

최 중
연구보고서

첨단 온실의 원격 생육환경 감시 시스템 개발

Development of remote environment monitoring
system of a state-of-the-art greenhouse

연구기관

서울대학교

환경대학교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “첨단 온실의 원격 생육환경 감시 시스템 개발” 과제의
최종보고서로 제출합니다.

2002 년 11 월 19 일

주관연구기관명 : 서울대학교

총괄연구책임자 : 류 관 희

세부연구책임자 : 류 관 희

연 구 원 : 김 기 영

연 구 원 : 한 재 성

연 구 원 : 임 정 호

연 구 원 : 공 대 광

연 구 원 : 유 윤 관

연 구 원 : 손 승 용

협동연구기관명 : 한경대학교

협동연구책임자 : 이 종 환

연 구 원 : 강 권 규

연 구 원 : 김 성 엽

연 구 원 : 안 청 운

참 여 기 업 명 : (주)인피트론

연 구 원 : 홍 순 호

연 구 원 : 진 제 용

요 약 문

I. 제 목

첨단 온실의 원격 생육환경 감시 시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

첨단온실은 기술집약형 농업의 한 형태로 컴퓨터에 의한 환경제어 및 재배관리가 이루어지고 있으나 하드웨어의 안정성 및 신뢰성 부족, 운용 소프트웨어의 미흡, 재배자의 유지관리 능력을 초과한 복잡한 시스템, 장치간, 작물간 상호관계에 대한 정보화 부족 등의 이유로 첨단 설비의 활용도가 낮아 경제성이 떨어지고 있어 보다 경제적인 운용방안이 요구되고 있다.

이를 위해 첨단온실을 구성하는 각 요소를 전문가에 의하여 통합적이며 안정적으로 감시하고, 온실정보를 데이터베이스로 구축하여 온실운용의 제어전략을 수립할 수 있도록 정보를 제공하는 시스템의 개발이 필요하다.

본 연구는 첨단온실의 안정성과 신뢰성을 확보하고, 환경요인과 제어장치 상태 및 작물의 생육상태를 데이터베이스화하여, 온실운용의 제어전략을 위한 정보를 제공하기 위하여 정보수집 시스템, 통합관리 시스템, 표출 및 원격작동 시스템으로 구성된 인터넷을 이용한 첨단 온실의 원격 생육환경 감시 시스템 개발을 목적으로 수행되었다. 이러한 목적을 효율적으로 달성하기 위해 “온실 환경 제어시스템 종합 관리 및 모니터링 시스템 개발(서울대)”에 대한 세부 과제와 “작물 생육 상태 모니터링 및 제어 전략 정보 제공 시스템 개발(한경대)”에 대한 협동 과제로 구분하여 연구를 수행하였다.

본 연구의 구체적인 목적은

1. 첨단 온실의 원격 생육환경 감시 시스템의 바람직한 구성을 제시한다.
2. 온실의 환경상태와 제어장치의 작동상태를 감시하는 클라이언트/서버구조의 모듈화된 감시장치를 개발한다.
3. 온실환경조건과 작물 특성을 고려한 컴퓨터 시각 장치를 구축하고 생육상태 분석 및 진단을 위한 알고리즘을 개발한다.

4. 모듈화된 생육환경 감시장치와 생육상태 감시장치를 통합하여 정보수집시스템을 구축한다.
5. 개발된 정보수집시스템의 데이터를 데이터베이스로 구축하고, 가공 및 분석하여 제어전략 정보를 제공하는 통합관리 시스템을 개발한다.
6. 인터넷을 이용하여 첨단온실의 생육환경을 원격 감시하고 제어하는 시스템을 개발한다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

각 연구 과제별 연구내용 및 범위를 요약하면 다음과 같다.

[온실 환경 제어시스템 종합 관리 및 모니터링 시스템 개발(서울대학교)]

온실의 환경 제어시스템을 종합적으로 관리하고 감시할 수 있도록 인터넷을 이용하여 생육환경, 외부기상, 작동장치의 작동상태, 재배작업 등 온실의 운영에 관련된 각종 정보를 수집하여 데이터베이스에 저장하고, 가공 분석하여 인터넷을 이용하여 실시간으로 재배자 및 관련 전문가에게 유용한 정보를 제공하는 시스템을 개발하는 것으로 각 단계별 주요 연구 내용 및 범위는 아래와 한다.

1. 첨단온실의 원격 생육환경 감시 시스템 구성

- 가. 온실의 문제점을 조사하고 감시 시스템의 요구 기능을 분석한다.
- 나. 요구기능에 적합한 시스템의 구성요소를 정의하고 논리적, 물리적 구성을 구명한다.

2. 생육환경 및 제어정보 수집 시스템 개발

- 가. 제어시스템 종합관리 및 모니터링에 필요한 계측 및 감시항목을 구명한다.
- 나. 생육환경 및 제어 정보를 수집할 모듈화된 계측장치를 개발한다.
- 다. 복수의 온실을 동시에 감시할 수 있는 클라이언트/서버 구조의 정보 수집 시스템을 개발한다.

3. 원격 제어 시스템 개발

첨단온실의 신뢰성을 향상시키기 위하여 돌발상황이 발생할 경우, 원격지에서

도 온실 제어장치를 작동할 수 있는 제어 시스템을 개발한다.

가. 돌발상황에 대응할 수 있는 제어 대상 항목을 선정한다.

나. 기존 제어체계에 대한 조사를 통하여 원격 제어방법을 구명한다.

다. 기존 제어체계와 병행할 수 있도록 원격 제어시스템을 개발한다.

4. 통합관리 시스템 개발

가. 통합관리 시스템의 하드웨어 및 데이터베이스 관리시스템을 선정한다.

나. 구성요소로 개발된 시스템간의 네트워크 및 통신 프로토콜을 정의한다.

다. 통합관리 시스템을 구축하고, 구성요소로 개발된 모든 시스템을 통합하여 현장 적용실험을 위하여 공시온실에 설치한다.

5. 데이터베이스 구축 및 제어전략 제공 시스템 개발

가. 요구분석을 통해 개체를 선정하고 데이터베이스의 구성 및 기능을 구명하여, 개념적, 논리적, 물리적 설계과정을 통해 데이터베이스를 설계·구축한다.

나. 원격 감시와 제어시스템 종합관리 및 제어전략 정보 제공을 위하여, 필요한 각 모듈을 구명한다.

다. 온실 데이터베이스에 수집된 데이터로부터 종합관리 및 제어전략 정보 제공에 필요한 정보를 생성하기 위한 가공 및 분석 모듈을 개발한다.

라. 제어장치의 고장 등으로 작물에 피해를 유발하는 극단적인 생육환경의 발생을 감지하여 경보하는 경보 모듈을 개발한다.

마. 인터넷으로 온실을 감시하고 돌발상황시 원격제어를 수행하는 웹 서비스 모듈을 개발한다.

[작물 생육 상태 모니터링 및 제어 전략 정보 제공 시스템 개발(한경대학교)]

1. 생장정보 계측을 위한 컴퓨터 시각장치 구축

가. 온실 환경과 작물의 특성을 고려한 생장정보 계측용 컴퓨터 시각장치를 구성한다.

2. 시계열 작물영상 획득 및 분석 기법 개발

가. 영상 축도 설정을 위한 기하학적 특성 및 색채 분석 방법을 개발한다.

- 나. 시계열 작물 영상을 분석하기 위한 인자를 선정한다.
3. 생육상태 계측 알고리즘 및 성장정보 분석 모델 개발
- 가. 작물의 생육상태 계측 알고리즘을 개발한다.
 - 나. 작물의 구조 분석 방법을 개발한다.
 - 다. 수확량 예측 모델을 개발한다.
 - 라. 작물의 생육상태 진단 기법을 개발한다.
4. 생육상태 모니터링 유닛 제작 및 실증실험
- 가. 실증실험을 위한 생육상태 모니터링 유닛을 구축한다.
 - 나. 실증실험을 통하여 시계열 영상의 특성을 조사하고 생체중 모델을 이용하여 수확량을 예측하는 방법을 개발한다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

[온실 환경 제어시스템 종합 관리 및 모니터링 시스템 개발(서울대학교)]

1. 첨단온실의 원격 생육환경 감시 시스템 구성
- 가. 온실의 문제점을 조사한 결과 하드웨어의 안정성 및 신뢰성 부족, 운용 소프트웨어의 미흡, 재배자의 능력을 초과한 복잡한 시스템, 구성요소간 상호관계에 대한 정보화 부족 등의 문제점이 있는 것으로 조사되었다.
 - 나. 문제점 및 요구분석을 통하여 첨단온실의 원격 생육환경 감시 시스템을 정보수집, 통합관리, 표출 및 원격작동 시스템으로 구성하였다.
 - 다. 논리적 구성을 토대로 물리적인 구성을 구명하였다.
2. 생육환경 및 제어정보 수집 시스템 개발
- 가. 온실의 상태를 대표하는 원격 감시항목은 생육환경인 온도, 습도, 일사량, CO₂농도, 양액온도, EC, pH, 유해가스 농도와 천창, 측창, 커튼, 보일러, 양액 공급장치의 제어장치 작동 상태 및 외부기상과 내부 영상을 선정하였다.
 - 나. 온실 생육환경 및 제어장치 상태를 감시하는 계측장치인 하우스모니터를 단일 칩 마이크로프로세서인 PIC16F877을 이용해 개발하였다.
 - 다. 하우스모니터의 정밀도는 $\pm 0.3\%$ 이내이며, 측창, 커튼, 양액 공급장치의 작

동은 최대 1분 이내, 보일러, 천창의 작동은 최대 6분 이내에 감지하여 온실 상태를 감시하기에 적합한 측정성능을 보였으며, 실시간으로 유효성을 검증하여 이상 데이터를 차단하고, 그룹모니터와 하우스모니터들을 RS-485 통신으로 연결하여 데이터의 손실없이 여러 개의 온실 상태를 감시할 수 있었다.

라. Pan/Tilt/Zoom을 원격 제어할 수 있는 카메라를 이용해서 온실의 내부영상을 획득하여 온실의 내부상황을 직관적으로 파악할 수 있도록 하였다.

마. 그룹모니터는 여러 개의 하우스모니터를 통합관리하며, 수집된 정보를 통합관리 서버의 요구에 따라 인터넷을 통해 전송하도록 하였다.

3. 원격 제어 시스템 개발

가. 돌발상황에 대한 대처와 공시온실의 제어설비 설치 상황을 고려하여 원격 제어대상으로 천창, 측창, 커튼, 에어컨 팬, 환기팬을 선정하였다.

나. 원격 제어 시스템은 원격지에서 보낸 제어명령을 그룹모니터로 전송하고, 그룹모니터는 기존 제어체계를 이용하여 제어장치를 작동하도록 개발하였다.

다. 원격 제어 시스템은 사용자의 요구 시에만 제어권을 획득하여 제어를 수행하고 다시 제어권을 기존 제어체계에 넘기는 구조로 개발하여, 기존 제어 시스템 및 원격 제어 시스템의 안정성을 확보하고, 손쉽게 결합되도록 하였다.

마. 원격지에서 제어장치의 작동을 96시간 동안 34,560회 실험한 결과, 99.1%의 원격제어 성공률을 보였으며, 1분 이내의 제어동작을 수행함으로써 안정성과 실시간 응답성을 확인하였다

4. 통합관리 시스템 개발

가. 통합관리 시스템은 통합관리 서버, 웹서버, 경보서버로 구성하였다.

나. 통합관리 서버는 안정성과 성능확보를 위하여 서버용 컴퓨터를 선정하였고, 운용체제로는 윈도우 2000 서버를 선택하였다.

다. 데이터베이스는 다중사용자 환경과 윈도우 환경에서 사용자 편의성 및 관리의 편의성을 고려하여 MS SQL Server 2000을 선정하였다.

라. 웹서버는 컴퓨터 비전문가도 쉽게 정보에 접근하고, 업그레이드가 용이하도록 DataSnap, ASP, Active X 등을 이용하여 구축하였다.

마. 경보서버는 돌발상황을 감지하고 경보를 전달하는 것으로 즉각적이고 직접

- 적인 정보 전달을 위하여 컴퓨터전화통신 인터페이스(CTI)로 개발하였다.
- 바. 원격감시와 제어를 위한 네트워크 구성은 확장성, 이식성, 전송효율 등을 고려하여 서버간, 시스템간은 TCP/IP를 선택하였고, 장치간 통신은 장비별 특성에 맞추어 직렬통신, 메시지 통신 등을 선정하여 구축하였다.
- 사. 세부과제인 온실 환경 제어시스템 종합 관리 및 모니터링 시스템과 협동과제인 작물 생육 상태 모니터링 시스템을 통합하여 공시온실에 설치하고, 단위실험을 수행한 결과, 통합 시스템이 원활하게 작동됨을 확인하였다.
5. 데이터베이스 구축 및 제어전략 정보 제공 시스템 개발
- 가. 데이터베이스의 요구분석을 수행하여 주요 개체를 선정하였고, 환경정보 및 제어정보 수집처리군, 재배일지 처리군, 온실장치 정보 처리군, 재배작물 분석데이터 처리군, 온실관리정보 및 정적정보 처리군으로 분리하여 데이터베이스의 구조를 설계하였다.
- 나. 입출력 방법, 정보 추출방법, 개체 속성 등에 따라 개체를 분류하였고 개념적, 논리적, 물리적 설계를 통하여 개체관계도와 테이블을 정의하고 MS SQL의 내부 데이터 모델로 변환하여 온실 데이터베이스를 구축하였다.
- 다. 원격 감시와 제어시스템 종합관리 및 제어전략 정보 제공 시스템은 가공 및 분석모듈, 경보모듈, 웹 서비스 모듈로 구성하여 개발하였다.
- 라. 가공 및 분석 모듈은 감시항목과 검색조건을 선택하면 그래프와 표의 형태로 분석된 정보를 제공하여, 외부기상과 내부 환경의 변화 등 각 요소간의 상호관계나 변화 추이를 분석할 수 있고 병충해, 생육장애 등의 정보를 검색하여 제어전략 정보를 제공할 수 있었다.
- 마. 돌발상황으로 온실 감시가 불가능한 상황, 온도 및 양액공급 이상을 선정하고 실증 실험을 수행한 결과, 감시 불가능 상황은 3분 이내에 100%인식하였고 제어장치의 고장은 최대 4시간 30분 이내에 70~80%의 고장 감지률을 보였다. 제어장치의 감지율이 낮아진 원인이 실험조건으로 극단적인 생육환경을 조성할 수 없었던 것으로 확인돼 온실의 신뢰성과 안정성 제고에 적합함을 확인하였다.
- 바. 웹서비스 모듈을 통하여 생육환경, 제어장치, 작물 상태를 감시하고 온실내 돌발상황이 발생할 경우, 원격 제어를 수행할 수 있어, 원격 감시 및 제어시

시스템 종합관리에 적합함을 확인하였다.

사. 개발된 시스템을 이용하면 첨단온실의 안정성과 신뢰성을 확보할 수 있고, 여러 개의 첨단온실의 운용 및 관리를 인터넷을 통하여 수행 할 수 있으며, 센터에서 전문가에 의하여 효율적으로 관리할 수 있음을 실증 실험을 통하여 확인하였다.

개발된 시스템을 실용화하기 위해서는 생육상태를 감시하는 항목과 수단에 관한 추가적인 연구를 통하여 보다 효과적으로 작물의 생육상태를 파악하는 방법이 개발되어야 하며, 전문가와 연계하여 지속적인 데이터베이스의 개선이 필요하다. 또한, 저가의 생육상태 계측 수단에 대한 연구가 필요하며, 온실에 설치되는 장치들의 구조도 더욱 간단하고, 저렴하게 구성할 수 있도록 추가 연구가 필요하다.

본 연구에서 개발된 첨단온실의 원격 생육환경 감시 시스템을 실용화하여 온실전문관리업체 등에서 활용하면, 전문가에 의해 시스템의 유지관리를 최적화할 수 있고, 설비의 활용도를 높여 생산성을 증대할 수 있을 것이다. 또한, 작물-환경-작동장치간의 상호관계에 대한 기초적인 데이터를 확보할 수 있으므로 경제적인 환경제어 모델 개발 및 개선에 활용될 수 있을 것이다.

[작물 생육 상태 모니터링 및 제어 전략 정보 제공 시스템 개발(한경대학교)]

1. 생장정보 계측을 위한 컴퓨터 시각장치 구축

4가지 카메라(RGB, S-Video 및 Composite 색채 영상신호와 흑백영상신호)와 광각렌즈 및 광학필터를 이용한 컴퓨터 비전 시스템을 구축하였으며 여러 종류의 영상신호를 하나의 프레임 그래픽에서 입력받기 위해 Image signal multiplex를 사용하였다.

2. 시계열 작물영상 획득 및 분석 기법 개발

제안한 측도봉에 의한 색채 분석의 타당성을 판단하기 위해 상추의 색채 분포를 분석한 결과, 동일하지 않은 광 조건일지라도 상추에 해당하는 화소들의 할당 분포가 매우 유사한 것으로 나타나 측도봉에 의한 색채 분석 결과에 대해 재현성이 확보됨을 알 수 있었다.

3. 생육상태 계측 알고리즘 및 성장정보 분석 모델 개발

- 가. 토마토 과일의 평균 지름을 이용하여 중량을 예측하는 모델을 개발하였으며, 검증을 수행한 결과, 평균측정오차는 방울토마토가 0.58 g, 과일토마토는 5.4 g으로 나타났으며 비교적 정확한 중량 예측이 가능하였다.
- 나. 상추의 엽색을 측도봉에 부착된 100종의 색지로 할당한 후, 색지별 할당빈도율을 이용하여 상추의 건강성을 분석한 결과 약 80%의 성공률을 보였다.
- 다. 간이 엽록소계를 이용하여 측정된 엽록소 함량(SPAD)을 기준으로 엽록소 함량 추정 모델을 개발하였으며, 550 nm 필터영상을 이용할 경우 엽록소 함량에 대한 양분 판정이 89%의 정확도로 가능하였다.
- 라. 잎마름병에 감염된 토마토에 대해 측도봉 기준색지에 대한 할당 히스토그램을 분석한 결과, 10개의 기준색지에 대한 빈도율이 매우 높게 나타났으며, 이들 기준색지에 대한 빈도율을 이용할 경우 잎마름병 감염정도를 예측하는 것이 가능하였다.

4. 생육상태 모니터링 유닛 제작 및 실증실험

- 가. 생육 기간 전체에 걸쳐서 안정적인 영상을 획득하기 위해 3대의 고정식 모니터링 유닛을 설치하였다. 여기서 두 대의 유닛은 데이터 측정용으로 한 대는 온실 모니터링용으로 구축하였고 모니터링 유닛에는 드라이빙 유닛을 결합하여 pan/tilt 및 zoom이 가능하도록 하였다.
- 나. 30일간의 생육기간 동안 획득한 영상을 이용하여 투영면적과 생체중의 관계를 분석한 결과 $R^2 = 0.876$, 예측오차 2.61g을 갖는 2차 회귀모형을 개발하였으며, 투영면적과 표준성장표를 이용하여 임의의 생육단계의 생육 상태 판정과 차후 수확일에서의 수확량을 추정할 수 있는 방법을 개발하였다.

SUMMARY

I. Title

Development of remote environment monitoring system of a state-of-the-art greenhouse

II. Purpose and Background

Environment control and growing management by the computer system was constructed at the state-of-the-art greenhouse as a representative symbol of technical intensive agriculture. But the economical efficiency of greenhouse was declined because of low level utilization according to the lack of hardware safety and reliability, the lack of operating software, the complexity of system that could not handle by operator and the lack of information about the correlation of system and plant. Therefore more economical greenhouse management plan was asked for.

So a information supplying system should be developed to set the control strategy of greenhouse management and to monitor each component that was parts of state-of-the-art greenhouse by the experts.

This research was conducted to develop a remote environment monitoring system of a state-of-the-art greenhouse that was consisted of data collection system, integrated management system and display-remote operating system. This system provides stability and reliability about the state-of-the-art greenhouse and also provides the control strategy for greenhouse management by constructing database system about environment factors, on-line status of system and growing status of plant.

To pursue this goal efficiently, the research subject was divided into two sub-subjects, namely, "Development of monitoring and integrated management system for greenhouse control system (Seoul National University)" and "Monitoring for plant growing status and development of information

providing system for control strategy (Hankyung National University).

The specific aims of this research were below.

1. Suggestions for desirable architecture of environment monitoring system of a state-of-the-art greenhouse.
2. Development of monitoring module that was client/server type which monitors environment of greenhouses and status of control units.
3. Construction of computer vision system that was regarded of conditions of greenhouse environment and development of analyzing and diagnosing algorithm about growing status.
4. Construction of data collection system through combining monitoring unit of environment with monitoring unit of growing status.
5. Construction of database system that was given by developed information collection system and development of integrated management system that provides the control strategy information.
6. Development of remote monitoring and controlling system of growing environment of state-of-the-art greenhouse using Internet.

III. Research Content and Scope

Main research contents of each sub-subject are as follows.

[Development of monitoring and integrated management system for greenhouse control system (Seoul National University)]

The object of this research is the development of systems that collect data which are related with environment, weather conditions, on-line status of greenhouse and that save the various data to the database and that offer the useful information to farmer and related experts in real-time through Internet. The main research contents of each sub-subject are as follows.

1. Composition of remote monitoring system of a state-of-the-art greenhouse
 - A. Analyzing the requirement of greenhouse monitoring system through investigation the problems of current greenhouse.
 - B. Definition components of greenhouse monitoring system and study on logical and physical architecture of system.

2. Development of data collection system for environment and control status
 - A. Study on monitoring items for the monitoring and integrated management system
 - B. Development of monitoring equipment which can monitors environment and control state of greenhouse.
 - C. Development of a client/server type data collection system which can observes multiple greenhouses at the same time.

3. Development of remote control system
To increase the reliability of a state-of-the-art greenhouse, develops remote control system which can operate the control system of greenhouse in remote distance at emergency states.
 - A. Selection of the items to be controlled when emergency happens.
 - B. Study on remote control methods through investigating existing control system.
 - C. Development of remote control system to be used with existing control system.

4. Development of integrated management system
 - A. Selection of integrated management system hardware and database management system.
 - B. Definition of communication protocol and network between each system that has been developed as a component.
 - C. Construction of integrated management system by combination of all

systems which were developed as components, and installation the system at greenhouse to field adaptability test.

5. Implementation of database and development of information providing system for greenhouse control strategy
 - A. Selection of the major entities through requirements analysis, study on structure and function of the database and design the database through the logical and physical design process.
 - B. Study on the required modules for remote monitoring, integrated management of control system and providing of information serving for control strategy.
 - C. Development analyzing module to produce necessary information that supply total management and control strategy information serving from greenhouse database.
 - D. Development of alarm module that detects extreme environment from the failure of control unit.
 - E. Development of web-service module that can control remotely and can watch the greenhouse by Internet.

[Monitoring for plant growing status and development of information providing system of control strategy(Hankyung National University)]

1. Construction of computer vision system for measuring growth information
 - A. Construction of computer vision system for measuring growth information that was considered the characteristics of plant and environment of green house
2. Acquisition of time series of plant images and development of analyzing technique
 - A. Development of analyzing technique of geometrical characteristics and

- color for image calibration
 - B. Selection of effective factors for analyzing time series plant images.
3. Development of measurement algorithm for growing status and model for analyzing growth information
 - A. Development of measurement algorithm for growing status of plant
 - B. Development of analyzing method of plant structure
 - C. Development of yield prediction model
 - D. Development of diagnostic technique of plant growing status
 4. Construction of plant monitoring unit and verification experiment
 - A. Construction of plant monitoring unit for verification experiment
 - B. Investigation of time series image property through verification experiment and development of prediction technique of yield with fresh weight prediction model

IV. Major Results and Suggestions

[Development of monitoring and integrated management system for greenhouse control system (Seoul National University)]

1. Composition of remote monitoring system of a state-of-the-art greenhouse
 - A. As the investigation results of the greenhouse problems, lack of the stability and reliability of the hardware, weakness of the used software, complexity of the system to a cultivator and shortage in the information of the mutual relation among the component was shown.
 - B. Analyzing the problems and requirements, remote monitoring system of a state-of-the-art greenhouse was composed of data collection, integrated management and display-remote operational system.
 - C. The physical architecture was studied on the basis of logical

construction.

2. Development of data collection system for environment and control status

A. Temperature, humidity, solar radiation, CO₂ concentration, nutrient temperature, EC, pH, toxic gases concentration, ceiling and side window, curtain, boiler, nutrient supplying equipment, weather condition and the inside image was selected as the representative items of the greenhouse condition.

B. House Monitor was developed which is measuring module using single chip microprocessor PIC16F877 for monitoring greenhouse.

C. The performance of the house monitor as follows. 1) detection time of control status change was less than 1 minute for side window, curtain and nutrient pump, 2) and was less than 6 minute for boiler and ceiling window, 3) precision of the house monitor was within $\pm 0.3\%$. Those were showed that house monitor had enough features to monitoring the greenhouse. An abnormal data was intercepted by verifying the measured value. The communication protocol was selected RS-485 for the group monitor and the house monitors to observe a lot of greenhouse without data loss.

D. Using the camera which can control pan/tilt/zoom in a remote place, the inside state of the greenhouse was able to be grasped intuitively.

E. The group monitor, which was made to manage several house monitors, transmitted the collected data to the integrated management server at its request through the internet

3. Development of remote control system

A. Considering the emergency and control equipment of experimental greenhouse, ceiling and side window, curtain, air cooling fan and ventilation fan were selected as items of the remote control.

B. The remote control system was developed to transmit the command

from the remote place to the existing control system by the group monitor.

C. The remote control system gets the control right only in user's request, after control, it turn over to existing control system, so the modification of the existing control system was minimized and it could ensure the stability and combine each other easily.

D. Operation of the remote control equipment - 34,560 times of experiment in 96 hours - made 99.1% of successful result and showed that it had stability and real time responsibility.

4. Development of the integrated management system

A. The integrated management system was consisted of integrated management server, web server, and warning server for data collection, storing to the database, data processing and analyzing, providing the information by Internet.

B. The server grade computer and Windows 2000 was selected as integrated management server for guaranteeing reliability, flexibility and high performance.

C. MS SQL server 2000 was selected as database management system considering the user friendly interface and easy to manage with Window operation system.

D. Implement the web server using DataSnap, ASP and Active X for easy accessing and upgrading by unskilled person.

E. Development the warning server which can be detected the emergency situation and immediately and directly generated the warning to user through the CTI(Computer Telephony Interface)

F. Selection and implement the communication protocol TCP/IP for between systems and serial, message protocol for equipments considering the extensibility, flexibility, transmission efficiency, and etc.

G. The integrated system was installed in the experimental greenhouse.

According to unit test, the integrated system was proved working well.

5. Implementation of database and development of information providing system for greenhouse control strategy
 - A. Selection the important entities by analyzing requirement of database, design the structure of database which consists of as followings: data collection part of environment and control status, recording part of farming, maintenance information part of greenhouse equipments, plant status analyzing part, supplying static information and greenhouse facility management part.
 - B. Implementation of greenhouse database by the following procedures: 1) Grouping the entities by input output method, making information method, entity attribution, etc. 2) Design ERD(Entity Relation Diagram) and data table through conceptual, logical, physical design procedure. 3) Porting ERD and data table to the internal data model of MS SQL.
 - C. The information providing system for greenhouse control strategy was composed of data processing and analyzing module, warning module, and web service module.
 - D. The data processing and analyzing module could display the graph and/or table of related information by selecting the monitoring items and/or searching range. It could analyze the relationship or the trend of each element; weather condition, internal environmental change, operating status of control equipments, and plant growing state. It also could search the harmful insect and plant stress information. The provided information by this module was helpful to make greenhouse control strategy.
 - E. Selection monitoring fault, abnormal temperature, and nutrient supplying equipment fault as the emergency situation. The warning module had 100% detection rate for monitoring fault situation within 3 minute and 70~80% detection rate for abnormal temperature and/or nutrient supplying equipment fault within 4.5 hr. The main reason of low detection rate for

equipment fault was turned out the experimental condition could not make abnormal environmental condition. From the experiment result, the warning module was proved that it has sufficient features to improve the confidence and stability of greenhouse.

F. Web service module could be monitored greenhouse environment, control equipment, and plant status by the Internet. It also could be remotely controlled the equipment through the Internet when the emergency situation was generated. The web service module was proved that it has sufficient features to remote monitoring and integrated management for control system.

G. The developed system had enough features to improve confidence and stability of the state-of-the-art greenhouse. The system, which located in center and managed by expert, could be efficiently managed the state-of-the-art greenhouses by the Internet. Through the experiment, the system was proved that it could provide enough useful information to make greenhouse control strategy.

Future study is suggested to develop more efficient monitoring method for plant status through studying various monitoring items and methods and to improve the database with expert continuously.

For commercialize the developed system, development of low cost monitoring method for plant status and more simple, cheap, and rugged equipments for installed in greenhouse side are required at further study.

The developed system in this study can be use to optimally manage and improve the productivity of the state-of-the-art of greenhouse by the specialized greenhouse management company. The system also can be use to develop and improve the economical environment control model through monitoring and analyzing the relationship between the plant - environment-control equipments.

[Monitoring for plant growing status and development of information providing system of control strategy(Hankyung National University)]

1. Construction of computer vision system for measuring growth information
 - A. The computer vision system was constructed using 4 types camera (RGB, S-Video, composite color signal and B&W image signal), wide angle lens and optical band-pass filter. And an image signal multiplexer was also introduced to acquire various image signals in a frame grabber.

2. Acquisition of time series of plant images and development of analyzing technique
 - A. To verify the proposed color analysis technique by standard color bar, the color distribution of lettuce was analyzed. As a result of analysis, the allocated distributions of lettuce pixels seemed to be similar even if un-uniform illumination conditions, so we were concluded that the standard color bar method has shown the reproductivity of color measurement.

3. Development of measurement algorithm for growing status and model for analyzing growth information
 - A. A weight prediction model using average diameter of tomato was developed and tested. The measurement error was 0.58g for cherry tomato and 5.4g for tomato therefore the weight measurement was accurate relatively.
 - B. After allocating the color of lettuce to the 100 color patches that were attached color bar, the success ratio for the estimation of the healthy conditions of lettuce was 80% using allocating frequency of color patches.
 - C. The prediction model of chlorophyll that was measured by portable chlorophyll meter(SPAD) was developed. The accuracy of pass-fail test was 89 % with 550nm band-pass filter images.

D. The allocation histogram of standard color patches about leaf withered tomato was analyzed. The major 10 standard color patches had shown high frequency than any other color patches and the status of leaf withered disease was possible to predict using frequency ratio of standard color patches.

4. Construction of plant monitoring unit and verification experiment

A. To acquire the plant image during growing period entirely, 3 monitoring units that was fixed to greenhouse were constructed. The two units were used to data acquisition, and the other was used to greenhouse monitoring. The monitoring unit was combined to driving unit that was capable of panning, tilting and zooming of camera.

B. The 2nd order polynomial regression model that explains the relationship between projected area and fresh weight was developed using the images that was captured during 30 days. This model shows the 0.876 determination coefficient(r^2) and 2.61 g prediction error. Finally the estimation method of yield crop at harvesting and the decision of growth status were developed using projected area and standard growth table.

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
Section 1 Research background	1
Section 2 Research purpose and scope	2
Chapter 2 Review relative technology	4
Section 1 Management and monitoring system of greenhouse	4
Section 2 Monitoring for plant status and information providing for control strategy	7
Chapter 3 Research contents and result	11
Section 1 Structure of state-of-the-art greenhouse remote environment monitoring system	11
1. Material and method	11
A. Investigation of greenhouse	11
B. Requirement of monitoring system	12
1) Greenhouse region	12
2) Center region	12
3) Remote region	13
2. Results and discussion	13
A. Logical structure	13
B. Physical structure	15
Section 2 Development of monitoring system for environment and control information	17
1. Material and method	17
A. Structure of monitoring module	17
B. Selection of monitoring items	18
C. Measuring of environment and control status	18
1) Measuring items of house monitor	18
2) Specifications of sensors	21
3) Measuring weather condition	21

4) Image of internal greenhouse	23
D. Development of house monitor	25
1) Hardware	25
2) Firmware	33
E. Development of group monitor	35
1) Introduction	35
2) Features	35
3) Development tools	36
F. Communication protocol between house monitor and group monitor ..	37
1) Introduction	37
2) Structure of data frame	38
3) Op code	39
4) Data flow	44
2. Results and discussion	45
A. Performance of environment measuring	45
1) Precision	45
2) Stability	46
3) Linearity	46
4) Resolution	47
B. Performance of control status monitoring	48
C. Performance of house monitor	49
1) Specification	49
2) Reliability	50
3) User interface	51
D. Performance of group monitor	51
3. Summary and conclusion	54
Section 3 Development of monitoring system for plant growing status ..	55
1. Construction of computer vision for measuring growing information ..	55
A. Introduction	55
B. Constitution of computer vision for measuring growing information ..	55

C. Construction of computer vision considering greenhouse and plant	60
D. Conclusion	65
2. Acquisition of time series plant images and development of analyzing technique	67
A. Introduction	67
B. Acquisition of time series plant images	68
C. Setting of image calibration for image analysis	72
D. Development of tracing factor of time series plant images	76
E. Conclusion	80
3. Development of measuring algorithm for growing status and model for analyzing growth information	81
A. Introduction	81
B. Development of measuring algorithm for growing status	82
C. Development of analyzing plant structure	85
D. Model development of yield prediction	90
E. Development of diagnostic technique of plant growing status	101
F. Conclusion	118
4. Construction of monitoring unit for growing status and test experiment	120
A. Introduction	120
B. Construction of linear moving unit	121
C. Construction of camera pan/tilt driving unit	122
D. Construction of video server	123
E. Constitution of monitoring of growing status	123
F. Test experiment of lettuce using fixed monitoring unit	126
G. Conclusion	140
5. Summary and colclusion	141
Section 4 Development of remote control system	142
1. Material and method	142
A. Automatic control structure of state-of-the-art greenhouse	142

B. System configuration	143
C. Selection of control items	144
D. Implementation of control system	144
1) Hardware configuration	144
2) Software	148
2. Results and discussion	149
A. Performance test	149
B. Result of performance test	151
3. Summary and conclusion	151
Section 5 Development of integrated management system	153
1. System configuration	153
A. Integrated management server	154
B. Database	156
C. Web server	156
D. Warning server	158
2. Network configuration	159
A. Selection of protocol	159
B. Procedure of communication	160
3. Installation of integrated system	162
A. Selection plant and growing	162
B. Installation of environment monitoring system	163
C. Installation of control status monitoring system	164
D. Installation of plant growing monitoring system	165
4. Summary and conclusion	166
Section 6 Implementation of database and development of information providing system for greenhouse control strategy	167
1. Material and method	167
A. Design of database	167
1) Development procedure of database	167
2) Analysing of requirement database	168

3) Design of conceptual data model	168
4) Design of logical and physical database	171
B. Information providing system for greenhouse control strategy	172
1) Development of data processing and analyzing module	172
2) Development of warning module	172
3) Development of web service module	178
2. Results and discussion	180
A. Design and implementation of database	180
1) ERD	180
2) Definition of data table	181
3) Implementation of database	190
B. Information providing system for greenhouse control strategy	192
1) Data processing and analyzing module	192
2) Management of database	204
3) Warning module	207
4) Web service module	210
3. Summary and conclusion	214
Chapter 4 The attainment of the object and contribution of the related field. ..	217
Section 1 The object of the research and evaluation points	217
1. The object of the research each year	217
2. Evaluation points	220
Section 2 The attainment of the object	221
1. Development of monitoring and integrated management system for greenhouse control system (Seoul National University)	221
2. Monitoring for plant growing status and development of information providing system of control strategy(Hankyung National University) ·	225
Section 3 Contribution of the related filed	229
Chapter 5. The uses plan of this research	231
Chapter 6. Reference	232

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	1
제 1 절	연구배경 및 필요성	1
제 2 절	연구 목적 및 범위	3
제 2 장	국내외 기술개발 현황	4
제 1 절	온실환경 제어시스템 관리 및 모니터링 시스템	4
제 2 절	작물 생육상태 모니터링 및 제어전략 정보제공	7
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	11
제 1 절	첨단온실의 원격 생육환경 감시 시스템 구성	11
1.	재료 및 방법	11
가.	문헌조사에 의한 자료수집	11
나.	감시 시스템의 요구기능	12
1)	온실 영역	12
2)	센터 영역	12
3)	원격지	13
2.	결과 및 고찰	13
가.	논리적 구성	13
나.	물리적 구성	15
제 2 절	생육환경 및 제어정보 수집 시스템 개발	17
1.	재료 및 방법	17
가.	생육환경 및 제어정보 수집 시스템의 구성	17
나.	감시항목 선정	18
다.	생육환경 및 제어정보 계측	18
1)	하우스모니터의 측정대상	18
2)	환경 계측 센서의 명세	21
3)	외부 기상환경 측정	21
4)	온실 내부 영상 획득	23
라.	하우스모니터 개발	25
1)	하드웨어	25

2) 운용소프트웨어	33
마. 그룹모니터 개발	35
1) 개요	35
2) 동작특성	35
3) 개발환경	36
바. 하우스 모니터와 그룹모니터 간의 통신 알고리즘	37
1) 개요	37
2) 데이터 프레임의 구조	37
3) 명령어	39
4) 통신 데이터 흐름	44
2. 결과 및 고찰	45
가. 생육환경 계측성능	45
1) 정밀도	45
2) 안전성	46
3) 직선성	46
4) 분해능	47
나. 제어 장치의 감시 성능	48
다. 하우스모니터 성능	49
1) 주요명세 및 외관	49
2) 안정성	50
3) 사용자 인터페이스	51
라. 그룹모니터 성능	51
3. 요약 및 결론	54
제 3 절 작물 생육상태 모니터링 시스템 개발	55
1. 생장정보 계측을 위한 컴퓨터 시각장치 구축	55
가. 서론	55
나. 생장정보 계측용 컴퓨터 시각장치 구성	55
다. 온실과 작물을 고려한 컴퓨터 시각장치 구축	60
라. 결론	65
2. 시계열 작물영상 획득 및 분석 기법 개발	67

가. 서론	67
나. 시계열 작물영상 획득	68
다. 영상분석을 위한 축도 설정	72
라. 시계열 작물영상의 추적인자 개발	76
마. 결론	80
3. 생육상태 계측 알고리즘 및 성장정보 분석 모델 개발	81
가. 서론	81
나. 작물의 생육상태 계측 알고리즘 개발	82
다. 작물의 구조 분석 방법 개발	85
라. 수확량 예측 모델 개발	90
마. 작물의 생육상태 진단 기법 개발	101
바. 결론	118
4. 생육상태 모니터링 유닛 제작 및 실증실험	120
가. 서론	120
나. 선형 이동장치 제작	121
다. 카메라 Pan/Tilt 구동장치 구축	122
라. 비디오 서버 구축	123
마. 생육상태 감시 시스템의 전체 구성	123
바. 고정식 모니터링 유닛을 이용한 상추의 생육 실험	126
사. 결론	140
5. 요약 및 결론	141
제 4 절 원격 제어 시스템 개발	142
1. 재료 및 방법	142
가. 첨단온실의 자동제어 체계	142
나. 시스템 구성	143
다. 제어항목 선정	144
라. 제어시스템 구축	144
1) 하드웨어 구성	144
2) 운용 소프트웨어	148
2. 결과 및 고찰	149

가. 성능시험 방법	149
나. 성능 시험	151
3. 요약 및 결론	151
제 5 절 통합관리 시스템 개발	153
1. 시스템 구성	153
가. 통합관리 서버	154
나. 데이터베이스	156
다. 웹서버	156
라. 경보서버	158
2. 네트워크 구성	159
가. 프로토콜의 선정	159
나. 데이터 전송절차	160
3. 시스템 통합 설치	162
가. 재배작물 선정 및 작물재배	162
나. 생육환경 감시 시스템의 설치	163
다. 제어장치 감시 시스템의 설치	164
라. 생육상태 감시 시스템의 설치	165
4. 요약 및 결론	166
제 6 절 데이터베이스 구축 및 제어전략 제공 시스템 개발	167
1. 재료 및 방법	167
가. 데이터베이스 설계	167
1) 데이터베이스 개발 방법	167
2) 데이터베이스 요구분석	168
3) 개념적 데이터 모델 설계	168
4) 논리적 물리적 데이터베이스 설계	171
나. 제어전략 제공 시스템	172
1) 가공 및 분석 모듈 개발	172
2) 경보 모듈 개발	172
3) 웹서비스 모듈 개발	178
2. 결과 및 고찰	180

가. 데이터베이스 설계 및 구축	180
1) 개체관계도	180
2) 테이블 정의	181
3) 데이터베이스 구축	190
나. 제어전략 정보제공 시스템	192
1) 가공 및 분석 모듈	192
2) 온실 데이터베이스 관리	204
3) 경보 모듈 성능	207
4) 웹서비스 모듈	210
3. 요약 및 결론	214
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	217
1. 연도별 연구목표 및 평가착안점	217
가. 연도별 연구목표	217
나. 평가 착안점	220
2. 연구개발 목표 달성도	221
가. [세부과제] 온실환경 제어시스템 종합 관리 및 모니터링 시스템 개발	221
나. [협동과제] 작물생육상태 모니터링 및 제어전략 정보제공 시스템 개발	225
3. 관련분야의 기술발전 기여도	229
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	231
제 6 장 참고문헌	232

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구배경 및 필요성

국제화 및 개방화라는 세계적인 흐름은 정보 통신의 발달로 더욱 가속화되고 있으며, WTO의 출범, OECD 가입 등으로 우리나라의 농업은 더 이상 지역적인 틀에서 보호받지 못하고, 세계경제의 자유경쟁 체제로 급속히 편입되어 가고 있다. 내부적으로도, 농업 노동력의 양적, 질적 감소, 식생활 형태의 변화 등으로, 식량 작물 위주의 노동집약적인 기존 농업형태는 위기에 직면하고 있다. 이를 개선하기 위하여, 기술집약형 농업으로 전환하는 많은 시도들이 있었고, 첨단온실 등이 대안으로 제시되고 있다.

첨단온실은 생물학적 지식과 공학적 지식을 결합하여, 작물 생육에 필요한 각종 환경을 인공적으로 조절함으로써, 주변 환경의 영향으로부터 비교적 독립적으로 원하는 시기에 원하는 상태의 작물을 안정적으로 수확하는 시스템으로, 현재 유리온실 형태로 많은 시설이 도입되고 있다.

첨단온실에 대한 계측 및 제어장치 분야에 대한 연구는 근래에 이르러 활발히 진행되었으며, 실용화도 상당히 진척되어 일부에서는 컴퓨터에 의한 환경제어와 재배관리가 이루어지고 있다. 그러나, 실제 시스템의 안정성 제고를 위한 감시 시스템의 구축 및 통합관리에 대한 연구는 활발히 이루어지지 않아, 대부분의 첨단온실에서 하드웨어의 안정성과 신뢰성의 문제, 운용 소프트웨어 부문의 미흡 등으로 장비를 제대로 활용하지 못하고 있는 실정이다. 또한 온실 내 작물의 생육상태를 관찰하고 분석하면서 운용되는 시스템의 구축은 제대로 이루어지지 않고 있다.

온실의 첨단화가 진행되면서 시스템은 더욱 복잡해지고 있다. 그러나 각종 종말작동장치, 계측장치에 대한 지식이 부족한 농민이 직접 첨단온실 시스템을 유지 관리하는데 한계가 있으며, 온실설비가 첨단화됨에 따라 이러한 문제는 더욱 심각하게 발생할 것으로 예상된다.

노동력을 절감하고, 생산성을 향상시키기 위해서 첨단온실에 자동화, 로봇화, 정보화의 도입이 필수적으로 요구되지만, 자동화, 로봇화 등을 위한 연구에 비하

여, 정보화에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 온도, CO₂ 농도, 양액 조제 및 공급 등 개별 환경 인자의 조절 및 장치를 위한 운용 소프트웨어의 연구 및 개발은 상당부분 이루어져 있으나, 이를 종합하여 효율적인 재배를 위한 온실운용 소프트웨어의 연구는 미흡한 상태이며, 정보화의 부족으로 인하여, 연구를 위한 기초 자료에 해당하는 온실 내부환경의 변화, 작동장치의 구동상황, 환경변화에 따른 작물의 반응 등의 부족으로 해당 분야의 연구 개발에도 많은 어려움을 겪고 있다.

한편, 급속히 발전하는 정보통신산업은 산업계 전반에 중대한 변화를 가져왔다. 인터넷의 발달과 하드웨어의 발달로 인해 발생한 클라이언트/서버 환경의 변화는 정보의 공유와 저장, 이동을 크게 발전시켜 보다 빠른 속도로 상호 연결된 수백 만개의 서버가 존재하는 네트워크가 지구상에 구축되고 있다. 이러한 변화는 산업계 전체를 빠르게 네트워크화 하여, 인터넷을 통하여 공간의 제약을 벗어나 정보의 공유 및 유통을 가능하게 하고 있다. 또한, 네트워크 기술을 이용하여, 단일 공정이나 공장에 대한 공장 자동화 수준에서, 각종 정보들을 통합하여 데이터베이스를 구축하고, 이를 이용하여 경영지원 및 경영 전략 지원까지 포함되는 통합적인 시스템을 구축하여 활용하고 있다.

최근 인터넷 등 네트워크를 농업에 적용하여 정보화하려는 연구가 활발하게 시도되고 있으나, 아직 첨단온실을 대상으로 원격 생육환경 감시 시스템에 관한 연구는 그다지 진행되지 못하고 있다.

인터넷 환경을 첨단온실에 적용하면, 온실의 환경정보와 제어장치의 작동상태, 작물의 생육상태를 실시간으로 데이터화하여 빠르게 전달할 수 있으며, 사용자의 공간적 한계를 벗어나, 수집된 정보를 이용하여 온실의 상태를 감시할 수 있다. 또한, 온실의 생육환경, 작동정보, 생육정보, 관리정보 등을 용이하게 데이터베이스화하여 전문가에 의하여 관리되는 센터에서 통합관리를 함으로써 점차 시스템이 복잡해지고, 유지관리를 위해서 전문기술이 필요해지는 첨단온실의 원격 생육환경 감시 및 통합관리의 기반을 마련할 수 있을 것으로 기대된다.

제 2 절 연구 목적 및 범위

본 연구는 첨단온실의 환경요인과 제어장치의 상태 및 작물의 생육상태 등을 정보화하기 위하여 정보수집 시스템, 통합관리 시스템, 표출 및 원격작동 시스템으로 구성된 인터넷을 이용한 첨단온실의 원격 생육환경 감시 시스템을 개발하는 것을 목표로 수행되었으며, 구체적인 목적을 요약하면 다음과 같다.

1. 첨단온실의 생육환경 원격감시를 위한 구성요소를 정의하고, 요구기능을 분석하여 바람직한 시스템의 구성을 제시한다.
2. 온실의 환경상태와 종말작동장치의 작동상태를 감시하는 모듈과 영상을 이용한 온실 감시장치를 개발하고, 인터넷 기반 클라이언트/서버 구조의 실시간 원격감시가 가능한 정보 수집 시스템을 구축한다.
3. 온실에서 생육 중인 작물에 대한 생육상태를 분석할 수 있는 작물 생육상태 모니터링 시스템을 개발하기 위해, 온실환경조건과 작물의 특성을 고려한 컴퓨터 시각 장치를 구축하고 생육상태 분석 알고리즘을 개발한다.
4. 작물영상을 이용하여 작물의 생육상태를 진단하기 위한 기법을 개발하고, 첨단온실의 원격 생육환경 감시 시스템에서 요구하는 작물의 생육정보를 제공하기 위한 방안을 모색하고 현장 적응실험을 수행한다.
5. 생육환경과 생육상태 감시장치를 통합하여 정보수집 시스템을 구축한다.
6. 온실의 생육환경, 작동장치의 상태, 작물의 생육상태 및 재배작업 등에 관한 데이터베이스를 구축하고, 이를 가공 분석하여 제어전략 정보를 제공하는 통합관리 시스템을 개발한다.
7. 인터넷을 이용한 정보 표출 및 원격작동 시스템을 구축하고, 개발된 첨단온실 생육환경 감시시스템을 공시온실에 설치하여 적응실험을 수행한다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 온실환경 제어시스템 관리 및 모니터링 시스템

온실환경의 제어에 관한 연구는 초기에는 재배자를 대신하여, 고온이나 저온 등 극단적인 생육환경을 피하기 위한 연구가 주로 수행되었으나 컴퓨터의 발달에 따라, 보다 복잡한 환경제어가 실시간으로 가능해지면서, 많은 수확량을 얻기 위하여 작물 생육에 가장 적합한 환경을 구현하는 방향으로 연구가 이루어졌다.

이후, 에너지 비용의 상승으로 다수확보다는 최대이윤을 추구하는 방향으로, 즉 최적제어 시스템에 관한 연구가 진행되었으나, 개별 작동장치간의 상호관계, 온실환경에 따른 작물의 단기간 반응, 그리고, 최종 수확물의 수량과 품질 등이 복합적으로 상호 관계를 갖고 있어(Challa, 1991), 제어 시스템의 성능과 효율성을 확보하는데 문제점을 갖게 되었다.

이를 극복하기 위하여, 작물과 온실환경간의 관계를 구명하여 모델화하거나, 온실내 제어장치들의 제어 전달함수의 모델을 수립하여 활용하는(Gutman 등, 1993; Nielsen과 Madsen, 1995; 홍, 1995) 연구와 신경회로망, 퍼지, 유전알고리즘 등 인공지능기법을 온실환경제어에 적용하는 방향으로 연구가 진행되고 있다(Ido Segner, 1997; Linker et al., 1998). 그러나, 작동장치 상호간의 관계, 온실환경과 작물간의 장단기 관계에 대한 모델 수립이 많이 이루어지지 못하고 있어(Bakker, 1995) 제어 시스템의 효율성 제고에 많은 어려움을 겪고 있으며, 이러한 관계를 구명하기 위한 효율적인 데이터의 수집 및 관리에 관한 연구가 요구되고 있다.

최근까지 온실에 대한 계측 및 감시는 컴퓨터에 의해 제어하는 제어 시스템의 한 구성요소로서 연구되어 왔다. 그러나, 제어 시스템이 발달함에 따라, 계측지점 및 항목이 증가하고, 온실의 상태 및 제어상태를 표현하는 중요한 데이터들이 급증하여, 데이터의 계측 장치, 수집 체계 및 관리 방법 등이 중요한 연구과제로 부각되고 있으며(Ehler와 Aaslyng, 2001), 온실환경 제어 시스템이 복잡해짐으로써 더 이상 재배자가 시스템을 유지 관리할 수 없어, 시스템의 유지관리를 위한 원격감시시스템에 관한 연구가 시작되고 있다(Carlos 등, 2001).

계측장치에 관한 연구로는 계측 데이터의 안정성, 신뢰성을 확보하기 위하여 Simon A 등(1998)은 중요한 작동장치 구동의 기준이 되는 계측값에 FLASH(FLexible AI for Signal Handling in real time)라는 실시간 인공지능기법을 적용하여 센서 측정값을 실시간 감시하는 연구를 수행하였고, 실용성, 유연성 및 유지보수의 용이성 등을 위하여, 임(2001)은 마이크로프로세서를 이용하여 온실의 중요 환경변수와 제어장치의 상태를 계측할 수 있는 모듈화된 계측장치를 개발하였고, Ameur 등(2001)은 바나나 농장에 적용할 수 있는 마이크로컨트롤러를 이용한 모듈화된 계측장치를 개발하였으며, Takayuki 등(2002)은 원칩 마이크로프로세서와 A/D 변환기, 센서 신호처리 및 통신기능을 하나로 모듈화한 계측장치를 개발하였다.

원격감시 및 수집체계에 관한 연구로는 모뎀과 전화선을 이용하여 데이터를 원격지로 전송하여 감시할 수 있는 시스템에 관한 연구(Jacobson 등, 1989)가 있었으며, 네트워크의 발달로, 분산된 데이터를 취급하는 경우가 많아지면서 효과적인 데이터 수집을 위한 시스템의 구조에 관한 연구가 진행되어 Darrell 등(1995)은 대기 환경분야에서 물리적으로 분산된 다수의 지역에서 안정적으로 실시간 감시를 수행하기 위한 시스템 아키텍처에 관한 연구를 수행하였고, Gieling 등(1996)은 온실의 감시 체계를 온실 내에서 데이터를 계측하고, 작동장치를 구동하는 단계, 이들을 묶는 클러스터 컴퓨터 단계와 서버, 사용자 단계로 구분한 시스템을 제안하였다.

Carlos 등(2001)은 분산된 데이터의 획득과 제어 시스템의 설계 및 구현을 위하여, 온실에 적용할 수 있는 통신 구조에 대한 연구를 수행하여, CAN(Controller Area Network), 무선, TCP/IP, SMTP 등의 통신환경에 대하여 검토하고, 적용 가능성에 대하여 연구하였고, Txomin 등(2002)은 쉽게 원하는 데이터 수집시스템을 구축할 수 있도록 원격 데이터 수집시스템의 개념적 모델을 수립하였으며, Linker 등(2000)은 수집된 데이터를 이용하여 온실 내에 설치된 작동장치들의 단일고장을 감시하는 연구를 수행하였다.

인터넷의 발달로 다량의 데이터를 경제적으로 전송하고, 관리하는 것이 가능해지면서, 타 산업분야에서는 인터넷을 이용한 원격감시시스템의 구축에 관한 연구가 활발하게 시작되어 Albuquerque 등(1998)이 중성자의 분극을 감시하기 위하여 Java를 이용한 클라이언트/서버구조의 원격감시 시스템을 구축하는 등

다양한 연구가 진행되었다.

농업분야에서도 인터넷을 이용한 연구가 진행되어 Xiaokang 등(1998)이 JAVA를 이용하여 작물과 기상, 토양 데이터베이스를 이용하여 선택된 기상과 작물, 토양조건을 토대로 식물생장을 시뮬레이션할 수 있는 웹 인터페이스에 관해 연구하였으며, Francesco 등(1998)은 객체지향 진단 데이터베이스를 인터넷을 이용하여 접근하는 것에 대해 연구하였다.

국내에서는 이(1999)가 인터넷을 이용하여 농업정보를 제공하는 농업용 전문가시스템의 추론엔진을 개발하였고, 최 등(1999)은 인터넷을 이용한 전자동 건조표고 등급 판정 시스템을 구축하였고, 정 등(2000)은 농산물 저온저장고의 안전성과 관리의 편리성 향상을 위한 농산물 저온저장고의 환경감시 시스템을 개발하였다.

그러나, 온실 모니터링에 인터넷을 도입한 연구는 최근에야 이루어지기 시작하여, Ehler 등(2001)이 20개의 온실을 대상으로 7개의 컴퓨터를 이용하여, 데이터를 수집하고 서버에 HTML 페이지를 자동으로 생성하여 웹서비스를 담당하는 컴퓨터에 전송하고, 사용자에게 외부 기상상황과 온실의 온도, 습도 등을 제공하는 시스템을 구축하면서, 인터넷이 원격감시 및 정보의 전달 수단으로 유용한 것을 확인하였으며, 국내에서는 임(2001)이 인터넷을 이용한 온실감시 시스템을 개발하였고, 허 등(2002)이 웹기반의 온실 원격작동 시스템을 개발한 바 있다. 이 분야에 대한 연구는 초기단계로 국내 온실상황에 적합한 감시항목과 관리항목의 선정 및 네트워크의 구성체계 등에 대한 연구가 요구된다.

다양한 요소가 상호 관계를 갖는 복잡한 시스템의 경우, 통합관리의 중요한 수단으로 데이터베이스를 활용하고 있는데, 이에 관한 연구로는 일반산업 분야에서 시스템의 통합관리를 위하여 Okogbaa(1992) 등이 자동화된 공정생산시스템의 관리를 위한 데이터베이스의 프레임에 관한 연구를 수행하였고, Fitzgerald 등(1998)은 치즈 제조공정의 품질관리를 위하여 데이터베이스를 활용하였으며, Gibson 등(2000)은 감마선 방사 공정에서 최근 정보통신의 기술을 활용하여 실시간 감시 시스템 및 데이터베이스 구축을 통한 관리방법에 관한 연구를 하였고, Jernqvista 등(2001)은 탈염설비에서 증발 및 플래싱 공정의 농도, 온도, 압력 변화추이 등을 감시하는데 데이터베이스를 이용하였다.

데이터베이스를 농업에 적용한 연구는 주로 식물의 품종개량과 재배관리

(Mulitze, 1990), 병충해 관리(Francesco 등, 1998; Clarke 등, 1999), 온실의 경영 관리 등을 대상으로 이루어졌으며, 최근에 Ehler 등(2001)이 서버에 단일 사용자를 위한 데이터베이스 관리시스템인 Paradox를 이용한 데이터베이스를 구축하였으나, 저장용량과 처리속도의 문제로, 외부기상 데이터는 1주일간, 기타 온실의 데이터는 현재 데이터만 관리하는 시스템을 구축하여 온실의 전체 상태 및 재배사례를 검색하는 것에는 한계가 있었다.

효과적인 첨단 온실의 원격 생육환경 감시를 위해서는 온실의 환경 및 제어시스템을 원격 감시 및 종합 관리하는 것이 필요하며, 온실을 대표할 수 있는 각종 정보를 통합적으로 수집하고, 데이터베이스를 구축하며, 구축된 정보를 유관 기관 및 관련 전문가에게 제공하는 시스템에 관한 연구가 필요하다.

제 2 절 작물 생육상태 모니터링 및 제어전략 정보제공

온실 현장의 조명조건은 불균일하고 가변적이다. 또한, 온실 내에서 생육 중에 있는 작물에 대한 영상을 획득하고 분석하기 위한 카메라 및 컴퓨터 시각 시스템은 현장 활용을 위해 수반되는 각종 가변성으로 인하여 생육상태 계측용 소프트웨어는 적응적이고 실용적이어야 한다. 특히, 계측 대상이 되는 작물의 생장 특성에 관한 기준상태 또는 표준조건 등이 거의 없거나 애매하기 때문에 애로점이 많다.

일본의 경우 식물공장의 재배공정 최적제어를 위하여 컴퓨터를 이용하여 온실에서 환경 데이터와 식물생체정보를 수집하는 환경제어시스템을 Hashimoto 등(1985)이 연구한 적은 있으나, LAN 이나 인터넷을 이용한 온실 환경 정보 및 생육정보의 수집이나 온실 환경 제어시스템의 원격제어에 관한 연구는 미래의 정보화된 농업을 위하여 앞으로 수행해야할 과제로 인식하고 있었다. Taylor 등(1989)은 색채카메라에 여러 가지 근적외선 영역(670nm ~ 800nm)의 간섭필터를 부착하고 시료를 시료대 위에 놓고 측정하는 방법을 사용하여 담배잎의 엽록소 함량을 측정 가능한 것으로 발표하였다. Singh 등(1996)은 별도의 영상처리장치를 이용하여 생육중인 벼 영상을 획득하고, 이 영상으로부터 초장, 폭, 투영면적 및 각종 형태인자를 측정·분석한 뒤 이 인자들과 엽록소 함량(SPAD에 의

한 측정), 건량(54℃-48시간), 질소함량(N determinator에 의한 측정)과를 비교하여 높은 상관관계가 있다고 보고하였다.

컴퓨터 시각을 이용하여 벼와 밀의 생육 시기의 파악과 각 시기별 질소관리에 따른 수확량의 예측이 가능함을 Singh 등(1996)이 보여 주었다. Hatou 등(1995)은 영상처리시스템을 이용한 토마토 작물의 생육진단에 관한 연구에서 영상처리시스템을 이용하여 수경재배 중인 토마토의 병 피해를 측정할 수 있다는 것을 보여주었으며, 실제 재배 장치에 이 연구 결과를 이용하기 위해서는 데이터베이스를 이용한 생육진단 시스템의 지원시스템 개발이 절실하다고 제안하였다. 특히, 식물공장 관리자로 하여금 모든 작물에 대한 감시를 충실히 수행하도록 하는 것은 기대하기 어려우므로 영상처리기술을 이용한 생육감시 시스템의 개발은 매우 중요하다고 주장하였다.

국내에서는 온실 재배 작물의 생육상태를 이동하면서 감시할 수 있는 모니터링 유닛 이동장치에 관한 기술은 이미 확보된 상태(김 과 이, 1998; 김 과 류, 1998)로 볼 수 있다. 김과 류(1998)는 영상처리를 이용하여 온실 재배 작물의 성장시기의 일부분에 관한 생육상태 파악과 관련된 연구를 수행하였다. 류와 이(1994)는 작물의 성장 정보 계측과 생육제어에 관한 연구를 수행하였다.

웹 기반 영상획득 및 정보제공에 관한 시스템의 개발 및 활용 사례를 살펴보면 다음과 같다.

일본 농업환경기술연구소(1996)에서는 FieldEye라는 인터넷만 연결되면 원격지의 실시간 영상을 카메라의 방향이나 줌을 클라이언트가 자유롭게 설정해 획득하거나, 원하는 시간에 영상을 자동 수집하여 데이터베이스화하고 이를 클라이언트에 제공하기 위한 시스템을 구축하였다. 클라이언트는 카메라 서버에 접속된 카메라의 방향과 줌을 자유롭게 조작하면서, 실시간의 정지화면(최대 640×320, JPEG 압축 최대 60KB정도)을 획득하기 위한 실시간 포장 영상 시스템을 개발했다. 클라이언트는 WWW 브라우저가 있으면 이용할 수 있는데, 영상의 화질은 생육 진단 등에 충분히 활용할 수 있는 것이 전문가에 의해 확인되었다.

농촌진흥청 농업과학기술원에서는 작물 이미지를 보면서 해당 작물 영상을 검색하는 프로그램과 영양장애를 진단할 수 있는 시스템을 개발하였는데, 10개의 대상작물(토마토, 오이, 고추, 배추 등)에 대해 12가지 성분(질소, 인산, 칼리, 석회 등)에 대한 과잉 또는 부족에 따른 장애증상을 영상으로 확인할 수 있도록

하였다(<http://www.niast.go.kr/pnd/>). 현재 464개 영상 이상이 구축되어 있다.

어떤 생육예측모델을 이용해 재배나 포장 관리에 활용한다고 해도, 포장 특유의 생육인자를 추정할 필요가 있기 때문에 실용화를 위해서는 현장 데이터 수집이 필요하다. 즉, 효율적인 작물 진단 평가를 위해서는, 생육량이나 기상 데이터 등의 현장 정보나 재배이력을 간편하게 수집하고 기록하여 데이터베이스화 할 수 있는 기능, 수집한 데이터를 해석해 결과를 데이터베이스화하는 기능, 인터넷 상에서 제공되는 판단 지원 정보와 현장 수집 정보를 용이하게 통합화해 의사결정 할 수 있도록 하는 시스템을 구축하는 것이 필요하다. 일본 농업연구 센터(1999)에서는 네트워크에서 작물상태를 진단 평가하는 시스템을 개발하였다. 여러 방향의 생육영상이나 기상 데이터 등의 현장 정보를 자동적으로 획득, 수집함과 동시에, 재배일지를 기록, 보존할 수 있는 작물진단 평가 시스템이 개발되었다. 삼차원 정보를 계측해 생육량을 추정할 수도 있다. 모든 기능은 인터넷 브라우저로 이용한다.

한편, 디지털 카메라를 사용하여 시험포장 등의 원격지에서 촬영한 영상을 여러 연구실에서 효율적이고 쌍방향으로 영상정보를 공유할 수 있는 시스템이 개발되었다. 일본 중국농업시험장(1998)에서 개발한 이 시스템은 이용자가 LAN에 접속된 PC등으로부터, 영상을 검색·표시할 수 있으며, 영상 외에 촬영일시, 촬영장소, 촬영자, 작업 내용을 기록, 보존하고 있다. 일방적으로 영상을 검색·표시할 수 있을 뿐만 아니라 이용자가 영상에 대한 코멘트를 입력할 수 있다. 촬영한 영상을 시스템에 등록할 때까지의 순서는, 디지털 카메라로 촬영 → 촬영된 영상을 PC에 출력 → 필요한 영상 선별 → 서버로 전송 또는 휴대전화를 이용한 원격지 전송으로 이루어진다. 이 시스템에서는 영상 및 기타 정보(일시, 장소 등)를 데이터베이스 소프트웨어를 사용해 PC에서 관리하고 있다. 서버 장치에 저장한 영상에 대해 데이터베이스 소프트웨어를 기동해, 파일명, 일시, 촬영 장소 등을 등록한다. 데이터베이스에 등록된 정보는, CGI 프로그램과 ODBC 경유로 WWW로부터 액세스가 가능하게 된다. [자료 : 日本 農業研究 センター. 1999. 네트워크 型作物診斷評價 システム, http://www.affrc.go.jp/ja/db/seika/data_narc/h11/]

사료작물에는 많은 종류가 있고 지금까지 보고된 병해의 종류도 매우 많다. 이것들의 병해를 판별해, 진단하기 위해서는 경험을 필요로 하지만, 인터넷에서

액세스 할 수 있는 병해 검색용 도감을 개설해, 네트워크에서의 진단·분류를 가능하게 한다. 즉, 인터넷 상에서 이용 가능한 사료작물 병해 도감으로서, 여러 종의 사료작물에 대한 각종 병해를 대상으로, 병명, 병원균 및 병징으로부터 검색해, 각 병해의 병징, 피해, 발생 상황 등의 해설과 병징 및 병원균의 사진을 검색할 수 있다. 또한, 해설 및 영상 데이터는 다운로드 받아 이용할 수도 있도록 하고 있다. [자료 : 일본 草原 試験場. 1996. インターネットWWWによる 飼料 作物病害圖鑑. <http://www.affrc.go.jp/>]

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 첨단온실의 원격 생육환경 감시 시스템 구성

1. 재료 및 방법

가. 문헌조사에 의한 자료수집

기술집약형 농업의 한 형태로 도입된 첨단온실은 컴퓨터에 의한 환경제어 및 재배관리가 이루어지고 있으나, 문헌조사 및 현장 답사를 통하여 조사한 결과, 표 3.1과 같이 하드웨어의 안정성 및 신뢰성 부족, 운용 소프트웨어의 미흡, 재배자의 유지관리 능력을 초과한 복잡한 시스템, 장치간, 작물간 상호관계에 대한 정보화 부족 등의 문제점이 있는 것으로 조사되었다.

이를 개선하기 위해서는 첨단온실을 구성하는 각 요소를 전문가에 의하여 통합적이며 안정적으로 모니터링하여 관리하고, 온실정보를 데이터베이스로 구축할 필요가 있는 것으로 판단되었다.

Table 3.1 Problems and methods to improve the State-of-the-art greenhouse

문 제 점	개 선 방 안
<ul style="list-style-type: none"> - 온실설비의 안정성 및 신뢰성 부족 - 온실 첨단화로 인한 시스템의 복잡성 증대로 재배자의 관리범위 초과 - 개별항목을 통합한 체계적인 감시 및 관리방법 미흡 - 재배 Know-how의 계량화 미흡 - 작물-환경-작동장치간 상호관계 등 기초 자료 부족 	<ul style="list-style-type: none"> - 정전이나 통신장애시에도 안정적인 감시 - 돌발상황에 대한 인식 및 대응기능을 보유 - 전문가에 의한 센터에서의 종합 관리 - 각 구성요소의 통합적 감시 - 온실정보의 데이터베이스 구축 및 제어전략 정보 제공 시스템 구축

나. 감시 시스템의 요구기능

문헌조사와 현장답사로 도출된 문제점 및 개선방안을 토대로, 첨단온실의 원격 생육환경 감시시스템을 온실, 센터, 원격지로 구분하여 각 구성요소의 요구기능을 구명하였다.

1) 온실 영역

첨단온실에 직접 설치되어 정보를 수집하는 시스템은 첫째, 온실의 생육환경을 대표할 수 있도록 다양한 정보를 충분한 분해능과 정확도를 갖고 측정할 수 있는 계측모듈을 갖고 있거나 입력할 수 있어야 한다. 첨단온실의 상태를 대표할 정보 수집대상 항목은 생육환경, 외부기상, 제어장치 상태, 생육상태, 재배자의 재배활동, 병충해나 생육장애 상태 등이어야 한다.

둘째, 안정적인 정보의 수집 및 감시를 위해서는 정전이나 통신장애가 발생하더라도, 발생여부가 즉시 파악될 수 있어야 하며, 주요 데이터는 안정적으로 측정되고, 저장되어야 한다.

셋째, 농민이 시스템을 운용하는 것이 용이하도록 편의성을 고려한 사용자 인터페이스를 갖추어야 하며, 첨단화되면서 복잡해지는 각종 설비의 전문적인 감시 및 관리는 전문가에 의하여 원격으로 이루어 질 수 있도록 하고, 직접 재배자가 관리하는 온실에 설치되는 장치들은 단순한 구조의 모듈화된 장치이어야 한다.

2) 센터 영역

전문가에 의해서 관리되는 통합관리 시스템은 첫째, 정보수집 시스템으로부터 획득되는 정보를 데이터베이스로 구축하고, 이를 온실 운용의 제어전략에 활용할 수 있도록 통계 데이터 생성, 재배사례 검색 및 분석을 수행하는 제어전략 정보 제공 시스템이 있어야 한다.

둘째, 첨단온실의 복잡한 각종 설비의 작동상태를 전문가가 관리할 수 있도록 감시되어야 하며, 설비의 고장이나 이상동작 등의 돌발상황을 감지하고, 대응할 수 있도록 사용자와 전문가에게 돌발상황을 즉시 통보하며, 원격지에서 극단적인 환경에 대응할 수 있는 원격 제어시스템이 있어야 한다.

셋째, 경제성을 고려하여, 통합관리 시스템은 여러 온실단지를 동시에 관리할

수 있어야 하며, 관련 정보를 종합적으로 제공하고, 외부전문가와 연계할 수 있어야 한다.

3) 원격지

원격지에서는 인터넷을 통하여, 재배농민이나 전문가가 현재 온실 상태를 확인할 수 있어야 하며, 돌발상황 발생시 경보가 전달 되어야하고, 이에 대응할 수 있도록 첨단온실의 각종 설비를 원격 작동할 수 있어야 하며, 재배사례의 검색 및 분석 등을 할 수 있어야 한다.

2. 결과 및 고찰

가. 논리적 구성

인터넷을 이용한 첨단온실의 원격 생육환경 감시 시스템은 첨단온실의 생육환경, 작동장치의 작동상태, 생육상태, 재배작업 등 온실의 운영에 관련된 각종 정보를 수집하고, 이를 데이터베이스에 저장하여, 가공 분석하고, 원활한 운용을 위한 제어전략을 수립할 수 있도록 실시간으로 재배자 및 관련 전문가에게 관련 정보를 제공하기 위한 것으로, 요구기능 분석을 토대로 첨단온실의 원격감시 및 통합관리를 위한 논리적 구성요소를 그림 1.1과 같이 정보수집 시스템, 통합관리 시스템, 표출 및 원격작동 시스템으로 구성하였다.

정보수집 시스템은 물리적으로는 온실에 설치되는 것으로, 첨단온실의 주요 구성요소를 감안하여 온실의 지상부, 근권부 환경, 외부기상 등 생육환경 정보와 작동장치의 상태, 작물의 생육상태, 재배 계획 및 재배 상황 등을 주요 수집 항목으로 선정하였고, 인터넷 환경을 고려하여, 클라이언트/서버 구조로 주요 항목을 자동으로 수집하고, 전송할 수 있는 감시 모듈과 사용자가 직접 관련 정보를 입력하는 모듈로 구분하여 구성하였다.

통합관리 시스템은 전문가에 의해서 관리되는 센터에 위치하며, 온실의 운영에 관련된 각종 정보를 정보의 속성 및 활용 측면을 고려하여 구축된 데이터베이스를 이용하여, 온실 운용 제어전략 정보를 제공할 수 있도록 통계 데이터 생성, 재배사례 분석, 온실 설비의 상태 및 유지보수 이력 검색을 하는 가공 분석부와 돌발상황 발생시 이를 인식하고 대응하며, 해당 정보를 전달하는 정보 처

리부, 외부 전문가와 재배자를 위한 인터넷 서비스 등을 수행할 수 있는 정보 서비스로 구성하였다.

표출 및 원격작동 시스템은 인터넷을 기반으로 실시간으로 현재 온실의 상태를 표출하고, 돌발 상황 발생시 원격으로 해당 온실의 작동장치를 작동할 수 있으며, 재배사례, 온실 설비의 유지 보수 이력 등을 검색할 수 있도록 구성하였다.

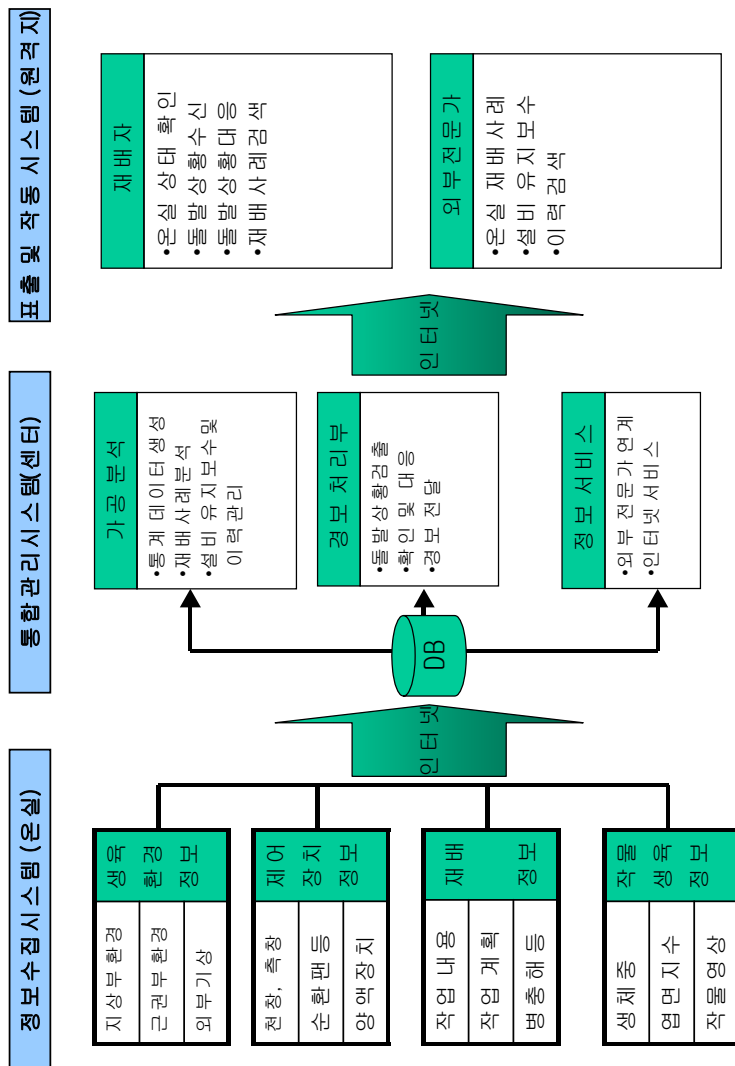


Fig. 3.1 Logical system architecture of remote environment monitoring system of a state-of-the-art greenhouse

나. 물리적 구성

전체 시스템의 물리적 구성도는 그림 1.2에 나타낸 것과 같이 각 시스템간의 네트워크는 정보 통신분야 등에서 널리 이용되고 있는 TCP/IP를 이용하였고, 온실 단지 내에 존재하는 온실들간의 연결은 직렬통신을 이용하여 네트워크를 구성하였으며, 돌발 상황 발생시 즉각적인 경보 전달을 위하여 TCP/IP와 함께 PSTN(Public Switched Telephone Network)망을 이용하여 재배자에게 실시간으로 연결할 수 있도록 하였다.

정보 수집시스템은 첨단온실의 경우 한 온실단지에 여러 개의 온실이 존재하므로, 단순한 구조의 모듈화된 계측장치인 하우스모니터를 개발하여 개별온실의 생육환경 및 제어장치의 상태를 감시 할 수 있도록 하였으며, 측정되어지는 정보들은 그룹모니터에 전송하도록 하였다. 그룹모니터는 여러 개의 온실을 갖고 있는 하나의 온실단지 전체를 감시하는 것으로, 외부기상, 영상정보를 통한 생육상태 감시 및 원격제어 등이 수행될 수 있도록 구성하였다. 영상정보는 온실의 내부상태를 감시하기 위한 영상정보와 작물의 생육상태를 감시하고, 계량화하기 위한 영상장치로 구분하여 구성하였다.

센터에 있는 통합관리 시스템은 물리적으로는 하나의 컴퓨터이지만 기능적으로 통합관리 서버, 데이터베이스, 웹서버, 경보서버로 구분하였으며, 센터의 규모에 따라 물리적인 구분을 할 수 있도록 모듈화하여 구성하였다.

통합관리 서버에서는 여러 개의 온실단지를 동시에 관리할 수 있도록 TCP/IP를 이용하여 주기적으로 개별 온실단지의 데이터들을 수집하고, 원격 접속자나 전문 관리자에 의한 개별 온실의 원격제어를 수행하며, 데이터베이스에 데이터를 저장하고, 재배 사례나 온실 설비의 상태 등을 검색 및 조회하고 분석하며, 그 결과를 웹서버나 경보서버에 전달하도록 하였다.

경보서버는 온실 감시 데이터를 이용하여 돌발상황을 감시하고, 발생시에는 CTI(Computer Telephony Interface)를 이용하여 돌발상황의 내용을 PSTN망을 이용하여 전달 할 수 있도록 구성하였으며, 웹서버에도 관련 정보를 제공하여 인터넷으로도 경보가 전달 될 수 있도록 구성하였다. 웹서버는 ASP, Active X 등을 이용하여, 원격지에서 재배자나 전문가, 시스템 관리자 등이 접속하여 온실의 상태를 확인하고 관리 할 수 있도록 하였다.

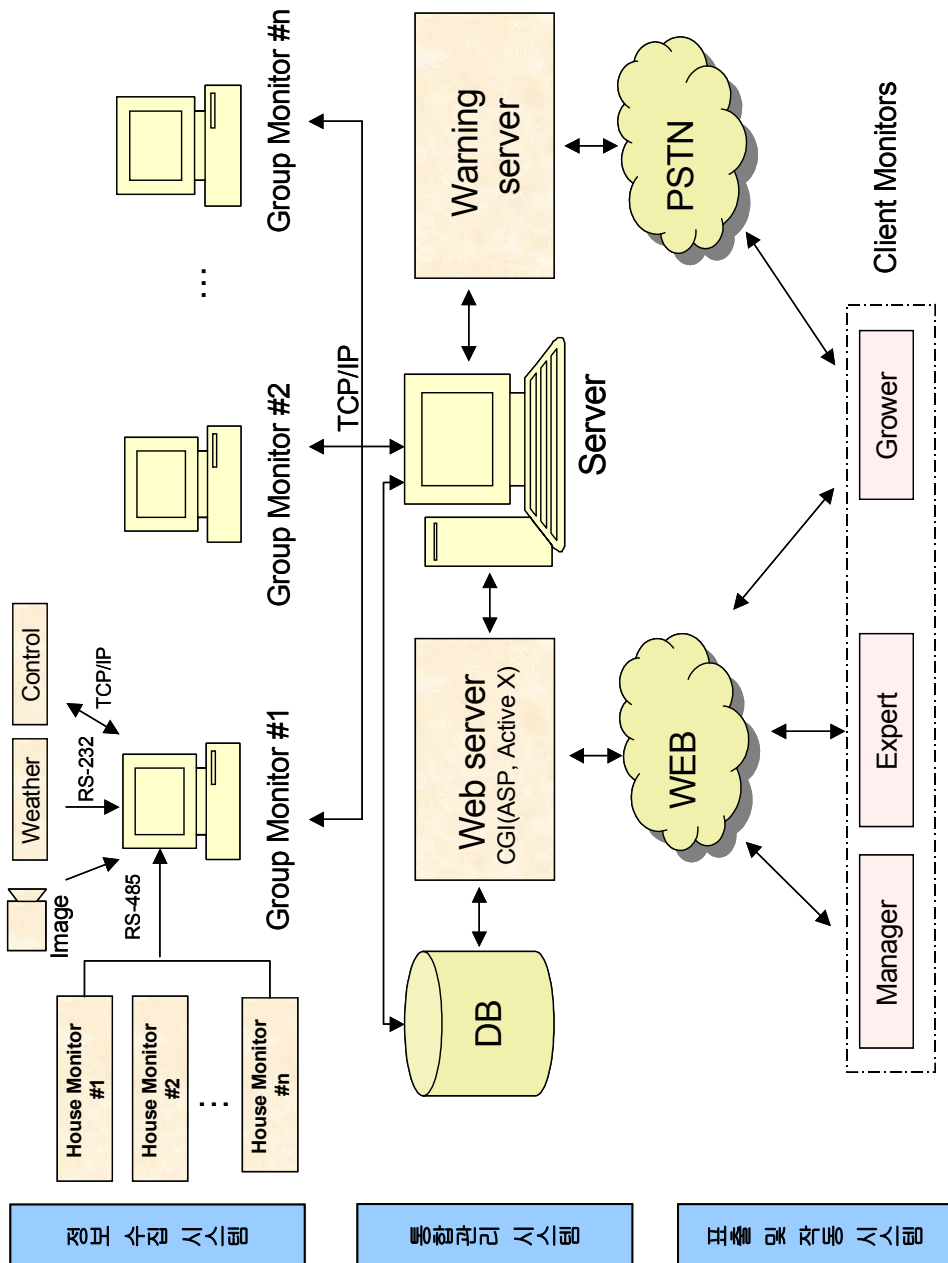


Fig. 1.2 Physical system architecture of a state-of-the-art greenhouse remote environment monitoring system

제 2 절 생육환경 및 제어정보 수집 시스템 개발

1. 재료 및 방법

가. 생육환경 및 제어정보 수집 시스템의 구성

생육 환경 및 제어정보 수집 시스템은 온실의 구성 요소를 통합적으로 감시하고 관리할 수 있도록 온실의 상태를 대표하는 항목의 정보를 수집하여 통합관리 시스템에 전송하는 것이다.

실제 온실의 경우, 여러 동이 한곳에 건설되어 있으므로, 경제성과 시스템의 안정성을 확보하기 위하여 선정된 감시 대상 중에 개별 온실별로 측정되어야 하는 내부 생육환경과 작동장치 상태는 단일 칩 마이크로프로세서를 이용한 감시모듈을 제작하여 온실의 상태를 감시하도록 하였다. 감시모듈은 하우스모니터 (House Monitor)라고 이름지었으며, 개별 온실마다 하우스모니터를 설치하여 내부 생육환경과 작동상태를 계측하고, 온실 단지 전체를 감시하는 그룹모니터 (Group monitor)라 명명한 장치로 관측한 데이터를 전송하도록 구성하였다. 외기 기상상태는 개별 온실별로 측정될 필요가 없으므로, 그룹모니터에 바로 입력되도록 구성하였고, 그룹모니터로 취합된 온실의 정보는 인터넷을 이용하여 센터에 설치된 통합관리 서버에 전송되도록 구성하였다. 생육환경 및 제어정보 수집 시스템의 구성은 그림 2.1과 같다.

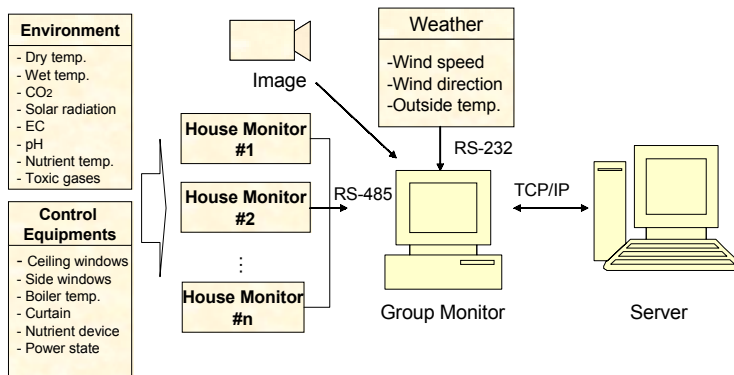


Fig. 2.1 Block diagram of data collection system for environment and control status

나. 감시항목 선정

작물의 광합성과 물질대사에 직접적인 영향을 미치는 작물 생육환경 요소와 온실 외부기상 환경을 일차적인 감시 항목으로 선정하였으며, 이에 연관된 온실 제어장치의 상태를 측정하도록 하였다. 현재 실용화된 온실 가온 설비로 대부분 중유나 경유를 연료로 사용하는 온풍난방기나 보일러가 사용되고 있어 작업자와 작물에 치명적인 독성가스의 배출가능성이 있으므로 유해가스를 측정하도록 하였다.

이외에 사용자가 원격지에서 내부상태를 직관적으로 살펴 볼 수 있도록 영상 입력 장치를 통해 온실 내부 영상을 얻도록 하였다.

표 2.1은 본 연구에서 선정한 생육 환경 및 제어 정보 수집시스템의 감시항목이다.

Table 2.1 Selection of monitoring items

Classification	Monitoring Items
Growing environmental factor	Inside temp., Relative humidity, Boiler temp., Nutrient temp., EC, pH, CO ₂
Harmful environmental factor	SO _x , NO _x
Weather condition	Solar radiation, Wind speed, Wind direction, Outside temp.
Control device	Side window, Ceiling Window, Curtain, Nutrient device
Etc.	Power state, communication state

다. 생육환경 및 제어정보 계측

1) 하우스모니터의 측정대상

농업기계화연구소의 ‘시설 원예용 환경제어장치의 규격 표준화에 관한 연구’ 등을 참조하여 현재 상용온실의 내부환경을 적정하게 감시하기 위한 하우스모니터의 측정대상과 요구성능을 표 2.2와 같이 결정하였다.

Table 2.2 Required Specification of monitoring item

Monitoring Items	Range	Output	Resolution	Accuracy
Dry temp.	-10~60℃	ΔR	0.1℃	±0.1℃
Wet temp.	-10~60℃	ΔR	0.1℃	±0.1℃
Boiler temp.	0~100℃	ΔR	0.2℃	±0.2℃
Nutrient temp.	-10~60℃	ΔR	0.1℃	±0.1℃
Solar radiation.	0~1.6kw/m ²	4~20mA	±25w/m ²	2%
SOx	0~20ppm	4~20mA	0.2ppm	±1%FS
NOx	0~20ppm	4~20mA	0.2ppm	±1%FS
CO ₂	0~2000ppm	4~20mA	4ppm	±35ppm
EC	0~10mS/cm	4~20mA	0.1mS/cm	±2%FS
pH	0~14pH	4~20mA	0.1pH	±0.5%FS
Ceiling window	0~100 %	0~5V	1%	±2%FS
Side window	point of contact	On/Off	-	-
Curtain	point of contact	On/Off	-	-
Nutrient device	point of contact	On/Off	-	-
Power state	AC power fault	-	-	-
Wind direction	0~360°	RS232C	1°	±7°
Wind speed	0~78m/s	RS232C	0.1m/s	±5%
Outside temp.	-45~60℃	RS232C	0.1℃	±0.5℃

상대습도의 측정은 고습도 환경에서도 측정치가 정확하도록 건구온도와 습구온도의 차를 이용하는 ASAE D271.2의 psychrometric data에서 제시한 방식을 사용하였다.

Psychrometric data는 -10℃에서 55℃의 범위와 20℃에서 120℃의 온도 영역에서 적용되며 계산 방식은 다음과 같다.

- Saturation line, Ps

$$\ln P_s = 31.9602 - \frac{6270.3605}{T} - 0.46057 \ln T$$

$$255.38 \leq T \leq 273.16$$

$$\ln\left(\frac{P_s}{R}\right) = \frac{-A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4}{FT - GT^2}$$

$$273.16 \leq T \leq 533.16$$

$$\begin{aligned} R &= 22,105,649.25 & A &= -27,405.526 & B &= 97.5413 & C &= -0.146244 \\ D &= 0.12558 \times 10^{-3} & E &= -0.48502 \times 10^{-7} & F &= 4.34903 & G &= 0.39381 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

-Wet bulb line

$$P_{sub} - P_v = B'(T_{wb} - T)$$

$$B' = \frac{1006.9254(P_{sub} - P_{atm})(1 + 0.15577 \frac{P_v}{P_{atm}})}{0.62194 h'_{fg}}$$

$$h'_{fg} = (7,329,155,978,000 - 15,995,964.08 T^3)^{\frac{1}{2}}$$

- Relative humidity

$$rh = \frac{P_v}{P_s}$$

Table 2.3 Nomenclatures

h'_{fg}	Latent heat of vaporization of water at T_{wb}
\ln	Natural logarithm(base e)
P_{atm}	Atmospheric pressure, Pa or psi
P_s	Saturation vapor pressure at T, Pa or psi
P_{sub}	Saturation vapor pressure at T_{wb} , Pa or psi
P_v	Vapor pressure, Pa or psi
rh	Relative humidity, decimal
T	Dry-bulb temperature, kelvin or rankine
T_{dp}	Dew-point temperature, kelvin or rankine
T_{wb}	Wet-bulb temperature, kelvin or rankine

2) 환경 계측 센서의 명세

온실의 내부 환경을 계측할 센서들은 표 2.2에서 정의한 요구성능을 만족하도록 선정하였고, 각각의 센서들에 대한 명세는 표 2.4와 같다.

Table 2.4 Specification of sensors and transmitters

항목	범위	모델명/제조회사	출력	정밀도	비고
온도	-20~100℃	PT-100(KS C1603)	△R	±0.15℃	건구, 습구, 양액, 보일러
일사량	0 ~ 1.6 (kw/m ²)	S-1-4 / OTA	4~20mA	2%	
SO ₂	0~20ppm	HISENSE-1000D / INFITRON	4~20mA	±1%FS (25℃)	
NO ₂	0~20ppm	HISENSE-1000D / INFITRON	4~20mA	±1%FS (25℃)	
CO ₂	0~2000ppm	GMW22 / VAISALA	4~20mA	±35ppm 이내	
EC	0 ~ 10 (mS/cm)	HI98143 / HANNA	passive 4~20mA	±2%FS (25℃)	
pH	0 ~ 14 pH	HI98143 / HANNA	passive 4~20mA	±0.5%FS (25℃)	
내부 영상	-	GC-455N/Honeywell	41만 화소	-	RS-485
기타 제어 장치	On/Off	리미트스위치(접점입력) 기존 온실 제어장치 이용	On/Off		

3) 외부 기상환경 측정

외부 기상 환경으로는 풍향, 풍속, 외부기온을 측정하며 계측장치로 Davis사의 Weather Monitor II를 사용하였다. Weather Monitor II의 명세를 표 2.5에 나타내었다.

Table 2.5 Specifications of the Weather Monitor II

Measuring Item	Range	Accuracy	Power supply	Output type
Wind direction	0~360°	±7°	230VAC	RS232C
Wind speed	0.9 ~78m/s	±5%		
Outside temperature	-45~60℃	±0.5℃		

Weather Monitor II는 그림 2.2와 같이 구성되며, 관측된 풍향, 풍속, 외부기온에 관한 데이터는 RS-232C 통신을 통하여 그룹모니터에 전송되도록 하였다.

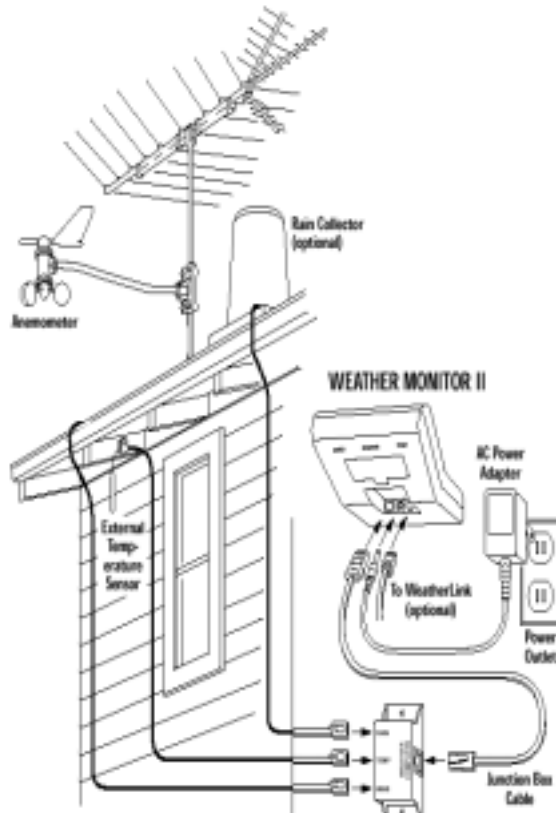


Fig. 2.2 Components of Weather Monitor II

온실의 내부 환경 및 외부 환경을 계측하는 각 센서들의 외형은 그림2.3에서

그림 2.6까지 나타내었다.



Fig. 2.3 Photograph of the EC/pH transmitter



Fig. 2.4 Photograph of the Gas Sensor(SO₂,NO₂,CO₂)



Fig. 2.5 Photograph of the RTD



Fig. 2.6 Photograph of the anemometer and the pyrheliometer

4) 온실 내부 영상 획득

본 연구에서는 온실 내부의 상태를 직관적으로 파악할 수 있도록 내부 영상을 획득하여 그룹모니터에서 살펴볼 수 있도록 하였다. 내부 영상을 위하여 1차년도 연구에서는 저가형 PC카메라를 사용하였으나, 본 연구가 진행되면서 인터넷을 이용하여 원격에서 카메라의 위치를 조절하며 온실의 내부 상태를 감시할 필요성이 부각되어 Pan/Tilt/Zoom이 가능하도록 카메라와 Pan/Tilt 드라이버를 사용하였다.

카메라는 Hneywell 사의 GC-455N을 사용하였으며 그룹모니터에 Matrox사의 Cron 프레임 그레이버(Frame grabbor)를 설치하여 카메라에 출력되는 NTSC

복합 칼라 신호를 획득하였다. 카메라의 위치는 Honeywell사의 GPT-203 Pan/Tilte 드라이버를 디지털 I/O 카드를 이용하여 제어하였고, 확대 축소 제어는 RS-485 통신을 이용하였다. 표 2.6은 카메라의 주요 명세이고, 그림 2.7은 Pan/Tilt 드라이버가 부착된 카메라의 외관이다.

Table 2.6 specifications of the internal monitoring camera

신호방식	NTSC
모델명	GC-455N
촬상 소자	1/4" IT CCD
전체 화소 수/ 유효 화소 수	410,000 화소
S/N 비	46dB 이상
수평 주파수	450TV Line 이상
렌즈	16배 줌(F1.6, f=3.9~63mm)
Shooting Distance	WIDE(1cm) TELE(120cm)
최저 피사체 조도	1Lux
디지털 줌	x2(x32): 기본 장착 x8/(x128): Option
동기 방식	내부 동기/외부동기(Optional); VBS
White balance	AWB/Presets(Indoor, Outdoor)/Manual WB/ Open push AWB/Special AWB
통신 방식	RS-485 모델
영상 출력	VBS; 1V _{pp} , 75Ω/Y; VS 1 V _{pp} / C; 0.286 V _{pp}
전자 셔터 속도	1/60~1/10000 28단계
Flickerless Mode	Manual ON/OFF
Iris 조정	Auto/Manual
AGC 조정	ON/OFF
조작/키 스위치	TELE(상향키)/WIDE(하향키)/NEAR(+키)/ FAR(-키)/MENU
동작 온도	0℃ ~ 40℃
보관 온도	-20℃ ~ 60℃
공급 전원	DC 12±2V
소비 전력	4W
외형 치수	65.8×64.6×104mm
중량	430g
On screen Display	ON/OFF



Fig. 2.7 Photograph of the internal monitoring camera
& Pan/Tilt driver

라. 하우스모니터 개발

1) 하드웨어

가) 시스템 구성 및 기능

하우스모니터의 주요 구성은 그림 2.8에 나타내었다.

사용자는 S/W 조작을 통하여 RTC(Real Time Clock)의 시간을 임의로 설정할 수 있으며, 그룹모니터를 통하여 개별 측정 데이터에 대한 상한값과 하한값을 설정할 수 있어 측정 데이터의 적정범위를 정할 수 있다.

하우스모니터는 11개의 아날로그 신호와 16개의 디지털 신호를 주기적으로 계측하여 측정 데이터와 RTC로부터 얻은 계측시간을 외부 EEPROM에 하나의 패킷으로 저장하고, 그룹모니터의 요구에 따라 측정된 데이터를 RS-485 통신으로 전송한다. 측정 데이터는 LCD를 통하여 표시되며 사용자가 입력한 데이터의 적정 범위를 벗어나면 경고등과 경보음으로 경보를 발생하고, 그룹모니터에 경보 신호를 보내게 하였다.

하우스모니터는 RS-485 통신을 이용함으로써 데이터 손실없이 측정된 데이터를 원거리의 그룹모니터로 전송할 수 있으며, 다수의 하우스모니터를 그룹모니터에 연결할 수 있도록 개발하였다.

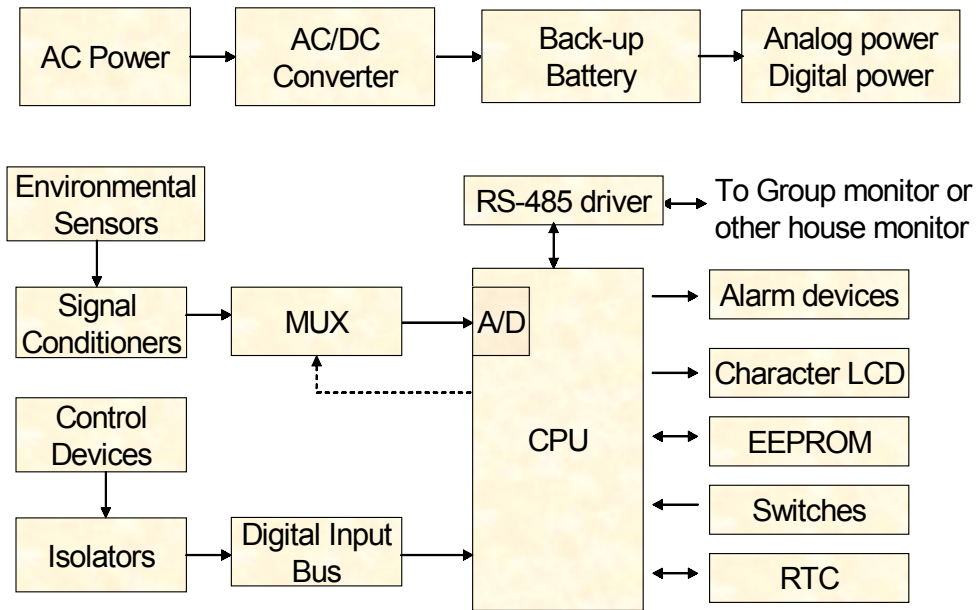


Fig. 2.10 Block diagram of the house monitor

나) 마이크로프로세서(Microprocessor)

하우스모니터의 마이크로프로세서는 8 bit CMOS 제어기로 내부에 A/D회로, EEPROM, RAM, 8개의 pull up port 등을 가지고 있으며, 하버드 아키텍처(Harvard architecture)의 RISC CPU로 빠른 실행속도를 가지고 있는 Microchip사의 PIC16F877을 사용하였다.

PIC16F877은 플래시 프로그램 메모리를 가지고 있어 프로그램(Firmware) 변경시 수정이 용이하고 전력소비가 적다. 그리고 프로그램 메모리와 데이터 메모리가 완전히 분리되어 메모리의 활용도가 높으며, 명령어의 내부 병렬처리를 통해 단 한번의 패치만으로도 명령어 실행이 가능하므로 실행속도가 빠르다.

또한 8K×14 word 의 대용량의 플래시 프로그램 메모리와 368×8 바이트의 데이터 메모리(RAM) 그리고 256 ×8 바이트의 EEPROM 데이터 메모리를 가지고 있어 하우스모니터와 같이 측정해야 할 대상이 많고 내부 연산이 많은 시스템에 적합하다.

표 2.7은 PIC16F877에 대한 특성을 나타내었다.

Table 2.7 Specifications of the system controller

Model	PIC16F877
Operating Frequency	20MHz
Resets(condition)	POR, BOR
Flash Program Memory(14bit word)	8K
Data Memory	368 Bytes
EEPROM Data Memory	256 Bytes
Stark depth	8
I/O Ports	Ports A,B,C,D,E
Timers	3
Capture/Compare/PWM modules	2
Serial Communications	MSSP, USART
Parallel Communications	PSP, I2C
10bit Analog-to-Digital Module	8 input channels
Instruction Set	35 Instructions

다) 온도 측정용 신호처리 회로

백금 측온저항체(PT-100)는 온도변화에 대응하는 전기 저항의 변화를 측정함으로써 온도를 환산한다. 백금 측온저항체의 저항변화는 0°C에서 100Ω의 저항을 가지며 별도의 보상장치를 부착하지 않아도 절대적인 온도 측정이 가능하기 때문에 상온 범위에서 정밀 측정이 가능하다.

1Ω의 저항변화는 5°C의 오차가 발생하기 때문에 도선의 저항값과 온도계수의 차이나 도선의 온도 분포가 균일하지 않음으로써 발생할 수 있는 측정오차를 최소화하기 위하여 3선식 배선을 사용한 브리지회로를 구성하여 도선에서 발생하는 오차를 상쇄시키도록 하였고, 전원이 불안정하여 발생하는 오차를 없애기 위하여 브리지 회로에 공급되는 전압은 항상 3.6V로 유지하도록 기준 전압 제너다이오드(Reference zener diode)와 연산 증폭기(LM324)를 사용하여 정전압을 발생시키는 회로를 구성하였다.

센서와 신호선의 단선이 발생했을 경우에는 브리지 회로의 특성상 브리지 회

로에 공급되는 최대의 전압이 측정되므로 하우스모니터에서 측정한 온도신호의 이상 여부를 판단할 수가 있어 온실에서 중요한 요소인 온도 측정값에 대한 신뢰성을 높였다.

그림 2.9는 온도센서인 PT-100의 신호처리 회로를 나타낸 것이다.

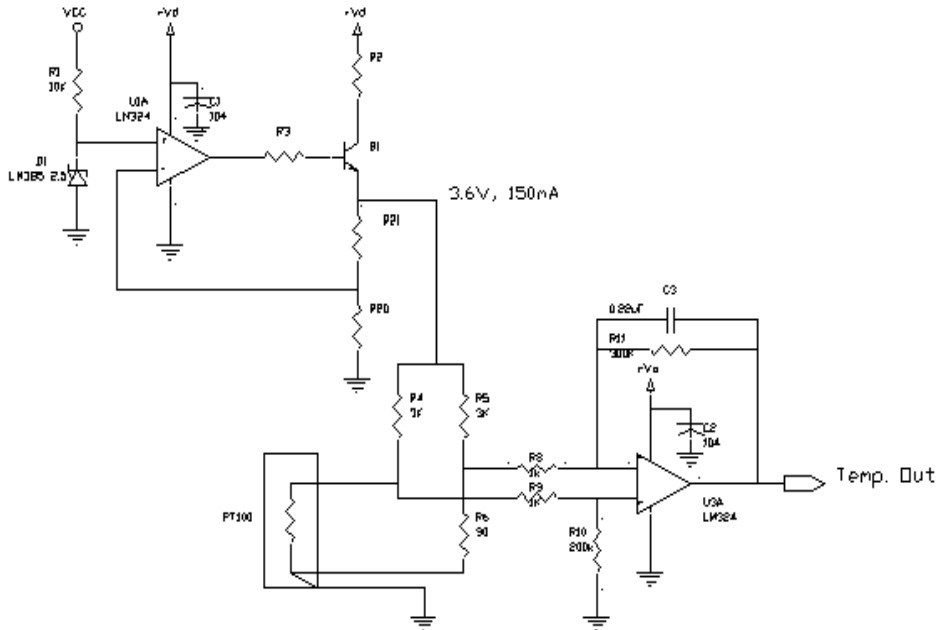


Fig. 2.9 Circuit diagram of the Pt-100 signal conditioner

라) 4~20mA 출력 신호 처리 회로

온도 이외의 측정 항목은 전용 발신기를 사용하였고, 출력신호는 향후 확장성, 호환성 및 안정성을 고려하여 4~20mA 전류 출력 신호로 통일 하였다. 4~20mA 출력 신호는 센서가 연결되지 않았을 때는 0 mA 출력이 나오기 때문에 센서의 이상 유무를 판단할 때 편리하게 이용할 수 있는 출력형태이다. 그림 2.10은 A/D 변환을 할 수 있도록 전류신호를 전압신호로 바꾸는 신호처리 회로이다.

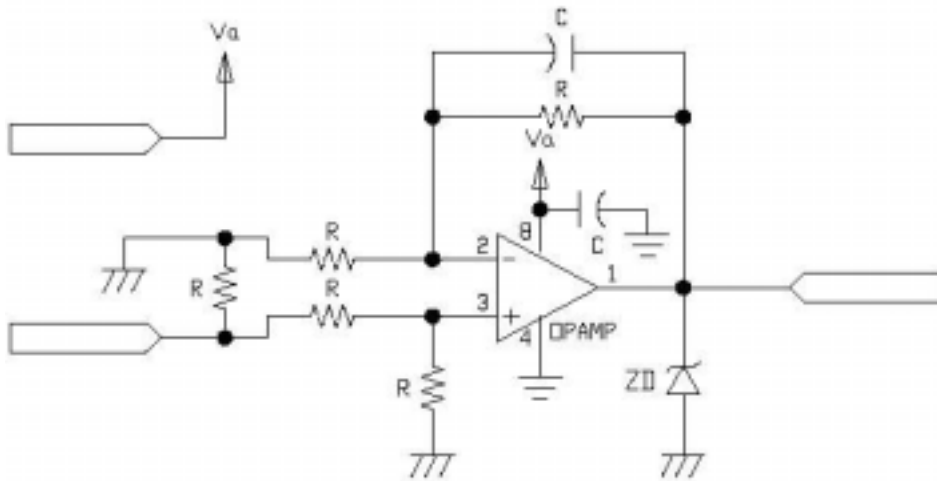


Fig. 2.10 Circuit diagram of signal conditioner for 4~20mA transmitter

본 연구에서 사용한 pH, EC 발신기의 경우, 외부에서 전원을 인가해야 4~20mA 전류 신호를 출력 하므로 그림 2.11과 같이 회로를 구성하였다.

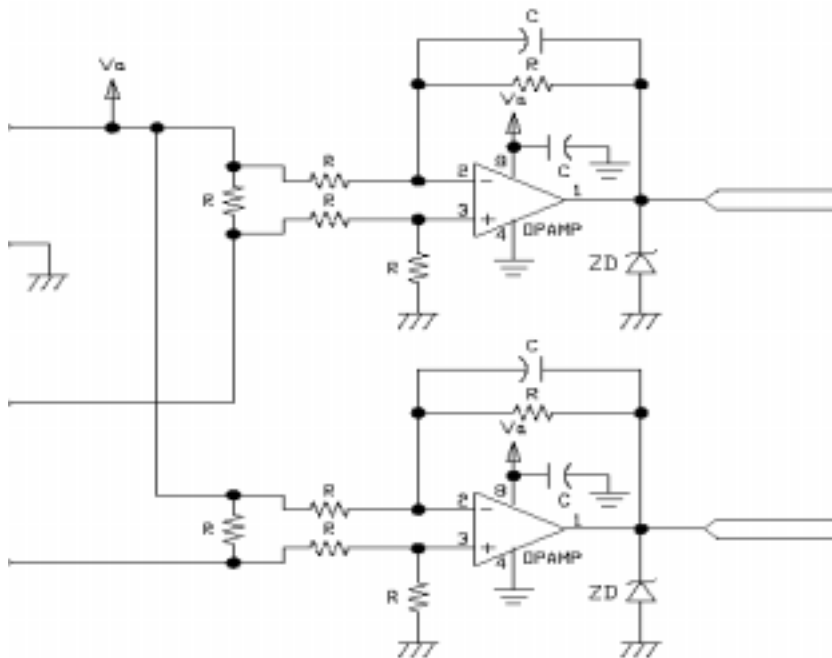


Fig. 2.11 Circuit diagram of signal conditioner for EC and pH transmitter

마) 제어장치의 상태 감시 회로

온실 제어장치의 작동 상태를 파악하기 위하여 보일러의 구동은 열교환기의 온도를 측정하였고, 천창은 천창의 개방 각도를 알 수 있도록 포텐쇼 미터를 이용하여 0~5V의 신호가 출력되도록 하였다. 기타 측창, 커튼, 양액 장치는 리미트 스위치를 부착하여, 측창이나 커튼의 구동 모터가 한쪽 방향으로 완전히 이동하면 이에 해당하는 리미트 스위치로부터 점점 신호가 발생하도록 하였다.

점점 신호는 시스템의 안정성을 위하여 포토커플러(PC817)를 사용하여 하우스 모니터의 신호처리 회로와 전기적으로 절연시켰다.

바) RS-485 통신 회로

표 2.8은 원격 감시에 적합한 통신 프로토콜을 선정하기 위하여 적용 가능한 직렬 통신 규격을 조사한 것이다.

그룹모니터가 다수의 하우스모니터와 통신이 가능해야 하고 그룹모니터와 개별 하우스모니터 사이의 거리가 수십 미터 이상이므로 RS-485 통신방식을 선택하였다.

RS-485 통신방식은 두 개의 신호선에 여러 대의 하우스모니터가 연결되므로, 수신측에서 데이터를 보냈을 경우 반대편에 부딪쳐서 메아리처럼 되돌아오는 신호를 소멸시키기 위해 100Ω의 종단저항을 연결해야 하며, 이 종단저항은 장비마다 전부 연결하는 것이 아니라 끝단에만 연결하면 되므로 점퍼를 설치하여 선택적으로 연결할 수 있도록 하였다.

Table 2.8 Specifications standard of the serial communication

		RS-232	RS-423	RS-422	RS-485
Max NO.	Driver	1	1	1	32
	Receiver	1	10	10	32
Max. Distance(m)		15	1200	1200	1200
Max. bps		20k	100k	10M	10M
Transmit Level	Max	±15V	±6V		-
	Min	±5V	±3.6V	±2V	±1.5V
Sensitivity [Ω]		3k~7k	~ ≤ 450	~ ≤ 100	~ ≤ 60
Driver Z _{out}		300Ω	60kΩ	60kΩ	120kΩ

하우스모니터에서 사용한 RS-485 통신 회로는 그림 2.12과 같다.

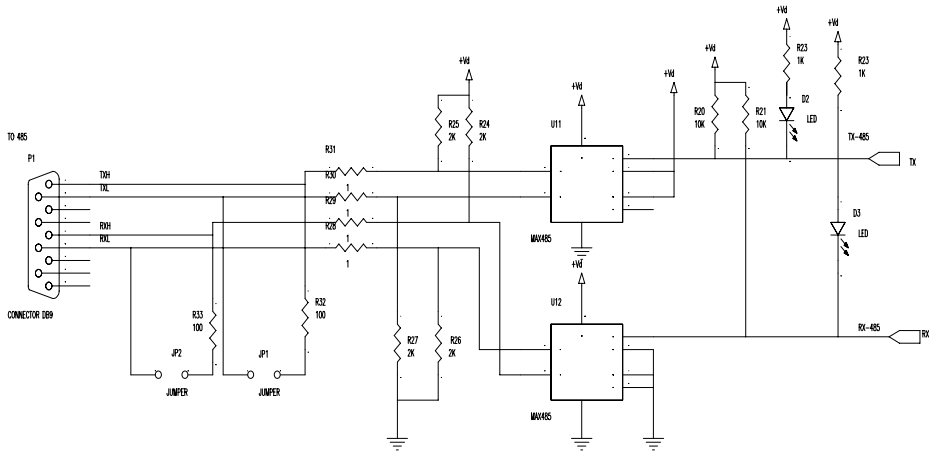


Fig. 2.12 Circuit of the communication module for the House monitor

사) 주전원회로

본 연구에서 개발된 하우스모니터는 안정적인 감시 시스템의 구축과 데이터베이스의 안정성을 확보하기 위하여 정전이 발생할 경우에도 최소 12시간동안 온실의 정보를 저장할 수 있도록 배터리를 이용한 안정적인 전원공급 장치를 개발하였고, 5V와 24V 전원을 공급할 수 있도록 하였다. 사용된 배터리는 ROCKET사의 ES 1.2-12 (12 V, 1.2AH) 모델이다.

개발된 하우스모니터의 전원부는 그림 2.13과 같다.

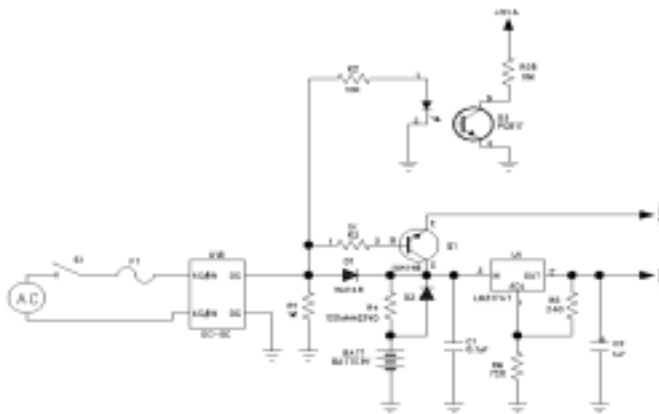


Fig. 2.13 Circuit diagram of power unit

아) 주기판 회로

PIC16F877을 사용한 주기판 회로는 그림 2.14에 나타내었다.

신호처리회로에서 나온 계측신호는 아날로그 멀티플렉스인 74HC4051을 통하여 PIC16F877의 A/D port로 입력되고 점점신호는 8선 수신기(Octal bus transceiver)인 74HC245를 이용하여 Port D로 입력된다. Port D는 LCD 디스플레이의 데이터 통신 버스로도 사용되고 있기 때문에 74HC245와 LCD를 번갈아 작동시킴으로서 데이터 버스가 충돌하지 않도록 제어하였다.

외부 EEPROM과 RTC는 PIC16F877의 포트를 효율적으로 이용하기 위하여 I²C 통신을 이용하여 데이터를 교환하였다. I²C 통신방식은 보드 내에서 칩과 칩 사이의 통신 프로토콜로 2라인 시리얼 통신규격이다. 보드 내의 각종 칩들을 2개의 선을 이용하여 시리얼로 데이터를 주고받기 때문에 회로를 효율적으로 구성할 수 있다.

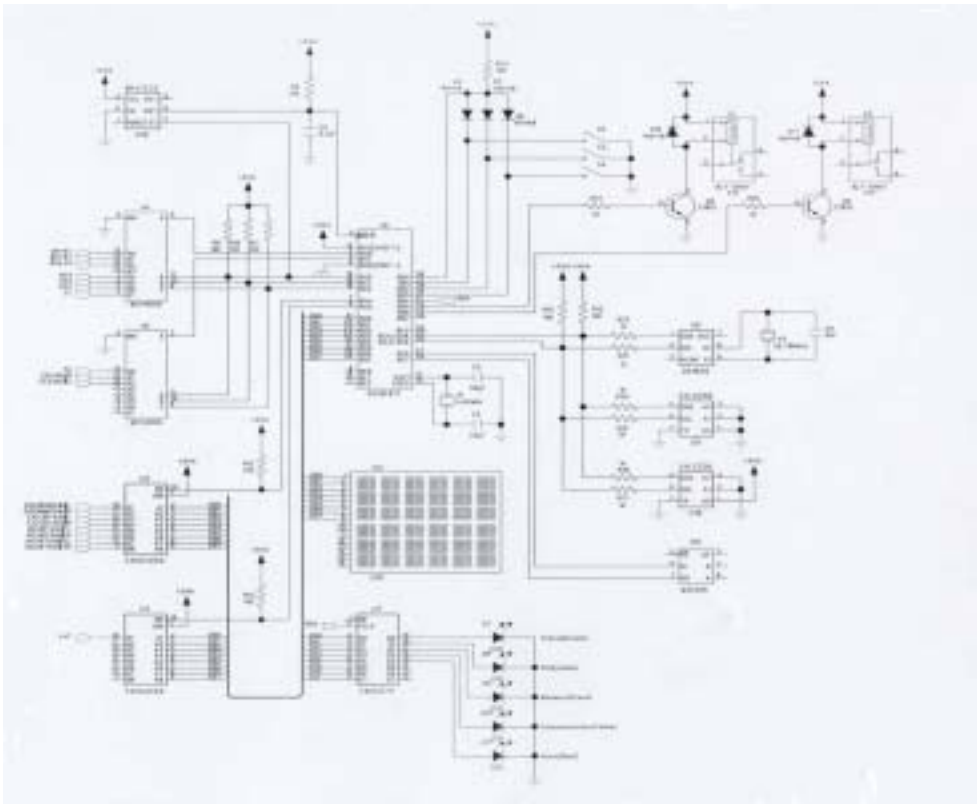


Fig. 2.14 Circuit diagram of the house monitor CPU part

자) PCB 설계

PCB 설계는 각종 센서들로부터 입력을 받아 신호처리를 하는 신호처리 회로의 PCB와 이 회로에서 출력으로 나온 신호를 데이터로 전환하여 디스플레이에 표시하거나 저장하고, 그룹모니터에 데이터를 전송하는 마이크로프로세서 회로의 PCB로 나누어 제작하였다.

아날로그 신호처리 회로의 모습은 그림 2.15이고, 디지털 처리를 하는 마이크로프로세서 회로의 모습은 그림 2.16 이다.



Fig. 2.15 Analog part of the house monitor



Fig. 2.16 Digital part of the house monitor

2) 운용소프트웨어

하우스모니터의 운용 프로그램 개발은 Advanced Transdata Corporation사의 PIC16F87x 계열 마이크로프로세서 디버거인 PIC-ICD Debugger를 사용하였다.

하우스모니터는 11개의 Analog 신호와 16개의 On/Off 신호를 주기적으로 계측하여 측정 데이터와 RTC(Real Time Clock)로부터 얻은 계측시간을 외부 EEPROM에 하나의 패킷으로 저장하고, 그룹모니터(Group Monitor)의 요구에 따라 측정된 데이터를 RS-485 통신으로 전송한다.

이러한 일련의 과정을 흐름도로 표시하면 그림 2.17과 같다.

하우스모니터의 프로그램은 구동되면 LCD 및 통신 포트, EEPROM등 주변장치에 대한 초기화를 수행한 다음 내부 Timer 인터럽트를 통하여 주기적으로 센서들의 입력신호를 측정한다.

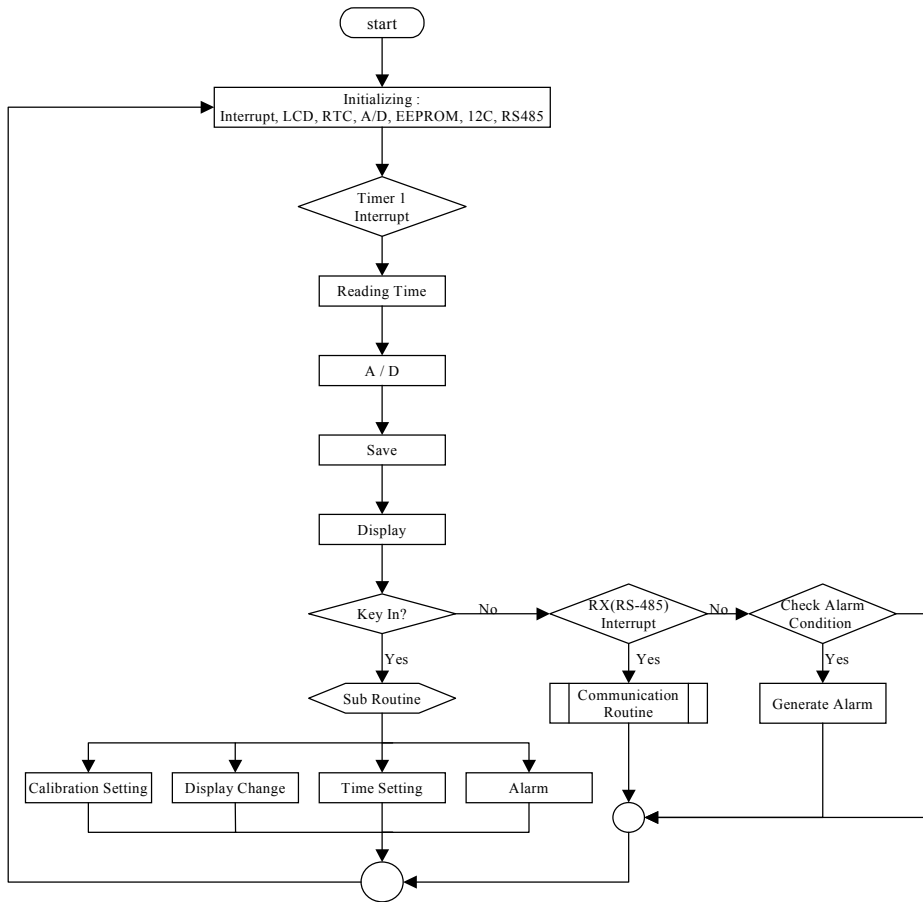


Fig. 2.17 Overall flow chart of the house monitor program

마이크로프로세서에 내장된 10bit A/D로 매 측정 순간에 4회 반복하여 그 평균을 1회의 측정 데이터로 사용하여 순간적인 전기적 노이즈로 인해 발생하는 오차를 줄이도록 하였다. 외부 EEPROM에 저장되거나 그룹모니터에 전송되는 데이터는 매 1분마다 30 바이트 크기의 데이터 패킷을 저장하고, 전송하도록 하였다. 이 데이터 패킷은 온실의 상태를 충분히 반영하기 위하여 대략 3초에 1회씩, 1분에 걸쳐 측정된 값들의 평균이다. 이 데이터 패킷에는 측정된 시간이 함께 포함되어 있어 통신상의 장애로 그룹모니터에 데이터가 전송되지 못할 때에도 하우스모니터 내부에 저장되어 통신선로 이상 및 정전 등 갑작스런 외란에도 안정적으로 데이터를 저장할 수 있도록 하였다.

또한, 사용자의 편의성을 위하여 측정된 데이터는 LCD에 표시되도록 하였다.

사용자는 LCD에 표시된 메뉴를 키입력을 통하여 개별 측정 데이터에 대한 교정 및 경고값 설정을 할 수 있다. LCD에 11개의 아날로그 신호를 한번에 표시하기에는 LCD의 크기가 충분하지 못하므로 데이터를 4개씩 하나의 페이지에 표시하며, 사용자는 키입력으로 페이지를 넘기듯이 개별 데이터를 확인, 교정할 수 있다.

경고발생은 사용자가 수동으로 경고 스위치를 누름으로써 인위적으로 발생시키거나, 사용자가 설정한 측정항목에 대한 상한값과 하한값을 비교하여 적정영역을 벗어났다고 판단될 때 자동적으로 경고발생이 이루어지도록 하였다. 경고발생은 하우스모니터에 있는 경광등과 경보음을 통해 발생하며 동시에 그룹모니터에 경고발생을 보고하게 된다.

하우스모니터에는 RTC(Real Time Clock)를 내장하여 사용자가 시간설정을 할 수 있으며, 측정된 신호의 정확한 계측시간을 알 수 있도록 하였다.

마. 그룹모니터 개발

1) 개요

그룹모니터는 원격 감시 시스템에서 개별 온실의 환경 정보를 수집하기 위해 설치된 여러 대의 하우스모니터를 통합 관리 하며, 하우스모니터를 통하여 수집된 정보를 통합 관리 서버의 요구에 따라 전송한다.

하우스모니터와 통합관리 서버 사이에 그룹모니터가 있으므로 원격 감시 시스템을 계층적으로 구성하게 됨으로써 네트워크의 상호변경을 최소화 시킬 수 있는 장점이 있으며, 시스템의 확장이 용이하고, 견고성, 유연성이 뛰어나다.

2) 동작특성

그룹모니터는 하우스모니터에 경고값 설정 및 A/D 교정값을 설정할 수 있으며, 하우스모니터에서 측정된 온실의 환경계측자료 및 온실의 외부기상자료를 60초에 1회씩 획득하며, 온실의 내부 영상은 사용자의 요구 시 실시간으로 전송하고, 사용자의 요구가 없으면 60초 간격으로, 서버 모니터에 데이터를 전송한다.

영상정보를 제외한 측정된 데이터는 하나의 데이터 패킷으로 묶어 관리하며, 하루를 기준으로 24시간 동안 측정된 데이터를 텍스트 파일로 저장하여, 데이터

를 다른 응용 프로그램에서 쉽게 이용할 수 있도록 하였다.

그룹모니터의 기능 수행 과정은 그림 2.18과 같다.

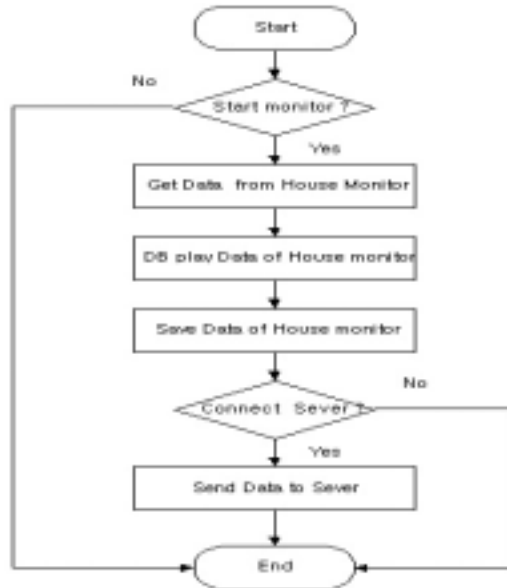


Fig. 2.18 Overall flow chart of the group monitor program

3) 개발환경

온실의 원격 감시를 위한 PC용 프로그램인 그룹모니터는 Delphi 5.0으로 개발하였으며, TCP/IP 통신체계에 기반한 클라이언트/서버 시스템으로 구성하였다.

TCP(Transmission Control Protocol)는 IP 상에서 수행되는 전송계층의 프로토콜이며, 접속지향 프로토콜로 하위 네트워크의 문제가 있어 패킷이 유실되거나 순번이 뒤바뀌는 경우에도 복구하여 상위계층이 신뢰할 수 있는 데이터 송, 수신을 제공한다. TCP는 연결지향 방식이므로 패킷을 보내기 전에 먼저 수신할 쪽과 연결의 성립이 필요하다. 연결이 성립되면 가상회선이 확보된 것이고 그 뒤에는 양쪽이 상위 계층이 중단할 때까지 안정적으로 가상회선이 유지된다.

TCP에서 데이터의 전송단위인 세그먼트는 PDU(Protocol Data Unit)이며 주소 대신 포트번호를 사용하여 통신한다. 네트워크를 사용하는 각각의 응용 프로그램이 할당받은 고유번호로서 이 번호를 통해 수신한 세그먼트 데이터가 어느 응용 프로그램의 것인지 결정된다.

바. 하우스 모니터와 그룹모니터 간의 통신 알고리즘

1) 개요

다수의 하우스모니터에서 측정된 데이터는 그림 2.19와 같이 RS485 신호로 출력되고, RS232변환기를 통하여 그룹모니터에 전송된다.

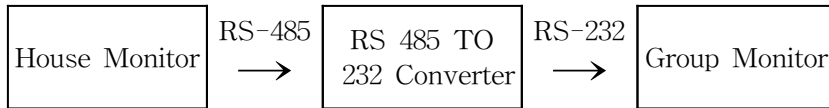


Fig. 2.19 Data flow of the house monitor



Fig. 2.20 Communication of between the group monitor and the house monitor

2) 데이터 프레임의 구조

하우스모니터와 그룹모니터 간의 통신 프로토콜을 시설원에 분야에 있어서 표

준화된 통신 프로토콜이 없어서 자체적으로 제작하여 사용하였다. 전송되는 데이터내에 하우스모니터의 통신주소(RS_ID)를 포함함으로써 각각의 하우스모니터와 순차적으로 통신하면서 데이터를 주고받을 수 있도록 하였으며. 해당 하우스모니터에 데이터를 요구하고 그에 대한 답변을 해석함으로써 응답에 대한 데이터를 수신하다. 통신속도는 9600bps, 전송문자 형식은 Start Bit는 1비트, 데이터 크기 8비트, 패리티는 없으며, Stop Bit는 1비트이다.

데이터 전송을 담당하는 통신 제어 문자는 표 2.9와 같다. 이들 제어문자는 하우스모니터와 그룹모니터 사이의 통신을 위해 미리 정의한 문자기호를 나타내며 해당하는 값은 16진 Hex값이다.

Table 2.9 Control character of communication

Symbol	Hex	Description
NUL	70	NULL
STX	7E	Start of Text
ETX	73	End of Text
ENQ	75	Enquire
ACK	76	Acknowledge
NAK	77	Negative Acknowledge

데이터의 메시지 구조는 표 2.10과 같다.

Table 2.10 Communication protocol of the house monitor

0	1	2	3	LENGTH-1
STX	ID	LENGTH	OPCODE	DATA FIELD [N]
TX 메모리	RS_ID	TX_BUF	TX_BUF+1	TX_BUFD
RX 메모리		RX_BUF		

[0] STX(= 7EH) -> start of message flag (1byte)

[1] LENGTH -> total message length (STX ~ DATA FIELD)

[2] OPCODE -> command에 operation code

[3] DATA FIELD -> OPCODE 에 따른 data

※ DATA FIELD의 길이는 OPCODE에 따라 0~30 bytes 까지 변한다.

표 2.11은 Data field의 형태를 나타낸 것이다. Time stamp는 Month, Day, Hour, Minute, Second의 순으로 각각 1 bytes씩 BCD구조이고 제어장치상태는 2 bytes(16bit)에서 10bit를 사용했다. 나머지 항목은 16Bit 값을 전송하기 위해 High byte와 Low byte, 2 bytes를 사용하였다.

Table 2.11 Format of data field

Data Field	Measuring Item	Data Field	Measuring Item
DF[0:4]	Time Stamp	DF[17:18]	CO ₂ 농도
DF[5:6]	Dry temperature	DF[19:20]	EC
DF[7:8]	Wet Temperature	DF[21:22]	pH
DF[9:10]	Boiler Temperature	DF[23:24]	천창개도1
DF[11:12]	Nutrient Temperature	DF[25:26]	천창개도2
DF[13:14]	NO _x 농도	DF[27:28]	일사량
DF[15:16]	SO _x 농도	DF[29:30]	제어장치상태

3) 명령어

하우스모니터와 그룹모니터사이의 메시지 전송에서 메시지의 종류를 정의 하는 명령어인 Opcode는 표 2.12와 같다.

Table 2.12 Opcode of command message(Group ↔ House)

Index	Opcode(G→H)	Opcode(G←H)	Description
1	0x01	0x11	Data request
2	0x02	0x12	Measuring data upload
3	0x03	0x13	Status data upload
4	0x04	0x14	Event data upload
5	0x05	0x15	EEPROM data upload
6	0x06	0x16	1st Alarm point upload
7	0x07	0x17	2nd Alarm point upload
8	0x08	0x18	1st Alarm point download
9	0x09	0x19	2nd Alarm point download
10	0x0A	0x1A	Real time upload
11	0x0B	0x1B	Real time download
12	0x0C	0x1C	Zero value upload
13	0x0D	0x1D	Span value upload
14	0x0E	0x1E	Install information upload
15	0x0F	0x1F	Install information download

가) Data request (Opcode : 0x01)

기능 : 준비된 데이터를 전송 요청함.

* Command

0	1	2	3	LENGTH-1
STX	RS_ID	LENGTH	OPCODE	DATA FIELD [N]
0x7e	0x00 or ID	0x04	0x01	No data

- Total message length: 4 bytes
- Opcode : 0x01
- RS_ID : 각 House monitor 별로 다른 ID 설정
- Data Field : 없음.

* Response

0	1	2	3	LENGTH-1
STX	RS_ID	LENGTH	OPCODE	DATA FIELD [N]
0x7e	Same ID	0x05	0x11	DF[0]

- Total message length: 5 bytes
- Opcode : 0x11
- Data Field
 - DF[0] 00 ; No data
 - 01 ; Measuring data 준비 됨.
 - 02 ; 제어상태 data 준비 됨.
 - 03 ; EEPROM data 준비 됨.

나) Measuring data upload (opcode : 0x02)

기능 : 환경변수 측정 값을 수신한다.(매 1분 주기로 데이터 set이 준비됨)

* Command

0	1	2	3	LENGTH-1
STX	RS_ID	LENGTH	OPCODE	DATA FIELD [N]
0x7e	0x00 or ID	0x04	0x02	No data

- Total message length: 4 bytes
- Opcode : 0x02

* Response

0	1	2	3	LENGTH-1
STX	RS_ID	LENGTH	OPCODE	DATA FIELD [N]
0x7e	0x00 or ID	0x23	0x12	DF[0:30]

- Total message length: 35 bytes

- Opcode : 0x12

- Data Field

DF[0:4] : Time stamp (Month, Day, Hour, Min, Sec 각 1byte, 데이터는 BCD 구조임.)

DF[5:6] : Dry temp average data (High byte, Low byte, 234 -> 23.4)

DF[7:8] : Wet temp DF[9:10] : Boiler temp.

DF[11:12]: 양액 온도 DF[13:14] : NOx 농도

DF[15:16]: SOx 농도 DF[17:18] : CO2 농도

DF[19:20]: EC DF[21:22] : pH

DF[23:24]: 천창개도 DF[25:26] : 천창개도 2

DF[27:28]: 일사량 DF[29:30] : 제어장치 상태

- 제어장치 상태

DF[29]

0bit : 측창 Left 0=Open, 1=Close

1bit : 측창 Right 0=Open, 1=Close

2bit : 외부커튼 Left 0=Open, 1=Close

3bit : 외부커튼 Right 0=Open, 1=Close

4bit : 내부커튼1 Left 0=Open, 1=Close

5bit : 내부커튼1 Right 0=Open, 1=Close

6bit : 내부커튼2 Left 0=Open, 1=Close

7bit : 내부커튼2 Right 0=Open, 1=Close

DF[30]

0bit : 양액 Flow 0=OFF, 1=On

1bit : Power Line 0=A/C, 1=Battery

다) Status data upload (opcode : 0x03)

기능 : 제어장치의 현재 상태를 수신한다. (하우스모니터에서 제어장치의 상태 변화가 발생할 경우에 데이터 set이 준비됨. 그리고, 1분 단위로 데이터가 전송되는 (opcode : 0x02) data set에는 그 시점에서의 작동장치 상태가 수신됨.)

* Command

0	1	2	3	LENGTH-1
STX	RS_ID	LENGTH	OPCODE	DATA FIELD [N]
0x7e	0x00 or ID	0x04	0x03	No data

- Total message length : 4 bytes
- Opcode : 0x03

* Response

0	1	2	3	LENGTH-1
STX	RS_ID	LENGTH	OPCODE	DATA FIELD [N]
0x7e	0x00 or ID	0x06	0x13	DF[0:1]

- Total message length : 6 bytes
- Opcode : 0x13
- Data Field
DF[0:1] : 제어장치 상태, 환경 변수 전송 DF[29:30]과 동일

라) Event data upload (opcode : 0x04)

기능 : 통신이상, 전원이상, 경보발생 등 이벤트가 발생하면 하우스모니터에서는 Time stamp와 같이 해당 데이터를 EEPROM에 저장함. 이를 수신하는 것으로 전송되면, 하우스모니터에서는 메모리 포인터를 초기화하므로 모든 데이터는 소실됨.

* Command

0	1	2	3	LENGTH-1
STX	RS_ID	LENGTH	OPCODE	DATA FIELD [N]
0x7e	0x00 or ID	0x04	0x04	No data

- Total message length: 4 bytes
- Opcode : 0x04

* Response

0	1	2	3	LENGTH-1
STX	RS_ID	LENGTH	OPCODE	DATA FIELD [N]
0x7e	0x00 or ID	0x0C	0x14	DF[0:7]

- Total message length : 12 bytes

- Opcode : 0x14

- Data Field

DF[0:4] : Time stamp (Month, Day, Hour, Min, Sec 각 1byte, 데이터는 BCD 구조임.)

DF[5] : Event data

0bit : 전체 Flag로 활용(무시)

1bit : 통신 fault 0=정상, 1=이상

2bit : 전원 fault 0=A/C, 1=Battery

DF[6:7] : 일련번호(항상 가장 최근에 저장되었던 것부터 전송함. 일련번호가 0인 데이터를 수신할 때까지 그룹모니터는 계속해서 해당 하우스모니터와 통신상태 유지해야함.)

마) EEPROM data upload (opcode : 0x05)

기능 : 통신이상이 발생하여 정상적으로 데이터를 전송하지 못할 경우, 하우스모니터에서 측정 데이터를 Time stamp와 같이 EEPROM에 저장하고, 통신이 복구되면 이를 전송하는 것으로 데이터를 수신하면, 하우스모니터에서는 메모리 포인터를 초기화하므로 모든 데이터는 소실됨.

* Command

0	1	2	3	LENGTH-1
STX	RS_ID	LENGTH	OPCODE	DATA FIELD [N]
0x7e	0x00 or ID	0x04	0x05	No data

- Total message length : 4 bytes

- Opcode : 0x05

* Response

0	1	2	3	LENGTH-1
STX	RS_ID	LENGTH	OPCODE	DATA FIELD [N]
0x7e	0x00 or ID	0x25	0x15	DF[0:32]

- Total message length : 37 bytes
- Opcode : 0x15
- Data Field
DF[0:~30] 환경 변수 전송과 동일함

4) 통신 데이터 흐름

통신 데이터 흐름은 하우스모니터에서 그룹모니터로 전송하는 경우와 그룹모니터에서 하우스모니터로 전송하는 경우로 나누어 도식화했다. 하우스모니터를 기준으로 해서 데이터를 읽어오는 경우는 그림 2.21과 같고 데이터를 보내는 경우는 그림 2.22와 같다.

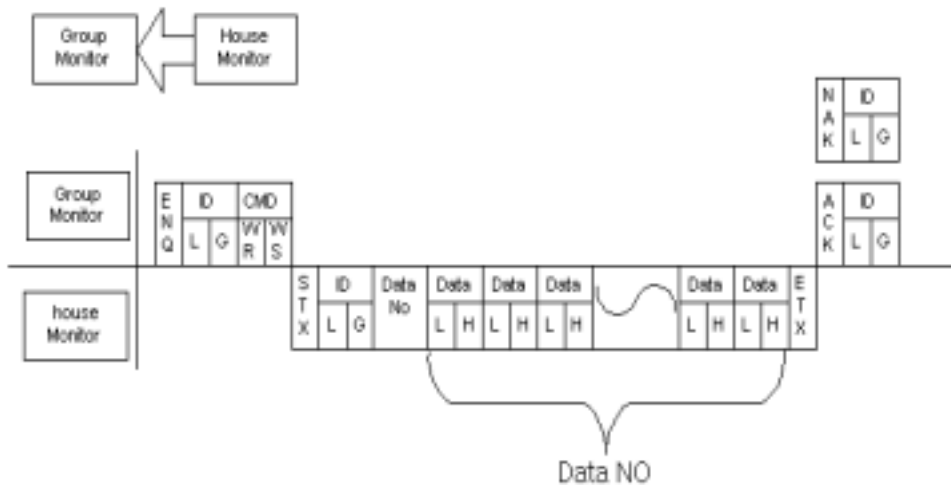


Fig. 2.21 Message format of data reading from the house monitor

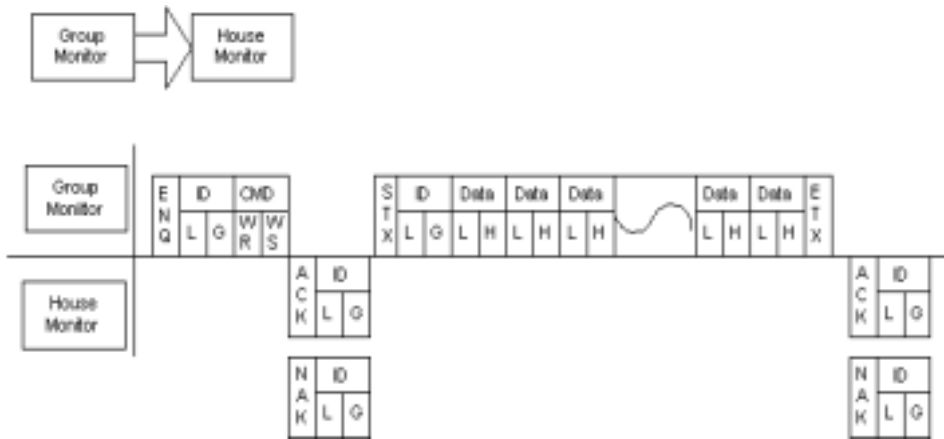


Fig. 2.22 Message format of data writing to the house monitor

2. 결과 및 고찰

가. 생육환경 계측성능

개발된 하우스모니터의 계측 성능을 검증하기 위해서는 측정대상 물리량을 표준 신호로 이용하여야 하지만, 개발한 계측장치의 정확도 이상으로 계측장치에 인가할 해당 물리량의 표준 신호원을 구현하는 것이 물리적으로 어렵고, 검출변환 장치의 규격이 제조사에 의해 명시되어 있기 때문에 신호처리 회로의 검증만을 수행하였다.

개발된 하우스모니터의 계측 성능 시험은 Yokogawa Electric Corporation사의 CA100 표준신호 발생기를 이용하여 교정하고 측정값의 정밀도, 안정성, 분해능, 직선성을 평가하였다.

1) 정밀도

영점교정과 스펠교정을 수행한 후, CA100 표준신호 발생기를 이용하여 영점 신호와 스펠신호를 10회씩 번갈아 인가하면서 출력값을 측정하였다. 11개 신호처리 회로에 정밀도 시험의 결과 그림 2.23에 나타난 것과 같으며 아래식을 이용하여 정밀도를 계산한 결과 $\pm 0.3\%$ 이내의 정밀도를 나타내었다.

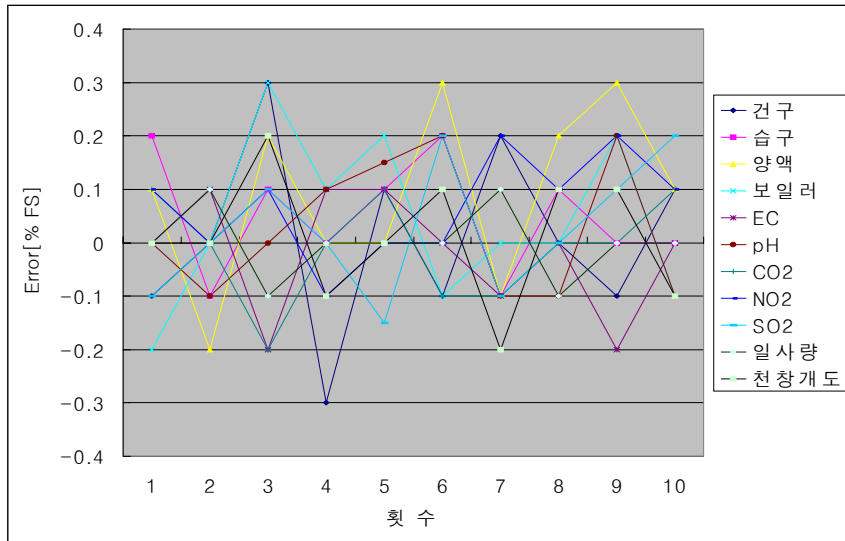


Fig. 2.23 Percentage error of the measuring system

$$\text{정밀도}[\%] = \frac{|d|}{\text{Full scale}} \times 100$$

여기에서, d : 영점 편차 및 스펀 편차의 평균치

2) 안전성

영점과 스펀 교정을 한 후, 1시간이 경과된 후 임의의 교정값에 대한 출력값은 정밀도의 최대 오차인 $\pm 0.3\%$ 이내였으며, 24시간 후까지 출력전압을 기록한 결과 측정치의 표류(drift)를 포함했을 때 모두 최대 $\pm 0.5\%$ 이내였다.

3) 직선성

해당 측정항목에 대하여 영점과 스펀교정을 한 후 전체 측정 영역에 대한 0, 25, 50, 75, 100%에 해당하는 값을 부가하여 5회 반복측정 하였다. 그림 2.24는 11개 측정 회로 중에서 RTD 형태의 온도 측정 회로 중 건구온도와 습구온도의 출력과 4~20mA 출력 신호 중 NO_2 와 SO_2 농도, EC, pH의 출력을 나타낸다. 최대 비직선성 오차는 정밀도의 오차 한계인 $\pm 0.3\%$ 이내에 있었다.

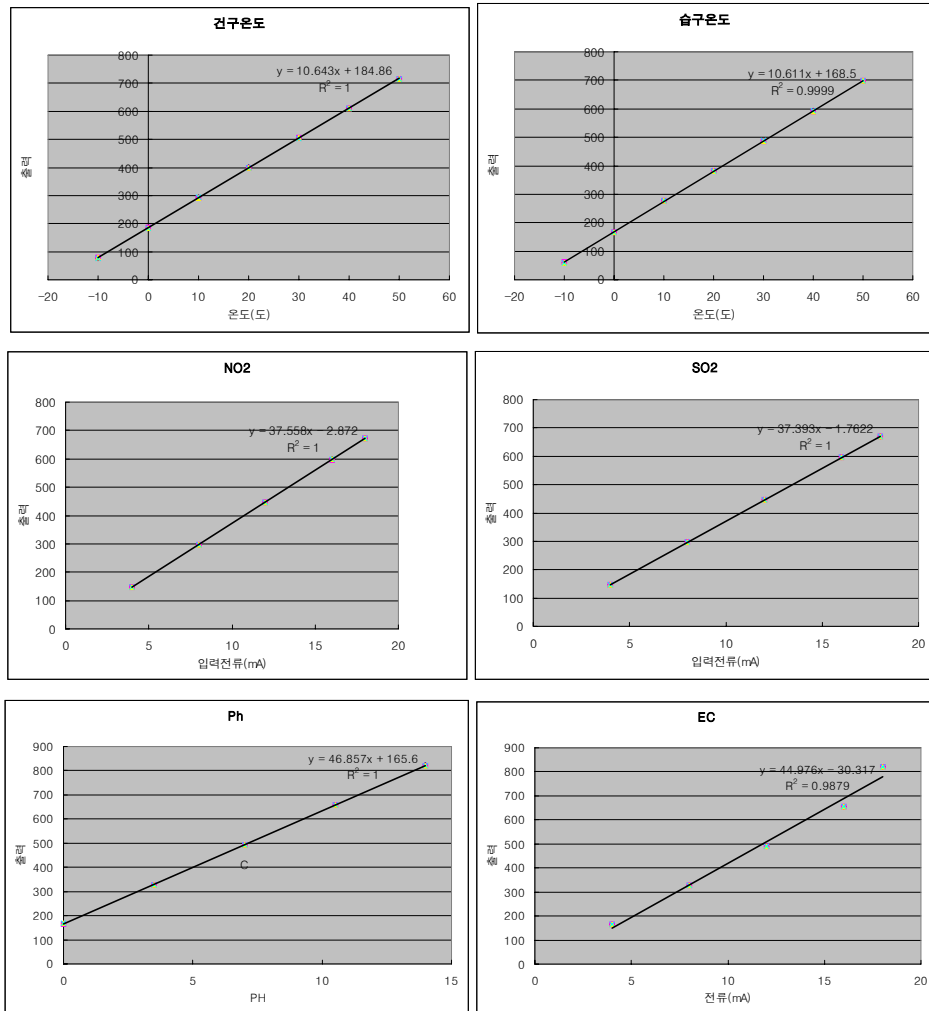


Fig.2.24 The linearity of the house monitor

4) 분해능

표 2.13은 해당 신호처리 회로에 대한 분해능을 나타낸 것이다.

PIC16F877의 10Bit A/D 회로를 이용하여 신호를 측정하기 때문에 최대 1/1024의 분해능을 가지고 있다. 측정 데이터의 이상 유무 판단 및 측정 신호의 교정은 사용자의 편의를 위하여 프로그램에서 수행하므로 A/D 전체영역을 사용하고 있지 않지만, 요구성능을 만족하는 분해능을 갖고 있어 측정데이터의 신뢰도에 손상을 주지 않았다.

Table 2.13 Resolution of the house monitor

Item	Range	Resolution	Resolution (Required)
RTD (Temperature)	-10~60℃	0.1℃	0.1℃
SO ₂	0~20ppm	0.1ppm	0.2ppm
CO ₂	0~1800ppm	1ppm	4ppm
NO ₂	0~20ppm	0.1ppm	0.2ppm
EC	0~10 mS/cm	0.1mS/cm	0.2mS/cm
pH	0~14pH	0.1 pH	0.1pH
pyrheliometer	0~1600w/m ²	1 w/m ²	25 w/m ²
Ceiling open	0~100 %	1 %	1 %

나. 제어 장치의 감시 성능

제어장치의 감시 성능을 확인하기 위하여 공시 온실인 서울대학교 농업생명과학대학 농장 내 온실 A동에 하우스모니터를 설치하고, 실제 제어장치를 작동하면서 작동상태의 감시 여부 및 반응속도를 측정 한 결과 최대 4분 이내에 현재 온실의 상태를 확인 할 수 있었다.

Table 2.14 The monitoring performance for the control equipment

항목	감지여부	반응시간		비고
		하우스모니터	그룹모니터	
보일러	0	5.2분	6분	5회 평균
천창	0	2.3분	3분	5회 평균
측창	0	6초	1분	접점신호
커튼	0	6초	1분	접점신호
약액공급	0	6초	1분	접점신호
전원상태	0	1초	1분	-
통신상태	0	1분	1분	-

보일러 및 천창의 작동 상태는 제어장치 작동 후 최소 분해능 이상의 변화가 발생하는데 소요되는 시간으로 하우스모니터에서는 각각 5.2분, 2.3분 이내에 제어장치 작동 여부를 알 수 있었다. 그리고, 제어장치의 작동상태를 그룹모니터에 1분 단위로 전송하므로 그룹모니터에서는 최대 6분 이내에 작동장치 구동 여부를 알 수 있었다.

접점신호 형태로 작동상태를 표출하는 항목은 하우스모니터의 최소 계측주기 단위로 감시할 수 있으나, 측창과 커튼의 경우 접점신호의 한계로 인해 완전열림, 닫힘, 열림 세 가지 상태만을 알 수 있었다. 즉 측창이나 커튼의 개방 정도를 알 수 없었다.

실증실험 결과 제어장치의 작동 여부는 6분 이내에 확인 할 수 있었고, 제어장치의 상태는 1분 이내에 확인 할 수 있어, 개발된 시스템의 온실의 제어장치 감시에 충분한 성능을 갖고 있음을 확인했다.

다. 하우스모니터 성능

1)주요명세 및 외관

개발된 하우스모니터의 명세는 표 2.15와 같고 하우스모니터의 외관은 그림 2.25와 같다.



Fig. 2.25 External appearance of the house monitor

Table 2.15 Specification of the house monitor

항 목		내 용
생육환경 측정항목	지상부	건구온도, 습구온도, CO ₂ , 일사량
	근권부	양액온도, EC, pH
	유해요인	SO _x , NO _x
제어장치 감시항목		천창개도, 측장, 커튼, 양액장치, 보일러 온도
기타감시 항목		· 전원 상태 · 통신 상태
입력신호		DC 4~20mA, DC 0~5V
표시장치		4×20 character LCD
경보방식		경보등, 경보음, 기기고장, 설정경보값 초과시 발생
통신방식		RS-485
전원		AC 220V 60Hz, Battery back-up
크기		115×260×315(mm)
주요기능		· 채널별 교정 기능 · 자기 진단 기능 · 시간설정 기능 · 통신 address · 설정 표시 기능

2) 안정성

개발된 하우스모니터는 통신 두절 및 시스템 이상 시 수 시간 동안 외부 EEPROM에 데이터를 저장하고 통신 복귀 등의 정상상태에서 약정된 통신 프로토콜에 의해 EEPROM에 저장된 데이터를 전송하였다. 전원 공급을 차단시 내부장착 배터리에 의한 안정적인 전원 공급으로 지속적인 계측을 보장하였다. 또한 내부 위치독 타이머 기능으로 시스템 이상시 자동으로 시스템을 리셋함으로써 시스템 복원기능이 가능하였다.

또한 측정값에 대한 유효성 검증을 위해 측정되는 값을 실시간으로 설정값과 비교해 기기고장 등으로 인한 이상 데이터를 차단하고, 이상 여부를 전송하였다.

3) 사용자 인터페이스

가) 메인 화면

하우스모니터의 LCD를 통하여 사용자 인터페이스를 구현하였다. 하우스모니터의 주요기능인 측정 데이터 표시, 교정값 설정, 경보값 설정, 시간 설정을 주요 부메뉴로 구성하여 사용자가 개별 메뉴를 스위치로 선택하여 해당 메뉴에 접근을 할 수 있도록 하였다.

하우스모니터의 메인 화면은 다음과 같다.

- > **Calibration**
- > **Display Sys. info**
- > **Set Date & Time**
- > **Set System Par**

나) 교정

사용자는 교정 메뉴에서 스위치를 눌러서 교정할 항목의 채널을 설정한 다음, 제로와 스패 값을 설정하여 계측신호를 교정하였다.

Calibration each Ch

ZA/D	:	123	Val : 10
Select CH	:	Dry Temp	
SA/D	:	827	Val : 25

라. 그룹모니터 성능

그룹모니터는 그림 2.26과 그림 2.27과 같은 설정 메뉴를 통해 하우스모니터와 외부기상장치와의 통신 환경을 설정할 수 있다.



Fig. 2.26 Communication setting for the house monitor



Fig. 2.27 Communication setting for the Weather Monitor

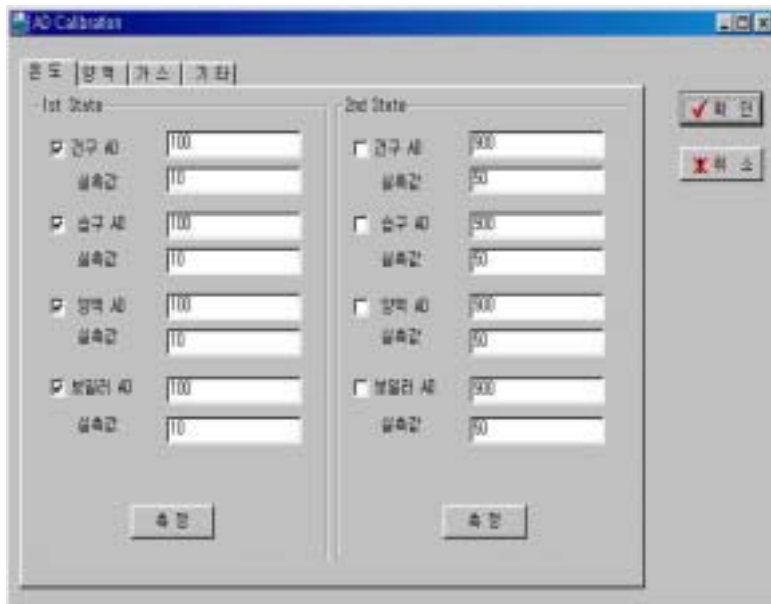


Fig. 2.28 Display on the group monitor for the calibration of measuring data

그룹모니터에서도 그림 2.28과 같이 A/D 교정값을 측정 항목별로 설정하여 측정된 데이터의 교정을 용이하게 할 수 있게 하였다. 교정은 두 점에 대한 직선 보간 방식을 이용한다. 교정 절차는 먼저 교정기를 이용하여 첫 번째 해당 물리

량에 대한 표준 신호를 인가한 후 측정 모드로 들어가면 화면에 A/D 값이 나타난다. 다음 두 번째 점에 대한 해당 물리량의 표준 신호를 인가하면 앞서와 같이 화면에 A/D 값이 나타나고, 이에 대응하는 실제 물리량을 입력함으로써 교정이 이루어진다.

그림 2.30과 같이 감시 모드를 수행하면 온실의 환경 측정 자료와 외부 기상 환경을 그래프와 인디케이터에 표시하고, 온실 내부영상을 보여주며, 온실 제어 장치의 작동 상태를 LED 인디케이터를 통하여 표시하도록 하였다.

하단의 상태 정보창에는 현재 주고받는 데이터의 종류 및 하우스모니터와 외부 기상 측정장치, 영상입력장치의 상태와 네트워크의 상태 등의 각종 정보를 사용자에게 제시한다.

그래프는 그림 2.29와 같이 측정항목 전체를 제시하지만, 항목별 선택을 통하여 해당항목만 표시할 수 있으며, 확대 축소를 통해 측정 데이터의 변화 상태를 자세히 관찰할 수 있도록 하였다.



Fig. 2.29 Display on the group monitor

3. 요약 및 결론

본 연구에서는 인터넷을 이용한 첨단온실의 원격 감시 및 통합관리 시스템의 생육환경 및 제어정보 수집 시스템을 개발하여 성능시험을 실시하였다. 생육환경 및 제어정보 수집 시스템을 하우스모니터와 그룹모니터로 구성하였으며 그 결과는 다음과 같다.

가. 온실의 상태를 대표하는 원격 감시 항목으로, 생육환경은 지상부로 온도, 습도, 일사량, CO₂ 농도 및 유해 가스 농도로, 근권부로 양액온도, EC, pH를 선정하였고, 보일러 천창, 측창, 커튼, 양액 공급장치를 감시대상 제어장치로 설정하였다. 또한, 온실단지 수준에서 외부기상과 온실영상을 선정하였다.

나. 온실의 생육환경 및 제어장치 상태를 감시하는 단일 칩 마이크로프로세서인 PIC16F877을 이용한 모듈화된 계측모듈인 하우스모니터(House Monitor)를 개발하였다.

다. 개발된 하우스모니터의 정밀도는 $\pm 0.3\%$ 이내 이며, 측창, 커튼, 양액 공급장치 작동은 최대 1분 이내, 보일러, 천창 작동은 최대 6분 이내에 감지하여 온실상태 감시에 적합한 성능을 보였다.

라. 하우스모니터는 통신두절 및 정전 시에도 주요 데이터를 계측하고, 저장하였으며 실시간으로 측정값에 대한 유효성 검증을 하였다.

마. 그룹모니터와 하우스모니터들을 RS-485로 연결하였으며, 전용 프로토콜을 개발하여 여러 개의 온실 상태를 데이터 손실 없이 감시할 수 있었다.

바. Pan/Tilt/Zoom을 원격 제어할 수 있는 카메라를 이용해서 온실의 내부영상을 획득하여 온실의 내부상황을 직관적으로 파악할 수 있도록 하였다.

사. 그룹모니터는 여러 개의 하우스모니터를 통합관리하며, 수집된 정보를 통합관리 서버의 요구에 따라 인터넷을 통하여 통합관리 서버에 전송하도록 하였다.

제 3 절 작물 생육상태 모니터링 시스템 개발

1. 생장정보 계측을 위한 컴퓨터 시각장치 구축

가. 서론

일반적으로 컴퓨터 시각장치는 영상입력장치, 영상처리장치, 영상출력장치, 영상저장장치 및 주컴퓨터 등으로 구성된다. 이 연구에서와 같이 작물을 대상으로 하는 경우에는 여러 종류의 영상을 얻기 위해 광학필터를 카메라에 부착하여 사용하거나 여러 종류의 영상신호를 출력하는 카메라를 이용하여야 하며, 하나의 영상처리장치에서 여러 영상신호를 처리하기 위해서는 영상신호 전환장비가 필요하다. 또한, 근략상태의 작물에 대한 영상을 얻기 위해서는 카메라를 이동하면서 여러 지점에서 영상획득이 가능해야 하고, 영상파일을 저장하고 검색하기 위해서는 대용량이고 고속전송이 가능한 영상저장장비가 필요하다.

이 연구에서는 온실 내 작물을 대상으로 영상을 획득하고 생육상태와 생장정보를 계측, 분석하기 위한 **생장정보 계측용 컴퓨터 시각장치**와 온실 환경 감시 시스템(세부과제에서 개발함.)과 결합함으로써 현장적용시험을 수행하고자 구축한 **생육상태 모니터링 유닛**의 일부로서의 컴퓨터 시각장치를 개발하였다. 여기에서는 전자의 컴퓨터 시각장치에 관하여 기술하였고, 후자는 별도로 후술하고자 한다.

온실 내에 생육 중인 작물의 대상으로 하는 컴퓨터 시각장치는 온실 내 환경과 작물의 특징을 충분히 고려하여 구축하는 것이 중요하다. 여기에서는 연구를 수행하면서 파악된 작물의 생장정보 계측을 위한 컴퓨터 시각장치의 조건에 대해 기술하였고, 그에 따라 구축된 컴퓨터 시각장치에 대해 설명하였다.

나. 생장정보 계측용 컴퓨터 시각장치 구성

그림 3.1은 작물의 생장정보를 계측하기 위한 컴퓨터 시각장치의 구성도를 나타내는데, 영상입력장치, 영상처리장치, 영상저장장치, 카메라 이동장치 및 주컴퓨터로 구성된다. 생장정보 계측용 컴퓨터 시각장치를 구성하는 각각의 장치를 설명하면 다음과 같다.

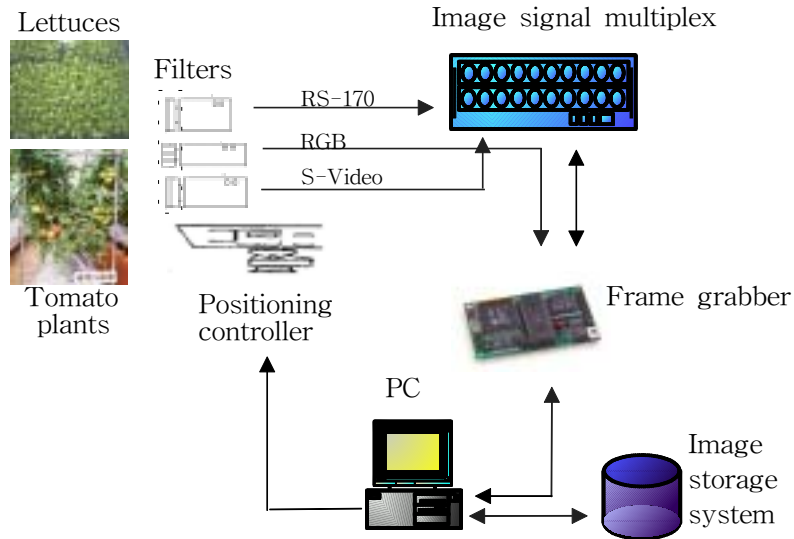


Fig. 3.1 Schematic diagram of computer vision system for monitoring plants

1) 영상입력장치

작물영상으로부터 생장정보를 계측하기 위해서는 다양한 형태의 영상이 필요하다. 그에 따라 카메라의 종류도 다양하게 사용된다. 이 연구에서는 작물의 생육상태를 계측하고 생장정보를 분석하는데 적합한 작물영상을 얻기 위해 다각적인 방법으로 영상 획득을 수행하였는데, 그 동안 사용한 영상입력장치를 정리하여 나타내면 표 3.1과 같다.

색채영상을 얻기 위한 영상신호방식으로서 RGB, S-Video 및 NTSC가 있다. 즉, 색채영상을 얻은 과정에서 사용되는 광 센서(sensor)나 영상신호처리방식이 다르기 때문에 각각의 방식은 서로 다른 색채특성을 보여준다. 일반적으로 이들 방식 중에서 S-Video 방식이 NTSC방식보다, 그리고 RGB 방식이 S-Video보다 정확한 색채정보를 나타내는 것으로 알려져 있다. 이 연구에서는 작물의 색채를 보다 정확하게 분석하기 위한 목적으로 RGB 색채영상신호와 NTSC 영상신호를 출력하는 색채카메라(XC-711, Sony)를 이용하여 1차년도 연구를 수행하였다.

그러나, RGB 색채카메라가 이론적으로는 정확한 색채신호를 출력함에도 불구하고 몇 가지 문제점이 있었다. ① 온실 내 작물의 색채영상을 얻고자 할 때 작물과 카메라간의 거리에 제한되기 마련이어서 줌(Zoom) 기능을 갖추어야 한다. 그리고, 자연광 환경에 부합되도록 조리개 기능이 우수하여야 한다. 그러나 RGB

Table 3.1 Specifications of camera system for plant monitoring system

Item	Model & Manufacturer	Remark
Color camera	XC-711, Sony	RGB color images NTSC color images
Color camera	GC-455N-K-G, Honeywell	S-Video color images
Monochrome camera	LG-Honeywell, Honeywell	B/W images
Monochrome camera	LCL-902HS, Watec America	Under low luminance
Wide angle lens	6.4 mm on XC-711 4.0 mm on LG-Honeywell	Used in the 1st-year's experiments
Light interference filter	550nm, 670nm, 694.3nm, 760nm, 850nm, 940nm	For analysis of chlorophyll content
Image signal multiplex	GCQ-430, Honeywell	For image signal process by one frame grabber

색채 카메라는 상업용으로 널리 이용되는 카메라가 아니기 때문에, 줌이나 광각 (Wide angle) 기능을 갖는 렌즈 또는 조절 폭이 넓은 조리개 기능을 갖도록 장비를 구축하기 위해서는 높은 비용이 요구되었다. ② 인터넷 또는 컴퓨터 통신을 이용하여 영상을 전송하거나 카메라를 조작하기 위해서는 인터넷/통신 서버 기능을 갖는 시스템을 이용하여야 한다. 그런데, 이들 시스템들은 영상을 취급함에 있어 가장 일반적인 색채영상신호인 NTSC 방식을 채용하고 있다. 따라서, 영상전송과 카메라 조작을 원활하게 운용하기 위해서는 RGB 방식의 카메라를 사용하는 것은 비실용적이다.

따라서, 이 연구에서는 초기 연구에서는 RGB 색채영상을 이용하였으나, 이후에는 NTSC 방식의 영상신호를 출력하는 색채 카메라를 기본 색채영상획득방식으로 사용하였다. 아울러, 줌과 조리개 기능이 우수하고 가격이 저렴하며 카메라 조작이 용이한 S-Video 색채카메라(GC-455N-K-G, Honeywell)를 추가로 구입하여 실험에 사용하였다.

한편, NTSC방식의 Composite 신호를 출력하는 흑백카메라를 이용하여 색채 카메라의 보조기능을 수행할 수 있도록 하였다. 특히, 영상분석에 의한 상추의

엽록소 함량 추정을 위한 연구를 수행하기 위해, 저조도의 광 조건에서도 감응도가 우수한 저조도용 흑백카메라를 구입하였다. 이 연구에서는 상추의 엽록소 함량 추정을 위한 연구를 위해 광학 필터(550nm, 670nm, 760nm, 850nm 및 940nm)를 사용하여 다양한 대역에 대한 필터링 영상을 얻고자 하였다. 그러나, 광학필터를 카메라의 렌즈 앞에 부착하면 광량의 급격한 감소를 가져온다. 특히, 가시광 영역이 아닌 대역에서 매우 낮은 감응도를 가진 카메라를 사용할 경우 필터링 영상을 얻을 수 없다. 따라서, 근적외선 영역에서도 감도를 갖는 카메라의 사용이 바람직한데, 이 연구에서는 Watec America에서 공급하는 저조도용 흑백카메라(LCL-902HS)를 구입하여 실험에 사용하였다.

이미 지적하였듯이 RGB 색채카메라는 줌 기능이 없었기 때문에 카메라의 지름에 맞는 6.4 mm 광각렌즈를 사용하여 가까운 거리(약 1.2 m내외)에 있는 작물에 대한 영상을 획득하도록 하였다. Honeywell에서 제작한 흑백카메라(LG-Honeywell)도 일반 렌즈로는 가까운 거리의 작물영상을 얻을 수 없었기 때문에 4.0 mm 광각렌즈를 사용하였다. 이와 같이 광각렌즈를 사용하게 되면, 렌즈의 수차 등으로 인하여 영상의 기하학적 왜곡이 나타난다. 이러한 기하학적 왜곡으로 인하여 컴퓨터 시각 시스템에 대한 측도 설정이 복잡해진다.

이 연구에서는 다양한 방향에서 여러 가지 종류의 작물영상을 얻기 위해 여러 대의 카메라를 설치하였다. 예를 들면, 3대의 카메라를 상추의 상방향에 설치하였는데, 1대는 상추의 형상과 색채를 분석하기 위한 RGB 카메라였고 다른 2대는 엽록소 함량 추정을 위한 필터영상용 카메라(흑백 카메라)이었다. 토마토의 경우에는 작물의 길이방향에 대한 영상을 얻기 위해 측방향에 카메라를 설치하였다.

이와 같이 여러 대의 카메라로부터 출력되는 다중 영상신호를 하나의 프레임 그래버(Frame grabber)에서 처리하기 위해서는 각각의 영상신호를 순차적 또는 선택적으로 프레임 그래버로 전환하는 것이 필요하다. 이 연구에서는 이를 위해 다중 영상신호 전환용 Image Signal Multiplex(GCQ-430, Honeywell)를 사용하였다. 이 장비는 입력신호로서 Composite(NTSC) 4개, S-Video 1개를, 출력신호로서 Composite 1개와 S-Video 1개를 사용한다. 따라서, RGB 색채 카메라로부터의 영상신호는 직접 프레임 그래버에 연결하였고, 나머지 카메라들의 영상신호는 Image Signal Multiplex를 이용하여 프레임 그래버에 연결하였다.

한편, 3차년도 연구에서 수행한 온실환경 및 생육상태 감시 시스템의 개발을 위해 사용된 카메라 시스템은 모니터링 유닛의 일부로 구성되며 이에 대한 설명은 후술하고자 한다.

2) 영상처리장치 및 주컴퓨터

작물영상을 처리하기 위해 사용한 프레임 그래버(Frame grabber)는 Integral Technologies Inc.에서 제작한 FlashPoint이었다. 이 프레임 그래버가 입력받을 수 있는 영상처리신호에는 RGB, S-Video, NTSC 및 RS-170 등이다. 따라서, 상기에서 설명한 모든 카메라로부터 영상신호를 입력받을 수 있었다. 입력된 색채영상은 1280×960의 크기로 TIFF 파일이나 JPEG 파일 등으로 저장할 수 있으며(약 500~650KB), 3 channel(RGB), 24 bits/pixel의 분해능을 가진다.

프레임 그래버는 컴퓨터의 확장용 슬롯에 장착된다. 주컴퓨터는 펜티엄III (600 MHz)급 PC(RAM은 128 M)가 사용되었으며, 경우에 따라서는 온실 현장에서의 원활한 이동성을 고려하여 15" LCD 모니터와 866 MHz 급 PC의 본체가 결합된 판넬(Panel)형 컴퓨터가 사용되었다.

3) 영상저장장치

동일한 작물일지라도 그에 대한 영상은 색채영상과 흑백영상으로 각각 저장되거나 서로 다른 시간에 얻은 시계열 영상으로 저장되는 경우가 많다. 뿐만 아니라 여러 작물을 대상으로 할 경우, 저장해야 할 영상파일은 대용량의 저장용량을 요구하며 신속한 검색을 위해서는 고성능의 저장장치를 구축하는 것이 바람직하다. 1차년도 연구를 수행할 당시에는 고속의 데이터 전송이 가능한 이동식 저장장치를 별도로 구축하기 위해, Magneto-optical Diskett(1.3 GB)를 사용할 수 있는 광자기디스크 드라이브, 그리고, 컴퓨터와 Firewire 방식의 IEEE-1394 통신이 가능한 Interface Board를 구입하여 사용하였다. 이 저장장치의 데이터 전송속도는 약 400MB/sec이었다. 그러나, Hard Disk의 용량과 이동식 저장장치의 용량이 나날이 증가하고 있고, 최근에는 Giga 단위의 CPU를 채용하고 IEEE-1394 및 USB 2.0 통신을 기본으로 하는 PC가 보급되고 있다.

4) 카메라 구동장치

작물은 균일한 재배환경 속에서 생육된다고 하더라도 작물 개체간 차이가 존재한다. 따라서, 작물의 생육 상태를 감시한다는 것은 그 대상이 모든 작물로 하는 것이 원칙일 것이다. 그러나, 컴퓨터 시각장치의 설치와 영상 획득에 있어서의 제약 때문에 작물 전체에 대한 감시는 불가능하다. 따라서, 전체 작물을 대상으로 하지 못하기 때문으로 발생하는 문제는 감수하여야 한다. 이 연구에서는 농민 또는 온실 관리자가 감시나 생육 상황 파악이 필요하다고 판단되는 작물을 지정하고 해당 작물의 영상을 가능한 한 최적의 상태로 획득하기 위해, Fig. 3.2에서와 같은 카메라 Pan/Tilt 구동장치를 사용하여 카메라의 시야를 좌우 또는 상하의 방향으로 회전할 수 있는 시스템을 구성하였다. Pan과 Tilt의 실제 작동 범위는 각각, $\pm 165^\circ$ 이상 및 $\pm 60^\circ$ 이상이었다.

이 연구에서는 카메라의 Pan과 Tilt 구동장치뿐만 아니라 카메라 자체를 이동하기 위한 이동장치와 카메라 조작(줌, 초점, 조리개 등)을 위한 장비 등도 함께 구축하였는데, 자세한 내용은 생육상태 모니터링 유닛에 대한 설명에서 기술하고자 한다.



Fig. 3.2 Photo of camera pan/tilt control system

다. 온실과 작물을 고려한 컴퓨터 시각장치 구축

표 3.2는 생육정보 계측을 위해 이 연구에서 사용한 컴퓨터 시각장치의 예를 나타낸 것이다. 그러나, 이와 같은 컴퓨터 시각장치를 온실 내에 설치하고 생육 중인 작물의 생육상태를 계측하기 위해서는 온실과 작물의 환경조건을 충분히 고려하여야 한다.

온실 내에서 생육 중인 작물을 대상으로 하는 생육정보 계측용 컴퓨터 시각장치를 설치하고 작동함에 있어서 고려해야 할 몇 가지 사항을 열거하면 다음과 같다.

- 온실 내의 공간적 제약으로 인해 작물과 카메라 사이의 거리가 제한적이다.
- 온실 내의 공간적 제약과 작물에 대한 영향을 고려할 때 영상획득을 위한

Table 3.2 Example of computer vision system established in this study for plant monitoring system

Item		Specifications
Input device	Camera	RGB camera : Sony, XC-711 (Wide angle lens : 6.4mm)
Image processing	Frame grabber	FlashPoint (Integral Technologies Inc.)
	Image signal	RGB, S-Video, NTSC, RS-170
Host computer & peripheral devices	Host computer	PentiumIII - 600MHz, 128M
	Image signal multiplex	LG-Honeywell, GCQ-430
	Image storage	1.3GB MO Disc interfacing with IEEE-1394 card

특별한 조명장치를 설치하는 것은 비실용적이다.

- 실용적인 생육상태 감시를 위해서는 작물 군락에 대한 영상을 획득할 수 있어야 한다.
- 작물마다 부피가 다를 뿐만 아니라 카메라를 이동한 후에는 이동에 따른 카메라 위치 변화로 인하여 작물과 카메라 사이의 거리를 일정하게 유지할 수 없다.
- 자연광은 광 분포가 수시로 변하는 특성이 있으며 광원과 작물 사이에 설치된 각종 시설물의 영향으로 인하여 영상획득을 위한 조명상태는 시시각각 변한다.
- 온실의 고온 다습한 환경에 적용할 수 있는 시스템이 되어야 한다.

상기와 같은 고려사항은 컴퓨터 시각장치의 설치, 카메라 조작, 조명조건 및 컴퓨터 시각장치의 측도 설정에 영향을 미친다. 이 연구에서는 몇 가지 실험과정을 거치면서 실용적인 방안을 강구하였는데, 추가적인 내용은 후술되는 시계열 작물영상 분석 기법에 관한 부분에서 설명하였다.

1) 작물별 카메라 설치 방법

가) 상추

양액 재배상 위에서 생육되는 상추에 대한 영상을 획득하는 방법은 다음과 같

았다.

- 카메라를 작물의 상방향에 설치하였다.
- 백색 스티로폼 배지판은 우수한 배경이 되었으며 이를 영상영역화에 이용하였다.
- 협동연구기관에 설치된 유리온실의 경우, 상추 재배상의 배지판로부터 차광용 커튼까지의 거리는 약 1.1m이었으며, 주어진 공간에 카메라 지지 및 이동을 위한 프레임을 설치하였다.
- 넓은 영역의 상추 군락에 대한 영상을 획득하기 위해 카메라에 광각렌즈를 장착하였다.

나) 토마토

토마토는 상추의 양액 재배상과 약 1m 간격으로 평행하게 놓인 재배상에서 압면 재배되었으며, 토마토 영상을 획득하는 방법은 다음과 같았다.

- 상추 재배상의 상방향에 설치한 카메라를 90도 회전하여 토마토 재배열의 측방향이 되도록 하여 토마토 영상을 획득하였다.
- 상추와는 달리 부피 성장을 하는 토마토의 경우에는 작물의 한 쪽 방향에서 획득한 영상만으로는 작물 전체에 대한 생육상태 분석이 불가능하였다. 그러나, 반대쪽 방향에서 토마토 영상을 획득하는 것은 온실 내 공간적 제약으로 인하여 현실적으로 어려웠다.
- 작물 옆 공간이 1.5m 정도로 협소하여 부피가 큰 토마토 영상을 획득하기 위해 광각렌즈를 사용하였다.

토마토의 측방향에서 획득한 영상에는 대상 작물 외에도 이웃한 재배열에 있는 토마토, 타 작물 및 온실 시설물 등에 의한 배경영상이 많이 포함되었으며, 이는 영상분석에 많은 애로점을 가져왔다. 그럼에도 불구하고 균일한 배경을 위한 별도의 시설을 사용하는 것은 실용성이 없다고 판단하여 사용하지 않았다.

2) 카메라 조작

카메라에는 줌, 조리개, 화이트밸런스(White balance), 카메라 출력신호 등을 조작할 수 있도록 제작된 경우가 많다. 이를 조작함으로써 보다 개선된 작물영

상을 얻을 수 있다. 그러나, 카메라 조작을 수동에 의존하거나 조작 시간이 많이 소요된다면 실용성이 없다. 뿐만 아니라 작물영상의 분석이 객관적으로 수행되기 위해서는 인위적인 기준보다는 가능한 범위 내에서 카메라 및 영상처리장치의 자동 조작기능을 활용하는 것이 바람직하다. 따라서, 이 연구에서는 다음과 같이 카메라를 조작하였다.

- 자연광의 광량 변화에 적응하지 위해 조리개의 기능이 무엇보다 중요하다. 따라서, Auto-iris 기능을 위한 탭(Tap)을 자동(ON)으로 설정하였다.
- 아울러, Automatic Gain Control 기능을 위한 탭도 ON으로 설정하였다.
- 현장에서는 기준 백색을 마련하는 것이 비실용적이기 때문에 이를 이용하여 수행하는 White Balance를 기능하지 않도록 해당 탭을 수동(OFF)으로 설정하였다.
- 이 연구에서 사용한 S-Video 카메라는 자동 초점 기능을 가지고 있었으나 작동범위가 충분히 크지는 않았다. 따라서, 작물과 카메라간의 기준거리(1.5 m)를 정하여 카메라를 설치하도록 하였으며, 그에 따라 카메라 이동에 따른 카메라의 설치거리가 다소 변하고 작물의 부피 역시 변하더라도 선명한 작물 영상을 얻을 수 있었다.
- 카메라의 자동 조리개의 작동범위는 카메라 영상출력신호의 gain과 offset를 조절하더라도 자연광의 광량의 변화 폭에 비해 그 결과는 제한적이다. 따라서, 입력 영상이 포화상태(지나친 광량에 의해 영상의 작물 영역의 일부가 250 ~255 이상의 화소치를 갖는 경우)가 되거나 너무 낮은 화소치 분포(너무 낮은 광량으로 작물 영역이 0 ~ 10 정도의 화소치를 갖는 경우)를 보이는지를 먼저 조사하여 촬영여부를 결정하도록 하였다. 이와 같이 영상이 Saturation 되거나 black image가 된 경우에는 영상 획득을 수행하지 않도록 하였다.
- RGB 색채카메라의 경우, 사용자로 하여금 R, G 및 B의 출력신호를 조작할 수 있도록 하는 조절 탭을 가지고 있다. 그러나, 이들 탭의 조작은 매우 민감하였다. 따라서, 이 연구에서는 그림 3.3과 같은 색지판을 자연광 하에 놓고 그에 대한 영상을 촬영하면서 육안에 의해 가장 선명한 색채 영상을 보이도록 이들 탭을 조작하였으며, 그 이후에는 탭을 고정하여 사용하였다.

3) 조명방법

생육 상자(growth chamber)내 작물을 대상으로 한 영상분석이나 농산물 선별을 위한 영상처리식 선별장치 등에서 사용되는 컴퓨터 시각장치는 대부분 균일한 조명분포를 얻기 위한 조명장치를 제작하여 이용하고 있다. 이 연구이 초기단계에서는 공간적으로 조도가 균일하고 광원의 파장대역이 넓은 조명장치를 제작하고 이를 이용하여 작물영상을 획득하였다.



Fig. 3.3 Photo of representative color charts for white balance of RGB camera

즉, 광원으로는 가시광 파장대역의 조명광을 얻기 위해 텅스텐할로겐광(200W)과 형광등(20W)을, 근적외선 파장대역의 조명광을 얻기 위해 백열등(100W)을 이용하였다. 균일한 조명상태를 얻기 위해 고광택용 반사 재질의 반사판을 4면에 설치한 후 각각의 광원을 작물 방향의 반대쪽인 반사판 방향으로 향하도록 하는 간접 조명방법을 채택하였다. 이 때, 높은 조도를 얻기 위해 가능한 한 많은 광원을 설치하였고, 공간적으로 조도가 일정하게 분포하도록 광원의 위치와 반사판의 각도 등을 조절하였으며 이를 확인하기 위해 조도계를 이용하였다.

그림 3.4는 이 연구에서 제작한 조명장치를 온실에 설치하고 실험을 진행하고 있는 광경과 그로부터 획득한 작물영상의 예를 보여준다.



(a)



(b)

Fig. 3.4 Photo of illumination chamber on plant bed (a) and plant image sample captured under illumination chamber (b)

그러나, 그림 3.4와 같은 조명장치를 온실 내에 설치하고 이로부터 작물영상을 획득하는 것은 다음과 같은 이유로 매우 비실용적인 것으로 판단되었다.

- 조도를 측정한 결과 1만 Lux 미만이었는데 인공광원으로는 충분한 조도를 얻을 수 없었다. 이는 작물의 생육에 적합한 파장대역에 대한 조도(광량)도 역시 낮은 수준이 되기 때문에 작물의 생육 장애를 유발할 수 있다.
- 조명장치가 상시적으로 설치되어 있으면 작물생육과 온실관리에 장애가 된다.
- 조명장치의 제작비와 전력비 부담뿐만 아니라 광원에 전력을 공급하기 위한 전원과 전선의 관리 문제와 광원의 고장 등을 고려할 때 별도의 조명장치를 온실에 설치하는 것은 비실용적이다.

따라서, 이 연구에서는 연구초기에 시도한 조명장치의 개발을 중단하고, 인위적인 조명장치를 사용하지 않기로 하였으며, 특별한 조명장치 없이 자연광이나 온실 내 조명등을 이용하되 필요하다면 차광막을 이용하는 것이 실용적이라는 결론을 얻었다. 그러나, 컴퓨터 시각장치의 측도 설정 문제를 해결하여야만 하는데, 이에 대한 자세한 내용은 후술되는 시계열 작물영상 분석에 관한 부분에서 설명하고자 한다.

라. 결론

이 연구에서 구축한 작물의 생장정보 계측용 컴퓨터 시각장치의 구성과 각 구성요소에 대해 기술하였다. 또한, 온실 내에 컴퓨터 시각장치를 설치하고 영상을 획득함에 있어서 고려해야 할 문제점을 파악하고 그에 따른 해결방안을 제시하였다. 특히, 카메라 조작하는 문제와 연구초기에 시도한 조명장치의 문제점에 대해 기술하였다. 이를 요약하면 다음과 같다.

RGB, S-Video 및 NTSC 색채 영상신호와 흑백영상신호를 얻기 위해 여러 가지 카메라를 사용하였다. 온실 내 공간적 제약 때문에 카메라에 광각렌즈를 사용하였으며 특정 파장대역에 대한 필터링 영상을 얻기 위해 각종 광학필터를 카메라에 부착하여 사용하였다. 영상처리를 위한 프레임 그래버는 Integral Technologies Inc.에서 제작한 FlashPoint이었으며, 여러 종류의 영상신호를 하나의 프레임 그래버에서 입력받도록 하기 위해 Image signal multiplex를 사용하

였다. 프레임 그래버는 주컴퓨터의 확장용 슬롯에 장착하였다. 주컴퓨터로는 펜티엄III (600 MHz)급 PC(RAM : 128 M)가 사용되었으며, 경우에 따라서는 온실 현장에서의 원활한 이동성을 고려하여 15" LCD 모니터와 866 MHz 급 PC의 본체가 결합된 판얼형 컴퓨터도 주컴퓨터로 사용되었다. 대상작물의 개체 또는 군락에 대한 다양한 영상과 카메라를 이동하면서 여러 지점에서 획득한 여러 영상에 대한 파일(Image file)을 저장하고 검색하기 위해서는 대용량이고 고속전송이 가능한 영상저장장비가 필요하였다. 연구초기에는 주컴퓨터와 IEEE-1394 통신이 가능하도록 시스템을 구성하고 1.3GB 용량의 MO 디스켓을 이용하였다. 그러나, 최근에 보급되고 있는 컴퓨터는 IEEE-1394 통신이 기본사항이며 Window 2000 이상의 버전(Version)에서는 드라이버도 내장되어 있어 편리하였다.

이상과 같이, 온실 내 작물을 대상으로 영상을 획득하고 생육상태와 생장정보를 측정, 분석하기 위한 생장정보 측정용 컴퓨터 시각장치를 구축하였다. 생장정보 측정용 컴퓨터 시각장치를 온실 내에 설치하고 작동함에 있어서 문제점과 대책은 다음과 같다.

온실 내의 공간적 제약으로 인하여 작물과 카메라 사이의 거리가 제한적이기 때문에 광각렌즈를 카메라에 부착하거나 줌 기능이 우수한 카메라를 사용하여야 한다. 아울러, 작물마다의 카메라까지 거리, 작물생장에 따른 거리변화 및 카메라 이동에 따른 거리변화 등이 일정하지 않기 때문에 자동 초점기능을 갖는 카메라가 요구되었다. 개선된 작물영상을 획득하기 위해 카메라의 줌, 조리개, 화이트밸런스, 카메라 출력신호 등을 조작할 수 있지만, 실용적인 컴퓨터 시각장치를 구축하고 작물영상의 분석이 객관적으로 수행되기 위해서는 인위적인 기준보다는 가능한 범위 내에서 카메라 및 영상처리장치의 자동 조작기능을 활용하는 것이 바람직하였다. 따라서, 이 연구에서는 자연광의 광량 변화에 적응할 수 있도록 Auto-iris 기능과 Automatic Gain Control 기능을 자동모드로 사용하였다. 현장에서는 기준 백색을 마련하는 것이 비실용적이기 때문에 White Balance 기능은 수동모드로 설정하였다. 그럼에도 불구하고, 입력 영상이 포화상태이거나 너무 낮은 화소치 분포를 보이는 경우가 있었으며 이를 먼저 파악한 후 작물영상을 촬영하였다.

작물영상을 획득하기 위해 특별히 제작된 조명장치를 제작하고 실험에 이용하였으나, 1만 Lux 이상의 조도를 얻기 어려웠으며 조명장치의 설치로 인하여 작

물생육과 온실관리에 장애가 많았다. 조명장치의 제작비와 전력비의 부담뿐만 아니라 광원에 전력을 공급하기 위한 전원과 전선의 관리 문제와 광원의 고장 등을 고려할 때 별도의 조명장치를 온실에 설치하는 것은 매우 비실용적인 것으로 판단하였다. 따라서, 이 연구에서는 시계열 작물영상 획득의 부분에서 후술된 바와 같이 자연광을 이용하는 방안을 강구하였다.

2. 시계열 작물영상 획득 및 분석 기법 개발

가. 서론

작물이 생장함에 따라 생육상태가 변하기 때문에, 컴퓨터 시각장치를 이용하여 작물 생육상태를 모니터링하기 위해서는 동일한 작물에 대해 시간을 달리하면서 지속적으로 영상을 획득하고 동일한 기준에 의한 영상 분석이 수행되어야 한다. 이와 같이 시계열 작물영상을 획득하고 관리함에 있어서 가장 중요한 것은 동일한 기준에 의해 서로 비교, 분석되어야 한다는 것이다.

동일한 작물에 대해 불과 수 분 동안의 차이를 두고 획득된 영상일지라도 서로 다른 특성을 보이는 경우가 많다. 즉, 작물의 조건은 그대로임에도 불구하고 카메라 이동이나 작물과 카메라간 거리 변화에 의해 화소가 차지하는 실제면적은 달라지며 또한 동일한 위치와 카메라 조건일지라도 시간에 따라 조명상태가 변하게 됨으로써 화소의 색채값이 변하게 된다. 따라서 동일한 작물에 대한 영상분석이 객관적이고 정확하게 수행되기 위해서는 기하학적 측도 설정(Geometric calibration)과 색채 측도 설정(Color calibration)을 선행하여야 한다. 일정한 조명상태와 카메라 조건이 유지된다면 측도 설정의 결과가 거의 변하기 않기 때문에 측도 설정, 영상획득 및 영상분석이 수월하지만, 이 연구에서와 같이 카메라를 이동하면서 자연광 상태에서 영상을 획득해야 하는 조건에서는 영상획득 시마다 측도 설정을 수행해야 하기 때문에 보다 합리적으로 측도 설정을 수행하기 위한 방법을 강구하여야 한다. 이를 위해 이 연구에서는 기준색지가 부착된 측도봉을 제안하고 측도봉에 의한 기하학적 및 색채 측도 설정 방법을 제시하였으며 그 타당성을 분석하였다.

시계열 작물영상은 작물영상 데이터베이스를 위해 저장되고 필요에 따라서 검색이 이루어진다. 또한, 일관적이고 유용한 추적인자에 의해 작물영상으로부터 대상 작물의 생육상태를 분석할 수 있어야 한다. 이 연구에서는 작물의 각종 생육인자와 관련된 영상인자들을 알아보았으며, 작물의 생육인자를 분석하는데 유용한 추적인자의 조건을 파악하였으며 그에 따라 선정된 추적인자를 제시하였다.

나. 시계열 작물영상 획득

하나의 작물에 대한 영상은 카메라의 종류, 촬영 일자와 시간, 촬영방향 등에 따라서 각각의 파일로 저장된다. 따라서, 시계열 작물영상을 검색하기 위해서는 보다 합리적인 파일 관리방법이 필요하다.

작물의 생장이나 배열위치에 따라 카메라와의 거리가 변하므로 동일 작물에 대한 시계열 영상은 영상 내 작물의 크기와 위치가 서로 다르게 나타난다. 또한, 영상획득을 위한 광 조건을 인위적으로 조절하거나 일정한 상태로 유지할 수 없으므로 시계열 영상을 분석함에 있어 절대적인 화소치를 이용하는 것이 불가능하게 된다. 따라서, 영상분석 시 기하학적 측도 설정과 색채 측도 설정을 객관적으로 수행하기 위한 방안을 강구하여야 한다.

1) 시계열 작물영상의 획득 및 관리

협동연구기관이 보유한 유리온실에서 생육되고 있는 상추와 토마토를 대상으로 생장정보 계측용 컴퓨터 시각장치를 이용하여 시계열 영상을 획득하였다. 상추의 경우, 정식일을 기준으로 수확 때까지 2~4일 간격으로 영상을 획득하고, 토마토의 경우, 수확기 중 5~10일 간격으로 영상을 획득하였다. 작물에 대한 시계열 영상은 영상처리용 소프트웨어인 ImagePro를 사용하거나 Visual C++와 ImagePro Library인 AutoPro를 사용하여 자체 개발한 프로그램을 이용하여 획득, 저장하였다. 이 때, 작물영상의 저장형식은 TIFF로 하였다.

시계열 작물영상을 합리적으로 검색하기 위해서는 영상파일명을 체계적으로 관리하는 것이 중요하다고 판단하였다. 영상파일명에는 작물 종류, 재배일차, 재배장소, 카메라 종류, 작물 위치(개체 또는 군락에 대한 일련번호), 촬영방향, 반

복수 등이 포함되도록 하였다. 예를 들어, “L-17AC-01A1.TIF“이라는 영상파일명의 의미는 다음과 같다. 대상 작물은 L 품종의 상추(L)로서 정식 후 17일째(17)이다. A라는 유리온실(A)에서 촬영하였으며 C라는 색채카메라(C)로 촬영되었다. 작물 또는 군락에 해당하는 번호는 01번(01)인데, 카메라는 작물의 상방향(A)에 설치되었으며 이번 영상은 1번째 촬영(1)된 것이다. 이와 같은 파일명은 그 순서를 바꾸거나 “-“과 같이 구분을 위한 기호를 생략하거나 다른 구분자로 사용하는 등, 작물영상의 Database화에 적합하도록 변경하여 사용하기도 하였다.

소프트웨어 ImagePro을 이 용함으로써 영상의 파일명, 파일크기(byte), 저장 년월일시, 영상의 종류(색채, 흑백), 영상 크기(가로와 세로), 해상도 및 저장형식(TIFF, BMP, JPG 등) 등의 작물영상에 대한 기록(Document)을 얻을 수 있었다.



Fig. 3.5 User interface for capturing and saving a plant image in this study

그림 3.5는 시계열 작물영상을 획득하기 위한 사용자 인터페이스를 나타내는데, 사용자가 작물의 종류, 작물의 생육일자, 재배장소, 카메라 종류, 작물 위치, 촬영방향, 반복순위 등을 선택하게 되어 있다. 저장을 선택하면 화면에 보인 작물영상은 상술된 것과 같은 규칙에 의해 자동 생성된 파일명으로 저장된다.

2) 측도봉의 개발

시계열 작물영상을 대상으로 작물의 성장인자를 추적하는데 문제가 되는 것은 동일 작물에 대한 영상 내 작물의 크기, 작물영역의 위치, 화소치 범위 및 분포 등이 달라진다. 즉, 작물의 생장이나 배열위치에 따라 작물과 카메라 사이의 거리가 변하게 되며, 설사 작물 형상의 변화가 없는 경우에도 동일 작물에 대한 시계열 작물영상을 비교해보면 영상 내 작물의 크기와 위치가 서로 다르게 나타났다. 또한, 광 조건이 일정하지 않으므로 시계열 영상을 분석함에 있어 절대적

인 화소치를 이용하는 것은 불가능하였다. 따라서, 이 연구에서는 크기 및 색채 정보를 이미 알고 있는 기준색지(color reference patches)를 작물영상에 포함하여 촬영한 후, 작물-카메라간 거리에 따른 기하학적 측도 설정과 외부광 변화가 작물과 동반하여 나타나는 기준색지를 이용한 색채 측도 설정을 선행하도록 하였다.

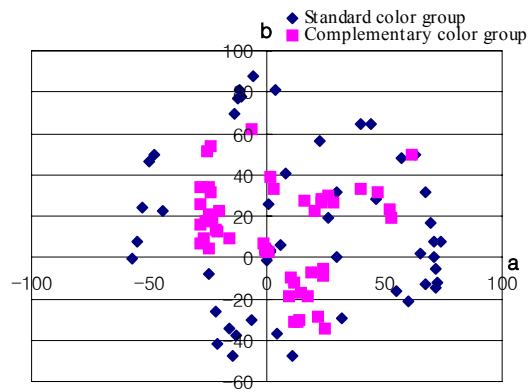
가) 기준색지의 선정 및 색채특성

우선 작물영상에 포함하여 촬영되는 크기와 색채값을 알고 있는 기준색지를 선정하였다. 일본의 Dainippon Ink and Chemicals, Inc.가 제작한 Color guide의 다양한 색지로부터 실제 상추 및 토마토와 유사하다고 판단되는 표준색지 50종(Standard color group)과 표준색지에 대한 Lab 색좌표계 분포를 보완하여 고른 분포가 되도록 선정한 활용색지 50종(Complementary color group) 등 100종의 기준색지를 선정하였다. 색채색차계(Minolta, CR-100)를 이용하여 100종의 기준색지에 대한 L, a 및 b 값을 측정하였으며, 그에 대한 분포도는 그림 3.6과 같다.

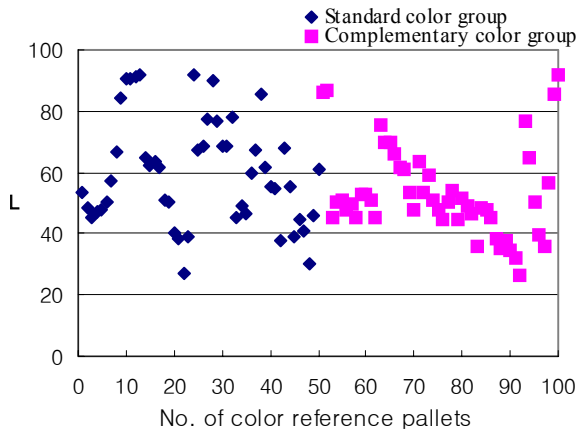
나) 측도봉 제작 및 설치

표준색지 50종과 활용색지 50종은 모두 폭이 13 mm이었으며 2 mm의 간격을 두고 지름이 19mm인 측도봉(Calibration bar)에 부착하였다. 각각을 표준색지 측도봉(Standard reference bar)과 활용색지 측도봉(Complementary reference bar)으로 명명하였으며, 작물의 재배열(Plant row)과 서로 평행하도록 설치하였다. 그림 3.7은 이 연구에서 제작한 표준색지 측도봉과 활용색지 측도봉을 보여준다.

상추의 경우, 활용색지 측도봉과 표준색지 측도봉을 상추열의 최상단과 최하단에 평행하게(40 cm 간격), 그리고 양액 재배상에서 25 cm의 높이에 설치하였다. 토마토의 경우, 수직방향으로 활용색지 측도봉과 표준색지 측도봉을 설치하였는데, 두 측도봉 사이에는 대상 토마토를 포함하여 3 주 정도가 놓이도록 하였다.



(a) a and b values



(b) L value

Fig. 3.6 Distribution of L, a and b values for 100 color reference patches

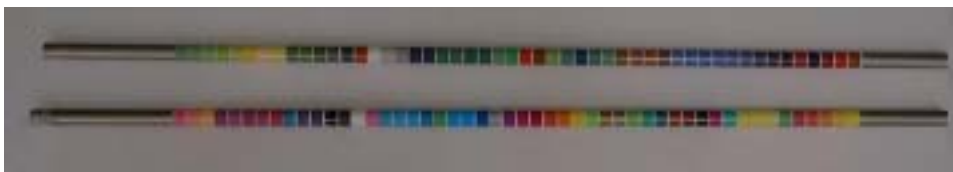


Fig. 3.7 Calibration bars (Upper: the complementary reference bar, Lower: the standard reference bar)

다. 영상분석을 위한 측도 설정

기하학적 측도 설정 및 색채 측도 설정을 수행함으로써 각 영상에 대한 화소의 수평 및 수직방향으로의 실제길이(mm), 종횡비(aspect ratio), 각 색지의 평균 화소치 및 표준편차를 얻을 수 있다. 측도 설정에 의해, 서로 다른 시점과 지점에서 얻는 시계열 영상을 동일한 기준으로 비교할 수 있게 된다.

1) 기하학적 측도 설정

기하학적 측도 설정은 각 화소의 수평방향 및 수직방향의 실제길이(mm/pixel)를 구하는 것을 말하는데, 기하학적 왜곡이 심할수록 기하학적 측도 설정의 중요성이 더해진다. 일반적인 기하학적 측도 설정 방법은 이미 크기를 알고 있는 도형에 대한 영상을 실제 적용되는 조건으로 획득한 후 도형의 크기에 해당하는 화소수를 측정하여 각 화소의 수평방향 및 수직방향의 실제길이(mm/pixel)를 산출하는 것이다. 이 때, 카메라가 가지고 있는 초점 깊이(Depth of focus)를 감안하더라도 카메라와 도형 사이의 거리는 실제로 적용한 대상물과의 거리와 동일하게 설치하여야 한다. 그런데, 카메라와 작물간 거리가 일정하다면 기하학적 측도 설정을 1회 수행한 후 그 결과를 계속하여 적용하면 되지만, 이 연구에서와 같이 카메라와 대상물간 거리가 가변적이라면 매 영상마다 기하학적 측도 설정을 수행할 수 있어야 한다. 이 연구에서는 이미 크기를 알고 있는 측도봉을 이용하여 다음과 같은 과정으로 기하학적 측도 설정을 수행하였으며, 2개의 측도봉에 대한 측도 설정은 각각 동일한 과정으로 수행되었다.

단계 1 : 영상 내 측도봉의 위치를 탐색함. → 각 측도봉의 양쪽 가장자리에 있는 색지의 위치를 검출함. → 가장자리에 있는 두 색지간 거리(50 색지×15 mm)에 해당하는 화소수를 계산함. → 측도봉에 부착된 각 색지들의 위치를 자동 탐색함. → 탐색된 각 색지의 중심 좌표를 계산함. 이 때, 필요에 따라서는 탐색된 각 색지의 위치를 화면에 표시하고 사용자로 하여금 수정할 수 있도록 함. → 화소 당 수평방향의 실제길이 및 수직방향의 실제길이를 각 색지마다 계산함.

일반적으로 기하학적 왜곡은 화면의 중앙영역에서 가장자리로 갈수록 심해지므로 영상의 위치에 따라서 기하학적 측도 설정의 결과는 달라진다. 그러나, 이를 보정하는 것은 많은 계산과 정밀한 과정을 요구하기 때문에 화소 당 실제 길이가 허용 범위 내에 있는 영역까지를 분석영역으로 설정하고 그 외 영역은 무시하는 방법을 사용하면 편리하다.

카메라에 광각렌즈를 부착하여 사용한 경우에는 렌즈의 수차 등의 원인에 의해 기하학적 왜곡이 많이 나타나기 때문에 측도 설정에 유의하였다. 그렇지만, 복잡한 과정과 많은 계산을 피하고 간단한 기하학적 측도 설정을 수행하기 위해 다음과 같은 방법을 사용하였다.

단계 2 : 2개의 측도봉에 대해 단계 1을 수행함. → 대상 작물의 배열을 고려하여 개체 작물에 해당하는 영상 영역을 구분함. → 2개 측도봉에 대한 각각의 색지의 위치를 바로 이전에서 구분한 각 대상 작물의 영역과 비교하여 해당 작물 영역으로 구분함. → 구분된 각각의 작물 영역에 해당하는 측도봉 색지들의 그룹(group)들에 대한 화소 당 실제길이의 평균치를 계산하고 이를 기하학적 측도 설정 결과로 사용함.

표 3.3은 위와 같은 기하학적 측도 설정 방법의 가능성을 확인하기 위해 별도로 수행한 실험의 결과이다. 이 때 작물은 그림 3.8(RGB 색채영상)에서와 같이 2열 3주로 배열한 경우이었다. S-Video 색채 카메라(GC-455N-K-G) 및 흑백 카메라(LG-Honeywell)에 대한 기하학적 측도 설정의 결과도 함께 보여주었는데 서로 크게 차이를 알 수 있다. 그런데, 이론적으로는 이들 카메라의 종횡비가 모두 1:1이므로 각 영역마다 HL과 VL는 동일한 값을 갖게 되고, 기하학적 왜곡의 특성을 감안할 때 좌우 또는 상하 영역끼리는 대칭관계에 있어야 한다. 그러나 실제에 있어서는 표 3.3.과 같이 분석되었다. 이 연구에서는 각 영역에 대한 화소 당 실제길이를 HL과 VL의 평균값으로 하였으며, 대칭관계는 고려하지 않았다.

Table 3.3 Results of a geometric calibration for 3 cameras

	RGB camera (XC-711)			S-Video camera (GC-455N-K-G)			B/W camera (LG-Honeywell)		
	R. 1	R. 2	R. 3	R. 1	R. 2	R. 3	R. 1	R. 2	R. 3
HL	1.8343	1.7735	1.8662	1.6870	1.6402	1.9398	2.0784	1.8870	2.0847
VL	1.8382	1.8273	1.8114	1.6713	1.6517	1.9113	2.0732	1.9267	1.9227
	R. 4	R. 5	R. 6	R. 4	R. 5	R. 6	R. 4	R. 5	R. 6
HL	1.8739	1.7961	1.9607	1.7080	1.6758	1.7156	2.0581	1.9166	2.0700
VL	1.8235	1.7868	1.8677	1.7048	1.7108	1.6863	1.8992	1.9018	2.0113

Note : HL : Horizontal length/pixel, [mm/pixel]

VL : Vertical length/pixel, [mm/pixel]

R. 1 ~ R. 6 : Region 1 ~ Region 6

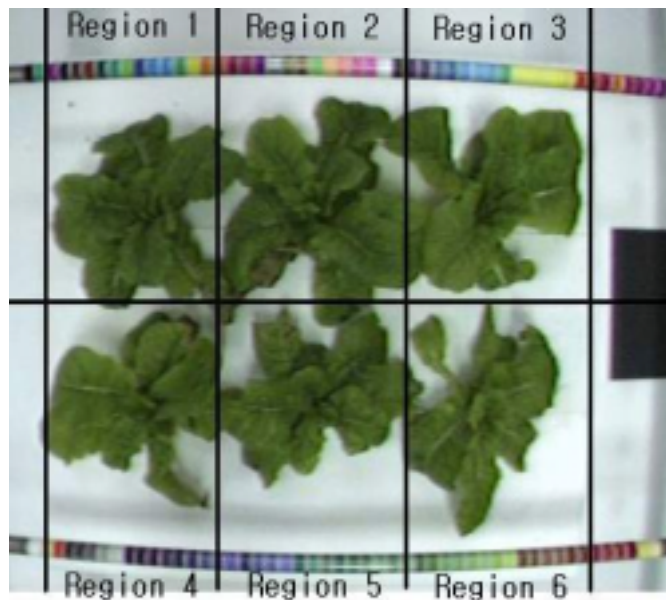


Fig. 3.8 Regions for each color reference patches related to a geometric calibration

2) 색채 측도 설정

이 연구에서 의미하는 색채 측도 설정이란 측도봉을 구성하는 각종 기준색지들에 대한 색채값(RGB)을 구하여 저장하는 것이다. 따라서, 각각의 기준색지의 위치를 구한 후 그 위치에서의 화소치를 얻으면 되므로 이 연구에서는 기하학적 측도 설정과 동시에 색채 측도 설정을 수행하였다. 각 색지에 대한 RGB값은 해당 색지의 중심위치를 찾은 후 중심좌표를 포함한 임의 크기(9×9)의 영역 내 화소들의 평균 RGB값을 사용하였다.

그림 3.9는 측도봉을 구성하는 각 색지들에 대한 위치를 검출한 예를 보여주는데, 각 색지에 대한 평균 RGB는 측도설정파일에 저장되었다.



Fig. 3.9 Example images of lettuces(a) and tomatoes(b) showing each positions of color reference patches marked in a geometric calibration.

색채 측도 설정이 완료되면, 작물의 복잡한 색채값은 각 색지 중 하나로 할당하는 과정을 거치게 된다. 즉, 작물영상을 구성하는 각 화소는 이론적으로 $16,777,216 (= 2^4 \times 3 \times 8 \text{ 제곱승})$ 종의 RGB 값을 가질 수 있는데, 이를 측도봉의 색지 개수(100 종)만큼으로 축소하여 색채를 분석하게 된다. 달리 표현하면, 작물영상이 색채분석을 위해서, RGB의 3가지 색채성분에 대한 256 수준의 히스토그램(Histograms)을 다루는 대신, 간단한 데이터인 측도봉을 구성하는 색지에

대한 할당 히스토그램(Assignment histogram)을 분석하면 된다.

3) 측도봉을 이용한 색채 측도 설정의 타당성 분석

측도봉을 구성하는 각종 기준색지들을 이용하여 색채 측도 설정을 수행하기 위해서는 먼저 측도봉과 기준색지를 사용한 색채 측도 설정의 타당성을 분석하여야 한다. 이를 위해, 이 연구에서는 서로 다른 시점에서 획득한 작물영상일지라도 동일한 작물에 대한 영상이라면 각 작물영역에 있는 화소들이 측도봉에 부착된 기준색지로 할당되는 경향이 동일하여야 한다고 가정하고, 이를 통계적으로 분석하였다. 즉, 서로 다른 시점에서 획득한 동일 작물에 대한 두 개의 작물 영상에 대해 색지 할당 히스토그램을 구하고 쌍체 t-분포를 분석함으로써 두 개의 할당 히스토그램이 얼마나 유사한지를 구명하고자 하였다.

측도봉을 사용하는 주된 이유는 컴퓨터 시각장치를 이용한 엽색 분석의 재현성을 확보하는 것이다. 여기에서는 26주의 상추를 대상으로 약 10~30분의 차이를 두고 영상을 반복 획득하였다. 그리고, 총 52개(26주×2회) 영상을 대상으로 반복간 차이가 있는지를 쌍체 t-test를 통하여 분석한 결과 표 3.3과 같았다.

표 3.4에서와 같이 5%의 유의수준에서 26주의 상추 중 23주의 상추에서 두 반복간의 색지 할당 분포에 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 약 10~30분 경과에 의해 조명조건은 차이가 있었다는 점을 고려하면 측도봉을 이용한 색채 측도 설정이 타당한 것 판단되었다.

라. 시계열 작물영상의 추적인자 개발

1) 작목별 추적인자 탐색

시계열 영상으로부터 작물의 생육상태를 분석하는데 유용한 영상인자를 탐색하였다. 기존의 연구에서 제시된 작물 성장항목별 영상인자를 나열하면 표 3.5와 같았다.

Table 3.4 Result of paired comparison t-test for repeatability of lettuce color analysis using calibration bars

Name of samples	Degree of freedom	t-values for samples	P(T<=t) in two-tailed test	Name of samples	Degree of freedom	t-values for samples	P(T<=t) in two-tailed test
img1	27	-0.0396	0.9687	img14	27	-0.0015	0.9989
img2	27	0.0000	1.0000	img15	27	-0.0522	0.9587
img3	27	0.0000	1.0000	img16	27	0.0000	1.0000
img4	27	0.0000	1.0000	img17	27	0.0000	1.0000
img5	27	0.0000	1.0000	img18	27	0.0000	1.0000
img6	27	0.0000	1.0000	img19	27	0.0000	1.0000
img7	27	0.0000	1.0000	img20	27	0.0000	1.0000
img8	27	0.0000	1.0000	img21	27	0.0000	1.0000
img9	27	0.0013	0.9990	img22	27	-0.0020	0.9984
img10	27	0.0040	0.9968	img23	27	0.0000	1.0000
img11	27	0.0000	1.0000	img24	27	0.0000	1.0000
img12	27	-0.5704	<u>0.5731</u>	img25	27	-0.5695	<u>0.5737</u>
img13	27	0.0000	1.0000	img26	27	-0.5695	<u>0.5737</u>

Note: t-values for $H_a = 2.0518$

Table 3.5 Reported image parameters according to growth states of lettuces and tomatoes

작물명	성장항목	주요영상인자
상추	수확량, 작물 폭	투영면적
	이상 생육상태, 엽록소 함량, 병충해 발생	엽색
	생육상태, 형상 이상	엽밀도
	초형, 균락상태 및 성장정도	세선화 분석
토마토	성장량	투영면적
	이상 생육상태, 토마토 과일 검출, 병충해 발생	엽색 및 과색
	성장량, 초세	엽밀도
	초세(가지 및 잎의 방향), 이상 생육상태	세선화 분석
	과일의 크기, 수확시기 및 수확량	위치 및 크기분석, 엽색, 과색,

대상 작물에 대한 이들 영상인자를 분석함으로써 작물의 성장상태 뿐만 아니

라 시계열적 변화를 예측할 수 있는 중요한 정보를 제공받을 수 있다. 표 3.4에서 나열한 각종 영상인자들은 기본적으로 기하학적 특성과 색채 특성에 기반을 두고 있기 때문에 기하학적 및 색채 측도 설정은 매우 중요한 선행 작업임을 알 수 있다.

2) 추적인자 선정

표 3.5에서 보인 각종 생육항목을 시계열적 작물영상으로부터 객관적이면서 합리적으로 측정 또는 분석하기 위해서 선정되는 추적인자는 다음과 같은 조건을 고려해야할 것으로 판단하였다.

- 정량적인 인자이어야 한다. 즉, 형상 이상, 초형, 군락상태, 이상 생육 등은 정성적인 인자이므로 시계열적 비교를 위해서는 먼저 이들에 대한 정량화 인자를 개발하여야 한다. 그러나, 정량화 인자를 개발하더라도 그 정도를 추정하거나 유무를 판단하기 위한 것이라면 간접적인 결과만을 제공하는 것이기 때문에 시계열적으로 분석하는데는 적합하지 않다.
- 동일한 차원(dimension)의 단위를 갖도록 정의하여야 한다. 예를 들면, 작물의 투영면적을 mm^2 또는 전체 면적에서 작물이 차지하는 면적의 비로 나타낼 수 있다. 면적비로 나타낼 경우에는 전체면적이 몇 mm^2 인지를 알고 있어야 작물의 투영면적을 mm^2 단위로 환산할 수 있다. 초형의 경우에도 이를 나타내는 형상인자(정량화 인자)를 생육기간에 의존적인 형태로 개발하면 시계열적 비교가 어렵게 된다. 한편, 간접적인 인자인 SPAD 값으로 나타내는 엽록소 함량을 영상분석을 통해 추정할 경우, 회귀식을 통하여 SPAD 값을 추정하는 경우와 부정확한 회귀식에 근거하지 않고 엽록소 함량이 높고 낮음으로 추정하는 경우가 있는데 이를 혼용할 경우 서로 비교, 분석하는 것이 어렵다.
- 일시적이거나 가변적인 인자가 아니어야 한다. 예를 들면, 병충해를 검출하거나 발생을 예측할 수 있는 영상인자와 영상분석 기법을 개발하는 것은 중요하지만, 병충해 발생 이전에는 시계열 인자가 아니므로 지속적으로 정보를 제공할 수 있는 인자로는 부적합하다. 또한, 토마토의 생장량을 길이나 부피 등으로 정량화 하는 것은 가능하겠지만, 작물의 방향이나 재배 작업 중 작물 위치가 변경되면 분석 결과도 가변적이기 마련이므로 일관적인 비

교에 적합한 인자가 아니다.

- 작물생육, 관리 등을 위한 데이터베이스화에 유용한 인자이어야 한다. 예를 들면, 엽록소 함량을 추정하는 것이 특정 목적을 위해서는 중요하지만 일반적으로는 시계열적으로 분석하여 데이터베이스화할 필요성은 없다. 더욱이, 이 연구에서 대상으로 한 상추와 토마토는 엽록소 함량이 중요한 작물인자를 아니다. 상추의 수확량은 회귀식을 통하여 추정되는 인자이더라도 온실 운영자에게 가장 중요한 인자이기 때문에 데이터베이스화가 반드시 필요한 작물인자이었다.

영상처리기술을 이용하여 작물의 생육상태를 분석하는 것은 유용하지만 아직 그 결과를 직접적으로 이용하는 경우는 없다. 그러나, 차후의 활용가능성을 고려하여 데이터베이스화할 필요가 있다면 시계열적으로 자료를 획득하여 저장하는 것이 바람직하다. 이 연구에서는 주기적으로 대상 작물에 대한 영상을 획득하고 이를 저장하여 뒤으로췌, 차후에 의미 있는 분석을 수행할 수 있도록 하였다. 더불어 작물의 색채분포를 시계열적으로 추정할 수 있도록 기준색지에 대한 할당 분포(Assignment distribution of color reference patches)를 데이터베이스화하였다. 표 3.6은 상기 조건을 고려하여 선정된 작물인자와 영상인자를 나타낸다.

Table 3.6 Selected image parameters for the time series analysis of growth states of lettuces and tomatoes

작물명	작물인자	영상인자	비고 [단위]
상 추	수확량	투영면적비	[%] 투영면적 환산 후 mm ² 적용
	엽색	기준색지 할당분포	[%] 기준색지별 할당분포
	작물영상 [†]	검색용 영상파일	[-] Photo-base
토마토	엽색	기준색지 할당분포	[%] 기준색지별 할당분포
	작물영상 [†]	검색용 영상파일	[-] Photo-base

† 작물인자는 아니지만 차후 시계열적 분석을 목적으로 데이터베이스화함.

마. 결론

컴퓨터 시각장치를 이용하여 생장 중에 있는 작물을 모니터링하기 위해서는 동일한 작물일지라도 시계열적으로 영상을 획득하여야 한다. 그러나, 획득한 영상을 일관성 있게 분석하기 위해서는 기하학적 및 색채 측도 설정이 매우 중요하다. 이 연구에서는 시계열 작물영상을 획득하고 관리하는데 있어서 파악된 문제점을 해결하고자 하였으며, 특히 경험에 의해 선정된 기준색지가 부착된 측도봉을 제안하고 그 타당성을 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

이 연구에서와 같이 자연광 아래에서 카메라를 이동하면서 시계열 작물영상을 획득하고 대상 작물에 대한 기하학적 특성과 색채 특성을 객관적으로 분석하기 위해서는 정확하고 합리적인 측도 설정 방법이 요구되었다.

상추의 색채와 가장 유사하다고 판단되는 표준색지 50종과 Lab 색좌표계 내에서 고른 분포가 되도록 선정한 활용색지 50종이 각각 부착된 2개의 측도봉을 제작하였다. 색지 선정을 위해 색채색차계(Minolta, CR-100)를 이용하여 Lab값을 분석하였으며, 이들 기준색지들은 2개의 측도봉(Φ19mm)에 폭 13mm, 사이 간격 2cm로 부착하였다

여기에서는 측도봉을 이용하여 진행되는 기하학적 측도 설정 및 색채 측도 설정의 과정을 설명하였다. 또한, 이 연구에서 제안한 측도봉에 의한 색채 분석의 타당성을 판단하기 위해 26주의 상추를 대상으로 다른 시점에서 영상을 반복 획득하고 각각에 대한 색채 분포를 분석한 결과, 동일하지 않은 광 조건일지라도 상추에 해당하는 화소들의 기준색지에 대한 할당 분포가 매우 유사한 것으로 나타나 측도봉에 의한 색채 분석 결과에 대해 재현성이 확보됨을 알 수 있었다.

시계열 작물영상은 작물영상 데이터베이스를 위해 저장되고 필요에 따라서 검색이 이루어진다. 이 연구에서는 시계열 작물영상을 획득할 때, 영상파일의 파일명을 자동 생성하도록 함으로써 합리적으로 검색이 이루어질 수 있도록 하였다.

이 연구에서는 작물의 각종 생육인자와 관련된 영상인자들을 고찰하고 그 결과를 제시하였다. 그리고, 작물의 생육인자를 분석하는데 실제로 유용한 영상인자가 되기 위해서는, 동일한 차원(dimension)의 단위를 갖도록 정의할 수 있는 정량적 인자이어야 한다는 것과 일시적이거나 가변적인 인자는 피해야 하며 작물생육, 관리 등을 위한 데이터베이스화에 유용해야 하는 것으로 파악되었다. 이러한 조건을 고려하여 선정된 추적인자로서 상추의 경우 투영면적과 기준색치 할당분포가, 토마토의 경우 기준색지 할당분포를 제시하였다.

3. 생육상태 계측 알고리즘 및 성장정보 분석 모델 개발

가. 서론

작물 생육상태 모니터링 시스템을 개발하기 위해, 온실과 작물의 생육조건을 고려한 성장정보 계측을 위한 컴퓨터 시각장치의 구축, 생육 중에 있는 작물에 대한 시계열 영상을 획득하거나 관리하기 위한 기법의 개발, 객관적이고 재현성이 우수한 작물영상 분석을 위해 요구되는 기하학적 측도 설정과 색채 측도 설정을 위한 측도봉의 개발 등, 하드웨어 위주의 시스템 구축이 성공적으로 수행되었다 하더라도 이를 효과적으로 활용하기 위해서는 각종 소프트웨어의 개발이 뒷받침되어야 한다.

온실 현장의 불균일하고 가변적인 조명조건과 카메라 및 컴퓨터 시각 시스템의 이동과 현장 활용을 위해 수반되는 각종 가변성으로 인하여, 작물영상을 통하여 생육상태를 계측하는데 사용되는 각종 소프트웨어를 개발하는데 사용되는 각종 알고리즘은 적응적이고 실용적이어야 한다. 특히, 계측 대상이 되는 작물의 성장 특성이 표준화되어 있지 않기 때문에 생육상태 계측 알고리즘을 개발하기 위해 마련되어야 할 기준상태 또는 표준조건 등이 거의 없거나 애매하기 때문에 애로점이 많다.

이 연구에서는 엽채류인 상추와 과채류인 토마토를 대상으로 생육상태 계측을 위한 알고리즘을 개발하였다. 작물의 투영면적, 엽밀도, 세선화 형상 등과 같은 기하학적 특징 분석에 관한 것은 주로 이 과제의 연구진들이 기존에 개발하였던 알고리즘을 참조하여 개발하였으며, 작물의 색채분석은 측도봉의 기준색지를 활용하여 수행하도록 하였다. 특히, 온실 내에서 생육상태에 있는 작물을 대상으로 실용성을 고려한 알고리즘이 되도록 하였다.

개체 작물의 기하학적 특성 및 색채 특성의 분석과 더불어 군락 상태의 작물을 대상으로 한 구조 분석을 위한 방법을 개발하고 알고리즘을 제시하였다.

작물의 기하학적 특성 및 구조적 특성을 계측하고 그 결과를 이용하여 상추의 수확량 예측모델 및 토마토 과일의 중량 예측모델을 개발하였다 또한, 측도봉과 기준색지를 이용한 작물의 색채 분석을 수행하였으며, 상추의 건강성, 상추의 엽록소 함량 추정 및 토마토 작물의 병해 진단을 위한 기법을 개발하고자 하였다.

나. 작물의 생육상태 계측 알고리즘 개발

1) 영상 전처리과정

작물의 형상을 분석하기 위해서 기하학적 측도 설정, 작물영상의 영역화 및 작물 영역의 설정(AOI 설정) 등의 전처리과정을 수행하였다.

기하학적 측도 설정은 이 연구에서 개발한 측도봉을 이용하였으며, 각 영상마다 수행한 기하학적 측도 설정에 의해 각 화소의 길이에 해당하는 실제 길이(mm)를 얻었다. 이 때, 이미 지적하였듯이 화소의 수평방향 및 수직방향으로의 실제크기(mm)의 비율로 정의되는 종횡비(aspect ratio)는 1.0이었다.

작물영상의 영역화에는 RGB 색채영상 중 B 프레임이 우수한 성능을 보였다. 그런데 일부 영상에서는 작물에 의한 그늘(shadow)로 인한 오류가 발생하였으나 이를 무시할 수 있는 경우가 많았다.

경우에 따라서는 작물 군락영상에서 개체 작물의 영역으로 AOI(Area of Interest)를 설정할 필요가 있다. 그러나, 작물과 측도봉 간의 위치관계에 대한 정보를 미리 알고 있으므로 측도봉의 실제좌표(world coordinate)로부터 각 개체 작물의 위치 및 범위를 정의할 수 있다. 즉, 영상영역화가 이루어진 영상에 대해, 미리 정의된 일정한 구역의 중심 좌표(xrc, yrc)와 범위(dx, dy)를 기준으로 각 구역마다에 놓이는 개체 작물들의 실제 중심좌표(xc, yc)를 구한다. 그리고 실제 중심좌표를 기준으로 해당 구역의 범위를 (xrc-xc, yrc-yc) 만큼 이동하여 해당 작물에 대한 AOI를 재설정하면 된다.

2) 투영면적

작물의 투영면적(Projected area)은 작물의 수광면적(受光面積)이나 성장정도 등과 관련된다. 투영면적은 전처리 과정을 수행한 후 해당 작물영역에 대한 총 화소수(Pixel number) × 화소당 실제면적(mm^2/pixel)으로 산출된다. 그런데, 이와 같이 계산되는 투영면적은 작물화소의 결정 결과(주로 배경과 작물간의 경계 화소(edge)를 결정하는데 문턱값의 설정방법), 기하학적 측도 설정결과 및 영상의 기하학적 왜곡 등에 의해 큰 영향을 받게 되는데, 실제에 있어서는 특히 기하학적 왜곡의 영향을 제거하는 것은 매우 어렵다. 따라서, 이 연구에서는 모눈 형태의 면적비 개념(Graticule method)을 도입하였다. 즉, 이미 크기를 알고있는

AOI 내에 있는 작물화소들이 차지하는 면적의 비율을 구한 후 그 비율과 AOI의 실제 면적을 곱하여 구한다.

3) 엽밀도

작물의 엽밀도(leaf area density)는 AOI 내를 차지하는 작물 영역의 면적비율을 의미하는데, 특히 방향별 또는 위치별로 엽밀도의 분포를 분석하게 된다. 균형 있고 표준형에 가까운 엽밀도 분포를 보이는지를 분석함으로써 작물의 생육상태를 구명할 수 있게 된다.

작물의 엽밀도 분포를 분석하기 위해 정의되는 AOI는 사각형 또는 원형으로 정의할 수 있다. 사각형 형태는 주로 과채류와 같이 수직방향으로 성장하는 작물에 사



(a) Lettuce

(b) Tomato

Fig. 3.10 Definition of leaf density distribution

용되며, 원형 형태는 엽채류와 같이 수평방향으로 성장하는 작물에 적합하다. 그림 3.10은 상추와 토마토에 대한 엽밀도를 측정하기 위한 알고리즘을 개발하는데 사용한 AOI를 보여주고 있다.

상추에 대한 엽밀도는 그림 3.10(a)와 같이 원주방향 분포에 대해 분석하였다. 즉, 먼저 개체 상추의 중심좌표를 구한 후 이를 중심으로 상추의 외접원으로 설정한다. 원형 AOI를 다시 24개의 부채꼴(사이각 = 15°) 영역으로 세분한 후 각 부채꼴에 포함된 작물화소의 면적비율을 조사하였다.

토마토의 경우에는 그림 3.10(b)에서와 같이, 해당 작물에 대한 사각형의 AOI를 설정한 후 가로와 세로를 각각 m, n 등분한 영역을 설정한 후하여 각 영역에 포함된 작물영역의 비율 조사함으로써 직선방향(수직/수평방향)으로의 엽밀도 분포를 분석하도록 하였다.

4) 세션화 형상

작물의 세션화 형상(thinning shape)은 작물 구조의 골격을 나타내는데 작물의 생장 형태를 분석하는데 적합한 정보를 제공한다.

이 연구에서는 영역화된 영상을 대상으로, 영상처리전용 프로그램인 ImagePro의 세션화 함수(SDK 함수)를 이용하여 세션화 영상을 얻었다.

5) 작물의 색채 분석

영상에서 작물영역에 속하는 화소들을 대상으로 각각의 화소치와 측도봉 색지의 화소치와의 거리를 계산하여 가장 작은 값을 나타내는 색지로 할당하면, 상추가 가지고 있는 다양한 색채값은 기준색지 수(100가지)만큼으로 매핑(mapping)이 되며 그 결과로써 상추의 엽색(leaf color)을 나타내는 100가지 색지에 대한 할당 빈도수(Histogram)를 얻을 수 있으며, 차후 색채 분석에서는 기준색지에 대한 색 번호를 다루게 된다. 이 때, 색지 할당을 위한 임계값을 지정하여 100종 색지 중 어느 색지에도 해당하지 않는 경우도 고려하였으나 그 빈도수가 매우 작은 값이어서 무시할 수 있었다.

6) 토마토 작물의 초장과 거리, 가지의 방향 및 각도의 계측

작물의 길이인 초장(plant height)은 생장 방향에 대해 측방향에서 영상을 획득하기 때문에 쉽게 계측할 수 있다. 그러나, 현장에서는 토마토의 초장을 정밀하게 측정하지 않아도 되기 때문에 이 연구에서는 사용자의 필요에 의해 수동의 방법으로 영상 계측하도록 하였다. 즉, 대상 토마토 작물에 대한 영상을 보면서 마우스를 이용하여 원하는 두 지점(시작점과 끝점)을 지정하면 기하학적 측도 설정 결과에 의해 두 지점간 실제거리(mm)를 산출하고 초장 데이터로 저장할 수 있도록 하였다.

작물 내 임의의 두 지점간 거리를 알고 싶을 때, 사용자가 마우스로 두 지점을 지정하면 두 지점간 실제거리를 출력하고 해당 거리에 대한 명칭과 함께 저장할 수 있도록 하였다. 아울러, 동서남북을 기준으로(3시 방향을 East, 12시를 North, 9시 방향 및 6시 방향을 각각 West와 South로 함.) 표시하는 방식으로 두 지점이 이루는 선분에 대한 방향을 함께 저장된다.

또한, 측정하고자 하는 각도를 영상 계측할 수 있도록 하였는데, 원하는 세 지

점을 지정하면 두 번째 지점에서 나타나는 각도(사이각)를 실측하여 출력하고 저장할 수 있도록 하였다.

7) 토마토 과일의 크기 계측

토마토는 상추와 달리 잎, 줄기, 화방 및 과일 등이 구분되어 성장하는데 이를 색채만으로 구분하는 것은 상당히 어렵다. 특히 토마토 과일에 경우 성장할수록 착색이 이루어지면서 녹색 계통에서 적색 계통으로 변하기 때문에 색채 특성을 이용하여 자동 검출하는 것이 가능할 수 있음에도 불구하고 수확에 적합한 착색도가 50~70%로 부분적인 적색을 띠고 있어 자동 검출을 위한 색채인자나 형상인자의 개발이 어려울 뿐만 아니라 잎이나 줄기 등에 가려지는 경우가 많아 실제에 있어서는 과일의 자동검출이 매우 어렵다. 따라서, 이 연구에서는 자동 검출에 의한 자동 계측 방법을 개발하는 대신 초장에서와 같이 사용자의 필요에 의해 수동으로 토마토 과일에 대한 크기(지름 또는 장축길이, 단축길이)를 영상 계측하도록 하였다. 수동의 방법이기 때문에 일부만 보이는 과일에 대해서도 크기를 측정할 수 있다.

다. 작물의 구조 분석 방법 개발

1) 군락상태의 작물영상 획득 및 분석

서로 다른 카메라로부터 또는 서로 다른 시점에서 작물 군락에 대한 영상을 획득하더라도, 원하는 대상 작물을 자동으로 구분해 내는 것은 바람직하지만 매우 어려운 문제였다. 영상 영역화의 과정을 유도하기가 거의 어려웠기 때문에 이 연구에서는 영상을 육안으로 보면서 주어진 군락 또는 개체 여부를 판정하도록 하였으며, 보다 정확한 판정이 요구되는 경우에는 영상을 Enhancement 하였는데, 이를 위해 영상분석용 소프트웨어인 ImagePro를 사용하여 수행하였다.

작물별로 보면, 상추가 H 60cm × V 40cm을 영역으로 한 6포기 군락을, 토마토는 H 50cm × V 150cm을 영역으로 한 1주를 중심으로 좌우 1~2주 정도를 대상으로 영상을 획득하였다.

2) 레이저 작물영상을 이용한 Texture 분석

이 연구에서는 작물의 구조를 텍스처 개념으로 접근하였다. 즉, 일반적으로 작물의 구조는 개개의 작물 구성요소에 대한 기하학적인 수치나 3차원적인 표현을 통해 분석되었다. 그러나, 실제 온실 내에서 생육 중인 작물 균락을 대상으로 할 경우에는 제어되지 않은 환경요소에 의해 영상 전처리(Image preprocessing) 및 영상분석(Image analysis)

의 과정이 매우 복잡하고 높은 비용을 요구하기 마련이다. 따라서, 이 연구에서는 텍스처(Texture)와 같은 포괄적인 의미에서의 작물 구조 분석을 수행하기로 하였다. 이를 위해 그림 3.11과 같은 레이저 구조광 발생장치를 제작하고 레이저 구조광을 작물에 조사한 후 작물 영상을 획득하였다.

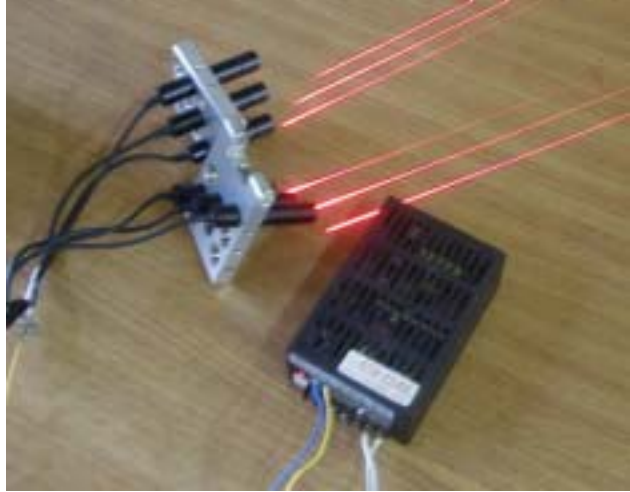


Fig. 3.11 Structured laser beam generation apparatus

가) 레이저 구조광 발생장치 및 영상획득

수입되는 레이저 구조광 발생장치는 고가이고 설계변경이 어렵기 때문에 하나의 직선광 레이저 소스를 결합한 레이저 구조광 발생장치를 주문 제작하였다. 파장은 638nm로 하였으며, 적절한 광출력을 찾기 위해 2.5 mW, 10 mW 및 30 mW 등에 대해 예비 실험하였다. 색채 카메라를 이용하여 영상을 획득할 때, 실내에서는 세 가지 광출력에서 문제가 없었으나 온실 내에서는 흐린 날이라고 하더라도(조도가 1만 Lux 이하) 광출력이 높은 30 mW에서도 레이저광에 의한 작물 영상을 얻을 수 없었다.

638nm 레이저광은 장파장임을 감안하여 근적외선 영역에서도 감도가 높은 저조도용 카메라를 사용하여 보았으나 저조도용 카메라에 레이저 구조광의 파장만을 통과시키는 광학필터를 장착하여야 하고, 색채영상용 카메라와 함께 추가되

어 설치하여야 하는 문제가 있었다. 특히, 작물로부터 반사된 레이저광은 산란이 발생하여 선명한 영상을 얻을 수 없었다.

따라서, 색채 카메라를 사용하되 온실 내 조도가 낮은 시각(저녁, 흐린 날 등), 실내 광원을 사용하거나 외부광을 무시할 수 있는 시간(야간 등)에 촬영하도록 하였다.

나) 레이저 구조광을 이용한 작물의 텍스처 분석

작물 영상을 획득할 때 레이저 구조광을 작물에 입사시키고 구조광의 반사 형태를 분석함으로써 작물의 텍스처에 관한 정보를 파악하고 작물의 구조 분석에 활용하였다.

상추에 비해 토마토의 구조는 생육 정보를 많이 포함하고 있는 반면에 구조 분석이 어렵다. 그 이유는 토마토의 구조가 보다 복잡하고 부피가 크기 때문이기도 하지만, 상추 영상의 단순한 배경과는 달리 토마토 영상(수평방향으로 카메라가 설치됨.)에서는 뒤쪽 열에 위치한 토마토, 온실 내 시설 및 온실 벽면 등이 배경으로 포함되기 때문이다. 따라서, 온실 현장에서 얻은 토마토 영상으로부터 작물영상을 영역화하는 것은 매우 어렵고 그 다음 단계인 구조분석은 거의 불가능하다. 그러므로, 이미 지적하였듯이 정밀한 구조분석보다는 포괄적인 의미에서 작물의 구조관련 영상인자를 개발하기 위해 다음과 같이 영상처리(①~③) 및 영상분석(④~⑥)을 수행하였다.

- ① Acquisition of the structured laser images of a plant
- ② Image segmentation for laser lines on **R frame** of plant color image
- ③ Dilation, erosion and thinning of the binarized image by 4×4 window
- ④ Measurement of lengths and directions of each line segments
- ⑤ Frequency analysis of length and direction for lines
- ⑥ Calculation of plant structure parameters(**leaf directions, leaf length, leaf density of plant and plant shape, etc.**)

그림 3.12는 레이저 구조광을 작물에 입사한 광경과 ①~③의 과정에 의한 결과를 예로서 보여준 것이다.

또한, 토마토에 대한 구조광 영상으로부터, 잎의 방향, 잎의 길이, 엽밀도 또는 작물의 형상에 관한 정보를 분석할 수 있을 것으로 판단하였다. 그림 3.13은 그림 3.12에서 보인 토마토 작물에 대한 잎의 길이 및 방향 분포를 보여주고 있다.

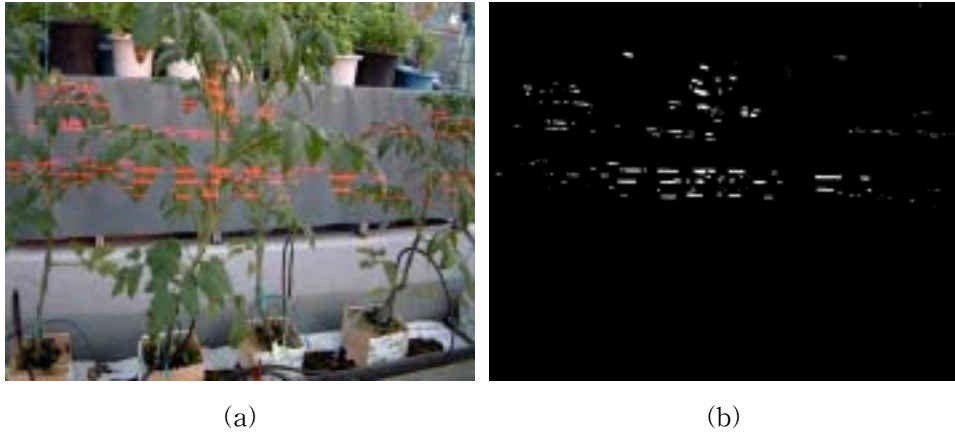


Fig. 3.12 Structured laser image for tomatoes(a) and binarized image of laser beams(b)

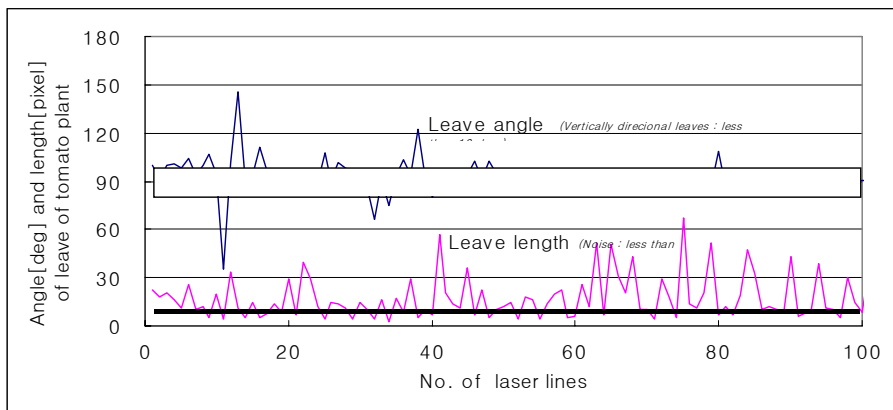


Fig. 3.13 Distributions of lengths and directions for tomato leaves in Fig. 3.12

이 결과는 레이저 구조광이 조사된 영역으로 한정되어 있어 토마토 작물의 전체에 대한 정밀한 분석은 아니다. 그렇지만, 상대적인 개념에서 토마토 작물의 구조특성을 보여준다고 볼 수 있다.

3) 작물의 구조적 특징 탐색

토마토 전체에 대한 구조 분석은 실용적인 가치가 부족할 뿐만 아니라 정량적인 분석이 어렵다. 따라서, 실용적으로 사용될 수 있는 작물의 구조적 특징이 무엇인지를 판단하고 그에 대한 분석을 수행하는 것이 합리적이다. 이 연구에서는 전문가의 조언에 의해 토마토의 수확량과 밀접한 관계가 있는 것으로 파악된, 화방 부근, 즉 토마토 작물의 상단부를 구성하고 있는 잎과 줄기의 부착 구조 및 크기 등을 파악하기 위해 다음과 같은 알고리즘을 개발하였다.

- ① Acquisition of plant images
- ② Interactive selection of top area of tomato plant
- ③ Binarization of **B frame** of plant color image
- ④ Calculation of **projected area of plant**
- ⑤ Calculation of **leaf density distribution of plant**
- ⑥ Vertical filtering (3×3)
- ⑦ Elimination of small area (Area < 10, Aspect ratio < 5)
- ⑧ Thinning
- ⑨ Calculation of **lengths and angles of plant stem**

그림 3.14는 위의 과정을 수행한 결과의 예를 보여주는데, 수행 결과로서 토마토 작물 상단부의 투영단면적(단계 ③) 및 수평방향 엽밀도(단계 ④), 줄기의 방향 및 길이의 분포 등(단계 ⑨)을 얻을 수 있다.

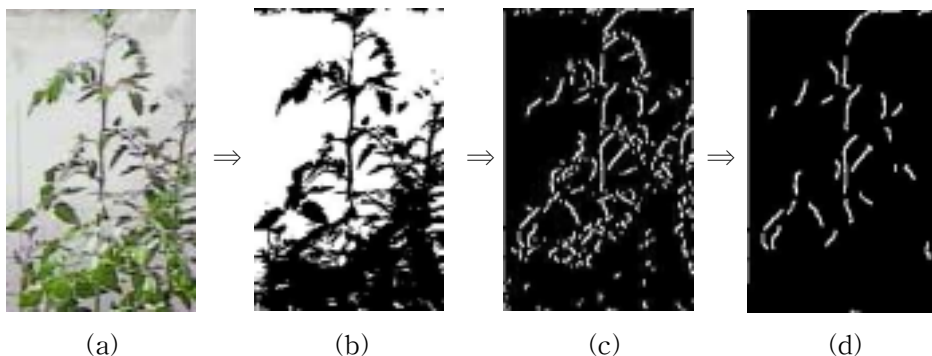


Fig. 3.14 Images of top area of tomato plant(a), binary image(b), morphological filtering image(c) and extracted stem image(d)

라. 수확량 예측 모델 개발

1) 상추의 중량 예측 모델

가) 지상부 생체중

그림 3.15는 상추 균락영상으로부터 측정된 개체 상추에 대한 투영면적과 상추의 지상부 생체중과의 관계를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 작물의 단면적과 생체중은 서로 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

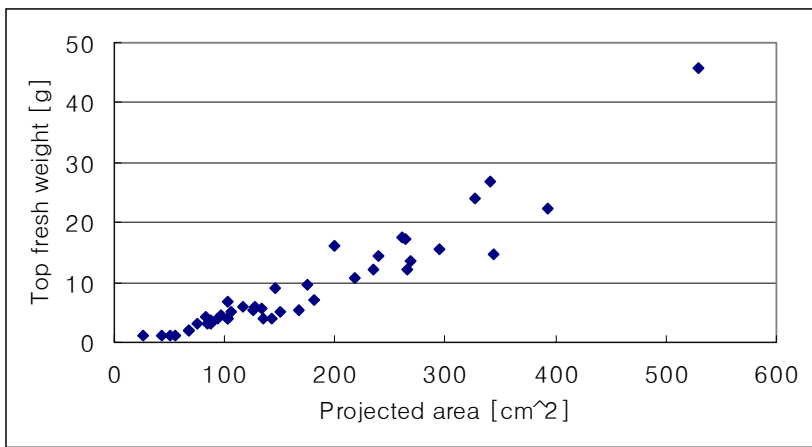


Fig. 3.15 Relation between top fresh weights and projected area of lettuce plants

전체 생체중(지상부 + 지하부) 보다는 주로 생식용으로 소비되는 상추의 지상부에 대한 생체중을 종속변수로 하고 투영면적을 독립변수로 하는 1차 예측방정식과 2차 예측방정식을 각각 구한 결과, 다음과 같았다.

지상부 생체중(W)의 1차 예측방정식 :

$$W = 0.0761 \times \text{투영면적} - 3.7542 \quad (R^2 = 0.8942)$$

지상부 생체중(W)의 2차 예측방정식 :

$$W = 0.0001 \times \text{투영면적}^2 + 0.0288 \times \text{투영면적} + 0.1699 \quad (R^2 = 0.9277)$$

이들 예측방정식을 이용하여 또 다른 상추 36주를 대상으로 예측오차를 구하였는데, 1차 예측방정식에 의한 예측오차는 2.22 g으로 2차 예측방정식에 의한

예측오차 1.88 g보다 높았다. Fig. 3.16과 Fig. 3.17은 1차 및 2차 예측방정식을 검증하기 위해 지상부 생체중에 대한 실측값과 예측값을 대비하여 나타냈다.

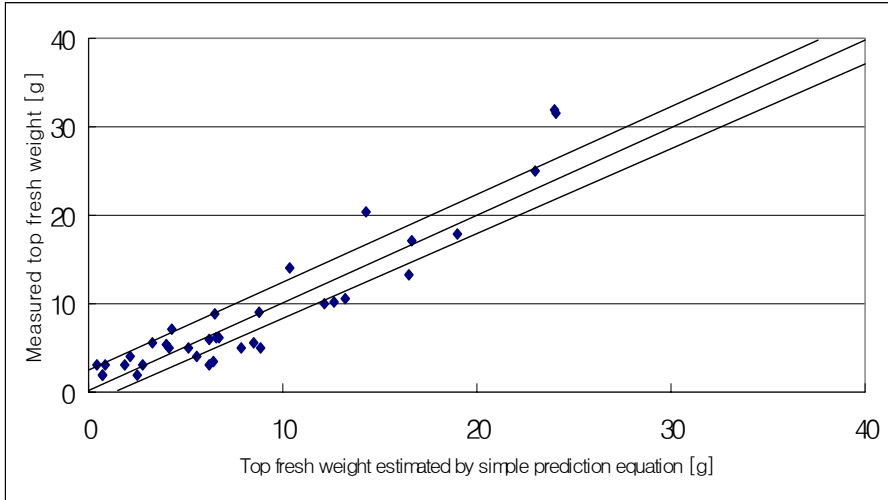


Fig. 3.16 Prediction error for top fresh weight of lettuce using simple prediction equation

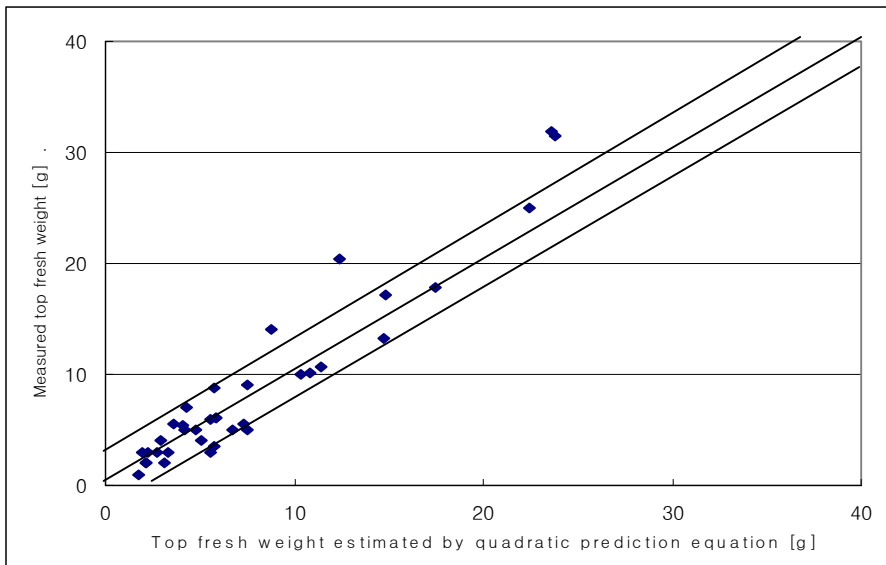


Fig. 3.17 Prediction error for top fresh weight of lettuce using quadratic prediction equation

나) 전체 생체중

지상부 생체중에서의 경향은 지상부와 지하부의 생체중을 합산한 전체 생체중의 경우에도 거의 동일한 경향을 보였다. 지하부 생체중이 지상부 생체중에 비해 상대적으로 매우 작은 값을 가지기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 3.18은 투영면적과 생체중의 관계를, Fig. 3.19 ~ Fig. 3.20은 1차 및 2차 예측방정식에 의한 전체 생체중의 예측결과를 나타낸다.

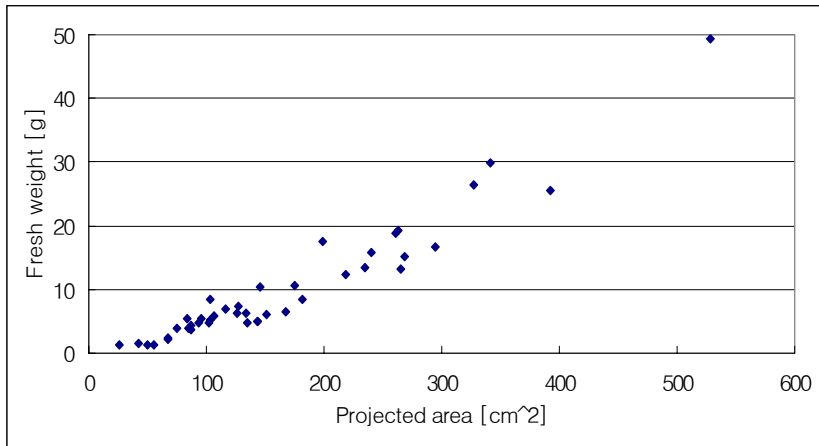


Fig. 3.18 Relation between fresh weight and projected area of lettuce plants

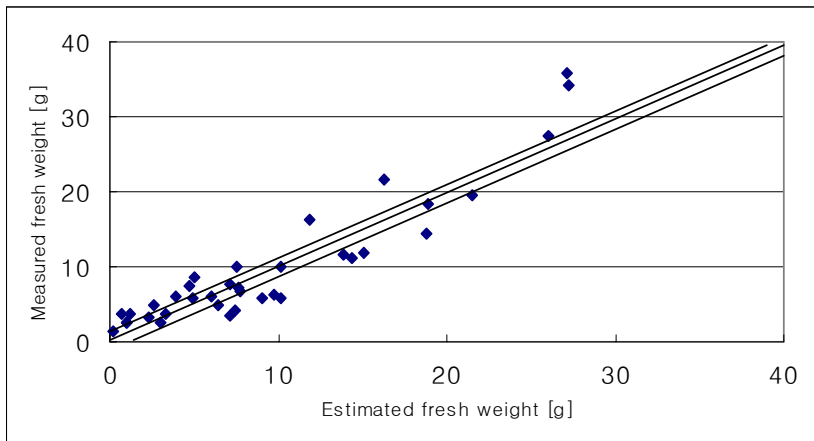


Fig. 3.19 Prediction error for fresh weight of lettuce using simple prediction equation.

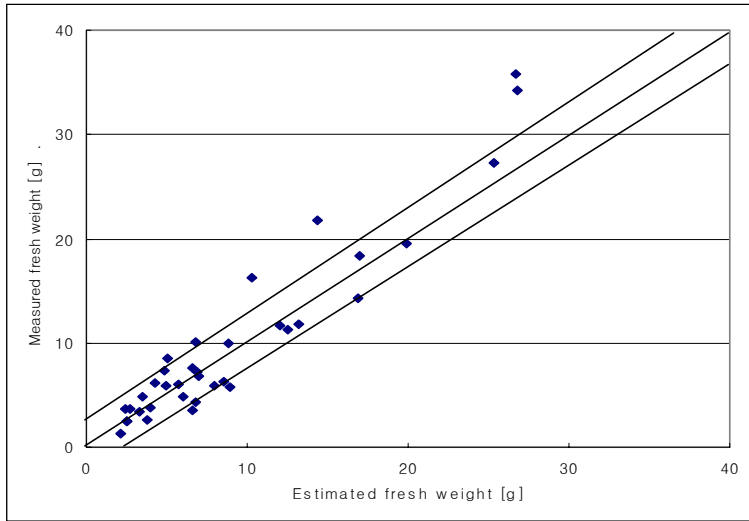


Fig. 3.20 Prediction error for fresh weight of lettuce using quadratic prediction equation

전체 생체중의 1차 예측방정식에 대한 결정계수, R^2 는 0.914 이었으며 평균 예측오차는 2.48 g이었다. 반면에, 2차 예측방정식은 다음과 같이 분석되었는데, 평균 예측오차는 2.06 g으로 1차 예측모델보다는 평균 예측오차는 작았다.

다) 지상부 건물중

Fig. 3.21은 상추의 투영면적과 지상부 건물중(D)의 관계를 나타내며, 예측방정식을 다음과 같다.

지상부 건물중(D)의 1차 예측방정식 :

$$D = 0.0049 \times \text{투영면적} - 0.1444 \quad (R^2 = 0.904)$$

지상부 건물중(D)의 2차 예측방정식 :

$$D = 0.5492 \times 10^{-6} \times \text{투영면적}^2 + 0.0024 \times \text{투영면적} + 0.0677 \quad (R^2 = 0.927)$$

36주의 상추를 대상으로 한 지상부 건물중에 대한 1차 및 2차 예측모델식에 의한 평균 예측오차는 각각 0.144 g 및 0.142 g으로 거의 같은 수준을 나타냈다.

건물중은 생체중에서 수분을 제거한 상태의 중량이므로 수분을 제외한 여러 가지 성분들에 대한 중량을 말해주는 것이다. 따라서, 학문적인 연구를 위해 건

물중은 중요하다고 할 수 있다.

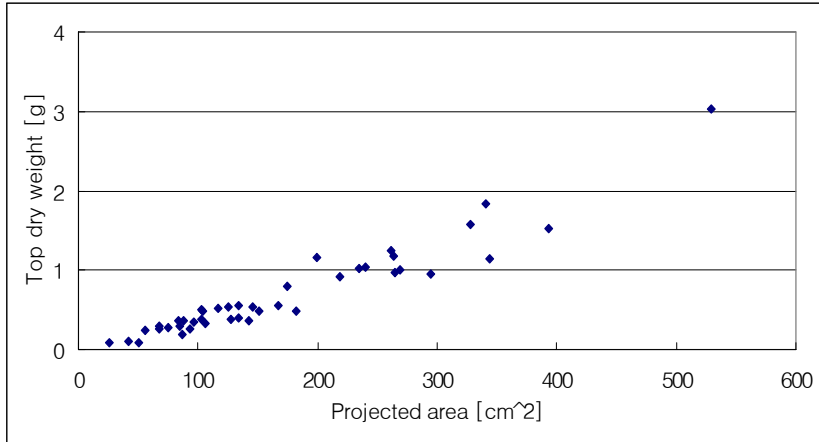


Fig. 3.21 Relation between top dry weights and projected area of lettuce plants

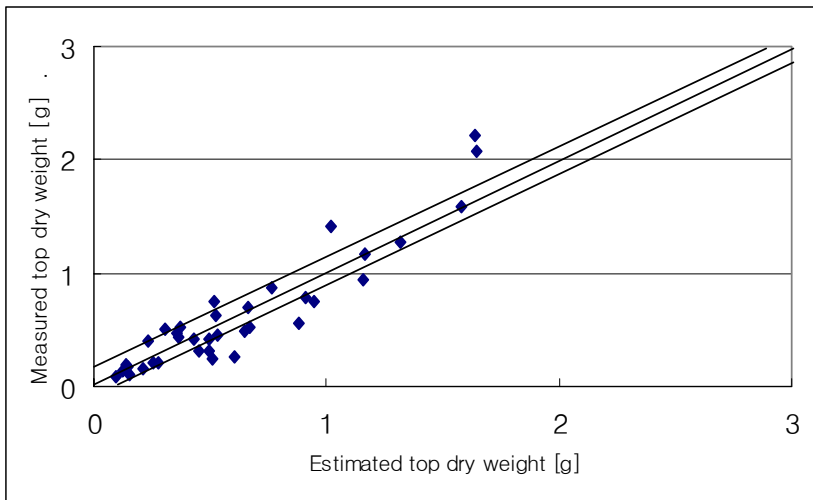


Fig. 3.22 Prediction error for top dry weight of lettuces using simple prediction equation

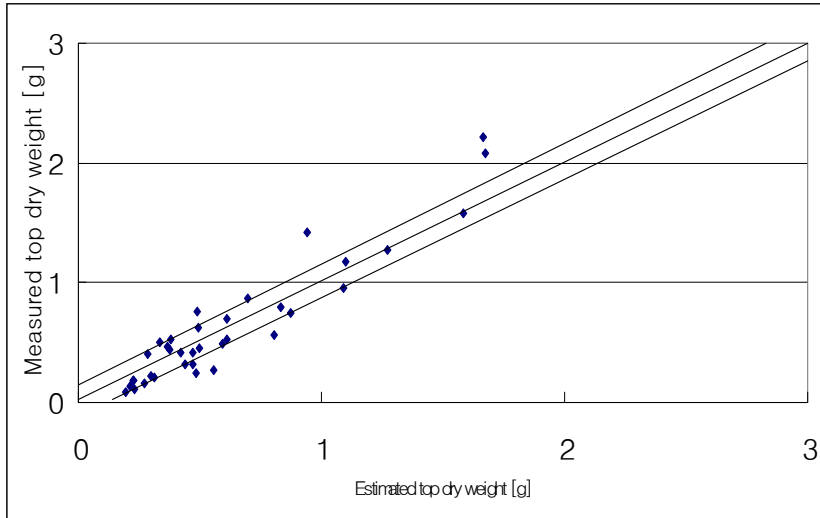


Fig. 3.23 Prediction error for top dry weight of lettuce using quadratic prediction equation

라) 전체 건물중

상추 전체에 대한 건물중과 영상분석으로 산출한 단면적간의 관계는 Fig. 3.24에서 같았다. 그리고 예측 모델식 구한 결과, 다음과 같았다.

전체 건물중(T)의 1차 예측방정식 :

$$T = 0.0054 \times \text{투영면적} - 0.1140 \quad (R^2 = 0.914)$$

지상부 건물중(T)의 2차 예측방정식 :

$$T = 0.5004 \times 10^{-6} \times \text{투영면적}^2 + 0.0031 \times \text{투영면적} + 0.0792 \quad (R^2 = 0.930)$$

Fig. 3.25와 Fig. 3.26은 각각 1차 예측방정식 및 2차 예측방정식을 검증한 결과로서 예측 오차를 보여준다. 1차 예측 모델식에 대한 건물중의 평균 예측오차는 0.195 g으로, 2차 예측식에 대한 평균 예측오차는 0.193 g으로 나타났다.

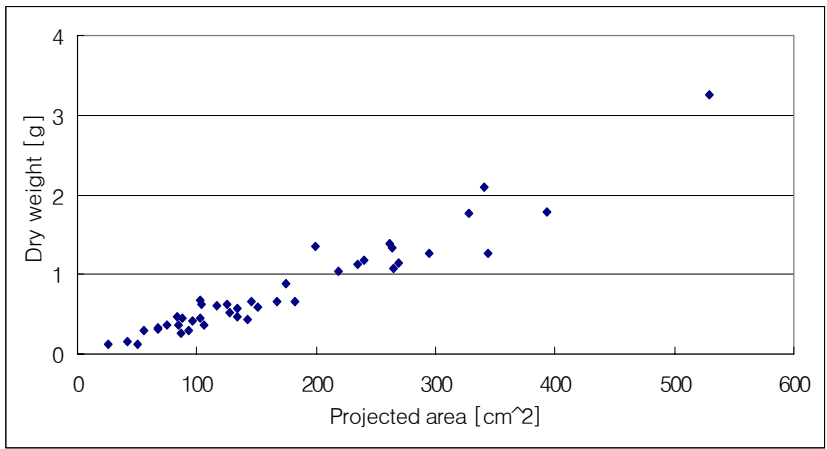


Fig. 3.24 Relation between dry weight and projected area of lettuce plants

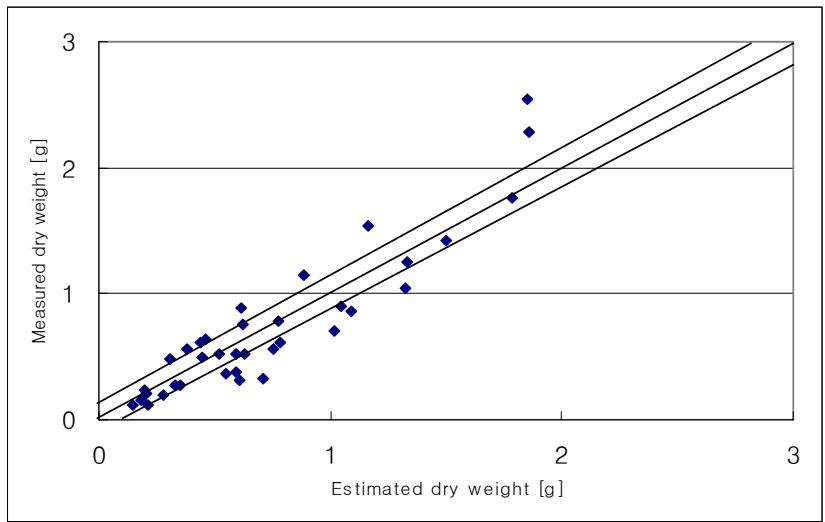


Fig. 3.25 Prediction error for dry weights using simple prediction equation

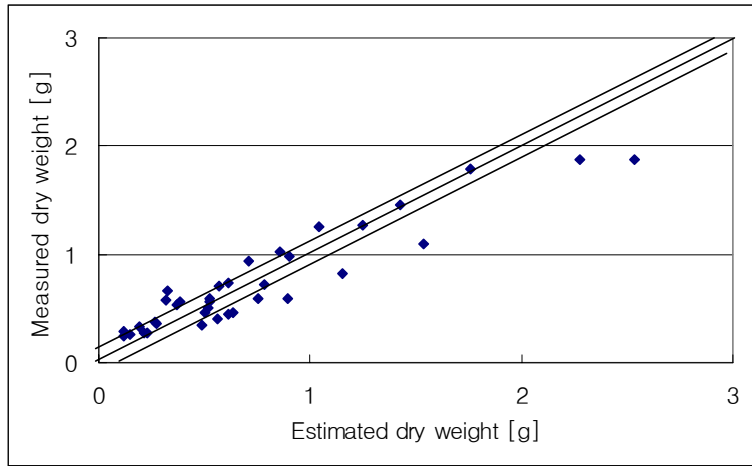


Fig. 3.26 Prediction error for dry weights using quadratic prediction equation

지하부를 포함한 전체 상추에 대한 건물중은 지상부만의 건물중에 비해 평균 예측오차가 컸다. 이는 지하부 건물중은 지상부 상추에 대한 투영면적과는 무관하기 때문인 것으로 사료된다. 이러한 현상은 지하부를 포함하는 상추 생체중의 경우에도 동일하였다.

이상의 결과를 표로 요약하면 Table 3.7과 같다. 예측모델식 개발에는 42주의 상추가, 예측오차 분석에는 36주의 상추가 표본으로 사용되었다.

지상부 생체중, 생체중(지상부 + 지하부), 지상부 건물중, 건물중(지상부 + 지하부)에 대한 1차 및 2차 예측모델식과 R^2 값, 그리고 이들 추정모델에 대한 예측 오차 및 예측에 사용한 상추 시료의 실제 범위 등을 보여준다. 전체적으로 보아 1차 예측모델식 보다는 2차 예측모델식의 결정계수가 우수하고 예측오차도 작았다. 그러나, 예측결과를 나타내는 그림들에서 알 수 있듯이 중량이 작은 범위에서보다 큰 값일 때 예측오차가 크게 나타났다. 이는 상추 군락에서 성장일수가 커질수록 상추 개체간에 서로 겹치는 영역이 증가하지만, 영상 분석에서는

이들 개체 상추마다 AOI를 지정하고 개별적으로 투영면적을 분석하였기 때문이다. 즉, 상추의 실제 중량은 이웃하는 상추와 겹치는 것에 관계없이 측정되었

지만 영상 분석에 있어서는 겹친 상태에서 상추에 속하는 화소수를 조사하여 투영면적을 계산하였기 때문에 겹친 부분이 증가할수록 개체에 대한 정확한 투영면적을 얻을 수 없게 된다.

Table 3.7 Results of simple and quadratic prediction equations for lettuce weights by projected area

Lettuce weight (Y)	Simple and Quadratic prediction equations	R^2 (n=42)	Prediction error [g]	Range [†] [g] (n=36)
Top fresh weight	$Y=0.0761 \times PA - 3.7542$	0.8942	2.225	31.85
	$Y=0.0001 \times PA^2 + 0.0288 \times PA + 0.1699$	0.9277	1.8813	~ 1.000
Fresh weight of lettuce	$Y=0.0854 \times PA - 3.984$	0.9141	2.484	35.75
	$Y=0.0001 \times PA^2 + 0.0365 \times PA + 0.0871$	0.9450	2.0643	~ 1.287
Top dry weight	$Y=0.0049 \times PA - 0.1444$	0.9040	0.1435	2.21
	$Y=0.5492 \times 10^{-6} \times PA^2 + 0.0024 \times PA + 0.0677$	0.9276	0.1424	~ 0.087
Dry weight of lettuce	$Y=0.0054 \times PA - 0.1140$	0.9145	0.1954	2.53
	$Y=0.5004 \times 10^{-6} \times PA^2 + 0.0031 \times PA + 0.0792$	0.9309	0.1932	~ 0.115

Note) PA : Projected area [cm^2]

n : No. of sample [plant]

† : Range of data set used for verification of the developed simple and quadratic prediction equations.

따라서, 상추가 서로 겹치기 시작하면, 개체 상추를 대상으로 각각의 상추 중량을 예측하는 방법보다는 몇 주로 구성되는 상추 군락의 전체에 대한 중량과 투영면적에 의한 관계를 바탕으로 예측방정식을 개발하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

2) 토마토 과일의 중량 예측 모델

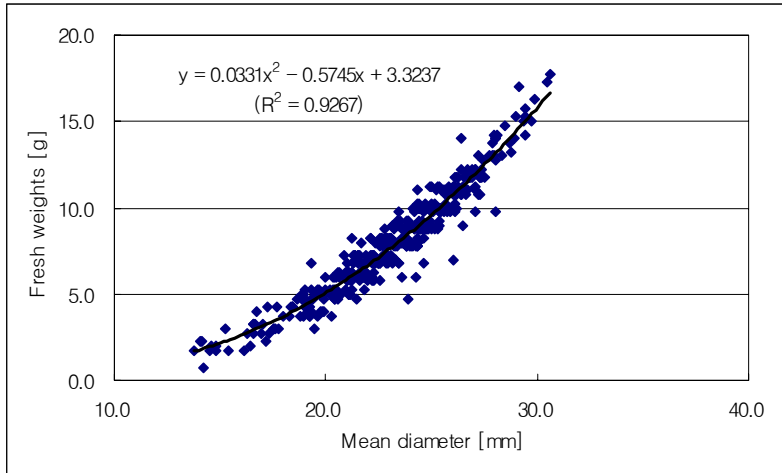
이 연구에서는 토마토 과일의 크기로부터 토마토의 중량을 예측할 수 있도록 하였다. 즉, 사용자가 토마토 과일의 장축의 두 지점과 단축의 두 지점을 지정하면 토마토의 크기를 산출함과 동시에 중량 예측치를 함께 출력하도록 하였다. 이를 위해 표 3.8에서와 같이 토마토 중량 예측을 위한 실험을 수행하였으며 토마토의 지름과 중량 사이의 회귀식을 구하였다.

Table 3.8 Experimental method for estimating tomato fruit weight using two diameters measured by image analysis

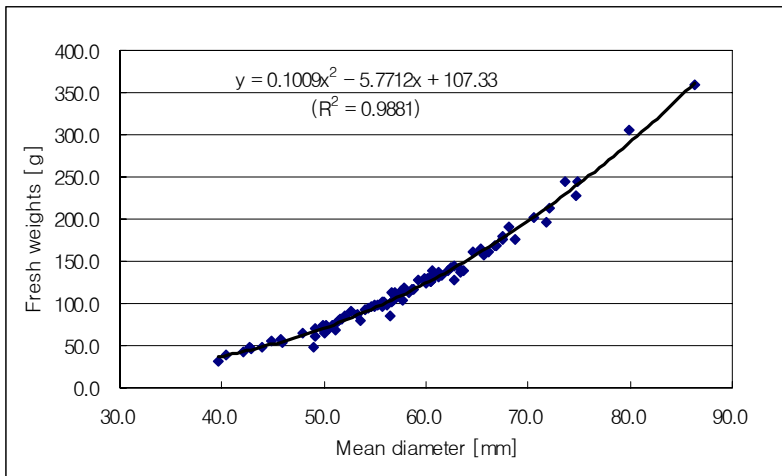
항 목	실험내용 및 방법
대상시료	개발용 : 방울토마토(413개), 과일토마토(91개)
	검증용 : 방울토마토(206개), 과일토마토(46개)
실험내용	<ol style="list-style-type: none"> ① 토마토 작물영상 획득 색채 카메라를 이용하여 온실 내 토마토 작물에 대한 영상을 획득함. ② 기하학적 측도 설정 측도봉을 이용한 기하학적 측도 설정을 수행함. ③ 토마토 과일의 지름(2 개) 지정 마우스를 이용하여 대상 토마토 과일의 지름에 해당하는 두 지점을 지정함. 그리고 다시 또 다른 지름에 해당하는 두 지점을 지정함. ④ 과일이 중량 실측 해당 토마토 과일을 수확하고 전자저울을 이용하여 중량을 실측함. ⑤ 반복수행 ①~④의 과정을 충분한 횟수만큼 반복 수행함. ⑥ 회귀분석 각 시료 토마토마다 두 개 지름의 평균값을 계산함. 평균 지름과 실측 중량간의 회귀분석을 수행하고, 토마토 과일의 중량 예측식을 개발함.

그림 3.27은 평균지름에 의한 토마토 과일 중량의 예측 결과인데, 방울토마토

및 과일토마토로 구분하여 개발한 회귀식을 보여주고 있다.



(a) 방울토마토



(b) 과일토마토

Fig. 3.26 Sample images for measuring weight and size of tomatoes

회귀식 개발에 사용된 대상 토마토의 평균중량은 방울토마토가 8.0 g (범위 : 0.8 ~ 18.0 g), 과일토마토가 118.6 g(범위 : 31.8 ~ 358.8 g)이었다. 이에 대해, 영상 계측한 토마토의 평균 지름은 방울토마토가 23.1 mm (범위 : 13.8 ~ 30.6 mm), 과일토마토가 57.9 mm (범위 : 39.6 ~ 86.4 mm)이었다.

다음은 방울토마토와 과일토마토에 대한 평균 지름(X)에 의한 중량(W) 예측식을 나타낸다.

$$\text{방울토마토 : } W = 0.0331 X^2 - 0.5745 X + 3.3237 \quad (R^2 = 0.9267)$$

$$\text{과일토마토 : } W = 0.1009 X^2 - 5.7712 X + 107.33 \quad (R^2 = 0.9881)$$

여기서, W : 토마토 과일의 중량 [g]

X : 토마토 과일의 평균 지름 [mm]

상기 중량 예측식의 개발을 위해 사용된 토마토 시료의 개수의 절반정도의 방울토마토(206개)와 과일토마토(46개)를 이용하여 검증 실험을 수행하고, 예측식에 의한 추정값과 영상계측값 사이의 오차를 계산하였다. 이 때, 검증용 시료의 평균중량은 각각 8.01 g 및 121.1 g이었다. 검증한 결과, 평균 오차는 방울토마토의 경우 0.58 g, 과일토마토의 경우 5.4 g로 나타났으며 비교적 정확한 중량 예측이 가능함을 알 수 있었다.

마. 작물의 생육상태 진단 기법 개발

1) 상추의 건강성 분석

상추의 건강성은 엽색, 형상 및 초세, 병충해 유무 등으로 판단할 수 있다. 이 연구에서는 농민 및 전문가에 의해 상추의 건강성을 기준으로 1등급 16주와 2등급 16주를 육안 분류한 후, 각각에 대한 영상으로부터 두 등급간의 색지 할당분포의 특성을 분석함으로써 컴퓨터 시각 시스템에 의한 상추의 건강성 판단 가능성을 구명하고자 하였다. Fig. 3.27은 1등급 상추(원으로 표시)와 2등급 상추(사각형으로 표시)에 대한 영상의 예이다.

다양한 색채값을 가지는 상추의 엽색을 측도봉에 부착된 100종의 색지로 할당한 후, 색지별 할당빈도율을 이용하여 다음과 같이 상추의 엽색 및 건강성을 분석하였다.

100종의 색지 중 26주의 상추에 의해 한 번도 할당되지 않는 색지가 72종이었다. 따라서, 28개의 색지를 대상으로 1등급 상추와 2등급 상추간의 색지별 할당 비율을 비교, 분석하였는데, Fig. 3.28에서 보는 바와 같이 두 그룹간에 상이한

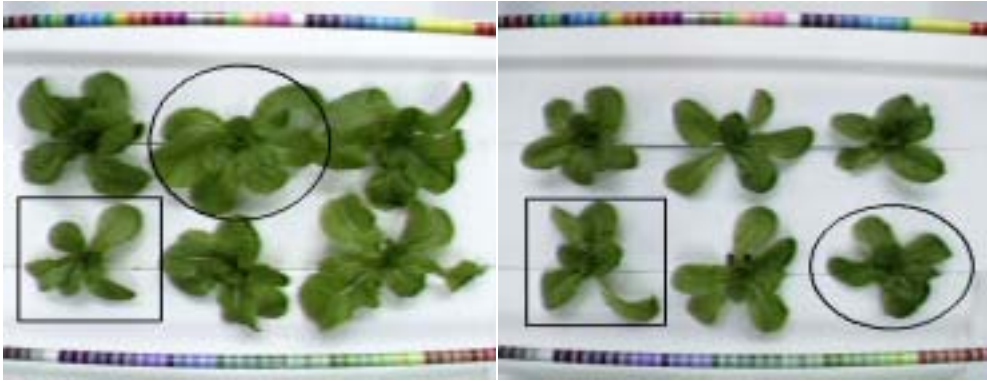


Fig. 3.27 Example images of 1st class (in circle) and 2nd class (in rectangle)

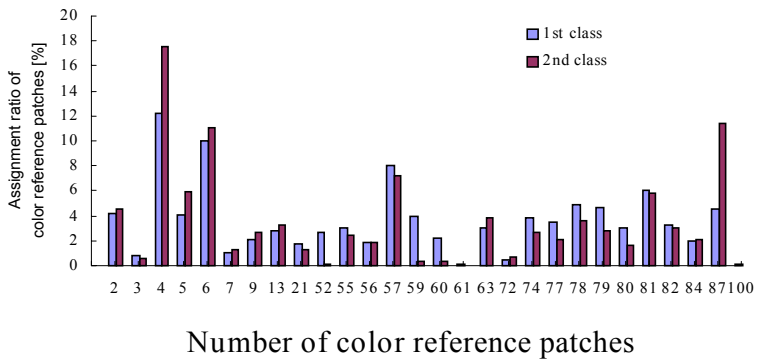


Fig. 3.28 Examples of comparison for assignment histogram of color reference pallets between 1st class and 2nd class lettuces

분포 특성을 나타냈다.

이러한 특성을 바탕으로 26(13주×2그룹) 상추에 대한 2반복 영상 중에서 첫 번째 반복 시료 26주를 대상으로 하여 분석한 상추의 건강성 판정을 위한 판별식을 구하였다. SAS의 PROC STEPDISC(Backward)에 의해 p=0.15수준에서 통계적으로 유의한 색지를 선정한 후, PROC DISCRIM에 의해 각 색지에 대한 계수들(a_i)을 구한 결과는 표 3.9와 같다.

첫 번째 반복 시료에 의해 구한 건강성 판별식을 검증하기 위해 두 번째 반복 시료 26주에 대한 영상을 사용하였다. 그 결과, 표 3.10과 같이 26주 중 5주에서 판별 오류를 보였고 21주에 대해서는 육안에 의한 상추의 건강성 판정 결과와 부합하였다. 전문가에 의한 상추의 건강성 판정이 엽색 뿐만 아니라 형상이나 영양상태 등을 이용한다는 점을 고려하면, 80.8%는 높은 성공률이라고 사료된다.

Table 3.9 Discrimination equations developed by PROC DISCRIM of SAS for classifying into 1st class and 2nd class of lettuces

Discrimination eq. : $Y = \sum_{i=1}^{i=16} a_i X_n + a_0$		
$X_n^{\text{¶}}$	a_i for 1st class	a_i for 2nd class
X3	0.60814	0.52913
X5	0.39841	0.34813
X7	0.72489	0.62939
X9	0.3555	0.30536
X13	1.25337	1.05624
X21	0.02131	0.14567
X52	-1.83167	-1.0342
X55	4.3675	3.76029
X56	0.52187	0.32088
X59	6.15758	5.356
X77	4.59953	3.88604
X78	-6.61485	-5.98236
X80	0.69985	0.94728
X81	0.94693	0.5406
X82	-0.40029	-0.78997
X84	1.61805	1.31773
a_0	-22.47554	-16.66667

¶ Subscript, n means the number of color reference pallets used in this experiment.

2) 상추의 엽록소 함량 추정

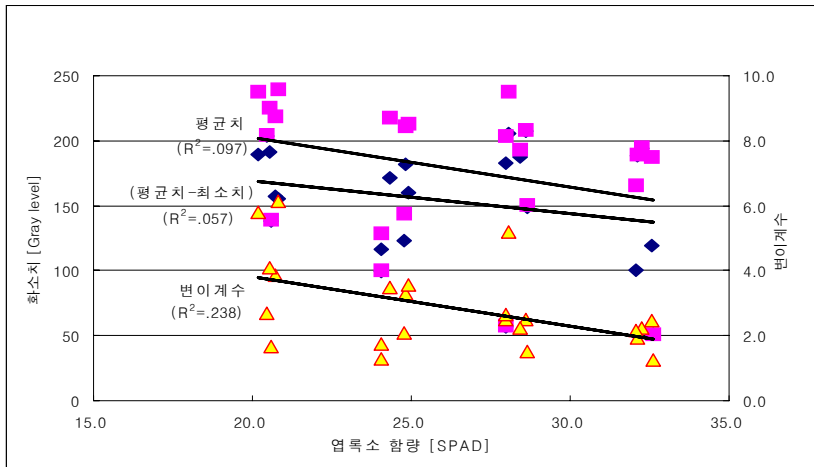
영상분석에 의한 엽록소 함량 추정 방법을 모색하기 위해, 작물이 함유한 엽록소를 측정하고 엽록소에 따른 엽색과의 상관관계를 분석하였다. 현장에서는 많이 사용하고 있는 간이 엽록소계를 이용하여 엽록소 함량(SPAD)을 측정하고 엽록소 함량 추정 모델 개발을 위한 기준 데이터로 사용하였다.

Table 3.10 Results for classification of the health into two groups according to leaf color of lettuces

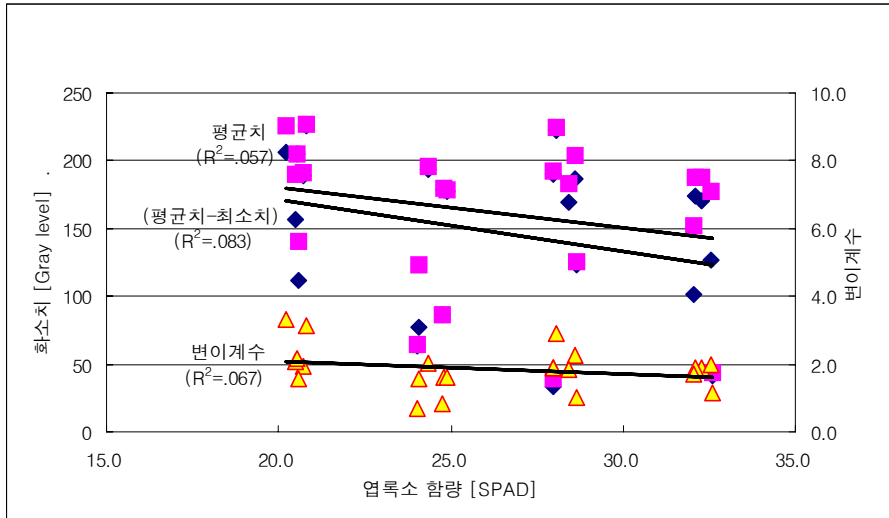
		By the machine vision	
		1st class	2nd class
By farmer	1st class	10 plants	3 plants
	2nd class	2 plants	11 plants
Summary		Correctly classified: 21 /26 = 80.8%	

이 연구에서는 각종 광학필터(550nm, 670nm, 760nm, 850nm, 920nm)를 저조도용 흑백카메라(NIR 카메라)에 부착하여 필터영상을 얻었다. 그리고 필터 작물 영상에 대한 필터별 평균 화소치 및 표준편차, 변이계수, (평균-최소) 화소치 등을 분석하였다. 여기서 (평균-최소) 화소치는 각 필터영상의 화소치 범위가 다르기 때문에 이를 보정하고자 이용하였다.

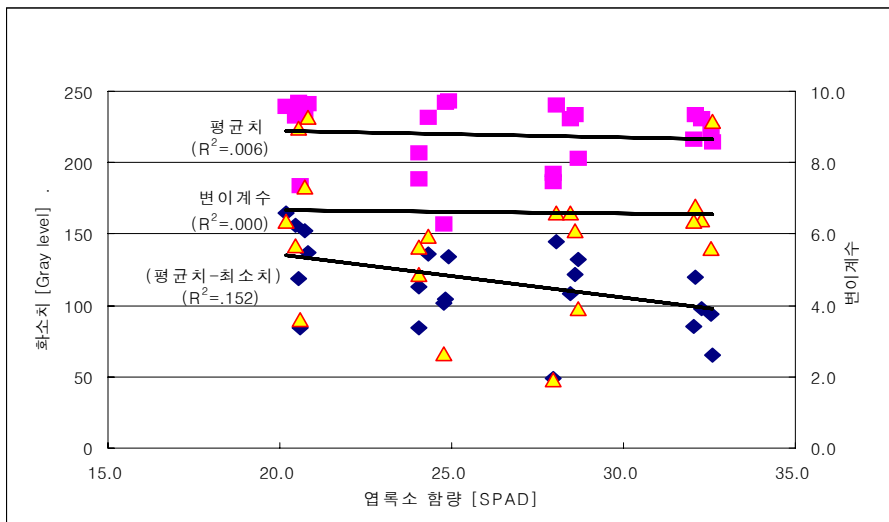
그림 3.29는 상기 인자들의 분포, 추세선 및 상관계수를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 엽록소 함량이 증가할수록 각 필터영상의 평균화소치 그리고 (평균치 - 최소치)는 감소하는 경향을 보였으나 통계적인 상관관계는 매우 낮았다. 따라서, 이 연구에서는 영상인자에 의한 엽록소 함량을 추정하는 것은 매우 어렵다고 판단하고, 엽록소 함량이 22 SPAD보다 낮은 작물과 30 SPAD보다 높은 작물을 대상으로 이를 구분할 수 있는지를 분석해보았다.



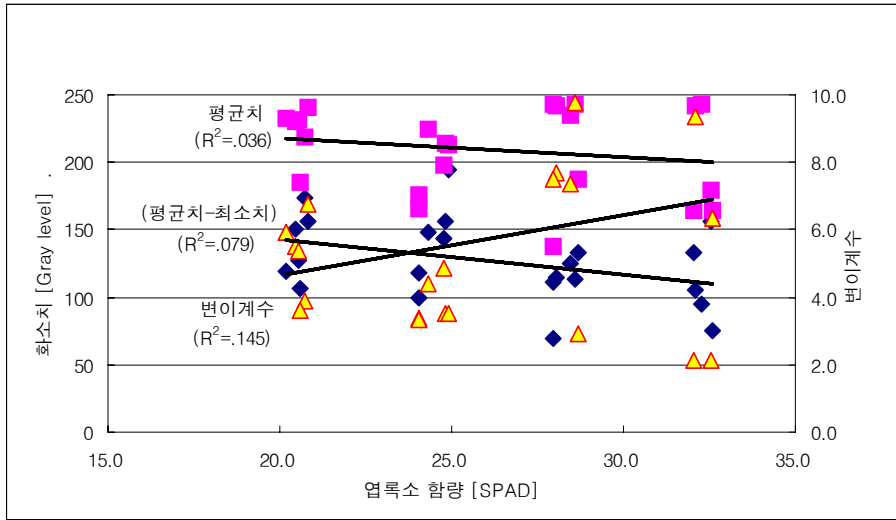
(a) 550 nm 필터영상



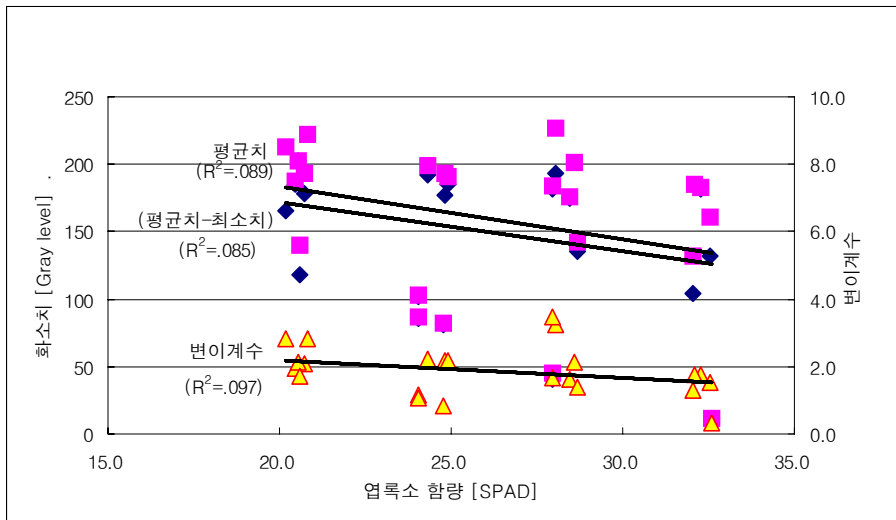
(b) 670 nm 필터영상



(c) 760 nm 필터영상



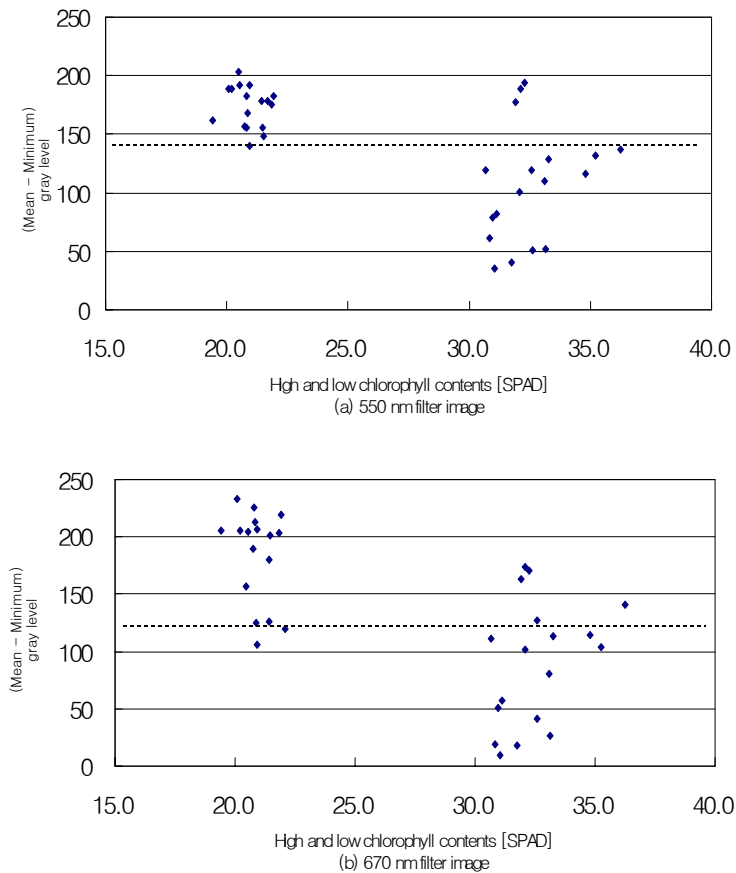
(d) 850 nm 필터영상



(e) 920 nm 필터영상

Fig. 3.29 Distributions of values and determination coefficients between chlorophyll contents and image parameters

그림 3.30은 두 그룹의 엽록소 함량에 대한 필터별 (평균-최소) 화소치 분포를 나타낸다. 그림에서 일정한 수준의 화소치(y 축)을 기준으로 수평선을 그릴 때 엽록소 함량이 작은 그룹은 위쪽에, 엽록소 함량이 높은 그룹은 아래쪽에 분포하는지를 알아보았다. 그 결과, 표 3.10에서와 같이 550 nm, 670 nm 및 920 nm에 대한 결과가 760 nm 및 850 nm 보다는 비교적 우수한 분리능력을 보였다



· Fig. 3.30 Distribution of (mean - minimum) gray level for filter images of lettuces having low and high SPAD values

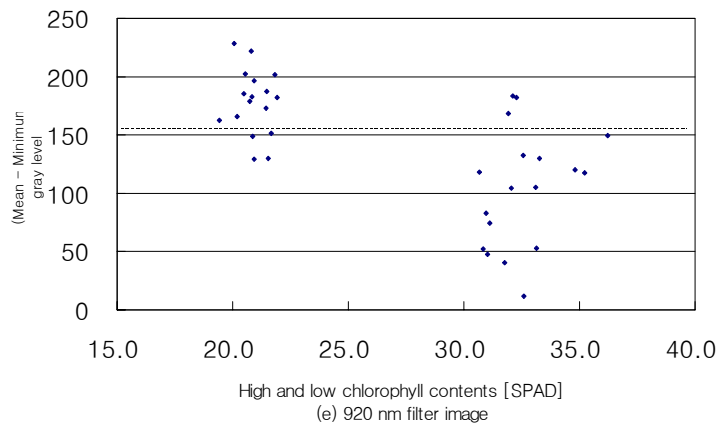
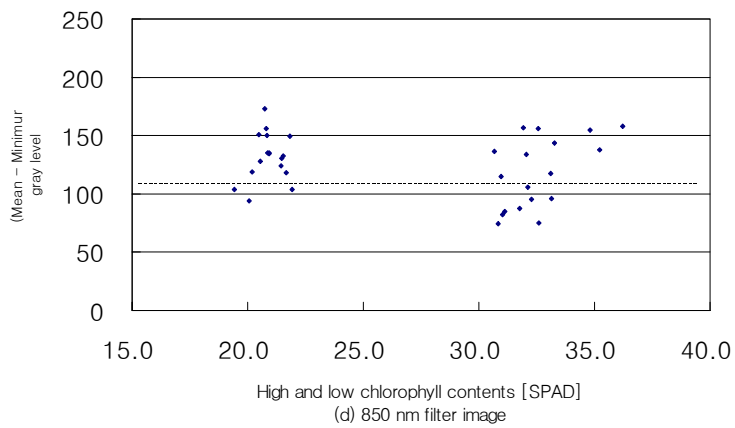
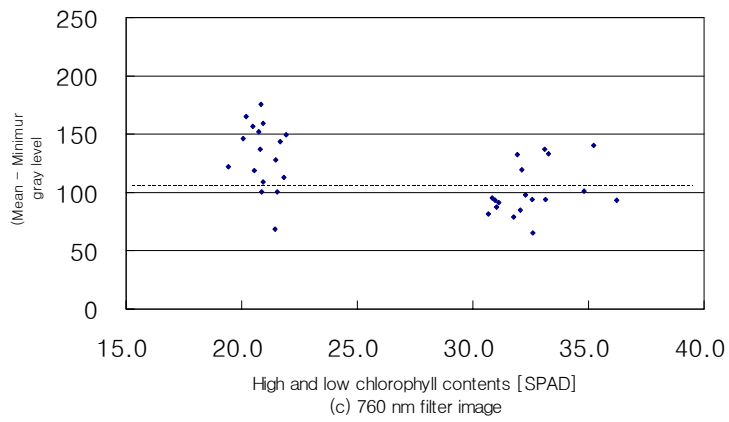


Fig. 3.30 (Continued)

두 그룹의 상추가 해당 구분영역에 최대한 속하도록 기준 화소치를 결정함으로써 최대 분리도를 계산한 결과는 다음과 같았다. 550 nm 필터영상에서는 기준 화소치를 140으로 할 때 분리도는 $(16+15)/35 = 0.89$ 이었고 670nm 필터영상에서는 125 화소치를 기준으로 할 때 $(15+13)/35 = 0.80$ 의 분리도를 보였으며 920 nm 필터영상에서는 150 화소치를 기준으로 분리도는 $(14+15)/35 = 0.83$ 이었다.

Table 3.10 Results of separation ratio in using manually determined gray levels for low SPAD group and high SPAD group

Filter type	Gray levels of separation line	Correctly separated		Separation ratio
		Low value group	High value group	
550 nm	140	16 / 17	15 / 18	0.89
670 nm	125	15 / 17	13 / 18	0.80
760 nm	105	14 / 17	13 / 18	0.77
850 nm	115	14 / 17	8 / 18	0.63
920 nm	151	14 / 17	15 / 18	0.83

550 nm와 670 nm는 엽록소의 반사과장과 흡수과장의 범위에 속하는 가시광 영역이다. 그러나, 920 nm는 근적외선 영역으로서 광학필터를 카메라에 부착하여 사용하기 위해서는 충분한 광량을 필요로 하며 정밀한 카메라 조작이 요구되는 단점이 있다.

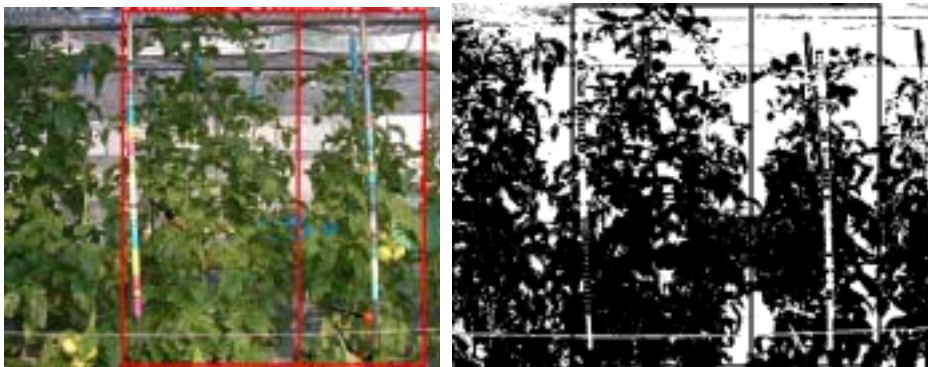
22 SPAD 이하와 30 SPAD 이상의 두 그룹으로 구분할 때, 550 nm에서 우수한 분리성능을 보였다. 그럼에도 불구하고 엽록소 함량과 영상인자간의 만족할 만한 상관관계를 얻지 못하였으며, 차후에는 필터영상간 화소치 비(ratio)와 차이(difference)를 인자로 한 통계적 분석이나 인공지능기법에 의한 분석을 시도하는 것이 필요할 것이다.

3) 토마토의 병해 진단

이 연구에서는 정상적인 토마토 작물에 대한 영상과 잎마름병이 감염된 잎을 추출할 수 있음을 보여 줌으로써 작물영상을 이용하여 병해 상태를 분석하는데 기초자료를 제공하고자 실험하였다.

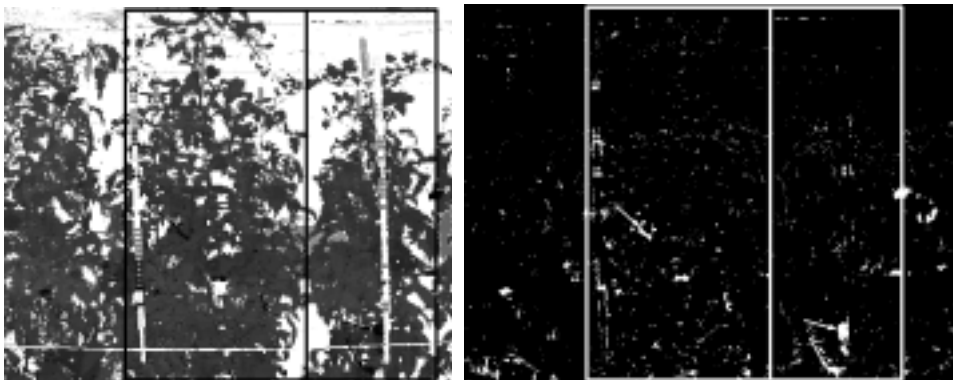
온실 현장에서는 작물에 병충해를 의도적으로 유발시키는 것은 거의 불가능하다. 본 연구에서는 잎마름병에 감염된 토마토 작물을 우연히 얻을 수 있었는데, 의도적이지는 않았지만 외기 온도가 높고 비오는 날이 많았던 2002년 여름에 환기가 제대로 되지 않은 유리온실내 조건에 의해 발생된 것으로 사료되었다.

일반적인 토마토 작물영상은 그림 3.31에서 보는 바와 같았다. 영상에서 대상이 되는 토마토 작물은 2주이며, 분석영역은 각각 일정한 형태의 사각형으로 이루어진다.



(a) A tomato RGB image

(b) Binarized saturation image for extracting background image (gray value < 50)



(c) Segmented hue image by OR operation to Fig. 3.31(b)

(d) Binary image for Fig. 3.31(c) (gray level < 35)

Fig. 3.31 A tomato plant image and the processed images for detecting projected plant area and red tomato fruits

그림 3.31(a)은 RGB 색채영상인데 영상처리를 위해 Lab 색채좌표계로 전환하였다. 그림에서 사각형 부분은 각 작물의 분석영역을, 화살표는 적숙과 토마토를 나타낸다. 그림 3.31(b)는 Lab 색채영상의 b 프레임에 대한 영상을 이치화한 결과이며 배경부분을 제거하는데 이용되었다. 그림 3.31(c)는 그림 3.31(b)와 RGB 영상의 G 프레임을 AND 연산자를 이용하여 연산한 결과이며, 배경이 제거됨과 함께 토마토 과일은 낮은 화소치를 가지고 있다. 그러나 그림 3.31(c)를 이치화하여 얻은 그림 3.31(d)에서는 화살표로 표시된 토마토 과일을 명확하게 나타내는데는 어려움이 있음을 알 수 있다. 이는 토마토가 수확기 초기단계이기 때문에 토마토 과일은 아직 착색이 되지 않았을 뿐만 아니라 대부분이 잎에 가려져 있었기 때문으로 사료된다.

한편, 그림 3.32(a)는 수확기 중기단계에 있는 토마토 작물의 예를 보여주는데 착색과가 많고 잎의 수가 감소하였을 뿐만 아니라 일부 잎이 잎마름병에 감염된 상태에 있다. 그림 3.32(b)는 토마토 RGB 영상을 HSI 영상좌표계로 변환한 후 Hue 프레임에 대해 이치화를 수행한 결과인데, 착색된 토마토 과일(White objects in the image)을 추출하는데 적합하였다. 그림 3.32(c)는 잎마름병에 감염된 잎 부분만을 추출한 예이



(a) An RGB image of tomato fruits and disease leaves



(b) Binarized hue frame for red tomato fruits(gray level \leq 21)



(c) Binarized hue frame for disease leaves ($21 < \text{gray level} < 45$)

Fig. 3.32 A tomato RGB image and the processed images for extracting fruits and disease leaves

다. 이 영상은 토마토 색채영상 중 Hue 프레임에 대해 2개의 문턱값을 이용하여 병해 부분(Black objects in the image)만을 추출할 수 있음을 보여준다.

이상의 결과를 이용하여 이 연구에서는 토마토 과일과 잎마름병해 잎을 추출하기 위한 알고리즘을 다음과 같이 제시하였다.

- ① Acquisition of RGB plant image
- ② Conversion of RGB image to HSI image or Lab image
- ③ Extracting background using the binarized S frame or b frame image
- ④ Binarization of H frame for extracting red tomato fruits using one threshold value
- ⑤ Binarization of H frame for extracting disease leave using two threshold values

한편, 다음과 같이 시계열 토마토 작물영상을 이용하여 잎마름병이 진행되는 과정에서 획득한 영상을 비교, 분석하였다. 여기에서 예로 든 대상 토마토 작물은 2주로 하였으며 발병일 전에서부터 병해가 뚜렷해지는 14일 동안 4회에 걸쳐 획득한 작물영상을 분석하였다. 그림 3.33은 대상으로 한 토마토 작물의 RGB 영상을, 그림 3.34는 작물영역만을 추출한 결과 영상이며 그림 3.35는 병해 영역만을 추출한 결과 영상으로서, 일자 순으로 나타낸 것이다. 작물영역의 추출은 RGB 영상을 HSI 영상으로 변환한 후 S 프레임으로부터 얻었으며, 병해영역은 H 프레임으로부터 추출하였다. 참고로, 작물영역의 추출을 위해 Lab 영상의 b 영상과 RGB 영상의 G 영상을 AND 연산을 수행하여도 가능하였다.

7월 3일에 촬영할 당시에는 토마토에 병해가 없었다. 따라서, 그림 3.35(a)에서 병해가 해당하는 화소가 보이지만 영상영역화가 잘 이루어지지 않음으로써 생기는 잡음 영역이라고 볼 수 있다.

그리고 작물영상에서 분석영역의 면적을 100%로 할 때, 작물영역과 병해영역의 면적이 차지하는 비율을 분석하였다. 작물 분석영역은 사용자가 미리 설정한 사각형 형태의 영역으로 하였고, 작물영역 및 병해영역은 각각에 대한 이치화 영상에서 화소치가 0인 모든 화소들의 빈도율로 계산된다.

그림 3.36은 일자별로 작물영역과 병해영역이 차지하는 면적비를 나타낸다. 그림에서 병해 면적비는 잎마름병에 감염된 정도를 나타내는데, 육안에 의해 추정하는 것에 비해 정량화가 가능하다는 장점이 있다. 재배일수가 증가함에 따라 작물영역의 면적비는 명확한 추세를 보이지는 않고 있는데 그 이유는 작물의 생육특성에 기인하거나 영상처리과정에서 영상영역화 수행 시 문턱값에 예민한 경우에 정확한 분석영역의 설정이 어려웠기 때문인 것으로 사료되었다. 이에 대해, 병해 면적은 뚜렷한 증가세를 보였다.



(a) July 3



(b) July 8



(c) July 10



(d) July 16

Fig. 3.33 Non-infected and infected tomato plants RGB images by days



(a) July 3



(b) July 8



(c) July 10

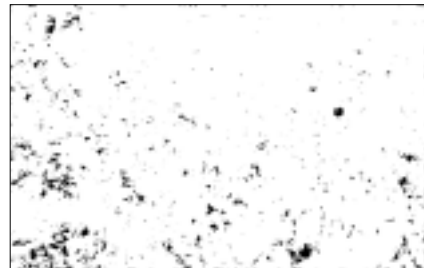


(d) July 16

Fig. 3.34 Projected area of plant by day for Fig. 3.33



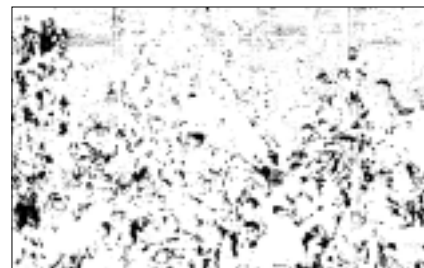
(a) July 3



(b) July 8

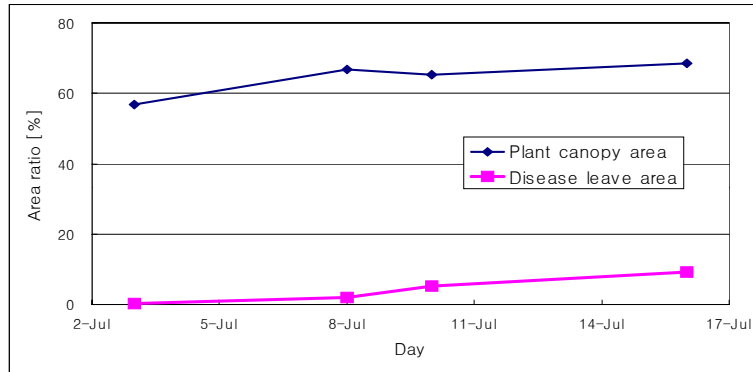


(c) July 10

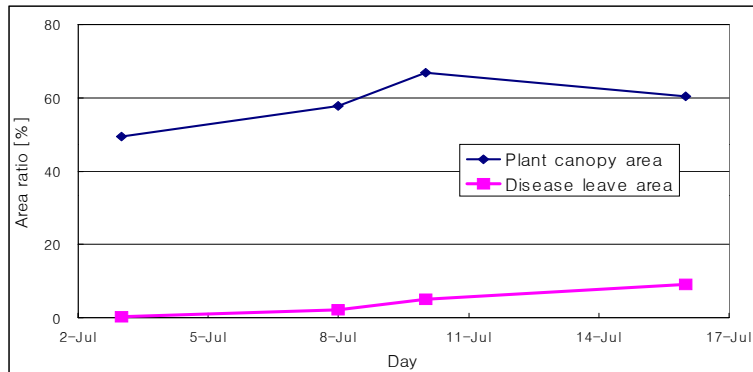


(d) July 16

Fig. 3.35 Infected tomato leaves images by day



(a) For left plant in Fig. 3.33



(b) For right plant in Fig. 3.33

Fig. 3.36 Area ratio of plant area and disease leaves area

이상은 작물영상을 대상으로 육안에 의해 영상영역화를 수행한 후 병해립을 찾고 피해정도를 분석하는 과정이었다. 이와 같이 사용자 개입에 의해 병해립을 분석하는 것은 실용성이 부족하기 때문에 이 연구에서는 측도봉의 기준색지를 이용한 방법을 개발하고자 하였다. 즉, 이 연구에서는 잎마름병에 의해 감염된 토마토 잎에 해당하는 기준색지를 탐색하고 탐색된 기준색지에 대한 토마토 영상의 할당 히스토그램을 이용하여 감염 정도를 분석하는 방법을 제시하였다.

먼저, 그림 3.35의 이치화 영상에서 감염 화소에 대응하는 색채 작물영상에서의 화소를 대상으로 색지 할당 히스토그램을 구하였다. 그림 3.37은 그림 3.33에 있는 토마토 작물에 대한 할당 히스토그램은 나타낸다.

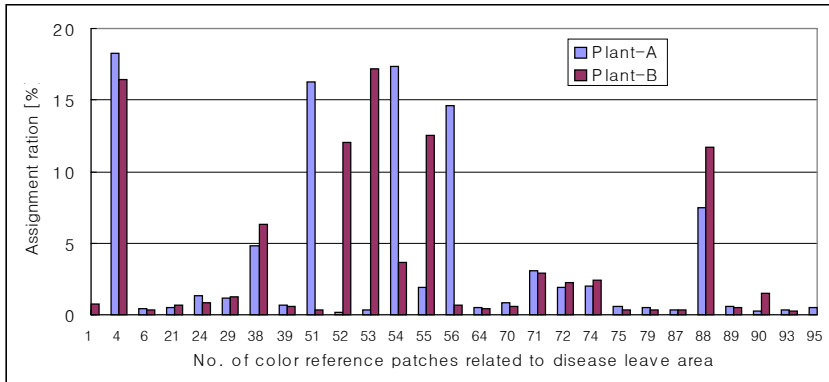
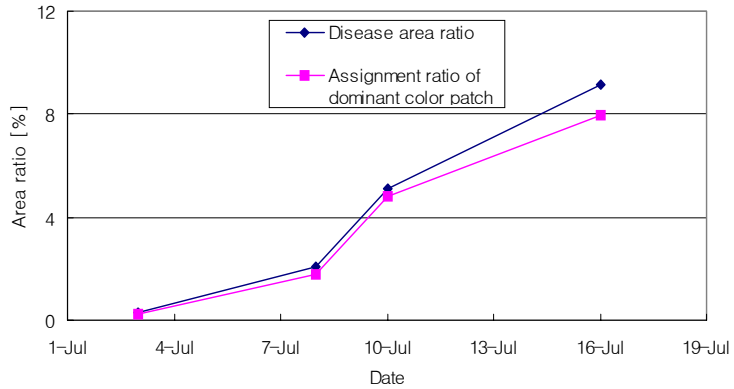


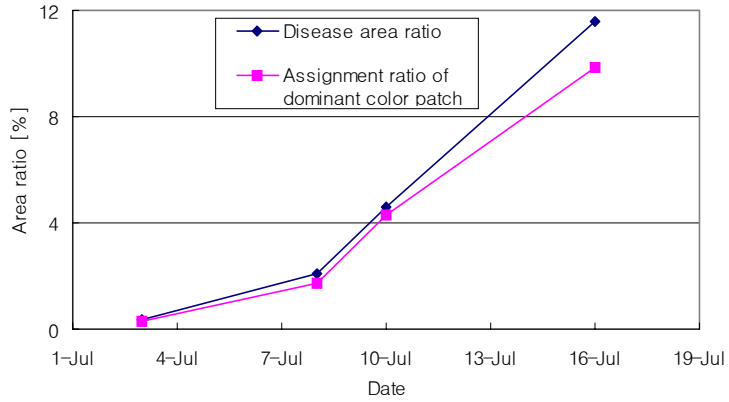
Fig. 3.37 An assignment histogram of color reference patches for pixels belonging to disease leaf area

그림 3.37과 같은 분포를 분석할 결과, 잎마름병에 감염된 영역의 화소가 주로 할당되는 기준색지의 번호는 #4, #24, #29, #38, #51, #54, #55, #56, #71 및 #72 등인 것으로 나타났다. 따라서, 이들 기준색지의 할당비율을 합한 값을 기준으로 토마토 작물영상으로부터 잎마름병 피해정도를 알아낼 수 있는지를 조사하였다.

그림 3.38은 토마토 작물의 잎마름병 감염영역이 작물 영역에서 차지하는 비율을 나타낸다. 그림에서 ◆로 표시된 곡선은 육안에 의한 영상분석을 통하여 얻은 값이며, ■로 표시된 곡선은 이 연구에서 개발한 측도봉의 기준색지를 이용하여 분석한 값이다. 서로가 매우 유사함을 알 수 있으며 육안에 의한 방법보다 기준색지를 이용한 영상분석의 결과값이 조금 낮게 나타나는 것은 잎마름병과 관련된 기준색지를 중요한 순서로 10개만 골라 그에 대한 할당비율을 더한 값을 이용하였기 때문이다.



(a) Tomato plant-A



(b) Tomato plant-B

Fig. 3.38 Comparison of using assignment ratio of color reference patches and the manual measurement in calculating disease area

결론적으로 잎마름병에 감염된 작물영상과 깊이 관계되는 기준색지를 고를 수 있었고, 그들에 대한 할당비율의 합계를 이용하여 병해를 진단하거나 감염정도를 파악할 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 잎마름병 진단에 국한되어 분석된 것이지만 지금까지의 실험 결과와 경험에 비추어 볼 때, 다른 원인에 의한 이상생육을 진단하는데 이 연구에서 개발한 측도봉을 이용하는 것이 가능할 것으로 사료되었다.

바. 결론

작물 생육상태 모니터링 시스템을 개발하기 위해 이미 생장정보 계측용 컴퓨터 시각장치를 구축하고 측도 설정을 위한 측도봉을 개발하였는데, 여기에서는 작물의 생육상태를 계측하기 위한 알고리즘과 작물의 생장정보를 분석하기 위한 모델을 개발하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

작물의 생육상태 계측을 위한 알고리즘으로서 작물영상의 전처리과정, 작물의 투영면적, 엽밀도, 세선화 형상 등을 분석할 수 있도록 개발하였다.

작물의 색채는 측도봉과 기준색지를 이용하여 분석하였으며, 토마토 작물의 초장과 거리, 가지의 방향 및 각도 등을 사용자가 직접 영상 계측할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 특히, 토마토 과일의 크기를 계측함과 동시에 토마토 과일의 중량을 추정할 수 있는 모델을 제시하였다.

온실 내에서 생육되는 토마토 작물의 구조를 분석하기 위한 방안으로 레이저 구조광 발생장치를 구입하고 저조도 상태에서 작물에 적용하였는데, 토마토 작물의 구조에 대한 포괄적인 의미에서 작물의 구조관련 영상인자를 분석하기 위한 영상처리 및 분석 알고리즘을 개발하였으며, 토마토 작물의 잎의 길이와 방향에 관한 분포를 얻을 수 있었다. 토마토 상단부의 구조를 분석하기 위한 영상처리 알고리즘을 제시하였으며, 이를 통하여 기하학적 특징을 분석할 수 있었다.

상추의 투영면적은 작물 중량과 밀접한 관계에 있었다. 이 연구에서는 상추의 중량 예측 모델을 개발하기 위해, 지상부 생체중, 전체 생체중, 지상부 건물중 및 전체 건물중을 실측하고 각각에 대한 중량 추정 모델식과 측정오차를 제시하였다.

토마토 과일의 평균 지름을 이용하여 중량을 예측하는 모델을 개발하였으며, 검증을 수행한 결과, 평균측정오차는 방울토마토가 0.58 g, 과일토마토는 5.4 g으로 나타났으며 비교적 정확한 중량 예측이 가능하였다.

상추의 엽색을 측도봉에 부착된 100종의 색지로 할당된 후, 색지별 할당비율을 이용하여 상추의 건강성을 분석하였다. 그 결과, 100종의 색지 중 26주의 상추에 의해 한 번 이상 할당된 색지는 28개였다. 이들 색지를 이용하여 1등급 상추와 2등급 상추간 색지별 할당비율을 비교 분석하였는데, 등급을 판정하기 위한 건강성 판별식을 개발하고 검증한 결과, 약 80%의 성공률을 보였다.

영상분석에 의한 엽록소 함량 추정 방법을 모색하기 위해, 간이 엽록소계를 이용하여 측정한 엽록소 함량(SPAD)을 기준으로 엽록소 함량 추정 모델을 개발하였다. 각종 광학필터(550nm, 670nm, 760nm, 850nm, 920nm)를 저조도용 흑백 카메라에 부착하여 획득한 필터영상으로부터 평균 화소치 및 표준편차, 변이계수, (평균-최소) 화소치 등을 분석한 결과, 통계적인 상관관계는 매우 낮았다. 따라서, 이 연구에서는 영상인자에 의한 엽록소 함량을 추정하는 것은 매우 어렵다고 판단하고, 엽록소 함량이 22 SPAD보다 낮은 작물과 30 SPAD보다 높은 작물을 대상으로 이를 구분할 수 있는지를 조사하였다. 그 결과, 550 nm 필터영상에 대한 (평균치-최소치)를 이용하여 두 그룹을 구분할 경우 89%의 분리능력을 보였다.

이 연구에서는 토마토 작물영상에서 토마토 과일과 잎마름병해 잎을 추출하기 위한 영상처리 알고리즘을 제시하였다. 또한 잎마름병에 감염된 토마토 작물에 대한 시계열 영상을 대상으로 측도봉 기준색지에 대한 할당 히스토그램을 분석한 결과, 10개의 기준색지에 대한 빈도율이 매우 높게 나타났으며, 이들 기준색지에 대한 빈도율의 합에 의해 육안에 의해 분석된 잎마름병 감염정도를 예측하는 것이 가능하였다. 한편, 잎마름병 진단에 국한되어 분석된 것이지만 지금까지의 실험 결과와 경험에 비추어 볼 때, 다른 원인에 의한 이상생육을 진단하는데 이 연구에서 개발한 측도봉을 이용하는 것이 가능할 것으로 사료되었다.

4. 생육상태 모니터링 유닛 제작 및 실증실험

가. 서론

본 장에서는 온실에서 생육중인 작물을 대상으로 이를 온라인 상에서 측정하기 위한 시스템을 구성하고 생육기간별로 이들의 생육정보를 측정하고자 하였다. 모니터링 유닛의 기본 조건으로는 아래와 같다.

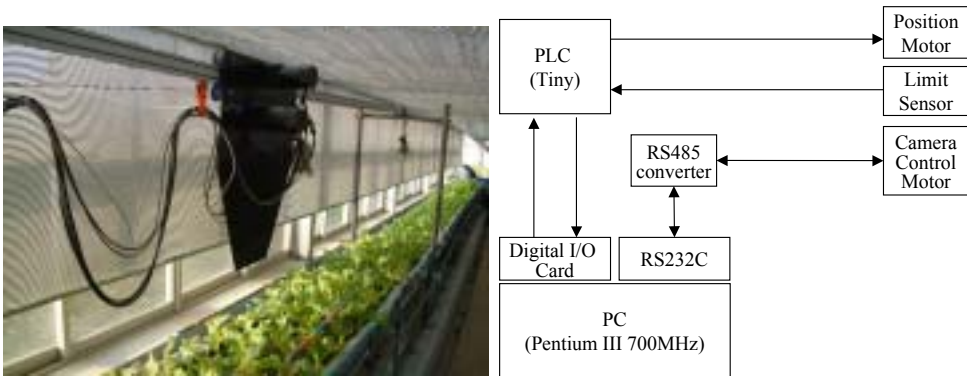
- 작물의 생육 상태를 육안으로 감시하기 위해 카메라 탑재
- 컴퓨터 프로그램 상에서 원하는 조작 수행하여 원격으로 제어
- 임의 위치의 작물을 관찰하기 위해 카메라의 위치 제어를 위한 Pan/Tilt 및 카메라 자체의 Zoom 기능 부여
- 정확한 색상 측정을 위해 원격으로 카메라의 white balance 조절
- 자연광의 변화에 능동적으로 제어할 수 있도록 카메라의 iris 자동 조절
- 초점 조절 상태를 변화할 수 있도록 focus 자동 조절
- CCD 포화상태에서도 영상을 획득하기 위해 gain 조절
- 원격카메라의 이상시 카메라 reset 기능 부여

이상과 같은 기능을 갖도록 하드웨어를 구축하고 이를 컴퓨터 상에서 온라인으로 제어하는 제어 및 모니터링 소프트웨어를 개발하고자 하였다.

한편 연구 실험의 목적상 모니터링 유닛은 한경대에서의와 서울대에서 각각 사용할 수 있도록 두 개를 제작하였다. 먼저 한경대에서는 다양한 실험을 수행할 수 있도록 이송장치가 결합된 모니터링 유닛을 제작하였다. 여기서 이송장치는 상하 및 좌우 이동이 가능하도록 PLC를 사용한 모터 제어를 수행하였다. 또한 서울대 온실에서는 장기간 실험 목적으로 고정식 생육환경 모니터링 유닛을 구축하였다. 장기간 실험에서는 실험 일자간에 측정 위치의 재현성이 중요하므로 이에 대한 에러 요인을 방지하고자 고정 유닛을 구축하고 실험하였다. 서울대 온실 장치에서는 다수의 개체에 대한 측정을 위해 두 개의 고정 유닛과 1개의 모니터링 유닛의 총 3개의 유닛을 구축하였다.

나. 선형 이동장치 제작

모니터링 유닛은 카메라, 이동용 모터(2대), 영상신호용 케이블, 카메라 제어신호용 케이블, 모터 제어신호용 케이블, 모터 전원용 케이블, 이송용 레일(좌우방향 및 상하방향)과 체인, 유닛 프레임, 측도봉(2종) 및 제어함(컨트롤 박스)으로 구성하였다. 이동성능은 좌우이동범위(수평레일의 길이) 3m, 상하이동범위(수직레일의 길이) 50cm, 이동속도 10cm/초 및 이동정밀도는 1cm였다.



(a) Linear moving unit

(b) Block diagram

Fig. 3.39 Construction of linear moving unit

장치 구축과정에서 2차년도에는 카메라 이동시 케이블들이 복잡하여 카메라와 함께 원활한 이동이 불가능하였으나 3차년도에는 영상신호와 제어신호용 케이블을 결합하여 모터 전원용 케이블과 함께 간결하게 정리하였다. 카메라의 줌, 조리개 및 초점의 원격 조절을 위해서는 RS485 통신을, 모니터링용 PC에서는 RS232C 통신을 사용하였으며 외부 전원이 불필요한 RS485-RS232 Converter(IC-485SN, ATEN, Taiwan)를 카메라와 연결하고 PC와 RS232로 연결하였다. 또한 측정환경이 고온, 다습하고 도난 방지를 위해, 방습냉각용 fan 등으로 구성되는 모니터링 유닛 보관시설을 제작하였다. 한편 컴퓨터를 이용한 모터 제어를 위해서 컴퓨터 부에는 신호 입출력을 위한 8채널 디지털 I/O 카드를 장착하였고 이 신호를 PLC로 출력하여 모터를 제어하였다. 모터 이송부에는 리미트 센서를 부착하여 한계 위치에 도달할 경우 모터를 더 이상 작동하지 않도록 회로를 구성하였다.

다. 카메라 Pan/Tilt 구동장치 구축

카메라 제어 내용 중에서 Pan과 Tilt는 카메라만으로는 제어가 불가하므로 카메라를 회전시킬 수 있는 드라이빙 유닛을 구입하였고 이를 제어하기 위한 별도의 구동 구동 컨트롤러를 제작하였다. 아래의 사진은 제작한 카메라 컨트롤러이며 이를 온실에 부착했을 때의 사진이다. 드라이빙 유닛의 회전각 범위는 Pan 355°, Tilt -75~+75°이며 회전속도는 Pan 4.8°/sec, Tilt 2.4°/sec이다.



(a) Camera pan/tilt controller



(b) View of pan/tilt driving unit

Fig. 3.40 Pan/Tilt drive unit and its controller

라. 비디오 서버 구축

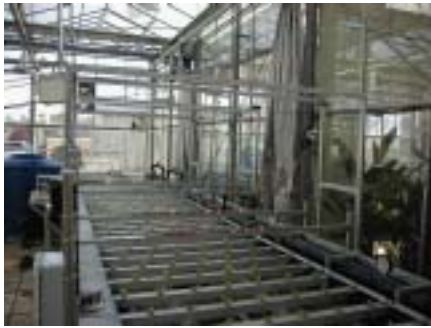
생육상태 모니터링 시스템은 주관기관에서 개발할 각종 온실환경 제어 감시 시스템과 통합되어야 한다. 따라서 온실에서 생육중인 작물의 생육상태를 인터넷을 통해 감수 할 수 있는 서버형 영상 시스템을 구축하였다. 이 장비는 NTSC 영상신호의 TCP/IP 전송이 가능하며 Web 기반에서의 영상출력, 영상저장(JPEG 파일) 및 카메라 컨트롤이 가능하다. 카메라 컨트롤은 pan/tilt 및 zoom이 가능하고 장비의 세부 사양은 아래와 같다.

Table 3.11 Video server specifications

Hardware	ARTPEC-1 compression chip ETRAX 100, 32bit RISC, 100 MBPS CPU		
Image	1 input out port : color, B&W, time stamp, text overlay JPEG still images, motion-JPEG video Resolution File Size(Kb) Max fps 704×480 1-150 10 352×240 1.4-40 30		
Remote control	pan/tilt/zoom support for remote camera control		
Network	10/100 base T Ethernet, HTTP, FTP, SMTP, ARP, BOOTP, General I/O		

마. 생육상태 감시 시스템의 전체 구성

생육 기간 전체에 걸쳐서 안정적인 영상을 획득하기 위해 서울대 온실에 3대의 고정식 모니터링 유닛을 설치하였다. 여기서 두 대의 유닛은 데이터 측정용으로 한 대는 온실 모니터링용으로 구축하였다. 모니터링 유닛에는 앞서 언급한 드라이빙 유닛을 결합하여 자유롭게 모니터링이 가능하도록 하였다.



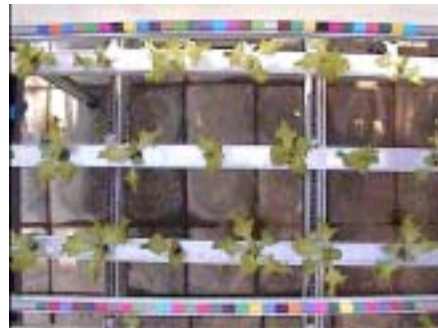
(a) Early stage



(b) Last stage



(c) First camera (for data acquisition)



(d) Second camera (for data acquisition)



(e) Third camera (for monitoring)

Fig. 3.41 Fixed monitoring unit for growing analysis

1번 카메라에서는 50개 색지를 부착한 측도봉을 상하단에 고정시켜 작물의 색채분석을 수행하였으며 2번 카메라에서는 30개의 색지를 부착한 측도봉을 고정시키고 영상을 획득하였다.

한편 제어 소프트웨어는 개발 초기에는 기본적인 카메라 제어만이 가능하였으나 후기에는 현재 상태의 설정값 출력과 AGC 및 White Balance 제어를 가능하게 하였고 3대의 카메라를 스위칭 할 수 있는 카메라 변경 버튼이 추가되었다. 아래의 그림은 후기 모델의 구동 소프트웨어의 하드카피이다.

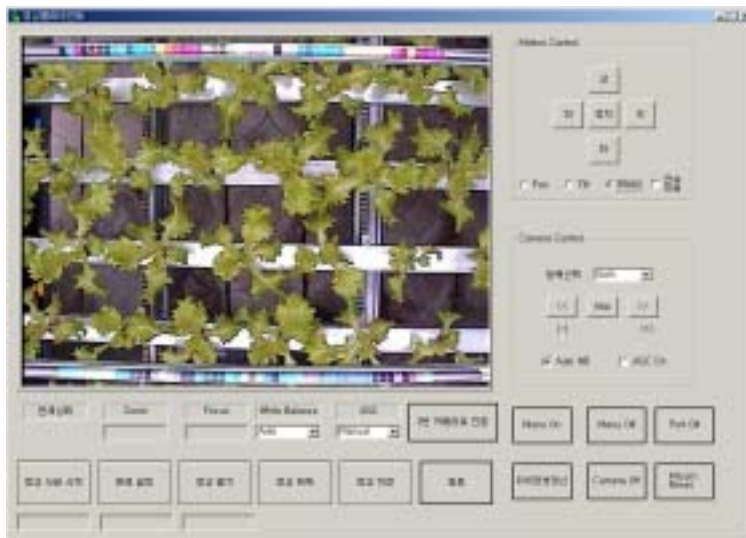


Fig. 3.42 Software hard copy of image monitoring unit

바. 고정식 모니터링 유닛을 이용한 상추의 생육 실험

1) 시계열 상추 영상의 특징

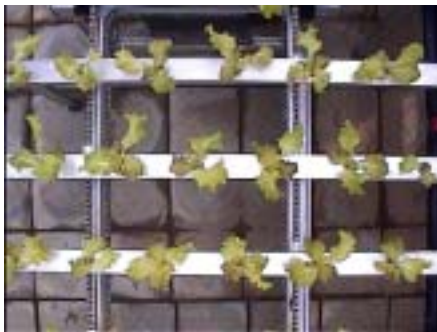
아래의 그림은 태양광의 변화를 관찰하기 위해 하루 중 시간대별로 획득한 상추영상으로 오전 10시, 12시, 오후 2시, 4시에서의 상추 영상이다. 온실의 특성상 오전 12시에서 태양광이 직접 조사하여 포화되는 영상을 보여주고 있으며 오후 늦은 시간으로 갈수록 영상은 점차 안정화되는 것을 보여주었다.



(a) 10 A.M.



(b) 12 A.M.



(c) 2 P.M.

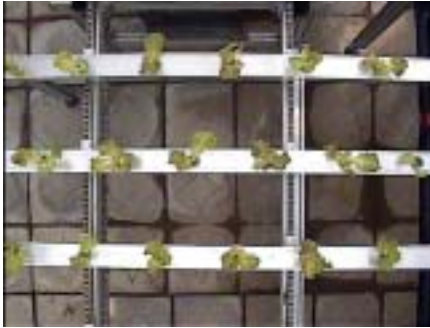


(d) 4 P.M.

Fig. 3.43 Time series of lettuce image according to sunshine conditions

아래의 그림은 총 생육기간의 일자별 생육상태를 나타낸 것으로 오전 10시

의 영상을 기준으로 하였다.



<7 day>



<8 day>



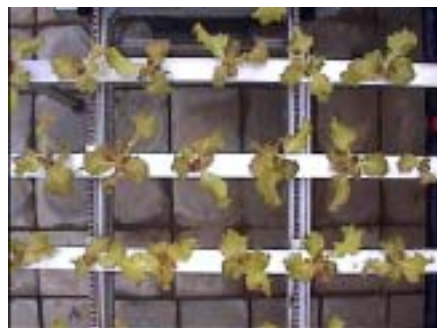
<10 day>



<12 day>



<13 day>



<14 day>



<15 day>



<17 day>



<18 day>



<19 day>



<20 day>



<21 day>



<22 day>



<23 day>



<24 day>



<25 day>



<26 day>



<27 day>



<28 day>



<29 day>

Fig. 3.44 Images of lettuce during growing period

그림에서 보듯이 생육 초기에는 상추 주위의 여백이 많았으나 날씨가 증가함에 따라 주위 여백은 감소하고 30일 경과 후에는 여백이 거의 남아 있지 않았다. 이와 같은 여백의 감소는 상추를 개체별로 구분하기 어렵다는 것을 의미한다. 결국 영상 모니터링 시스템에서 상추 개개의 중량 추정은 생육 후반부에서는 가능하지 않다는 것을 의미하며 영상내의 상추의 평균 중량 추정만이 가능하다고 판단된다.

2) 상추의 색채분석

획득한 상추 영상을 분석하기 위해서는 영상에서 배경을 제외한 작물만의 영상의 추출이 필요하며 이 경우 영상이치화는 매우 중요한 단계이다. 본 장에서의 작물 이치화는 다양한 자연광의 변화를 고려할 때 RGB 좌표계보다는 이를 표준화한 $L^*a^*b^*$ 좌표계가 더 유의한 것으로 판단하였다. 아래는 작물 영상을 $L^*a^*b^*$ 좌표계의 각 채널별로 나타낸 것으로서 작물의 이치화에는 b^* 채널이 매우 유의함을 알 수 있었다. 여기서 b^* 채널은 작물의 노란색과 파란색 정도를 나타낸다.

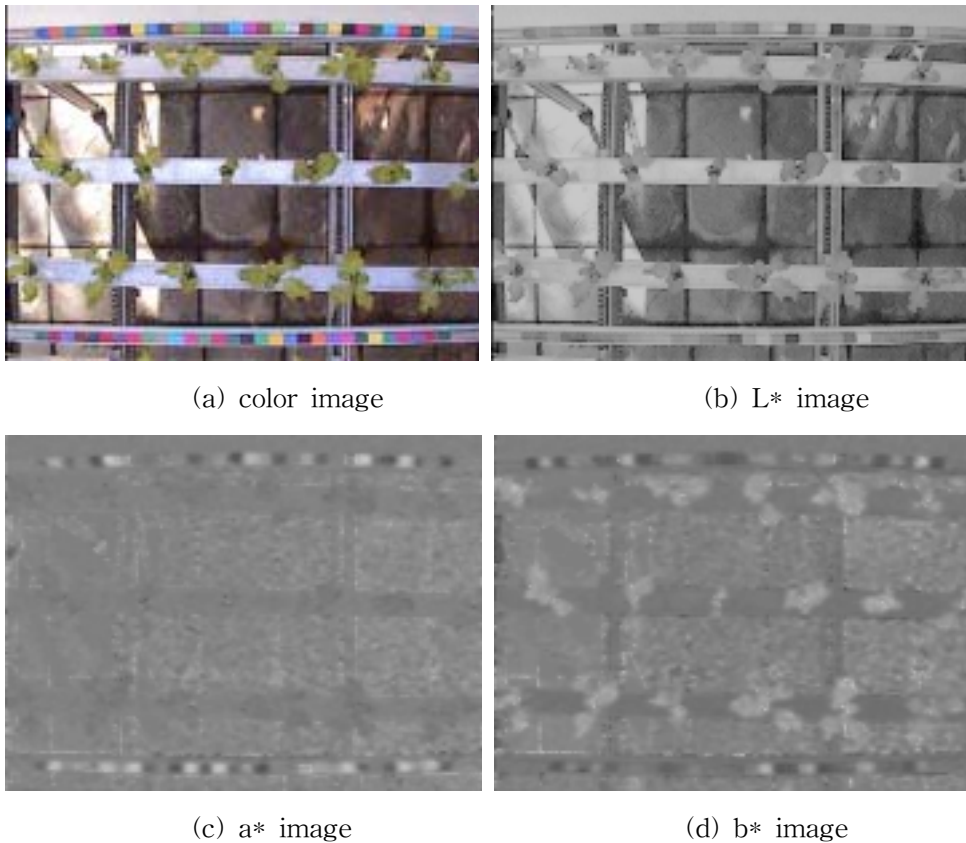


Fig. 3.45 Thresholding of lettuce image under unartificial illumination in $L^*a^*b^*$ color coordinate system

한편 b^* 채널만으로 이치화를 수행할 경우 토양과 같은 배경의 일부가 작물로 인식되는 것으로 나타났으며 이를 제거하기 위하여 Green 채널에서 문턱값을 설정하고 이를 기준으로 기타 배경을 제거하였다. 아래의 그림은 최종 이치화 결과로서 두 번의 문턱값 적용으로 작물만의 추출이 가능함을 알 수 있었다.

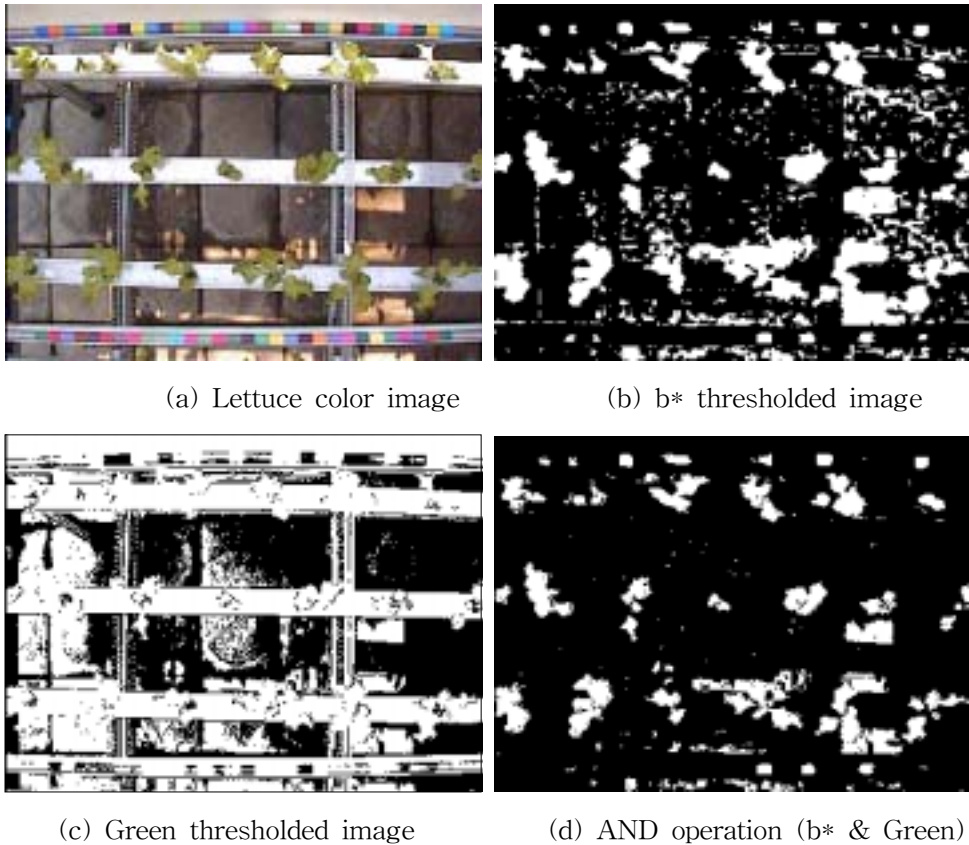


Fig. 3.46 Extraction of lettuce pixels in natural color image

이와 같은 영상처리 과정은 하나의 소프트웨어에서 처리할 수 있도록 분석 모듈을 개발하였다. 이 분석 모듈은 색채 분석뿐만 아니라 생체중 측정에도 동일하게 사용될 수 있도록 하였으며 영상분석 소프트웨어인 이미지프로의 DLL 모듈로 개발하여 사용에 편리성을 부여하였다.



Fig. 3.47 Hard copy of image analyzing module

이 모듈을 사용하여 색 특성을 분석하기 위해서는 5단계의 작업을 수행하도록 하였다. 먼저 영상에서의 측도봉의 위치를 알아내고 각각의 색지의 컬러 정보를 획득하는 작업을 수행하였다. 각각의 색지에 대한 위치는 색지의 처음과 끝을 입력한 후 색지 사이사이에 기준점을 입력함으로써 기준점 사이의 색지의 위치에 대한 정보를 자동으로 획득할 수 있도록 하였으며 영상 왜곡 등으로 인하여 자동 추적이 어려운 경우에는 수동 모드를 설정하고 색지 위에서 마우스를 클릭하여 색지의 좌표를 입력하도록 하였다. 색지 입력이 완료되면 파일로 저장하여 차후에 이를 이용할 수 있도록 하였다. 색지 입력이 완료되면 분석 영역을 지정하고 컬러 분석을 수행하였다. 영상 이치화는 앞서 설명한 바와같이 $L^*a^*b^*$ 좌표계의 b^* 채널과 Green 채널을 사용하였으며 작물의 화소에 대해서만 색지 분석을 수행하여 작물 화소를 하나의 색지 화소로 할당하는 작업을 전체 화소에 대해서 진행하였다. 전체 작물 화소에 대한 할당 작업이 완료되면 각 색지에 대

한 빈도수를 파일명과 함께 텍스트 파일로 저장하였다.

생육 일자별로 상추 영상에 대해서 색채 분석 작업을 수행하였다. 먼저 할당된 색지의 특성을 조사한 결과 아래와 같은 분포도를 얻을 수 있었다. 이 분포도는 생육 15일 경과된 상추에 대한 것으로서 할당된 색지는 순수한 작물의 색 이외에도 배경 부분이 포함되어 있는 것을 알 수 있었다. 배경 색지로는 20번, 23번의 2개이며 순수 작물 색지는 4번, 11번, 12번, 22번, 25번, 29번이었다.

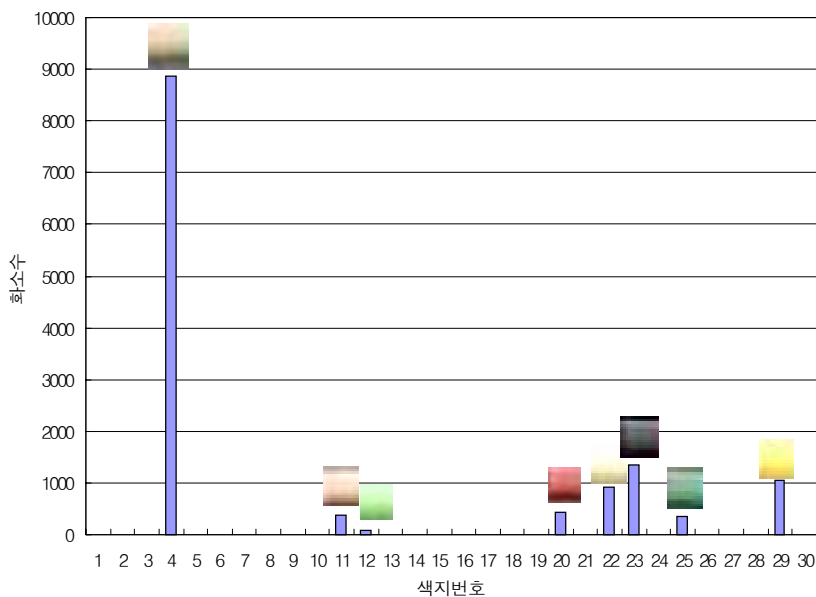


Fig. 3.48 Distribution of color patches that allocating plant regions

할당된 색지를 전체 생육기간에 대해서 조사한 결과 분석 대상인 60개의 색지 중 30개의 색지가 유의한 것으로 나타났으며 이들에 대한 일자별 할당비를 그림에 나타내었다.

그림에서 보듯이 작물의 색채 분석은 특정한 몇 가지 색 만 가지고도 전체 생육기간에 대한 평가가 가능하다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 색지를 이용한 작물 분석 방법은 주변 환경의 영향을 최소화 할 수 있는 유용한 방법이라고 판단된다.

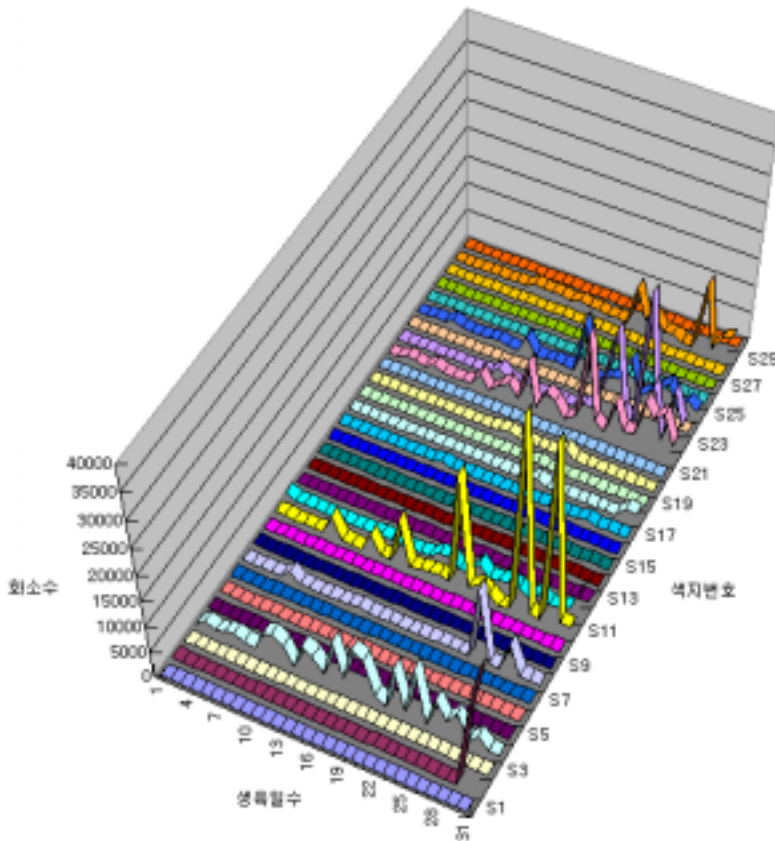


Fig. 3.49 Trend of color allocation during growing period

3) 상추의 엽밀도 분석

작물의 초기 단계에서는 엽 분화가 미비하고 그 크기도 크지 않으므로 작물에 외접하는 외접원 면적과 실제 작물과의 면적의 비는 크지 않으나 작물의 생육이 발달할수록 면적비는 크게 됨을 예상할 수 있다. 생육기간에 따른 엽밀도를 분석한 결과 아래 그림과 같은 생육 초기, 중기, 후기별 엽밀도 분포를 얻을 수 있었다. 먼저 생육 초기에는 대부분의 엽밀도는 50% 이하이며 총 24개의 엽밀도 값 중에서 3개만이 50%를 넘는 것으로 나타났다. 생육 중기에는 4 개 지점에서의 엽밀도가 50%를 넘어서 초기보다는 증가하였으며 생육 말기에는 13 개 지점에서의 엽밀도가 50%를 넘어섰다. 앞서 가정한 바와 같이 생육 기간의 증가에 따라 엽밀도의 증가가 이루어 졌음을 확인할 수 있으며 생육단계의 판정에 있어서 엽밀도가 유의한 인자인 것으로 판단하였다.

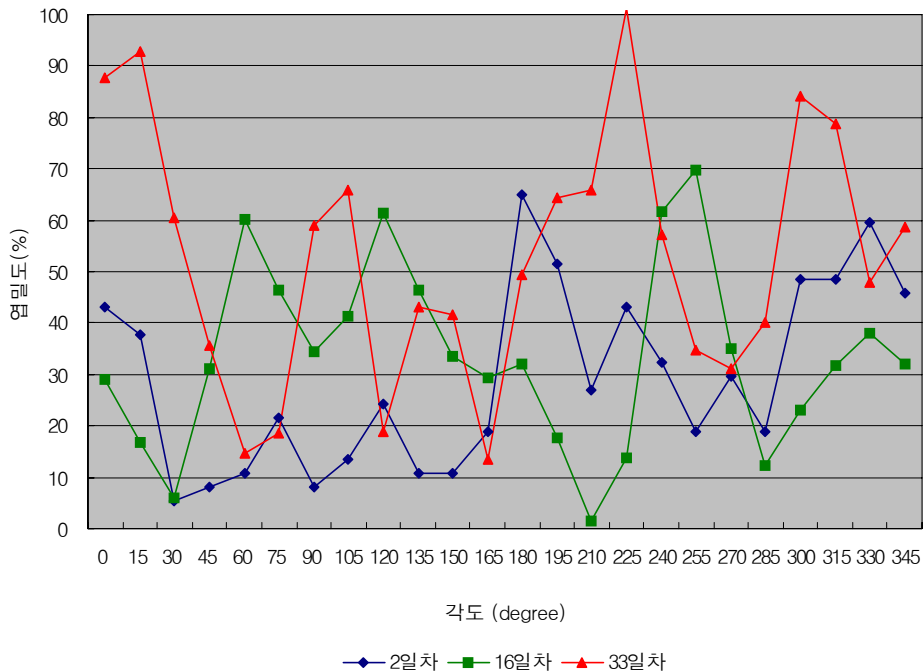


Fig. 3.50 Variation of leaf density during growing period

4) 상추의 중량 예측 모델 개발

상추의 중량 예측 모델을 개발하기 위하여 두 대의 고정식 모니터링 유닛에서 실제 상추 3 포기를 영상으로 획득한 후 이들의 중량을 당일 측정하였다. 측정한 상추는 재배되는 상추를 대표하는 크기의 중간 것, 그리고 이것보다 큰

것과 작은 것으로 하였다. 선정된 상추는 다음 실험에 재사용하지 않고 매일 새로운 시료를 배지 내에서 선택하여 중량 측정에 따른 작물의 스트레스 요인을 제거하였다. 아래의 그림은 매일 측정된 3개의 시료에 대한 평균값의 생육일수별 생체중 변화를 나타낸 것으로 생육 초기에는 완만한 생체중 증가를 보이다가 후반으로 갈수록 급격한 생체중의 증가를 관찰할 수 있었다. 아래의 생체중 변화량 그래프는 생체중과 생육일수와의 관계를 설명해주므로 현재 작물의 생육상태 파악과 수확량 추정에 중요한 자료로 활용된다.

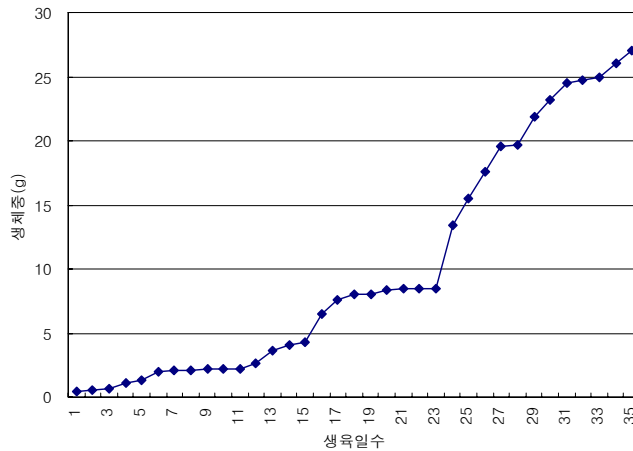


Fig. 3.51 Variation of lettuce fresh weight during growing period

생육일수별 획득 영상에 대해 앞서 개발한 작물 이치화 모듈을 적용하여 개체별 투영면적을 획득하였다. 이 때 보다 정확한 투영단면적을 얻기 위하여 측정 작물마다 분석영역(AOI, Area of Interest)을 수동으로 설정하였다. 한편 작물의 투영면적을 얻는 과정에서 생육일수 30일 이상에 대해서는 이웃 상추와의 경계가 불명확하여 더 이상 투영면적을 획득하지 않았으며 그 결과 총 60개의 데이터를 얻을 수 있었다. 아래의 그림은 획득한 투영면적과 실제 생체중과의 단면적과의 관계를 나타낸 것이다.

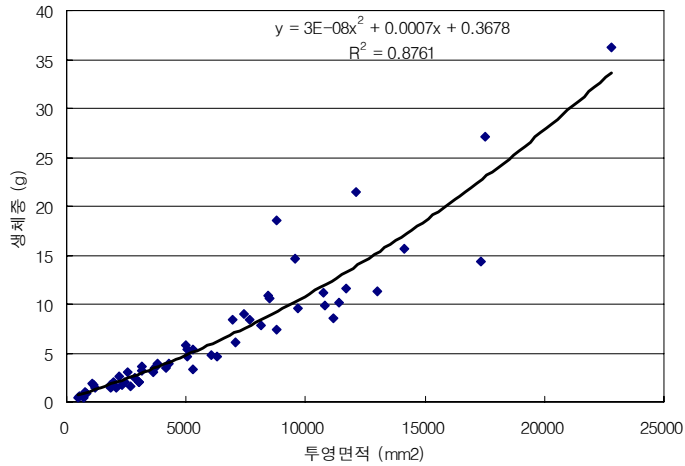


Fig. 3.52 Relationship between projected area and fresh weight

2차 다항함수를 이용하여 투영면적과 생체중과의 관계를 분석한 결과 아래와 같은 모델을 얻을 수 있었다.

Table 3.12 Prediction model for weight measuring

Dependent Variable	Equations	R ²	Prediction Error (g)	Range (n = 60)
Projected Area (mm ²)	$Y = 3E-08x^2 + 0.0007x + 0.3678$	0.8761	2.61	0.46 ~ 36.24

Note) Y : Fresh Weight (g)
x : Projected area (mm²)

모델 개발결과 2차항의 계수가 매우 작았으나 이는 생육 마지막 단계에서는 투영면적과 생체중과 2차항의 상승 특성을 보이는 것으로 판단하여 이를 유지하는 것이 보다 정확한 생체중 추정이 가능할 것으로 판단하였다.

5) 상추의 수확량 추정 모델 개발

앞서 개발한 투영면적 측정 모듈과 생체중 측정 모델, 그리고 표준생장곡선을 이용할 경우 임의의 생육단계에서 현재의 생육 상태를 판정할 수 있고 차후 수

확일에서의 수확량을 추정할 수 있다.

Table 3.13 Standard growing table according to fresh weight and growing period

Fresh weight(g)	Growin period	Fresh weight(g)	Growin period	Fresh weight(g)	Growin period
0.44	1	3.61	13	15.49	25
0.52	2	4.05	14	17.58	26
0.66	3	4.34	15	19.57	27
1.13	4	6.44	16	19.64	28
1.36	5	7.57	17	21.82	29
2.02	6	8.02	18	23.17	30
2.11	7	8.02	19	24.52	31
2.11	8	8.40	20	24.70	32
2.14	9	8.49	21	25.00	33
2.14	10	8.49	22	26.00	34
2.18	11	8.49	23	27.05	35
2.65	12	13.40	24		

먼저 생육일수를 추정하기 위해서는 군집 또는 개체에 대한 영상을 획득한 후 이에 대한 평균 투영면적을 계산하고 이를 중량추정모델에 입력하여 생체중을 계산한다. 이어서 영상 분석으로 추정된 생체중 w_r 와 이를 초과하기 전의 전단계 생체중 w_1 과 다음단계 생체중 w_2 를 이용하여 아래의 식과 같이 생육일수를 추정한다.

$$d_x = d_1 + \frac{(w_r - w_1)}{(w_2 - w_1)}$$

Note) d_1 : 전 단계 생육일수
 w_r : 예측 생체중
 w_1 : 전 단계 생체중
 w_2 : 다음 단계 생체중

예를 들어 현재 획득한 영상으로 측정된 생체중이 5g 이면 생육일수는

$$d_x = 15 + \frac{(5 - 4.34)}{(6.44 - 4.34)} = 15.3 \text{ 일 이 된다.}$$

상기 생육테이블을 이용할 경우 추정된 생육일수와 실제 생육일수의 차이를 얻을 수 있으며 이로부터 현재까지의 생육상태를 평가할 수 있다. 즉 현재 생육일수가 15일인데 추정된 생육일수가 17일이라면 이는 2일 이상 더 생육한 것을 의미하므로 정상적인 생육과 비교해서 2일 이상 일찍 수확할 수 있을 것으로 판단된다. 한편 동일한 생육기간을 적용한다면 2일 이상 더 재배하는 효과를 볼 수 있으므로 이로 인한 수확량의 증가를 추정할 수 있다. 추가된 수확량은 마지막 단계의 생체중 증가량에 대한 정수배로 환산할 수 있으며 동일한 생육일수를 적용할 경우 수확일에서의 수확량은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{수확량 } Y_f = F_w + (D_c - D_p) * W_{inc}$$

Note) F_w : 최종 생육일시에서의 생체중

D_p : 예측한 생육일수

D_c : 실측한 생육일수

W_{inc} : 최종 생육단계에서의 일일 생체중 증가량

사. 결론

본 장에서는 온실에서 생육중인 작물을 온라인으로 모니터링하기 위한 시스템을 구성하고 각종 측정 알고리즘을 구현한 후 생육기간별 작물의 생육정보를 측정하였다. 본 장의 세부 내용을 요약하면 아래와 같다.

1. 카메라 제어 대상에서 pan과 tilt는 카메라와는 별개의 장치이므로 카메라를 회전시킬 수 있는 드라이빙 유닛을 구입하였고 이를 제어하기 위한 별도의 구동 컨트롤러를 제작하였다.

2. 생육 기간 전체에 걸쳐서 안정적인 영상을 획득하기 위해 서울대 온실에 3대의 고정식 모니터링 유닛을 설치하였다. 여기서 두 대의 유닛은 데이터 측정용으로 한 대는 온실 모니터링용으로 구축하였다. 모니터링 유닛에는 앞서 언급한 드라이빙 유닛을 결합하여 자유롭게 모니터링이 가능하도록 하였다.

3. 태양광의 변화를 관찰하기 위해 오전 10시, 12시, 오후 2시, 4시에서의 상추 영상을 획득하였다. 온실의 특성상 오전 12시에서 태양광이 직접 조사되어 포화되는 영상을 보여주고 있으며 오후 늦은 시간으로 갈수록 영상은 점차 안정화되는 것을 보여주었다.

4. 작물 이치화는 다양한 자연광의 변화를 고려할 때 RGB 좌표계보다는 이를 표준화한 L*a*b* 좌표계가 더 유의한 것으로 판단하고 b* 채널을 이용한 이치화를 수행하였다. 한편 b* 채널만으로 이치화를 수행할 경우 토양과 같은 배경의 일부가 작물로 인식되는 것으로 나타났으며 이를 제거하기 위하여 Green 채널을 추가로 이용한 결과 작물 이치화가 용이하였다.

5. 투영면적을 이용하여 생체중을 예측한 결과 $R^2 = 0.876$, 예측오차 2.61g을 갖는 2차 회귀모형을 개발하였으며, 투영면적과 표준 생장표를 이용하여 임의의 생육단계의 생육 상태를 판정과 차후 수확일에서의 수확량을 추정할 수 있는 방법을 개발하였다.

5. 요약 및 결론

본 장에서는 작물 생육상태를 모니터링하기 위해서 컴퓨터 시각장치를 구축하였고 시계열적으로 작물영상을 획득하고 이를 분석하는 기법을 개발하였으며 생육상태 계측 알고리즘 및 성장정보 분석 모델 개발하였다. 그리고 실증 실험을 위한 모니터링 유닛을 개발하였고 실험을 통하여 개발한 알고리즘의 타당성을 분석 및 검증하였다. 본 연구에서의 주요 연구결과를 요약하면 아래와 같다.

1. 4가지 카메라(RGB, S-Video 및 Composite 색채 영상신호와 흑백영상신호)와 광각렌즈 및 광학필터를 이용한 컴퓨터 비전 시스템을 구축하였으며 여러 종류의 영상신호를 하나의 프레임 그래픽에서 입력받기 위해 Image signal multiplex를 사용하였다.

2. 제안한 측도봉에 의한 색채 분석의 타당성을 판단하기 위해 상추의 색채 분포를 분석한 결과, 동일하지 않은 광 조건일지라도 상추에 해당하는 화소들의 할당 분포가 매우 유사한 것으로 나타나 측도봉에 의한 색채 분석 결과에 대해 재현성이 확보됨을 알 수 있었다.

3. 토마토 과일의 평균 지름을 이용하여 중량을 예측하는 모델을 개발하였으며, 검증을 수행한 결과, 평균측정오차는 방울토마토가 0.58 g, 과일토마토는 5.4 g으로 나타났으며 비교적 정확한 중량 예측이 가능하였다.

4. 상추의 엽색을 측도봉에 부착된 100종의 색지로 할당한 후, 색지별 할당빈도율을 이용하여 상추의 건강성을 분석한 결과 약 80%의 성공률을 보였다.

5. 간이 엽록소계를 이용하여 측정한 엽록소 함량(SPAD)을 기준으로 엽록소 함량 추정 모델을 개발하였으며, 550 nm 필터영상을 이용할 경우 엽록소 함량에 대한 양불 판정이 89%의 정확도로 가능하였다.

6. 잎마름병에 감염된 토마토에 대해 측도봉 기준색지에 대한 할당 히스토그램을 분석한 결과, 10개의 기준색지에 대한 빈도율이 매우 높게 나타났으며, 이들 기준색지에 대한 빈도율을 이용할 경우 잎마름병 감염정도를 예측하는 것이 가능하였다.

7. 생육 기간 전체에 걸쳐서 안정적인 영상을 획득하기 위해 3대의 고정식 모니터링 유닛을 설치하였다. 여기서 두 대의 유닛은 데이터 측정용으로 한 대는 온실 모니터링용으로 구축하였고 모니터링 유닛에는 드라이빙 유닛을 결합하여 pan/tilt 및 zoom이 가능하도록 하였다.

8. 30일간의 생육기간 동안 획득한 영상을 이용하여 투영면적과 생체중의 관계를 분석한 $R^2 = 0.876$, 예측오차 2.61g을 갖는 2차 회귀모형을 개발하였으며, 투영면적과 표준 성장표를 이용하여 임의의 생육단계의 생육 상태 판정과 차후 수확일에서의 수확량을 추정할 수 있는 방법을 개발하였다.

제 4 절 원격 제어 시스템 개발

1. 재료 및 방법

가. 첨단온실의 자동제어 체계

문헌을 통한 자료조사와 서울대학교 실험 온실 및 참마루 영농 온실을 현장 답사하여 현재 실용화된 첨단 온실의 제어장치를 분류하고, 제어체계를 조사하였다.

온실의 자동제어 체계는 제어인자(온도 등), 측정장치(온도센서 등), 제어기(환경제어용 컴퓨터 등), 제어장치(환기창 등) 등으로 구성된다.

제어장치를 구동하는 방식으로는 간접제어(By controlling) 및 직접제어(By actuating) 두 가지가 있다. 간접제어는 외기 등의 교란에 의해 온도의 변화가 발생한 후 컴퓨터가 대응하는 것이고, 직접제어는 교란요소와의 일정한 관계를 미리 인식하고 교란 발생에 따라 대응하는 것이다. 즉 변하는 조건들에 따라서 사전에 제어를 하는 것이다. 따라서 간접제어는 피드백(feedback)제어이고 직접제어는 피드포워드(feed forward)제어라 할 수 있다. 온실의 제어체계는 두가지 방식이 복합적으로 구성되어 있다.

실제 온실에 설치된 많은 제어장치들을 측창, 커튼, 환기팬 등과 같이 단순히 ON아니면 OFF상태로만 작동되고 있다. On/Off형식으로 제어되는 장치들은 설정치를 전후하여 잦은 ON-Off가 발생하여 조절장치가 쉽게 마모되고 온실의 환경이 부정적인 영향을 받을 수 있는 단점이다. 이를 피하기 위해 시간지연(Time Delay), 사각범위(Dead Zone), 평균 측정치(Average measurements) 등을 이용하고 있다. 또한 일부 제어장치에서는 연속적인 제어행위가 가능하도록 제어장치를 구성하여 PID제어 등을 수행하고 있다.

실제 온실 제어체계는 단순히 릴레이와 마그네틱 스위치의 조합으로 구성된 것부터 중앙컴퓨터에서 여러 환경요인을 측정하여 PLC 등을 이용하여 제어하는 것까지 다양한 제어체계를 갖고 있으나 첨단온실은 컴퓨터와 PLC 등을 활용한 제어체계를 갖고 있다.

기존 제어체계는 프로그램 이상, 제어알고리즘의 이상 등이 발생하면, 온실 내

생육환경이 작물생육에 부적합한 극단적인 환경이 조성되고, 이를 해소하기 위해서는 농민이 직접 온실에 가서 수동으로 개별 제어장치를 구동해야 하는 문제가 있다.

이를 해결하기 위해 온실의 생육상태 및 제어장치의 상태 감시시스템을 기존 온실 제어 체계와 독립적으로 구축하여 감시하고, 기존 제어체계를 원격지에서 제어할 수 있는 시스템이 필요하다.

나. 시스템 구성

원격지에서도 재배자나 외부전문가가 온실의 상태를 실시간으로 감시하고, 돌발상황이 발생할 경우 긴급조치를 취할 있도록 인터넷을 기반으로 원격제어 시스템을 구성하였다.

제어기의 프로그램 이상이나 제어 알고리즘의 이상 등이 발생하면, 온실 내부는 작물생육에 부적합한 극단적인 생육환경이 조성되면, 재배자에게 온실의 상황을 전송하고, 재배자의 인증과정을 거쳐 제어권을 기존 제어체계에서 원격 제어 시스템으로 넘겨 농민이 직접 온실에 가지 않고도 상황대처가 가능하도록 하고, 대처 후 다시 제어권이 기존 제어체계로 복귀되도록 하였다.

그림 4.1은 원격 제어 시스템의 구성도를 나타낸 것이다.

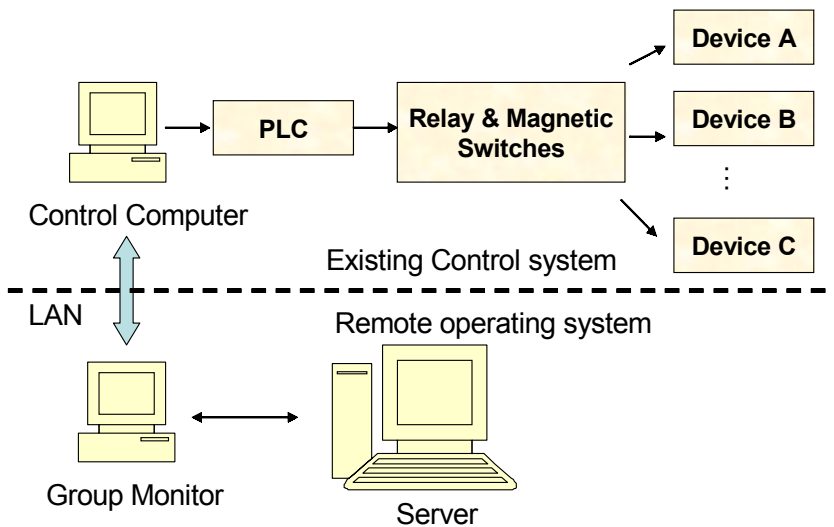


Fig. 4.1 Block diagram of remote control system

다. 제어항목 선정

현재 실용화된 첨단온실의 제어 장치는 난방장치(온풍기 등), 천창, 측창, 커튼, 가슴용 분무기, CO₂발생기, 양액장치, 환풍장치, 냉방기, 조명장치 등으로 온실 시공회사에 따라 다양한 구성을 보이고 있다. 따라서, 본 연구에서는 공시 온실을 대상으로 제어 장치들을 조사하여 제어 장치를 선정하였다.

Table 4.1 Selected items for remote control

Device	Remote Control	Method of remote operation
Ceiling window	○	· Open/Close
Side window	○	· Open/Close
Internal & External curtain	○	· Open/Close
Air cooling fan	○	· On/Off
Ventilation fan	○	· On/Off
Camera	○	· Pan/Tilt/Zoom

라. 제어시스템 구축

공시온실의 기존 제어체계는 제어용 컴퓨터가 PLC와 RS-232로 연결되어 각 제어 장치를 구동하도록 구성되어있다. 안정적인 제어를 위하여 기존 온실의 자동제어 체계에 영향을 최소로 미치게 원격 제어 시스템을 개발하였다. 기존 제어체계를 그대로 유지한 상태에서 그룹모니터와 제어용 컴퓨터간을 LAN으로 연결하고, 각 작동장치의 제어신호를 전송하도록 개발하였다. 개발된 시스템의 제어신호형태는 기존 제어용 컴퓨터의 부담을 최소화하기 위하여 제어신호를 PLC에 바로 전송할 수 있는 PLC의 표준 프로토콜을 적용하였다.

1) 하드웨어 구성

가) 원격제어 시스템의 구성

원격 제어 시스템의 물리적인 구성은 그림 4.2와 같다.

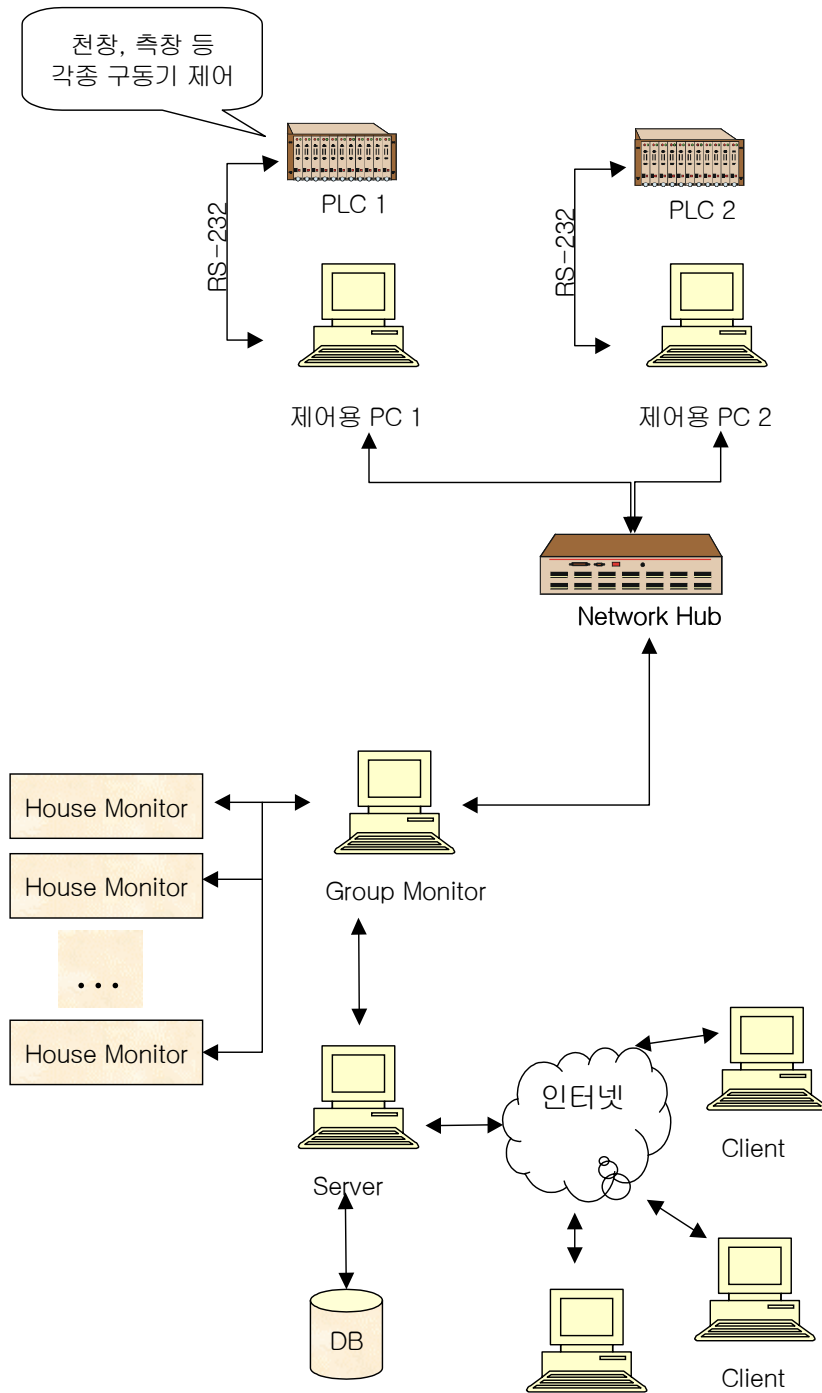


Fig. 4.2 Physical structure diagram of remote control system

나) PLC (Programmable Logic Controller)

PLC는 LG산전의 MK200S로 CPU 모듈은 K3P-07AS를 사용하였고, K2X-240S 입력모듈과 K3Y-201S 출력모듈을 이용하여 ON/OFF 할 수 있도록 하였다. PLC의 릴레이 래더 다이어그램은 그림 4.3과 같다.

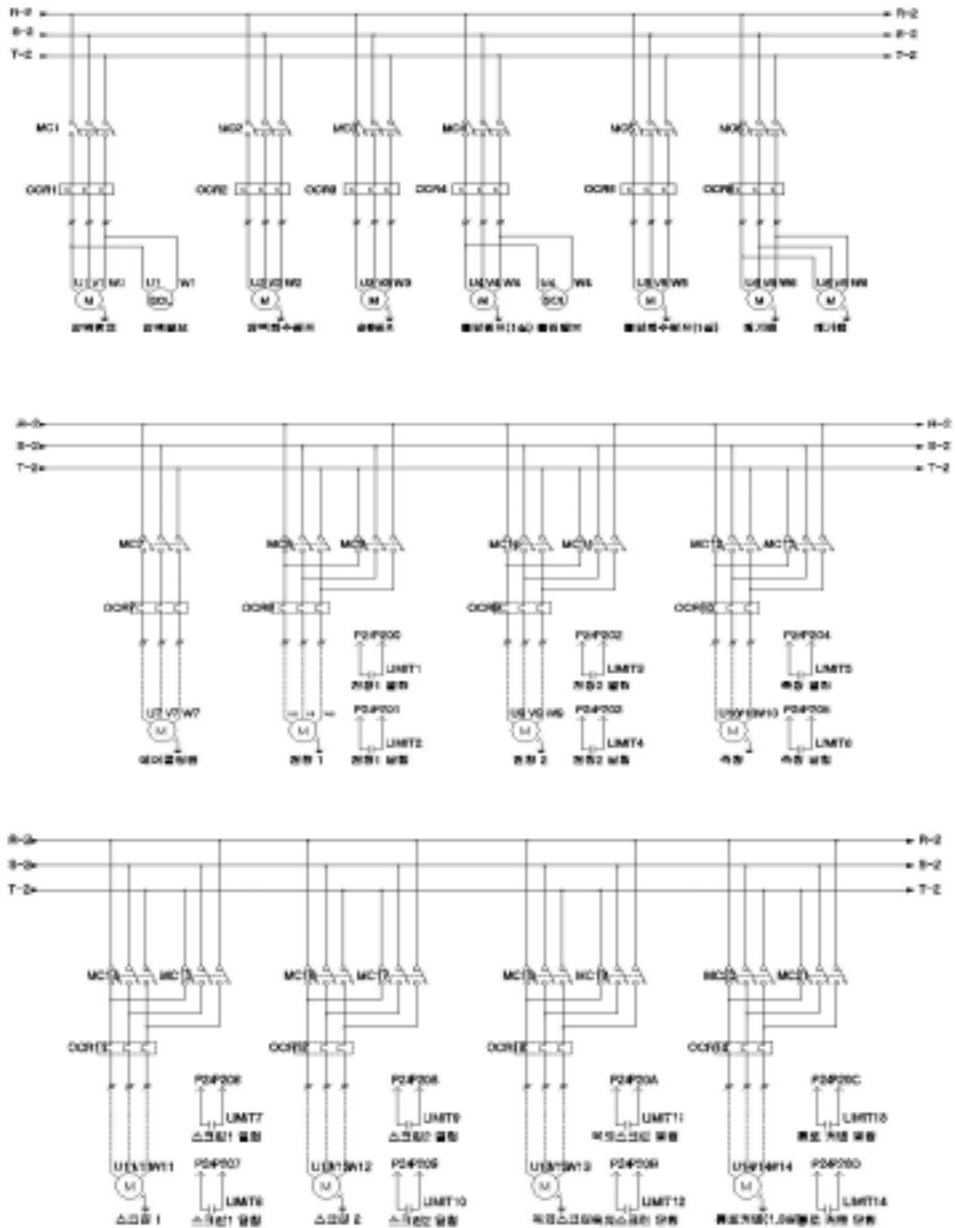


Fig. 4.3 Relay ladder diagram

PLC의 제어구조는 그림 4.4와 같다

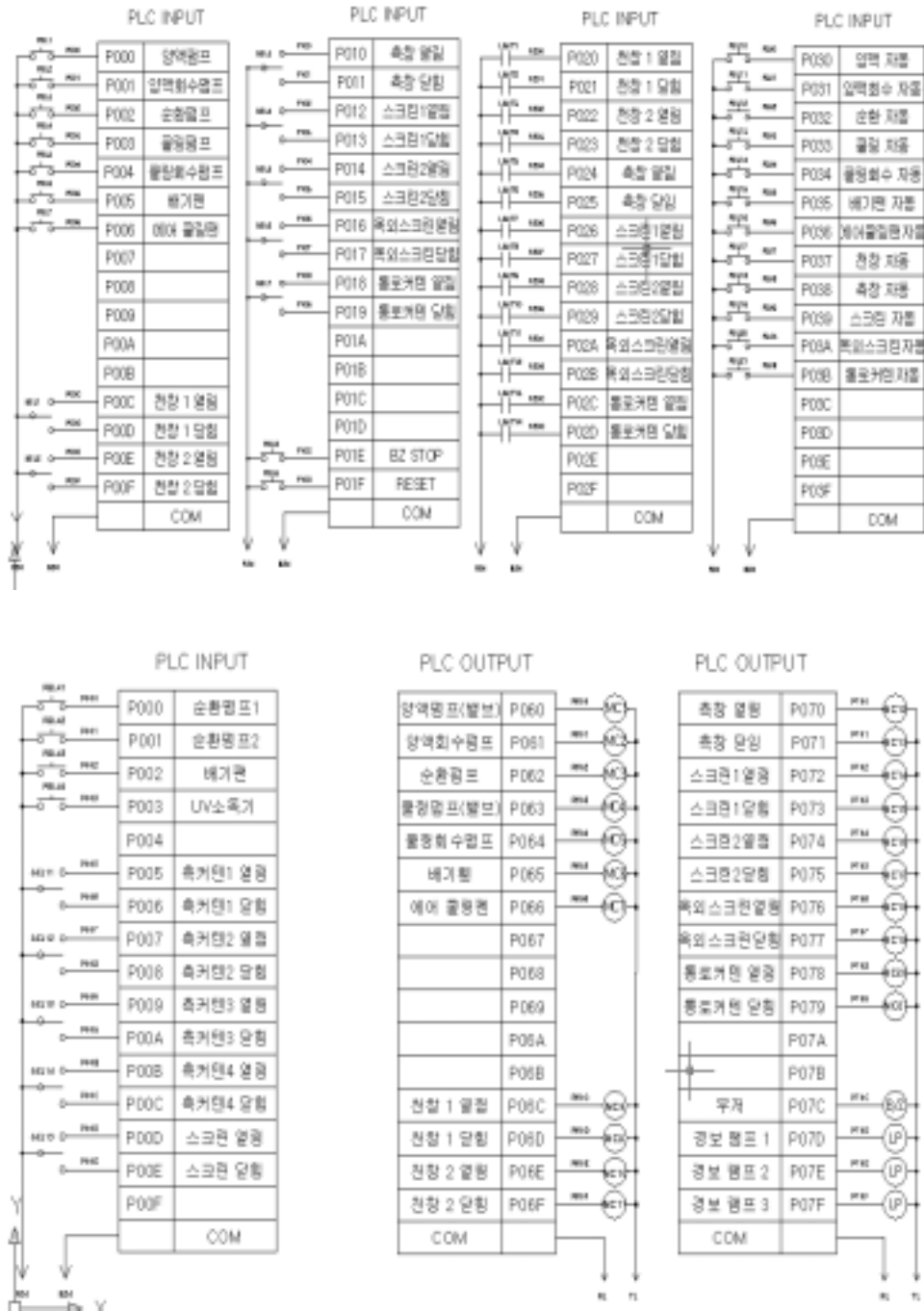


Fig. 4.4 Control Diagram of PLC

2) 운용 소프트웨어

가) 사용자 인터페이스

PLC 운용 프로그램의 초기 화면은 그림 4.5와 같다.



Fig. 4.5 User Interface of the PLC control program

PLC 제어 프로그램의 사용자 인터페이스 주요부분은 다음과 같다.

- ① 주메뉴
- ② 메뉴 실행 단추
- ③ 페이지 탭 : 화면상에 표시하는 내용을 [제어반], [그래프], [데이터] 중 하나로 선택한다.
- ④ 페이지 : [제어반], [그래프], [데이터] 중 하나가 표시되는 영역이다.
위 그림은 [제어반]이 선택되었을 때의 화면이다.
- ⑤ 센서 표시창 : 센서로부터 측정되는 각종 신호들이 표시된다.
- ⑥ 시스템 정보 표시창 : 프로그램 수행 중에 발생한 주요 정보를 표시
- ⑦ 날짜 표시창
- ⑧ 시각 표시창

- ⑨ 파일 경로 표시창 : 데이터가 저장되는 파일의 경로와 이름을 표시
- ⑩ 정보 표시창 : 프로그램 수행 중에 발생하는 각종 정보 표시창

나) [제어반] 화면

PLC에 연결된 종말작동 장치의 제어를 수행할 수 있는 별도의 윈도우를 그림 4.6과 같이 구현하였다.



Fig. 4.6 Display of Control Window

제어반은

- 각 구동 장치의 상태를 모니터링하고, 각 구동 장치를 조작하며,
- 구동 장치는 ON/OFF 구동 장치와 OPEN/CLOSE 구동 장치로 구분되며,
- 모든 구동 장치는 마우스 클릭으로 [자동] 및 [수동] 운전이 가능하며,
- 각 구동 장치의 [ON], [OFF], [OPEN], [CLOSE], [STOP] 단추를 누르면 구동 장치가 작동하며,
- OPEN/CLOSE 구동 장치의 [열림]/[닫힘] 램프는 각 구동 장치가 완전히 열린 상태이거나 닫힌 상태일 때 점등되며, 이 때 구동 장치는 작동을 멈추며,
- [열림] 램프가 점등된 상태에서는 [OPEN] 단추를 눌러도 구동 장치가 작동하지 않는다. [닫힘] 램프가 점등된 상태에서는 [CLOSE] 단추를 눌러도 구동 장치가 작동하지 않는다.

2. 결과 및 고찰

가. 성능시험 방법

온실의 개별 제어장치의 자동제어시스템은 그룹모니터에 연결되어 사용자가 원격지에서든 개별 작동장치를 구동할 수 있는 시스템을 구현하였다. 극단적인 상황이 발생할 경우, 재배자는 인증과정을 거쳐 온실의 제어권을 기존의 자동 제어체계에서 원격 작동 시스템으로 넘겨 상황대처가 가능하도록 하고, 대처 후

다시 제어권이 기존 제어체계로 복귀되도록 하였다.

이상과 같이 구현된 제어시스템의 성능 시험을 하기 위해 원격지에서 그룹모니터에 온실의 개별 작동장치의 제어 명령을 전송하는 시험 프로그램을 제작하였다. 그림 4.7은 원격제어 시험 프로그램이다.

성능 시험은 10초에 한번씩 개별 제어장치의 제어명령을 전송하여 그룹모니터의 제어명령 수신확인 메시지를 받음으로써 1회의 성능시험을 완수하는 것으로 하였다. 개별 작동장치의 동작은 1분 이내로 하여 10초 간격으로 천창개폐, 측창개폐, 커튼(내부) 개폐, 커튼(외부) 개폐, 양액장치 On/Off 순으로 명령을 전송하여 1분에 전체 장치의 동작을 시험하였다.

시험은 96시간동안 연속으로 시험하여 34,560회의 성능 시험을 하였다.

원격제어 시험 프로그램은 제어명령을 전송한 후 10초 이내에 그룹모니터의 응답이 없으면 선로의 이상이 있는 것으로 판단하여 제어명령을 재전송하도록 하였다. 제어명령의 재전송 후에도 응답이 없을 경우 원격제어의 실패로 판정하였다.



Fig. 4.7 Simulation program of the remote control

나. 성능 시험

원격 제어 시험 프로그램을 이용한 성능시험 결과는 표 4.2와 같다.

Table 4.2 The Response of the remote control system

Response Time (Sec)	< 3	< 5	< 10	Recommand			Fail
				< 3	< 5	< 10	
No. of response	20,254	7,610	1,254	3527	1,518	384	13
%	58.6	22.0	3.6	10.2	4.3	1.1	0.02

위의 실험 결과 명령 재전송을 포함하여 원격 제어 명령에 대해 99.1 % 가 20 초 이내에 그룹모니터가 성공적으로 제어명령을 수신하여 온실의 개별 제어장치를 작동시켰다. 제어명령 수신시간 및 제어장치의 동작 시작 시간을 고려하면 1 분 내외로 제어동작이 이루어짐을 알 수 있었다. 온실의 개별 제어장치의 동작 시간 및 온실 환경 요인에 영향을 미치는 요소들의 반응 속도와 비교하여 불 때 제어 명령 전달 및 작동 시작 시간이 1분 내외로 온실을 실시간으로 제어하기에 충분한 것으로 평가되었다.

원격 제어 시스템은 34,560회의 성능시험을 통하여 성공률이 99.1 %로 시스템이 충분한 안정성을 보였다.

3. 요약 및 결론.

본 연구에서는 인터넷을 이용한 첨단온실의 원격감시 및 통합관리 시스템의 제어 시스템을 개발하였다. 제어 시스템의 원격 제어 성능을 시험하기 위하여 원격 제어 시험 프로그램을 개발하였고 원격제어 시험프로그램을 이용하여 성능 시험을 수행하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 제어 대상 항목을 선정하고, 기존 제어체계에 대한 조사를 통하여 원격 제어방법을 구명한다.

나. 제어기의 프로그램 이상이나 제어 알고리즘의 이상 등이 발생하면, 온실 내부는 작물생육에 부적합한 극단적인 생육환경이 조성되고, 이러한 극단적인 상황이 발생할 경우 사용자가 기존 온실 자동 제어체계에서 원격 작동 시스템으로 제어권을 가져와 수동 제어를 통한 상황 대처 후 다시 제어권을 기존 제어체

계에 복귀하도록 하였다.

다. 그룹모니터를 통한 원격 제어 시스템은 기존에 설치되어 있는 온실의 자동 제어시스템의 큰 변경 없이 설치가 가능하므로 기존의 설치된 시스템과 안정적이면서도 손쉽게 결합되도록 하였다.

라. 공시온실을 대상으로 원격지에서 96시간동안 34,560회 실험한 결과, 99.1%의 원격제어 성공률을 보여 시스템의 안정성을 확인하였고, 1분 이내에 제어동작을 수행함으로써 시스템의 실시간 응답성을 확인하였다.

제 5 절 통합관리 시스템 개발

1. 시스템 구성

통합관리 시스템은 물리적으로 센터에 위치한 것으로, 그룹모니터로부터 데이터를 수집하여, 데이터베이스에 저장하고, 이를 가공 및 분석하여 제공하는 시스템으로, 그림 5.1과 같이 가공 및 분석기능을 수행하며, 시스템내 구성 서버들을 통합 관리하는 통합관리 서버, 웹서버, 경보서버로 구성하였다.

여러 온실단지에서 첨단온실의 생육환경, 제어장치 상태, 생육상태, 재배활동 등에 대한 정보를 수집하고 그룹모니터를 통하여 센터의 통합관리 서버로 데이터를 전송하며, 이를 가공하여 원시데이터와 함께 데이터베이스에 저장하고, 분석하며, 이를 이용하여, 온실의 돌발상황을 감지하고, 경보를 전달하거나, 분석정보를 인터넷을 이용하여 전달할 수 있도록 구성하였다.

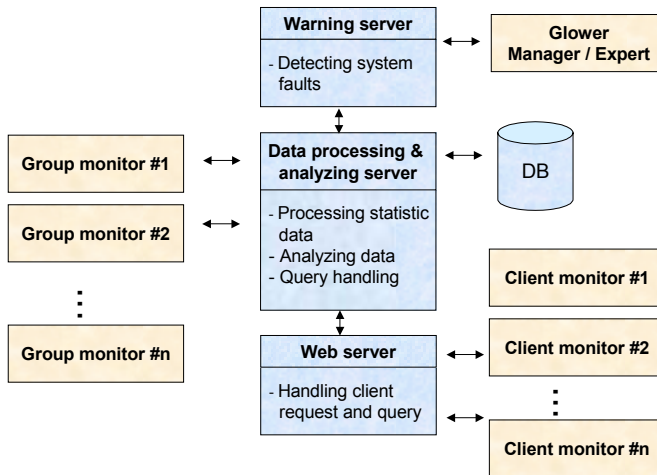


Fig. 5.1 Block diagram of the integrated management system

본 연구에서는 센터에 위치한 각 서버를 독립된 별도의 컴퓨터로 구성하지 않고, 통합관리 서버 컴퓨터에서 기능적 논리적으로 구분하여 구성하였으나, 향후 확장성을 고려하여 논리적으로 완전히 독립된 형태로 구성하여 관리온실의 개수가 증가하면, 쉽게 증설 할 수 있도록 하였다.

가. 통합관리 서버

통합관리 서버는 센터의 핵심기능을 담당하는 것으로 가공 및 분석서버, 경보 서버, 웹서버와 데이터베이스를 통합 관리하도록 구성하였다.

가공 및 분석서버 부분은 그룹모니터와 접속하여 데이터를 수집하고, 데이터 베이스에 저장하기 적합한 형태로 가공하여 저장한다. 그리고, 그룹모니터와 원격지의 클라이언트 모니터에서 입력되는 사용자 요구를 분석하여, 적절한 정보를 데이터베이스로부터 검색하여 관련 정보를 그룹모니터나 웹서버로 제공한다.

또한, 계측정보를 경보서버에 제공하고, 돌발상황 발생 정보를 경보서버로부터 받아 웹서버에 제공하여 관련 내용을 인터넷을 통하여 원격지에 있는 사용자에게 전달 할 수 있도록 하였다.

통합관리 서버의 데이터 흐름도는 그림 5.2와 같다.

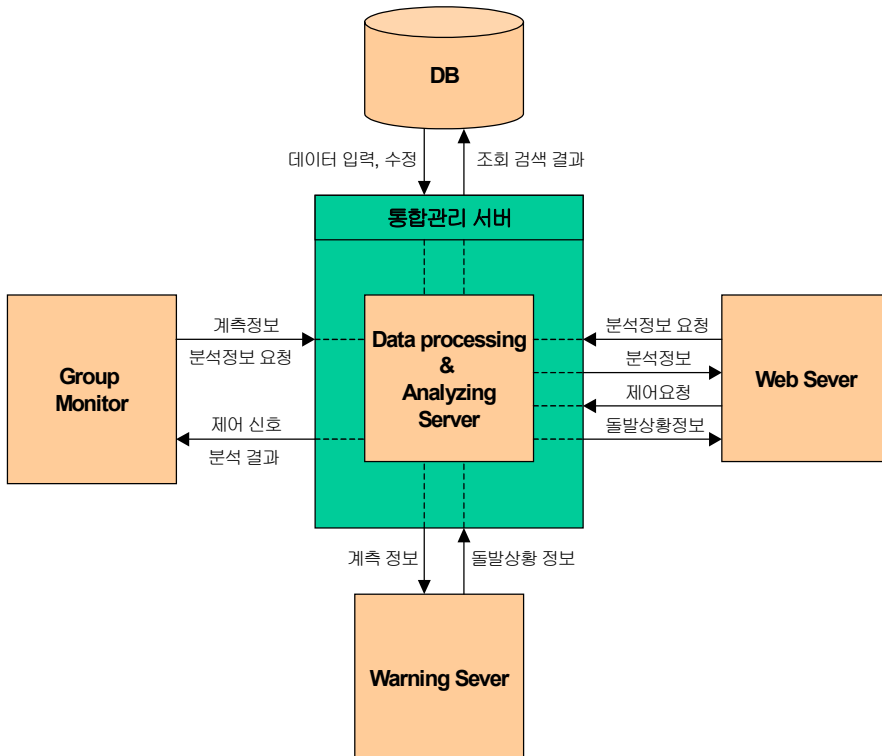


Fig. 5.2 Data flow diagram of integrated management server

통합관리 서버의 안정성과 성능은 전체 시스템의 안정성과 성능을 좌우하는 매우 중요한 요소이다. 본 연구에서 통합관리 서버로 사용한 컴퓨터는 표 5.1과 같이 서버 전용 CPU인 인텔사의 Xeon를 이중으로 사용하였고, 빠른 데이터 검색을 위하여 1024MB의 주 메모리와 스카시 하드디스크를 채택한 서버용 컴퓨터를 사용하였다. 운용체제는 시스템의 안정성을 고려하여 윈도우 2000서버(Windows 2000 Server)를 사용하였다.

본 연구에서 통합관리 서버로 사용한 컴퓨터의 주요 명세는 표 5.1과 같다.

Table 5.1 The specifications of integrated management server

Item	Description	Remark
CPU	Intel Xeon 2.4G Dual	L2 Cash 512KB
Mother Board	Tyan Xeon Dual type M/B	INTEL i7500 Chip-set
Main Memory	512MB DDR ECC RAM	184pin ECC
VGA Card	ATI Built in	ATi range
LAN Card	10/100 LAB-UTP Built in	
SCSI	A-SCSI 2940UW-PRO	
HDD	SEGATE U-SCSI 36.4GB	10000rpm
ODD	LG 52× CD-ROM	
FDD	SEC 3.5"	
CASE	LIAN-LI 7323A	ALUMINUM CASE
POWER	SEVEN TEAM	400W
CABLE	SCSI CABLE	

나. 데이터베이스

본 시스템은 여러 개의 온실단지를 센터에서 통합적으로 관리하고 재배에 필요한 제어전략을 제공할 수 있도록 구성된 것으로, 단일 사용자를 고려한 지역 데이터베이스(Local database)로는 원하는 기능을 구현할 수 없으므로, 다중사용자 환경을 고려한 리모트 데이터베이스(Remote database) 구조로 개발하였다.

데이터베이스 관리 시스템은 윈도우 환경으로 사용자 인터페이스가 뛰어나고 관리가 비교적 쉬운 MS SQL Server 2000을 선정하였다.

다. 웹서버

웹서버는 가공 및 분석서버에서 처리된 온실, 작물, 재배 관련 정보를 원격지의 온실관리자, 재배 농민 또는 전문가에게 인터넷으로 정보를 제공함으로써 시간과 장소에 구애받지 않고 온실 및 작물의 상태를 감시하고 온실 내의 긴급 상황에 대처할 수 있도록 개발한 것으로, 인터넷 정보제공을 위한 Web 서비스 서버, ActiveX와 온실 데이터베이스와의 인터페이스 역할을 하는 Application Server로 구성하였으며, 원활한 온실 정보를 제공하기 위해서 온실 데이터베이스 및 통합관리 서버와의 연계되도록 하였다.

Web 서비스 서버는 원격지의 온실관리자, 재배 농민 또는 전문가들과 온실과의 연결고리 역할을 하며, 실제 온실 정보는 데이터베이스에 저장되며 관리된다. Web 서비스 서버는 원격지의 클라이언트의 요청을 받아 온실 데이터베이스로부터 데이터를 가져와 클라이언트에게 제공하며, 온실관리자 또는 재배 농민의 온실에 대한 원격제어 요청이 있을 경우 통합관리 서버를 통해 원격제어를 요청하고 그 처리결과를 통보하도록 하였다.

본 연구의 1차 년도에서는 원격지의 클라이언트가 온실정보에 접근하기 위해서는 클라이언트 S/W를 원격지 컴퓨터에서 다운받아 설치해야만 했다. 하지만 컴퓨터에 익숙하지 않은 재배농민의 경우 온실정보에 접근하기가 용이하지 않았다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 웹서버를 구축하여 단순히 인터넷에 접속하여 필요한 정보를 쉽게 조회하고 검색할 수 있게 하였다.

그림 5.3과 같이 웹서비스는 인터넷을 통한 온실정보 요청에 대해서는 ASP (Active Server Page)를 동적으로 생성해 원하는 정보를 인터넷 브라우저를 통해 온실관리자 및 재배 농민이 손쉽게 접근할 수 있도록 하였으며, 온실 내의

내·외부 커튼, 측창, 양액 공급장치 및 감시 카메라 등의 원격제어를 위해서는 ActiveX를 사용하였다.

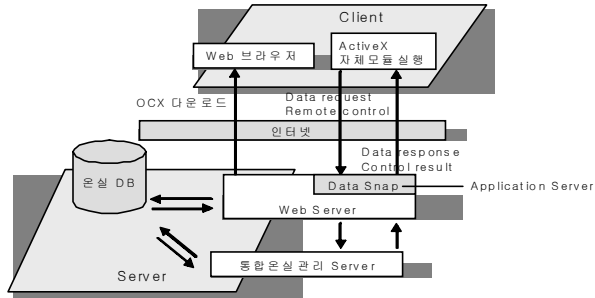


Fig. 5.3 The data flow diagram of web server

이렇게 구성함으로써 온실 데이터베이스 접근을 위한 라이브러리 및 드라이버를 클라이언트에 인스톨할 필요가 없어진다. 온실 데이터베이스 접근은 서버내의 DataSnap을 이용한 어플리케이션 서버가 ActiveX와 온실 데이터베이스와의 중간 다리 역할을 하도록 하였다.

또한, ActiveX의 경우 서버에 업데이트된 프로그램을 올려놓으면 웹브라우저가 자동으로 ActiveX의 버전을 체크한 후 최신 버전의 ActiveX를 다운로드한다. 따라서 컴퓨터에 익숙하지 않은 사람이라도 손쉽게 소프트웨어를 업그레이드할 수 있으므로, 온실 정보 표출 및 원격제어를 위한 소프트웨어의 업데이트가 용이하게 되었다.

그리고, 압축형식을 이용하여 네트워크를 통해 다운받는 프로그램의 크기를 줄일 수 있으며, 프로그램 설치 및 컴퓨터 사용에 미숙한 사용자라도 인터넷 브라우저를 통해서 온실의 원격 감시 및 제어를 할 수 있다.

또한 불특정 다수의 온실시스템 접근을 막기 위해 아이디 및 비밀번호를 통해 인증된 사용자만이 표출 및 작동시스템에 접근할 수 있도록 하였다.

라. 경보서버

많은 온실에 계측 및 제어설비가 설치되어 있으나, 하드웨어의 안정성과 신뢰성의 문제 등으로 장비를 제대로 활용하지 못하고 있는 경우가 많다. 또한 온실이 첨단화되면서 시스템이 복잡해지고 있어, 온실관리자의 유지 관리 부담이 더욱 증가하고 있다.

이에 본 연구에서는 온실의 각종 설비의 상태를 감시하고, 짧은 시간내에 작물에 회복할 수 없는 피해를 발생하는 극단적인 생육환경이 발생하면, 이를 자동으로 감지하여 경보를 할 수 있도록 경보서버를 개발하였다.

경보서버의 데이터 흐름도는 그림 5.4과 같이 그룹모니터로부터 전송되는 온실의 각종 데이터를 통합관리 서버를 통하여 전달받고, 돌발상황여부를 점검하여 돌발상황이 발생하면, 데이터베이스에 돌발상황 관련 정보를 저장하고, 경보를 전달 해야할 온실 관리자의 전화번호를 검색하여 관련 정보를 유선전화나 무선전화로 경보를 전달하도록 구성하였다.

또한 돌발 상황정보를 웹서버에도 전달하여 인터넷으로도 돌발상황 정보를 제공하도록 하였다.

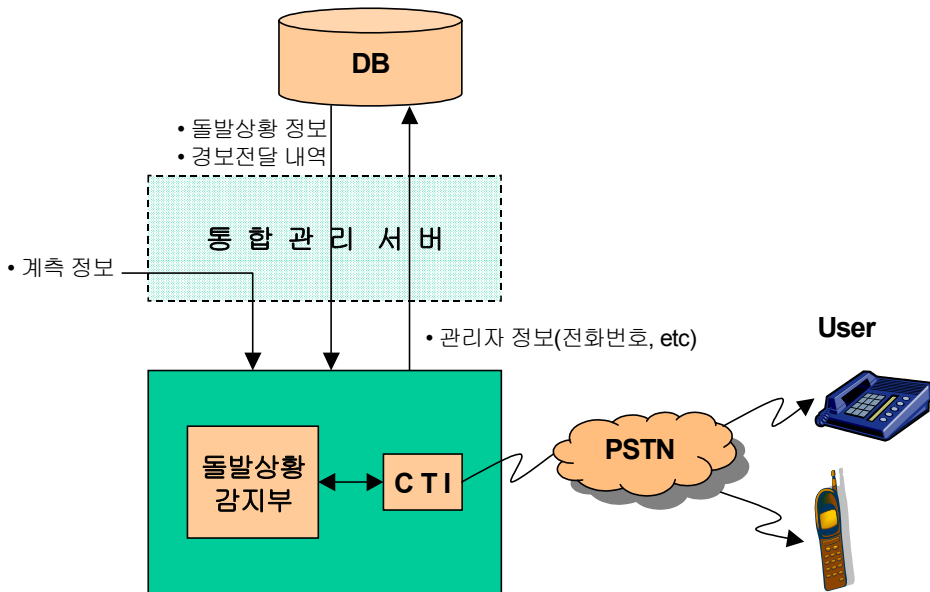


Fig. 5.4 The data flow diagram of warning server

경보서버의 경보부는 돌발상황이 발생하면 가장 확실하고, 즉각적인 방법으로 경보 상황을 전달하기 위하여 컴퓨터 전화통신 인터페이스 (CTI : Computer Telephony Interface)를 이용하여 통합관리 서버 컴퓨터에서 바로 사용자에게 전화로 경보를 전달하도록 하였다.

본 연구에서 사용한 CTI는 뮤직텔레콤사(Music Telecom)의 passport MTP-4 PCI로 IVR(Inter Active Response System)이나 콜 센터 등에서 이용하고 있는 것으로, DSP(Data Signal Processor)칩을 내장하고 있어, 컴퓨터에 저장된 음성 파일을 전화로 출력할 수 있다.

표 5.2는 CTI의 명세를 나타낸 것이다.

Table 5.2 The specifications of CTI

Items	Description
Interface type	Two-wire loop atart, balanced battery feed
Loop current	25mA +/-2VDC
Open loop voltage	-21 VDC +/-2VDC
Short circuit current	Current limited to -30mA max
loop length	600Ohms nominal
Impedence	2500 feet, typical (24gauge)
Signal/Noise ratio	35dB +/-3dB(15dBm, 1004Hz reference)
Cross Talk coupling	Less then -70dB max. (0dBm, 1004Hz)
Ring voltage	42Vrms typical
Ring equivalency	1 REN per line all lines ringing simultaneously

2. 네트워크 구성

가. 프로토콜의 선정

프로토콜은 정보기기 사이에서 정보교환이 필요한 경우, 이를 원활하게 하기 위하여 정한 여러 가지 통신규칙과 방법에 대한 약속으로, 각 시스템간에 주고 받아야 하는 정보를 신뢰성 있고 신속하게 전달할 수 있는 통신 규약이다.

본 연구에서는 서버간, 서버와 그룹모니터간, 그룹모니터와 기존 온실제어시스템간에는 TCP/IP의 소켓을 이용하였고, 그룹모니터와 하우스모니터, 기상 모니

터, 영상장치간 통신은 단말장치의 특성을 고려하여 시리얼 통신과 메시지 통신을 통하여 그 기능을 최대화하도록 설계하였다. 또한 표준 프로토콜을 준수하여 확장성 및 이식성 확보하며 데이터코드를 최적화하여 전송효율을 최대화하였다.

나. 데이터 전송절차

온실에 설치된 하우스모니터의 통신 프로토콜에 대한 설명은 앞절에서 하였으므로 본 절에서는 서버간, 서버와 그룹모니터간에 사용한 프로토콜에 대하여 설명한다.

기본적으로 시스템의 구성은 클라이언트/서버 구조로 개발하였고, 원칙적인 TCP/IP의 소켓을 이용하였다. 그림 5.5는 클라이언트 소켓의 전송절차를 나타낸 것이고, 그림 5.6은 서버 소켓의 전송절차를 나타낸 것이다.

서버는 항상 Listen상태로 되어 있어야, 여러 개의 온실단지로부터 들어오는 정보를 손실없이 받을 수 있으므로, 클라이언트의 접속요청이 있으면, 실제 데이터를 통신할 수 있는 연결을 설정하여 쓰레드를 생성하고 통신을 수행한다. 이렇게 함으로써 쓰레드가 실행되는 동안에도 서버는 다시 Listen상태를 유지하여 다른 클라이언트의 접속요청에 응답할 수 있도록 하였다.

이렇게 클라이언트와 통신할 수 있는 연결이 설정되면, 그림 5.7과 같이 데이터를 송수신하도록 하였다.

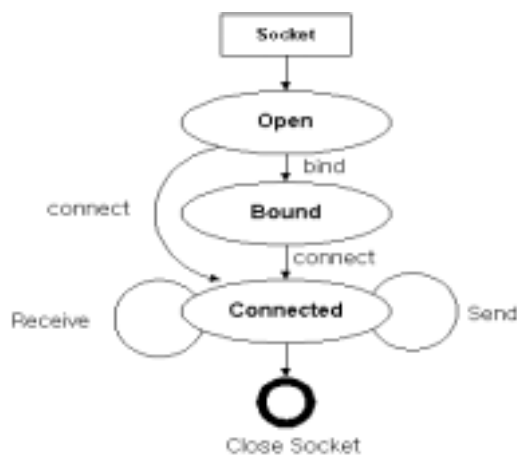


Fig. 5.5 The state of the client socket

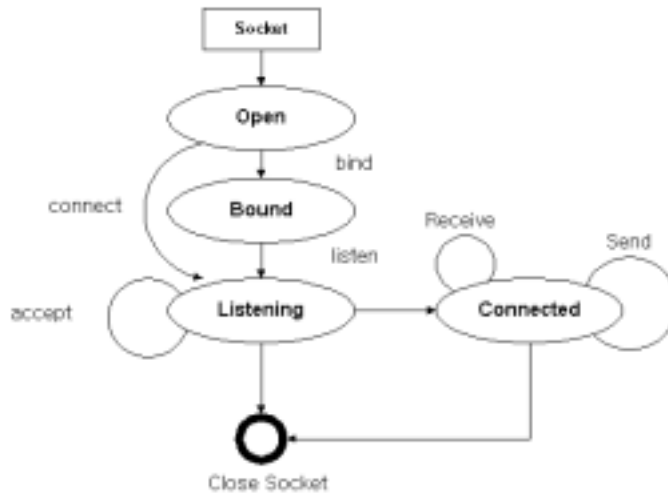
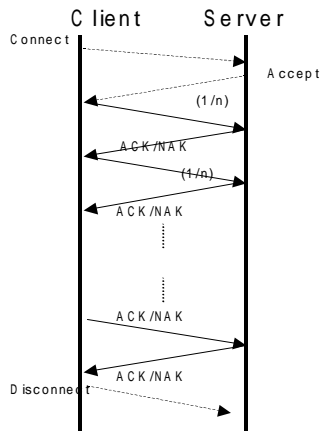


Fig. 5.6 The state of server socket

전송절차



- ① Client는 연결을 요청
- ② Server는 항상 Accept() 대기하여 Client 연결 요청 수신
- ③ Client는 전송할 데이터의 첫번째 패킷 전송
- ④ Server는 수신한 메시지를 검사하여 응답(ACK/NAK)하고, 부정응답의 최대 반복회수 만큼 반복 처리
- ⑤ Server로부터 ACK를 수신하면 Client는 두번째 패킷을 전송하며, NAK를 수신하면 재전송
- ⑥ Server는 수신한 메시지를 검사하여 응답(ACK/NAK)
- ⑦ ⑤~⑥번을 반복 수행
- ⑧ Client는 전송할 데이터의 마지막 패킷을 전송
- ⑨ Server는 수신한 메시지를 검사하여 응답(ACK/NAK)

Fig. 5.7 The procedure of communication

3. 시스템 통합 설치

세부과제와 협동과제에서 개발된 시스템을 통합하여 공시온실로 선정된 서울대학교 농업생명과학대학내 농장 유리온실 A동 1호실에 첨단온실의 원격생육환경 감시시스템을 설치하고, 시스템의 운용 특성을 확인하기 위하여 2회의 실증 재배 실험을 수행하였다.

가. 재배작물 선정 및 작물재배

실증 시험을 위한 공시작물로 상추를 선정하였고, 순환식 양액재배 방식으로 재배하였다. 그림 5.8은 상추의 재배 모습을 나타낸 것이다. 실증 재배는 9월에서 11월에 걸쳐 두 차례 이루어졌다.



Fig. 5.8 View of culture lettuce

그림 5.9는 온실에 설치된 재배장치, 각종 센서 및 감시 시스템이 설치된 모습은 나타낸 것이다.

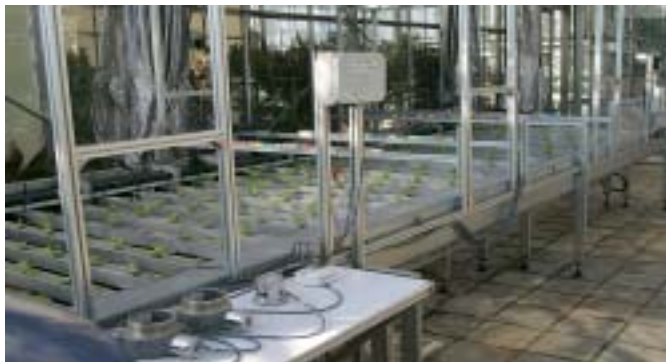


Fig. 5.9 View of components installed in greenhouse

나. 생육환경 감시 시스템의 설치

본 연구에서 개발된 시스템은 여러 온실을 센터에서 통합 관리할 수 있게 개발되어 여러 온실에 대한 계측정보를 수집할 수 있지만, 여러 온실을 대상으로 실험하는 것이 현실적으로 어려워, 여러 온실을 동시에 감시하는 성능을 확인하기 위하여 공시온실을 두 개의 온실이라 가정하고 재배베드의 시작 부분과 끝 부분에 하우스모니터를 구분하여 설치하였고, 전자를 온실 I (GH00010), 후자를 온실 II (GH00020)라 가정하고 계측 시스템을 구성하였다.

그림 5.10은 온실단지에 설치되는 그룹모니터와 온실 I (GH00010)에 설치된 하우스모니터 및 각종 센서들을 나타낸 것이다.



Fig. 5.10 Group Monitor, House Monitor and sensors in greenhouse I

그림 5.11에 온실 II (GH00020)에 설치된 센서와 온실 II로부터 생육환경 계측 정보를 받는 하우스모니터를 나타내었고, 그림 5.12는 온실단지에 설치된 기상모니터의 모습이며, 온실외부의 기상정보를 계측하는 장치이다.



Fig. 5.11 House monitor and sensors in greenhouse II



Fig. 5.12 Weather monitor

다. 제어장치 감시 시스템의 설치

온실에 설치된 제어장치는 온실 제어컴퓨터와 연결되어 작동된다. 제어컴퓨터는 그룹모니터와 소켓통신을 이용하여 장치의 제어명령을 주고받도록 구성하였다. 그림 5.13와 그림 5.14은 온실에 설치되어 있는 제어장치를 관리하는 제어컴퓨터와 제어장치를 나타낸 것으로 제어장치는 작동방식에 따라 Open/Close형과 On/Off형으로 구분하였다. Open/Close형은 천창, 측창, 커튼을 On/Off형은 배기팬, 쿨링팬, 쿨링펌프, 양액펌프로 구성된다.



Fig. 5.13 Greenhouse control computer and open/close control equipments



Fig. 5.14 On/off control equipments

라. 생육상태 감시 시스템의 설치

재배작물의 생육상태를 감시하기 위하여 감시 카메라 및 측도봉을 설치하였고, 이를 이용하여 생체중, 엽면지수, 영상 데이터를 획득하여 작물의 생육상태 등을 계측할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

아래의 그림 5.15는 온실 감시용 카메라와 재배작물 위에 설치된 측도봉을 나타낸 것이다. 카메라는 온실 감시를 위한 Pan/Tilt 장치가 부착된 감시 카메라와 생육정보를 획득하기 위한 두 대의 고정용 카메라를 설치하여 영상 정보를 입력받도록 하였다.



Fig. 5.15 Growth monitoring system

영상장치로부터 받은 영상을 이용하여 그룹모니터에서 영상모듈 프로그램으로 생육상태의 데이터를 획득하도록 하였다. 그림 5.16는 영상 분석모듈을 나타낸다.



Fig. 5.16 Crop image analysis module

4. 요약 및 결론

본 연구는 통합관리 시스템의 구성요소를 정의하고 물리적 구성을 구현하며, 적절한 프로토콜을 선정하여 세부과제와 협동과제에서 개발된 시스템을 통합하여 실제 온실에 설치하는 것을 목표로 수행되었으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 통합관리 시스템은 그룹모니터로부터 데이터를 수집하여, 데이터베이스에 저장하고, 이를 가공 및 분석하여 인터넷 등으로 정보를 제공할 수 있도록 통합관리 서버, 웹서버, 경보서버로 구성하였다.

나. 통합관리 서버는 내부에 구성된 서버와 데이터베이스를 통합관리 하는 것으로 안정성과 성능확보를 위하여 서버용 컴퓨터를 선정하였고, 운용체계로는 윈도우 2000 서버를 선택하였다.

다. 데이터베이스는 다중사용자 환경을 고려한 리모트 데이터베이스 중 윈도우 환경에서 사용자 인터페이스가 우수하고 관리가 용이한 MS SQL Server 2000을 선정하였다.

라. 웹서버는 컴퓨터 비전문가도 쉽게 정보에 접근하고, 업그레이드가 용이하도록 DataSnap, ASP, Active X 등을 이용하여 구축하였다.

마. 경보서버는 돌발상황을 감지하고 경보를 전달하는 것으로 즉각적이고 직접적인 정보 전달을 위하여 컴퓨터전화통신 인터페이스(CTI)로 개발하였다.

바. 전체 시스템의 네트워크 구성은 확장성, 이식성, 전송효율 등을 고려하여 서버간, 시스템간은 TCP/IP를 선택하였고, 장치간 통신은 장비별 특성에 맞추어 직렬통신, 메시지 통신 등을 선정하였다.

사. 세부과제인 온실 환경 제어시스템 종합 관리 및 모니터링 시스템과 협동과제인 작물 생육 상태 모니터링 시스템을 통합하여 공시온실에 설치하고, 단위 실험을 수행한 결과, 통합 시스템이 원활하게 작동됨을 확인하였다.

제 6 절 데이터베이스 구축 및 제어전략 제공 시스템 개발

1. 재료 및 방법

가. 데이터베이스 설계

1) 데이터베이스 개발 방법

데이터베이스의 개발은 그림 6.1과 같이 온실을 대상으로 필요한 데이터를 파악하고, 각 데이터간의 관계 및 규칙 등을 조사하여 데이터베이스의 구성 및 구조에 관한 요구를 분석하였다.

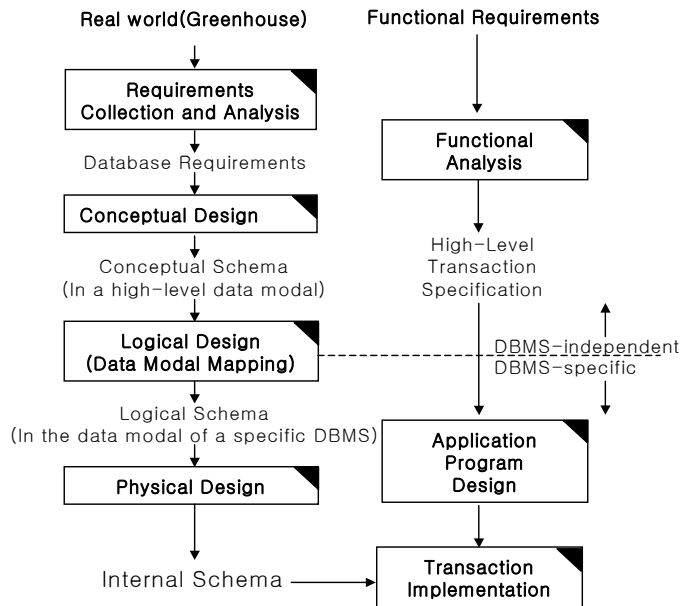


Fig. 6.1 Database design procedure

개념적 데이터 모델 설계 단계에서는 요구분석과정에서 선정된 개체들의 속성과 관계를 구명하고 정의하여 개체관계도(ERD : Entity Relation Diagram)를 작성하고, 테이블의 정규화 과정을 통하여 개체관계성 데이터 모델(Entity relationship model)을 개발하였으며, 주요 프로세스의 삽입, 갱신, 삭제 등의 규

칙을 파악하였다.

논리적 설계과정에서는 본 과제에서 이용한 데이터베이스 관리시스템(DBMS: Database Management System)인 MS SQL을 고려하여, 개체의 속성과 관계를 정리하여 데이터베이스 다이어그램을 설계하고, 테이블을 정의하였다.

물리적 설계과정에서는 DBMS의 특성과 개체관계도 및 테이블을 기준으로 저장 및 접근 특성을 정의하고, 최종적으로 서버 구축 및 데이터 입출력 모듈과 분석 모듈을 구성하여 데이터베이스를 구현하였다.

2) 데이터베이스 요구분석

데이터베이스의 설계 및 구축은 완전하고 데이터의 중복이 제거되며 정규화되고 완전히 통합된 개념적, 논리적, 그리고 물리적 데이터베이스 모델을 만들어, 요구되는 사용자 데이터를 데이터베이스에 적재하고 관리하기 용이하도록 데이터의 저장구조를 설계하는 것이다.

본 연구에서는 데이터베이스의 요구분석에서 필요한 입력 정보의 종류, 개발될 시스템의 산출물의 종류, 정보의 추출방법, 데이터의 속성, 관계, 양, 사용빈도, 정보의 사용자, 이용형태, 최종 사용자의 관점 파악 등을 통하여 개체를 정의한 결과, 그림 6.2과 같은 구조의 데이터베이스가 필요한 것으로 파악되었다.

주요 개체로는 표 6.1와 같이 온실의 설치상황 및 사용자에 관한 기초 데이터, 생육환경 및 작동상태, 작물 생육상태, 시설물 유지관리, 재배활동에 대한 기록, 재배 도중에 발생하는 병충해, 생육장애 및 수확량 등에 관한 재배 운영관리, 그리고 문헌 등에서 수집된 작물의 생육특성, 병충해 처방법 등의 재배지원 데이터 등이 필요하였다.

3) 개념적 데이터 모델 설계

개념적 데이터 모델 설계과정은 데이터베이스 개발과정에서 가장 중요한 단계로, 데이터 모델의 개발을 통하여 현실 세계의 개체들을 표현하는 추상적 데이터베이스 구조를 정의하는 단계이다.

본 연구에서는 요구분석에서 정의된 모듈별 데이터 집합을 대상으로 속성과 관계를 파악하고, 각 데이터 집합의 데이터 요소들을 정의하는 하향식 설계기법을 이용하여 개체 유형을 파악하고 각 개체의 속성을 정의하였다.

상위개념의 데이터 집합으로는 그림 6.2과 같이 데이터의 특성에 따라 환경정보 및 제어정보 수집 처리군, 온실재배일지 처리군, 온실장치 정보처리군, 재배작물 분석데이터 처리군, 온실관리 정보 및 정적 정보 처리군 등으로 구성하였고, 비즈니스 모델을 분석하여 입력방법 및 표출방법에 따라 세부항목을 구성하였다.

특히 입출력 모듈에서는 정보수집 시스템을 통해 정기적으로 자동 입력되는 정보와 사용자 입력정보 등으로 구분하여 입출력 모듈을 설계함으로써 데이터베이스 응용프로그램의 사용자와 관리자(DBA : Database Administrator)의 편의성을 고려하였다.

개념적 데이터 모델의 설계를 위하여 각 개체들의 속성(Attribute)을 정의하고, 해당 개체(Entity)의 레코드들을 유일하게 구별할 수 있도록 기본키(Primary key)를 부여하였으며, 관계가 있는 개체간의 상호참조를 위한 참조키(Foreign key)를 정의하고, 개체간의 관계를 차수(Cardinality)와 모달리티(Modality)를 이용하여 일차적인 개체관계도를 작성하고, 정규화 과정을 통하여 개체관계도를 갱신하고, 테이블을 정의하였다.

Table 6.1 Database Entities

Category	Entity set
Basic data	·Greenhouse group data ·Individual greenhouse data ·User data
Environment & Control data	·Growing environment data ·Control equipment status data ·Weather data
Equipment management data	·Equipment data ·Maintenance record ·Camera data
Growing management data	·Growing record ·Plan of growing ·Record of damage from disease and harmful insects ·Record of plant stress ·Harvesting data
Growing support data	·Plant information ·Disease and harmful insects information ·Plant stress information



Fig. 6.2 The structure of greenhouse database

4) 논리적 물리적 데이터베이스 설계

논리적 데이터베이스 설계는 데이터베이스 관리 시스템을 선택하고, 해당 DBMS의 내부 데이터 모델에 적합하도록 개념적 설계 결과를 변환하는 과정으로, 본 연구에서 데이터베이스 관리시스템으로 선정된 MS SQL의 내부 데이터 모델을 고려하여 데이터베이스 다이어그램을 설계하고 테이블을 정의하였다.

물리적 데이터베이스 설계단계에서는 실제 구현될 하드웨어의 유형 및 DBMS를 고려하여 데이터베이스의 저장과 접근 방법을 정의하였다. 본 연구에서 사용한 데이터베이스 서버는 통합관리 서버 컴퓨터에 내장되어 물리적으로 독립된 서버를 갖추지는 않았지만, 향후 확장성을 고려하여 논리적으로 완전히 독립된 형태로 구성하여 관리온실의 개수가 증가하면, 쉽게 증설 할 수 있도록 하였다.

응용프로그램의 개발은 컴포넌트 기반의 데이터베이스 개발 툴인 볼랜드사의 델파이(Delphi 5.0)를 사용하였고, 데이터베이스 연결은 그림 6.3과 같이 ODBC(Open Database Connectivity)와 델파이에서 제공하는 DBE(Borland Database Engine)을 이용하였으며, 데이터 접근 컴포넌트들과 사용자 인터페이스의 컴포넌트들을 이용하여 데이터의 삽입, 갱신, 검색이 가능하도록 구성하였다.

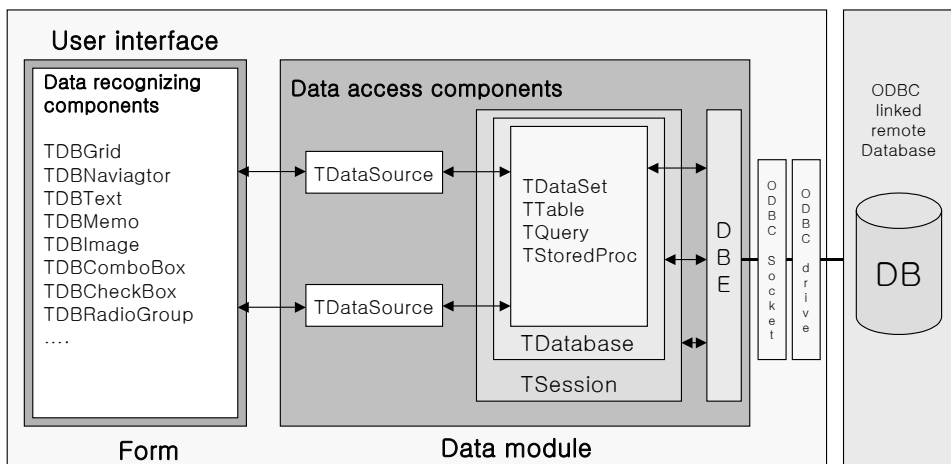


Fig. 6.3 Database connection diagram

나. 제어전략 제공 시스템

제어전략 제공 시스템은 재배자가 첨단온실의 적절한 운용전략을 수립할 수 있도록 데이터베이스에 수집된 각종 정보를 가공 분석하고, 돌발상황을 신속하게 전달하며, 원격지에서도 관련 정보를 검색할 수 있는 것으로 가공 및 분석 모듈, 정보 모듈, 웹 서비스 모듈로 구성하였다.

즉, 재배사례별로 모든 재배활동 및 온실의 상태, 작물의 상태 정보를 데이터베이스로 구축함으로써 첨단온실의 경제적 운용을 도모하고, 돌발상황 발생시에 즉각적인 조치를 취함으로써 안정적으로 첨단온실을 운용할 수 있도록 하였다.

1) 가공 및 분석 모듈 개발

가공 및 분석 모듈은 정보제공시스템에서 수집되어 데이터베이스에 저장된 생육환경, 제어장치 상태, 작물의 생육상태 등을 가공 분석하고 조회할 수 있으며, 문헌, 재배농민 및 전문가에 의해 수집된 생육장애 및 병충해 정보와 비교할 수 있도록 개발하였다.

온실관리의 편의성을 제공하고, 재배작물의 최적환경을 조성하는데 필요한 정보를 제공하기 위하여 본 연구에서는 정보의 속성과 사용자의 편의성 등을 고려하여 표 6.2과 같이 모듈을 설정하고, 원격지에서 실시간으로 온실을 감시할 수 있고, 재배사례로 구축된 데이터를 분석 모듈을 이용하여 분석하고, 조회할 수 있도록 하였다.

생육환경정보, 제어장치상태정보, 생육상태정보와 같은 재배에 직접적인 영향을 주는 주요항목들은 그래프를 이용하여 변화추이를 알아볼 수 있도록 하였고, 재배계획, 재배기록 등은 표로 표출하도록 하였다.

2) 정보 모듈 개발

첨단온실에는 많은 제어장치와 계측장치가 설치되어 작물에 적합한 생육환경을 구현하고 있다. 그러나 이러한 첨단설비들의 활용도가 떨어지는 가장 큰 이유는 고장 등 돌발상황이 발생하여 정상적으로 작동되지 못하는 경우 극단적인 생육환경이 조성되어 회복이 불가능한 생물학적 피해가 발생할 수 있기 때문이다.

Table 6.2 Category of data searching and analysis modules

Category of module	Subordinate module
Environment & Control data searching and analysis module	·Environment state of the greenhouse ·Control equipments operating state ·Weather state
Equipment management data searching module	·Control equipment ·Camera ·Equipment maintenance record
Plant growing management data searching and analysis module	·Culture record ·Culture plan ·Record of damage from disease and harmful insects ·Record of plant stress ·Harvesting data
Plant growing data searching and analysis module	·Plant growing state ·Cultured plant information ·Disease and harmful insects information ·Plant stress information
Real time monitoring module	·Display current status of greenhouse

이에 본 연구에서는 안정적으로 온실의 작동상태를 감시하고, 돌발상황이 발생하면, 이를 감지하여 즉각적으로 재배자와 관리자에게 통보할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

가) 돌발상황 감지부

본 연구에서 정의한 돌발상황은 극단적인 생육환경이 발생하거나, 정전, 통신 두절 등으로 더 이상 온실의 상황을 감시 할 수 없는 경우로 돌발상황의 대상을 한정하였다.

돌발상황 감지 대상 생육환경은 통상 첨단온실의 경우, 대부분 최소한 1일 이내에 작업자들이 온실에서 직접 재배활동을 하기 때문에 자동으로 이상여부를 감시하는 대상은 짧은 시간 내에 작물에게 회복 불가능한 피해를 유발할 수 있는 온도환경과 양액공급 장치를 선정하였다.

실제 온실의 경우, 온실시공회사별로 설치된 제어장치나 계측장치의 구성이 상이하므로, 본 연구에서는 공시온실을 기준으로 제어장치 및 계측장치와 돌발

상황 감지 대상과의 관계를 표 6.3와 같이 정리하였고, 그림 6.4는 돌발상황 감지부의 흐름도를 나타낸 것이다.

온도환경의 경우, 계측장치인 내부 온도센서나 외부기상 관측용 온도센서의 단선이나 단락이 발생할 수 있고, 천창, 측창, 보일러, 에어쿨링팬, 쿨링 펌프 등의 고장으로 극단적으로 생육에 부적절한 온도환경이 조성될 수 있다. 이러한 고장이 발생하면, 현상적으로 나타나는 증상은 고온이나 저온이 되므로, 일차적으로 현재 측정되고 있는 온도가 미리 설정한 온도의 상하한 값을 초과하는지 여부로 돌발상황을 감지할 수 있다.

그러나, 온도센서에 고장이 발생하는 경우, 사용자가 현재 측정값을 기준으로 어떤 조치를 취하면, 오히려 상황을 악화시킬 수 있으므로, 고장의 원인에 대한 추정이 필요하다. 이를 위하여 온도센서의 명시적인 고장을 감지할 수 있도록 하우스모니터에서 신호처리회로를 구성하였고, 이를 기준으로 센서의 고장여부를 감지할 수 있도록 하였다.

관련된 제어장치들의 고장은 논리적인 오류 여부를 판단하여 감시하도록 시스템을 구성하였다. 즉, 극단적인 고온이 발생한 상황에서 보일러가 구동되고 있거나, 천창, 측창이 닫혀있는 것 등을 점검하여, 제어장치의 고장을 추정하도록 하였다.

Table 6.3 Relationship between equipments and selected emergency situation

Equipments	Temp.	Nutrient	Equipments	Temp.	Nutrient
Ceiling window	○	×	Cooling water pump	○	×
Side window	○	×	Ventilation fan	△	×
Curtains	△	×	Inside temp. sensor	○	△
Nutrient pump	×	○	Outside temp. sensor	○	×
Nutrient valve	×	○	Nutrient flow sensor	×	○
Boiler temp.	○	×	Nutrient temp. sensor	×	○
Air cooling fan	○	×	EC, pH sensor	×	○

◎ : 영향 큼 ○ : 영향 있음 △ : 영향 적음 × : 영향 없음

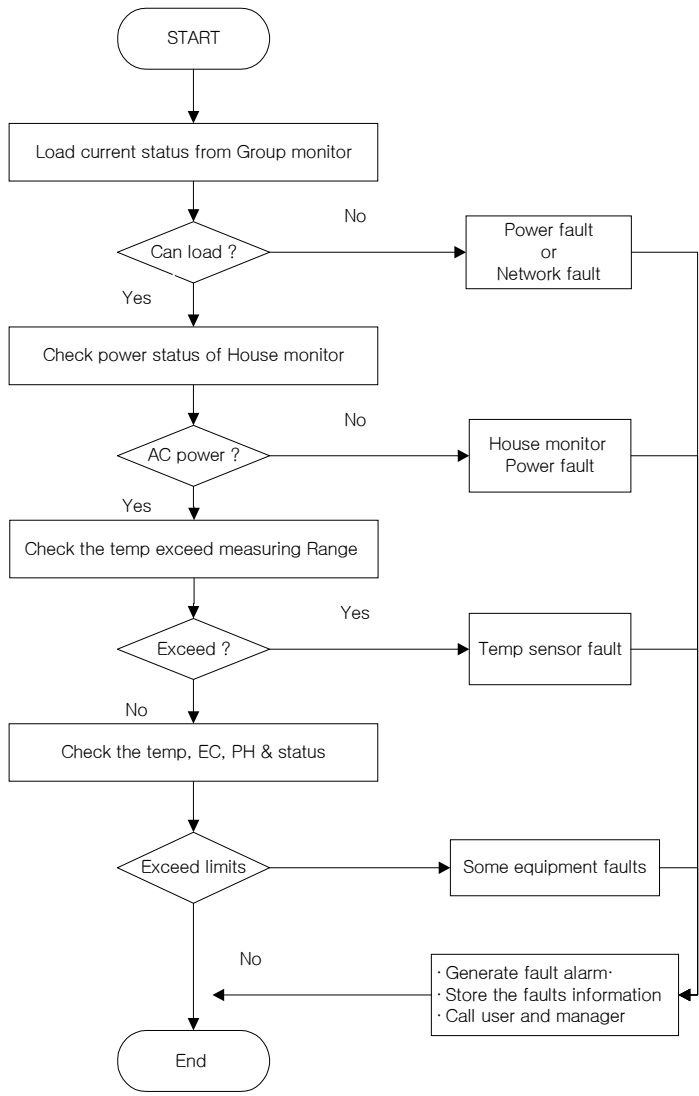


Fig. 6.4 The flow chart of detection for emergency situation

양액 공급장치의 경우에는 양액 공급여부를 감시하는 감시장치의 상태, 양액 온도, EC, pH의 측정값을 기준으로 돌발상황을 감지할 수 있도록 하였다. 기본적으로 양액이 공급되지 않는 경우는 공급라인에 부착된 양액흐름 감시장치의 신호를 기준으로 하였고, 이 장치의 고장을 대비하여 양액의 온도를 측정하는 센서의 위치를 배지내에 두어서 양액이 공급되지 않는 경우, 양액 온도와 온실 내부온도의 차이를 이용하여 고장을 추정하도록 하였다.

정전 및 통신두절의 경우에는 하우스모니터가 설치된 개별온실만 정전이 되면 하우스모니터에 내장된 배터리를 통하여 지속적인 감시가 가능하므로, 전원 상태를 나타내는 데이터를 점검하여 정전여부를 확인하였고, 그룹모니터가 설치된 곳의 정전이나, 통신두절의 경우에는 정상적으로 현재 데이터가 센터로 전송되지 못하므로 데이터의 전송여부로 돌발 상황을 감지하였다.

나) 경보부

경보 모듈은 그림 6.5와 같이 돌발상황 감지부에서 정전, 통신 두절, 극단적인 생육환경 등을 감지하면, 이를 즉각적으로 경보 모듈에 전달하여 사용자와 관리자에게 유선 전화, 무선전화 등 기존의 통신망을 이용하거나, 웹으로 돌발상황 내용 및 발생시간 등 관련 정보를 제공하여 빠른 조치를 취할 수 있도록 하였다.

본 연구에서 개발된 시스템은 여러 개의 온실을 동시에 관리하고 있으므로, 동시에 복수의 온실에서 여러 개의 경보가 발생할 경우에도 즉각적인 경보를 전달할 수 있도록 멀티쓰레드로 구성하여 농민이나 관리자에게 관련 정보를 전달하게 하였다. 그림 6.6은 경보 전달부의 흐름도를 나타낸 것이다.

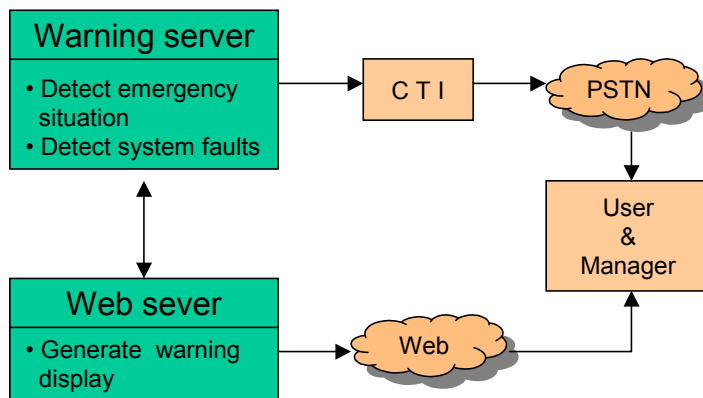


Fig. 6.5 The block diagram of emergency detection and warning module

돌발상황 감지부에서 돌발상황을 전송하면, 해당 온실의 ID를 이용하여 온실 관리자의 정보를 데이터베이스로부터 검색하여, 온실 관리자의 전화번호를 획득

한 후에 전화를 걸도록 하였다. 이때 동시에 발생하는 다른 온실의 상태를 지속적으로 감시할 수 있도록 전화를 거는 내부 프로시저를 호출하고 스레드를 생성하여 경보 발생부는 다른 경보 발생여부를 계속해서 감시할 수 있도록 하였다.

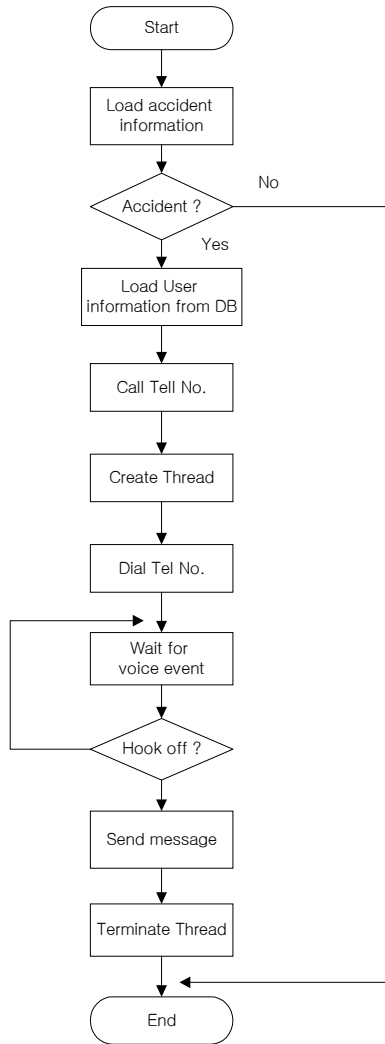


Fig. 6.6 The flow chart of warning module

내부 프로시저는 사용자 전화번호로 전화를 하고, 전화를 받으면, 음성전화 상태인지, FAX 등 데이터 통신 상태인지를 검사하여 음성전화인 경우, 미리 경보부에 돌발상황별로 만들어진 음성파일을 음성으로 전환하여 경보를 전달하도록

하였다.

3) 웹서비스 모듈 개발

웹서비스 모듈은 그림 6.7과 같이 가공 및 분석 모듈에서 처리된 온실, 작물, 재배 관련 정보를 원격지의 온실관리자, 재배 농민 또는 전문가에게 인터넷으로 정보를 제공함으로써 시간과 장소에 구애받지 않고 온실 및 작물의 상태를 감시하고 온실 내의 긴급 상황에 대처할 수 있도록 하였다.

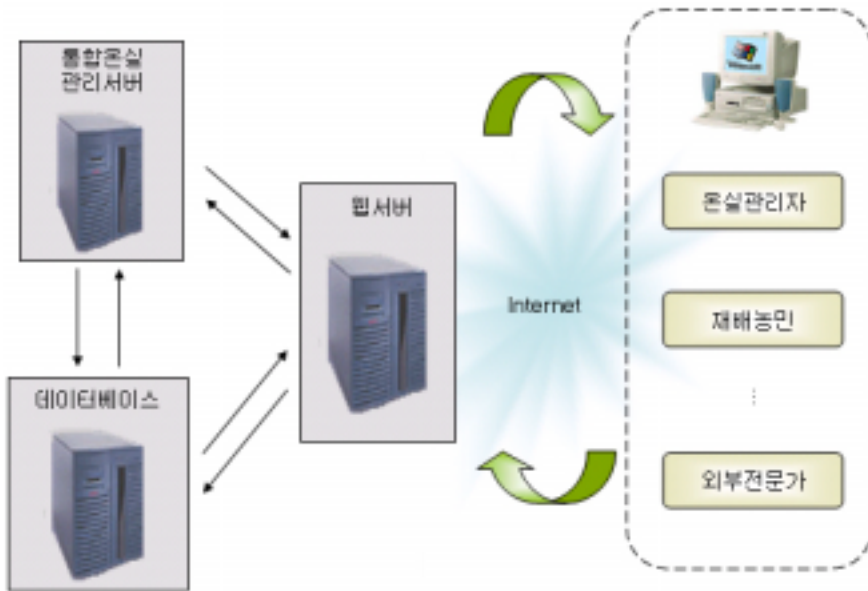


Fig. 6.7 The block diagram of web service module

웹서비스 모듈은 보안기능, 정보표출기능, 원격모니터링기능, 원격제어기능으로 구성하였다. 보안기능은 인터넷을 통해 온실 정보가 무분별하게 유통되는 것을 막고, 온실 관리자 및 재배 농민이 아닌 불특정 다수의 온실 접근 및 원격제어를 막기 위해 특정 아이디와 비밀번호를 가진 사람만이 온실정보에 접근할 수 있도록 하였다.

정보표출기능은 통합시스템의 데이터베이스에 있는 각 온실의 환경정보, 작물 생육정보 및 온실 영상정보 등을 공간과 시간에 구애되지 않고 온실관리자, 재

배농민에게 인터넷을 통해 실시간 정보를 제공할 수 있게 하였다.

원격모니터링기능은 온실 내의 각종 장치들의 상태정보를 인터넷을 통해 제공하여 온실관리자 및 재배 농민이 온실의 상황을 쉽게 파악할 수 있으며, 장치 고장 등이 발생하였을 경우 또는 오작동 되었을 경우 신속하게 대처할 수 있도록 하였다.

원격제어기능은 온실에 돌발상황이 발생할 때 즉각적인 조치를 취할 수 있도록 하기 위한 것으로, 온실의 재배 환경에 영향을 미치는 천창, 측창, 커튼, 에어쿨링팬, 양액장치 작동여부 등을 인터넷을 통해 원격으로 제어할 수 있으며, 또한 온실 내의 준 실시간 상황을 영상으로 보여주는 카메라의 확대·축소 여부를 원격으로 제어할 수 있도록 하였다.

웹서비스로 제공되는 정보는 표 6.4와 같다.

Table 6.4 Display items of Web service

Level 1	Level 2	설 명
시스템 개 요	소 개	온실감시시스템에 대해 설명
	시스템 구 성	시스템의 H/W 및 S/W에 대해 설명
나의 온실	온실정보	온실의 일반정보 및 관리자에 대한 정보를 제공
	온실제어 정 보	온실의 천·측창, 커튼, 양액장치 구동여부 등에 대한 정보제공
	생육환경 정 보	생육환경정보의 검색 및 추이 그래프를 제공
	장치정보	온실 내 설치된 장치 등의 유지·보수 이력정보를 제공
	영상정보	온실 내의 카메라로부터 주기적으로 수집되는 영상정보를 제공
	생육장애 정 보	온실 내 작물의 장애, 발생원인 및 방제방법 등의 정보를 제공
	카메라정보	온실 내의 실시간에 준하는 영상을 제공하며 확대·축소 제어
작업일지	작물재배를 위해 온실 내에서 행해지는 작업일지를 일자별로 제공	

개념적 데이터 모델 설계과정에서 선정된 환경정보 및 제어정보 수집 처리군에 속하는 개체들은 온실 외부환경, 생육환경, 제어장치 상태 등으로 그룹모니터에 의하여 자동으로 수집되는 정보로, 매 1분 간격으로 데이터가 생성되어 자동으로 전송되고 저장되도록 하였다.

온실재배일지 처리군의 개체들은 재배기록, 재배계획 등이며, 재배활동의 종류를 별도의 개체로 정의하여 사용자가 쉽게 입력할 수 있도록 하였고, 실제 첨단 온실을 운용하는 재배자가 작업계획 및 파종, 이식, 방제, 수확 등 재배활동을 일지형식으로 입력하도록 하였다.

온실장치 정보처리군은 주로 온실에 설치된 장치의 기본 정보와 영상감시를 위한 카메라의 정보, 온실에 설치된 각종 설비들의 유지, 보수 이력 정보로 구성하여 재배자의 관리 범위를 초과하는 복잡한 첨단온실의 각종 설비를 전문가에 의하여 쉽게 관리할 수 있도록 하였다.

재배작물 분석 데이터 처리군은 영상정보, 영상분석 정보, 생육정보, 생육장애 이력정보, 병충해 이력 정보, 수확정보 등으로 구성하였다. 생육정보는 영상장치에서 자동으로 재배작물의 생체중과 이상색체, 정상색체의 분포정도를 측정하여 1일 4회 입력하는 구조로 개발하였다. 영상정보는 자동분석을 위하여 획득한 영상과 사용자의 요구에 의하여 획득된 영상을 이후에 정밀 분석이 가능하도록 저장하고, 해당 영상을 이용하여 분석한 결과를 저장하는 영상분석 정보를 별도의 개체로 정의하였다. 또한 재배도중에 병충해나 생육장애가 발생하면, 재배자가 대표 영상을 획득하고, 피해정도와 내용, 조치내역 등을 같이 저장할 수 있도록 개체를 정의하였다. 수확정보는 수확 후 재배자가 직접 입력하도록 구성하였다.

온실관리 정보 및 정적 정보 처리군은 온실의 일반적인 사항과 재배자의 재배 활동을 지원하기 위한 것으로, 온실사용자, 온실단지, 개별 온실 정보로 구성된 관리정보와 문헌, 재배농민, 전문가에 의하여 수집된 생육장애, 병충해, 작물 자체의 정보를 정적 정보로 설정하여, 해당 내용을 재배자가 조회 검색하여, 현재 온실에서 재배되고 있는 작물의 상태와 비교할 수 있도록 하였다.

2) 테이블 정의

개념적 설계과정에서 정의된 개체의 속성과 관계를 이용하여 본 연구에서 사용한 데이터베이스 관리시스템인 MS SQL의 데이터 모델에 적합하도록 각 개체

의 테이블을 정의하고, 빈 값의 허용여부, 데이터의 유형 및 크기, 기본키와 참조키를 정의하였다.

사용자 정보의 경우, 표 6.5와 같이 테이블을 정의하였다. 사용자의 등급 정보는 온실관리자, 재배자, 일반사용자로 구분하여 정보 검색 및 수정 권한을 관리하기 위한 것으로 별도의 테이블을 정의하여 참조하도록 하였다. 온실관리자는 모든 정보의 검색 및 수정이 가능하게 하였고, 재배자는 정보 수정을 제외한 나머지 항목에 대한 권한을 일반사용자는 현재 온실 상태만을 검색할 수 있도록 하였다.

Table 6.5 Data table of greenhouse user

Field Name	Data Type	Length	Description	Note
UserID_Text	char	8	사용자 ID (USR00010)	PK
PassWord_Text	char	8	비밀 번호	NOT NULL
UserName_Text	char	8	사용자 이름	
UserLevel_Code	char	8	사용자 등급(URL00010)	FK
UserTelNum_Text	char	13	사용자 전화번호	
UserCellPhone_Text	char	13	사용자 휴대폰 번호	
UserEmail_Text	varchar	20	사용자 e-mail	
UserADD_Text	varchar	50	사용자 주소	

표 6.6은 개별온실 정보의 테이블로 재배되는 작물, 면적, 온실 형태, 재배형태 등으로 구성하였고, 표 6.7은 온실단지 정보의 테이블로 개별온실의 기본키가 온실단지의 참조키로 설정되어 두 개체간 상호 참조가 가능하도록 하였다.

Table 6.6 Data table of individual greenhouse

Field Name	Data Type	Length	Description	Note
GreenhouseID_Text	char	7	온실 ID (GH00010)	PK
GroupGreenhouseID_Text	char	8	온실단지 ID (GGH00010)	FK
UserID_Text	char	8	사용자 ID(USR00010)	FK
CropID_Text	char	8	재배작물 ID(CID00010)	FK
GreenhouseArea_Number	smallint	4	온실 면적(㎡)	
CulturableArea_Number	smallint	4	실재배 면적(㎡)	
GreenHouseType_Code	varchar	20	온실형태(GHT00010)	FK
GreenhouseFoundingDate_Number	datetime	4	온실 설립일	
GreenhouseDirection_Number	smallint	2	온실 설치방향(°)	
CultureType_Code	varchar	20	재배형태(CLU00010)	FK

Table 6.7 Data table of greenhouse group

Field Name	Data Type	Length	Description	Note
GroupGreenhouseID_Text	char	8	온실단지 ID	PK
UserID_Text	char	8	사용자 ID	FK
GreenhouseNumber_Number	Smallint	2	개별온실 수	
GroupMonitorIP_Number	varchar	15	그룹모니터의 IP주소	
GroupGreenhouseTelNum_Text	char	13	온실단지 전화번호	
GroupGreenhouseFAX_Text	char	13	온실단지 팩스번호	
GroupGreenhouseADD_Text	varchar	50	온실단지 주소	

온실관리 정보 및 정적 정보 처리군에 해당하는 개체인 작물 정보, 병충해 정보, 생육장애의 데이터 테이블은 표 6.8부터 표 6.10에 나타내었다. 이 정보들은 인터넷이나 문헌, 재배자, 전문가에 의하여 수집된 정보를 입력할 수 있는 구조로 본 연구에서는 문헌과 인터넷을 주로 활용하여 병충해 및 생육장애 정보를 수집하고, 해당정보를 입력하였다.

Table 6.8 Data table of plant information

Field Name	Data Type	Length	Description	Note
CropID_Text	char	8	작물 ID(CID00010)	PK
CropName_Text	char	8	작물 이름	
CropBreed_Text	varchar	20	작물 품종	
CropCompany_Text	varchar	20	종묘회사 이름	
CompanyTelNum_Text	char	13	종묘회사 전화번호	
CultureTempMin_Number	real	4	재배 조건(온도)	하한 온도
CultureTempMax_Number	real	4	재배 조건(온도)	상한 온도
CultureECMin_Number	real	4	재배 조건(EC)	하한 EC
CultureECMax_Number	real	4	재배 조건(EC)	상한 EC
CulturePHMin_Number	real	4	재배 조건(pH)	하한 pH
CulturePHMax_Number	real	4	재배 조건(pH)	상한 pH
ExpertName_Text	char	8	대상 작물 전문가 이름	
ExpertTelNum_Number	varchar	13	전문가 연락처	
ExpertEmail_Text	varchar	50	전문가 e-mail	

Table 6.9 Data table of plant disease information

Field Name	Data Type	Length	Description	Note
DiseaseID_Text	char	8	병충해 아이디(DID00010)	PK
DiseaseName_Text	varchar	20	병충해 이름	
CropID_Text	char	8	병충해 대상 작물(CID00010)	FK
DiseasedCropImageLocation_Text	varchar	50	병충해 작물 영상 파일 경로	
DiseaseSymptom_Text	varchar	50	증상	
DiseaseCause_Text	varchar	50	원인	
DiseaseGeneralState_Text	varchar	50	발생상태	
DiseasePrevention_Text	varchar	50	방제	

Table 6.10 Data table of plant stress information

Field Name	Data Type	Length	Description	Note
GrowthStressID_Text	char	8	생육장애 아이디(GOB00010)	PK
GrowthStressName_Text	varchar	20	생육장애 이름	
CropID_Text	char	8	대상 작물(CID00010)	FK
GrowthStressImageLocation_Text	varchar	50	생육장애 작물 영상 파일 경로	
GrowthStressSymptom_Text	varchar	50	증상	
GrowthStressCause_Text	varchar	50	원인	
GrowthStressGeneralState_Text	varchar	50	발생상태	
GrowthStressPrevention_Text	varchar	50	조치방법	

환경정보 및 제어정보 수집 처리군에 속하는 개체는 개별온실과 관계를 갖고 있으며, 이를 그룹모니터에서 자동으로 데이터를 전송하여 저장하는 것으로 표 6.11부터 표 6.13에 나타난 것과 같이 데이터 테이블을 정의하였다.

이 테이블은 실제 데이터베이스를 구축하면, 많은 데이터가 축적되게 되는데, 현재 상태를 표출하기 위하여 많은 질의 처리가 이루어져야 하므로, 정규화 과정이후, 역정규화를 통하여, 현재상태만을 갖고 있는 테이블을 정의하였다. 또한, 분석의 편의성을 고려하여, 1시간 간격으로, 측정값의 평균, 최대 최소값을 별도의 테이블로 정의하였다.

Table 6.11 Data table of growing environment

Field Name	Data Type	Length	Description	Note
EnvironmentDataSeqNo_Number	int	4	일련번호	PK
EnvironmentTime_Number	datetime	8	데이터 수집 시간	
GreenhouseID_Text	char	7	온실 ID (GH00010)	FK
DryTemp_Number	real	4	건구온도	℞(-50.0~100.0)
WetTemp_Number	real	4	습구온도	℞(-50.0~100.0)
BoilerTemp_Number	real	4	보일러 온도	℞(-50.0~100.0)
NutrientTemp_Number	real	4	양액 온도	℞(-50.0~100.0)
NOx_Number	real	4	NOx 농도	ppm
SOx_Number	real	4	SOx 농도	ppm
CO2_Number	real	4	CO ₂ 농도	ppm
EC_Number	real	4	EC	mS/cm
PH_Number	real	4	pH	pH
InsideSolar_Number	real	4	태양 복사	kw/m ²

Table 6.12 Data table of control equipments state

Name	Data Type	Length	Description	Note
ControlDataSeqNo_Number	int	4	일련번호	PK
ControlStateTime_Number	datetime	8	데이터 수집 시간	
GreenhouseID_Text	char	7	온실 ID(GH00010)	FK
CoolingPump_Number	smallint	2	냉각 펌프 상태	(0:Off/1:On)
VantFan_Number	smallint	2	송풍 팬 상태	(0:Off/1:On)
AirCoolingFan_Number	smallint	2	공랭 팬 상태	(0:Off/1:On)
CeilingWindow1_Number	smallint	2	천창 1 상태	개도(0%~100%)
CeilingWindow2_Number	smallint	2	천창 2 status	개도(0%~100%)
SideWindow_Number	smallint	2	측창 상태	0=Not Open, Not Close 1=Open, 2=Close
InCurtain1_Number	smallint	2	내부커튼 1 상태	0=Not Open, Not Close 1=Open, 2=Close
InCurtain2_Number	smallint	2	내부커튼 2 상태	0=Not Open, Not Close 1=Open, 2=Close
OutCurtain_Number	smallint	2	외부 커튼 상태	0=Not Open, Not Close 1=Open, 2=Close
NutrientFlow_Number	smallint	2	양액 흐름	Flow state(0:Off)/(1:On)
PowerLine_Number	smallint	2	전력 공급	Power state (0:A/C)/(1:Battery)

Table 6.13 Data table of weather

Field Name	Data Type	Length	Description	Note
OutSideEnvironmentSeqNo_Number	int	4	외기 환경 데이터 일련번호	PK
OutSideEnvironmentTime_Number	datetime	8	외기 환경정보 입력시간	
GroupGreenhouseID_Text	char	8	온실단지 아이디(GGH00010)	FK
OutSideWindSpeed_Number	real	4	풍속	m/s
OutsideWindDirection_Number	real	4	풍향	°
OutSideTemp_Number	real	4	외기 온도	°

온실 재배 일지 처리군의 개체 테이블은 표 6.14, 표 6.15와 같이 정의하였다.

Table 6.14 Data table of cultural record

Field Name	Data Type	Length	Description	Note
CultureRecordSeqNo_Number	int	4	작업일지 일련번호	PK
WorkStartTime_Number	smalldatetime	4	작업 시작 시간	
WorkEndTime_Number	smalldatetime	4	작업 종료 시간	
GreenhouseID_Text	char	7	대상 온실(GH00010)	
CropID_Text	char	8	대상 작물(CID00010)	FK
WorkType_Code	varchar	20	작업 종류(WRK00010)	FK
WorkPeriodTime_Number	smallint	2	작업 시간	
WorkerNumber_Number	smallint	2	작업 인원	
WorkRecordDetails_Text	varchar	100	상세 작업 내용	

Table 6.15 Data table of cultural plan

Field Name	Data Type	Length	Description	Note
CulturePlanSeqNo_Number	int	4	작업계획 일련번호	PK
GreenhouseID_Text	char	7	대상 온실(GH00010)	FK
WorkStartExpectTime_Number	smalldatetime	4	작업 시작 예정일(시간)	
WorkEndExpectTime_Number	smalldatetime	4	작업 종료 예정일(시간)	
CropID_Text	char	8	대상 작물(CID00010)	FK
WorkType_Code	varchar	20	작업 종류(WRK00010)	FK
WorkPlanDetails_Text	varchar	100	세부 작업계획 내용	

온실장치 정보 처리군의 테이블 정의는 표 6.16부터 표 6.18과 같다.

Table 6.16 Data table of equipment management record

Field Name	Data Type	Length	Description	Note
RepairRecordSeqNo_Number	int	4	이력 일련번호(자동증가)	PK
TroubleGeneratedTime_Number	smalldatetime	4	고장 일시	
GreenhouseID_Text	char	7	대상 온실(GH00010)	
EquipmentType_Code	varchar	20	장비종류(EQT00010)	FK
EquipmentID_Text	char	8	장치 아이디(EID00010)	
TroubleType_Code	varchar	20	고장 유형(TRB00010)	FK
RepairTime_Number	smalldatetime	4	보수 일시	
RepairType_Code	varchar	20	보수 유형(RPT00010)	FK
HandlingStatus_Code	varchar	20	처리 상태(MST00010)	FK
ManagementCompany_Text	varchar	15	수행 업체	
ManagementLeaderName_Text	char	15	책임자	
LeaderTelNum_Text	char	13	연락처	
LeaderEmail_Text	varchar	50	책임자 Email	

Table 6.17 Data table of equipment information

Field Name	Data Type	Length	Description	Note
EquipmentID_Text	char	8	장치 아이디(EID00010)	PK
EquipmentType_Code	varchar	20	장치 종류(EQT00010)	FK
EquipmentName_Text	varchar	20	장치 이름	
GreenhouseID_Text	char	7	대상 온실(GH00010)	FK
OperatingType_Code	varchar	20	구동 방식(OTC00010)	FK
ProductsName_Text	varchar	20	제품 명	
MeasurementScope_Text	varchar	16	측정 범위	
Accuracy_Text	varchar	16	정확도	
PowerSupply_Number	varchar	16	전원	
OutputValue_Number	varchar	16	출력	
EquipmentCompany_Text	varchar	20	제조회사	
InstallCompany_Text	varchar	20	설치회사	
EquipmentEtcIndex_Text	varchar	50	기타 특질	

Table 6.18 Data table of camera information

Field Name	Data Type	Length	Description	Note
CameraID_Text	char	8	카메라 아이디(CAM00010)	PK
CameraIP_Text	char	13	카메라 ip	카메라 ip
GreenhouseID_Text	char	7	온실 아이디(GH00010)	FK
TimeInterval_Number	int	4	영상획득 시간 간격	(hr) 단위로 표시
CaptureTime_Number	smalldate	4	영상획득하는 시간	4회/일
Zoom_Number	smallint	4	zoom값	level
Pan_Number	smallint	4	pan값	level
Tilt_Number	smallint	4	tilt값	level

재배작물 분석 데이터 처리군의 개체 테이블 정의는 표 6.19부터 표 6.24와 같다.

Table 6.19 Data table of image

Field Name	Data Type	Length	Description	Note
ImageCaptureSeqNo_Number	int	4	획득 영상 일련번호	PK
ImageCaptureTime_Number	smalldatetime	4	영상 획득 시간	
ImageName_Text	varchar	20	영상 이름	key word
GreenhouseID_Text	char	7	온실 ID(GH00010)	FK
CameraID_Text	char	8	카메라 ID(CAM00010)	FK
ImageCaptureLocationID_Number	smallint	2	영상획득 장소	0~10
ImageSaveLocation_Text	varchar	50	저장 장소	

Table 6.20 Data table of image analysis

Field Name	Data Type	Length	Description	Note
ImageAnalysisSeqNo_Number	int	4	영상 획득 일련번호	PK
CropID_Text	char	8	대상 작물(CID00010)	FK
ImageAnalysisTime_Number	smalldatetime	4	영상 분석 시간	
AnalysisImageName_Text	varchar	20	영상 분석 이미지 이름	key word
GreenhouseID_Text	char	7	온실 아이디(GH00010)	FK
AnalysisIndex_Text	varchar	100	분석 내용	
ImageAnalysisLocation_Text	varchar	50	분석 영상 저장 장소	
ColorIntensionLevel_Number	smallint	2	색채분포	

Table 6.21 Data table of plant growth

Field Name	Data Type	Length	Description	Note
CropGrowthSeqNo_Number	int	4	생육정보 일련번호	PK
GrowthRecordTime_Numvber	smalldatetime	4	생육 정보 기록 시간	
GreenhouseID_Text	char	7	온실 ID(GH00010)	FK
CropID_Text	char	8	대상 작물	FK
LeavesArea_Number	smallint	2	엽면지수	0(0~100)
BioMass_Number	real	4	생체중	g(0.0~100.0)
NormalAColor_Number	smallint	2	정상A	(0~100)
NormalBColor_Number	smallint	2	정상B	(0~100)
AbNormalColor_Number	smallint	2	이상색	(0~100)
BackgroundColor_Number	smallint	2	배경색	(0~100)

Table 6.22 Data table of plant disease record

Field Name	Data Type	Length	Description	Note
DiseaseRecordSeqNo_Number	int	4	병충해 기록 일련번호(자동증가)	PK
DiseaseTime_Number	smalldatetime	4	병충해 발견 시간	
GreenhouseID_Text	char	7	온실 ID(GH00010)	FK
CropID_Text	char	8	대상 작물(CID00010)	FK
DiseaseID_Text	char	8	병충해 ID(DID00010)	FK
DiseasedDamage_Text	varchar	30	병충해 피해정도	
DiseasedHandling_Text	varchar	30	조치 내역	
DiseaseIndex_Text	varchar	50	병충해 이력 세부 기록	
DiseaseImageName_Text	varchar	20	발생 작물 영상이름	
DiseaseImageLocation_Text	varchar	50	발생 작물 영상파일 경로	

Table 6.23 Data table of plant stress record

Field Name	Data Type	Length	Description	Note
GrowthbstacleRecordSeqNo_Number	int	4	생육장애 이력 순서	PK
GrowthObstacleTime_Number	smalldatetime	4	생육장애 발견 시간	
DreenhouseID_Text	char	7	대상 온실 ID(GH00010)	FK
CropID_Text	char	8	대상 작물 ID(CID00010)	FK
GrowthObstacleID_Text	char	8	생육장애 ID(GOB00010)	FK
GrowthObstacleDamage_Text	varchar	30	생육장애 피해정도	
GrowthObstacleHandling_Text	varchar	30	조치 내역	
GrowthObstacleIndex_Text	varchar	50	생육장애 세부 기록	
GrowthObstacleImageName_Text	varchar	20	발생 작물 영상이름	
GrowthObstacleLocation_Text	varchar	50	발생작물 영상파일 경로	

Table 6.24 Data table of products record

Field Name	Data Type	Length	Description	Note
HarvestRecordSeqNo_Number	int	4	수확 정보 일련번호	PK
GreenhouseID_Text	char	7	온실 아이디(GH00010)	FK
CropID_Text	char	8	작물 아이디(CID00010)	FK
HarvestingDate_Number	smalldatetime	4	수확일	
ProductsWeight_Number	smallint	2	수확량	Kg
ProductQuality_Code	varchar	20	생산품 등급(PDL00010)	FK
SellingPrice_Number	smallint	2	판매가격	만원

3) 데이터베이스 구축

정의된 테이블과 MS SQL을 이용하여 데이터베이스를 구축하였다. 그림 6.9는 MS SQL server 2000에 구축된 온실 데이터베이스를 SQL Server Enterprise Manager를 이용하여 나타낸 것으로, SQL manger를 이용하여 테이블 구축 및 설계를 비롯한 데이터 관리, 보안, 백업 등의 작업을 수행하였다.

그림 6.10은 각 테이블간의 관계와 전체 데이터베이스의 구조를 나타낸 것으로, MS SQL에서 구축된 데이터베이스의 다이어그램이고, 그림 6.11은 실증실험을 통해 저장된 데이터를 SQL Explorer를 통해 검색한 것이다.

온실환경 및 제어장치, 외부기상, 생육상태 등 자동으로 수집되는 데이터는 그룹모니터에서 전송되면, 해당 테이블에 레코드로 저장되게 하였고, 재배일지, 재배계획, 병충해 이력 등을 재배자가 입력하도록 하였으며, 온실정보, 장치 정보 등은 실험대상 온실을 대상으로 데이터를 수집하여 데이터베이스 DBA(Database Administrator)가 입력시켰다. 또한 작물정보, 병충해 정보, 생육장애 정보 등은 문헌이나 인터넷을 이용하여 자료를 수집하여 입력하였다.

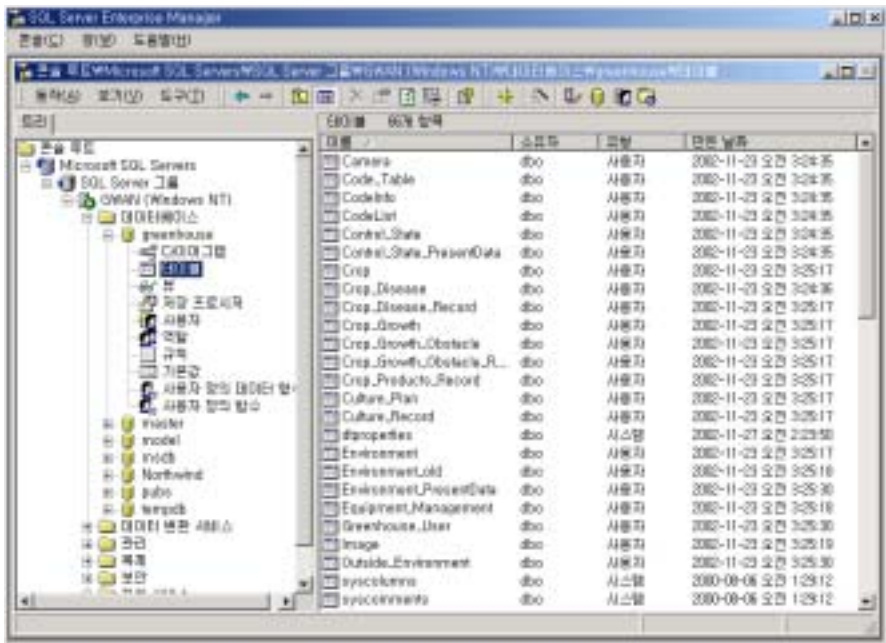


Fig. 6.9 Greenhouse database implemented on MS SQL

나. 제어전략 정보제공 시스템

1) 가공 및 분석 모듈

가공 및 분석은 사용의 편리성을 위하여 툴바(Toolbar)와 메뉴(Menu)를 사용하여 쉽게 관련된 모듈을 검색할 수 있도록 구성하였다.

그림 6.12는 로그인 과정을 거친 후 나타나는 데이터베이스 프로그램의 메인 모듈로 분류된 항목들을 툴바와 메뉴를 통하여 연결하여 편리하게 사용하도록 하였다.

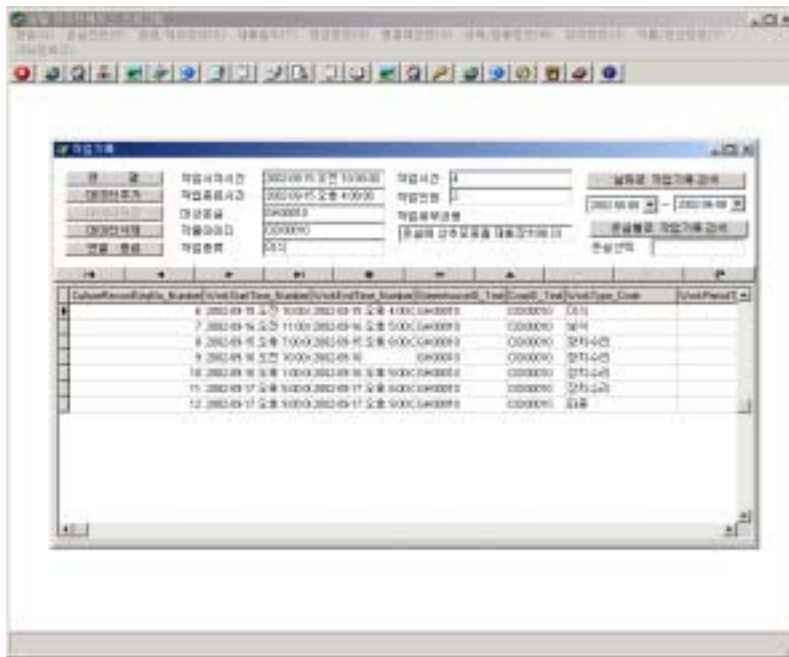


Fig. 6.12 A display of main module of information providing system for control strategy

가) 생육환경 및 제어정보 검색 및 분석 모듈

온실내부의 생육환경은 작물 생장에 있어서 가장 중요한 요소로 작물의 생육에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 실시간으로 생육환경의 변화 추이를 관찰하고, 데이터베이스에 저장된 이전 재배결과와 비교함으로써 각 재배간의 변화 추이를 토대로 재배자나 관리자가 직접 온실의 운용 및 재배관리에 필요한 제어전

략을 수립할 수 있도록 관련 정보를 제공하는 모듈을 개발하였다.

생육환경 및 제어정보의 검색 및 분석 모듈은 생육환경, 외기 환경, 제어정보를 개별적으로 검색하고 분석할 수 있으며, 생육환경과 외기 환경변화, 혹은 생육환경과 제어상태의 변화 등을 동시에 검색, 분석할 수 있어, 외기 환경 변화에 따른 생육환경의 변화상태나 제어장치 구동 상태에 따른 생육환경의 변화 상태를 분석함으로써 적절한 제어전략을 수립할 수 있도록 하였다.

(1) 생육환경정보 검색 및 분석 모듈

사용자가 개별온실을 선택하고 검색하고자 하는 구간을 날짜와 시간 단위로 입력한 후 계측항목을 선택하면 온실의 지상부 환경, 근권부 환경의 변화를 조회하여 표출할 수 있도록 하였다.

여기에서는 생육환경에 주요 인자인 온도, CO₂농도, 일사량에 대해서만 분석 예를 나타내었다. 그림 6.13은 온실에서 건구, 습구, 보일러, 양액의 온도를 선택하여 온실의 온도변화를 분석한 예이다.



Fig. 6.13 A display of environment analysis module (temp.)

검색 항목의 선택을 용이하게 하기 위하여 로그인 된 사용자가 접근 가능한 개별온실들의 리스트를 데이터베이스로부터 가져와 콤보박스(Combo box)로 표현하여 검색항목을 선택할 수 있게 하였다. 이렇게 검색항목의 선정이나 구간에 대한 정보는 개별 사용자별로 접근 가능한 범위를 데이터베이스로부터 가져와 표현하므로 불필요한 입력이나 질의문의 실행을 방지하여 시스템의 안정성과 실행속도의 향상을 꾀하였으며, 사용자 편의성을 도모하였다.

변화추이를 직관적으로 쉽게 파악할 수 있도록 그래프로 표시하였는데, 확대 축소 및 스크롤 기능을 두어 필요한 부분을 확대하여 자세한 값을 확인하거나 축소하여 전체적인 경향을 분석할 수 있도록 하였고, 그래프 밑 부분에 데이터 값을 표 형식으로 표시하여 계측된 데이터를 검색할 수 있게 하였다.

그림 6.13에서 나타난 온도 그래프를 보면 주·야간에 보일러 동작 상태와 이에 따른 온실 내부 환경의 변화 추세를 고찰할 수 있었다. 즉 주간에는 보일러의 작동이 중단되어 외부 기상과 일사량의 변화에 따라 내부온도의 변화가 발생하고, 야간에는 보일러의 작동주기에 맞추어 내부온도가 변화하는 것을 볼 수 있다.

그림 6.14는 온실내의 일사량의 변화를 나타내는 것이다. 일사량은 작물 생육에 있어 중요한 인자로 본 연구에서는 일사량계를 작물 재배장치 가장자리에 설치하여 실질적으로 작물의 잎에 조사되는 일사량 측정하였다. 일사량은 주간에는 내부온도 변화를 유발하고, 내부 커튼 및 외부커튼의 동작 상태, 기상상태에 따라 영향을 받는 것으로, 일사량의 변화와 내부온도변화, 내부커튼의 작동상태 등을 하나의 그래프로 표시하여 분석함으로써 일사량에 따른 내부온도 변화 등의 관계를 구명할 수 있고, 이를 이용하여 좀더 적절한 제어전략을 수립할 수 있다.

그림 6.15은 온실의 CO₂의 변화를 나타낸 그래프이다. 주간에는 특히 오전시간에 농도가 낮게 나타나는데, 내부 온도 유지를 위하여, 천·측창을 닫은 상태로, 작물의 광합성량이 증가하면서 CO₂의 농도가 낮아지고, 이후 내부온도가 높아지면서 천·측창이 개방되어 외부 공기의 유입이 이루어져 일반적인 대기 수준을 회복하는 것을 관찰 할 수 있었다. 본 연구의 공시온실에는 CO₂ 발생기가 설치되어 있지 않았지만, 겨울철 오전시간대에 CO₂ 발생기에 의한 탄산가스의 공급이 필요한 것을 확인할 수 있었다.



Fig. 6.14 A display of solar radiation



Fig. 6.15 A display of CO₂ concentration

(2) 외부 기상정보 검색 및 분석 모듈

본 연구에서 개발된 정보수집 시스템에서 측정하는 온실외부 기상은 온도, 풍향, 풍속으로 온실 단지별, 시간대별로 해당항목을 선택하여 검색 분석할 수 있는 모듈을 개발하였다.

외부온도의 예를 그림 6.16과 같이 나타내었다. 온실관리자는 외부 온도변화와 내부 온도변화, 가온 설비의 작동상태, 천·측창의 작동상태 등을 연계하여 현재의 제어 알고리즘이 적절한지 평가하고, 효율적인 난방 및 냉방 제어전략을 수립할 수 있을 것이다.

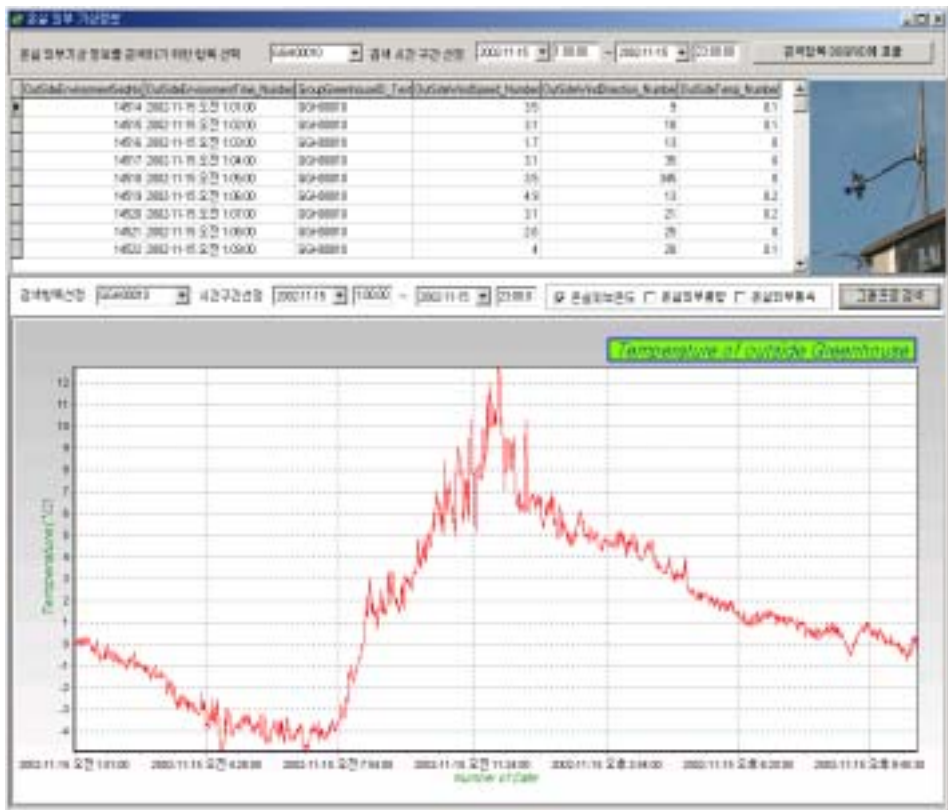


Fig. 6.16 A display of the outside temperature

(3) 제어장치 작동상태정보 검색 및 분석 모듈

경제적인 온실 운용을 위한 제어전략을 수립하기 위해서는 생육환경과 작물

생육상태, 제어장치 작동상태 등을 재배사례로 데이터베이스에 저장하고, 기록된 제어장치의 작동정보를 분석하여 적절한 제어장치의 작동 항목과 설정값을 수립해야 한다.

본 연구에서는 제어장치의 작동 정보를 표현하기 위하여 환기팬이나 순환펌프와 같이 On/Off 특성을 갖는 장치와 천창, 측창과 같이 개방/폐쇄/정지 특성을 갖는 장치로 구별하였다. 즉 제어장치의 특성에 따라 On/Off 작동장치는 작동상태를 1로, 작동하지 않는 상태는 0으로 표시하여, 그래프로 표현함으로써 작동상태의 추이를 쉽게 확인할 수 있도록 하였다. 그림 6.17은 On/Off 특성을 갖는 환기팬의 작동상태를 나타낸 것이다.

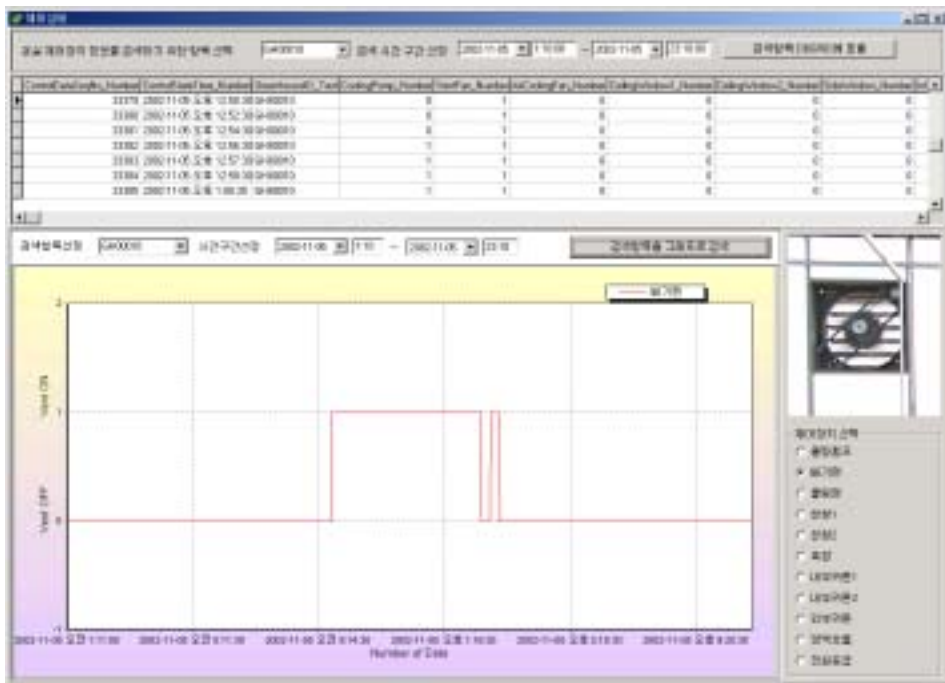


Fig. 6.17 A display of ventilator operation

개방/폐쇄/정지 특성을 갖는 제어장치는 개방 후 정지된 상태이면, 개방상태로 간주하였고, 완전히 폐쇄된 후 정지상태이면 폐쇄 상태로 간주하였다. 즉 정지상태는 이전상태에 따라 개방과 폐쇄 중 하나의 상태로 변환하여 개방은 1로 폐쇄는 0으로 표시하였다. 그림 6.18은 개방/폐쇄/정지 특성을 갖는 측창의 작동상태

를 나타낸 것이다.

천창이나 보일러의 작동상태는 천창의 개도를 측정하여 개방정도를 표시하였고, 보일러의 작동상태는 개별온실 내부의 열교환기의 표면온도를 측정함으로써 보일러의 작동상태를 파악할 수 있도록 하였다. 이러한 요소들은 환경변수와 동일하게 해당 값으로 상태를 표출하였다.

그림 6.19와 같이 온실내부 온도의 변화와 측창의 작동상태를 동시에 표출함으로써 장치의 상태에 따른 환경변화를 제어 분석할 수 있도록 하였다.

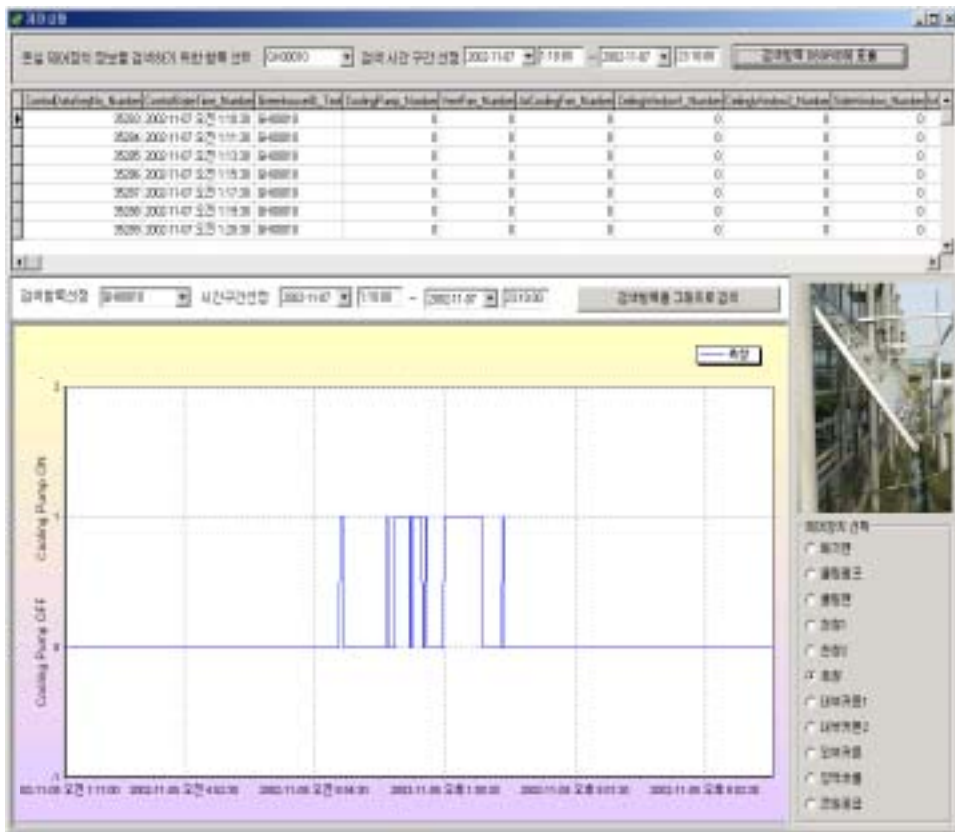


Fig. 6.18 A display of side window operation

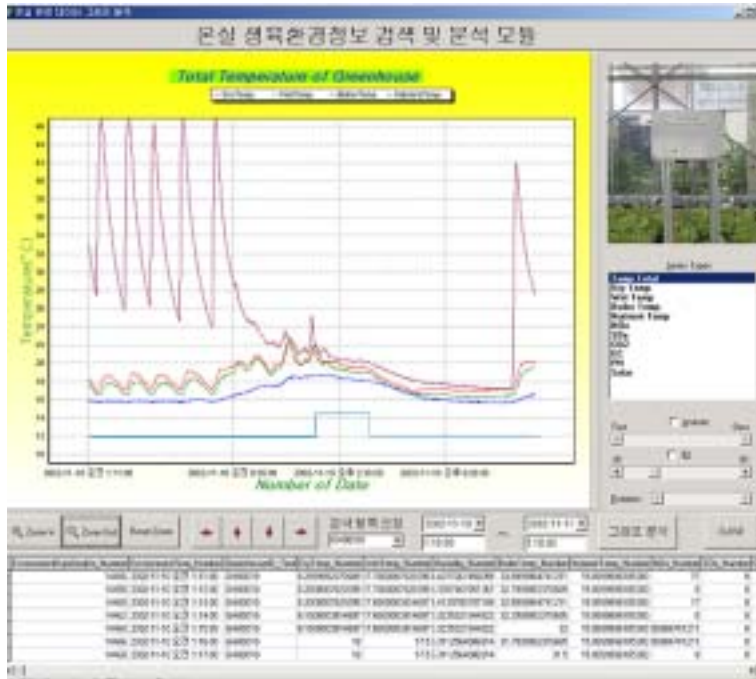


Fig. 6.19 A example of combination with side window operation and temp.

나) 온실장치 정보 검색 및 분석 모듈

경제적인 온실운용을 위한 많은 연구결과 온실이 첨단화되고 있으나, 더불어 각종 장치들이 늘어나 시스템이 복잡해짐으로써 각종 제어장치, 계측장치에 대한 지식이 부족한 농민이 직접 첨단온실 시스템을 유지 관리하는데 한계가 있으며, 설비의 유지 보수에 많은 비용을 지출하고 있다.

더 큰 문제는 온실 설비의 고장이 발생할 경우, 즉각적인 조치를 취하지 못하면 작물 생육에 있어 회복할 수 없는 피해가 발생하므로, 적절한 온실장치들의 유지관리 방법이 필요하다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 개선하기 위하여, 온실 장치들에 관련된 주요 정보와 장치의 유지 보수이력을 데이터베이스로 구축하고 센터에서 통합관리를 함으로써 전문가에 의하여 관리가 될 수 있는 기반을 마련하였다.

온실장치 정보 검색 및 분석 모듈은 장치들의 주요명세와 제조회사, 설치회사 등의 정보를 조회할 수 있는 장치 검색 모듈과 고장종류 및 보수내역, 수행업체 및 수리 기술자 정보 등을 검색할 수 있는 유지보수 모듈로 구성하였다.

다) 재배관리 분석 모듈

재배관리 분석 모듈은 작업계획, 작업기록, 병충해 기록, 생육장애 기록, 수확량 기록 모듈로 구성하였다. 온실관리에 있어서 재배활동 등에 관한 이력 정보는 향후 온실 운용 계획을 수립하는데 도움을 줄 수 있는 것으로, 재배활동에 관한 내용을 일지형식으로 기록하도록 모듈을 구성하여 데이터베이스화하였다.

작업일지에 관련된 모듈은 작업기록과 작업계획 등 두 가지 모듈로 구성하였다. 작업기록 모듈은 작업시간, 인원, 대상 작물, 작업의 내용을 기록하게 하였고 정보 검색을 위하여 온실별, 작업시간별로 검색이 가능하게 하였다.

공시 작물로 선정된 상추를 2회 실증실험을 수행한 결과 평균 재배일수는 이식에서 수확까지 20일 정도 소요되었는데, 1회 재배기간 동안 수행된 작업내용을 조회한 결과 그림 6.20과 같다. 이러한 재배 이력정보와 온실 생육환경, 제어장치 구동상태 정보를 토대로 온실의 운용방안을 수립함으로써 경제적인 온실 제어전략을 수립할 수 있다.

PlantID/Plant Name, Number	Crop/Plant	Temp. / Temp	Work Type, Code	Work Period / Time	Worked Number	Work Period / Date, Text
2002-05-15 오후 4:00:00	G400018	DO00018	이식		2	4 온실내 상추모종을 재배장치의 이식함
2002-05-16 오후 5:00:00	G400018	DO00018	보석		2	4 온실내 상추모종 재배장치의 보석함
2002-05-16 오후 5:00:00	G400018	DO00018	양치수준		1	1 상추베드 수리베드 양치수준
2002-05-16 오후 5:00:00	G400018	DO00018	양치수준		1	2 상추베드 수리베드 양치수준
2002-05-16 오후 5:00:00	G400018	DO00018	양치수준		2	4 상추베드 수리베드 양치수준
2002-05-17 오후 9:00:00	G400018	DO00018	양치수준		2	3 상추베드 수리베드 양치수준
2002-05-17 오후 9:00:00	G400018	DO00018	양치수준		1	1 상추 양치수준
2002-10-16 오후 3:00:00	G400018	DO00018	수확		3	3 양치 수확을 위한 상추 수확함
2002-10-16 오후 3:00:00	G400018	DO00018	수확		2	4 베드 양치수준
2002-10-28 오후 5:00:00	G400018	DO00018	이식		3	3 상추 모종 재배베드용 이식용기 옮김
2002-10-28 오전 11:00:00	G400018	DO00018	양치 점검		1	1 보일러 양치 점검 및 수준
2002-11-14 오후 1:00:00	G400018	DO00018	수확		3	1 상추 양치 점검
2002-11-18 오후 1:00:00	G400018	DO00018	양치 점검		3	1 보일러 양치점검수 및 이식 작업 완료

Fig. 6.20 A display of palnt growing management module

2차례의 실증 재배 실험 과정에서는 병충해나 생육장애가 발생하지 않아 이에 관련된 데이터는 생성되지 않아 검색 및 조회할 데이터가 없었으나, 그림 6.21과 같이 병충해나 생육장애가 발생할 경우, 입력하고 조회할 수 있도록 모듈을 개발하였다.

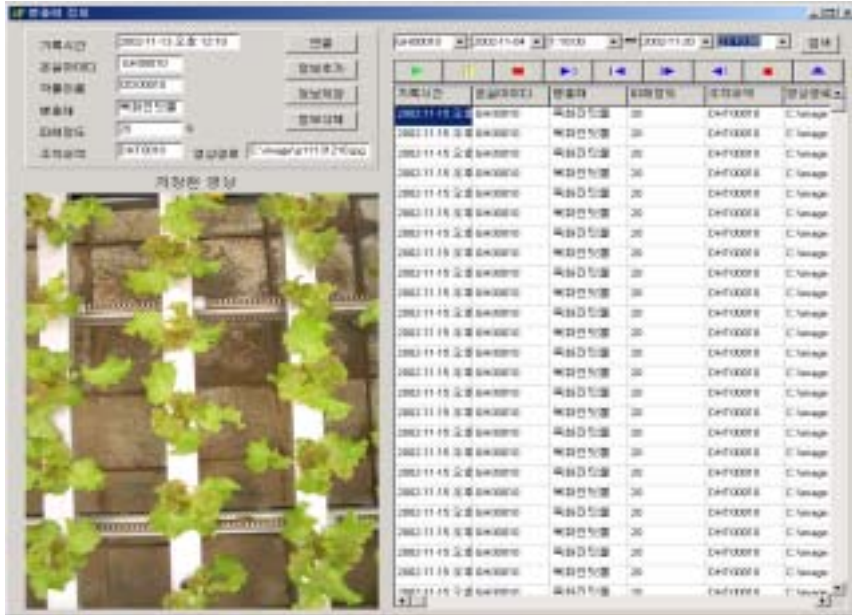


Fig. 6.21 A display of plant disease record module

라) 생육상태 검색 및 분석 모듈

생육상태 검색 및 분석 모듈은 생육상태, 재배작물 정보, 병충해 정보, 생육장에 정보를 검색 분석할 수 있는 모듈로 생육상태를 제외한 나머지 정보는 문헌이나 인터넷을 통하여 자료를 수집하고 데이터베이스에 입력하여 사용자가 원하는 경우, 검색할 수 있도록 구성하였다.

생육상태는 협동과제에서 개발된 생육상태 감시 시스템을 세부과제인 온실 환경 제어시스템 종합 관리 및 모니터링 시스템에 통합하여 작물의 생육상태를 자동으로 수집할 수 있게 시스템을 구성하고, 수집된 정보를 데이터베이스에 저장하였다.

온실 운용의 최종적인 지표인 생육상태를 저장하고 검색 분석함으로써 효과적인 온실의 제어전략을 수립하는 매우 중요한 수단이 된다. 본 연구의 공시작물로 선정한 상추의 생육상태를 나타내는 지표로 생체중과 색채 분포를 선정하였다. 생체중은 최종 수확물의 지표로 온실환경 및 제어장치 상태의 검색 및 분석 모듈과 병행하여 환경조건과 작물의 생육상태 추이를 분석함으로써 생육상태에 미치는 환경요인을 분석할 수 있으나, 본 연구는 생육상태의 검색 수단을 제공

하는 것으로 본 연구의 범위를 벗어나 이에 대한 분석은 수행하지 않았다. 그러나, 생체중을 측정하기 위해 1일 4회 획득한 영상을 정상색, 이상색, 배경색으로 구분하여 색채 정보를 같이 저장하고, 획득된 영상 자체를 저장함으로써 병충해나 생육장애가 발생할 경우, 데이터베이스를 검색하여 분석할 수 있도록 하였다. 그림 6.22는 생육상태를 검색한 결과를 나타낸 것이다.

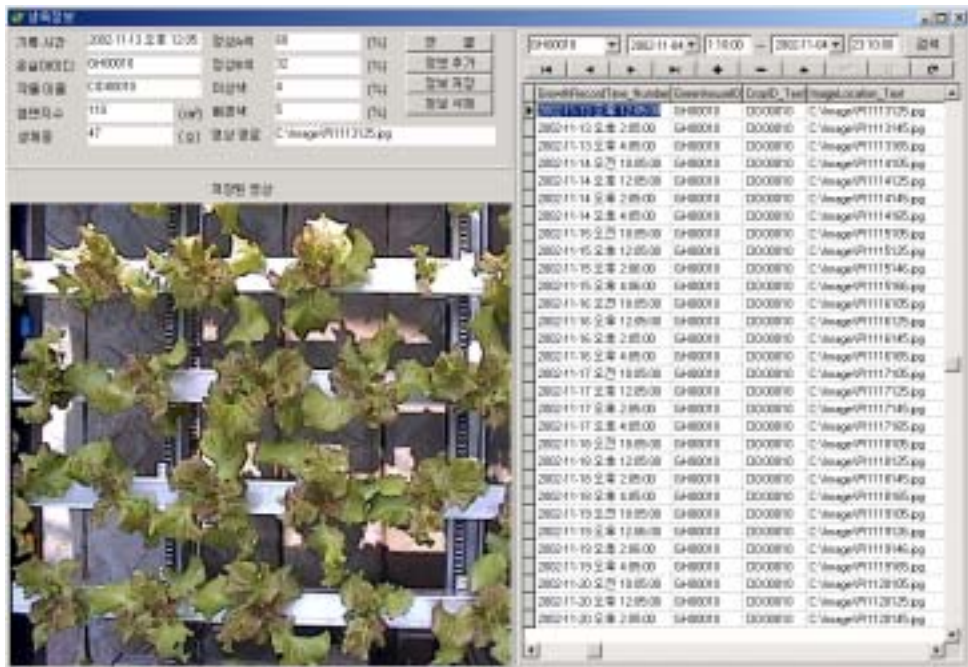


Fig. 6.22 A display of plant status analyzing module

재배작물 정보 모듈은 온실에서 재배되는 작물을 대상으로 일반적으로 알려진 적정 재배조건과 재배 전문가의 연락처 등을 데이터베이스로 구축함으로써 실제 재배를 수행하는 동안에 온실 제어장치 구동의 기본 설정값을 제시하고, 재배 중에 어떤 문제가 발생하면, 전문가에게 연락하여 도움을 받을 수 있도록 구성하였다. 그림 6.23은 재배작물 정보 모듈의 예를 나타낸 것이다.



Fig. 6.23 A display of plant information module

온실 운영목적은 결국 고품질의 작물을 생산하여 최대 이윤을 창출하는 것이다. 따라서 작물을 병충해나 생육장애 없이 수확시기까지 안전하게 관리하기 위해서는 지속적인 관리가 필요하다.

병충해 및 생육장애 정보 모듈은 문헌과 인터넷을 통하여 병충해 정보 및 생육장애정보를 수집하여 영상정보와 같이 구축한 것으로, 재배 중에 발생하는 병충해나 생육장애를 제공되는 영상정보와 비교하여 확인하고 적절한 방제활동이나 영양공급 등을 수행할 수 있도록 관련 정보를 검색할 수 있도록 개발하였으며, 그림 6.24는 생육장애 정보 모듈의 한 예를 나타낸 것이다.

재배관리 분석 모듈에 속하는 모듈들은 자동으로 데이터가 수집되는 것이 아닌 정적인 정보 모듈들이므로, 사용자에게 보다 정확하고 풍부한 정보를 제공하기 위해서는 데이터베이스 관리자가 지속적으로 관련 정보를 수집하여 수정 보완해야 한다.

본 연구에서 개발된 시스템이 실용화되어 많은 온실들을 인터넷을 통하여 관리하게 되면, 재배 중에 발생하는 다양한 생육장애와 병충해 정보가 풍부하게 수집되어 온실의 운용전략을 수립하고, 재배활동을 하는데 많은 도움을 제공할 수 있을 것이다.



Fig. 6.24 A display of plant stress information module

2) 온실 데이터베이스 관리

본 연구의 활용방안 중 하나는 온실전문관리 업체에서 데이터베이스 관리자 (DBA : Database Administrator)가 온실 데이터베이스를 관리하고 양질의 정보를 재배자에게 제공하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 온실 데이터베이스 관리 프로그램을 개발하여 데이터 관리 및 정보서비스를 쉽게 할 수 있도록 하였다.

가) 데이터베이스 관리서버

온실 데이터베이스 관리 모듈을 개발하여 DBA가 쉽게 테이블을 수정하고, 정보서비스 모듈을 개발하여 병충해와 생육장애 등의 작물재배에 필요한 정보를 재배자에게 제공하게 하였다.

데이터베이스 관리자가 지속적으로 관리해야할 테이블은 사용자, 온실단지, 개별온실 테이블과 병충해, 장애정보 등의 정보서비스에 관계되는 테이블이다.

표 6.25는 온실 데이터베이스에서 지속적으로 관리해야 할 테이블 목록과 하부 모듈을 나타낸다. 그림 6.25는 온실 데이터베이스 관리 프로그램의 메인 모듈을 나타낸 것으로 하부 모듈들과 연결되어 있다.

Table 6.25 Category of data updating modules

Category of module	Subordinate module
Greenhouse management module	·Greenhouse user ·Greenhouse group ·Individual greenhouse
Growing support data module and database management module	·Plant stress information ·Disease and harmful insects information ·Mail and Q/A

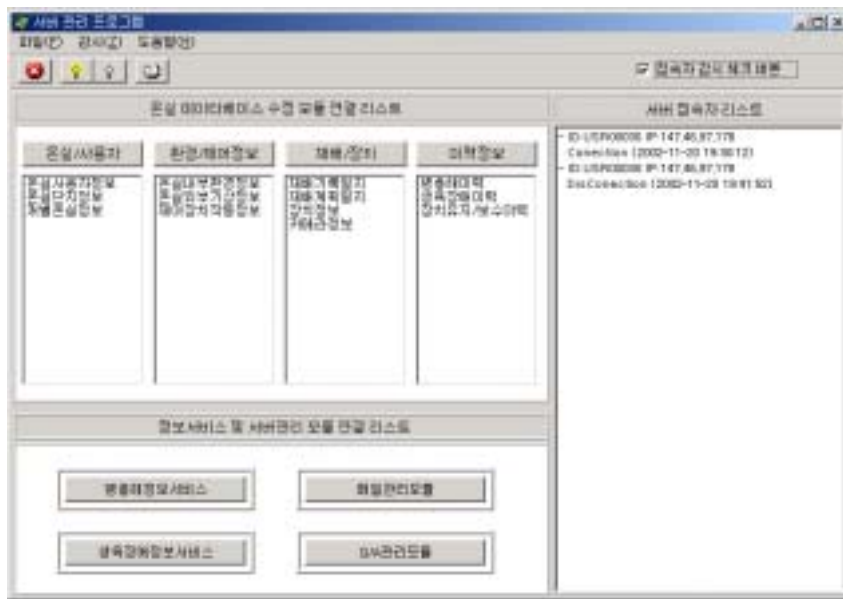


Fig. 6.25 A display of management program

그림 6.26은 개별온실들에 대한 정보를 관리하기 위한 모듈이고 그림 6.27은 온실사용자 정보를 관리하기 위한 모듈이다. 본 모듈들은 앞에서 언급한 검색 및 분석 모듈과 동일하게 구성하였다.

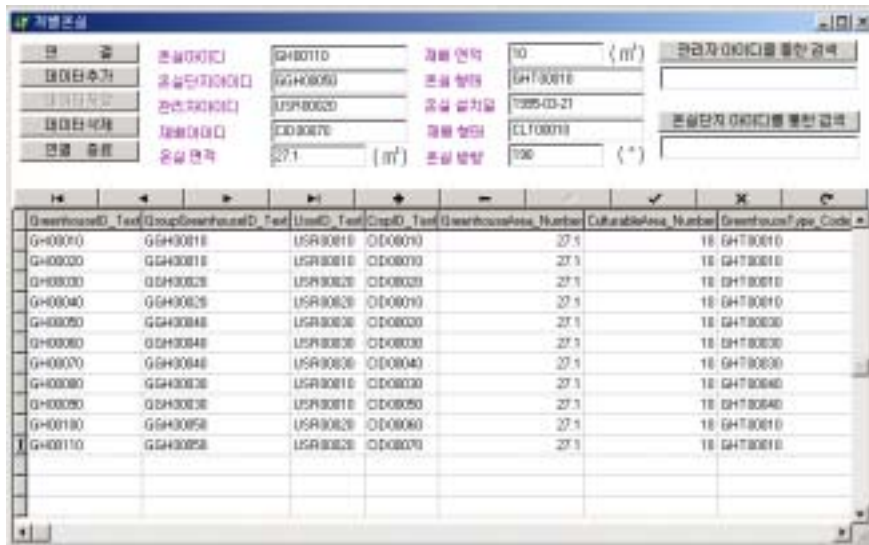


Fig. 6.26 A display of individual greenhouse management module



Fig. 6.27 A display of greenhouse user management module

나) 보안관리 및 데이터백업

재배사례로 축적된 데이터는 재배자의 노하우가 정량화되어 저장된 정보이므로 보안유지가 필수적으로 요구된다. 따라서 본 연구에서 개발된 시스템에서는 보안을 유지하기 위하여 사용자의 수준을 정하여 데이터의 접근을 제한하였다.

사용자 수준은 온실관리자, 온실재배자, 일반사용자로 구분하였다. 온실관리자는 데이터의 검색 및 수정 보완작업이 가능하게 하였고, 온실재배자는 재배사례에 대한 검색을 가능하게 하였다. 마지막으로 일반사용자는 현재 상태만을 모니터링 할 수 있는 권한을 부여하여 차별화 하였다.

온실 데이터베이스에 저장된 데이터를 안전하게 유지 및 관리하는 것은 데이터베이스 관리자의 가장 중요한 업무중에 하나이다. 따라서 온실 데이터베이스에 축적된 데이터의 양과 입력주기를 고려하여 매달 정기적으로 데이터를 백업시키는 것으로 하였다. 데이터의 백업 작업은 SQL Server Enterprise Manager에서 자동적으로 수행되도록 하였다.

3) 경보 모듈 성능

안정적으로 온실을 운용하기 위하여 돌발상황이 발생하면 이를 자동으로 감지하여 경보를 할 수 있도록 개발된 경보 모듈의 성능을 평가하기 위하여 돌발상황으로 설정한 고장을 임의로 발생시켜 돌발상황 감지율과 고장 식별률, 경보전달 시간 등을 평가하였다.

감지율은 전체 발생 돌발상황 수와 상황을 감지하고 경보를 전달한 횟수의 비로 나타내었다. 경보 모듈의 목적이 시스템의 신뢰성을 제고하기 위한 것이기 때문에 돌발상황을 인식 못하거나 역으로 돌발상황이 아니 조건을 돌발상황으로 인식하여 경보를 발생하는 것은 시스템의 신뢰성을 저하시키는 중요한 원인이므로 오인식률도 같이 평가하였다.

본 연구에서 설정한 돌발상황을 온실감시가 불가능한 상황과 극단적인 생육환경이 조성되는 상황으로 구분하여 성능을 평가하였다.

정전이나 통신장애로 인해 온실감시가 불가능한 상황으로 해당 온실의 정전으로 유발되는 하우스모니터의 정전, 하우스모니터와 그룹모니터간의 통신 장애, 온실단지나 온실단지 관리실의 정전으로 유발되는 그룹모니터의 정전, 그룹모니터와 통합관리 서버간의 통신 장애를 임의로 각 10회 발생시키고, 성능을 평가한 결과 표 6.26과 같이 모든 상황에서 3분 이내에 100% 돌발상황을 감지하여 사용자에게 경보를 발생하는 것을 확인하였다. 또한 오인식률은 0%로 온실감시가 불가능한 상황에 대해서는 대단히 안정적인 특성을 보였다.

Table 6.26 The detection rate for monitoring fault

Accident situation	Detection	Wrong detection	Identification	Remark
Power failure of house monitor	100%	0%	100%	Time delay 3 min.
Power failure of group monitor	100%	0%	-	
Communication fault of house monitor→group monitor	100%	0%	100%	
Communication fault of group monitor→server	100%	0%	-	

이처럼 안정적인 특성을 보이는 것은 정전이나 통신두절이 발생하면, 통합관리 서버로 전송되는 데이터가 없어 일정 시간내에 데이터의 전송이 없는 경우, 돌발상황으로 인식하도록 하였고, 하우스모니터의 전원감시 변수에서 지속적으로 온실자체의 정전을 감시하고, 데이터를 전송하기 때문인 것으로 평가된다. 그러나, 그룹모니터의 정전, 그룹모니터와 서버간의 통신 두절의 경우에는 돌발상황에 따른 증상이 동일하게 데이터의 전송이 없어 두 돌발상황을 구분할 수는 없었다.

극단적인 생육환경에 대한 경보모듈의 성능을 평가하기 위하여 온도환경, 양액 공급간에 영향을 크게 미치는 장치의 고장을 가정하여 각각의 경우, 돌발상황 감지율, 오인식률, 고장 식별률, 경보 발생시간 등을 실험하였다.

온도환경의 경우, 주간에는 작업자가 온실에 있는 경우가 많고, 태양광에 의하여 극단적인 생육환경의 발생이 어렵기 때문에, 야간을 대상으로 고장상황을 구현하고, 돌발상황의 인식여부를 실험하였다.

공시온실을 정상적으로 운용할 경우, 야간의 온도 제어특성이 설정값의 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 정도로 나타났으므로, 돌발상황은 설정온도보다 3°C 이상 낮아지는 경우로 설정하였다. 그리고, 각 장치간의 복합적인 고장을 모두 고려할 경우, 많은 실험이 필요하지만, 작물의 생육측면에서는 결국 생육에 부적합한 환경이 발생하는지 여부가 더 중요하기 때문에, 개별적인 고장에 한하여 돌발상황을 구현하여도 충분히 경보 모듈의 성능을 평가할 수 있기 때문에 개별장치의 고장을 유발하여 각 10회 실험을 수행한 결과 표 6.27과 같은 결과를 얻었다.

Table 6.27 The detection rate for temperature fault

Accident situation	Detection	Wrong detection	Identification	Time delay
Ceiling window not work	80%	0%	-	3.5hr
Side window not work	70%	0%	-	4hr
Boiler not work	80%	0%	100%	4.5hr
Inside temp. sensor failure	100%	0%	100%	3min
Outside temp. sensor failure	100%	0%	100%	3min

돌발상황 감지율은 설비의 고장이 발생할 경우, 70~80%로 나타났고, 센서의 고장이 발생할 때에는 100%인식할 수 있었다. 돌발상황의 감지율이 이처럼 낮은 것은 감지율을 해당 고장이 발생하였는데 경보 모듈이 온실 장치에 어떤 문제가 있는지를 인식하는 횟수로 정의하였기 때문이다. 즉, 실제로 천창을 개방하였으나, 외부공기의 온도가 충분히 낮지 않았고, 보일러 등이 구동되어 돌발상황으로 설정한 온도를 초과하는 저온이 발생하지 않았기 때문이다.

특이할만한 것은 천측창의 고장보다 보일러가 작동되지 않는 경우, 감지시간이 가장 늦은 것으로 나타난 것이다. 이는 공시온실이 온실의 동 전체를 사용한 것이 아니라 5개의 분리된 공간으로 구분한 것 중 하나인 1실을 사용하여, 공시온실 양 옆 온실에서는 정상적인 온도제어가 이루어졌기 때문에 온도가 낮아지는 속도가 매우 늦었기 때문이다.

그러나, 보일러 고장에 따른 고장식별률이 높은 것은 본 연구에서 개발된 시스템이 작동장치의 상태를 감시하기 위하여 열교환기의 온도를 측정하고 있어, 이를 돌발상황 감지에 활용하였기 때문이다.

본 검증실험을 통하여 돌발상황을 현상적으로 즉, 작물이 느끼는 환경의 변화를 기준으로 하는 경우, 고장발생 여부는 정확하게 감지하지 못할 수도 있지만 본 모듈의 개발 목적인 극단적인 생육환경의 조성으로 인한 회복 불가능한 생육 피해가 발생하는 것을 방지하기에 충분한 성능을 갖고 있는 것으로 확인되었다.

양액 공급이 중단되는 경우도, 유사하게 관련 장치들의 고장을 가정하여 돌발상황 여부를 인식한 결과 양액펌프, 양액 밸브의 고장으로 인한 공급 중단은 100% 감지하고, 3분 이내에 경보를 발생하였다.

4) 웹서비스 모듈

웹서비스 모듈은 인터넷으로 온실에 관한 종합적인 정보를 제공함으로써 시간과 장소에 구애받지 않고 온실 및 작물의 상태를 감시하고 온실 내의 긴급 상황에 대처할 수 있도록 구성하였다.

가) 로그인 및 기본 정보 제공

불특정 다수의 온실정보 표출 및 작동시스템으로의 접근을 막기 위하여 허가된 사용자만이 온실정보에 접근할 수 있도록 처음 웹에 접속하면 로그인 정보를 입력하도록 하였다.

로그인 한 후, 인증된 사용자의 등급에 따라 온실의 정보 및 관리자에 대한 기본정보를 인터넷을 통해 확인할 수 있으며, 잘못 기재된 정보의 수정이 가능하게 하였다.



Fig. 6.28 A display of greenhouse basic information

나) 생육환경정보

생육환경정보는 가공 및 분석모듈에서 제공하는 것과 유사하게 온실내 생육환경 정보를 인터넷을 통하여 원격지에서 쉽게 확인할 수 있도록 구성한 모듈로, 실시간 정보 제공 및 가공 및 분석 모듈의 결과를 출력하도록 구성하였다.

또한 불특정 다수의 사용자가 접속할 수 있는 인터넷의 특성을 고려하여, 재배포자의 노하우가 정량화 된 생육환경정보의 유출을 방지하기 위하여 일반사용자에게는 현재 온실의 상태만을 확인할 수 있도록 제한하고, 온실 재배포자나 관리자는 웹 상에서도 검색조건을 입력하면 데이터베이스에 접속하여 관련 정보를 검색하여 조회 할 수 있도록 하였다.

그림 6.29는 웹에서 검색조건을 입력하여 생육환경 변화추이를 테이블과 그래프로 나타낸 예이다.

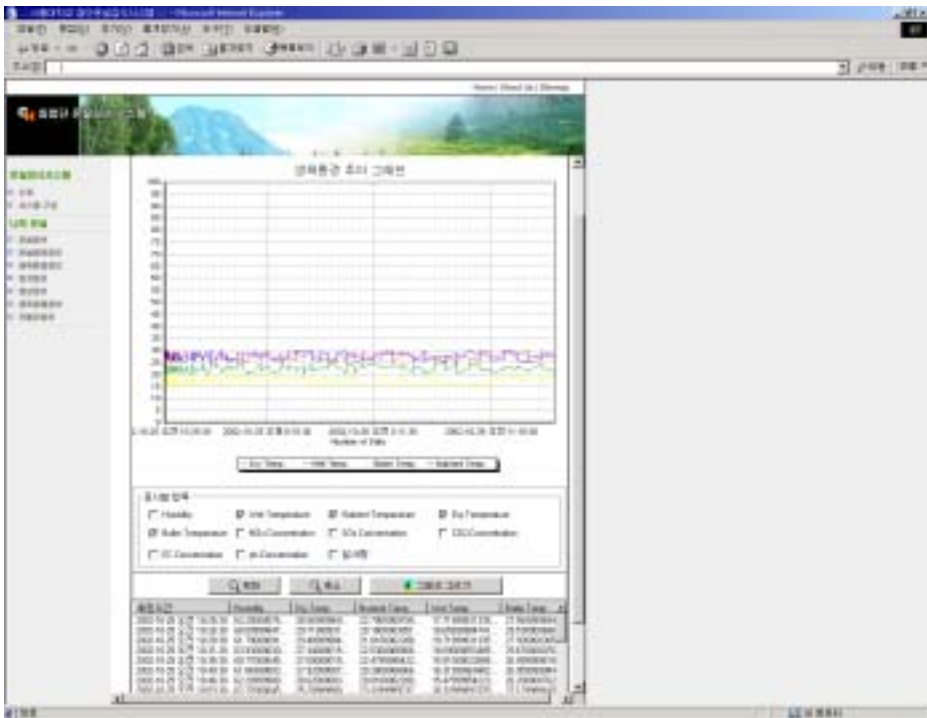


Fig. 6.29 A display of environment information

다) 온실제어 정보 및 원격 작동

원격지에서 인터넷을 통해 온실의 작물재배 환경을 조절하는 온실내 제어장치의 구동상태 및 설비의 이력 등을 검색할 수 있도록 하였다. 또한 돌발상황이 발생하면 이를 원격지에서도 적절한 조치를 취할 수 있도록 그림 6.30과 같이 개별 작동장치들을 원격에서 제어할 수 있도록 구성하였다.

또한 온실설비에 대한 고장 및 처리 상태 등의 이력정보를 표시하여 온실 내 장치의 유지 보수 상황을 검색하고, 원격지의 설비 전문가가 온실의 상태를 파악할 수 있도록 하였다.



Fig 6.30 A display of remote monitoring and control

라) 영상정보

영상정보는 그림 6.31과 같이 데이터베이스에 주기적으로 저장되는 온실 영상 정보 리스트를 제공하고, 선택된 영상에 대한 자세한 설명 및 이미지를 제공함으로써 온실 내의 작물 생육상태에 따른 이미지 변화 추이를 쉽게 볼 수 있게

하였다.

또한 사용자가 원하는 지점의 작물 생육상태를 관찰하거나 온실의 작동상태를 직접 육안으로 확인할 수 있도록 온실의 실시간 영상을 제공하고, 온실의 내부 상황을 쉽게 모니터링 할 수 있도록 온실에 설치된 카메라의 ZOOM/PAN/TILT 을 제어하여 원하는 부분의 영상을 획득할 수 있게 하였다.



Fig. 6.31 A display of plant image

마) 병충해 및 생육장애 정보

데이터베이스에 구축된 병충해 및 생육작물 정보를 원격지에서도 영상정보와 같이 방제방법 및 생육장애 원인 등을 그림 6.32과 같이 검색 할 수 있도록 하여 적절한 조치를 취할 수 있도록 하였으며, 실제 온실을 관리하면서 발생하는 병충해 및 생육장애 영상정보 역시 조회를 할 수 있도록 하여, 외부 전문가가 확인할 수 있도록 하였고, 확인된 정보는 데이터베이스 관리자가 관련 정보를

지속적으로 수정, 보완하도록 하였다.



Fig. 6.32 A display of plant disease

3. 요약 및 결론

본 연구는 온실의 각종 정보를 데이터베이스로 구축하고, 이를 가공 분석하여 제공함으로써 재배자가 온실을 운영 관리하는데 있어 이전의 결과를 토대로 제어전략 등을 수립하여 경제성을 제고할 수 있는 제어전략 제공 시스템을 개발하는 것을 목표로 수행되었으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 경제적인 온실 운용을 위한 제어전략을 수립하는데 필요한 정보 및 데이터베이스의 요구분석을 수행하여 주요 개체를 선정하였고, 환경정보 및 제어정보 수집처리군, 재배일지 처리군, 온실장치 정보 처리군, 재배작물 분석데이터 처리군, 온실관리정보 및 정적정보 처리군으로 분리하여 데이터베이스의 구조를 설계하였다.

나. 입출력 방법, 정보 추출방법, 개체 속성 등에 따라 개체를 분류하였고 개념적, 논리적, 물리적 설계를 통하여 개체관계도와 테이블을 정의하고 DBMS으로 선정된 MS SQL의 내부 데이터 모델로 변환하여 클라이언트/서버 형태의 온실 데이터베이스를 구축하였다.

다. 제어전략 제공시스템은 데이터베이스의 데이터를 가공 분석하여 정보를 생산하는 가공 및 분석모듈, 돌발상황을 감지하고 경보를 전달하는 정보모듈, 관련 정보를 인터넷을 통하여 제공하는 웹 서비스 모듈로 구성하여 개발하였다.

라. 가공 및 분석 모듈은 사용자 인증 및 등급에 따라 데이터베이스 접근권한을 조정하여 보안성을 확보하였고, 각 모듈들은 검색조건을 입력하면 그래프와 표의 형태로 분석된 정보를 제공하였다. 이 모듈들은 다양한 항목을 선택할 수 있어, 외부기상과 내부 환경의 변화나 제어장치의 제어상태 등을 동시에 표출함으로써 각 요소간의 상호관계나 변화 추이를 분석할 수 있었다.

마. 영상을 이용한 생육상태 감시장치로부터 생육상태 정보와 관련 영상을 획득하여 데이터베이스에 저장하였으며, 분석 모듈을 이용하여, 생육상태 정보의 변화 추이를 분석할 수 있었고 병충해 및 생육장애 정보를 데이터베이스에 저장하여 검색 조회할 수 있었다.

바. 정보 모듈은 제어장치의 고장 등으로 작물에 피해를 유발하는 극단적인 생육환경의 발생을 방지하기 위하여 개발되었으며, 온실 감시가 불가능한 상황과 온도, 양액공급 이상을 감시항목으로 선정하였고, 실제 돌발상황을 조성하여 실험한 결과, 감시 불가능 상황은 3분 이내에 100%인식하였고, 온도의 경우, 제어장치의 고장은 최대 4시간 30분 이내에 70~80%의 고장 감지를 하였고, 나머지 상황에서는 극단적인 생육환경이 발생하지 않아 고장을 감지 못한 것으로 온실의 신뢰성과 안정성 제고에 적합함을 확인하였다.

사. 개발된 웹서비스 모듈은 인터넷으로 온실에 관한 종합적인 정보를 웹을 통하여 원활하게 제공하여 시간과 장소에 구애받지 않고 온실 및 작물의 상태를 감시하고 온실 내 돌발상황이 발생할 경우, 원격 제어를 통하여 제어장치를 작동할 수 있어 원격감시 및 제어시스템 종합관리에 적합함을 확인하였다.

아. 개발된 시스템을 이용하면 첨단온실의 안정성과 신뢰성을 확보할 수 있고, 복잡한 설비와 작물 등 다양한 구성요소로 이루어진 여러 개의 첨단온실의 운용 및 관리를 인터넷을 통하여 수행할 수 있으며, 센터에서 전문가에 의하여 효율

적으로 관리할 수 있고, 제어전략 수립에 필요한 다양한 정보를 제공할 수 있음을 실증실험을 통하여 확인하였다.

자. 본 연구에서 개발된 데이터베이스 및 제어전략 정보 제공 시스템을 실용화하여 온실전문관리업체 등에서 활용하면 전문가에 의한 시스템의 유지관리를 최적화 할 수 있고, 설비의 활용도를 높여 생산성을 증대할 수 있을 것이다. 또한, 작물-환경-작동장치간의 상호관계에 대한 기초적인 데이터를 확보할 수 있으므로 경제적인 환경제어 모델 개발 및 개선에 활용될 수 있을 것이다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 연도별 연구목표 및 평가착안점

가. 연도별 연구목표

1) 제 1차 연도 (2000년)

세부과제명	연구개발 내용 및 범위
온실 환경 제어시스템 종합 관리 및 모니터링 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 원격감시에 적합한 온실 생육환경 감시 시스템 구축 - 기존 계측장치, 계측시스템 분석 및 원격 감시 계측 항목 조사 - 생육환경, 유해환경의 계측데이터 유효성 검증 방법 구명 - 원격 감시에 적합한 신호 전달 체계 연구. 유·무선의 저가 통신환경 조사, 전화나 전용선 활용한 TCP/IP 프로토콜의 방안 마련 - 온실 환경 요인의 안정적인 계측을 위한 모듈화된 계측장치 개발 및 실증실험 통한 개발된 장치 평가
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 온실 제어장치 상태 감시시스템 개발 - 난방기, 양액 장치 작동여부 및 천·측창의 개폐여부 등 제어장치의 작동상태를 판단할 수 있는 항목 조사 - 제어 장치의 적정 동작 여부 감시할 수 있는 방법 구명 - 계측 및 제어기의 이상 발견시, 작물재배의 안전성 강화를 위한 경보 시스템을 개발 - 온실 감시용 영상 입력장치 부착 및 정보 처리 시스템 구축
작물 생육상태 모니터링 및 제어전략 정보제공 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 생장정보 계측을 위한 컴퓨터 시각 기법 개발 - 상추와 토마토를 대상으로 하여 생육상태를 파악할 수 있도록 시계열 작물 영상 획득 방법 및 추적인자를 개발. 이를 위해 흑백카메라와 광학 간섭필터를 사용하여 영상을 획득하며, 시간에 따른 생육 변화를 조사 - RGB 색채 카메라와 흑백 CCD 카메라를 이용하여 작물의 건강과 성장을 파악할 수 있는 생장상태 감시용 컴퓨터 시각장치를 구축
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 생장정보 계측을 위한 모델 개발 - 모델개발 : 대학이 보유한 작물 생육시설을 이용하여 연구대상 작물의 생장정보 계측을 위한 모델을 개발. 모델 개발을 위해 영상정보와 실측정보를 비교 분석 - 모델개발 : 작물의 투영면적, 엽색, 작물 구조 등과 생체중 관계를 바탕으로 하여 작물의 생장상태 분석 알고리즘을 개발

2) 제 2차 연도 (2001년)

세 부 과 제 명	연 구 개 발 내 용 및 범 위
<p>온실 환경 제어시스템 종합 관리 및 모니터링 시스템 개발</p>	<p>▶원격제어 시스템 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기존 온실 자동화 장치에 사용된 여러 종류의 제어장치 및 제어 체계를 분석, 공통적으로 적용될 수 있는 제어 장치별 원격 제어방법 파악 - 개별 제어장치의 제어 신호와 전달체계를 분석하여 안전성을 위한 설계 인자 연구 - 원격 제어에 적합한 모듈화된 제어장치 개발 및 실증 실험을 통한 원격 제어장치의 성능 파악 <hr/> <p>▶ 원격감시 및 제어 시스템 통합</p> <ul style="list-style-type: none"> - 현실적으로 가장 경제적이고 성능이 좋은 원격통신 방법을 구명 후, 온실에 고속 통신망 설치 및 구축 (ADSL, 또는 전용선 등) - 생육환경 계측 및 제어장치 감시 시스템과 제어 시스템을 통합 및 성능 평가하여 미비한 점을 보완 및 수정.
<p>작물 생육상태 모니터링 및 제어전략 정보제공 시스템 개발</p>	<p>▶생육상태 모니터링 시스템 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 조명 환경을 충분히 고려한 생육상태 모니터링 시스템을 개발. 여러 균락을 조사하기 위해 선형 작동기를 이용한 모니터링 유닛 이동장치 제작 - 엽록소 함량 추정모델 등을 이용하여 생육이상 진단 알고리즘을 개발. 또한 색채 CCD 카메라를 이용하여 엽색을 측정하고, 이 색채값과 색채색차계나 분광측색계를 이용한 색채값 사이의 상관관계를 조사, 분석 - 시간에 따른 작물 생육인자의 변화를 조사하고 시계열 영상 분석인자와 작물 생육상태간의 상관관계를 분석

3) 제 3차 연도 (2001년)

세부과제명	연구개발 내용 및 범위
<p>온실 환경 제어시스템 종합 관리 및 모니터링 시스템 개발</p>	<p>▶ 생육환경 감시정보 데이터베이스 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 계측 및 제어 데이터의 분석 및 효과적인 제어를 위하여 계측 및 제어 정보 데이터베이스를 설계. - 자료 분석을 위한 Server측 데이터의 저장 및 관리를 위하여 SQL을 이용한 데이터베이스 개발, 사용자의 PC에서 이러한 자료를 쉽게 입력 및 검색할 수 있도록 사용자용 응용프로그램 설계. - 저장된 데이터의 분석과 효과적인 분석을 위하여 계측 및 제어 정보 분석 모듈 개발.
	<p>▶ 온실환경 및 생육상태 감시시스템 통합</p> <ul style="list-style-type: none"> - 본 연구의 1, 2차년도에 걸쳐 수집된 생육상태에 관한 정보와 재배 사례를 이용하여 데이터베이스화의 기반 마련 - 온실 환경 및 생육 상태 감시시스템과 인터넷을 이용한 정보 전송 시스템 통합하고 이를 온실에 설치하여 그 작동을 시험하고 미비한 점을 보완하여 시스템의 성능 향상 - 통합된 시스템에 대해 실제 온실에 적용할 수 있는지에 대해 기술적, 경제적 분석 수행
<p>작물 생육상태 모니터링 및 제어전략 정보제공 시스템 개발</p>	<p>▶ 제어전략정보제공 시스템 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 재배농민 또는 전문가 등에 의한 정보를 이용하여 온실환경 제어전략 및 방법을 데이터베이스 구축. 이 데이터베이스를 바탕으로 재배농민이 입력한 정보에 따른 제어전략을 제공하는 시스템을 설계, 구축
	<p>▶ 전체 시스템의 온실 적용시험</p> <ul style="list-style-type: none"> - 전체 시스템의 온실 적용시험을 위해, 온실 설치용 시스템을 구축하고, 세부과제와 연계하여 생육정보를 제공

나. 평가 착안점

구 분	평가의 착안점 및 척도	
	착 안 사 항	척도(점수)
1차년도(1999)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 선정된 원격 감시항목의 적정성 ○ 모듈화된 계측장치의 측정 성능 ○ 계측 정보의 유효성 검증 성능 ○ 원격 감시에 적합한 신호전달체계의 적정성 ○ 제어장치 감시시스템 및 경보시스템의 성능 ○ 생장정보 계측을 위한 컴퓨터 시각장치의 구축 ○ 생장정보 계측을 위한 모델 개발 ○ 시계열 작물영상 획득 및 개발된 추적인자의 적정성 	<p>10</p> <p>10</p> <p>15</p> <p>10</p> <p>15</p> <p>10</p> <p>15</p> <p>15</p>
2차년도(2000)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 제어장치별 원격 제어방법 ○ 안전성을 위한 설계인자의 타당성 ○ 모듈화된 원격제어장치 개발 및 실증실험 ○ 원격 제어 시스템의 구축 ○ 생육환경 감시 시스템과 제어 시스템의 통합 및 성능 ○ 시계열 작물영상을 이용한 작물생육상태 분석 ○ 생장상태 모니터링 시스템 개발 	<p>5</p> <p>10</p> <p>15</p> <p>15</p> <p>20</p> <p>15</p> <p>20</p>
3차년도(2001)	<ul style="list-style-type: none"> ○ SQL을 이용한 데이터 베이스 개발 ○ SPSS를 이용한 계측 및 제어정보 분석 및 제시방법 ○ 재배 사례 데이터베이스화의 기반 구축 여부 ○ 온실환경 및 생육상태 감시시스템의 통합 ○ 정보 전송시스템의 성능 ○ 제어전략 정보제공시스템 개발 ○ 원격 감시 및 제어시스템의 성능 	<p>15</p> <p>15</p> <p>10</p> <p>15</p> <p>10</p> <p>15</p> <p>20</p>
최종평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 원격 감시시스템의 성능 ○ 원격 제어시스템의 성능 ○ 계측 및 제어정보의 데이터베이스 개발 ○ 재배사례 데이터 베이스의 유용성 ○ 작물생육상태 계측시스템의 성능 ○ 제어전략 정보제공시스템의 성능 ○ CALS 구축의 가능성 평가 ○ 사용자 인터페이스의 편리성 및 시스템의 안정성 	<p>15</p> <p>15</p> <p>10</p> <p>10</p> <p>15</p> <p>15</p> <p>10</p> <p>10</p>

2. 연구개발 목표 달성도

가. [세부 과제] 온실 환경 제어시스템 종합 관리 및 모니터링 시스템 개발

1) 1차 년도 (2000)

가) 원격감시에 적합한 온실 생육환경 감시 시스템 구축

연구 내용	연구 수행 내용	달성도
○ 계측항목 구명	<ul style="list-style-type: none"> - 문헌조사 - 현장 농가 답사 - 작물 생육 환경요인, 유해 환경 요인 선정 	100%
○ 계측장치 개발 및 실증실험	<ul style="list-style-type: none"> - 환경 요인 계측장치의 최소 요구 성능 규명 - 측정 항목에 적합한 측정 방식 결정 - 실제 온실 여건을 감안하여 외부 기상 환경은 그룹모니터에서 처리 - 하우스모니터간 통신 및 그룹모니터 통신은 RS-485 통신 채택 - 마이크로컨트롤러로 PIC16F877을 선정 - 계측 회로의 PCB(Print Circuit Board)화 - 계측 신호를 해당 물리량으로 변화하여 지역 감시 컴퓨터로 전송하고, LCD를 통해 현장에서 표시 - 정밀도 $\pm 0.3\%$, 이내로 생육환경 감시 	100%
○ 계측 정보 유효성 검증 방법 규명	<ul style="list-style-type: none"> - 계측 정보의 이상 진단 - 계측 정보의 신뢰성 판단 알고리즘 개발 	100%
○ 원격 감시 신호 전달 체계 연구	<ul style="list-style-type: none"> - 원격 통신 체계 조사 - 원격 감시 및 제어에 적합한 시스템 조사 - 원격 감시 시스템 구성 	100%

나) 온실 제어장치 상태 감시시스템 개발

연구 내용	연구 수행 내용	달성도
○ 기존 제어 시스템의 작동 상태 판단 항목 조사	- 현장 온실 탐방 조사 - 제어 시스템 상태 계측 항목 선정	100%
○ 제어장치 동작 감시를 위한 계측 시스템 개발	- 제어장치 상태 감시 시스템 구성 - 제어장치의 작동상황은 1분 이내에 동작 여부는 6분 이내에 감시	100%
○ 경보 시스템 연구	- 이상 신호 계측 규명 알고리즘 개발 - 제어장치의 적정 동작 여부를 감시 - 이상 발생시 CTI를 이용한 경보 발생 시스템 개발	100%
○ 영상처리 시스템 제작	- 영상입력장치 설치 - 영상정보의 전송체계 개발	100%

2) 2차 년도 (2001)

가) 원격 제어 시스템 구축

연구 내용	연구 수행 내용	달성도
○ 원격감시 및 제어 시스템 신호 전달 체계 연구	- 각종 자료조사 및 현장 답사 - 기존 온실의 자동제어 분석 및 보완 방안	100%
○ 제어 장치별 원격 제어 항목 및 제어 방법 규명	- 첨단 온실의 원격제어 항목 선정 - 첨단 온실의 원격 제어 항목 범위 및 방법 규명	100%
○ 원격 제어 장치 개발	- 기존 제어시스템과의 통합 가능하게 그룹모니터와 기존제어체계 연결한 원격제어 시스템 구축 - 실험 대상 온실에 적용한 결과 안정적인 제어특성을 보임. - 원격 제어를 위한 통신 프로토콜을 TCP/IP로 선정하고, 통신 데이터의 형태는 PLC 제어명령어로 구성	100%
○ 원격 제어 장치 실증 실험 및 보완	- 대상 온실에 설치 후 실증 실험 수행 - 실증 실험결과, 34,560회 제어시 99.1%의 원격제어 성공률을 보였고, 1분 이내로 제어 됨.	100%

나) 원격감시 및 제어 시스템 통합

연구 내용	연구 수행 내용	달성도
○ 원격 감시 및 제어 시스템 통합	<ul style="list-style-type: none"> - 원격 감시 및 제어 프로토콜로 개발 - TCP/IP 통신 체계에 기반한 클라이언트/서버 시스템으로의 통합 	100%
○ 원격 감시 및 제어 시스템 실증 실험 및 보완	<ul style="list-style-type: none"> - 원격 감시 시스템의 정전이나 통신장애시에 도 주요 데이터를 계측하고, 저장하였으며, 장애 이후에 데이터 전송이 이루어져 신뢰성 확인함. - 원격 제어 시스템의 1분 이내 99.1%로 작동되어 응답성 및 안정성을 확인함. - 온실 감시 및 제어 정보의 데이터베이스를 위한 전송 체계 구축 	100%

3) 3차 년도 (2002)

가) 생육환경 감시정보 데이터베이스 개발

연구 내용	연구 수행 내용	달성도
○ 데이터베이스 요구분석	<ul style="list-style-type: none"> - 데이터베이스의 요구를 분석하여 주요 개체를 정의함. - 환경 정보 및 제어정보, 재배일지, 온실장치 정보, 재배작물 분석, 온실관리정보 및 정적 정보 처리군으로 데이터베이스 구성 	100%
○ 데이터베이스 구축	<ul style="list-style-type: none"> - 개념적, 논리적, 물리적 설계로 개체관계도 및 테이블 정의 - 다중사용자를 위하여 MS SQL server로 데이터베이스 구축 	100%
○ 가공 및 분석 모듈 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 처리군에 준한 가공 및 분석 모듈 개발 - 감시항목과 검색조건을 입력하면 그래프와 표의 형태로 분석된 정보를 제공하여 추이를 분석하고 항목간 비교가 가능함. - 개발된 데이터베이스를 재배사례 DB로 활용 가능성 확인 	100%

나) 온실환경 및 생육상태 감시시스템 통합

연구 내용	연구 수행 내용	달성도
○ 온실환경 및 생육상태 감시시스템 통합	<ul style="list-style-type: none"> - 통합관리 서버로 서버급 컴퓨터에 Winodw 2000 Server 운용체제를 선정 - 생육상태 감시 시스템을 그룹모니터에 부착하고, 생육상태를 통합관리 서버로 전송하도록 TCP/IP 통신 체계에 기반한 클라이언트/서버 시스템으로의 통합 - CTI를 이용하여 경보서버를 구축 - Data snap과 Active X, ASP를 이용하여 웹서버를 구축 	100%
○ 통합시스템 실증 실험 및 보완	<ul style="list-style-type: none"> - 공시온실에 통합시스템 설치하고 실증실험 수행 - 그룹모니터로부터 데이터를 전송받고, 데이터 베이스에 저장하며, 가공 및 분석하여 인터넷을 통한 정보 서비스 구축 - 구축된 데이터베이스가 제어전략 정보 제공을 위한 재배사례 데이터베이스로 충분한 성능을 보임. - 실시간으로 작물의 생육상태를 파악하고, 온실의 각종상태를 감시할 수 있어, CALS 구축의 기반을 마련함. - 경보서버는 돌발상황인 감시불가능 상황은 100%인식하고, 설비 고장은 70~80%인식함. 인식 못하는 경우는 설비고장이 극단적인 환경을 구현하지 못한 상황임이 규명됨. - 효과적으로 온실의 상태를 감시하고, 원격 제어가 수행되는 것을 확임. - 사용자가 인터넷을 통하여 용이하게 온실의 각종 상태를 감시하기에 적합한 편리한 인터페이스를 제공하고, 실증실험 도중에 학내 랜 환경의 문제로 일부 서비스가 불가능한 경우를 제외하고는 시스템의 중단이 없어 충분한 안정성이 있음을 확인함. 	100%

나. [협동연구과제] 작물 생육상태 모니터링 및 제어전략 정보제공 시스템 개발

1) 1차년도 (2000)

가) 생장정보 계측을 위한 컴퓨터 시각 장치 구축

연구내용	연구수행내용	달성도
○ 작물의 생장정보를 계측하기 위한 컴퓨터 시각 장치 구성	- 카메라 및 영상입력장치 구성 - 영상처리장치(프레임 그레버) 선정 - 영상저장장치 구축 - 영상신호결환장치 이용	100%
○ 작물의 특성을 고려한 컴퓨터 시각 시스템의 조건 및 설치 방법 파악	- auto-iris와 auto-gain 기능을 자동 설정 - white balance 기능 수동 설정 - 자연광에 의한 영상분석	100%

나) 시계열 작물영상 획득 및 추적인자 개발

연구내용	연구수행내용	달성도
○ 시계열 작물영상 획득	- 표준색지 50종과 컬러 공간을 고려한 50종의 기준색지를 선정 - 측도봉 제작 및 효과 검증 - 동일하지 않은 광조건하에서도 유사한 색 분석 결과를 보임	100%
○ 시계열 작물영상의 추적인자 탐색	- 영상 파일 리스트 자동 부여 - 동일한 차원의 추적인자로서 상추의 경우 투영면적과 기준색지 할당 분포를, 토마토의 경우 기준색지 할당 분포를 제시	100%

다) 성장상태 계측 알고리즘 개발

연구 내용	연구 수행 내용	달성도
○ 영상분석에 의한 성장상태 계측을 위한 전처리 과정	- 측도설정을 위한 측도봉 제작 - RGB 영상의 B 채널에 의한 이치화 수행 - 영상영역화를 위한 User Interface 구현	100%
○ 작물의 성장상태 계측용 알고리즘 개발	- graticule method를 이용하여 작물의 투영 면적을 계산 - 15도 각도로 면적비를 이용하여 작물의 엽 밀도를 계산 - 작물의 골격을 해석하기 위해 세선화 기법을 이용	100%
○ 엽색 분석 방법 개발	- 측도봉을 이용한 기준색채 분석 - 잎에 대한 색채분포 분석	100%

라) 성장정보 분석을 위한 모델 개발

연구 내용	연구 수행 내용	달성도
○ 작물(상추)의 중량 예측 모델 개발	- 성장상태에 관한 시계열 영상인자와 중량 간의 상관관계 분석 - 투영면적을 인자로 하는 2차 회귀곡선을 개발하였으며 결정계수 0.9277과 1.88g의 측정오차를 보여줌	100%
○ 작물 엽색의 건강성 분석	- 건전한 색채(육안에 의한 판정)를 갖는 시료(상추)의 엽색 특성 분석 - 기준색지를 이용한 엽색의 건강성을 판정하기 위해 판별분석 모델을 개발하였으며 전문가의 판단을 기준으로 80.8%의 정확도를 보여줌	100%
○ 작물의 구조 분석 및 이상 생육상태 검출을 위한 기초 연구(2차년도 연구 대비)	- 가시광 및 근적외선 대역의 필터링 영상을 이용하여 비파괴적인 방법에 의한 엽록소 함량 추정 및 엽록소 양에 따른 그룹 분류의 가능성을 조사 - 영상분석에 의한 작물의 구조적 특징 탐색 - 토마토 과일의 위치 검출	100%

2) 2차년도 (2001)

가) 생육상태 모니터링 시스템 개발

연구 내용	연구 수행 내용	달성도
○ 생육상태 감시용 영상시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> - 생장정보계측용 영상처리시스템 보완 - 카메라별 측도설정 및 작물간 거리 결정 - 영상출력장치 구축 - Web 기반 영상신호 전송 및 Video server 구축 	100%
○ 작물의 구조 분석 방법 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 군락영상획득 및 분석 방법 개발 - 레이저 구조광 발생장치 제작 - 레이저 구조광을 이용한 작물 Texture 분석 - 영상분석에 의한 작물의 구조적 특징(구조와 관련된 형상인자) 탐색 	100%
○ 이상생육진단 알고리즘 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 측도봉을 이용한 엽색 분포 분석 - 기준색지 이용한 엽색 건강성 분석모델 개발 - 생육상태에 따른 영상특징 및 진단 알고리즘 개발 - 영상분석에 의한 엽록소 함량 추정방법 모색 	100%

연구 내용	연구 수행 내용	달성도
○ 생육상태 모니터링 유닛 제작	<ul style="list-style-type: none"> - 상하좌우 이동이 가능한 선형이동장치 제작 - 카메라 Pan/Tilt 드라이버 및 구동장치 구축 - 모니터링 유닛을 결합한 전체 네트워크 구성 	100%
○ 시계열 작물영상 정보를 이용한 생육상태 변화 분석	<ul style="list-style-type: none"> - 상추와 토마토의 생육에 따른 엽밀도 특징 분석 - 생장에 따른 상추의 중량측정 모델 개발 - 생장에 따른 초장, 초세, 엽밀도 변화 추이 분석 	100%

3) 3차 년도 (2002)

가) 제어전략정보제공 시스템 개발

연구 내용	연구 수행 내용	달성도
○ 데이터베이스 구축	<ul style="list-style-type: none"> - 세부과제 연구팀과 협의하여, 데이터베이스의 요구 분석 및 구조 설계 - MS SQL을 이용한 데이터 모델에 준하여 카메라 정보와 영상정보, 생육정보의 테이블을 정의함. - 병충해정보 및 생육장애 정보를 수집하고 데이터베이스에 관련 내용을 저장하여 검색 가능하게 데이터베이스 개발 	100%
○ 제어전략정보 제공 시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> - 세부과제와 연계하여 제어전략 정보제공을 위한 분석 모듈 개발 - 생육정보를 위하여 공시작물인 상추를 대상으로 생체중, 색채정보 등을 제공 - 세부과제와 연계하여 통합관리 서버에 제어전략 정보 제공 시스템을 구축 	100%

나) 전체시스템의 온실 적용 실험

연구 내용	연구 수행 내용	달성도
○ 시스템 통합	<ul style="list-style-type: none"> - 세부과제의 데이터베이스 및 통합관리 서버에서 요구하는 생육정보 및 영상 정보 제공 - 그룹모니터에 생육상태 감시 시스템을 통합하고, 통합관리 서버로 전송 - 생육정보, 병충해 정보, 작물정보를 통합시스템의 데이터베이스에 제공 	100%
○ 온실 적용실험	<ul style="list-style-type: none"> - 공시온실에 통합시스템 설치하고 실증실험 수행 - 세부과제의 통합관리 서버에 생육정보를 원활하게 제공하였고, 데이터베이스에 저장하며, 가공 및 분석하여 인터넷을 통한 정보 서비스가 원활하게 구현됨. - 효과적으로 온실의 상태를 감시하고, 제어전략 정보를 제공하기에 적합한 성능을 보유하고 있음을 확인함. 	100%

3. 관련분야의 기술발전 기여도

본 연구를 통하여 개발된 시스템은 아래와 같이 관련 분야의 기술발전에 기여하였다.

- 온실 설비의 안정성과 신뢰성을 확보하기 위해 감시해야 할 대상을 선정하고, 경제적인 계측 모듈을 개발함으로써 실용화를 위한 기술을 개발함.
- 원격제어를 위하여 기존 제어체계에 대한 분석을 수행하고, 인터넷을 이용한 실시간 원격 제어 시스템을 구축함으로써 인터넷을 이용하여 설비의 안정적이 운용을 할 수 있는 기술을 제공함.
- 원격 관리를 위한 센터의 구성요소를 정의하고, 실제 구축 예를 제시함으로써, 인터넷을 이용하여 경제적으로 여러 개의 온실을 관리할 수 있는 기초 기술을 제공함.
- 온실 데이터베이스의 요구사항을 분석하고, 생육환경, 제어장치 작동 상태, 생육상태 등을 데이터베이스화 하여 온실 정보화의 기틀을 마련함.
- 초고속 인터넷 기술과 네트워크 기술을 이용하여 온실의 원격 감시 및 통합 관리 시스템 구축시 필요한 구성요소를 제시하고, 실제 구축함으로써 농업에 정보통신기술의 도입 가능성을 제시하였음.
- 상당히 전문화된 시설원예 농가에서 채택하고 있는 환경제어에 있어서도 일사량과 야간기온 등 일부 요인만을 조합하여 제어하는 초보적인 단계에 있음. 이를 개선하기 위해서는 보다 경제적인 복합환경 제어 시스템 개발을 위한 작물-환경-제어장치 간의 관계를 구명할 필수적으로 요구됨. 개발된 감시시스템은 작물과 생육환경, 제어장치의 작동간의 관계를 구명할 수 있는 수단을 제공함.

- 본 연구에서 개발된 경보 및 웹서버는 돌발상황 발생에 따른 적절한 조치를 취하게 함으로써 온실설비의 안정성을 제고하고, 온실설비의 FDI(fault detection and isolation) 연구에 기반을 제공함.

- 본 연구를 통하여 차세대 농업 생산 및 관리시스템으로 부각되고 있는 CALS의 기반 기술을 확보하였음.

- 자연광 아래에서 컴퓨터 시각장치를 이용하여 식물의 생육상태를 분석할 수 있는 기법을 개발하여 경제적이며, 조명에 의한 생육상태 교란 없이 생육상태를 감시할 수 있는 실용화 기술의 기반을 제공함.

- 토마토의 평균지름을 이용하여 중량을 예측하는 알고리즘을 개발하여 비파괴적으로 과채류에 대한 생육상태를 분석할 수단을 제공함.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

- 온실환경의 변화 및 작물의 생육상태를 연속적으로 계측하고 이를 데이터베이스화함으로써 온실 환경 인자에 따른 작물 성장 모델 개발, 작물 성장 모델에 기반한 온실의 최적제어, 온실 복합환경제어 알고리즘 개발 등에 활용할 수 있음.
- 차세대 농업생산시스템인 식물공장의 실현을 위하여 재배에 관련된 소프트웨어적인 측면, 즉 인위적 환경제어와 작물의 반응에 대한 축적된 정보를 제공할 수 있음.
- 연구 진행단계에서 상용화를 고려하여 하나의 시스템이 동시에 여러 개의 온실을 통합 관리하도록 설계함으로써, 추가적인 현장 적용실험 및 보완을 수행하여 안정성을 입증한 후 첨단온실 관리 전문회사 등에서 실용화를 추진할 예정임.
- 생육상태 계측 시스템과 온실 감시 및 제어 시스템을 독립적으로 구성할 수 있도록 하여, 재배자가 경제적 상황에 적합하게 시스템을 선택할 수 있도록 상용화하여 현장보급을 추진할 계획임.
- 참여기업에게 확대 보급을 위한 규격화된 시스템 구성품을 설계, 제작할 수 있도록 기술지원을 추진함.
- 차세대 농업생산시스템인 식물공장의 실현을 위하여 재배에 관련된 소프트웨어적인 측면, 즉 인위적 환경제어와 작물의 반응에 대한 축적된 정보를 제공함.
- 보다 경제적인 시스템의 구축 및 설계를 위해서 추가로 진행되어야 할 연구로는 온실 환경 인자에 따른 작물 성장 모델 개발, 작물 성장 모델에 기반한 온실의 최적제어 및 온실 복합환경제어 알고리즘 개발, 시장상황 등이 포함된 통합적인 온실 관리시스템의 개발 등임.

제 6 장 참고문헌

1. 김기영, 류관희. 1998. 영상처리를 이용한 온실자동화 시스템의 식물성장도 측정. 한국농업기계학회 1998년 동계 학술대회 논문집. 237~243
2. 류 관희. 1994. 작물의 생장 정보 계측 및 생육 제어에 관한 연구. 한국과학재단 연구 결과 보고서.
3. 서원명. 1994. 온실의 환경인자 및 환경조절에 관한 기본지침. 공정육묘 온실의 자동화 시스템 개발에 관한 심포지움 발표문
4. 송현갑, 금동혁외 4인. 1993. 시설원에 자동화 -기초와 응용-. 문운당.
5. 이종수. 1999. WWW 상에서의 CGI를 이용한 농업용 전문가 시스템의 추론엔진과 사용자 인터페이스 개발. 서울대학교 석사학위 논문
6. 임정호. 2001. 인터넷을 이용한 온실감시 시스템의 개발. 서울대학교 석사학위 논문
7. 정훈 등. 2000. 인터넷 이용 저온저장고 환경감시 시스템 개발. 한국농업기계학회 2000년 동계 학술대회 논문집 제5권 1호
8. 최 태현, 황 현, 김 시찬. 1999. 인터넷/네트워킹을 이용한 원격제어 및 관리 시스템. 한국농업기계학회 1999년 동계 학술대회 논문집. Vol. 4(1):726-733.
9. 허원석 등. 2002. 웹 기반의 온실 원격 제어 시스템의 개발, 한국농업기계학회 지 제 27권 제 4호, pp349-354.
10. 홍순호. 1995. 식물공장의 생육환경 제어에 관한 연구. 서울대학교 박사학위 논문.
11. Adams, S.R., S. Pearson and P. Hadley. 1996. Modelling growth and development of pansy CV. Universal violet in response to photo-thermal environment: Application for decision and scheduling. Proc. Int. Workshop on Greenhouse Crop Models Ed. R.U. Larsen Acta Hort. 417. 23-32.
12. Albuquerque M. P. de, Lelievre-Berna E. 1998. Remote monitoring over the internet. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. A 412. pp140-145
13. Ameer S., M. Laghrouche, A. Adane. 2001. Monitoring a greenhouse using a micro controller-based meteorological data acquisition system.

- Renewable Energy Vol(24), pp 19-30.
14. Bailey, B.J. 1995. Greenhouse climate control-new challenges. *Acta Horticulturae* 399. Greenhouse Environment Control and Automation. 13-23.
 15. Bakker J.C. 1995. Greenhouse climate control : Constrains and limitations, *Acta Horticulture*, 399, pp25-33
 16. Carlos Sero dio a, J. Boaventura Cunha b, Raul Morais b, Carlos Couto c, Joa o Monteiro c. 2001. A networked platform for agricultural management systems. *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol(31) pp75-90
 17. Challa, H., Straten G. van. 1991. Reflections about optimal climate control in greenhouse cultivation. *IFAC Mathematical and Control Applications in Agriculture and Hort.. Matsuyama, Japan.*
 18. Challa, Hugo. and E. Heuvelink. 1996. Photosynthesis driven crop growth models for greenhouse cultivation: advances and bottle-necks. *Proc. Int. Workshop on Greenhouse Crop Models Ed. R.U.Larsen Acta Hort.* 417. 9-22.
 19. Chang, Y.C. and J.F. Reid. 1996. Characterization of a color vision system. *Transaction of the ASAE*. Vol. 39(1):263-273.
 20. Clarke N.D., J.L. Shipp, and etc. 1999. Development of the Harrow Greenhouse Manager: a decision-support system for greenhouse cucumber and tomato. *Computers and Electronics in Agriculture* Vol 24 pp 195-204
 21. Craig M. Wittenbrink, Eric C. Rosen, Darrel D. E. Long, June 1996, Real-time System for Managing Environmental Data, *Proceeding of Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering*
 22. Cunha, J.B., R. Morais. M. Cordeiro, P. Salgado. and C. Serôdio. 1996. Computerized management of greenhouse. *Proc. Int. Sym. Acta Hort.* 440. 147-152.
 23. Darrell D.E. Long, Patric E. Mantey, Craig M. Wittenbrink, Theodore R. Haining, 1995, *The Real-Time environmental Information Network and Analysis System(REINAS)*, *Proceeding of COMPCON*, March
 24. Ehler Niels, Jesper M. Aaslyng, 2001, Real-time monitoring of

- greenhouse climate control using the internet, HortTechnology, 11(4), pp639-643
25. Fisher, P.R. and R. D. Heins. 1996. The greenhouse care system: a decision-support system for height control and scheduling of potted flowering plants. Proc. Int. Workshop on Greenhouse Crop Models Ed. R.U.Larsen Acta Hort. 417. 41-45.
 26. Fitzgeralda Nollaig, McGrathb Michael J., O'Connorb James F. and Phelanc Niall. 1998. Integration of on-line quality control into the process control environment for cheese manufacturing. Food Control. Vol. 9. Issue 6. pp 369-377
 27. Francesco Pinciroli, Luisa Portoni, Carlo Combi, Francesco Fabio Violante, 1998, WWW-based access to object-oriented clinical databases : the KHOSPAD project, Computers in Biology and Medicine 28 : 531-552
 28. Gauthier, L. 1992. GX: A smalltalk-based platform for greenhouse environment control. American Society of Agricultural Engineers. Vol. 35(6):2003-2020
 29. Gibson Wayne H. and Levesqueb Daniel. 2000. How gamma radiation processing systems are benefiting from the latest advances in information technology. Radiation Physics and Chemistry. Vol. 57, Issues 3-6, pp 581-585
 30. Gieling Th. H., W. Th. M. van Meurs, H.J.J. Janssen. 1996. A Computer network with SCADA and case tools for on-line process control in greenhouses. Adv. Space Res. Vol. 18, pp171-174
 31. Gutman P. O., Lindberg P. O., Ioslovich I. and Seginer I. 1993. A Non-Linear Optimal Greenhouse Control Problem Solved by Linear Programming. Journal of Agricultural Engineering Research. Vol 55. Issue 4. pp 335-351
 32. Hack, G. R. 1992. Application of computer-vision systems in Horticulture. Acta Horticulturae 304. Sensors in Horticulture. 49-54.
 33. Hansen, J. M. 1996. A computer controlled chamber system designed for

- greenhouse microclimatic modeling and control. Proc. Int. Sym. Plant Production in closed Ecosystems Acta Hort. 440. 310-315.
34. Hatou, K., H. Nonami. T. Fukuyama and Y. Hashimoto. 1995. Physiological diagnosis of tomato plants grown in hydroponic culture by using image analysis. Acta Horticulturae 399. Greenhouse Environment Control and Automation. 225-232.
 35. Hedlund, H. 1996. Measurement of leaf temperature on plants at state. Proc. Int. Sym. Plant Production in closed Ecosystems Acta Hort. 440. 440-445.
 36. Honjo, T. 1995. Measurement and modeling of architecture of horticultural plants. Acta Horticulturae 399. Greenhouse Environment Control and Automation. 233-238.
 37. Ido Seginer. 1997. Some artificial neural network applications to greenhouse environmental control. Computer and Electronics in Agriculture. Vol(18) pp 167-186
 38. Jacobson, B.K., Pierce H. Jones, Jones, J.W. and Paramore, J.A., 1989. Real-Time Greenhouse Monitoring and Control with an Expert System. Computer and Electronic in Agriculture. 3 : 273-285
 39. Janos J. Gertler, 1998, Fault detection and diagnosis in engineering systems,
 40. Jernqvista A., Jernqvist M. and Aly G., 2001. Simulation of thermal desalination processes. Desalination. Vol. 134. Issues 1-3. pp187-193
 41. Jones, J. W., Y. K. Hwang. and I. Seginer. 1995. Simulation of greenhouse crops, environments and control systems. Acta Horticulturae 399. Greenhouse Environment Control and Automation. 73-84.
 42. Kurata, K. and J. Yan. 1996. Water stress estimation of tomato based on machine vision. Proc. Int. Sym. Plant Production in closed Ecosystems Acta Hort. 389-394.
 43. Linker R., I. Seginer, P.O. Gutman, 1998, Optimal CO₂ control in a greenhouse modeled with neural networks, Computers and Electronics in

- Agriculture Vol(19): pp 289-310
44. Linker R., P.O. Gutman, I. Seginer, 2000, Robust model-based failure detection and identification in greenhouse, Computer and Electronics in Agriculture Vol(26), pp 255-270
 45. Monje, O. and B. Bugbee. 1996. Characterizing photosynthesis and transpiration of plant communities in controlled environments. Proc. Int. Sym. Plant Production in closed Ecosystems Acta Hort. 440. 123-128.
 46. Muiltze, D.K. 1990. Agrobases/4: a microcomputer database management and analysis system for plant breeding and agronomy. Agron. J. 82 (1990), pp. 1016-1021
 47. Murase, H. and Y. Nishiura. 1996. Finite element retina for plant growth monitoring. Proc. Int. Sym. Plant Production in closed Ecosystems Acta Hort. 440. 401-406.
 48. Nakaya, K., K. Shoji. and T. Okano. 1996. Numerical simulation of new multiple layer plant canopy Model: Application to the soil-plant-atmosphere system. Proc. Int. Sym. Plant Production in closed Ecosystems Acta Hort. 440. 135-140
 49. Nielsen B. and Madsen H. 1995. Identification of Transfer Functions for Control of Greenhouse Air Temperature. Journal of Agricultural Engineering Research Vol 60, Issue 1, pp 25-34
 50. Okogbaa Geoffrey, Huang Jiansheng, Shell Richard L. 1992. Database design for predictive preventive maintenance system of automated manufacturing system. Computers and Industrial Engineering. Vol. 23. pp7-10
 51. Olszyk, D.M. and D.T. Tingey. 1996. Environmental modification and shoot growth in a closed ecosystem to evaluate long-term responses of tree seedlings to stress. Proc. Int. Sym. Plant Production in closed Ecosystems Acta Hort.129-134
 52. Pearson, S., P. Hadley. A.E. Wheldom and N. Dungey. 1996. A stochastic model of truss set in a long-season tomato crop. Proc. Int. Workshop on

- Greenhouse Crop Models Ed. R.U.Larsen Acta Hort. 417. 33-40.
53. Sato, N. and K. Hasegawa. 1995. A computer controlled irrigation system for muskmelon using stem diameter sensor. Acta Horticulturae 399. Greenhouse Environment Control and Automation. 161-166.
54. Shimizu, H. and M. Yamazaki. 1996. Generalized system for plant growth analysis using infrared led. Proc. Int. Sym. Plant Production in closed Ecosystems Acta Hort. 440. 446-451.
55. Simon A. Beulah, Zaid S. Chalabi, David G. Randle, 1998, A real-time knowledge-based system for intelligent monitoring in complex, sensor-rich environments, Computers and Electronics in Agriculture, Vol (21), pp53-68
56. Singh, N., W. W. Casady. and T. A. Costello. 1994. Computer vision based nitrogen management system for wheat. ASAE paper No. 94-3512.
57. Singh, N., W. W. Casady. and T. A. Costello. 1996. Machine vision for measurement of rice canopy dimensions. Transaction of the ASAE. Vol. 39(5):1891-1898.
58. Singh, N., W. W. Casady. and T. A. Costello. 1996. Machine-vision-based nitrogen management models for rice. Transaction of the ASAE. Vol. 39(5):1899-1904.
59. Takayuki Fujita, Kazusuke Maenaka. 2002. Integrated multi-environmental sensing-system for the intelligent data carrier. Sensors and Actuators. 97-98. pp527-534
60. Taylor, Stephan. K. and W. F. McClure, 1989. NIR imaging spectroscopy measuring the distribution of chemical components. proc. of the 2nd International NIRS Conference, Tsukuba Japan. 393-404.
61. Teitel, M. and J. Tanny. 1996. Energy saving in heated enclosures. Proc. Int. Workshop on Greenhouse Crop Models Ed. R.U.Larsen Acta Hort. 417. 139-146.
62. Thomasson, J.A. 1995. Cotton moisture measurement with a black-and-white video camera. Applied Engineering in Agriculture 1995 American Society of Agricultural Engineers. Vol. 11(3):371-375.

63. Txomin Nieva, Alain Wegmann. 2002. A conceptual model for remote data acquisition systems. *Computers in Industry*. Vol(47). pp215-237.
64. William Stallings, 2000, *Data & Computer Communication*, Prentice Hall
65. Xiaokang Pan, John D. Hesketh , Morris G. Huck, 1998, A web interface to databases associated with a plant growth simulator, *Computers and Electronics in Agriculture* 21: 207-217