 액비주입장치로서 양액의 조절이 가능하지만 가격면에서 너무 비싸다는 단점이 있었다.

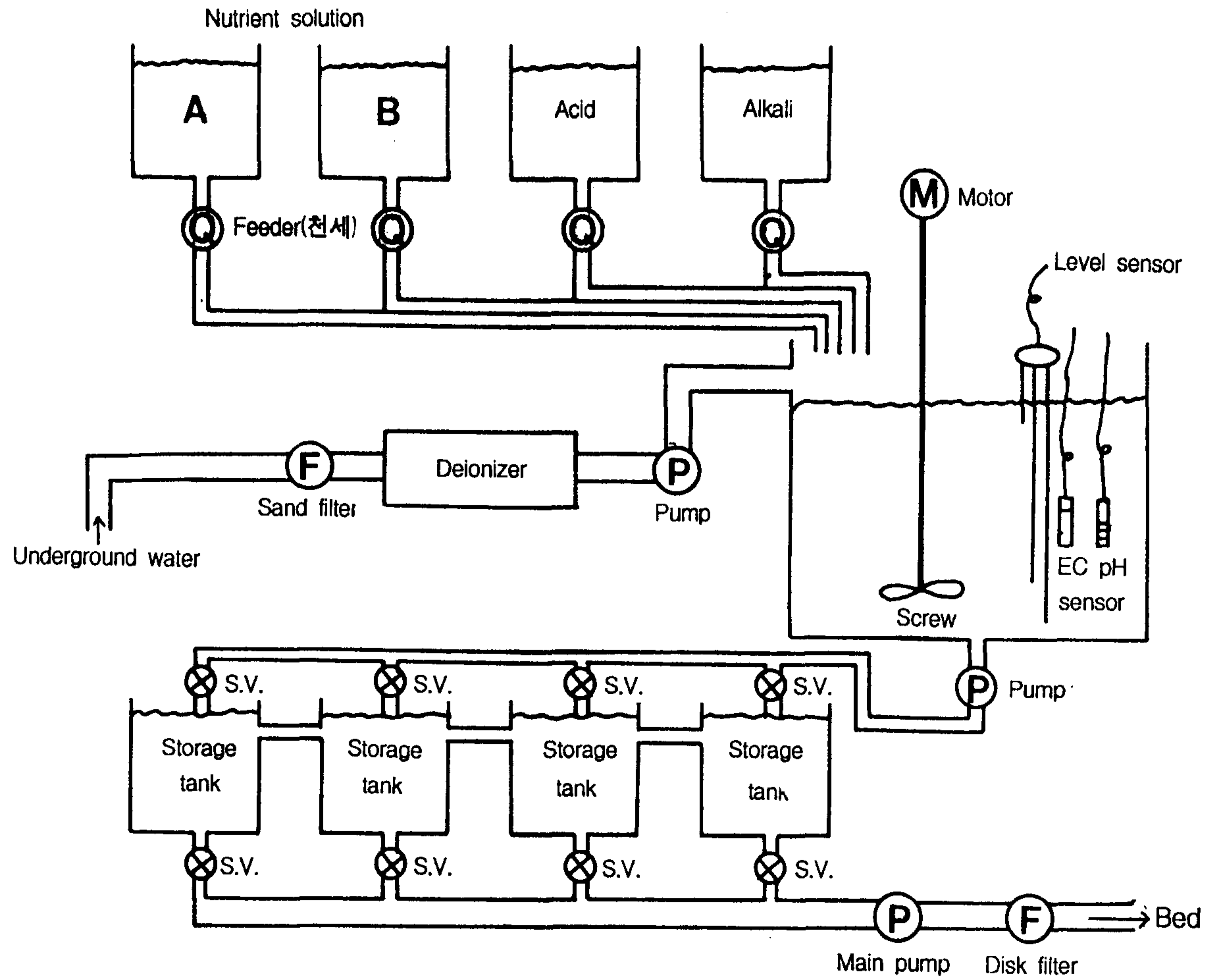


그림 2-4. 전남 영광군 영광읍 백수읍의 양액회석기

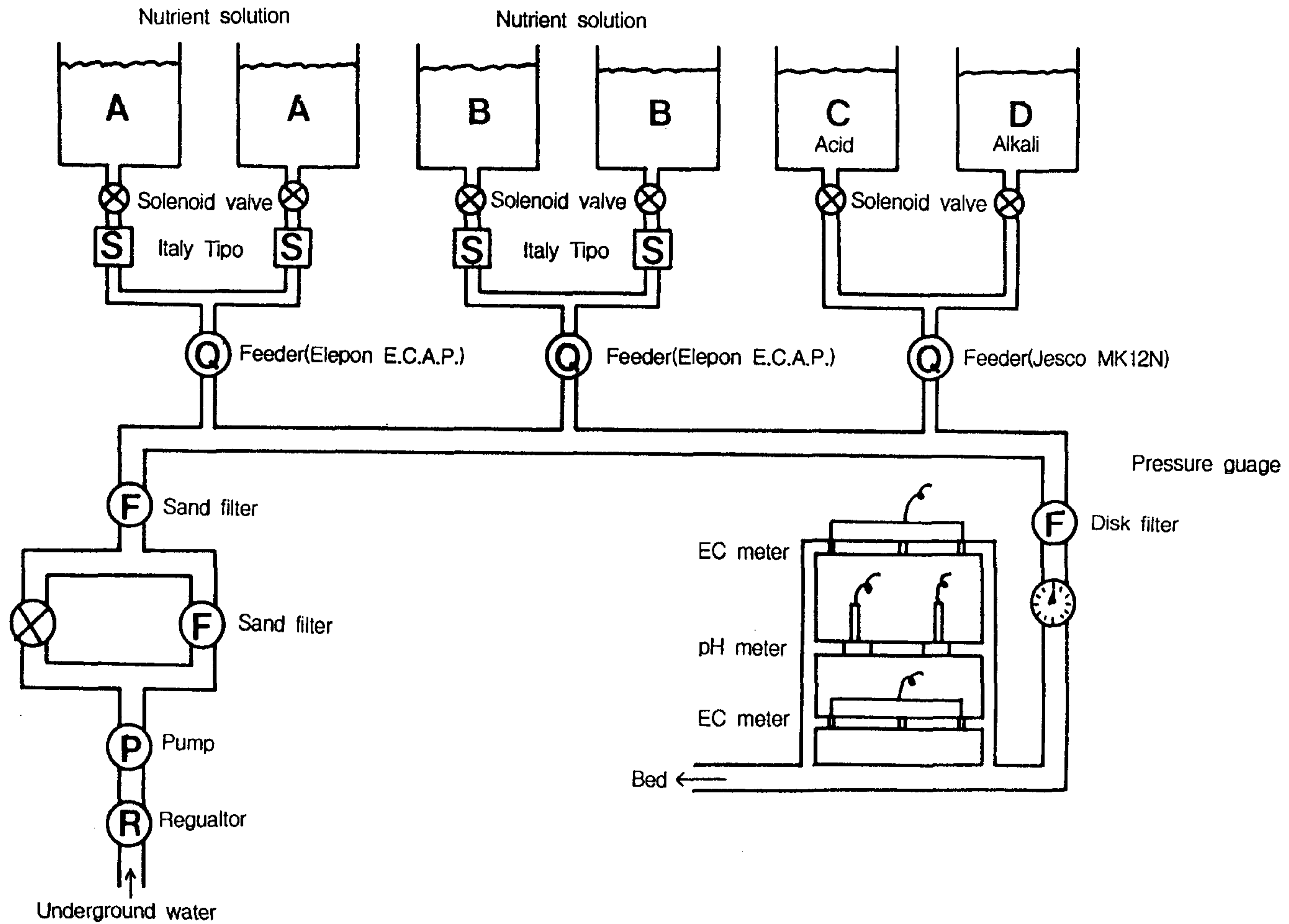


그림 2-5. 전남 광양시 금호동 농어촌진흥공사 광양은실의 양액회석기 개략도
(네델란드의 DACE사 제작)

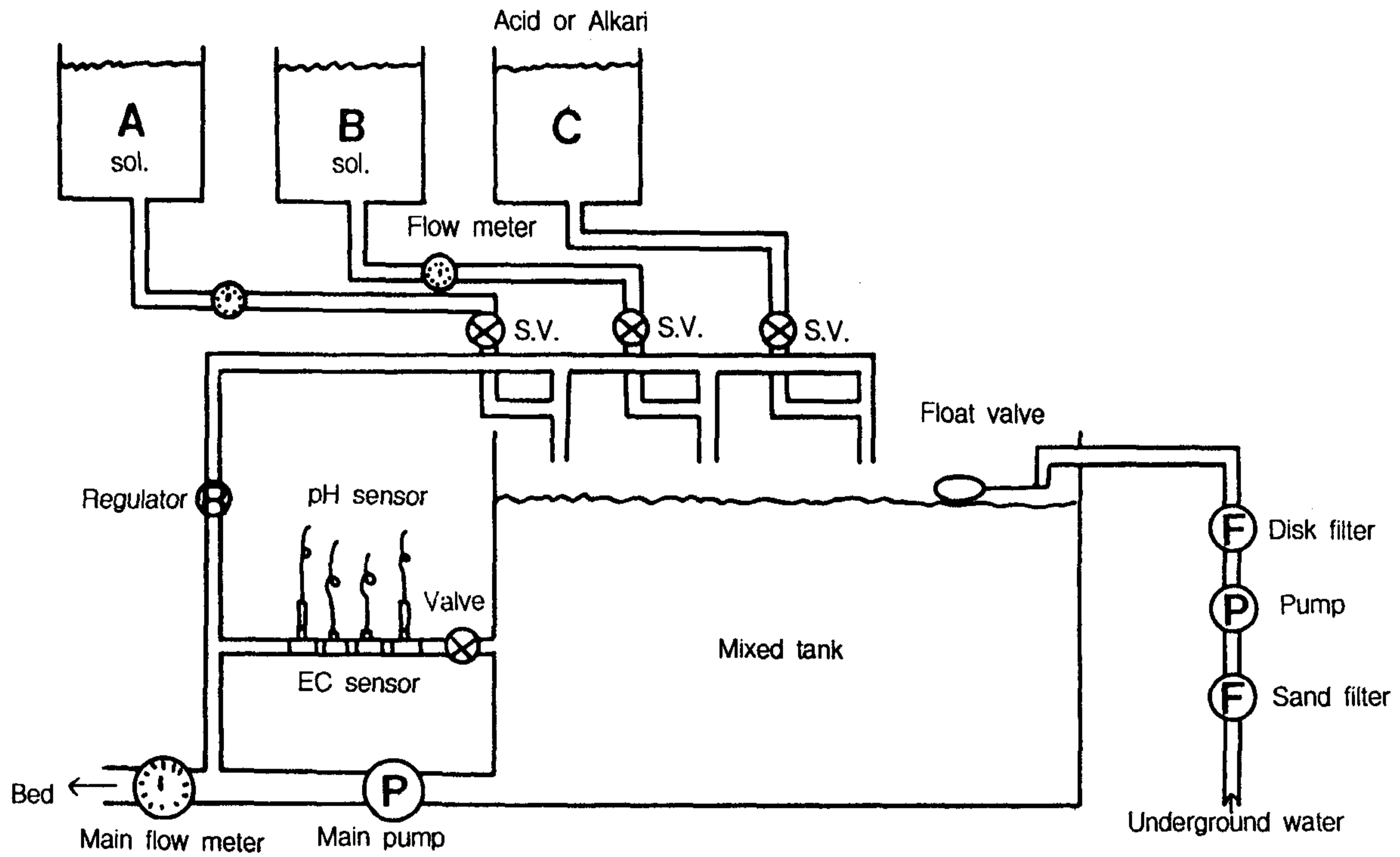


그림 2-6. 전남 광양시 진월면의 양액회석기
(네델란드의 P.v.d. Berg Techniek사 제작)

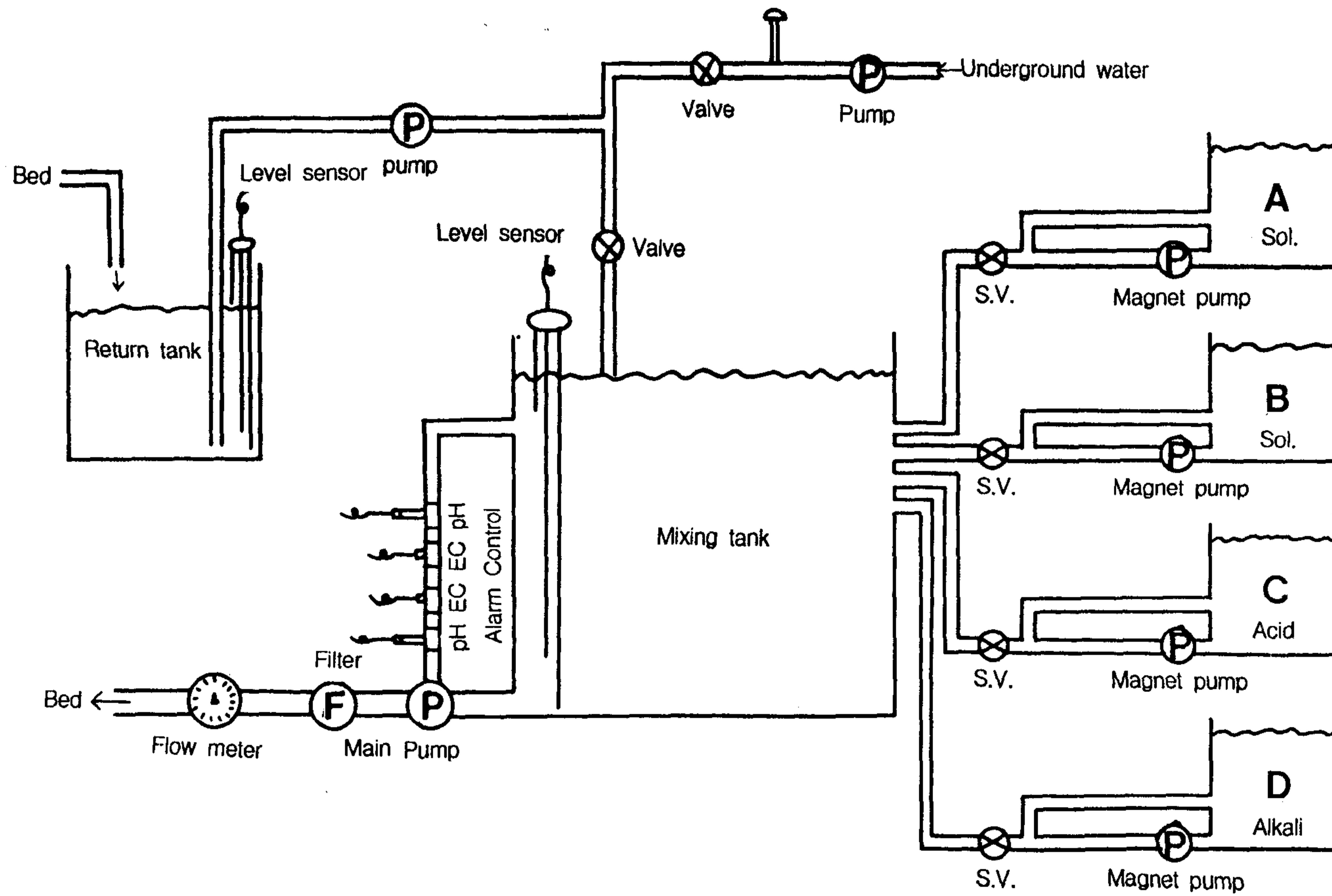


그림 2-7. 전남 나주시 산포면 산포농협육묘사업소의 양액회석기
(덴마크의 DGT-Volmatic사의 제작)

그림 2-6은 전남 광양시 진월면에 소재한 광양온실영농조합의 벤로형 유리온실에 설치된 화란의 P.v.d. Berg Techniek가 제작한 양액회석기로서 그림 2-5와는 상이한 기기이다. 순환식이 아닌 폐액식의 장치이며, 양액회석탱크가 있어 탱크내에서 회석되면서 배지로 공급된다. 액비의 공급도 액비펌프가 아닌 급액펌프의 바이패스라인이 회석탱크내로 순환되면서 액비탱크의 액비를 흡입하는 것인데 솔레노이드밸브를 통해 흡입을 조절하게 된다. pH와 EC센서는 그림 2-5에서와 마찬가지로 유량을 감소시켜 측정에 정확을 기하였으며, 이 기기 역시 온실환경제어 컴퓨터에 의해 제어되었다. 배액라인의 구성에 따라 순환식이 가능하며 대규모 재배가 가능한 시스템이었다. 이 기기는 액비펌프가 따로 설치되지 않는다는 것이 특징이지만 가격이 비싸다는 것이 가장 큰 단점이었다

그림 2-7은 전남 나주시 산포면 산포농협육묘사업소 유리온실에 설치된 양액회석기는 덴마크의 Volmatic사가 제작한 것으로 크기가 작으면서도 대규모 면적을 재배 가능한 장치이다. 이 기기의 액비펌프는 마그네트펌프를 이용하여 센서의 계측에 따라 펌프의 작동이 조절되며, 액비의 공급량은 솔레노이드밸브의 개폐에 의해 결정된다. 이 기기의 가장 큰 특징은 액비탱크의 갯수를 원하는 만큼 구성할 수 있어서 여러가지 양액을 사용하거나 선택적으로 비료량의 비율을 조절할 수 있다. 따라서 하나의 기기로 여러가지 작물을 재배할 수 있어 매우 우수한 기능을 가진 기기이나 역시 가격이 비싸다는 문제가 있다.

다. 기기에 대한 애로사항 및 현황

1. 양액회석기

이상에서 살펴 본 바와 같이 양액회석기는 자가제작한 기기에서부터 국내개발기기 및 외국으로부터 도입된 기기까지 조사한 결과 국내기기는 아직은 정확

한 제어가 어렵다는 것과 자동화 수준이 낮으며, 검증되지 않은 제품이 많아 고장이 잦고, 기기간 호환성이 낮다는 단점이 지적되었고, 이에반해 외국제품은 컴퓨터를 통한 통합적 제어가 가능하며 제어가 비교적 정확하고 다양한 기능을 가지고 있지만 기기를 조작하는데 있어 상당기간의 교육이 필요할 정도로 어려우며, 대부분의 표시가 영어 및 영문약자로 되어있어 이를 이해하지 못한다. 또한 기기가 대규모의 재배에 알맞게 되어있어 영농규모가 적은 우리나라에는 적합하지 않은 면도 있다. 가장 큰 부담스러운 점은 가격이 비싸고 신속한 A/S가 어렵다는데 있는 것으로 요약되었다. 특히, 양액재배를 하는 재배자 자신의 기기선택, 조작능력 및 고장시 대처능력의 결여 또한 장치 해결을 요하는 커다란 문제점으로 지적되었다. 따라서 보다 단순하고, 기능성이며, 저렴하고 내구성있는 국산양액희석기의 개발의 시급성이 크게 인정되었다.

2. 양액온도조절기

양액온도조절기는 대부분의 농가가 대용량의 양액탱크를 온수보일러를 통해 가온하므로써 연료비가 많이 들고 가온에 상당한 시간이 걸리게 된다. 그러나 이러한 장치도 설치하지 않은 농가가 대부분이며, 최근에는 고품배지경의 확산으로 지중난방기를 이용한 배지의 가온을 실시하고있는 농가도 있다. 근권온도가 중요하다는 인식을 대부분의 농가가 갖고 있었으며, 이를 위해 경제성 및 기능성있는 기기의 개발이 필요하다는 의견이었다.

3. 양액살균기

조사당시 남부지방의 토마토 암면재배농가에서 역병으로 약 20%의 발병주가 고사하는 상황을 목격하였지만 아직까지 대부분의 농가가 양액의 살균에 대한 인식이 부족한 상황이다. 그래서인지 국내에는 양액살균장치를 설치한 농가가 거의 없는 실정이다. 몇년전 남부지방에서 오존발생기를 통한 양액탱크내 살균

을 시도하였지만 기기의 용량이 적어 그다지 큰 효과를 나타내지는 못했다. 또한 많은 농가가 콘크리트로 제작한 대용량의 양액탱크를 설치하여 사용하고 있으며 탱크내부의 청결성에 유의하지 못해 양액내 유해균생장을 방조하고 있는 실정이다. 특히 최근에는 고품배지경에서도 양액의 순환식 재배가 늘고 있는만큼 양액을 통한 유해균의 급속한 전염이 가능한만큼 양액살균기의 개발 및 설치는 필수적이라는 의견이 지배적이었다.

참 고 문 헌

1. 강종구, 양승렬, 양원모. 1993. 양액재배 상품의 생산과 유통실태 및 개선방향. 순천대학교 농업과학연구. 7 : 99-112.
2. 김광용, 박상근. 1992. 수경재배. 오성출판사.
3. 박권우. 1988. 세계의 시설원예(1). 시설원예연구 1 : 88-94.
4. 박권우, 김영식. 1991. 수경재배의 이론과 실제. 고려대학교 출판부.
5. 서울대 농업개발연구소. 1993. 국내 시설원예 산업 발전을 위한 심포지움. - 농업발전과 시설원예산업의 역할. pp 12-15.
6. 이병일 외. 1993. 신제 시설원예학. 향문사.
7. 정순주. 1993. 우리나라 양액재배 현황과 발전전망. 호남지역 양액재배 발전 전망과 기술적 대응 세미나. pp 3-70.
8. 西貞 夫. 施設園藝における養液栽培現況と將來. 季刊肥料 46 : 12-21.
9. 池田英男. 1986. 養液栽培の理論. 季刊肥料 : 37-47. 肥料協會新聞部.
10. 日本施設園藝協會. 1991. 施設園藝における養液栽培の手引.
11. 高橋滿夫. 1986. 養液栽培の現況と今後の展望. 季刊肥料 46 : 22-30.
12. 板木利隆. 1983. 施設園藝・裝置と栽培技術. 誠文堂.
13. 山崎肯哉. 1982. 養液栽培全篇. 博友社.

14. 山崎肯哉. 1986. 養液栽培技術の發展經過と今後の方向. 農業および園藝 61:107-114.
15. Benoit, B. 1990. Economic aspects of ecologically sound soilless growing methods. Vegetable Res. Sta., B-2580 Belgium.
16. Cooper, A.J. 1979. The ABC of NFT. Grower Books.
17. Cooper, A.J. 1985. Hydroponics worldwide : State of the art in soilless crop production. pp. 180-185.
18. Gericke, W.F. 1940. The complete guide to soilless gardening. Prentice-Hall, New York.
19. Jensen, M.H. and W.L. Collins. 1985. Hydroponic vegetable production. Hort. Rev. 7 : 483-558.
20. Nelson, P.V. 1991. Greenhouse operating and management. Prentice Hall.
21. Resh, H.M. 1993. Hydroponic food production. Woodbridge Press Pub. Company.
22. Saunby, T. 1974. Soilless culture. Atlantic Arts, Inc.
23. Tibbits, T.W. and R.J. Bula. 198. Growing plants in space. In. Reports of international symposium on high technology in protected cultivation. Pub. Chiba Univ. Japan. pp 133-142.

제 3 장 양액희석기 개발

제 1 절 서 설

양액재배에 있어서 배양액 조절, 즉 근권의 환경조절은 배양액의 온도, 비료 성분의 농도, pH 및 용존산소농도 등을 대상으로 한다. 이들의 관리는 분무경, 수경, 고행배지경 등으로 불리는 양액재배 방식에 따라 서로 다르고, 필요에 따라 그때그때 EC(배양액의 전기전도도) 및 pH를 측정하여 조정하는 정도의 수준에서부터 연속적인 검출 및 조절하는 경우, 특히 일사량 등 지상부 환경조건, 생육단계 등의 요소를 조합하여 총합적인 조절을 하는 수준까지 다양하게 시도되고 있다.

최근에 들어 식물공장 등으로 불리우는 고농틀과 주년적인 채소생산양식이 주목되고 있지만 그 경우 대부분이 양액재배를 채용하고 있으며 배양액조건의 최적화, 관리의 생력화는 그 실용화를 위해 중요한 요건이 된다. 또한 현재 농가에 보급되고있는 양액재배에 있어서도 생산성의 향상, 규모확대, 새로운 시스템 및 장치의 도입과 같은 대응책을 강구하고 있으나 여하한 경우라도 배양액의 조절은 중요시되어야 하며, 궁극적으로 최적화 관리를 위한 자동화가 이루어져야 한다고 생각된다.

양액재배에 따른 관리는 크게 작물관리 및 양액관리로 구분할 수 있다. 작물관리의 자동화를 위해서는 각 작물에 대한 이론적, 경험적 재배지식 및 자료가 필요하기 때문에 효율적인 실현에는 많은 시간이 걸릴 것이다. 양액관리는 크게 양액조성, 양액제어, 양액조제 등으로 구분할 수 있는데 양액조성은 오래전부터 각 이온의 적당한 비율에 의한 생산량 등을 검토하므로써 적정비율을 정한 계통적 변량법과 작물의 흡수량을 직접 분석하거나 외관상의 흡수량으로 작물체에 흡수비율을 결정하는 방법 등으로 결정하였다. 따라서 작물별, 생육단계

별, 시기별 각종 조건에 대하여 가장 최적의 양액조성을 추구하는 연구가 계속 되어 왔다.

최근 양액의 연속적 계측 및 제어기술이 발달하기 시작하면서 상기의 양액조성 연구 이외에도 양액제어에 관한 연구도 활발하게 시작되고 있으며, 외국에서는 이미 상당부분 진행되어 다양한 상품의 생산화도 활발하다. 합리적인 양액관리의 기본적인 취지는 초기의 양액조성이 최적의 조성이 아니라도 시간경과에 따라서 필요로 하는 이온을 선택적으로 공급할 수 있다면 충분한 양액관리가 가능하다는 점이다. 따라서 이러한 관점에서 최적양액조성을 정적 양액관리라 한다면 양액제어는 동적 양액관리라고 할 수 있다.

양액제어는 대상요소의 계측과 제어로 구성되는데 양액조성의 제어를 위한 계측부분은 아직까지 실험실 수준이며 실용화와는 거리가 있다. 궁극적으로는 전이온을 연속적으로 분석해 부족량을 자동적으로 추가하는 시스템의 개발이 필요하다. 최근 자동분석기술은 현저히 발전하고 있지만 이러한 시스템의 실용화에는 아직 이르지 못하고 있다.

또한 비료염 단위가 아닌 이온농도별로 투입량이 결정되었을 경우 정확하고 효율적인 양액의 조제가 따르지 않으면 양액조성이나 제어의 의미가 반감된다. 특히, 재배자의 고유한 생각이나 경험에 기초를 둔 양액조성을 고려할 경우 효율적인 양액조제 방법이 필요하다. 최근 양액관리의 자동화가 진행됨에 따라 양액조제의 중요성이 크게 부각되고 있어 양액관리의 중요한 부분중의 하나가 되었다.

최근 우리나라에서도 이러한 양액관리기기의 도입과 보급이 활발해 지고 있어 양액재배 시스템에 있어서 배양액 온도, EC, pH, 용존산소농도 및 급액제어 등의 조절을 자동적으로 할 수 있으나 전체적으로 양액재배에 관한 기초지식이 부족한데다 경험 또한 일천한 가운데 양액관리기기의 대부분이 자체적으로 제작되어 제어 자체가 조잡한 경우가 많으며, 외국의 양액회석기를 도입하여 사용하고 있는 경우 제어에 대한 기본 개념의 부족과 조작의 복잡성 때문에 이용 효율이 높지 못하고 사용가능한 기능 외에 다양한 기능확장 부분까지 지나치게

많으며, software도 우리나라의 여건에 잘 맞지 않는 경우가 있는데다 금액 또한 고가로 외화의 유출이 심한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 사람에 의해 조절되는 것보다 더 정밀한 배양액의 조절이 가능하여 생력화를 기대할 수 있고, 양액재배 시스템의 이상을 검출하는 기능에 의해 위험을 방지하고 생산의 안정화를 도모할 수 있으며, 조작의 간편성, 제어의 확실성, 가격의 저렴화 등을 이룰 수 있는 양액회석기의 개발에 목표를 두고 수행하였다.

제 2 절 재료 및 방법

가. 계측부

계측부는 대부분 센서로 구성되어 제어의 대상을 검출, 현재의 상태를 측정하는 것으로서 EC, pH, 양액온도로 구분하였다.

1. 온도센서

양액온도는 작물체에 양수분 공급 및 뿌리의 생육과 밀접한 관계를 가지고 있다. 특히, 배양액내의 용존산소농도는 온도증가에 반비례하는 성질을 가지고 있기 때문에 하절기 양액온도의 상승에 따른 용존산소가 급격히 감소하므로 각 별히 신경을 써야할 중요한 근권환경 조절인자중의 하나이다. 온도센서는 배양액 또는 배지의 온도관리를 위해 사용되는 것으로 근부의 생육적온에 대하여 동계의 저온, 하계의 고온에 따른 생육장해방지를 위한 조절에 사용한다. 측온저항체 또는 thermostat(반도체)가 많이 실용화되어있다.

온도센서의 정밀도, 응답성 등 특성상의 문제는 거의 없지만 취급면에서는 6개월~1년정도마다 교정이 필요하며, 파손이 쉽다는 등 약간의 문제가 남아있

다. 본 연구에서는 온도센서를 thermostat를 이용, 양액회석기 내부의 회석된 양액의 온도조절을 위해 사용되었으며 온도의 범위는 15~25℃이다. 구체적인 내용은 4장의 양액온도조절기 항에서 자세하게 설명하였다.

2. pH(수소이온농도지수 : $\text{pH} = \log_{10}[\text{H}^+]$)

수용액의 산도(pH)는 용액중에 포함된 이온농도 또는 수소이온농도의 대수치로서 정의되는 상수이며, 용액의 산성 또는 알칼리성을 나타내는 척도로서 널리 이용되고 있다. 산도의 측정방법에는 유리전극법, 전지법, 안티몬 전극법 등이 있으나 일반적으로 유리전극법이 널리 사용되고 있다. 유리전극법은 용액의 조성이나 온도에 무관하게 일정한 전위를 나타내는 기준전극과 유리전극 사이의 전위의 차이에 의해 측정하는 방법이다. 여기서 유리전극은 용액의 pH에 비례하여 기전력을 발생하는 특수한 조성의 유리박막을 선단으로 하고, 그 내부에 전극 내부액과 전극을 봉입하여 만들어진다.

배양액의 pH를 적절한 범위로 관리하기 위해 이용하는 센서로 일반적으로는 추비후에 사용한다. 적절한 pH의 범위는 5.5~6.5로 pH가 낮으면 KOH나 NaOH를, 높으면 H₂SO₄를 첨가하여 조정한다. pH센서(유리전극)의 원리는 유리박막의 양측에 pH가 다른 2종의 용액이 있다면, 유리박막의 양면에 pH의 차에 비례하는 전위차가 생기는 것을 이용한다. pH센서의 정밀도는 표준액의 pH를 측정할 때의 재현성이 2%이내(정밀측정용), 5%이내(보통측정용), 10%이내(간이측정용)로 구분된다.

pH에 관해서는 작물의 생육에 직접 영향을 주기 때문에 오래전 자동제어장치를 사용하게 되었다. 작물에 따라 적정범위가 다소 차이는 있지만 일반적으로 pH 5.5~6.5범위로 제어를 하게되며, 일반적으로 산과 알칼리 액을 사용하여 조절한다.

본 연구에서는 유리전극법의 산도측정기를 사용하였으며, 측정범위는 pH 0~14이며, 정확도는 0.2pH 또는 전입력오차율 2% FS, 응답시간은 10여초 내외이다. 또한 온도보상과 더불어 전극표면의 주기적인 세척을 위해 해체와 결합이 용이하게 설치하였다.

3. 전기전도도(electric conductivity : EC(mS/cm))

전기전도도는 단면적 1cm^2 , 거리 1cm 의 평행전극간에 있는 용액의 전기저항의 역수로 정의된다. 작물 생장에 필요한 각종 무기물을 조합시켜 조제하는 양액에는 여러종류의 전해물질이 용해되어 이온형태로 존재한다. 이들 각각의 이온량을 측정하면 각각의 무기물의 양을 개별적으로 파악하는 것이 가능하지만 기술적으로 어려움이 많고 비싼 장비가 요구될 뿐만 아니라 분석에 시간이 많이 요구된다.

따라서 전기전도도를 측정함으로써 배양액중에 포함되어 있는 전체 이온량의 변화를 추정하는 방법이 사용되고 있다. 실용적인 양액농도에서와 같이 이온의 조성이 변화하지 않는 상태에서는 전기전도도가 양액의 농도에 비례관계에 있으므로 전기전도도를 측정하여 양액농도를 추정할 수 있다.

전기전도도의 측정원리는 다음과 같다. 두 전극의 양단에 전위차가 있을 경우 하전입자의 이동에 의해 전류가 흐른다. 이때 전극사이를 통하여 흐르는 전류는 양액중에 포함된 무기 양분의 농도에 비례하기 때문에 양액의 조성변화에 따라 두 전극 사이의 전기전도도가 변화하게 된다.

실제 전기전도도의 측정에는 백금전극 사이의 임피던스를 측정하는 방법이 일반적으로 이용되고 있다. 본 연구에서 사용된 전기전도도 센서의 측정범위는 $0\sim 20\text{mS}$, 정확도(전입력오차율)는 $0.5\sim 2.0\%FS$, 응답시간은 10여초 내외이다. 교정은 표준용액을 사용하여 실시하며 온도보상과 전극표면의 주기적인 청소가 필요하다.

용액의 전도도는 온도를 변화시키면 $2\%/^{\circ}\text{C}$ 정도 변화하는 성질이 있으므로 측정시의 온도를 알아야할 필요가 있다. 또한 전도도값을 비교할 경우 같은 온도에서의 값으로 비교하여야 한다.

그 외에 용존산소와 일사센서가 있으나 차후 연결이 가능하도록 하였다.

나. 제어부

1. 양액의 농도제어

양액의 EC는 이화학적 특성이 다른 각 이온의 EC의 합으로 이루어지기 때문에 순환식 재배방식일 경우 작물의 선택적 흡수에 의하여 양액내의 이온간의 균형은 시간의 경과와 함께 파괴된다. 특히 저농도의 양액일수록 양액의 유효성이 급속히 감소하기 때문에 빨리 교환할 수 밖에 없다. 따라서 가능한 양액의 유효성을 장기간 유지하도록 하는 방안이 필요하다. 양액의 제어방법에는 다음과 같은 종류를 고려할 수 있다.

① 수위에 의한 제어 : 작물이 흡수하는 각 이온의 비율이 양액내의 각 이온의 비율과 동일하다고 가정하여 탱크내의 수위에 의해서 양액을 공급하는 방식이다. 이 경우 물과 비료의 혼합비율은 일정하게 한다. 그러나 계절에 따라서 증산량이 상이하기 때문에 혼합비율을 보정한다. 즉 여름의 경우는 증산이 활발하기 때문에 겨울보다 혼합비율을 낮게 한다. 기본적으로 EC를 기준으로 하지 않기 때문에 EC가 변동하는 사례가 있다. 본 연구에서는 이러한 실용화가 용이한 제어방법을 저가보급형에 채용하고자 하였다.

② EC sensor에 의한 제어 : EC sensor를 사용하여 양액농도를 조절하는 방법으로 대체적으로 연속적 측정과 monitoring을 통하여 실시한다. 일단 탱크내의 수위를 검사하여 부족분의 물을 공급한 후 재측한 EC미터의 값과 설정치와 비교하여 일정치 이하일 경우는 농축된 액비(100배액)를 혼합한 후 주입한다. 본 연구에서는 이 방법을 고가 정밀형에 채용하여 회석탱크에서 나오는 EC와 pH를 재측하여 설정치와 비교하여 연속적으로 액비펌프를 통해 제어할 수 있도록 하였다. 기존의 EC sensor는 불용화된 Ca^{++} , Mg^{++} 이온에 의해 손상이 많아 내구성에 문제가 발생하는 것을 감안하여 양액혼합탱크에서 정밀한 pH제어(6.0이하)를 통하여 상기의 발생가능한 문제점을 회피하였다.

③ 부분 이온전극에 의한 제어방법 : 이온농도를 손쉽게 측정할 수 있다면 거의 완벽한 양액제어가 가능하다. 실제로 이온농도를 연속적으로 재측하는 기술은 실험실 수준에서 유리전극을 사용하여 이루어지고 있으나 실용적인 차원에서는 일부 이온에 지나지 않는다. 그러나 몇개의 이온제어 만으로도 상당부분의 성과가 있게 되는데 부분 이온전극에 의한 제어방법이 그것이다. 예를 들어 K^+ , NO_3^- , Ca^{++} 정도의 제어만으로도 상당부분 양액의 유효성 감소를 줄일 수 있다. 왜냐하면 K^+ , NO_3^- , Ca^{++} 이 양액내의 이온의 불균형에 미치는 영향이

매우 크기 때문이다. 그러나 각 이온의 센서를 효율적으로 유지관리가 곤란하고 calibration 등의 작업을 계속적으로 해야하는 불편함과 장치가 고가이기 때문에 당해년도 연구개발품의 대상에서 제외하였으며, 차기년도의 급액관리 package software 개발대상에 포함하여 더욱 발전된 복합센서의 활용을 계획 중에 있다.

④ 이온크로마토그래프에 의한 방법 : 이 방법은 전체 무기이온을 이온크로마토그래피에 의한 방법으로 분석해내는 방식이다. 현재는 batch방식으로 사용하고 있지만 기술적으로는 이온크로마토그래프를 약간 개조하면 가능한 실험실적 방법이다. 본 연구에서는 가격이 고가라는 점과 대규모 시설의 제어가 곤란한 점을 들어 본 방식을 대상에서 제외하였다.

2. 제어방법

다양한 제어방법이 있으나 본 연구에서는 다음과 같은 제어수단과 논리를 복합적으로 이용하여 적정제어가 가능하도록 하였으며, 동일 controller에서 제어 되도록 설계하였다.

① 타이머제어 : 시간경과에 따라서 제어하는 간단한 방법으로 실제 많이 사용 - 야간 급액 및 저가 보급형에 채용

② ON-OFF제어 : 설정치에 준해서 제어기기를 on-off시키는 방법으로 실제 많이 사용하고 있다. pH, EC의 제어 등에 사용 - pH, EC, 유량 및 배지내 수분에 따른 급액제어에 채용

③ PID제어 : 편차(동작신호)의 비례치, 적분치, 미분치를 고려하여 조작량을 결정하는 방법이다. 양액의 경우 monitoring time이 길기 때문에 많은 문제점이 있다. - 적산일사량 비례제어방식에 채용

$$Q = K(e + T_d \frac{de}{dt} + \frac{1}{T_i} \int e dt)$$

여기서, Q(t) : 제어량, e : 편차, K : 비례상수, T_d : 미분상수, T_i : 적분상수

④ 적응(adaptive) 제어 : 상황에 따라 제어상수를 변화시키는 방법으로 PID 제어에서 비례상수 K를 부하량의 상승의 요인에 따라 변화시킴.

⑤ 기타 : 퍼지제어, 인공지능 방법을 사용한 각종 용하고 있지만 기술적으로는 이온크로마토그래프의 가격과 기기의 복잡성으로 고려의 대상에서 제외하였다.

특히, 외국에서 도입되고 있는 제어프로그램의 경우 제어요소와 프로그램이 한국 농민의 수준과 차이가 많아 실제현장에서의 정밀제어가 어렵기 때문에 본 연구에서는 제어논리를 가능한 통합, 단순화시키므로써 차기년도 개발계획인 작물별 급액관리 software와의 논리편차를 줄이는데 최대의 목표를 두고 설계하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

가. 양액관리의 자동화 시스템 개발

① 방식선택의 기본요소 : 경제성 고려, 노동력 절감 기능성, 안전설비, A/S의 용이, 양액누출 방지 등을 고려하였다.

② 설비 및 장치 : 구성요소는 베드, 배양액탱크, 급배액 장치, 부대장치(여과 및 공기주입장치), 용해장치 등이다.

나. 양액희석장치의 구성

① 수소이온 전극 : 산도(pH)

본 연구에서는 유리전극용 내부 전극과 기준전극에 모두 전해법으로 제조한 은염화은 전극을 사용하여 동일한 지지관에 봉입시킨 복합 전극(combination electrode)으로 일반적으로 구입하기 쉽고 교체가 용이한 것으로 선정하였다.

- 측정범위 : 0 ~ 14 pH

- 감도 : 4 ~ 20 mA

- 전원 : 12 ~ 30V DC

- 모델 : 전극 : HANNA HI191B/5

전송기 : HANNA HI8614

연결구 : HANNA HI6054B

pH sensor는 2개를 부착하였으며, 하나는 조절용, 다른 하나는 경보용의 기능을 선택하였다. pH와 EC sensor의 부착위치는 주급액관에서 유량을 조절하여 희석탱크로 연결시킨 by-pass관로에 설치하였으며 이는 관로내 유압과 유속에 의한 전극의 파손방지와 계측의 안정성을 도모하기 위한 것이다.

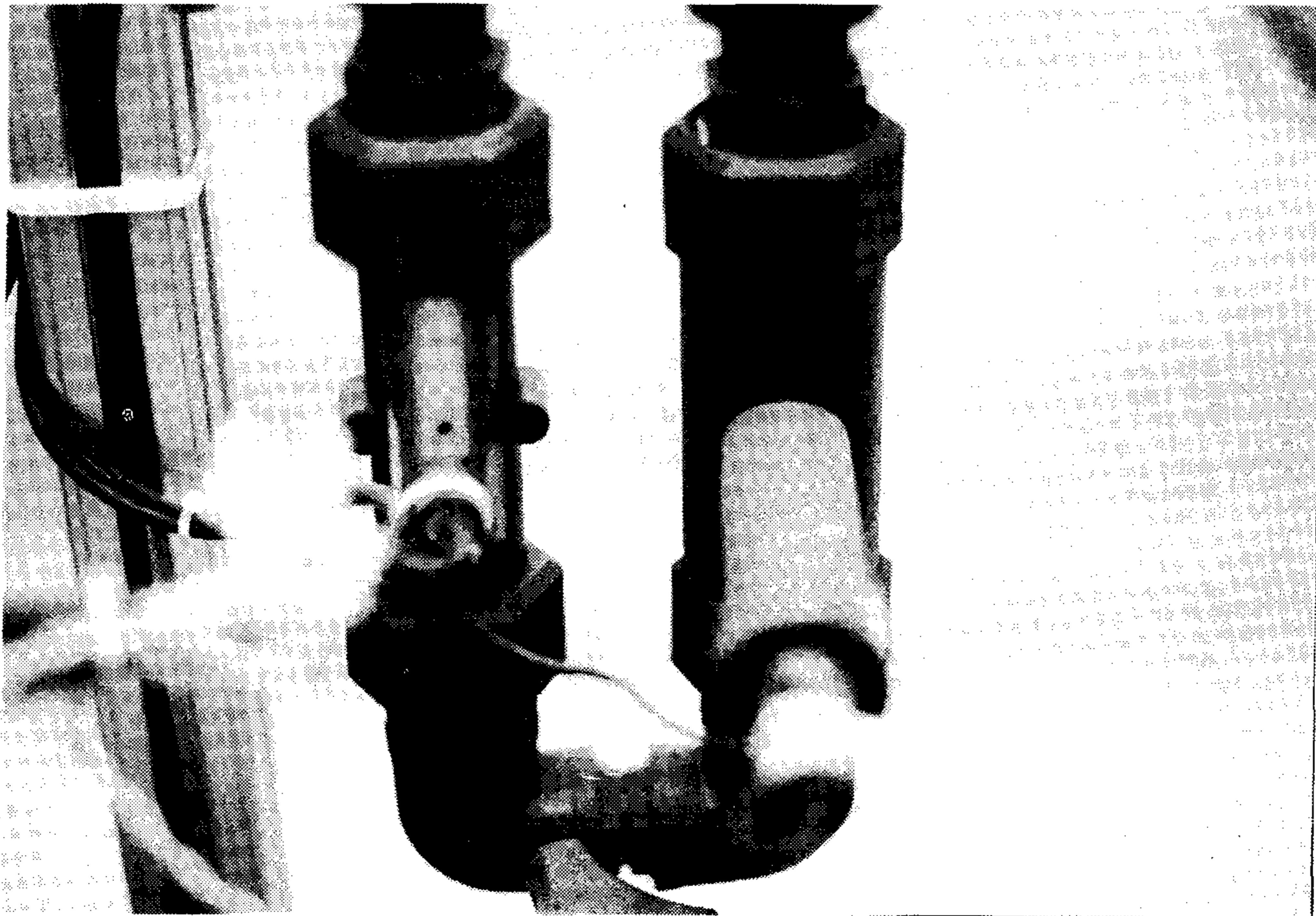


사진 3-1. 양액희석기에 부착된 pH sensor(HANNA HI191B/5)
및 EC sensor(HANNA HI7635)

② 전기전도도 전극 : 전기전도도(EC)

작물에 필요한 각종 무기물을 조합시켜 제조된 양액에는 여러종류의 전해질이 용해되어 이온형태로 존재하기 때문에 두 전극의 양단에 전위차가 있을 경우 전하입자의 이동에 의해 전류가 흐르게 된다. 이때 전극사이를 통하여 흐르는 전류는 양액중에 포함된 무기양분의 농도와 비례하기 때문에 양액의 조성변

화에 따라 두 전극 사이의 전기전도도(EC)가 변화하게 된다.

검출셀을 통과한 전류는 수십~수백 μA 범위의 교류신호이므로 먼저 적절한 성능을 가진 증폭기에 의해 전압으로 변환된후 정밀 정류회로에 의해 직류로 변환되어야 한다.

본 연구에서는 반응성이 우수한 백금전극으로 만들어진 sensor를 사용하였으며, 자세한 사양을 보면 다음과 같다.

- 측정범위 : 0.00 ~ 19.99 mS/cm
- 출력 : 4 ~ 20 mA
- 전원 : 12 ~ 30V DC
- 모델 : 전극 : HANNA HI7635 전송기 : HANNA HI6054B

pH sensor와 마찬가지로 2개의 sensor를 pH sensor와 같은 관로에 설치하였다.

③ 광전센서 : 일사제어

기존의 타이머를 이용한 급액조절은 간단하지만 작물, 품종, 생육단계, 계절 및 배지의 특성을 고려한 급액이 곤란하고 재배기간중의 날씨의 변화에 따라 급액량의 과부족이 나타나기 쉽다. 그러나 작물의 수분흡수량과 일사량간에는 고도의 상관관계가 있기 때문에 적산일사량에 의한 급액조절은 작물의 수분요구를 만족시키고 배양액의 손실도 최소화할 수 있다는 장점이 있다.

- 전압 : DC 24V
- 내부전력소모 : < 1.2VA
- 출력 I(일몰) : $U_A = \text{DC } 0 - 10\text{V} = 0 - 10\text{klux}$, $I_{A\text{max}} 5\text{mA}$
- 출력 II(주간) : $U_A = \text{DC } 0 - 10\text{V} = 0 - 100\text{klux}$, $I_{A\text{max}} 5\text{mA}$
- 감응속도 : 100 μsec (10-90%)

④ 액비 정량펌프 :

본 연구에서는 농축배양액 A, B, 산도조절용 산, 알칼리를 공급하기 위하여

정량펌프를 사용하였다. 실험에 사용된 펌프는 두가지 종류를 선택하여 그 성능을 비교하였는데 그것은 다이어프램을 이용한 용적형 펌프와 피스톤방식의 용적형 펌프이다. 가격면에서 피스톤방식이 더 저렴하고 유량을 초음파로 측정하여 나타낼 수 있는 장점이 있어 피스톤방식을 선택했다.

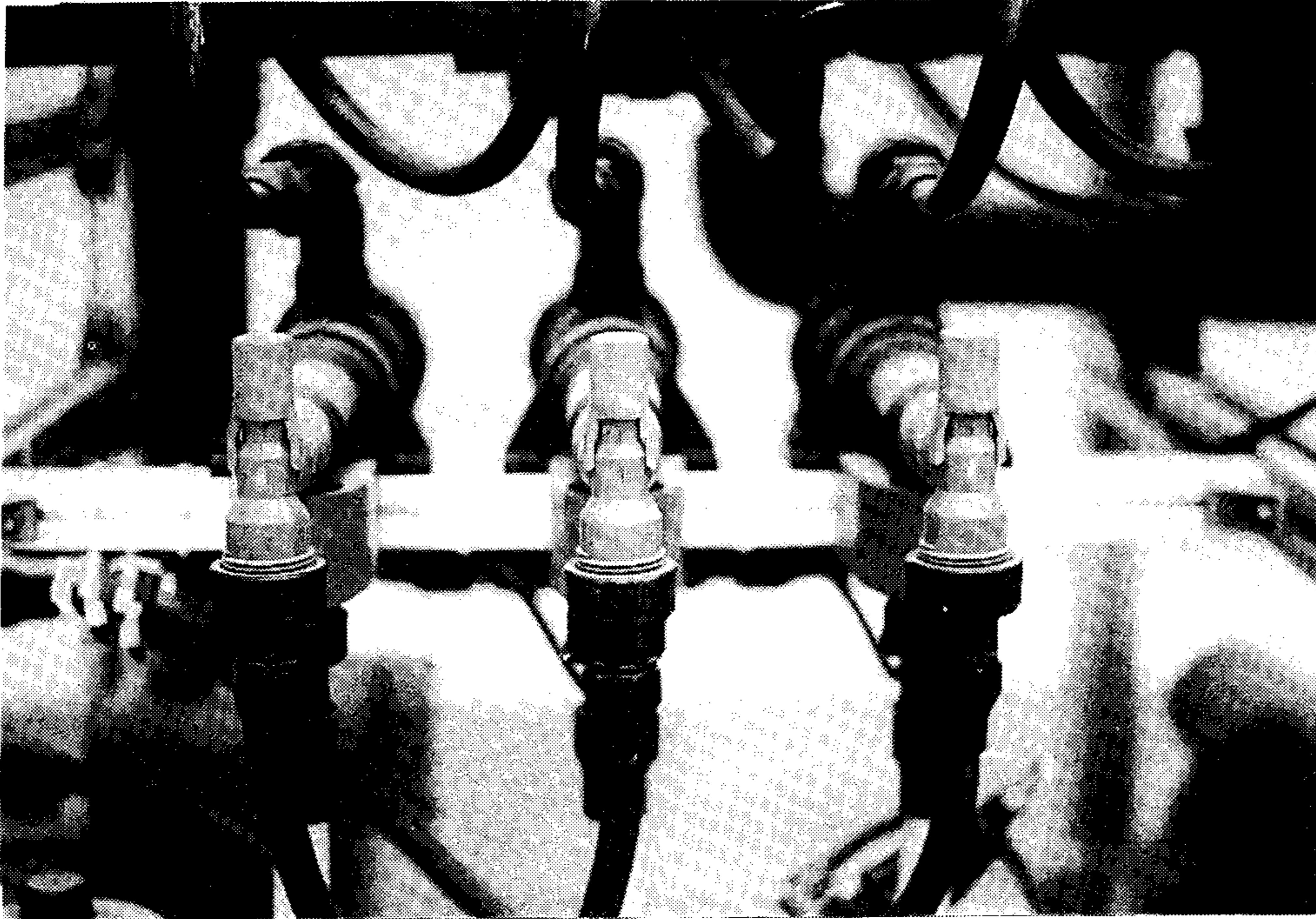


사진 3-2. 양액회석기에 부착된 액비펌프(고가 정밀형)

기기의 주요 특징을 보면 다음과 같다.

- 주입용량이 크고 농축양액 소진시 자동으로 정지된다.
- 별도의 동력이 필요없이 main pipe의 수압을 이용하여 작동한다.
- 주입회수가 압력에 비례하나 1회주입량은 일정하다.
- 주입유량 : 80 ~ 320l/hr
- 작동압력 : 0.5 ~ 8.0 bar
- 소모유량 : 주입되는 액비량의 3배
- 1회주입량 : 1 pulse당 1/30l(33cc)
- 저가 보급품에는 내산성 마그네트 펌프를 이용하여 on-off제어로 액비를

보급한다.



사진 3-3. 양액회석기에 부착된 액비펌프용 마그네트 펌프(저가 보급형)

⑤ 유량계 : 저유량 정밀 관수시설의 컴퓨터 접속용 유량계량 및 메인밸브의 원격 개폐장치를 부착하였으며 그 특징을 보면 다음과 같다.

- 터빈형 원리와 수류조정장치로 직관부 연결없이 정밀 계량 실현
- 솔레노이드 밸브 부착 수압작동식 개폐, 메인밸브 기능
- 펄스 전송기능으로 관수전용 컴퓨터에 연결가능
- 에폭시 도장 몸체, 스텐강 부품 등 내화학성, 내부식성 재질
- 작동 최대압력 : $0.5 \sim 10\text{kg/cm}^2$
- 계량편차 : $\pm 2\%$ (지시량 기준)
- 펄스당 유량 : $10\text{l}, 100\text{l}, 1000\text{l}$,
- 솔레노이드 전원 : $24\text{V AC}(60\text{Hz})$
- 솔레노이드 전류 : $0.4\text{amp}(\text{inrush}), 0.20\text{amp}(\text{holding})$

본 연구에서는 각 block마다 설치하여 측정하고 액비의 사용 유량(초음파 유량계 사용)도 측정하도록 하였다.

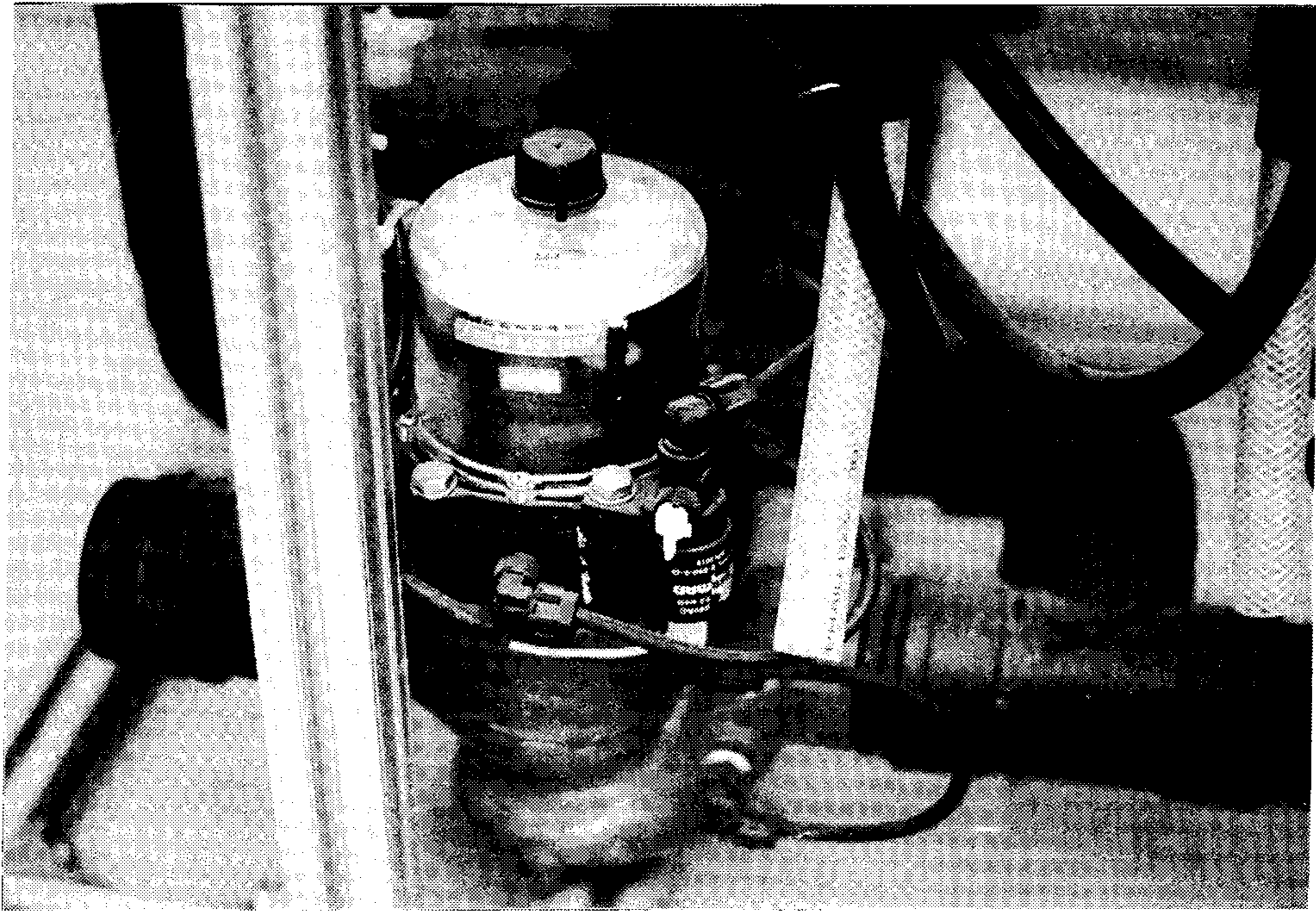


사진 3-4. 양액회석기에 부착된 유량계

⑥ 전자밸브 : 중앙제어는 main 유량계를 이용하여 제어하도록 하며 다음과 같다.

- 수압으로 개폐되며, 솔레노이드를 부착하여 원격제어를 하는 방식이다.
- 강화나일론, 스텐강, 고급 합성고무 등을 재질로한 전용 밸브
- 유량은 크지만 두손실율은 매우 낮음
- 중앙제어 controller 등의 이상시 수동으로 개폐할 수 있음
- 수동개폐시 배수되지 않음
- 유연한 개폐로 압력상승에 따른 내충격용
- 작동압력 : $0.7 - 10\text{kg/cm}^2$
- 솔레노이드 전원 : 24V AC(60Hz)

○ 솔레노이드 전류 : 0.40amp(in-rush), 0.20amp(holding)

본 연구에서는 8 block으로 나누어 16개 valve를 제어할 수 있도록 장착하였다.

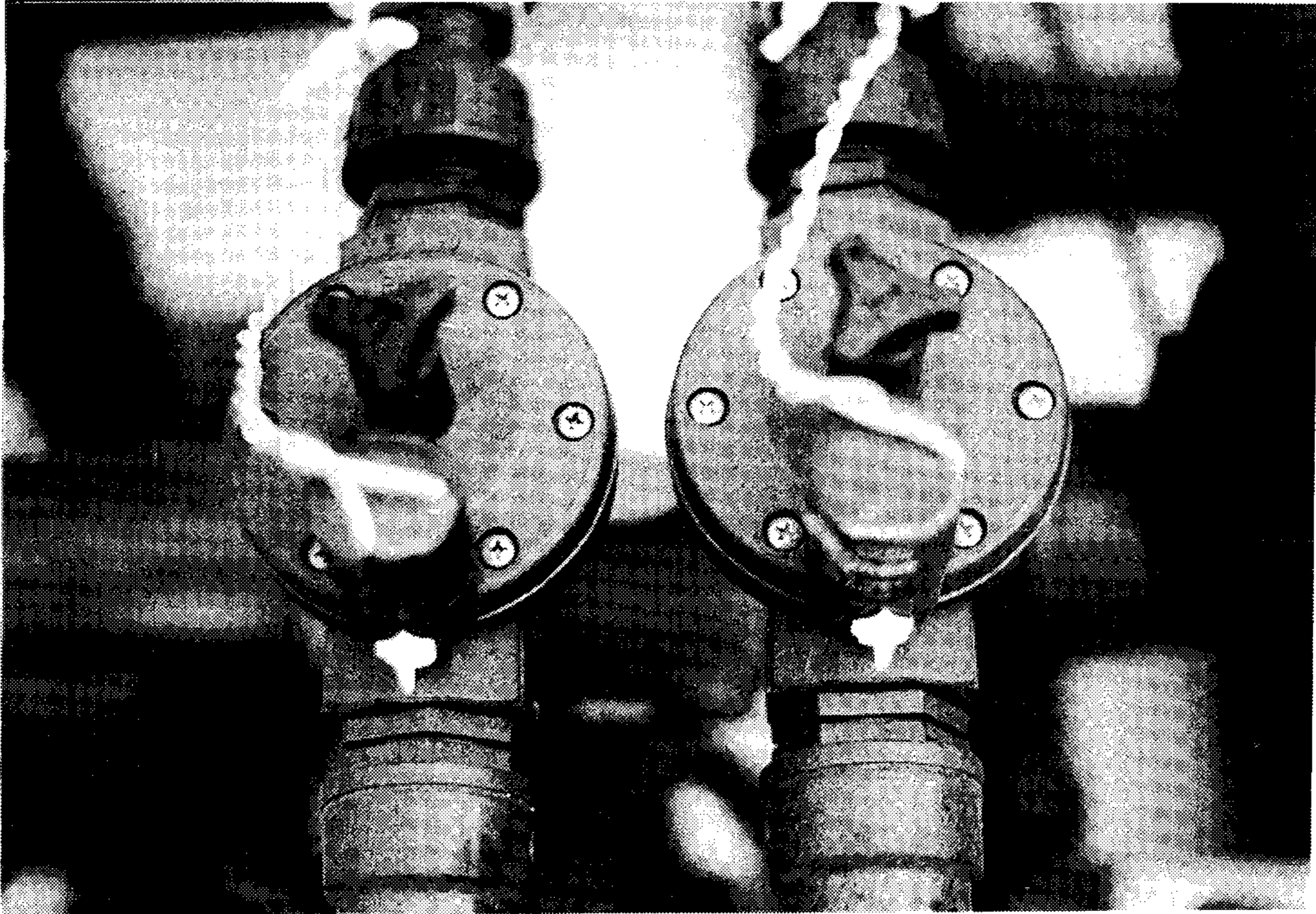


사진 3-5. 양액회석기에 부착된 전자밸브

⑦ 양액탱크

양액탱크의 크기의 선정에 있어서 고려해야할 요소는 재배작물의 실제 요수량, 재배면적, 재식밀도, 급액설계 등이다. 작물의 주당 요수량은 주위의 여러 생육환경 요인에 따라 계속적으로 변화하므로 1개월 정도의 평균 요수량으로 계산할 수 있다. 재배면적과 재식밀도로 부터 재식주수를 구하며 작물 한주당 1회에 요구되는 양액량을 곱하여 1회 급액에 필요한 급액량을 구한다. 여기에서 재배면적을 몇개의 구역으로 분할하여 급액주기를 달리하면 1회 공급에 필요한 급액량을 조절할 수 있으며 양액탱크의 용량을 1회 급액량보다 약 1.25배 큰 용량을 선택한다면 작물 재배에 필요한 양액탱크의 용량의 계산은 다음 식

으로 표시할 수 있다.

$$\text{양액탱크의 용량} = \frac{\text{재식밀도} \times \text{재배면적} \times \text{주당 요구수량}}{\text{급액설계상 분할한 면적의 갯수}} \times 1.25$$

본 연구에서는 양액탱크(회석탱크)의 용량을 1톤으로 하여 제작하였다

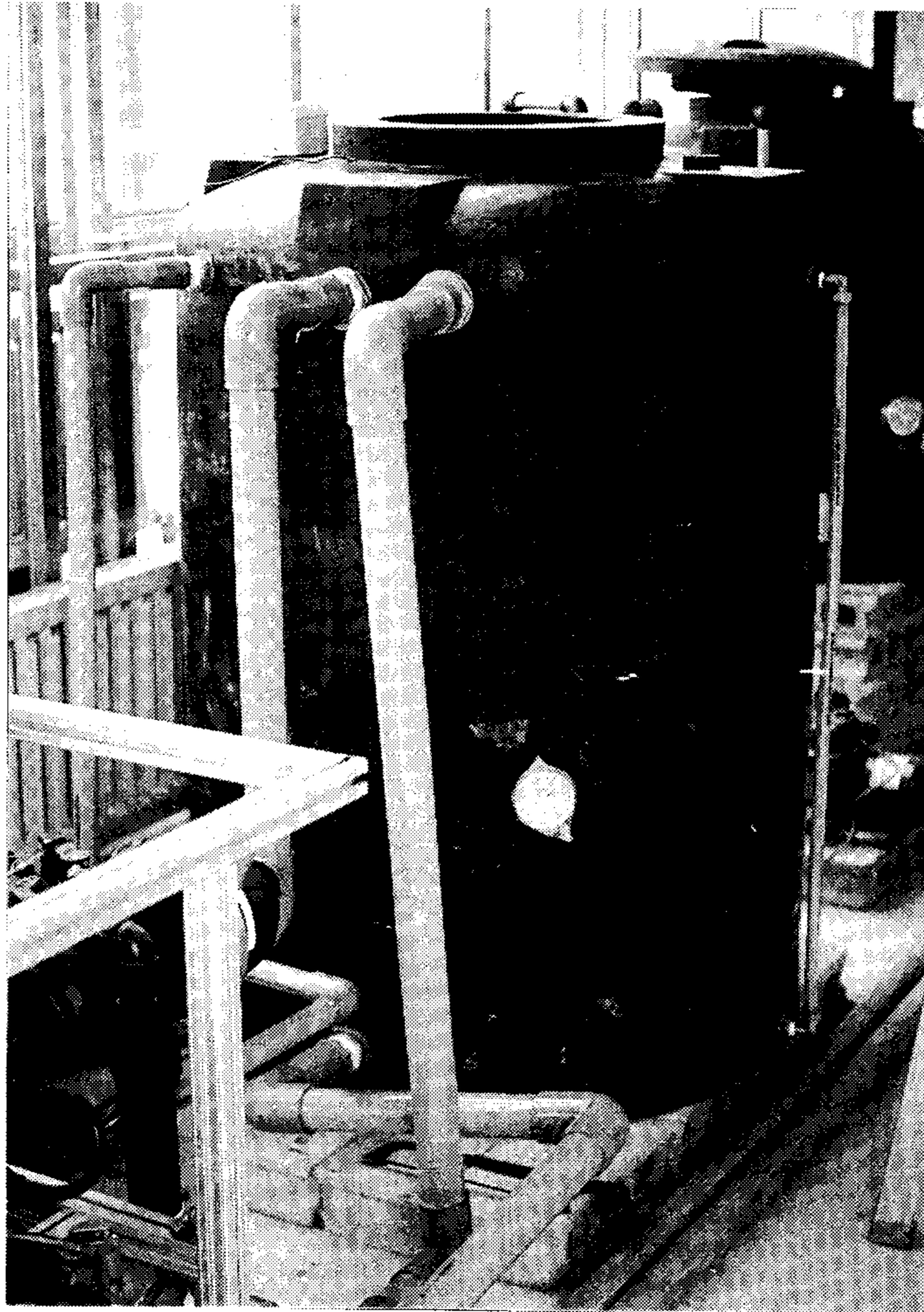


사진 3-6. 양액회석탱크의 모습

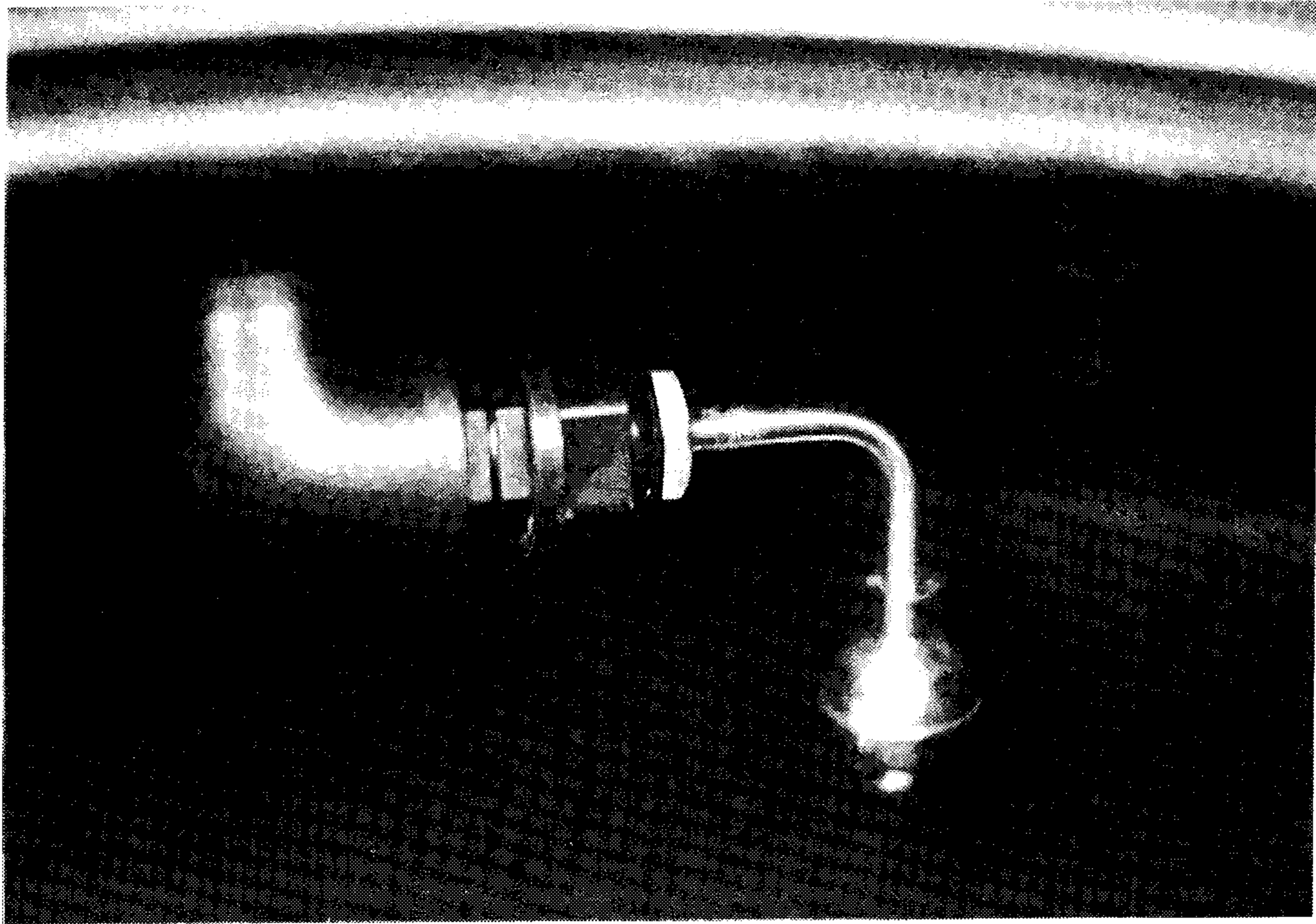


사진 3-7. 양액회석탱크에 부착된 수위조절기



사진 3-8. 농축양액(액비)탱크 설치 모습

⑧ 액비 탱크

액비탱크의 용량은 위에서 계산된 1회 급액량을 조절하는데 필요한 농축배양액량을 결정한 후 작물생육주기 전체동안의 급액횟수를 곱하여 계산하여야 한다. 양액조제시 요구되는 농축배양액은 비료염을 약간의 물에 희석하여도 무방하나 농축배양액 공급용 정량펌프의 성능을 고려하여 농도를 대략적으로 맞추어야 양액희석시스템의 안정성과 정확성을 유지시킬 수 있다. 따라서 이러한 면을 고려하여 농가에서 면적에 맞게 선택하여야 한다.

⑨ Main pump

물공급펌프의 용량은 급액설계와 1회급액량에 의하여 결정되며 각 급액간의 시간에서 양액조제에 필요한 시간을 뺀 시간동안에 양액탱크내에 1회 급액량에 필요한 물을 공급할 수 있는 용량보다 크게 하면 된다. 본 연구에서는 220V AC의 전원을 사용하며 시간당 5000ℓ이상의 양액을 급액할 수 있는 펌프를 사용하였다.

(6) 양액희석기의 종합적 모식도

양액희석기는 고도로 정밀한 제어가 요구되는 기기로서 작물의 생육에 직접적인 영향을 미치는 pH와 EC를 조절하게 된다. 본 연구에서 개발중인 양액희석기는 컴퓨터 프로그램에 의한 EC와 pH의 자동조절 및 작물의 생육단계에 따른 양액조절이 가능하며, 2~3개의 작물을 동시에 재배할 경우 상이한 양액의 조절이 가능하도록 설계하고 있다. 또한 지속적인 수행 data의 저장을 통해 재배이력을 파악할 수 있게 하였다.

본 연구에서 제작하고있는 양액희석기의 모식도와 흐름도는 그림 1, 그림 2와 같다. 양액의 급액시간, pH 및 EC의 조절을 위한 controller의 제작은 현재 one-board chip화를 위해 제작중이다. 현재 제작중인 controller의 주요기능은 다음과 같다.

- 순수수경이나 고행배지경 등의 양액재배방식에서 다양하고 복합적인 조건의 양액 및 수분공급체제를 종합적으로 구성하고 유량이나 시간은 물론 pH와 EC측정치와 연동시켜 자동제어하는 중앙통합관리장치이며,
- 방대한 양의 관수시비조건과 다양한 처리방법을 집적회로(IC)에 기록하여 반도체칩화 한 것으로 배전반식 제어장치나 PC를 이용하는 방법과 달리 기본논리(ROM)의 보호와 임의설정조건(RAM)의 강력한 보호와 완벽한 처리를 구현하는 양액재배 전용 컴퓨터임
- EC와 pH측정장치를 연결하여 양액의 농도를 자동연계 처리함.
- main pump와 main valve(1조), 자동세척여과장치(2대), 정량펌프(3대), 액비주입장치(3대), 2차 제어헤드의 전자밸브 등 모두 16개의 장치군을 다양하게 제어하며, 밸브확장유닛을 통해 32개까지 통합제어가 가능함.
- 유량, 시간 및 연결된 각종 센서의 data를 이용하여 개별적이거나 그룹별 혹은 순차적인 처리를 제한없이 복합적으로 처리함.
- 일반 PC와 연결하여 작동상황, 조건의 내용 등을 검색하거나 조건의 변경, 수동작동, 각종 data의 출력보관 등이 가능함.
- 모뎀을 이용하여 거리제한없이 원격관리할 수 있음.
- 과유량방지기능, 정보기능, 유량적산기능, 처리내용기억기능 등 다양한 안전장치와 데이터 보관
- 전원 : 220V AC 60Hz
- 12V RAM보호용 축전지 내장
- 입력 : 유량계 8개, 액비유량계 3개, On/Off센서 5개, Analog센서 (4~20mA) 4개
- 선택장치 : 낙뢰보호유닛, 밸브확장유닛, 모뎀, 일반IBM호환 PC, 유량계 등 센서 등

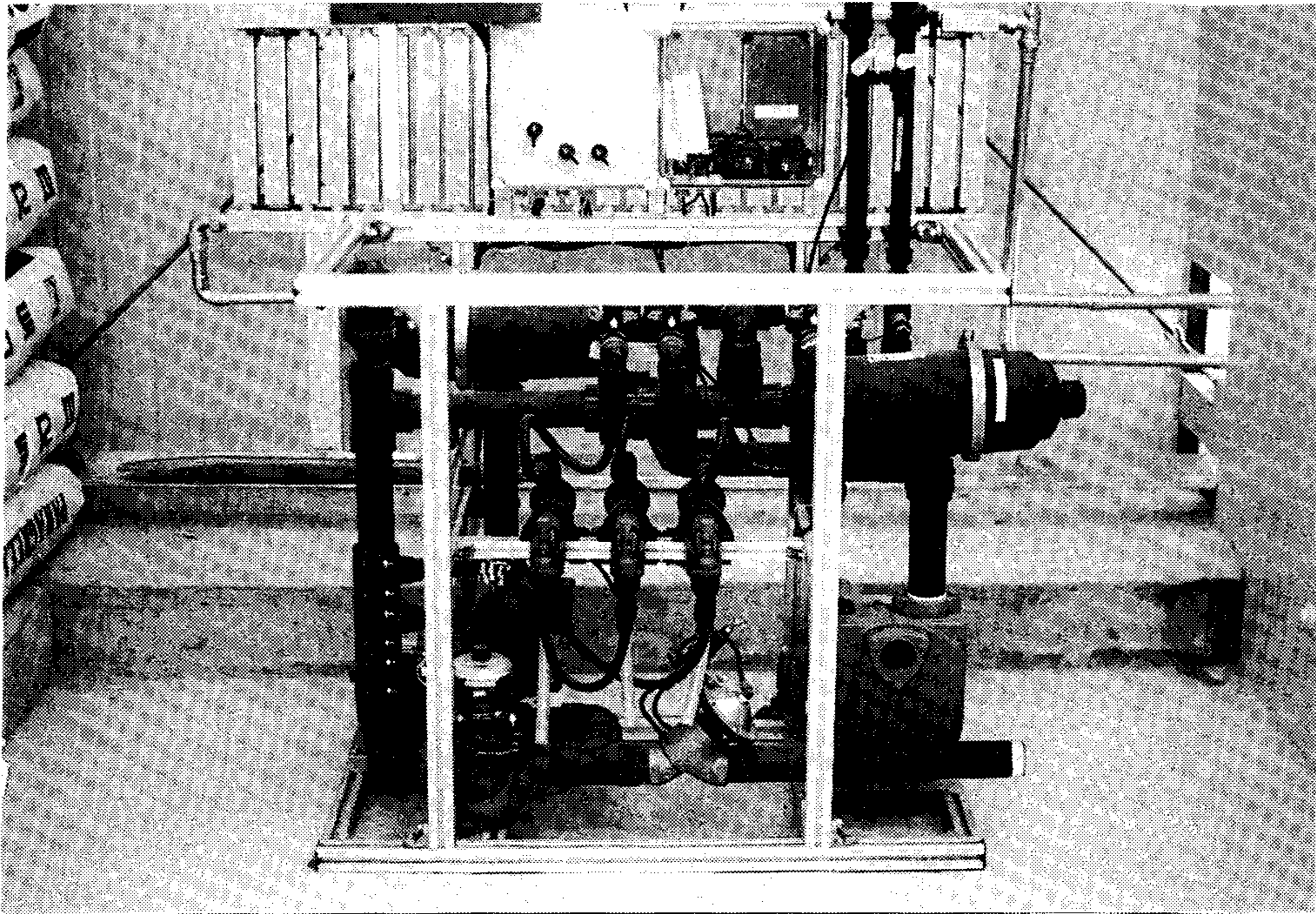


사진 3-9. 고가 정밀형 양액회석기의 시제품 모습

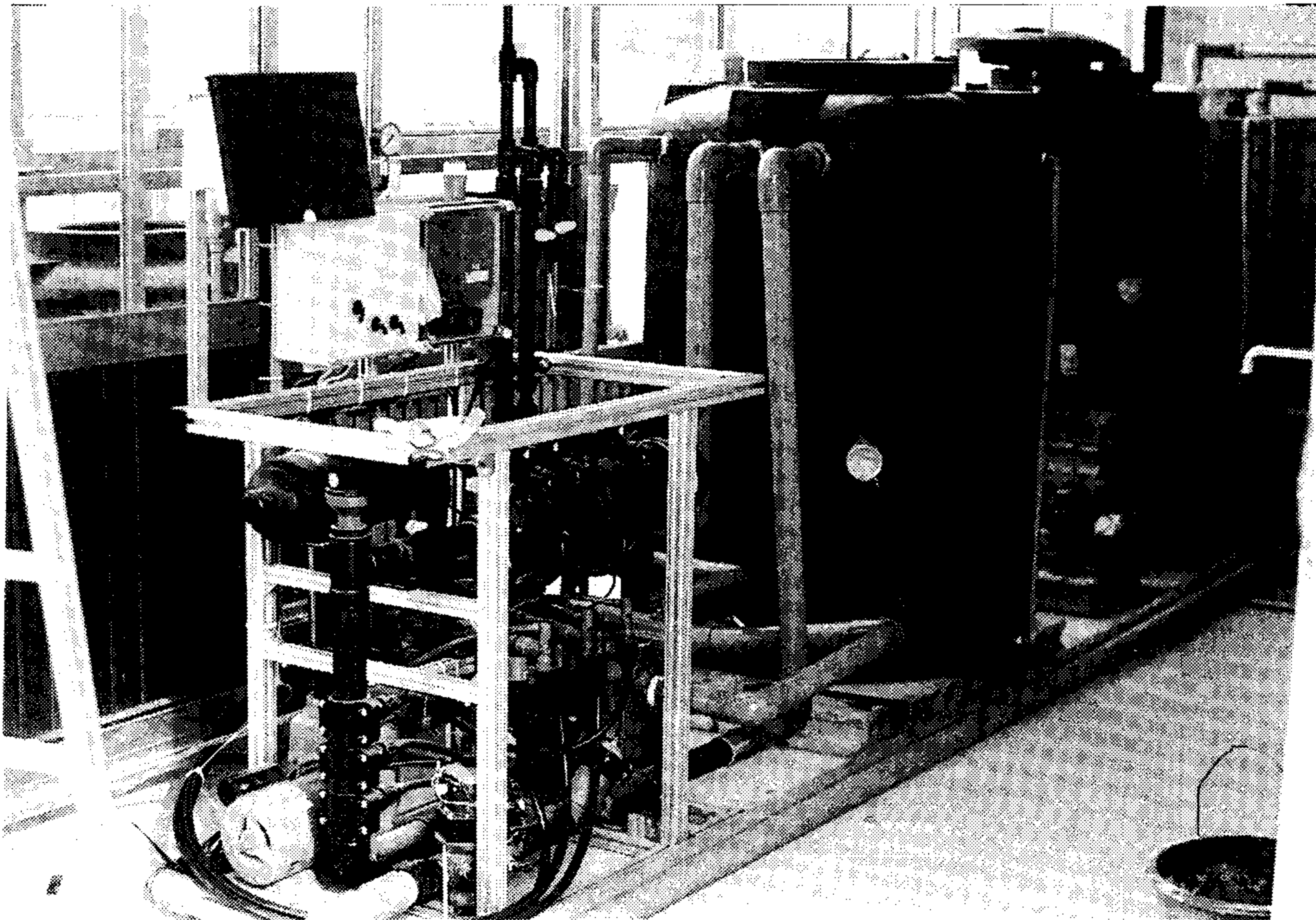


사진 3-10. 양액회석기와 회석탱크와의 연결모습

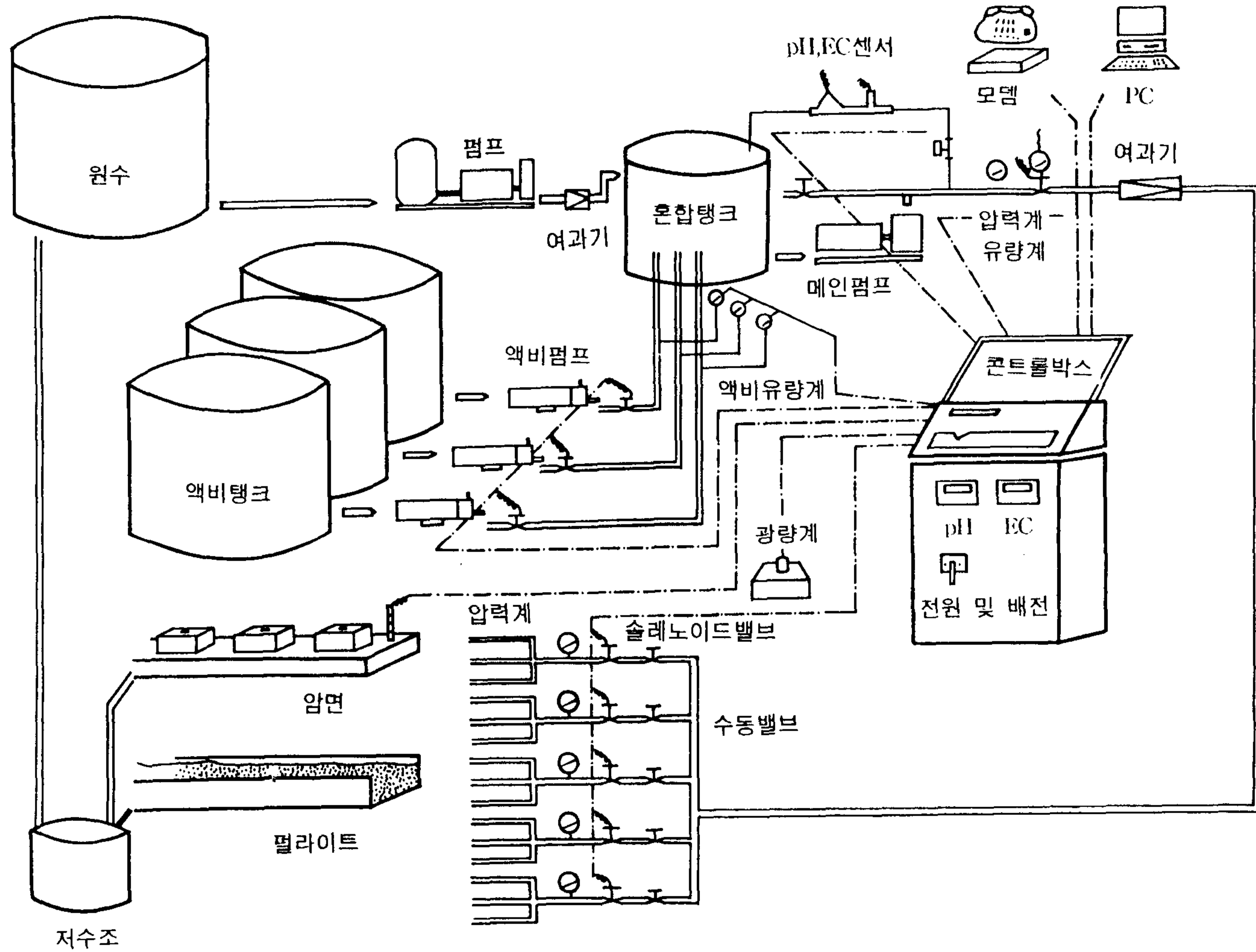


그림 3-1. 양액회석기의 모식도

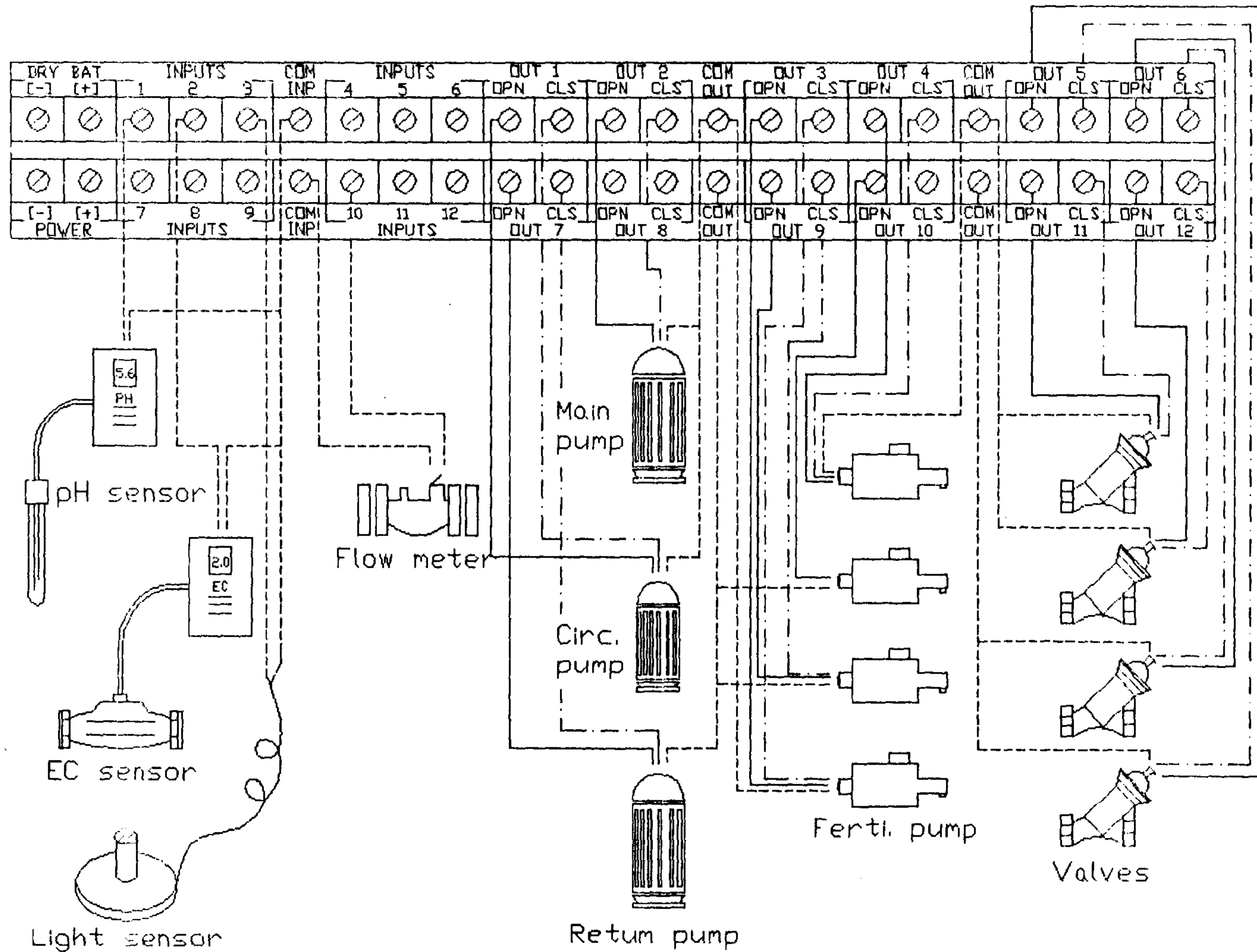


그림 3-2. 양액회석기의 장치별 배선도

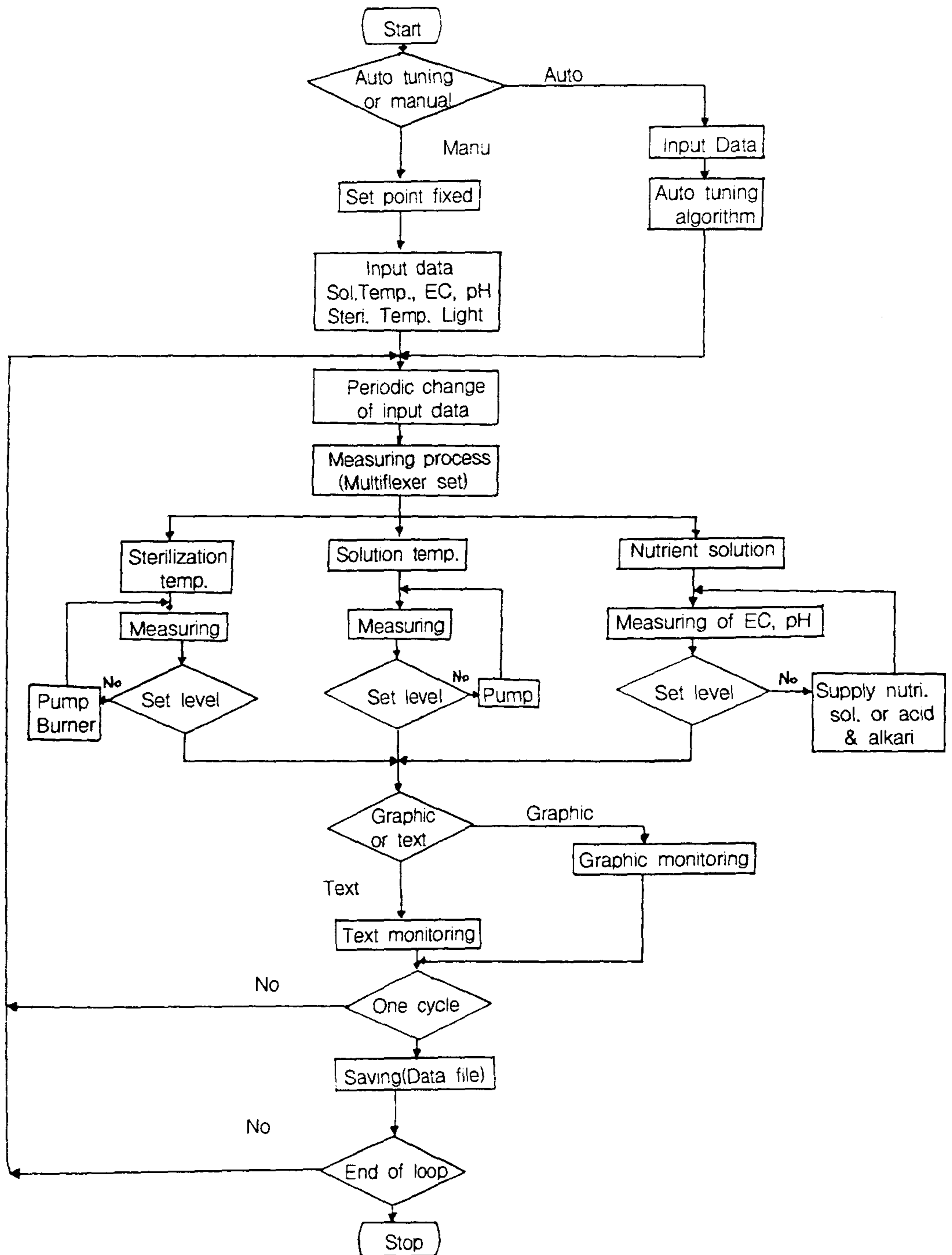


그림 3-3. 양액회석기, 양액살균기 및 양액온도조절기의 제어 흐름도

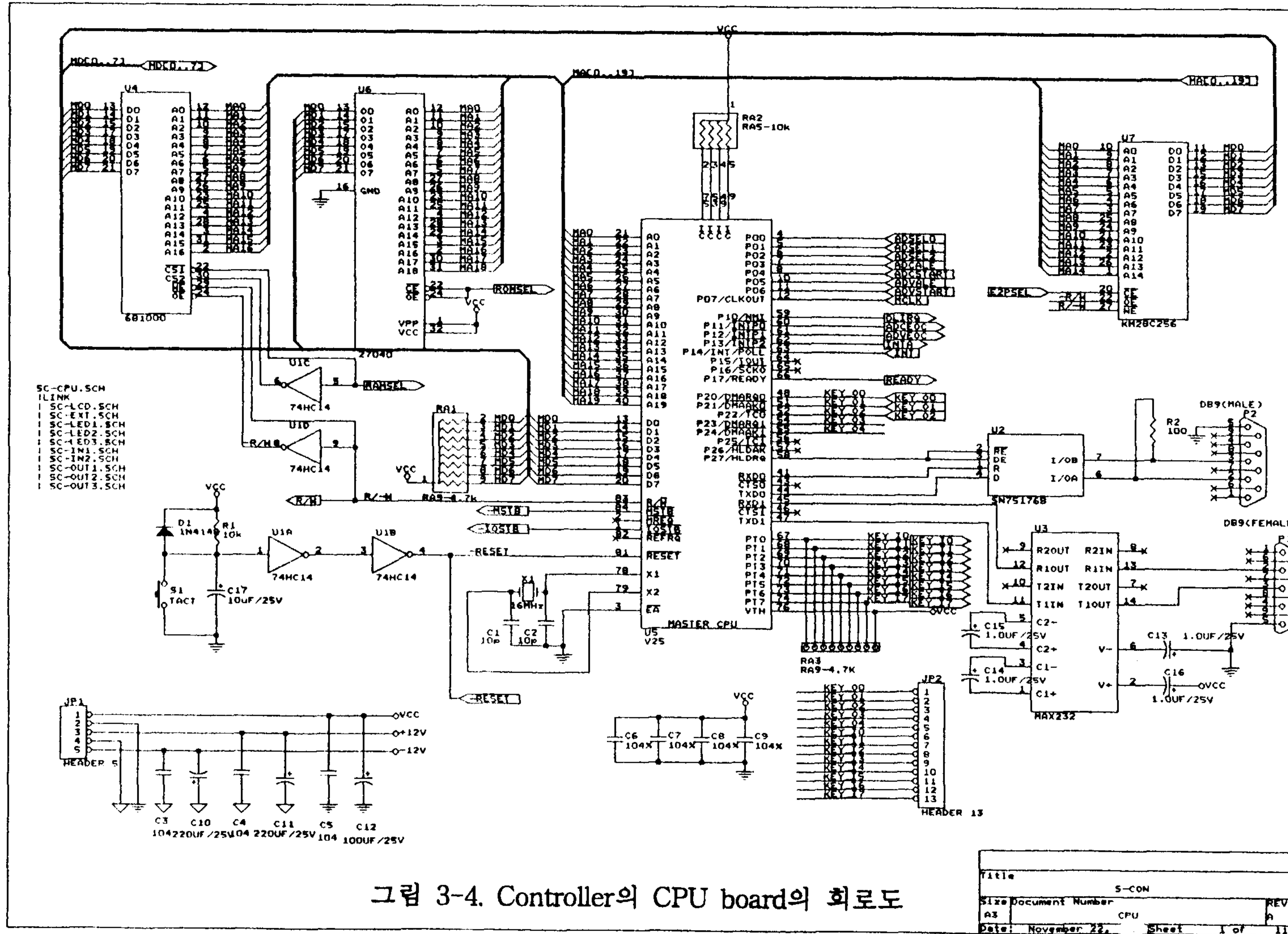


그림 3-4. Controller의 CPU board의 회로도

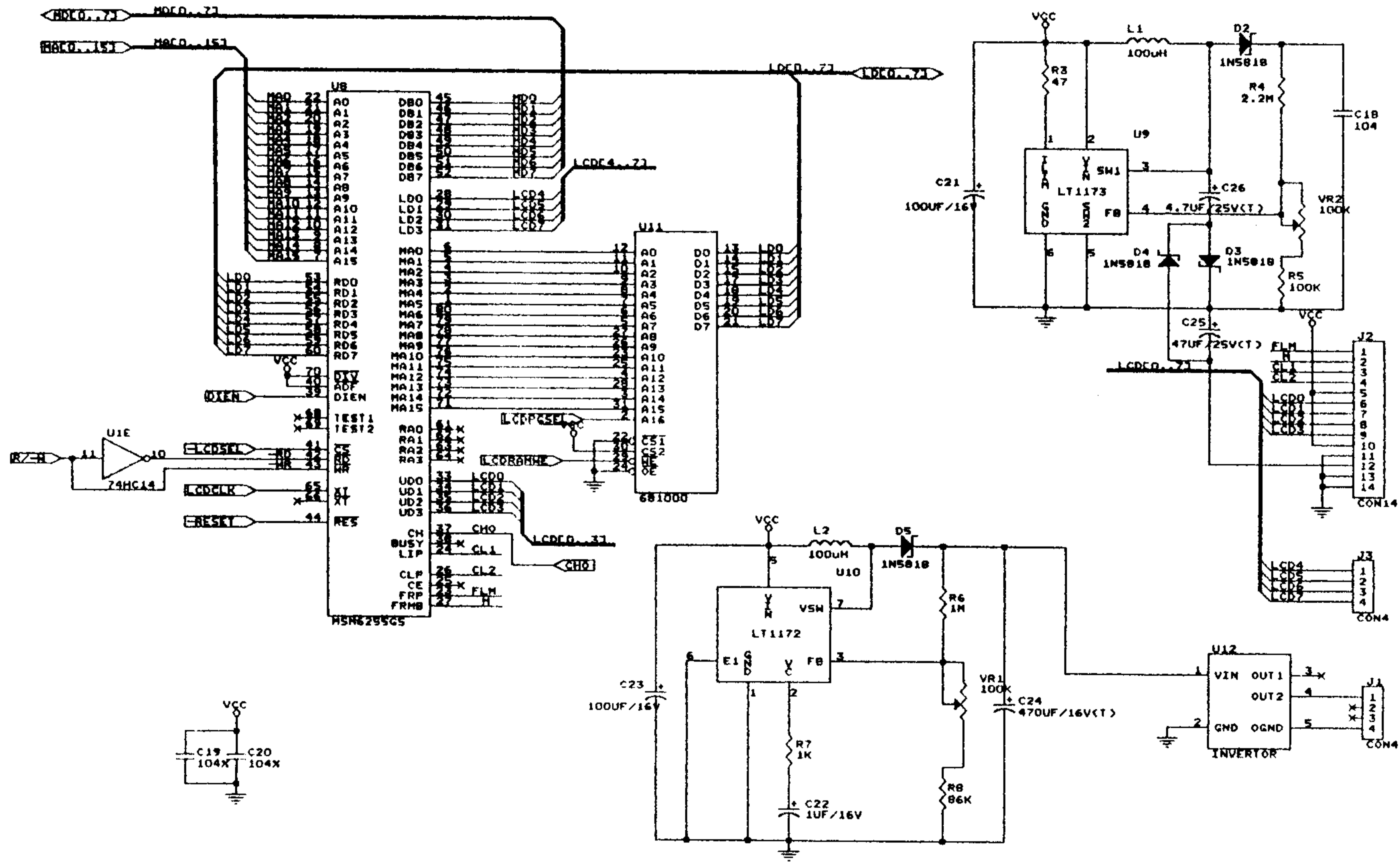


그림 3-5. Controller의 LCD 회로도

Title		S-CON
Size	Document Number	REV
A3	LCD	A
Date:	November 22,	Sheet 2 of 11

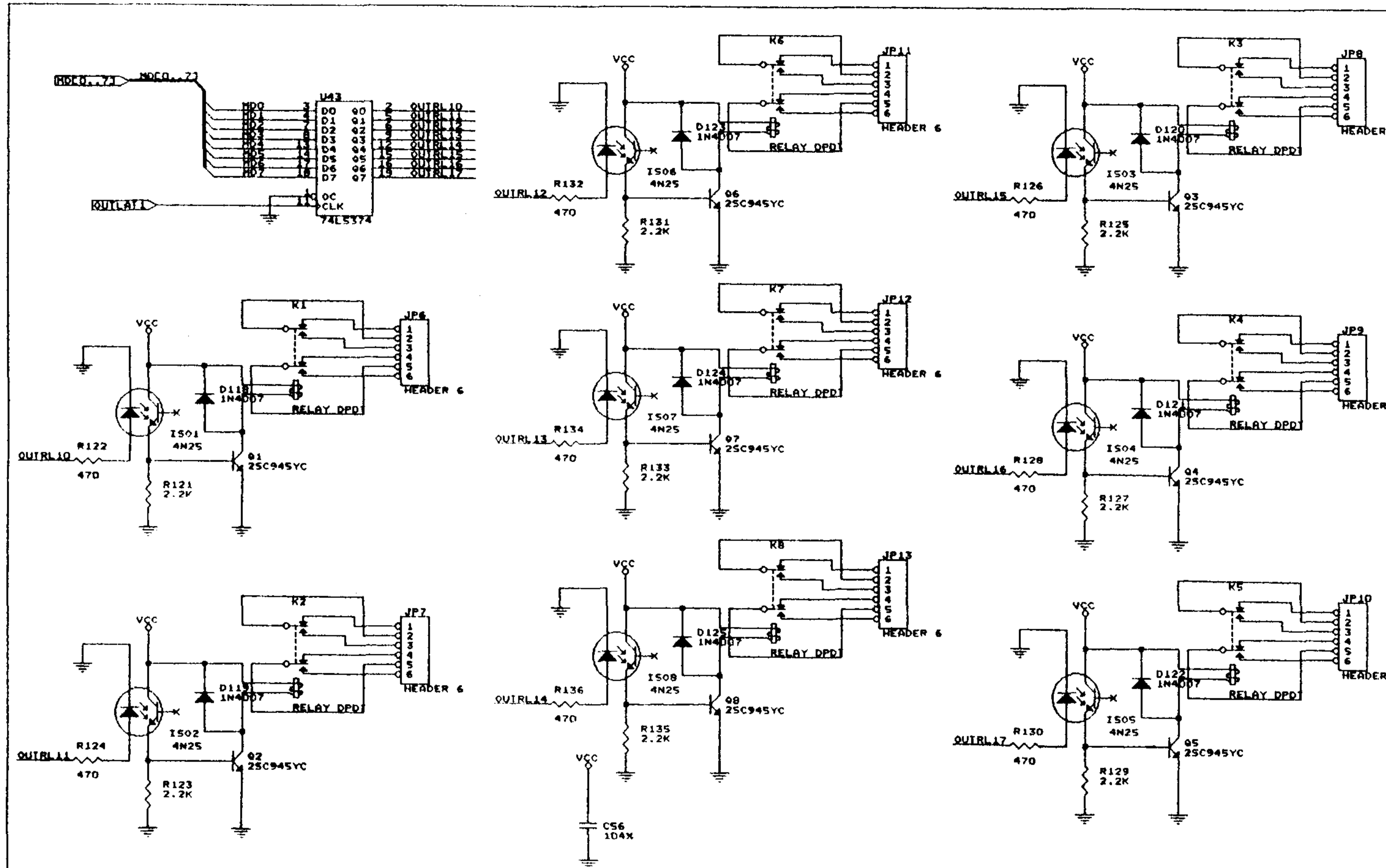


그림 3-6. Controller의 relay output와 coupler의 회로도 I

Title	S-COM	REV
Size	Document Number	A3
Date:	November 21,	Sheet 9 of 11

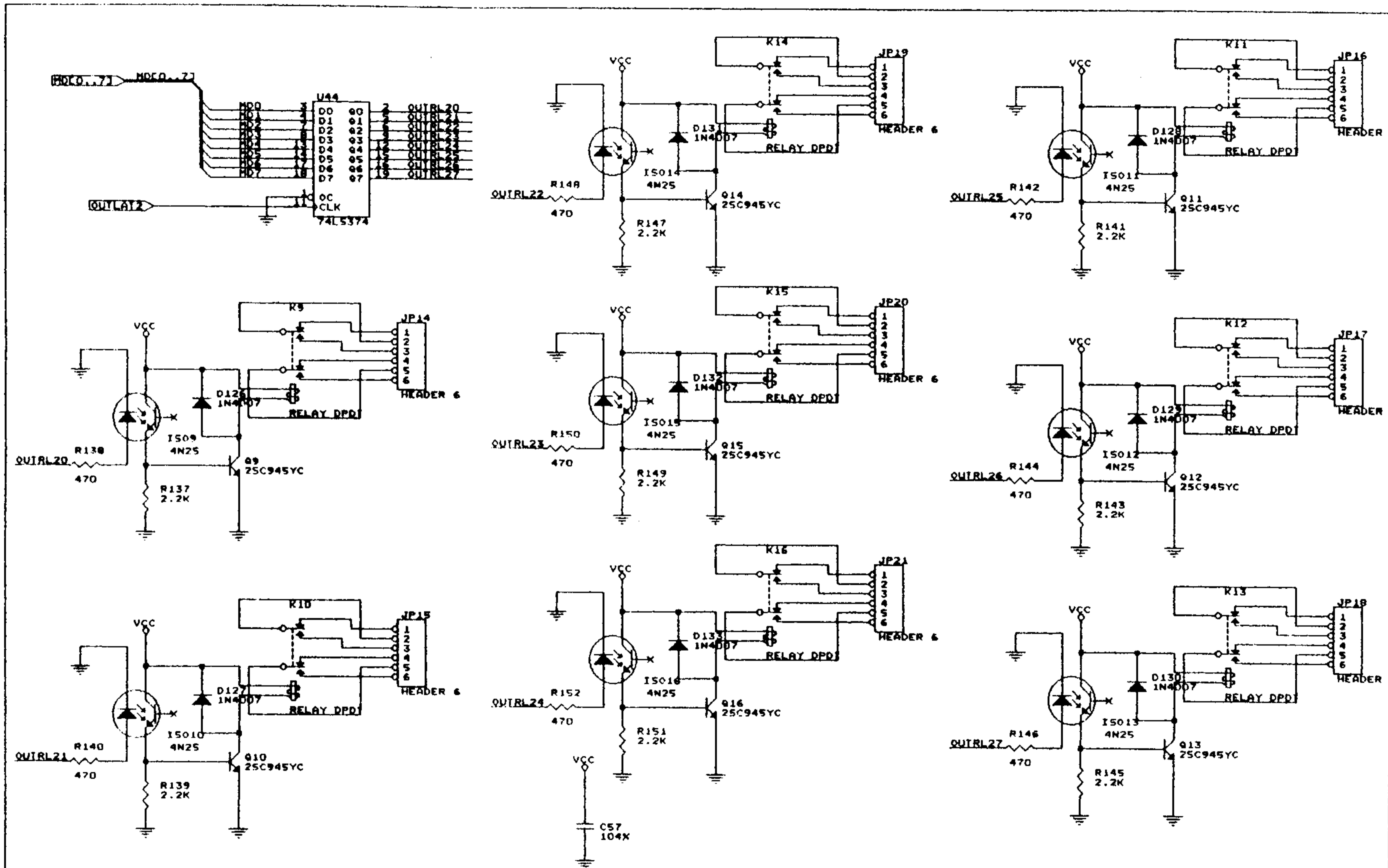


그림 3-7. Controller의 relay output와 coupler의 회로도 II

Title		S-COM
Size Document Number		REV
A3	OUT 1	p
Date: November 21, 1981	Sheet	10 of 11

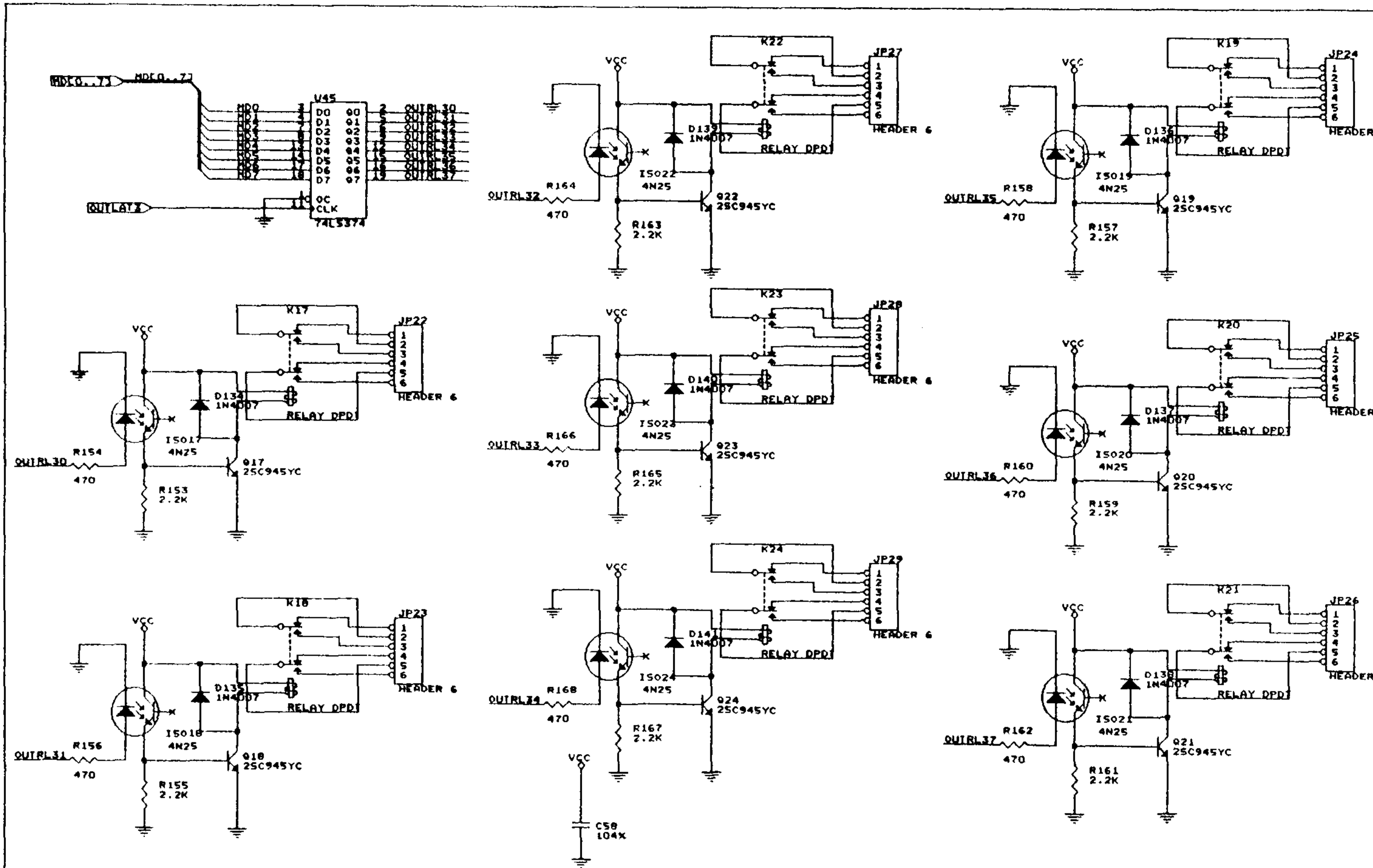


그림 3-8. Controller의 relay output와 coupler의 회로도 III

Title	S-CON	
Size	Document Number	REV
A3	OUT1	A
Date: November 21,	Sheet 11 of 11	

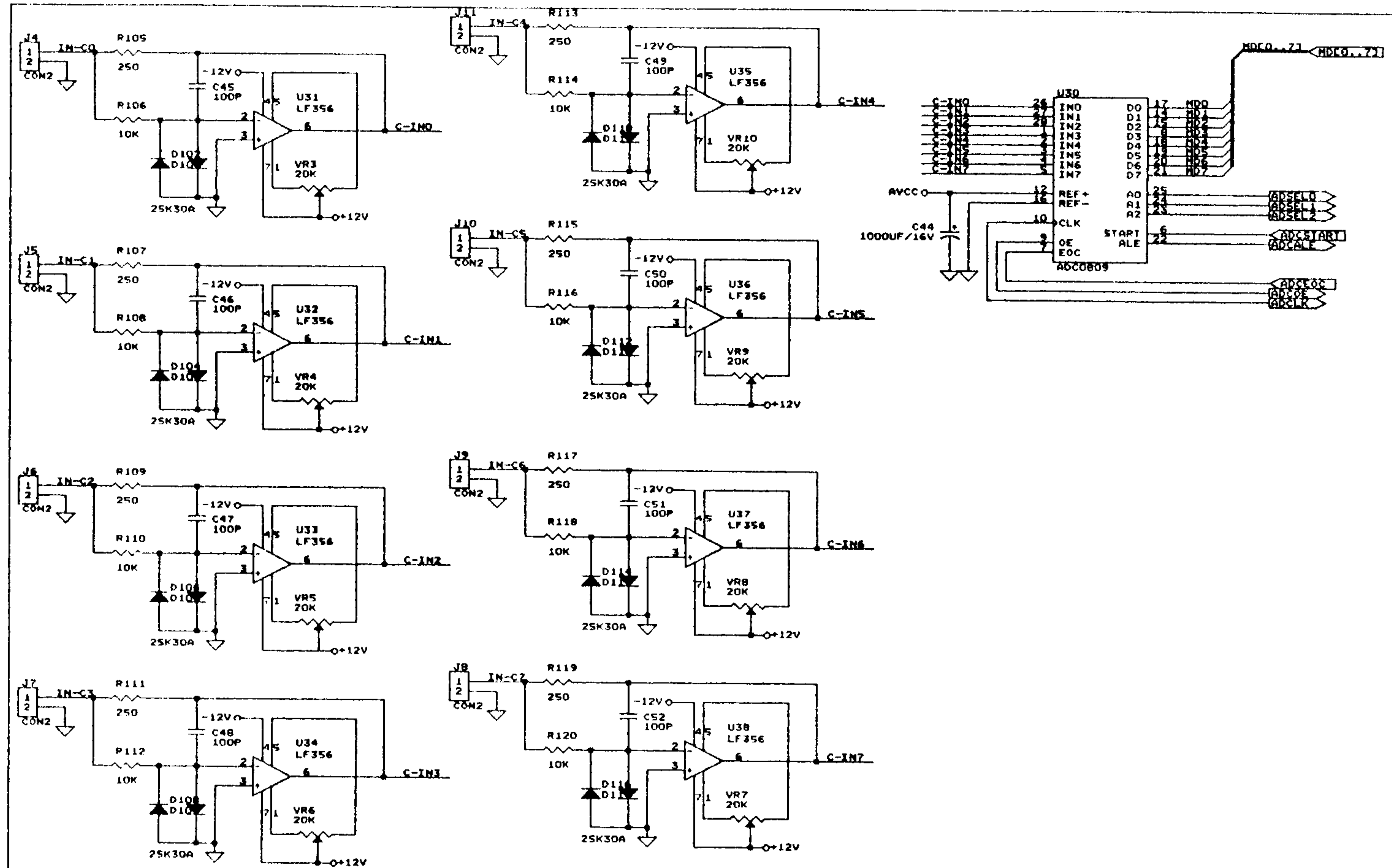


그림 3-9. Analog input 접점 회로도

Title		S-CON	
Size	Document Number	REV	
A3	IN1	A	
Date: November 22,	Sheet	7 of 11	

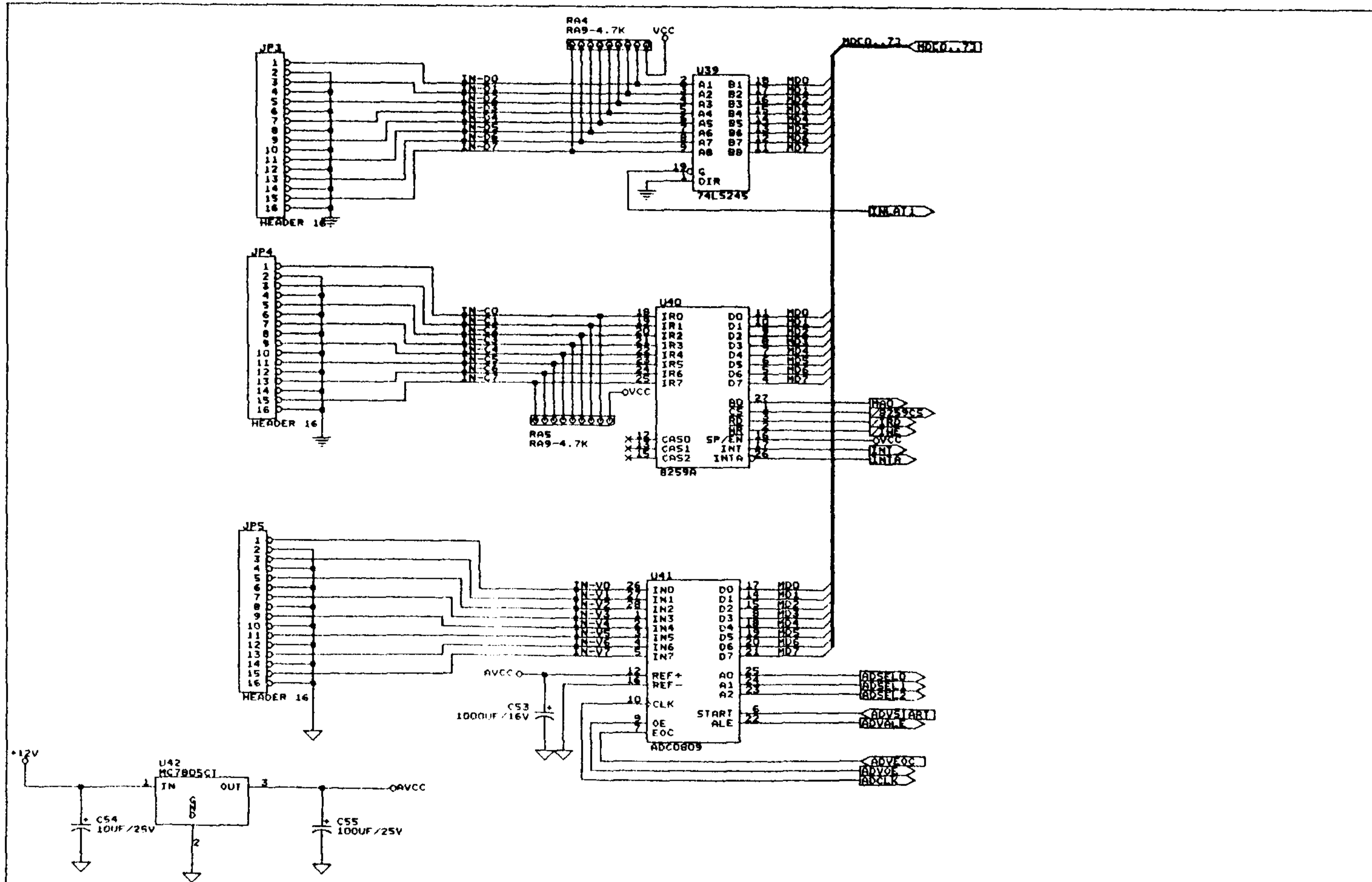


그림 3-10. Input module 회로도

Title		S-CON
Size	Document Number	REV
A3	IN2	A
Date: November 22, .	Sheet	B of 11

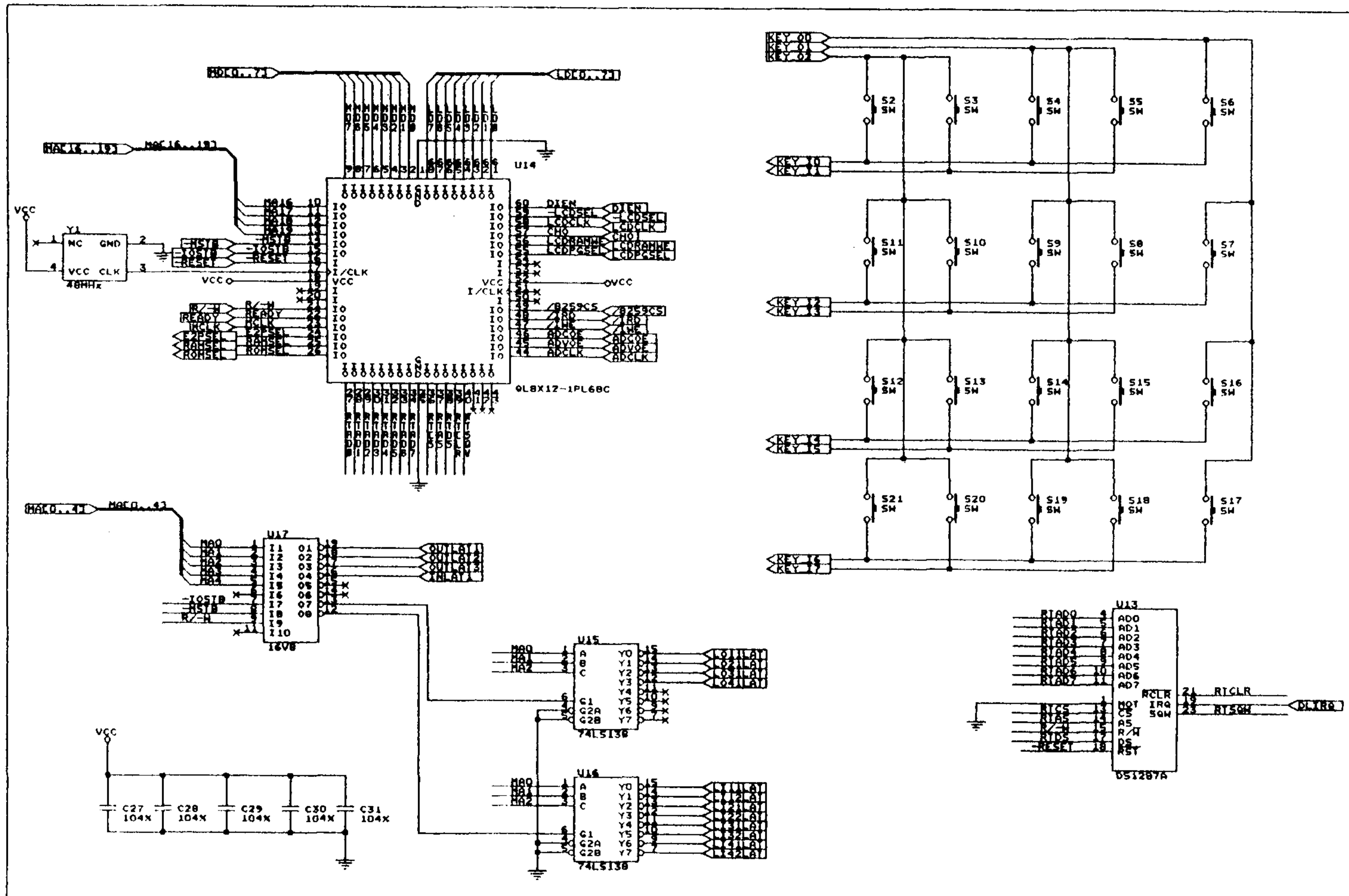


그림 3-11. Bus master, Keyboard and Real time clock 회로도

Title		S-CON
Size	Document Number	REV
A3	EXT	A
Date: November 22,	Sheet	3 of 11

참 고 문 헌

1. 류관희. 1992. 생물생산시설 및 환경을 위한 계측의 기초(I). 생물생산시설환경 1 : 93-97.
2. 류관희. 1993. 양액상태의 계측. 생물생산시설환경 2 : 147-149.
3. 송현갑 외. 1995. 시설원예의 자동화-기초와 응용-. 문운당.
4. 선철호. 1991. 수경재배의 양액관리 자동화에 관한 연구. 경북대학교 석사학위논문.
5. 伊東 正. 1988. 植物の工場的生産への實際的アプローチ. 農業および園藝 61 別策. 養液栽培新技術 : 94-100.
6. 橋本 康 外. 1988. 植物工場システムとは. 農業および園藝 61 別策. 養液栽培新技術 : 89-93.
7. 橋本 康. 1987. 植物環境制御入門. オーム社.
8. 日本施設園藝協會. 1986. 施設園藝におけるマイクロコンピュータ導入の手引.
9. 日本施設園藝協會. 1991. 施設園藝における高度集約生産システムの課題と今後の方向-野菜の工場的生産の可能性-.
10. Asher, C.J., P.G. Ozanne, and J.F. Loneragon. 1965. A method for controlling the ionic environment of the plant roots. Soil Sci. 100(3) : 149-150.

11. Chotai, A. and P.C.Young. 1991. Self-adaptive and self tuning control of Nutrient Film Technique(NFT) system, in Y. Hashimoto and W. Day(eds.), Mathematical and control applications in agriculture and horticulture, Pergamon Press, Oxford.
12. Cooper, A.J. 1979. The ABC of NFT. Grower Books.
13. Donald J. Pitts, A. James, et al. 1986. Trickle irrigation lateral line design by computer analysis, Transactions of the ASAE 29 : 1320-1324
14. Hisao Anyoji and I-pai Wu. 1987. Statistical approach for drip lateral design. Transactions of the ASAE 30 : 187-192.
15. Hollis, P. and R.W. Hindmarch. 1980. A microcomputer controlled farm management system. Transactions of the ASAE 35 : 35-37.
16. Kenneth H. Solomon. 1985. Global uniformity of trickle irrigation systems. Transactions of the ASAE 28 : 1151-1158.
17. Numan, M., and E. Gordon. 1989. Emmitter discharge evaluation of subsurface trickle irrigation systems. Transactions of the ASAE 32 : 1223-1228.
18. Yasushi Hashimoto, Gerard P.A. Boot, W. Day, H.J. Tantau and Hiroshi Nonami. 1993. The computerized greenhouse. Academic Press, Inc.

제 4 장 양액온도조절기 개발

제 1 절 서 설

우리나라의 경우 여름이나 겨울철의 양액재배시 작물의 생육환경을 개선해 소기의 작물수량과 품질을 획득하기 위해서는 양액의 냉각 및 가온은 작물의 근권환경조성이 매우 중요한 역할을 한다. 양액재배시 여름철 고온기의 액온은 29-32.7℃까지 상승하며, 겨울철 저온기에는 16-22℃정도로 감소하게 되는 것으로 관측되고 있다.

배양액의 액온은 작물의 생육에 큰 영향을 미치며, 기온의 적온범위보다 더 좁다. 액온은 계절은 물론, 장치의 형태나 양액탱크의 설치장소 등에 따라 달라진다. 또한 기온에 비하면 액온은 작물에 따른 적온의 차이가 적다. 한편, 기온이나 일조량 등의 지상부 환경요인과의 상관, 생육단계와의 관계, 액온의 일변화의 영향, 액온이 수확물의 품질에 미치는 영향 등 미해결의 문제도 많다.

시설원예에 있어서 생에너지의 관점에서 동계, 배양액의 적극적인 가온에 의해 저액온 재배에 관심이 증가하고 있다. 저야온의 생육억제작용이 고지온에 의해 소거될 수 있다는 것은 이미 藤井 등(1968)에 의해 인정되었지만, 일본야채시험장(1982)의 연구에 의해 액온이 16℃이상이라면 야간기온 2℃에서도 토마토 과실의 발육은 야간기온 8℃와 거의 변화가 없다는 것이 밝혀졌고, 낮은 야간기온에서의 재배 가능성을 시사해 주었다. 또한 Morgan 등(1978)은 주야의 기온 20/17℃에서 액온을 방임한 경우보다 20/12.2℃에서 액온을 25.5℃로 가온한 경우가 토마토 과실수량이 높은 것을 밝혀냈다.

다른 식물을 대상으로한 연구에서도 같은 결과가 얻어졌으며, Jones 등(1978)은 토경의 토마토를 대상으로한 시험에서도 저야온·배지가온구는 고야온에 손색 없는 수량을 얻어 생에너지 효과를 얻을 수 있었다.

양액재배에서는 여름철의 액온상승이 점차 문제가 되고 있다. 고온의 한계는 과채류에서는 생육초기 30℃까지 정상으로 생육하지만 생육이 진전되었을 때는 과채류나 엽근채류에서는 30℃가 상당히 고온이 된다. Gosselin 등(1983)에 의하면 야간온도가 높은 경우에 고액온에 의한 생장억제작용이 크다고 한다. 근의 호흡은 고액온에서 높고, 따라서 배양액의 용존산소는 감소가 빠르며, 근의 탄수화물의 소모도 크게 된다고 한다. 예를들면, 오이의 근의 호흡속도는 20℃에서 150~200 μ l O₂/g(fresh root)/hour가 되므로 Q₁₀=2가 되더라도 30℃에서는 300~400 μ l O₂가 된다. 근중 100g의 근이 20℃의 배양액 10ℓ의 포화용존산소를 완전히 흡수하는데 4.3시간이 걸리는데 대해 30℃에서는 1.8시간에 고갈하는 호흡량이 된다.

고액온은 또한 근의 생장촉진제인 cytokinin생성을 저해하고, 한편 생장억제제인 abscisic acid함량을 높인다. 토마토에서는 배꼽썩이과의 발생이 조장된다. 또한 근의 병원균에 대한 침입저항도 적어지게 된다고 생각된다. 따라서 고온 시에는 배양액의 냉각이 유효하고, 많은 연구결과나 경험에서 과채류와 엽채류 모두 25℃ 정도를 고온 한계온도로 설정하여 냉각을 실시하는 것이 합리적인 것으로 보고 있다.

지하부의 온도조절을 위한 배양액의 적정온도가 작물에 따라 달라지는데 피망의 경우 겨울철의 축성재배에서는 락울의 배지온도가 저하하여 생육수량에 미치는 영향이 고려되어야 한다. 배양액 무가온의 순환식의 락울 배지온도는 토경의 지온보다 1~2℃정도 높게 유지되며, 생육에 특별한 이상은 없었다고 한다. 또한 12월 하순부터 3월말까지 배양액을 가온한 경우의 최저배지온도의 변화 및 배양액 가온과 상품 누계수량의 결과는 초기에는 24℃로 관리한 것이 22℃나 무가온보다 높지만 점점 초세가 저하하고 수확 중반기 이후에는 22℃처리구가 24℃보다 더 많아졌다. 실험에 따르면 2년간의 실험결과 배지온도의 변화와 수량에서 배지온도는 최저 22℃정도가 좋다고 하였지만 무가온구와 가온구의 저온기의 수량은 적은 것으로 저온기에 야간온도를 높여준다면 생육차는 충분히 보상된다고 하였다. 그러나 야간온도를 충분히 높여주지 않았을 경우에

는 배양액 가온의 효과는 높은 것으로 나타났다.

오이의 축성재배에 있어서 지온은 최저한계온도를 15℃, 적온을 18℃정도를 기준으로 관리한다. 양액재배의 온도관리도 토경재배에 준하면 좋다고 생각한다. 또한 일교차에 대해서는 배양액량이 많은 담액방식에는 적지만, 배양액량이 적은 NFT방식이나 근이 간헐적으로 노출되는 액면상하방식이나 배지가 있는 암면재배방식에서는 외기온의 영향을 받게되어 일교차가 아주 크다. 원래 식물은 토양내에서 뿌리를 뺏어나가는 것으로 근권온도의 변화는 적지만 NFT 등과 같이 변화가 큰 양액재배에서는 저온기의 야간 배양액온도가 한계부근이 되어도 주간 근권온도가 18℃정도까지 된다면 야간의 저온의 해를 보상하고, 19~21℃에 제어된 양액가온구와 상품으로 3%정도의 차이밖에 보이지 않는다. 즉, 근권의 한계온도는 온실내의 적온관리에 의해 유지될 수 있으므로 난방을 하지않는 주간의 근권온도가 문제가 된다.

한편, 배양액량이 많은 담액방식에서는 양액을 가온하여 적온에 가까운 온도 관리를 할 필요가 있다. 또한 암면재배 방식에서는 15℃의 한계온도를 유지할 수 없는 경우는 배지아래에 온수관을 배관하여 배지자체를 가온할 필요가 있다. 여름철 고온기는 배양액이 30℃이상이 되는 경우가 있다. NFT나 락울재배 등 외기온의 영향을 받기 쉬운 방식에서는 이것을 어떻게 내릴 것인가가 문제가 된다. 그 방법은 양액탱크에 파이프를 넣어 지하수를 흘려 냉각하고 베드나 채널, 배지를 반사필름 등으로 피복하여 온도상승을 방지해야한다. 한편 야간의 근권온도를 25℃이하로 내려주면 주간의 고온의 장해를 보상하는 것이 가능하다. 여기서 주간의 배양액의 온도상승 방지와 함께 야간의 냉각을 같이 해주어야 할 필요가 있고, 특히 환기가 나빠서 하우스온도가 아주 높게되는 경우나 고설의 시설에서 온도상승 방지효과가 적은 경우는 저녁부터 자정까지 배양액을 냉각하여 야간의 근권온도를 25℃이하로 해줄 필요가 있다. 한편 배양액량이 많은 담액방식은 양액냉각을 하여 25℃정도의 적온에 가깝게 온도관리를 해 줄 필요가 있다.

우리나라의 기후조건하에서는 여름철 시설내에서 작물의 정상생육을 기대하

기 어려우므로 주년재배를 위한 여름철 시설내 환경의 적정화는 온실재배의 당면과제라 할 것이다. 더우기 막대한 일사부하로 인하여 온실내부 온도의 상승을 방지할 수 있는 온실냉방은 경제적으로 불가능한 실정이므로 다른 방법을 강구해야 한다. 그러나 양액재배에 있어서는 비교적 지하부 환경의 조절이 용이하므로 온실의 충분한 환기 및 차광과 더불어 양액의 냉각을 통하여 작물의 고온스트레스를 줄여 안정생산을 가능하게 할 수 있을 것으로 사료된다. 최근의 연구(南 等, 1992)에 의하면 양액냉각의 효과가 지하부 환경의 개선 뿐만 아니라 작물체온의 강하에도 큰 영향을 미치고 30℃의 양액을 24℃로 냉각해 줄 경우 최대 1.5℃의 작물체온 강하효과가 있는 것으로 보고되고 있다.

따라서 본 연구에서는 양액재배시 근권의 온도의 적정범위내 조절을 위해 양액회석기내 열교환파이프를 장치하고 지하수와 가열탱크를 이용한 다기능의 온도관리 시스템을 개발하려 하였다.

제 2 절 재 료 및 방 법

가. 가온장치

가온장치는 기존의 지중난방기를 응용하였으며, 제원은 다음과 같다.

1. 가열탱크

- 재질 : SUS 27종(304), 160리터
- 내부 표면적 : 1.88m²
- 순환펌프 : 40W, 220V, 1/18HP(3600ℓ/h)
- 접합부 알콘용접
- 열교환방식 : 저항판 다관 연소방식

2. 열교환파이프

- 재질 : PE(XL pipe) 또는 stainless 주름관
- 외부표면적 : $6.28\text{m}^2/100\text{m}$

3. 버너

- 가온능력 : 80,000 kcal/h
- 열효율 : 90~95%
- 최대연료소비량 : 10.3 l/h
- 사용전압 : 220V 단상
- 최대전기사용용량 : 1 Kw/h
- 형식 : 전타입 자동버너
- 사용연료 : 경유

나. 냉각장치

양액냉각은 기본적으로 난방기와 연결하여 사용할 있도록 하였으며 계절에 따라 전환가능하도록 하였다. 회석탱크내의 열교환파이프에 지하수원을 연결하여 온도센서에 의해 펌프가 가동한다.

지하수를 이용할 수 없는 곳에서는 냉각기와 compressor를 이용한 장치를 차기년도에 개발예정이다.

제 3 절 개발 결과

양액재배에서는 배양액중의 모든 근균이 분포하여 토양재배와 같이 최적 지

은부근에 근이 신장·분포하는 것이 아니고 배양액 온도의 영향을 직접 받게 되어 배양액의 온도조절은 양액재배에 있어 중요한 과제가 되어있다. 특히 배양액이 근에 직접 접촉하는 담액수경에서는 배양액의 온도가 근권의 온도가 된다. 그러나 NFT나 분무경의 간헐급액에서는 급액 정지시 및 암면재배 등의 고행배지나 모관수경에서는 배양액이 곧바로 근에 접촉하지 않기 때문에 배양액의 온도가 근권의 온도라고 볼 수 없으나 근권온도에 중요한 영향을 미치게 된다. 따라서 배양액이 직접 근온에 영향을 미치는 담액수경에서는 양액의 온도 조절시스템의 설치가 필수적이며 그 외의 시스템도 마찬가지로 할 수 있다.

양액의 온도조절은 크게 두가지로 구분할 수 있다. 동계의 양액가온과 하계의 양액냉각이다. 먼저 가온을 위한 장치로서는 현재 보일러를 이용한 온수 열교환방식을 채택하는 경우가 많으나 이는 대규모의 양액탱크를 가온하려면 불필요한 열손실이 많아 효율성이 떨어지며, 본 연구에서는 연구기간 초기에 시험제작한 electric heating bar와 프레온을 냉매로한 양액냉각장치를 제작하였으나 열효율과 양액내 특수환경에 따른 재료의 부식 및 경제성에 대한 문제로 방향을 전환하였다.

본 연구에서는 양액의 가온에 중점을 두어 양액살균장치와 연계하여 제작하였다. 또한 개발된 양액온도조절기는 양액온도조절 뿐만이 아닌 선택사양에 의해 양액살균기와 시설내 탄산가스 발생기로서의 역할을 할 수 있도록 다기능의 설계를 하였다.

먼저 동절기 양액의 온도저하에 따른 근권부의 양수분 흡수저해 및 작물생장억제를 방지하기 위한 양액가온장치은 지중가온장치를 토대로 하여 일부 장치의 변형을 꾀하여 제작하였다. 제어는 단순한 on-off제어로 thermostat에 의해 양액회석기내의 온도에 따라 가열기의 순환펌프가 작동하며, 가열기의 가열탱크내의 온도계측으로 설정온도 이하가 되면 버너가 작동하게 하였다.

양액회석탱크에 설치된 열교환파이프는 일반적으로 XL pipe로 불리우는 PE 재질의 파이프를 사용하였으나 회석탱크의 용량이 크거나 급액량이 많다면 열전도율이 높은 스테인레스 주름관으로 설치한다. PE pipe(100m, 표면적

6.28m²)의 양액회석탱크내 총전도열전달량은 내부와 외부의 온도차이를 65℃라고 했을 때 146,952 kcal/m² · hr정도였다. 그러나 스테인레스 주름관을 사용할 때는 8,980,400 kcal/m² · hr가 되는데 열전달이 높은 반면 회석탱크의 용량이 적을 때는 온도의 편차가 심하며 가격이 비싸다는 단점이 있다. 따라서 회석탱크의 용량이 크거나 급액량이 많은 경우에만 설치하는 것이 좋다고 생각되었다.

한편 선택사양으로 수요자의 요구에 따라 버너를 개스버너로 장착하여 배기되는 연소가스를 주간에 한해 시설내로 유입시켜 탄산가스 발생기로 사용할 수 있게 하였다. 또한 본 기기는 제 5장에서 언급되는 양액살균기와 연결하여 사용가능하도록 제작하였다. 가열탱크내의 온도가 고온(사용자에 따라 60~95℃ 범위에서 사용)이기 때문에 이 열원을 살균에 이용하는 것이다.

양액의 냉각은 지하수를 이용하도록 설계하였다. 여름의 경우 30℃까지 상승하는 양액의 냉각을 위해 약 15~17℃의 지하수를 열교환파이프에 순환시켜 냉각시키는 방식을 사용하였다. 그러나 지하수를 사용할 수 없는 경우에는 프레온가스를 이용한 냉각기로 공기를 냉각시켜 회석탱크내로 에어펌프를 이용하여 불어넣어 양액을 냉각시키는 방식을 차기년도에 개발하려 한다.

개발된 기기의 특징을 보면 다음과 같다.

- 제한된 양액을 가온하므로써 유지비가 적게 든다.
- 가열살균기의 열원을 함께 사용하므로써 에너지를 절약한다.
- 양액살균기와 같이 설치되므로 따로 온수보일러를 사용할 필요가 없다.
- 가온시 20~40℃까지 조작자가 선택할 수 있다.
- 기존의 지중난방기 및 온수보일러 등에 연결하여 사용할 수 있다.
- 냉각시 지하수를 순환시켜 냉각하며 18~26℃범위로 유지할 수 있다.

시험제작된 양액온도조절기의 사진과 개략적 모식도는 다음과 같다.

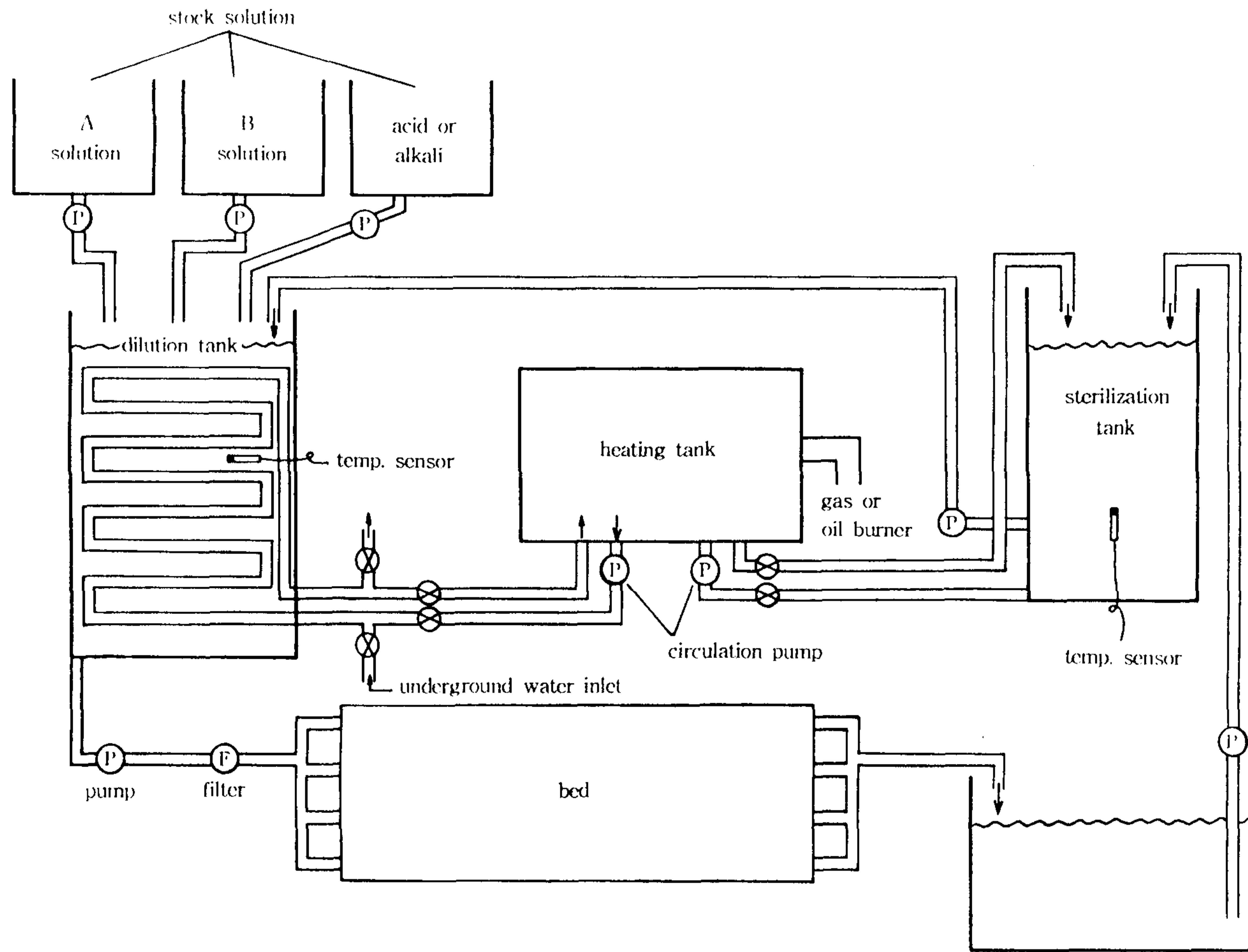


그림 4-1. 양액온도조절기와 가열살균기의 개략도

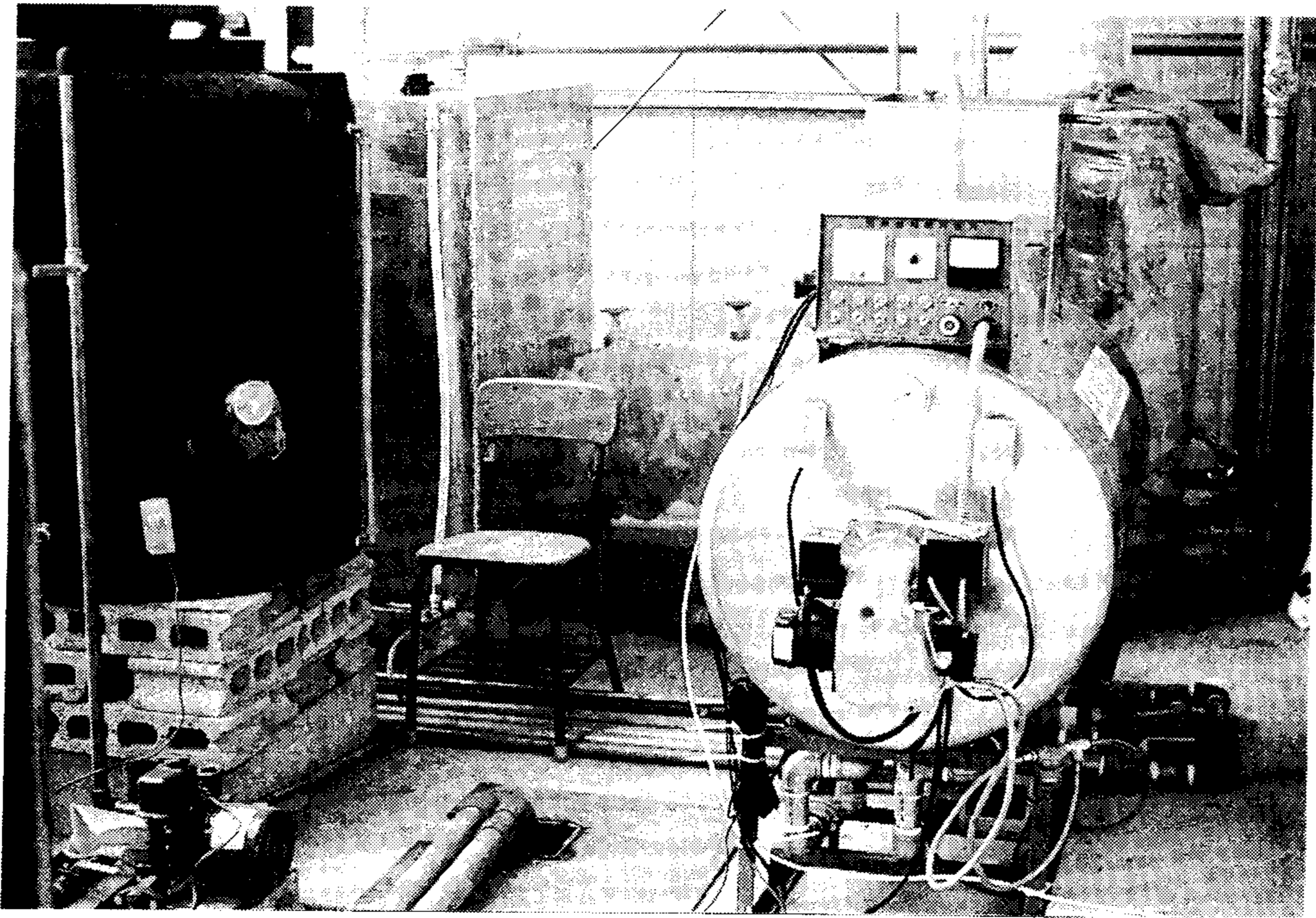


사진 4-1. 가열탱크 및 가열기의 모습

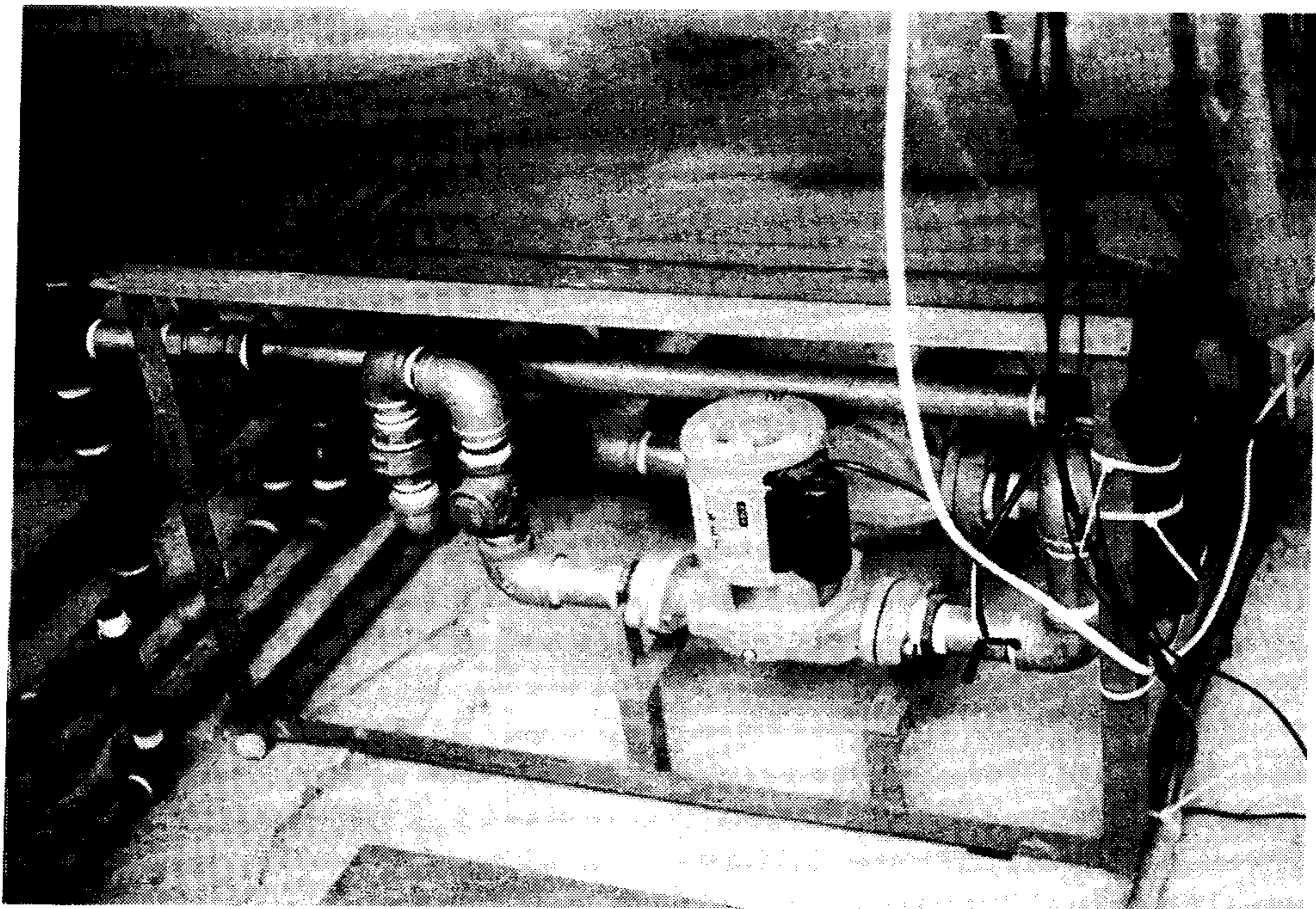


사진 4-2. 가열탱크 하부의 순환모터 설치모습

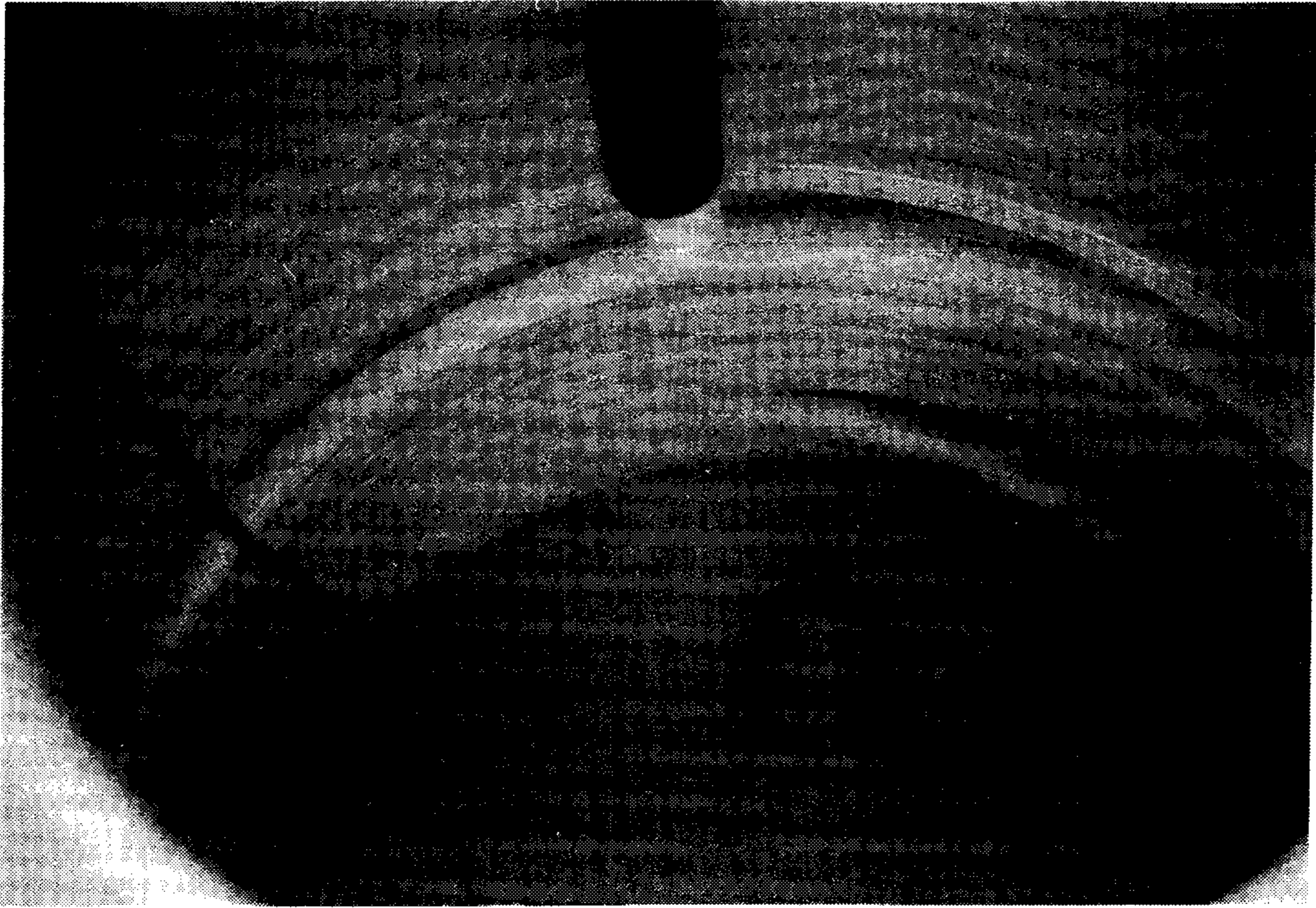


사진 4-3. 양액회석탱크내 열교환파이프의 모습

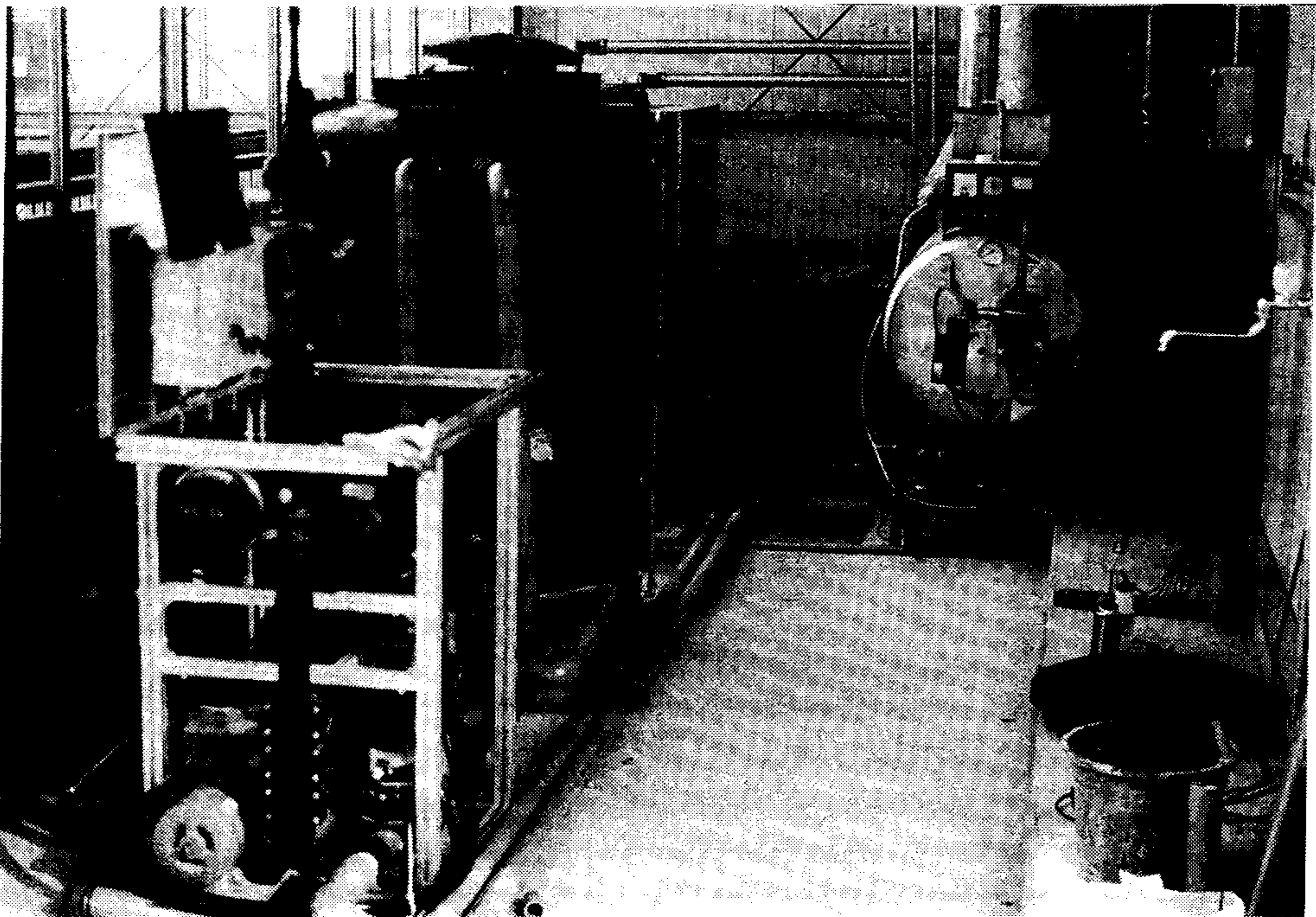


사진 4-4. 온도조절기의 전체적 모습

참 고 문 헌

1. 남상운, 김문기, 손정익. 1992. 수경재배시스템의 전열특성 및 양액액냉이 작물체온에 미치는 효과. 서울대학교 농학연구 17 : 97-104.
2. 남상운, 손정익, 김문기. 1993. 지하수를 이용한 양액냉각시스템 개발에 관한 기초연구. 생물생산시설환경 2 : 1-8.
3. 송현갑, 금동혁, 유관희, 이기명, 이종호, 정두호. 1995. 시설원예의 자동화 - 기초와 응용 -. 문운당.
4. 橋 昌司. 1986. 養液栽培における環境要因と根の機能. 農業および園藝 61 : 223-228.
5. 藤井健雄, 伊東 正. 1968. 千葉大園學報 10 : 59-70.
6. 古在豊樹. 1985. 施設園藝の環境調節 新技術 - 基礎と展望 -. pp. 59-117.
7. 橋本 康, 高汁正基. 植物の工場的生産への實踐的アプローチ. 農業および園藝 62 : 86-90.
8. 吉野 實. 1985. 野菜工場の栽培環境と作物生育. 農業および園藝 60 : 1213-1216.
9. 高橋英紀. 1972. 農耕地における熱的現象の模型實驗. 日本農業氣象. 28(1) : 19-22.
10. Kitaya, Y. T. Imanaka, M. Kiyota, and I. Aiga. 1988. Advantageous arrangement of plants in a plant factory-cultivation of lettuce suspended upside down. Acta Hort. 230 : 271-278.

11. Kuo, B.C. 1987. Automatic control systems, 5th ed., pp. 721. Prentice-Hall, Inc.
12. Mastalerz, J.W. 1978. The greenhouse environment. John Wiley and Sons.
13. McLendon, B.D., R.B.Dodd and J.M.Allison. 1981. Panel heating using polyvinyl chloride pipe(PVC). Trans. of the ASAE 24 : 1287-1290.
14. Matsuoka, T. and H. Suhardiyanto. 1992. Thermal and flowering aspects of growing petty tomato in cooled NFT solution during summer. Environ. Control in Biol. 30:119-125.
15. Okada, M. 1990. The heating load of greenhouse. J. Agri. Met. 35 : 235-242.

제 5 장 양액소독기 개발

제 1절 서 설

양액재배에서는 배지로 자갈, 모래, 락올 등과 같은 고체배지를 이용하는 고행배지방식과 지지체가 액체인 비고행배지 방식이 있다. 양액재배는 토양을 이용하지 않으므로 연작장해나 토양전염성 병해를 거의 일으키지 않지만, 재배조 내에 병원균이 유입되면 병해의 급속한 전파 및 감염이 우려된다. 역경재배에서 오이의 역병에 대한 피해가 보고되고 있는데(神納,1966) 피해가 나타난 경우 재배시스템인 재배조, 탱크, 파이프, 자갈 등의 소독이 필요하며, 토양재배에서 병해발생시 토양소독과 같은 동일한 노력이 필요하다. 또한 소독이 불안전할 경우 다시 발병되는 예도 있어, 양액재배시 병해발생이 중요한 문제로 대두되고 있다. 따라서 양액재배에서는 시설내로의 병원균이 투입되지 않는 것이 원칙으로 되어있지만 실제 재배에 있어서는 공기중으로 부터의 병원균의 유입, 부패된 식물체로부터의 부패균 발생 등 병원균의 유입을 차단하는 것은 매우 어려워 재배상의 병해발생은 피할 수 없는 문제이다.

양액재배시 배양액에 화학약품을 첨가하여 배양액을 순환시키므로써 근권병해를 예방하는 일부 연구사례도 보고되고 있으나 유럽의 경우 양액재배시 배양액과 다른 화학제가 지표면으로 유출되는 것을 막기 위해 다가오는 2000년대까지 모든 양액재배 시스템을 순환방식(recycling system)으로 전환하도록 규제하고 있다. 최근 네델란드의 온실연구소(PTG)에서는 순환방식에서 양액의 재사용시 필수적으로 요구되는 양액소독에 대한 많은 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 연구의 예로서 폐쇄형 순환 양액재배시 배양액에서 오이의 녹색반점 모자이크 바이러스(green mottle mosaic virus ; CGMMV), 토마토 모자이크 바이러스(tomato mosaic virus ; ToMV), 담배 괴사 바이러스(tobacco

necrosis virus ; TNV), 상추 big vein virus agent(LBVA) 등이 발견되었다고 보고된바 있으며(Paludan, 1985), 또한 이러한 시스템에서 바이러스인 TNV와 LBVA가 배양액내의 식물병원 진균류인 *Olpidium brassicae*(양배추 모잘록병 유발)이라는 매개체에 의해서 전염되어진다는 것도 보고되었고, NFT시스템에서 재배된 상추의 경우 LBVA발병율이 99-100%에 이른다는 사실도 발견되었다(Tomlinson and Faithfull 1979). 이외에도 폐쇄형 순환양액재배 시스템을 이용하는 암면재배에 있어서도 역병균인 *Phytophthora cryptogea*를 인위적으로 감염시킨 거베라를 재배하였을때, 접촉하지 않은 식물체들도 배양액의 순환에 따라서 모두 감염되었다는 사실을 발견하였다(Wohanka, 1990). 또한 배양액 뿐만 아니라 온실천정이나 저수지에 모아진 빗물이 토마토 시들음병 등을 유발하는 *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici*에 오염되어 있음이 발견되었다(Rattink, 1991). 따라서 양액재배시 식물병원균의 전염을 막기 위해서는 배양액을 재사용하기전에 반드시 소독을 해야하며, 빗물이나 지표수를 이용할 때에도 소독은 필수적이다. 이에 대처하는 양액소독법에는 주로 열처리, 오존처리, 자외선처리, 박막여과, 완만한 모래여과법, 요오드이용, 활성 과산화수소이용법 등이 사용되고있다.

열처리를 이용한 소독은 배양액 탱크에 모아진 배양액을 유기물 입자로 여과한 후 탱크에서 첫번째 열교환기로 이동된다. 이때 갑자기 열을 올리기 어렵기 때문에 소독된 물로 일정온도까지 예열하게 된다. 두번째 열교환기에서 외부 열공급원을 사용하여 소독온도까지 가열하는 원리로 이러한 처리에 의한 세균의 살균효과를 보면 토마토의 청고병균의 경우 비교적 낮은 온도인 60℃에서 10분간 온도처리로 완전히 살균할 수 있고, 사상균의 예로서 토마토 근부위조병균은 배양액을 직접가열하여 70℃로 10분간 처리하면 후막포자에서의 균계의 발생은 인정되지 않았다고 한다. 가열에 의한 살균 효과는 Runia(1988)에 의해서 보고되어 고압에서 순간가열방법으로 10초간의 단기간 처리로 *Verticillium*은 83℃, TMV는 97℃에서 살균할 수 있었다고 보고 되고 있다. 대체적으로 95℃에서 30초간 소독을 하게 된다. 일반적으로 병해소독에 필요한 가열정도는

Virus>세균류>진균류>원생동물의 순으로 소독이 어려우므로 소독의 대상에 따라 가열온도 및 시간은 달라질 것으로 생각된다.

오존처리법을 사용하는 경우, 오존은 매우 강력한 산화제로서 식수, 산업용, 도시하수의 소독에 주로 사용된다. 오존은 전자 공여체로서 다른 물질을 산화시키며, 오존 자체는 산소로 환원된다. 낮은 pH조건에서는 잔존 오존의 양이 많기 때문에 소독하기전 양액을 산성조건으로 맞추기 위한 산 공급장치가 필요하다. 오존처리시 pH를 4로 낮추기 위해 질산을 사용한다(However Farooq et al., 1977). 처리탱크에 배양액이 가득차면 오존처리를 하는데 10g의 오존으로 1m³의 배양액을 1시간동안 처리하면 효과가 있다. 오존노출시간은 표 5-1과 같으며, 주입시간과 순환시간을 더한 것이다.

표 5-1. 20g 오존처리 후(1시간) 배양액내의 감염도

노출시간(분)	토마토 모자이크 바이러스의 병반수	곰팡이 수
0	560	33,200
10	-	10,800
15	206	-
30	3	104
45	2	-
60	0	76

UV(ultra-violet)는 파장이 100-400nm의 전자기 광선이다. 200-280nm 범위의 UV광선은 매우 강력한 살균효과를 가지고 있고, 이 파장범위내에서도 253.7nm가 가장 효과적이다(Gelzhäuser등, 1985). 병원균 살균을 목적으로 2가지 종류의 UV램프가 있는데 고압등은 200- 280nm의 파장을 발산하는 반면 저압등은 주로 253.7nm의 파장을 발산한다. 고압등(전력소비의 10%만 UV로 전환)은 저압등(약 40%를 UV로 전환)에 비해 에너지 효율이 적다. UV램프를 통과하는 배양액의 유기물을 제거하기 위해서는 0.4-0.8mm의 모래를 여과하는 장치를 해야 한다. 상업적인 설비에서는 10mJ/cm²의 UV조사가 곰팡이의 제거에 효과적이거나 바이러스 등을 포함한 완전한 소독을 위해서는 250mJ/cm²이 필

요하다(Runia 1994).

박막(membrane)여과법은 제염처리 방법으로 역삼투압을 이용하여 여과하나 배양액을 여과할 때에는 비료성분까지 여과되어 배양액 소독에 적합하지 않다. 미세여과 박막(microfiltration membrane)은 역삼투압 여과법보다 막의 구조가 느슨하여 비료도 통과하고 배양액의 조성도 변화시키지 않는다. 다만 박막의 구멍이 막히고 여과효과의 신뢰성이 떨어져서 이 방법은 권장할 만한 것이 못 된다(Runia, 1993).

모래여과법은 역병균(*Phytophthora*)은 잘 걸러지고 그 외 시들음병(*Fusarium*)의 포자는 일부 모래여과기를 대체하여 하루 3-7m 속도로 석영모래의 90cm층을 통과하도록 하는 원리이다. Ceramic 재료로 하루에 4m속도로 여과한 경우 시들음병균도 100% 여과되었다고 한다(Wohanka,1991). 이러한 결과로 볼 때 배양액 소독을 위한 모래여과기 사용은 역병균에 감염되는 작물에서는 살균효과가 인정되나, 모래여과층의 두께와 혼합하는 재료에 따라 효과가 달라질 수도 있다(Runia, 1993).

염소와 비교해서 요오드(iodine)는 안정성과 실효성 때문에 식수소독에도 많이 사용되고 있다(HSU, 1964). 담배 모자이크 바이러스는 요오드에 저항력을 가진다고 판명되어 배양액 소독방법으로는 적합하지 않다. 요오드 0.7ppm이상 농도에서는 시들음병균의 분생포자가 죽었으나 그보다 낮은 농도에서의 효과는 현재 실험중에 있다(Runia, 1993).

과산화수소(hydrogen peroxide)는 오존과 비슷한 산화제이다. 하지만 오존은 강력한 산화제이나 과산화수소는 약해서 매우 높은 농도로 장시간 처리가 필요하다. 담배 모자이크 바이러스는 활성 과산화수소 400ppm농도에서 99.97%나 제거된다는 보고가 있다(Runia, 1993).

양액재배에서 배양액살균을 위한 이들 장치들은 폐쇄형 순환 양액재배 시스템에서 재순환되는 양액을 이용할 경우 필요하다. 그러므로 배양액의 소독은 필수적이며 온실 지붕 등에 고인 빗물이나 지표수 또한 배양액 원수로 농업용수로 이용하기 전에 반드시 소독과정이 요구된다. 최근 이용되는 배양액 소독

방법은 열처리, 오존처리, 또는 자외선처리 등이며 이 방법들은 곰팡이, 세균, 바이러스의 제거에 효과적이다. 박막여과방법은 막의 막공이 쉽게 막히고 여과의 신뢰성이 떨어지며 모래여과법은 역병균이나 몇가지 바이러스에만 효과적인 것으로 알려졌으며, 요오드를 이용한 소독법은 바이러스제거에는 효과적이지 못하고 곰팡이류에는 비교적 낮은 농도에서도 효과적인 것으로 알려져 있다. 그러나 작물재배 기간 동안에는 작물의 종류에 따라 상이한 병원균들의 침투를 고려하여야 하므로 바이러스 및 곰팡이류 등의 완전한 살균을 요한다. 장차 환경오염이 없는 시설원예장비의 개발과 이용은 당연한 과제이며 양액재배의 확대보급에 위해 매우 중요한 연구대상이 된다. 근부병, 역병 등 배양액을 매개로 전염하는 병이 배양액을 순환이용하는 재배방식에서 가끔 큰 피해를 주는 경우가 있다. 또한 최근에는 락올경, 펄라이트경 등의 배지경에서도 환경오염방지와 효율적 양액사용을 위해 순환형으로 전환되어 가는 추세에 있어 근권의 병해발생에 대해 대책을 세우는 것이 중요하다. 양액살균기는 이러한 문제를 해결하기 위해 도입되고 있는데 아직 우리 나라에는 대부분 살균기의 채용이 없거나 부분적으로 외국에서 자외선살균기가 수는 많지는 않지만 고가에 들여와 설치되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 당초 가열살균, 자외선 살균, 오존살균의 방법 등 다양하게 고려하였으나 농가에서 저렴하게 쉽게 채택할 수 있고 효과를 높일 수 있는 기기 개발을 목적으로 안전하면서 간단한 온수보일러를 이용한 가열살균기와 자외선 살균장치를 개발하고자 하였다.

가열살균기는 효율적인 지중열난방기를 변형하여 일정량의 재순환양액을 난방기내로 일정시간 순환하게 하여 95-97℃로 가열 살균하므로써 살균효과를 높이고, 살균된 양액은 다시 회석탱크를 순환하게 하므로써 양액온도조절을 겸하며, 열원으로서 경유와 LPG를 선택하게 하여 LPG사용시 시설내 탄산가스 발생기로서의 이용성을 높일 수 있도록 설계하였다.

자외선 살균기는 기존 유럽제품의 경우 main pipe에 연결하여 pipe내에 석영관을 장착하고 석영관내에 살균등을 집어넣는 방식을 취하고 있으나 본 연구에

서의 개발품은 석영관내부로 양액이 흐르고 석영관 외부에서 살균등을 조사하는 방식을 취해 살균등의 파손으로 인한 양액내 이물질의 혼입을 방지하고, 관내부의 청소시기를 육안으로 쉽게 확인할 수 있으며, 램프 교체가 용이하고, 용량에 따른 병렬연결이 가능하게 하므로서 농민이 쉽게 이용하고 관리할 수 있도록 개발하였다. 차기년도에는 시설원예관련 폐수 종말처리 system을 미생물 복합이용연구와 병행 추진하므로서 양액의 살균을 포함한 완벽한 생태조화형 폐쇄재배시스템을 완성할 계획이다.

제 2 절 .양액가열 살균장치

가. 서 언

양액재배시 병해방제 대책은 병원균의 방제, 전염의 억제, 재배시스템 위생 등의 3가지가 고려하여야한다. 방제대책으로써 가장 일반적인 방법은 농약사용이다. 최근 역병(*Phytophthora*), 입고병(*Pythium*), 위조병(*Fusarium*) 속균 등 수생균에 대한 효과가 높은 약제를 오이, 토마토의 병해시 이용하는 경우 등이 있다. 이러한 약제로 배양액을 처리하면 *Phytophthora*, *Pythium* 속균에 의한 근부병 방제효과, 치료효과가 있는 것으로 알려져 있지만, 이런 농약들은 대부분 작물체의 지상부에 약액살포용으로 양액재배용 농약으로 정식등록이 되어 있지 않으므로 배양액에 투여하는 것은 바람직하지 못하다.

병해방제에 약제사용을 하지 않는 물리적 경종적 방제방법이 여러가지 고안되어 있는데, 오이의 역병에는 동섬유를 배양액중에 투입하여 동이온농도를 높이는 방법으로 방제에 성공한 바 있다(長紅,1980). 또한, 계면활성제에 의한 수생균의 전염원인 유주자를 파괴한 방제에 성공한 예도 보고되었다.(宮田 등, 1972a,b) 기타, 배양액의 농도를 높여 침투압에 의한 유주자의 형성을 저해하여, 삼엽채의 근부병(*Pythium*)을 방제하는 예도 보고되어 있다(草刈·田中,1986). 그러나 이러한 방제방법은 양액의 이온농도에 따라 약해가 발생되므

로 계면활성제의 사용에 문제가 되었다. 또한 작물의 종류에 따라서, 작물의 영양생리상 농도가 높은 배양액의 사용에 문제가 되는 것이 결점이고, 일반적으로 양액재배작물에 이용하는 것은 어렵다. 그러므로 안전하고, 광범위하게 적용되는 방제대책의 개발이 필요하다고 생각되어 자외선을 이용한 배양액 살균기를 고안하였다. 그러나 자외선 살균기를 사용한 경우는 철 등의 특정 미량원소의 균형유지에 지장을 주는 사례가 있어 처리방법에 주의를 요하고 있다.

나. 재료 및 방법

1. 가열살균장치의 구성

배양액의 가열살균을 위해 제작한 살균기는 양액가온과 살균을 동시에 행할 수 있게 설계되었다. 본 연구에서는 당초 main pipe에 연결할 수 있는 순간가열살균기의 제작을 모색하였으나 main pipe를 지나는 유량을 유속의 부하를 주지 않고 순간적으로 가온하기 위해서는 가열기의 부피가 커지고 소모되는 열량도 크기 때문에 개발방향을 전환하였다. 현재 제작된 가열살균장치는 재배조에서 회수된 양액을 집수조(500l)로 모아 집수된 양액을 온수보일러의 내부에서 직접가열살균할 수 있도록 설계하였다.

이 장치는 폴리에틸렌 튜브를 이용한 대향류식 열교환기와 스텐인레스로 제작한 온수보일러통과 경유버너로 구성되어 있다. 보일러내의 가열할 수 있는 양액의 총용량은 160l이다. 급액된 양액은 집수조에 모아지고 일정량의 양액이 회수되면 수위센서에 의해 펌프가 가동되어 가열탱크에 보내진다. 가열탱크에 모여진 양액은 다시 가열기로 보내져 95~97℃의 온도까지 되도록 순환 가열시킨다. 가열살균된 양액은 집수조내의 1차 열교환장치로 보내지고 다시 회석탱크내로 보내진다. 가열에는 경유버너를, 열교환부는 폴리에틸렌 파이프(XL-pipe, 외경 16mm, 길이 100m, 표면적 6.28m²)를 이용하였다. 난방기내의 thermostat를 이용하여 순환모터를 on-off시켜 양액의 가열온도는 임의로 설정할 수 있도록 하였다.

2. 가열살균기의 사양

1) 가열탱크

- 재질 : SUS 27종(304), 160리터
- 내부 표면적 : 1.88m^2
- 순환펌프 : 40W, 220V, 1/18HP(3600 ℓ /h)
- 접합부 알콘용접
- 열교환방식 : 저항관 다관 연소방식

2) 열교환파이프

- 재질 : PE(XL pipe) 또는 stainless 주름관
- 외부표면적 : $6.28\text{m}^2/100\text{m}$

3) 버너

- 가온능력 : 80,000 kal/h
- 열효율 : 90~95%
- 최대연료소비량 : 10.3 ℓ /h
- 사용전압 : 220V 단상
- 최대전기사용용량 : 1 Kw/h
- 형식 : 건타입 자동버너
- 사용연료 : 경유

3. 병원균의 내열성 시험

세균의 내열성을 조사하기 위하여 전남 담양군에 위치한 토마토 재배농가에서 토마토 청고병의 발병주에서 채취한 토마토의 청고병균주(*Pseudomonas solanacearum*)를 glucose가 첨가된 한천배지에서 배양하였다. 배양한 균주를

중류수로 희석하여 청고병균밀도가 3×10^4 cfu/ml인 검액을 만들어 50~80℃에서 온도처리를 하였다. 300ml용량의 삼각플라스크 각 10개에 각각 검액 50ml를 주입하여 5~120분 온탕속에서 온도처리를 하였다. 처리후 검액을 청고병균주 선택배지에 희석평판법으로 7일간, 25℃의 암조건에서 배양하였다. 배지위에 발생한 콜로니의 수로 청고병균주의 생존수를 측정하였다.

또한 사상균의 내열성을 조사하기 위하여 토마토 근부위조병의 발병주에서 분리한 위조병균(*Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*)을 PDA배지에서 분생포자를 진동배양하였다. 얻어진 분생포자를 벚짚에 접종하여 3개월간 배양한후 후막포자를 형성시켰다. 후막포자가 형성된 벚짚을 약 2cm로 잘라 5ml의 플라스틱용기에 약 10편을 넣고 이 용기에 50~90℃의 온수를 넣어 밀폐후 벚짚을 *Fusarium*선택배지위에 놓고 20℃하에서 30일간 배양하여 벚짚에서 균사의 발생유무를 10반복으로 조사하였다.

4. 배양액의 성분조성 분석

토마토 2작후 사용이 끝난 락올매트(30x30x7.5cm)에 함유되어있는 액을 추출하여 이 추출액 및 추출액에 원시처방 표준농도의 염류를 첨가한 액을 300ml용량의 삼각플라스크 각 6개에 50ml씩 넣고 온탕속에서 95℃, 1시간의 가열처리를 행하여 가열전후 액속의 양분조성농도를 이온크로마토그래프(IC-100)를 이용하여 측정하였다.

다. 결과

1. 가열살균 장치의 처리능력

가열살균장치의 능력은 1차측 입구의 액온을 20℃로 하고 가열탱크내에서 설정온도가 95, 85, 75, 65 및 55℃일때 그 처리능력은 각각 5.7, 5.9, 6.1, 6.4 및 7.1(l/분)이다. 또 열교환부에서의 열 회수율은 각각 80, 78, 76, 74 및 70%로 높고, 2차측의 출구액온은 45℃까지 저하하였다.

2. 토마토의 청고병균 과 근부위조병균의 살균효과

청고병균은 열에 약하여 50℃의 비교적 낮은 온도속에서 살균효과를 인정하고(표 5-2) 60℃의 10분간처리 및 70℃의 5분간 처리에서 완전히 살균이 가능하였다.

표 5-2. 토마토 청고병균에 대한 가열시간과 온도에 의한 영향

온도 (℃)	시 간(분)				
	5	10	20	30	60
50	+	+	-	-	-
60	+	-	-	-	-
70	-	-	-	-	-
80	-	-	-	-	-

병원균의 수는 2×10^4 cfu/ml
+ : 생존 - : 살균

근부위조병균은 후막포자를 형성하여 세균보다 고온에 강하여 50℃의 온도속에서는 1시간 처리에서도 살균효과를 인정할 수 없었고 60℃에서 30분간 처리에서도 완전히 살균할 수 없었다. 그러나 70℃의 온도속에서는 10분간 처리로, 80℃ 이상에서는 3분이내의 단시간으로 완전히 살균할 수 있었다.(표 5-3)

표 5-3. 근부위조병균에 대한 가열시간과 온도처리에 의한 영향

온도 (℃)	시 간(분)					
	3	5	10	20	30	60
50	10*	10	10	10	10	10
60	10	10	6	4	2	0
70	2	1	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0

* 가열처리후 10개의 한천배지에서 토마토위조병균 생존수

3. 가열에 의한 배양액 조성의 변화

배양액의 조성의 변화에 미치는 고온처리의 영향을 표 5-4에 나타내었다. 가온처리에 의해 NO₃-N, K, Ca의 농도가 약간 상승하는 경향을 볼 수 있었지만 95℃, 1시간의 가온처리에 의한 배양액의 조성, 농도변화는 거의 없어 가열에 의한 다량요소, 미량요소 배양액성분의 불용화는 인정되지 않았다.

표 5-4. 가열처리후에 폐액된양액의 양액조성

(단위:%, mS/cm, ppm)

	EC	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
폐액의 양액조성											
①가열 전	1.7	207	0	296	125	27	26	2.72	1.73	0.13	0.12
②가열 후	1.9	209	0	313	128	28	27	2.58	1.65	0.18	0.11
②/①x100		(101)		(106)	(102)	(103)	(102)	(95)	(95)	(138)	(92)
비료양액을 첨가한 폐액의 양액조성											
③가열 전	2.7	309	23	406	185	58	52	3.26	1.89	0.66	0.76
④가열 후	2.9	334	25	464	193	60	48	3.50	1.85	1.63	0.78
④/③x100		(108)	(109)	(114)	(104)	(103)	(92)	(107)	(98)	(96)	(103)

95℃에서 1시간동안 가열처리

제 3 절 자외선 살균기

가. 서언

자외선은 100~400nm사이의 파장영역을 갖는 전자파방사를 말하며 200~400nm(short-wave) 범위의 UV선들은 강한 살균효과를 갖는데 그중 253.7nm에서는 가장 높은 살균효과를 발휘한다(Gelzhäuser 등, 1985). UV-C라 불리워지는 이 광선은 광화학적 방사에 의해 미생물들을 파괴하며 *Giardia cysts*의 살균은 150mJ/cm²일의 조사량이 필요하지만 20~25mJ/cm²는 일반적인 음료수의 살균에 충분한 것으로 보고되고 있다(Bernard 등, 1991). UV광선량에 따라 병원균의 살균효과가 달라진다. 낮은 조도의 자외선은 효과가 없지만

430mJ/cm²의 높은 조사량에서는 양액내의 *Fusarium* 분생포자가 100%살균이 되었고, *Verticillium*의 균사체와 분생자의 전염을 74%정도 감소 시킨 것으로 보고되었다 (Runia,1991). 본 연구개발에 있어서 자외선 살균기는 253.7nm의 파장방사를 주로하는 UV-lamp를 이용하여 양액재배에서 문제시되는 *Pseudomonas*, *Fusarium*, TMV 등의 유해균 살균을 통해 순환식 양액재배에서 문제가 되는 급속한 병해전파를 사전에 예방하고자 하였다. 또한 기기는 관리 및 유지의 용이성, 경제성, 살균효과 등에 중점을 두어 개발하고자 한다.

나. 재료 및 방법

1. 자외선 램프

1) UV램프의 구조

살균램프는 유리관에 자외선(253.7nm)을 효과적으로 투과시키기 위한 특수한 재질로 사용하여, 램프의 양단에 텅스텐전극과 코일에는 발열자(emitter; 산화 Br, 산화Sr, 산화Ca 등의 열전사방사가 잘되는 물질)가 도포되어 있다. 관내는 진공상태로 되게한 후 적량의 수은과 적당한 압력의 아르곤 가스 또는 아르곤 가스와 다른 불활성가스와 혼합하여 만든다.

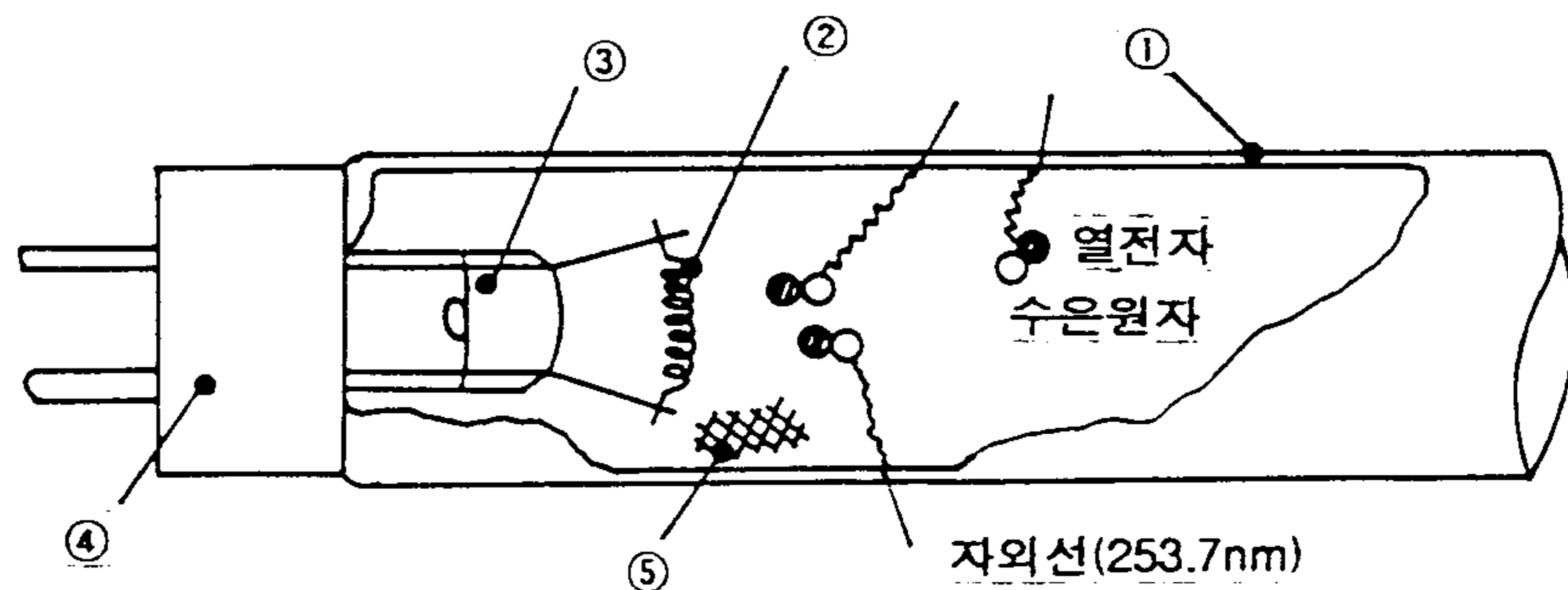


그림 5-1. 살균램프의 구조

1. 자외선 투과 유리 2. 전극 3. Stem 4. 소켓연결구 5. 아르곤가스

2) 온도특성

살균램프에 봉입되어 있는 수은의 증기압이 주위온도, 램프전류 등에 의해 변화되어 램프에서의 자외선 방사강도가 변화된다. 일반적으로는 주위온도가 20~22℃, 램프관벽온도 40℃전후에서 자외선 방사출력이 최고가 된다. 보통 자외선 살균램프는 이러한 사항들을 충분히 고려하여 설계되었으므로 자외선의 출력과는 영향을 미치지 않는다. 주위의 온도가 20~22℃이고 풍속이 0m/sec에서 자외선 출력이 100%이라면 3m/sec인 경우 램프관벽의 냉각으로 약 65%로 자외선 출력이 저하된다(三共電氣).

3) 자외선램프에서의 자외선 발생의 원리와 살균

자외선 램프에서의 자외선 발생의 원리와 살균을 보면 양단에 전류를 보내어 전극을 예열시키고, 발열자로부터 열전자를 방출시켜, 아르곤가스를 매개로 방전(점등)시키는 원리이다. 방전에 의해 관내에 흐르는 전자는 포화상태의 수은 증기에 급격히 충돌하여 수은공명선으로 253.7nm의 파장을 발생한다. 살균램프는 253.7nm의 자외선을 사용함으로써 살균작용에 이용되며, 관내에 발생된 자외선을 자외선투과율이 높은 특수한 유리 또는 투명석영소자를 사용하는 것으로서 살균가능한 자외선 방사를 효율적으로 방사시킨다.

4) 자외선 살균장치의 제작

일반적으로 구입이 쉬운 자외선 램프를 이용하였으며 살균등의 출력은 15W 살균등으로 253.7nm의 파장의 자외선을 발생하는 램프를 2개(15W×2; 자외선 출력 3.2W×2본)를 이용하여 제작하였고, 외형은 철판으로 제작하여 시설내부의 불량환경이나 양액에 의한 부식을 막기 위해 내염페인팅 처리를 하였으며 내부에는 램프에서 출력된 자외선이 흐르는 양액에 효과적으로 조사되게 하기 위하여 상하 내벽에 반사판을 설치 하였다. 점등에 필요한 안정기 및 전기장치

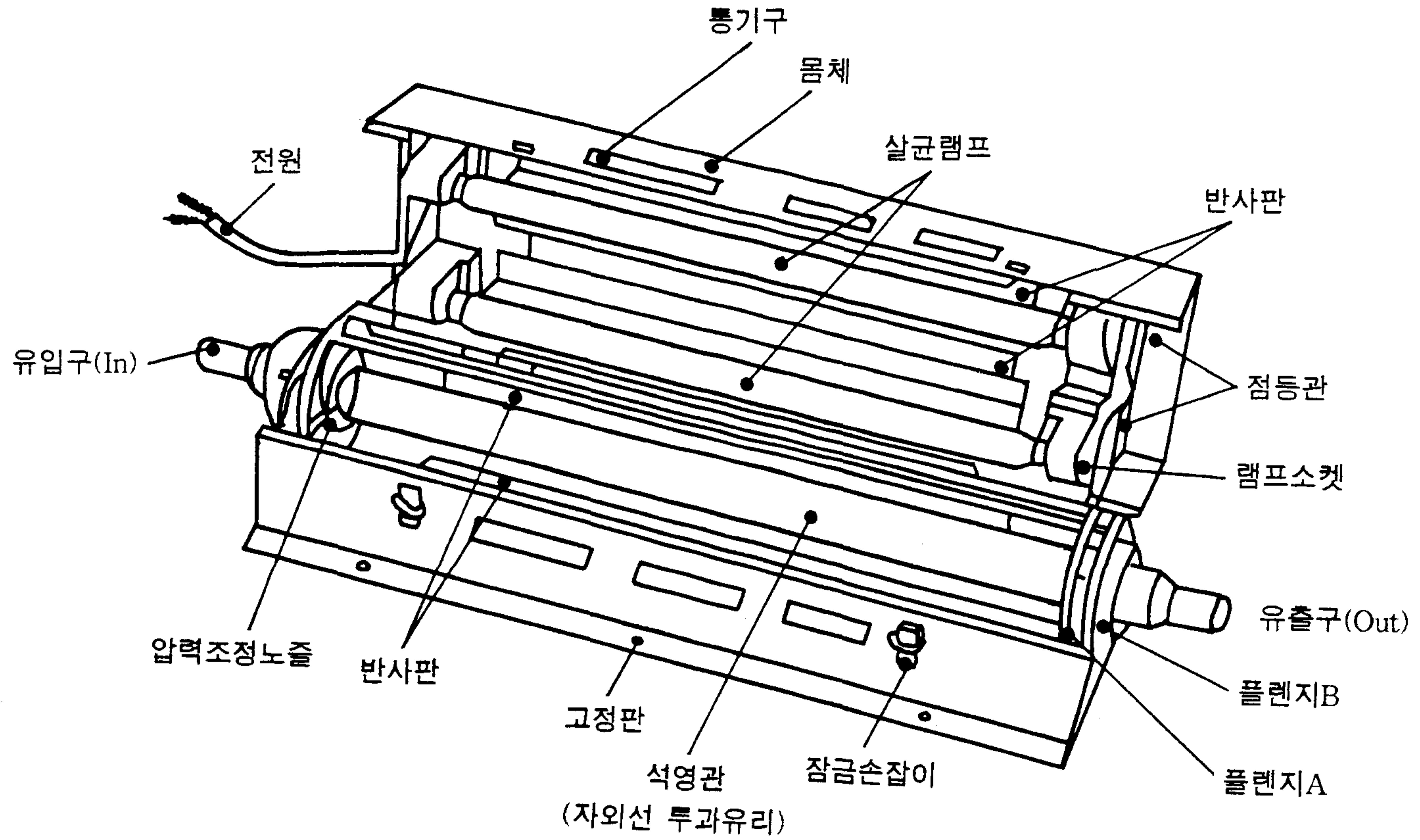


그림 5-2. 자외선 살균기의 구조도

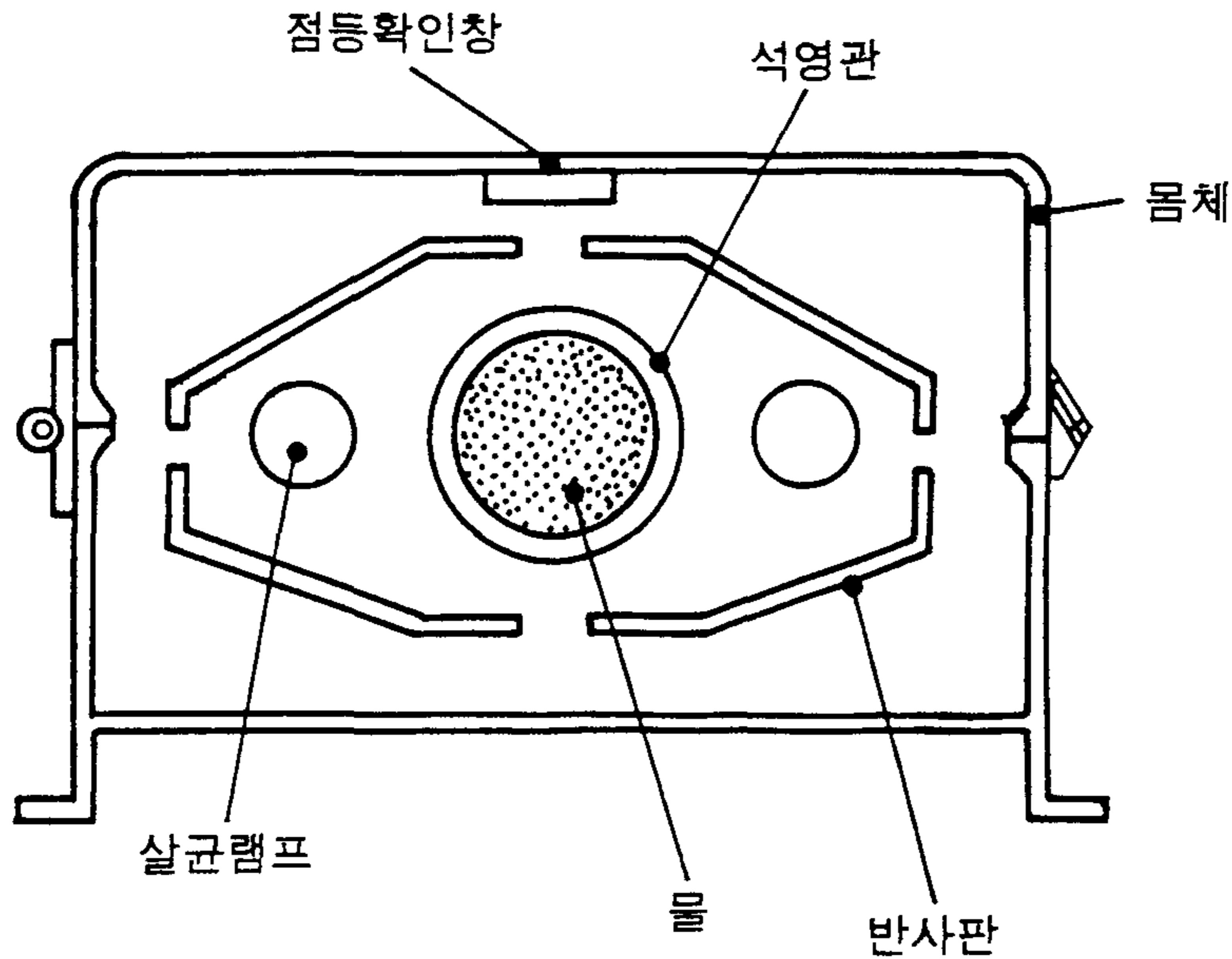


그림 5-3. 자외선 살균기의 단면도

는 상판의 반사판 뒤에 설치하고 외부에서 자외선 램프의 점등을 확인 및 석영관의 내부에 오염정도를 확인할 수 있도록 상판외부에 작은 확인창을 만들었다. 석영관은 38mm의 투명한 관으로서 하판부의 중앙 양단에 배치하였고 자외선량은 제한되어 있으므로 살균장치를 통과하는 양액이 완전히 소독되기 위해서는 살균에 필요한 충분한 시간을 석영관내에서 지체되어 있어야 하는데 이는 관내에는 압력을 높여주어야 한다는 문제가 있다. 그러므로 양액이 유입구에서 유출구로 일시에 흘러 가지 않도록 석영관 내부에 약간의 압력을 가할 목적으로 압력조정구를 설치하여 관내에는 유속을 늦추어 살균효과를 높여 주도록 하였다. 또한 석영관내에 압력이 높아지므로 접속부에 PVC 연결관과 석영관사이에 실리콘링을 설치하여 알루미늄고정대와 조임장치로 기밀하게 연결시켰다.

장치에 대한 모식도 및 시제품은 그림 5-2, 5-3과 같다.

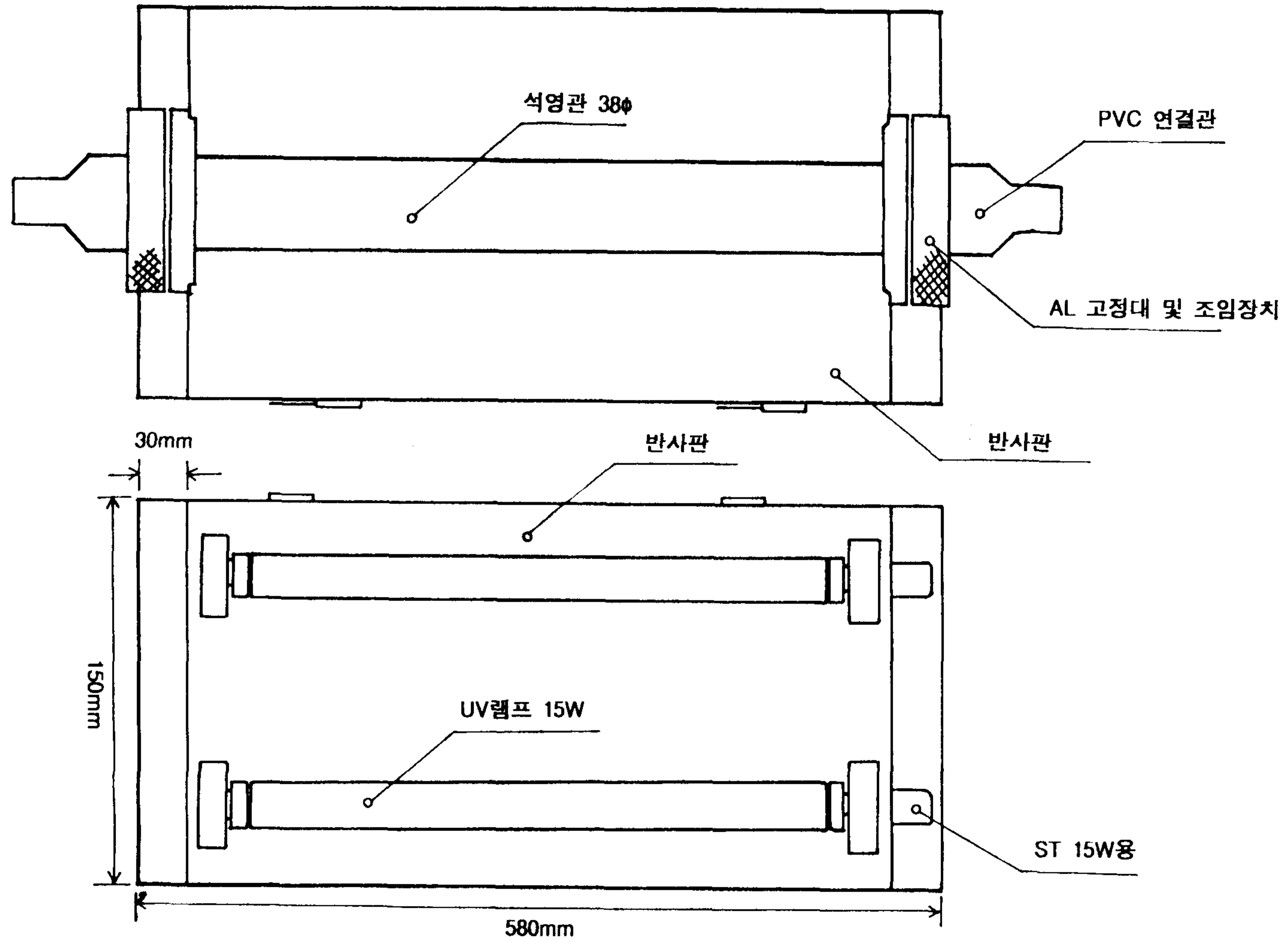


그림 5-4. 자외선 살균기의 평면도

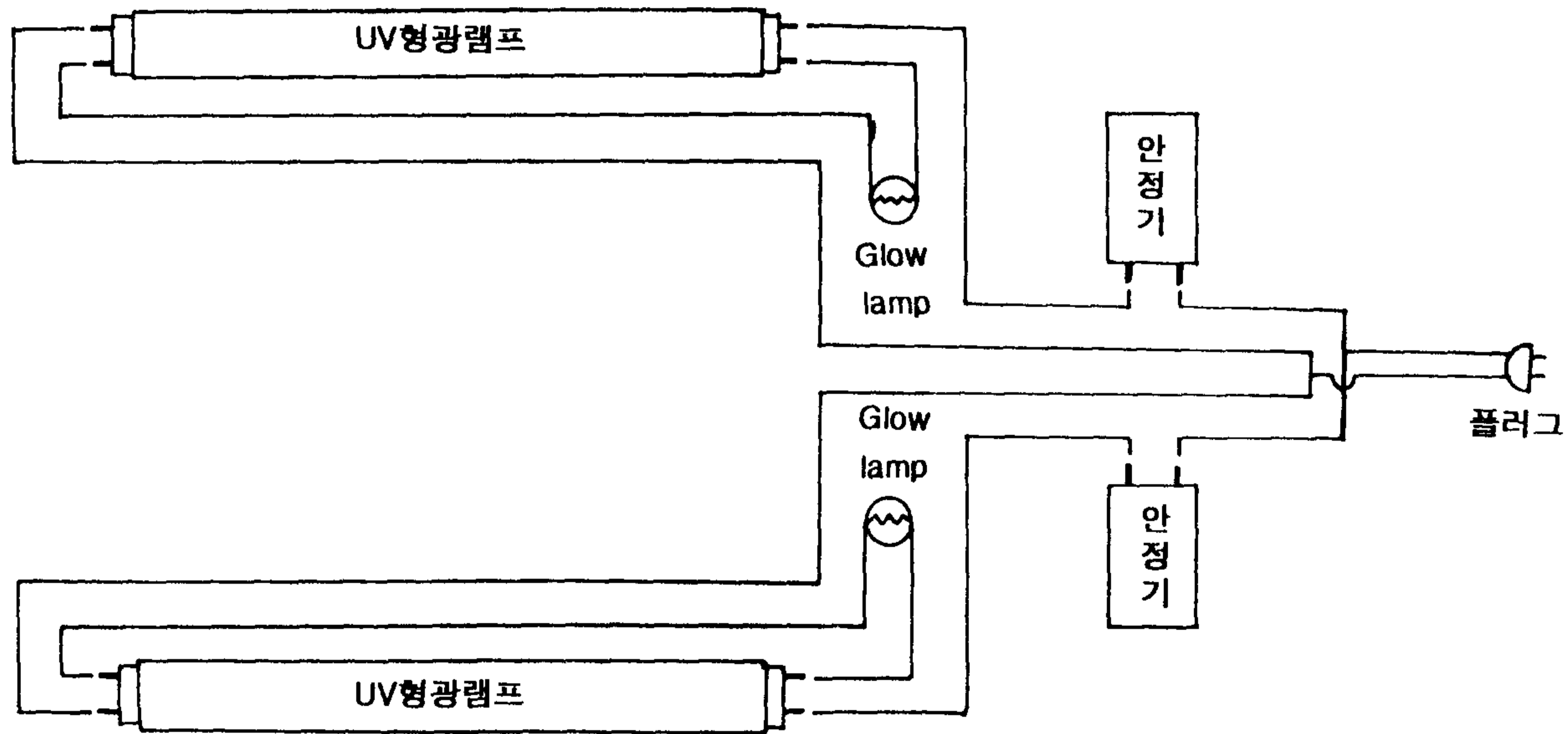


그림 5-5. 자외선 살균기의 배선도

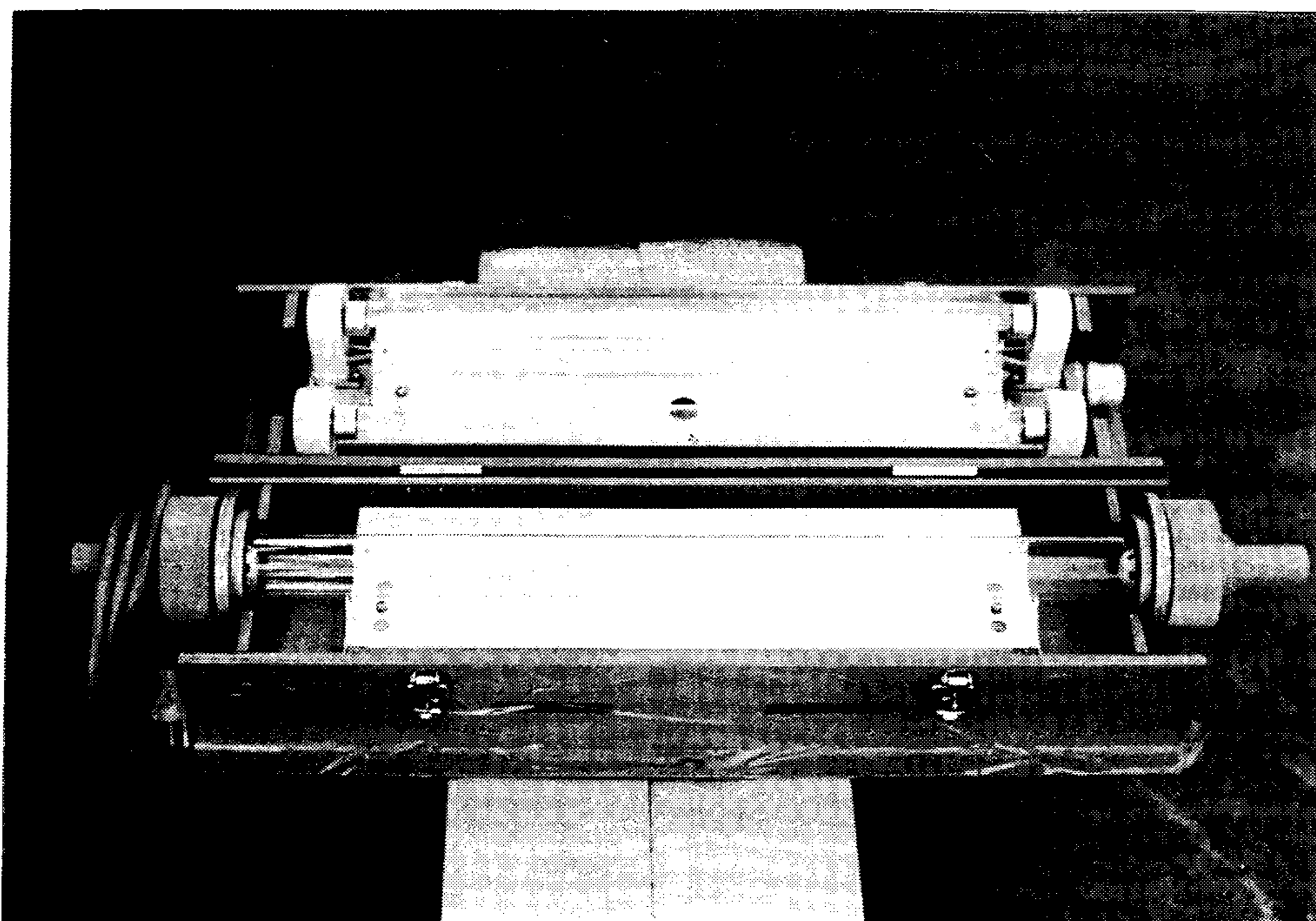


사진 5-1. 자외선 살균기의 시제품

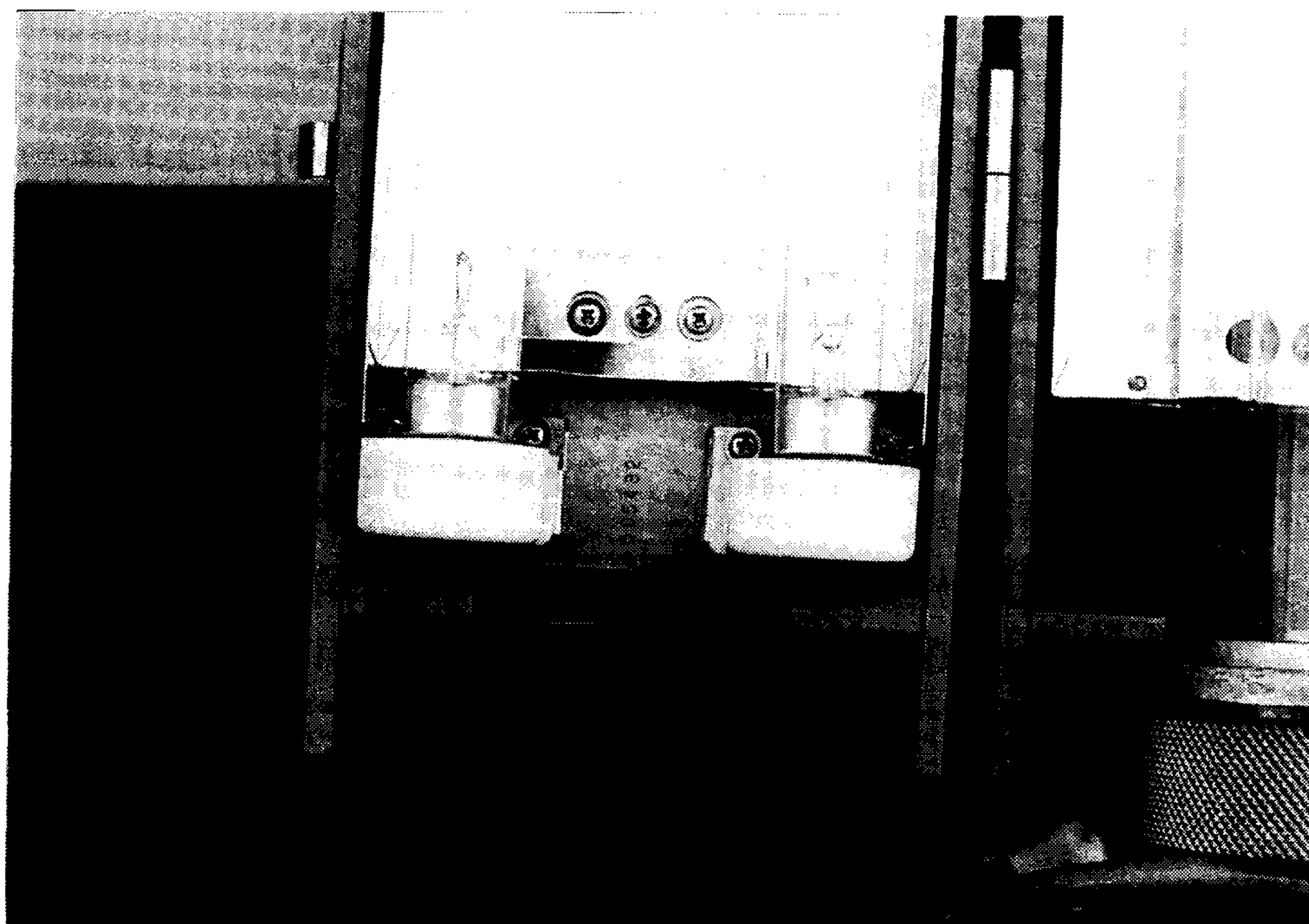


사진 5-2. 자외선 살균기의 시제품의 램프 소켓 배열

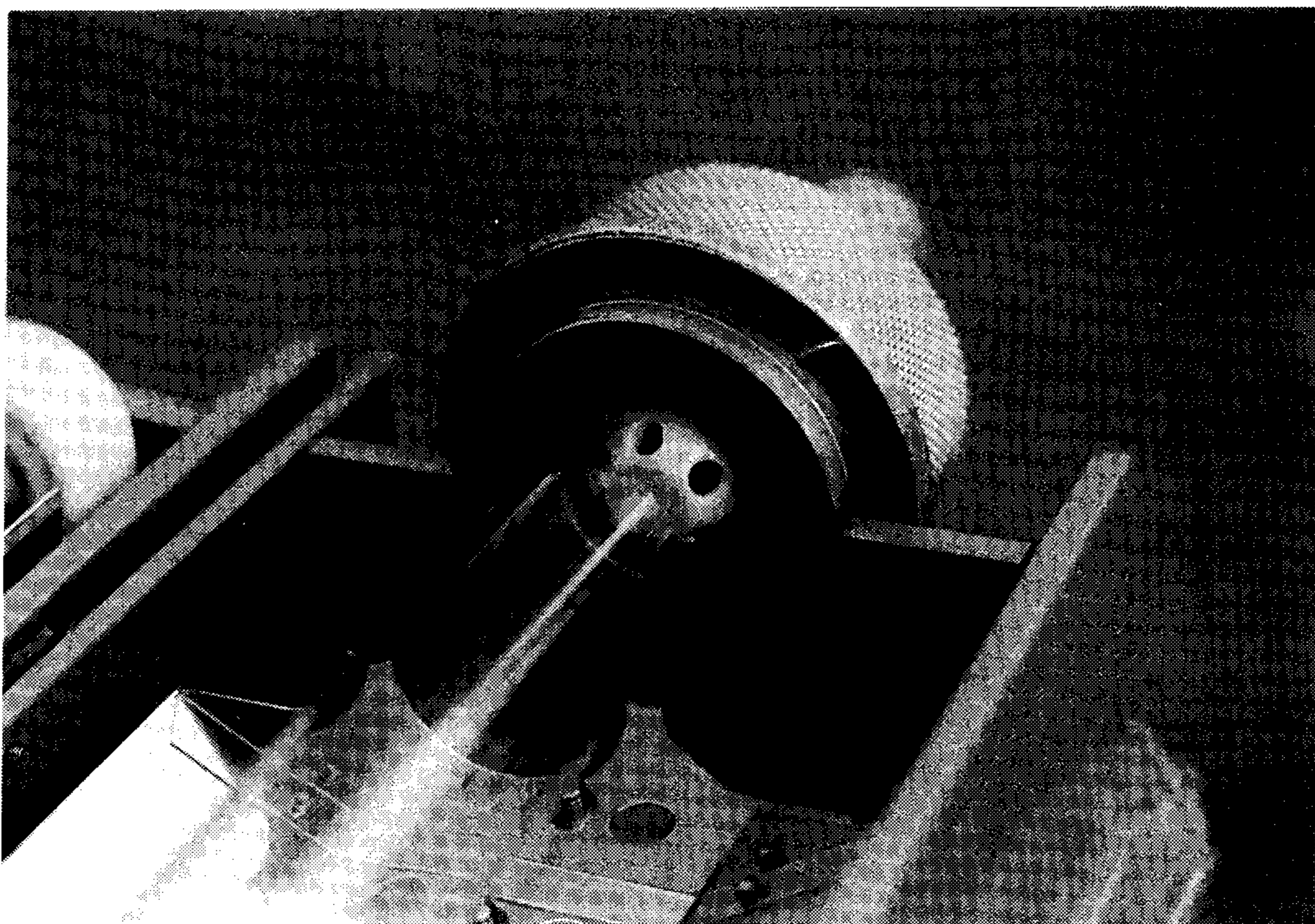


사진 5-3. 자외선 살균기의 시제품의 석영관 실링 장치

다. 결과

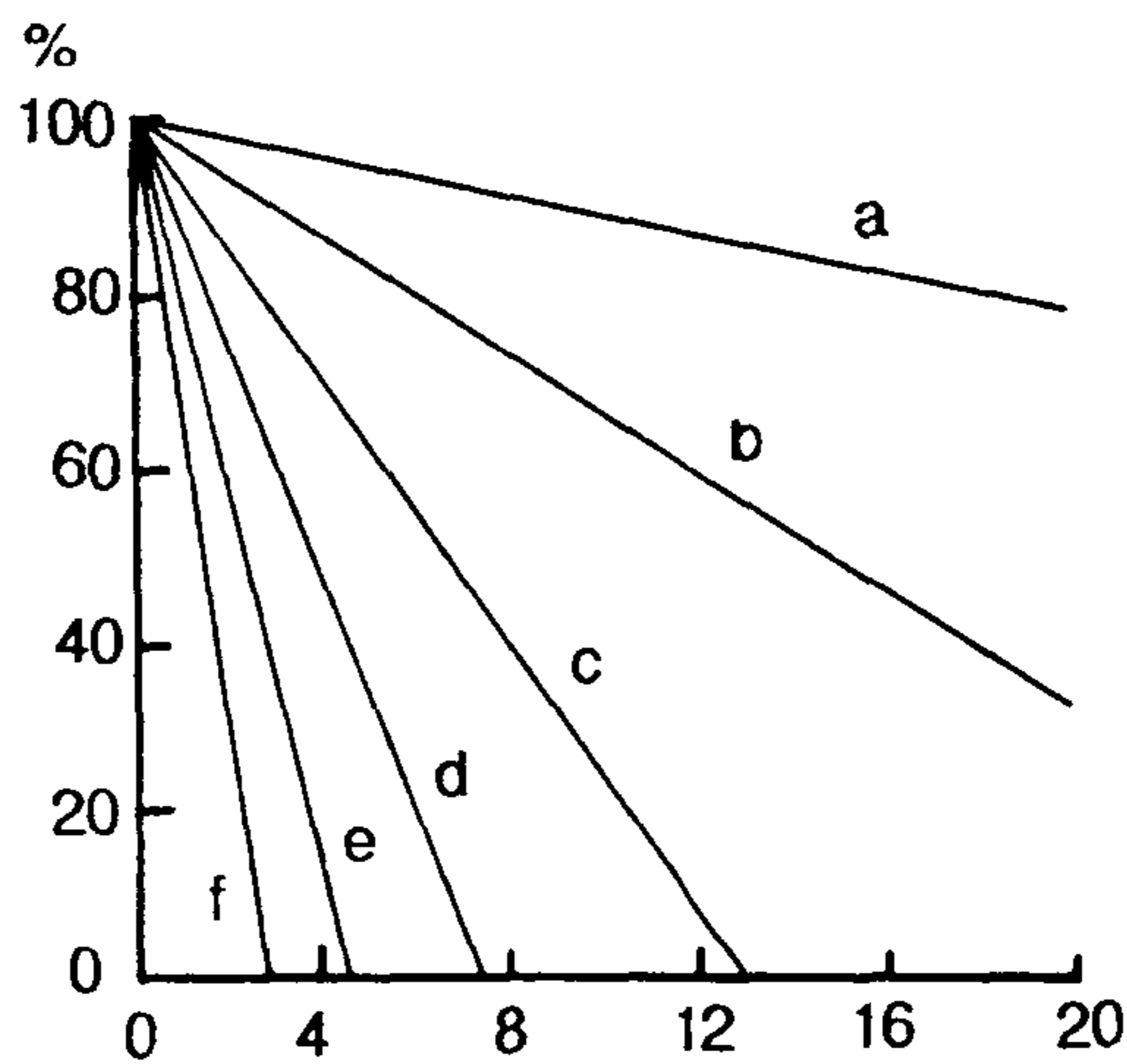
1. 자외선 살균효과

자외선의 살균효과는 조사에너지에 비례한다. 미생물이 어느 정도의 조사에너지에 사멸하는 가는 작물의 종류와 생육단계, 조사되는 기관에 대해 다르고, 일반적으로 세균에서는 낮고, 사상균에서는 높으며, 세균에서도 아포를 형성하는 종에서는 높은 조사 에너지가 필요로 한다. 미생물을 살균하는데 필요한 자외선 양은 자외선 램프를 일정 거리에 설치하고, 조도, 조사시간과 미생물의 생존을 조사하는 것으로 측정된다. 표 5-5는 미생물의 사멸에 필요한 자외선량으로 *Bacillus*, *Pseudomonas* 등의 세균류는 비교적 낮은 선량에서 사멸하지만 *Penicillium*, *Aspergillus* 등의 사상균에서는 $20,000 \sim 40,000 \text{uw} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$, 이상의

선량이 필요한 것으로 알려져 있다(山崎,1986). 또한 어류의 병원균에 대해서는 *Saprolegnia*, *Achilia*, *Aphanomycets* 등과 사상균류의 균사에 $200 \times 10^3 \mu w \cdot s/cm^2$, 유주자에는 $30 \sim 49 \times 10^3 \mu w \cdot s/cm^2$ 로 알려져 있다(木村등,1980). 식물병원균에 대해서는 오이의 병원균 유주자로 $120 \times 10^3 \mu w \cdot s/cm^2$, 균사에 $360 \times 10^3 \mu w \cdot s/cm^2$ 로 완전히 사멸하는 것으로 보고되어있다(養原, 1974).

표 5-5. 미생물사멸에 필요한 자외선방사 에너지

미생물의 종류	조사 에너지 ^a ($\mu w \cdot s/cm^2$)
<i>Bacillus subkilis</i>	11,000
<i>B. subtilis</i> (spore)	22,000
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	6,500
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10,500
<i>P. fluorescens</i>	6,600
<i>Salmonella</i> sp.	10,000
<i>Saccharomyces cellipsoideus</i>	13,200
<i>Penicillium roqueforti</i>	26,400
<i>Aspergillus flavus</i>	99,000
<i>Asp. niger</i>	330,000
<i>Mucor racemosus</i>	35,200
<i>Oospore lactis</i>	11,000



- a : 증류수 d : 소독하지 않는 우물물
 b : 열수 e : 작물재배용 양액
 c : 일반수돗물 f : 양어장에서 재순환된 깨끗한 물

그림 5-6 . 여러가지 액체에 대한 자외선 침투깊이

자외선량은 단위면적당 램프의 살균조도($\mu\text{w}/\text{cm}^2$)와 조사시간(초)의 곱으로 나타내며, 조사시간과 자외선 조도에 비례한다. 자외선을 수중에 조사할 경우 물, 수용액중에 용해되어 있는 성분, 탁도(흐림정도)의한 영향을 받고, 공기중에 비교적 자외선량은 모두 감소한다. 또한 장시간의 조사에서는 램프관벽의 오염에 의해 조도 저하도 고려할 필요가 있다(그림5-6).

제작된 자외선 살균기의 성능 검사를 하기 위해 담액재배조(100l)를 스티로폼으로 제작하였고 자외선 조도계로 자외선 램프벽에서의 거리와 배양액중의 자외선 조도를 조사한 것을 표로 작성하였다(표5-6). 배양액의 농도는 $\text{EC}=2.1\text{mS}/\text{cm}$ 로 비교적 투명하였지만 살균 액의 두께가 40mm일경우 투과율은 14%, 20mm일 경우 65%로 투과율이 높게 나타났다.

개발된 자외선 살균소독기내의 자외선조사는 표면적은 596.6cm^2 으로 살균등은 2분을 설치하였으며 2분의 자외선 출력은 $6.4\text{w}(3.2\text{w}\times 2\text{분})$ 이다. 살균장치내의 살균램프, 반사판과 석영관의 중심까지의 평균거리는 25mm이고, 평균투과율은 44.3%이므로 램프를 점등할 경우 장치내의 살균선 조사도는 이론적으로 $4752.26 \mu\text{w}/\text{cm}^2$ 로 계산된다.

표 5-6. 수중배양액중에서의 자외선 조도와 공기에 대한 투과율

살균등으로 부터의거리 (mm)	자외선조도 ($\mu\text{w}/\text{cm}^2$)	공기에 대한 투과율 (%)
0	2,490	-
20	885	65
30	237	22
40	116	14
50	50	7.7
60	19	3.1
70	5	1.0

표 5-7. 자외선 램프를 이용한 공기중에서의 살균효과

※ 30cm거리에서의 살균효과

균류 시간(분)	방선균 살균률(%)	진균류 살균률(%)	진균류포자 살균률(%)
0	0	0	0
0.5	99	72	66
1	100	100	83
2	100	100	98
3	100	100	100
5	100	100	100

자외선을 공기중에서 세균에 조사한 경우 조사되는 거리와 조사시간에 따라 살균효과를 검사한 것이 표 5-7에 나타나 있다. 조사 거리가 30cm에서는 비교적 짧은 시간에서 대부분 살균이 되었고 조사시간이 길어질수록 높은 살균효과를 볼 수 있었다. 진균류의 포자를 제외한 방선균과 진균류는 1분정도에서 100%의 살균효과를 나타내었다.

작물을 재배하는 상태에서의 자외선 살균효과에 대한 검사는 소형의 담액수경장치를 제작하여 조사하였다. 대상병해로서는 자외선으로 살균되는 *Fusarium* 속의 병해(오이 만할병)를 이용하였으며 자외선 살균조가 설치된 담액수경재배장치로 2개의 재배조에 자외선조사장치를 접속하였다. 자외선조사장치가 설치되지 않은 재배조에 오이만할병 이병식물을 이식하여, 재배를 행하였다. 통상 5일후에 발병이 관찰되었지만 자외선살균조를 설치한 경우에는 10일후도 발병은 인정되었으나 그후 자외선 살균장치가 설치되지 않은 곳보다 낮은 발병율이 확인되었다(표 5-8). 자외선 살균조를 부착한 장치에서도 발병이 나타난 것은 펌프의 동작에 따른 물의 양과 조사시간이 다른 것이 원인으로 사료되며 연속적으로 조사하는 조사방법의 검토가 과제로 되는 것으로 사료된다. 그러므로 살균장치를 회수탱크에 설치하여 연속순환시키는 방법이 살균효과를 높이는데 바람직하다고 사료된다.

제작된 장치를 이용하여 토마토 청고병균과 오이만할병균(소형 분생포자를 배양액에 현탁, 처리후 회수하여 발아시험에 미친 산호평판에 의한 생존을 확

인)를 양액에 혼합하였다. 석영관내부에 압력조절 소켓과 overflow를 이용하여 석영관 내부를 통과하는 양액을 15, 13, 11, 9, 7, 5 l/min으로 처리하고 배양액을 펌프(모터1/3HP, 15l/min)를 이용하여 살균장치내의 자외선 램프를 1개, 2개를 점등후 석영관으로 통과시킨 후에 수생균의 생존여부를 확인하였다.

표 5-8. 자외선 살균장치의 사용과 오이의 만할병 오염정도

병원균 접종후 일수(일)	발 병 율 (%)	
	대조구	자외선 살균장치의 사용
0	0	0
5	6.3	0
7	21.8	0
10	59.4	3.1
14	65.6	15.6
20	75.0	53.1

오이만할병균을 접종후 경시적인 발병율을 조사함.

표 5-9. 토마토 청고병균에 대한 자외선 살균효과

자외선 출력(W)	자외선램프가 점등된 후 석영관을 통과한 양액량(liter/min)					
	무조사	15	13	11	9	7
3.2	25.4 ^{a)}	24.5	20.7	10.8	5.8	0
6.4	33.2	30.5	25.6	12.9	0	0

^{a)}회석평판법에 의한 병원균수($\times 10^5$ cfu/ml).

토마토 청고병 병원균의 수는 유속이 매우 빠른 처리구에서의 살균효과는 낮았지만 11l/min에서 부터 병원균의 수가 급격히 감소하였으며 7l/min에서는 완전히 살균이 되는것으로 나타났다. 오이만할병은 처리후 발아율이 7l/min 처리구에서는 발아가 되지 않는 것으로 나타났다. 특히 자외선 출력이 3.2W에서 보다는 6.4W의 자외선출력이 더 높은 처리구에서 그리고 석영관을 통과한 양액의 량이 적을수록 높은 살균효과를 볼 수 있었다.

표 5-10. 오이 만할병균에 대한 자외선 살균효과

자외선 출력(W)	자외선램프가 점등된후 석영관을 통과한 양액량(liter/min)					
	무조사	15	13	11	9	7
3.2	79.5 ^{b)}	60.5	30.5	18.5	4.7	0
6.4	98.1	35.3	29.4	7.5	0	0

^{b)}소형분생포자의 발아율(c/c)

또한 양액재배에서 문제되는 수생균류인 입고병(*Pythium aphanidermatum*)의 유주자에 대해 본 자외선 살균기 장치를 이용하여 살균효과를 검사한 것이다. 실험방법은 위와 동일하게 하였으며 수생균이 접종된 배양액을 펌프(모터 1/3HP, 15l/min)를 이용하여 살균장치내의 석영관으로 통과시킨후에 수생균의 생존여부를 확인하였다. 오이의 만할병균은 7l/min에서 살균되었으며, 9 l/min에서도 살균되었고, *Pythium aphanidermatum*의 유주자는 석영관 내부의 유속이 빠름에도 불구하고 사멸되는 것이 확인되었다(표 5-11). 높은 조사량을 필요로 하는 병원균들은 유속을 제어함으로써 살균이 가능 할 것으로 사료된다.

표 5-11. 수생균에 대한 살균효과

공시병원균	자외선램프가 점등된후 석영관을 통과한 양액량(liter/min)					
	무조사	15	13	11	9	7
<i>Pythium aphanidermatum</i>	+	+	+	+	-	-
<i>Fusarium oxysporum</i>	+	+	+	+	±	-

자외선 램프(Tosiba; 자외선출력3.2W×2본)를 사용하여 조사함.

자외선 조사는, 접종된 배양액을 석영관 38mm, 길이 500mm로 양액을 조사함.

+:생존, ±:약간에 생존이 인정됨, -: 살균.

2. 자외선조사시간과 Fe-EDTA 상호관계

오존이나 자외선을 배양액에 연속처리하면 배양액내의 철의 함량이 저하되고 처리를 시작한 2주후 부터 철결핍증이 발생한다(그림 5-6). 이러한 증상은 킬레이트철을 처리후 4~7일 정도에서 배양액에 일정한 비율로 첨가하여 재배작물

의 철결핍을 막을 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 이에 관한 상세한 실험이 따라야 할 것으로 생각된다.

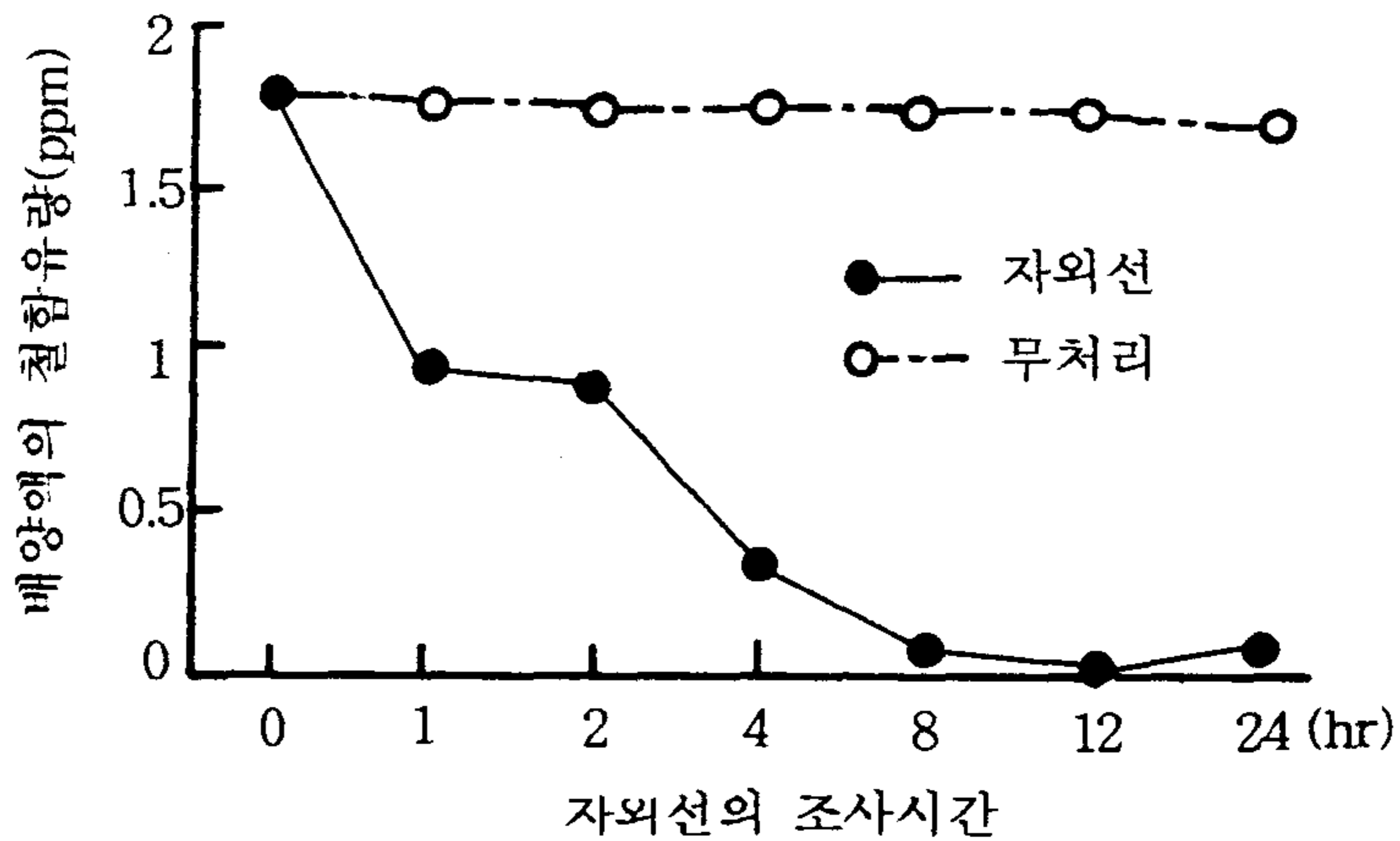


그림 5-6. 자외선 조사가 배양액의 철함량에 미치는 영향

참고문헌

1. 草刈眞一. 1990. 流水殺菌燈による養液栽培の病害防除
2. 草刈眞一. 1988. トマトを中心にした養液栽培の問題點. ハイドロポニックス 2(1):24-33.
3. 神納 淨. 1966. 農及園 41:1119-1120.
4. 三共電気グループ,技術資料“紫外線殺菌(基礎編)”
5. 木村喬久ら. 1980. 漁病研究. 14:133-137.
6. 養原善一. 1974. 農業電化 27(2):11-13.
7. 山崎 南. 1986. 防菌防微 ハンドブック日本防菌微學會編, 技報堂,東京
8. Bernard, J. et al., 1991a. Chap. 3 Basic physical-chemical processes in water treatment, 12, oxidation-reduction. Water Treatment Handbook, Degremont, Rueil-Malmaison Cedex France, 249-259.
9. Bernard, J. et al. 1991b. Chap. 22 Treatment of drinking water, 1. General processes, UV-radiation. Water Treatment Handbook, Degremont, Rueil-Malmaison Cedex, France, 1196-1197.
10. Dorst, H. J. M. van. 1988. Surface water as source in the spread of cucumber green mottle mosaic virus. Neth. Journ. of Agric. Sci., 36:291-300.
11. Farooq, S., E.S.K. Chian and R.S. Engelbrecht. 1977. Basic concepts in disinfection with ozone. Jour. Water Poll. Control Fed., 1818-1831.
12. Gelzhäuser, J. et al., 1985. Chap. 3 Erzeugung und Wirkung von UV-Strahlen. Desinfektion von Trinkwasser durch UV-Strahlung, 28-29.
13. Os, E. A. van, N. J. van de, Break and G. Klomp, 1988. Heat treatment for drainwater, the technical and economical aspects. ISOSC Proc. 7th Int. Congr. on Soilless Culture, 353-359.

14. Rattink, H. 1991. Epidemiology of Fusarium crown and root rot in artificial substrate systems. Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent, 56/2b, 423-430.
15. Runia, W.T. 1988. Disinfestation with an iodine-loaded synthetic resin. Annual Report GCRS 1987, 92.
16. Runia, W. T. 1989. Water disinfestation, ultrafiltration. Annual Report GCRS 1988, 84.
17. Runia, W. T. 1990. Water disinfestation, microfiltration. Annual Report GCRS 1989, 85.
18. Runia, W. T. 1991. Water disinfestation, microfiltration. Annual Report GCRS 1990, 90.
19. Runia, W. T. 1991. Water disinfestation, ozonisation. Annual Report GCRS 1990, 90-91.
20. Runia, W. T. 1992. Water disinfestation, iodine. Annual Report GCRS 1991, 99.
21. Runia, W. Th., E.A. van Os, and G. J. Bollen. 1988. Disinfection of drainwater from soilless cultures by heat treatment. Nether. J. Sci. 36:231-238.
22. Runia, W.Th. 1994. Disinfection of recirculation water from closed cultivation system with ozone. Acta Horti. 361. 388-396.
23. Runia, W. Th. 1994. Elimination of root-infecting pathogens in recirculation water from closed cultivation systems by ultra-violet radiation. Acta horti. 361:361-371.
24. Wohanka, W. 1990. Geschlossene Kulturverfahren im Zierpflanzenbau aus Sicht des Pflanzenschutzes. Taspo Praxis 18. Geschlossene Kulturverfahren Zierpflanzenbau, 57-61.
25. Wohanka, W. 1991. Wasserentkeimung bei der Hydrokulture von Zierpflanzen. Garenbau 38. 43-46.