최 종
연구보고서

# 예비선별대용 결점과(감귤/사과) 선별시스템 개발

# Development of Defect Sorting System at Preliminary Sorting Stage


연 구 기 관

(주) 생명과기술

서울대학교


농 림 부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “예비선별대용 결점과(감귤/사과) 선별시스템 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2007년 4월 24일

주관연구기관명 : (주) 생명과기술
총괄연구책임자 : 류 동 수
세부연구책임자 : 류 동 수
연 구 원 : 이 수 희
연 구 원 : 김 채 주
연 구 원 : 이 상 엽
협동연구기관명 : 서울대학교
협동연구책임자 : 노 상 하
연 구 원 : 서 영 욱
연 구 원 : 김 학 성
연 구 원 : 이 호 영

# 요 약 문

## Ⅰ. 제 목

예비선별대용 결점과(감귤/사과) 선별시스템 개발

## Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

- 본 과제에서 목표로 하는 결점과 선별 시스템은 기존의 예비선별대에 장착하여 사용하는 장치로서 기존의 인력으로 선별하던 결점과(병해, 물리적 손상 등)를 자동으로 선별하는 시스템임.

- 결점과를 선별하기 위해서는 전표면 관찰이 필요하므로 새로운 선별라인의 도입이 필요하나 본 연구에서 개발하고자 하는 시스템은 기존의 로울러 컨베이어(대부분의 선과장에서 예비선별대로 사용하고 있음)를 이용하므로 추가로 선별라인의 도입이 필요 없는 경제성 있는 시스템임.

- 기존의 예비선별대에서 사용하는 로울러 컨베이어는 투입된 개체를 회전시키면서 이송하므로 본 과제에서 개발하고자 하는 결점과 선별장치로 적합한 장치라고 판단됨.

- 본 시스템은 크게 결점과를 인식하는 비젼시스템과 결점과를 추출해 내는 배출시스템, 그리고 이를 제어하는 컨트롤러부로 구성되어 있음.

- 비젼 시스템의 인식 능력에 따라 결점과 이외의 비상품과 선별이 추가로 가능해지며 배출 시스템을 다단으로 구성할 경우 간단한 선별시스템으로 사용이 가능한 범용적인 시스템임.

- 결점과 배출장치를 응용할 경우 선별 목적 이외에도 농산물의 이송 시스템에 적용이 가능함.

- 모든 선별 작업에 있어서 비상품과 또는 결점과의 선별은 반드시 필요하며 아래의 그림과 같이 많은 인력을 필요로 함.

- 농촌의 노동력 문제는 현재 매우 심각한 상태이며 산지처리시설의 경우 인건비의 증가로 인해 처리비용의 상승을 유발하며 특히 확보된 인원에 따라 처리시설의 출하물량이 결정되고 있는 실정임.

- 숙련된 노동력의 감소로 인해 검사 시스템의 자동화가 더욱 요구되고 있는 실정임.

- 결점과 선별을 위해서 라인을 추가로 도입할 경우 유통 사업의 경제성에 문제가 생길 수 있으며 이에 비해 기존의 예비선별대를 이용한 선과 방식은 추가 비용을 획기적으로 감소함으로써 기존의 시설에 설치가 매우 용이함

- 산지 유통처리 시설에서는 현재 제함기(1500만원)가 한 명의 역할을 충분히 하고 있다고 인식하고 있으며 개발하고자 하는 시스템의 가격이 저렴하다면 경제성은 충분하다고 판단됨.

# Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구 과제의 연구개발 내용 및 범위는 다음과 같다.

o 결점의 근적외선 특성 구명

- 시료 : 감귤, 사과
- 대상 : 병과, 충해과
- 내용 : 결점의 근적외선 특성 구명

o 결점 인식 알고리즘 개발

- 내용 : 근적외선 영상에서 결점 영역만 추출
  꼭지영역 분리, 결점 크기 인식
- 기법 : 체인코딩, 레이블링 기법
- 성능 : 온라인 평가시 90% 이상의 정확도

o 개체 추적 알고리즘 개발

- 내용 : 회전 이송하는 과실의 개체를 추적
- 기법 : 복수 개체 인식 알고리즘,
  개체에 대한 기하학적 정보 추출
- 성능 : 온라인 평가시 80% 이상의 정확도

o 근적외선 비젼 시스템 및 과실 이송장치 제작

- 내용 : 근적외선 광원과 카메라를 이용한
  비젼 시스템 구축
  로울러 컨베이어를 이용한 개체
  공급장치 개발
- 성능 : 20 개/min

o 과실 픽킹 유니트 구축

- 내용 : 회전 이송중인 과실을 배출하기 위한
  픽킹 유니트 제작
- 내용 : 진공식, 그리퍼식 (택일)
- 성능 : 개당 픽킹 시간은 5초 이내

o 픽킹 유니트 이송장치 제작

- 내용 : 서보 시스템을 이용하여 유니트
  이송장치 제작

o 픽킹 유니트 컨트롤러 제작

- 내용 : 픽킹 장치 제어 유니트
- 방식 : One chip controller 서보제어 시스템

# Ⅳ. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구는 예비 선별대 (1차 선별대)에 장착이 가능한 결점 선별기를 개발할 목적으로 수행되었으며 이를 위해 과실의 결점을 검출하는 알고리즘과 검출된 결점과를 배출할 수 있는 장치를 개발하고자 하였다. 이데 대한 연구 결과를 요약하면 아래와 같다.

1. 감귤에 대한 정상 감귤의 화탁부, 변질과, 자상, 꼭지 대하여 반사 특성을 구명하기 위하여 분광광도계를 사용하여 가시광 및 근적외선 영역(400~1,700nm)에 대한 반사스펙트럼을 측정한 결과 정상부위의 반사율이 가장 높고, 화탁부위가 가장 낮게 나타났다. 그리고 꼭지의 경우 엽록소의 흡수 파장인 675 nm 부근에서 반사율이 떨어지며, 강한 물의 흡수파장인 1450 nm 대역 부근에서 전체적으로 반사율이 떨어짐을 관찰할 수 있었다.

2. 반사율의 차이가 큰 파장대역을 이용하여 결함부위를 검출하고자 할 경우 600 nm 이상의 파장 영역에서 정상부와 다른 부위를 구분할 수 있을 것으로 판단되며, 관심의 대상인 변질부와 자상부의 판별은 이들 부위의 반사율이 다른 부위에 비해 상대적으로 높거나 낮지 않기 때문에 반사율의 차이만으로 이들 결함을 검출하는 것은 불가능 할 것으로 판단하였다.

3. 근적외선 영역의 경우 반사율은 정상부, 자상부, 꼭지, 변질부, 화탁부의 순으로 나타났으며, 이 경우에도 정상부위와 유사한 화탁부가 가장 낮게 나타났다.

4. 사과에 대해서는 900-1700 nm의 흡광도에서도 결점의 흡광도는 정상부위보다 높았고 자상과 병반점의 흡광도와는 상당한 차이를 보였다. 다만, 자상과 병반점의 흡광도는 서로 중첩되는 부분이 많아 흡광도 차이로 두 인자를 구분할 수는 없을 것으로 판단되었으나 멍의 경우는 정상부위와 뚜렷한 구분

이 나타나므로 판별에 상당한 가능성을 보였다.

5. 개발된 과실 피킹 유니트는 결점과 이외에도 배출하기 어려운 농산물 선별에 응용이 가능할 것으로 판단되며 차후 다양한 작업 방식에 대해 적용하기 위한 보완 연구가 필요할 것으로 판단된다.

6. 일반 현장에 적합한 컨트롤러 보드를 제작하였으며 현재 이를 현장에서 가동중에 있다. 현재 계속적인 보완이 이루어지고 있으며 앞으로 나오게 될 몇 가지 문제점들만 해결한다면 그 활용도는 매우 높을 것으로 생각되며 각종 제어환경에 다양하게 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

7. 개발된 개체 추적 알고리즘은 붙어 있는 물체를 인식하는 경우 효과적으로 작용될 수 있으며 속도를 좀 더 개선한다면 다양한 분야에서 응용이 가능할 것이다.

# 목 차


제 1 장 연구개발과제의 개요 ····· 9

제 2 장 국내외 기술개발 현황 ····· 12

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 14

1) 결점의 근적외선 특성 구명 ····· 14

가) 공시 재료 ····· 14

나) 결점과에 대한 정의 ····· 14

다) 결점의 분광반사 특성 측정 ····· 16

라) 영상처리 장치 ····· 20

마) 결점의 컬러 특성 측정 ····· 25

바) 결점 검출을 위한 근적외선 유의 파장 선정 ····· 26

사) 근적외선 결점 영상의 특성 구명 및 판별 시험 ····· 27

아) 결점의 컬러 특성 ····· 28

자) 결점의 반사 또는 흡광 특성 ····· 32

차) 감귤의 근적외선 영상 특성 구명 ····· 36

카) 사과의 근적외선 영상 특성 구명 ····· 47

2) 결점 인식 알고리즘 개발 ····· 57

3) 개체 추적 알고리즘 개발 ····· 61

4) 근적외선 비젼시스템 및 과실 이송장치 제작 ····· 65

5) 과실 픽킹 유니트 구축 ····· 67

6) 픽킹 유니트 이송장치 제작 ····· 69

7) 픽킹 유니트 컨트롤러 제작 ····· 71

8) 픽킹 알고리즘 개발 ····· 76

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 ····· 78

제 5 장 연구개발결과의 활용계획 ····· 79

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 80

제 7 장 참고문헌 ····· 80

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

- 본 과제에서 목표로 하는 결점과 선별 시스템은 기존의 예비선별대에 장착하여 사용하는 장치로서 기존의 인력으로 선별하던 결점과(병해, 물리적 손상 등)를 자동으로 선별하는 시스템임.

- 결점과를 선별하기 위해서는 전표면 관찰이 필요하므로 새로운 선별라인의 도입이 필요하나 본 연구에서 개발하고자 하는 시스템은 기존의 로울러 컨베이어(대부분의 선과장에서 예비선별대로 사용하고 있음)를 이용하므로 추가로 선별라인의 도입이 필요 없는 경제성 있는 시스템임.

- 기존의 예비선별대에서 사용하는 로울러 컨베이어는 투입된 개체를 회전시키면서 이송하므로 본 과제에서 개발하고자 하는 결점과 선별장치로 적합한 장치라고 판단됨.

- 본 시스템은 크게 결점과를 인식하는 비젼시스템과 결점과를 추출해 내는 배출시스템, 그리고 이를 제어하는 컨트롤러부로 구성되어 있음.

- 비젼 시스템의 인식 능력에 따라 결점과 이외의 비상품과 선별이 추가로 가능해지며 배출 시스템을 다단으로 구성할 경우 간단한 선별시스템으로 사용이 가능한 범용적인 시스템임.

- 결점과 배출장치를 응용할 경우 선별 목적 이외에도 농산물의 이송 시스템에 적용이 가능함.

◎ 기술 개발의 중요성

- 모든 선별 작업에 있어서 비상품과 또는 결점과의 선별은 반드시 필요하며 아래의 그림과 같이 많은 인력을 필요로 함.

그림 1 고구마 선별 작업

그림 2 파리고추 선별작업

그림 3 배 선별작업

그림 4 외국 선과장 선별작업

- 농촌의 노동력 문제는 현재 매우 심각한 상태이며 산지처리시설의 경우 인건비의 증가로 인해 처리비용의 상승을 유발하며 특히 확보된 인원에 따라 처리시설의 출하물량이 결정되고 있는 실정임.

- 숙련된 노동력의 감소로 인해 검사 시스템의 자동화가 더욱 요구되고 있는 실정임.

- 결점과 선별을 위해서 라인을 추가로 도입할 경우 유통 사업의 경제성에 문제가 생길 수 있으며 이에 비해 기존의 예비선별대를 이용한 선과 방식은 추가 비용을 획기적으로 감소함으로써 기존의 시설에 설치가 매우 용이함

- 산지 유통처리 시설에서는 현재 제함기(1500만원)가 한 명의 역할을 충분히 하고 있다고 인식하고 있으며 개발하고자 하는 시스템의 가격이 저렴하다면 경제성은 충분하다고 판단됨.

## 제 2 장　국내외 기술개발 현황

- 현재까지 결점과 선별 작업은 전적으로 인력에 의해 이루어지고 있음.

- 결점과 선별에 대해서는 국내외 연구기관에서 연구한 결과가 있으나 대부분 새로운 장치의 개발을 요구하고 있으므로 본 과제에서 제안하는 예비선별대 장착용으로는 부적합하다고 여겨짐.

- 결점과의 광학적 특성에 대해서 본 과제에서 협동기관으로 참가하는 서울대 농생대에서 한국농업기계학회지에 발표한 바 있음. (한국농업기계학회지 Vol.26(2) pp.169-176, 2001)

- 주관기관인 (주) 생명과기술에서는 하나의 CCD 카메라를 사용하여 다량의 마늘을 동시에 처리하는 비젼시스템을 개발한 바 있음

- 예비 선별대에서는 상대적으로 저속으로 움직이고 있으므로 개체 추적이 가능하다면 과실의 전표면 입력이 가능하다고 판단됨.

- 다양한 흡착기구, 서보 장치들이 출시되고 있으며 그 가격 또한 과거에 비해 많이 낮아져서 고도의 기술력을 요하는 제품을 개발하면서도 경제성 있는 장치 구현이 가능해 짐.

# 제 3 장　연구개발수행 내용 및 결과

## 1) 결점의 근적외선 특성 구명

### 가) 공시 재료

본 연구에서는 감귤을 선별하기 위한 공시재료로서 인력에 의해 선별된 정상적인 감귤과 결점이 있는 감귤을 시료로 사용하였다. 감귤은 외형이나 크기, 껍질의 색깔 등이 다소 일정하므로(그림 5) 본 연구에서는 결점의 특징이 뚜렷이 구별되는 감귤을 시료로 사용하였다.

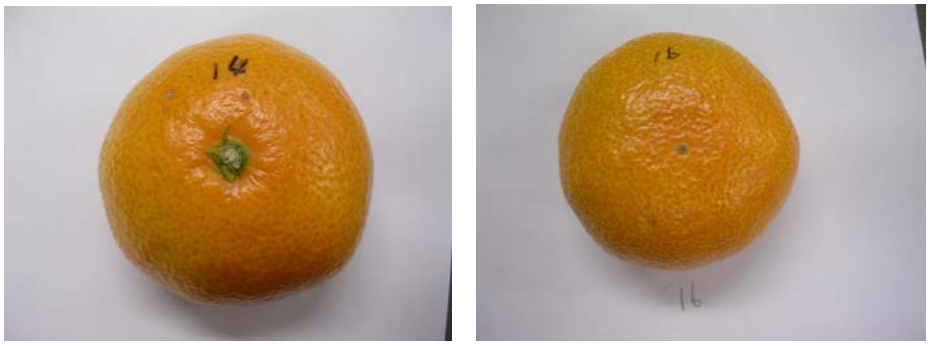


Fig. 5 Appearance of mandarine.

### 나) 결점과에 대한 정의

감귤에서 발생하는 결점은 그 증상에 따라서 부패와 변질과(變質, metaplasia), 타상(打傷, bruise), 자상(刺傷, cuts), 곰팡이(mold), 충해(insect infestation) 등으로 나눌 수 있다. 현재 국내에서 제시하고 있는 감귤의 결점 선별 기준은 특 등급의 경우 부패와 변질과, 자상, 타상이 없는 것,  찰과상, 압상이 거의 없는 것으로 규정하고 있다, <그림 6>은 녹색 곰팡이 병,  Sour rot(변질과로 명명함), 자상, 파열상 등 감귤의 상품가치를 떨어뜨리는 대표적인 외부 결함을 나타내며, 다음은 감귤의 각종 결점에 대한 정의이다.

① 부패, 변질과: 과육이 부패 또는 변질된 것.
(과숙에 의해 육질이 변질된 것을 포함한다)

② 미숙과 : 당도 (맛), 경도 및 색택으로 보아 성숙이 덜 된 것.

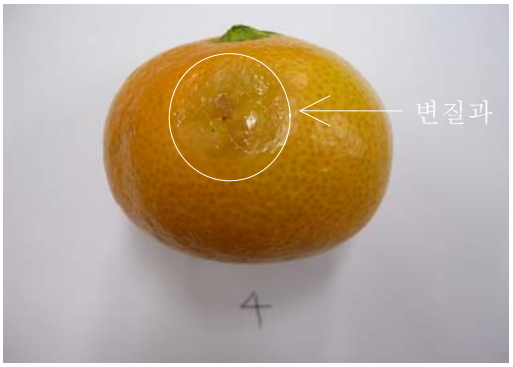
③ 병충해과 : 탄저병, 흑성병, 부패병, 복숭아 심식 나방등 병해충의 피해가 과육에까지 미친 것.

④ 상해과 : 열상, 자상, 타상 및 압상이 있는 것, 다만 손상이 경미한 것은 제외.

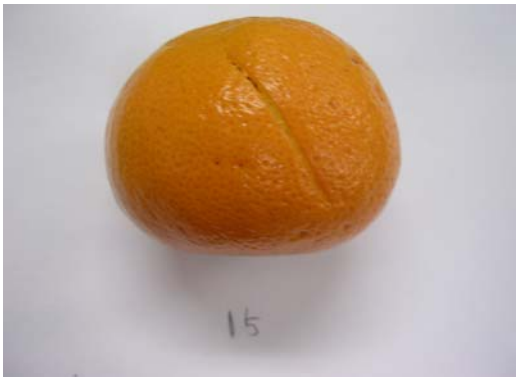
⑤ 꼭지의 최고등급은 꼬지와 과육사이에 틈이 없거나 경미한 것.

⑥ 기타 : 성숙 이전에 낙과한 것을 인공 착색한 것, 시든 것, 이물이 있는 것 및 경결점과에 속하는 사항으로 그 피해가 현저한 것.

(a) Blue and green mold




(b) Sour rot




(c) Cut

(d) Burst

Fig 6 Representative surface defects in Citrus.

본 연구에서는 결점 중에서 특히 저장과 선별에 문제를 발생시키는 것으로 보이는  변질과 및 부패과, 자상을 검출 대상으로 하였다. 부패는 녹색 곰팡이, 꼭지 썩음 병에 의한 것이며, 변질과(Sour rot)는 과피의 조직이 변질된 것으로 과피의 일부분이 변질이 일어나면서 점점 커져 곰팡이가 번지게 된다. 특히 초기 단계의 변질과는 색상으로는 구분하기 어려운 특징을 지니고 있으며, 컬러카메라를 이용하여 검출하기가 어려운 것으로 기초실험에서 나타났다. 자상은 날카로운 물체로 표피에 상처를 받은 것으로 속껍질이 나타날 정도로 상처를 받은 것을 시료로 사용하였다.

본 연구에서는 컬러영상을 이용하여 검출이 어려울 것으로 판단되는 변질과와 자상의 검출 방법을  찾고자 하였으며. 색상의 차이가 뚜렷하게 나타나는 결점은 컬러영상으로 처리 할 수 있을 것으로 가정하였다.

### 다) 결점의 분광반사 특성 측정

카메라와 같은 광학 센서를 이용하여 감귤의 결점을 검출하고자 할 경우 먼저 감귤의 정상표면을 비롯한 꼭지부, 각종 결함 부위에 대한 분광학적 특성을 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 감귤 결점의 반사 특성을 이용하여 결점을 판별할 수 있는 가능성을 구명하고자 카메라 센서의 응답범위인 400 ~ 900nm, 900 ~ 1700nm범위에서의 분광반사스펙트럼을 측정하였다.

본 논문에서는 감귤 표면에 발생하는 결점 중에서 다수를 차지하는 변질과와  자상을 검출 대상으로 하고 이들의 분광반사 특성을 구명하는 연구를 수행하였다. 변질과는 과피의 조직이 변하여 물러진 것으로 하였으며 자상은 날카로운 것에 의해 상처를 받은 뒤 3시간 정도가 지난 것으로 하였다.  <그림 7>은 결점을 비롯한 정상부위, 꼭지 등을 대상으로 분광반사 스펙트럼을 측정하기 것으로 가운데 구멍이 뚫린 시료 받침대, 구멍의 아래쪽에 설치된 반사 프로브, 반사 프로브를 통하여 광을 시료의 표면에 조사하는 광원 및 반사된 광의 파장별 반사강도를 측정하는 분광광도계 등으로 구성하였다. 반사 프로브는 광섬유를 통하여 광을 시료의 표면에 조하하고 반사된 광을 분광기로 전달하는 역할을 한다. 광원으로는 텅스텐 할로겐램프를 사용하였다

분광광도계는 서울대학교 농업생명과학대학의 생체물성공학연구실에 설치되어 있는 S2000(Ocean Optics. USA)과 CDI(CONTROL DEVELOPMENT USA)를 사용하였다. S2000의 측정 파장대역은 400~1000 nm 미며 CDI는 900~1700 nm이다. 이들 분광광도계의 구체적인 제원과 실험에서 사용한 설정값은 <표1>과 <표2>에서 보는 바와 같다. <그림 8>은 분광광도계 외관을 나타낸 것이다.

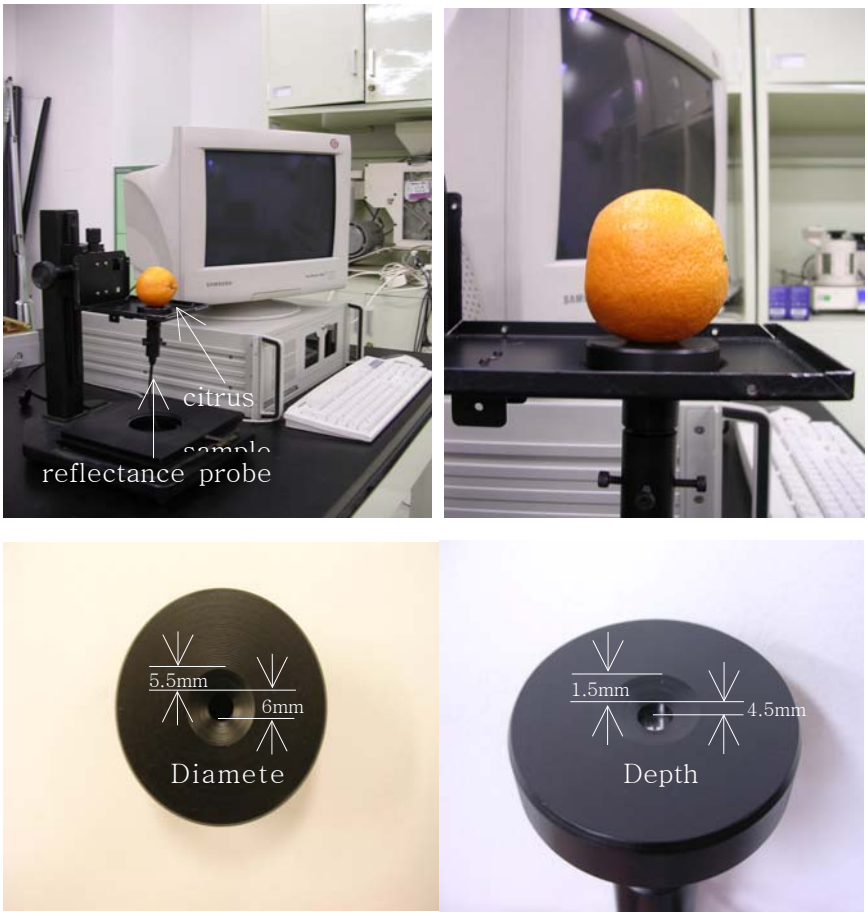



Fig 7 Measurement of defect spectrum in Citrus.

Fig. 8 Outlook of spectrophotometers (S2000 and CDI).

Table 1 Specifications of spectrophotometer(S2000, Ocean Optics. USA).

| Item | Specification |
|---|---|
| Detector Range | 400 - 900 nm |
| Gratings | 14 gratings; UV에서 Shortwave NIR까지 |
| Entrance aperture | 5, 10, 25, 50, 100 또는 200$\mu$m 폭의 Slit들<br>또는 fiber(no slit) |
| Optical Resolution | ~0.3 - 10.0nm FWHM<br>(grating과 entrance aperture에 의존) |
| Integration time(ms) | 5 |
| Average | 1 |
| Boxcar | 10 |
| Flash Delay | 100 |
| Order-sorting Filters | 장착된 bandpass 그리고 longpass filter들 |
| Fiber Optic Connector | SMA905 to single-strand optical fiber (0.22 NA) |
| Dimensions | 141.6mm × 104.9mm × 40.9mm<br>(with enclosure, master channel only) |

| | |
|---|---|
| Weight | 390g (with enclosure, master channel only) |
| Detector | 2048-element linear silicon CCD array |
| Power Consumption | 110mA @ 5 VDC (master) ; 60mA @ 5 VDC (slave) |
| Stray light | <0.05<0.10<0.10% at 250nm |
| Focal Length | 42mm (input) ; 68mm (output) |

Table 2 Specifications of spectrophotometer(CDI, Control Development., USA).

| Item | Specification |
|---|---|
| Wavelength range | 900-1700 nm standard, custom ranges available |
| Input Fiber | 400 micron Low OH with 50 micron slit standard on 256 element and 25 micron on 512 element array. Also available 100 micron slit. |
| Optics | Fast f/2.0 or f/3.0 proprietary design |
| Detector | Single stage T.E. Cooled 256 or 512 element InGaAs Array. 25zoft cooling from ambient |
| Wavelength Accuracy | Better than 0.5 nm with AutoCal |
| Photometric Repeatability | <0.00005 AU variation between 100 data points, each point consist of 1000 samples (8 sec. accumulation) |
| Sensitivity | 1000 A/D counts/sec/picowatt @ 1200 nm, 1000 A/D counts/sec/picowatt @ 1450 nm, 300 A/D counts/sec/picowatt @ 1650 nm. |
| Noise Level | <0.0000280 AU RMS (1024 sample average, 8 second accumulation, 12.5 nm slit) |
| Interface | ISA plug-in card or USB interface stand-alone unit. |
| Outputs | Modular connector, trigger, two strobes, light source shutter control and two fiber optic switch controls |
| Computer Type | IBM computer |
| Power Requirements | USB: 85-265 VAC; 120-870 VDC; 47 Hz-63 Hz |

| | |
|---|---|
| | ISA: 5 VDC, 6 Amps |
| Size | 6.8"Long X 4.00"High X Wide for PC plug in card<br>11.2" L X 3.5" H X 7.5 W for USB interface stand-alone unit |
| Weight | Approximately 1lb for PC plug in card<br>Aproximately 8 lbs for USB interface stand |
| Integration time(ms) | 0.5 |
| Sample Average | 5 |
| Step size(nm) | 10nm |

**라) 영상처리 장치**

본 연구에서 구성한 영상처리장치는 <그림 9>와 같이 영상 입력 장치인 CCD 카메라, 영상데이터를 관리하는 프레임 그레버, 프로그램의 수행을 위한 주 컴퓨터와 출력장치로 구성하였다. 영상 입력장치는 CCD-NIR 카메라 (UM-300, UNIQ Vision Inc. USA)와 NIR 카메라 (SU128-1.7RT-D, Electrophysics. USA)를 사용하였다. 영상처리보드는 Matrox사의 Meteor Corona Plus를 사용하였으며 출력장치는 19“컬러 모니터를 사용하였다. 주 컴퓨터는 IBM PC/AT 호환기종(Pentuim Ⅲ 1GHz)을 사용하였다. 감귤의 영상처리를 위한 프로그램은 상용프로그램인 Image Pro Plus를 사용하였으며 프로그램 개발환경은 Microsoft Visual C++(version 6.0)를 사용하였다.

NIR 카메라와 CCD-NIR 카메라 (그림 10)의 구체적인 제원은 <표 3> 및 <표 4> 에서보는 바와 같다. CCD-NIR 카메라는 400 ~1000nm 영역에서 영상 획득이 가능하며 분광감도 곡선은 <그림 11>에서 보는 바와 같다. 일반 흑백 CCD 카메라와는 다르게 600nm이후에서 피크 감도를 보이기 때문에 보다 선명한 근적외 영상을 획득할  수 있는 특성을 가지고 있다. 따라서 시중에서는 근적외선 카메라로 명명되고 있다.

영상처리 시스템에서 조명이 차지하는 비중이 반 이상이라 할 수 있을 정도로 상당히 중요한 구성요소이다. 특히 NIR Camar에서는 동일한 대상물체에 대한 영상일지라도  광원의 배치 및 조명방법에 따라 크게 달라진다. 대상물체로부

터 관측하고 싶은 부위만의 영상을 정확히 획득하기 위해서 일차적으로 직반사는 일어나지 않도록 해야 하며 조명의 강도를 조정하여 영상의 농담값이 포화가 되지 않도록 조정하여야 한다. 가급적 필요한 부분의 영상을 뚜렷하게 획득하는 것이 기계시각 시스템에 있어서 조명의 기술이다.

본 연구에서는 <그림 12>에서와 같이 4개의 일자형 텅스텐-할로겐램프(Luxtex 200W)와 조명강도 조절 장치를 이용하여 조명장치를 구성하였다. 일차적으로 카메라를 적정 위치에 고정시킨 다음 시료 표면의 반사강도를 균일하게 하기 위해 램프를 정사각형으로 배치하고, 램프의 높이를 조정하였다. 또한 광학대역필터를 장착한 카메라로 감귤의 필터 영상을 측정할 경우 조명 강도 조절장치를 이용하여 광량을 조절하였다.

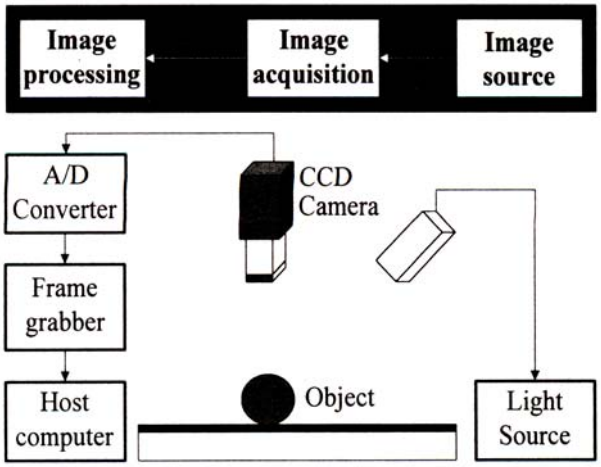



Fig.. 9 Block diagram of vision system.

Fig. 10 NIR and CCD-NIR cameras.

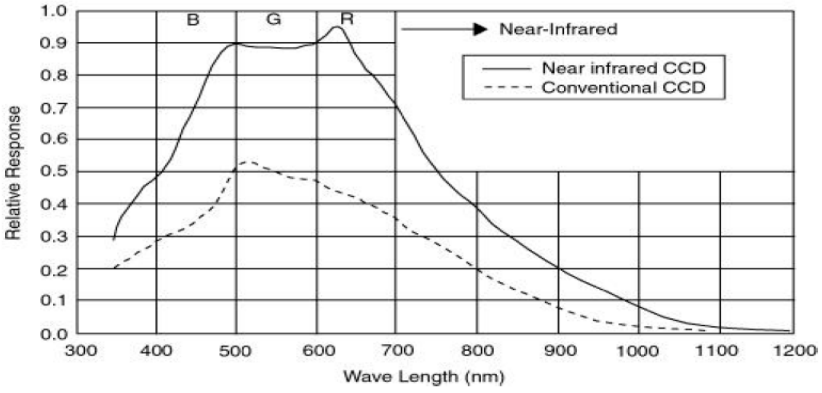



Fig. 11 Spectral response of CCD-NIR camera.

Table 3 Specifications of NIR Camera (SU128-1.7RT-D).

| Item | Specification |
|---|---|
| Focal Plane Array Format | 128 ×128 Pixels |
| Pexel Pitch | 60 μm |
| Opical Fill Factor | 100% |
| Exposure Mode | Ripple |
| Spectral Response | 0.9 μm to 1.7μm |
| Quantum Efficiency | > 75% form 1.0 μm to 1.6μm |
| Mean Detectivity, 1) $D^*(\lambda_{pk})$ | > $10^{12}$cm - $\sqrt{Hz/W}$ |
| Operability | > 98% |
| Full Well Capacity | > 10 million electrons |
| Digitization | 12bit |
| Electronic Readout Noise | ≤ 2,000 equivalent photoelectrons |
| Pixel Rate | 6.1MHz |
| FPA Temperature | 18℃ |
| Lens Mount | U-and c-mount |
| L×W×H (cm), Weight (kg) | 15.85 × 10.32 × 10.32, 1.1 |
| Power Requirements | 85-250 VAC, 47-63Hz |
| Temperature : Operating , Storage | 0℃ to 40℃, -10℃ to 60℃ |
| Humidity : Operating, Storage | Less than 95%, Non-condensing |
| Scan Mode | Continuous Triggered |
| Exposure Times | 127 μsec to 16.3 msec in 8 steps (RS170ni)<br>128 μsec to 16.4 msec in 8 steps (CCIRni) |
| Trigger Jitter | < 64 μsec |
| Digital Output Format | 12 bit uncorrected |
| Video Output Format | Progressive Scan |
| Frame Rate | 60Hz(RS170ni) 50Hz(CCIRni) |
| Image Display | Frame Grabber Board and/ or Video Monitor |

1) $\lambda_{pk}$ = 1.55 μm, exposure time = 16.3msec, no lens.

Table 4 Specifications of CCD-NIR camera(UM-300).

| Item | Specifications |
|---|---|
| Model | UM-300 (EIA) |
| CCD Sensor | " Interline-Transfer EXview HAD CCD |
| Chip Size | 6.4 mm x 4.8 mm |
| Effective Pixels (H x V) | 768 x 494 |
| Unit Cell Size (H x V) | 8.4 mm x 9.8 mm |
| Scanning | 525 TV lines, 2:1 Interlaced or Noninterlaced |
| Synchronization | HD: 15.734KHz; VD: 59.9 |
| TV Resolution | H: 570 TV Lines; V: 375 TV Lines |
| S/N Ratio | 56dB (AGC OFF, Gamma 1.0) |
| Min. Illumination | 0.03 lux |
| Video Output | 1 V p-p, 75ohm (BNC or 12 pin Hirose) |
| AGC | AGC/MGC selectable |
| Gamma | Gamma 0.45/1.0 selectable |
| Frame Mode | Frame/Field Mode selectable |
| Electronic Shutter | 1/60 ~ 1/31,000 selectable |
| Lens Mount | C-Mount |
| Operating Temperature | -10 C ~ +55 C |
| Power Requirement | 12V DC, 210mA, 2.5W |
| Dimension | 50mm x 39mm x 83mm |
| External Synchronization | Internal/External Auto Switch |
| Asynchronous Capture | Standard |
| Low Speed Shutter | 2 FLD ~ 16 FLD (Optional) |
| Long Term Integration | 1/30 sec. ~ 2 sec. (user control) |
| Weight | 155 g |

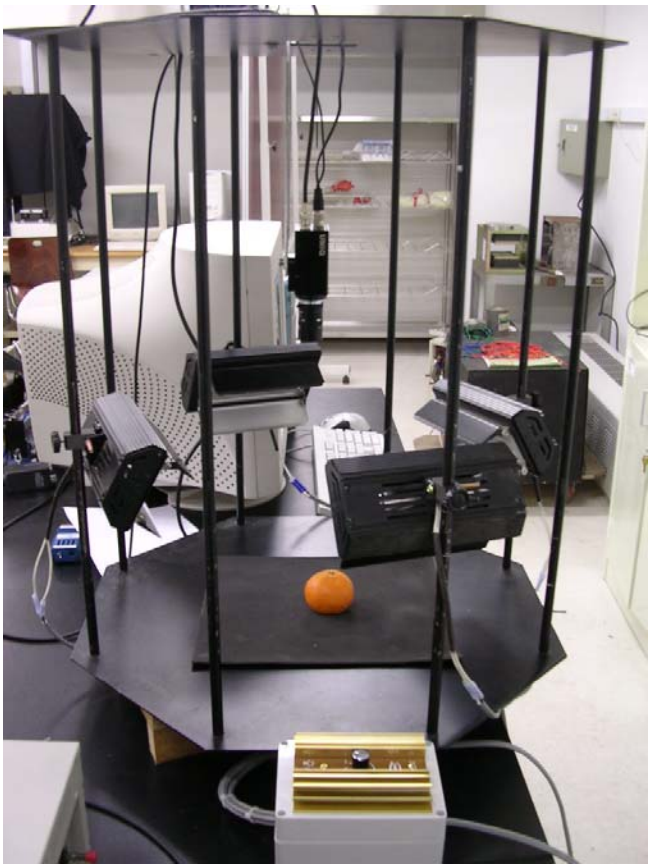


Fig. 12 Light equipment for vision machine.

### 마) 결점의 컬러 특성 측정

결점의 컬러특성은 선별과정에서 컬러영상을 이용하여 정상부위, 결함부위, 꼭지, 화탁부 등을 어느 정도 구분할 수 있는지를 알아보기 위해 색차계를 이용하여 각 부위의 컬러를 측정하였다. 즉 정상부위, 결함부의, 자상, 꼭지 등 각 부위를 대상으로 측정한 색상 값을 이용하여 이들 부위의 구분가능성을 판별하고자 하였다. <그림 13>은 이 연구에서 사용한 색차계로 Minolta(Japan)사의 CR-300이다.

Fig 13 Colorimeter.

**바) 결점 검출을 위한 근적외선 유의 파장 선정**

본 연구에서는 결점 검출을 위한 유의 파장은 분광광도계로 측정한 반사 스펙트럼과 NIR 대역의 광학필터를 부착하여 획득한 카메라 영상을 대상으로 분석하였다. 반사스펙트럼의 경우 건전한 표면과 결점 부위의 반사도의 차이가 가장 큰 파장을 유의 파장대역으로 선정하였으며, 반사도의 차이는 식 (1)로 정의되는 Mahalanobis거리를 이용하여 계산하였다. Mahalanobis 거리는 각 파장에서 두 집단간의 반사도 또는 흡광도의 차이가 어느 정도 인지를 나타내는 것으로 차이가 클수록 즉 거리가 멀수록 두 집단을 보다 쉽게 분별할 수 있음을 의미한다.

$$D^2 = \frac{(\overline{x_1} - \overline{x_2})^2}{\sigma^2} \qquad (1)$$

$\overline{x_1}$, $\overline{x_2}$ : 집단 1과 집단 2의 평균

$\sigma^2$ : 공분산

영상을 대상으로 한 경우는 여러 개의 근적외선 대역의 벤드패스 필터(밴드

폭 ±20 nm)를 이용하여 각종 결점부위의 영상을 획득한 후 결점부위와 주변의 건전한 표면과의 상대적인 농담 값의 변화를 관찰함으로서 유의파장 유무를 판별하였다. 즉, 획득된 영상에서 정상부위와 결점부위를 지나는 일직선상의 농담 값의 변화를 각 필터 영상별로 비교 관찰하였다.

마지막으로 카메라의 각 파장별 Filter를 이용하여 획득한 영상의 Gray level 값을 조사하여 앞서 사용한 Mahalanobis 거리의 합과 차 그리고 비를 이용하여 유의파장을 선정하였다.

**사) 근적외선 결점 영상의 특성 구명 및 판별 시험**

각종 결점은 색상 특성에 따라 가시광 영상으로 쉽게 검출할 수도 있지만 결점의 색상이 건전한 표면과 유사할 경우는 검출이 곤란하기 때문에 일반적으로 색상의 영향을 받지 않는 근적외 영상을 이용하여 결점을 검출한다. 본 연구에서는 각종 결점의 근적외선 영상의 농담특성을 구명하는 실험을 수행하였다.

CCD-NIR 카메라에 720 nm에서 800 nm와 900 nm에서 1000 nm사이에 20 nm 간격으로 피크를 갖는 밴드 패스 필터( 전체 11개의 필터)를 장착하여 정상부위, 꼭지, 결점부위 등의 영상을 획득하여 각 필터별로 각종 부위의 농담영상을 관찰하고 단순한 이치화를 통하여 검출가능성을 조사하였다. 또한 근적외선 카메라(900~1700 nm)를 이용하여 이들 부위의 영상을 획득하여 검출가능성을 관찰하였다.

근적외 필터 영상의 분석 결과를 근거로 가장 유용하다고 판단되는 필터를 선정하고, 이 필터를 장착한 카메라를 이용하여 변질과와 자상과를 대상으로 검출 성능 실험을 수행하였다.

### 아) 결점의 컬러 특성

감귤에 발생되는 각종 결점을 컬러 영상을 이용하여 검출할 수 있는지를 판명하기 위해 정상과 60개, 변질과 20개, 자상 20개, 꼭지 20, 정상 감귤의 화탁부분 20개를 대상으로 색차계를 이용하여 각 부위의 색상 값을 측정하고 그 분포를 조사하였다. <그림 14>는  각 부위의 색상 값의 분포를 나타내며 <표 5-1>은 각 부위의 색차에 대한 유의성을 분석한 결과이다.

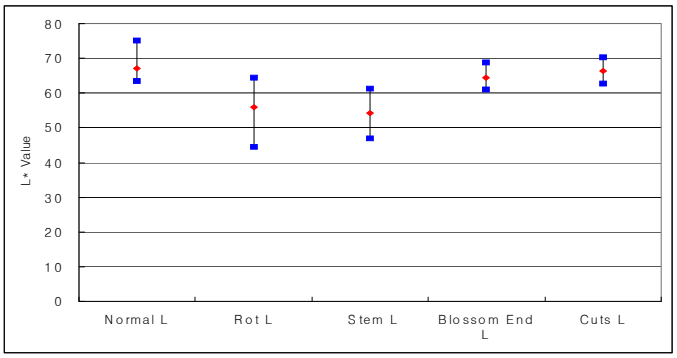
컬러 영상을 이용하여 변질부, 자상부 등을 검출하기 위해서는 이들 결함 부위와 정상부, 꼭지 등 다른 부위와 유의한 차이를 나타내는 색상 값을 찾아야 한다. 이와 같은 관점에서 <표 5>의 결과를 살펴보면 명암을 나타내는 $L^*$값을 이용하면 변질부(Sour rot)와 꼭지를 다른 부위와 구분할 수 있으나 꼭지와 변질부위는 구분할 수 없기 때문에 꼭지를 변질부로 간주할 수 있음을 의미한다. 따라서 $L^*$ 값으로는 변질부와 자상부를 구분할 수 없음을 의미한다. 또한 <그림 14 (a)>에서 변질부와 꼭지의 $L^*$값이 부분적으로 정상부위 등 다른 부위와 겹침을 알 수 있다.

$a^*$값의 경우 자상부와 정상부위는 구분이 불가능하며, 변질부와 꼭지는 다른 부위와 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 그러나 <그림 14 (b)>에 의하면 변질부와 꼭지가 정상부와 상당히 중복됨을 알 수 있다. $b^*$값의 경우도 $a^*$값과 유사한 결과를 나타낸다. 따라서 $L^*$, $a^*$, $b^*$로 표시되는 색상 값으로는 이 연구에서 대상으로 한 변질부와 자상부 만의 검출은 불가능하다는 결론을 내릴 수 있다.

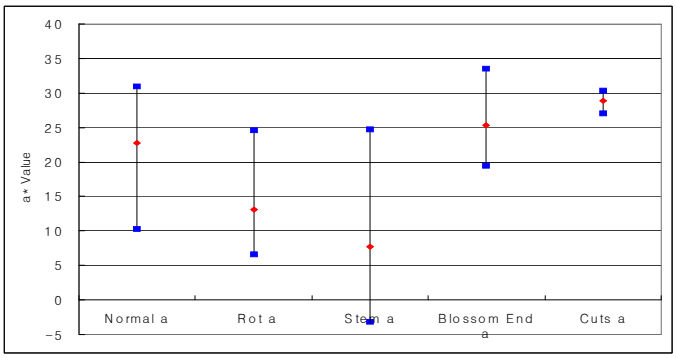
<그림 6>에 제시된 결함과의 컬러 영상에 의하면 변질부(Sour rot)는 육안으로도 구분하기 어려움을 알 수 있다. 또한, 육안으로 사물을 판별할 경우 색상뿐만 아니라 모양도 고려되기 때문에 육안으로 판별이 가능하다고 판단되는 결함 영상도 컬러 영상의 색상 값만으로는 구분이 어려운 경우가 많다.

한편 사과의 경우 색 인자에 의한 결점의 검출은 <그림 15>에서 보는 바와 같이 상당히 많은 부분이 정상적인 과피의 색과 중첩되어 있어서 매우 제한적인 검출만이 가능할 것으로 판단하였다. 병반에 대해서는 명암차이로 쉽게 분리가 가능할 것으로 판단되나 특히 타상과 자상은 정상적인 착색 부위와 지색 부위의 중간적인 색 특성을 갖는 것으로 나타나 검출에 어려움이 있을 것으로 판단하였다.

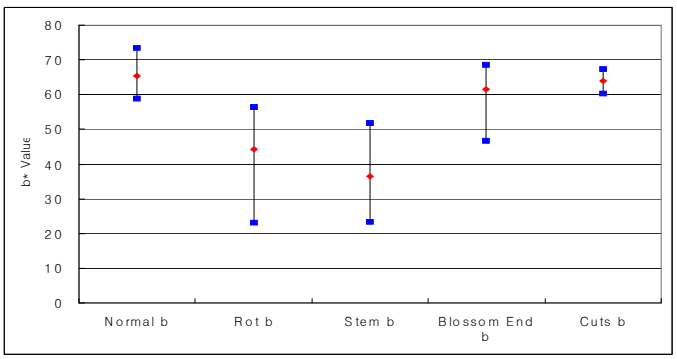
이와 같은 결점의 색 특성은 기존의 컬러에 의한 결점 검출 가능성을 보고한 연구사례와는 상반된 것으로서 황색 계열의 사과의 경우 타상과 자상의 색상이 착색 부위와는 많은 차이가 있으므로 이를 검출하는 것이 가능할 것으로 보이나 본 연구에서 대상으로 하는 후지의 경우 결점 부위의 색상과 착색의 색상 사이에 큰 차이를 보여주지 않으므로 컬러에 의한 결점 검출은 어려울 것으로 판단하였다. 결론적으로 본 연구에서는 다양한 결점의 색 특성으로 인해서 색에 의한 결점 검출에는 한계가 있을 것으로 판단하였으며 과피색에 영향을 받지 않는 근적외선 특성을 이용하는 결점 검출이 바람직할 것으로 판단하였다.




(a)L* value

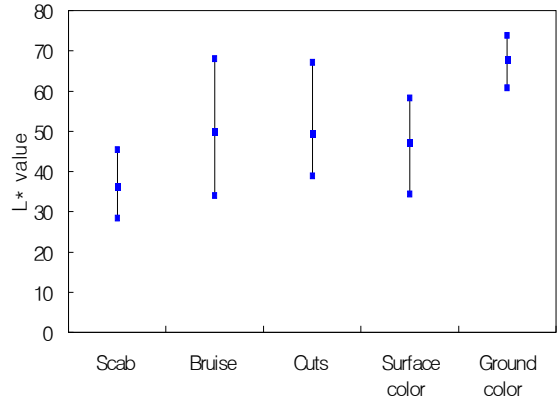



(b)a* value

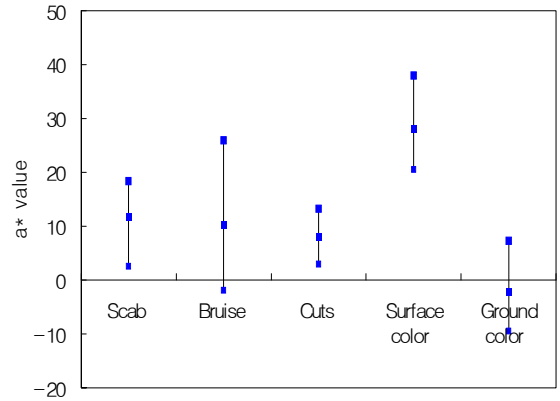



(c)b* value

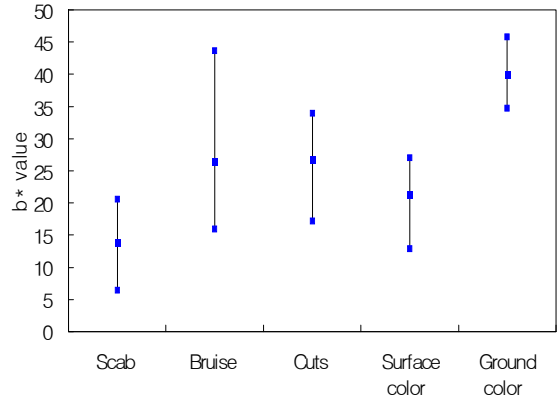
Fig. 14 Distribution of $L^*a^*b^*$ values measured at each defective part of Citrus.




(a) $L^*$ value




(b) $a^*$ value




(c) $b^*$ value

Fig. 15 Distribution of $L^*a^*b^*$ values measured at each defective part of Fuji apple.

Table 5 Result of Duncan's multiple range test among the color values of the defectives(α = 0.03).

| Color Coordinate | Color | Mean | Duncan Grouping |
|---|---|---|---|
| $L^*$ | Normal surface | 67.19 | A |
| | Blossom end | 64.44 | A |
| | Cuts | 63.76 | A |
| | Sour rots | 55.86 | B |
| | Stem | 54.24 | B |
| $a^*$ | Cuts | 28.86 | A |
| | Blossom end | 25.35 | A |
| | Normal surface | 22.73 | A |
| | Sour rots | 13.14 | B |
| | Stem | 7.71 | C |
| $b^*$ | Normal surface | 65.34 | A |
| | Cuts | 64.01 | A |
| | Blossom end | 61.59 | A |
| | Sour rots | 44.14 | B |
| | Stem | 36.57 | C |

**자) 결점의 반사 또는 흡광 특성**

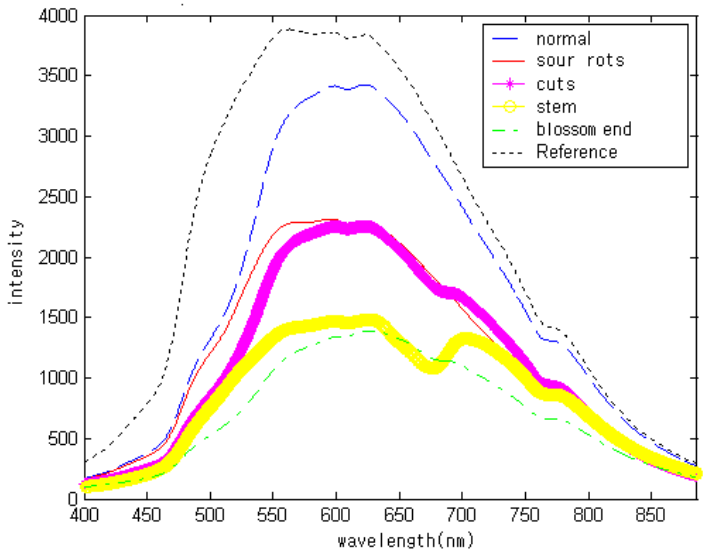
감귤에 대한 정상부, 정상 감귤의 화탁부, 변질과, 자상, 꼭지 대하여 반사 특성을 구명하기 위하여 분광광도계를 사용하여 가시광 및 근적외선 영역(400~1,700nm)에 대한 반사스펙트럼을 측정하였다. <그림 16>과 <그림 17>은 감귤의 각 결점 및 각 부위에 대한 반사 에너지 및 반사율 스펙트럼이다. 반사 에너지 스펙트럼에서 Reference는 산화마그네슘으로 만들어진 백색 표준판의 스펙트럼이다.

이들 결과에 의하면 400-1700 nm 사이의 파장대역에서 정상부위의 반사율이 가장 높고, 화탁부위가 가장 낮게 나타났다. 그리고 꼭지의 경우 엽록소의 흡수파장인 675 nm 부근에서 반사율이 떨어지며, 강한 물의 흡수파장인 1450 nm 대역 부근에서 전체적으로 반사율이 떨어짐을 관찰할 수 있다. 감귤의 화탁 부위는 색상이나 표면상태가  정상부위와 유사하지만 반사율이 낮은 이유는 화탁부의 표면이 상대적으로 주위보다 오목하여 이 연구에서 사용한 반사율 측정 장치에서 반사 프로브와 시료표면과의 거리가 멀기 때문인 것으로 짐작된다. 그 이유는 앞 절에서 살펴본 각종 시료의 색상 값, $L^*$은 반사율과 비례관계가 있는데 <그림 14 (a)>에서 $L^*$값의 크기는 정상부위, 자상부위, 화탁부, 변질부 및 꼭지의 순으로 나타나는 반면 가시광 영역에서 반사율은  정상부위, 변질부위, 자상부위, 꼭지 및 화탁부의 순으로 나타나기 때문이다.

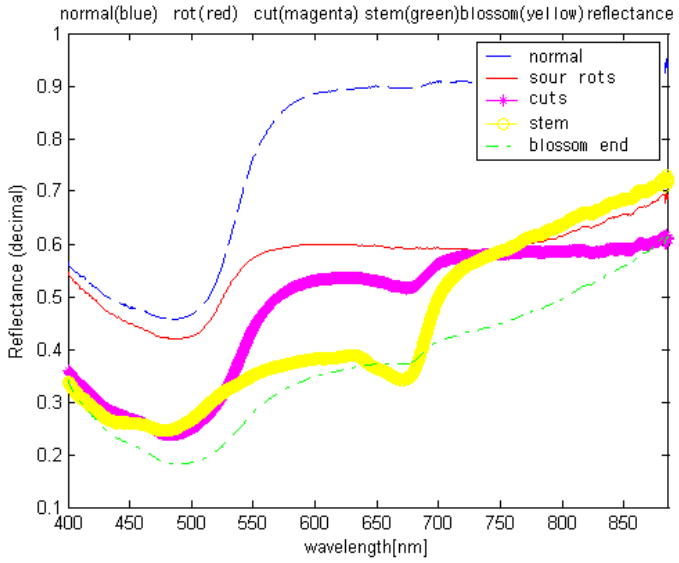
이 실험 결과에 의하면 반사율의 차이가 큰 파장대역을 이용하여 결함부위를 검출하고자 할 경우 600 nm 이상의 파장 영역에서 정상부와 다른 부위를 구분할 수 있을 것으로 판단되며, 관심의 대상인 변질부와 자상부의 판별은 이들 부위의 반사율이 다른 부위에 비해 상대적으로 높거나 낮지 않기 때문에 반사율의 차이만으로 이들 결함을 검출하는 것은 불가능 할 것으로 판단된다.

가시광 영역에서 시료의 파장별 반사율 측정은 시료의 색상뿐만 아니라 표면상태, 시료표면과 반사 프로브와의 거리 등에 영향을 받기 때문에 농산물의 경우 절대적인 반사율의 차이를 구하고 이를 이용하는 것은 용이하지 않은 것으로 생각된다.

근적외선 영역의 경우 반사율(그림 16 (b))는 정상부, 자상부, 꼭지, 변질부, 화탁부의 순으로 나타났으며, 이 경우에도 정상부위와 유사한 화탁부가 가장 낮게 나타났다. 근적외선 대역의 반사율은 시료의 성분뿐만 아니라 표면상태와 프로브의 상대적 위치에 영향을 받기 때문에 성분 만에 의한 반사율의 차이를 구하는 것은 어려울 것으로 판단된다.

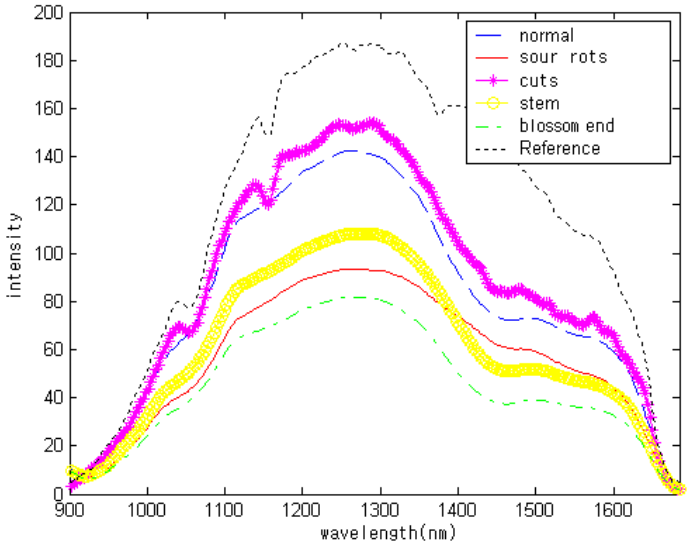



(a)

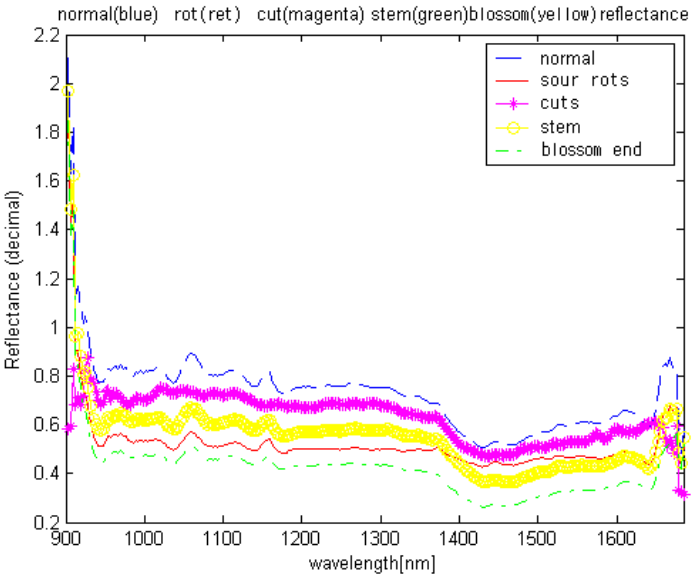



(b)

Fig 16 Reflection energy (a) and reflectance(b) spectrums of various parts of citrus in wavelength of 400~900 nm.




(a)

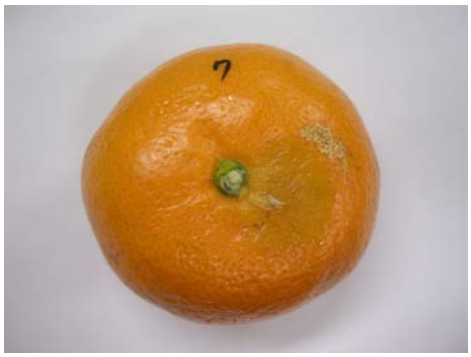



(b)

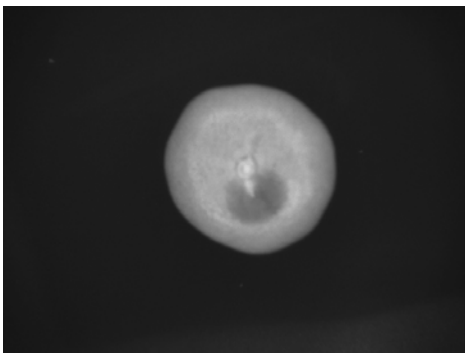
Fig 17 Reflection energy (a) and reflectance(b) spectrums of various parts of citrus in wavelength of 900~1700nm.

**차) 감귤의 근적외선 영상 특성 구명**

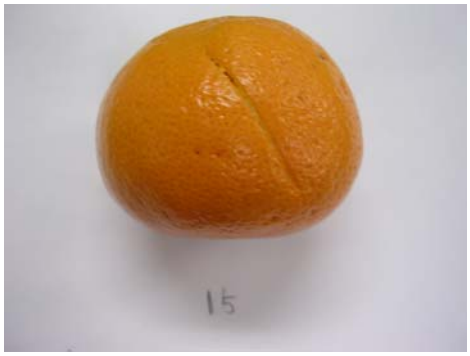
<그림 18>과 <그림 19>는 각 결점의 근적외선 대역에서의 특성을 보기 위해 컬러 카메라, 필터를 장착한 CCD-NIR 카메라 및 NIR카메라를 사용하여 획득한 대표적인 영상을 나타낸다. 그림에서처럼 컬러 영상에서는 변질과 구분이 쉽지 않음을 확인 할 수 있으며, CCD-NIR 카메라에서 대역통과 필터를 이용하지 않고 획득한 영상에서는 결점과 정상부위가 큰 차이를 보이지 않으나 근적외선 filter를 이용하여 획득한 영상에서 결점이 확연히 구분되어 나타났다. <그림 18(b), (d), (e)>는 CCD-NIR 카메라 필터 영상에서 육안으로 가장 뚜렷이 차이를 보이는 960 nm 필터 영상을 나타낸 것이다. <그림 19>는 NIR 카메라로 측정한 영상으로 900-1700 nm 대역의 근적외선 영상을 획득한 것이다.



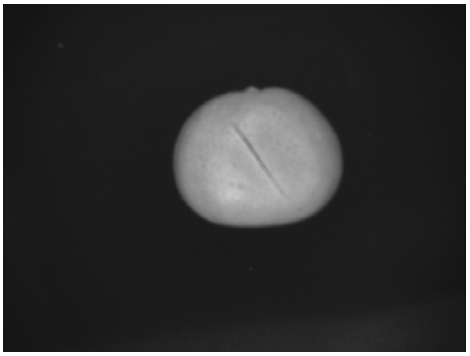
(a) color image of Sour rot



(b) 960 nm-filter imagre of Sour rot

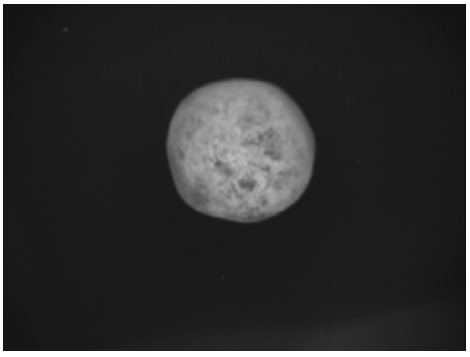


(c) color image of cut



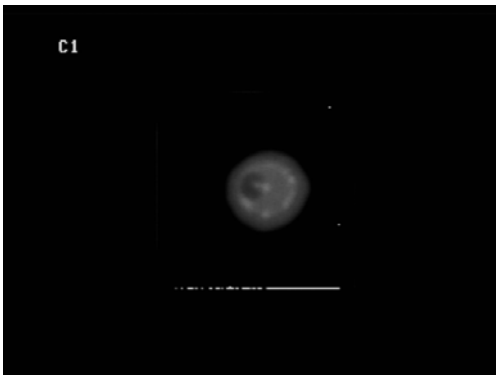
(d) 960 nm-filter image of cut

(e) color image of mold



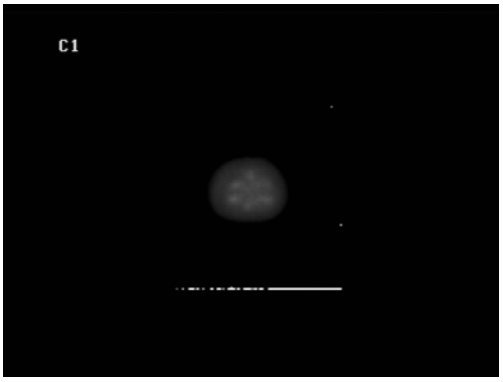
(f) 960 nm-filter image of mold

Fig. 18 Color and NIR images of the defect in citrus.



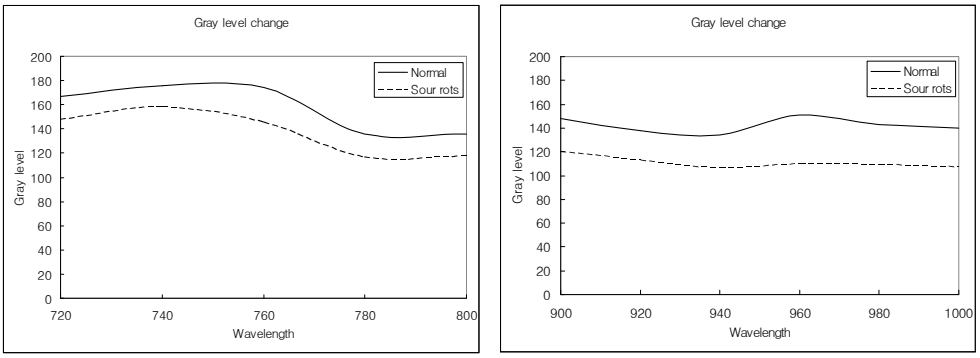

(a) 900-1700nm image of Sour rot

(b) 900-1700nm image of mold

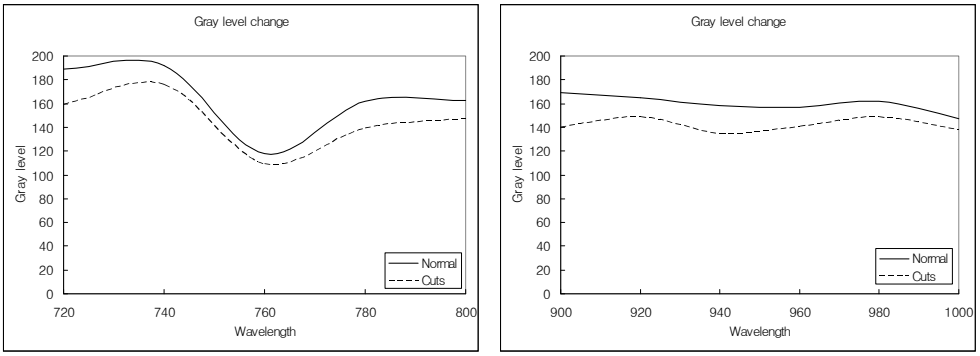



(c) 900-1700nm image of cut

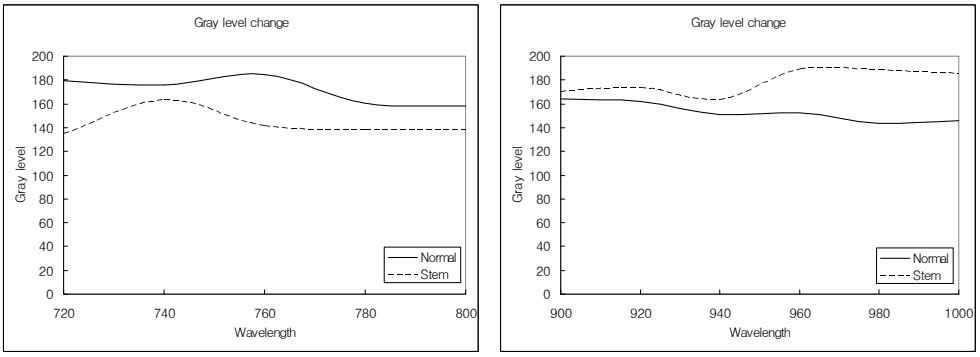
Fig. 19 NIR image of defect in Citrus in wavelength range of 900~1700 nm.




(a)Sour rots




(b)Cuts




(c)Stem

Fig 20 Gray level distribution of Sour rots(a), cut(b) and stem(c) in citrus.

<그림 20>은 각 결점의 영상특성을 조사한 결과이다. 획득한 영상을 이용하여 Gray level값을 각 파장별로 나타내었다.

변질과의 경우 분석에 사용한 시료의 근적외선 대역에서 대해서 정상보다 낮은 화소치를 가지는 것으로 나타났다. 특히 760nm와 960nm에서 화소치 차이가 큰 것을 볼 수 있으며 기타 다른 파장에 대해서는 비교적 일정한 화소치 차이를 갖는 것으로 나타났다.

자상은 변질과와 유사한 형태를 보이지만 720nm, 900nm, 940nm에서 화소치 차이가 나타났으며 물의 흡수대역인 760nm에서는 오히려 화소치 차이가 작은 것으로 나타났다. 결점의 구별에 많은 영향을 미치는 꼭지의 경우 앞서 관찰한 변질과와 자상과는 다른 특성을 나타내었다. <그림 20(c)>에서 나타난 것처럼 760nm에서는 정상 화소치보다 큰 차이를 보여주었으나 900nm 이후에는 오히려 정상부위보다 화소치가 더 높은 것으로 나타났다. 960nm 이상의 파장에서 큰 차이의 화소치를 보여주며 변질과보다 화소치가 높아지는 것으로 나타났다. 따라서 영상에서 선별시 문제가 될 것으로 판단하였던 꼭지와 결점의 분리는 CCD-NIR 카메라를 사용함으로써 자연스럽게 해결되는 것으로 나타났다.

NIR 카메라 영상에서는 대상 시료에서 결점인 변질과와 꼭지는 확인할 수 있었다. 그러나 NIR 카메라는 128×128Pixel의 다소 작은 Pixel로 인하여 수분과 관련된 일련의 영상획득은 용이할 것으로 판단되나 결점을 판별하고 분리하는 것은 어려움 따를 것으로 판단된다.

결론적으로 근적외선 영역에서 결점을 보다 유의하게 확인 할 수 있으며 카메라에 광학대역필터를 이용하여 영상을 획득한다면 변질과와 자상과의 결점 및 꼭지는 구별 가능 할 것으로 판단된다.

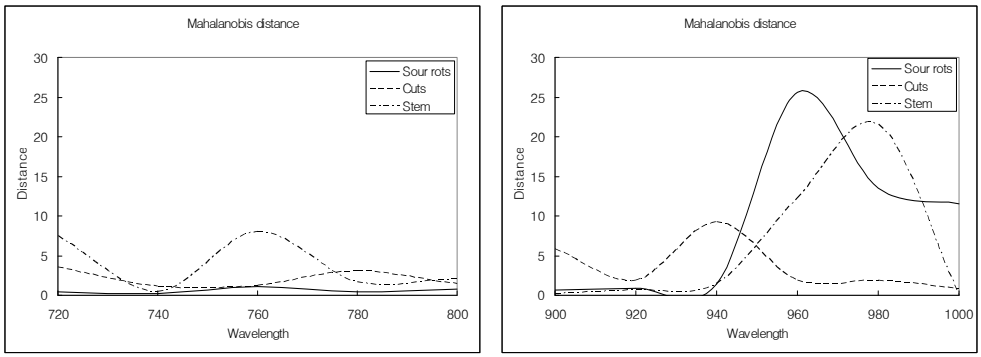


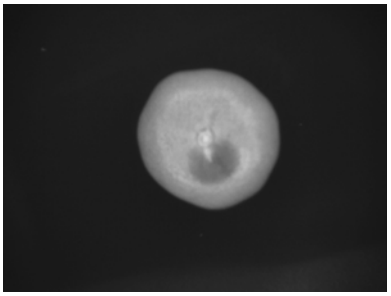

Fig 21 Mahalanobis distance computed with the filter images of the defective part of citrus.

<그림 21>은 카메라의 각 파장별 Filter를 이용하여 획득한 영상의 Mahalanobois 거리차를 조사한 것이다. 정상 시료에 대하여 주요 결점인 변질과, 자상과 그리고 꼭지를 대상으로 하였다. 변질과는 물의 흡수파장인 760 nm에서 주위보다 큰 거리차를 나타났으며 그 이후 960 nm에서 최대 Mahalanobis 거리차를 나타내었다. 자상과는 변질과와 다른 780 nm에서 작은 변화가 나타났으며 940 nm에서 가장 큰 차를 나타내었다. 꼭지의 경우 녹색이므로 가시광영역인 720 nm 보다 낮은 대역에서 큰 차이를 보여줄 것으로 판단되며 근적외선 영역에서는 980 nm에서 가장 Mahalanobis 거리차를 나타났다. 이상의 결과를 종합해 보면 각각의 결점을 검출하기 위한 파장으로는 변질과에 대해서 960nm, 자상에 대해서 760 nm, 940 nm가 유의하며 꼭지의 경우 980 nm에서 유하다고 판단하였다. 따라서 변질과가 자상보다는 상대적으로 검출이 용이할 것으로 판단되며 이들 결점을 동시에 검출하기 위한 단일 파장으로는 필터의 벤드 폭이 ±20nm이므로 960 nm filter를 사용하는 것이 가장 적합한 것으로 판단된다.

<그림 22>는 960 nm filter가 유의하다는 판단으로 각 결점을 단순 이치화한 영상이다. <그림 22(a)>는 변질부위와 꼭지가 동시에 나타난 경우의 영상으로 꼭지가 변질부위와 분리되어 결점으로 인식되지 않는 것으로 나타났으며 <그림 22(e)>의 자상부위도 단순 이치화를 했을 경우에도 결점이 나타나는 것을 확인

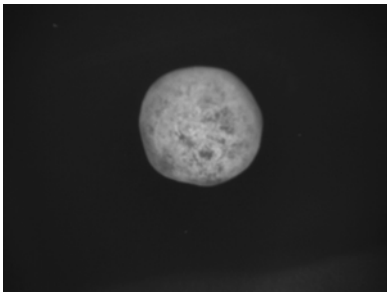
할 수 있었다. 다만 <그림 22(b)>의 경우처럼 감귤이 곰팡이에 감염 되었을 때 이치화의 영상에서는 결점이 여러 부위에서 다양하게 나타났다. 따라서 각 결점은 단순이치화만으로도 분리가 가능할 것으로 판단되며 일정크기 이상의 Pixel값을 결점으로 판단한다면 각 결점을 인식 할 수 있을 것으로 판단하였다.

<그림 23(a, c, e)>, <그림 24(a, c, e)> 그리고 <그림 25(a, c, e>는 변질과, 자상은 각각 960 nm, 940 nm 파장에서 유의하다는 결과를 기초로 결점에 대한 영상을 크기 별로 획득한 것이다. 크기별 변질과와 자상과의 영상을 단순히 문턱값으로 이치화를  수행하였다. <그림 23(b, d, f)>는 960 nm에서 획득한 변질과의 영상을 문턱값 만으로 이치화한 결과로서 쉽게 검출이 가능하였음을 확인할 수 있다. 또한 <그림 24(b, d, f)>와 <그림 25(a, c, e)>는 자상과를 문턱값 만으로 이치화였다. 자상의 경우 940 nm에서 이치화가 더 유의하나 자상크기는 작을수록 단순 이치화는 어려운 것으로 판단하였다. 결점의 크기가 작을수록 정상부위의 영역이 작아지고 형태도 변하여 온전한 형태의 영상을 나타내지 못하였다. 다만 <그림 24(f)>처럼 3 cm 이상의 자상은 940 nm에서 검출이 가능함을 확인할 수 있었다. 결과론적으로 변질과의 960 nm filter 영상에서 이치환한 결과에 이용한 문턱값은  116에서 좋은 결과를 나타냈으며 자상과는 3cm 이상의 크기에서 변질과와는 다른 143을 이용하였을 때 좋은 결과를 나타내었다.  변질과와 자상과의 문턱값이 서로 다르게 나타난 이유는 자상의 경우 그 결점부위가 변질과보다 작은 Pixel수를 가져 이치화를 하는데 있어 보다 높은 문턱값이 요구되는 것으로 판단하였다.

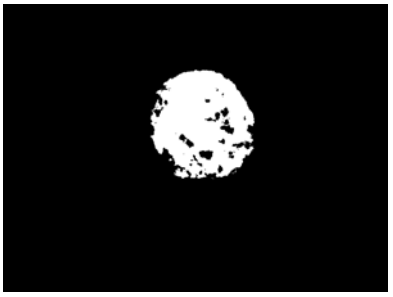


(a) 960nm-filter of image Sour rot(a)

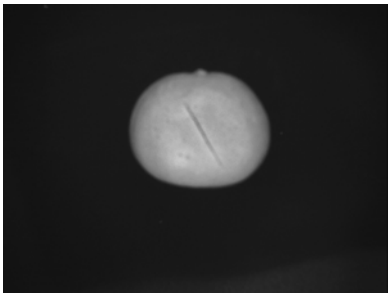
(b) Processed image of (a)



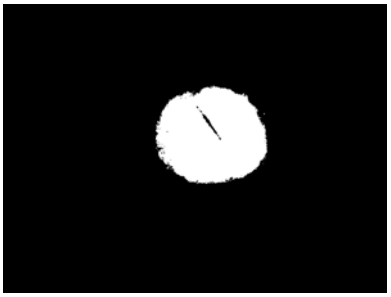
(c) 960nm-filter image of the mold(e)



(d) Processed image of (e)

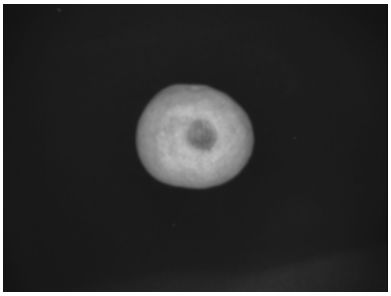


(e) 960nm-filter image of the cuts (c)



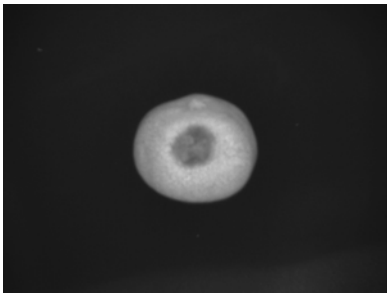
(f) Processed image of (c)

Fig. 22 960 nm filter image of citrus having Sour rot (a, c, e) and the processed images with segmentation (b, d, f)



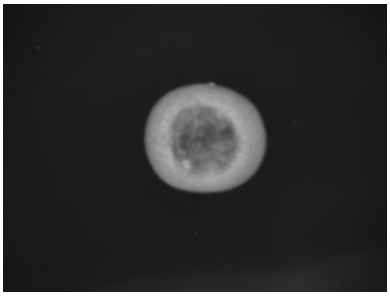
(a) 960nm-filter image of small Sour rot

(b) Processed image of (a)

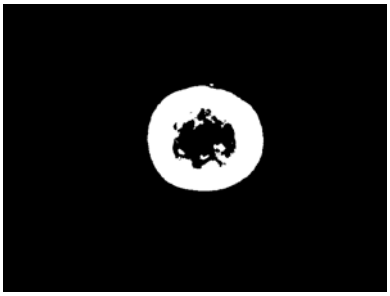


(c) 960nm-filter image of middle Sour rot

(d) Processed image of (b)

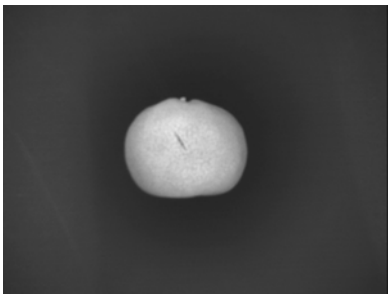


(e) 960nm-filter image of large Sour rot

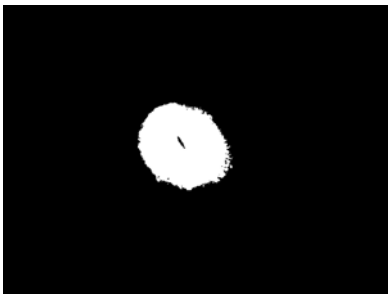


(f) Processed image of (e)

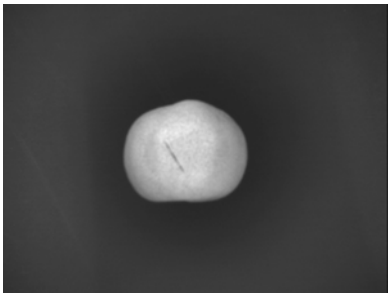
Fig 23 960nm filter images of citrus having Sour rot (a, c, e), and the processed images with segmentation (b, d, f)



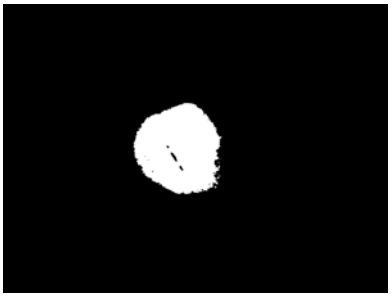
(a) 940 nm-filter image of small cut



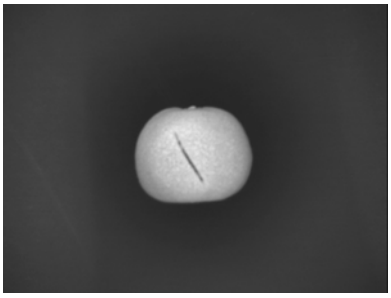
(b) Processed image of (a)



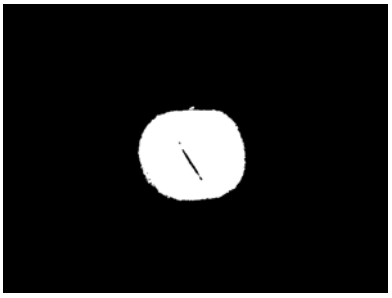
(c) 940 nm-filter image of middle cut



(d) Processed image of (c)

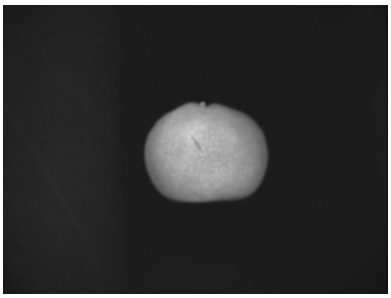


(e) 940 nm-filter image of large cut

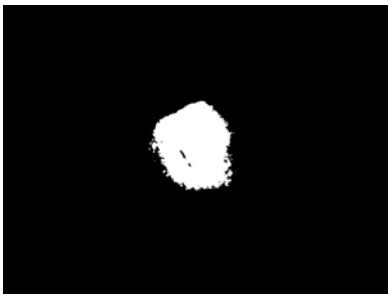


(f) Processed image of (e)

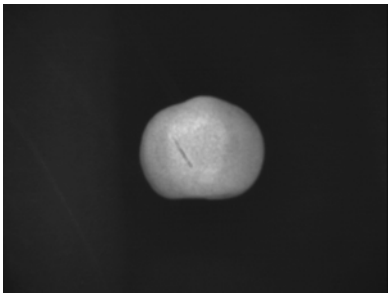
Fig. 24 940 nm filter images of citrus having cuts (a, c, e) and the processed images with segmentation(b, d, f)



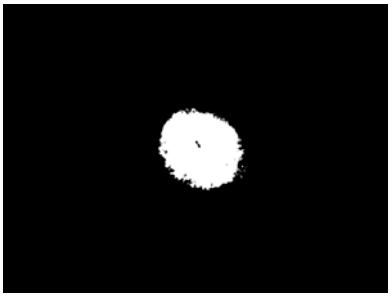
(a) 960 nm-filter image of small cut



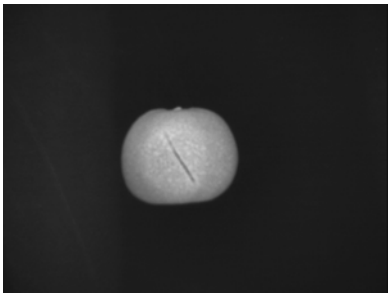
(b) Processed image of (a)



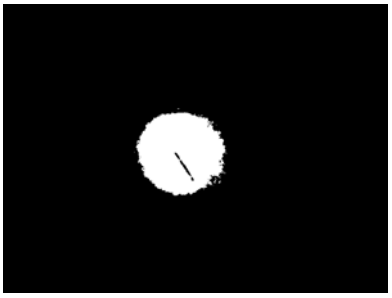
(c) 960 nm-filter image of middle cut



(d) Processed image of (c)



(e) 960 nm-filter image of large rot



(f) Processed image of (e)

Fig. 25 960nm filter images of citrus having cuts (a, c, e) and the processed images with segmentation(b, d, f)

### 카) 사과의 근적외선 영상 특성 구명

근적외선 파장을 결정하기 위하여 샘플 시료를 대상으로 15개의 근적외선 대역에서의 화소치를 구하고 Mahalanobis 거리를 사용하여 판별 가능성을 조사하였다. <그림 26>은 각 파장대역에서 정상 부위와 결점 부위의 Mahalanobis 거리를 나타낸 것으로서 각 파장별 결점 검출 가능성을 분석하였다. 먼저 타상과 자상에 대한 Mahalanobis 거리는 파장이 증가함에 따라 미약하지만 증가하는 특성을 보여주었으며 수분 흡수 파장인 970nm 파장에서 가장 큰 거리 차이를 보여주었다. 이에 비해 병반에 대한 Mahalanobis 거리는 720nm 파장에서 최대 거리 차이를 보여주었으며 파장이 증가할수록 거리가 감소하는 특성을 보여주어 타상 및 자상과는 상반되는 특성을 갖는 것으로 나타났다.

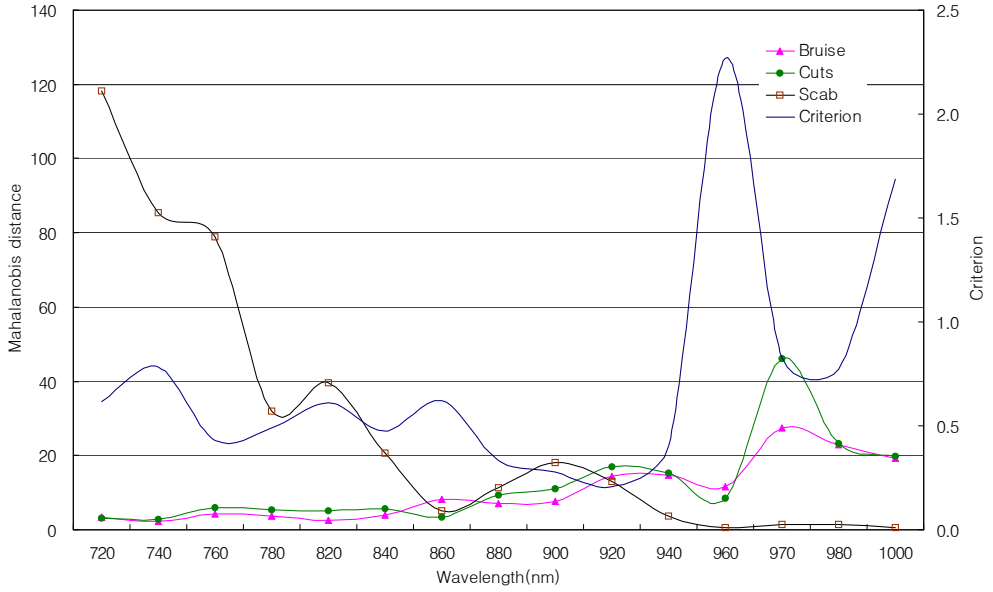
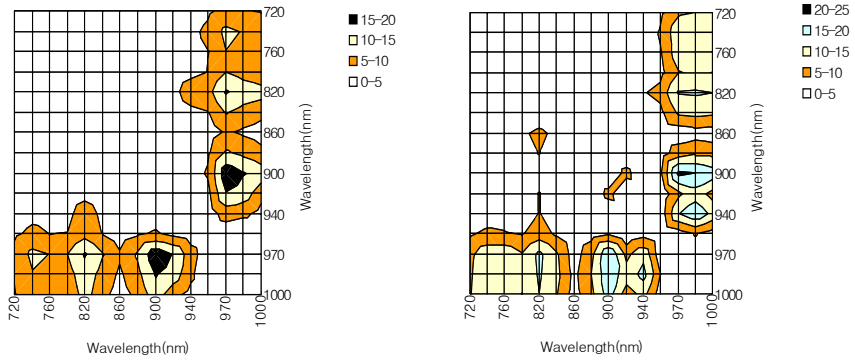



Fig. 26 Mahalanobis distance computed with the filter images of the sound and each defective part of Fuji apple in NIR range, and criteria for discrimination of the sound and the defective.

한편 3가지 결점에 대한 Mahalanobis 거리의 역수를 취한 값을 합하여 정상과 결점을 구분하기 위한 판별값을 계산하였다. 여기서 판별값은 거리의 역수를 취하였으므로 값이 작을수록 판별율이 높다는 것을 의미하며 분석 결과 3가지 결점에 대해 일정한 거리 차이를 갖는 920nm가 가장 낮은 판별값을 갖는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 종합해보면 각각의 결점을 검출하기 위한 파장으로는 병반에 대해서 720nm, 타상 및 자상에 대해서 970nm가 유의하며 병반이 타상과 자상보다는 상대적으로 검출이 용이할 것으로 판단되며 이들 결점을 동시에 검출하기 위한 단일 파장으로는 920nm가 가장 적합한 것으로 나타났다.

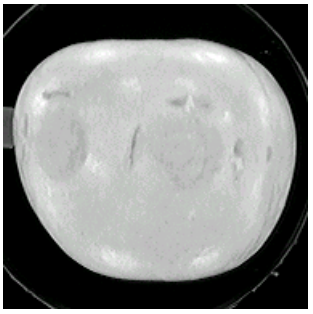
한편 단일 파장대역에서의 결점의 검출 능력은 정상 부위와 결점 부위의 화소치 차이에 의해 좌우되므로 조명과 같은 기계시각 시스템의 설정에 매우 민감하게 반응한다. 하지만 두 파장의 차또는 비를 사용할 경우 상대적인 화소치 차이에 의해 결점을 검출할 수 있으므로 단일 파장에서의 절대값에 의존하는 것보다는 안정된 결점 검출 결과를 기대할 수 있다. 이와 같은 두 파장 대역을 사용했을 때 결점 검출의 가능성을 구명하기 위하여 앞서 획득한 결점 영상에 대해서 프레임 연산을 수행하고 프레임 연산 결과 나타난 결점 부위와 정상 부위에 대한 화소치를 조사하였다. <그림 27>은 타상에 대해서 두 파장의 차와 비 연산을 수행했을 때의 Mahalanobis 거리를 나타낸 것으로 분석 결과 970nm와 900nm, 970nm와 820nm에 대해 프레임 연산을 수행했을 때 기타 다른 파장보다도 큰 Mahalanobis 거리를 보여주었으며, 두 파장의 비에 대해서도 역시 동일한 파장대역에서 가장 큰 Mahalanobis 거리를 보여주었다. 하지만 두 파장을 사용하더라도 970nm 단일 파장을 사용했을 때보다도 낮은 Mahalanobis 거리를 보여줌으로써 두 파장을 사용한 프레임 연산 효과는 없는 것으로 나타났다. 두 파장에 의한 프레임 연산의 이득을 얻기 위해서는 타상과 밀접한 파장과 타상과 무관한 파장 대역이 존재해야하나 본 연구에서 설정한 720~1,000nm 대역에서는 타상에 대해 그 차이는 다르지만 대부분 타상의 특성을 반영하고 있었기 때문으로 실제로 두 파장을 사용했을 때의 효과는 크게 기대할 수 없을 것으로 판단되었다.




(a) Difference (b) Ratio

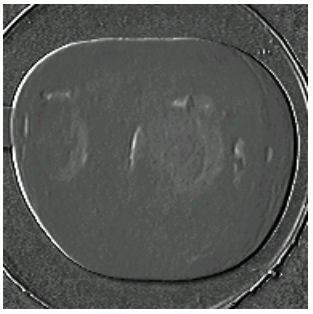
Fig. 27 Contour plots of Mahalanobis distance between the sound and the bruise, computed with the difference(a) and ratio(b) in average gray values of filter images taken at different peak wavelength.

(a) 970nm



(b) 900nm

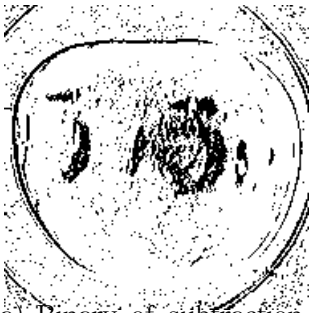
(c) Subtraction image (970nm-900nm)



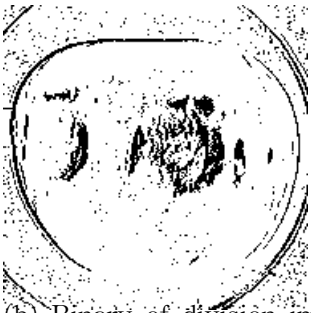
(d) Division image (970nm/900nm)

Fig. 28 Filter images of the bruise and cuts, (a) and (b), subtraction image of (a)-(b), (c) and division image (a)/(b), (d).

<그림 28>의 (c)와 (d)는 970nm와 900nm 근적외선 영상간의 차와 비를 수행한 결과로서 육안으로 관찰이 용이하도록 차에 대해서는 100의 offset을 부여하고 비에 대해서는 상수 100을 곱하고 영상 평활화를 수행한 것이다. 두 프레임 연산 결과 결점 부위가 정상 부위보다 높은 화소치를 보여주어 문턱값에 의한 결점 검출이 가능할 것으로 판단되었으나 정상 부위의 화소치 범위 안에 결점의 화소치가 포함되고 있어서 문턱값에 의한 이치화를 수행할 경우 순수하게 결점만의 검출은 어려운 것으로 나타났다<그림 29>. 또한 두 파장의 비를 사용할 경우도 마찬가지로 결점 부위의 화소치가 정상 부위보다는 높은 화소치를 갖고 있었으나 문턱값에 의한 결점 검출 결과 정상 부위가 결점으로 인식되는 화소가 나타났으나 차분 영상에서 보여준 결과보다는 다소 양호한 것으로 나타났다. 결국 프레임 연산에 의해 타상을 검출하기 위해서는 단순히 문턱값에 의한 것만으로는 정상 부위가 결점으로 인식되며 이를 방지하기 위해서는 영상 전처리 과정이 필수적일 것으로 판단되었다. 결론적으로 타상을 검출하기 위한 두 파장에서의 프레임 연산은 두 파장에서의 차 보다는 비를 사용하는 것이 보다 유용할 것으로 판단되었으나 그 효과는 단일파장을 사용하는 것과 큰 차이가 없는 것으로 판단하였다.



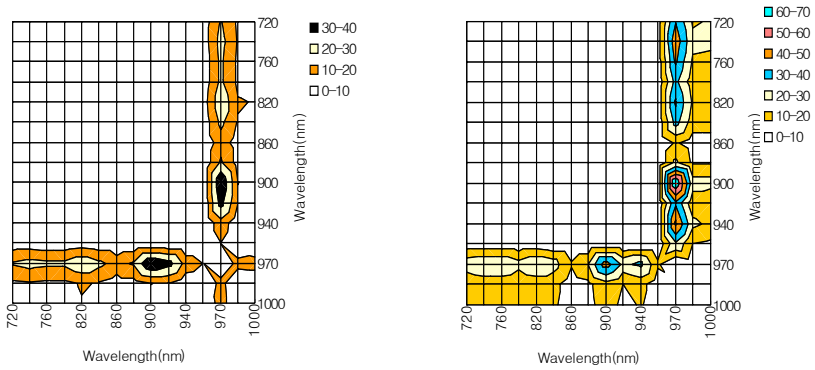
(a) Binary of subtraction image



(b) Binary of division image

Fig. 29 Binary images of subtraction (a) and division (b) images of the bruise and cuts.

타상에 분석한 방법과 동일하게 자상에 대해 두 파장간의 프레임 연산을 수행한 결과 970nm와 920nm의 화소치 차를 사용할 경우 34.3, 970nm와 900nm의 화소치 비를 사용할 경우 70.6의 Mahalanobis 거리를 보여주었다<그림 30>. 자상의 경우 차를 사용했을 때는 단일 파장을 사용했을 때의 Mahalanobis 거리보다도 오히려 낮은 값을 보여주었으나, 비를 사용했을 때는 두 배 이상의 거리 차를 보여주었다. 결국 추가로 선정된 900nm는 자상 검출에 매우 유용한 파장이었으며 단일 파장에서도 선정된 970nm는 두 파장을 사용하는 경우에도 여전히 검출을 위한 주요 파장임을 확인할 수 있었다.

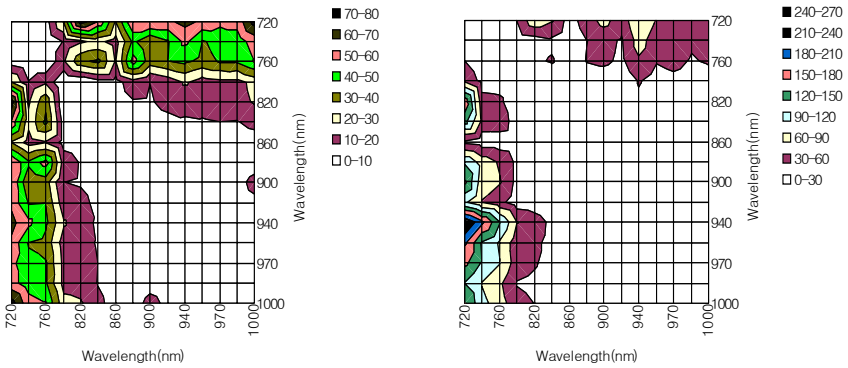



(a) Difference (b) Ratio

Fig. 30 Contour plots of Mahalanobis distance between the sound and the cuts, computed with the difference(a) and ratio(b) in average gray values of filter images taken at different peak wavelength.

병반에 대한 프레임 연산의 경우 두 파장의 차에 대해서는 720nm와 820nm에서 74.8의 Mahalanobis 거리를, 두 파장의 비에 대해서는 940nm와 720nm에서 243.0 Mahalanobis 거리를 보여주었다. 먼저 두 파장의 차 연산을 수행하였을 경우 보여준 74.8의 Mahalanobis 거리는 720nm 단일파장에서 보여준 118.1보다 오히려 낮은 값으로 파장의 추가에 따른 효과는 오히려 감소하는 것으로 나타났다. 두 파장의 비를 사용했을 때는 차의 경우와 다른 940nm가 선택되었으며 이 때의 Mahalanobis 거리는 크게 증가하여 사과의 정상 부위와는 다른 화소치를 갖는 것이 확인되었다. 결론적으로 병반에 대해서도 두 파장 연산을 수행할 경우

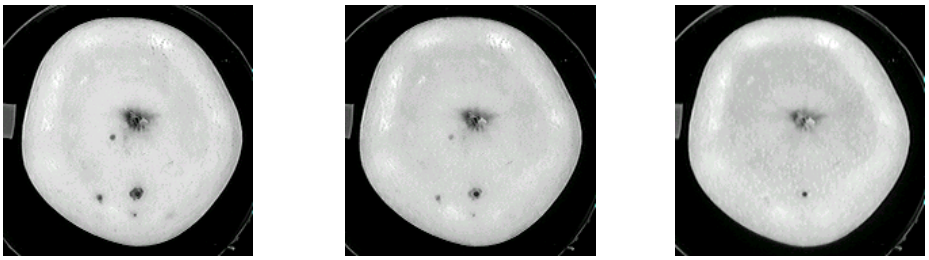
비를 사용하는 것이 보다 높은 정확도를 얻을 수 있는 것으로 나타났으며 단일 파장을 사용하는 것 보다 병반 검출에 매우 효과적인 것으로 판단하였다.



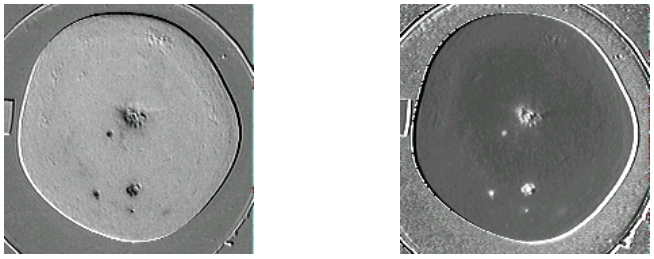

(a) Difference (b) Ratio

Fig. 31 Contour plots of Mahalanobis distance between the sound and the scab, computed with the difference(a) and ratio(b) in average gray values of filter images taken at different peak wavelength.

<그림 32>는 프레임 연산을 수행했을 때 나타난 최종 영상으로서 특히 940nm와 720nm의 비를 사용할 경우 매우 정확한 병반 검출이 가능한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 940nm 대역이 병반에 의한 영향을 비교적 적게 받기 때문인 것으로 해석되며 병반 검출을 위한 720nm와 결합할 경우 파장 추가에 따른 효과는 매우 큰 것으로 판단되었다.



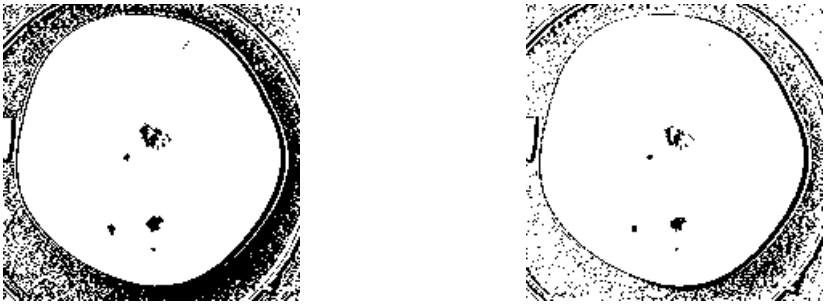
(a) 720nm (b) 820nm (c) 940nm



(d) Subtraction image (720nm-820nm) (e) Division image (940nm/720nm)

Fig.32 Filter images of the scab, (a), (b) and (c), subtraction image of (a)-(b), (d), and division image of (c)/(a), (e).

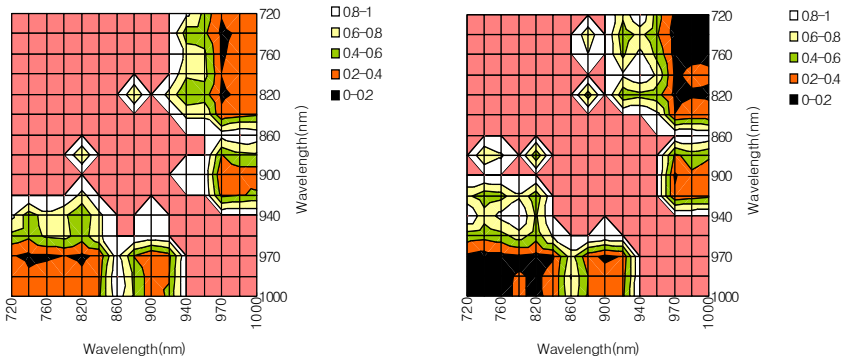
<그림 33>은 프레임 연산 결과로 나타난 영상에 대해 문턱값에 의한 이치화 수행 결과로서 두 파장의 차 또는 비 모두 결점만의 검출이 가능한 것으로 나타났다.



(a) Binary of subtraction image (b) Binary of division image

Fig. 33 Binary images of the subtraction (a) and division (b) images of the scab.

판별값에 의해 3가지 결점을 모두 검출할 수 있는 두 개의 유의 파장을 선정하기 위한 작업을 수행하였다. 판별값을 계산한 결과 두 파장의 차를 사용할 경우 970nm와 820nm에서 0.164의 판별값을, 두 파장의 비를 사용할 경우 970nm와 740nm에서 0.118의 판별값을 가짐을 보여주었다 <그림 34>. 이와 같은 결과는 단일 파장에서 보여준 0.21보다는 낮은 것으로 파장의 추가에 따른 결점 검출의 효과가 있는 것을 알 수 있었다.




(a) Difference (b) Ratio

Fig. 34 Contour plots of Mahalanobis distance between the sound and the defective, computed with the difference(a) and ratio(b) in average gray values of filter images taken at different peak wavelength.

이와 같은 결과를 기초로 본 연구에서는 차후 결점선별 시스템에 대해 다음과 같은 결론을 도출하였다. 먼저 단일 파장을 사용할 경우 병반과 타상 및 자상에 대한 근적외선 특성이 상반되므로 하나의 단일 파장만으로는 검출에 한계가 있을 것으로 판단하였으며 따라서 타상과 자상을 위한 하나의 파장과 결점을 위한 또 하나의 파장을 선정하는 것이 바람직하다고 판단하였다. 한편 두 개의 파장을 사용할 경우 판별값에서 제시된 두 개의 유의 파장을 선정하는 방법이 있을 수 있으나 이를 사용할 경우 영상간의 프레임 연산이 수행되어야 하며 이는 실제로

두 대의 카메라가 하나의 물체를 동일한 크기의 영상으로 획득해야 하므로 광학적으로 해결해야할 문제가 많다. 즉, 서로 다른 위치의 두 대의 카메라가 하나의 물체를 동일한 크기로 관찰하기에는 현실적으로 많은 제한 조건이 있을 것으로 판단하였다. 따라서 두 파장에서의 프레임 연산을 사용하는 것보다는 각 결점에 대한 유의 파장 필터를 장착하여 해당 결점을 관찰하는 것이 실제 응용에 있어서 편리할 것으로 판단하였으며 최종적으로 병반 검출을 위한 720nm와 타상과 자상 검출을 위한 970nm의 2개 파장 대역의 필터를 장착하여 결점 검출을 수행하였다.

한편 근적외선 영상 해석의 결과에 대한 타당성을 검증하기 위해서 분광광도계로 측정한 결점의 스펙트럼에 대해서 Mahalanobis 거리에 의한 판별 작업을 수행하였다. <그림 35>는 흡광도 스펙트럼에서의 각 결점에 대한 Mahalanobis 거리로써 자상에 대해서는 720nm에서 최대 거리를 보이다가 파장이 증가할수록 감소하여 근적외선 영상에서 나타난 특성과 일치하는 결과를 보여주었다. 또한 자상에 대해서는 970~1,000nm 영역에서 비슷한 거리차이를 갖는 것으로 나타났으며 타상의 경우는 근소한 차이지만 820nm에서 정상 부위와 가장 큰 거리 차이가 있었다. 여기서 병반과 자상에 대해서는 앞서 근적외선 영상에서 획득한 결과와 동일한 결과를 보여주었으나 타상에 대해서는 영상 해석의 경우와 다른 파장이 유의한 것으로 나타났다. 이는 기본적으로 측정장치인 분광광도계와 카메라의 특성 및 데이터 측정 방법에 따른 차이로 보여지나 보나 명확한 해석을 위해서는 보다 다양한 실험이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

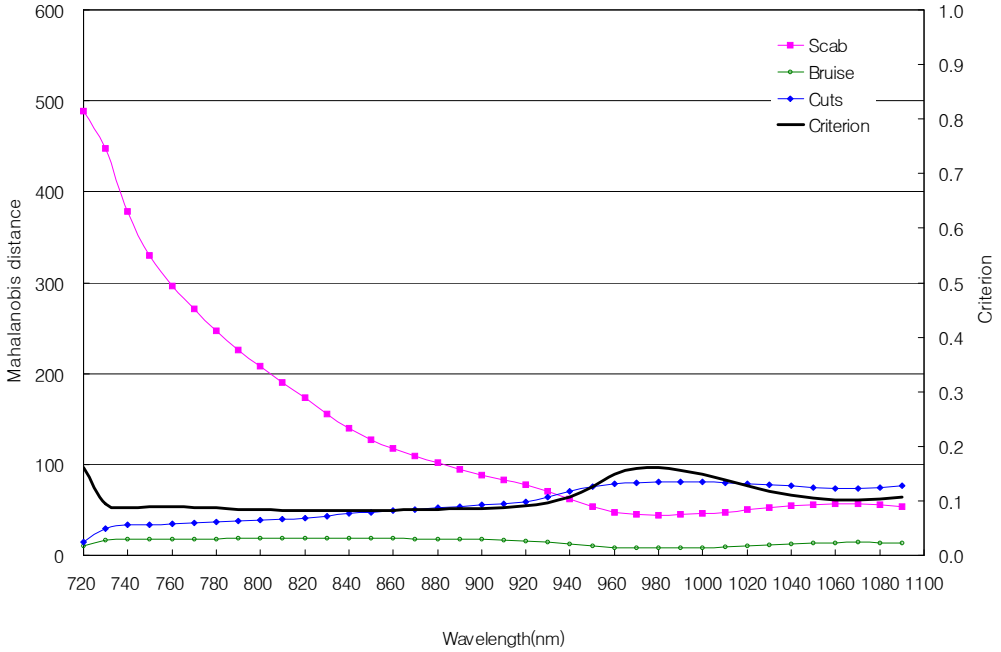



Fig. 35 Mahalanobis distance computed with the absorbance spectra of the sound and each defective part of Fuji apple in NIR range, and criteria for discrimination of the sound and the defective.

### 2) 결점 인식 알고리즘 개발

선별공정과 연계하여 결점을 인식하기 위해서는 몇 가지 방법이 존재하며 이를 구분해 보면 다음과 같다.

1. 선별기에 과실이 놓이는 자세를 일정하게 하는 경우(꼭지가 위로 향하게)
2. 자세가 일정하지 않으며 꼭지보다 큰 결점만 검출하는 경우
3. 자세가 일정하지 않으며 꼭지보다 작은 결점까지 검출해야 하는 경우

이와 같은 세 가지 경우에 대해서 먼저 1번 경우에는 꼭지가 위로 그리고 중심을 향하고 있으므로 꼭지 영역을 사전에 제외하는 것이 가능해지므로 결점 검출이 비교적 용이하다고 판단되며, 2번 경우에는 결점 영역의 크기를 계산하여 꼭지의 기준 면적보다 큰 경우만 고려하면 되므로 역시 검출이 비교적 용이하다고 판단된다. 마지막 3번의 경우에는 꼭지의 출현 위치가 일정하지 않으므로 크기만으로 꼭지 영역을 사전에 제거할 수 없으므로 결점들의 후보 대상들 중에서 꼭지에 대한 판단이 필요하게 된다.

본 과제에서 목표로 하는 선별기는 일정한 자세가 아닌 임의의 자세로 공급되는 선별기이므로 1번의 경우는 해당되지 않으며 2, 3번의 경우에 대해서 고려해야 한다.

앞서 스펙트럼 분석 결과 감귤의 변질부와 자상부를 검출하는데 960 nm 필터 영상이가 유리하다는 결과를 기초로 <그림 36>과 같은 알고리즘으로 결점을 판정하는 실험을 수행하였다.

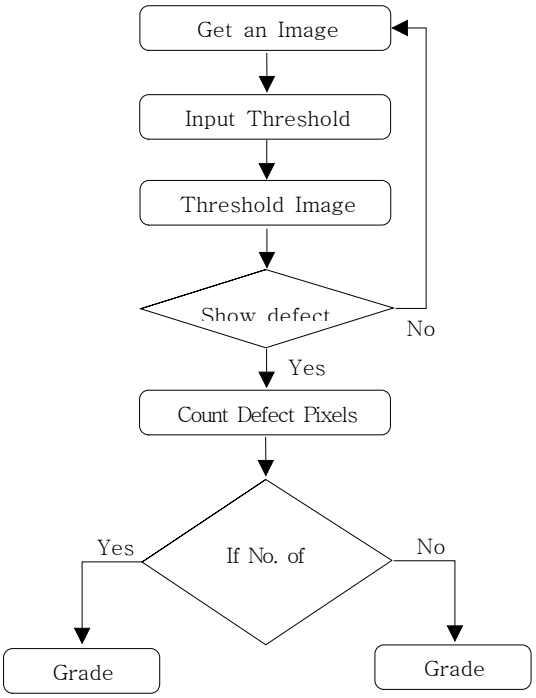



그림 36. 결점 검출 알고리즘의 흐름도

실험 결과 변질과의 경우 Mahalanobis 거리 분석에 나타난 결과대로 문턱값 만으로도 쉽게 검출이 가능하였으며, 자상에 대해서 문턱값에 의한 결점 검출이 가능함을 볼 수 있었으나 일부 자상에 대해서는 이를 인식하지 못하는 결과를 보여주었다. 자상의 경우 그 흠집의 크기가 작아 Segmentation할 경우 감귤 전체 면적이 줄어들어 경계선에서 결점으로 인식하는 경우가 나타났다. 전반적인 결점 검출 정확도를 향상시키기 위해서는 자상의 낮은 화소치에 대해서 Local thresholding을 적용하거나 필터를 적용하여 Segmentation이 보다 용이 하도록 하는 기법이 요구되는 것으로 나타났다.

영상으로 변질과 및 자상을 검출하는 실험에서는 30개의 결점감귤을 사용하여 결점과를 구별하는 실험 결과, <표 6>에서 보는 것과 같이 변질과는 40개에 대하여 36개의 비정상감귤이 정확하게 결점을 인식하여 90%의 판별률

을 나타내었다. 자상은 30개에 대하여 21개의 비정상감귤로 판정되어 70%의 판별률을 보였으며 꼭지는 모든 감귤이 결점으로 인식되지 않았다. 정상 감귤의 경우에는 100% 정상 감귤로 판명되었다. 자상의 경우 그 흠집의 크기로 인해 문턱값 만을 이용하여 단순 이치화 할 경우에 결점과가 정상과로 인식되는 경우가 존재 하였다. 또한 곰팡이가 발생한 감귤은 곰팡이가 심한 경우 화소치가 높아 결점으로 인식되지 않는 경우가 존재하였다. 그러나 대부분의 변질과는 결점으로 인식하였으며 꼭지가 결점과 구별하기 위하여 근적외선 필터를 이용하여 영상을 획득함으로서 결점으로 인식되지는 않았다. 따라서 감귤의 결점을 인식할 때 꼭지는 크게 영향을 미치지 않으므로 결점검출이 보다 용이할 것으로 판단된다. 그러나 자상의 경우에는 전반적으로 결점에 대한 인지력이 다소 떨어지는 것으로 나타났다.

표 6. 감귤의 결점 검출 결과

| Manual / Machine Vision | Sour rots(40) | Cuts(30) | stem(30) | Normal(40) |
|---|---|---|---|---|
| Sour rots | 36 | 0 | 0 | 0 |
| Cuts | 0 | 16 | 0 | 0 |
| Stem | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Normal | 4 | 14 | 30 | 40 |
| Accuracy | 90% | 53% | 100% | 100% |

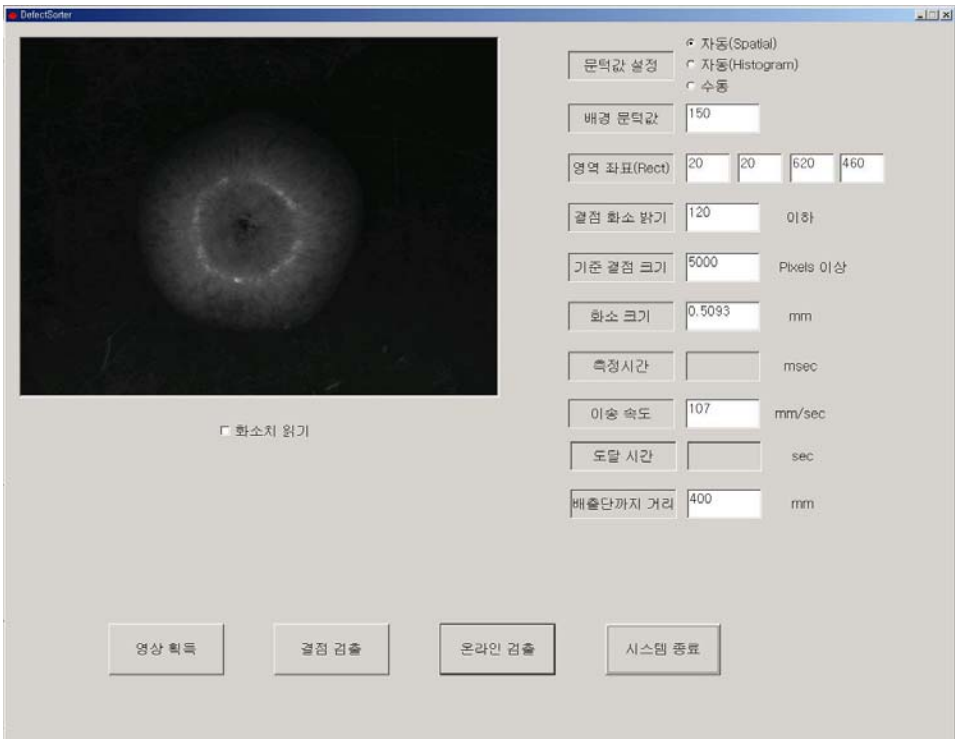



그림 37. 결점 검출 프로그램(오프라인/온라인 겸용) 하드카피

한편 결점의 크기가 꼭지보다 작은 경우에는 임의의 꼭지를 결점으로 인식하는 오류를 범하기 쉽다. 이를 해결하기 위해서 기존에 많은 연구가 진행되어 왔으며 그 주된 내용은 파장 특성을 이용하거나 레이저 구조광을 이용한 형상 특성을 이용하는 것이 대부분 이었다. 먼저 파장의 특성을 이용할 경우 조명의 균일도가 큰 영향을 미치므로 현실적인 가능성이 낮을 것으로 판단되며 레이저 구조광을 이용할 경우 연산시간이 많아지고 구조광 영상과 근적외선 결점 영상을 매칭하는 방법이 필요하게 된다.

본 과제에서는 이에 대한 대안으로서 스테레오 이미징을 이용한 방법을 고안하게 되었다. 두 대의 NIR 카메라를 이용하여 결점 영역(낮은 화소치)을 측정하고 두 영역에 대한 disparity를 계산하여 굴곡의 여부를 판단하여 굴곡이 있을 경우 꼭지로 간주하여 결점에서 무시하고 굴곡이 없을 경우 이를 결점으로 인식하도록 하였다. 현재 이에 대한 영상 획득장치를 제작하였으며 아

래의 사진은 스테레오 이미징 장치에 의한 disparity 영상이다.

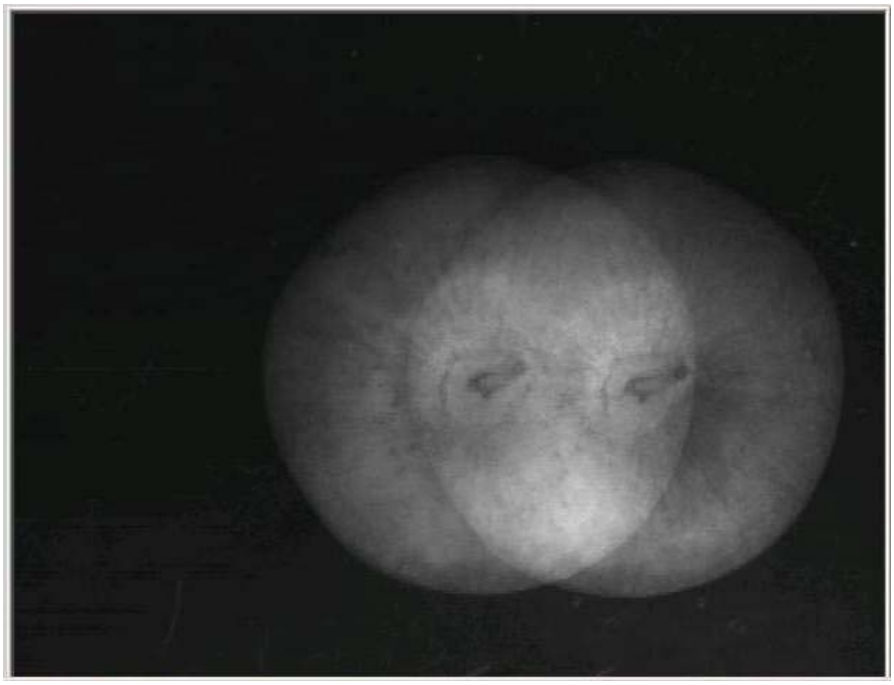


그림 38. 사과의 Disparity 영상

### 3) 개체 추적 알고리즘 개발

인식된 과실을 정확하게 배출하기 위해서는 이송 시간을 고려하여 정해진 위치까지 도달 시간을 정확하게 계산하는 방법이 요구된다. 본 연구에서는 과실의 이송시간과 영상분석시간을 고려한 개체 추적 컨트롤러를 개발하였다. 개체 추적 컨트롤러는 기본적으로 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

1. 영상 내에서 과실의 중심점 좌표 획득
2. 중심점과 배출 유니트 사이의 거리 계산
3. 이송 속도를 고려한 도달 시간
4. 이송 펄스 주기에 의한 펄스의 개수

여기서 이송 펄스 주기를 고려하는 이유는 컨베이어의 이송 속도는 컨트롤러에 의해서 가변적일 수 있기 때문에 이송 속도를 인자로 하기 보다는 기준 펄스에 대한 개수로 환산하는 것이 현장 상황에 더 적합하다고 판단된다. 따라서 최종 도달값은 x 초 후에 도달이 아닌 n개의 펄스 개수가 되며 기준 펄스의 개수를 측정하는 것으로 픽킹 타이밍을 산출할 수 있다. 아래의 사진은 픽킹 타이밍을 확인한 결과로 시료로 사용한 감귤에 대해서 정확한 픽킹 타이밍을 얻는 것이 가능하였다.

그림 39. 개체 추적 알고리즘을 적용한 픽킹 타이밍 결과

한편 광폭의 로울러 컨베이어에서 개체를 추적하기 위해서는 여러 개의 과실을 동시에 인식하는 알고리즘이 필요하다. 비록 저속으로 이송되지만 이송되는 과실은 앞뒤 또는 좌우로 붙어 있을 수 있기 때문에 이들 각각을 분리해서 개체를 인식하는 과정이 필요하다.

본 과제에서는 이를 위해 연속적인 Eroding 알고리즘을 적용해서 과실 각

각을 인식하고자 하였다.

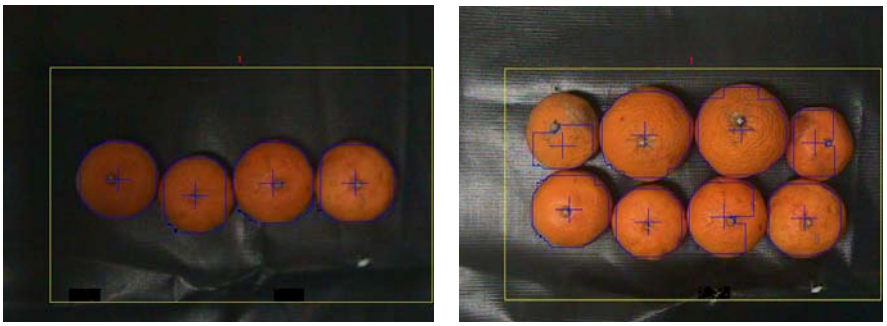
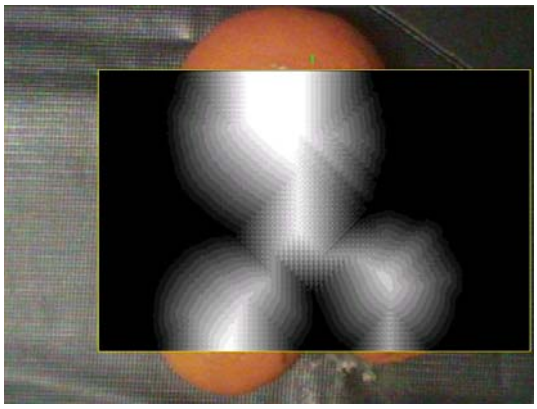


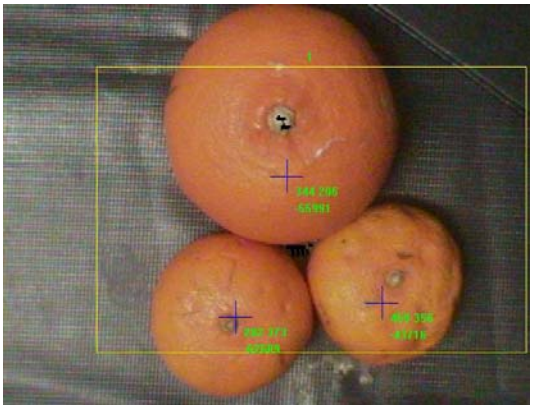
그림 40. 개체 분리알고리즘 적용 결과

프로그램 테스트 결과 총 8개의 과실을 분리해서 인식하기까지의 총 소요시간은 평균 350 msec 정도로 예비선별대의 이송속도가 300mm/sec 이내임을 감안할 때 이송중의 과실을 충분히 인식할 수 있는 것으로 나타났다. 개체 인식에 사용한 프로그램에 대한 설명은 후반부에 종합적으로 설명하였다.

한편 연속적인 Eroding 알고리즘의 경우 필터 커널의 크기가 클수록 연산시간이 증가하여 실시간 처리에 부적합한 결과를 보여준다. 이를 해결하기 위해서는 고속 Eroding 알고리즘을 사용하거나 커널 크기에 무관한 새로운 방식의 필터링이 요구된다. 본 과제에서는 이를 위해 EDM(Euclidian Distance Map) 필터를 사용하였다. 이 필터는 기본적으로 물체의 거리를 계산하여 이를 화소값 대신 보유하는 것으로 개체의 크기가 균일하다고 할 경우 거리값을 이용하여 단순히 이치화하는 것으로 겹쳐져 있는 물체를 구분할 수 있는 특징이 있다. 아래의 그림은 개발한 EDM 필터를 사용하여 AOI 내의 감귤에 대해서 필터링을 적용한 것으로 이치화를 했을 경우 간단하게 겹쳐져 있는 물체를 구분하는 것이 가능하였다. 처리 시간을 분석한 결과 동일 크기의 Eroding 필터에 비해 1/3 이상 처리시간이 감소한 것을 확인할 수 있었다.



(a) EDM 필터 이미지



(b) 필터링 후 개체 인식 결과

그림 41. EDM 필터에 의한 개체 인식 결과

#### 4) 근적외선 비젼시스템 및 과실 이송장치 제작

백열광과 근적외선 카메라를 이용한 근적외선 영상 획득장치를 구축하였다. 결점 검출 방법에 따라서 각기 다른 근적외선 카메라 장치를 사용하였다. 먼저 단일 카메라인 경우에는 Sunkwang사의 B/W 카메라를 사용하였으며 스테레오 이미징인 경우에는 Sony사의 ES50 모델을 사용하였다. 스테레오 이미징 시스템의 경우에는 resolution 문제로 인해서 가능한 카메라의 크기가 작은 것이 요구되며 ES50 모델의 경우 길이가 50mm 이내로 목적에 부합하는 것으로 판단된다. 아래의 사진은 ES50을 사용한 스테레오 이미징 획득장치이다.

그림 42. B/W 카메라를 이용한 스테레오 이미징 장치

비젼시스템은 P4 2.6 GHz의 클럭속도를 갖는 CPU를 장착하였으며 신호 디지털화를 위해 흑백/컬러 composite 신호 입력이 가능한 프레임그래버(Matrox)를 사용하였다. 영상획득의 경우에 스테레오 이미징의 경우에는 두 대의 프레임그래버를 장착한 독립적인 신호입력 체계를 갖추었으며 아래는 이를 구현한 소프트웨어의 하드카피이다.

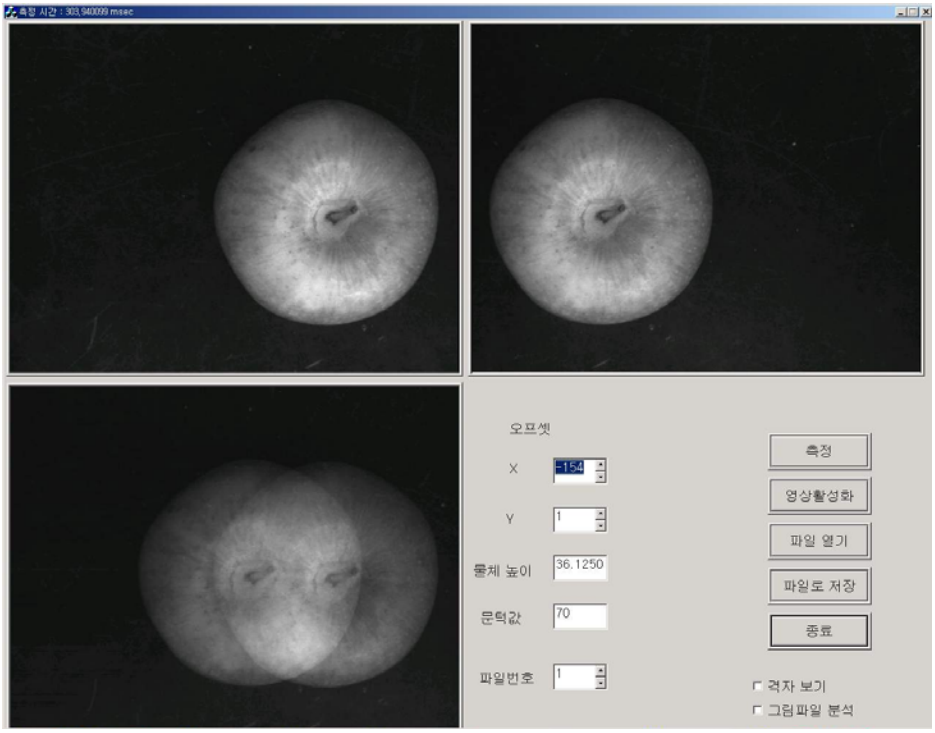


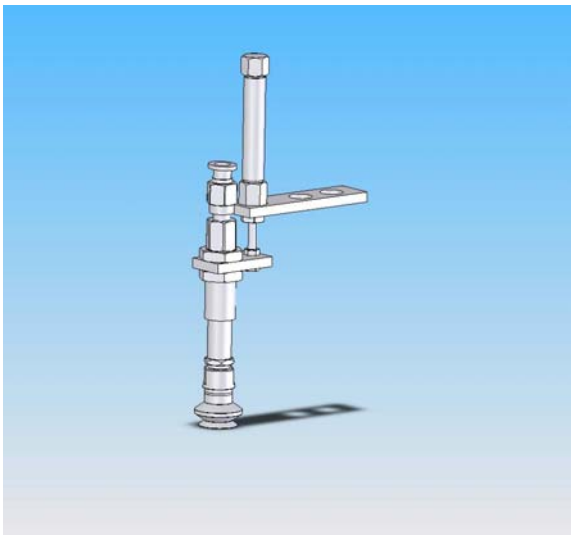

그림 43. 스테레오 이미징 장치를 이용한 영상획득 소프트웨어 하드카피

과실 이송에는 90W AC단상모터와 1/50 감속비를 갖는 벨트 컨베이어를 사용했으며 속도 조절이 가능한 speed controller를 장착하였다. 검출 실험 속도는 107 mm/sec 였으며 아래는 이송 컨베이어와 픽킹 유니트에 대한 외관 사진이다.

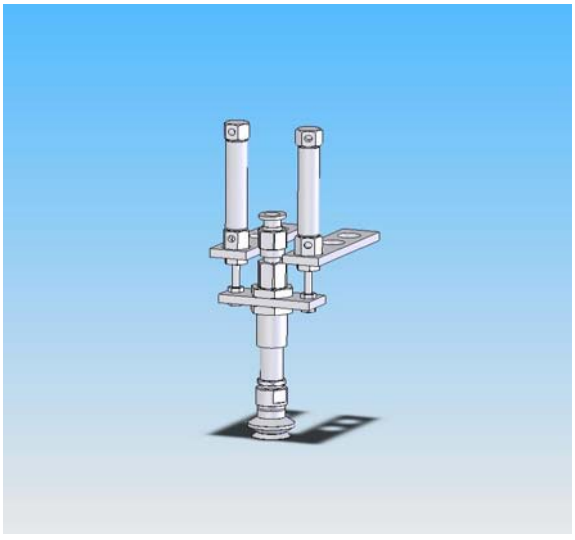
그림 44. 과실 이송 컨베이어

### 5) 과실 픽킹 유니트 구축

이송중의 과실을 배출하기 위해서는 컨베이어 벨트 위에서 과실을 집어내오는 픽킹 장치가 필요하다. 과실을 픽킹하기 위한 방법으로는 여러 가지가 있지만 본 연구에서는 진공펌프와 진공패드를 이용한 흡입식 픽킹 장치를 구축하였다. 흡입식 픽킹 장치는 설치가 간편하고 작동부가 비교적 단순하며 설치가 간단하다는 장점이 있다. 아래의 그림은 1차 시작기로 제작한 픽킹 유니트로서 실린더와 흡착패드 및 커넥팅 로드로 구성되어 있다. 현재 실린더 1개를 이용한 유니트를 제작하여 작동 여부를 평가하고 있으며 경우에 따라서 <그림 45-(b)>와 같은 실린더 2개 모델도 설계하였다.



(a) 실린더 1개 유니트



(b) 실린더 2개 유니트

(c) 픽킹유니트 사진

그림 45. 진공패드를 이용한 픽킹 유니트

### 6) 픽킹 유니트 이송장치 제작

픽킹 유니트 이송을 위해서 볼 스쿠류와 서보 모터로 구성한 이송 장치를 제작하였다. 먼저 서보모터는 출력 100W의 AC Servo(Mitsubishi)를 사용하였으며 이를 구동하기 위한 드라이버를 장착하였다. 볼 스쿠류는 길이 1000mm에 한쪽에 이송 지지를 위한 LM 가이드를 부착하고 이를 플레이트로 연결하여 좌우 이송이 가능하게 하였다. 아래의 그림은 이를 위한 개략도를 나타낸 것이다.

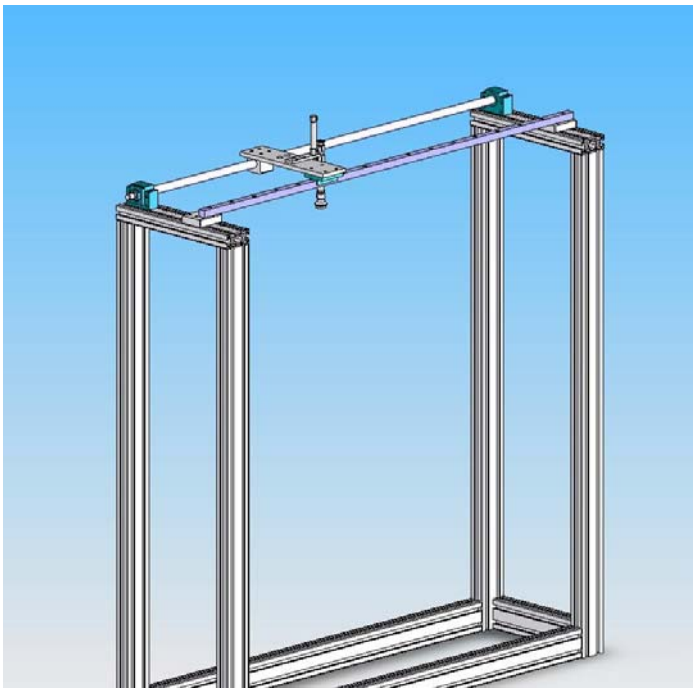


그림 46. 픽킹 유니트 이송장치

한편 1차년도에서는 AC 서보 모터를 이송 동력원으로 사용했으나 2차년도에서는 보다 구조가 간단하고 가격면에서 유리한 스테핑 모터를 이송 동력원으로 사용했다. 일반적으로 AC 서보를 사용할 경우 서보용 드라이버 이외에도 제어를 위한 PLC 서보 구동 모듈이 필요하며 서보 구동용 PLC의 경우 전원부까지도 추가로 확장해야 하는등 많은 비용이 수반하게 된다. 이에 대한 해결 방법으로 최근 많은 제품들이 나오고 있는 스테핑 모터 쪽으로 방향을 전환하였다.

스테핑 모터의 경우 모터 드라이버와 이를 제어하기 위한 모션 컨트롤러만을 구매하면 되므로 PLC 구매에 따른 추가 비용을 줄일 수 있고 상대적으로 간단하게 제어할 수 있는 장점을 가지고 있다. 앞으로 현장 보급을 수행할 경우 가격이 매우 중요한 요소가 되는데 이 때 스테핑 모터 솔류션은 이에 큰 도움을 줄 것으로 기대하고 있다. 아래의 사진은 이송 장치에 사용된 스테핑 모터 이송부이다.

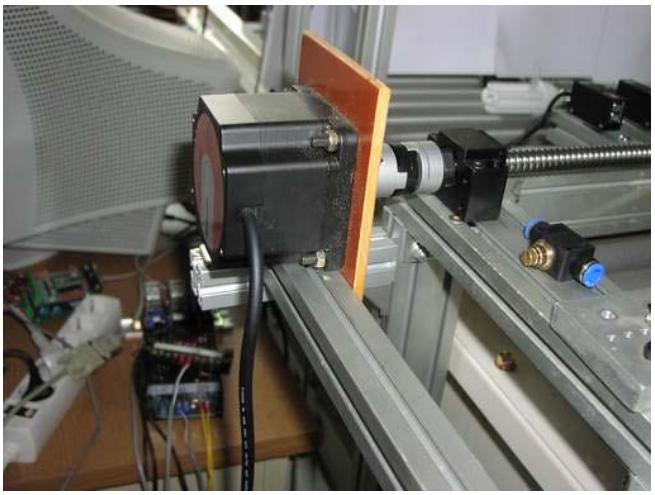


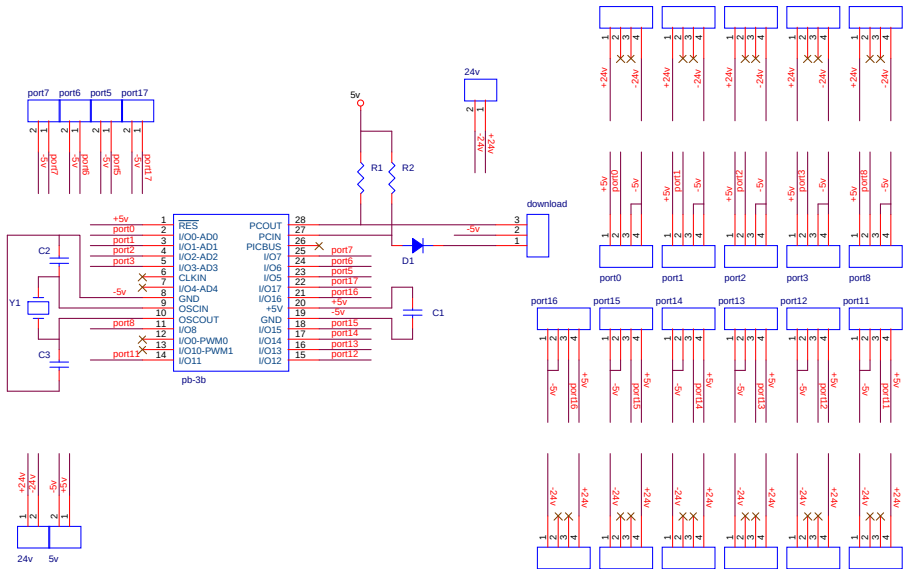
그림 47. 스테핑 모터에 의한 이송장치

### 7) 픽킹 유니트 컨트롤러 제작

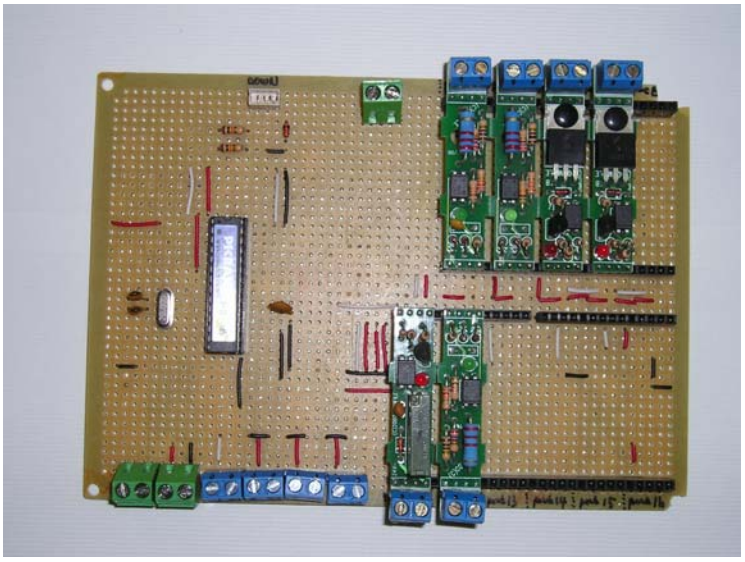
픽킹 유니트를 제어하기 위해서 단일 마이컴으로 구성한 컨트롤러 보드를 제작하였다. 컨트롤러 보드의 주요 기능으로는

1. 스테핑 모터 제어를 위한 PWM 펄스 출력
2. 외부 센서 입력을 위한 Input 포트
3. 액츄에이터 작동을 위한 Output 포트
4. PC와의 통신을 위한 통신채널 구축 등이 있으며

가격이 저렴해야 하고 상대적으로 간단한 구조로 작동이 가능해야 한다. 사용한 메인 칩은 PIC16F876로서 21개의 Input/Output 겸용 포트를 가지고 있다. 아래는 사용한 컨트롤러 보드의 회로도와 프로토 타입에 대한 사진을 나타내고 있다.




(a) 회로도



(b) 프로토타입 보드

그림 48. 과실 픽킹용 컨트롤러 보드 (1차 시작기)

1차 시작기용 컨트롤러를 테스트한 결과 만족할 수준의 기능을 보여주었으나 저렴한 가격의 칩을 사용하는 문제로 입출력 포트 개수에 제한이 있고 다양한 프로그램을 할 수 없는(부동 소수점 연산 등) 어려운 단점이 있었다. 이와 같은 문제가 발생된 상황에서 이를 극복할 수 있는 새로운 메인칩이 나오게 되어 이를 이용한 컨트롤러 보드를 제작하였다. 새로운 메인칩은 입출력을 위한 최대 80개의 포트와 스테핑 모터용 펄스 출력으로 2개의 포트를 내장하여 비교적 여유 있는 제어가 가능한 것으로 나타났다. 아래의 사진은 새로운 메인칩을 이용한 컨트롤러 보드의 외관이다.

그림 49. 새로운 컨트롤러 보드 (2차 최종 개발품)

2차에서 개발한 컨트롤러 보드는 1차와는 달리 통신에 있어서도 마스터 기능을 갖고 있어서 PC와 1대1로 직접 통신이 가능하다는 장점이 있다. 또한 통신 기능에 내장 버퍼를 가지고 있어서 대량의 데이터를 고속으로 전송하는

것이 가능하여 본 연구 이외에 기타 다른 컨트롤에 다양하게 응용될 수 있을 것으로 판단하였다. 현재 개발된 보드는 본 회사의 각종 컨트롤에 적용하였으며 일선 현장에서 계속 사용중에 있으며 버전을 거듭하면서 보다 편리한 방향으로 개선 작업을 수행하고 있다. 앞으로 수 개월 이내에는 본 컨트롤러 보드가 완전히 구축되어 다양한 농산물 제어 현장에 적용할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

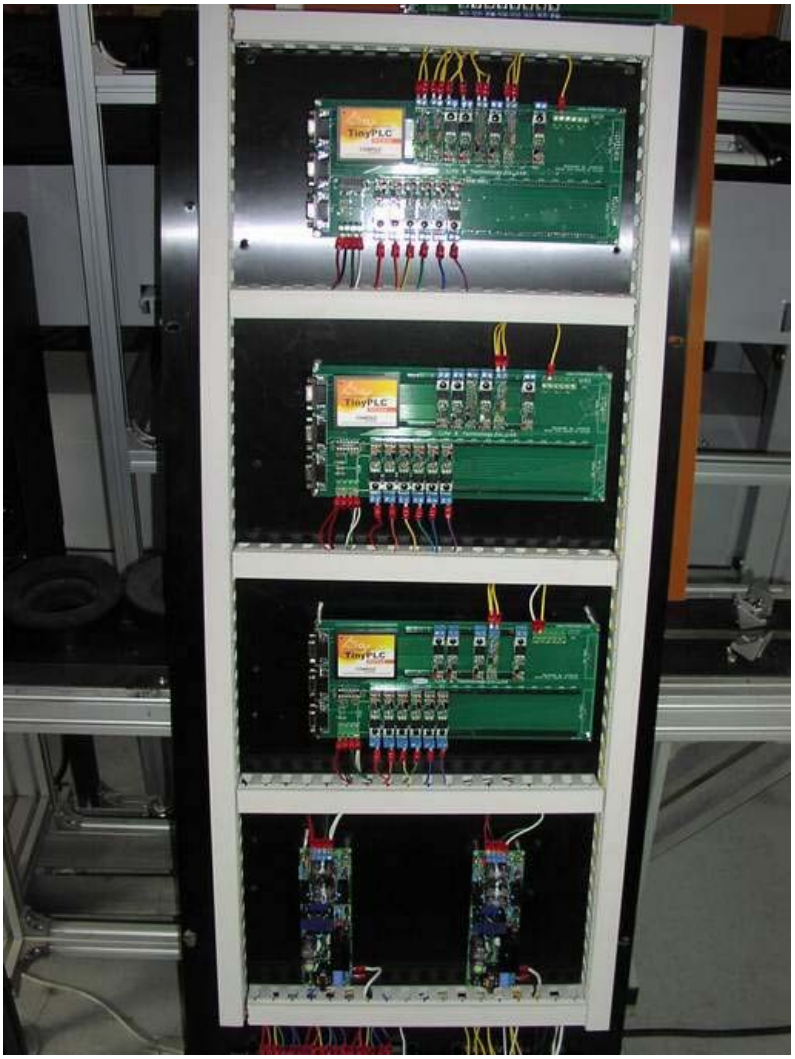


그림 50. 현장에 사용중인 컨트롤러 보드

아래의 사진은 개발한 최종 프로그램의 하드카피이다. 최대 2대의 카메라에 의해 상을 입력받을 수 있으며 다양한 환경 설정과 스테핑 모터의 이송명령을 동시에 내릴 수 있다. 붙어있는 것들에 대한 개체 인식을 위해서 필터의 커널 크기를 입력할 수 있으며 결점의 기준값과 개수 문턱값을 지정할 수 있다. 또한 스테핑 모터의 현재 위치 값을 읽는 기능도 가지고 있다.

현재 결점을 인식하기 위해서는 약 400 msec의 소요시간을 보여주고 있다. 여기에는 대부분 개체 분리를 위한 필터링에 할당되는데 앞으로 필터링 시간을 단축시킬 수 있는 알고리즘을 보완한다면 보다 고속이 요구되는 생산현장에도 적용이 가능할 것으로 판단된다.

그림 51 최종 프로그램 하드카피

### 8) 픽킹 알고리즘 개발

물체를 관찰하는 카메라 위치와 물체를 집어내는 픽킹 위치가 다른 경우 아래와 같은 연산시간을 사전에 계산하는 것이 필요하다.

- o 카메라 개체 좌표 획득
- o 픽킹 유니트 도달 시간
- o 픽킹 유니트 이송 시간
- o 픽킹 시간
- o 배출 시간
- o 원점 복귀 시간

총 6개의 시간을 계산하여야 이송중인 물체를 픽킹하는 것이 가능하였다. 아래의 화면 하드카피는 비젼 시스템 영역과 서보 제어 영역을 결합한 최종적인 픽킹 컨트롤러 프로그램으로 서보 이송을 위한 각종 상태 수치 영역을 포함하고 있다. 아래의 프로그램을 사용하여 실제 이송중인 감귤을 대상으로 픽킹 실험을 수행한 결과 개체가 분리되어 진입되는 경우는 대부분 픽킹이 가능하였으나 특히 좌우로 붙어오는 경우에는 픽킹에 일부 문제가 발생하였다. 이 경우 발생한 문제는 현재 픽킹 방식이 위로 들어올리는 상태에서 좌우로 이송하는 방식인데 좌우에 과실이 있을 경우 일정 높이 이상으로 들어올리지 않으면 바로 옆의 과실에 부딪쳐 흔들리는 현상을 보여주었다. 이에 대해서는 픽킹시 이송거리를 길게하여 충분히 높은 거리를 유지하여 좌우 이송시 걸리지 않게 하거나 일단 픽킹을 수행한후 이송은 다른 자세로 변환하여 좌우 과실에 부딪치지 않게 하는 것이 필요할 것으로 보인다.

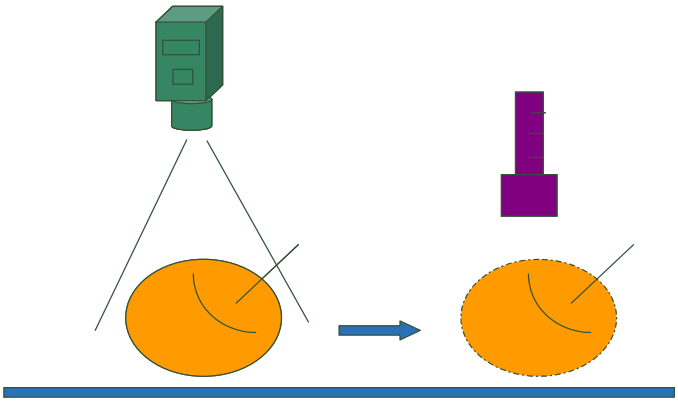


그림 52. 픽킹 알고리즘 개념도

그림 53. 픽킹 알고리즘을 구현한 프로그램 하드카피

# 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

- 본 과제에서 개발한 결점 인식 기술은 감귤/사과 이외의 다른 농산물에도 적용이 가능하여 다양한 종류의 선별기 개발에 도움이 될 것임

- 개체 추적기술은 결점과 배출 장치와 더불어 예비선별대용 결점과 선별기를 구성하는데 핵심기술이 될 것임

- 개체 추적 기술은 다양한 무작위 입력에 대한 개체 판정시 도움을 줄 수 있음

- 결점과 픽킹 장치는 일반적인 과실류 이재 장치로 응용이 가능할 것임. 현재 대형 선과장에서 요구하고 있는 각종 이재 장치에 본 과제에서 개발한 시스템이 보완 연구를 통하여 가능할 것으로 판단됨

- 결점과 배출 장치 또한 과실류 이재 장치 구성에 도움을 줄 것임

- 개발된 컨트롤러 보드는 매우 저렴한 가격으로 각종 농산물 컨트롤에 응용이 가능하며 현재에도 선별 현장에서 활용되고 있으며 개선 사항을 보완하고 있음

# 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

- 본 과제에서 개발하고자 하는 결점과 선별기는 상용화를 목적으로 현장에 보급을 주 목적으로 하며 과제가 종료된 시점에서는 아래와 같은 기술이 개발되어 다른 농산물의 선별 시스템에 적용이 가능해 질 것임.
  - · 개체 픽킹 장치
  - · 개체 추적 알고리즘
  - · 근적외선을 이용한 결점 판별 알고리즘

- 개발된 선별 시스템을 **기존의 선과장에 시범 설치**하여 작업 정도와 능률을 현장에서 평가받을 예정임. 현장의 평가 결과에서 미비된 점을 보완하여 상용화 가능한 시제품을 제작하려고 함.

- 일단 시제품이 완성되면 전국의 **산지유통처리시설**의 담당자, 각 군의 **농업기술센터** 담당자 및 행정기관을 대상으로 홍보자료 발송 및 개별 방문을 통해서 영업 활동을 진행함.

- 협동기관인 서울대에서 개발한 근적외선 결점 인식 알고리즘은 영상 분석 기술과 인공지능을 이용한 고급 기술이 적용됨으로써 관련 학회의 연구 수준을 향상시킴과 동시에 농산물 선별 기술을 한 차원 끌어올릴 것으로 예상됨.

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

## 제 7 장 참고문헌


1. 권준식, 김동욱, 김진태. 2002. 디지털 영상처리 이론 및 응용. 홍릉과학출판사.
2. 김영복, 이승규 등. 2001. 기계시각을 이용한 홍고추의 기하학적 및 물리적 특성 분석. 한국농업기계학회지 제26권 제3호 : 287~294.
3. 김일웅. 1989. 화상처리 시스템을 이용한 과일의 기하학적 특성 측정. 서울대학교 석사학위논문.
4. 김충련. 2000. SAS라는 통계상자. 데이터플러스.
5. 김태민. 1997. 영상처리를 이용한 현미의 온라인 품위판정 시스템 개발. 서울대학교 석사학위논문.
6. 김현룡. 1998. 분광 반사 특성을 이용한 대두의 외관품질 판별인자 구명. 서울대학교 석사학위논문.
7. 노상하, 이종환, 이승훈. 1992. 흑백영상처리장치를 이용한 과실 선별기 개발에 관한 연구. 한국농업기계학회지 17(4) : 354~369.
8. 배영환. 1992. 표면 반사율에 의한 사과의 색상 선별. 한국농업기계학회지 17(4) : 382~389.
9. 오택섭. 1998. 사회과학 데이터 분석법 SAS SPSS/PC+. 나남출판.
10. 양성봉. 2001. 레이저 구조광을 이용한 배의 형상인자 추출에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문.
11. 윤은택. 1999. 기계시각을 이용한 양파의 선별 알고리즘 개발. 서울대학교 석사학위 논문.
12. 이병선, 이은주 “영상처리 기법을 이용한 과일의 결점 검출 및 등급 분류” 한밭대 정보통신전문대학원 논문집 2004년 제2권제1호 pp123-128
13. 이상엽. 1998 기계시각을 이용한 박피 마늘 선별 알고리즘 개발. 서울대학교 석사 학위논문.
14. 이수희. 1994. 신경회로망을 이용한 과실 선별 알고리즘 개발에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문.

15. 이수희, 노상하. 1999. 기계시각을 이용한 후지사과의 형상선별에 관한 연구. 한국 농업기계학회지 4(1) : 569~574.
16. 이종환. 1992. 농산물 및 미립자의 기하학적 특성분석을 위한 컴퓨터 비젼 시스템. 서울대학교 박사학위논문.
17. 최연호, 권우현 “칼라 영상의 경계추적에 의한 윤곽선 인식이 적용된 귤 선별시스템 ”센서학회지 2002년 3월 제 11권 제2호 27-34
18. 황창선. 1996. 영상처리를 이용한 현미의 품위판별 알고리즘 개발. 서울대학교 석사 학위논문.
19. 황헌, 이충호. 1994. 버섯 전후면과 꼭지부 상태의 자동 인식. 한국농업기계학회지 19(2) ; 124~137.
20. Bittner, D. R. and K. H. Norris. 1968. Optical properties of selected fruits vs maturity. Trans. of ASAE 534~536.
21. B.S. Bennedsen ., D.L. Peterson, Amy Tabb "Identifying defects in images of rotating apples" Computers and Electronics in Agriculture 48 2005년 92-102
22. Daniel G. Fraser , Robert B. Jordan , Rainer Kunnemeyer, V. Andrew McGlone "Light distribution inside mandarin fruit during internal quality assessment by NIR spectroscopy" Postharvest Biology and Technology 27 2003년 185 196
23. Delwiche, M. J., M. R. Tang and J. W. Rumsey. 1987. Color and optical properties of clingstone peaches related to maturity. Trans. of ASAE 30(6) : 1873~1879.
24. Gonzalez, R. C. and R. E. Woods. 2002. Digital Image Processing. Sencond Edition. Prentice Hall.
25. Huirong XU, Yibin YING "Citrus fruit recognition using color image analysis" PROCEEDINGS- SPIE THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGI 2004 321-328
26. Kazuhiko, S., M. Tsuneharu and T. Ryuzo. 1998. Determination of meat

quality by texture analysis. Pattern Recognition Letters 19 : 1319~1324.

27. Miller, B. K. and M. J. Delwiche. 1989. A Color vision system for peach grading. Trans. of the ASAE 32(4) : 1484~1490.
28. Mohsenin. 1986. Electromagnetic radiation properties of foods and agricultural products. Gordon and breach science publishers.
29. Moini, S. and M. O'Brien. 1978. Tomato color measurement versus maturity. Trans. of ASAE 797~800.
30. N. Aleixos, J. Blasco, F. Navarron, E. Molto "Multispectral inspection of citrus in real-timeusing machine vision and digital signal processors " Computers and Electronics in Agriculture 33 (2002) 121-137
31. Sarkar, N. and R. R. Wolfe. 1985. Feature Extraction Technique for Sorting Tomatoes by Computer Vision. Trans. of the ASAE 28(3) : 970~979.
32. Shearer, S. A. and F. A. Payne. 1990. Color and Defect Sorting of Bell Peppers Using Machine Vision. Trans of the ASAE 33(6) : 2045~2050.