

GOVP1200202853

(19th)

634.136

L293A

최 종
연구보고서

수출용 배의 부가가치 향상을 위한 선별·포장 시스템 개발에 관한 연구

Development of Sorting and Packaging System for
Improving the Commodity Value of Korean Pear
for Export

연구기관

서울대학교

충남대학교

(주) 경우시스테크

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “수출용 배의 부가가치 향상을 위한 선별·포장 시스템 개발에 관한 연구” 과제 (세부과제 : “온라인 품위판정장치 개발”, “적정 포장설계 및 표준화”, “자유 이송접시형 선별시스템 및 자동화장치 개발”)의 최종 보고서로 제출합니다.

2001년 12월 18일

주관연구기관명 : 서울대학교
총괄연구책임자 : 노상하
세부연구책임자 : 노상하
연 구 원 : 이수희
연 구 원 : 류동수
협동연구기관명 : 충남대학교
협동연구책임자 : 김만수
연 구 원 : 황용수
연 구 원 : 박종민
연 구 원 : 정현모
위탁연구기관명 : (주)경우시스테크
위탁연구책임자 : 장세권
연 구 원 : 장용준

요 약 문

I. 제 목

수출용 배의 부가가치 향상을 위한 선별·포장 시스템 개발에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

우리나라에서 수출되는 배의 상품가치가 선별 및 수송과정에서 발생하는 명, 찰과상, 압상 등에 의해 크게 떨어지는 것으로 보고되고 있다. 이는 배의 과육이 연약할 뿐만 아니라 기존의 선별 및 포장 방법에 기인하는 것으로 조사되고 있다. 또한 최근에 과실의 당도, 산도, 성숙도, 내부 결함 등을 선별하는 비파괴 선별기술이 일본에서 개발되어 사용되고 있으며, 이와 같은 기술을 이용하여 배를 선별할 경우 수출증대가 가능할 것으로 확신되고 있다.

본 연구의 궁극적인 목적은 수출용 배를 크기, 모양, 색상, 당도, 내부결함 등의 품질인자별로 선별할 수 있는 기술을 개발하고 나아가서 선별, 포장 및 수송과정에서 발생하는 기계적인 상처를 최소화할 수 있는 한국형 선별 및 포장 시스템을 개발함으로써 배의 수확 후 손실 감소, 수출용 배의 품질 향상, 수출량 증대에 기여하는 데 있다. 이와 같은 목적을 효과적으로 달성하기 위해 본 연구를 세 개의 세부과제 즉, “온라인 품질 판정 장치 개발(서울대)”, “적정 포장 설계 및 표준화(충남대학교)”, 및 “자유 이송 접시형 선별 시스템 및 자동화 장치 개발((주)경우시스템)로 구분하여 연구를 수행하였다.

본 연구의 구체적인 목적은 1) 자유이동 접시를 이용하는 새로운 선별시스템의 개발, 2) 컴퓨터 영상처리 기술 및 가시/근적외 분광분석법을 이용한 온라인 품질 등급화 기술 개발 및 3) 우리나라 배의 물리적 특성을 근거로 하는 적정 골판지 상자의 설계 및 표준화에 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

각 세부 연구과제별 주요 연구 내용 및 범위를 요약하면 다음과 같다.

[온라인 품위 판정 장치 개발(서울대학교)]

1. 외부품질 선별 알고리즘 개발

배를 크기, 모양, 색상, 표면 결함 등 외관품질 인자별로 선별할 수 있는 선별 장치를 개발하기 위해 다음과 같은 연구를 수행한다.

가. 품질 선별 장치의 설계에 필요한 기초 자료로 배의 과고, 과경, 무게, 비중,

당함량, 산함량, 색상 등의 물리적 특성을 측정 또는 수집한다.

나. VIS/NIR 분광학적 특성과 물리적 특성과의 상관관계를 구명한다.

다. 일차적으로 CCD 컬러 카메라, 프레임 그레버, 조명장치 등으로 구성되는 기계시각 장치를 구축하여 외관 선별 알고리즘을 개발한다.

라. 배의 광학적 특성을 조사하고, 표면 결함 검출을 위한 유효 파장대역 및 색상 판별을 위한 색인자를 구명한다.

마. 배의 외관 품질을 검사할 수 있는 다중 기계시각 시스템을 구축한다.

바. 배의 크기, 표면 결함, 색상 및 모양을 선별할 수 있는 온라인 선별 알고리즘을 개발한다.

2. 내부품질 선별 알고리즘 개발

배를 당도, 내부결함 등 내부품질 인자별로 선별할 수 있는 비파괴 선별 기술을 개발하기 위해 다음과 같은 연구를 수행한다.

가. 정밀급 분광광도계(파장대역: 400~2500 nm)를 이용하여 반사스펙트럼을 측정하고, 이들 스펙트럼 데이터에 의한 배의 고형분함량(일명 당도) 측정 가능성을 구명한다.

나. 실시간 분광기, 광섬유 프로브, 조명광 및 누광차단용 샘플 홀드 등으로 구성되는 비파괴 투과스펙트럼 측정 장치를 구축한다.

다. 실시간으로 측정된 투과스펙트럼 데이터의 전처리 알고리즘을 개발한다.

라. 당도 예측 및 내부 부패, 바람들이 등을 검출하는 신뢰성이 높은 모델을 개발한다.

마. 등급신호의 입출력을 위한 컴퓨터 인터페이스를 개발한다.

[적정 포장설계 및 표준화(충남대학교)]

1. 배의 진동 및 충격특성 구명

가. 배의 공진주파수를 계측 및 분석한다.

나. 충격실험에 의한 배의 허용낙하높이/를 구명한다.

다. 충격실험에 의한 배의 손상에측 모형을 개발한다.

2. 배 포장상자 및 포장재의 물성구명

가. 현행 수출용 배 포장상자 및 완충재의 실태를 분석한다.

나. 포장재의 완충특성 측정 시스템을 설계 및 제작한다.

다. 배 포장상자 및 포장재의 강도, 완충계수, 변형특성 및 충격에너지를 분석한다.

3. 배 포장상자 및 유니트로드 시스템의 표준화

가. 강도 및 적재효율측면에서의 유니트로드 시스템의 표준화를 제시한다.

나. 배 포장상자의 강도 및 치수에 대한 표준화를 제시한다.

다. 배 포장상자의 진동 및 낙하특성을 계측 및 분석한다.

[자유이송접시형 선별시스템 및 자동화 장치 개발((주)경우시스템)]

배 선별과정에 기계적인 상처가 전혀 발생되지 않는 자유 이동 접시형 선별 시스템을 개발하기 위해 다음과 같은 연구를 수행한다.

1. 적절한 선별공정 설정을 위해 현장 방문 및 문헌 자료를 이용하여 국내외 배 선별·포장 실태를 분석한다.
2. 수출용 배의 선별에 적합한 자유 이동 접시형 선별시스템의 배치도를 설계한다.
3. 자유 이동 접시형 선별시스템의 접시 이동 및 배출 장치를 설계 및 제작하고, 그들의 기능을 검증한다.
4. 선별 시스템 자동화 장치 및 작동 소프트웨어를 개발한다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

[온라인 품위 판정 장치 개발(서울대학교)]

1. 외부품질 선별 알고리즘 개발

가. 약 6개월 정도 저장된 신고 배의 과경, 과고, 비중, 고형분 함량(일명 당함량) 및 산함량을 측정된 결과 이들은 각각 89~127 mm, 75~110 mm, 0.814~1.026, 9.7~14.5 %brix 및 0.0042~0.0278 % 였다. 신고 배의 당함량과 색상값 G, L*, a* and b* 사이의 상관계수는 0.28이하로 거의 상관이 없었다.

나. 신고 배의 색상 특성을 분석한 결과 외관 등급이 좋을수록 L*, ΔE(색차), S(채도) 및 I(Intensity) 값이 증가하였다. 이는 물리적으로는 색상이 보다 밝고 윤이 남을 의미하며, 일반 통엽과 일치하였다.

다. 과장대역 400~1100 nm에서 신고 배의 표면 결함부위의 흡광도를 분석한 결과 바람들이 726 nm, 일소 720 nm, 탄저병 714 nm 및 기타 병반점은 746 nm에서 흡광도의 차이가 유의하였으며, “나”항에 제시된 컬러 특성을 이용할 경우 바람들이를 제외한 결점검출이 가능한 것으로 판단되었다.

라. 체인코딩에 의해 추출된 배 윤곽의 반경 프로파일을 이용하여 배의 평균 과경 측정 및 크기 선별 알고리즘을 개발하였다. 그 결과 측정오차는 1 mm이하 였다.

마. 결점의 크기와 개수를 측정하기 위하여 연결 레이블링에 의한 결점 선별 알고리즘을 개발하였으며, 컴퓨터에서 온라인으로 작동할 수 있도록 프로그램을 코딩하였다.

바. 배의 주요 외관품질 인자인 색, 결점 및 형상을 검사할 목적으로 한 대의

CCD 컬러 카메라, 6대의 흑백 CCD 카메라, 6개의 간섭필터, 6개의 반 투과거울, 2대의 영상분할기 및 PC를 이용하여 다중영상 장치를 구축하였으며, 온라인 선별이 가능한 컴퓨터 프로그램을 개발하였다.

사. 다중영상 장치에서는 검출이 불가능한 배 꼭지 주변의 돌출부를 감지하기 위해 별도로 레이저 구조광을 이용한 영상장치를 구축하였다. 이 장치를 이용하여 배의 형상 판별실험을 수행한 결과 세션화 영상의 국소 미분값이 형상판별에 가장 유의하였으며, 판별 정확도는 92.5%였다.

아. 색, 결점 및 형상을 동시에 판정할 수 있는 온라인 외관품질판정 시스템 및 소프트웨어를 개발하였으며 온라인 선별 실험결과 각각의 선별인자에 대해서 88.8%, 80.5%, 91.6%의 정확도를 보여주었다.

2. 내부품질 선별 알고리즘 개발

가. 배의 당도를 비파괴적으로 측정할 수 있는지를 알아보기 위해 정밀급 분광광도계로 반사스펙트럼을 측정하여 당도를 예측한 결과 표준예측오차(SEP)가 0.66~1.00 %brix로 나타났다.

나. 배를 대상으로 조명광, 광섬유 프로브, 실시간 분광기(500~1100nm), 누광을 차단할 수 있는 시료 홀더, PC 등으로 구성되는 실시간 투과 스펙트럼을 측정할 수 있는 장치를 구축하였다.

다. 투과스펙트럼을 이용하여 배의 당도, 내부부패 및 바람들이 등을 판별할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다. 소프트웨어는 당도를 판정하는 정량분석 소프트웨어와 내부결함 유무를 판별하는 정성분석 소프트웨어로 구성하였다.

라. 실시간으로 측정된 스펙트럼에 포함되어 있는 노이즈 제거, 과실의 크기나 물성에 기인하는 투과경로의 차이에 따른 산란보정, 미세정보의 강조 등을 위해, 평활화, 미분, MSC, SNV, UAN, OSC 등을 이용한 전처리 프로그램을 개발하고, PLS방법을 이용하여 최적 당도 예측 회귀모델을 구하는 소프트웨어를 개발하였다.

마. 투과 스펙트럼의 강도에 영향을 주는 인자에는 광원의 강도, 시료의 크기, 분광기의 슬릿 사이즈, 스펙트럼 적분시간, 시료의 이송속도 등이 있으며, 전처리 방법은 당도예측에 큰 영향을 주는 것으로 판명되었다.

바. 정성분석기법 중에서 SIMCA법을 이용하여 내부결함에 의한 스펙트럼, 스펙트럼 측정시에 발생하는 누광 또는 비정상 스펙트럼을 구분하는 소프트웨어를 개발하였으며, 이를 당도 예측 소프트웨어와 결합하였다.

사. 선광원과 점광원으로 구성되는 조명장치를 구성하여 이들 광원의 종류 및 배치가 투과스펙트럼의 변이에 주는 영향을 분석한 결과 선광원이 보다 안정적인 스펙트럼을 제공하는 것으로 나타났다.

아. 최종적으로 본 과제에서 개발된 내부품질 판별소프트웨어를 위탁과제(4장)에서 개발된 온라인 선별시스템의 구동소프트웨어와 통합하고, 최종적으로 판별

성능시험을 수행하였다. 그 결과 초당 2개 정도의 선별속도에서 당도 예측은 SEP=0.53 %brix, R2=0.528의 정밀도를 보였으며, 내부결합 판별율은 97%정도를 정확도를 보였다. 배의 일반적인 당도범위가 9~15 %brix정도임을 감안할 때 당도를 3등급으로 선별이 가능할 것으로 판단된다.

자. 같은 품종이라도 생산지역, 저장기간 등에 따라 당도예측 결과에 차이가 있는 것으로 관찰되었다. 따라서 시료의 품종, 생산지역, 저장기간 등이 당도 예측에 미치는 영향을 구명하고 나아가서 다년간에 걸쳐 축적된 스펙트럼 데이터를 이용하여 범용적으로 이용할 수 있는 당도예측 모델을 개발할 수 있는 지에 대한 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

[적정 포장설계 및 표준화(충남대학교)]

1. 배의 진동 및 충격특성

가. 배의 진동특성

1) 배의 진동특성을 분석하였던 결과 배의 공진주파수 범위는 53~102Hz이었고 공진점에서의 G(rms)은 1.08~2.48G이었다. G(rms) 값들은 배의 공진주파수와 선형적인 관계가 있었으며, 배의 공진주파수는 배의 크기가 증가함에 따라 곡선적으로 감소하였다. 배의 공진주파수와 G(rms) 값들은 생물체항복점 및 극한 변형량 등의 기계적 특성들과 약간의 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

2) 본 연구에서 측정된 배의 공진주파수는 평탄한 도로상의 수송 트럭에서 발생될 수 있는 범위의 주파수와는 차이가 있었다. 그러나, 노면이 평탄하지 않은 도로상에서 배를 운송할때나, 포장시스템이 잘못 설계되는 경우에는 평탄한 노면 상에서 운송되는 경우라도 배의 공진주파수와 유사한 주파수가 트럭에서 발생될 수 있으므로 포장시스템의 설계에 세심한 주의를 기울일 필요가 있다.

나. 배의 충격특성

1) 충격 시 배의 최대변형량에 대하여 이론치와 실측치를 비교 분석하였던 결과 통계적인 유의차가 있었으므로 이론적인 방법으로 최대변형량을 추정하는 것은 실제 현상과는 차이가 있는 것으로 판단되었다.

2) 배에 손상을 입히지 않는 낙하높이는 이론적 분석결과 약 1cm에서 약 4cm로 나타났으며 충격실험결과를 고려한 경우에는 약 1cm에서 약 6cm로 추정되었다. 낙하높이는 배의 물성에 따라 차이가 크므로 낙하높이를 추정할 때는 물성을 충분히 고려하여야 할 것이다.

3) 충격에 의한 배 명에 영향을 미치는 인자들은 낙하높이, 배의 질량, 속도변화, 최고충격력 등인 것으로 나타났으며, 배의 질량, 낙하높이, 최고충격력, 속도변화 등 4개의 인자들을 독립변수로 하는 배의 명 직경 예측모형을 개발하였다.

2. 배 포장상자 및 완충재의 물성

가. 수출용 배 포장상자 및 포장방법의 실태조사

1) 선과장에서부터 최종목적지까지 일관협동작업은 이루어지고 있으나 팠리트를 사용한 유니트로드화 되어 있지 않아 컨테이너 내에서의 상자적재 및 하역시에는 인력에 의존하고 있는 실정임. 따라서 선과장에서부터 팠리트를 사용한 유니트로드화 하므로써 적재 및 하역작업의 기계화가 절실히 요망되었다.

2) 선진국에서는 포장상자에 양면골판지(SW) 사용이 보편화되어 있으나 우리나라의 경우 포장중량에 관계없이 일률적으로 이중양면골판지(DW)가 사용되고 있다. 이것은 포장중량에 비하여 과대포장을 하므로써 포장비용을 증가시키게 된다. 따라서 포장중량에 따른 강도, 치수 등 포장재의 표준화가 시급하다.

3) 선과장에서부터 최종목적지까지 저온유통 과정을 감안할 때 상자내부 및 컨테이너 내의 원활한 냉기소통을 위하여 통기성 골판지 상자의 사용과 적정 팠리트 패턴이 개발되어야 한다.

나. 포장재의 완충시험장치 제작

농산물 포장재의 완충성을 평가할 수 있는 장치에는 정적시험장치와 동적시험장치가 있으나 완충성 분석을 위해서는 실제현상과 유사한 동적완충시험 방법이 일반적으로 사용된다. 본 연구에서는 박판재료부터 후판재료까지 그 적용범위가 넓고, 여러 형태의 충격흡수특성을 분석할 수 있는 저 비용의 다용도 동적완충시험기를 개발하였다.

다. 포장재의 완충특성

골의 형태, 50%와 90%의 상대습도, 그리고 15, 30 및 45cm의 낙하높이에 따른 골판지의 완충특성을 분석하였다. 양면골판지(SW) 및 이중양면골판지(DW)의 완충특성은 낙하높이, 낙하중추의 무게, 그리고 상대습도가 높을수록 감소하였으며, 같은 조건에서 이중양면골판지(DW)의 완충성이 양면골판지(SW)의 완충성보다 더 우수하게 나타났다.

3. 배 포장상자 및 유니트로드 시스템의 표준화

가. 유니트로드 시스템의 표준화

현재 수출용 배의 경우에는 컨테이너에 적재되어, 트럭에 의하여 항만시설까지 운송된 후에 해상경로를 이용하여 동남아국가, 미국, 캐나다 등으로 수출되고 있다. 지금까지의 문제점은 냉동 컨테이너에 배 포장상자를 적재할 경우 적재효율만을 고려하여 팠리트를 사용하지 않기 때문에 적재 및 하역시에 노임의 상승과 충격에 의한 손상등의 문제가 발생되고 있다. 본 연구에서는 국가 표준규격이며,

해상용 컨테이너에 적합한 T₁₁형 펠리트(1100×1100)를 표준규격으로 하여 수출용 배의 골판지 상자의 강도 및 치수 설계를 하였다.

나. 배 골판지 포장상자의 강도 및 치수 표준화

농산물표준출하규격의 압축강도를 만족시키면서 최저의 상자가격과 표준펠리트의 적재효율을 최대로 할 수 있는 수출용 배의 골판지 포장상자에 대한 강도 및 치수를 포장중량별로 설계하였다.

다. 배 골판지 포장상자의 진동실험

1) 배 골판지 상자를 4단으로 적재하여 진동실험 하였던 결과, 피크주파수는 최하단에서 약 19Hz이었고 최상단은 약 15Hz로 위에 있는 상자일수록 피크주파수는 감소하였으나 피크가속도는 이와는 반대로 최하단에서 약 2.3G이었고 최상단에서는 약 8.0G로 나타났다.

2) 진동에 의한 손상정도는 최하단의 과실에서 배의 손상이 다른단에 비하여 상대적으로 심한 것으로 분석되었다.

라. 배 골판지 포장상자의 낙하실험

배 골판지 포장상자의 충격부위별 충격력을 분석하였던 결과, 자유낙하시 충격 접촉면적이 제일 큰 아랫면의 충격력이 제일 크게 예측됨을 알 수가 있었다. 또한 낙하높이가 높아짐에 따라 손상정도는 심하였으며 낙하높이가 낮은 25cm의 경우에도 진동에 의한 손상보다 손상지수가 더욱 크게 나타났다.

[자유이송접시형 선별시스템 및 자동화 장치 개발((주)경우시스템)]

1. 기존의 수출용 배의 선별공정

우리나라에서 사용되고 있는 수출용 배의 선별공정은 봉지제거, 꼭지절단, 공기세척에 의한 응애 제거과정을 거친 후 스티로폼 망을 이용한 개체 포장, 전자식 중량선별 및 포장 등으로 구성되는 것으로 조사되었다. 즉, 선별공정이 공기세척과 중량선별과정으로 2원화 되어 있으며, 중량선별 후에 배출되는 과정에서 낙하 및 추돌에 의한 상처발생을 방지하기 위해 중량선별 전에 각 개체를 망 포장하는 것으로 조사되었다.

2. 자유이동 접시형 선별시스템 설계

가. 기존 선별시스템에서 발생하는 상처발생을 근본적으로 방지하기 위하여 시료를 담은 접시가 컨베이어에 의해 이송되면서 선별되는 자유이동접시형 선별시스템을 채택하였다.

나. 선별공정은 인력에 의한 시료공급, 시료가 담긴 접시의 자동 공급, 공기세척, 외관선별, 내부품질 선별, 중량선별, 등급별 분류, 자동배출, 상자 담기, 빈접시 회송 등으로 구성하고, 가능하면 단위 공정의 모듈화가 가능하도록 시스템을 설계하였다.

다. 일차적으로 체인컨베이어+캐리어에 의한 시료접시 이송 방식을 설계/제작하였으나 시스템의 작동시험 결과 시료접시의 자동배출이 원활하지 못하여 2차적으로 평벨트 컨베이어에 의해 접시가 이송되는 시스템으로 설계를 변경하였다. 이 시스템은 1단계에서 공기세척, 외관 선별 및 내부품질 판별, 2단계에서 중량 측정, 3단계에서 시료접시의 등급별 분류, 4단계에서 시료접시의 등급별 배출, 5단계에서 빈 접시 회송 등 크게 5단계로 구성하였으며, 배뿐만 아니라 사과, 복숭아 그리고 크기가 큰 멜론 등의 선별이 가능하도록 자유이송 접시 및 시스템을 설계하였다.

3. 시스템 구동 콘트롤러 및 소프트웨어 개발

최종적으로 개발된 시스템의 구동장치 및 소프트웨어는 다음과 같다.

가. 개발된 시스템은 PC와 PLC를 이용한 On-off 제어방식에 의해 구동되도록 하였다. 주 컴퓨터에서 외관품질, 내부품질 및 중량을 판별/측정하여 해당 시료접시의 등급신호가 PLC로 전달되면 PLC에서는 시료접시를 감지하여 등급별 분류용 전자기 솔레노이드를 작동하도록 하였다. 또한 평벨트를 구동하는 8대의 전동기가 PLC에 의해 순차제어가 가능하도록 PLC프로그램을 작성하였다.

나. 이 시스템에서는 시료접시가 부정간격으로 공급되어 등급별로 분류되어야 하기 때문에 시료접시를 등급별로 분류하기 위한 솔레노이드 작동 알고리즘을 개발하고, PLC에 내장하였다.

다. 공기세척 노즐은 이송되는 시료접시를 감지하는 터치센서를 부착하여 독립적으로 작동되도록 하였다.

라. 서울대에서 개발한 외관 및 내부품질 판별 소프트웨어를 시스템 구동소프트웨어와 통합하고 시스템 구동 및 제품관리 소프트웨어를 완성하였다.

4. 시스템 작동 및 성능

가. 시스템을 구성하는 각종 단위장치의 구동은 물론 시스템의 기동 및 정지시에 평벨트 구동전동기의 순차제어가 원활하였다.

나. 선별 능력은 초당 2개정도 였으며, 시료 무게 측정의 경우 표준측정 오차가 18g으로 상대적으로 크게 나타났다. 이는 시스템 설계시에 멜론선별이 가능하도록 시료접시의 직경을 220 mm로 상대적으로 크게하고, 무게측정 한계를 5 kg으로 하였기 때문인 것으로 판단된다. 이 시스템의 경우 무게를 측정하는 대신 기계식각 장치에 의해 크기를 측정할 수도 있다.

5. 개발된 시스템의 실용화 가능성

가. 본 연구에서 개발된 당도판별장치는 기존의 선별기 제작업체와 컨소시움을 구성하여 당해연도(2001년)에 3개소에 공급하였으며, 현재 현장에서 발생하는 문제점을 파악하고 있다.

나. 본 연구에서 개발된 자유 이동 접시형 선별시스템은 배뿐만 아니라 사과, 복숭아, 멜론 등 구형과실의 선별에 이용될 수 있다. 이를 위해 각 품목별 내부 품질 판별을 위한 회귀모델(검량식)의 개발이 필요하다.

SUMMARY

1. TITLE

Development of Sorting and Packaging System for Improving the Commodity Value of Korean Pear for Export

II. Purpose and Background of this Study

It has been claimed that commodity values of the Korean pear for export are significantly devaluated by the physical damages such as bruising, scratching, compression damage which are occurred by the relatively soft skin of the Korean pear in sorting and transporting stages. Also, recently, non-destructive technology for measurement of internal quality factors such as sugar and acid contents, maturity, internal defects, etc. has been newly developed and commercialized in Japan, and it has been proposed that the export of pear could be accelerated by sorting the pears with the new non-destructive technology.

The ultimate goal of this study was in developing a Korean-style Sorting and Packaging System which could grade the pear for export by internal quality such as sugar content, internal defects and could minimize the physical damage occurring in sorting, packaging, and transportation processes. To pursue this goal efficiently, the research subject was divided into three sub-subjects, namely, "Development of on-line grading system(Seoul National University)", "Design of optimum packaging and its standardization (Chungnam National University)" and "Development of free-tray-type sorting and automation system(Kyeung Woo Sistec Co. Ltd)".

The specific aims of this research were 1) to develop a new sorting system by adopting the free tray, 2) to develop on-line quality grading system by using computer-based image processing and VIS/NIR spectroscopic methods, and 3) to design an optimum corrugated container by analyzing the physical properties of Korean pears for the purpose of reduction of post-harvest loss, improvement of commodity value and expansion of export of Korean pear etc.

III. Research Content and Scope

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

[Development of on-line grading system(Seoul National University)]

1. Development of sorting algorithms for appearance quality factors

Following researches were conducted so that pears could be sorted by appearance quality factors such as size, shape, color, surface defects,

- 1) Measurement and collection of physical property data of Korean pears such as height, diameter, weight, gravity, sugar content, acid content, color, etc. as basic materials for the grading system design
- 2) Identification of correlations between the VIS/NIR spectroscopic data and physical property data
- 3) Development of primary sorting algorithm by using machine vision system consisting of CCD color camera, frame grabber, lighting chamber, etc.
- 4) Identification of significant wavelengths for detection of surface defects and determination of the color factors for the efficient color sorting
- 5) Construction of multichannel machine vision system for inspection of appearance quality factors
- 6) Development of algorithms for on-line sorting by size, surface defects, color and shape

2. Development of sorting algorithms for internal quality factors

In order to sort the pears by internal qualities such as sugar content, internal defects, etc., following researches were conducted.

- 1) Feasibility study to predict the soluble solid content(SSC) of intact pear with spectral reflectance data measured with a precision spectrophotometer covering the wavelength range of 400~2500 nm
- 2) Construction of a device for spectral transmittance measurement of intact pear which is composed of a real time spectrometer, optical fiber probe, light source, etc.
- 3) Development of a software for preprocessing of the real time spectrum data
- 4) Development of robust models to predict sugar content and to detect internal breakdown

- 5) Development of computer interface for input and output of the grade signal

[Design of optimum packaging and its standardization (Chungnam National University)]

1. Vibration and impact properties of the pears
 - 1) To measure and analyze the resonant frequency of the pears
 - 2) To estimate the allowable drop height for the pears by impact tests
 - 3) To develop the prediction model of bruise for the pears by impact tests
 - 4) To establish damage criteria of the pears under condition of vibration and impact

2. Physical properties of packaging boxes and cushioning materials for the pears
 - 1) To survey on the actual condition of the packaging box and packaging method for exported pears
 - 2) To design and develop the measuring system of cushioning properties for packaging materials
 - 3) To analyze the strength of packaging boxes and cushioning materials for the pears
 - 4) To analyze the cushion factor of packaging boxes and cushioning materials for the pears
 - 5) To analyze the strain intensity of packaging boxes and cushioning materials for the pears
 - 6) To analyze the impact energy of packaging boxes and cushioning materials for the pears

3. Standardization of the packaging box and unit load system for the pears
 - 1) To introduce the standardization of unit load system on the basis of the strength of the boxes and stacking efficiency
 - 2) To design the strength and dimension of packaging boxes for the pears
 - 3) To investigate the vibration and drop properties of packaging boxes for the pears

[Development of free-tray-type sorting and automatic control system (Kyeung - Woo Sistec Co. Ltd)]

In order to develop a free tray-type sorting system in which any mechanical damages are not occurred during the sorting processes, following researches are conducted.

1. Analysis of the conventional pear-sorting system for setting up a proper sorting processes
2. Design of the system lay-out for the free-tray-type sorter which is appropriate for the export of pear
3. Design, construction and functional test of the conveying and discharging units of the free-tray-type sorter
4. Development of software for system control and operation

IV. Major Results and Suggestions

[Development of on-line grading system(Seoul National University)]

1. Development of sorting algorithms for appearance quality factors

1) Diameter, height, specific gravity, SSC and acid content of "Shingo" pear which were stored for about six months were 89~127 mm, 75~110 mm, 0.814~1.026, 9.7~13.5 %brix, and 0.0042~0.0278 %, respectively. Correlation coefficients between the SSC and color values of G , L^* , a^* , and b^* of "Shingo" pear were less than 0.28.

2) Analysis of the color characteristics of the "Shingo" pear indicated that the better grade presented higher values in L^* , ΔE , S , and I , which means brighter or glossier physically.

3) From the spectral absorbance analysis of defect parts of "Shingo" pear in the wavelength range of 400 to 1100 nm, significant wavelengths to detect sun burn, anthracnose and other disease spots were found to be 720 nm, 714 nm and 746 nm, respectively. Also, those spots could be detected by the color values described in item 2.

4) An algorithm to measure the average fruit diameter was developed by using the radius profile of the edge image obtained from chain coding, which showed less than 1 mm in measurement error.

5) An algorithm to measure the size and number of defects was developed by the connectivity-labeling method and it was coded for on-line detection of defects.

6) A multi-vision system composed of one CCD color and 6 B/W cameras, 6 band pass filters, 6 half mirrors, 2 units of multi-flexer and a PC was constructed for the purpose of inspection of the pears by the appearance quality factors of color, defects and shape, and computer program was developed for on-line sorting.

7) A vision system using the structured laser light was constructed for detection of the protuberance around the stem of the pear which could not be detected by the multi-vision system. On-line test with this system showed that local differentiation of the thinned profiles of the structured light image was a significant factor in shape classification, indicating classification accuracy of 92.5%.

8) An integrated on-line appearance sorting system and software were constructed and tested at moving state. The sorting accuracies of the color, defectives and shape were 88.8%, 80.5% and 91.6% respectively.

2. Development of sorting algorithms for internal quality factors

1) It was found that SSC of intact pear could be predicted with reflectance spectrum data which were measured with precision spectrophotometer even though SEP range was of 0.66 to 1.00 %brix.

2) A device for the measurement of spectral transmittance of intact pear was constructed with a real time spectrometer having high sensitivity CCD line detector in the wavelength range of 500~1100 nm, optical fiber probe, light sources, PC and sample holder specially designed for blocking light leakage.

3) Softwares were developed to measure the SSC and to detect internal breakdown of intact pears with the transmittance spectrum data measured with the device developed in this study.

4) Preprocessing algorithms consisting of spectrum smoothing, Multiplicative Scattering Correction(MSC), Standard Normal Variate(SNV), Unit Area Normalization(UAN), Sensor-light Normalization(SLN), Orthogonal Scattering Correction(OSC), differentiation, etc were developed to reduce the noise included in the real time spectrum data, to compensate the scattering effect caused by the difference in transmittance path length due to the physical characteristics such as size, firmness, ripeness, etc and to enhance the weak information embedded in the spectrum. And a software including the preprocessing was developed for determining of a robust PLS regression model to predict the SSC.

5) It was observed that factors affecting the intensity of the transmittance spectrum were the radiation strength and configuration of light sources, size of pear sample, slit size of spectrometer, integration time for spectrum measurement, conveying speed of the sample, etc. and prediction of SSC was significantly influenced by the preprocessing of the raw spectrum data.

6) A software to detect the internal breakdown and the abnormal spectra caused by light leakage was developed with SIMCA method which is one of algorithms for qualitative analysis.

7) Comparison test of the line-type and bulb-type light sources for the repeatability of transmittance spectrum measurement indicated that the former gave more stable spectrum data regardless of the sample orientation fed to the on-line sorter.

8) The software for internal quality assesment was integrated with the final on-line sorting system developed by Kyeoung-Woo Systec(refer to Chapter 4) and performance of the algorithm was tested with the pear samples having the SSC range of 9.7 to 14.5 %brix. The result showed that SSC of the pear could be predicted with SEP of 0.53 %brix and R^2 of 0.528 and accuracy of detecting the internal breakdown was 97 %.

9) Further study is suggested to identify the effect of production area, variety, and storage period on calibration result of SSC and to see if a general purpose calibration model could be developed or not with the spectrum data accumulated for several years.

[Design of optimum packaging and its standardization (Chungnam National University)]

1. Vibration and impact properties of the pears

1) Vibration properties of the pears

(1) The resonant frequency(RF) of the pear ranged from 53 to 102Hz and the amplitude at resonance was between 1.08 and 2.48G(RMS), and these values were linearly correlated with resonant frequency of the pear. Resonant frequency of the pear decreased curvilinearly with the increase of size of the fruit. There was a tendency that resonant frequency and G(RMS) value of the pear were slightly affected by mechanical properties such as bioyield deformation(BD) and rupture deformation(RD).

(2) The resonant frequencies of the pear from the results of this study

were farther away from the frequency range of transport truck, which was usually encountered over smooth road. However, when transporting fruits over rough road, it is desirable that packaging system has to be so designed that resonant frequency will not occur between the fruit and the truck bed to reduce vibration damaged fruit.

2) Impact properties of the pears

(1) Estimation of the maximum impact deformation on the pear by using the theoretical method seemed to be very difficult since the statistical analysis showed a significant difference between the theoretical and the measured value of the maximum impact deformation, and the maximum impact deformation was underestimated by theoretical method for all levels of drop height in this study.

(2) The allowable drop height calculated by a theoretical method was in the range from 1 to 4cm, meanwhile, the estimated drop height considering the result of the impact test was in the range from 1 to 6cm. Since the physical properties of fruits affected significantly the allowable drop height, the physical properties should be considered when estimating the allowable drop height.

(3) The highly significant factors effecting on the bruise of the pear were mass of a pear, drop height, peak force, and velocity change during impact. A prediction model of bruise diameter on pears by impact was developed as a function of four independent variables such as mass of a pear, drop height, peak force, and velocity change.

2. Physical properties of the packaging boxes and cushioning materials for the pears

1) Field survey on the actual situation of the packaging box and packaging method for exported pears

(1) A systematic operation has been established from sorting and packing line to final destination but loading and unloading operation of the boxes in a container was still carried out manually because unit load system using pallet has not been established. Mechanization of the loading and unloading operation using pallet from the packing house is really demanded.

(2) Single wall corrugated fiberboard has generally been used for packaging box in the developed countries but double wall corrugated fiberboard has been

used regardless of packaging weight in Korea. It increases packaging cost because of excess packaging, therefore standardization of the strength and dimension of packaging materials according to the packaging weight is urgently needed.

(3) Permeable corrugated fiberboard boxes should be used and the optimized pallet pattern should be developed to circulate cooling air in the container and boxes in order to maintain the quality and freshness of the pears from the packing house to the final destination.

2) Development of measuring system for cushioning properties of package cushioning Materials

For the cushioning performance analysis, the dynamic cushioning test, which is the similar situation to actual distribution system, is generally employed. A low cost multi-purpose impact tester which can test a wide range of materials from thin to thick packaging materials was developed in this study, and this system can also be used to analyze the shock absorbing characteristics of materials in various aspects.

3) Cushioning properties of the package cushioning materials

The cushioning properties of corrugated fiberboard according to the flute-type, relative humidity of 50 and 90% and drop heights of 15, 30 and 45cm were analyzed. The cushioning properties of corrugated fiberboard(Double wall and single wall) decreased according to the increase of the drop height of drop-weight and the relative humidity. The cushioning properties of the double wall corrugated fiberboard(DW) were better than those of the single wall corrugated fiberboard(SW) at the same test conditions.

3. Standardization of the packaging box and unit load system for the pears

1) Standardization of unit load system

The exported pears are loaded up a container, transported to a harbor by truck, and exported to the foreign countries. Until now, the problem is not use of the pallet when loading and unloading because staking efficiency is only considered when loading pear boxes in a container. The strength and

dimension of corrugated fiberboard boxes for pears are designed in this study, on the basis of T₁₁(1100×1100) type pallet which has been designated as the national standard pallet.

2) Standardization of the strength and dimension of the corrugated fiberboard boxes for the pears

The strength and dimension of the corrugated fiberboard boxes for the pears were designed according to the unit packaging weight, and on the taking consideration into minimizing the box cost and maximizing the stacking efficiency on the pallet.

3) Vibration test of the corrugated fiberboard packaging box for the pears

(1) Vibration test for the four tier stacked boxes was conducted. The peak frequency decreased with the increase of stacking tier, and about 19Hz and 15Hz were observed at the bottom and top tier respectively, however, the peak acceleration increased with the stacking tier, 2.3G at the bottom tier and 8.0G at the top tier.

(2) Vibration damage studies showed that the pears at the bottom tier were a little more damaged than at other tiers.

4) Drop test of the corrugated fiberboard packaging box for the pears

Impact force of the corrugated fiberboard packaging box according to impact positions was analyzed. Impact force onto the bottom part of the box was the biggest. It was shown that the pears were more susceptible to impact damage at the higher drop height and impact damage, even at the drop height 25cm, was significantly more damaging to the pears than vibration damage.

[Development of free tray-type sorting and automatic control system (Kyeung-Woo Sistec Co. Ltd)]

1. Sorting process of the conventional system for the pear export

The conventional pear-sorting system for export was divided into two stages. At the first stage, the rapping papers are removed, the stems were cut and spider mite was removed by the compressed air. After the first stage, the pears are rapped by the styrofoam net to protect them from bruising caused by the dropping and rear-end collision during the weight

sorting process.

2. Design of free tray-type sorting system

1) A sorting system in which each pear is conveyed in a free tray and classified by grade was adopted so that pears are fundamentally protected from mechanical damages.

2) The sorting system was designed so that sorting processes were composed of manual feeding of pear to free tray, automatic feeding of the free tray to grading line, cleaning by compressed air, grading by appearance and internal quality, sizing by weight, automatic dividing and discharging by grade and recirculating of empty trays, and also the system could be constructed with a few modules.

3) As the first trial, a sorting system using chain conveyor and free tray carrier was designed and tested. However, since automatic discharging of the free tray from the carrier was not done smoothly, the second system using flat belt conveyors was designed. This system comprised 5 modules, that is, the 1st module for air cleaning and quality grading, the 2nd for weight sizing, the 3rd for automatic dividing of the free tray, the 4th for automatic discharging by grade and the 5th for returning of empty trays. Also, tray size and conveyor lines were designed so that not only the pear, apple and peach but also melon which is relatively bigger and heavier could be sorted by this system.

3. Development of control device and software

The controller and software of the final sorting system were constructed as follows.

1) On-off control method using PLC and PC was adopted for the system control. When grade signal of a free tray holding a pear, which is generated by the main PC, is transferred to PLC, the free tray is sensed by the PLC and is sorted by the actuator which is operated by the PLC. Also, PLC program was made so that 8 motors driving the belt conveyers could be turned on and off in sequence.

2) An algorithm was developed in order to classify the free trays by grade which are randomly fed into the sorting line.

3) The compressed air nozzle for cleaning the pear samples was designed so that it could be operated independently by the touch sensor which slid on the moving free tray.

4) A final system software was completed by integrating the driving

software with the grading software which was developed by the Seoul National University(SNU) team. In the final software, a program for managing the input and output of products was also included.

4. Performance of the sorting system

1) It was proved that each unit of the integrated system worked smoothly and the driving motors were controlled in sequence.

2) Sorting capacity of the system was about 2 pears per second and standard error of the weight measurement unit was about 18 g. The relatively large weight measurement error is thought to be due to the fact that the free-tray was made in relatively large size of 220 mm in diameter and the maximum capacity of weight measurement was set to be 5 kg so that melon could be sorted with this system.

5. Feasibility for practical use of the sorting system

1) The sugar sorting unit developed by the SNU team was supplied to three places in the year of 2001 by consociation with the existing sorter manufacturer and are now being observed for any problems to be occurred at on-site.

2) The free tray-type sorting system could be used not only for pear, peach and apple but also for melon, etc., having spherical shape. For multi-purpose use, further study is required for development of regression models for internal quality measurement of those fruits.

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	30
Section 1 Research background	30
Section 2 The aim of research	32
Chapter 2 Development of on-line grading system	33
Section 1 Basic properties of Korean pear	33
1. Materials and method	33
1) Data collection by literature overview	33
2) Rheological characteristics of stored 'Shingo' pear	33
2. Results and discussion	34
Section 2 Development of online sorting algorithm for appearance quality grading	37
1. Materials and method	37
1) Investigation of optical characteristics	37
2) Machine vision system for developing sorting algorithm by appearance quality grade	38
3) Development of defect and size sorting algorithm	44
4) Development of shape sorting algorithm using LASER structured beam	51
2. Results and discussion	55
1) Analysis of skin color properties	55
2) Investigation of optical characteristics for defect detection	57
3) Result of size sorting experiment	59
4) Result of shape sorting using LASER structured beam	60
3. Summary and conclusions	68
Section 3 Development of online sorting algorithm for internal quality grading	69
1. Materials and method	70
1) Basic study for measuring sugar content of pear	70
2) Real-time reflectance and transmittance spectrum measurement system	72
3) On-line transmittance spectrum measurement system	76

2. Development of algorithm for spectrum analysis	77
1) Development of pre-processing algorithm	77
2) Development of qualitative and quantitative model	86
3) Development of internal quality grading algorithm	91
3. Experiment of on-line sugar content measurement	91
4. Results and discussion	93
1) Absorption band of pure sugar solution	93
2) Absorption band of pear	96
3) Possibility of measuring sugar content using absorption spectrum	99
4) Effect of pre-processing for on-line spectrum	103
5) Improvement of model stabilization and confidence	106
6) Result of on-line grading for sugar content	119
5. Summary and conclusions	125
Chapter 3 Design of optimum packaging and its standardization	127
Section 1 Vibration and impact properties of the pears	127
1. Vibration properties of the pears	127
1) Experimental apparatus	127
2) Materials and methods	130
3) Results and discussion	131
2. Impact properties of the pears	140
1) Experimental apparatus	140
2) Materials and methods	141
3) Results and discussion	147
Section 2 Physical properties of the packaging boxes and cushioning materials for the pears	158
1. Field survey on the actual situation of the packaging box and packaging method	

for exported pears	158
1) Export environments	158
2) Packaging status of the exported pear	158
3) Improvement of packaging for the exported pear	160
2. Development of measuring system for cushioning properties of package cushioning materials	161
1) Basic components of the system	161
2) Specification of the dynamic cushioning tester	161
3) Specification of measuring and control system	162
4) Computer program for measuring and analyzing	164
3. Cushioning properties of the packaging cushioning materials	165
1) Materials and methods	165
2) Results and discussion	166
Section 3 Standardization of th packaging box and unit load system for the pears .	175
1. Standardization of unit load system	175
1) Selection of the standard pallet	175
2) Variation of compressive strength of the box by stacking pattern on the pallet	177
2. Standardization of the strength and dimension of corrugated fiberboard packaging box for the pears	178
1) Physical properties of basic paper	179
2) Equations for compressive strength of the box	184
3) W/L ratio for maximizing the compressive strength box	187
4) Algorithm design of the compressive strength and dimensions of the box	189
3. Vibration test of the corrugated fiberboard packaging box for the pears	195
1) Experimental apparatus	195
2) Materials and methods	197
3) Results and discussion	202
4. Drop test of the corrugated fiberboard packaging box for the pears	204
1) Experimental apparatus	205

2) Materials and methods	206
3) Results and discussion	208
Chapter 4 Development of free-tray-type sorting system and automation system	212
Section 1 Introduction	212
Section 2 Development of free tray type sorting system	214
1. System design and layout	214
1) Design conditions	214
2) Chain conveyor sorting system	214
3) Flat-belt conveyor sorting system	217
2. Design and manufacture of chain conveyor type sorting system	219
1) Design and manufacture of main assembly	219
2) Result of performance test of chain conveyor type sorting system	228
3. Design and manufacture of flat-belt conveyor type sorting system	228
1) Design and manufacture of main assembly	229
2) Result of performance test of flat-belt conveyor type sorting system	247
Section 3 Current state of supply of free-tray-type sorting system	249
Section 4 Summary and conclusions	250

목 차

제 1 장 서론	30
제 1 절 연구 배경	30
제 2 절 연구개발의 목적	32
제 2 장 온라인 품위 판정장치 개발	33
제 1 절 배의 기초 물성	33
1. 재료 및 방법	33
가. 문헌조사에 의한 자료수집	33
나. 저장된 신고배의 물성측정	33
2. 결과 및 고찰	34
제 2 절 외부품질 판정장치 개발	37
1. 재료 및 방법	37
가. 광학적 특성 구명	37
나. 외부품질 선별알고리즘 개발을 위한 장치 구성	38
.....	40
다. 결점/색/크기 선별 알고리즘 개발	44
라. 레이저 구조광을 이용한 형상선별 알고리즘 개발	51
2. 결과 및 고찰	55
가. 과피 색 특성 분석	55
나. 결점의 광학적 특성 구명	57
다. 선별 실험 결과	59
라. 레이저 구조광을 이용한 형상선별 결과	60
3. 요약 및 결론	68

제 3 절 내부품질 판정장치 개발	69
1. 재료 및 방법	70
가. 배의 당도 측정을 위한 기초연구	70
나. 실시간 반사 및 투과 스펙트럼 측정장치	72
다. 온라인 투과 스펙트럼 측정장치	76
2. 스펙트럼 분석 알고리즘 개발	77
가. 전처리 알고리즘 개발	77
나. 정량 및 정성 분석 모델 개발	86
다. 온라인 내부품질 판정 알고리즘 개발	91
3. 온라인 당도 선별 성능 실험	91
4. 결과 및 고찰	93
가. 순수당 수용액의 흡수과장 대역	93
나. 배의 흡수 과장 대역	96
다. 흡광스펙트럼을 이용한 배의 당도 판정 가능성	99
라. 실시간 스펙트럼의 전처리 효과 구명	103
마. 모델 안정성 및 신뢰성 향상	106
사. 온라인 당도 선별 성능 실험 결과	119
5. 요약 및 결론	125

제 3 장 적정포장설계 및 표준화

제 1 절 배의 진동 및 충격특성	127
1. 배의 진동특성	127
가. 실험장치	127
나. 실험방법	130
다. 결과 및 고찰	131
2. 배의 충격특성	140

가. 실험장치	140
나. 실험방법	141
다. 결과 및 고찰	147
제 2 절 배 골판지 포장상자 및 포장재의 물성	158
1. 수출용 배 포장상자 및 포장방법의 실태조사	158
가. 수출환경	158
나. 수출포장실태	158
다. 수출포장의 개선방향	160
2. 포장재의 완충시험장치 개발	161
가. 시스템의 기본구성요소	161
나. 기계장치부 제원	161
다. 계측제어부 제원	162
라. 계측 및 분석 컴퓨터 프로그램	164
3. 포장재의 완충특성	165
가. 실험방법	165
나. 결과 및 고찰	166
제 3 절 배 포장상자 및 유니트로드 시스템의 표준화	175
1. 유니트로드 시스템의 표준화	175
가. 표준 펠리트의 선정	175
나. 펠리트 적재방법에 따른 압축강도의 변화	177
2. 배 골판지 포장상자의 강도 및 치수의 표준화	178
가. 원지에 대한 물성분석	179
나. 골판지 상자의 압축강도 추정식	184
다. 골판지 상자의 압축강도를 최대로 하는 폭/길이 비	187
라. 골판지 상자의 강도 및 치수설계 알고리즘	189
3. 배 골판지 포장상자의 진동실험	195
가. 실험장치	195

나. 실험방법	197
다. 결과 및 고찰	202
4. 배 풀판지 포장상자의 낙하실험	204
가. 실험장치	205
나. 실험방법	206
다. 결과 및 고찰	208

제 4장 자유 이송 접시형 선별 시스템 및 자동화 212

제 1 절 서론	212
----------------	-----

제 2 절 자유이송접시형 선별 시스템 개발	214
-------------------------------	-----

1. 시스템 설계 조건 및 배치도	214
가. 설계조건	214
나. 체인 컨베어를 이용한 선별시스템	214
다. 평벨트를 이용한 선별 시스템	217

2. 체인 컨베이어식 선별 시스템 설계 및 제작	219
----------------------------------	-----

가. 주요부 설계/제작	219
나. 체인 컨베이어식 선별 시스템의 성능 실험 결과	228

3. 평벨트 컨베이어식 선별 시스템 설계 및 제작	228
-----------------------------------	-----

가. 주요부 설계/제작	229
나. 평벨트 컨베이어식 선별 시스템의 성능 실험 결과	247

제 3 절 자유이송접시형 선별 시스템 보급 현황	249
----------------------------------	-----

제 4 절 요약 및 결론	250
---------------------	-----

제 1 장 서론

제 1 절 연구 배경

1996년 현재 국내의 배 재배면적은 18,243ha로 1990년의 9,058ha에 비해 약 2배 증가하였고, 생산량은 219,322톤으로 1990년의 159,335톤에 비해 약 1.4배 증가하였으며 앞으로 생산량은 신규 조성된 배 단지의 과수 면적증가와 재배기술의 향상 등으로 증가될 전망이다.

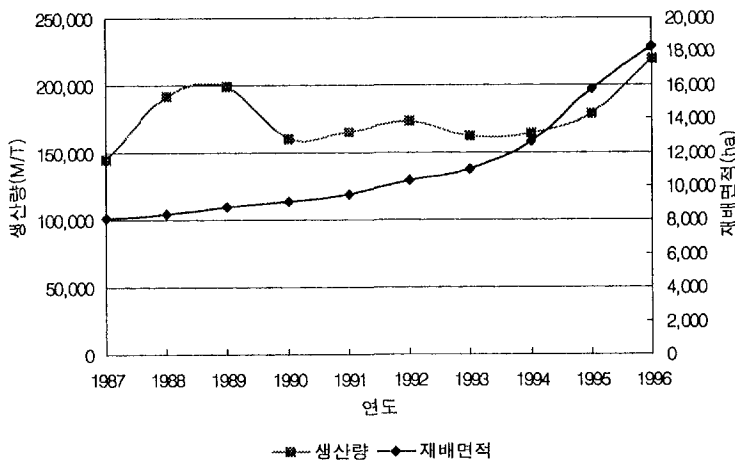


그림 1-1. 국내 배 생산량 및 재배면적

국내에서 생산되는 배는 서양배와는 달리 크기가 크고(600 g이상) 맛이 좋기 때문에 외국에서는 고급 과실로 인지되고 있다. 우리나라의 배 수출량은 연간 3,000톤 규모이며 서양배에 비해 품질이 우수하나 가격이 높기 때문에 국제시장에서의 점유비는 다소 낮다. 하지만 캐나다와 인도네시아와 같은 새로운 수출시장이 개발되어 앞으로 수출 전망은 매우 밝다고 할 것이다.

배는 표피조직이 약하여 물리적인 충격을 받게 되면 표피에 멍이 발생하여 상품성이 떨어지며 크기가 클수록 식미가 좋기 때문에 대부분의 선별 및 포장작업이 인력에 의해 이루어지고 있다. 결국 크기, 결점 및 형상선별이 이루어지지 않아 상자내의 개체별 품위가 일정치 않은 것으로 나타났으며 일부 사용중인 중량식 선과기는 배출과정에서 서로 부딪쳐 멍이 발생되고 있는 것으로 조사되었다. 따라서 선별과정에서 상처를 주지 않으면서 크기, 결점 및 형상을 측정하여 종합적인 선별을 수행할 수 있는 시스템 개발이 절실한 실정이다.

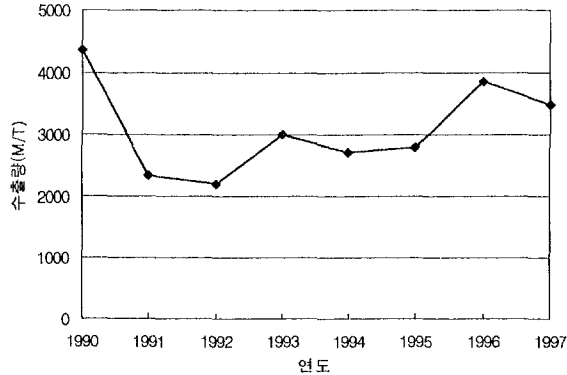


그림 1-2. 배 수출 동향

최근 들어 국내에서도 사과를 대상으로 당도와 같은 내부품질을 비파괴적으로 측정할 수 있는 시스템 개발에 관한 일부 연구가 수행된 바 있으나 배에 대한 연구는 부족하며, 기초연구 결과 배는 사과와 달리 과피의 두께가 두꺼워 당도판정의 정확도가 사과에 비해 매우 떨어지는 것으로 나타나 앞으로 보다 많은 연구가 수행될 필요가 있는 것으로 판단된다.

국내에서 생산되는 배를 수출하기 위해서는 수출대상국에서 요구하는 규격선별이 요구되며 따라서 배의 크기, 중량, 형상, 결점, 당도 등의 품질을 판정할 수 있는 선과 시스템의 개발이 절실하다. 하지만 외국기술 또는 기기를 도입할 경우 시설투자비의 과다로 인하여 경영 부실을 초래할 것이 예상되며 그 예로써 사과의 색채선별을 위해 몇몇 선과장에서 국고보조에 의해 도입된 선별 시스템의 가격은 4~5억원으로 고정비의 과다로 인한 경영부실의 원인이 되고 있는 상황이다. 또한 수입 선별기의 경우 선별 방식이 국내에서 생산되는 청과물의 특성에 적합하지 못하여 선별오차가 클 뿐만 아니라 이송 및 배출 과정에서의 상처발생과 시스템 고장에 따른 사후봉사도 큰 문제점으로 지적되고 있다.

한편 배 수출시 포장 및 운송기술이 확립되어 있지 않아 수출 목적지에 도착된 배에 압상, 찢과상, 부패 등 품질에 많은 문제점이 나오고 있으며 이를 해결하기 위해서는 진동 및 충격특성과 공진주파수등을 분석하여 배의 손상예측 모형을 개발하고 수출용 배의 포장상자 및 완충재의 실패분석, 강도분석, 완충계수 분석, 변형특성 및 충격 에너지 등을 분석하여 포장상자 및 완충재의 강도와 치수를 표준화 할 필요가 있다.

일반적으로 각종 품질 판정 알고리즘은 하드웨어의 설계와 밀접한 관계가 있다. 예를 들면 기존의 색채선별 장치에 당도 등과 같은 내부품질 판정장치를 추가하여 새로운 장치를 개발할 경우 전체 선별시스템의 변경이 수반되어야 하는

데 이에 대한 기술 축적이 이루어지지 않으면 전적으로 외국의 기술에 의존해야 하며 결국 외국으로부터 무분별한 수입이 가속화되어 선별기술의 대외종속화가 더욱 심화될 것이다. 결국 수출용 배의 선별·포장 시스템은 우리나라 배 특성 뿐 만 아니라 국내 기술발전을 위하여 외국으로부터의 기술 도입은 바람직 하지 않으며 품질이 균일한 배를 수출함으로써 우리나라 배에 대한 신뢰도를 향상시킬 수 있을 것이다.

제 2 절 연구개발의 목적

본 과제는 『수출용 배의 규격선별, 내부품질판정, 선별·포장 및 수송과정에서의 품질 손상 방지를 위한 한국형 배 선별·포장시스템 개발』을 최종 연구 목적을 하였으며 세부적으로 아래와 같은 과제별 목표를 갖고 진행하였다.

- [온라인 품질판정 기술개발] 과제에서는 배의 크기, 형상, 결점, 중량 및 당도를 기계시각, 중량센서, NIR 기술을 사용하여 시간당 10,000개 이상을 선별할 수 있는 등급판정기술을 개발
- [적정 포장설계 및 표준화] 과제에서는 배의 진동 및 충격특성을 구명하고 장기간 수송에 따른 손상을 최소화하기 위한 포장상자 및 완충재의 물성구명과 표준상자 및 유니트로드 시스템의 표준화에 대한 방안을 제시
- [자유 이동접시형 선별시스템 및 자동화장치 개발] 과제에서는 실제 현장에서 사용될 수 있는 선별시스템 개발을 위하여 각종 단위기계 개발 및 운영 소프트웨어 개발을 목표로 함.

제 2 장 온라인 품위 판정장치 개발

제 1 절 배의 기초 물성

1. 재료 및 방법

가. 문헌조사에 의한 자료수집

국내의 배는 서양 배와는 물리·화학적 특성이 다르므로, 국내 문헌을 중심으로 수확시 배의 품종별 기초 물성을 조사하였다.

나. 저장된 신고배의 물성측정

온라인 품위 판정장치 개발을 위한 기초단계로 배의 기초적인 물성을 조사하였다. 1998년도 안성지방에서 수확되어 저온저장고에 약 6개월간 저장된 신고배를 구입하여 시료로 사용하였다.

측정항목 : 과고, 과경, 중량, 비중, 당도, 산도, 경도 및 색상

측정방법 : 과고, 과경 - 버니어 캘리퍼스

경도 - UTM(TA, Stable Micro Stables, England)

당도 - 굴절당도계(Model DBX-55, ATAGO사, Japan)

산도 - 자동적정산도측정장치(AUT-301L, Japan)

색상 - 측색계(CR-200, Minolta, Japan)

흡광도 - NIRS6500(Model HON6500, NIRSystem사, USA)

과고, 과경은 버니어 캘리퍼스로 측정하였으며, 전자저울을 이용하여 배의 중량을 측정하고 아르키메데스의 원리를 이용하여 비중을 측정하였다. 배의 광학적 특성을 분석하기 위해 배의 적도부 4부위에 대해 NIRS6500으로 400~2500nm의 범위에 대해 2nm의 간격으로 각 시료에 대한 스펙트럼 데이터를 얻었다. 흡광도 스펙트럼의 안정성을 위하여 저온저장고에서 꺼낸 후 실온에 충분한 시간을 두어 품온이 일정하게 되도록 한 후 스펙트럼을 측정하였다. 스펙트럼을 얻은 부위의 경도 측정을 위해 UTM을 이용하였다. 재하속도는 10mm/min으로 하였으며, 직경 11mm의 반구형 팁을 사용하였다. 경도 측정시 흘러나온 과즙을 이용하여 굴절당도계로 배의 당도를 측정하였으며, 산도의 측정은 자동적정산도측정장치를 이용하였다. 스펙트럼을 측정한 부위의 산도 측정을 위해 스펙트럼 측정 부위의 시료를 절단하여 거즈로 감싸고 마늘즙짜개를 사용하여 즙을 짰 다음, 추출한 즙 10ml를 취하여 3차 증류수 40ml로 희석하고, pH가 8.1이 될 때까지 0.1N NaOH 용액을 투여하여 적정하였다. pH가 8.1이 될 때까지 투여된 NaOH량을

환산식에 대입하여 적정 산도로 환산하였다. 산도를 측정하고 남은 즙을 이용하여 굴절당도계로 당도를 측정하였다. 환산식은 다음과 같다.

$$\text{TitrateableAcidity}(\%) = Vt(ml) \times \text{PurityofNaOH} \times 0.0067 / Vs(ml) \times 100$$

여기서, $Vt = \text{titration volume}(ml)$

$Vs = \text{sample volume}(10ml)$

2. 결과 및 고찰

국내 문헌을 중심으로 수확시 배의 품종별 기초 물성을 조사한 결과는 <표 2-1>과 같다.

표 2-1. 수확시 국내 주요 배 품종의 물성

품종	당도(Bx)	산도(%)	경도(kg/5mm ϕ)	중량(g)	과피색
신고	13	0.1	1.1~1.2	600	담황색
황금	14	0.13	0.8~1.0	400	황록
추황	13	0.13	1.2내외	600	황갈
화산	14	0.1	0.8~1.0	500	담황갈
원황	14	0.1	1.1	500	담황갈

저장된 신고배의 각 물성을 측정된 결과는 <표 2-2>로 제시하였다. 각 물성 사이의 상관계수를 구한 것은 <표 2-3>과 같다. 분광특성을 이용하여 배의 내부 품질을 판정하기 위하여, 측정된 흡광도 스펙트럼과 각 기초 물성간의 파장별 상관계수 스펙트럼을 구하였으며, 결과는 <그림 2-1>과 같다.

표 2-2. 저장된 신고배의 기초 물성 측정 결과

Item	vol. (ml)	dia. (mm)	height (mm)	specific gravity	brix (%)	acidity (%)	Rp (N)	G	L*	a*	b*
max.	954.1	126.8	109.7	1.026	13.50	0.02777	120.2	17.05	77.55	13.51	23.66
min.	351.7	88.6	74.3	0.814	9.70	0.00419	28.0	2.89	72.52	9.17	18.14
mean	547.6	102.3	88.9	0.971	11.32	0.01585	67.8	10.60	75.70	11.60	21.78
std. dev.	149.5	8.9	8.5	0.042	0.91	0.00415	18.3	3.03	1.20	1.26	0.91
variance	22340.3	79.3	73.9	0.002	0.83	0.00002	333.2	9.19	1.44	1.59	0.84

본 연구에서 관심을 가지고 있는 당도의 경우, 범위가 9.7~13.5 brix%로서 약간 좁고 낮은 범위를 보였다. 일반적으로 배의 경우 특품으로 분류되는 당도 범위는 품종에 따라 13~14 brix%이상인 것으로 알려져 있다. 또한 산도의 경우도 0.0042~0.0278%로서 수확후 배의 일반적인 산도 범위인 0.1% 내외보다는 낮은 범위를 보였다. 당·산도의 범위가 낮은 이유는 시료로 사용한 배의 경우, 수확후 약 6개월간 저온저장고에 저장되었던 것으로, 저장 중 호흡, 저장장해 등으로 인한 당·산의 감소로 인한 것으로 판단된다. 경도를 측정하기 위한 인자로 파괴점 강도인 Rp 및 초기점과 파괴점사이의 기울기 G를 측정하였다. 그 결과 배의 파괴점 강도의 범위는 28~120.2 N으로 변이가 심함을 알 수 있으며, 기울기값과 파괴점은 분포가 서로 유사한 경향을 보였다.

표 2-3. 저장된 신고배의 각 기초 물성간의 상관 관계

Item	Specific g.	Brix	Acidity	Rp	G	L*	a*	b*
Specific g.	1.000							
Brix	-0.182	1.000						
Acidity	0.513	0.036	1.000					
Rp	0.826	-0.313	0.459	1.000				
G	0.700	-0.275	0.367	0.793	1.000			
L	-0.406	0.258	-0.150	-0.402	-0.178	1.000		
a	0.179	0.106	0.230	0.141	0.191	-0.290	1.000	
b	0.103	0.142	0.165	0.052	0.259	0.658	-0.084	1.000

<표 2-3>은 측정된 기초 물성간의 상관관계를 보기 위한 것으로 각 물성간의

상관계수가 높은 경우는 비중-파괴점($r=0.826$), 파괴점강도-G($r=0.793$), 비중-기울기($r=0.7$)의 순이었다. 본 연구에서 관심을 갖고 있는 당·산의 경우는 파괴점강도 Rp, 기울기 G, L, a값과 약간의 상관($r=-0.313\sim 0.459$)은 보였으나 높은 상관관계를 보이지는 않았다.

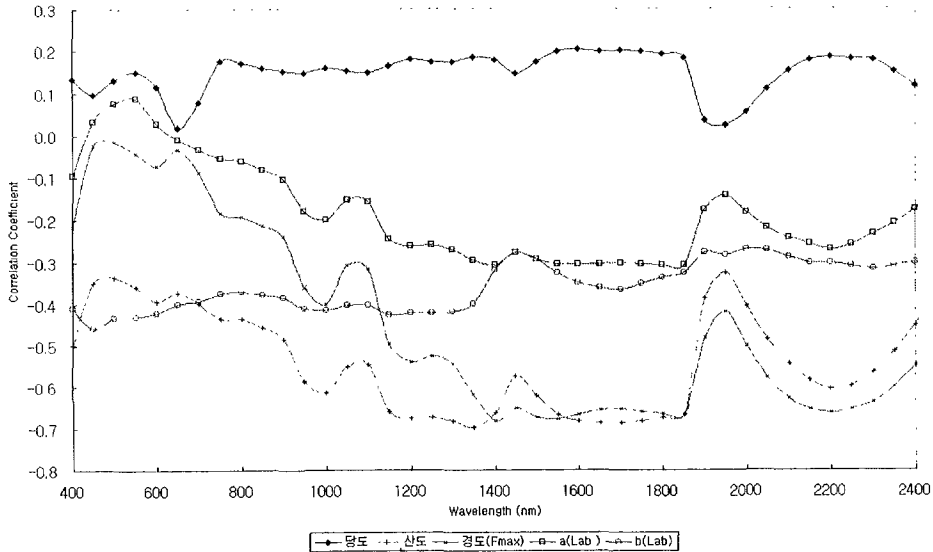


그림 2-3. 기초물성과 파장별 흡광도 스펙트럼과의 상관관계

<그림 2-1>은 각 물성들과 NIRS6500으로 획득한 흡광도 데이터간의 상관계수를 각 파장별로 계산하여 상관계수 스펙트럼을 그린 것으로, 당도의 경우는 전체 파장대에 대해 고른 상관계수의 분포를 보이고 있으나 상관계수는 작은 값(약 $r=0.18$)을 보여주고 있다. 산도, 경도, 비중은 684, 1940nm 근방을 제외하고는 비교적 전체 파장대에 대해 흡광도 데이터와의 상관관계가 높음을 알 수 있다. 특이한 것은 당도를 제외한 다른 물성과 흡광도와의 상관관계가 물의 흡수파장인 970, 1190, 1450, 1940 nm 근방의 파장대에서 서로 상관계수를 감소시키는 경향이 있다는 것이다. 이는 각 물성의 특성을 나타내는 파장대의 흡광도가 물의 흡광도에 영향을 받아 정보가 소실되기 때문인 것으로 판단된다. 당도의 경우는 682, 1940nm 근처에서만 흡광도와의 상관관계가 낮고, 나머지 파장대에서는 낮지만 고른 상관계수값을 나타냈다.

제 2 절 외부품질 판정장치 개발

1. 재료 및 방법

가. 광학적 특성 구명

1) 공시재료

본 연구에서 실험에 사용한 시료로는 현재 국내에서 가장 많이 재배되는 신고배를 대상으로 하였다. 시료는 98년 가을에 수확된 배로써 경기도 안성과 충남 성환의 농가를 직접 방문하여 구입하였으며 실험 기간동안 5 °C로 설정한 저온 저장고에 보관하였다.

대상 시료로는 먼저 색 선별을 위하여 특, 상 및 중 등급 시료를 구분하여 구입하였으며 결점 검출에는 대표적인 결점인 탄저병, 병반 및 일소과와 바람들이과를 대상으로 하였다.

2) 측정장치

배 과피와 결점의 광학적 특성을 구명하기 위하여 분광광도계를 사용하여 반사스펙트럼을 측정하였다. 분광광도계는 NICEM에서 보유한 NIRS6500을 사용하여 400~2500nm까지 2nm 간격으로 측정하였다.

한편 컬러 특성을 구명하기 위하여 측색계(CR-200, Minolta)를 사용하여 배의 색상과 결점의 색상을 측정하였으며 최종적으로 기계시각에 의한 선별을 고려하여 카메라에 의한 영상을 획득하고 이를 분석하였다. 기계시각장치는 컬러프래임그래버(FlashBus, Integral Tech.)와 컬러카메라(XC-711, Sony) 및 시스템 구동을 위한 컴퓨터(Pentium MMX 233 MHz)로 구성하였다.

3) 실험방법 및 내용

일반적으로 물체의 색은 광원의 분광특성, 물체의 반사특성 그리고 센서의 응답특성에 의해 결정된다. 본 연구에서는 색 특성을 분석하기 위하여 먼저 가시광 영역에서의 분광특성을 분석하여 색상에 따른 유의과장을 선정하고, 각종 색 좌표 변환을 통하여 유의한 색 인자를 찾고자 하였다. 유의한 색 좌표계는 조명의 변이를 고려하여 명암 정보보다는 색 정보에 기초한 색 인자를 찾고자 하였다. 본 연구에서 변환한 색 좌표계는 RGB, HSI, L*a*b*였으며 이미지 전용 소프트웨어인 Image-Pro(ver 3.0)를 사용하여 영상을 분석하였다. 최종적인 색 인자는 유의차 검정(Duncan's Test)을 수행하여 각 등급별 선별에 유의한 인자를 결정하였다.

한편 결점의 광학적 특성을 구명하기 위하여 색상 분석과 유사한 방법으로

각 결점의 광학적 특성을 조사하였으며 집단간 마할라노비스 거리를 계산하고 가장 큰 거리를 보이는 과장을 유의과장으로 선정하였다.

나. 외부품질 선별알고리즘 개발을 위한 장치 구성

과실의 품위판정에는 색, 크기, 결점과 같은 품위인자들이 있으며 윗면에 대한 영상만으로는 분석에 한계가 있으며 특히 결점의 경우 전 표면을 관찰하는 것이 필요하다. 결국 과실의 전체 표면을 보기 위해서는 여러 대의 카메라가 필요하다.

하지만 복수개의 카메라를 구동시키기 위해서는 각각에 따른 컴퓨터와 영상 처리보드가 요구되며 이것은 전체적으로 시스템의 가격을 상승시키는 요인이 된다. 따라서 하나의 컴퓨터를 사용하여 여러 대의 카메라 영상을 획득하는 장치가 필요하며 본 연구에서는 이를 위하여 영상4분할장치(Digital Color Quad Switcher)와 하프미러를 사용하여 하나의 컴퓨터에서 복수개의 영상을 획득할 수 있도록 하였다.

1) 실험장치 구성

기계시각에 의한 색 측정을 위하여 <그림 2-2>와 같은 조명장치를 구성하였다. 조명장치는 일정한 광량이 나오도록 상하좌우에 각각 9개씩 그리고 상부면에 4개, 총 40개의 삼파장등을 부착하였다. 그리고 고른 산란광이 나오도록 상하좌우에 백색아크릴을 부착하였다.



그림 2-2. 정지 영상 획득용 기계시각 장치

하프미러는 광학적으로 1/2씩의 광량을 투과시키도록 코팅한 것을 말하며 본 연구에서는 상부영상에 대해 하프미러를 장착하여 한쪽에서는 색을, 다른 한쪽에서는 결점을 관찰하도록 하였다. <그림 2-3>은 제작한 하프미러의 개략도를 나타낸 것으로 차후 사용을 위하여 각 면에 대해서 필터를 부착할 수 있도록 어댑터에 의해 결합시키는 방식을 채택하였다.

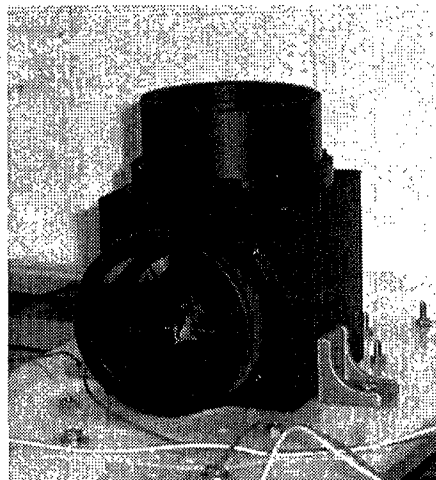
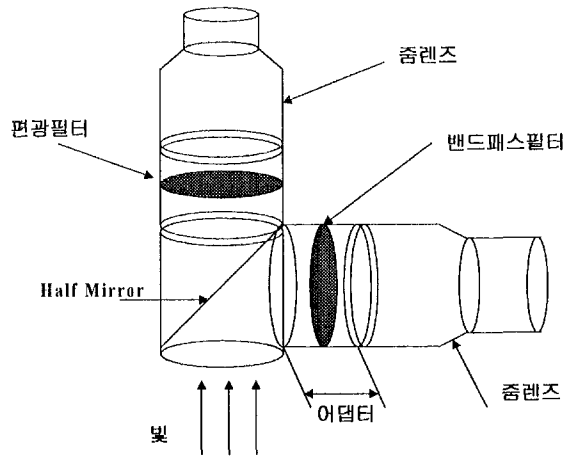


그림 2-3. 본 연구에서 제작한 하프미러

앞서 언급한 바와 같이 영상4분할장치(SCQ-040, Samsung)를 사용하여 4대의 카메라에서 나오는 영상을 획득하도록 하였다. 사용한 카메라는 색 측정을 위한 컬러카메라(GC-305N, LG-Honeywell) 1대와 상부영상에서의 결점획득을 위한 흑백카메라(CS-8310, Tokyo Elec.) 1대 그리고 좌우 측에서 결점을 관찰하기 위

한 2대의 흑백카메라(GC-145E, LG-Honeywell)로 구성하였다.

조명장치는 8개의 삼파장등(20W)을 중앙을 기준으로 일정한 거리에 위치하도록 상부면에 부착하였다. 기계시각장치의 프레임은 알루미늄 프로파일을 사용하였으며 외부로부터의 광을 차단하기 위하여 검정색 아크릴을 프레임사이에 부착시켰다. <그림 2-4>는 제작한 기계시각장치의 외관이다.

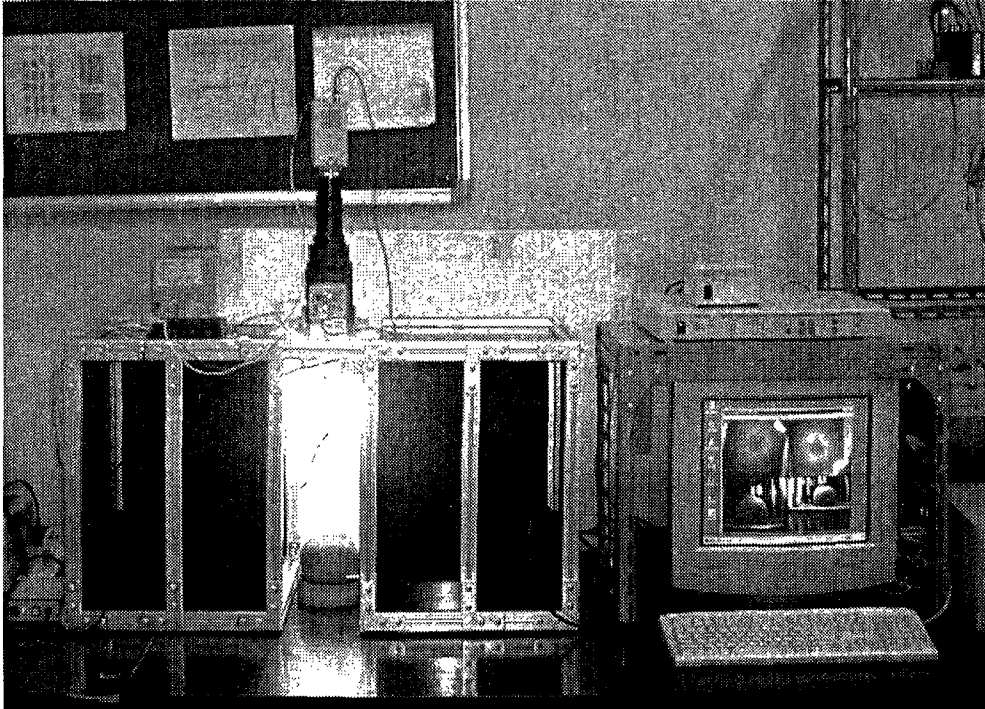


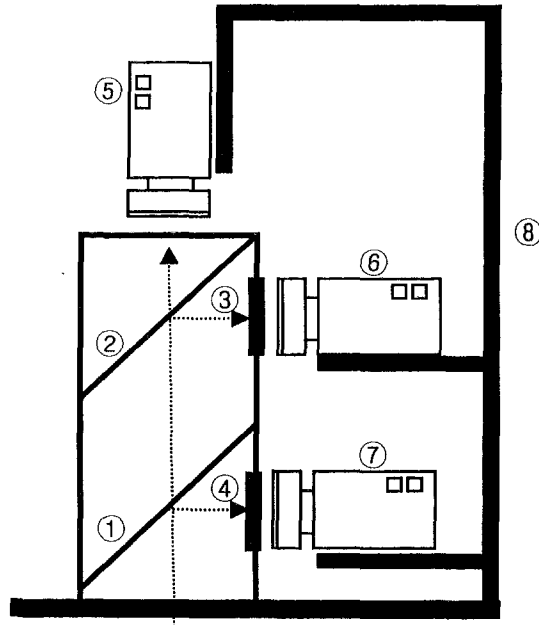
그림 2-4. 본 연구에서 제작한 기계시각장치

앞서 언급한 바와 같은 다채널 영상획득 장치를 구성하여 실험한 결과 다양한 근적외선 대역에 대한 이미지 획득이 필요할 것으로 판단되었으며 이를 구현하기 위해 새로운 다중 영상획득장치를 구축하였다.

배의 상부면과 좌우 측면을 모두 고려한 색, 결점, 형상 선별을 수행하기 위해서는 각 면에 대해서 1대의 컬러카메라와 2대의 근적외선 영상획득을 위한 흑백카메라를 부착할 수 있도록 고안하였다. 이 때 사용되는 여러 대의 카메라를 한 면에 대해 장착할 경우 각각의 카메라가 차지하는 공간으로 인하여 실제 측정되는 영역이 서로 다르게 나타나며, 측면의 경우 상부에 설치한 조명부가 영상으로 획득되므로 영상 내에서 배에 대한 영상 영역화가 어려워지는 문제가 발생한다. 본 연구에서는 이를 해결하기 위하여 2개의 광분할기(beam splitter)를 연속적으로 배치하여 한 면에서 3개의 영상을 획득할 수 있는 장치를 개발하였다.

<그림 2-5>는 개발한 다중 영상획득 장치의 내부 구조를 나타낸 것으로 입사된 광을 3방향으로 분할하고 각 방향에 대해 한 대의 컬러카메라와 근적외선 영상획득을 위한 두 대의 흑백카메라를 부착하였다. 이 때 입사된 광을 일정한 비율로 분할하기 위해 투과율과 반사율이 각각 7:3과 6:4의 2개의 광분할기를 내부에 설치하여 각 면에 대해서 30%, 28%, 42%의 비율로 광이 입사되도록 하였다. 제작한 다중 영상획득 장치의 외부치수는 110mm×110mm×220mm (W×L×H)였다.

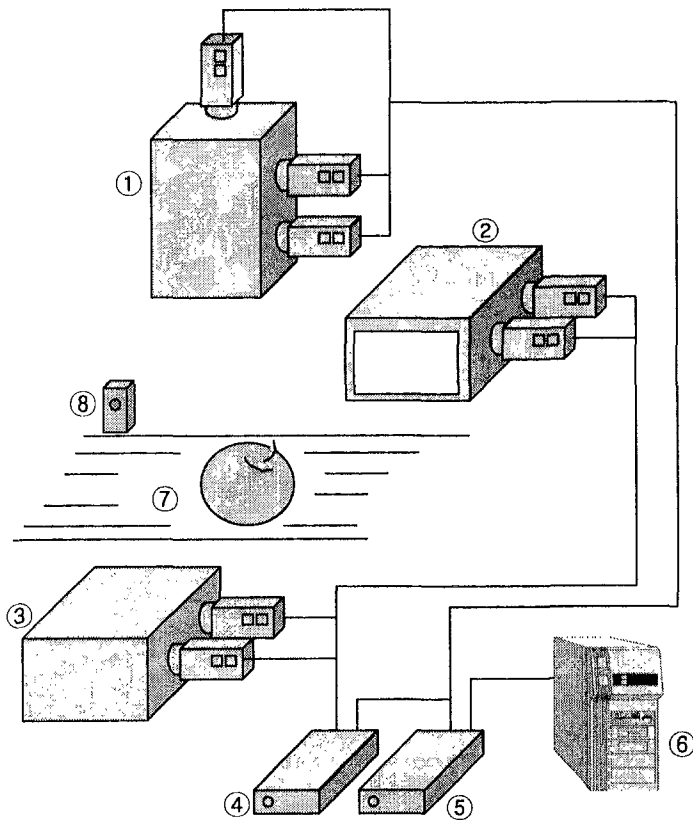
한편 기계시각장치의 구성에는 컬러CCD 카메라(LG-305G, LG Honeywell)와 흑백CCD 카메라(LG-145E, LG Honeywell)를 사용했으며 초점거리 16mm인 고정초점렌즈(f 1.4, Avenir)를 카메라에 장착하였다. 영상획득을 위한 프레임 그레버는 앞서 등급판정에서 사용한 FlashBus MV-Pro(Integral tech. USA)를 사용하였으며 펜티엄 MMX 233MHz의 CPU를 장착한 컴퓨터를 등급판정을 위한 주 컴퓨터로 사용하였다.



- ① : 빔스플리터(반사도 30, 투과도 70) ② : 빔스플리터(반사도 40, 투과도 60)
- ③ : 대역통과필터 ④ : 대역통과필터 ⑤ : 컬러CCD카메라
- ⑥ : 1번 흑백CCD 카메라 ⑦ : 2번 흑백CCD 카메라 ⑧ : 카메라 지지대

그림 2-5. 다중영상획득 장치의 단면도

여러 대의 카메라 신호를 합쳐서 하나의 카메라 신호로 만들기 위해서 두 대의 4화면분할기(SCQ-400, Samsung)를 사용하였다. 먼저 측면의 경우 결점을 검출하기 위한 2대의 흑백카메라를 좌우측에 각각 설치하고 여기서 나오는 신호를 사용하여 하나의 4분할화면을 구성하였다. 이어서 좌우 측면 영상신호를 화면분할기의 비디오 출력기능을 사용하여 하나의 카메라 신호로 출력하였으며, 상부면의 3대의 카메라 신호와 함께 입력하여 최종적인 4분할 화면을 구성하였다. <그림 2-6>은 배의 전표면을 관찰하기 위해 제작한 다중 영상획득장치의 배치를 나타낸 것으로 동시에 배의 상부면과 좌우 측면을 관찰하기 위하여 상부면에 1대와 좌우 측면에 각각 1대를 장착하였다.



- ① : 상부카메라 ② : 좌측카메라 ③ : 우측카메라
- ④ : 좌우측 카메라용 멀티플렉서 ⑤ : 상부카메라용 멀티플렉서
- ⑥ : 컴퓨터 ⑦ : 이송컨베이어 ⑧ : 광센서

그림 2-6. 다중영상획득 장치를 이용한 시스템 구성

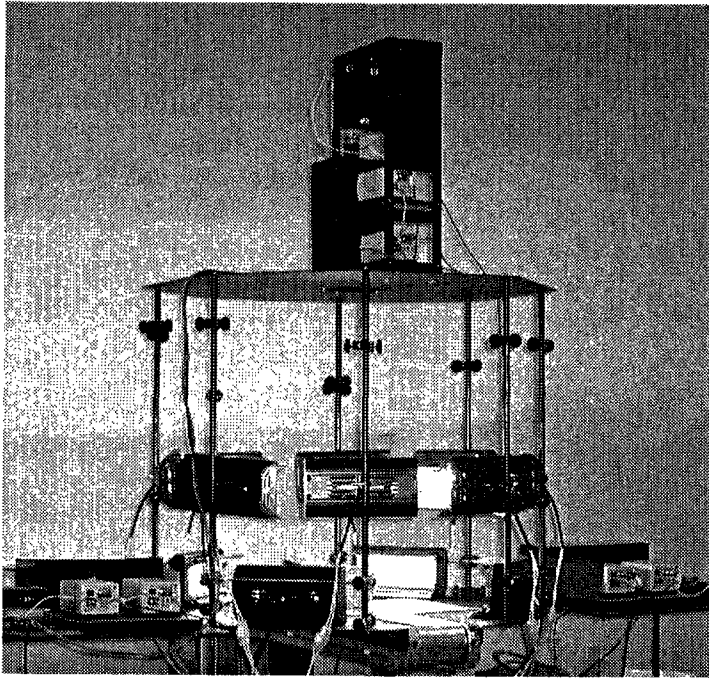


그림 2-7. 기계시각장치 전경

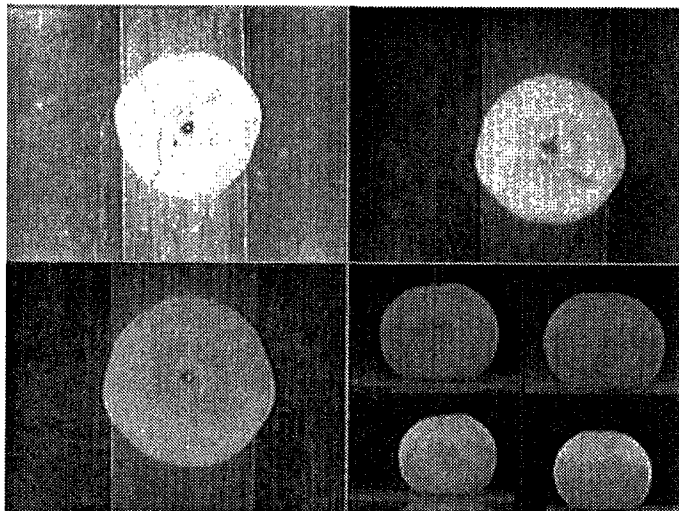


그림 2-8. 다중영상획득장치를 이용한 배 영상획득

한편 균일한 조명을 얻기 위하여 8개의 텅스텐-할로겐등(200W)을 프레임의 측면에 동일한 각도로 부착하였으며 측면에서의 균일한 조명을 얻기 위하여 좌우측에 추가로 4개의 텅스텐-할로겐등을 부착하였다. <그림 2-7>은 구축한 기계 시각장치의 외관으로 이처럼 많은 광원을 장착한 이유는 타상 및 자상 검출을 위한 970nm에 대한 카메라의 응답특성이 매우 낮아서 이를 보상하기 위해 매우 강한 조명이 요구되었기 때문이다.

<그림 2-8>은 색, 결점 및 형상을 판정하기 위해 7대의 카메라에서 획득한 영상으로 1, 2, 3사분면은 배의 상부면에 대한 컬러와 근적외선 흑백 영상을, 4사분면은 좌우 측면 근적외선 흑백 영상을 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 측면 카메라를 사용할 경우 상부면에서는 보이지 않는 측면의 결점 부위를 영상으로 획득할 수 있었다.

다. 결점/색/크기 선별 알고리즘 개발

1) 기초 알고리즘 개발

배의 크기를 측정하기 위해서는 배 윤곽선을, 내부 결점을 검출하기 위해서는 결점 영역만을 별도로 추출해야 한다. 본 과제에서는 신속하고 정확한 윤곽선과 내부 채색(labeling) 알고리즘을 개발하여 이를 이용한 외부품질 선별 알고리즘의 기초 함수로 사용하였다.

먼저 배 영상에서의 윤곽선을 추출하기 위하여 체인코딩을 사용하여 배의 중심과 장단축 길이를 측정하였다. 윤곽선의 시작점을 검출하기 위해서 x 축의 중앙에서 수직 방향으로 배의 문턱값과 화소치를 비교하여 배 화소의 시작 위치를 알아내고 이를 시작점으로 하여 다음 화소를 찾도록 8방향 체인코딩을 수행하였다. 이 때 계산 시간을 고려하여 다음과 같이 진행간격(span)을 갖도록 하였다. 탐색 간격에 의한 체인코드의 의사코드(pseudo code)는 다음과 같다.

```

case 1: x = x+span;    y = y;
case 2: x = x+span;    y = y+span;
case 3: x = x ;        y = y+span;
case 4: x = x-span;    y = y+span;
case 5: x = x-span;    y = y;
case 6: x = x-span;    y = y-span;
case 7: x = x ;        y = y-span;
case 8: x = x+span;    y = y-span;

```

여기서 span = 1, 2, 3;

윤곽에 대한 탐색이 완료되면 아래의 식에 의해 윤곽 좌표만으로 배의 도심을 계산하였다.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad \bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$$

x_i, y_i : x, y coordinates of apple boundary
 n : number of edge pixels

윤곽선 추출시 각 윤곽선 좌표를 기억시켰으며 체인코딩이 완료되면 윤곽좌표를 사용하여 물체의 중심과 장단축 길이를 구하였다. 본 연구에서는 도심을 통과하는 최대 및 최소 직선을 장축 및 단축으로 정의하고 윤곽선 검출시 획득한 윤곽좌표에 의해 고속으로 과정을 측정하는 알고리즘을 개발하였다.

한편 결점의 개수 및 면적을 측정하기 위하여 연결 레이블링(connectivity labeling) 기법을 사용하였다. 이 알고리즘의 기본 개념은 이웃하는 화소 사이에는 동일한 레이블을 부여한 후 레이블 사이에 연결되는 부분을 조사하여 연결이 된 경우 하나의 통일된 레이블을 부여하는 방법으로 이웃 화소에 대한 연결 여부만을 조사하므로 복잡한 조건문이 필요 없고 레이블 번호의 빈도에 의해 개수 및 면적 측정이 가능하다. 본 연구에서 사용한 레이블 알고리즘의 흐름도는 <그림 2-10>과 같으며 단계별 수행내용은 아래와 같다.

- ① 결점에 대해 부여된 연결 번호의 최대값 크기(255)로 2차원 배열을 생성하고 그 값을 0으로 초기화한다.
- ② 이웃 화소를 검색하여 연결 번호가 서로 틀릴 경우 해당 연결 번호의 위치에 1을 기록한다. 여기서 1은 해당 레이블끼리 연결되었다는 것을 의미한다. 그리고 레이블 히스토그램을 생성하고 해당 레이블의 빈도를 1증가 시킨다.
- ③ 연결 테이블이 만들어졌으면 이 때 레이블 번호 2부터 연결성을 조사하여 상호 연결된 레이블에 대해서는 레이블 히스토그램의 빈도를 합친다. 이 때 레이블 번호가 낮은 쪽으로 합치고 반대 레이블 히스토그램에는 0의 빈도를 부여한다.
- ④ 레이블 히스토그램에서 일정 크기 이상의 빈도를 갖는 레이블 번호를 결점으로 간주하고 이들의 개수를 조사하여 결점의 개수와 면적을 얻는다.

한편 개발한 연결레이블 알고리즘을 실제 기계시각장치에 의해 적용하기 위하여 Visual C++(Ver 6.0)를 사용하여 윈도 상에서 작동할 수 있도록 프로그램을 코딩하였다.

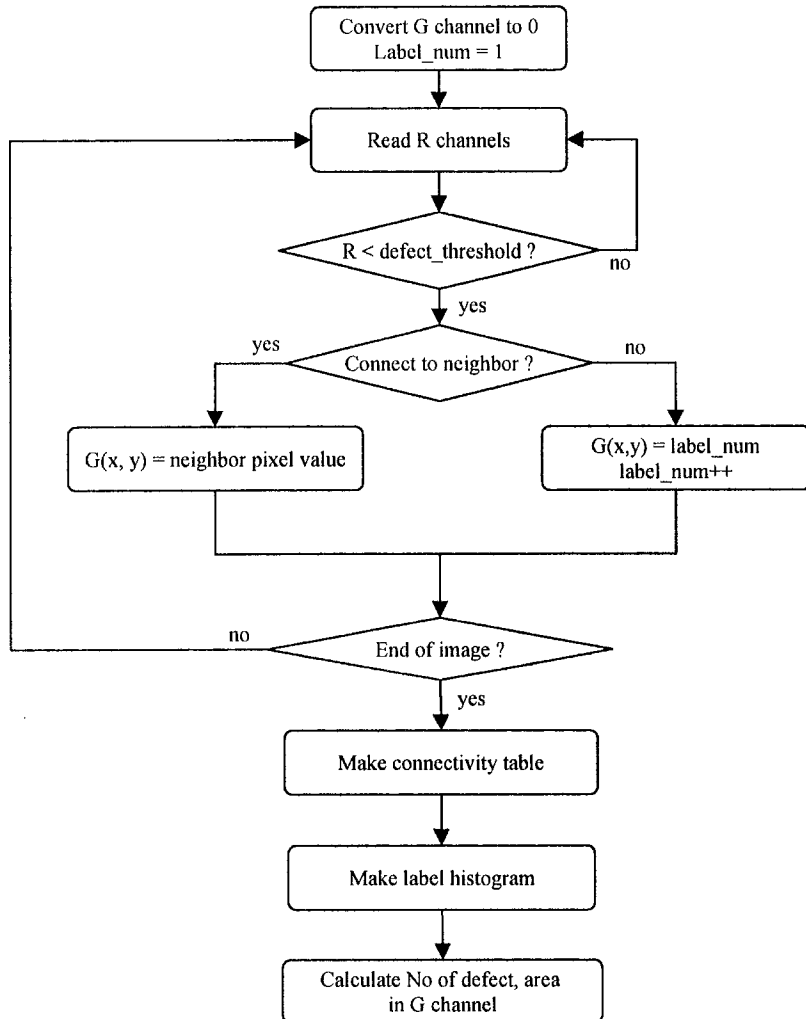


그림 2-9. 연결레이블링에 의한 결점 검출 알고리즘 흐름도

2) 결점선별 알고리즘 개발

결점은 색 선별처럼 영상의 일부만을 대상으로 판정할 수 없고 영상의 전 영역에 대한 관찰을 수행해야 하는데 이는 처리시간을 지연시키는 근본적인 원인이 된다. 따라서 실시간 선별을 위해서는 복잡한 전처리 과정을 생략하고 영상에서 직접 결점을 검출해내는 방법이 요구된다. 본 과제에서는 앞서 개발한 연결레이블링 기법을 이용하여 결점을 검출하였으며 컴퓨터에서 온라인으로 작동할 수 있도록 프로그램을 개발하였다. 알고리즘의 흐름도와 세부 내용은 아래의 온라인 프로그램 개발에서 설명하였다.

3) 색선별 알고리즘 개발

앞서 배의 광학적 특성 구명에서 분석된 결과를 바탕으로 HSI 좌표계의 S(Saturation) 값을 기준으로 배의 색 선별을 수행하였다. 배 내부 색상은 체인코딩과 레이블링에 의해 추출된 배 영역만을 대상으로 하였으며 컬러 변환을 수행하여 평균 Saturation 값을 이용하여 색 등급을 결정하였다. 이때 꼭지부위는 배 색상과 무관하므로 이를 제외하였다. 꼭지 부위 제거 방법 및 세부적인 색 선별 흐름도도 역시 아래의 온라인 프로그램 개발에서 설명하였다.

4) 크기선별 알고리즘 개발

본 과제에서는 보다 효율적으로 배의 평균 과정을 구하기 위하여 반경 프로파일에 의한 계산법을 고안하였다. 이 방법은 먼저 체인코딩에 의해 배의 윤곽좌표를 구하고 이를 사용하여 도심을 구한 후 도심과 체인코딩 좌표 사이에 이루는 각도 θ 와 두 점 사이의 반경 r 을 계산한다. 이 때 각도는 도(degree)로 환산하고 각도에 대한 반경을 저장한다. 모든 윤곽화소에 대한 반경을 계산하면 <그림 2-10>과 같은 그래프를 얻을 수 있다.

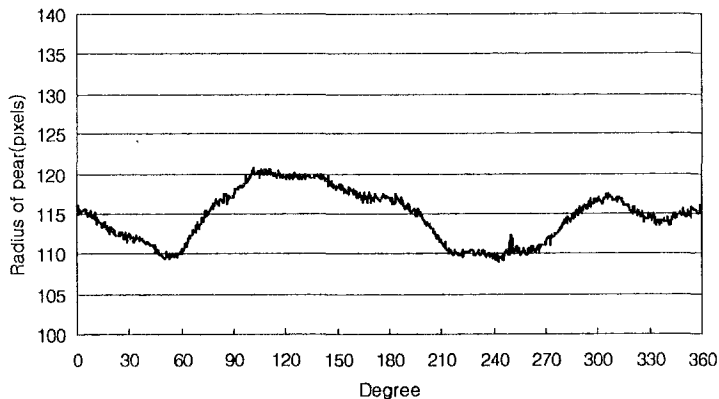


그림 2-10. 장단축 측정을 위한 반경 프로파일 곡선

결국 중심을 통과하는 직선의 길이는 각도 θ 에서의 반경과 $\theta+180^\circ$ 에서의 반경을 합한 것이 된다. 계산된 총 180개의 직선 중에서 가장 긴 것을 장축으로 가장 짧은 것을 단축으로 정의하였으며 이들의 길이를 측정하여 장단축 길이를 얻을 수 있었다.

5) 온라인 외관품질 판정 프로그램 개발

앞서 구축한 다중영상 획득장치를 이용하여 배의 색상, 크기, 결점을 판별할 수 있는 온라인 프로그램을 개발하였다. 프로그램의 주요 루틴은 앞서 언급한 체인코딩에 의한 윤곽선 탐색과 연결레이블링에 의한 채색 알고리즘을 사용하였다. 획득 영상은 상부면에서 컬러와 720nm 대역이미지를 획득하고 좌우측에는 컬러 이미지를 획득하였다. 아래의 <그림 2-11>은 온라인 프로그램에서 획득한 배 영상이다.

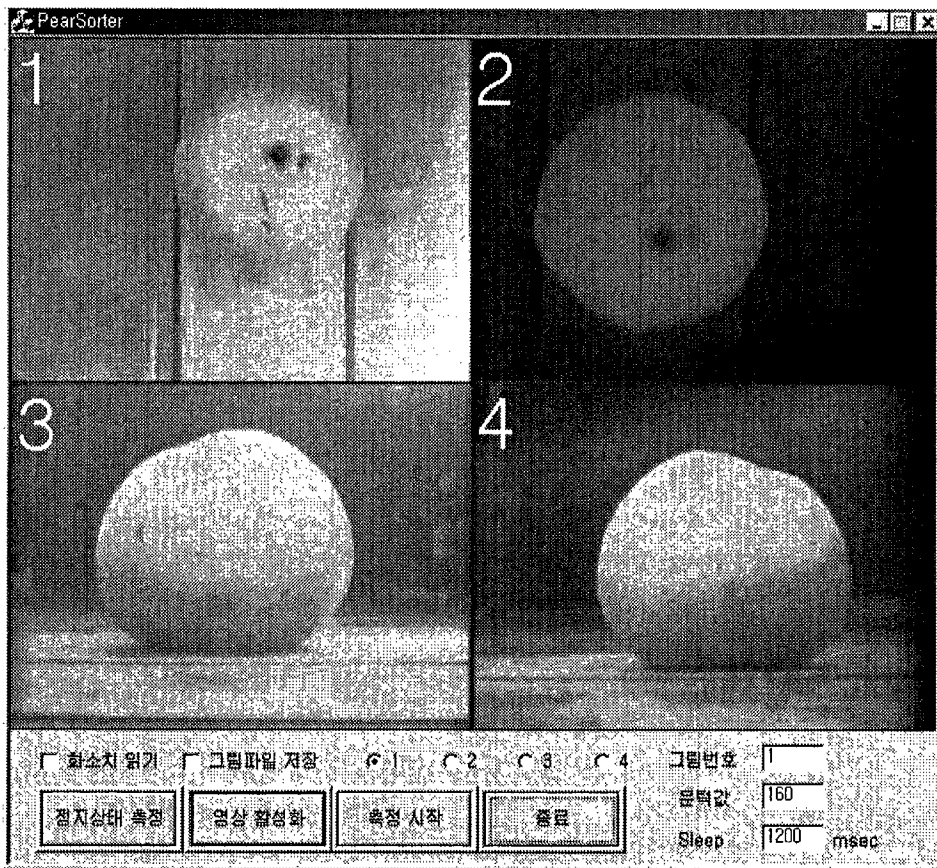


그림 2-11. 온라인 외관품질판정 프로그램 화면

이송 상태의 배를 감지하면 영상을 획득하고 순서대로 좌측 상부에서 우측 하부 순으로 4개의 이미지를 분석하였다. 먼저 1번 채널에서는 컬러와 결점 판정하고 장단축 비를 계산하여 형상을 분석하였다. 3가지 선별 인자를 하나씩 차례로 분석하려면 동일한 화소를 반복적으로 읽는 작업이 수행되어 측정시간이 많이 소요된다. 본 과제에서는 이를 최소화시키기 위하여 아래의 <그림 2-12>와 같이 마스크 이미지를 만들고 이를 분석하였다.

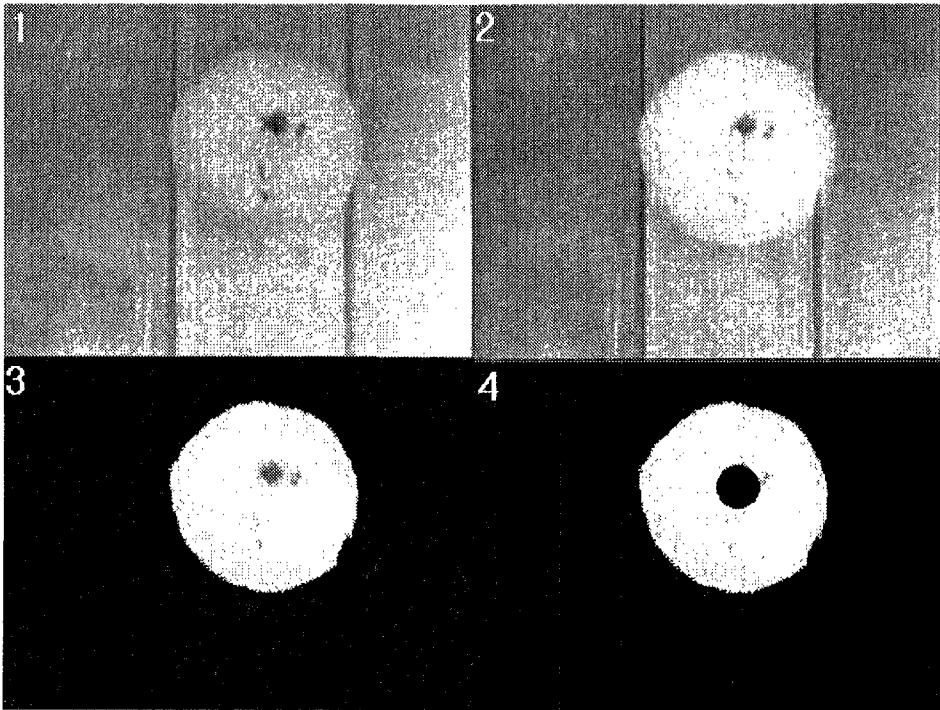


그림 2-12. 마스크 이미지 생성

1번 마스크 이미지는 컬러 영상을, 2번은 Red 채널 이미지를, 3번은 체인코딩을 수행하여 배 영역만을 추출한 것이며 마지막 4번 꼭지 부위를 제거한 영상이다. 이와 같이 마스크 이미지를 만들고 화소치가 0이 아닌 화소만을 분석하여 소요 시간을 단축하였다. 이 때 꼭지 부위는 색 측정에서 제외되는 것이 바람직하므로 도심에서 20화소 이내의 영역을 꼭지로 간주하여 이를 제외하였다.

색 측정은 마스크 이미지에서 화소가 0이 아닌 것을 대상으로 평균 Red값과 평균 채도값을 계산하였으며 형상은 앞서 알고리즘에서 개발한 장단축 측정 알고리즘을 적용하였다.

한편 결점은 단순히 채널 이미지의 화소치를 사용하기보다는 에지 필터링에 의한 검출 방법을 사용하였다. 에지 필터링을 사용한 이유는 화소치에 의한 판정보다는 조명의 변화에 상대적으로 안정적이며 컴퓨터 연산속도의 증가로 인하여 실시간으로 이를 수행할 수 있기 때문이다. 사용한 에지 필터는 3x3 크기의 sobel 필터를 사용하였다. 아래의 <그림 2-13>은 이미지에 대해 sobel 필터를 적용한 결과로서 실제 결점의 측정에는 윤곽선과 꼭지 부위 및 3, 4 채널의 바닥면의 에지는 분석에서 제외하였다. 결점의 필터링 문턱값은 250으로 하였으며 그 이상인 화소치를 보이는 화소를 결점으로 간주하였다.

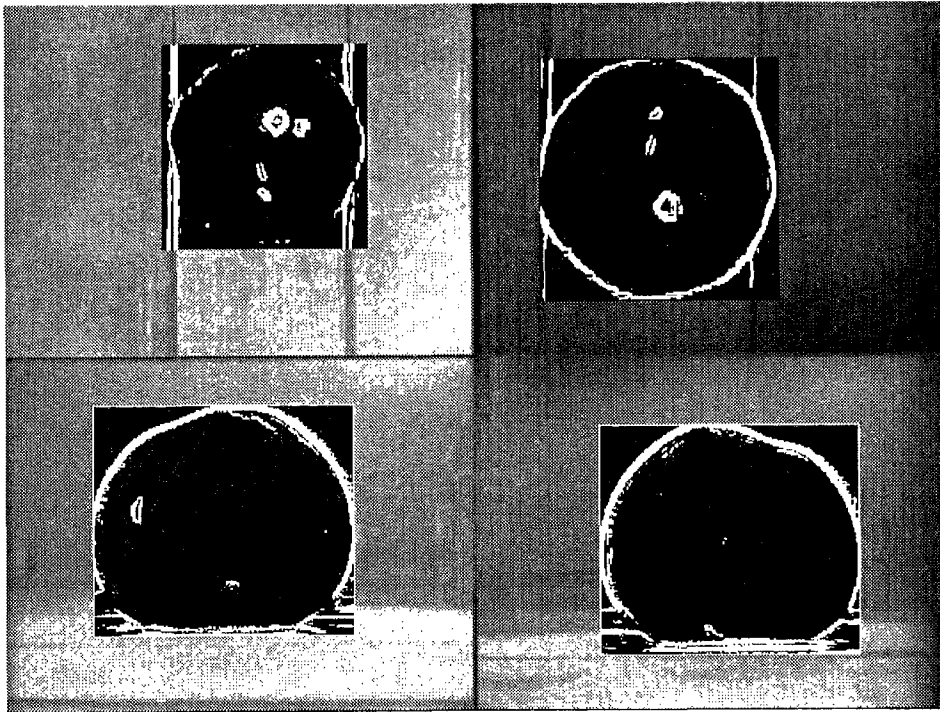


그림 2-13. 결점 검출을 위한 sobel 필터 적용 결과

채널 3번과 4번에서는 상부면에서는 볼 수 없는 결점을 검출하고자 하였다. 먼저 배 영역 추출은 바다면과 상부면의 밝기 차이로 인해 앞서 사용한 체인코딩에 의한 영역화를 적용하기에 어려움이 있었으며 이를 해결하기 위해 평균 프로파일의 미분값을 이용하여 배를 포함하는 외곽 사각형을 추출하였다. 이어서 정확한 배의 윤곽을 찾기 위하여 라인별로 수평방향으로 프로파일을 조사하고 좌우측 각각에 대해 최대 미분값을 보이는 지점을 윤곽선이 시작하는 지점으로 선정하였다. 채널 3, 4번의 결점 검출 방법은 앞서 적용한 것과 동일한 방법을 사용하였다.

라. 레이저 구조광을 이용한 형상선별 알고리즘 개발

1) 레이저 구조광을 사용한 영상획득장치 구축

본 연구에서 구축한 실험장치는 크게 영상획득장치(B&W CCD camera)와 광원으로 사용된 레이저 구조광(structured light)으로 구성된다. 장치의 구성은 <그림 2-14>와 같다.

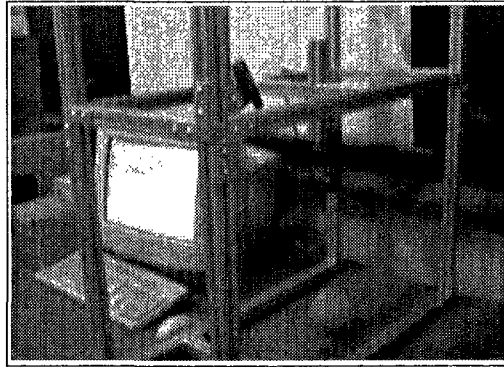
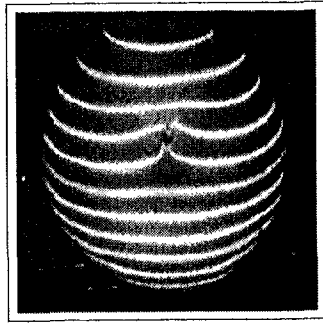


그림 2-14. 레이저 구조광을 이용한 영상획득장치

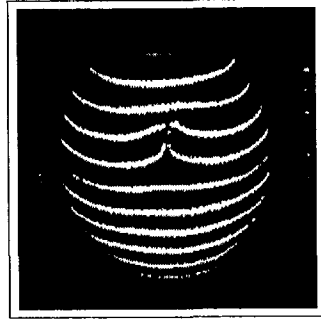
그림에서 보여진 장치에서 구조광의 위치를 조정해 가면서 광이 과실의 한 면을 모두 포함해 조사될 수 있도록 투사각을 설정하였다. 본 연구에서 사용한 레이저 광원의 모델은 SNF-519L로서 사용 가능 파장 대역은 780.2nm이고 소비 전력은 14.83mW, 작동전압 DC 5V, 전류는 79mA이다.

2) 레이저 라인 및 윤곽선 추출

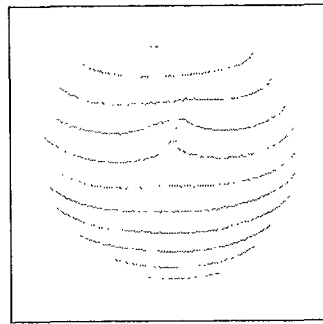
배의 외관 인자 중 기형 인자를 판정하기 위해서 레이저 구조광에 의해 주사된 선의 윤곽 추출을 수행하였다. 본 과제에서 사용한 윤곽선 추출방법은 획득한 영상의 화소치들을 비교해 문턱값을 주고 그 값을 기준으로 하여 배 영상과 배경을 분리시켰다. 이어서 분리 경계면의 값들을 시작점으로 하여 좌우측의 경계선들을 추출해 내는 작업을 수행하였다. 이렇게 하여 획득한 윤곽선 좌표를 기억시켰으며, 이 작업이 완료되면 얻어진 윤곽좌표들을 사용해 대상 시료에서 레이저 주사선의 형태의 변화를 계산하여 기형과를 판단하였다. 장치를 통해 획득되어진 영상(그림 2-15 (a))와 윤곽선 추출((b)), 그리고 윤곽 좌표의 세선화된 형태((c))는 다음과 같다.



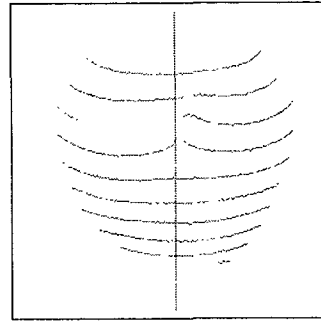
(a) 획득 영상



(b) 윤곽선 추출



(c) 세선화 영상



(d) 중심선 검출

그림 2-15. 레이저 구조광에 의한 윤곽 추출 결과

3) 형상인자 구명

형상인자의 추출을 위해 우선 획득한 영상의 윤곽선을 가지고 세선화 작업을 수행하고 그 좌표값을 가지고 좌우에 위치한 최외각 좌표의 중심점을 구해 그 중심점에서 좌우 양방향으로의 선의 변화량을 계산하였다. 곡선 변화량은 κ -curvature 공식을 이용하여 계산하였다.

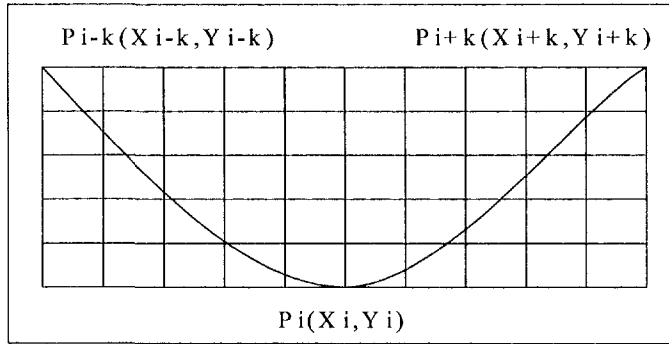


그림 2-16. Slope 계산을 위한 좌표 획득

$$x\text{-curvature} = \frac{Y_{i+k} - Y_i}{X_{i+k} - X_i} - \frac{Y_i - Y_{i-k}}{X_i - X_{i-k}}$$

$$\text{SlopeLeft} = \frac{Y_i - Y_{i-k}}{X_i - X_{i-k}} \quad \text{SlopeRight} = \frac{Y_i - Y_{i+k}}{X_{i+k} - X_i}$$

Slope Left(Right) : Slope of left(right) coordinate

4) 꼭지 검출

레이저 광원의 굴곡이 연속적이고 동시에 일정한 변화성을 보인다면 그것은 과실의 정상적인 부분이다. 그러나 꼭지부위에 있어서는 그것이 연속적인 변화성을 보여주지는 않는다. 영상 분석에 있어서 꼭지부위에 나타나는 이러한 불연속성에 의해 정상과를 비정상과로 잘못 인식할 가능성이 있다. 따라서 정확한 기형과 분석을 수행하기 위해서는 꼭지 검출은 반드시 수행되어야 한다. 본 연구에서는 Rosenfeld와 Kak(1982)가 커브의 연속성을 계산하기 위해 사용한 k-curvature 수식과 일반적으로 라인의 곡률 정보를 반영하는 기울기를 계산해 꼭지를 검출하였다. 이 때 꼭지 검출을 위해 꼭지 부위의 형상을 정의하고 그 부분의 위치를 파악해 과실의 사측과 여부를 조사하였고, 그런 다음 꼭지에 해당하는 레이저 라인을 제외한 나머지 레이저 라인을 분석하여 기형과의 여부를 조사하였다.

꼭지의 검출을 위해 우선 세션화된 영상에서 중심선을 구한 후 꼭지 검출을 위한 기울기 영역을 선정한 다음 그 영역과 중심선과의 거리를 계산하였다. 그 결과 정상과의 경우 10 화소치 이하의 차이를 나타내었고 사측과의 경우에는 20 화소치 이상의 거리를 가지는 것으로 나타났다. 예비 실험 결과 22개의 시료 중에 1개만이 꼭지의 위치를 잘못 인식했다.

5) 레이저구조광에서의 형상 선별 알고리즘 개발

과실의 사측과 여부를 판단하기 위해 꼭지부의 위치를 인식하고 중심에서부터의 거리를 계산했으며, 과실의 기형 여부(윤기과)를 판단하기 위해 꼭지부의 영상을 제외한 나머지 레이저 라인에 대한 처리를 수행하였다. 기초 실험 결과 라인의 기울기를 계산하는 것이 가장 유용한 인자로 구명되었다. 본 연구에서 사용한 형상 선별 알고리즘의 흐름도는 다음과 같다.

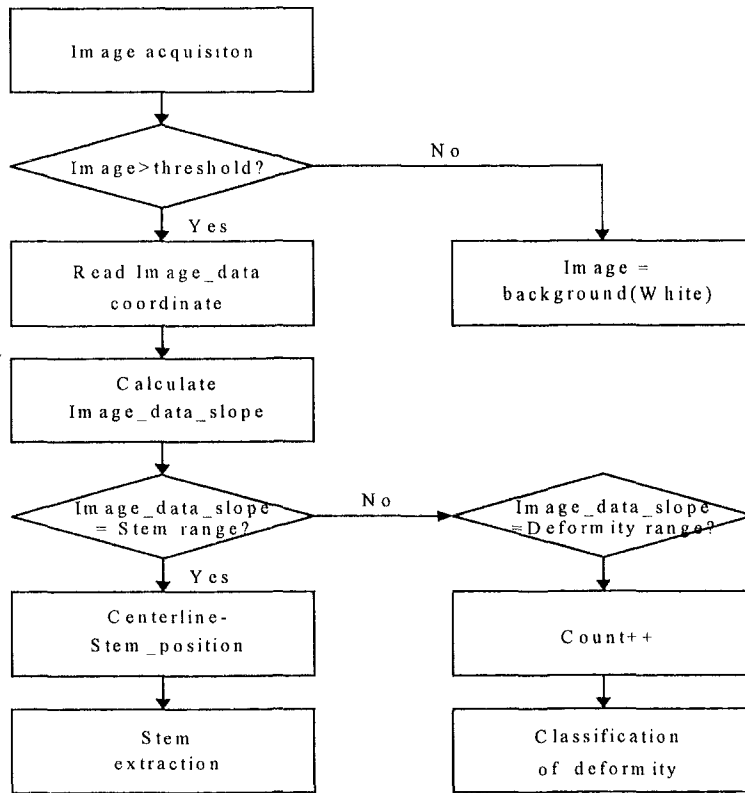


그림 2-17. 꼭지 검출 및 형상 선별 알고리즘 흐름도

2. 결과 및 고찰

가. 과피 색 특성 분석

현재 국내에서 가장 많이 재배되고 있는 신고에 대해서 과피색별로 특, 상중으로 구분하고 이들의 가시광 대역에서의 분광스펙트럼을 측정하였다. 아래의 <그림 2-18>은 신고배의 색 등급별 반사스펙트럼을 나타낸 것이다.

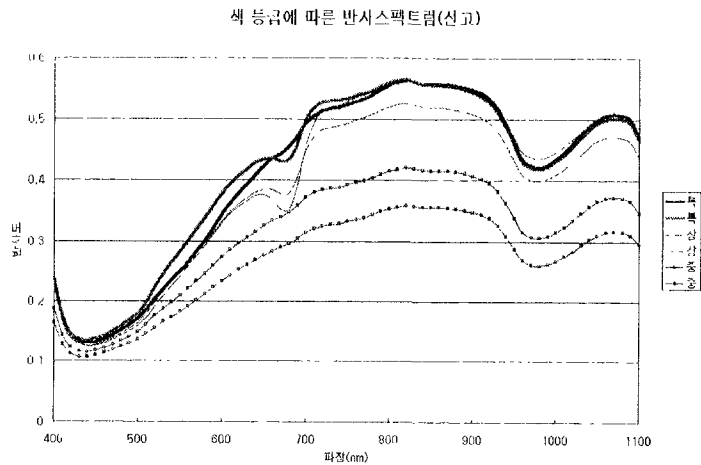


그림 2-18. 신고배의 반사스펙트럼

스펙트럼 분석 결과 색 등급에 따른 스펙트럼의 외형은 엽록소 흡수과장인 670nm 대역을 제외하고는 변화가 관찰되지 않았으며 색 등급이 높을수록 가시광 영역의 반사도가 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 색 등급에 따른 차이가 과피의 밝고 어두움, 즉 명암 정보에 의해 구분할 수 있음을 의미하는 것으로 특별히 컬러 영상을 사용하지 않고서 특정 대역의 필터 영상에 의해 색 선별이 가능할 것으로 판단하였다. 한편 엽록소 흡수과장인 670nm 대역에서 색 등급이 높을수록 반사도가 증가하였으며 이것은 색 등급이 낮을수록 엽록소 함유량이 많기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

컬러특성을 구명하기 위하여 측색계로 측정된 데이터에 대하여 등급간 유의차 검정을 수행하였고 그 결과를 <표 2-4>에 나타내었다. 앞서 스펙트럼 분석에서 설명한 바와 같이 색 인자 중에서 명암을 나타내는 인자인 L^* , ΔE , I 와 같은 인자가 매우 유의하였으며, 이는 스펙트럼 분석의 결과를 입증하는 것으로 판단된다. 또한 R에서 매우 유의한 차이를 보여주기 때문에 대역통과필터를 부착한 흑백영상에서의 선별 가능성을 시사하고 있다. 한편 컬러 인자에서는 노란색을

의미하는 b^* 인자와 채도를 의미하는 S와 $L^*a^*b^*$ 좌표계로 계산한 채도값인 $a^* \times b^*$ 인자가 유의한 것으로 나타났다. 특히 채도인 S가 기타 다른 인자보다도 매우 높은 유의성이 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 배의 색 등급이 사과와 같이 명확하게 착색에 의한 영향을 받기보다는 기준 바탕색 내에서 색의 맑고 탁한 정도가 유의하기 때문인 것으로 사료된다.

표 2-4. 측색계에 의한 신고배의 색 특성 및 유의성 검정 결과

평균	L	a	b	a/b	a^2+b^2	ΔE	R	G	B	H	S	I
특품	59.6	9.4	36.0	0.26	37.3	70.3	97.0	66.2	24.3	24.8	51.7	108.2
상품	56.1	9.5	33.6	0.28	34.9	66.2	84.8	57.2	21.8	24.2	44.7	94.6
중품	51.1	7.0	24.8	0.28	25.8	57.2	64.7	46.7	22.4	24.7	30.1	77.2
F Value	36.68	2.01	45.17	0.82	46.10	52.99	45.62	28.53	9.44	0.87	51.38	36.55
Pr > F	0.0001	0.1507	0.0001	0.4478	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0006	0.4296	0.0001	0.0001

컬러계시각장치를 사용하여 배의 과피색을 분석한 결과 <표 2-5>와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 각 색 좌표계의 값은 고유의 물리적인 값이 아닌 이미지 처리에 적합하도록 256단계로 나타낸 상대적인 값이다. 색 분석에 있어서 중요한 점은 기계시각장치가 주변 광원의 영향 그리고 조명강도의 불균일성에 많은 영향을 받으므로 가능한 영향을 적게 받는 색 인자를 선정하는 것이 바람직하다.

분석 결과 제시된 각종 색 좌표계 중에서 가장 유의한 단일 인자로는 앞서 측색계의 분석 결과와 동일한 HSI 좌표계의 S(Saturation)인 것으로 판단되었다. 이것은 실제 농가에서 색 선별을 할 때의 기준인 색 투명도와도 관련이 있는 것으로서 배의 경우에는 색 선별을 위해서 채도를 이용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

표 2-5. 기계시각장치로 측정된 신고배의 색 특성

색 인자	R	G	B	H	S	I	Y	I	Q	L^*	a^*	b^*	r	g	r/g
양호	192	127	71	19	116	130	140	175	124	201	147	168	49	32	152
보통	179	129	70	23	114	126	138	168	120	199	140	167	47	34	139
불량	110	80	45	22	108	78	85	152	123	163	139	159	47	34	138
매우불량	73	55	33	23	96	54	58	142	125	138	136	152	45	34	133

나. 결점의 광학적 특성 구명

본 연구는 최종적으로 기계시각장치에 의해 결점을 검출할 목적으로 카메라 센서의 감응 대역인 400~1100nm까지를 분석 대상으로 하였다. <그림 2-19>는 결점부위에 대한 흡광도 특성을 나타낸 것으로 결점 부위는 정상부위보다 높은 흡광도를 갖는 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 먼저 가시광 대역에서는 결점 부위가 정상적인 부위보다 낮은 명암을 갖고 있으며 근적외선 대역에서는 수분에 의한 흡수가 일어나기 때문인 것으로 판단된다.

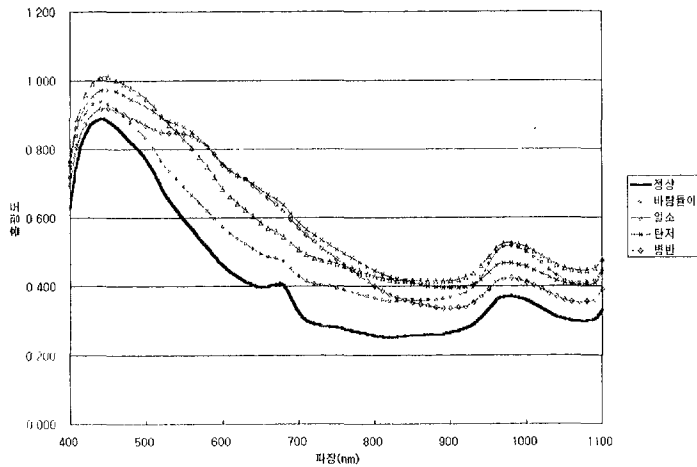


그림 2-19. 정상부위와 결점 부위의 흡광도 스펙트럼

한편 결점 검출에 유의한 파장을 선정하기 위하여 파장별 마할라노비스 거리를 계산하였다. 계산 결과 바람들이를 검출하기 위해서는 726nm에서, 일소에 대해서는 720nm, 단저병에 대해서는 714nm, 그리고 병반점에 대해서는 746nm의 파장에서 정상과와 가장 큰 거리를 갖는 것으로 나타났다. 선정된 파장은 모두 700~750nm의 범위에 있었으며 따라서 720nm를 중심파장으로 갖는 대역통과필터를 사용할 경우 대부분의 결점을 검출할 수 있을 것으로 판단하였다. <그림 2-20>은 계산한 마할라노비스 거리를 각 결점별로 나타낸 것이다.

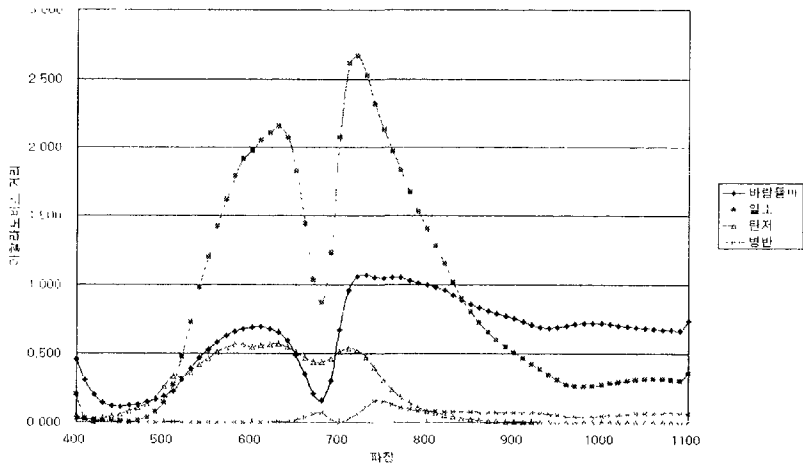


그림 2-20. 정상 부위와 결점 부위 사이의 마할라노비스 거리

한편 컬러 특성을 분석한 결과 <표 2-6>과 같은 특성을 얻을 수 있었다. 색 특성을 조사한 결과 바람돌이를 제외한 기타 결점과는 정상 부위보다 낮은 명암을 갖는 특성으로 인하여 앞서 컬러 분석에서 선정된 색 인자들이 대부분 유의한 것으로 나타났다. 하지만 바람돌이의 경우 내부 조직의 변화를 의미하므로 실제 외관상의 차이는 없는 것을 보여주었다. 결국 바람돌이를 검출하기 위해서는 컬러에 의한 검출보다는 앞서 스펙트럼 분석에서 제시한 것과 같이 근적외선 영역에서의 분광특성을 고려하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

표 2-6. 결점의 컬러 특성

평균	L	a	b	a/b	a ² +b ²	DeltaE	R	G	B	H	S	I
정상	51.0	7.0	24.8	0.28	25.8	57.2	64.7	46.7	22.3	24.7	30.0	77.2
바람돌이	50.4	7.1	24.8	0.30	25.8	56.7	63.7	45.8	21.7	24.4	29.8	75.8
일소	44.2	11.1	22.8	0.53	25.5	51.1	53.1	32.9	16.0	18.3	26.3	58.9
탄저	39.8	9.0	12.5	0.72	15.4	42.7	38.0	25.7	18.2	15.5	14.1	47.3
병반	40.3	11.6	15.3	0.76	19.3	44.7	41.3	25.3	16.8	14.3	17.6	48.2

다. 선별 실험 결과

개발한 크기 측정알고리즘을 사용하여 실제 배의 평균 과정과 기계시각에 의해 측정된 과정을 비교하였으며 그 결과를 <그림 2-21>에 나타내었다. 측정 결과 측정오차는 0.92mm였으며 실제 측정값과는 0.991의 상관계수를 보여주었다. 이와 같은 측정 결과는 실제 기계시각에 의한 크기 선별이 충분한 정확도를 갖고 수행될 수 있음을 나타내 주는 것으로 그 실용성은 매우 큰 것으로 판단하였다.

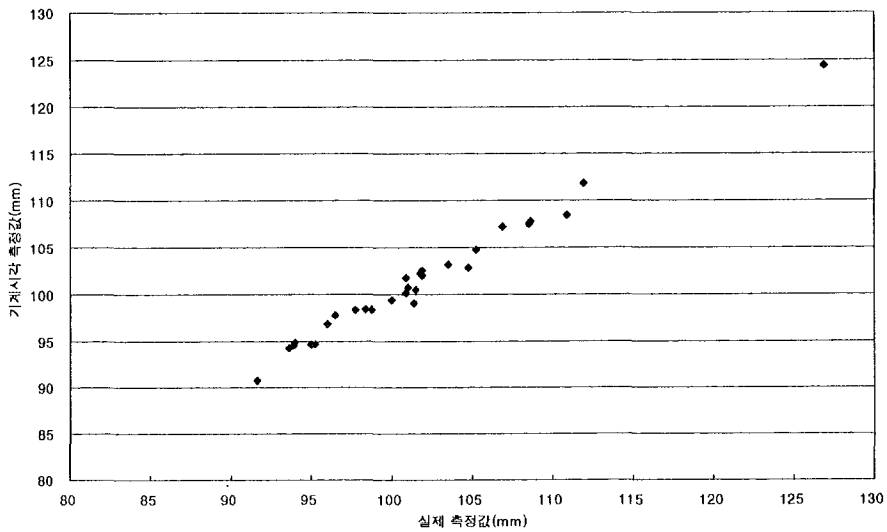


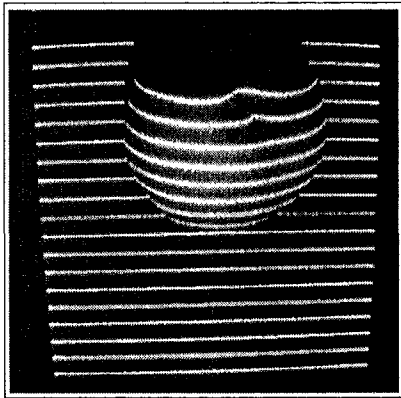
그림 2-21. 배의 크기 측정 실험 결과

한편 최종 3차년도에서는 3가지 외관 품질인자를 동시에 판정할 수 있는 온라인 시스템 및 소프트웨어를 구축하고 총 36개의 배에 대해서 색, 결점 및 형상 선별을 수행하였다. 색 선별은 특품과 상품의 두 등급 선별을, 결점에 대해서는 유무를 그리고 형상에 대해서는 편형과 여부를 조사하였다. 수행 결과 색에 대해서는 88.8%, 결점에 대해서는 80.5%, 형상에 대해서는 91.6%의 정확도를 보여주었다. 다른 인자에 비해서 결점 선별의 정확도가 비교적 낮게 나왔는데 이는 대부분의 예러가 꼭지 부위를 결점으로 인식하여 나타난 결과로 이를 개선하기 위해서는 레이저 구조광을 이용한 꼭지 검출이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

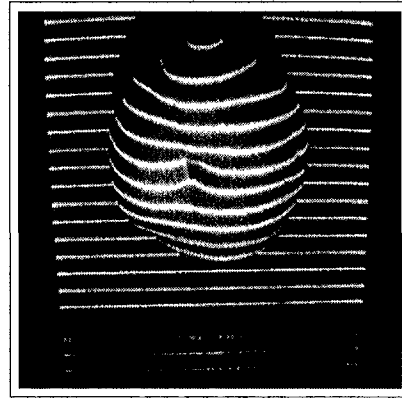
라. 레이저 구조광을 이용한 형상선별 결과

1) 레이저 구조광 설정

시료의 표면 형상을 반영하는 레이저 영상의 형태는 대상체와 카메라의 수직 거리, 구조광의 설치높이 및 설치각에 따라 차이가 있으며(그림 2-22), 이들 인자는 형상판별에 영향을 미치는 것으로 판명되었다.



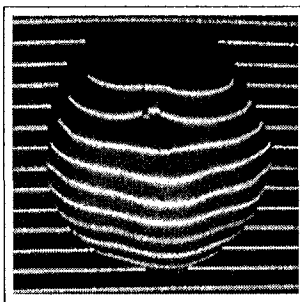
(a) 레이저 각도 45°



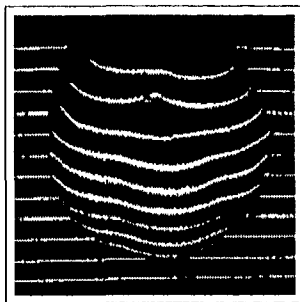
(b) 레이저 각도 30°

그림 2-22. 레이저 광원 설치 각도에 따른 구조광 영상의 차이

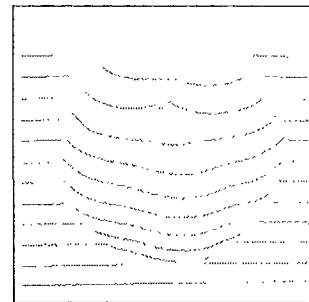
한편 세션화된 레이저 영상을 구성하는 각 라인의 굴곡도는 배의 형상에 따라 차이가 있으며(그림 2-23, 2-24), 곡률 정보를 이용할 경우 배의 꼭지검출 및 기형과 판별이 가능하였다. 그리고 세션화 된 레이저 영상을 이용하여 영상의 도심을 구하고, 세션들의 기울기 변화를 이용하여 꼭지의 위치, 융기과, 사측과 등을 판별할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.



(a) 융기과 영상

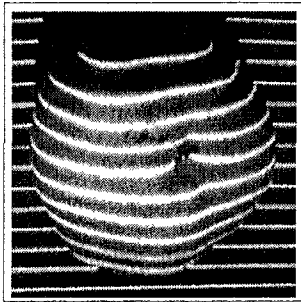


(b) 윤곽선 검출

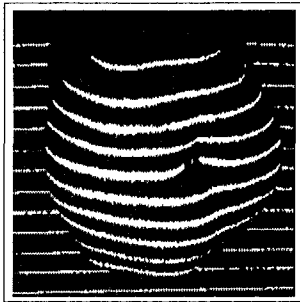


(c) 세션화 영상

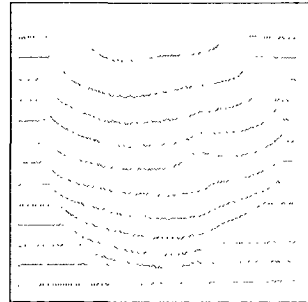
그림 2-23. 융기과 영상



(a) 사측과 영상



(b) 윤곽선 검출



(c) 세선화 영상

그림 2-24. 사측과 영상

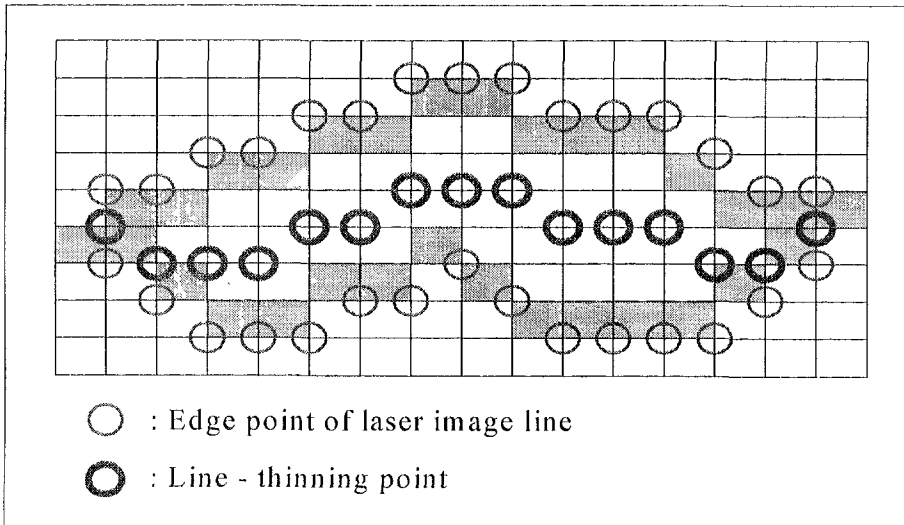


그림 2-25. 세선화 알고리즘

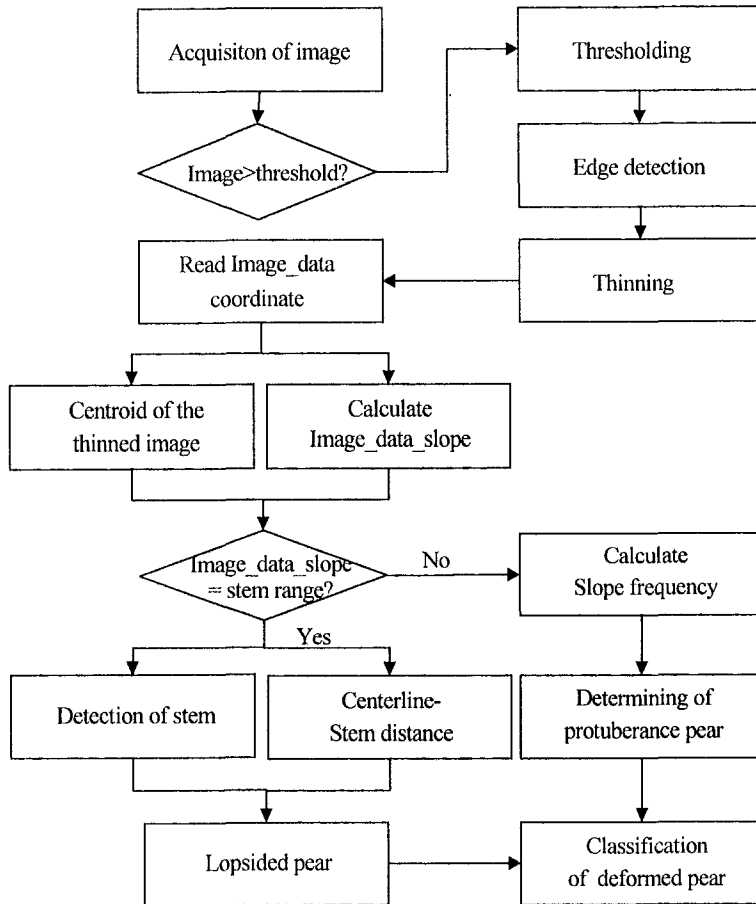


그림 2-26. 형상선별 알고리즘 흐름도

세션화 영상의 각 선분의 기울기 분포는 기울기를 구할 때 사용되는 화소간격에 따라 차이가 있으며, 형상 판별율은 화소간격에 따른 기울기 분포와 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었다. 본 과제에서는 화소 간격 5픽셀에 해당하는 각 선분의 기울기 분포가 형상판별에 가장 유용한 것으로 나타났다(그림 2-27).

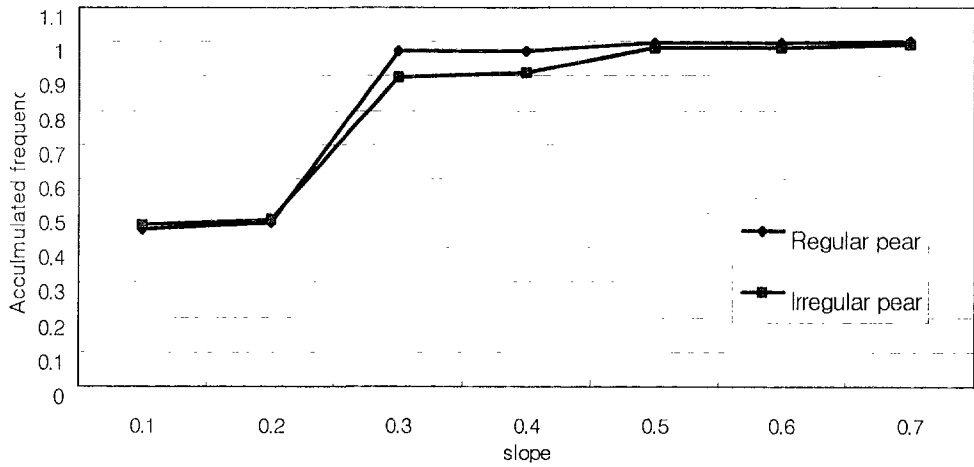


그림 2-27. 레이저 라인의 기울기 누적분포(5화소 간격)

2) 최대 곡률을 이용한 형상판정 결과

레이저 주사선의 각 라인의 곡률을 계산해 최대 곡률을 구한 다음 그 값을 가지고 정상과와 기형과를 판별한 결과 69% 정도의 정확도를 보여주었으며 이는 곡률의 분포를 이용한 분석보다는 낮은 정확도를 보여주었다. 또한 많은 정상과를 기형과로 오인하는 결과를 보여주었다. 따라서 기형과의 분석에 있어서 최대 곡률 하나만을 인자로 하는 것보다는 그 분포를 분석하는 것이 보다 정확한 결과를 보일 것으로 판단하였다.

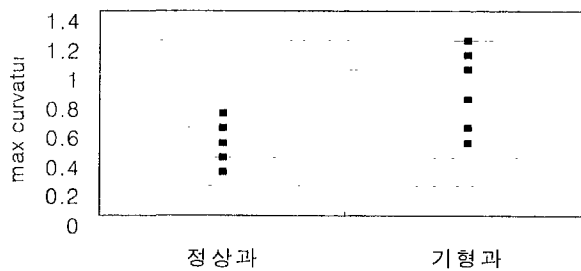


그림 2-28. 최대곡률을 이용한 기형과 검출 결과

3) 라인 기울기 분포를 이용한 분석 결과

현재 국내에서 생산되고 있는 신고배 시료를 구입해 기본적인 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 기울기를 구함에 있어 화소의 간격을 10, 20, 40 등으로 하였을 경우에는 그 결과가 5 화소 간격으로 했을 때보다는

훨씬 낮은 결과를 나타내었다. 따라서 곡률정보를 가지고 과실의 형상을 분석하는데 있어서는 10 이하의 화소 간격을 주는 것이 가장 좋을 것으로 판단된다. 화소의 간격을 5 화소로 하고 분석을 수행한 결과는 다음 그림과 같다.



그림 2-29. 기형과와 정상과의 slope 비교

정상과의 경우에 있어서 세션화된 영상에서 중심선을 기준으로 양방향에 위치한 꼭지로 인식된 부위를 제외한 5화소 간격의 기울기 값들은 -0.2 에서 0.2 사이의 값들을 나타냈으며, 꼭지 부분에 있어서는 -0.4 에서 -0.2 또는 0.2 에서 0.4 의 분포를 나타내었다. 이런 부분들을 제거한 후 이 범위 외의 기울기 값을 가지는 화소의 수를 구해 분석을 수행한 결과 11개의 정상과 중 2개를 기형과로 잘못 인식했고, 1개의 기형과를 정상과로 오인한 결과를 보여주었으며 중심에서 꼭지 사이의 거리를 계산함으로써 사측과에 대한 판별도 가능할 것으로 보여진다. 한편 개발된 알고리즘의 꼭지 검출율은 정상과의 경우 95.0%, 기형과의 경우 62.5%였으며, 영상의 도심과 꼭지와의 거리를 이용하여 사측과를 판별한 결과 판별율은 90.0%를 보여주었다. 최종적으로 대상체에 대한 레이저 광원의 설치 높이와 설치각을 각각 61cm, 30° 로 유지하고, 도심과 꼭지와의 거리 및 기울기 분포를 이용하여 정상과와 기형과를 판별한 결과 판별율은 92.5%를 보여주었다(그림 2-30).

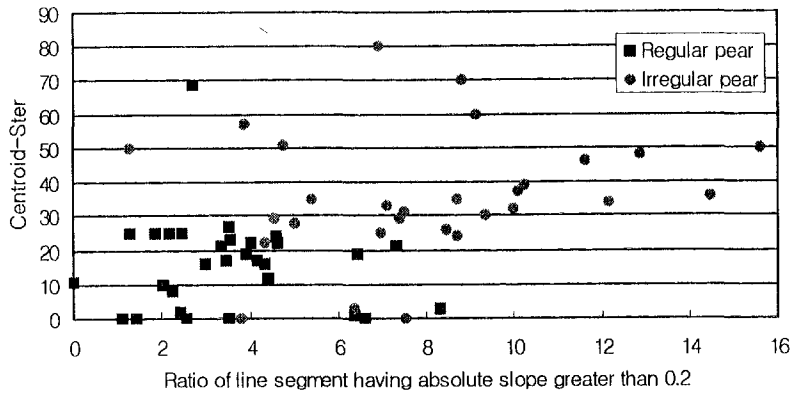
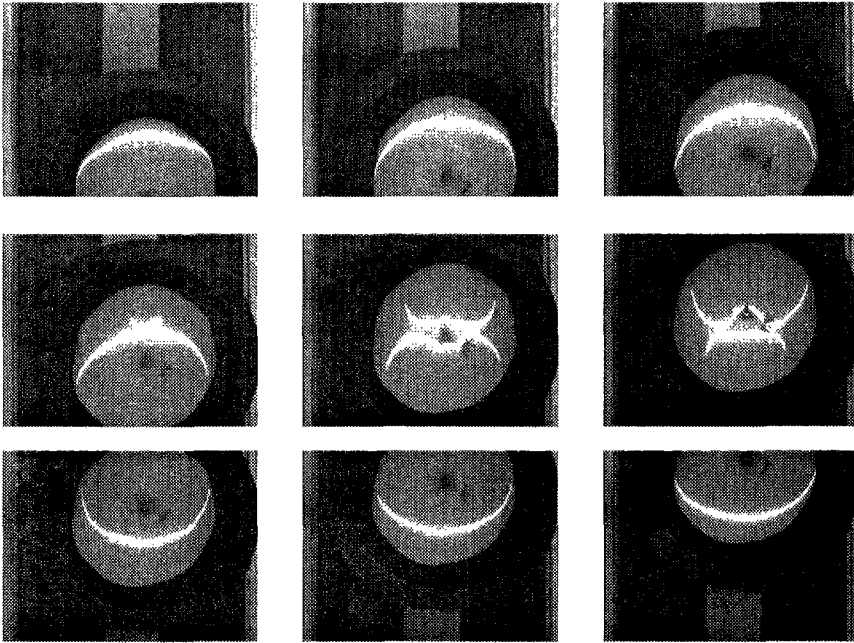


그림 2-30. 도심-꼭지 거리와 레이저 라인 기울기를 이용한 형상선별 결과

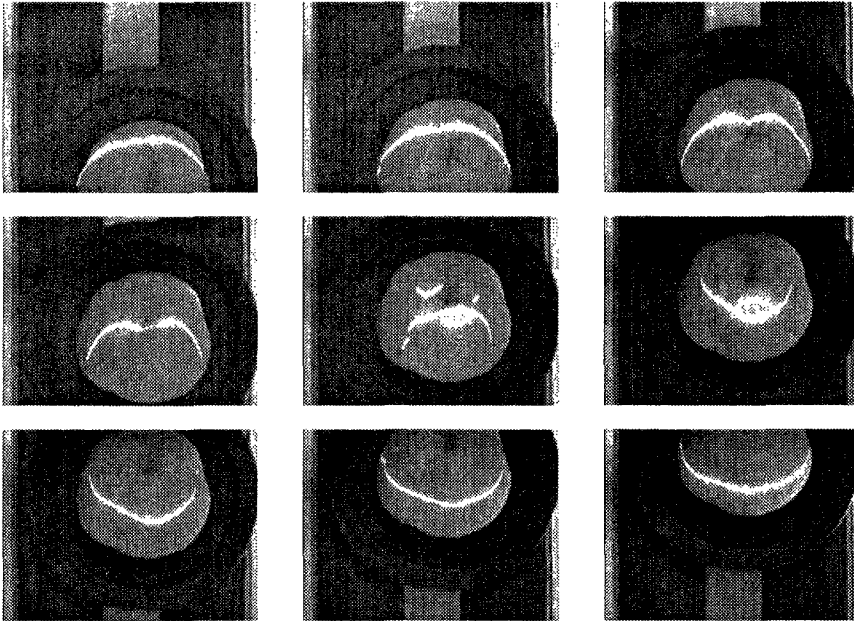
4) 다중 레이저 구조광 영상을 이용한 선별

보다 정밀한 형상선별을 수행하기 위해서는 한 개 이상의 영상을 획득하여 가능한 많은 부위에 대한 레이저 구조광 데이터를 획득할 필요가 있을 것으로 판단하였다. 또한 기존의 복수 라인 레이저 구조광은 가격이 비쌀 뿐 만 아니라 레이저의 파워가 다소 낮아 이치화에 어려움이 있었다. 이를 위해 본 연구에서는 국내에서 생산된 단일 라인의 레이저 구조광을 전후면에 1개씩 부착하였으며 가능한 많은 레이저 정보를 이용하기 위해 이송상태에서 10개의 영상을 획득하여 이를 분석하고자 하였다. 아래의 그림 2-31은 30cm/sec 속도의 이송 상태에서 획득한 10개의 영상 중 9개를 순차적으로 나타낸 것이다.

그림에서 보듯이 이전 레이저 영상보다는 레이저 라인의 밝기가 세고 앞 뒷면으로 조사를 하므로 한 쪽면에서 조사하는 경우보다 형상에 대한 정보를 많이 갖고 있음을 확인할 수 있었다. 특히 4, 5, 6번의 꼭지 영상을 관찰한 결과 정상과는 대칭이 되는 2개의 라인이 나타남에 비해 용기과는 라인이 끊어지면서 개수가 많아지는 특성을 보여주었다. 이는 복잡한 라인 분석을 수행하지 않고서 단지 라인의 개수 또는 라인의 대칭성만을 가지고 용기과를 판정할 수 있을 것으로 판단하였다. 그림 2-32는 정상과와 기형과의 꼭지 주변 영상을 개체별로 모아서 나타낸 것이다. 현재 기존의 알고리즘을 보완하여 보다 정확한 선별 알고리즘을 개발 중에 있으며 연구 결과를 학술지에 발표할 예정이다.

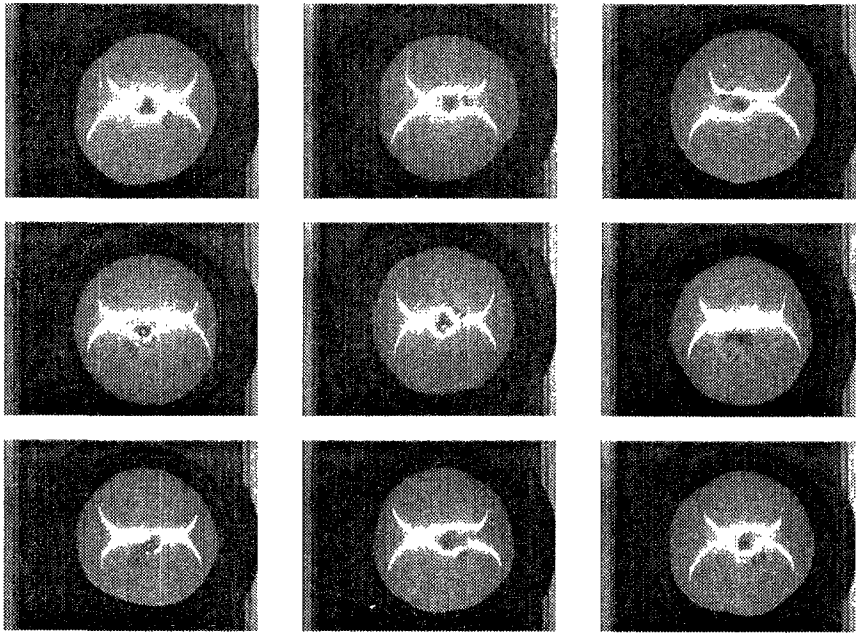


(a) 정상과

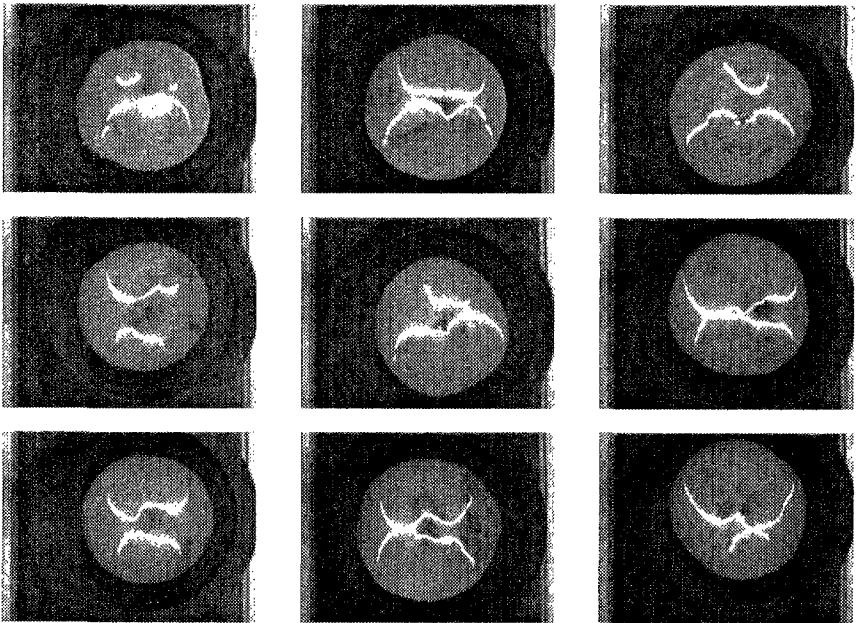


(b) 기형과

그림 2-31. 다중 레이저를 이용한 정상과/기형과 레이저 구조광 영상



(a) 정상과



(b) 기형과

그림 2-32. 정상과/기형과 폭지 영상

3. 요약 및 결론

본 연구는 배의 주요 외부품질인 색, 형상 및 결점에 대해 실시간으로 등급을 판정하기 위하여 기계시각장치를 구축하고 각종 선별알고리즘 및 선별 실험을 수행하였다. 구체적인 연구결과는 아래와 같다.

1. 색 선별을 위한 기초자료를 제공할 목적으로 배의 색상 분석을 수행한 결과 색 등급별로 밝기에 따른 유의성이 있는 것으로 나타났으며 컬러 영역에서는 채도인 Saturation의 유의성이 가장 높았다.
2. 결점 검출을 위하여 400~1100nm 대역에 대한 분광특성을 조사한 결과 바람들이 726nm, 일소 720nm, 탄저병 714nm 및 병반에 대해서는 746nm가 유의한 파장으로 나타났으며 컬러 특성을 사용할 경우 바람들이는 검출이 어려운 것으로 나타났다.
3. 체인코딩을 이용하여 배의 윤곽선을 검출하고 반경 프로파일에 의해 평균과정을 측정하는 크기선별 알고리즘을 개발하였으며 실제 측정값과는 1mm 이하의 오차를 보여주었다.
4. 결점의 크기와 개수를 측정하기 위하여 연결 레이블링에 의한 결점선별 알고리즘을 개발하였으며 컴퓨터에서 온라인으로 작동할 수 있도록 프로그램을 코딩하였다.
5. 배의 주요 외관품질인자인 색, 결점 및 형상 등급을 판정하기 위하여 총 7대의 카메라를 사용한 다중영상획득장치를 구축하였고 온라인 등급판정이 가능하도록 선별알고리즘 및 프로그램을 개발하였다.
6. 다중영상처리에 의한 형상판별에 있어서 배의 용기부위를 관찰할 수 없는 문제를 해결하기 위하여 레이저 구조광을 이용한 기계시각장치를 구축하였다.
7. 구조광의 윤곽선 특성을 이용한 배 형상검출 실험을 수행하였으며 실험 결과 윤곽선의 국소 미분치가 가장 유의한 형상인자로 판명되었고 정확도는 92.5% 인 것으로 나타났다.
8. 색, 결점 및 형상을 동시에 판정할 수 있는 온라인 외관품질판정 시스템 및 소프트웨어를 개발하였으며 온라인 선별 실험결과 각각의 선별인자에 대해서 88.8%, 80.5%, 91.6%의 정확도를 보여주었다.

제 3 절 내부 품질 판정 기술 개발

최근 소득증대와 더불어 소비자들의 기호변화, 농산물 수입개방 확대에 의한 외국 농산물에 대한 품질 위주의 경쟁력 제고 그리고 수출시 부가가치 향상을 위한 방안의 하나로 농산물의 품질에 대한 관심이 더욱 높아지고 있다. 배의 내부품질은 당도, 산도, 경도, 내부결함(흑변, 갈변, 부패 등)등이 있으며, 이를 측정할 수 있는 기술은 국내에서 개발된 바 없으며, 외국의 경우에도 개발되어 상용화된 곳은 일본 등 일부 국가에 불과한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 기술의 국산화의 일환으로 배의 내부 품질 판정 기술을 개발하였다.

배의 내부 품질은 크게 당도와 저장 중에 발생하기 쉬운 것으로 알려진 내부결함으로 나눌 수 있다. 당도의 경우, 최근 배의 품질을 결정하는 주요한 항목으로 대두되고 있으며, 배의 내부결함에 대해서는 이것이 포함된 제품이 출하될 경우, 그 상품성의 저하 및 소비자의 신뢰를 잃을 수 있기 때문에, 이를 제거하는 것이 필수적인 것으로 인식되고 있다.

따라서 이에 대한 기초연구로 분광학적 특성을 이용하여 배의 내부품질 판정 가능성을 구명하기 위하여, 순수당 수용액과 배에 대하여 정밀급 분광광도계로 투과 및 반사 스펙트럼을 측정하고 당도와 상관성이 높은 파장대역을 구명함으로써 그 가능성을 알아보았다. 또한 실시간 품질 측정의 가능성 구명을 위하여 실시간 분광광도계(PDA array type)를 이용하여 반사광식 당도 판정장치 및 실시간 분광광도계(CCD array type)와 특수한 조명장치를 이용하여 투과광식 당도 판정장치의 시작기를 개발하여 그 성능을 확인하였다.

개발된 판정장치를 이용하여 스펙트럼을 측정한 결과, 그 스펙트럼에는 다양한 형태의 노이즈가 포함되어 있어 이를 제거할 수 있는 스펙트럼 전처리 기법의 개발이 필요하다. 따라서 스펙트럼의 평활화 및 미분, 산란보정 등의 알고리즘 개발이 필요하며, 또한 안정적이고 신뢰성이 있는 당도 예측 모델의 개발이 필요하다. 따라서 PCR, PLSR과 같은 정량분석모델 기법을 개발하였으며, 내부품질 중 배의 내부결함, 즉 흑변, 갈변, 씨방부패, 바람들이 등의 경우, 당도 예측 모델과 같은 정량분석모델이 아닌 정성분석법에 의한 판정모델의 개발이 필요하다. 정성분석모델의 경우에는 다양한 방법이 있으나, 본 연구에서는 SIMCA법에 의한 판정 알고리즘을 개발하였다. 최종적으로는 개발된 모델기법에 따라 배의 내부품질(당도 및 내부결함)을 온라인으로 판정할 수 있는 복합 판정 알고리즘을 개발하여 실시간 판정 프로그램의 기본 알고리즘으로 제시하였다.

기초연구 결과를 바탕으로 간이 온라인 당도 판정 시스템을 위탁과제에서 제작하였으며, 본 연구에서는 제작된 간이 온라인 당도 판정 시스템을 이용하여 선별 실험을 수행하고, 상기에서 개발된 전처리 및 모델링 기법에 따른 성능변화를 구명하였으며, 최종적으로는 간이 온라인 당도 판정 시스템을 보완하여 배의 온라인 판정 시스템을 완성하고, 그 선별 성능을 테스트함으로써 내부품질 판정 기

술을 개발하였다.

1. 재료 및 방법

가. 배의 당도 측정을 위한 기초연구

1) 분광학적 특성을 이용한 배의 당도 판정 원리

근적외선은 파장대역이 700nm~2500nm(14,300~4,000cm⁻¹)이며, 이 파장대역에서 유기물의 경우 분자의 진동에 의해 광 흡수가 일어난다. 즉 어떤 분자 결합에 근적외선이 조사되면 그 분자 결합이 가지고 있는 고유 진동에너지에 해당하는 복사선이 흡수된다. 분자가 적외선을 흡수하기 위해서는 그 분자는 진동하면서 쌍극자 모멘트(Dipole Moment)의 변화가 일어나야만 한다. 이런 결과 때문에 균일한 핵을 가진 이원자 분자(Homonuclear Diatomic Molecule)는 적외선을 흡수하지 않는다. 이 원리에 의하면 진동하는 동안에 쌍극자 모멘트(Dipole Moment)의 방향이나 크기가 조금이라도 변하면 복사선의 전기적 성분과 적외선이 작용하여 흡수를 일으키게 된다. 이러한 흡수는 다원자 분자보다는 이원자 분자에서 더 잘 일어난다.

근적외선은 2500nm 이상의 중적외선 영역에서 일어나는 O-H, C-H, N-H, C=O 등과 같은 작용기의 기본 흡수(Fundamental Absorptions)에 의한 배 진동(Overtone Vibration)과 결합 진동(Combinational Vibration)이 나타나는 파장대역이다. 일반적으로 작용기의 기본 흡수가 진동수 ν_0 에서 일어나면 배 진동은 아래 식의 진동수에서 일어난다. 따라서, 기본 진동수를 알고 있으면 근적외선 영역에서의 배 진동에 의한 흡수 진동수를 근사적으로 계산할 수 있다.

$$\nu_i = (i+1) \nu_0 (1 - x(i+1))$$

여기서 ν_0 : Wavenumber of fundamental frequency (cm⁻¹)

ν_i : Wavenumber of *i*-th overtone frequency (cm⁻¹)

x : anharmonicity constant (0.01~0.05)

배진동에 의한 흡수의 세기는 중적외선 영역의 기본 흡수보다 10~1000배 약하다<표2-7>. 따라서 중적외선을 이용할 경우 높은 흡수도로 인해 시료를 희석해야 하지만 근적외선을 이용할 경우 시료의 전처리가 필요 없기 때문에 신속하게 분광 스펙트럼을 측정할 수 있다.

표 2-7 각 배음별 상대적인 흡수도

Transition (ν_0 to ν_n)	Overtone No.	Relative Absorbance for 1cm Cell
1	Fundamental	100
2	First	9
3	Second	0.3
4	Third	0.01

일반적으로 근적외선의 특징은 물질을 투과할 때 파장이 커질수록 흡광도는 증가하고 띠나비(bandwidth)와 경로길이(pathlength)는 감소한다. 이와 같은 특성에 따라 근적외선에서 가시광선 쪽으로 갈수록 경로길이 및 띠나비는 증가하고 흡광도가 작아지므로 시료의 전처리가 필요하지 않다. 또한 산란율이 작아 물리적인 영향을 적게 받고 흡광도가 작기 때문에 다량의 주성분만의 분석이 가능해진다. 그러나 근적외선에서 중적외선으로 갈수록 흡광도 및 산란율이 증가하고 경로길이와 띠나비는 감소하므로 미량의 성분을 포함한 시료도 분석이 가능하지만 물리적인 영향을 크게 받는다. 스펙트럼에 나타나는 흡수 밴드(absorption band)는 그 물질에 포함된 특정 성분의 작용기가 그 파장에서 진동한다는 것을 의미하며, 물질의 화학적 성분의 조성에 따라 다르다. 따라서, 적절한 파장의 근적외선을 이용할 경우 여러 가지 화학 성분을 선택적으로 측정할 수 있다.

2) 순수당 수용액과 배의 흡광 특성 측정

가) 공시재료

본 실험에 사용한 순수당의 수용액은 과당(fructose), 포도당(glucose) 및 자당(sucrose)으로서 Sigma사 제품을 사용하였으며, 순수당 및 혼합당의 분석에 사용한 농도는 <표 2-8>과 같다.

표 2-8. 당 수용액의 농도

당의 종류	농도 (g/100ml)	비고
fructose	10, 7.5, 5, 2.5, 1, 0	0 : 증류수
glucose	6, 4, 2, 1, 0.5, 0	0 : 증류수
sucrose	4, 3, 2, 1, 0.5, 0	0 : 증류수
혼합당	10 ^f /6 ^g /4 ^s , 7.5/4/3, 5/2/2, 2.5/1/1, 1/0.5/0.5, 0	0 : 증류수, f, g, s는 증류수 300ml에 용해된 fructose, glucose 및 sucrose의 중량(g)

배 시료는 수확 직후 및 저장후의 2가지 경우로 나누었다. 수확 직후의 배는 시기상 구할 수가 없었기 때문에 1996년 경북 김천에서 수확된 것에 대해 측정

되었던 흡광도 데이터 및 당·산도를 흡광 특성 분석 시료로 사용하였다. 저장된 배는 1998년 안성지방에서 수확후, 저온저장고에 약 6개월간 저장되어 있던 배(신고)를 구입하여 사용하였다. <표 2-9>는 수확직후(시료 I) 및 저장되었던 배(시료 II)의 시료수 및 당산도의 범위를 나타낸다.

표 2-9. 배의 당산도 범위 및 시료수

구 분	시료수	당 도(brix)	산 도(%)
시료 I	84	9.4~16.6	0.045~0.064
시료 II	64	9.7~13.5	0.004~0.028

나) 측정장치

순수당 수용액의 스펙트럼 및 당산도측정은 배의 기초 물성 측정시 사용했던 장치를 사용하였다.

나. 실시간 반사 및 투과 스펙트럼 측정장치

정밀급 분광광도계를 이용하여 배의 반사 스펙트럼을 측정하고 배의 당도 판정 가능성을 구명한 후, 실시간으로 스펙트럼을 측정하고, 이를 이용하여 배의 당도 판정 가능성을 알아보기 위하여 다음과 같이 반사광식 및 투과광식 스펙트럼 측정장치를 설계/제작하여 그 가능성을 구명하고자 하였다.

1) 반사광식 스펙트럼 측정 장치

반사 스펙트럼을 측정하기 위해서는 배에 조명을 가하기 위한 조명장치와, 배 표면에서 반사 또는 투과되는 광을 측정하기 위한 프로브(probe)를 제작하여야 한다. 조명장치와 프로브는 서로 독립적으로 제작할 수도 있으나 간이 당도 판정을 위해서는 일체형으로 제작하는 것이 일반적이다. 조명장치 및 프로브를 설계함에 있어 조명과 프로브가 이루는 각도가 중요한 영향을 미친다. 따라서 반사광 측정용 프로브는 두가지를 설계하였다. 반사광 측정용 프로브 1은 조명을 위한 광파이버와 물체에서 반사된 빛을 집광하여 입력하기 위한 렌즈 등으로 구성되어 있으며, 광파이버와 렌즈의 중심간의 각도는 30° 가 되도록 하였다. <그림 2-33>은 설계한 프로브의 단면을 나타낸 것이고, <그림 2-34>는 실제 제작된 조명장치 및 프로브의 사진을 나타낸 것이다. 조명장치의 광원으로는 배의 조명을 위해 가시광 및 근적외 영역에서 충분한 에너지를 발생시키는 12V 100W의 텅스텐 할로겐 램프를 사용하였다.

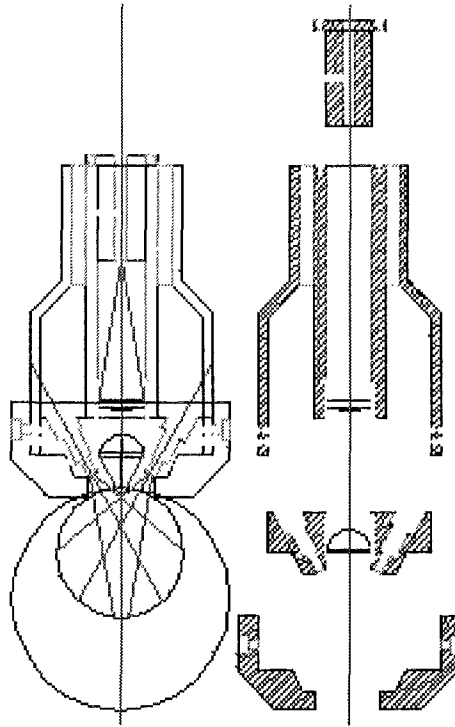


그림 2-33 반사광 측정용 프로브 1



그림 2-34 조명장치 빛 프로브

상기의 반사광 측정용 프로브로 배의 반사 스펙트럼을 측정한 결과 거리에

따른 스펙트럼의 형상이 크게 변화는 것으로 나타나 <그림 2-35>의 반사광 측정용 프로브를 다시 제작하였다. 반사 프로브 2는 반사 프로브 1에 비해 거리에 따라 스펙트럼의 크기나 형태에 큰 변화가 없는 것으로 나타났으므로 반사 프로브 2를 이용하여 반사광 측정용 간이 당도 판정장치를 제작하였다. 반사광 측정용 프로브 2로 제작한 스펙트럼 측정 장치를 <그림 2-36>에 나타내었다.

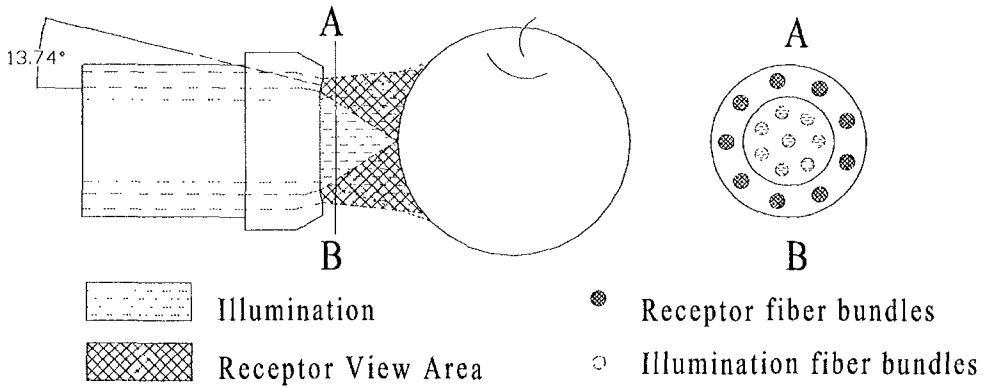


그림 2-35. 반사광 측정용 프로브 2

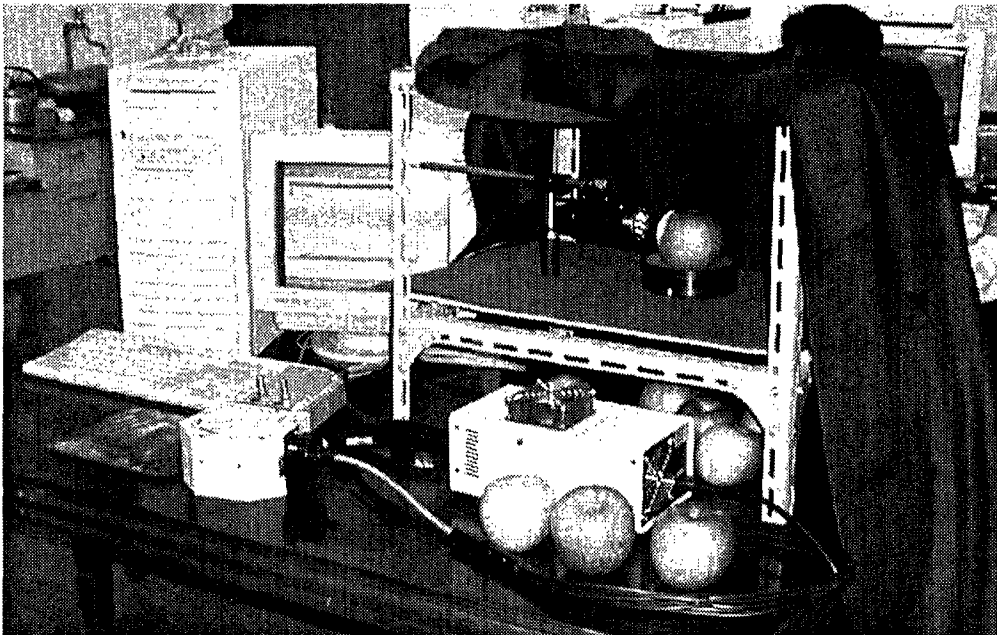


그림 2-36. 반사식 간이 당도 판정 장치

2) 투과광식 스펙트럼 측정 장치

일반적으로 NIR은 농산물을 수 mm 정도 투과할 수 있는 것으로 알려져 있고, 실제로 예비 실험을 수행해 본 결과 10mm 이상의 시료는 투과되는 광량이 미약하여 일반적인 분광광도계로 신호를 분석하는 것이 거의 불가능하였다. 그러나 일본에서는 과일(사과, 배, 복숭아 등)의 투과 스펙트럼을 측정하여 당도, 산도 등의 내부품질을 판정할 수 있는 선별 시스템이 이미 개발되어 현장에 보급되고 있는 실정이고, 투과 스펙트럼을 이용하여 과일의 내부품질을 판정하는 것이 반사 스펙트럼을 이용하는 것보다 정확하고 안정적인 방법으로 인식되고 있다. 본 연구에서는 배의 투과 스펙트럼을 측정하기 위해 미량의 광 측정이 가능한 형광 측정용 실시간 분광광도계(S2000-FL, Ocean Optics 사)를 이용하여 투과식 당·산도 판정 장치를 설계·제작하였다(<그림 2-37>).

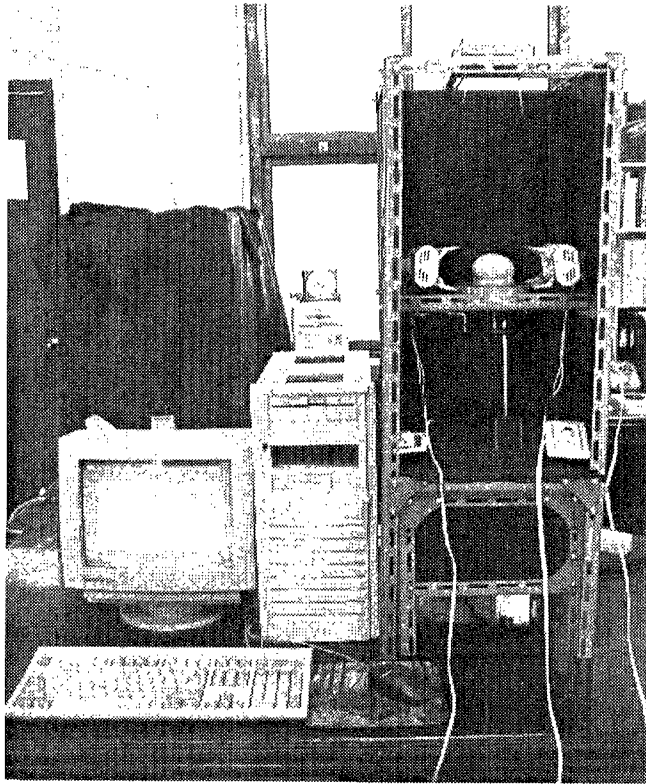


그림 2-37. 투과광식 간이 당·산도 판정장치

투과광식 당·산도 판정 장치는 시료를 올려놓는 시료대(이송접시), 시료에 조명을 가하기 위한 텅스텐 할로겐 램프(220V/500W), 시료를 투과한 광의 스펙

트립을 스펙트럼 측정장치로 전달하기 위한 광프로브 등으로 구성된다.

다. 온라인 투과 스펙트럼 측정장치

실시간 스펙트럼 측정장치 구성에 대한 기초연구로 반사 및 투과 방식에 대하여, 반사방식은 실시간 분광광도계(PDA array type)와 위탁기관에서 제작한 반사 프로브를 결합하여 반사광식 당도 판정장치를 개발하였다. 또한 CCD array type의 실시간 분광광도계와 특수한 조명장치를 이용하여 투과광식 당도 판정장치를 개발하였다. 개발된 기초장치를 이용하여 정지상태에서의 실시간 스펙트럼을 측정하고, 당도 예측 모델을 개발하여 그 예측 가능성을 확인하고자 하였다.

정지식 실시간 스펙트럼 측정장치에서 당도 예측 가능성을 확인하고, 온라인 상태에서의 예측 모델 개발 가능성을 구명하기 위하여 반사식 및 투과식 스펙트럼 측정장치를 장착한 간이 온라인 당도 판정 시스템을 제작하여, 온라인 상태에서의 가능성을 검증하고자 하였다. 위탁과제에서 설계/제작된 간이 온라인 당도 판정 시스템을 이용하여 실험을 수행하고, 장치의 성능을 평가하고자 하였다.

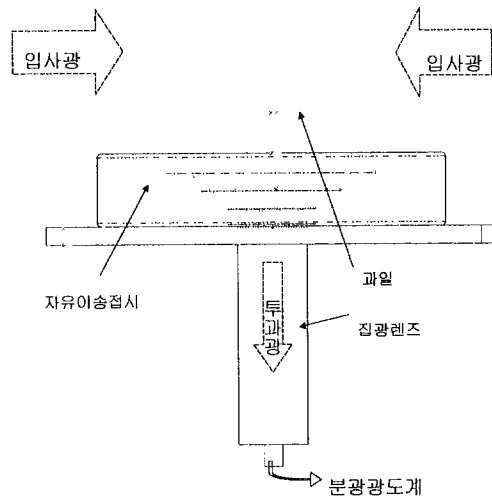


그림 2-38 투과 스펙트럼 측정 원리

최종적으로는 상기에서 개발된 간이 온라인 당도 판정 시스템의 스펙트럼 측정부를 보완하기 위하여, 4장에서 개발된 점광원 및 선광원을 이용한 투과 스펙트럼 측정장치를 <그림 2-38>과 같이 설계/제작하여 온라인 스펙트럼을 측정하였다. 점광원은 과실의 진행방향에 대해 상방 측면에서 각기 2개의 구형 텅스텐-할로겐 램프(100W)를 이용하여 과실에 집중광을 조사할 수 있도록 한 것으로, 광이 보다 효율적으로 과실에 도달될 수 있도록 구성한 것이다(<그림 4-33>). 선광원의 경우, 전년도에 개발된 간이 당도 판정장치에 사용된 선광원을 보완하

기 위한 것으로, 진행방향의 측방에 선형 텅스텐-할로겐 램프(200W)를 각기 2개씩 설치하고, 상방에 진행방향에 대해 대각으로 2개의 선형 텅스텐-할로겐 램프(200W)를 추가적으로 설치하여, 광이 고르게 과실에 조사되도록 한 것이다(<그림 4-34>).

본 연구에서 최종적으로 개발된 온라인 시스템에 상기의 스펙트럼 측정방식인 점광원 및 선광원 방식을 장착하고 온라인 실험을 수행하여, 그 성능을 비교 평가하고자 하였다. 변동계수(Coefficient of Variation)는 자료군 사이에 측정단위가 다르거나 평균에 있어서 큰 차이가 있을 경우, 표준편차를 직접 비교하는 데는 무리가 따르므로, 이러한 경우에 표준편차나 분산과 같은 절대적인 측정치보다 평균을 감안한 변동의 상대적 측정치를 비교해야 한다(강금식, 1999). 따라서 본 연구에서는 장치별 스펙트럼의 특성이 다르게 되므로 이의 상대적인 특성을 관찰하기 위하여 과장별 변동 계수 곡선을 사용하였다. 과장별 변동 계수의 계산은 다음 식과 같다.

$$CV = \frac{\sigma_i}{x_i}$$

where σ_i : Standard deviation of spectrum at wavelength i

\overline{x}_i : Mean of spectrum at wavelength i

2. 스펙트럼 분석 알고리즘 개발

가. 전처리 알고리즘 개발

스펙트럼 데이터를 이용하여 모델을 만들 경우, 다양한 전처리 기법이 필요하다. 스펙트럼 데이터에는 측정기기로부터의 노이즈, 측정오차나 주변환경(온도 등)의 변화 및 측정방법(시료와 센서와의 거리 및 위치, 시료의 자세 등)에 의한 오차와 같은 다양한 간섭이 존재하게 된다. 하드웨어를 정밀하게 만들거나 주변환경의 변화가 거의 없도록 하면 되겠지만, 이는 현실적으로는 불가능하다. 따라서 이러한 변이를 최소한으로 줄이기 위해서는 평활화와 같은 스펙트럼 전처리가 필요하다.

광은 물체의 표면 상태에 따라 산란되는 특성이 있으며, 스펙트럼의 측정시 산란된 광이 센서에 동시에 포집되므로 이의 영향을 제거할 필요가 있다. MSC(Multiplicative Scattering Correction)나 SNV(Standard Normal Variate) 및 Detrending이 효과가 뛰어난 것으로 알려져 있다(Geladi 등, 1985; Barnes 등, 1989).

또한 과실류의 내부품질인자를 투과방식에 의해 비접촉·비파괴적으로 측정하는 것은 과실의 크기 혹은 시료와 센서와의 위치관계 등에 따라 그 투과경로가 달라지는 단점이 있다. 따라서 경로차 보정(Pathlength Correction)을 해주어

야 하며, 경로차 보정에 관한 연구가 Fuller 등(1988)에 의해 수행된 바 있다. 모델의 개발에 앞서, 측정된 스펙트럼이나 내부품질인자의 성분농도의 측정이 잘못된 데이터는 이상치라(Outlier)고 하며, 이러한 이상치가 포함된 모델은 예측 시 바이어스의 형태로 그 영향이 나타나며, 예측 성능이 저하되는 것으로 알려져 있다.

1) 평활화에 의한 전처리 방법

일반적으로 노이즈는 신호에 비해 주파수가 높고, 정규분포를 따르는 특성이 있다. 노이즈가 신호에 비해 고주파인 점을 이용하여 노이즈를 제거하기 위해서는 스펙트럼을 푸리에 변환(Fourier transform)한 다음 고주파 부분을 제거하고 역 푸리에 변환(Inverse Fourier transform)을 수행하면 스펙트럼의 노이즈를 줄일 수 있다. 또한, 일반적으로 노이즈가 정규분포 특성을 가지므로 이동 평균(moving average) 혹은 헨닝 윈도우(Hanning window)를 이용하여 노이즈를 줄일 수 있다. 이 외에 널리 사용되는 방법으로는 스펙트럼을 고차 다항함수를 이용하여 평활화 하는 방법(Savitsky Golay) 등이 있다. 본 연구에서는 스펙트럼의 노이즈를 제거하기 위해 푸리에 변환, 이동 평균 및 헨닝 윈도우를 이용하여 스펙트럼의 전처리를 수행하였다.

가) 푸리에 변환에 의한 방법

측정된 스펙트럼의 과장 j 에서의 값을 L_j 라 할 때, L_j 는 아래의 식에서와 같이 sine과 cosine의 함수로 나타낼 수 있다.

$$L_j = a_0 + \sum_{i=1}^k [a_i \cos\left(\frac{2\pi ij}{n}\right) + b_i \sin\left(\frac{2\pi ij}{n}\right)]$$

여기서,

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n L_j$$

$$a_i = \frac{2}{n} \sum_{j=1}^n L_j \cos\left(\frac{2\pi ij}{n}\right)$$

$$b_i = \frac{2}{n} \sum_{j=1}^n L_j \sin\left(\frac{2\pi ij}{n}\right)$$

수식에서 a_i 및 b_i 를 푸리에 계수(Fourier coefficient)라 하고 이것을 계산하는 과정을 푸리에 변환(Fourier transform)이라 하며, 푸리에 계수와 sine 및 cosine의 주기함수로 스펙트럼을 역으로 계산하는 과정을 역 푸리에 변환(Inverse Fourier transform)이라고 한다. 스펙트럼에 포함된 노이즈는 스펙트럼 신호에 비해 고주파이므로 수식에서 고주파 부분을 제거하고 역 푸리에 변환을 수행하면 스펙트럼의 노이즈가 제거된다.

나) 이동 평균에 의한 방법

스펙트럼에서 파장 j 에서의 값을 L_j 라고 할 때, 스펙트럼을 평활화하기 위해 파장 j 주변의 좌·우 m 파장에서의 스펙트럼 값을 평균하는 방법을 이동 평균법(moving average)라 하며, 이때 평균하는 구간의 크기($s=2m+1$)에 따라 평활화의 결과가 다르게 나타난다. 이때, $2m+1$ 을 평활화 간격(smoothing size)이라 한다.

$$L_j = \frac{1}{s} \sum_{i=-m}^m L_i$$

다) 헨닝 윈도우(Hanning window)를 이용한 방법

이동 평균법과 거의 유사하나 이동 평균에서는 특정 파장에서의 노이즈가 감소된 스펙트럼 값을 계산하기 위해 그 파장에서의 스펙트럼 값 및 좌·우의 m 개의 스펙트럼 값의 평균값을 가중치 없이 이용하나 헨닝 윈도우(Hanning window)의 경우 좌우 m 개의 스펙트럼 값에 <그림 2-39>에서와 같이 가중치(weight)를 가지고 평균을 계산한다. 즉, 현재 계산중인 특정 파장에서의 스펙트럼 값에 가장 큰 가중치를 주고, 좌·우 m 개의 스펙트럼 값에 대해서는 중심점에서 거리가 멀어질수록 가중치 값을 작게 준다. 이 방법은 이동 평균법에 대해 계산이 복잡하기는 하나 노이즈 제거 과정에서 스펙트럼의 피크가 변형되는 것을 최소화할 수 있다.

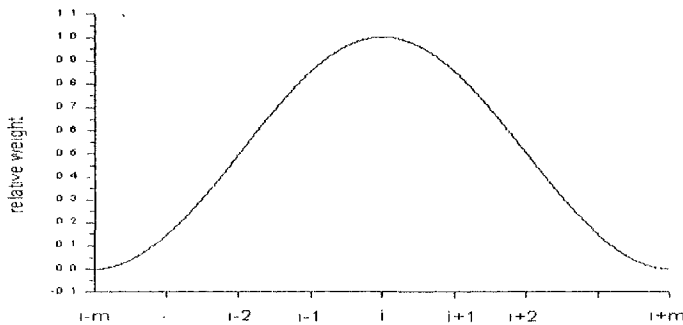


그림 2-39. 헨닝 윈도우(Hanning window)

2) 스펙트럼 미분

파장 $\lambda(i)$ 에서의 스펙트럼 값을 $A_{\lambda(i)}$ 라고 할 때, $A_{\lambda(i)}$ 를 테일러 전개(Taylor series expansion)하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
A_{\lambda(i)} &= A_{\lambda(i-1)} + \frac{(1\delta x)^1}{1!} A^{1d} + \frac{(1\delta x)^2}{2!} A^{2d} + \frac{(1\delta x)^3}{3!} A^{3d} + \dots \\
&= A_{\lambda(i-1)} + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(1\delta x)^i}{i!} A^{id} \\
&= A_{\lambda(i+k)} + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(k\delta x)^i}{i!} A^{id} \\
&= A_{(i+k)} + \sum_{i=1}^m \frac{(k\delta x)^i}{i!} A^{id} + O(\delta x)^{m+1}
\end{aligned}$$

여기서, $A_{(i+k)}$: 파장 $\lambda(i+k)$ 에서의 스펙트럼 값,
 δx : 이웃한 파장의 차이($\lambda(i+1) - \lambda(i)$),
 A^{id} : i차 미분,
 $O(\delta x)^{m+1}$: 근사화에 의한 오차
(m 의 값이 증가할 수록 0에 가까워 짐)

상기 식을 A^{id} 에 대해 정리한 다음 연립 방적을 풀면 m 의 값에 따라 1, 2, ... 차 미분을 구할 수 있다. 예를 들어 $m = 1$ 일 때의 파장 $\lambda(i)$ 에서의 1차 및 2차 미분 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
A^{1d} &= \frac{A_{\lambda(i+1)} - A_{\lambda(i-1)}}{2\delta x} + \frac{O(\delta x)^3}{2\delta x} \\
&\doteq \frac{A_{\lambda(i+1)} - A_{\lambda(i-1)}}{2\delta x} \\
A^{2d} &= \frac{A_{\lambda(i-1)} - 2A_{\lambda(i)} + A_{\lambda(i+1)}}{2\delta x} + \frac{O(\delta x)^4}{\delta x^2} \\
&\doteq \frac{A_{\lambda(i-1)} - 2A_{\lambda(i)} + A_{\lambda(i+1)}}{2\delta x}
\end{aligned}$$

상기의 미분 식에서는 파장 $\lambda(i)$ 에서의 미분을 구하기 위해 $A_{\lambda(i-1)}$, $A_{\lambda(i)}$ 및 $A_{\lambda(i+1)}$ 를 사용하지만 $A_{\lambda(i-k)}$, $A_{\lambda(i)}$ 및 $A_{\lambda(i+k)}$ 를 사용하여 미분을 구할 수도 있다. 이때, k 를 미분간격(gap size)라고 한다.

3) 산란보정

가) MSC(Multiplicative Scattering Correction)

시료 표면 혹은 시료내부의 불균일성 때문에, 동일 시료에 대한 반복 측정에 대해서도 얻어진 스펙트럼은 차이를 보일 수 있으며, 이는 스펙트럼 데이터 변이의 가장 큰 원인이 된다. 또한 산란정도는 사용된 광원의 종류나 시료표면의 상태, 그리고 시료의 반사지수 등에 영향을 받으며, 이것은 주로 베이스라인의 이동이나 기울기 및 곡률의 변화로 나타난다. 이러한 광산란의 영향은 특히 측정된 스펙트럼의 장파장 영역에서 주로 나타난다. MSC의 기본개념은 모든 스펙트럼을

이상적인 스펙트럼에 의해 보정하는 것이다. 실제로는 이상적인 스펙트럼을 얻을 수 없으므로, 전체 스펙트럼의 평균을 이상 스펙트럼으로 한다. 따라서, 이상적인 스펙트럼은

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^m x_{i,j}}{m}$$

여기서, x : 스트림 ($m \times n$), \bar{x}_j : j번째 파장의 평균 스펙트럼 ($1 \times n$)
 m : 샘플의 수 n : 파장의 수

이 되고, 이 평균 스펙트럼을 이용하여 각 파장에서의 흡광도 데이터에 대해 선형 회귀를 취한다. 즉,

$$x_i = a_i \bar{x} + b_i$$

여기서, x_i : 평균에 대한 회귀스펙트럼 ($1 \times n$), a_i : 기울기, b_i : 절편
 선형회귀로 구한 a_i 및 b_i 값을 이용하여 다음과 같이 MSC 보정을 한다.

$$x_{i_{MSC}} = \frac{(x_i - b_i)}{a_i}$$

여기서, $x_{i_{MSC}}$: MSC 보정된 스펙트럼 ($1 \times n$)

나) SNV(Standard Normal Variate)

이것은 MSC와 마찬가지로 광산란 보정을 위한 방법으로, 목적은 동일하지만 수학적 방법은 다르다. SNV는 이상적인 스펙트럼이 필요하지 않으며, 대신에 각 스펙트럼을 전체 스펙트럼의 표준편차로 정규화하여 광산란의 영향을 제거하는 방법이다. 광경로나 광원의 변동에 따른 스펙트럼의 변이등이 SNV에 의해 보정될 수 있으며, SNV보정된 스펙트럼은 무차원이 된다.

$$\bar{a}_i = \frac{\sum_{j=1}^n A_{i,j}}{n}$$

$$x_{i_{SNV}} = \frac{(x_i - \bar{a}_i)}{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_{i,j} - \bar{a}_i)^2}{(n-1)}}}$$

여기서, \bar{a}_i : i번째 스펙트럼의 모든 파장에 대한 평균 ($n \times 1$)

$x_{i_{SNV}}$: SNV 보정된 스펙트럼 ($1 \times n$)

4) 경로차 보정

Beer-Lambert의 법칙은 샘플의 농도, 경로 및 특정 파장에서의 광의 흡광도

사이에는 직접적이고도 선형적인 관계가 있음을 설명하고있다. 하지만 검량 시료 혹은 미지 시료의 스펙트럼을 측정할 때 항상 동일한 광 경로로 측정된다는 보장이 없다. 투과광식의 경우, 광경로의 변화에 영향을 주는 것은 과실의 크기 및 과실과 센서사이의 거리, 시료의 자세 등이다. 만약 광 경로가 시료 내부에서 변화한다고 한다면, 이것은 분석하고자 하는 성분의 농도와 상관없이 스펙트럼의 변이로 나타나게 된다. PCR이나 PLS와 같은 주성분분석에 기반한 모델은 그 특성상 광경로의 변화가 크지 않은 경우에 이러한 영향을 어느 정도 보정할 수 있다. 하지만 과실을 투과하는 경우와 같이 광경로가 크고, 불규칙한 경우에는 경로차 보정을 해주어야 할 것으로 판단된다. MSC가 이러한 보정을 어느 정도 수행하는 것으로 알려져 있으나, 본 논문에서는 시료의 크기, 센서와의 거리 및 내부 투과광의 경로를 측정할 수 없으므로, 광경로 차를 측정할 수 없는 경우에 효과적으로 알려진 단위 면적 정규화(unit area normalization, UAN)기법을 사용하였다.

단위 면적 정규화는 스펙트럼 아래의 면적을 계산하고 이를 이용하여 그 스펙트럼을 정규화한다. 스펙트럼 데이터 X 의 i 번째 시료를 x_i 라 하면, 그 스펙트럼의 면적을 구하여 스펙트럼을 스펙트럼의 면적으로 나누면, 정규화된 스펙트럼을 얻을 수 있다.

$$A_i = \sum_{j=1}^{n-1} (x_{i(j+1)} - x_{ij}) \Delta\lambda$$

$$x_{irc} = \frac{x_i}{A_i}$$

여기서 $\Delta\lambda$ 는 파장사이의 간격이다.

5) 센서-광원 정규화 알고리즘

본 연구에서 사용한 실시간 분광광도계의 광원에 대한 CCD센서의 응답특성은 그림 2-40과 같다. 이 센서의 특징은 응답 특성이 파장에 따라 다르다. CCD 센서의 특성상 주응답특성을 보이는 파장에서의 응답특성은 기타 나머지 파장에서의 응답특성보다는 높게 나오게 되며, 실제 이러한 특성을 갖는 센서로 스펙트럼을 측정할 경우, 측정된 스펙트럼에 비선형적인 요소가 변이로 작용할 가능성이 있다. 따라서 스펙트럼에서 이러한 영향을 제거하기 위하여 광원-센서 특성을 보정하기 위한 알고리즘의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 다음과 같은 광원-센서 특성 보정 알고리즘을 개발하였다. 즉 주어진 광원과 센서의 특성이 그림 2-34와 같다면, 이 스펙트럼 신호 중에서 응답특성이 피크를 보이는 파장에서의 최대 피크 값을 이용하여, 다음 식과 같이 센서-광원 스펙트럼을 각 파장에 대해 나누어 이를 정규화한다. 정규화된 표준 스펙트럼을 이용하여 측정된 시료의 스펙트럼을 나누어 보정된 스펙트럼을 계산하였다.

$$X_{nor} = \frac{X_{sen}}{x_{max}}$$

$$X_{cor} = \frac{X}{X_{nor}}$$

where X_{nor} : Normalized spectrum

X_{sen} : Signal from sensor at specific light source

x_{max} : the maximum intensity of X_{sen}

X : Spectrum of samples

X_{cor} : Corrected spectrum

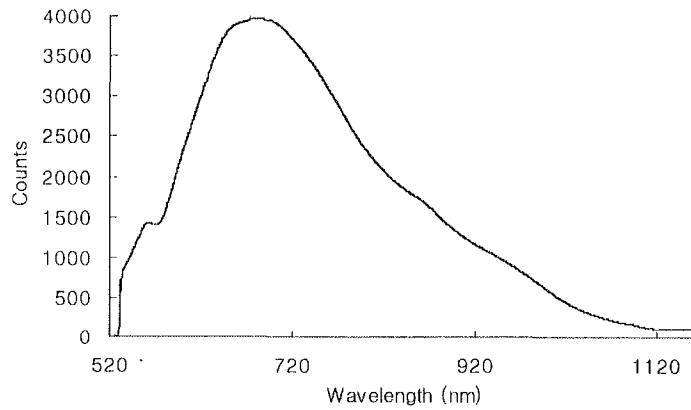


그림 2-40 스펙트로메터 센서의 응답특성

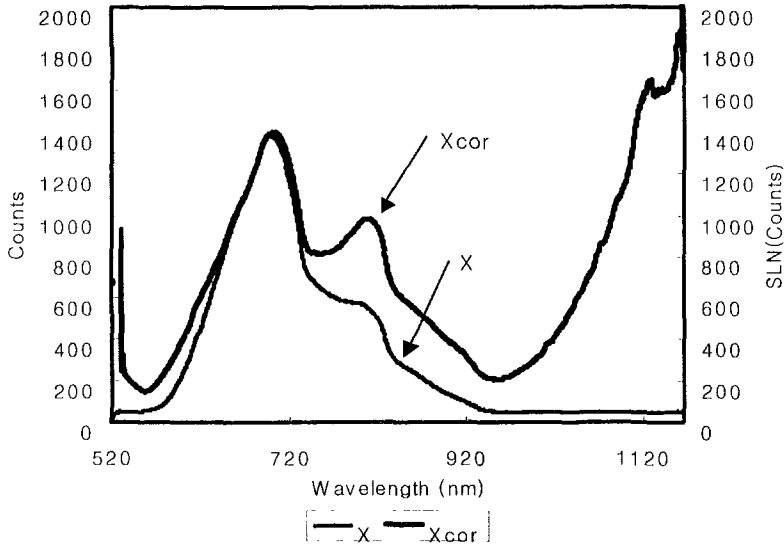


그림 2-41 샘플 데이터(X)와 정규화된 데이터(X_{cor})

그림 2-41은 본 연구에서 사용한 CCD센서로 측정된 샘플 스펙트럼과 SLN 보정된 스펙트럼의 예이다. 측정된 샘플 스펙트럼의 신호(Counts)에 대해 SLN 보정된 스펙트럼은 무차원이 되게 된다. SLN 보정된 스펙트럼은 샘플 스펙트럼의 신호가 작은 파장 영역에서는 노이즈의 영향을 증폭시키는 경향이 있으므로 이 알고리즘의 사용은 신호가 충분히 출력이 되는 파장영역에 대해서만 사용해야 한다. 예에서는 파장영역 550~950nm 영역에 대해서만 보정의 효과가 있고 나머지 영역은 노이즈가 증폭되어 이 영역의 정보를 사용할 수 없다는 것을 알 수 있다.

6) 이상치 제거 알고리즘 개발

전체 데이터는 정상적인 측정 데이터와 이상치로 구분할 수 있다. 또한 이상치는 측정자체가 잘못된 것과 내부결함에 의해 나타나는 스펙트럼의 변이 때문에 기존의 모델이 갖고 있는 스펙트럼의 특성과는 다른 특성을 보이는 것으로 구분할 수 있다. 주성분분석의 경우 이상치에 민감하게 반응하며, 다중데이터의 통계적인 예측 결과에 가장 큰 영향을 주는 요소이다. 특히 주성분 분석의 경우, 이상치가 포함된 모델이 만들어질 경우, 그 모델은 데이터 셋 내의 변이를 모두 고려하려고 하는 경향이 있으므로, 미지시료에 대해 검정을 할 경우 결과에 bias가 생기게 되며, 정확하지 못한 예측을 하는 결과를 낳게 되는 것으로 알려져 있다(Kosinski, 1999). 따라서 이 이상치를 최종 모델 개발 이전에 제거하여야 한다.

이상치를 보이는 데이터는 주로 부정확한 측정에 의해 생기며, 스펙트럼 및 분석성분의 농도 측정에 있어서 잘못 측정된 경우가 많다. 즉 비접촉으로 투과 스펙트

럼 측정시, 센서와 시료사이의 위치나 시료의 자세에 따른 스펙트럼 측정이 잘못될 가능성이 있으며, 또한 분석하고자 하는 내부품질의 측정(당도, 산도, 경도, 함수율 등)이 잘못될 가능성이 있다. 이러한 데이터는 모두 이상치로 동작하게 되며, 모델에 부적절한 데이터가 포함되어, 모델의 예측성능을 저하되는 원인이 될 것으로 생각된다. 이상치 검출을 위한 방법은 많이 있으나, 본 실험에서는 주성분분석(PCA)에 의한 스코어의 군집분석을 이용하여 검출하고자 한다.

군집분석은 검량 시료 셋 내에서 다른 샘플과 일치하지 않는 스코어를 가진 샘플을 찾는데 사용된다. 이 방법은 검량시료 셋 내의 모든 시료에 대해 한 주성분의 스코어를 다른 주성분의 스코어에 대해 프로팅하는 것이다. 만약 검량시료 셋의 모든 시료가 조성 및 그 성분 값이 유사하다면, 각 시료는 어떤 평균값에 “군집”하려는 경향이 보일 것이다. 만약 한 샘플이 이 군집의 바깥쪽에 놓인다고 한다면 이 샘플에 대한 두 주성분의 스코어의 비는 다른 스펙트럼과는 다를 것이므로, 이것을 이상치로 간주할 수 있다. 따라서 이상치의 검출을 위한 통계적인 신뢰한계가 필요하며, 주성분분석에서 계산된 T^2 와 Q 통계량의 신뢰한계를 이용한다. 즉, Q 통계량은 다음과 같이 계산할 수 있으며,

$$Q_i = \mathbf{e}_i \mathbf{e}_i' = \mathbf{x}_i (\mathbf{I} - \mathbf{p}_k \mathbf{p}_k') \mathbf{x}_i'$$

여기서 \mathbf{e}_i 는 잔차 \mathbf{E} 의 i 번째 행이고, \mathbf{p}_k 는 PCA모델이 가지고 있는 k 번째 주성분 벡터이다. 그리고 \mathbf{I} 는 $n \times n$ 의 단위벡터이다. Q 통계량은 각 시료가 PCA모델에 포함될 수 있는지의 여부를 설명하고 있다. 즉 유의적으로 큰 Q 값을 갖는 시료의 경우, 만들어진 PCA모델에 그 변동이 포함되지 않음을 의미한다.

PCA 모델 내부에서 시료의 변동을 측정하기 위한 수단으로, 정규화된 스코어의 제곱합인 T^2 통계량이 제안되고 있다. T^2 통계량은 다음과 같이 정의된다.

$$T_i^2 = \mathbf{t}_i \boldsymbol{\lambda}^{-1} \mathbf{t}_i' = \mathbf{x}_i \mathbf{p} \boldsymbol{\lambda}^{-1} \mathbf{p}' \mathbf{x}_i'$$

여기서 $\boldsymbol{\lambda}^{-1}$ 은 모델내에 포함된 k 번째 고유벡터(주성분)와 관련된 고유치의 역행렬을 포함하고 있는 대각행렬이다.

Q 및 T^2 통계량의 신뢰한계는 다음과 같다.

$$Q_\alpha = \Theta_1 \left[\frac{c_\alpha \sqrt{2\Theta_2 h_0^2}}{\Theta_1} + 1 + \frac{\Theta_2 h_0 (h_0 - 1)}{\Theta_1^2} \right]^{1/h_0}$$

여기서 $\Theta_i = \sum_{j=k+1}^n \lambda_j^i$ for $i=1,2,3$ $h_0 = 1 - \frac{2\Theta_1\Theta_3}{3\Theta_2^2}$

$$T_{k,m,\alpha}^2 = \frac{k(m-1)}{m-k} F_{k,m-k,\alpha}$$

나. 정량 및 정성 분석 모델 개발

대부분의 분광분석법에서 측정되는 스펙트럼 데이터는 아주 복잡하고, 피크가 중첩되어 있어, 유용한 정보를 얻어내기 위해서는 다양한 통계적 기법이 필요하다. 스펙트럼 데이터로 다중회귀모델을 만드는 것은 여러 가지 불리한 점이 있다. 그 이유는 스펙트럼의 경우 실험에 사용되는 시료의 수(스펙트럼의 수)보다는 변수의 수(파장의 수)가 훨씬 많으며, 시료의 수는 변수의 수보다 많아야 하기 때문에 파장을 선택해야 하는 문제가 발생하게 된다. 변수의 수를 적절히 선택한다는 것은 쉬운 문제가 아니다. 또한 스펙트럼 정보는 일반적으로 많은 파장을 포함하고 있기 때문에 변수간의 공선성 문제가 발생할 수 있으며, 이것은 모델의 불안정성을 초래하게 된다(Wold 등, 1994). 따라서 이를 해결할 수 있는 통계적인 기법이 필요하다. 정량 분석에 있어서는 고전적인 통계기법들, 즉 MLR(다중회귀법, Multiple Linear Regression), RR(Ridge Regression) 등 보다는 주성분분석(PCA)을 이용한 회귀법을 이용하는 것이 보다 안정적이고 신뢰성있는 모델이 만들어진다고 알려져 있다(Thomas 등, 1990). 많은 변수들 사이에서의 공선성 문제를 해결하면서, 변수선택의 문제를 해결하는 방법으로 기존의 변수 셋에서 차원이 축소된 몇 개의 변수를 추출해내는 주성분분석법(Principal Component Analysis)이 개발되었다. Cowe 등(1985)은 PCA에 회귀모델을 적용한 PCR(주성분회귀법, Principal Component Regression)을 제안하였으며, 여기에 농도 정보를 고려한 주성분 회귀모델인 PLSR(최소자승회귀법, Partial Least Square Regression)이 개발되었다. 또한 Beer-Lambert 법칙에 맞지 않는 비선형문제를 해결하기 위해 신경망과 PLS를 조합한 NN-PLS가 개발되기도 하였다(Wold 등, 1992).

내부품질인자 중 내부결함을 판정하기 위해서는 스펙트럼의 정성 분석 기법을 사용해야 하는데, 이를 위한 다양한 방법들이 있다. 이 중, 주성분분석을 이용한 방법에는 PCA-MD(PCA Mahalanobis Distance Method), PLS-LDA(PLS Linear Discriminant Analysis), SIMCA(Soft Independent Modeling of Class Analogy) 등이 있다.

본 연구에서는 PLS 및 SIMCA기법을 이용하여 배의 당도 및 내부결함을 판정할 수 있는 알고리즘을 개발하고자 하였다.

1) 정량 분석 모델

가) 주성분회귀(PCR) 모델

PCR 모델은 높은 상관관계를 갖는 많은 스펙트럼 데이터를 고유벡터 집합과 스코어로 분해하여 주성분이라는 소수의 상호 독립적인 새로운 변량으로 변환함으로써 다중회귀모델(MLR)의 다중공선성을 제거하고, 소수의 주성분으로 스펙트럼 데이터의 변이를 최대한 수용하려는 통계기법이다. 즉, PCR 모델은 다중회귀모델에서처럼 특정하게 선택된 스펙트럼 데이터를 이용하는 것이 아니라 모든 파장의 스펙트럼 데이터를 종합적으로 파악하려는 방법으로 많은 수의 스

펙트럼 데이터를 소수의 주성분으로 축소하고, 주성분을 통해 스펙트럼 데이터의 변이를 해석할 수 있다.

본 연구에서 NIPALS(Nonlinear Iterative Partial Least Squares) 알고리즘을 사용한 PCR 모델을 적용하였다. 최적의 요인 수 결정을 위하여 Cross Validation 방법을 적용하였다.

나) 부분최소자승회귀(PLSR) 모델

PLSR 모델은 PCR 모델과 같이 스펙트럼 행렬을 고유벡터 집합과 스코어로 분해하는데, 이때 PCR 모델과는 달리 농도정보를 이용함으로써 고농도의 스펙트럼은 저농도의 스펙트럼보다 큰 가중치를 가지게 하는 기법이다.

본 연구에서 요인수 선정은 PLSR 모델에서와 같이 스펙트럼분석에 필요한 요인 수 결정을 위해 Cross Validation을 적용하였다. 즉, PRESS(Prediction Residual Error Sum of Squares)의 변화를 관찰하여 그 값이 최소치가 될 때의 요인 수를 최적의 요인 수로 간주한다.

PLS 회귀모델은 PCR모델에서와 같이 스펙트럼 데이터 형태를 고유벡터 및 스코어벡터로 분해하고, PCR모델과는 달리 농도 정보를 이용하여 고농도의 스펙트럼은 저농도의 스펙트럼보다 큰 가중치를 갖게 하는 기법이다. 스펙트럼 데이터와 농도 데이터를 분해하는 원리를 수학적으로 나타내면 다음과 같다.

$$X = TP' + E$$

$$Y = UQ' + F$$

$$U = TB + H$$

where Y : Concentrations

T : Score matrix of spectrums

U : Score vector of concentrations

P, Q : Eigenvector of spectrums and concentraions respectively

E, F, H : Residual matrix

스펙트럼 데이터 및 농도 데이터는 수학적 방법으로 직접 고유치벡터 및 스코어벡터로 분해될 수 없으므로, NIPALS(nonlinear iterative partial least square) 알고리즘에 의해 수행된다. 일반적으로 PLS모델의 경우, 차원축소과정에 농도 데이터가 포함되므로 PCR보다 더 안정적인 성능을 발휘하는 것으로 알려져 있다.

다) 각 모델별 예측 성능

개발된 당도예측모델의 당도 예측 정도(精度)는 PCR 모델, PLSR 모델

에 대해서는 아래 식에서와 같이 예측값의 표준오차(standard error of calibration, SEC), 두 변수의 상관관계를 설명하는 상관계수(r)로 나타내었고 ANN 모델에 대해서는 다음과 같이 MSE(Mean Squared Error)로 나타내었다.

$$SEC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - p - 1}}$$

여기서, y_i : 회귀식에 의한 예측값(Brix)

\bar{y} : 실험에 의한 측정값(Brix)

n : 시료의 수

p : 회귀모델개발에 사용된 변수의 수

개발된 당도예측모델에 대한 평가를 위해 모델 작성에 사용되지 않은 미지의 시료에 대해 개발된 당도예측모델에 의한 예측치와 실험에 의해 구한 당도간의 표준오차(Standard Error of Prediction, SEP), bias, 결정계수(R^2) 또는 상관계수(r)로 나타낸다.

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)}{n}$$

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(y_i - \bar{y}_i) - Bias]^2}{n - 1}}$$

여기서, y_i : 당도예측모델에 의한 미지시료의 예측값(Brix)

\bar{y}_i : 실험에 의한 측정값(Brix)

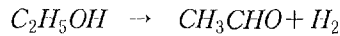
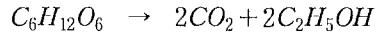
n : 시료의 수

2) 정성 모델(SIMCA)

배의 내부결합은 상품성에 미치는 영향이 크며, 또한 투과 스펙트럼을 이용하여 배의 당도를 예측할 때 예측성능을 저하시키는 것으로 판단되므로 이의 제거가 필수적인 것으로 사료된다.

배는 장기간의 저장상태에 따른 저온 저장 장애의 하나로 과방 및 과육의 갈변, 과방 부패 등이 나타나게 된다. 과육이 갈변되는 현상은 저온저장을 시작하면서 생긴 장애로 수확기의 과실에서는 거의 보이지 않는다. 과실 과육 및 씨방주위의 갈변(<그림 2-42>)은 저장조건이 맞지 않을 경우 주로 발생하는 것으로 알려져 있으

며(이승구 등, 1996), 갈변이 심해지면 과실이 부패되기 시작한다. 이때 과실의 호흡에 의해 탄산가스는 증가하고, 포도당은 불완전 분해되어 알코올이나 알데히드를 생성하게 된다.



알코올이나 알데히드가 축적되면 과실은 생존할 수 없으며, 이 때 무생물이 침입하여 급속히 부패하게 되는 것으로 알려져 있다(송재철, 1994). 부패하게 되면, 알코올 및 물이 생성되며, 따라서 이러한 시료를 투과 스펙트럼으로 측정하면 알코올 및 수분의 영향이 스펙트럼에 변이로 나타나게 될 것으로 생각되며, 또한 색상의 변화(과육색→갈색→흑색)가 일어나고, 가시영역의 투과 스펙트럼에 이 영향이 관찰될 것으로 기대되므로, 이를 이용하여 판별 모델을 개발한다.

배의 경우는 장기 저장시 저온장해의 하나로 <그림 2-43>과 같이 “바람들이 장해”가 발생하며, 이는 상품성을 저하시키므로, 출하 시에 반드시 인력으로 이를 선별해내고 있다. 바람들이 배의 경우는 과육의 경도가 물러지고, 비중이 작아지며, 수분이 줄어드는 것으로 알려져 있다. 따라서 바람든 배의 경우는 정상적인 배와 비교할 때, 광 투과 특성이 달라질 것으로 기대되며, 이를 이용하여 선별할 수 있을 것으로 판단된다.

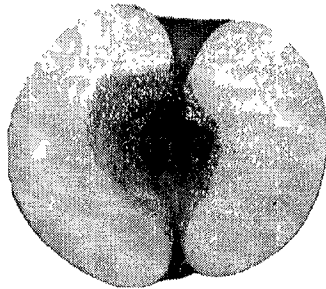


그림 2-42 배의 내부갈변

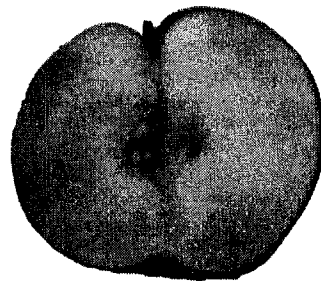


그림 2-43 배의 바람들이

내부결합(갈변, 부패, 병 및 바람들이 등)을 검출하기 위하여, 투과 스펙트럼의 주 성분분석을 이용한 판별 모델을 개발하고자 하며, 비접촉 온라인 내부품질 판정 시스템을 구축하는 것이 최종 목표이므로, 계산이 복잡하지 않으면서, 미지시료에 대해 적절하게 처리를 할 수 있고 또한 예측성능이 우수한 SIMCA(Soft Independent Modeling of Class Analogy)법을 이용하여 판별모델을 개발하였다.

SIMCA는 supervised 판별기법으로 각 클래스를 독립적으로 취급하며, 각 클래스의 특성을 나타내는 주성분을 PCA에 의해 추출하고, PC모델과 미지시료 사이의 직교투영(orthogonal projection) 거리를 계산하여 각 클래스로 판별하는 방법이다(Wold et. al, 1977; Maesschalck et. al, 1999). 만약 스펙트럼 X 가 여러 클래스로

이루어져 있고, 특정 클래스 K 의 스펙트럼 데이터 셋을 X_K 라고 한다면, 이 X_K 를 mean centering한 후 PCA에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_K = \bar{X}_K + T_K P_K' + E_K$$

여기서 T_K 는 클래스 K 에 대한 $n \times k$ 의 스코어행렬이고, P_K 는 $k \times n$ 의 주성분행렬이다. 클래스 K 의 잔차의 표준편차는 그 클래스에 귀속될 가능성이 있는 미지시료의 잔차와 비교할 때 사용되며, 검량시료셋의 잔차의 표준편차는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$s_o^K = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m_K} \sum_{j=1}^{n_K} (e_{ij}^K)^2}{(n_K - k_K)(m_K - k_K - 1)}}$$

여기서 e_{ij}^K 는 클래스 K 의 i 번째 데이터의 잔차이다.

클래스 K 의 데이터 셋의 잔차는 정규분포를 따른다는 가정하에, F검정이 PCA모델에 대한 각 데이터의 유클리드 거리의 한계치를 정의하는데 사용된다. 즉,

$$s_{crit} = \sqrt{F_{crit} (s_o^K)^2}$$

여기서 F_{crit} 는 유의수준 α 에서 자유도는 $(n_K - k_K), (m_K - k_K - 1)$ 이 된다.

만약 새로운 데이터 x^{new} 가 클래스 K 에 속하는지 여부를 예측할 경우, 클래스 K 의 검량데이터 셋에 의해 결정된 주성분 공간상의 거리는 다음과 같이 계산한다.

$$t^{new} = [x^{new} - \bar{x}^K] P_K$$

$$\hat{x}^{new} = \bar{x}^K + t^{new} P_K$$

여기서 \hat{x}^{new} 는 클래스 K 데이터 셋의 주성분에 의한 x^{new} 의 새로 구성된 예측값이 되며, 이 값과 미지시료와의 잔차는

$$e_u^{new} = x^{new} - \hat{x}^{new}$$

가 되며, 이 잔차의 표준편차는 다음과 같이 계산된다.

$$s^{new} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_K} (e_{uj}^{new})^2}{n_K - k_K}}$$

새로운 데이터가 클래스 K 에 속하는지의 여부는 클래스 K 의 잔차분산 $(s_o^K)^2$ 과 새로운 데이터 x^{new} 의 잔차 분산 $(s^{new})^2$ 이 유의한 차이가 나는가를 F검정에 의해 결정할 수 있으며, 이때의 F값은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$F^{new} = \frac{(s^{new})^2}{(s_o^K)^2}$$

따라서 SIMCA법을 이용하여 과실에 대해 다양한 내부결합의 판별모델을 만들고, 이를 이용하여 내부결합을 판정한다. CCR(Correct Classification Rate)은 판별모델

에 의해 정확하게 판별된 비율을 말하며, 다음과 같이 정의한다.

$$CCR = \frac{(\text{number of correct classified samples})}{(\text{number of total samples})}$$

다. 온라인 내부품질 판정 알고리즘 개발

상기에서 개발된 전처리 기법 및 모델링 기법을 이용하여 내부품질 판정을 위한 복합알고리즘을 <그림 2-44>와 같이 개발하였다.

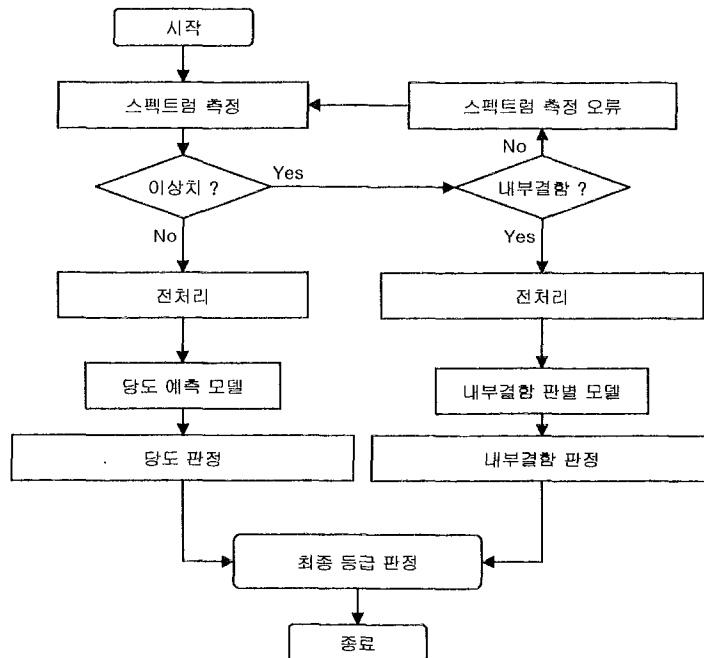


그림 2-44 복합 알고리즘 순서도

3. 온라인 당도 선별 성능 실험

앞에서 개발된 스펙트럼 측정장치와 스펙트럼 분석 알고리즘 및 온라인 내부품질 판정 알고리즘을 이용하여, 위탁과제에서 제작된 온라인 선별 시스템으로 온라인 당도 선별 성능 실험을 수행하였다.

가. 공시재료

본 연구에 사용한 배 시료의 품종은 신고였고, 저장시기별로 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 시료는 모두 1999년 10월~11월 경에 수확된 시료이다. 시료

의 저장기간은 표의 실험일시에서 수확된 일시를 이용하여 대략 예측이 가능하다. 사용된 시료의 수, 품온, 실험시의 이송장치의 속도, 조명의 강도(A), CCD Sensor의 설정 Integration time, Accumulation 등과 시료의 품질 측정항목(당도, 산도, 경도, 육안 평가) 등에 대한 사항을 <표 2-10>에 나타내었다.

표 2-10. 시료의 특성 및 실험 조건

실험 일시 (2000년)	시 료 수	품 온 (℃)	이송속도 (mm/sec)	조명 강도 (A)	Integ* (ms)	Accu* (ms)	측정항목				특이 사항
							당도 (Brix%)	산도	경도	육안	
2월12일	143	상 온	150	7.0	333	2	범위 9.78~13.8 평균 11.84 표준편차 0.833	×	×	×	
			450	7.0	200	1					
			450	7.5	200	1					
			450	7.5	200	1					
2월22일	90	상 온	450	7.5	200	1	범위 평균 표준편차	×	×	○	
5월31일	184	상 온	300	7.0	300	1	범위 8.7~14.9 평균 11.53 표준편차 1.01	×	○	○	
6월8일	65	상 온	300	7.0	300	1	범위 8.4~14.3 평균 11.76 표준편차 1.18	×	×	×	
6월27일	195	-6 ~ 27	300	7.0	217	1	범위 9.16~15.17 평균 11.31 표준편차 0.99	×	×	○	시료 온도 변화

4장에서 개발된 온라인 자유이송접시형 선별 시스템을 이용하여, 천안산 신고배 210개와 안성산 신고배 198개를 시중에서 크기별로 구입하여 온라인 상태에서의 배 투과 스펙트럼을 측정하고 이를 모델링하여 그 당도 선별 성능 실험을 수행하였다. 이 중에서 210개의 경우에는 집광원을 이용하여 투과 스펙트럼을 측정하였고, 198개에 대해서는 선광원을 이용하여 측정하였다.

나. 실험장치

온라인 당도 선별 성능의 실험을 위하여, 위탁과제에서 2차년도에 개발되었던 간이 온라인 당도 판정 시스템과 본 연구의 최종년도에 개발된 온라인 내부품질 판정 시스템을 이용하여 스펙트럼을 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

가. 순수당 수용액의 흡수파장 대역

국내에서 생산되는 배에 존재하는 당은 주로 과당(fructose), 포도당(glucose) 및 자당(sucrose)이며 평균적으로 각각 4.5%, 1.9% 및 1.2% 정도 포함되어 있다. 실시간 분광광도계로 배의 비파괴 당도 판정 가능성을 구명하기 위해 일차적으로 분석용 분광광도계로 이들 당에 대한 흡광 스펙트럼을 측정하여 당의 흡수 피크를 구명하고자 하였다.

<그림 2-39> 및 <그림 2-40>은 600~1100nm 및 900~1700nm 파장범위에서 증류수, 과당, 포도당, 자당 및 혼합 당의 흡광 스펙트럼을 나타낸 것이다.

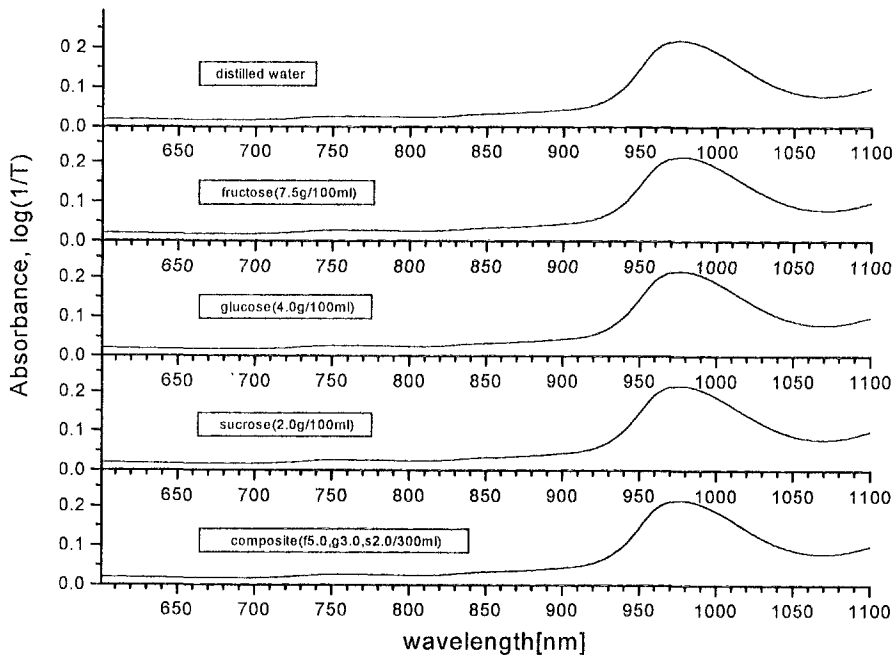


그림 2-39. 증류수, 과당, 포도당, 자당 및 혼합당 용액의 흡광 스펙트럼(600~1100nm)

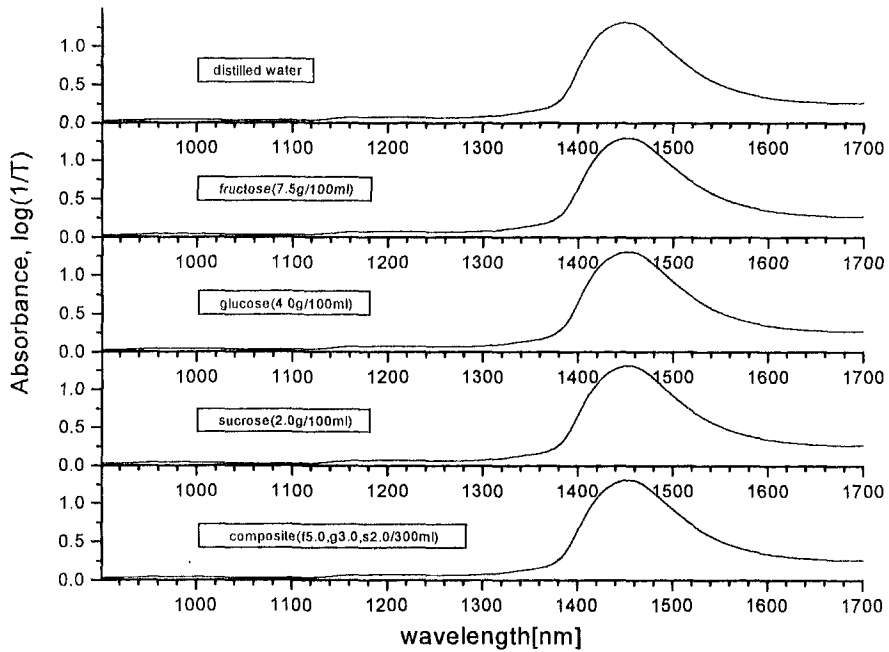


그림 2-40. 증류수, 과당, 포도당, 자당 및 혼합당 용액의 흡광 스펙트럼(900~1700nm)

과당, 포도당, 자당 및 이들의 혼합 용액의 흡광 스펙트럼은 거의 유사한 형태로 나타나며, 흡광 스펙트럼으로 이들 당의 흡수 파장 대역을 관찰하기 어려우므로 이들 스펙트럼을 2차 미분하고, 2차 미분 스펙트럼 값과 당 수용액의 농도와의 상관계수를 분석함으로써 각 당 수용액의 흡수 파장대역을 구명하였다. 본 연구에서 배의 당도 판정을 위해 파장대역을 600~1100nm 및 900~1700nm로 구분하고 이들 파장대역에서의 혼합 당의 2차 미분 스펙트럼인 <그림 2-41> 및 <그림 2-42>를 이용하여 파장별 2차 미분값과 당 농도와의 상관계수를 분석하였다(<표 2-11> 및 <표 2-12>).

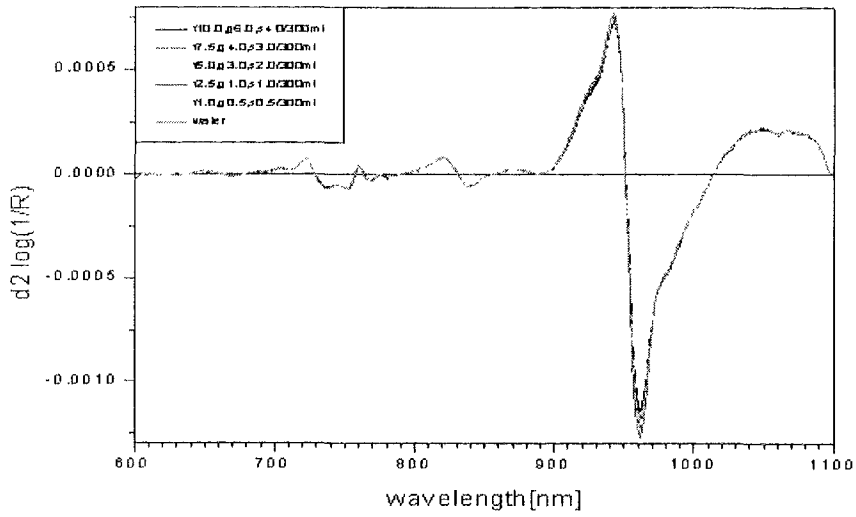


그림 2-41. 혼합 당 수용액의 농도별 2차 미분 흡광 스펙트럼(600~1100nm)

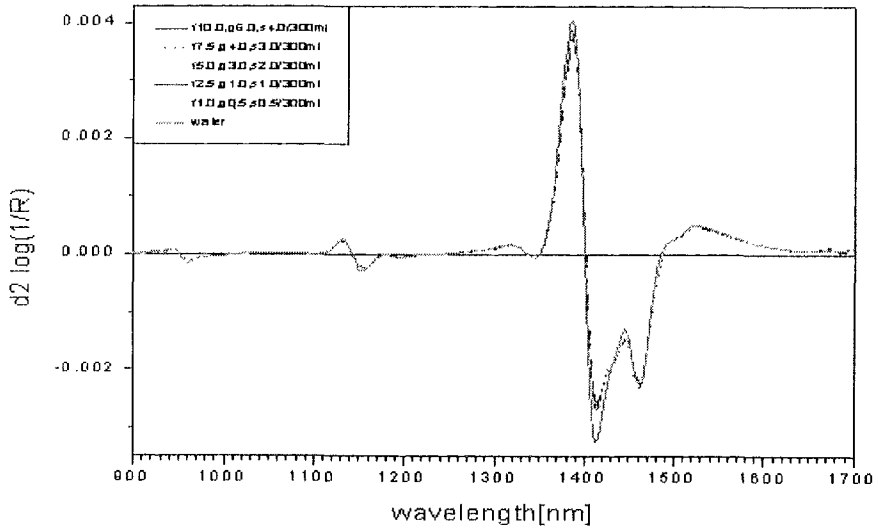


그림 2-42. 혼합 당 수용액의 농도별 2차 미분 흡광 스펙트럼(900~1700nm)

표 2-11. 혼합 당 수용액의 흡수 파장대역(600~1100nm)

번호	파장대역(nm)	상관계수(r)	번호	파장대역(nm)	상관계수(r)
1	730	+0.94	10	906~940	-0.99
2	742	+0.92	11	950~958	+0.99
3	804	-0.93	12	982~990	-0.99
4	814	-0.97	13	1020	-0.98
5	818	-0.98	14	1040~1052	-0.99
6	826	-0.96	15	1062	-0.99
7	838	+0.99	16	1076	-0.99
8	880	+0.99	17	1090	-0.96
9	890	+0.97			

표 2-12. 혼합 당 수용액의 흡수 파장대역(900~1700nm)

번호	파장대역(nm)	상관계수(r)	번호	파장대역(nm)	상관계수(r)
1	942	-0.98	12	1356	-0.98
2	948	+0.95	13	1364	-0.99
3	984	-0.98	14	1382	-0.95
4	1108	-0.94	15	1398	+0.98
5	1140	+0.98	16	1343	-0.97
6	1168	-0.97	17	1543	-0.99
7	1202	-0.91	18	1556	-0.98
8	1264	-0.99	19	1654	+0.99
9	1270	-0.99	20	1660~1678	+0.99
10	1280	-0.99	21	1684~1696	-0.99
11	1288	-0.99			

<표 2-11> 및 <표 2-12>에서 제시된 파장은 과당, 포도당 및 자당 혼합용액의 흡광 스펙트럼 데이터를 2차 미분하여 각 파장에서의 2차 미분 값과 혼합 용액의 농도와의 상관계수를 계산한 다음 상관계수의 절대값이 0.9이상인 파장대역을 나타낸 것이다.

나. 배의 흡수 파장 대역

가시광 및 근적외선 스펙트럼에 의한 배의 당도 판정 장치를 개발하기 위해 일차적으로 분석용 분광광도계를 이용하여 배(표 2-9)의 스펙트럼을 측정하였다. 당도에 따른 배의 대표적인 스펙트럼의 특성은 <그림 2-43>과 같으며 이의 2차 미분 스펙트럼은 <그림 2-44>와 같다.

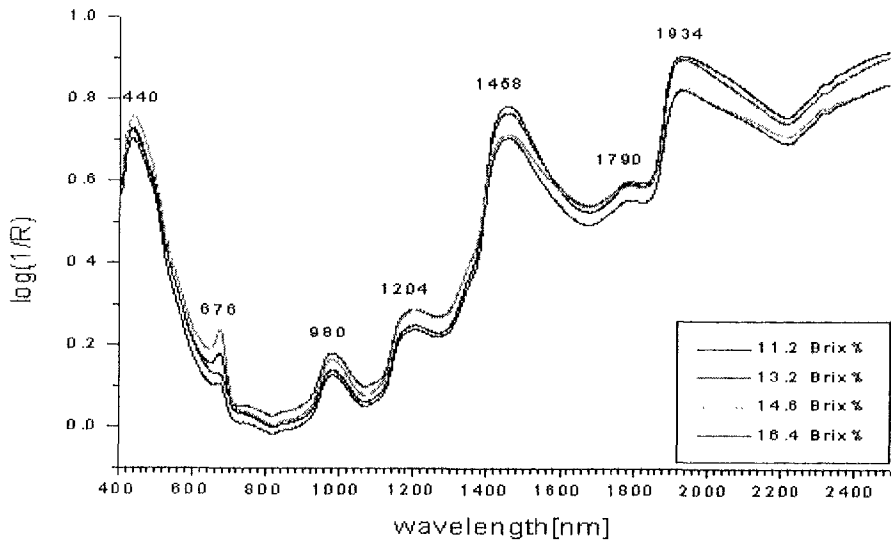


그림 2-43. 배의 당도별 흡광 스펙트럼

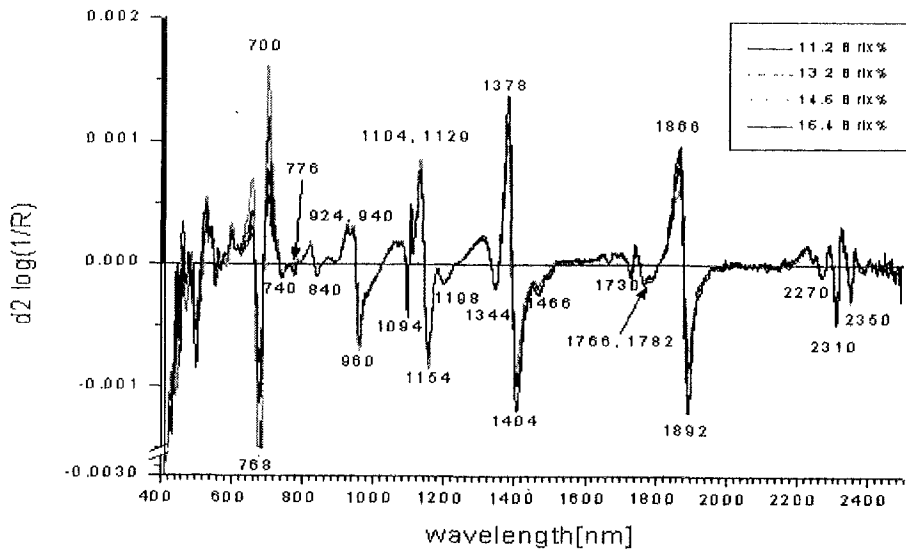


그림 2-50. 배의 당도별 흡광 스펙트럼 2차 미분

<그림 2-43>의 흡광 스펙트럼에서 440nm, 676nm, 980nm, 1204nm, 1458nm, 1790nm 및 1934nm 부근에서 흡수 피크가 관찰된다. 이들 흡수 피크 중에서 440nm 및 676nm는 엽록소의 흡수에 의한 피크로 판단된다. 엽록소에는 두 가지

형태가 있으며 이들에 대한 흡광 스펙트럼은 <그림 2-45>와 같다.

일반적으로 함수율이 높은 농산물은 760nm, 970nm, 1190nm, 1450nm 및 1940nm부근에서 수분에 의한 흡수 피크가 관찰된다. 수분에 의한 이러한 흡수 피크는 농산물의 종류별에 따라 모양이 다르며, 위치도 21~50nm정도 차이가 있다. 그것은 농산물의 종류에 따라 함유하는 성분 및 함수율이 다르므로 수소결합의 강도가 다르기 때문이다.

<그림 2-46>은 증류수의 흡광 스펙트럼을 나타낸 것으로 760, 970, 1450nm에서의 흡수 피크는 O-H기의 신축진동(stretching vibration)에 의한 기본진동(3652 및 3756cm⁻¹)의 3차, 2차 및 1차 배음의 흡수에 의한 것이고, 1190 및 1940nm는 결합진동(bending + stretching)에 의한 흡수에 의한 피크이다.

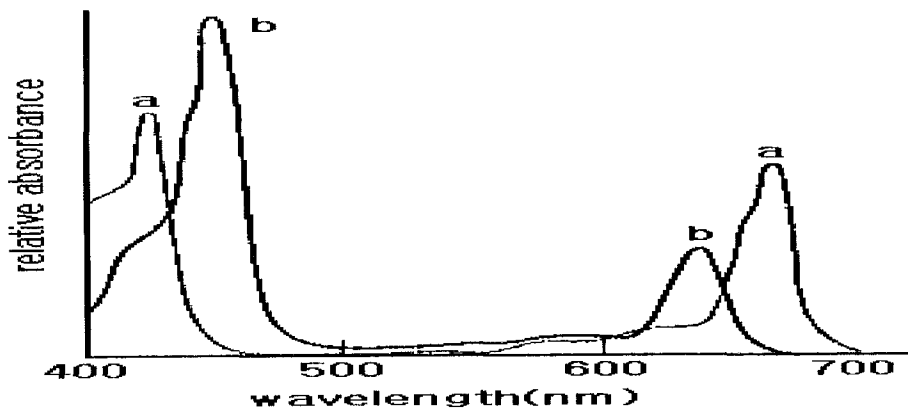


그림 2-51. 엽록소 a 및 b의 흡광 스펙트럼

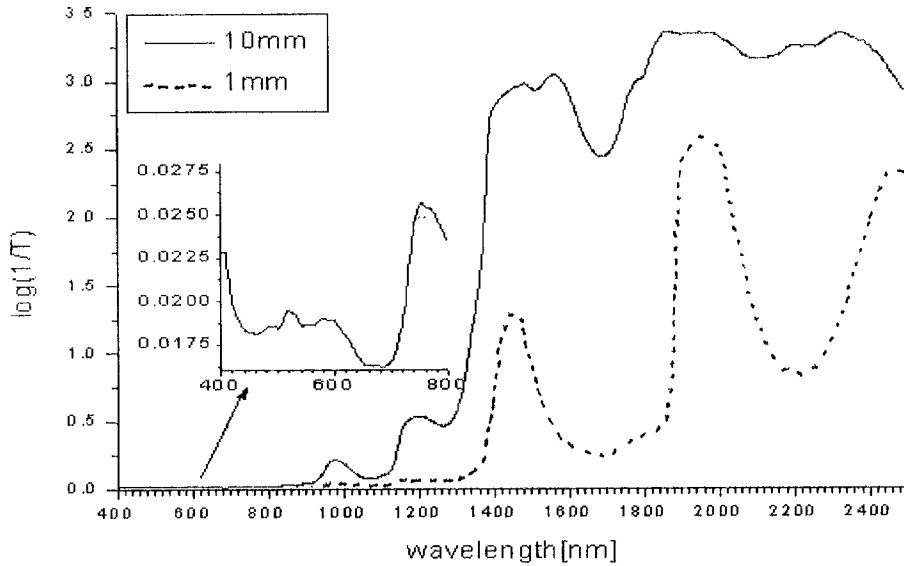


그림 2-52. 증류수의 흡광 스펙트럼

배에는 평균적으로 수분이 85%, 당이 10%, 섬유질이 약 0.5%정도 포함되어 있다. <그림 2-43>의 흡광 스펙트럼에서 980nm, 1204nm, 1458nm 및 1934nm에서의 피크(<그림 2-44>의 2차 미분 스펙트럼에서는 960nm, 1198nm, 1466nm 및 1892nm)는 수분의 흡수와 관련이 있는 것으로 판단된다. 1790nm 부근에서 나타난 흡수 피크는 수분 및 셀룰로오스(Cellulose)에 의한 것으로 추정된다. 수분의 경우 1790nm에서 수분의 O-H기의 결합음(combination)에 의한 흡수가 발생하며, 셀룰로오스의 C-H기에 의한 1차 배진동(overtone) 및 결합진동에 의해 1780nm에서 흡수가 발생한다.

<그림 2-44>의 배의 당도별 2차 미분 스펙트럼에서 본 연구에서의 분석 대상인 파장영역(600~1100nm, 900~1700nm)의 흡수 피크인 740nm, 840nm, 1094nm, 1154nm, 1344nm, 1404nm는 <표 2-11> 및 <표 2-12>의 당에 의한 흡수 파장 730nm, 742nm, 838nm, 1090nm, 1168nm, 1356nm, 1398nm와 관련이 있는 것으로 판단된다.

다. 흡광스펙트럼을 이용한 배의 당도 판정 가능성

배의 당도 판정 가능성을 알아보기 위하여 먼저 정밀급 분광광도계인 NIRS6500으로 측정된 시료의 흡광도 스펙트럼만으로 PCR 및 PLS모델을 개발하였다. 표 2-9의 시료 I(수확직후 배) 및 시료 II(저장된 배)에 대해 파장영역

I(600~1100nm) 및 파장영역 II(900~1700nm)의 두 경우로 나누어 모델을 개발하였다. <그림 2-47> 및 <그림 2-48>은 수확직후의 배의 흡광도 스펙트럼 및 저장 후의 흡광도 스펙트럼이다. 그림에서 보는 바와 같이 두 데이터 셀은 형태가 완전히 다른데, 그 이유는 Group II의 경우는 정상과뿐만 아니라 이상과(바람들이, 병반점 등)의 스펙트럼이 모두 포함된 것이기 때문이다.

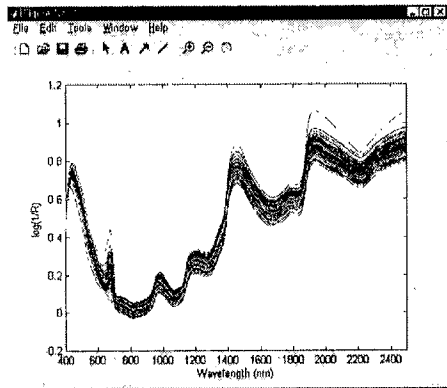


그림 2-53. 시료 I 흡광도스펙트럼

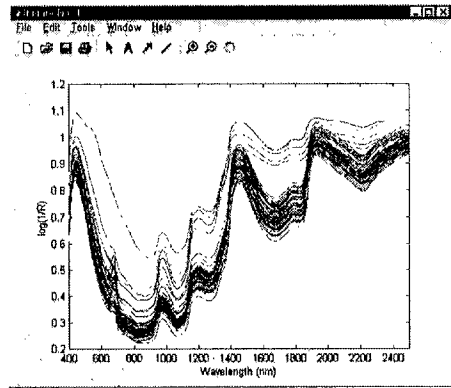


그림 2-54. 시료 II 흡광도스펙트럼

전처리를 하지 않고 각 시료 그룹 및 파장영역의 PCR 및 PLS 모델을 개발한 결과를 <표 1-12>와 같이 정리하였다. <그림 2-47> 및 <그림 2-48>에서 보는 바와 같이 시료 II의 경우, 이상과의 스펙트럼까지 포함하고 있어 각 파장에서 변화가 매우 큼을 알 수 있다. PCR 및 PLS 모델을 두 그룹에 대해 개발한 결과, 전반적으로 시료 I의 당도예측모델이 시료 II의 모델보다 나은 결과를 보였다. 특히 전처리를 하지 않은 경우, 시료 II의 파장영역 II(저장된 배의 900~1700nm파장 영역)의 경우는 예측이 거의 불가능함을 보여주고 있다.

표 1-13. 전처리를 하지 않은 데이터의 PCR 및 PLS 당도예측 모델 결과

Sample	Wavelength Region	Model	F	Calibration		Prediction		
				R ²	SEC	R ²	SEP	bias
I	I	PCR	29	0.9765	0.5063	0.7006	0.9980	-0.1824
		PLS	11	0.9344	0.5355	0.8387	0.7607	-0.2333
	II	PCR	12	0.8719	0.7631	0.8425	0.7770	-0.3075
		PLS	9	0.8789	0.7046	0.8350	0.8195	-0.3075
II	I	PCR	11	0.7627	0.5640	0.6635	0.6630	-0.0626
		PLS	10	0.7841	0.5265	0.5703	0.7726	-0.1532
	II	PCR	15	0.8884	0.4310	0.1849	2.4207	0.1094
		PLS	10	0.8891	0.3772	0.2104	1.9802	0.0044

(Note) F : Optimal No. of factor

시료 I과 같이 수확 후 바로 측정된 데이터를 이용하여 당도 예측을 하는 경우는 600~1100nm의 파장영역을 이용하여 PCR이 $SEP=0.9980$, $R^2=0.7006$, PLS가 $SEP=0.7607$, $R^2=0.8387$ 이었으며 PLS 모델이 결과가 PCR보다 좀 더 양호한 예측성능을 보여주고 있다. 900~1700nm의 파장영역에 대해서는 PLS 보다는 PCR의 결과가 양호한 것으로 분석되었다.

약 6개월간 저장된 배의 경우는 600~1100 nm의 파장영역을 사용하는 경우는 어느 정도 예측이 가능한 것으로 보이나, 900~1700nm의 흡광도 스펙트럼을 이용한 예측은 거의 불가능함을 알 수 있다.

이런 결과는 <그림 2-48>에서 보는 바와 같이 모델 개발시에 사용한 보정 및 검정용 데이터 내의 분산이 상대적으로 시료 I보다는 시료 II의 경우에 있어서 더 큰 것으로 보이며, 이의 영향에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 평활화, 광산란보정 혹은 베이스라인의 제거 효과가 큰 1·2차미분 등과 같은 스펙트럼 전처리가 필요한 것으로 판단된다.

따라서 개발된 모델의 성능향상 및 이에 유용한 전처리 방법의 판단을 위해 흡광도 스펙트럼에 대해 평활화(Savitsky-Golay Smoothing), 1차 및 2차미분, MSC, SNV, 1·2차미분과 MSC·SNV의 조합으로 전처리를 행한 결과, <표 2-14>와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

시료 II, 파장영역 I에 대해 전처리를 하여 모델개발을 한 결과는 전처리를 하지 않은 경우보다 약간의 성능향상을 보이고 있음을 알 수 있다. 또한 PCR보다는 PLS가 좀 더 나은 결과를 보이고 있어 전처리를 하지 않은 경우와는 반대의 양상을 보이고 있다. 기본적으로 저장된 배의 경우, 600~1100nm의 파장범위에 대해서는 Gapsize=4nm의 1차미분과 $K=2\sim4$, $P=7\sim15$ 정도의 평활화만으로도 예측 성능의 향상을 기대할 수 있었다.

표 2-14. 시료 II, 파장영역 I (저장된 배, 600~1100nm 파장영역)의 스펙트럼에 대해 전처리를 한 후의 SEP 기준 상위 10개의 모델 개발 결과

Model	Preprocess for Data Set								F	Calibration		Prediction		
	K	P	M	S	D1	D2	G	C		R ²	SEC	R ²	SEP	bias
PLS	2	11	-	-	◆	-	4	-	8	0.731	0.557	0.672	0.530	0.013
PLS	3	11	-	-	◆	-	4	-	8	0.731	0.557	0.672	0.530	0.013
PLS	2	13	-	-	◆	-	4	-	8	0.728	0.560	0.659	0.541	0.014
PLS	3	13	-	-	◆	-	4	-	8	0.728	0.560	0.659	0.541	0.014
PLS	2	15	-	-	◆	-	4	-	8	0.730	0.557	0.655	0.545	0.004
PLS	3	15	-	-	◆	-	4	-	8	0.730	0.557	0.655	0.545	0.004
PCR	4	9	-	◆	-	-	-	-	17	0.880	0.475	0.594	0.657	-0.164
PCR	4	7	-	-	-	-	-	-	11	0.761	0.566	0.663	0.662	-0.055
PCR	2	5	-	-	-	-	-	-	11	0.761	0.566	0.664	0.662	-0.056
PCR	3	5	-	-	-	-	-	-	11	0.761	0.566	0.664	0.662	-0.056

(Note) K : Savitsky-Golay Polynomial order, P : Savitsky-Golay Frame size(points),
M: MSC, S : SNV F : Optimal No. of Factors
D1 : 1st Derivative, D2 : 2nd Derivative, G : Gapsizе(nm)
C : Combination of preprocess (1=D1+MSC, 2=D1+SNV, 3=D2+MSC, 4=D2+SNV)

표 2-15. 시료 II, 파장영역 II (저장된 배, 900~1700nm 파장영역)의 스펙트럼에 대해 전처리를 한 후의 SEP 기준 상위 10개의 모델 개발 결과

Model	Preprocess for Data Set								F	Calibration		Prediction		
	K	P	M	S	D1	D2	G	C		R ²	SEC	R ²	SEP	bias
PCR	2	11	-	◆	◆	-	4	2	23	0.981	0.246	0.782	0.431	-0.239
PCR	3	11	-	◆	◆	-	4	2	23	0.981	0.246	0.782	0.431	-0.239
PCR	2	15	-	◆	◆	-	4	2	23	0.997	0.099	0.782	0.431	-0.190
PCR	3	15	-	◆	◆	-	4	2	23	0.997	0.099	0.782	0.431	-0.190
PLS	2	15	-	◆	◆	-	4	2	16	1.000	0.007	0.772	0.441	-0.205
PLS	3	15	-	◆	◆	-	4	2	16	1.000	0.007	0.772	0.441	-0.205
PLS	4	15	-	◆	◆	-	4	2	9	0.968	0.194	0.767	0.445	-0.217
PCR	2	13	-	◆	◆	-	4	2	22	0.989	0.177	0.757	0.453	-0.211
PCR	3	13	-	◆	◆	-	4	2	22	0.989	0.177	0.757	0.453	-0.211
PCR	4	15	-	◆	◆	-	4	2	23	0.978	0.266	0.755	0.460	-0.247

<표 2-15>에서, 저장된 배의 900~1700nm의 파장범위에 대해, 전처리를 하지 않았을 경우는 거의 예측이 불가능함을 알 수 있었다. 하지만 K=2~4, F=11~15정도의 평활화와 D1+SNV의 조합으로 전처리를 하면 상당한 예측성능의 향상이 기대됨을 알 수 있다. 또한 MSC 및 2차 미분의 경우는 시료 I 및 시료 II 둘 다 효과가 크지 않음을 알 수 있었다.

이상의 결과로 볼 때, 전처리를 하지 않은 경우보다 전처리를 한 경우가 상당한 예측성능의 향상을 보이며, 장기간 저장된 배의 당도 예측이 충분히 가능하리

라 판단된다.

라. 실시간 스펙트럼의 전처리 효과 구명

표 2-10에 제시된 저장기간이 서로 다른 배시료에 대해서, 약 6개월 정도 저장되었던 배(5월 31일) 시료 184개(정상과 114개, 내부결함과 70개)에 대해 스펙트럼의 전처리 효과를 구명하였다. 먼저 예비 분석으로 6개월 저장과 중 정상과에 대해 원스펙트럼만으로 분석한 결과, 예측성능이 좋지 않으며, 따라서 스펙트럼의 전처리를 하지 않고 원스펙트럼만으로는 예측의 정밀도를 높일 수가 없음을 알 수 있었다. 하지만 전처리는 그 내부품질에 따라 효과가 다를 수 있으며, 본 실험에서는 각종 전처리 효과의 판단 기준을 다음과 같이 선정하였다.

- 상관계수 곡선과 파장축사이의 면적이 넓을 것
- PRESS 곡선에서 선정된 팩터수가 작고, 이때의 PRESS값이 낮을 것
- 개발된 회귀모델의 SEC 및 SEP가 작고, R값이 높으며 bias가 작을 것

이 판단기준을 근거로, 정상과에 대해 이상치를 제거한 후, 원스펙트럼, 1차미분 스펙트럼에 대해 MSC, SNV, OSC 전처리를 수행하고 그 상관계수의 변화와 PRESS곡선의 변화를 살펴보았다. 또한 각 전처리를 수행한 후, PLS 모델을 개발하여 전처리를 하지 않았을 경우와 비교해 보았으며, 이때 스펙트럼은 Savitzky-Golay 평활화와 MC처리를 하였다.

1) 전처리에 의한 상관계수 곡선의 변화

<그림 2-49>는 파장별 투과 에너지와 당도와의 상관계수곡선으로 원스펙트럼에 각 전처리를 수행하였을 경우이다. 원스펙트럼과 당도와의 상관관계는 낮았지만, 각 전처리를 수행하였을 경우, 상관관계는 증가하는 것을 알 수 있으며, 각 전처리의 효과는 MSC 및 SNV는 비슷한 효과를 보이고 있고, OSC처리가 어느 정도 상관 관계를 향상시키는 것으로 판단된다.

<그림 2-50>은 원스펙트럼을 1차 미분한 후, 각 전처리를 수행한 것으로, <그림 2-49>와 비교할 때, 각 파장에서 전반적으로 당도와의 상관관계가 증가함을 알 수 있다. 1차미분 스펙트럼에 대해서도 MSC 및 SNV는 유사한 효과를 보임을 알 수 있으며, OSC처리의 경우, 상당한 개선효과를 보임을 알 수 있다. 따라서 정상과 데이터 셋의 경우, 원스펙트럼보다는 1차미분 스펙트럼을 이용하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

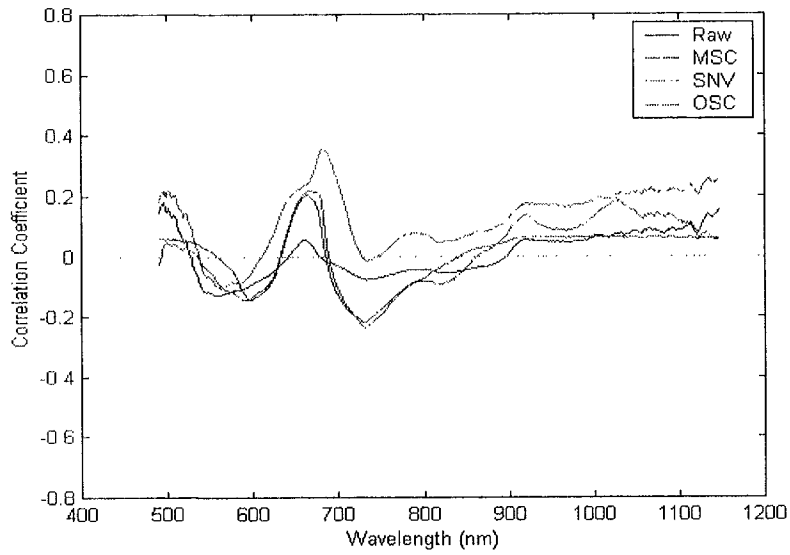


그림 2-55 상관계수곡선의 변화(원스펙트럼)

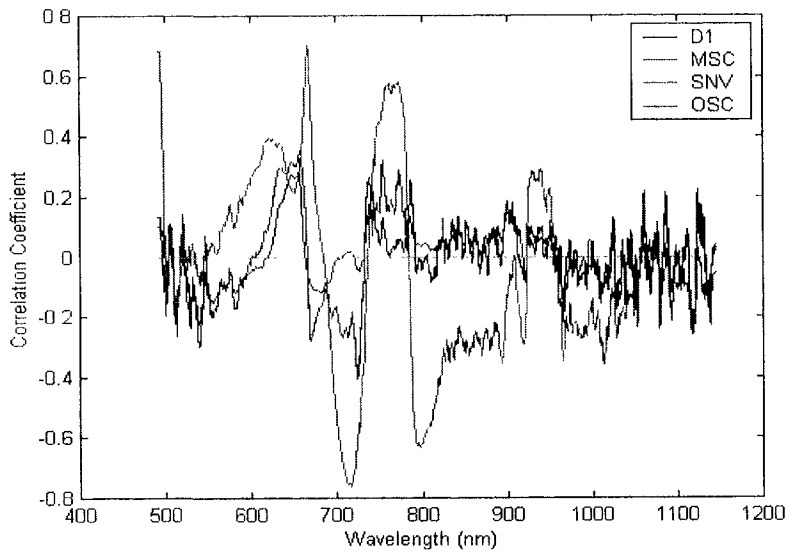


그림 2-56 상관계수곡선의 변화(1차미분스펙트럼)

2) 전처리에 의한 PRESS 곡선의 변화

평활화가 모델의 예측성능에 미치는 영향을 알아보고, 최적 평활화 조건을

찾기 위하여, 원 스펙트럼에 대해 Savitzky-Golay평활화의 과장간격을 바꾸어 가면서 PRESS곡선의 변화를 살펴 보았다. 5~29 points까지 바꾸었을 때, PRESS곡선의 변화는 <그림 2-51>과 같다. 만약 최소 PRESS법에 의해 최적 팩터를 선정한다고 하면, 11 및 17 points 일 때가 가장 작은 PRESS값을 가지게 되며, 이때의 최적 팩터수는 13이 될 것이다.

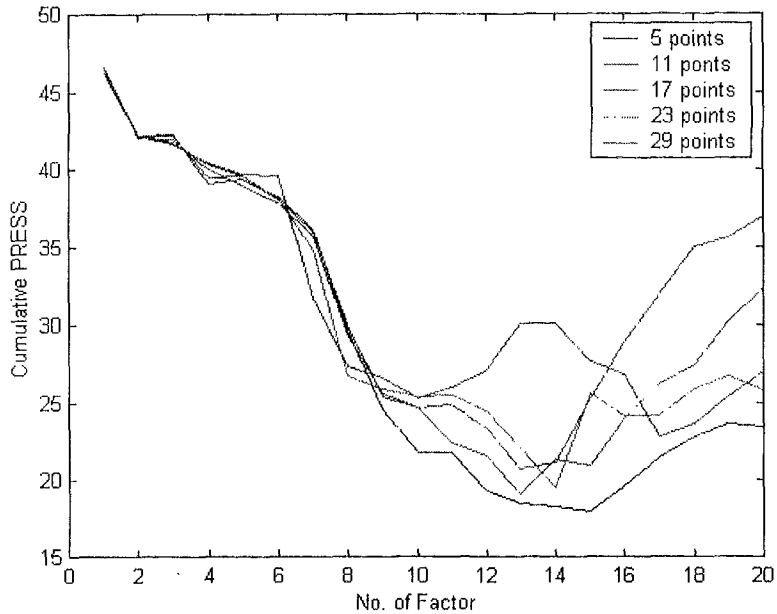


그림 2-57 평활화 조건에 따른 PRESS곡선의 변화

S-G평활화의 points를 늘려갈수록, PRESS곡선의 최소점은 팩터수가 작아지는 쪽으로 이동하는 경향이 있음을 알 수 있다. 그 이유는 과도한 평활화는 원 스펙트럼의 피크들을 둔화시키며, 이는 정보의 손실로서 작용하게 되어 선택 가능한 주성분의 수가 줄어들게 되기 때문인 것으로 판단된다.

최적 평활화 조건을 찾는 문제 외에도, 최적 팩터수의 선정 문제가 있다. PLS 모델의 최적 팩터수는 검량 및 검증시 예측 능력에 결정적인 영향을 미치게 되는 것으로 판단된다. 따라서 <그림 2-52>의 각 전처리별 PRESS곡선의 변화를 살펴 보면, PRESS값의 크기 및 팩터수가 가장 작은 경우는 1차미분 스펙트럼에 MSC처리를 하는 것이 가장 좋을 것으로 판단된다. OSC는 상관계수를 증가시키고, 팩터수를 줄이는 효과가 있으나, PRESS값이 다른 방법에 비해 상대적으로 높아 모델의 예측성능을 향상시키는데는 도움이 되지 않을 것으로 판단된다.

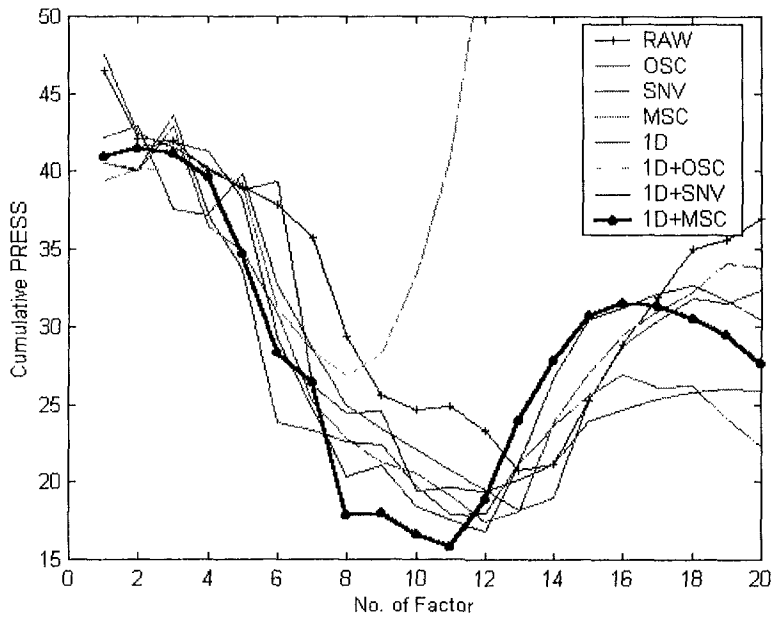


그림 2-58 전처리에 따른 PRESS 곡선의 변화

마. 모델 안정성 및 신뢰성 향상

1) 저장기간에 따른 스펙트럼 특성 구명

표 2-10에서 약 3개월(2월 12일, data set I) 및 6개월(5월 31일, data set II, (a)정상과, (b)내부결합과) 정도 저장되었던 배(신고)의 투과 스펙트럼을 분석하였다. <그림 2-53> 및 <그림 2-54>는 측정된 전체 스펙트럼을 나타낸 것이고, <그림 2-55>는 측정된 Brix 당도의 분포이다.

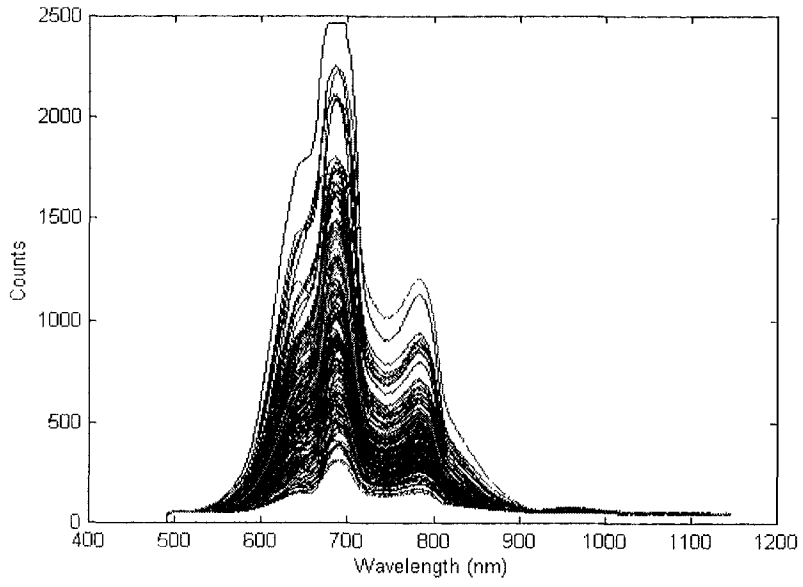


그림 2-59 3개월 저장된 베의 스펙트럼

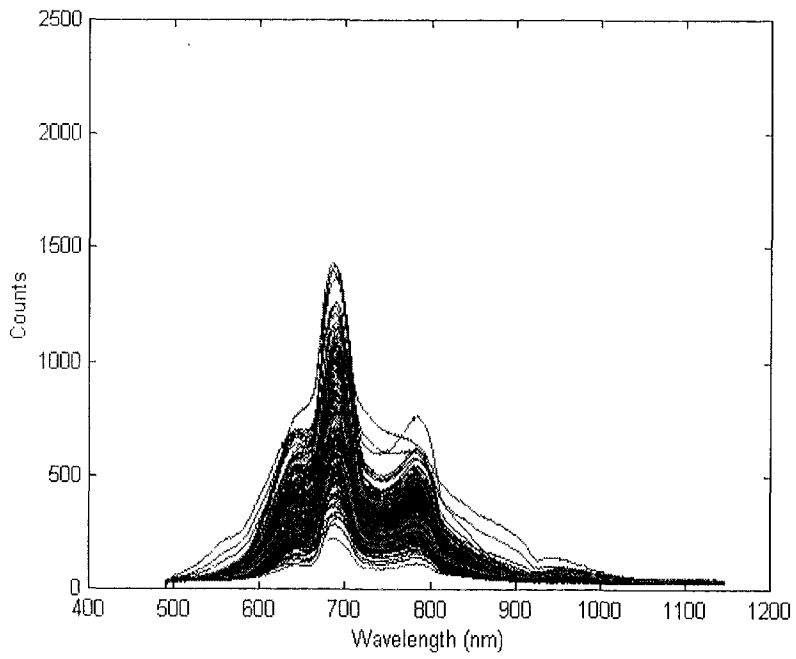


그림 2-60 6개월 저장된 베의 스펙트럼

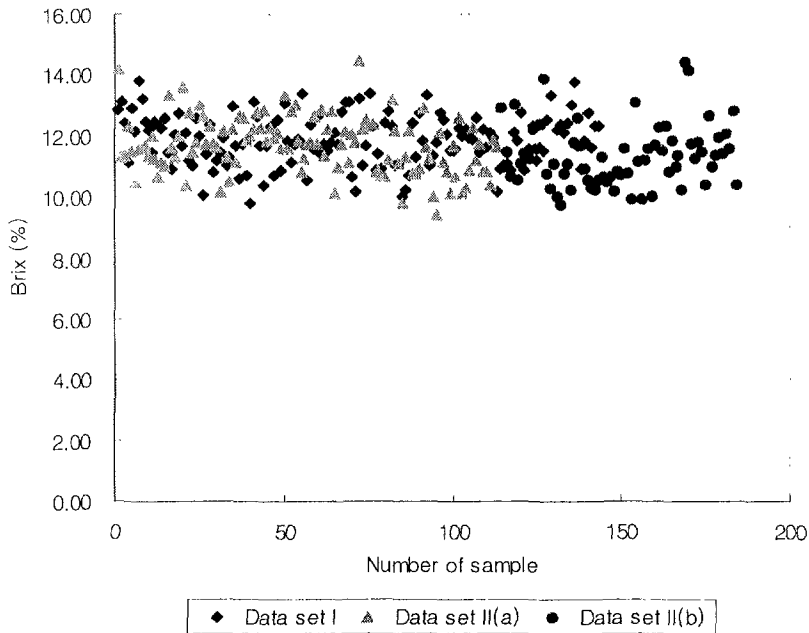


그림 2-61 3개월 및 6개월 저장배의 당도 분포

저장기간이 서로 다른(3개월, 6개월) 두 데이터 셋의 사이에는 당도가 거의 동일한 분포를 보이며, <그림 2-53> 및 <그림 2-54>는 파장대 투과에너지 (Counts)를 도시한 것으로, 측정조건이 약간 다르긴 하나 3개월 저장된 배의 경우 6개월 저장된 배보다는 스펙트럼의 변이가 큼을 알 수 있다. 6개월 저장된 배의 경우, 저장기간이 경과함에 따라 정상적인 시료보다는 내부가 부패하거나 변색한 시료가 많았으며, 스펙트럼의 변이는 당도의 영향이라기보다는 다른 물성 부패 등과 같은 내부결함에 의한 경도나 수분 변화의 영향이 저장기간이 길어짐에 따라 나타나는 것으로 판단된다.

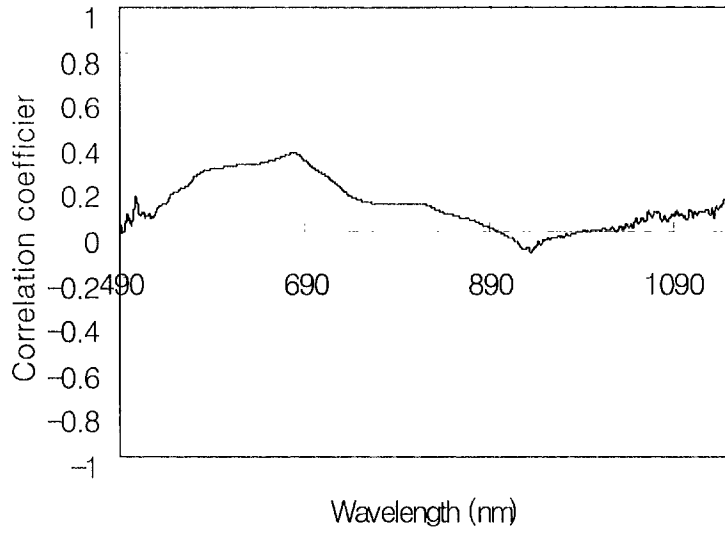


그림 2-62 상관계수곡선(3개월 저장)

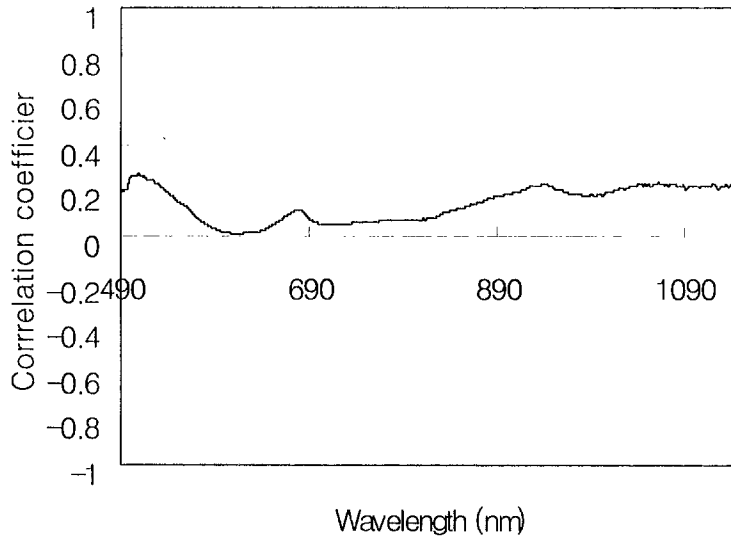


그림 2-63 상관계수곡선(6개월 저장)

당도와 각 파장에서의 투과에너지와의 상관계수 그래프를 그리면 <그림 2-56> 및 <그림 2-57>과 같으며, 당도와 각 파장에서의 상관계수는 상당히 낮음을 알 수 있다. 또한 저장기간이 다르다 하나 동일한 품종의 시료임에도 불구하고, 당도에 관한 상관계수가 두 데이터 셋에 대해 판이한 양상을 보이며,

670nm 근방의 엽록소 흡수과장을 제외하고는, 뚜렷한 경향이나 상관관계가 있는 과장영역은 찾을 수 없었다. 따라서 저장기간이 서로 다른 배에 대하여 당도 예측 모델을 만들 경우, 동일한 모델을 만들 수 없을 것으로 예상되며, 각각 모델을 만들든지 아니면 저장기간을 고려한 모델의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

2) 이상치 검출 및 제거

6개월 저장된 배 데이터 셋 중 정상과 114개에 대하여, 이상치를 검출하였다. 주성분 1과 주성분2에 대해, 95% 신뢰한계 내에서 각 시료의 $Q-T^2$ 플롯은 <그림 2-59>와 같다. 여기서 총 114개의 데이터 중에서 11개 정도가 이상치인 것으로 판단되며, 이상치 스펙트럼은 <그림 2-60>과 같으며, <그림 2-61>은 이상치가 제거된 스펙트럼이다.

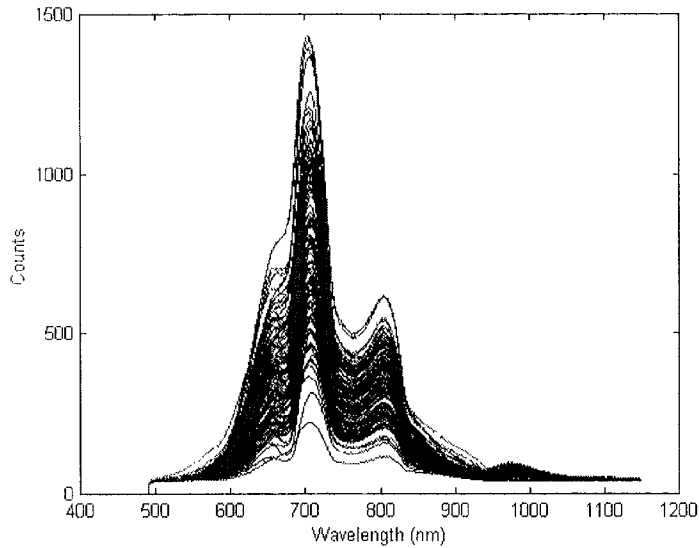


그림 2-64 6개월 저장배의 스펙트럼

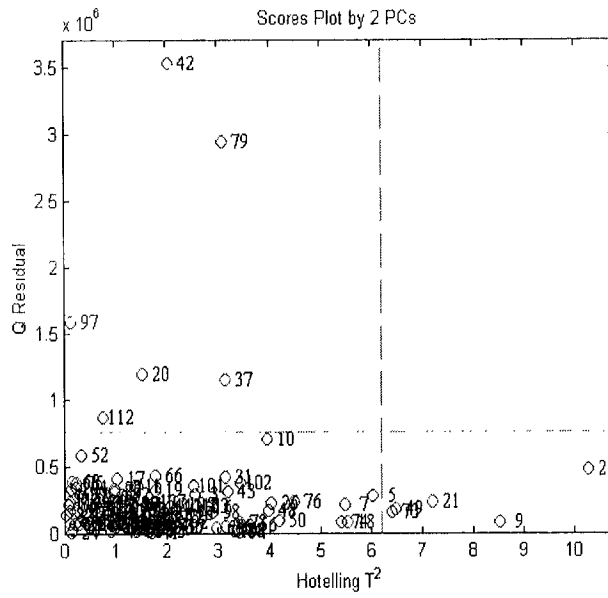


그림 2-65 Q- T^2 플롯

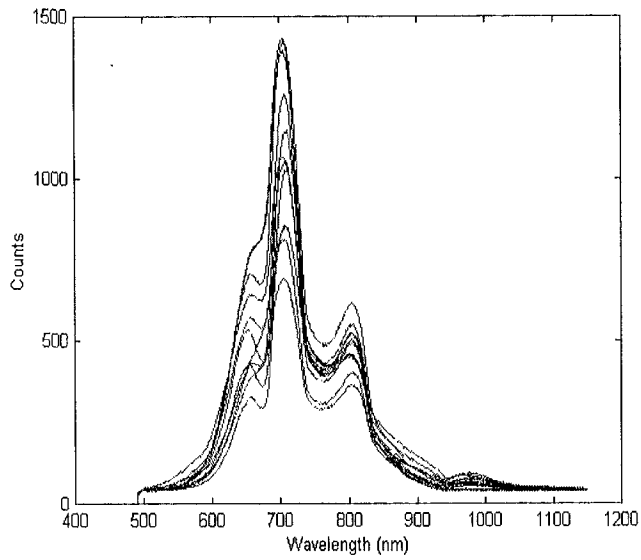


그림 2-66 이상치 스펙트럼

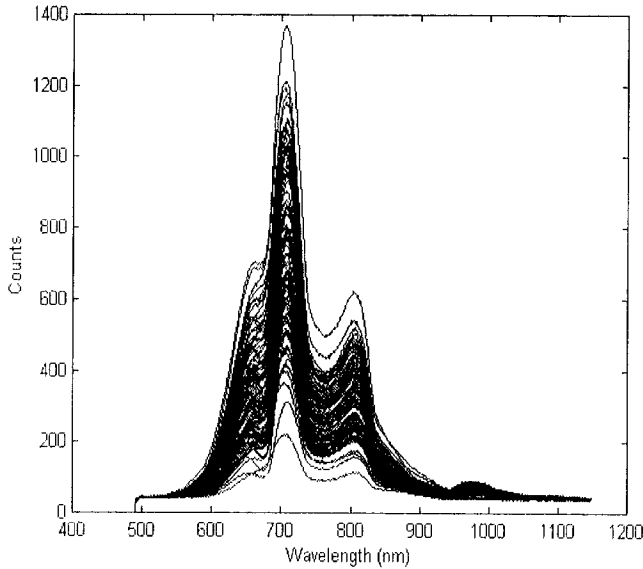


그림 2-67 이상치 제거된 스펙트럼

이상치는 두가지 경우로 생각할 수 있는데, 누광 등에 의한 스펙트럼 자체의 측정이 잘못된 경우와 내부결합과 같은 영향 때문에 정상 시료와는 다른 스펙트럼 변이를 갖는 경우이다. 스펙트럼 측정이 잘못된 경우는 재측정을 해야겠지만, 내부결합의 영향 때문에 생긴 이상치는 내부결합의 예측을 위한 정성분석 모델에 의해 판정되어야 한다.

3) 내부결합 판정

가) 내부결합의 투과 스펙트럼 특성 구명

6개월 저장된 배 데이터는 정상과와 내부결합과로 이루어진 데이터 셋인데, 내부결합과의 경우는 본 실험에서 분류한 내부결합을 모두 가지고 있는 시료이다. 하지만 바람들이, 갈변, 부패 및 멍을 모두 복합적으로 포함하고 있어, 뚜렷한 구분을 하기가 어려웠다. 따라서 먼저 정상과와 내부결합과의 구분이 가능한지를 알아보기 위하여 이들 투과 스펙트럼의 특성을 살펴 보았다. <그림 2-62> 및 <그림 2-63>의 정상과 및 내부결합과 데이터 셋의 평균 및 분산 스펙트럼을 구한 것은 <그림 2-64>와 같다. 평균 스펙트럼의 경우, 업록소의 흡수파장 근처인 670nm와 피크 파장인 700nm에서 차이를 보이고 있으나, 그 외의 파장은 거의 차이가 없다. 분산스펙트럼의 경우, 약 650nm~930nm의 영역에서 차이를 보이고 있다.

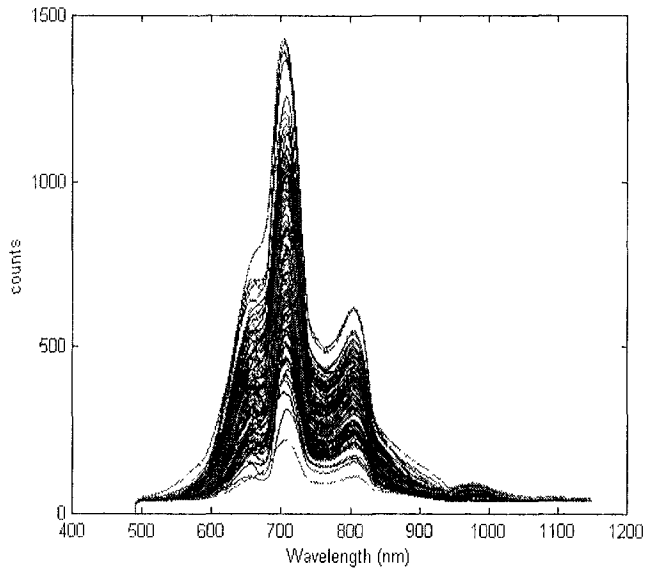


그림 2-68 정상과 스펙트럼

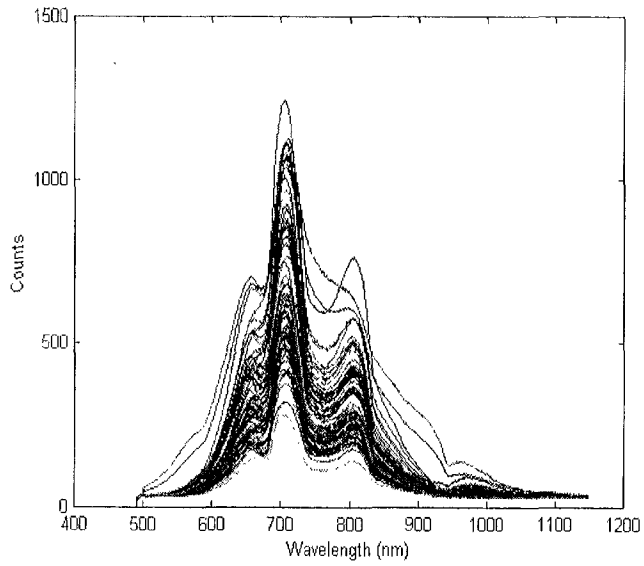


그림 2-69 내부결합과 스펙트럼

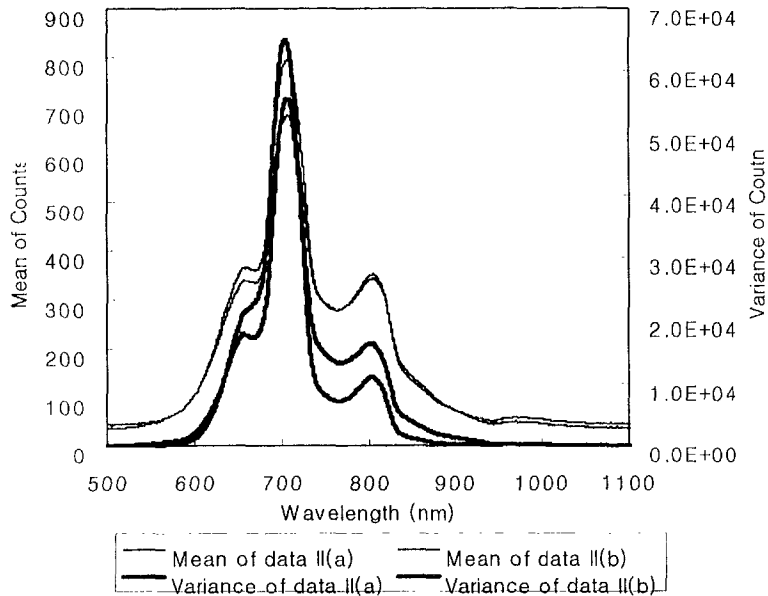


그림 2-70 정상과 및 내부결합과의 평균 및 분산 스펙트럼

주성분분석은 분산-공분산 행렬을 이용하여 새로운 변수 셋을 추출할 수 있으므로, 650nm~930nm 영역의 스펙트럼의 분산을 이용하여 각 스펙트럼의 차이를 추출할 수 있을 것으로 판단된다.

나) 내부결합 판별

정상과와 내부결합과의 투과 스펙트럼에 의한 판별이 가능한지를 알아보기 위하여, 6개월 저장되었던 배 데이터 셋에서 정상과 114개, 내부결합과 70개를 무작위로 섞은 후, 검량 데이터(92개)와 검증 데이터 셋(92개)으로 나누고, 내부결합과(class 0)와 정상과(class 1)에 대해 Mean Centering을 한 후, SIMCA모형을 개발하였다.

<그림 2-65> 및 <그림 2-66>은 각 클래스의 PRESS 곡선이며, 각 클래스의 주성분분석 시 최소 PRESS법에 의해 각 클래스의 주성분수를 결정하였으며, 이때 각 클래스의 주성분수는 각각 11, 14개였다.

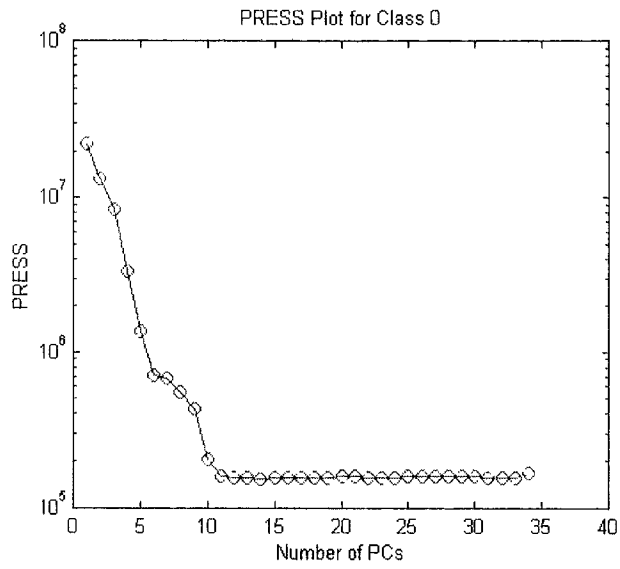


그림 2-71 내부결합과의 PRESS 곡선

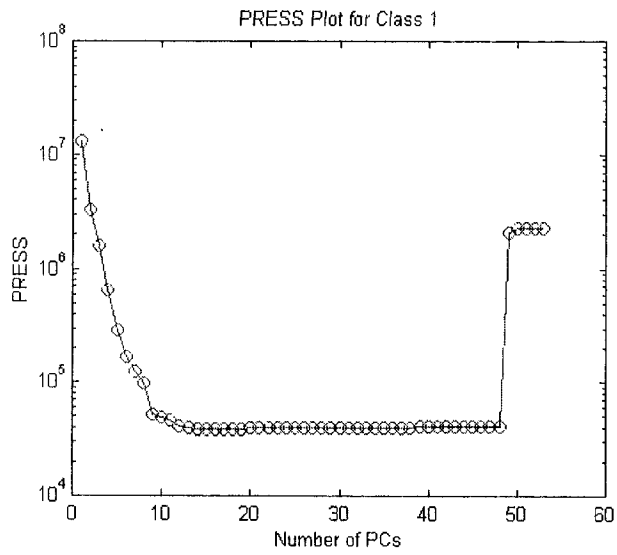


그림 2-72 정상과의 PRESS 곡선

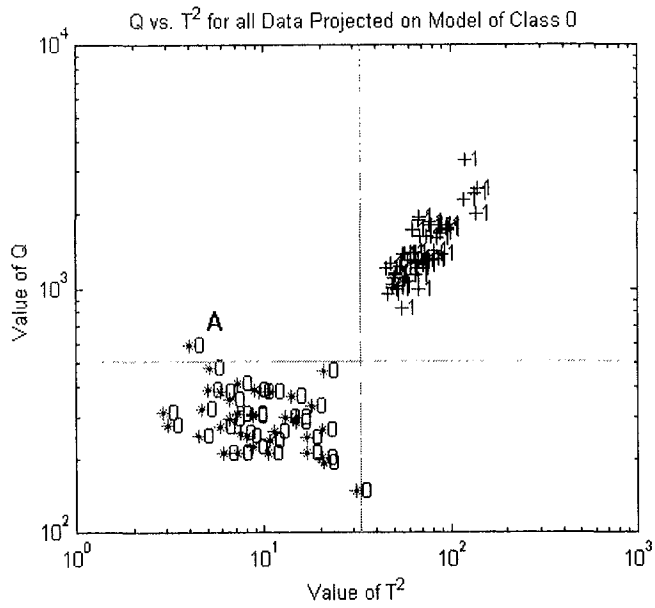


그림 2-73 내부결합과의 T^2 -Q 플롯

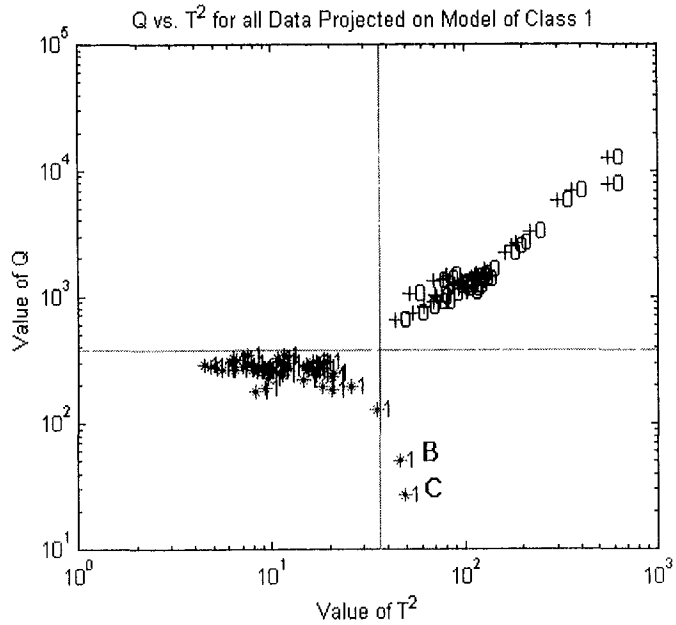


그림 2-74 정상과의 T^2 -Q 플롯

표 2-16 개발된 SIMCA 모델에 의한 판별 결과

Class	0	1	Total
0	32	2	34
1	0	58	58
Total	32	60	92

표 2-17 개발된 SIMCA 모델에 의한 CCR

Class	Number of PC	Q	T ²	CCR, 95% level
0	11	508.708	32.6471	0.97(2)
1	14	377.932	36.1666	1.00(0)

<그림 2-67> 및 <그림 2-68>은 각 클래스별 T^2-Q 플롯으로서, 각 클래스에 의해 선택된 주성분 수에 대하여, SIMCA법에 의해 정상과와 내부결합과의 판별이 가능함을 보여주고 있다. 이때의 각 클래스별 신뢰한계는 클래스 0의 경우, $T^2_{lim}=32.6471$, $Q_{lim}=508.708$ 이었고, 클래스 1은 $T^2_{lim} = 36.1666$, $Q_{lim} = 377.932$ 였다. 각 클래스에 대해 Q_{lim} 와 T^2_{lim} 신뢰한계 바깥에 위치한 데이터(A, B, C)는 클래스 0 및 클래스 1의 주성분분석 모델이 설명할 수 없거나(A의 경우), 모델 내에서의 변동이 신뢰한계를 벗어나는 시료(B 및 C의 경우)로서 이상치일 가능성이 높음을 알 수 있다. 만들어진 판별모델에 대해 미지시료로 검증 데이터셋을 이용하여 예측한 결과는 <표 2-16> 및 <표 2-17>과 같으며, 내부결합과의 경우 97%정도 선별이 가능하며, 정상과는 100%의 판별율을 보였다. 내부결합과가 100% 판별되지 않는 이유는 스펙트럼 측정시 누광이나 다른 원인에 의한 이상치가 일부 섞여 있기 때문으로 사료된다. 투과 스펙트럼을 측정하여 정상과와 내부결합과를 거의 정확하게 판별할 수 있으며, SIMCA법 자체가 이상치의 검출에도 도움이 될 것으로 기대된다. 향후 다양한 내부 결함을 가진 시료를 확보하여 투과 스펙트럼의 특성을 분석하고, 각 내부결합 별로 판별모델을 개발할 필요성이 있다고 판단된다.

4) 이상치 제거 및 각종 전처리에 의한 PLS 모델의 예측 정밀도 향상

이상치를 제거하고 여러 가지 전처리를 수행한 결과, 평활화 조건 17points 및 1차미분+MSC를 한 경우가 가장 좋은 결과를 나타내었다. 당도 예측 모델의 결과는 SEC=0.3357, R=0.9437(<그림 2-69>), 미지시료를 이용하여 예측을 할 경우 예측표준오차 SEP=0.4671, R=0.8621(<그림 2-70>)로서, 이상치의 제거 및 전처리를 하지 않은 경우의 결과와 비교할 때(SEP=0.7692, R=0.618), 상당한 개선 효과를 보임을 알 수 있다.

각종 전처리를 수행하고, 상위 10개의 조합을 선정하여 <표 2-18>에 제시하였다. MSC와 SNV는 유사한 효과를 보이는 것으로 판단되며, OSC는 상대적으로 다른 전처리에 비해 그 효과가 낮은 것을 볼 때, 앞에서 PRESS곡선의 변화나 상관계수곡선의 변화에서 살펴본 바와 같은 결과를 얻을 수 있다.

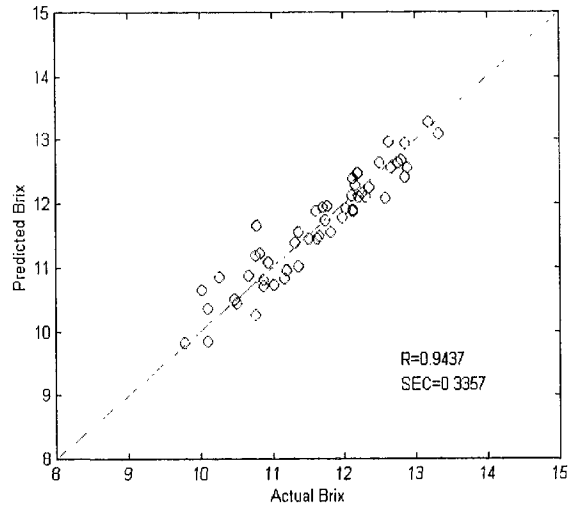


그림 2-75 당도 예측 모델 개발 결과
(MC, 17points, 1st derivative, MSC)

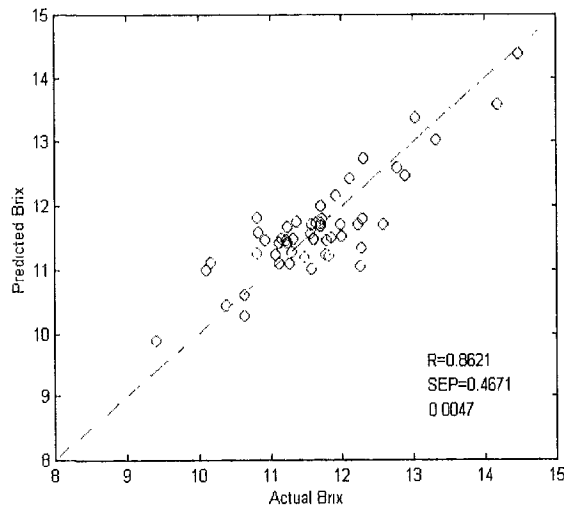


그림 2-76 개발된 모델의 검증 결과
(MC, 17points, 1st derivative, MSC)

표 2-18 전처리 조건별 모델 개발 및 검증 실험 결과

No.	Savitzky-Golay		Preprocess	No. of Factors	Calibration		Validation		
	Smoothing				R	SEC	R	SEP	bias
	Points	Order							
1	17	1	1 st Deriv.+MSC	11	0.9436	0.3357	0.8621	0.4671	0.0047
2	17	1	1 st Deriv.+SNV	12	0.9478	0.3276	0.8605	0.4693	0.0006
3	23	1	1 st Deriv.+SNV	12	0.9348	0.3649	0.8556	0.4853	-0.0093
4	23	1	1 st Deriv.+MSC	11	0.9294	0.3745	0.8327	0.5114	0.0026
5	29	1	1 st Deriv.+SNV	11	0.9135	0.4104	0.8237	0.5225	0.0333
6	29	1	1 st Deriv.+MSC	11	0.9152	0.4090	0.8218	0.5253	0.0364
7	5	1	SNV	13	0.9541	0.3119	0.8166	0.5317	0.0215
8	5	1	MSC	12	0.9497	0.3217	0.8095	0.5409	0.0222
9	11	1	SNV	13	0.9279	0.3881	0.8010	0.5531	0.0258
10	11	1	MSC	12	0.9263	0.3872	0.7944	0.5613	0.0278

바. 온라인 당도 선별 성능 실험 결과

배의 당도 판정 가능성을 기초연구를 통해 구명하고, 온라인 상태에서의 당도 선별 가능성을 구명하기 위하여 위탁과제에서 제작한 간이 온라인 당도 판정 시스템을 이용하여 온라인 당도 선별 성능을 테스트하였다. 본 연구의 최종년도에는 직전년도까지 개발된 시스템을 보다 실용성이 있도록 하고, 제작비 등의 측면에서 장점이 있는 것으로 판단되는 시작기의 레이아웃이 새로이 설계/제작되었으므로, 본 연구에서 개발된 알고리즘과 모델링 기법을 적용하여 온라인 당도 선별 성능 실험을 수행하였다.

위탁과제에서 최종적으로 개발된 선별 시스템의 경우, 투과식 스펙트럼 측정 장치를 중심으로 개발되었다. 그 이유는 반사식의 경우, 온라인 선별성능이 투과식에 뒤지지 않는으나, 투과식은 배의 내부결함을 검출할 수 있는 등의 장점이 있기 때문이다.

또한 투과식의 경우에도 광원부의 구성 방식에 따라 그 스펙트럼 특성 및 시스템 성능이 달라지게 되므로, 광원부의 구성 방식에 따른 특성을 구명할 필요가 있다. 따라서 광원부의 구성(점광원 및 선광원)에 따른 스펙트럼의 특성을 구명하고자 변이계수곡선을 계산하였다. 그림 2-71에서 보는바와 같이 점광원의 경우, 각 스펙트럼의 변이가 매우 큰을 알 수 있으며, 선광원의 경우에는 상대적으로 그 변이가 작아, 안정된 스펙트럼을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

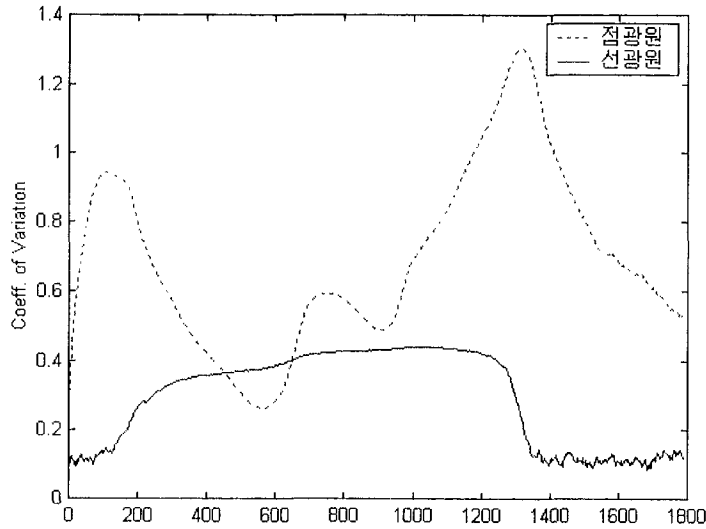


그림 2-77 점광원 및 선광원의 변이계수(CV) 곡선

따라서 변이계수 곡선의 측면에서 보면, 점광원을 사용하는 것보다는 선광원을 사용하는 것이 보다 안정적인 스펙트럼을 얻을 수 있으며, 투과 스펙트럼 측정장치의 구성에 있어서도 더 효율적일 것으로 판단되었다.

개발된 전처리 알고리즘 및 모델링 기법을 이용하여 온라인 상태에서 측정된 투과 스펙트럼에 대해 당도 판정 모델을 개발하였다. 표 2-19는 점광원 및 선광원을 이용하여 측정한 투과 스펙트럼으로 당도 판정 모델을 개발한 후 검증한 결과로서, 점광원의 경우 최적 모델의 $SEP=0.609\%brix$, $R^2=0.59$ 로서 당도 예측 성능이 다소 낮으며, 현장에서 사용하기가 곤란함을 알 수 있다. 점광원에 대하여 그림 2-72, 그림 2-73 및 그림 2-74는 이때의 PRESS곡선, calibration 및 validation 결과를 나타낸 것이며, 그림 2-75, 그림 2-76 및 그림 2-77은 선광원에 대한 결과이다.

선광원의 경우, 최적 모델의 $SEP= 0.534\%brix$, $R^2=0.53$ 으로서 점광원의 경우보다 예측성능이 향상되었음을 알 수 있다. 그림 2-42, 그림 2-43 및 그림 2-44는 이때의 PRESS곡선, calibration 및 validation 결과를 나타낸 것이다.

모델 예측 결과로는 선광원 및 점광원의 SEP의 차이가 약 0.1정도의 차이가 나서 큰 차이가 없어 보이지만 점광원의 경우, 본 연구에서 개발된 이상치 제거 알고리즘에 의해 약 25%정도의 스펙트럼이 이상치로 간주되어 제거되므로, 실제 온라인 측정시 재측정해야 할 스펙트럼이 많아짐을 의미한다. 선광원에 의한 모델에서는 약 5%이하의 스펙트럼만이 이상치로 제거되므로, 선광원 방식의 광원

부를 구성하는 것이 훨씬 안정적으로 스펙트럼을 획득할 수 있으며, 개발된 당도 예측 모델도 보다 안정적인 것으로 판단된다.

표 2-19 점광원 및 선광원 투과 스펙트럼의 당도 예측 결과

Light source type	Preprocess							Results					
	Wavelength	Sm	D	MSC	SNV	UAN	SLN	Calibration			Validation		
								Opt. Factor	R ²	SEC	R ²	SEP	bias
point type	530~960	33	-	-	o	-	-	11	0.71	0.575	0.59	0.609	-0.0985
	530~960	21	-	-	-	o	o	10	0.72	0.555	0.59	0.611	-0.0856
	530~960	27	-	-	-	o	o	11	0.72	0.556	0.58	0.612	-0.0906
	530~960	3	-	-	-	o	o	10	0.77	0.510	0.58	0.612	-0.0898
	530~960	9	-	-	-	o	o	10	0.75	0.526	0.58	0.613	-0.0895
line type	530~960	9	-	-	-	o	o	9	0.68	0.483	0.53	0.534	0.0849
	530~960	3	-	-	-	o	o	9	0.69	0.477	0.53	0.535	0.0834
	530~960	15	-	-	-	o	o	9	0.67	0.486	0.53	0.535	0.0856
	530~1100	15	-	o	-	-	-	9	0.72	0.449	0.53	0.537	0.0693
	530~960	21	-	-	-	o	o	9	0.67	0.490	0.52	0.537	0.0867

Sm : smoothing point of Savitzky-Golay smoothing, D : derivative

MSC : multiplicative scattering correction, SNV : Standard Normalization Variate

UAN : Unit Area Normalization, SLN : Sensor-Light Normalization

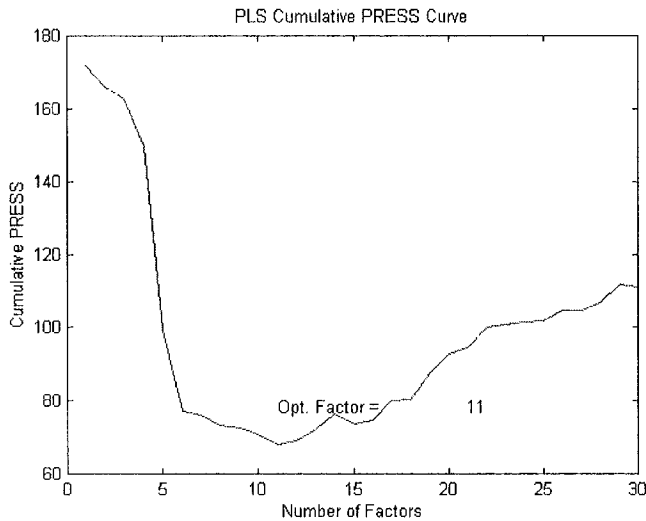


그림 2-78 PRESS 곡선(점광원)

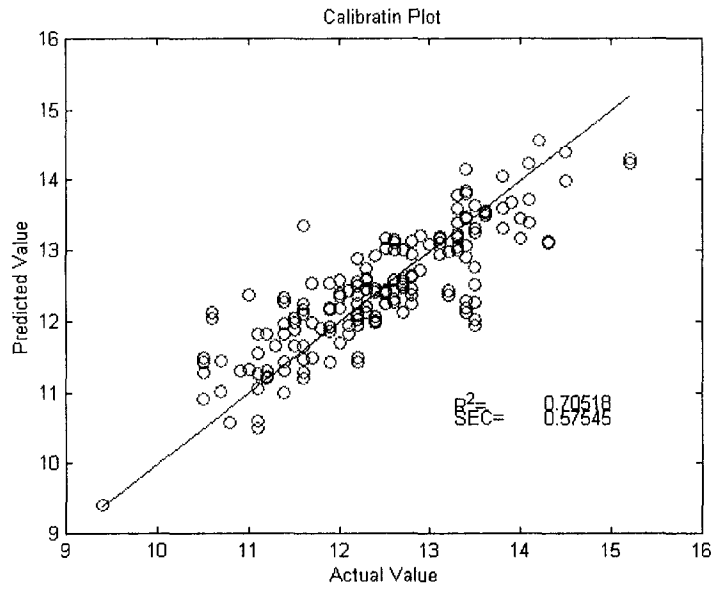


그림 2-79 당도 예측 모델 결과(점광원)

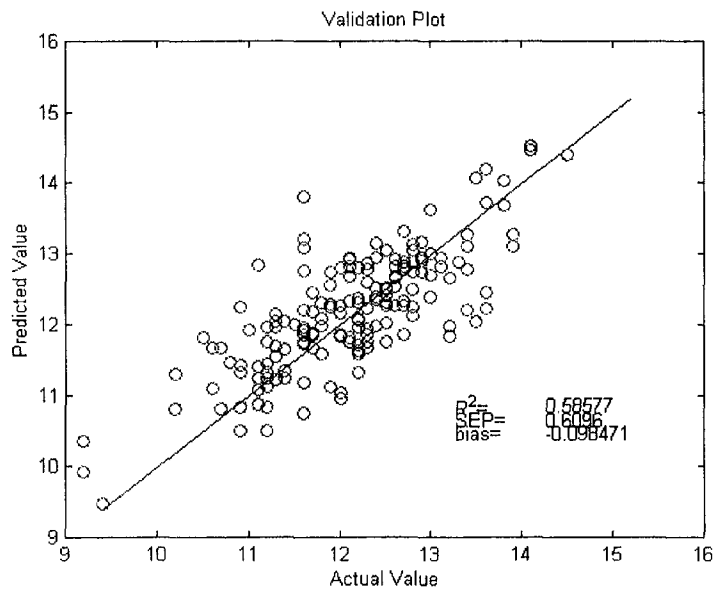


그림 2-80 당도 예측 검증 결과(점광원)

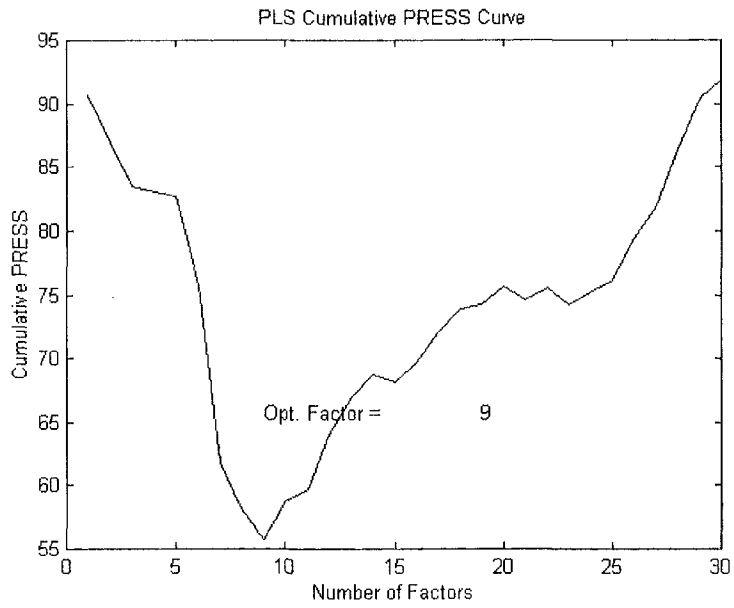


그림 2-81 PRESS 곡선(선광원)

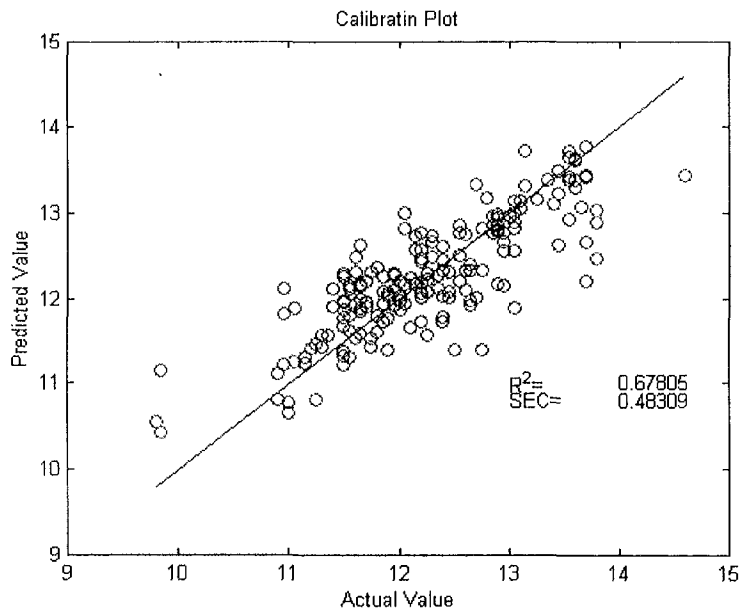


그림 2-82 당도 예측 모델 결과(선광원)

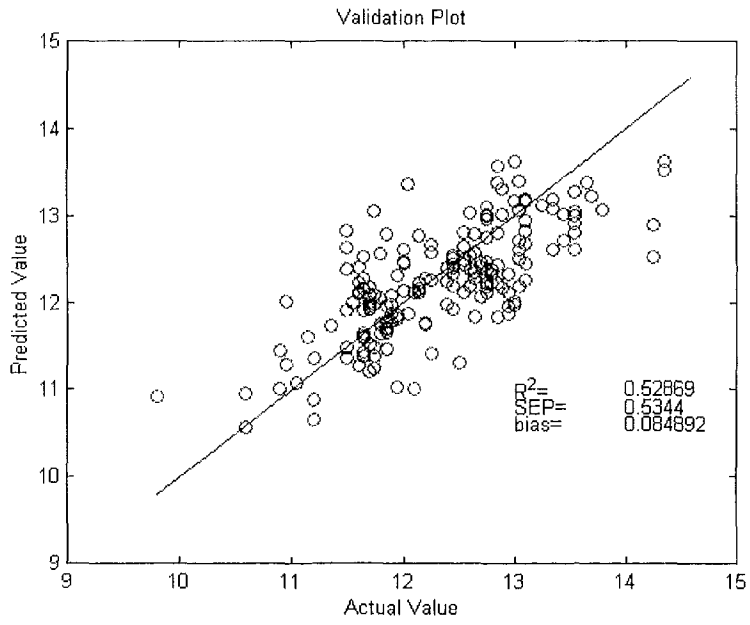


그림 2-83 당도 예측 검증 결과(선광원)

5. 요약 및 결론

본 연구는 배의 내부품질 판정기술 개발을 위하여 수행되었다.

내부품질의 판정기술 개발을 위한 기초연구로 순수당 수용액 및 배를 대상으로 정밀급 분광광도계를 이용하여 스펙트럼 특성을 조사하고 파장별 흡광도와 당도와의 상관관계를 구하였다. 배의 경우 전체적으로 상관계수 값은 낮으나(0.2~0.3), 전체 파장영역에 걸쳐 고른 분포를 보였으며, 당도 예측 결과 스펙트럼 전처리의 필요성을 확인하였다.

또한 실시간 분광기(고감도 CCD type)를 이용하여 배를 대상으로 투과스펙트럼을 측정할 수 있는 장치를 구성하고, 정지상태에서 실시간으로 스펙트럼을 측정하였다. 스펙트럼에 포함된 노이즈 등을 제거할 수 있는 전처리 알고리즘을 개발/적용한 후, PCR, PLSR 모델로 당도 및 산도 판정 모델을 개발하였다. 그 결과 당도 예측성능은 SEP가 0.5~0.7 Brix% 정도로 나타났고, 산도의 경우 SEP가 0.057%로 나타나 실시간 분광기를 이용한 내부품질 판정 가능성을 확인하였다.

실시간 분광기를 이용하여 스펙트럼을 측정할 경우, 측정기기로부터의 노이즈나, 측정오차, 주위환경의 변화와 측정방법에 의한 오차 등과 같은 다양한 간섭이 존재하게 되며, 이를 제거하기 위하여 다양한 스펙트럼 전처리 알고리즘을 개발하였다. 즉 평활화, 미분, 산란보정, 센서-광원 특성 보정, 경로차 보정 등과 같은 알고리즘을 개발하였다. 예측 모델 개발 전에 이러한 알고리즘을 스펙트럼에 적용하여, 전처리의 효과를 구명하고, 보다 안정적인 모델의 개발 가능성을 구명하였다.

모델의 안정성 및 신뢰성 향상을 위하여, 저장기간에 따른 스펙트럼의 특성을 구명하였다. 다양한 시기의 시료에 대해 실험을 수행하였으며, 대표적으로는 약 3개월 및 6개월 정도 저온저장고에 저장되었던 배 시료에 대해 분석을 한 결과, 저장기간에 따라 모델의 예측 성능이 달라지며, 저장기간을 고려한 모델의 개발이 필요할 것으로 판단되었다. 또한 스펙트럼 측정시 발생하는 이상치(outlier) 스펙트럼을 검출할 수 있는 알고리즘의 개발이 필요할 것으로 판단되어, 주성분분석(PCA)을 이용한 클러스터링 기법을 개발하여 이를 제거할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.

내부결합(내부흡변, 갈변 및 부패 등)의 경우, 일반적인 정량분석모델로는 그 판정이 어려우므로, 이를 위하여 정성분석기법중의 하나인 SIMCA법을 이용하여 내부결합 판정 알고리즘을 개발하였다. 내부결합의 경우 투과 스펙트럼 측정장치에 의해서만 가능하며, 측정된 투과 스펙트럼의 특성을 구명한 결과, 정상과 및 내부결합과의 스펙트럼 특성은 엽록소의 흡수파장인 670nm 근처와 피크파장인 700nm에서 차이를 보였다. 따라서 개발된 내부결합 판정 알고리즘을 이용하여

정상과와 내부결합의 판정을 수행한 결과, 정상과는 100%, 결합과는 97%의 판별율을 보였다.

이상치 제거 및 각종 전처리에 의한 PLS모델의 예측 정밀도 향상 효과를 구명하기 위하여, 위탁과제에서 개발된 간이 온라인 당도 판정 시스템을 이용하여 실험을 수행하였으며, 측정된 데이터를 이용하여 각종 전처리 및 이상치 제거를 수행한 결과, $R^2=0.743$, $SEP=0.47\%brix$ 로서 상당한 개선 효과를 보임을 확인하였다.

광원부의 구성방식에 따른 예측 모델의 성능 비교를 위하여 점광원 및 선광원 방식에 대해 온라인 상태에서 성능시험을 수행하였으며, 그 결과 선광원을 이용하는 것이 보다 안정적인 스펙트럼을 측정할 수 있는 것으로 판단되었다.

이 연구에서 개발된 전처리 알고리즘과 정성분석 모델 및 정량분석모델(내부결합판정)을 통합한 온라인 복합 판정 알고리즘을 개발하여 위탁과제(4장)에서 개발된 온라인 선별 시스템의 구동 소프트웨어에 포함되도록 하였다. 또한 위탁과제에서 최종적으로 완성된 자유 이동 접시형 선별 시스템을 이용하여 검증 실험을 수행한 결과, 온라인 당도 판정은 $R^2=0.528$, $SEP=0.53\%brix$ 의 결과를 보여 상용화의 가능성이 충분한 것으로 판단되었다.

제 3 장 적정포장설계 및 표준화

제 1 절 배의 진동 및 충격특성

1. 배의 진동특성

농산물은 품종, 재배기술, 환경의 요인에 영향을 받아 품질, 형상, 색택, 병충해 정도, 상해정도가 나타나게 되고, 이것이 곧 농산물의 다양한 상품성으로 결정되게 된다. 또한 수확, 저장, 포장, 수송, 상하차등 유통과정에서의 취급 방법에 따라 물리적으로 손상을 받음은 물론 유통기간이 길어짐에 따라 호흡 등 생리적 현상으로 부패 및 변질이 진행되어 농산물의 품질저하가 상당한 수준에 이르고 있으나, 이에 대한 관심은 매우 빈약한 실정이다.

청과물은 수확 후 각종 처리공정을 거치고 유통기간이 길어질수록 외력에 의한 기계적 손상을 많이 받게 될 것이고 이중에서도 진동 및 충격에 의한 손상이 대부분을 차지하게 된다.

이와 같이 청과물의 진동특성은 유통과정중의 손상감소를 위한 매우 중요한 기초자료이나 품종에 따라 차이가 있을 뿐만 아니라 같은 품종에서도 개체에 따라 그 형상 및 조직 등이 다르기 때문에 이들에 관한 자료는 매우 빈약하고 몇몇 문헌에 보고된 자료들도 같은 청과물에 대한 이들의 값이 매우 다르다. 청과물의 진동반응을 분석함으로써 유통과정 중에 발생하게 되는 진동에 의한 손상을 최소화하기 위한 포장설계의 설계와 청과물의 수확, 선별 및 가공기계와 시설을 해당 청과물의 특성에 적합하게 설계, 개발 및 개량과 적정 작동조건 등을 설정할 수 있게 되어 진동에 의한 손상을 줄이는데 크게 기여할 것이다.

이러한 진동에 의한 손상은 청과물의 공진주파수(resonant frequency)에서 주로 발생되므로 청과물의 공진주파수에 대한 자료는 청과물을 보호하기 위한 적절한 포장설계와 유통과정 중에 발생하는 진동에 의한 청과물의 손상 메카니즘을 이해하는데 큰 도움을 줄 것이다.

따라서, 본 연구에서는 우리나라의 대표적인 청과물인 배에 대한 진동특성을 계측하기 위한 계측시스템을 구성하고 시스템 및 계측용 컴퓨터 프로그램을 개발하였으며, 배의 진동특성을 분석하고자 하였다.

가. 실험장치

본 연구에서 구성된 배의 진동특성 실험장치는 그림(3-1)과 그림(3-2)에서 보는바와 같이 IMV사의 PET-05-05A(49N, 5kgf)로 구성하였다. 본 시스템은 컴퓨터

터와 함수발생기(HP-33120A)간의 인터페이스를 통해 일정 스위프율(sweep rate)로 일정범위의 주파수를 제어하기 위한 HP-IB통신, 입력받은 주파수에 상응하는 주파수로 진동을 하기 위한 Oscillator·Amplifier와 Vibration Shaker의 조합과 배의 가속도를 측정하기 위한 가속도계(accelerometer) 및 오실로스코프로 구성되었다. 또한 이 시스템에서는 가속도계(accelerometer)의 진동응답신호를 로우패스 필터(low-pass filter)가 장착된 앰프(amplifier)를 통하여 오실로스코프에 출력하도록 하였다. 또한 오실로스코프와 컴퓨터와의 RS-232C통신을 이용하여 메초진동응답신호의 진폭을 측정하여 컴퓨터에 출력한 후에 그 데이터를 저장하도록 하였다. 본 실험장치의 제원은 표(3-1)에서 보는 바와 같다.

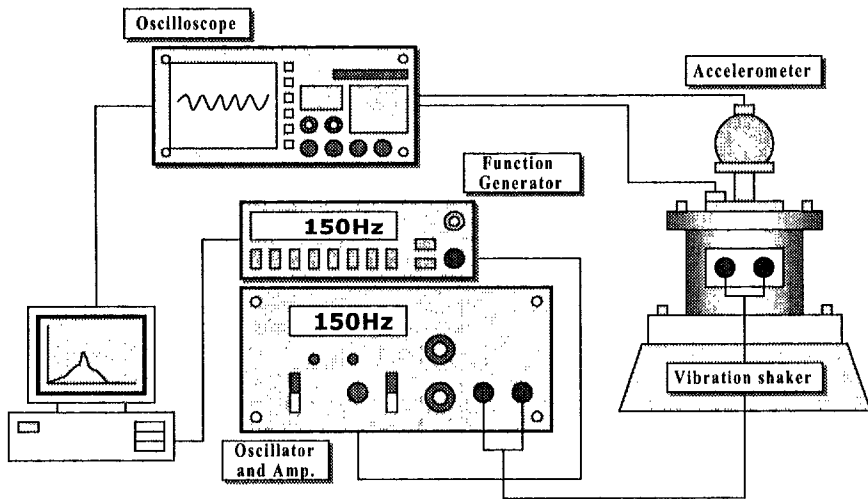


Fig. 3-1. Schematic diagram of the vibration test apparatus.

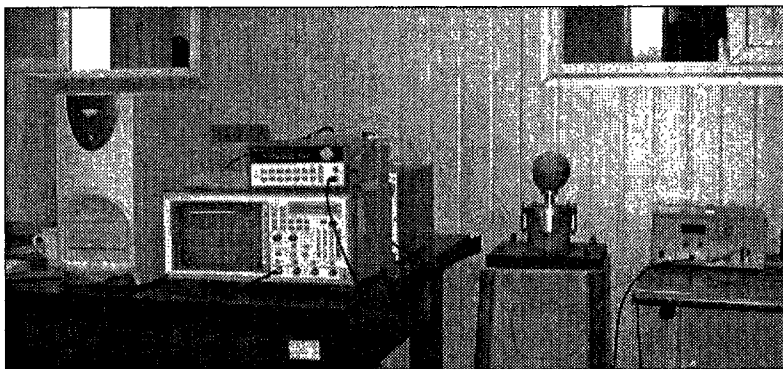


Fig. 3-2. The experimental equipment for vibration tests.

Table 3-1. Specification of vibration test apparatus and measuring system

Items	Specification	Remarks
Vibration shaker	Sine force 49N(5kgf)	IMV PET-05-05A
Oscillator · Amplifier	Oscillating Frequency range 2~20,000Hz	IMV PET-05-05A
Function generator	Frequency sweep 10mHz~15MHz	HP-33120A
Accelerometer	Frequency response 0~400Hz, 0~650Hz, 5G	KYOWA
Digital Oscilloscope	500MHz	HP-54542A
HP-IB card	Max. I/O speed 355KB/s	HP

시료고정장치(specimen-mounting device)는 시료를 가진기(vibration shaker)의 테이블 위에 견고히 고정시키기 위해 충분한 강도와 강성이 있어야 하며, 테이블과 시료고정장치사이의 상대운동이 없어야 하고 가능한 한 그 무게가 가벼워야한다. 따라서 본 실험에서는 알루미늄으로 무게가 152g이 되도록 제작하였으며 가진기, 시료고정장치, 배 및 가속도계를 설치한 전체시스템은 그림(3-3)에서와 같다.

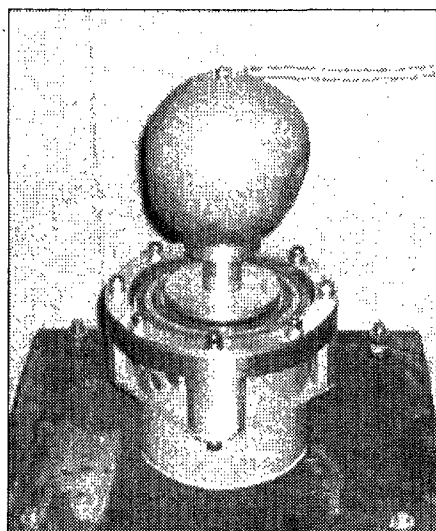


Fig. 3-3. Arrangement of vibration exciter, intact pear and accelerometer.

또한 진동시험에 사용되는 가속도계는 그림(3-3)과 같이 아주 경량이고, 유연한 케이블을 가지고 있는 1축의 가속도계(5G)를 사용하였으며 가속도계는 배 및

시료고정장치에 부착하였다. 여기서 가진기의 가진력(exciting force)이 5kgf이므로 가진기의 아마추어(moving element, 150g), 시료고정장치, 배 및 가속도계의 총 무게가 이 범위를 벗어나지 않도록 하였다.

배의 진동특성 실험을 위한 진동시스템 제어 및 계측을 위한 컴퓨터 프로그램은 비주얼 베이직(Ver. 5.0)으로 작성되었으며, 함수발생기(Function Generator)를 제어하는 프로그램과 가속도계에서 입력되는 가속도값(G-rms)을 계측 저장하는 프로그램으로 작성되었다. 그림(3-4)는 진동시스템의 제어 및 계측 컴퓨터 프로그램의 메인 윈도우이며, RS-232의 설정, 오실로스코프 및 함수발생기의 초기화, 입력주파수 범위, 스위프율(sweep rate), 스위프모드(sweep mode) 등을 입력하여 실험을 시작하여 계측 데이터를 저장하는 윈도우이다.

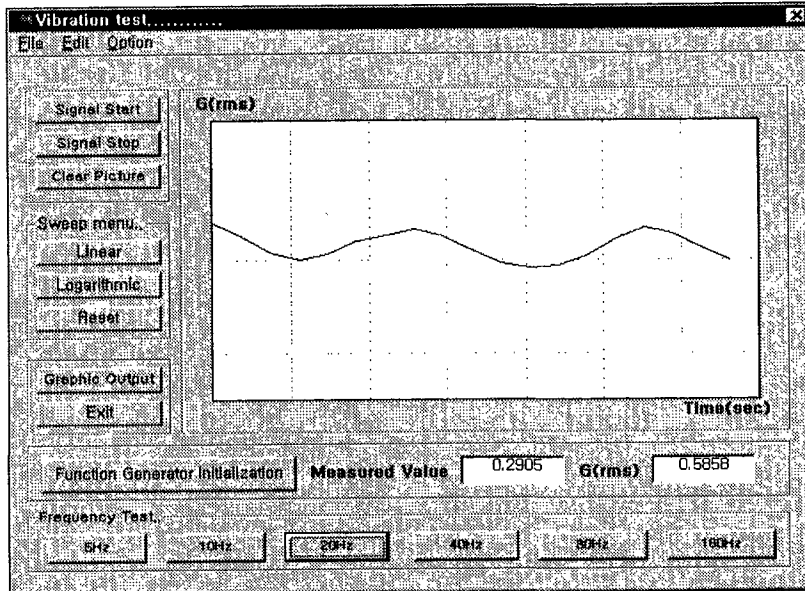


Fig. 3-4. Main window of measurement program for vibration tests.

나. 실험방법

실험에 사용된 배는 1998년 10월에 일반농가에서 수확된 후 약 5개월 정도 저온저장($0 \pm 1^\circ\text{C}$, $85 \pm 5\%$ rh)된 신고 배이었다. 포장과 관련된 진동시험방법에는 정현파 진동시험(sinusoidal vibration)과 랜덤 진동시험법(random vibration)이 주로 적용된다. 정현파 진동시험법에는 일정 크기의 가진력을 계속하여 유지하여야 하므로, 진동주파수와 진폭이 주요변수가 된다. 일정범위의 진동수를 스위프시키는 방법에는 대수적인(logarithmic) 방법과 정규적인(normal)방법이 있다.

본 실험은 배를 운송할 때 진동에 의한 손상을 감소시키는 것이 목적이므로 주파수의 범위는 3~150Hz, 가속도의 범위 0.5G, 소사율은 1octave/min, 스위프 모드는 대수적인 방법을 택하여 정현파 진동실험을 수행하여 공진주파수 및 가속도(G-rms)를 분석하였다(ASTM).

또한 진동실험 직후에 매 시료마다 배의 기계적특성을 계측하기 위하여 그림(3-5)와 같은 UTM를 이용하여 배의 시편(직경17.6mm, 길이20mm)을 채취하여 배의 생물체항복점(bioyield point), 생물체항복변형량(bioyield deformation), 파괴점(rupture point), 극한변형량(rupture deformation) 및 탄성계수(apparent elastic modulus)등을 계측하여 진동특성과 비교 분석하였다.

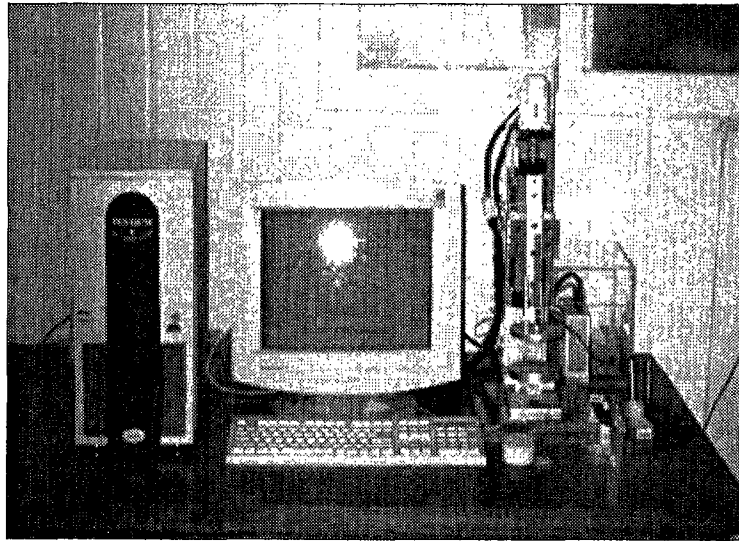


Fig. 3-5. The experimental equipment for compression tests.

다. 결과 및 고찰

1) 공진주파수 및 기계적특성의 분석

공진점은 진동실험에서 최대의 진폭(amplitude)이 일어나는 점이며 이때의 주파수를 공진주파수(resonant frequency)라 한다. 배의 공진주파수를 측정하기 위하여 먼저 가진기(vibration exciter)에 0.5G의 가속도를 적용하여 실험구간의 진주파수에서 일정한 값을 유지하는지를 검정하였다. 그림(3-6)은 가진기에 배 시료를 올려놓지 않고 시료고정장치와 가속도계만을 장착하여 실험 주파수대인 3~150Hz까지 대수적으로 스위프 시키면서 가속도값을 측정한 결과이다. 그림에

서 보는 바와 같이 실험범위의 주파수대를 차례로 스위프 하는 동안 일정하게 0.5G로 유지됨을 알 수 있었다.

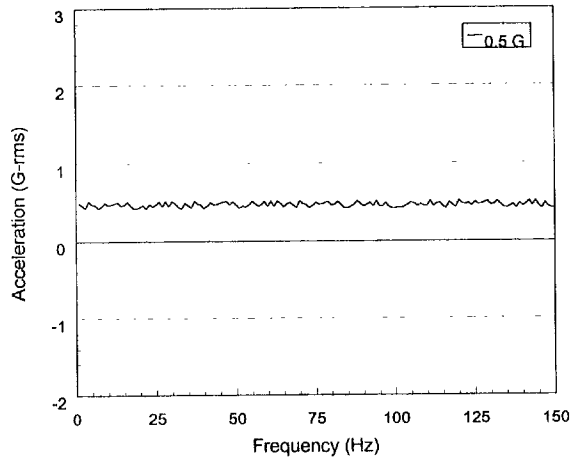


Fig. 3-6. Amplitude response curve for vibration exciter without fruit.

그림(3-7)은 질량 0.5499kg인 배 시료에 대하여 0.5G의 가속도 수준으로 정현파 진동실험한 결과를 도시한 것이다.

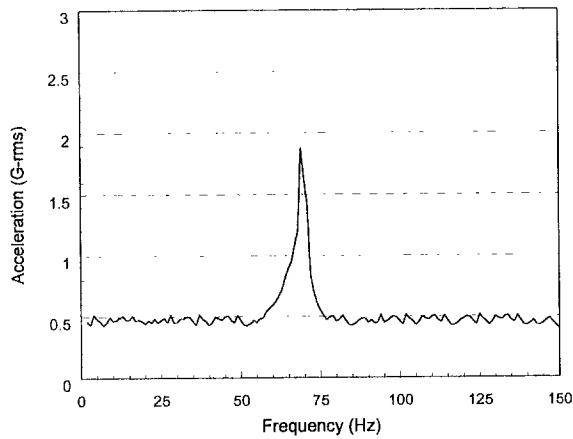


Fig. 3-7. Typical vibration response curves for the pear(0.5499kg).

표(3-2)에는 배 시료 36개에 대한 공진주파수, G(rms) 및 기계적특성들에 대한 측정결과를 요약한 것이다. 배의 시료는 질량 0.35kg에서 0.69kg으로 다양한 크기의 시료를 추출하였으나 전체적으로 시료크기의 변화폭이 넓지 못하였으며 당도 역시 8~9 °Brix로 전 시료에서 차이가 거의 없었다. 예비 실험때와 본 실험

에서 사용하였던 배의 시료가 서로 다르기는 하였으나 배의 품종이 같고 저장조건이 거의 같은 조건에서 저장된 시료들이었기 때문에 두 시료간에 진동특성 및 기계적특성의 일반적인 경향을 파악할 수 있었다. 즉 저장기간이 짧아 배조직의 연화가 상대적으로 작게 진전되었을 것으로 기대했던 예비시험에서의 공진주파수, G(rms)값의 범위는 각각 53~102Hz, 1.0803~2.4752g로써 본 실험에서의 값들 53~79Hz, 1.6437~2.3113g보다 약간 큰 값이었으나 별 차이가 없었다.

Table 3-2. Results of vibration and mechanical properties for the pear

Sample Num	MA (kg)	VO (10^4 m^3)	DE (10^2 m)	SC	G-rms	RF (Hz)	BP (N)	BD (mm)	RP (N)	RD (mm)	E (kPa)	DA (mm)
1	0.4226	4.28	9.353	9.1	2.3113	68	39.0134	2.18	45.8894	4.29	1455.2033	0.1242
2	0.4537	4.30	9.367	9.1	2.1254	67	43.3483	2.24	66.3677	3.33	1633.3035	0.1176
3	0.4441	4.57	9.557	9.1	2.2268	74	35.9940	2.07	63.3782	3.24	1185.0893	0.1010
4	0.6213	6.09	10.520	8.7	1.8127	68	31.8386	1.64	46.0389	2.36	1410.4496	0.0974
5	0.5123	5.56	10.203	7.8	1.9141	74	37.9671	1.92	48.7195	3.03	1580.1466	0.0869
6	0.4549	5.10	9.913	9.4	2.0746	75	37.9871	2.21	50.3737	3.32	1283.0023	0.0916
7	0.4837	4.56	9.552	9.3	2.1085	79	42.3000	1.75	54.2601	2.66	1822.3013	0.0839
8	0.4136	3.69	8.901	8.2	2.2690	77	42.1500	2.26	53.0643	3.70	1560.5990	0.0951
9	0.4577	4.32	9.379	8.6	2.0831	73	35.2800	1.88	54.1106	2.99	1524.0820	0.0971
10	0.5790	6.03	10.480	8.0	1.8803	68	31.1659	1.86	49.5516	2.98	1177.0180	0.1010
11	0.6137	6.50	10.748	9.1	1.7789	63	23.6174	1.35	33.3333	2.10	1773.2246	0.1114
12	0.6456	6.60	10.804	7.8	1.7620	66	36.9208	1.52	42.0030	2.24	1527.4170	0.1005
13	0.6153	6.02	10.475	9.3	1.8042	67	40.0598	1.73	62.9298	2.80	1519.7283	0.0999
14	0.6785	6.81	10.916	9.0	1.6944	64	34.6786	1.30	52.7653	2.50	1432.3733	0.1028
15	0.5499	5.50	10.167	9.0	1.8887	75	35.5755	1.68	55.1570	3.27	1712.6483	0.0834
16	0.5109	4.86	9.753	7.5	1.9014	63	40.6577	1.81	55.9043	2.74	1537.8290	0.1190
17	0.5253	5.62	10.239	9.3	1.9732	64	29.1480	1.48	40.8072	2.52	1633.6570	0.1197
18	0.5383	5.20	9.974	9.0	1.9479	71	33.8416	1.71	52.5262	2.77	1558.2676	0.0960
19	0.4136	3.85	9.029	8.6	2.2352	72	29.8954	1.74	44.4843	3.94	1441.4123	0.1071
20	0.4213	4.74	9.675	8.8	2.1676	79	28.2212	1.51	36.7115	2.52	1532.1053	0.0863
21	0.4882	4.71	9.653	8.7	2.1324	69	48.8789	1.81	76.8311	2.85	2078.0546	0.1113
22	0.4474	4.27	9.345	8.2	2.0746	65	31.9880	1.67	51.2706	2.86	1509.1740	0.1220
23	0.4013	4.37	9.416	8.0	2.0662	67	42.6009	2.28	55.4559	3.12	1336.2950	0.1144
24	0.5096	5.32	10.053	8.2	2.0915	78	31.5396	1.60	50.9716	2.53	1532.9933	0.0854
25	0.4916	5.02	9.859	10.0	1.9817	74	31.2401	1.46	60.3887	2.60	1748.6203	0.0899
26	0.4874	5.05	9.880	8.5	2.1169	72	35.8744	1.74	46.9357	3.04	1681.0116	0.1015
27	0.6326	6.47	10.733	8.1	1.7197	62	38.5650	1.38	57.5486	2.31	1581.9386	0.1112
28	0.6962	7.15	11.095	8.9	1.6437	53	35.1271	1.39	59.0434	1.87	1485.3373	0.1454
29	0.6196	6.60	10.801	9.0	1.7676	57	28.6996	1.42	39.9104	2.26	1868.2680	0.1352
30	0.6724	6.74	10.880	9.2	1.6775	60	32.5860	1.50	51.5695	2.40	1375.6413	0.1158
31	0.4308	4.46	9.482	8.0	2.1507	75	52.1674	2.26	71.0015	3.22	1585.1540	0.0950
32	0.4258	4.35	9.400	8.7	2.2775	72	30.7922	1.59	39.0134	3.04	1393.8596	0.1092
33	0.4148	4.23	9.315	9.6	2.0746	76	33.7818	2.15	61.8834	3.35	1104.5946	0.0832
34	0.3516	3.28	8.559	8.9	2.2606	67	37.0703	1.94	53.6622	2.75	1303.7463	0.1251
35	0.3945	4.09	9.207	9.5	2.2690	70	33.6323	1.67	63.8923	2.98	1594.3755	0.1151
36	0.4440	4.89	9.773	7.7	2.2183	69	39.9103	1.80	57.5486	2.66	1572.9016	0.1153

where, MA=Mass of the pear(kg) VO=Volume of the pear($10^{-4}m^3$)
 DE=Equilibrium Diameter($10^{-2}m$) SC=Sugar Content(°Brix)
 RF=Resonance Frequency(Hz) BP=Bioyield Point(N)
 BD=Bioyield Deformation(mm) RP=Rupture Point(N)
 RD=Rupture Deformation(mm) E=Apparent Elastic Modulus(kPa)
 DA=Displacement Amplitude(mm)

또한 기계적 특성들인 생물체항복변형량 및 극한변형량도 예비실험에서는 각각 1.920~5.545mm, 2.683~7.450mm이었으며 본 실험에서는 각각 1.350~2.280mm, 1.870~4.290mm로써 예비실험에서의 값들이 더 크게 나타났다. 이러한 현상은 Finney, Abbott 등 여러 연구자들이 보고하였던 바와 같이 연한조직을 가진 과실에서의 공진주파수는 단단한 과실에서보다 공진주파수가 낮은 주파수대에서 발생한다는 결과와 대체로 일치하는 경향을 나타내었고 연한조직의 과실에서는 생물체항복변형량 및 극한변형량이 매우 작다는 사실과도 잘 일치되었으며, 생물체항복점 및 파괴점에서도 이들과 유사한 경향을 나타내었다.

2) 진동특성 및 기계적 특성들간의 상관계수 분석

배의 진동특성들 중 주요 요인들인 공진주파수, G(rms)와 배의 질량, 체적 등의 기본물성과 압축실험에 의한 기계적 특성들간의 관계를 살펴보기 위하여 이들에 대한 상관계수를 분석하였다. 표(3-3)에서 보는바와 같이 배의 공진주파수는 변위진폭(DA)과는 매우 높은 상관관계(-0.8398)가 있었으며 G(rms)와도 높은 상관관계(0.6394)가 있음을 알 수 있었다. 또한 공진주파수는 배의 질량, 체적, 생물체항복변형량 및 극한변형량이 상관계수가 각각 -0.6245, -0.6021, 0.4585, 0.5228로써 비교적 높은 상관관계를 나타내었다.

Table 3-3. Correlation coefficients of selected parameters for vibration test of the pear

	MA	VO	DE	SC	G-rms	RF	BP	BD	RP	RD	E	DA
MA	1.0000											
VO	0.9662	1.0000										
DE	0.9584	0.9978	1.0000									
SC	0.0035	-0.0050	0.0085	1.0000								
G-rms	-0.9442	-0.9238	-0.9158	0.0131	1.0000							
RF	-0.6245	-0.6021	-0.5722	0.0656	0.6394	1.0000						
BP	-0.2514	-0.3096	-0.3039	-0.3047	0.2480	0.1766	1.0000					
BD	-0.6667	-0.6676	-0.6598	-0.1401	0.6025	0.4585	0.6187	1.0000				
RP	-0.1791	-0.2535	-0.2485	0.0652	0.1520	0.1035	0.7283	0.4084	1.0000			
RD	-0.6748	-0.7021	-0.6934	0.0217	0.6927	0.5228	0.3243	0.7597	0.1789	1.0000		
E	0.1561	0.1236	0.1397	0.0427	0.0903	0.0674	0.1620	-0.3386	0.0784	-0.2620	1.0000	
DA	0.1534	0.1440	0.1107	-0.0449	-0.1360	-0.8398	-0.0568	-0.1711	-0.0275	-0.2055	0.0506	1.0000

Note: Abbreviations MA, VO, etc are the same as at Table 3-2.

G(rms)값은 배의 질량 및 체적과의 상관계수가 각각 -0.9442, -0.9238로써 G(rms)값은 시료의 질량과 체적에 크게 좌우됨을 알 수 있었다. G(rms)값도 공진주파수에서와 같이 생물체항복변형량 및 극한변형량과의 상관계수가 각각 0.6025, 0.6927로써 비교적 높은 상관관계를 나타내었다.

3) 진동특성과 기계적특성들간의 상관관계 및 변위진폭 분석

배의 진동특성과 기본물성 및 기계적특성들간의 상관계수 분석에서 상관계수가 비교적 높았던 인자들간의 관계를 모형화 하였다. 그림(3-8) 및 그림(3-9)는 각각 배의 공진주파수와 배의 질량 및 체적의 관계를 도시한 것이다.

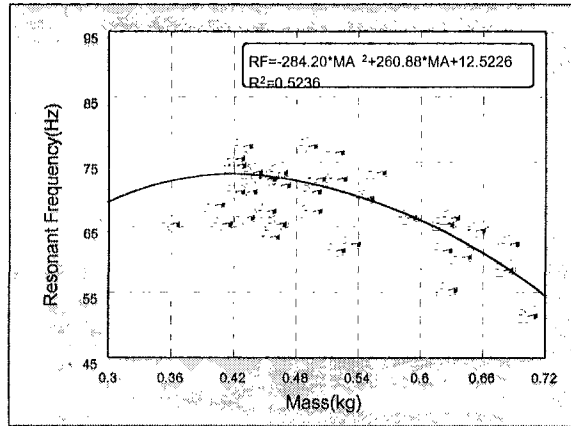


Fig. 3-8. Resonant frequency versus mass of the pear.

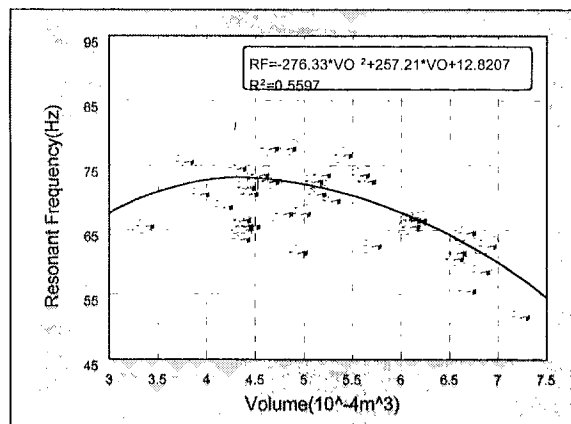


Fig. 3-9. Resonant frequency versus volume of the pear.

그림들에서 보는 바와 같이 공진주파수는 배의 질량과 체적이 증가됨에 따라 곡선적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 즉 무거운 과실에서는 공진주파수가 저주파대에서 발생된다는 것을 의미한다.

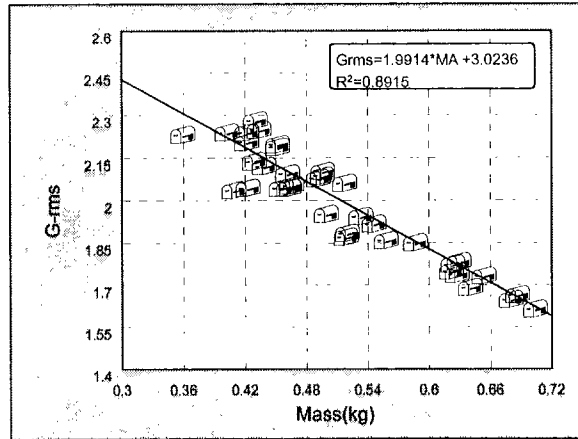


Fig. 3-10. G(rms) versus mass of pear.

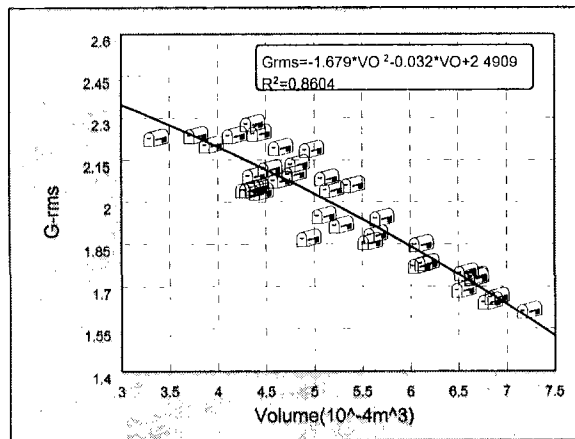


Fig. 3-11. G(rms) versus volume of the pear.

그림(3-10) 및 그림(3-11)에는 공진주파수에서의 G(rms)와 배의 질량과 체적의 관계를 도시한 것이다. 공진주파수와는 달리 G(rms)는 배의 질량과 체적이 증가됨에 따라 거의 직선적으로 감소됨을 알 수 있었고 이들간의 관계식에 대한 결정계수(R^2)도 상당히 크게 나타났다. 이러한 결과들은 진동실험을 하지 않더라도 배의 질량과 체적을 측정함으로써 배의 공진주파수 및 G(rms)값을 개략적으로

로 추정하는데 사용될 수 있을 것이다.

표(3-3)에서 보는 바와 같이 배의 공진주파수 및 G(rms)와 기계적특성들간에는 생물체항복변형량 및 극한변형량을 제외하고는 상관계수가 매우 낮았다. 이러한 현상은 본 실험의 목적이 진동에 의한 기계적특성을 추정하기 위한 것이 아니고 배를 운송할 경우 진동에 의한 손상을 파악하기 위한 실험이었으므로 실험의 주파수 범위를 150Hz 이하로 한정했기 때문이다. 진동에 의한 기계적특성을 추정하기 위한 실험이었다면 4,000Hz 까지의 주파수 영역에서 실험을 수행하였어야 하고 이 경우에는 이들간의 상관계수도 상당히 높았을 것으로 생각된다.

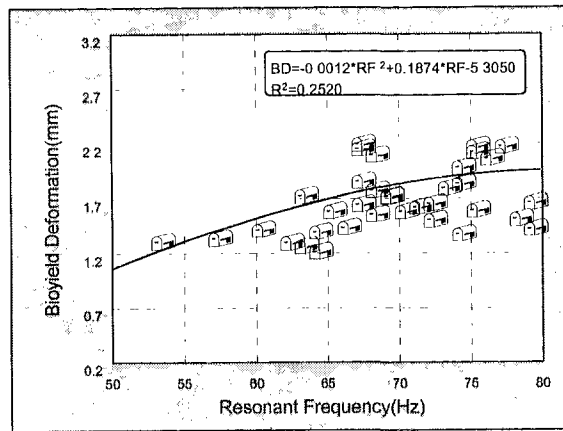


Fig. 3-12. Bioyield deformation of the pear versus resonant frequency.

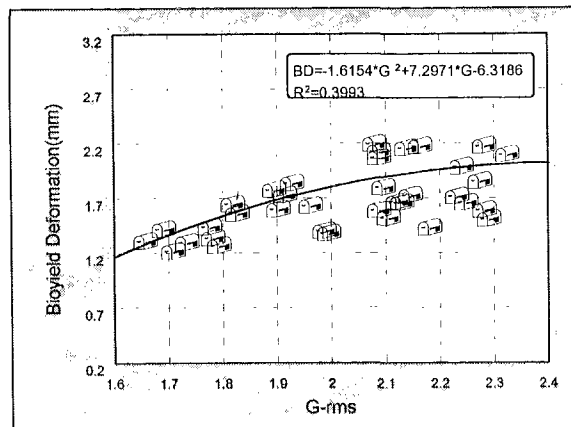


Fig. 3-13. Bioyield deformation of the pear versus G(rms).

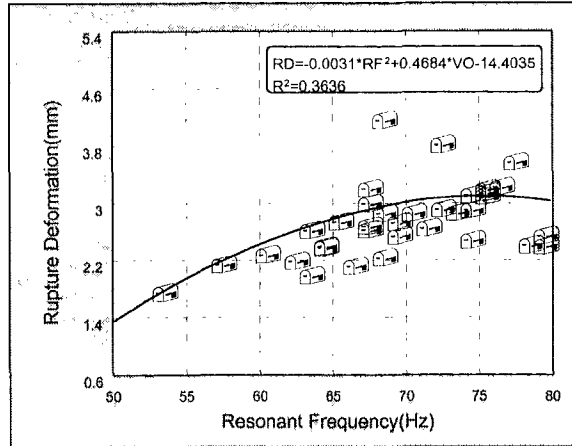


Fig. 3-14. Rupture deformation of the pear versus resonant frequency.

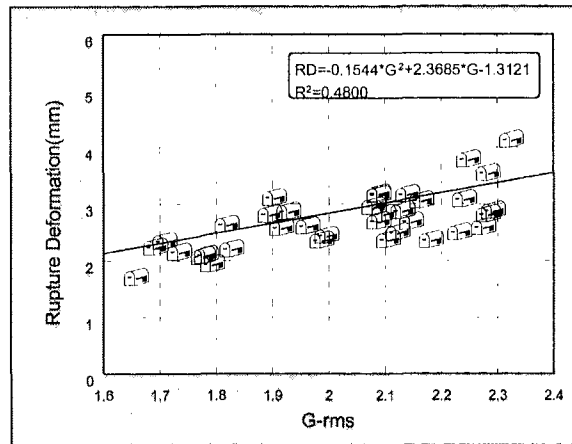


Fig. 3-15. Rupture deformation of the pear versus G(rms).

그림(3-12)에서 그림(3-15)까지는 생물체항복변형량 및 극한변형량과 공진주파수 및 G(rms)와의 관계를 도시하였다. 그림들에서 보는 바와 같이 이들간의 관계식들의 결정계수가 매우 낮았으므로 본 연구에서와 같이 낮은 주파수대(150Hz이하)에서는 비파괴적으로 진동실험을 통하여 생물체항복변형량 및 극한변형량을 추정하기는 곤란할 것으로 판단되었다. 이것은 앞에서 설명하였듯이 실험목적이 다르기 때문이고 다만 여기서는 생물체항복변형량과 극한변형량이 큰 시료 즉 단단한 시료에서는 공진주파수나 G(rms)가 상대적으로 높게 나타나는 것을 파악하는 것으로 충분하다.

일반적으로 과실의 차량 운송시 잘 포장된 도로에서는 발생될 수 있는 가속도는 0.5G(rms) 내외이고 주로 40Hz이하의 저주파 대역이 문제로 알려져 있다 (Peleg, Sbughter 등). 따라서 운송시에 저주파 대역에서의 진동에서의 배가 받을 수 있는 변위진폭(displacement amplitude)을 추정해 보았다. 여기서 배는 정현파로 진동되고 주파수에 따른 G(rms)는 공진주파수대역에서와 유사한 경향으로 저주파에서도 발생된다고 가정하여 $DA = a/(2\pi f)^2$ 로 계산하였다. 여기서 DA는 변위진폭(m), a 는 가속도(m/s^2), f 는 주파수(Hz)이다. 가속도는 최대가속도이어야 하나 여기서는 진동실험시 보편적으로 사용되는 G(rms)를 사용하였다. 표(1-3) 및 그림(1-16)에서 보는 바와 같이 공진주파수대인 50~80Hz에서의 변위진폭은 0.1mm 내외로 이러한 진폭은 소음을 유발 할 뿐이고 진폭이 10Hz이하에서는 변위진폭이 급격히 증가된다. 적재된 상자속에 있는 과실이 어느 정도의 압축력을 받으면서 주기적으로 이와 같은 변위진폭의 진동을 받는다면 운송시간이 길지 않더라도 손상을 입을 가능성이 높을 것이다. 이와 같은 추정은 이론적인 것이고 실제로 이러한 변위진폭에서 얼마만큼의 손상이 과실에 발생할 것인가의 문제는 또 다른 연구의 과제이다.

본 실험의 목적은 과실의 공진주파수를 구명하는 것으로 이 결과는 배의 운송시 차량의 입력주파수와 배의 공진주파수가 일치되어 공진으로 급격하게 가속도가 증가되는 것을 방지함으로써 충격에 의한 손상을 줄이는데 활용될 것이다.

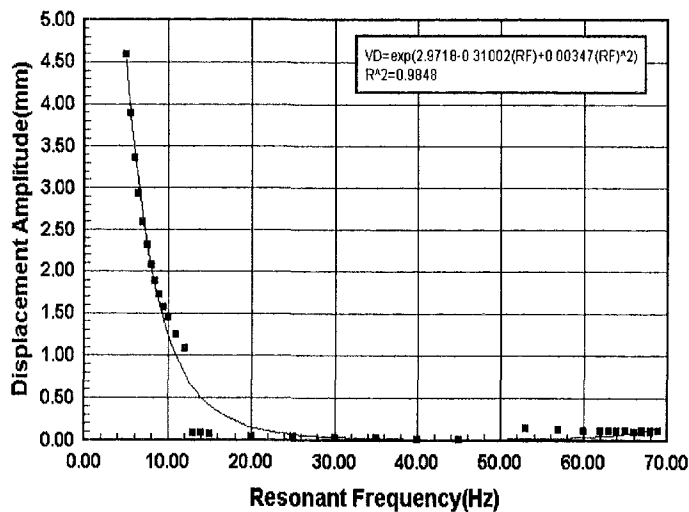


Fig. 3-16. Relationship between displacement amplitude and resonant frequency for vibration test of the pear.

2. 배의 충격특성

과실의 수확, 포장 및 유통과정에서의 압축력 및 충격력 등의 기계적 외력에 의해 발생하는 과실의 손상을 줄이고 상품가치를 높이기 위해서는 과실의 충격특성들이 철저하게 구명되어야 한다. 과실의 충격특성이 구명되어지면 과실의 수확, 선별, 포장 및 가공기계와 시설을 해당 과실의 특성에 적합하게 설계, 개발 및 개량과 적정 작동조건 등을 설정 할 수 있게 되어 기계적 외력에 의한 과실의 손상을 줄이는데 기여 할 것이다. 또한 이들 자료는 현재 사용중인 과실의 골판지상자와 포장재의 적정두께를 선정하는데 적용될 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 우리나라의 대표적인 과실 중에 하나인 배에 대한 충격실험을 위한 계측시스템을 구성하고 계측용 컴퓨터 프로그램을 개발하였으며, 배에 대한 충격특성을 분석하고 UTM에 의한 배의 기계적 특성과 배의 충격특성을 비교, 분석하고자 하였다.

가. 실험장치

충격실험장치는 그림(1-17)에서 보는 바와 같이 약 150kg의 콘크리트 블록 위에 설치하였다. 낙하높이는 원하는 위치로 자유로이 조절할 수 있도록 하였으며 배는 진공펌프와 고무 컵으로 잡도록 하였다.

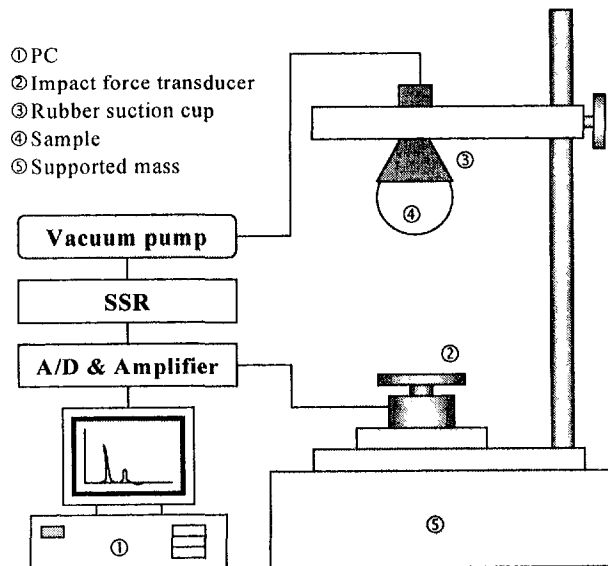


Fig. 3-17. Schematic diagram of the impact tester.

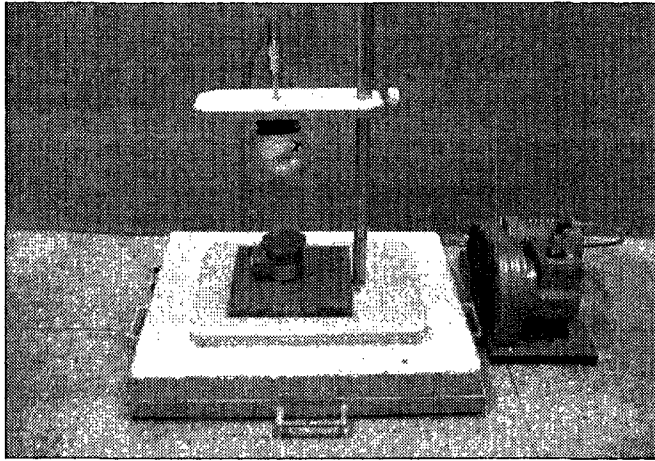


Fig. 3-18. General view of the impact tester.

베는 SSR(Solid State Relay)을 컴퓨터로 작동시켜 낙하시켰으며 충격력은 하중변환기(load cell, 200kgf)로 측정하였다. 그림(3-18)은 제작된 충격실험장치의 사진이다. 또한 충격력 및 충격시간측정에는 표(3-4)에서와 같이 8 채널 스트레인 게이지 계측보드를 이용하였다.

Table 3-4. Specification of impact test and measuring system

Items	Specification	Remarks
Microcomputer	RAM 32MHz	Pentium 266MHz
Strain gage measurement board	8 channels	ADAC, 5508BG
Load cell	200kgf capacity	Kyowa, LU-200KE
SSR (Solid State Relay)	Input 4~30V	Celdec
Vacuum pump	0.4kW, 1710rpm	Daewon, 49744

나. 실험방법

충격 실험에 사용된 베는 진동실험에서 사용하였던 동일한 조건의 시료이었다. 실험은 먼저 시료 각각의 질량과 체적을 측정하였으며 충격실험직후에 그림(3-5)에서 보는 바와 같은 UTM(Universal Testing Machine)으로 각 시료의 기계적 특성들을 측정하여 비교분석 하였다.

충격실험은 낙하높이 5, 7.5, 10 및 12.5cm 에서 각 시료를 자유낙하 시켰으며 베가 하중변환기에 충격을 가하는 순간부터 0.17ms 의 일정한 샘플링 간격으로 충격력을 측정하여 데이터 파일로 저장시켰다.

멍(bruise)은 충격실험 및 기계적 특성을 측정한 후 실온에서 약 48시간 방치하였다가 멍 부분을 절단하여 직경과 깊이를 측정하였으며 멍의 체적은 식(3-1)로 계산하였다[Diener 등(1979)].

$$BV = \frac{\pi}{6} \cdot d [0.75D^2 + d^2] \text{ ----- (3-1)}$$

여기서, $BV =$ volume of bruise, m^3
 $D =$ surface diameter of bruise, m
 $d =$ depth of bruise at center, m

충격가속도, 속도 및 변위는 다음과 같은 물체의 자유낙하 식을 적용하였다.

$$\ddot{x} = a = g - \frac{F}{m} \text{ ----- (3-2)}$$

$$\dot{x} = v = v_0 + \int_0^t \ddot{x} dt \text{ ----- (3-3)}$$

$$x = \int_0^t \dot{x} dt \text{ ----- (3-4)}$$

$$v_0 = \sqrt{2gh} \text{ ----- (3-5)}$$

여기서, $x =$ displacement, m
 $v =$ velocity, m/s
 $a =$ acceleration, m/s^2
 $g =$ gravitational acceleration, $9.81m/s^2$
 $F =$ impact force, N
 $m =$ mass of pear, kg
 $v_0 =$ velocity of the pear at the beginning of contact, m/s
 $h =$ drop height, m
 $t =$ time after contact, sec

식(3-3) 및 (3-4)로 나타내는 속도 및 변위 계산을 하기 위해서는 힘-시간곡선을 적분하여야 하는데 이를 위해서는 힘-시간곡선의 식을 잘 선택하여야 한다. 힘-시간곡선에 대한 모델들은 여러 가지 형태가 있으나 식에 삼각함수, 지수함수, 대수 등이 포함되면 적분하는데 어려움이 있다. 따라서 여기에서는 주어진 힘-시간의 측정자료와도 잘 맞으면서 적분하는데 편리한 식(3-6)과 같은 시간에 대한 6차 다항식으로 표시하였으며 이들 식은 모든 실험자료와 잘 일치하였다.

$$F = a_1 + b_1 t + c_1 t^2 + d_1 t^3 + e_1 t^4 + f_1 t^5 + g_1 t^6 \text{ ----- (3-6)}$$

여기서, F = impact force,
 t = time after contact,
 a_i, b_i, \dots, g_i = constants depending on impact test

1) 낙하높이 추정을 위한 이론식

과실과 같은 점탄성체의 안전낙하높이 즉 과실이 자유낙하 하여 충격에 의한 손상을 입지 않고 낙하할 수 있는 높이는 다음과 같은 이론 식으로 추정 될 수 있다. 질량 m 인 과실이 강체로 가정될 수 있는 바닥에 충돌하여 충격이 일어났을 때 운동량(momentum)과 역적(impulse)의 관계는 식(3-7)과 같다.

$$mv_1 - mv_2 = \int Fdt \text{ ----- (3-7)}$$

여기서, m : 물체의 질량(kg)
 v_2 : 충격이 끝나는 속도 (=0)(m/s)
 v_1 : 충격시작속도 ($v_0 = \sqrt{2gh}$)(m/s)
 F : 충격력(N)

과실의 충격문제에서 충격력-시간곡선은 과실이 점탄성체이기 때문에 최고충격력을 중심으로 하여 좌우대칭으로 되지 않는다. 그러나 충격접촉시간(contact time, t_c)의 반(1/2)에서 최고충격력이 발생되고 충격력은 시간에 대하여 직선적인 관계가 있다고 가정하면 (실제는 곡선적 관계) 식(3-7)의 우변의 적분은 최고충격력에 대하여 $t_c/2$ (time to peak force, t_{mf})까지만 하면 된다. 왜냐하면 충격력-시간곡선에서 최고충격력을 중심으로 하여 오른쪽은 압축 변형된 것이 회복되는 구간이므로 압축변형량과는 관계가 없기 때문이다.

$$mv_0 = \int_0^{t_{mf}} Fdt \text{ ----- (3-8)}$$

$$mv_0 = \int_0^{t_{mf}} Fdt = \frac{1}{2} F_m t_{mf} \text{ ----- (3-9)}$$

$$F_m = \frac{2mv_0}{t_{mf}} = \frac{2m\sqrt{(2gH)}}{t_{mf}} \text{ ----- (3-10)}$$

여기서, F_m : 최고충격력(N)
 t_{mf} : 최고충격력에 도달하는 시간(s)
 H : 낙하높이(m)

또한 최고충격력(F_m)은 시간에 대해서 직선적으로 증가한다고 가정하면 식(3-8)는 식(3-9)와 같이 된다. 과실에 충격을 가하여 손상을 입지 않을 허용응력을 σ_b 라 하면 이 값은 식(3-11)과 같이 표현할 수 있다.

$$\sigma_b \leq \frac{F_m}{A} \text{----- (3-11)}$$

여기서, σ_b : 과실이 충격으로 손상을 입지 않을 응력(Pa)
 A : 충격으로 생기는 접촉면적(m^2)

반경이 R 인 과실이 수평면에 충돌하여 생기는 접촉면적은 Hertz의 접촉이론으로부터 다음과 같은 식이 된다.

$$A = \pi a^2 = \pi \left[\frac{(3F_m K/2)}{(2/R)} \right]^{2/3} = 2.5933 (F_m K R)^{2/3}$$

$$= 2.6 (F_m K R)^{2/3} = 2.6 \left(\frac{F_m (1-\mu^2) R}{E} \right)^{2/3} \text{----- (3-12)}$$

여기서, $K = \frac{1-\mu^2}{E}$

식(3-10) 및 식(3-12)을 식(3-11)에 대입하고 낙하높이 H 에 대하여 최고충격력은 시간에 대하여 직선적으로 증가한다는 가정으로부터 식(3-13)과 같은 이론 낙하높이의 식이 된다.

$$H \leq \frac{0.9841 \sigma_b^6 (1-\mu^2)^4 R^4 t_c^2}{m^2 E^4} \text{----- (3-13)}$$

여기서, μ : 과실의 포아송비(무차원)
 R : 과실의 반경=등가반경(equilibrium radius)(m)
 E : 과실의 탄성계수(Pa)
 t_c : 충격침착시간(s)

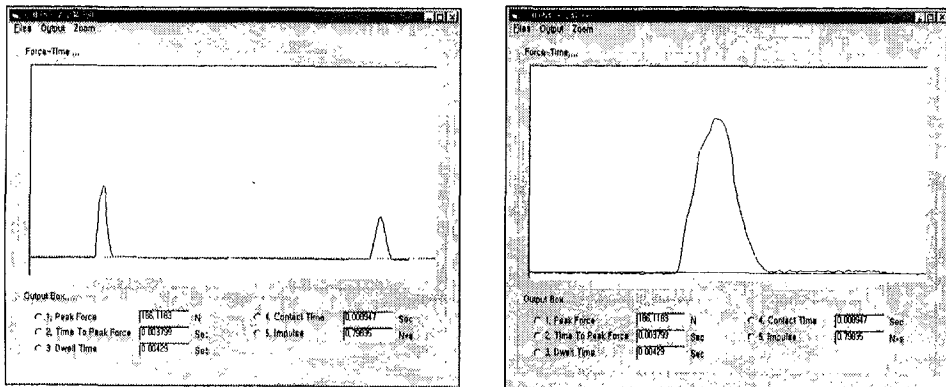
충격실험을 통하여 얻어진 충격력-시간곡선을 직분한 식(3-8)을 식(3-9)로 나누어 준 값을 N_1 (식(3-8)의 충격량 비)이라 하면 식(3-13)은 다음과 같은 식(3-14)가 되고 이식으로 실제의 낙하높이를 추정할 수 있다.

$$H \leq \frac{0.9841 N_1^2 \sigma_b^6 (1 - \mu^2)^4 R^4 t_c^2}{m^2 E^4} \text{----- (3-14)}$$

2) 배 충격력 계측 및 분석 컴퓨터 프로그램

충격실험을 위한 계측 및 분석용 컴퓨터 프로그램을 비주얼베이직(Ver. 5.0)으로 개발하였다. 프로그램은 배가 자유낙하하기 시작하여 하중변화기에 1~2번 충격을 할 때까지 충격력과 시간을 계측하여 데이터 파일로 저장하는 부분과 저장된 데이터 파일을 불러들여 분석하는 프로그램으로 구성되어 있다.

그림(3-19)은 저장된 데이터 파일을 불러들여 초기의 데이터를 도시한 것이다. 그림에서 (a)는 배가 하중변화기에 2번 충돌한 힘-시간 곡선(force-time curve)을 나타낸 것이며 (b)는 첫 번째 충돌한 힘-시간곡선을 마우스로 클릭 하면 확대 되도록 프로그램 한 것을 도시하였다.



(a) Original force versus time curve.

(b) Extended force-time curve for first impact.

Fig. 3-19. Typical force-time for impact of the pear.

그림(3-19)의 (b)에서 충격시작점, 최고점, 충격끝점을 마우스로 클릭 하면 최고충격력(peak force), 충격기간(duration of time) 또는 접촉시간(contact time), 최고충격력까지의 시간(time to peak force), 정지시간(dwell time), 역적(impulse) 등을 계산하여 출력하도록 하였다.

각각의 배 시료에 대하여 저장된 데이터 파일을 불러들여 힘-시간곡선의 식들을 6차다항식으로 구한 후 식(3-2), 식(3-3) 및 식(3-4)을 적용하여 가속도, 속도 및 변위를 계산하고 그 결과를 그래프로 나타낼 수 있도록 프로그램 하였으며 그 결과는 다음 그림(3-20)과 같다.

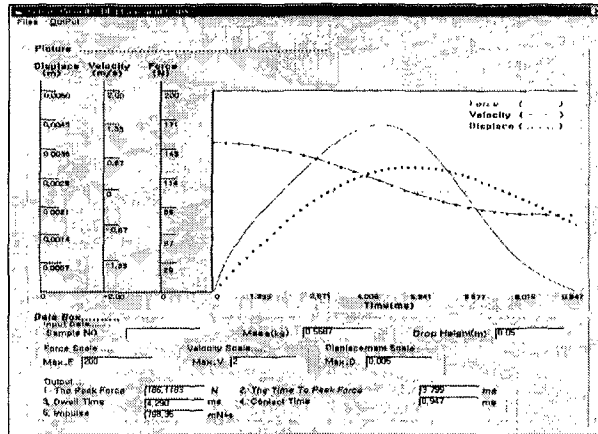


Fig. 3-20. The force, velocity and displacement curves of a typical pear dropping onto a rigid surface.

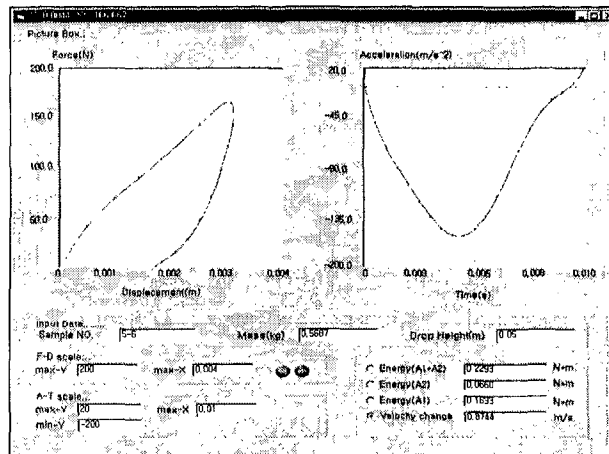


Fig. 3-21. Force-displacement curve and acceleration-time curve for a typical impact of the pear.

그림(3-20)에서 실선은 충격력(impact force), 일점쇄선은 속도(velocity), 점선은 변위(displacement)를 나타낸다. 횡축인 시간축은 세 곡선이 공유하고 있으며 종축은 충격력, 속도, 변위를 서로 다른 세 축으로 표시하였고 그 크기도 스케일을 변화시킴으로써 자유로이 조정할 수 있도록 하였다.

충격중 확산에너지(energy dissipated during impact) 및 충격 후 잔속에너지(energy remaining in the pear after contact)와 충격 중 속도변화(velocity change)를 구하기 위하여 그림(3-21)과 같은 힘-변위곡선(force-displacement curve)과 가속도-시간곡선(acceleration-time curve)을 그리고 각각 확산에너지

(A_1), 잔속에너지(A_2) 및 속도변화를 계산하여 출력하도록 하였다. 속도변화는 가속도-시간곡선을 적분한 값으로 나타내며 그 면적의 계산은 사다리꼴 공식을 적용하였다.

다. 결과 및 고찰

1) 충격특성 및 기계적특성의 비교

낙하높이 4수준과 총 156개의 배 시료를 가지고 충격실험 하였던 결과를 표(3-5)에 요약하였다. 표에서 보는 바와 같이 각각의 낙하높이 별로 크고 작은 배 시료를 임의로 선택하였으나 배의 질량, 체적, 밀도 및 등가직경 등에서 큰 차이가 없었다. 충격높이에 따라 충격 특성치들이 대체로 일률적인 경향을 나타내었으나 각각 같은 시기에 시료를 수집하였던 낙하높이 5cm 및 10cm 그룹과 7.5cm 및 12.5cm 그룹간에는 낙하높이에 따라서 일률적인 경향을 나타내지 않는 경우도 있었다.

표(3-5)에서 보는 바와 같이 낙하높이 5 및 10cm에서의 시료들의 생물체항복점(BP) 및 생물체항복강도(BS)가 낙하높이 7.5 및 12.5cm에서 보다 약간 작았다는 것은 낙하높이 5 및 10cm에서의 시료들이 상대적으로 연하다는 것을 의미한다. 따라서 같은 시기에 수집하였던 시료들간에는 낙하높이에 따라서 충격 특성치나 기계적 특성치들이 일률적인 경향을 잘 나타내었다. 충격접촉시간(contact time)을 보면 연한 과실시료(낙하높이 5 및 10cm)에서는 8.470 및 8.463ms로 단단한 과실시료(낙하높이 7.5 및 12.5cm)의 6.98 및 7.013ms 보다 약간 긴 것을 알 수 있다.

대부분의 충격 특성치 및 기계적 특성치들은 이와 같은 경향을 잘 따르고 있으며 낙하높이에 큰 영향을 받는 최고충격력은 시료들간에 약간의 물성차이는 있었지만 낙하높이에 따라 일률적으로 증가하는 경향을 잘 나타내었다. 낙하높이 7.5 및 12.5cm 에서는 배 시료가 충격 후에 회복되지 않는 영구 변형량은 각각 1.8417mm, 2.538mm 로 측정되었으며 이러한 원인 때문에 높은 낙하높이에서 충격된 과실에서 손상이 크다는 것을 알 수 있었다.

Table 3-5. Results of impact test of the pear for different drop height

Parameters	Drop height (cm)			
	5	7.5	10	12.5
Mass (MA)	0.542	0.521	0.550	0.543
Volume (VO)	0.551	0.534	0.571	0.563
Density (DN)	979.804	977.172	965.391	966.476
Equilibrium Diameter (ED)	10.126	10.066	11.623	10.546
Bruise Diameter (BD)	30.504	28.916	38.043	35.284
Bruise Volume (BV)	5146.316	4658.565	10522.652	7099.783
Peak Force (N)	190.790	263.253	279.127	331.194
Peak Time (PT)	3.846	3.209	3.761	3.108
Contact Time (CT)	8.470	6.980	8.463	7.013
Peak G (PG)	36.308	26.835	53.056	33.863
Velocity Change (VC)	0.817	0.903	1.121	1.104
PF/PT (C_1)	50.314	82.617	75.024	107.624
PF/PT ² (C_2)	13.473	26.635	20.331	35.720
Bioyield Point (BP)	43.762	48.383	42.725	48.265
Bioyield Strength (BS)	183.202	200.847	180.081	200.387
Apparent Elastic Modulus (E)	1169.238	1328.547	1149.326	1325.686
Energy dissipated during impact (A_1)	0.155	0.219	0.326	0.408
Energy remaining after contact (A_2)	0.062	0.075	0.112	0.096
Permanent Deformation (PD)	-	1.847	-	2.538
No. of samples	23	55	23	55

2) 충격특성 및 기계적특성들간의 상관계수 분석

배의 충격실험을 통하여 측정하고 분석하였던 충격 특성치들과 UTM으로 측정한 기계적 특성 및 배의 기본물성인 질량, 체적, 밀도, 등가직경 등 총 18(19)개의 물리량에 대하여 상관계수를 분석하여 낙하높이 별로 각각 표(3-6), 표(3-7), 표(3-8) 및 표(3-9)에 표시하였다. 표들에서 상관계수가 0.4 이상인 것들을 음영으로 표시하였으며 이들이 표시된 모양은 4개의 표들에서 매우 유사함을 알 수 있었다.

배의 충격에 의한 손상의 측도가 되는 명은 다른 인자들과의 상관계수가 별로 높지는 않았지만 충격 특성치로는 최고충격력, $C_1(=PF/PT)$, $C_2(=PF/PT^2)$, 속도변화 등과 기계적 특성으로는 생물체항복점 및 생물체항복강도 등과 관계가 있음을 알 수 있었다. 배의 기본물성인 질량과는 여러 가지 특성치들간의 상관계수가 비교적 높았지만 특히 질량과 속도변화, 질량과 최고충격력 등의 상관계수는 낙하높이 4수준 모두에서 높게 나타났다.

또한 최고가속도와 충격시간특성인 C_1 , 최고가속도와 속도변화, 접촉시간과 C_2 등의 상관계수가 비교적 높게 나타났다.

Table 3-6. Correlation coefficients of selected parameters for impact test of the pear at 5cm drop height

	MA	VO	DN	DE	BD	BV	PF	PT	CT	PG	VC	C ₁	C ₂	BP	BS	E	A ₁	A ₂
MA	1.0000																	
VO	0.0279	1.0000																
DN	0.9225	-0.3575	1.0000															
DE	0.8218	-0.5176	0.9906	1.0000														
BD	0.0388	0.2630	0.2481	0.0945	1.0000													
BV	-0.0782	0.3381	0.3708	0.2069	0.7786	1.0000												
PF	0.2712	0.3549	0.4042	0.3110	0.2884	0.0264	1.0000											
PT	-0.4782	0.1603	0.3417	0.4074	-0.1615	0.2675	-0.6035	1.0000										
CT	-0.3524	0.1842	0.3216	0.3377	-0.2243	0.1552	-0.5774	0.8036	1.0000									
PG	0.2430	-0.3182	-0.4003	0.4081	0.0545	-0.2851	0.6070	-0.8132	-0.8105	1.0000								
VC	0.1144	-0.9192	0.8159	0.7020	0.2176	0.2778	0.5481	0.1827	0.2502	0.2527	1.0000							
C ₁	0.4143	0.2423	0.0622	0.0549	0.3331	-0.0249	-0.9319	-0.8813	-0.7485	0.7849	0.2467	1.0000						
C ₂	0.4542	0.1210	-0.0067	0.1942	0.3609	0.0026	0.8126	-0.8940	-0.7885	0.7590	0.1371	0.3831	1.0000					
BP	0.4671	-0.1158	-0.3022	0.2889	-0.3866	-0.4348	-0.1081	-0.0142	0.0003	0.0426	0.0196	-0.1106	-0.1239	1.0000				
BS	0.4325	-0.1850	-0.3525	0.3157	-0.4056	-0.4551	-0.1636	-0.0079	-0.0317	0.0413	-0.0368	-0.1471	-0.1519	0.9871	1.0000			
E	0.2531	-0.1936	-0.2825	0.2959	0.2138	-0.1493	0.0856	-0.2827	-0.2240	0.2225	-0.0486	0.1983	0.1616	0.2735	0.3332	1.0000		
A ₁	-0.2569	0.5468	0.8087	0.8081	0.1447	0.2708	0.1187	0.1506	0.0572	0.3688	0.1791	-0.0515	-0.1259	-0.3215	-0.3655	-0.4126	1.0000	
A ₂	0.3182	0.2230	0.1035	0.0065	0.0640	-0.0008	0.3005	-0.0015	0.1535	0.1080	0.5840	0.2269	0.2258	0.2316	0.2259	0.2970	-0.6812	1.0000

Table 3-7. Correlation coefficients of selected parameters for impact test of the pear at 7.5cm drop height

	MA	VO	DN	DE	BD	BV	PF	PT	CT	PG	VC	C ₁	C ₂	BP	BS	E	A ₁	A ₂	PD	
MA	1.0000																			
VO	0.1270	1.0000																		
DN	0.9816	-0.3073	1.0000																	
DE	0.9823	-0.2489	0.9852	1.0000																
BD	0.2464	-0.1880	0.2710	0.2688	1.0000															
BV	0.1572	-0.1384	0.1791	0.1719	0.6624	1.0000														
PF	0.7377	-0.2940	0.7901	0.7814	0.2099	-0.0097	1.0000													
PT	0.5143	-0.0078	0.5083	0.4710	0.0510	0.1399	0.0143	1.0000												
CT	0.5806	0.1320	0.5891	0.4833	0.1348	0.2298	-0.0167	0.6995	1.0000											
PG	0.7377	-0.2940	0.7901	0.7814	0.2099	-0.0097	1.0000	0.0143	-0.0167	1.0000										
VC	0.8414	-0.1785	0.8403	0.8227	0.2066	0.1462	0.6285	0.4794	0.4285	0.4285	1.0000									
C ₁	0.1222	-0.1998	0.1486	0.1725	0.0955	-0.1066	0.6613	-0.7026	-0.3828	0.8813	0.0794	1.0000								
C ₂	-0.1256	-0.1278	-0.1023	-0.0777	0.0236	-0.1245	0.4017	-0.8225	-0.4876	0.4017	-0.1328	0.3482	1.0000							
BP	-0.2702	0.4051	-0.3384	-0.3126	-0.3727	-0.2337	-0.1125	-0.0407	-0.1037	-0.1125	-0.2294	-0.0589	-0.0368	1.0000						
BS	-0.2335	-0.4216	-0.3084	-0.2815	-0.4518	-0.2811	-0.0710	-0.0549	-0.0559	-0.0710	-0.1956	-0.0154	-0.0064	0.9763	1.0000					
E	0.0058	-0.0258	0.0051	0.0090	-0.0638	-0.0674	0.1842	0.0189	-0.1228	0.1842	0.1306	0.1323	0.1018	0.4948	0.4859	1.0000				
A ₁	0.8022	-0.1068	0.7955	0.7833	0.2115	0.2584	0.4928	0.4010	0.5327	0.4928	0.8853	0.0239	-0.1257	0.3616	0.3356	0.1404	1.0000			
A ₂	0.3742	-0.1107	0.3726	0.3622	0.0293	0.0194	0.4883	0.2065	0.0996	0.4883	0.3816	0.1327	-0.0366	0.0890	0.1207	0.3208	-0.1857	1.0000		
PD	0.3631	0.0604	0.3431	0.3276	0.1158	0.1070	0.0583	0.5214	0.3981	0.0583	0.2701	-0.2807	-0.3060	-0.1728	-0.1990	-0.2060	0.4976	0.2965	1.0000	

Table 3-8. Correlation coefficients of selected parameters for impact test of the pear at 10cm drop height

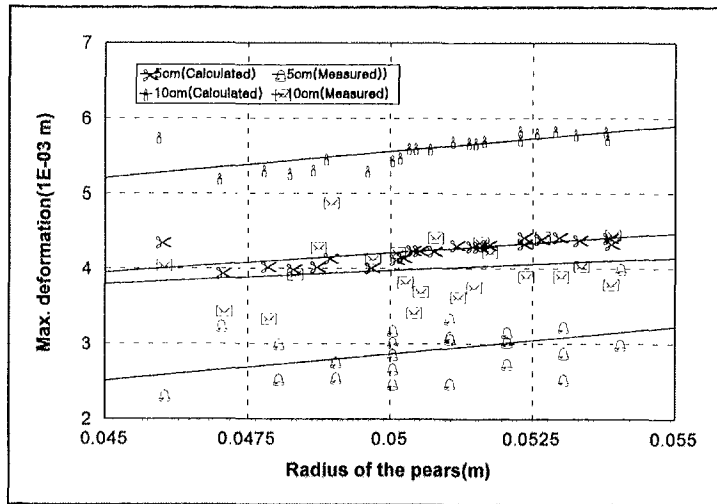
	MA	VO	DN	DE	BD	BV	PF	PT	CT	PG	VC	C ₁	C ₂	BP	BS	E	A ₁	A ₂
MA	1.0000																	
VO	0.0297	1.0000																
DN	0.9025	-0.3075	1.0000															
DE	0.8271	-0.8008	0.9827	1.0000														
BD	-0.1469	0.2462	0.2861	0.2322	1.0000													
BV	-0.4310	0.2361	0.3962	0.3497	0.4481	1.0000												
PF	0.1539	0.7406	0.6270	0.5822	0.2931	0.0154	1.0000											
PT	0.0149	0.0533	0.0416	0.0275	-0.2617	0.1407	-0.2908	1.0000										
CT	-0.0620	0.1393	0.1556	0.1409	-0.1544	0.2243	-0.3530	0.6560	1.0000									
PG	0.1803	-0.2697	-0.3263	-0.2656	0.0907	-0.2847	0.4447	-0.6882	-0.6885	1.0000								
VC	0.0553	0.9101	0.8256	0.7549	0.3152	0.1020	0.7223	0.1274	0.1608	0.1583	1.0000							
C ₁	0.1046	0.4913	0.1462	0.3947	0.3482	-0.0675	0.6379	-0.7803	-0.8703	0.9544	0.4444	1.0000						
C ₂	0.0682	0.3173	0.2689	0.2642	0.3387	-0.1041	0.6549	-0.8857	-0.3970	0.5427	0.2631	0.5842	1.0000					
BP	0.4671	-0.1158	-0.3022	-0.2548	-0.3153	-0.3846	0.0468	0.0124	-0.0534	-0.2111	-0.0717	0.0424	0.0458	1.0000				
BS	0.4325	-0.1850	-0.3525	-0.3016	-0.4083	-0.3860	-0.0159	-0.0431	-0.0477	-0.2193	-0.1267	0.0296	0.0594	0.9871	1.0000			
E	0.2531	-0.1936	-0.2825	-0.2927	0.0791	-0.0875	-0.1525	-0.1727	0.0347	0.0330	-0.1284	0.0096	0.0963	0.2735	0.3332	1.0000		
A ₁	-0.0491	0.5340	0.5233	0.4330	-0.0465	0.3644	0.2407	-0.0978	0.0367	0.3717	0.1389	0.2233	0.1772	-0.1803	-0.2323	-0.1816	1.0000	
A ₂	0.0544	0.2424	0.1979	0.2289	0.2412	-0.2083	0.3217	0.1808	0.1245	0.1447	0.6382	0.1306	0.0411	0.1374	0.1394	0.0273	-0.6817	1.0000

Table 3-9. Correlation coefficients of selected parameters for impact test of the pear at 125cm drop height

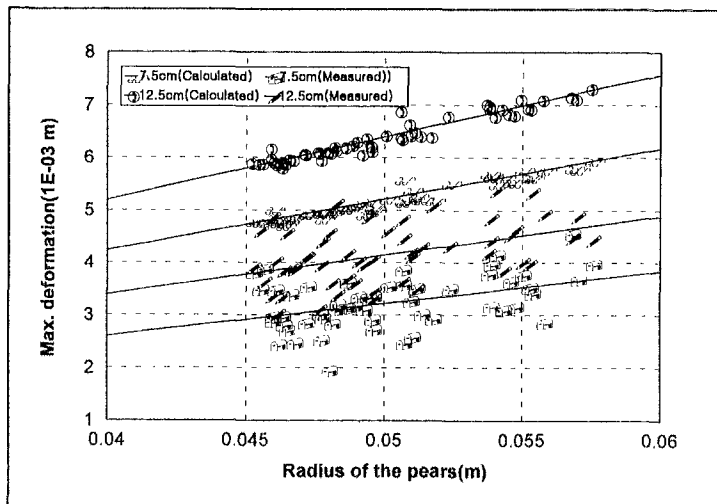
	MA	VO	DN	DE	BD	BV	PF	PT	CT	PG	VC	C ₁	C ₂	BP	BS	E	A ₁	A ₂	PD
MA	1.0000																		
VO	0.1170	1.0000																	
DN	0.9806	-0.3053	1.0000																
DE	0.9723	-0.2889	0.9882	1.0000															
BD	0.3159	-0.2642	0.3513	0.3371	1.0000														
BV	0.2642	-0.1849	0.2812	0.2841	0.6616	1.0000													
PF	0.7686	-0.0222	0.7248	0.7419	0.2776	0.2566	1.0000												
PT	0.4423	-0.1775	0.4715	0.4514	0.0578	-0.1011	0.0791	1.0000											
CT	0.6966	-0.1515	0.6130	0.5905	0.1042	0.0041	0.0386	0.8536	1.0000										
PG	0.7686	-0.0222	0.7248	0.7419	0.2776	0.2565	1.0000	-0.0791	0.0386	1.0000									
VC	0.9374	-0.1260	0.9221	0.9145	0.2066	0.2070	0.7740	0.3704	0.5477	0.7740	1.0000								
C ₁	0.2056	0.1075	0.1620	0.1879	0.1146	0.1953	0.7168	-0.7136	-0.8884	0.7168	0.2643	1.0000							
C ₂	-0.0460	0.1325	-0.0824	-0.0584	0.0110	0.1078	0.4711	-0.8294	-0.8479	0.4711	0.0185	-0.9455	1.0000						
BP	-0.2702	0.4081	-0.3384	-0.3126	-0.4709	-0.3574	-0.0503	-0.2386	-0.2759	-0.0503	-0.2146	-0.1591	-0.2291	1.0000					
BS	-0.2336	0.4246	-0.3084	-0.2815	-0.4582	-0.3371	-0.0106	-0.2853	-0.3111	-0.0106	-0.1820	-0.2157	-0.2795	0.9703	1.0000				
E	0.0058	-0.0258	0.0051	0.0390	-0.1213	-0.2772	0.1157	-0.0276	-0.0795	0.1157	0.0256	0.1107	0.1088	0.4846	0.4639	1.0000			
A ₁	0.8397	-0.0390	0.7855	0.7709	0.3290	0.3203	0.3625	0.4430	0.6821	0.3625	0.6284	-0.0439	-0.2034	-0.2469	-0.2038	-0.0321	1.0000		
A ₂	0.4822	-0.0937	0.4635	0.4581	0.0190	-0.0575	0.6474	0.0184	0.1512	0.6474	0.5716	0.4800	0.2341	-0.0797	-0.1048	0.1152	-0.0163	1.0000	
PD	0.3433	0.0979	0.3203	0.2385	0.1071	-0.0086	-0.0528	0.6288	0.4982	-0.0528	0.2541	-0.4445	-0.5001	-0.2178	-0.1930	-0.0510	0.4264	-0.2922	1.0000

3) 충격시 최대변형량의 실측치와 이론치의 비교

그림(3-22)은 배가 강체인 바닥면에 충돌하였을 경우 최대변형량의 실측치와 이론치를 시료 및 낙하높이별로 도시한 것이다. 여기서 이론치의 경우, 식(3-14)에서 탄성계수는 본 실험에서 측정하였던 평균값을, 낙하높이 및 배의 반경은 실측치를 각각 사용하였으며 포아송비는 0.35로 가정하였다.



(a) Drop height 5, 10cm



(b) Drop height 7.5, 12.5cm

Fig.3-22. Comparison of the measured values and the calculated values for the maximum deformation.

낙하높이에 관계없이 이론치가 실측치보다 훨씬 높게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 이들간에 차이를 알아보기 위해서 t-test를 수행하였던 결과 5%의 유의 수준에서 유의차가 있는 것으로 분석되었다. 따라서 이론식에 의하여 충격시 배의 최대변형량을 추정하는 것은 실제와는 상당한 차이가 있을 것으로 판단되었다. 이러한 차이는 이론식(3-14)를 유도하는 과정에서 과실을 구형인 탄성체로 가정한 것이 가장 큰 원인이고 또 다른 한 원인은 포아송비에 따라서도 조금씩 차이가 있을 수 있기 때문이다.

4) 충격특성 및 기계적특성의 물리량들간의 상관관계 분석

상관계수분석에서 낙하높이 4수준 모두에서 상관계수가 비교적 높았던 물리량들간의 관계를 그림으로 나타내었다. 그림(3-23)은 속도변화와 배의 질량과의 관계를 도시한 것으로 배의 질량이 증가됨에 따라 충격시의 속도변화도 거의 직선적으로 증가되었다. 질량에 따른 속도변화의 증가율은 낙하높이 4수준에서 대체적으로 같았으나 낙하높이가 높아짐에 따라 같은 질량에서도 속도변화는 커짐을 알 수 있었다.

그림(3-24)에는 최고충격력과 배의 질량과의 관계를 도시하였다. 대체로 질량에 따라 최고충격력은 증가하는 경향이었으며, 낙하높이에 따라서도 어느 정도 구분이 가능하였으나 7.5cm 및 10cm 낙하높이에서는 구분이 거의 되지 않았다. 이것은 7.5cm와 10cm간에는 2.5cm의 높이차 밖에 나지 않기 때문인 것으로 생각되고 이외에도 시료로부터 기인되는 것도 있으리라고 판단된다. 그러나 그림(3-24)에서 보는바와 같이 이들 낙하높이간에 최고충격력의 차는 분명히 있음을 알 수 있었다.

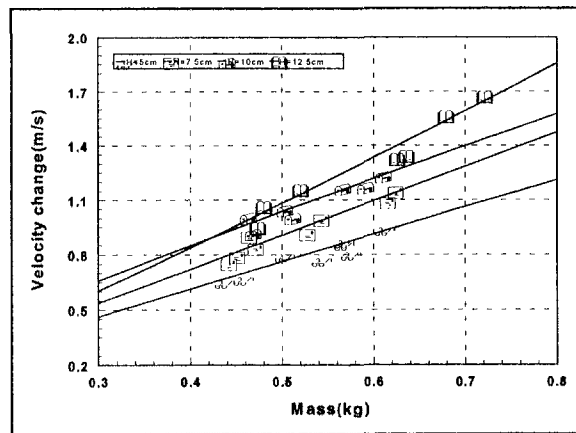


Fig. 3-23. Relationship between velocity change and mass of the pear.

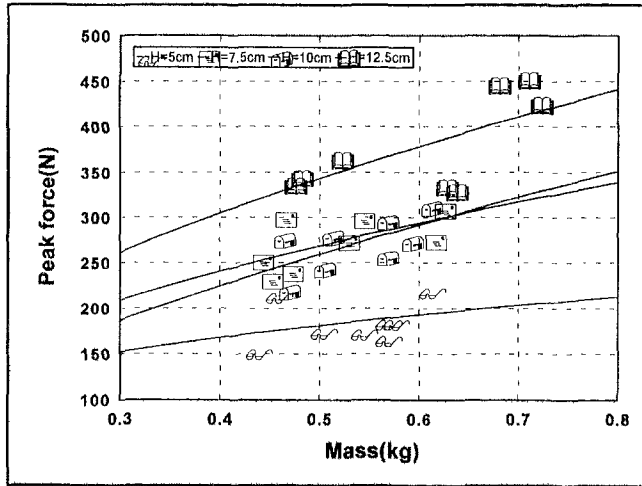


Fig. 3-24. Relationship between Peak force and mass of the pear.

그림(3-25) 및 그림(3-26)에는 최고가속도(Peak G)와 C_1 , 최고가속도와 속도변화의 관계를 각각 도시하였다. 그림(3-25)에서 보는 바와 같이 C_1 은 최고가속도에 따라 대체로 증가함을 알 수 있었으며 낙하높이 5cm와 10cm의 경우 C_1 값이 낮은 쪽으로 분포되었고, 낙하높이 7.5cm와 12.5cm의 경우에는 C_1 값이 높은 쪽에 분포되었다.

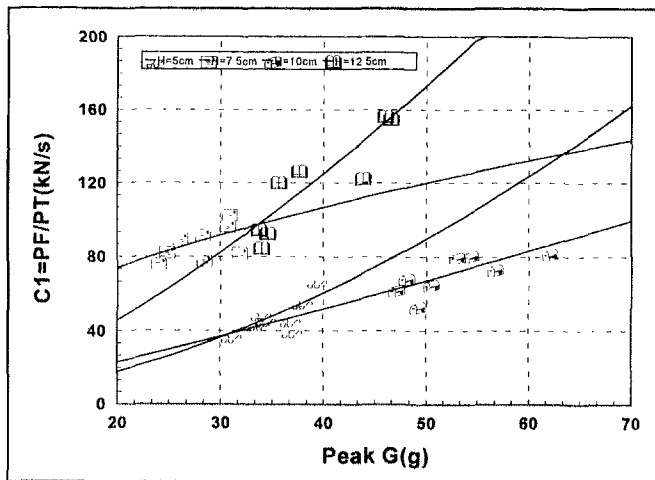


Fig. 3-25. Relationship between C_1 and peak G for impact test.

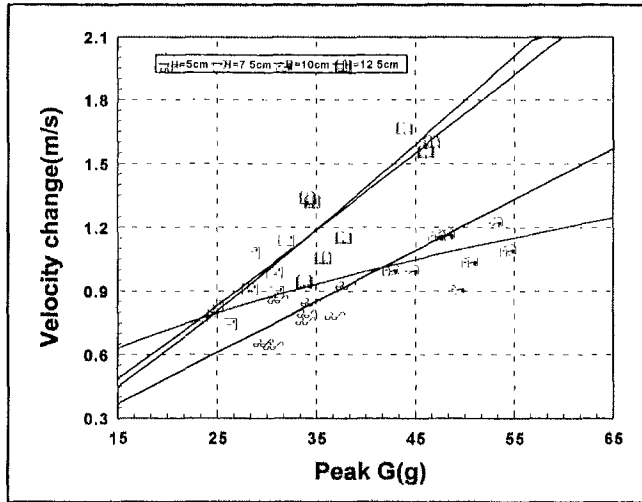


Fig. 3-26. Relationship between velocity change and peak G for impact test.

이러한 현상은 앞에서 설명하였듯이 시료의 물성이 비슷한 것들이 같은 경향으로 분포되는 것이고 유사한 물성의 시료들이라 할지라도 낙하높이가 높은 경우에는 C_1 값도 높게 분포되었다. 그림(3-26)에서도 속도변화는 최고가속도에 따라 증가하는 경향이었으며, 최고가속도에 따른 속도변화의 분포경향도 그림(3-25)과 매우 유사하였다.

5) 충격에 의한 명 직경의 예측모형개발과 유효낙하높이 분석

가) 충격에 의한 명 직경의 예측모형개발

배의 충격에 의한 손상요인은 앞에서 분석하였던 바와 같이 여러 가지가 있으며 이들 요인들이 복합적으로 작용하기 때문에 손상을 예측하고 감소방안을 찾는 것은 매우 어려운 일이다. 가벼운 충격에도 손상을 입는 배의 경우 손상은 주로 명이다. 명은 충격 후에는 외관상으로는 표가 나지 않지만 운송이나 저장과정을 거치면서 과피에서 조직이 변하여 시간이 지나면 부패하게 된다. 충격에 의한 명에 영향을 미치는 인자들은 낙하높이, 배의 질량, 속도변화, 최고충격력, 시간특성인 C_1 , C_2 및 최고가속도(Peak-G) 또한 배의 물성에 관계되는 생물체항복강도 등으로 분석되었으며 여러 문헌에서도 이와 같은 인자들이 명에 큰 영향을 주는 것으로 보고되었다. 명을 표시하는 방법은 명 전체의 체적이나 과피 바로 밑에서 직경을 측정하여 나타내는 것이 일반적이다. 그러나 명의 체적은 명의 직경과 깊이로 계산되는데 충격에 의한 명의 경우 그 깊이를 정확히 측정하기란

매우 어렵다. 충격에 의한 멍은 압축력을 받아서 생기는 멍과는 달리 과육방향으로 뽀쪽뽀쪽하게 전달되기 때문에 어디까지가 그 깊이인가를 판단하기가 어렵기 때문이다. 본 연구에서도 멍의 체적을 측정하였지만 시료 개체간에 차이가 심하여 멍의 체적으로 손상모형을 개발하는 것은 매우 어렵다고 판단되었다.

Table 3-10. Coefficients of multiple linear model for bruise diameter of the pear

Variable	BD=a×MA+b×H+c×PF+d×VC+e			R ²
	Coefficients	Standard error	t-value	
a	42.0792	15.0114	2.8032	0.9437
b	0.2606	0.0374	6.9676	
c	0.0471	0.0093	5.0605	
d	-23.4836	7.2834	-3.2243	
e	0.3625	4.3552	0.0832	

Note : BD=Bruise diameter(mm), MA=Mass of pear(kg), H=Drop height(mm), PF=Peak force(N)
VC=Velocity change(m/s)

따라서 본 연구에서는 상대적으로 정확히 측정 할 수 있었던 멍의 직경에 대하여 손상모형을 개발하였다. 멍직경을 종속변수로 하고 위에서 설명하였던 8개의 독립변수들을 가지고 통계 프로그램인 DataFit(Ver. 6.0)을 이용하여 멍직경 예측모형을 찾은 결과, 표(3-10)에서와 같은 배의 질량(MA), 낙하높이(H), 최고 충격력(PF) 및 속도변화(VC) 등 4개의 독립변수를 가지는 다중선형회귀 모형을 개발하였다.

나) 생물체항복강도를 기준으로 한 이론낙하높이

배에 대한 이론낙하높이는 식(3-13)을 이용하여 추정하였다. 여기서 충격을 가하여 배가 손상을 입지 않을 허용응력(σ_p)을 본 실험에서 측정한 생물체항복강도를 적용하였다. 생물체항복강도는 과실에 미세한 파괴가 시작되는 응력이므로 이 값은 배에 손상을 주지 않는 최소의 응력이라고 생각할 수 있기 때문이다(김 등, 1992; 박, 1993; 정, 1999). 그 외의 다른 물리량들은 표(3-5)에서 보는 바와 같이 본 실험에서 측정되었던 최고, 최저 및 평균치로, 다만 포아송비는 0.25, 0.35, 0.45로 가정하여 이론낙하높이를 추정하였다.

손상을 입지 않을 이론낙하높이는 표3에서 보는 바와 같이 약 1cm에서 약 4cm정도로서 배의 경우 매우 낮은 높이에서 낙하하더라도 손상이 생긴다는 것을 알 수 있으며 본 연구의 실험 범위내에서는 배의 탄성계수가 작고 생물체항복강도와 배의 크기가 크면서 충격접촉시간이 긴 경우에 허용낙하높이가 높아진다는 것을 알 수 있다. 여기서 추정된 이론낙하높이는 실제현상에서 보다는 낮게 추정

된 값이다. 왜냐하면 그것은 식(3-7)에서 충격량(impulse)을 계산할 때, 충격력은 시간에 대하여 직선적으로 증가한다고 가정하여 삼각형의 면적과 같이 계산하였으나 실제로 충격력은 시간에 따라 곡선적으로 증가하기 때문에 이 면적을 적분하면 삼각형으로 가정하여 계산한 충격량보다는 약간 커지므로 따라서 배가 충격으로 손상을 입지 않을 허용응력이 증가하기 때문이다.

Table 3-11. Theoretical drop height estimated on the basis of bioyield strength of the pear

		E_1						E_2						E_3					
		σ_{p1}	μ_1	σ_{p2}	μ_2	σ_{p3}	μ_3	σ_{p1}	μ_1	σ_{p2}	μ_2	σ_{p3}	μ_3	σ_{p1}	μ_1	σ_{p2}	μ_2	σ_{p3}	μ_3
H (10^{-2} m)	m_1																		
	t_{c1}	1.711		1.839		1.725		1.267		1.362		1.277		0.959		1.003		0.966	
	R_1																		
	m_2																		
	t_{c2}	2.669		2.868		2.690		1.977		2.214		1.992		1.495		1.606		1.507	
	R_2																		
	m_3																		
	t_{c3}	4.021		4.320		4.052		2.978		3.199		3.001		2.252		2.420		2.270	
	R_3																		

Note : $E_1 = 1149.326(\text{kPa})$, $E_2 = 1238.937(\text{kPa})$, $E_3 = 1328.547(\text{kPa})$

$\sigma_{p1} = 180.081(\text{kPa})$, $\sigma_{p2} = 190.464(\text{kPa})$, $\sigma_{p3} = 200.847(\text{kPa})$

$\mu_1 = 0.25$, $\mu_2 = 0.35$, $\mu_3 = 0.45$

$m_1 = 0.521(\text{kg})$, $m_2 = 0.536(\text{kg})$, $m_3 = 0.550(\text{kg})$

$t_{c1} = 6.980(\text{ms})$, $t_{c2} = 7.725(\text{ms})$, $t_{c3} = 8.470(\text{ms})$

$R_1 = 5.033(10^{-2}\text{m})$, $R_2 = 5.423(10^{-2}\text{m})$, $R_3 = 5.812(10^{-2}\text{m})$

다) 생물체항복강도를 기준으로 한 실제의 낙하높이

강체와 같이 단단한 물체에 배가 자유 낙하하여 충돌할 경우, 손상을 입지 않을 낙하높이를 추정하기 위하여 충격량을 식(3-8) 및 식(3-9)에 의하여 계산하고 그 비를 구하여 표(3-12)에 나타내었다. 시료 그룹1은 그룹2에 비하여 약간 연한 시료들로서 충격량은 계산치나 실측치에서 모두 그룹2의 값들보다 작은 반면 충격량비 N_1 은 약 3%정도 더 큰 값으로 나타났다. 이러한 현상은 Delwiche(1987)가 복숭아에 대한 충격실험결과와도 잘 일치하는 것으로 연한 과실은 충격시에 접촉시간이 길고 최고충격력은 작으면서 좌우로 퍼지는 종 모양을 하고 단단한 과실은 충격량비 N_1 은 연한 과실에서 크게 나타나는 것으로 판단된다.

배가 단단한 물체에 자유낙하 하였을 때 손상을 입지 않을 낙하높이는 표(3-12)의 충격량비 N_1 을 식(3-14)에 대입하여 추정하였으며 그 결과를 표(3-13)에 나타내었다. 여기서 배의 탄성계수, 생물체항복강도, 포아송비, 질량, 접촉시간

및 배의 등가반경 등은 표(3-12)의 값들을 사용하였다.

실험에 의하여 추정된 배에 손상을 주지 않는 낙하높이는 대체로 단단한 시료들인 그룹2의 경우 이론치보다 약 27%, 연한 시료들인 그룹1에서는 약 36% 더 높게 추정되었다. 모든 시료들에 대한 평균은 약 32% 정도 이론치보다 실험치가 높게 나타났다.

Table 3-12. Average ratio of the impact measured to the theoretically calculated

	No. of pears	Impulse($10^{-3}N \cdot s$)		$N_I=M/C$
		Calculated(C)	Measured(M)	
Sample group1	46	0.420	0.496	1.166
Sample group2	98	0.464	0.521	1.128
Average	-	0.442	0.509	1.147

Table 3-13. Practical drop height estimated on the basis of bioyield strength of the pear

		E_1						E_2						E_3					
		σ_{p1}	μ_1	σ_{p2}	μ_2	σ_{p3}	μ_3	σ_{p1}	μ_1	σ_{p2}	μ_2	σ_{p3}	μ_3	σ_{p1}	μ_1	σ_{p2}	μ_2	σ_{p3}	μ_3
H ($10^{-2}m$)	m_1	2.327 ¹⁾		2.501		2.346		1.723		1.852		1.737		1.304		1.401		1.314	
	t_{c1}	2.175 ²⁾		2.337		2.192		1.610		1.731		1.623		1.220		1.310		1.229	
	R_1	2.252 ³⁾		2.420		2.270		1.667		1.792		1.681		1.262		1.356		1.271	
	m_2	3.629		3.900		3.658		2.689		3.011		2.709		2.033		2.184		2.050	
	t_{c2}	3.392		3.645		3.419		2.513		2.814		2.532		1.902		2.043		1.917	
	R_2	3.512		3.774		3.540		2.602		2.914		2.622		1.967		2.114		1.983	
	m_3	5.469		5.875		5.511		4.050		4.351		4.081		3.063		3.291		3.087	
	t_{c3}	5.111		5.491		5.150		3.785		4.066		3.814		3.865		3.078		2.887	
	R_3	5.292		5.685		5.332		3.919		4.210		3.949		2.964		3.185		2.987	

Note : 1)the values estimated with $N_I=1.166$ (group1)

2)the values estimated with $N_I=1.128$ (group2)

3)the values estimated with $N_I=1.147$ (average of whole group)

제 2 절 배 골판지 포장상자 및 포장재의 물성

1. 수출용 배 포장상자 및 포장방법의 실태조사

가. 수출환경

1) 주요 배 재배지역이 나주, 천안, 안성 등 남서부지방에서 전국적으로 확대되고 있는 추세임. 1998년도 배 재배면적은 24,612ha로 1993년도에 비하여 200%이상 증가되었음.

2) 주력품은 신고이나 최근에는 황금, 추황 품종의 재배면적이 증가되고 있으며 2000년대는 황금, 화산 등의 품종이 전체 배 재배면적의 30%이상을 점유할 것으로 전망됨.

3) 주요 배 수출대상국은 동남아국가, 미국, 캐나다 등이었으나 최근에는 미국, 캐나다 등 미주지역의 수출비중이 높아지고 있음.

4) 정부에서는 한국산 배의 수출을 장려하고 있으며 현재 정부에서 지정한 배 수출단지는 7개소가 대미수출단지, 13개소가 대캐나다수출단지, 2개소가 대동남아수출단지, 대호주 1개소 대칠레 2개소 등 총 25개의 배 수출단지가 지정되어 있음.

나. 수출포장실태

1) 최근 3년간 수출실적이 비교적 높은 안성, 평택, 천안, 논산, 나주, 신안, 울주 등 7개 단지를 대상으로 배 수출포장 실태를 조사, 분석하였다.

2) 조사대상 배 수출단지에서는 선과장에서부터 배상자를 냉동컨테이너에 적재하여 육로로 항구까지 수송한 후 수출하고 있음.

3) 선과장에서부터 수출국까지의 총소요일수는 미국과 캐나다 15~45일, 하와이 20~30일, 동남아 15~20일 정도 소요되는 것으로 조사되었음.

4) 팰리트(Pallet)의 사용은 선과장에서 컨테이너에 배 상자를 상차시에만 사용하고 컨테이너에 상자를 적재할 때와 최종목적지에서의 하역 시에는 인력에 의존

하고 있음.

5) 컨테이너는 대부분 40FT REEFER HIGH CUBE이었으며 부분적으로 40FT REEFER CARGO도 이용되고 있음. 40FT REEFER HIGH CUBE에는 5kg 포장상자는 18단 적재에 2500상자, 10kg 포장상자는 12단 적재에 1800상자 적재하는 것으로 조사되었음. 이 경우 컨테이너의 적재효율은 약 76~85%인 것으로 분석되었음.

6) 대부분의 수출단지에서는 컨테이너에 상차전에 예냉(precooling)의 중요성은 인식하면서도 예냉시설의 미비와 기술부족으로 예냉을 실시하지 않고 있음. 그러나 앞으로는 예냉시설의 설치를 대부분 계획하고 있는 것으로 조사되었음.

7) 수출용 배의 포장중량은 5kg과 10kg이 대부분을 차지하고 있으나 15kg, 5lb 포장중량도 전체수출량의 약 20% 차지하고 있는 것으로 조사되었음.

8) 사용되는 외포장재는 골판지상자 이었으며, 포장중량 10kg 이하에서는 A-1형인 RSC형 상자, 포장중량 15kg에서는 한쪽면 날개가 없는 A-1형 상자 2개를 서로 덮어 씌운 C-3형의 상자가 대부분 사용되고 있었음.

9) 이와 같이 포장중량에 관계없이 일률적으로 DW 골판지를 사용하는 점, 포장중량이 큰 15kg에서 C-3형의 골판지상자를 적용하는 점, 또한 상자의 내부에 측면 골판지 패드를 대는 점은 모두 컨테이너내의 저온·다습한 조건에서의 상자의 압축강도 열화로 인한 압상과를 방지하기 방법들인 것으로 분석되었다.

표 3-14. 대표적인 외포장재 제원

포장중량(kg)	외포장재료	상자형태	원지배합	치수(mm)
5	DW 골판지	A-1형	WLK210/K200/K200/K200/KA210	475×335×125
10	DW 골판지	A-1형	WLK210/K240/K200/K240/KA210	485×345×220
15	DW 골판지	C-3형	WLK210/K200/S120/K200/KA210 KA210/K200/K200/K200/KA210	535×390×230 520×380×225

10) 사용되고 있는 내포장재와 포장방법은 표(3-15)에서와 같이 조사되었음.

11) 현재까지는 한국산 배의 수입을 대부분이 한국 교포들이어서 포장재와 포장방법에 대하여는 특별한 요구사항(강도, 발수도, 치수, 기법, 표기사항)이 없었던 것으로 분석되었다. 표(3-16)에는 주요 배 수출국가들의 외포장상자에 대한 필수

표기사항들을 나타낸 것이다.

표 3-15. 사용되는 내포장제와 포장방법

포장중량 (kg)	소요 내포장제	포장방법(하→상)
5	Net Pad 1개, PE Net망 9~14개, Tray 1개	Tray→PE Net망(날개포장)→Net Pad
10	Net Pad 2개, PE Net망 18~24개, Tray 2개, 골판지 Pad 1개, 측면 골판지패드 1개(일부에서 사용)	Tray→PE Net망(날개포장)→Net Pad→골판지 Pad→Tray→PE Net망(날개포장)→Net Pad
15	Net Pad 2개, PE Net망 18~36개, Tray 2개, 골판지 Pad 1개	Tray→PE Net망(날개포장)→Net Pad→골판지 Pad→Tray→PE Net망(날개포장)→Net Pad

(주) 1)골판지 Pad의 원지배합 : KA210/S120/S120/S120/KA210

표 3-16. 주요 배 수출 국가별 필수 표기사항

수출국명	주요 표기 사항
캐나다	상품명(Item Name), 중량(g), 생산자(수입, 유통업자) 및 주소(Distributor Name & Address) 원산지 표시(Produce of Korea), 규격표시(Regular), 제품의 저장방법(Store at ℃)
미 국	상품명(Item Name), 순중량(Net Wet/Oz, Lb), 생산자(수입, 유통업자) 및 주소(Distributor Name & Address), 원산지 표시(Produce of Korea), 규격 표시(Small, Medium, Large)
일 본	상품명(品名), 순중량(重量, kg), 생산자(수입, 유통업자) 및 주소, 원산지 표시, 등급(等級), 규격(規格), 수량(個), 품종(品種名)
싱가폴	상품명(Item Name), 순중량(Net Wet/kg), 생산자(수입, 유통업자) 및 주소(Distributor name & Address), 원산지 표시(Produce of korea), 규격표시(Small, Medium, Large)

다. 수출포장의 개선방향

1) 일관수송체계 및 하차작업의 기계화

선과장에서부터 최종목적지까지 일관협동작업은 이루어지고 있으나 펠리트를 사용한 유니트로드화 되어 있지 않아 컨테이너 내에서의 상자적재 및 하역 시에는 인력에 의존하고 있는 실정임. 따라서 선과장에서부터 펠리트를 사용한 유니트로드화 하므로써 적재 및 하역작업의 기계화가 절실히 요망됨.

2) 수출용 상자의 포장재에 대한 표준화(재료, 강도)

선진국에서는 포장상자에 SW골판지 사용이 보편화되어 있으나 우리나라의 경우 포장중량에 관계없이 일률적으로 DW골판지가 사용되고 있음. 이는 포장중량에 비하여 과대포장을 하므로써 포장비용을 증가시킴. 따라서 포장중량에 따른 강도, 치수 등 포장재의 표준화가 시급함.

3) 통기성 골판지상자의 사용과 적정 펠리트 패턴의 개발

선과장에서부터 최종목적지까지 저온유통 과정을 감안할 때 상자내부 및 컨테이너 내의 원활한 냉기소통을 위하여 통기성 골판지 상자의 사용과 적정 펠리트 패턴이 개발되어야 함.

2. 포장재의 완충시험장치 개발

가. 시스템의 기본구성요소

시험기는 크게 기계장치부, 계측제어부 및 분석소프트웨어의 3부분으로 구성되어 있고, 기계장치부는 본체프레임, 낙하체(중추+가속도계+충격평판), 기반 및 낙하체 리프팅요소로 구성되며, 계측제어부는 솔레노이드 밸브(solenoid valve), 에어실린더(air cylinder) 및 모터제어, 가속도 측정요소로 구성되고, 분석소프트웨어는 가속도의 연속측정으로 다양한 완충특성을 동시에 분석할 수 있도록 작성하여 지류완충재와 같은 박판재료부터 플라스틱 발포체와 같은 후판재료까지 완충성을 측정할 수 있도록 제작하였다.

나. 기계장치부 제원

본 실험장치의 충격방식은 자유낙하방식이며, 유효낙하높이는 0~150cm, 중추의 무게변화범위는 1~60kg, 중추의 낙하방법은 솔레노이드 밸브(solenoid valve)에 의한 에어실린더를 제어하여 중추가 자유낙하 할 수 있도록 실험장치를 구성하였다. 또한 낙하체의 충격에너지가 시험편에 충분히 전달되도록 하기 위해서 시험기 기반의 무게와 기반을 받치는 콘크리트 베이스의 무게를 합쳐 낙하체 최대무게의 50배 이상이 되도록 설계하였다.

Table 3-17. Specifications of designed dynamic cushioning tester

Type	Free-falling type
Max. specimen size	(L)160×(W)160×(T)3~100mm (max. specimen size 0.0256m ²)
Weight fo drop-weight	1 ~ 60kg
Drop height	1 ~ 1500mm
Measuring elements	acceleration
Supported mass	50 times the max. mass of the drop-weight

[NOTE] ASTM D1596 : (L)101.6×(W)101.6mm

다. 계측제어부 재원

계측제어부에서는 가속도 계측을 위해서 소형이면서 강성이 있는 압전형(piezo-electric) 가속도센서인 JSN-0012(10000G, charge sensitivity 1.0pC/G, voltage sensitivity 2.22mV/G)를 사용하였으며, 신호계측을 위하여 가속도계와 일체형이며 최대 60dB까지 증폭이 가능한 앰프(amplifier, CAM67-1)와 분해능 12bit의 PCL사의 A/D 컨버터, 최대무게 200kg까지 제어 가능한 AC motor, 최대출력압력이 1MPa인 에어실린더(air cylinder)를 사용하였다. 그리고 가속도계의 출력신호에 포함되는 노이즈를 제거하기 위하여 앰프(CAM67-1)에 내장된 로패스필터(low-pass filter)에 의한 하드웨어적인 방법과 소프트웨어에 의한 디지털 필터링 방법(Gaussian Type filtering)을 함께 적용하였다.

Table 3-18. Specification of cushioning test apparatus and measuring system

Items	Specification	Remarks
Accelerometer	10000 G, 2.22 mV/G	JSN-0012
Charge Amplifier	20, 40, 60 dB	CAM67-1
A/D converter	12 bit	PCL
AC motor	0.1 ~ 7.5 kw	FR-E520
Air Cylinder	1 MPa	KCC AF 40B-S25
Solenoid valve	170 ~ 230 V	SYM SV-210
Air Compressor	8 kg/cal, 2 HP	JD 20-30
Micro computer	RAM 128 MB	PentiumII - 350 MHz

그림(3-27)은 제작된 완충재료실험장치이다.

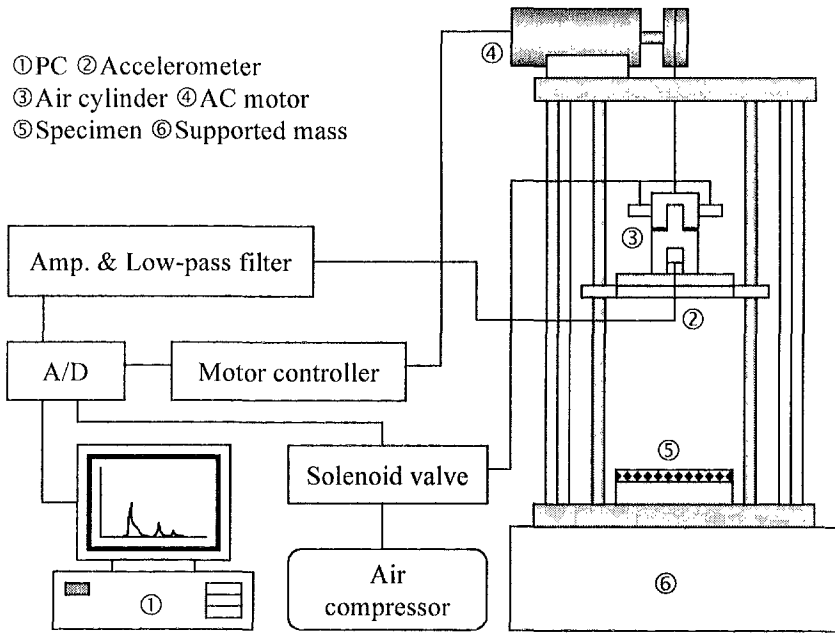


Fig. 3-27. Designed dynamic cushioning tester.

본 실험장치는 에어실린더와 AC motor에 의해 낙하체(중추+충격평판+가속도계)의 낙하높이까지 이동되며, 프로그램의 명령에 의해 그림(3-28)의 에어실린더가 작동하면서 LM가이드에 의해 중추가 수직 자유낙하하고, 그림(3-29)에서와 같이 충격평판에 고정된 가속도계에 의해서 가속도가 계측되어 컴퓨터에 의해 분석 및 저장되는 시스템이다.

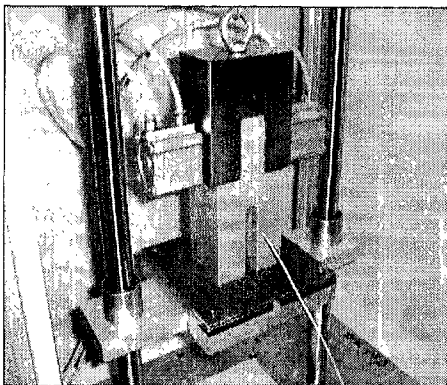


Fig. 3-28. Air cylinder

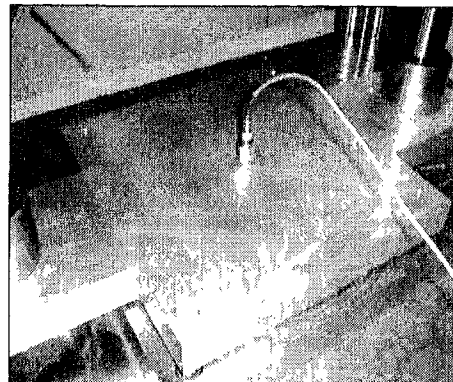


Fig. 3-29. Accelerometer fixed in impact plate.

라. 계측 및 분석 컴퓨터 프로그램

개발된 계측 및 분석 컴퓨터 프로그램은 비주얼 베이직(ver. 6.0)에 의해 작성되었으며, 재료의 완충성을 다각적으로 분석할 수 있도록 데이터의 측정부터 분석 및 출력까지 전 시스템을 일체화시켜 프로그램화하였다. 그림(3-30)는 계측 및 분석 소프트웨어의 흐름도이다.

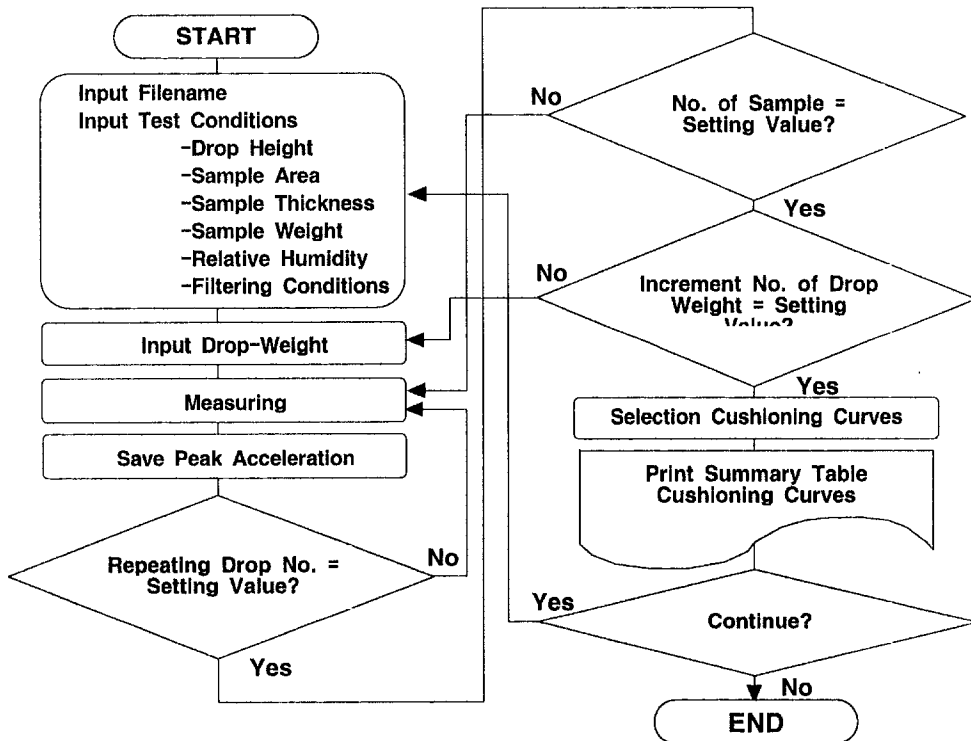
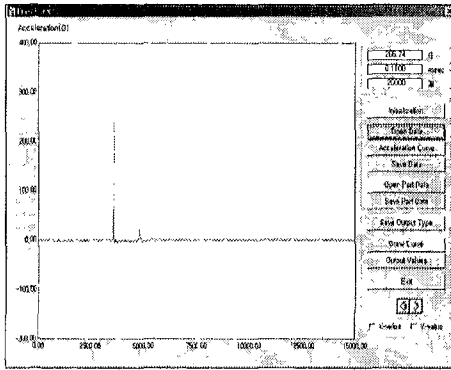
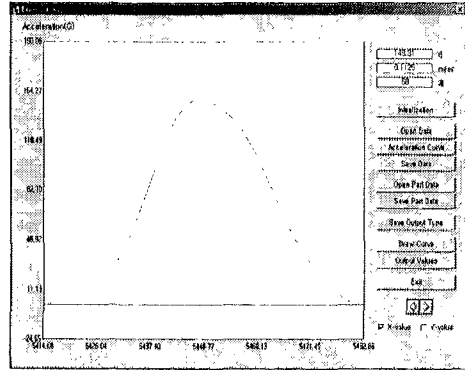


Fig.3-30. Flow chart of the developed program for controlling the system and analyzing the data.

그림(3-31)는 시험장치의 기반 위에 놓인 시험편의 진체 상면에 LM-가이드 축에 의해서 수직으로 자유 낙하하는 중추로 충격을 가하였을 때 컴퓨터 모니터 상에 출력된 가속도-시간곡선이다. 이 곡선상에서 첫 번째 피크 파형만을 확대하여 최대가속도와 표(3-19)의 알고리즘을 적용하여 속도, 동적변위, 정적응력, 동적응력, 변형에너지, 완충계수 및 동적최대변형량 등을 계측 분석하였다. 계측된 결과값을 데이터파일로 입력값, 설정값을 함께 저장할 수 있도록 작성하였으며, 속도-시간곡선 및 동적변위-시간곡선 등을 출력하도록 작성하였다.



(a)



(b)

Fig. 3-31. Main window for controlling the measuring system and processing the data.

Table 3-19. Basic numerical algorithm

Items	Numerical algorithm	Unit	Remarks
Velocity	$v = v_0 + g \int_0^t G dt \quad (v_0 = \sqrt{2gH})$	m/s	v=velocity change after contact G_m =peak acceleration D_m =dynamic max. deflection of specimen t =elapsed time after contact t_1 =time at dynamic max. deflection t_2 =time at separated instant between drop weight and specimen A =specimen area W =Wt of drop weight H =drop height T =thickness of specimen
Dynamic stress	$\sigma_m = \frac{W}{A} (G_m + 1)$	Pa	
Restitution coefficient	$e = \left(\int_{t_1}^{t_2} G g dt \right) / \left(\int_0^{t_1} G g dt \right)$	-	
Static stress	$\sigma_{st} = \frac{W}{A} = \frac{mg}{A}$	Pa	
Cushion factor	$C = \frac{(G_m + 1)}{H + D_m} T$	-	
Energy	$E = \frac{W(H + D_m)}{AT}$	J/m ²	
Dynamic max. strain	$\epsilon_m = \frac{D_m}{T}$	-	

3. 포장재의 완충특성

가. 실험방법

골판지의 상대습도에 의한 완충특성을 분석하기 위하여 실험전 골판지의 전처리조건으로 온도 23℃에서 상대습도 50 및 90%의 2수준을 선택하여, 향온향습기

를 이용하여 24시간 이상 계획한 대기조건에 평형시켰다. 또한 중추의 낙하높이 및 무게변화에 따른 골판지 시편의 완충특성을 분석하고자 중추의 낙하높이를 15, 30 및 45cm 3수준으로 하였으며, 중추의 무게는 8~12수준으로 누가적으로 변화시켰다. 또한 골판지 시편은 한번의 길이가 16cm(면적 0.0256m²)인 정사각형으로 하여 충격평판과 골판지 시험편과의 접촉조건을 같게 하였으며, 실험은 5회 반복하여 가장 작은 값과 가장 큰 값을 제외한 나머지 데이터의 평균값을 적용하였고 1회의 중추낙하실험에 하나의 시편이 사용되었다. 공시된 골판지는 표(3-20) 및 표(3-21)에서 보는 바와 같이 양면골판지(SW) 3종, 이중양면골판지(DW) 3종 및 발포 폴리에틸렌(EP) 1종이었다.

Table 3-20. Paper composition and physical dimension of the corrugated fiberboard tested

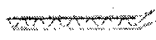
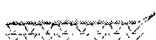
Kinds	Flute-type	Paper composition	Weight(g) (160×160)		Height (mm)	Remarks	
			50%	90%			
Single wall (SW)	A/F	SW1	SK210+K180+SK210	16.25	18.36	5.1	
		SW2	SK180+B150+K180	15.30	17.21	5.1	
		SW3	SK180+S120+K180	14.19	16.85	5.1	
Double wall (DW)	AB/F	DW1	SK210+K180+K180+K180+K180	30.16	31.51	8.1	
		DW2	SK210+B150+S120+B150+K180	23.31	26.62	7.7	
		DW3	SK180+S120+K180+S120+K180	25.16	27.36	8.1	

Table 3-21. Physical dimension of the expanded polyethylene tested

Kinds	Symbol	Weight(g) (160×160)	Height (mm)	Remarks
Expanded Polyethylene	EPI	2.72	4.3	

나. 결과 및 고찰

1) 포장재의 가속도, 속도 및 동적변위 분석

그림(3-31)의 (a)는 시험장치의 기반 위에 놓인 시험편의 전체 상면에 LM-가이드 축에 의해서 수직으로 자유 낙하하는 중추로 충격을 가하였을 때의 짧은 순간의 변화를 고속 샘플링 하여 컴퓨터 모니터상에 출력된 가속도-시간곡선의 한 예이며, 포장완충재료의 완충특성을 분석하고자 할 때 주관심은 첫 번째 충격 파형에 있으므로 여러개의 충격 파형중 첫 번째 충격파형만을 확대한 것이 그림(3-31)의 (b)이다. 또한 그림(3-32) 및 그림(3-33)은 계측된 가속도를 이용하여 속도-시간곡선, 동적변위-시간곡선을 각각 도시 한 것이다.

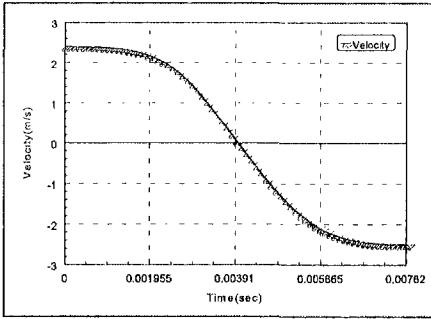


Fig. 3-32. Velocity-time curve.

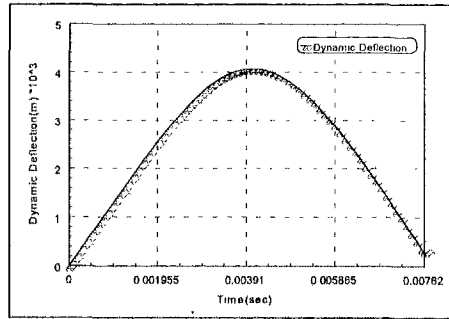


Fig. 3-33. Dynamic deflection-time curve.

그림(3-33)의 동적변위-시간곡선상에서 골판지의 시편에 일정한 하중의 충격시에 최대변형이 이루어진 후 다시 원래 형태로 복원되지 않고 일정 변위의 영구 변형이 생기는 것을 알 수가 있었다. 그러나 플라스틱 완충재 발포 폴리에틸렌(EP1)의 경우에는 5회의 반복실험동안 완충성의 변화는 크지 않았다.

2) 포장재의 최대가속도 분석

계측된 최대가속도를 이용하여 각 낙하높이 및 상대습도에 따른 골판지 시편의 최대가속도-정적응력선도를 도시하였다. 곡선상에서 가속도의 최소치를 나타내는 최적점에서 그 완충재는 최고의 완충성을 발휘하며, 그 최적점이 우측으로 옮겨가는 완충재일수록 중량물의 포장에, 위로 올라갈수록 허용가속도가 높은 제품에 적합하다.

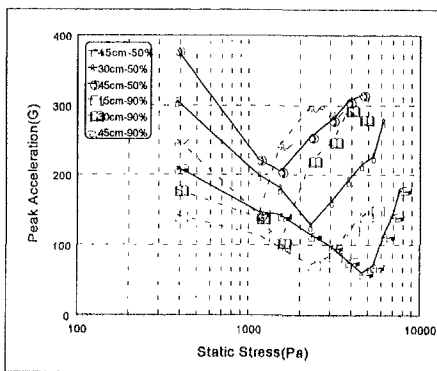


Fig. 3-34. Peak acceleration-static stress curve of SW1.

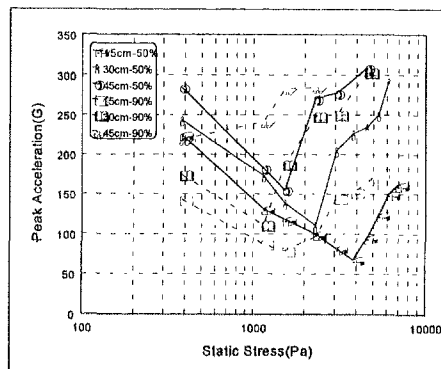


Fig. 3-35. Peak acceleration-static stress curve of SW2.

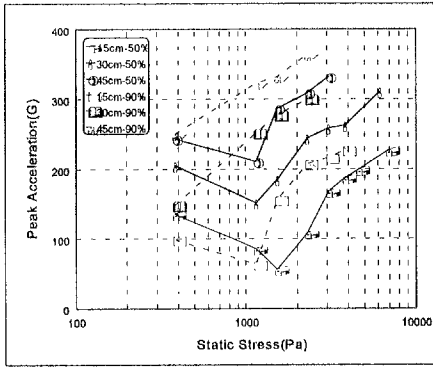


Fig. 3-36. Peak acceleration-static stress curve of SW3.

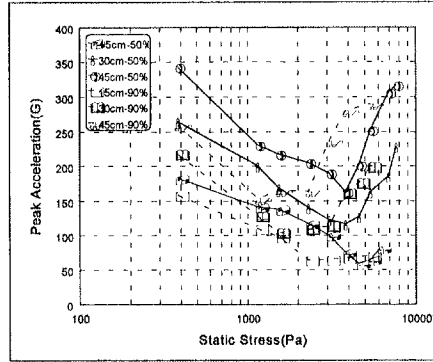


Fig. 3-37. Peak acceleration-static stress curve of DW1.

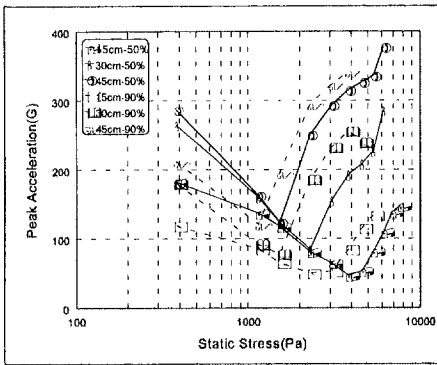


Fig. 3-38. Peak acceleration-static stress curve of DW2.

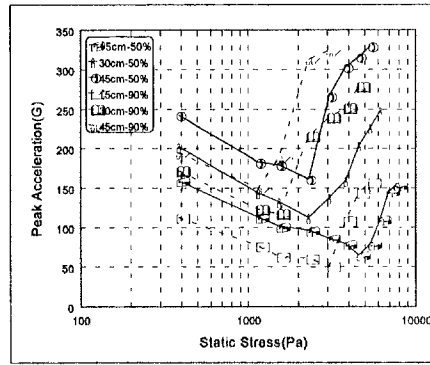


Fig. 3-39. Peak acceleration-static stress curve of DW3.

그림(3-34), (3-35), (3-36), (3-37), (3-38) 및 (3-39)은 골판지 시편의 최대가속도-정적응력 곡선으로 양면골판지(SW) 및 이중양면골판지(DW)는 중추의 낙하 높이가 높아질수록 포장 완충재료의 완충성이 현저하게 줄어들음을 알 수가 있었으며, 상대습도가 90%일 때 보다 50%에서 더 좋은 완충성을 나타냄을 알 수가 있었다. 또한 양면골판지(SW)의 경우에는 50%의 상대습도에서는 SW2-SW1-SW3순의 완충성을 나타내었으며, 90%의 상대습도에서는 SW1-SW2-SW3의 순으로 완충성을 나타내어 상대습도가 낮은 환경에서 유통될 경우에는 SW2 골판지를 사용하는 것이 적합하며, 높은 상대습도의 환경에서 유통될 경우에는 SW1의 골판지를 사용하는 것이 적합하다고 판단된다. 이중양면골판지(DW)의 경우에는 50%의 상대습도에서는 DW1-DW3-DW2의 순의 완충성을 나타내었으며, 90%의 상대습도에서도 DW1이 가장 좋은 완충성을 나타내었다.

SW1, SW2의 양면골판지와 DW1, DW2 및 DW3의 이중양면골판지의 경우에

는 상대습도 50%, 낙하높이 15cm에서 최대가속도의 최적점이 일정부근에 나타났다. 이것은 낙하높이 15cm에서의 골판지의 포장완충재료를 이중양면골판지(DW) 보다는 양면골판지(SW)를 사용하는 것이 완충재료의 과대사용의 방지, 포장상자의 가격하락 및 포장 내체적을 증가시킬 수 있는 방법이라 판단된다. 또한 낙하높이가 30, 40cm일 경우에는 SW1, SW2 및 DW3의 완충성의 차이가 매우 작아 DW3 완충재료를 사용하는 것보다는 SW1, SW2를 사용하는 것이 경제적이라 판단된다. 그러나 상대습도 90%일 경우에는 이중양면골판지(DW1, DW2, DW3)가 양면골판지(SW1, SW2, SW3)보다 현저하게 높은 완충성을 나타내었다.

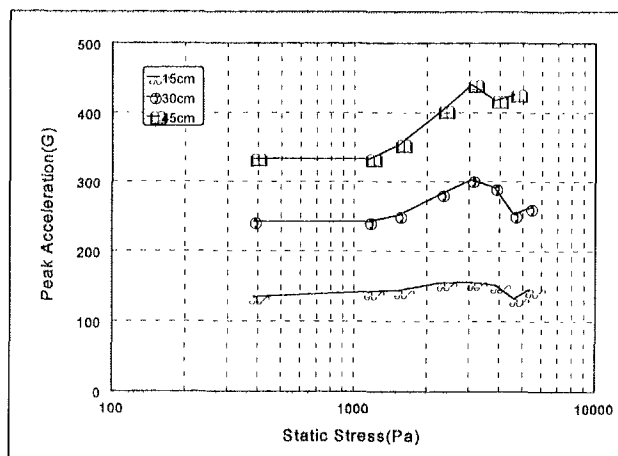


Fig. 3-40. Peak acceleration-static stress curve of EP1.

그림(3-40)는 플라스틱 완충재인 발포 폴리에틸렌(EP1)의 최대가속도-정적응력곡선이다. EP1의 경우에는 다른 지류완충제와는 모양이 다른 형태의 곡선을 나타내어 지류완충제와 같은 최적점을 찾아내기가 매우 어렵다. 최적점이 없다는 것은 실험시의 정적응력 범위 내에서는 모두 적용이 가능하다고 판단된다. 또한 그림(3-40)의 EP1의 최대가속도-정적응력선도에서는 15, 30 및 45cm의 낙하높이 별 완충성의 차이는 있으나 상대습도에 의한 영향은 거의 없음을 알 수가 있었다.

3) 포장재의 완충계수 분석

완충재의 단위 두께당 흡수에너지와 제품에 전달되는 힘 즉, 완충재료에 가해지는 하중과의 비를 완충효율이라 하며, 완충효율이 높은 재료일수록 동일조건에서 제품의 완충에 사용되는 재료의 양이 감소된다. 완충효율을 완충포장설계에

응용하기 위해 연구된 계수가 완충계수로, 재료의 단위 체적당 흡수에너지와 동적응력의 비로 정의되며, 완충포장설계에 매우 중요시된다. 완충계수 및 동적응력을 계측하기 위하여 계측된 최대가속도와 동적최대변위를 이용하여 표6의 알고리즘에 적용하였다. 또한 실험에 사용된 양면골판지(SW) 및 이중양면골판지(DW)에 대한 완충계수-동적응력곡선을 그림(3-41), (3-42), (3-43), (3-44), (3-45) 및 (3-46)에 도시하였다. 완충계수-동적응력곡선에서 알 수 있듯이 완충계수 및 동적응력은 양면골판지(SW)와 이중양면골판지(DW)에서 모두 상대습도 90%보다 50%에서 모두 크게 나타남을 알 수가 있었다. 이것은 골판지와 같은 지류 완충재의 경우에는 습도에 민감하게 반응함을 보여준다.

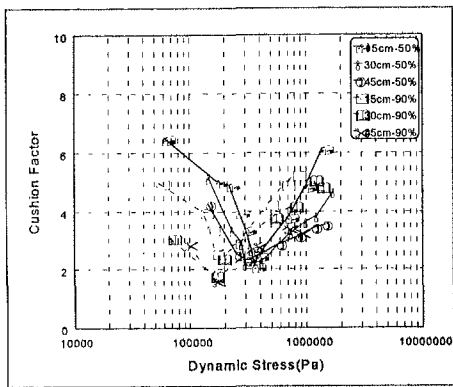


Fig. 3-41. Cushion factor-dynamic stress curve of SW1.

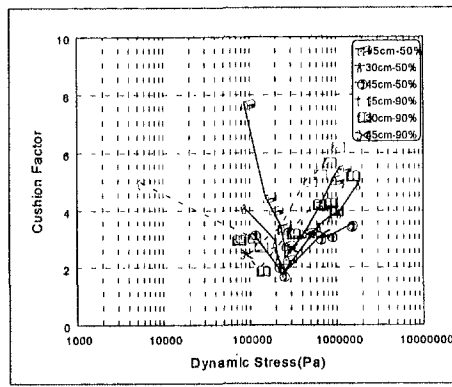


Fig. 3-42. Cushion factor-dynamic stress curve of SW2.

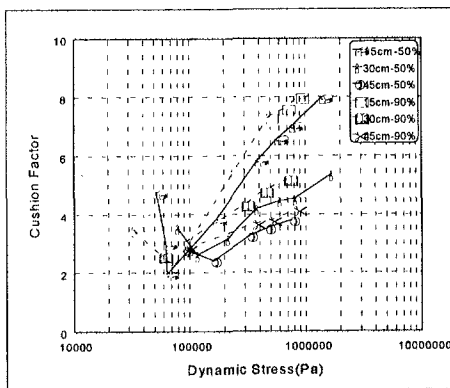


Fig. 3-43. Cushion factor-dynamic stress curve of SW3.

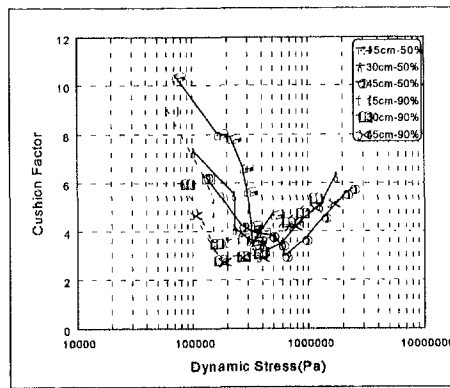


Fig. 3-44. Cushion factor-dynamic stress curve of DW1.

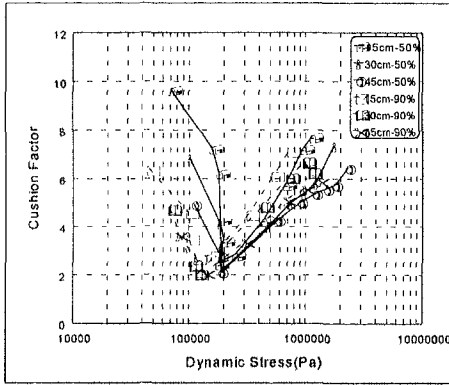


Fig. 3-45. Cushion factor-dynamic stress curve of DW2.

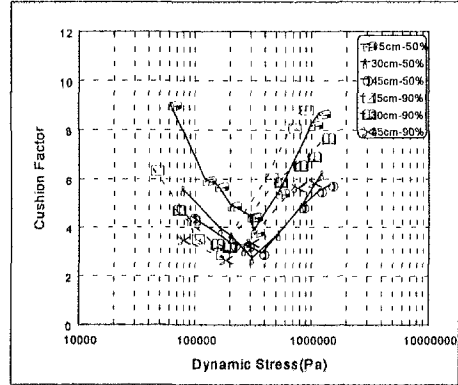


Fig. 3-46. Cushion factor-dynamic stress curve of DW3.

또한 완충계수-동적응력곡선상에서 곡선의 최저점 즉 최적점에서의 곡면이 완만할수록 적용할 수 있는 응력의 범위가 넓다는 것을 의미한다. 또한 완충계수-동적응력곡선에서 완충계수의 최적치에 대응하는 동적응력 값이 결정됨에 따라 각종 재료의 완충계수-동적응력곡선 중에 동적응력값이 가장 적합한 재료가 선택될 때 가장 경제적인 완충을 할 수 있다.

본 실험에 공시된 재료들의 완충계수-동적응력선도에서 낙하높이 15cm에서의 완충계의 최적점이 SW1-DW1-DW3-SW2-DW2-SW3순으로 우측에 위치하였으며, 30, 45cm에서의 완충계의 최적점이 DW1-DW3-SW1-SW2-DW2-SW3순으로 우측에 위치하였으며, 양면골판지가 이중양면골판지보다 최적점에서의 곡선이 완만하게 나타났다.

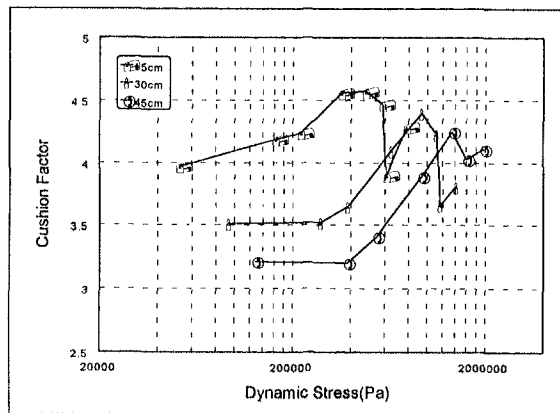


Fig. 3-47. Cushion factor-dynamic stress curve of EPI.

그림(3-47)은 플라스틱 완충제인 발포 폴리에틸렌(EP1)의 완충계수-동적응력 곡선이다. EP1의 경우에는 다른 지류완충제(SW, DW)와는 다른 형태의 곡선을 나타내고 있다. 이것은 EP1의 경우에는 적용할 수 있는 응력의 범위가 다른 지류완충제보다 훨씬 넓다는 것을 알 수가 있다.

4) 포장재의 변형에너지 분석

계측된 동적최대변위와 입력된 물성을 표(3-19)의 알고리즘에 적용하여 변형에너지(strain energy)를 계측하여 완충계수-변형에너지곡선을 그림(3-48)에서 그림(3-54)까지에 도시하였다. 지류완충제 양면골판지(SW)와 이중양면골판지(DW)의 경우에는 변형에너지가 상대습도 90%보다 50%에서 더 크게 계측되었다. 이것은 완충재료를 일정 하중으로 변형시키는데 있어서 상대습도 90%보다 50%에서의 에너지가 더 많이 소모된다는 의미가 된다. 또한 공시된 완충재료들의 완충계수-변형에너지곡선에서 낙하높이 15cm에서는 완충제의 최적점이 SW1-SW2-DW1-DW2-DW3-SW3순으로 우측에 위치하였으며, 30cm에서는 SW1-SW2-DW1-DW3-DW2-SW3순으로 우측에 위치하였으며, 45cm에서는 DW1-SW1-SW2-DW2-SW3-DW2순으로 우측에 나타났다. 여기에서 높이 15 및 30cm에서는 SW1의 지류완충제의 완충성이 나타났으나, 높이가 30cm이상으로 올라갈수록 양면골판지(SW)의 완충성이 급격하게 줄어들음을 알 수가 있었다. 그림(3-54)은 플라스틱 완충제인 발포 폴리에틸렌(EP1)의 완충계수-변형에너지곡선으로 낙하높이별 완충계수의 차이는 있으나 완충곡선-동적응력곡선과 같이 지류완충제와 같은 최적점이 나타나 있지 않다. 즉 본 실험에 적용된 응력범위내에서는 EP1의 최적점을 찾을 수가 없다.

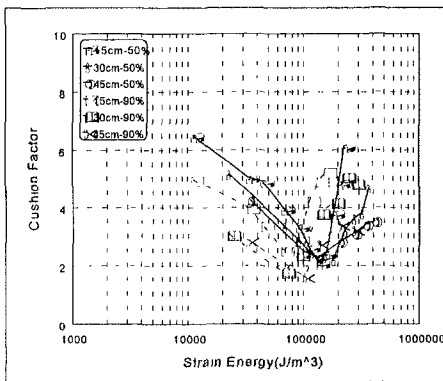


Fig. 3-48. Cushion factor-strain energy curve of SW1.

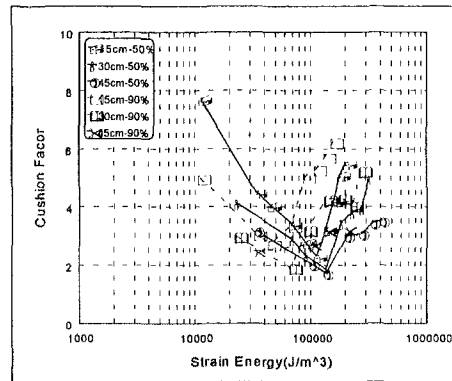


Fig. 3-49. Cushion factor-strain energy curve of SW2.

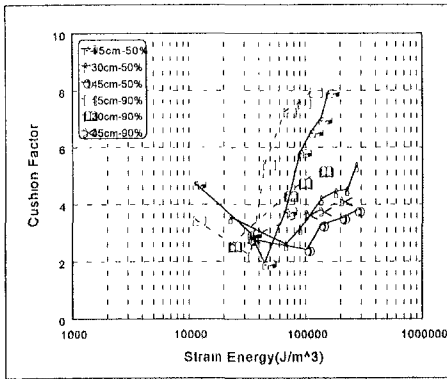


Fig. 3-50. Cushion factor-strain energy curve of SW3.

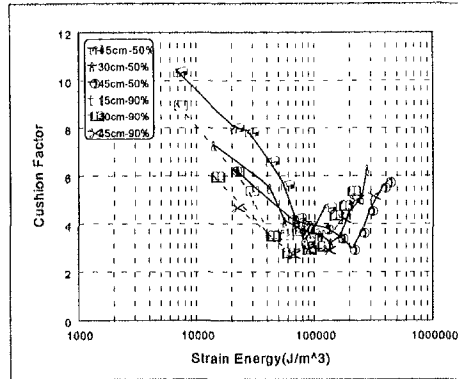


Fig. 3-51. Cushion factor-strain energy curve of DW1.

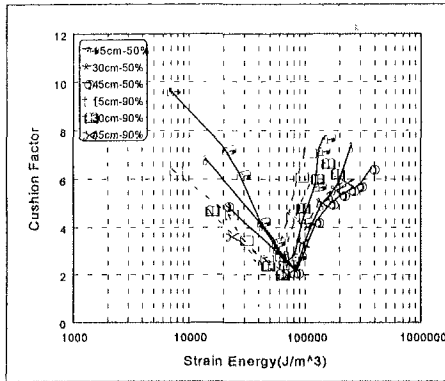


Fig. 3-52. Cushion factor-strain energy curve of DW2.

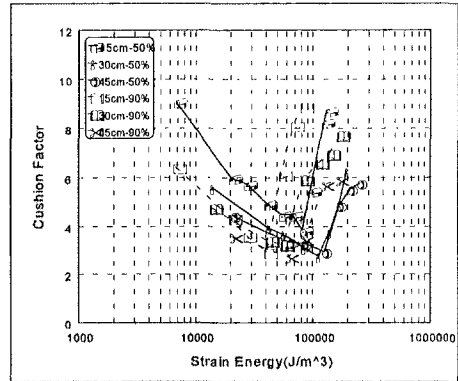


Fig. 3-53. Cushion factor-strain energy curve of DW3.

그림(3-55)는 본 실험에 사용된 지류완충제인 양면골판지(SW)와 이중양면골판지(DW)의 변형에너지-정적응력곡선이다. SW 및 DW의 경우에는 낙하높이에 따라서 변형에너지의 수준이 다르다는 것을 알 수가 있었으며, 일정한 하중 및 낙하높이에서의 SW 및 DW의 변형에너지는 SW가 더 크다는 것을 알 수가 있었다. 또한 그림(3-56)은 플라스틱 완충재 발포 폴리에틸렌(EP1)의 변형에너지-정적응력곡선으로 낙하높이에 따라서 변형에너지의 크기가 커짐을 알 수가 있었다.

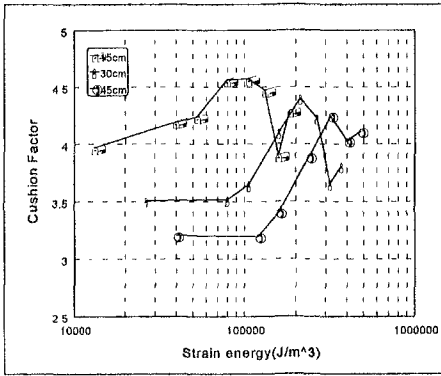


Fig. 3-54. Cushion factor-strain energy curve of EP1.

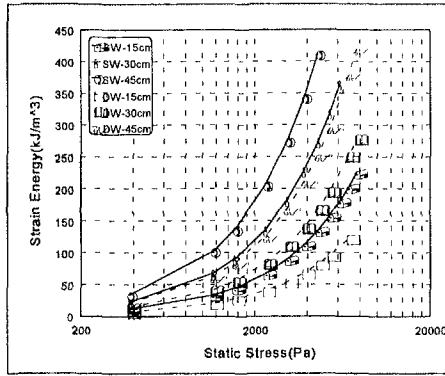


Fig. 3-55. Strain energy-static stress curve of SW and DW.

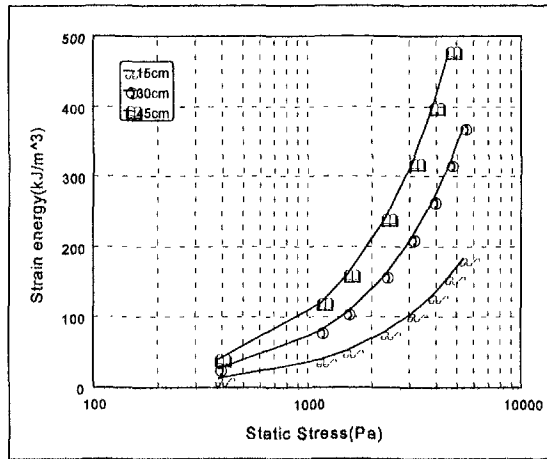


Fig. 3-56. Strain energy-static stress curve of EP1.

제 3 절 배 포장상자 및 유니트로드 시스템의 표준화

1. 유니트로드 시스템의 표준화

가. 표준 팰리트의 선정

유통용기의 규격은 팰리트의 규격이 관건이며 표준 팰리트의 사용이 물류표준화의 핵심이자 시발점이다. 표준 팰리트는 일관 수송용으로 사용되는 팰리트를 의미하며, 구내용 팰리트로는 일관 Palletization에 의한 단위화물적재체계(Unit Load System)를 구축할 수 없기 때문이다. 일반적으로 1개회사에서 생산공장→매출센터→매장까지의 물류과정에 하역작업이 7~8회 발생된다. 따라서 구내용 팰리트에 옮겨 쌓는 작업을 반복해야 하므로 커다란 불편, 비효율과 낭비가 있어 물류비용의 절감을 기대할 수 없게 된다. 따라서 진정한 의미의 유니트로드 시스템(Unit Load System)이란 구내용 팰리트가 아닌 일관수송용 표준 팰리트(KS A2155)에 의하여 일관 팰리트화가 구축되는 것을 말하는 것이며, 표준 팰리트의 사용은 일관수송용 팰리트에 의한 물류표준화를 의미한다.

구체적인 방법으로는 ①수송장비인 트럭적재함, 컨테이너의 적재효율을 높이기 위하여 적재함에 2열로 적재하여야 하고, 그 적재효율이 90%이상을 유지하여야 한다. ②창고의 액설비, 하역장비인 지게차나 팔레타이저 등 자동화설비에는 표준화된 팰리트를 사용하여야 한다. ③거래처간에 팰리트가 순환 사용되기 위해서는 같은 규격의 팰리트이어야 일관 팰리트화가 가능하게 된다. ④값싼 저급의 팰리트만을 구내용으로 사용하여 온 기업들은 수송용으로 팰리트를 투입하게 되면 파손이 심하게 되고 보수유지비, 수리비가 많이 발생한다. 따라서 품질과 성능이 유지될 수 있도록 일정한 규격치수로 제작된 표준 팰리트를 채택하여야 한다.

따라서, 팰리트 표준화가 필요한 이유는 ①수송장비의 적재효율을 높이고 ②자동설비 및 장비와의 규격적합성을 갖게 하여 이들 설비 및 장비의 이용효율을 높이며 ③거래처와의 일관 팰리트화를 가능하게 하여 물류 비용을 절감하기 위함이다.

ISO(국제표준화기구)의 국제 팰리트 규격은 ①1200×800mm(유럽) ②1200×1100 mm(독일, 네덜란드) ③1140×1140mm(해상용 컨테이너) ④48"×40" (미국) ⑤1067×1067 mm ⑥1100×1100mm 6종류의 팰리트 규격을 국제 표준 팰리트 규격으로 채택하고 있다.

우리나라에서는 국가 표준 팰리트로서 T₁₁형(1100×1100mm)을 채택하고 있으나, 현재 국내기업에서 T₁₁형 표준 팰리트의 이용률은 겨우 10%정도에 머물고 있어 물류표준화는 후진국 수준에 불과하다. 그러나 최근 국내 대기업들을 중심

으로 물류개선 움직임이 활발해지고 있으며 T₁₁형 표준 팔레트 도입도 적극 검토하고 있다. 정부의 움직임도 활발하여 1995년 9월 21일에는 물류표준화 보급 확대방안을 마련, 종합적인 물류표준화를 위한 각종 지원 방안을 발표하였다. 표준 팔레트를 선정함에 있어서, 가능하면 국가 표준 팔레트를 사용하는 것이 좋으나 절대적인 선정기준이라고는 볼 수 없기 때문에 그림(3-57)에서 보는바와 같이 팔레트 규격 선정기준을 작성하여 운송하고자 하는 물품과 기업의 특성에 맞는 표준 팔레트를 선정하여야 할 것이다.

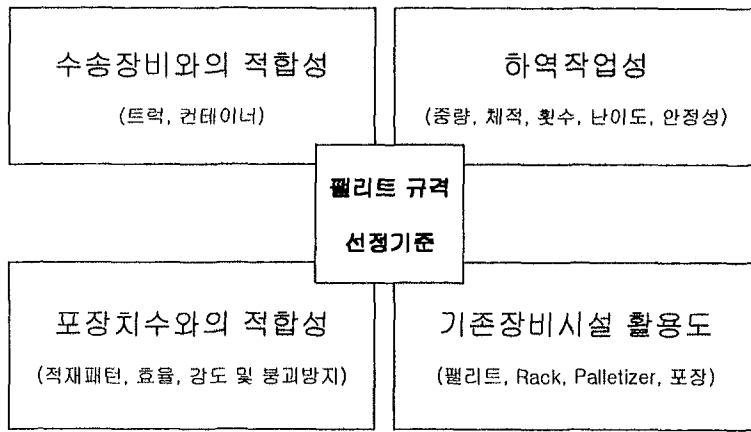


그림 3-57. 팔레트 규격 선정기준

표(3-21)은 그림(3-57)의 팔레트 선정기준을 중심으로 팔레트 규격별 적합성을 평가한 것으로 표에서 보는 바와 같이 1100×1100형 팔레트 규격이 다른 규격에 비하여 대부분의 기준에서 그 적합성이 높음을 알수 가 있다.

T₁₁형 팔레트(1100×1100)는 해상용 컨테이너(container)를 많이 사용하는 나라에서 국가의 표준 팔레트로 채택하고 있으며 대형 트럭의 적재함에도 적합한 규격이다.

표 3-21. 팔레트 규격별 적합성 평가

구 분	배점	1350×1100	1300×1100	1200×1100	1100×1100	1100×900
수송장비와의 적합성	25	12	10	17	18	21
하역의 작업성	25	10.4	13	17.1	22.2	12.3
포장치수와의 적합성	25	21.5	11	11	21	10.5
기존장비시설 활용도	25	17.5	15.5	9	17	16
계	100	61.4	49.5	54.1	78.2	59.8
순위		2	5	4	1	3

따라서, 현재 수출용 배의 경우에는 컨테이너에 적재되어, 트럭에 의하여 항만 시설까지 운송된 후에 해상경로를 이용하여 동남아국가, 미국, 캐나다 등으로 수출되어지고 있다. 지금까지의 문제점은 냉동 컨테이너에 배 포장상자를 적재할 경우 적재효율만을 고려하여 팠리트를 사용하지 않았기 때문에 적재 및 하역의 문제가 심각하게 대두되고 있다는 것이다. 본 연구에서는 국가 표준규격이며, 해상용 컨테이너에 적합한 T₁₁형 팠리트(1100×1100)를 표준규격으로 하여 수출용 배의 골판지 상자의 강도 및 치수 설계를 하였다.

나. 팠리트 적재방법에 따른 압축강도의 변화

내용품을 넣은 골판지상자를 운송 및 창고에 적재, 보관하는 경우, 팠리트 치수, 창고 스페이스, 상자의 치수, 화물의 안정성을 고려해 적재하고 있으며, 그림(3-2)에서 보는 바와 같이 기본 배열방식은 블록형(block pattern), 교대배열형(alternate tiers row pattern), 벽돌형(brick pattern), 핀휠형(pinwheel pattern)과 변형적인 것으로서 스플릿형(split pattern) 등이 있다.

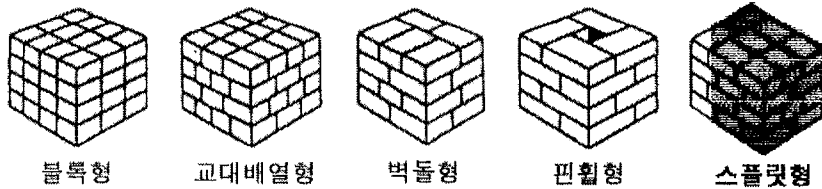


그림 3-58. 팠리트 적재방법

이와 같은 여러 가지 적재방법에 따라 골판지 상자의 압축강도 열화는 달라진다. 대체로 골판지 상자는 장방형이 대부분이며, 상자의 부담 능력은 세로방향의 패널의 압축강도에 좌우된다. 또한 상자의 하중에 대해 가장 강한 곳은 모서리이며, 가장 약한 곳은 패널의 중앙부이다.

따라서, 밑바닥의 적재강도가 최대가 되는 것은, 압축강도가 최대가 되는 모서리 부분이 같은 방향으로 겹치게 적재하는 경우이다. 이 조건을 만족하는 것은 상자를 교대로 그 위에 적재하는 블록형의 경우이다. 그러나 실제로는 모서리 끼리를 조금이라도 틀리지 않게 적재하는 것은 불가능하며, 블록적재중량에 따라서 강도의 저하가 발생된다. 또한 블록형의 경우 화물의 안정성이 떨어지기 때문에 안전성에 대한 고려가 있어야 한다. 그리고, 강한 모서리부분과 약한 패널부분을

맞춰서 적재하는 벽돌형, 편월형의 경우, 불균일한 휨이 생겨 강도의 저하가 일어나지만 화물의 안정성은 좋다.

또한 팔리트에 적재되는 경우에는, 간격, 오버행(overhang, 화물이 팔리트 적재시에 팔리트 바닥 면적을 튀어나와 초과하는 것) 등에 따라서도 강도가 저하된다.

현재 수출용 배 포장상자의 문제점은 압축강도 및 적재방법으로 인하여 하단의 상자가 압상되는 경우가 많이 발생하므로, 수출용 배가 컨테이너에 팔리트 2단 적재시 강도의 저하를 최소화시키기 위하여 그림(3-59)과 같이 5, 7.5, 10 및 15kg 포장상자를 T₁₁형(1100×1100)의 표준 팔리트에 블록형 적재방법을 적용하여 설계하였다.

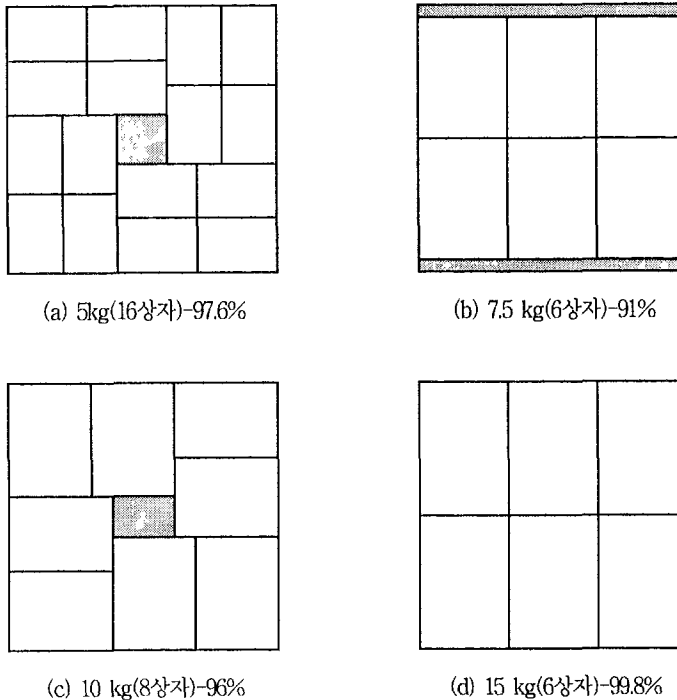


그림 3-59. 팔리트 블록형 적재방법 및 적재효율

2. 배 골판지 포장상자의 강도 및 치수의 표준화

골판지 상자 설계의 순서로는

- ①내용품의 특성과 물류과정을 파악, 확인하여 상자의 강도를 구하고

②상자의 형식, 구조결정과 안치수를 산출하며

③골판지의 재질과 종류를 결정한다.

여기서 상자의 강도설계는, ①수송 중의 진동과, 하역시의 낙하에 의한 충격에 견디는 수송하역상의 강도와, ②기본적으로 상자의 압축강도로 결정되는 보관저장상의 강도가 고려사항이 된다.

내용물에 따라서 골판지 설계에서 구하고자 하는 강도 특성도 다르기 때문에 이점을 충분히 염두해 두고 설계하여야 한다. 예를 들어 내용물의 내압강도가 강한 것에 대해서는 상자 압축강도 보다도 내충격성, 핸들링성, 타이트성, 진동에 의한 손상 등이 중요하고, 내용물이 하중을 지탱하지 못하는 청과물 등은 내압강도를 중요시 한 설계, 즉 내용물의 하중 분담을 고려한 합리적인 설계와, 요구되는 하중특성을 가미한 강도설계가 필요하다.

이상과 같은 고려사항을 기초하여 상자가 설계되지만, 최근에는 도로 사정, 하역조건 등이 호전되었고, 수송장비에 의한 진동 충격, 하역에 의한 낙하 충격도 줄어들고 있어, 골판지 상자에 구하는 가장 중요한 특성은 하역·수송시 진동 및 낙하충격보다도, 적재시 하중에 의한 내압강도라고 할 수 있다.

골판지 상자 강도설계에서 가장 필요한 강도특성은 여러 가지가 있겠지만 그 중에서도 압축강도가 가장 중요한 인자가 되므로, 이에 기준하여 강도 설계를 하였다.

가. 원지에 대한 물성분석

1) 평량(Basic Weight)

원지의 단위 면적(m²) 당 무게(g)로, 평량 측정시 시험편의 크기는 적어도 1000 cm²의 것을 10매 이상을 취하여 상대습도 65±2%, 온도 20±2℃의 표준상태에서 24시간 이상 평형 시킨 후 정밀도가 하중의 0.25% 이하인 전자저울을 이용하여 측정된다.

2) 링크러쉬(Ring Crush)

원지의 링크러쉬는 원지 롤에서 가로×세로가 152.4×12.7mm인 시험편을 만든 다음, 링크러쉬 시험기에 둥근테 모양으로 감고 압축판을 12.7±3mm/min의 속도로 압축하였을 때 나타나는 최대값으로 표시된다.

원지의 링크러쉬, 평량 및 비압축강도와와의 관계는 식(3-15)로 표현된다.

$$SCS = \frac{RC}{BW} \times 100, \text{ kgf} \cdot \text{m}^2/\text{g} \text{ ----- (3-15)}$$

여기서, BW =시험편의 평량, g/m^2
 RC =링크러쉬, kgf
 SCS =비압축강도

3) 파열강도(Bursting Strength)

원지(100mm×100mm 이상의 크기)를 조임판에 끼우고 파열할 때까지 고무막으로 눌렀을 때 나타나는 최대하중을 면적으로 나눈 값을 최대강도(kgf/cm^2)로 나타낸다. 원지의 파열강도, 평량 및 비파열강도와의 관계는 식(3-16)와 같다.

$$SBS = \frac{BS}{BW} \times 100, \text{ kgf/cm}^2 \cdot \text{m}^2/\text{g} \quad \text{----- (3-16)}$$

여기서, BS =파열강도, kgf/cm^2
 SBS =비파열강도

표(3-22)는 국내에서 생산되는 골판지 상자의 원지로써, 수입원지 및 국산원지에 대하여 제조회사로부터 조사된 물성값을 나타내었다. 또한 이들 원지의 경우에는 표면지, 골심지 및 이면지 등의 용도에 따라 분류가 된다.

양면골판지(SW)의 경우 라이너지 2장과 골심지 1장 등 3장의 원지로 이루어져 있으며, 이중양면골판지(DW)는 라이너지 3장, 골심지 2장 도합 5장의 원지로 구성되어 있다. 모든 원지는 각각 품종과 평량으로 표시되는 것이 일반적이다.

예를 들면, 양면골판지 경우 “SK210/S120/K200”, 이중양면골판지의 경우 “KA210/S120/K200/S120/K200”과 같이 표현된다. 여기에서 SK, S, K, KA 등은 국내에서 생산되는 라이너지 혹은 골심지의 일반적인 표시약호를 나타내며 뒤의 숫자는 평량(Basic weight, g/m^2)을 나타낸다. SK나 KA는 주로 표면 라이너지로 사용되며, 순수펄프를 표면에 코팅한 종이를 사용하므로 강도에 비해 가격이 비싼 편인데 이는 인쇄를 위한 용도로 가공되어 나오기 때문이다.

표 3-22. 골판지 원지에 대한 물성

지종	두께 (mm)	평량 (g/m ²)	단가 (원/kg)	Ring Crush (kg)	표면지 적용여부	이면지 적용여부	골심지 적용여부
B150	0.21	150	290	14.50	X	O	X
CLB240	0.31	240	340	28.00	O	X	X
EWT175	0.2	175	1100	24.00	O	O	X
EWT250	0.29	250	1100	36.00	O	O	X
EX175	0.21	175	750	29.00	O	O	X
EX225	0.29	225	750	36.00	O	O	X
EX250	0.32	250	750	41.00	O	O	X
EX300	0.37	300	750	48.00	O	O	X
EX440	0.54	440	850	62.50	O	O	X
EX470	0.58	470	850	67.00	O	O	X
HKA220	0.29	220	530	29.00	O	O	X
HKA240	0.38	240	530	31.00	O	O	X
K180	0.24	180	300	20.50	X	O	O
K200	0.26	200	300	23.00	X	O	O
K220	0.29	220	300	26.00	X	O	O
K240	0.31	240	300	27.00	X	O	O
KA180	0.21	180	440	22.00	O	O	X
KA210	0.25	210	530	30.50	O	O	X
KA300	0.36	300	530	41.00	O	O	X
KLB175	0.22	175	650	25.00	O	O	X
KLB225	0.29	225	650	36.00	O	O	X
KLB250	0.32	250	650	41.00	O	O	X
KLB300	0.37	300	650	47.00	O	O	X
S120	0.19	120	270	9.00	X	O	O
S240	0.38	240	270	25.00	X	O	O
SC240	0.31	240	720	29.00	O	X	X
SCPI27	0.18	127	650	20.00	X	X	O
SCPI50	0.21	150	650	26.00	X	X	O
SCPI75	0.24	175	650	30.00	X	X	O
SK180	0.22	180	440	22.00	O	O	X
SK210	0.25	210	530	30.50	O	O	X
SK300	0.36	300	530	41.00	O	O	X
WLK210	0.26	210	680	24.00	O	X	X
WT180	0.24	180	480	20.00	O	X	X
WT200	0.27	200	480	22.00	O	X	X

그림(3-60)은 골판지 상자의 외치수 표시형식이며, 그림(3-61)은 골판지 상자의 내치수 표시형식이다. 표(3-23) 및 (3-24)는 나주, 천안, 안성 등에서 수출하는 배의 골판지 포장상자의 각 원지에 대한 물성과 외포장재의 제원이다.

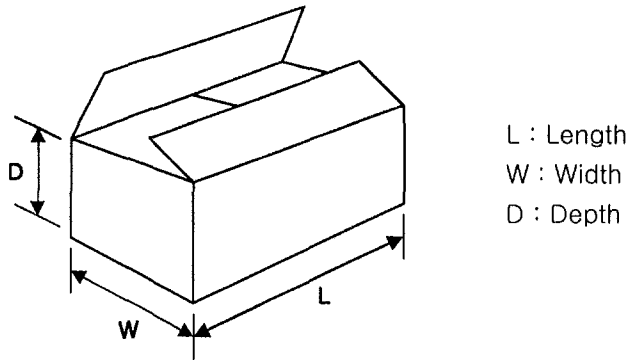


그림 3-60. 골판지 상자의 외치수 표시

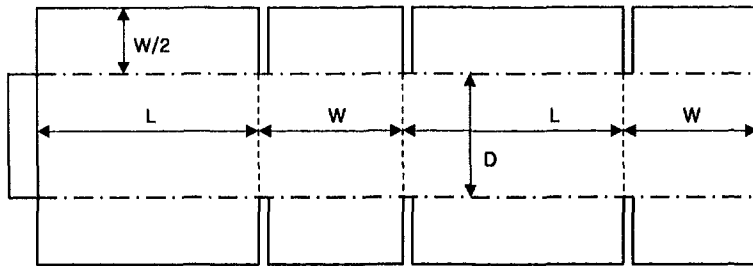


그림 3-61. 골판지 상자의 내치수 표시

표 3-23. 수출용 배 포장상자의 제작에 사용된 골판지원지에 대한 물성분석 결과

원지종류	두께 (mm)	평량 (g/m ²)	링크라쉬 (kg)	비압축강도 (kg · m ² /g)	파열강도 (kg/cm ²)	비파열강도 (kg/cm ² · m ² /g)
KA210	0.25	210	21.20	10.10	6.20	2.95
K200	0.26	200	23.00	11.50	3.40	1.70
K240	0.31	240	27.00	11.25	4.36	1.82
S120	0.19	120	8.70	7.25	1.00	0.83
WLK210	0.26	210	24.00	11.43	4.80	2.29

표 3-24. 수출용 배 포장상자의 대표적인 외포장재 제원

포장중량(kg)	외포장재료	상자형태	원지배합	치수(mm)
5	DW 골판지	A-1형	WLK210/K200/K200/K200/KA210	475×335×125
10	DW 골판지	A-1형	WLK210/K240/K200/K240/KA210	485×345×220
15	DW 골판지	C-3형	WLK210/K200/S120/K200/KA210 KA210/K200/K200/K200/KA210	535×390×230 520×380×225

또한, 수출용 배의 포장중량은 5kg과 10kg이 대부분을 차지하고 있으나 15kg, 5lb 포장중량도 전체수출량의 약 20%을 차지하고 있으며, 사용되는 외포장재는 골판지 상자이었으며, 포장중량 10kg 이하에서는 A-1형인 RSC형 상자, 포장중량이 15kg에서는 한쪽면 날개가 없는 A-1형 상자 2개를 서로 덮어 씌운 C-3형의 상자가 대부분 사용되고 있었다.

이처럼 포장중량에 관계없이 일률적으로 이중양면골판지(DW)를 사용하는 점, 포장중량이 큰 15kg에서 C-3형의 골판지를 적용하는 점, 또한 상자의 내부에 측면 골판지 패드를 대는 점은 모두 컨테이너내의 저온·다습한 조건에서의 상자의 압축강도 열화로 인한 압상과를 방지하기 위한 방법들인 것으로 분석되었다. 또한 조사된 수출용 배의 경우에는 펠리트에 적재되어 운송되지 않기 때문에 표(3-24)의 외포장재 치수의 경우에는 T₁₁형 표준 펠리트에 적재할 경우 펠리트의 적재효율은 약 65~85% 정도로 낮음을 알 수가 있었다.

표 3-25. 골판지의 종류 및 품질기준

종 류		기호	파열강도 (kg/cm ²)	수직압축강도(kg/50mm)			수분 (%)
				A 골	B 골	C 골	
양면 골판지	1종	S-1	6.5이상	17.4이상	16.8이상	17.1이상	10.0 ±2.0
	2종	S-2	8.0이상	18.0이상	17.5이상	17.7이상	
	3종	S-3	12.0이상	26.1이상	25.4이상	25.7이상	
	4종	S-4	16.0이상	36.4이상	35.6이상	36.0이상	
이중양면 골판지	1종	D-1	8.0이상	AB 골		BC 골	
	2종			25.4이상	25.2이상		
	3종	D-2	10.0이상	28.3이상	28.0이상		
	4종	D-3	14.0이상	37.8이상	37.4이상		
		D-4	18.0이상	46.29이상	45.7이상		

컨테이너로 수송되는 수출 포장용 골판지의 파열강도 및 수직압축강도는 표(3-25)와 동일하며, 일반 수출용 골판지의 파열강도 및 압축강도는 KS A1531의 포장제한 조건에 맞는 종류의 1단계 상위 종류를 적용하도록 규정하고 있다.

또한, KS A1531(외부포장용 골판지 상자)에 의하면 골판지상자의 종류는 사용하는 골판지의 종류에 따라서 표(3-26)에서와 같이 8종류로 나누고 컨테이너로 수송되는 수출용 골판지상자의 제한조건은 표(3-26)과 동일하고, 일반 수출용 골판지상자의 포장제한조건은 표(3-26)의 포장제한 조건에 맞는 종류의 1단계 상위 종류를 적용하여야 한다고 규정하고 있으며, 여기서 최대 안쪽치수는 길이(L), 폭(W) 및 높이(D)의 안쪽치수 합의 최대치를 표시하고 있다.

표 3-26. 골판지상자의 종류

종 류		기호	사용하는 골판지	포장제한	
				최대 총무게(kg)	최대 안쪽치수(cm)
양면 골판지상자	1종	CS-1	양면골판지 1종	10	120
	2종	CS-2	양면골판지 2종	20	150
	3종	CS-3	양면골판지 3종	30	175
	4종	CS-4	양면골판지 4종	40	200
이중양면 골판지상자	1종	CD-1	2중 양면골판지 1종	20	150
	2종	CD-2	2중 양면골판지 2종	30	175
	3종	CD-3	2중 양면골판지 3종	40	200
	4종	CD-4	2중 양면골판지 4종	50	250

표(3-27)은 농산물표준출하규격에서 제정하고 있는 배 골판지상자의 포장치수, 팰리트 적재모형 및 적재효율에 대한 내용이며, 출하규격에서는 출하 중량을 5, 7.5, 10 및 15kg으로 지정하고 있다. 그러나 조사되었던 수출용 배의 출하규격은 5, 10kg이 대부분이며, 현지 교민에 의해서 소비되었던 경향이 이제는 수출 현지인의 소비에 초점을 맞추어 좀더 소량 포장출하의 경향이 나타나고 있다.

표 3-27. 농산물표준출하규격에 의한 배 골판지상자의 포장치수, 팰리트 적재모형 및 적재효율

중량 (kg)	포장치수 (L×W×D)	팰리트 형식	팰리트 적재모형	팰리트 적재수	팰리트 적재효율(%)
5(산물)	314×235×230±20%	T ₁₁	블록적재	16	97.6
5(1단 속받침틀)	440×330×130±20%	T ₁₁	블록적재	8	96.0
10(2단 속받침틀)	440×330×240±20%	T ₁₁	블록적재	8	96.0
15(2단 속받침틀)	550×366×240±20%	T ₁₁	블록적재	6	99.8
7.5(1단 속받침틀)	510×360×130±20%	T ₁₁	블록적재	6	91.0
15(2단 속받침틀)	510×360×240±10%	T ₁₁	블록적재	6	91.0

나. 골판지 상자의 압축강도 추정식

포장표준화는 치수표준화와 강도표준화가 핵심 내용이다. 물류과정과의 연관성 및 종합적인 원가절감 측면을 고려할 때 치수 표준화가 보다 중요한 요소이지만 원가 절감면에서 볼 때 치수표준화는 종합적인 물류시스템의 합리화가 달성되어야만 그 효과가 나타나기 때문에 오랜 시일이 걸릴 수 있으나, 강도표준화는 주로 포장재료의 적정화와 관련이 있으므로 원가절감 효과가 빠르게 나타나는 것이 특징이다.

포장강도의 표준화 대상은 주로 길포장상자 즉, 골판지상자가 주 대상이 되며, 속포장, 날포장의 재질적정화도 강도표준화의 중요 영역이나 내용제품의 종류나 특성에 따라 각각 달라지기 때문에 사정에 따라 표준을 정하여야 한다.

1) 강도표준화

골판지 상자의 강도는 압축강도와 파열강도로 크게 나뉘어진다. 압축강도는 상자가 여러단 적재되어 있을 경우 위로부터 내리 누르는 힘에 견디는 정도를 kgf 로 나타낸 것이다. 파열강도는 외부로부터 강한 충격을 받거나 상자의 변에 집중 하중이 걸릴 경우 찢어지거나 파손되지 않고 견디는 힘을 kgf/cm² 단위로 나타 낸 것이다.

골판지상자의 주요기능을 볼 때 파열강도보다는 압축강도가 보다 중요한 요소 가 된다. 하지만 KS A1502(골판지의 품질기준)와 KS A1531(골판지 상자의 품질 기준)을 보면 압축강도보다는 파열강도 위주로 설명되어 있어 상자의 강도기준을 파열강도에 두고 있다. 이 경우 압축강도 측면에서는 과잉포장이 되기 쉬우므로 특별한 사정이 없는 한 압축강도를 기준으로 관리하여야 할 것이다.

골판지 상자의 설계에 있어서 압축강도의 추정은 매우 중요한데 그것은 상자 설계시 완성된 상자의 강도를 미리 추정할 수 없으면 골판지의 재질구성을 결정 할 수 없기 때문이다. 골판지 상자의 압축강도를 추정하는 방법은 다음과 같다.

2) 일반 골판지 상자의 압축강도 계산식

현재 알려져 있는 골판지 상자의 압축강도 추정식은 Kellicutt식 및 Wolf식 등 이 있고, 골판지 상자의 압축강도를 계산으로 구하는 경우, 중요한 것은 사용하는 원지의 Ring Crush 강도 및 두께를 정확하게 파악해야 정확한 값을 산출할 수 있다.

가) Kellicutt식

이 식은 미국의 Forest Products Laboratory의 Kellicutt 등에 의해 발표된 추 정식이다.

$$P = P_x \left(\frac{(aX_2)^2}{\left(\frac{Z}{4}\right)^2} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot J \cdot Z \quad \text{----- (3-17)}$$

- 여기에서, P = 골판지상자의 압축강도(lbs)
- aX_2 = 골(flute)에 의한 정수
- Z = 상자의 주변장(=(장+폭)×2)(in)
- J = 상자의 골(flute)에 의한 정수
- P_x = 상자에 사용하는 구성원지(표면라이너, 골심지 및 이면라이너)의 압축강도(1인치당의 Ring Crush 강도, RC)를 합산한 총합 Ring Crush 강도치(lbs/in)

표 3-28. aX₂와 J의 정수

골(Flute)	aX ₂	J
A	8.36	0.59
B	5.00	0.68
C	6.10	0.68
AB	13.36	0.55

Kellicutt식을 사용하여 압축강도를 구하고자 하는 경우에는

- 만들고자 하는 상자의 치수를 알아야 한다.
- 사용하는 원지의 제조방향과 Ring Crush 강도를 정확히 알아야 한다.
- 사용하는 골판지와 골의 종류를 결정해야 한다.

이 식은 원지의 횡방향 Ring Crush와 상자의 주변길이에서 산출하는 것으로, 골판지 상자를 구성하는 원지의 Ring Crush를 파악해 두지 않으면 산출할 수 없기 때문에, 우리나라와 같이 원지의 종류, 골판지의 구성이 다양해질 경우, 사용하기 쉬운 식이다.

나) Wolf식

Murray Wolf가 Mckee 식에, 상자의 장폭 비율, 상자 높이의 요소를 보정하여 개량한 추정식이다. 이 식은 사용하는 골판지의 종방향의 수직 압축강도와 골판지 두께를 기본물성으로 하고, 만들려고 하는 상자의 주변장, 가로·세로 비율 및 상자의 높이를 구조상의 요인으로 해서 상자의 압축강도를 계산하는 식을 만들어 발표하였다.

Wolf식은 Mckee 식과 같이 골판지 원지의 수직압축강도를 사용하여 상자의 압축강도를 산출한다. 이 식은 상자의 장/폭 비율 및 상자높이의 영향을 보정하고 있는 것이 특징이다.

$$P = \frac{5.2426 \cdot F \cdot Z^{0.5} (0.3228A - 0.1217A^2 + 1)}{D^{0.041}} \quad \text{----- (3-18)}$$

- 여기서, P = 상자의 압축강도(lb)
- A = 상자의 장/폭 비율(L/W)
- E = 골방향의 수직압축강도(End crush)(lb/in)
- D = 상자의 높이(in)
- H = 원지의 두께(in)
- Z = 상자의 주변장(in)
- F = 상수(= $\sqrt{H} \times E$)

Kellicutt 및 Wolf식에서의 장(L), 폭(W), 고(D)는 상자의 외치수를 의미하고 있으며, 우리나라의 경우에는 한국공업규격(KS)상 상자치수는 안치수 표시로 규정하고 있어 다음과 같은 외치수 환산 표준공식을 이용하여야 한다.

$$\begin{aligned} \text{(양면골판지상자) A Flute} &: (L+6)*(W+6)*(D+9) \\ &\text{B Flute} : (L+4)*(W+4)*(D+6) \\ \text{(이중양면골판지상자)} &: (L+9)*(W+9)*(D+18) \end{aligned}$$

다. 골판지 상자의 압축강도를 최대화 하는 폭/길이 비

동일한 조건, 즉 상자의 체적이 일정할 때 압축강도를 최대화 하는 외형조건을 분석하기 위하여 표(3-29)와 같이 상자의 치수비율에 따른 압축강도를 측정하였다. 분석에 적용된 골판지 상자는 RSC(Regular Slotted Container)형 이중양면골판지(DW)로 원지배합은 KA180/S120/K200/S120/K200이며, 상자의 압축실험은 ASTM D642를 참고하여, 하중재하속도는 $12.7 \pm 2.5 \text{mm/min}$ 로 하였다. 실험전 상자를 온도 $23 \pm 1^\circ\text{C}$, 상대습도 50%로 잘 조성된 대형 항온항습기 내에서 48시간 이상 충분히 평형시켰으며, 상자의 각 형태별로 5반복 실험하여 그 평균값을 취하였다. 그림(3-62)은 상자에 대한 압축실험 광경을 나타낸 것이며, 표(3-30)은 일정한 체적과 높이에서 상자를 압축강도를 최대화 하는 폭/길이 비의 결과값이다.

표 3-29. 상자의 압축강도 실험에 적용된 외형치수($V=27,000\text{cm}^3$)

구분 \ W/L	상자높이, 20cm				상자높이, 30cm			
	0.4	0.6	0.8	1.0	0.4	0.6	0.8	1.0
L	58.10	47.44	41.08	36.74	47.44	38.73	33.54	30.00
W	23.24	28.46	32.86	36.74	18.97	23.24	26.83	30.00

구분 \ W/L	상자높이, 40cm				상자높이, 50cm			
	0.4	0.6	0.8	1.0	0.4	0.6	0.8	1.0
L	41.08	33.54	29.05	25.98	36.74	30.00	25.98	23.24
W	16.43	20.13	23.24	25.98	14.70	18.00	20.79	23.24

구분 \ W/L	상자높이, 60cm				상자높이, 70cm			
	0.4	0.6	0.8	1.0	0.4	0.6	0.8	1.0
L	33.54	27.39	23.72	21.21	30.05	25.36	21.96	19.64
W	13.41	16.43	18.97	21.21	12.42	15.21	17.57	19.64

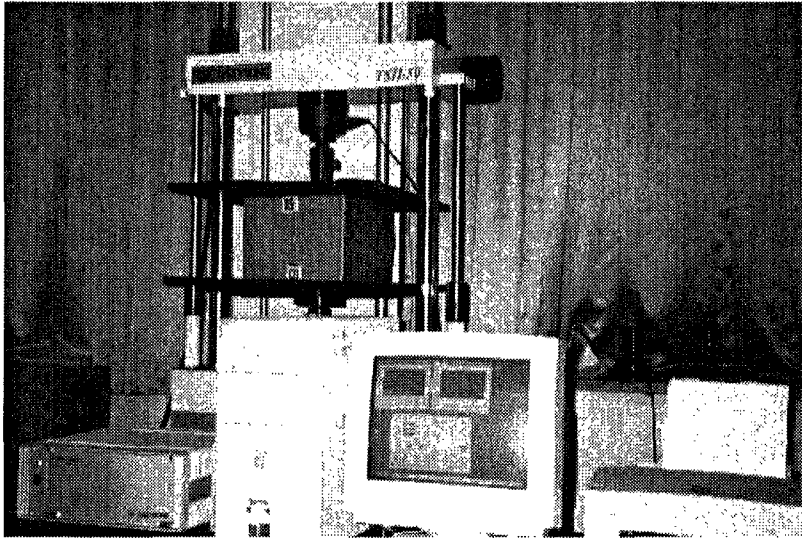


그림 3-62. 상자에 대한 압축강도 실험 광경

표 3-30. 골판지 상자의 압축강도를 최대로 하는 폭/길이 비

구분 높이, cm	체 적, cm ³														
	10,000	20,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000
20	0.566	0.543	0.531	0.524	0.518	0.514	0.511	0.508	0.505	0.503	0.502	0.500	0.499	0.497	0.496
30	0.613	0.585	0.570	0.560	0.553	0.547	0.542	0.538	0.535	0.532	0.529	0.527	0.525	0.523	0.521
40	0.648	0.619	0.603	0.592	0.583	0.576	0.571	0.566	0.562	0.558	0.555	0.552	0.550	0.547	0.545
50	0.675	0.647	0.630	0.618	0.609	0.602	0.596	0.591	0.586	0.582	0.579	0.575	0.573	0.570	0.567
60	0.697	0.670	0.653	0.641	0.632	0.624	0.618	0.613	0.608	0.604	0.600	0.596	0.593	0.590	0.588
70	0.713	0.688	0.672	0.660	0.651	0.643	0.637	0.632	0.627	0.622	0.618	0.615	0.612	0.609	0.606

표(3-30)으로부터 상자의 체적에 대하여 압축강도를 최대로 갖는 상자의 외형 조건을 찾기 위해서는 이들 자료에 대한 수학적 모형화가 필요하다. 따라서 통계 프로그램인 DataFit(Ver. 6.0)을 이용하여 모델링한 결과를 그림(3-63)에 나타내었으며, 이에 대한 수학적 모형은 표(3-31)과 같다. 이 수학적 모형을 이용하여 골판지 포장상자의 치수설계에 적용하였다.

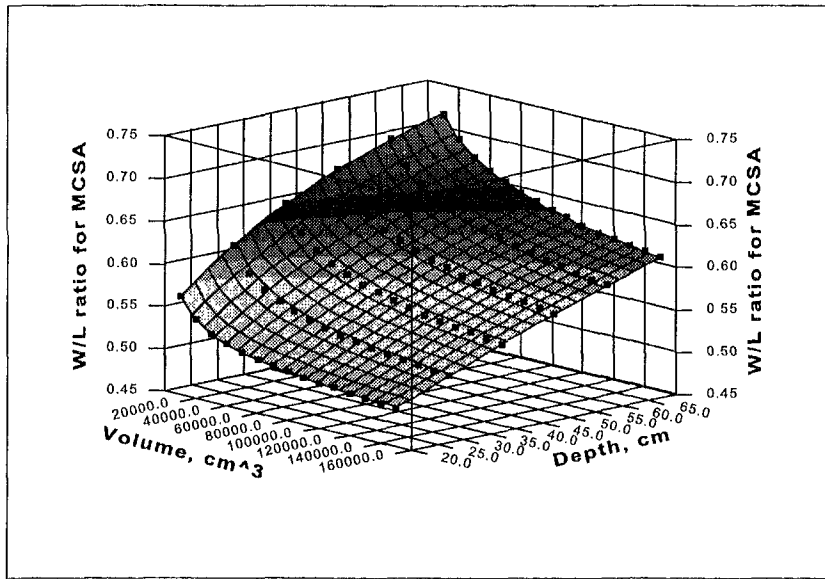


그림 3-63. 상자의 압축강도를 최대로 하는 폭/깊이 비

표 3-31. 상자의 압축강도를 최대로 하는 폭/깊이 비 모형

Variables	$WL = a \times \log(D) + c \times \log(V) + d \times \log(D)^2 + e \times \log(V)^2 + f \times \log(D) \times \log(V) + g \times \log(D)^3 + h \times \log(V)^3 + i \times \log(D) \times \log(V)^2 + j \times \log(D)^2 \times \log(V)$			
	Coefficients	Standard error	t-value	R ²
a	0.4921	0.1837	2.6791	0.9999
b	0.2177	0.0589	3.6956	
c	-0.0505	0.0439	-1.1507	
d	-0.0109	0.0126	-0.8662	
e	0.0037	0.0039	0.9350	
f	-0.0131	0.0053	-2.4890	
g	-0.0079	0.0011	-7.4423	
h	0.0004	0.0001	2.9920	
i	-0.0037	0.0001	-18.5892	
j	0.0109	0.0004	25.2171	

※WL : W/L ratio, D : Depth(cm), V : Volume(cm³)

라. 골판지 상자의 강도 및 치수설계 알고리즘

수출용 배의 골판지 상자의 적정 포장 설계를 위한 컴퓨터 프로그램을 개발하기 위하여 현재 수출용 배의 골판지 상자의 원지를 조사하여, 개발된 상자의 압축강도를 최대로 하는 폭/깊이 비 모형식 및 여러가지 원지의 배합을 통하여 같

은 강도설계수준에서의 원지의 배합, 최적가격 수준 및 골판지 상자의 외치수를 설계하고자 하였다. 그런 후에 포장상자의 적정치수 및 원지 배합에 따른 강도설계를 하기 위하여 Kellicutt식 및 Wolf식을 이용하여 강도설계를 하였다. 또한 T₁₁형 표준 펠리트를 선정하여 골판지 상자를 설계하기 위해서는 펠리트 적재효율이 높으며, 표준 펠리트에 적합한 여러개의 치수(길이 및 폭)를 선정하여 적정 강도설계를 위한 상자의 높이를 추정하고자 하였다. 그림(3-64)은 골판지 상자의 적정 강도에 대한 원지의 배합, 가격 및 상자의 외치수 설계를 위한 흐름도이며, 그림(3-65)는 골판지 상자의 강도설계를 위한 흐름도(flow chart)이다. 양면골판지(SW) 및 이중양면골판지(DW)에 대하여 강도설계를 적용하였다.

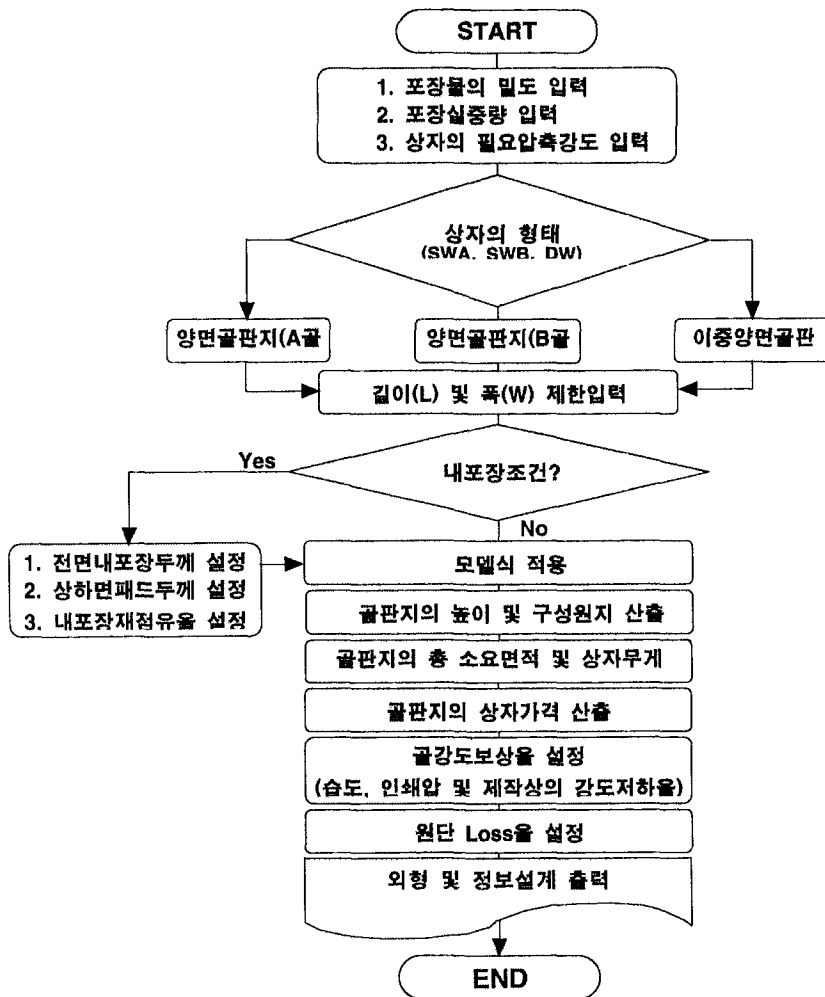


그림 3-64. 골판지 상자의 외형설계를 위한 흐름도

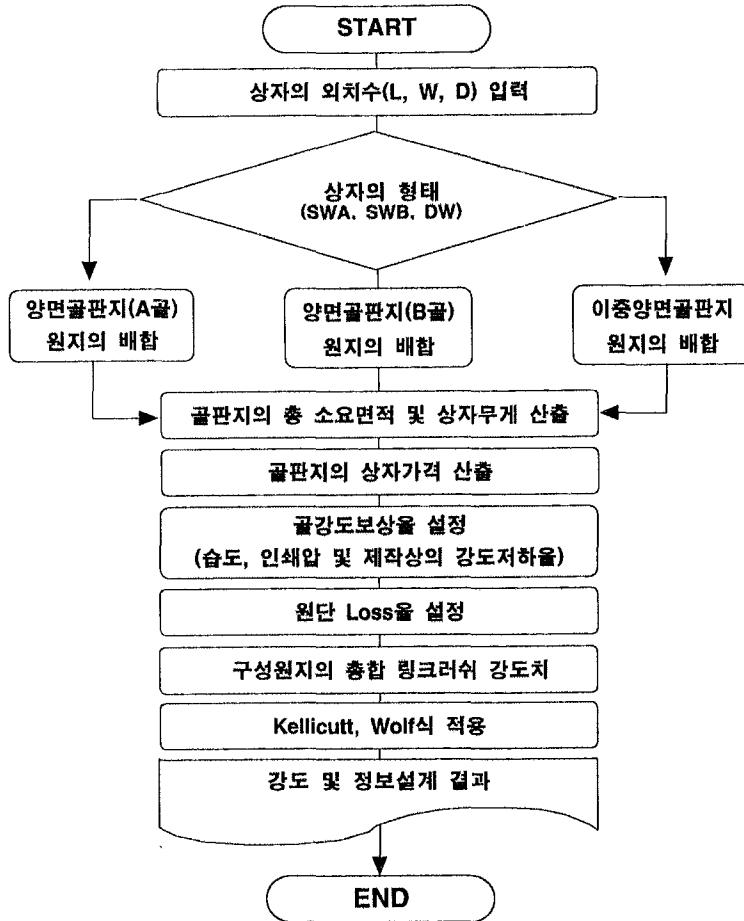


그림 3-65. 골판지 상자의 강도설계를 위한 흐름도

1) 골판지 상자의 강도 및 치수설계 컴퓨터 프로그램

골판지 상자의 강도, 치수 및 구조설계 컴퓨터 프로그램을 위하여 조사된 골판지 원지에 대한 물성값들을 데이터베이스화 하였으며, 수출용 배에 적용 가능한 골판지만을 선정할 수 있도록 하여 원지 배합에 대한 프로그램 실행의 시간을 단축하고자 하였다.

표(3-32)는 수출용 배의 골판지 포장상자의 강도, 치수 및 구조설계를 위한 입력값을 나타내었다. 각 포장상자의 중량에 대하여 팰리트 적재시 요구되는 필요 압축강도(농산물출하규격집)와 팰리트 적재효율을 극대화하기 위한 길이 및 폭의 값을 입력하는 L, W 제한설계 방법과, 적재효율을 고려하지 않고 주어진 압축강도 및 L, W 제한설계시의 체적을 입력하여 상자가격을 최소로 하는 상자의 내치수(L, W, D)와 원지배합을 찾는 자유설계 방법으로 상자를 설계하도록 하였다.

또한 인쇄압, 제작상 강도 저하율 및 원단 Loss율을 범위내에서 최대치를 입력하였다. 그리고 전면 내포장 두께, 상하면패드두께 및 내포장재 점유율의 내포장 조건에 대하여 고려하지 않으므로 불필요한 보강재의 사용을 최소화 하고자 하였다.

표 3-32. 골판지 포장상자의 강도, 치수 및 구조설계를 위한 입력값

포장중량 (kg)	필요압축강도 (kgf)	길이(L)×폭(W) (mm×mm)	인쇄압 강도 저하율(%)	제작상 강도 저하율(%)	원단 Loss율 (%)
5	350	314×235	25	8	12
		Free			
7.5	550	510×360	25	8	12
		Free			
10	400	440×330	25	8	12
		Free			
15	550	550×366	25	8	12
		Free			

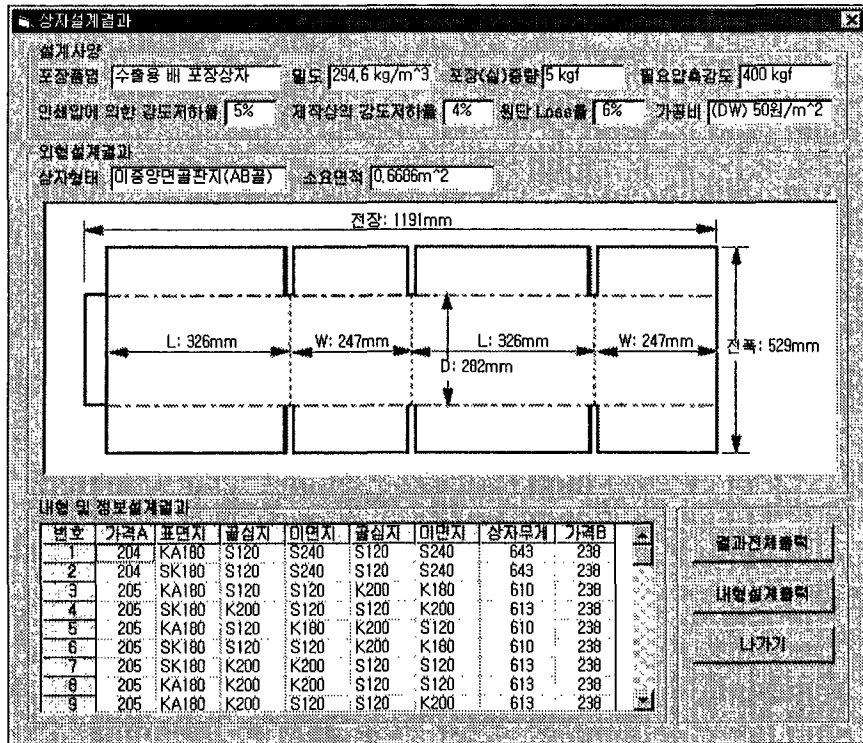


그림 3-66. 골판지 포장상자의 내형 및 정보설계 결과화면

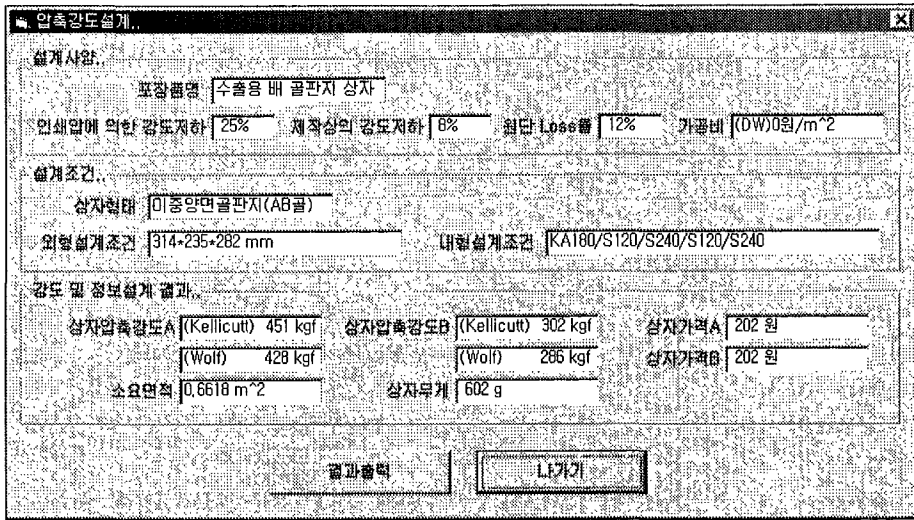


그림 3-67. 골판지 포장상자의 강도설계 결과화면

그림(3-66) 및 (3-67)은 골판지 포장상자의 강도설계 결과화면들이고 표(3-33)은 수출용 배의 골판지 포장상자의 강도, 치수 및 구조설계의 결과값으로 각 포장중량별 원지배합, 압축강도(Wolf식) 및 펠리트 적재효율을 나타내었다. 여기서 원지의 배합은 골판지의 가격을 최소화 할 수 있는 원지 배합이다. 또한 상자의 길이와 폭을 제한한 외형설계의 경우 펠리트의 적재효율이 90%이상으로 유니트로드 시스템의 적용에 적합한 것으로 사료되었다. 하지만 길이, 폭 및 높이에 대한 자유 설계시 적재효율이 낮음을 알 수가 있었다.

표 3-33. 골판지 포장상자의 원지배합 및 강도설계 결과값

	포장중량 (kg)	원지배합(DW) (표면지/골심지/이면지/골심지/이면지)		압축강도(kgf) (wolf식)	적재효율 (%)
5	L, W 제한설계	KA180/S120/S120/K180/A180		467	96.0
	Free 설계	KA180/K200/S120/S120/S240			79.2
7.5	L, W 제한설계	SK180/K180/K180/K220/K180		733	91.0
	Free 설계	SK120/S240/S240/K200/S240			86.2
10	L, W 제한설계	SK180/S120/S120/K220/K180		532	96.0
	Free 설계	KA180/S120/K180/K220/S120			85.5
15	L, W 제한설계	KA180/K200/S240/K180/K180		734	99.8
	Free 설계	KA180/K220/S240/K180/K180			79.3

표(3-34)는 수출용 배의 골판지 포장상자의 원지배합 및 강도설계 결과값을 나타내었다. 표(3-32)의 설계된 결과값과 비교하였을 때, T₁₁형 표준 펠리트의 적재

효율이 매우 낮음을 알 수가 있었으며, 5 및 10kg 포장중량의 경우에는 과대포장에 의해서 필요압축강도의 값이 설계된 포장상자보다 높은 것을 알 수가 있었다.

표 3-34. 조사된 수출용 배의 골판지 포장상자의 원지배합 및 강도설계 결과값

포장중량 (kg)	원지배합(DW) (표면지/골심지/이면지/골심지/이면지)	필요압축강도(kgf) (wolf식)	적재효율 (%)
5	WLK210/K200/K200/K200/KA210	526	78.9%
10	WLK210/K240/K200/K240/KA210	563	83.0%
15	WLK210/K200/S120/K200/KA210	494	69.0%
	KA210/K200/K200/K200/KA210	565	65.3%

표(3-35)는 골판지 포장상자의 치수 및 구조설계 결과값으로 각 포장중량별 치수, 골판지 소요면적, 상자중량 및 상자가격을 나타내었다. 여기서 상자가격은 이중양면골판지의 가공비를 포함시키지 않은 가격으로 원지의 가격만으로 산출된 가격이다.

표 3-35. 골판지 포장상자의 치수 및 구조설계를 위한 결과값

포장중량 (kg)	길이(L)×폭(W)×높이(D) (mm×mm×mm)	소요면적 (m ²)	상자중량 (g)	원지가격 (원)	적재효율 (%)	
5	L, W 제한설계	314×235×258	0.6319	529	186	97.6
	Free 설계	394×233×235	0.6848	618	213	79.2
7.5	L, W 제한설계	510×360×150	1.0196	1041	376	91.0
	Free 설계	431×255×245	0.7960	956	340	86.2
10	L, W 제한설계	440×330×265	1.0577	943	334	96.0
	Free 설계	498×294×267	1.0260	916	324	85.5
15	L, W 제한설계	550×366×264	1.3259	1382	488	99.8
	Free 설계	554×328×294	1.2660	1351	477	79.3

표 3-36. 조사된 수출용 골판지 포장상자의 치수 및 구조설계를 위한 결과값

포장중량 (kg)	길이(L)×폭(W)×높이(D) (mm×mm×mm)	소요면적 (m ²)	상자중량 (g)	원지가격 (원)	적재효율 (%)
5	475×335×125	0.8578	934	378	78.9%
10	485×345×220	1.0789	1290	510	83.0%
15	535×390×230	1.3159	1339	613	69.0%
	520×380×225	1.2502	1361	578	65.3%

표(3-36)은 현재 사용되고 있는 수출용 골판지 포장상자의 강도 및 치수에 대한 결과값을 나타내었다. 설계된 골판지 포장상자에 비하여 소요면적, 상자중량

및 상자의 가격이 높게 나타났으며, 설계된 상자를 사용함으로써 과대포장의 방지 및 상자가격의 하락에 의한 경제성에 대한 기여가 매우 클 것으로 사료되었다.

3. 배 골판지 포장상자의 진동실험

포장이란 유통단계에서 제품이 파손되거나 손상되지 않도록 보호하는 수단이며 원가절감과 생산성 향상을 통한 상품성의 제고는 물론 부가가치 증대 및 매출신장에도 큰 영향을 미친다. 더욱이 포장재료의 재활용, 환경친화성 신소재 개발 등에 따른 포장의 중요성에 대한 인식의 전환이 요구된다. 최근 환경보호 문제가 전 세계적으로 확대되면서 포장폐기물 처리의 중요성이 새로이 인식되어, 포장완충재의 주종을 이루던 플라스틱계 재료의 사용이 환경오염과 관련하여 엄격히 규제됨에 따라 환경친화력이 우수한 지류완충재의 사용이 증가하고 있다. 골판지 포장상자에 포장되어 운송되는 농산물의 손상은 충격과 진동에 의한 것이 대부분을 차지하고 있다. 여기서 충격손상은 사람의 적재 및 하역 작업시 발생하는 낙하에 의한 것이며, 팰리트 적재에 의한 운송이 증가됨에 따라 인력에 의한 작업은 줄어들어 충격에 의한 손상이 감소하고, 진동에 의해서 발생하는 손상이 증가하게 된다. 수출용 배 골판지 포장상자의 팰리트 적재시 포장상자는 수송, 보관 및 하역시 발생하는 진동에 의한 손상 및 압축하중의 변화에 대응하도록 설계되지 않아 유통시 적재된 상자들이 붕괴되어 배의 주요 손상 원인이 되고 있다. 농산물 골판지 상자의 보관시 발생하는 온·습도 등 주위 환경의 변화와 저장기간, 적재방법 등의 물리적 변화에 따른 포장강도의 변화는 지금까지 많이 연구되어 왔지만 유통중 발생하는 진동에 의한 농산물의 손상연구는 전무한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 배 골판지 포장상자의 정현파 진동실험을 위한 계측시스템 구성 및 제어·계측 컴퓨터 프로그램을 개발하여 단일상자 및 적재된 상자에 대한 배 골판지 포장상자의 진동특성을 계측하고 배의 손상여부를 분석하고자 하였다.

가. 실험장치

일반적으로 유압가진기의 경우에는 전자식 가진기에 비해 높은 주파수 운동을 할 수 없다는 단점이 있지만 전자식 가진기가 제한할 수 없는 저주파수 약 30Hz 이하의 운동 및 대용량의 가진력을 발생시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 본 실험에서는 그림(3-68) 및 (3-69)에서 보는 바와 같은 유압가진기를 사용하였다. 함수발생기에서 발생하는 정현파의 입력주파수 및 입력전압을 컴퓨터와

의 HP-IB통신을 이용하여 제어하였으며, 이 정현파를 유압가진기의 서보 콘트롤러(servo controller)에 입력하여 진동테이블을 제어하였다. 또한 가속도계의 진동 응답신호를 로우패스 필터(low-pass filter)가 장착된 앰프(amplifier)를 통하여 오실로스코프에 출력하도록 하였다. 또한 오실로스코프와 컴퓨터와의 RS-232C통신을 이용하여 매초 진동응답신호의 진폭(zero-to-peak)을 측정하여 컴퓨터에 출력한 후에 그 데이터를 저장하도록 하였다.

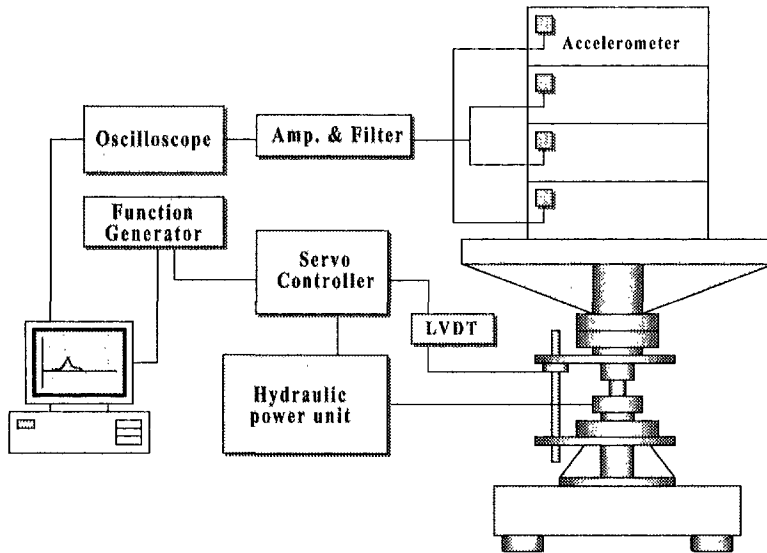
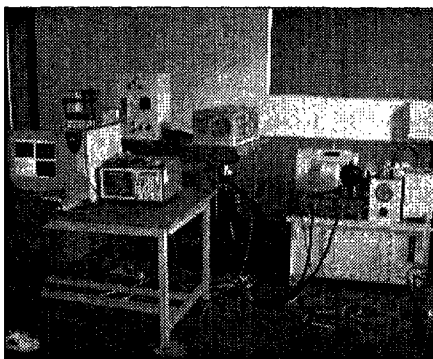


Fig. 3-68. Schematic diagram of the vibration test system.



(a) Single container resonance test



(b) Vertical stack resonance test

Fig. 3-69. General view of vibration test for the corrugated fiberboard box of the pear.

Table 3-37. Specification of vibration test and measuring system

Items	Specification	Remarks
Hydraulic vibration exciter	Frequency range : max. 300 Hz	Engineering-Korea HVT-2
	Weight range : max. 700 kgf	
	Stroke range : ± 25 mm	
LVDT	Linear range : ± 1.0 inchs	Trans-Tek 1000-0014
	Standardized ± 5 VDC output	
Accelerometer	Piezo-type, 1000 G	B&W Sensing Tech.
Function Generator	15 MHz	HP-33120A
Oscilloscope	500 MHz, 4 channels	HP-54542A
Amp. and low-pass filter	20, 45, 60 dB, 0.8~20 kHz	M67-1F
Computer	RAM 32 MHz	Pentium-166

나. 실험방법

본 실험에 사용된 배 골판지 포장상자는 농산물 포장용 골판지인 이중양면골판지(double wall corrugated fiberboard) 상자로서, 상자의 규격은 $520 \times 350 \times 250$ (mm)이었으며, 15 kg의 RSC(Regular Slotted Container)형 배 골판지 포장상자이었다. 또한 습기에 의한 상자의 강도저하를 방지하기 위하여 외부 전면에 코팅되었으며, 양면에 두 개의 손잡이(handhole)가 있는 골판지 포장상자를 사용하였다. ASTM에서는 포장상자의 진동실험에 정현파(sinusoidal) 진동실험과 랜덤(random) 진동실험을 규정하고 있다. 일반적으로 정현파 진동실험은 실험실내에서 수행되는 실험이며, 랜덤 진동실험은 운송중의 차량의 진동에 대한 실험을 하기 위하여 실시되고 있다. 본 실험에서는 정현파 진동실험을 통하여 골판지 포장상자의 피크주파수 및 피크가속도를 측정하기 위하여, 단일 포장상자에 대한 정현파 진동실험과 적재된 골판지 포장상자의 진동실험을 하였다. 단일 포장상자의 진동실험시에는 상자가 움직이지 않도록 고정하였으며, 적재된 골판지 상자의 진동 실험시에 10mm의 적재된 상자의 수평이동 허용범위를 제한하기 위하여 수평이동 방지 가이드를 설치하였다. 또한 실험은 3~100Hz의 스위프 주파수(sweep frequency) 범위에서 실험하였으며, 기차와 트럭의 가속도 수준을 기준으로 0.25G(single container resonance test) 및 0.5G(vertical stack resonance test)의 가속도 수준을 유지하도록 입력주파수에 대한 입력전압을 조절하여 진동테이블의 변위(displacement)를 제어하였으며, 스위프율(sweep rate)은 1octave/min로 실험을 수행하였다.

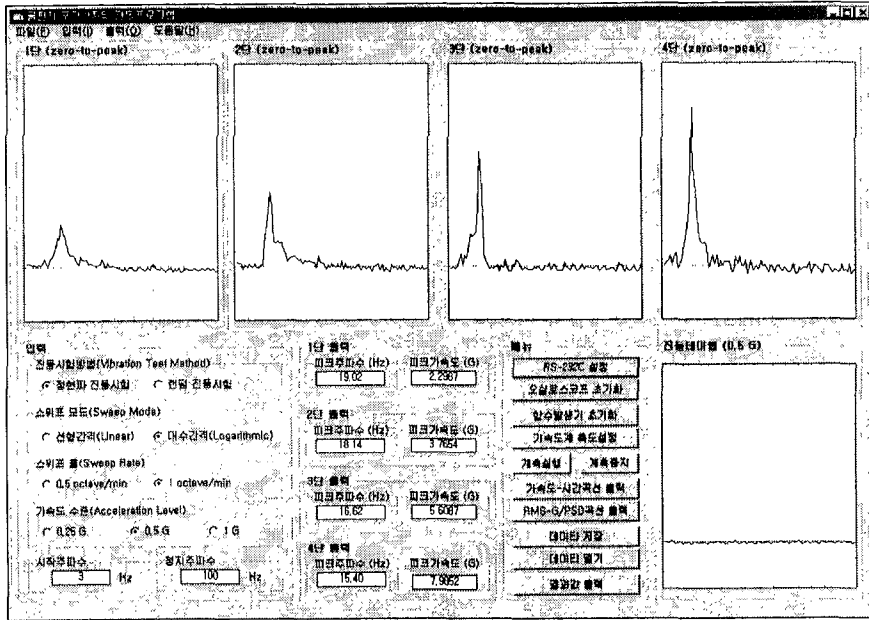


Fig. 3-70. Computer program for vibration test of the corrugated fiberboard box.

1) 진동특성 계측 및 분석용 컴퓨터 프로그램

배 골판지 포장상자의 진동특성을 계측 및 분석할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 개발하였다. 그림(3-70)은 프로그램의 메인화면으로 진동방법, 스위프 모드(sweep mode), 스위프율(sweep rate), 가속도 수준(acceleration level) 및 스위프 주파수(sweep frequency)를 입력할 수 있도록 작성하였으며, RS-232C 통신의 설정, 함수발생기 및 오실로스코프의 인터페이스 설정을 할 수 있도록 작성하였다. 또한 계측된 가속도값을 출력하여 피크주파수 및 피크가속도를 계측할 수 있도록 작성하였다.

2) 유압가진기 진동테이블의 성능실험

가) 입력주파수에 대한 진동응답신호의 FFT(Fast Fourier Transform)

골판지 포장상자의 진동실험을 위한 유압가진기의 진동테이블에 대하여 성능 실험을 하였다. 그림(3-71)은 함수발생기에서 출력되는 10, 20, 30, 40 및 50Hz의 주파수를 진동테이블의 서보 컨트롤러에 입력하여 진동테이블에 부착된 가속도 계로부터 출력되는 진동응답신호를 오실로스코프에 출력하고 컴퓨터와의 인터페

이스를 통해 저장된 출력 데이터를 FFT하여 나타낸 것이다. 진동테이블의 입력 주파수에 대한 출력주파수의 정확도의 오차가 0.2% 이내로 배 골판지 포장상자의 진동실험에 적용이 가능한 것으로 판단되었다.

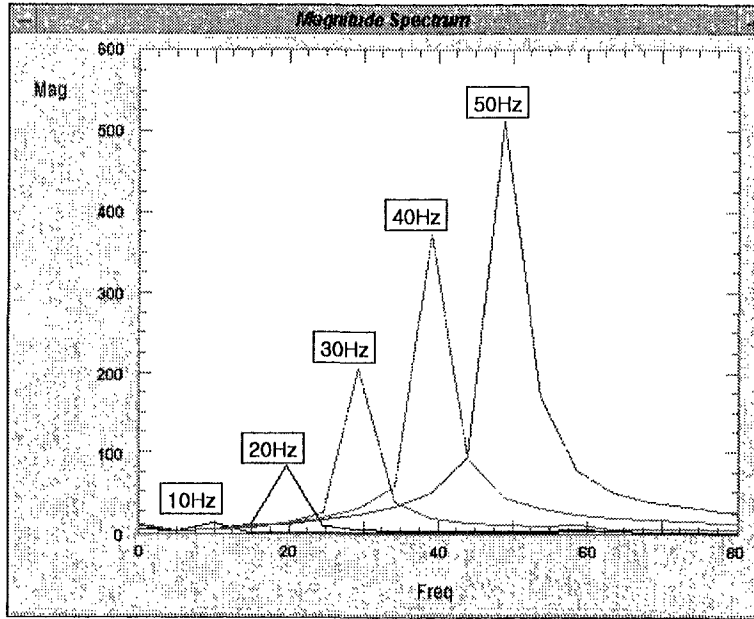


Fig. 3-71. Fast Fourier Transform of input frequency in the vibration table.

나) 입력주파수에 대한 진동테이블의 변위

유압가진기 및 전자식 진동테이블의 변위는 입력되는 전압에 의해서 제어가 되지만, 일부 가진기의 경우에는 자동적으로 입력된 일정한 가속도 수준을 유지할 수 있도록 제작 되었다. 따라서 본 실험에서는 입력주파수에 따른 진동테이블의 변위를 계측하기 위하여 그림(3-68)의 LVDT에서 나오는 신호를 계측하여 입력주파수에 따른 진동테이블의 변위를 분석하였다. 그림(3-72)는 10, 15, 20, 25, 30 및 35 Hz의 입력주파수에 대한 진동테이블의 변위를 나타냈으며, 입력주파수에 따른 진동테이블의 변위는 거의 일정하게 나타났으며, 입력주파수에 따른 진동테이블의 변위의 오차는 그림(3-74)에서 보는바와 같이 입력주파수에 따른 입력전압을 보정하여 실험을 수행하였다.

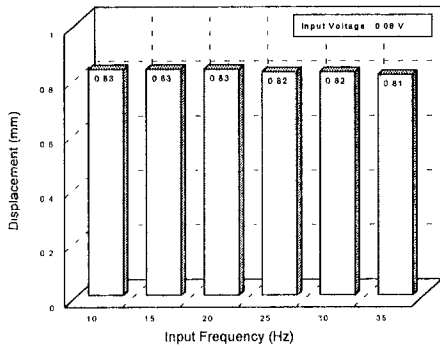


Fig.3-72. Displacement of vibration table according to input frequency.

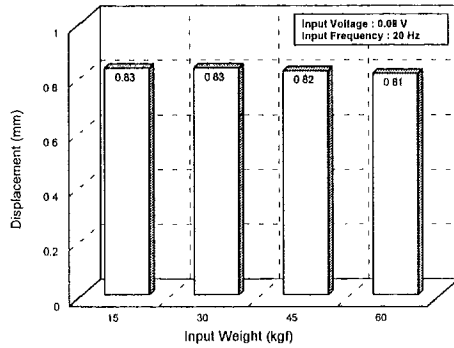
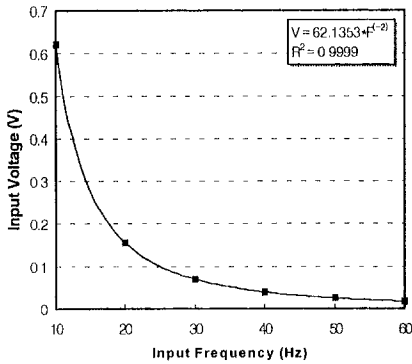
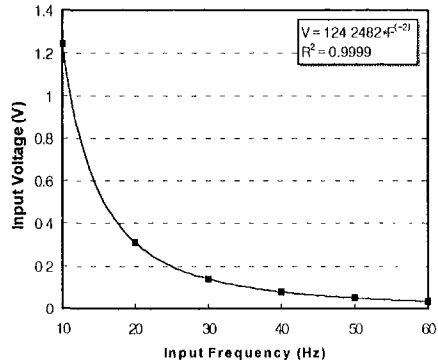


Fig.3-73. Displacement of the vibration table according to input weight.



(a) 0.25 G



(b) 0.5 G

Fig. 3-74. Input voltage for constant acceleration level according to input frequency.

다) 적재 무게의 변화에 따른 진동테이블의 변위

실험에 있어서 진동테이블에 부가되는 시료의 무게에 의한 진동테이블의 변위를 분석하기 위하여 입력주파수 및 입력전압을 일정하게 유지하면서, 일정무게를 계속 부가하여 진동테이블의 변위를 측정하였다. 그림(3-73)은 15, 30, 45 및 60 kgf의 각 무게별 진동테이블의 변위를 나타냈다. 그림에서 알 수 있듯이 실험에 부가되는 범위내에서는 진동테이블의 변위의 변화가 매우 작았으며, 무게에 따른 진동테이블의 변위의 오차에 대한 입력전압을 보정하여 실험 하였다[그림(3-74)].

3) 가속도계의 측도설정(calibration)

가속도계(accelerometer)는 사용환경에 매우 민감한 센서로써, 사용환경에 대한 가속도계의 측도설정이 이루어지지 않는다면 신뢰성 있는 결과값을 예측할 수 없다. 따라서 본 실험에서는 실험에 앞서 진동테이블의 입력주파수와 변위에 대한 가속도계 출력값에 대한 측도설정을 하였다.

Table 3-38. Calibration of accelerometer according to input frequency and displacement

No.	Frequency (Hz)	Displacement(mm) (Zero-to-Peak)	Acceleration (m/s ²)	Output Voltage (V, 60dB)	Input Voltage (V)
1	10	0.83	3.276707	0.4500	0.08
2	15	0.83	7.372591	1.1562	
3	20	0.83	13.106829	2.1562	
4	25	0.82	20.479420	3.5337	
5	30	0.82	29.490365	5.3125	
6	35	0.81	40.139663	7.3125	
Regression Eq.	A=5.337564065×V+1.20239702 (R ² =0.999707)				

$$A = \frac{(2\pi f)^2}{1000} \times D \quad \text{-----} \quad (3-19)$$

여기서, A = acceleration (m/s²)
 f = frequency (Hz)
 D = displacement (mm, Zero-to-Peak)

표(3-38)은 0.08V의 일정한 입력 전압하에서 입력되는 주파수를 변화시키면서 예측된 진동테이블의 변위를 식(3-19)에 대입하여 실제의 가속도를 예측하였으며, 그림(3-75)과 같은 가속도계로부터 출력되는 전압과 예측된 실제의 가속도에 대한 선형 회귀식(R²=0.9997)을 구하였다.

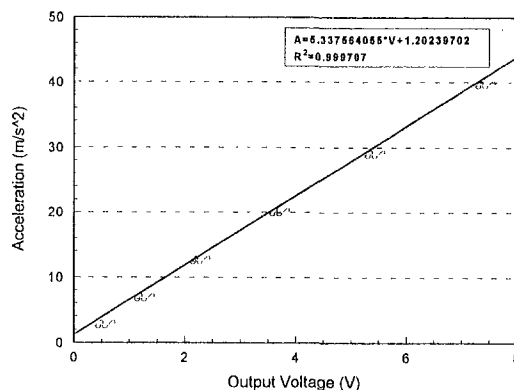


Fig. 3-75. Calibration of accelerometer for vibration resonance test.

다. 결과 및 고찰

1) 단일 골판지 포장상자의 진동특성

그림(3-76)은 고정된 단일 골판지 포장상자에 대하여 진동테이블의 0.25G의 가속도 수준과 분당 1octave의 스위프율로 진동했을때의 3~100Hz의 스위프주파수 범위내에서의 가속도의 변화를 나타낸 것으로, 단일 포장상자의 피크주파수는 22.02Hz이었으며, 피크가속도는 1.5421G이었다.

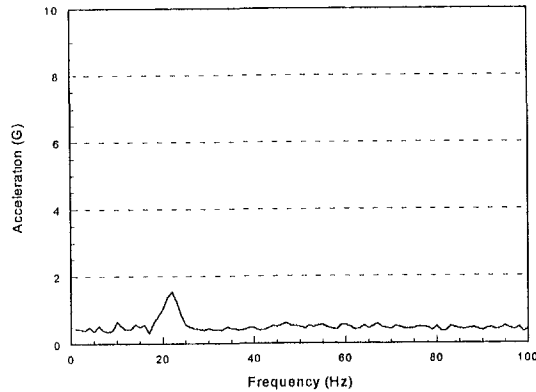


Fig. 3-76. Acceleration of the corrugated fiberboard box for the single container resonance test.

2) 적재된 골판지 포장상자의 진동특성

그림(3-77)은 적재된 골판지 포장상자에 대하여 진동테이블의 0.5G의 가속도 수준과 분당 1octave의 스위프율로 진동했을때의 3~100Hz의 스위프 주파수내에서의 가속도 변화를 나타낸 것으로, 적재 하단으로부터 피크 주파수는 19.02, 18.14, 16.62 및 15.40Hz로써 최하단의 피크 주파수가 제일 크게 측정되었다. 또한 피크가속도는 하단으로부터 2.2987, 3.7654, 5.6087 및 7.9852G로써 최상단에서 가장 큰 피크 가속도 값이 측정 되었다. 이것은 진동시 최상단의 포장상자의 변위가 제일 크다는 것을 의미하네, 만약 운송 등의 유통시에 15~20Hz의 피크 주파수 대역의 진동에 노출되었을 경우에는 상단의 포장상자의 가속도가 증가하여 진동에 의한 변위가 커지게 됨으로써 상단의 배 상자는 변위의 증가에 의한 손상을 받게 되며, 하단의 포장상자는 진동과 상단의 상자로부터 압축하중을 받게 되어 상자내의 배는 멍(bruise) 손상을 입게 된다.

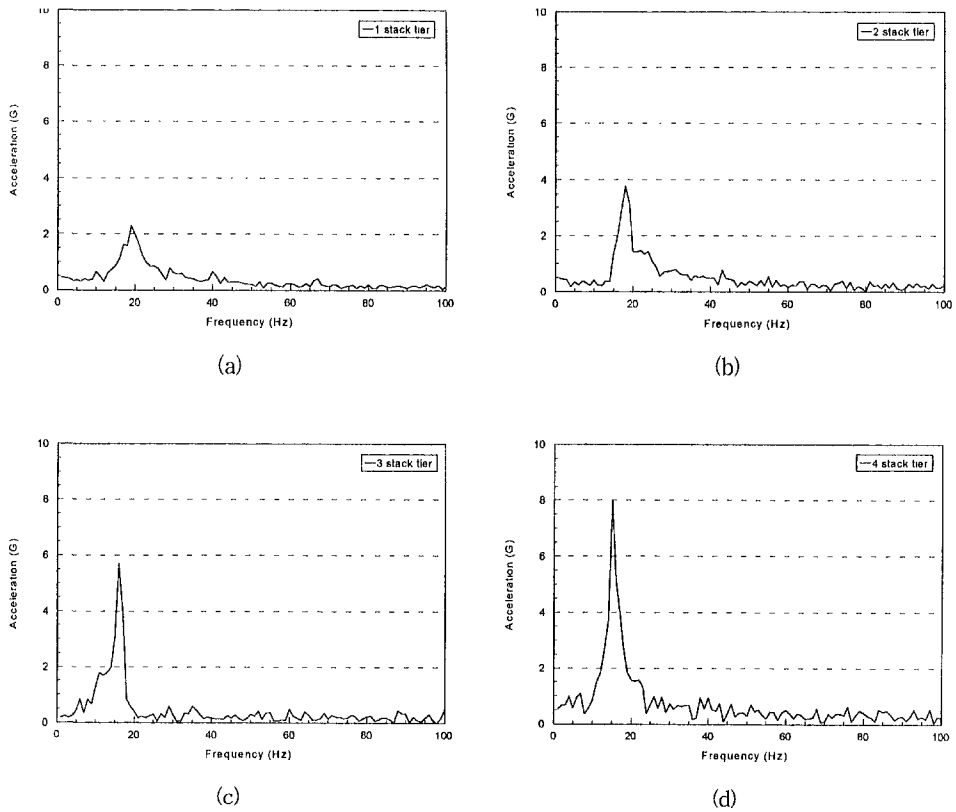


Fig. 3-77. Acceleration of the corrugated fiberboard box for pear using vertical stack resonance test.

3) 진동에 의한 배의 손상정도

진동실험에 의한 배의 손상정도에 대하여 조사하였으며, 손상에 대한 평가 기준은 다음과 같다.

- ①건전 : 육안이나 손으로 과실표면을 만져 손상부위가 느껴지지 않은 경우
- ②약함 : 육안으로 손상정도가 관찰되지 않으나 손으로 만져 압상 부위가 느껴지는 경우(현재의 기준으로 판매가 가능하지만 저장 또는 장기 수송할 때 장해 또는 부패될 우려가 있는 경우)
- ③중간 : 과피가 파열되지 않았으나 육안으로는 손상 받은 부위가 확인되는 경우
- ④심함 : 과피가 파열되었거나 육안으로 관찰되는 손상부위가 3cm 정도 이상일 경우

표3-39는 진동충격에 의한 상자 내 배의 적재위치에 따른 손상정도 및 손상지수

에 대하여 나타내었다.

표 3-39. 적재위치 및 진동충격에 의한 손상정도 및 손상지수

적재위치 (단)	개수	손상정도(개)				손상지수
		건전	약함	중간	심함	
1	상단	12	10	2	0	1.26
	하단	11	7	4	0	
	계	23	17	6	0	
2	상단	12	11	1	0	1.04
	하단	11	9	1	1	
	계	23	20	2	1	
3	상단	12	12	0	0	1.05
	하단	10	9	1	0	
	계	22	21	1	0	
4	상단	12	11	1	0	1.04
	하단	11	11	0	0	
	계	23	22	1	0	

여기서, 손상지수는 평가한 과실에 일정지수(건전 1, 약함 2, 중간 3, 심함 4)를 곱하여 합을 계산하고 이것을 전체 과실수로 나눈 값을 표기하였다.

표(3-39)의 손상지수에서 알 수 있듯이 배 골판지 포장상자의 진동시 최하단의 상자에서 손상의 정도가 상대적으로 심한데 이것은 상단에 위치한 상자로부터 압축력과 진동을 동시에 받아 다른층의 배에서 보다 손상이 심한 것으로 판단되었다. 따라서 농산물이 유통중의 진동에 노출되었을 때 농산물의 손상은 최하단의 골판지 포장상자에서 가장 크다는 것을 알 수가 있었다.

4. 배 골판지 포장상자의 낙하실험

유통중에 포장화물을 떨어뜨리거나 던지는 등의 여러 가지 부적절한 취급을 할 수가 있다. 구체적으로는 컨베이어(conveyor)나 포크리프트(forklift)로부터 바닥으로의 낙하, 수송차량의 출발 및 정지, 도로상의 움푹 패인 곳이나 철길, 교차로를 지날 때 혹은 화차의 연결동작 등에서 포장제품의 기계적인 충격(mechanical shock)이 발생한다. 이러한 경우 포장화물은 바닥이나 트럭의 적재면, 팔리트(pallet) 혹은 다른 포장물들과 충돌하게 되며, 이 충격은 양쪽 제품에 기계적인 충격을 일으키게 된다.

따라서, 본 연구에서는 배 포장용 골판지 상자의 자유낙하 실험을 통하여 완충재로써의 골판지 상자에 대한 충격력을 분석하기 위한 시스템을 구성하고 계측 및 분석용 컴퓨터 프로그램을 작성하여 자유낙하에 의한 배 골판지 포장상자의 충격력을 분석하는데 그 목적이 있다.

가. 실험장치

본 실험에 사용된 자유낙하 실험장치는 그림(3-78)와 그림(3-79)에서와 같이 시편 지지대를 낙하시험기 컨트롤러와 컴퓨터와의 RS-232C 인터페이스에 의해 일정한 높이까지 이송시킨 후 컴퓨터에서의 낙하명령에 의해 시편지지대가 제거 됨으로써 시편이 자유낙하하고, 강판 밑의 각 모서리 부분에 설치된 4개의 하중 변환기(load cell)에 의해 시편의 자유낙하 충격력을 계측할 수 있도록 설계된 실험장치이다.

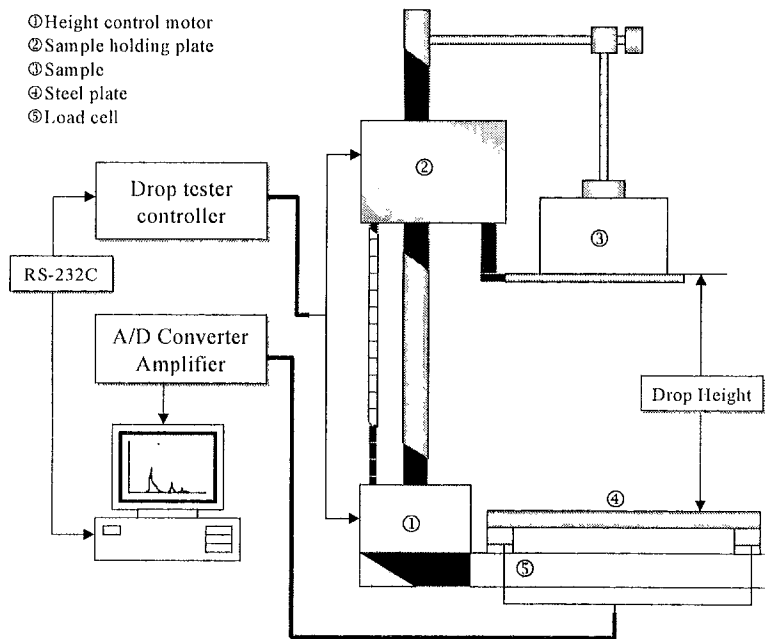


Fig. 3-78. Schematic diagram of free drop test apparatus.

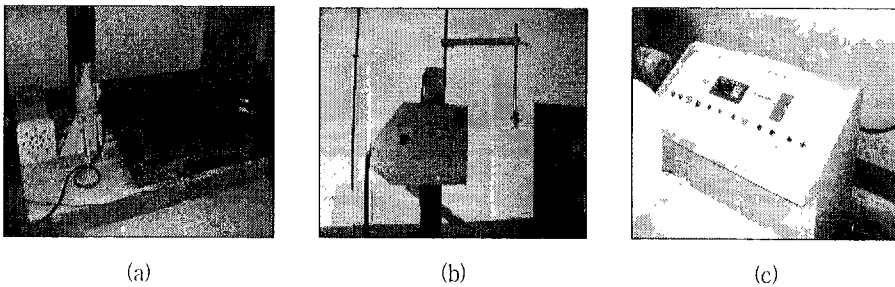


Fig. 3-79. General View of free drop tester of corrugated fiberboard box for the pear.

나. 실험방법

본 실험에 사용된 배 골판지 포장상자는 농산물 포장용 골판지인 이중양면골판지(double wall corrugated fiberboard) 상자로서, 상자의 규격은 520×350×250(mm)이었으며, 15kg의 RSC(Regular Slotted Container)형 배 골판지 포장상자이었다. 또한 습기에 의한 상자의 강도저하를 방지하기 위하여 외부 전면에 코팅되었으며, 양면에 두 개의 손잡이(handhole)가 있는 골판지 포장상자이었으며, 본 실험에서는 골판지 포장상자의 각 충격부위별 충격력을 분석하기 위하여 그림(3-80)에서 보는 바와 같이 낙하높이 30 cm에서 각 부위별로 자유낙하실험을 실시하였다. 그 중에서 충격력이 제일 크게 측정된 부분에 대해서 KS규격에서 제정하고 있는 25, 35, 55 및 60 cm의 각 높이별로 자유낙하실험을 하였으며, 측정된 충격력-시간곡선을 이용하여 그림(3-81)의 충격 특성치들을 측정하였다.

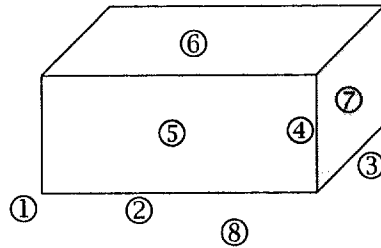


Fig. 3-80. Impact position of corrugated fiberboard box.

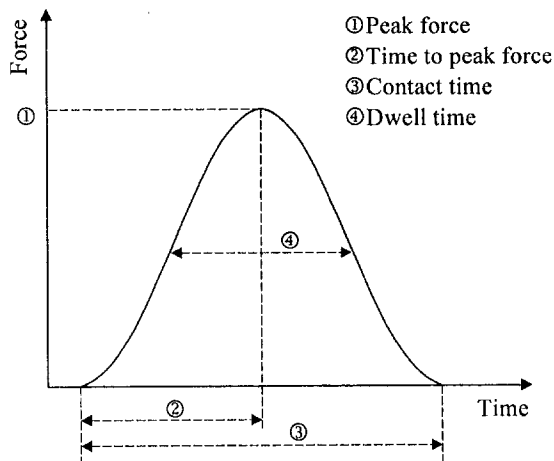


Fig.3-81. Diagram of the impact force-time curve.

1) 하중변환기(load cell)의 측도설정(calibration)

낙하실험에서의 충격력을 계측하기 위한 하중변환기(load cell)의 측도설정을 하기 위하여 하중변환기가 부착된 평판위에 일정한 무게를 부과하였을 때 출력되는 전압과 부과된 무게에 대한 선형회귀식을 구하여 본 실험에 적용하였다. 그림(3-82)은 부과된 무게와 출력되는 전압과의 관계에 대한 선형회귀식($R^2=0.99999$)을 도시하였다.

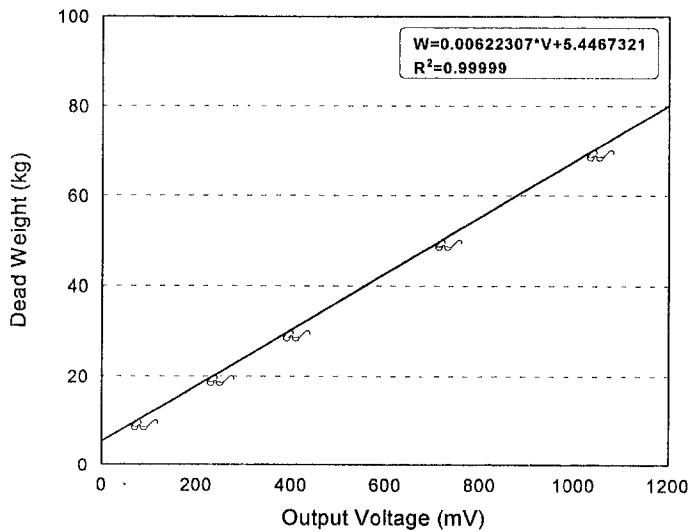


Fig.3-82. Calibration of load cell for free drop test of corrugated fiberboard box.

2) 충격력 계측 및 분석용 컴퓨터 프로그램

배 골판지 포장상자의 자유낙하에 의한 충격력을 계측 및 분석하기 위한 컴퓨터 프로그램을 개발하였다. 데이터의 고속 샘플링을 하기 위하여 DMA방식을 이용하여, 약 0.4ms의 샘플링시간(sampling time)을 갖도록 하였다. 그림(3-83)은 개발된 컴퓨터 프로그램의 메인화면으로 일정한 높이에서의 자유낙하에 의한 골판지 포장상자의 충격력을 계측하여 최고충격력(peak force), 충격기간(duration of time) 또는 접촉시간(contact time), 최고충격력까지의 시간(time to peak force), 정지시간(dwel time) 및 역적(impulse) 등을 계산하도록 작성하였으며, 속도-시간곡선, 변위-시간곡선, 힘-변위곡선 및 가속도-시간곡선을 출력하여 충격중 확산에너지(energy dissipated during impact), 충격후 잔존에너지(energy remaining in the pear after contact) 및 충격중 속도변화(velocity change)를 계측하여 그 결과값을 저장할수 있도록 작성하였다.

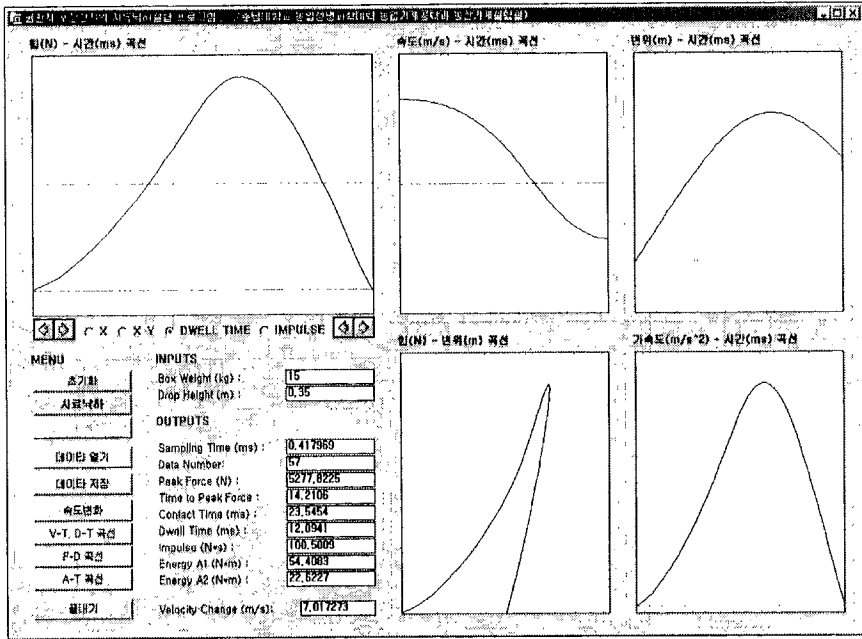


Fig. 3-83. Computer program for free drop test of the corrugated fiberboard box.

다. 결과 및 고찰

1) 골판지 포장상자의 충격부위별 충격력 분석

표(3-40)은 배 골판지 포장상자의 충격부위별 충격력을 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 낙하높이 30cm에서의 자유낙하시 충격 접촉면적이 클수록 충격력이 크게 계측됨을 알 수 가 있었으며, 표(3-40)에서 알 수 있듯이 ⑥번(윗면) 및 ⑧번(아랫면) 부위에서의 충격력이 크게 계측되었다. 따라서 본 실험에서는 각 높이 별 배 골판지 포장상자의 자유낙하실험은 배 골판지 포장상자의 아랫면이 하중 변환기 위에 위치한 평판과 접촉하도록 실험하였다.

Table 3-40. Impact properties of corrugated fiberboard box according to the impact position

Items	Impact position							
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
Peak Force (N)	1690.74	2221.54	2164.86	1918.58	3211.02	3925.17	3142.10	4057.76

2) 골판지 포장상자의 각 낙하높이별 충격력 분석

그림(3-84)의 (a), (b), (c) 및 (d)는 25, 35, 55 및 60cm의 각 낙하높이별 충격력-시간곡선을 나타내었다.

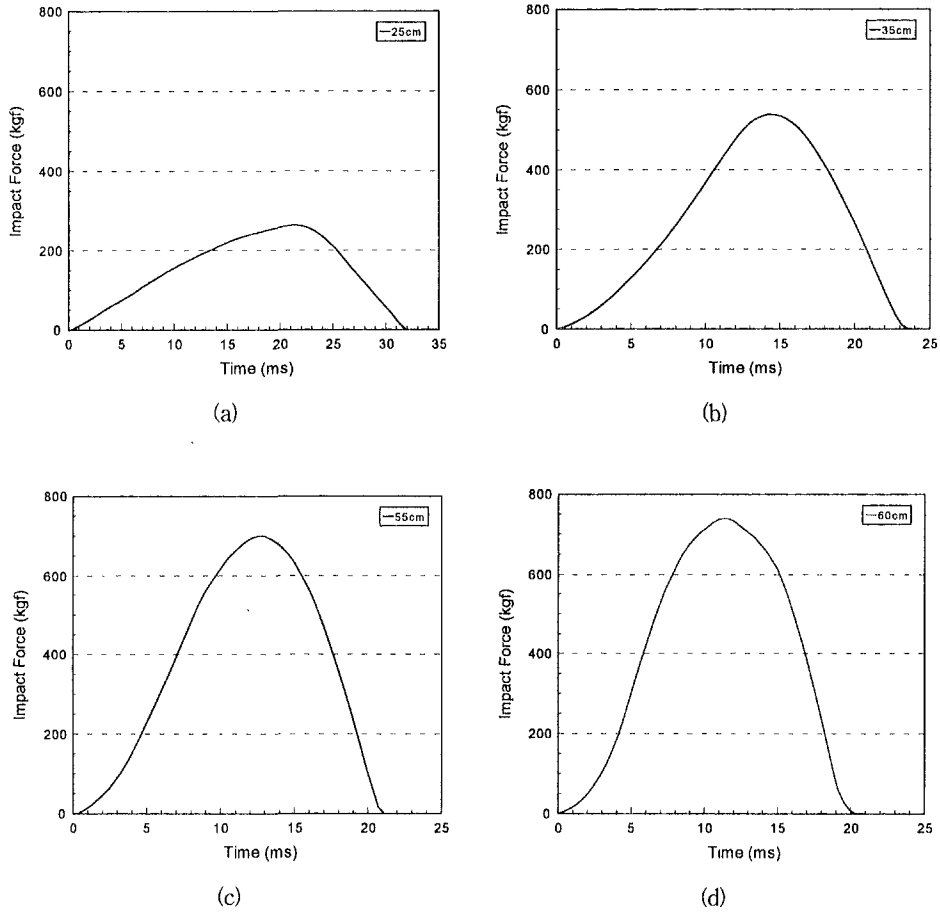


Fig. 3-84. Impact force - time curve of the corrugated fiberboard box for pear according to drop height.

그림(3-84) 및 표(3-41)에서 알 수 있듯이 배 골판지 상자의 낙하높이가 높을수록 충격력은 크게 예측되었지만, 상자의 접촉시간(contact time)은 작게 예측되었다.

Table 3-41. Impact properties of corrugated fiberboard box according to the impact position

Items	Drop height (cm)			
	25	35	55	60
PF (N)	2580.80	5277.82	6857.62	7182.21
TPF (ms)	21.31	14.21	12.31	10.69
CT (ms)	31.45	23.54	21.03	20.10
DT (ms)	19.17	12.09	11.90	10.14
Impulse (N · s)	70.3173	100.5009	129.4548	141.0050
E ₁ (N · m)	39.2766	54.4083	87.3594	98.0399
E ₂ (N · m)	7.4556	19.4532	28.9184	29.6150
VC (m/s)	5.8213	7.0172	11.7540	12.1094

Note : PF=Peak Force, TPF=Time to Peak Force, CT=Contact Time, DT=Dwell Time, E₁=Energy dissipated during impact, E₂=Energy remaining in the box and pear after contact, VC=Velocity Change

또한, 배 골판지 포장상자의 충격 후 확산에너지, 잔존에너지 및 속도변화 등은 낙하높이에 따라 모두 증가하는 경향을 보여 낙하높이가 높으면 손상이 클 것이라는 상식적인 사실을 실험을 통하여 확인할 수 있었으며, 25cm의 낮은 자유 낙하높이에서도 골판지에 손상을 주어, 배에는 멍이 드는 것을 알 수 있었다.

3) 충격력에 의한 배의 손상정도

배 골판지 포장상자의 자유낙하의 충격력에 의한 배의 손상여부에 대하여 조사하였으며, 손상에 대한 평가 기준은 진동실험에서와 같은 방법으로 적용하였다. 표(3-42)은 낙하높이에 의한 상자내 배의 위치에 따른 손상정도 및 손상지수에 대하여 나타내었다.

표 3-42. 낙하높이에 따른 배의 손상정도 및 손상지수

낙하높이 (cm)	개수	손상정도(개)				손상지수
		건전	약함	중간	심함	
25	상단	12	6	5	0	1.54
	하단	12	4	7	1	
	계	24	10	12	1	
35	상단	10	2	5	3	2.35
	하단	10	1	5	1	
	계	20	3	10	4	
55	상단	11	2	3	2	2.45
	하단	11	3	5	1	
	계	22	5	8	3	
60	상단	13	3	1	3	2.74
	하단	14	3	3	5	
	계	27	6	4	8	

여기서, 손상지수는 평가한 과실에 일정지수(건전 1, 약함 2, 중간 3, 심함 4)를 곱하여 합을 계산하고 이것을 전체 과실수로 나눈 값을 표기하였다.

표(3-42)에서 보는 바와 같이 배 골판지 포장상자의 낙하높이에 따른 배의 손상정도는 낙하높이가 높아짐에 따라 손상이 심하고 낙하높이가 낮은 25cm에서도 진동에 의한 손상지수보다는 훨씬 큼을 알 수가 있었다. 이것은 자유낙하에 의한 골판지의 충격력이 배에 전달되어 멍이 발생하는 것으로, 진동에 의한 변위 증폭 및 압상에 의한 손상보다 낙하 충격력에 의한 손상이 더 큰 것을 알 수가 있었으며, 배 골판지 포장상자의 적재 및 하역 작업 시에는 낮은 낙하높이에서도 포장상자를 떨어뜨리지 않도록 주의를 하여야 할 것이다.

제 4 장 자유 이송 접시형 선별 시스템 및 자동화 장치 개발

제 1 절 서론

최근 농산물의 개방 방침에 따라 외국 농산물이 대량 수입되면 농가의 타격이 매우 커질 것으로 예상된다. 또한 수출에 있어서도 그 경쟁력을 제고하기 위해서는, 경쟁국가의 농산물보다 더 나은 품질의 농산물을 생산하는 기술과 더불어, 생산된 제품의 부가가치를 높일 수 있는 방법이 마련되어야 할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 앞서의 연구과제와 더불어 수출용 배의 부가가치 향상을 위한 선별 시스템 및 자동화장치의 개발을 하고자 하였다.

현재 국내 포장센터에서 사용되고 있는 배 선별기는 전자저울식 중량 선별기가 대부분이며, 중량 위주의 선별에서는 별 문제 없이 사용되어 왔다. 중량선별 위주의 국내외 배 선별 과정은 <그림 4-1>과 같이 처리되고 있다.

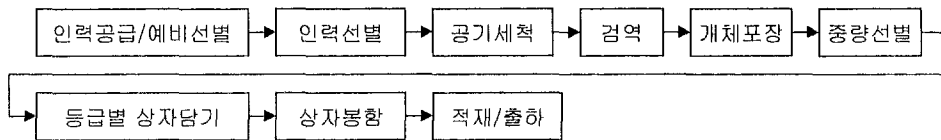


그림 4-1 관행의 배 선별 과정



그림 4-2 예비선별 및 공급



그림 4-3 인력선별



그림 4-4 공압세척



그림 4-5 개체포장



그림 4-6 중량선별기 공급



그림 4-7 상자포함

<그림 4-2>~<그림 4-7>에서 대개 배의 공급은 인력에 의해 이루어지게 되며, 공급시 예비선별을 1차하여 육안검사에 의해 상품성이 없는 것은 제거하고, 상품성이 있는 것만 공급하게 된다. 다음 과정은 배의 외부에 부착된 이물질이나 응에 제거 등을 위해 인력에 의한 공기세척 및 검역과정을 거치게 되며, 개체 포장된 배는 중량 선별기에 의해 무게 선별되어 각 등급 배출구로 배출되게 되며, 배출된 배를 상자에 담아 출하하게 된다.

하지만 최근 과일의 선별방식에 있어, 중량 뿐만 아니라 색상, 크기, 형상 등의 외관품질과 당도, 내부결합등의 내부 품질의 선별 필요성이 증대됨에 따라 기존의 방식으로는 한계가 있다. 또한 외국으로 배를 수출하고자 할 경우, 그 부가가치를 높이기 위해서는 외관품질과 내부품질인자를 측정하여 선별함으로써, 월등한 품질 경쟁력을 갖출 수 있어야 그 부가가치가 크게 향상될 것이다.

외국의 경우, 특히 일본에서는 주요 과실류(사과, 배, 감귤, 복숭아, 감 등)에 대해 이러한 품질인자들을 측정할 수 있는 센서 및 자동 선별 시스템을 개발 완료하고, 자국내 주요 산지에 이러한 선별 시스템을 대부분 보급·설치하여, 고품질 과일 유통에 의한 상당한 부가가치 향상 효과를 보고 있는 것으로 알려져 있다. 대개 일본 시스템의 경우, 외관품질인자 및 내부품질인자를 동시에 측정할 수 있는 시스템이며, 인력공급을 제외한 전 공정이 자동화되어 있다. 일본도 마찬가지로 새로운 선별 개념이 도입됨에 따라 기존의 중량식 위주 선과 시스템에서 자유이송접시(free tray)를 이용한 시스템으로 구축되어 있다. 이 시스템의 특징은 이송접시 위에 과일이 놓여지므로, 과일의 표면에 거의 손상이 없는 장점이

있으나, 핵심기술인 외관품질 및 내부품질을 측정할 수 있는 센서 기술은 전혀 공개가 되어 있지 않고 있다. 또한 시설의 설치가격이 상당히 고가(약 8억엔)이므로, 국내에 도입되기에는 무리가 있는 것으로 판단된다. 유럽의 경우, 농산물 수출을 많이 하는 네델란드와 같은 국가에서도 이러한 내부품질 측정 시스템에 대해 관심을 갖고 많은 연구를 진행하고 있으나, 현재 상용화된 것은 없는 것으로 알려져 있다.

따라서 국내에서도 과일의 외관품질 및 내부품질의 측정이 가능한 자유이송접시형 선별 시스템 및 자동화장치를 개발하기 위하여 본 과제가 수행되었다. 먼저 그 기초연구로 1차년도 및 2차년도에 간이 온라인 당도 판정 장치를 설계/개발하여 그 성능을 평가하고, 설치/운영상의 문제점을 파악하였다. 또한 3차년도에는 전년도에 개발된 시스템의 문제점을 보완하고, 국내 실정에 맞는 형태의 레이아웃을 결정하여 최종적인 자유이송접시형 선별시스템 및 자동화장치를 개발하였다.

제 2 절 자유이송접시형 선별 시스템 개발

1. 시스템 설계 조건 및 배치도

가. 설계조건

국내 실정에 적합한 수출용 배의 선별 시스템을 개발하기 위하여 다음과 같은 설계조건을 설정하였다.

- 선별과정에서의 배 표면에 상처가 발생하지 않을 것.
- 선별시스템을 모듈단위로 구성하여 필요에 따라 각 모듈의 부착 또는 제거가 용이할 것.
- 처리량의 증대에 따른 선별 라인의 증설이 용이할 것.
- 배출구의 방향(양측/편측) 변경이 용이할 것.

나. 체인 컨베어를 이용한 선별시스템

상기 설계조건을 원칙으로 하여 1차 및 2차 년도에는 <그림 4-8>과 같이 예비선별공급부, 스타휠방식의 정렬/공급부, 캐리어 방식 이송장치, 온라인 스펙트럼 측정장치, 외부품질 측정장치 배출장치/컨베어, 회송 컨베어, 이송접시, 시스템 구동 컨트롤러 등으로 구성되는 당도 선별 시스템을 설계하였다.

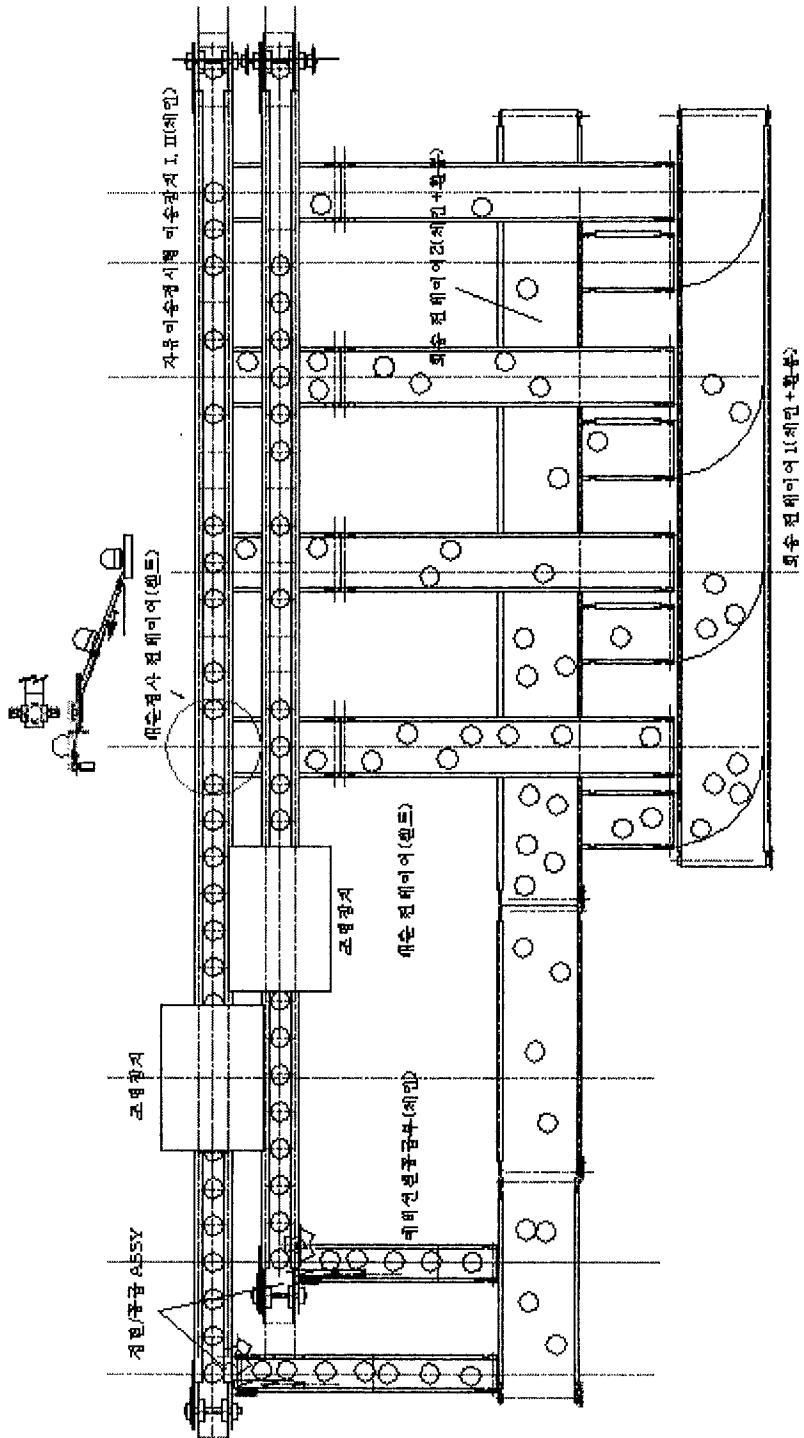


그림 4-8 체인 컨베이어 및 캐리어를 이용한 선별 시스템

전체 시스템을 제작하기 전에 일차적으로 이 선별 시스템의 가장 핵심부분인 접시 자동 공급장치, 접시 이송 및 자동 배출 장치, 접시 회송장치로 구성되는 간이 당도 관별 장치(<그림 4-9> 및 <그림 4-10>)를 제작하고, 온라인 상에서 과일의 당도를 측정하기 위하여 반사 스펙트럼 측정 및 투과 스펙트럼 측정장치를 설치하여 온라인 실험을 수행하였으며, 두 가지 당도 측정 방식의 장단점을 비교하였다.

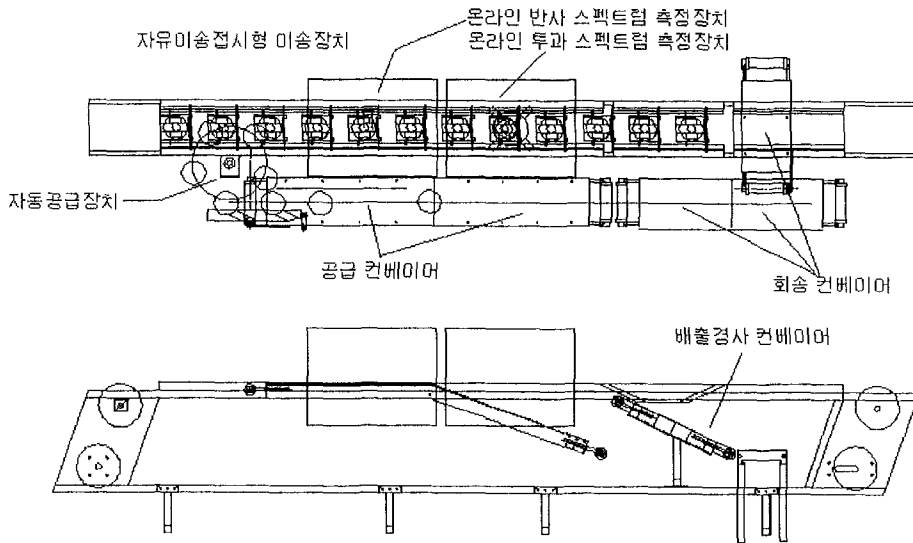


그림 4-9 체인 컨베이어를 이용한 당도 판정 시스템

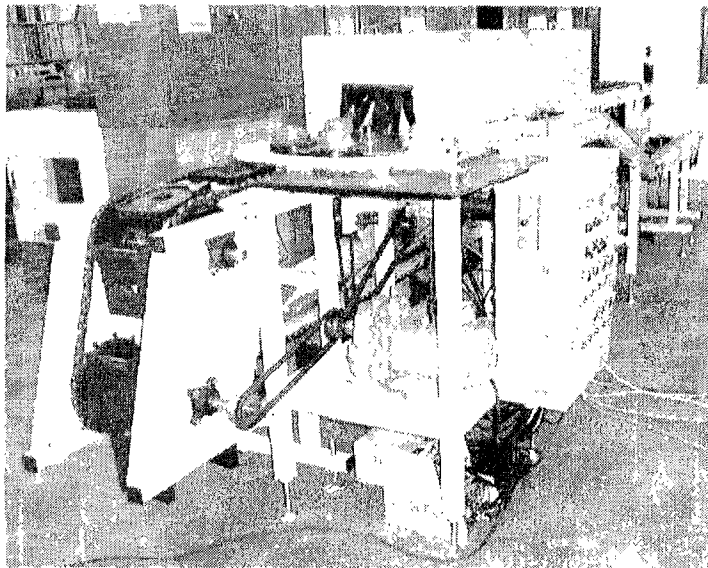
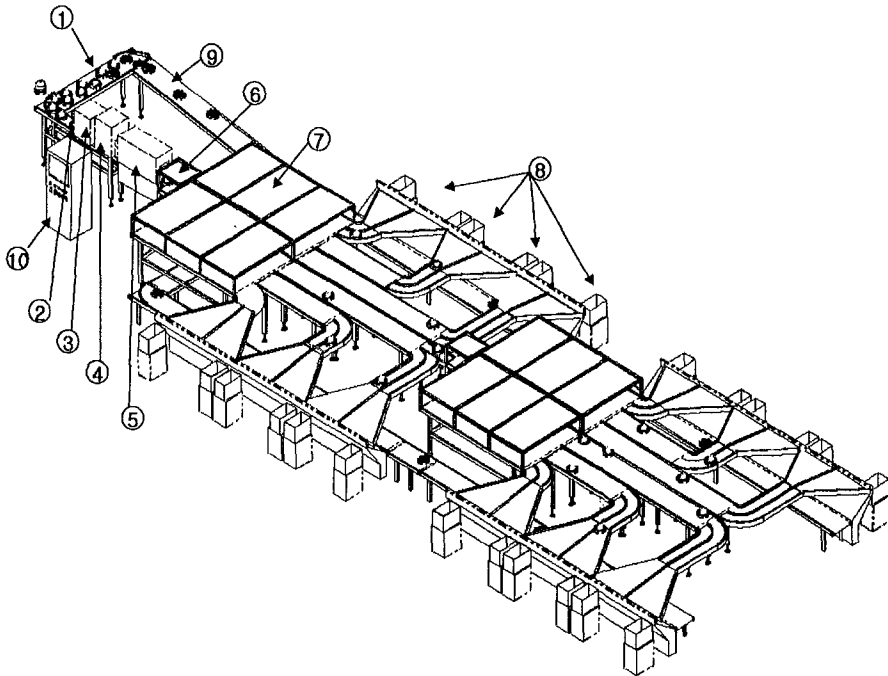


그림 4-10 체인 컨베이어식 당도판정 장치의 외형

다. 펄벨트를 이용한 선별 시스템

1차 및 2차 연도에 설계/제작된 간이 당도 선별 시스템의 성능실험을 수행한 결과 접시 자동 배출부의 작동이 원활하지 못한 문제가 발생하여, 3차년도에는 <그림 4-11>과 같이 펄벨트를 이용하여 접시를 공급하고 이송하는 새로운 시스템을 설계하였다. 그림은 최종 선정된 자유 이동 접시형 선별 시스템의 레이아웃으로, 공기 세척, 색상 및 형상 판별, 당도 판별(특, 상 및 등외), 중량 판별(10등급)이 가능하며, 총 24단의 배출단으로 구성하였다.

새로이 설계된 시스템의 경우 시료접시 공급, 등급 판별, 등급별 분류 및 배출, 빈 접시 회송라인을 모두 펄벨트 컨베이어로 구성함으로써, 시스템의 확장 및 축소가 용이하도록 각 단위 라인을 모두 모듈화하였다. 즉, 2차년도에 개발된 간이 당도 판정 시스템의 경우 라인의 증설을 위해서는 캐리어 이송장치를 구동하는 체인 컨베이어를 모두 해체하여야 하는 단점이 있었으나, 3차년도에 최종 개발된 라인의 경우 등급분류 장치와 이를 연결하는 컨베이어만을 증설함으로써 확장이 용이하도록 하였다.



- ① 원료공급부 ② 공기 세척 ③ 형상 계측 ④ 당도 측정 ⑤ 중량 측정
⑥ 1차 분류 ⑦ 2차 분류 ⑧ 등급별 배출 ⑨ 빈접시 회송 ⑩ 컨트롤러

그림 4-11. 펄벨트 컨베이어식 온라인 선별 시스템의 레이아웃(24등급용)

이와 같은 선별시스템의 구축 가능성 및 성능을 검토하기 위해 <그림 4-12>와 같이 구성되는 간이 선별시스템을 설계/제작하고 성능 시험을 수행하였다. 간이 선별시스템의 선별공정은 인력에 의해 빈접시에 배를 공급하면, 시료가 담긴 접시는 평벨트에 의해 선별라인으로 일렬로 공급된다. 선별라인에 공급된 접시는 먼저 자동 공기 세척장치에 의해 배의 표면에 부착된 이물질이나 응애 등이 제거되며, 레이저 구조광을 이용한 배 기형과 판정 센서에 의해 기형과의 판정(기형과 유무)이 이루어지게 된다. 다음은 당도 판정 센서에 의해 배의 가시/근적외선 투과 스펙트럼이 측정되고, 전자식 중량 측정 장치를 통과한다. 각각의 센서에 의해 측정된 신호는 시스템 컨트롤러에 의해 처리되어 등급별 분류장치가 작동되며, 각 등급별로 분류된 접시는 최종 배출단으로 이송된다. 배출단에서 배는 상자에 포장되고 빈 접시는 선별라인으로 회송된다. <그림 4-13은 실제 제작된 평벨트 컨베이어식 선별 시스템의 시작기이다.

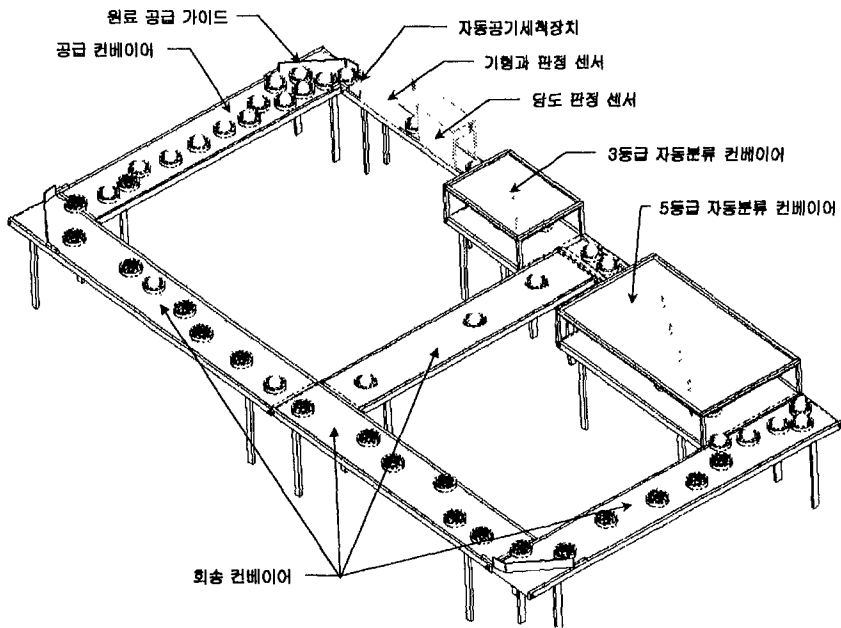


그림 4-12 간이 평벨트 컨베이어식 온라인 선별 시스템 시작기

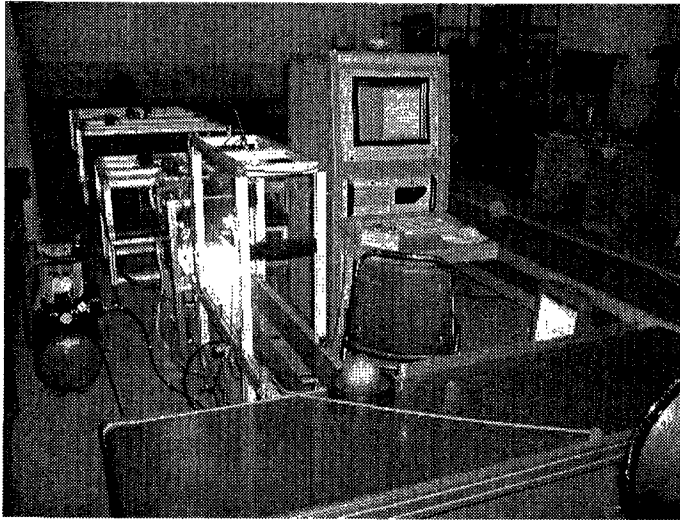


그림 4-13 평벨트 컨베이어식 온라인 선별 시스템 외형

2. 체인 컨베이어식 선별 시스템 설계 및 제작

가. 주요부 설계/제작

1) 예비선별 공급부 및 자동공급장치

이송접시(free-tray)에 과일을 공급하기 위한 공간은 공급 컨베이어(<그림 4-14> 참조)이며, 사람에 의해 수동으로 과일을 공급한다. 과일을 안착시킨 이송접시(과일이 이송 접시에 안착된 상태임)는 자유이송접시형 이송장치의 이송접시 캐리어(free-tray carrier)에 하나씩 안정적으로 공급되어야 하며, 이러한 기능을 수행하는 장치가 자동공급장치이다. 자동공급장치의 핵심부는 공급 회전판 및 공급 스크류(screw)이며, 기타 이 두 핵심장치를 구동하기 위한 구동장치부가 추가적으로 장착된다. 자동공급장치는 자유이송접시형 이송장치와 동기되어 구동되어야 하므로 동력원은 자유이송접시형 이송장치의 구동모터에서 체인 및 스프로킷을 이용하여 동력을 전달시켰다. 또한, 이송접시가 공급 스크류와 공급 회전판에 동시에 접촉될 때, 이송접시의 진행방향의 속도와 공급 스크류 및 공급 회전판의 회전에 의한 이송속도가 동일하게 되도록 공급 스크류 및 공급 회전판을 설계/제작하였다.

예비선별 공급부(공급 컨베이어)에서 여러 개의 이송접시가 연속으로 공급되는 경우에 공급장치로 진입하는 이송접시는 공급 회전판이 1회전 할 때 4개로 제한되어야 한다. 이를 위해 공급 스크류의 시작부분의 외형을 <그림 4-15>와 같이 제작하여, 연속으로 이송접시가 공급될 경우 이송접시가 공급 스크류에 집속한 상태로 공급 스크류로의 진입이 차단되

도록 하였다. 즉, <그림 4-14>의 '접촉점'(이송접시와 공급스크류가 접촉되는 점)이 공급 스크류의 회전에 의해 '공급 시작점'과 일치될 때, 이송접시가 공급 스크류로 투입된다.

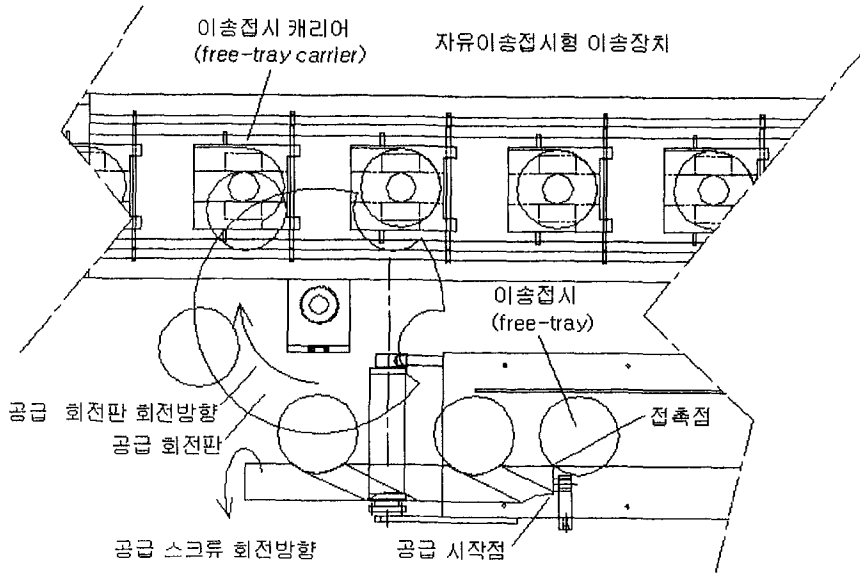


그림 4-14 자동공급장치의 구성도

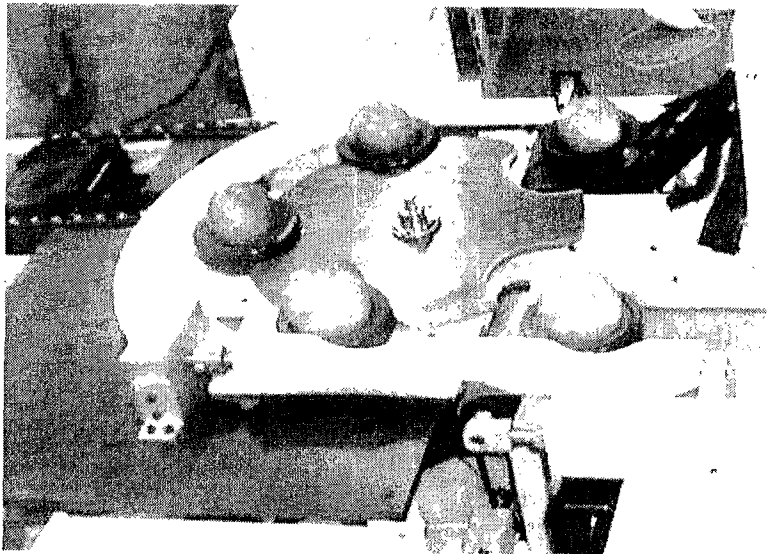
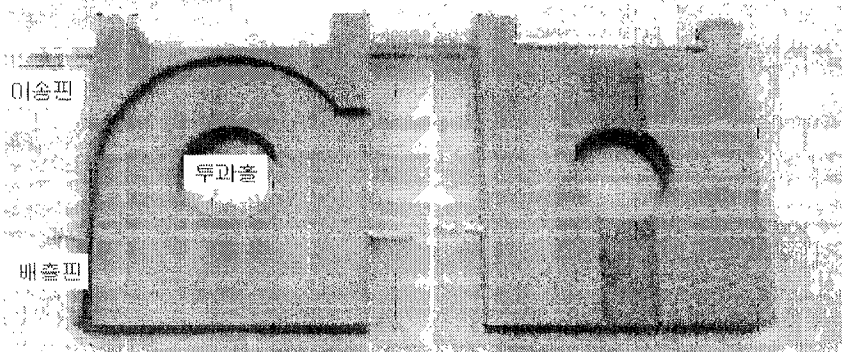


그림 4-15 자동공급장치의 동작 장면

<그림 4-14>의 설계대로 제작된 <그림 4-15>의 자동공급장치는 이송속도 500mm/sec이하의 속도에서는 자동공급이 성공적으로 이루어졌으며, 그 이상의 속도에서는 다소 불안정한 작동을 나타내었다. 기존의 중량식 전자선별기의 경우 배 선별시에 초당 2개(300mm/sec) 정도로 운전하고 있는 것을 감안할 때 실제 선별 시스템에 적용할 경우 특별한 문제점은 없는 것으로 판단되나, 장기간 운전시 내구성 등을 감안하여 기능향상을 위한 추가적인 보안을 모색중이다.

2) 자유이송접시형 이송장치

자유이송접시형 선별시스템의 이송장치는 이송접시를 이송시키기 위한 컨베이어로서, 구동방식은 체인이며, 핵심적인 구성품은 이송접시 캐리어이다. 이송접시 캐리어를 구동 체인에 부착시키기 위해 <그림 4-16>에서와 같이 이송핀을 이송접시 캐리어에 부착하여 체인과 결합시켰다. 이송접시 캐리어가 평행이 유지되도록 이송접시 캐리어에 배출핀을 부착하여 컨베이어 프레임의 이송가이드 위로 미끄러지면서 이송되도록 하였다(<그림 4-17> 참조). <그림 4-17>의 회전 가이드는 이송접시 캐리어가 체인 컨베이어에 의해 하부에서 상부로 회전하면서 올라올 때, 이송접시 캐리어의 관성에 의한 진동 및 충격을 방지하기 위하여 설치하였다.



(a) 상부면

(b) 하부면

그림 4-16 이송접시 캐리어(free-tray carrier)

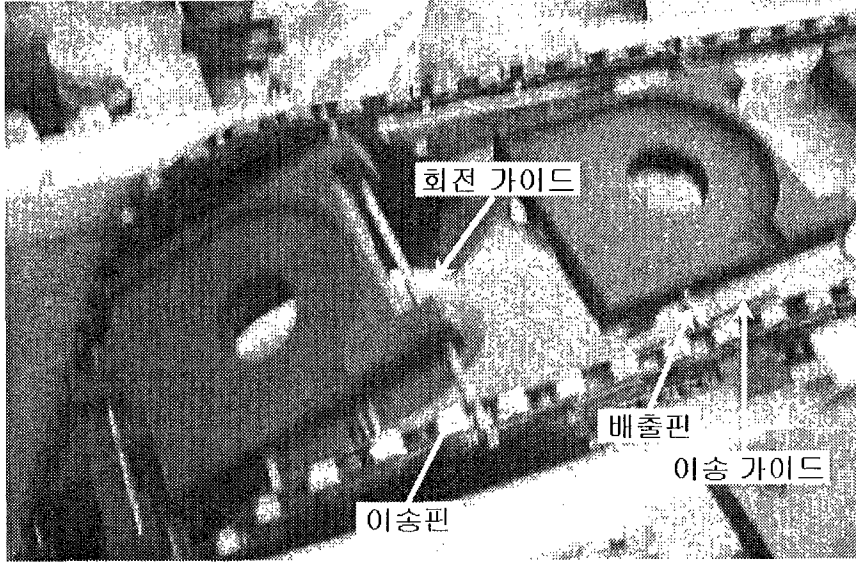


그림 4-17 자유이송접시형 이송장치의 동작 장면

3) 온라인 반사 스펙트럼 측정장치

일반적으로 배, 사과 등의 과일은 과일의 위치에 따라 당도, 산도 및 경도 등의 분포가 다르다. 따라서, 반사 스펙트럼에 의해 개개 과일의 평균 당도를 측정하기 위해서는 스펙트럼 측정시 과일 전체 면에 대한 평균 스펙트럼 측정이 요구된다. 따라서, 과일의 온라인 반사 스펙트럼 측정할 때 최대한 과일의 전체 표면영역이 고려될 수 있도록 반사 스펙트럼 측정용 프로브(probe)를 배치하여야 한다. 반사 프로브를 이용하여 온라인으로 스펙트럼을 측정할 때, 과일 시료와 프로브와의 거리 및 상대적인 각도 등에 따라 스펙트럼 신호의 크기에 차이가 나타난다. 이는 이후 스펙트럼 신호 전처리를 통해 보정이 가능하지만, 스펙트럼을 측정시에 이러한 영향이 최대한 배제되도록 프로브를 설계하는 것이 바람직하다. 프로브와 과일 시료와의 거리 및 각도 차이 등에 따른 스펙트럼 변형을 최소화시키기 위하여 <그림 4-18>과 같이 반사 스펙트럼 측정용 프로브를 설계하였다. <그림 4-18>의 프로브에서 중심부분은 조명을 위한 광파이버(illumination fiber bundles)이며, 외곽부분은 과일에서 반사된 광에너지를 입력받기 위한 광파이버(receptor fiber bundles)이다. 프로브와 시료간의 거리 및 각도 차이에 따른 스펙트럼 변화를 최대한 줄이기 위하여 이들 두 파이버간의 각도가 6° 가 되도록 하였다.

온라인 반사 스펙트럼을 측정함에 있어 최대한 과일 전체 영역에 대한 스펙트럼 측정을 위하여 그림 4-18의 반사 프로브 4개를 그림 4-19와 같이 배치하였다. <그림 4-19>와 같은 프로브배치는 과일의 적도부분에 중점을 두어 스펙

트럼을 측정하는 방식이다.

프로브의 중심부분의 조명용 파이버의 광원으로는 100W(12V DC) 텅스텐 할로겐 램프 2개를 사용하였으며, 할로겐 램프에서 출력되는 광원을 광 파이버를 이용하여 2분기 시켜 총 4개의 출력 광원을 만든 다음 각각의 프로브에 연결시켰다.

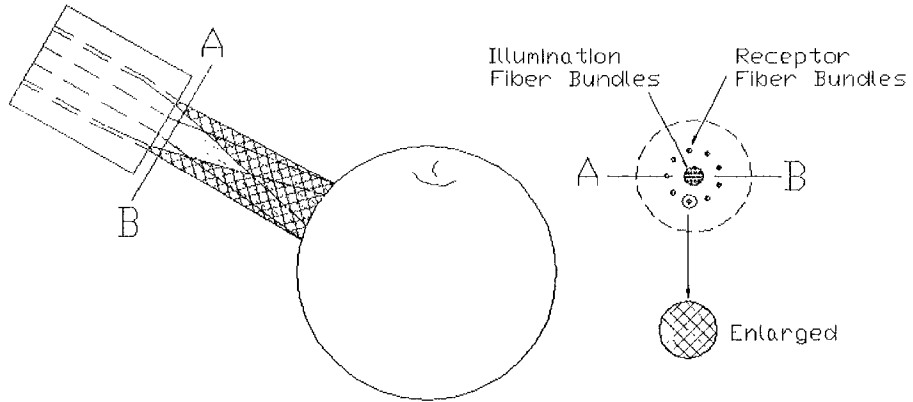


그림 4-18 온라인 반사 스펙트럼 측정장치의 프로브의 설계

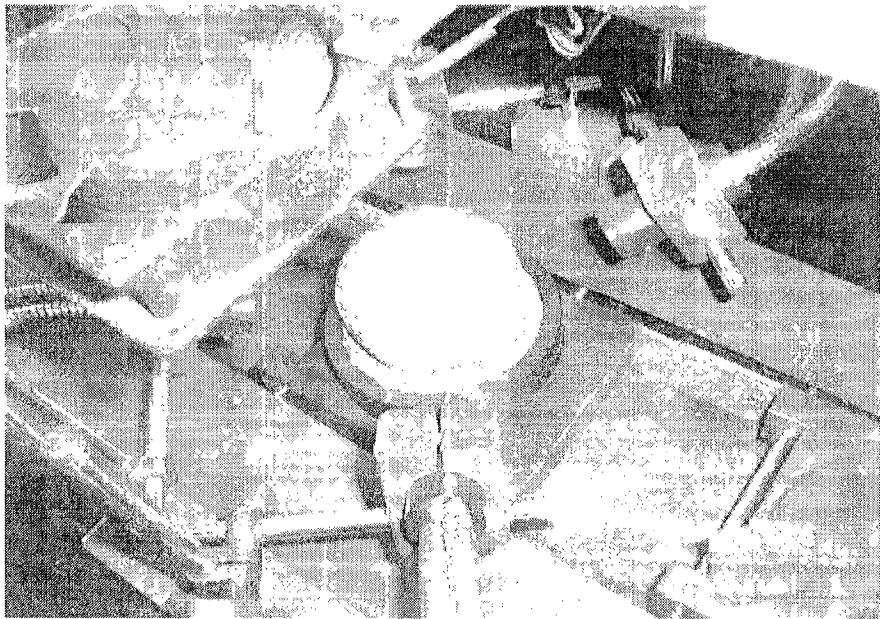


그림 4-19 온라인 반사 스펙트럼 측정장치의 외형

4) 온라인 투과 스펙트럼 측정장치

일반적으로 가시광 및 근적외선 영역의 광원은 조사한 광 에너지의 1/10~1/1,000,000 %정도가 투과하여 나오므로 입력광원이 약할 경우 투과 스펙트럼을 측정하는 것은 거의 불가능하다. 따라서, 안정적인 투과 스펙트럼을 측정하기 위해서는 입력광원의 출력이 아주 높아야 한다. 과일을 정지시킨 상태에서 과일의 투과 스펙트럼 측정을 위한 조명장치의 적정 출력에 대한 실험을 수행한 결과 500W 텅스텐 할로겐 램프 4개로 과일(배)에 조명을 가할 경우 투과 스펙트럼 측정이 가능하였다.

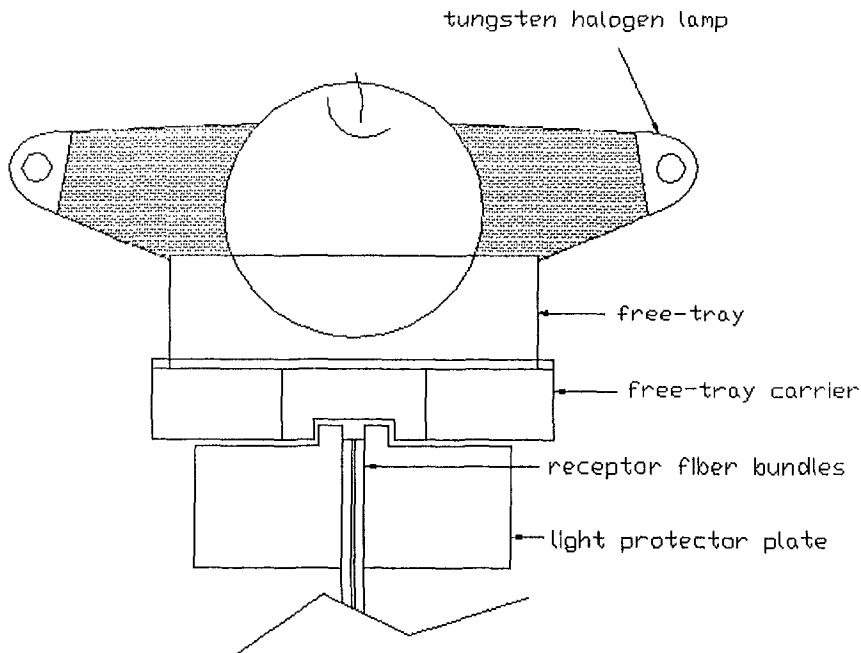


그림 4-20 온라인 투과 스펙트럼 측정장치의 투과 프로브 설치

온라인 반사 스펙트럼 측정에서와 마찬가지로 투과 스펙트럼 측정을 위해서도 과일에 균일하게 조명이 가해지도록 광원(텅스텐 할로겐 램프)를 배치하여야 한다. 또한, 시료를 이송할 경우 이송속도에 따라 적정한 조명장치의 출력이 다르므로 조광기(220V AC, 2.5kW)를 설치하여 조명의 강도를 조절할 수 있도록 온라인 투과 스펙트럼 측정장치를 구성하였다(그림 4-20). 그림 4-21과 같이 조명을 배치한 다음 이송중인 과일의 투과 스펙트럼을 측정할 결과 투과광 측정용 센서로 전달되는 대부분의 광에너지는 과일을 투과한 것보다는 이송접시 측면이나 하단부의 구조물 등에서 난반사된 광원으로, 이들 왜란 광원을 차단시키지 않을 경우 과일의 투과 스펙트럼 측정이 어려운 것으로 나타났다. 왜

란 광원이 투과 프로브로 직접 입력되는 것을 방지하기 위하여 <그림 4-16>의 이송접시 캐리어(free-tray carrier)의 하단면에 홈을 내고 중앙부위는 구멍(hole)을 내었다. 또한, 투과 프로브를 <그림 4-20>에서와 같이 투과 프로브기 이송접시 캐리어 홈에 의해 보호되도록 하고, 추가적으로 왜란광 방지 플레이트(light protect plate)를 설치하여 최대한 외부로부터의 왜란광이 투과 프로브로 입력되는 것을 방지하였다.

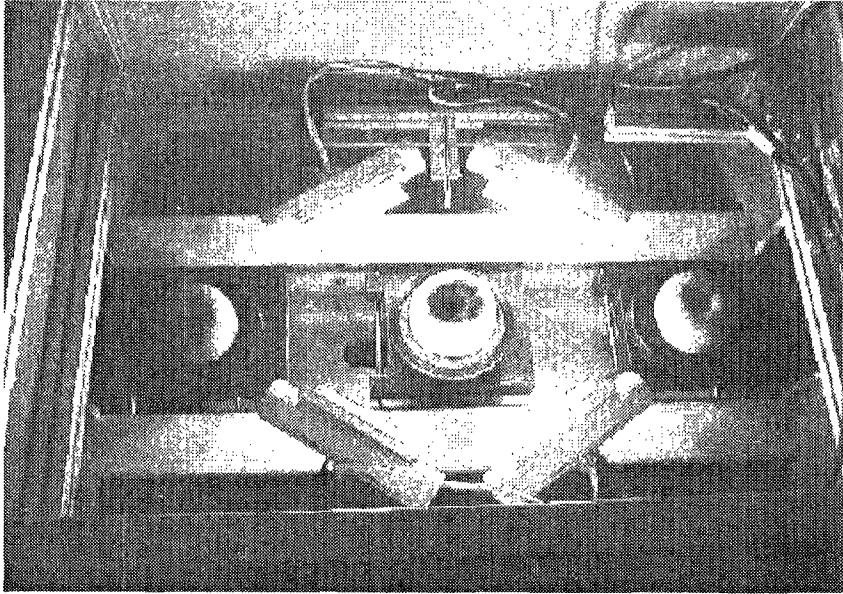


그림 4-21 온라인 투과 스펙트럼 측정장치의 조명배치

5) 배출장치

반사 혹은 투과 스펙트럼 측정장치에서 온라인 스펙트럼이 측정되고, 이 스펙트럼은 시스템 구동 프로그램의 당도 측정 루틴에서 당도가 예측된 후 정해진 등급구간에 따라 당도 등급이 부여된다. 각각의 과일(이송접시에 안착된 상태)은 등급에 따라 지정된 위치에서 배출이 이루어져야 한다. 본 실험장치의 목적은 고안된 배출메커니즘의 적정동작 여부를 테스트하는 것이므로, 이를 위하여 실험용 배출장치를 제작하기에 앞서 캐드(Auto CAD R14)로 시뮬레이션을 수행하여 이송접시 캐리어의 간격(pitch)과 배출경사 컨베이어의 경사각 및 설치위치 등을 결정하였고(<그림 4-22> 참조), 실제 실험을 위하여 1Set를 제작하여 고안된 배출메커니즘의 적정 동작여부를 테스트하였다. 배출장치부의 실제 동작상태를 <그림 4-23>에 나타내었다.

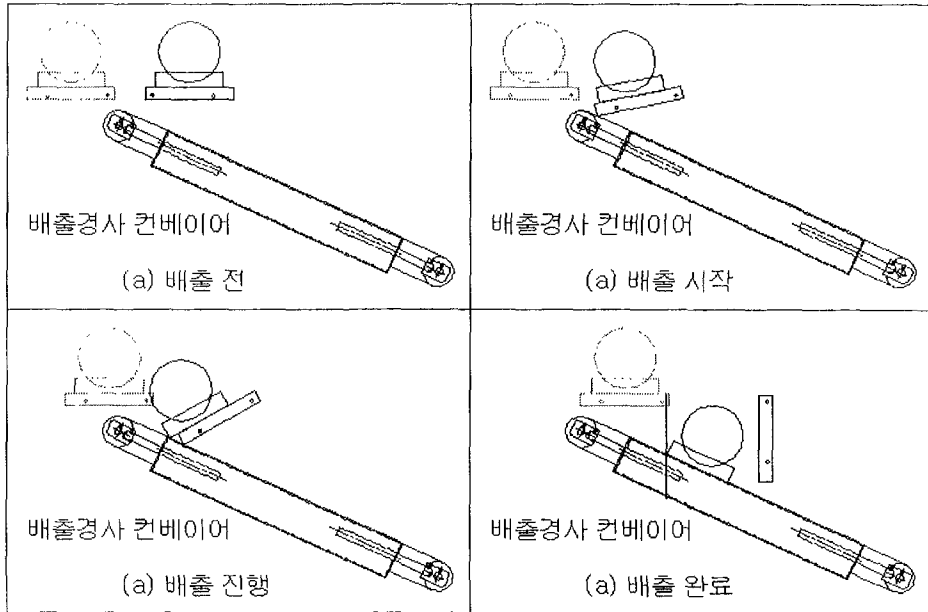


그림 4-22 CAD를 이용한 배출장치의 동작 시뮬레이션 결과

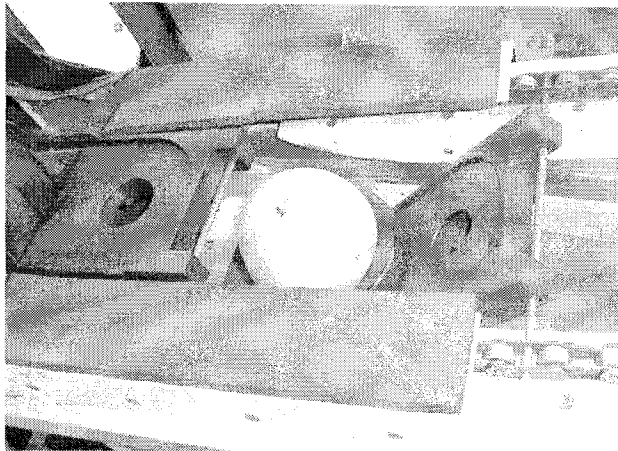


그림 4-23 배출장치의 동작 장면

6) 회송장치

배출장치에서 배출된 이송접시는 회송 컨베이어(<그림 4-8> 참조)로 이동되며, 이후 사람이 과일만을 회송시키면, 빈 접시는 다시 공급 컨베이어로 이동된다.

7) 이송접시

<그림 4-24>의 설계에 따라 이송접시를 제작하였다. 제작된 이송접시를 다양한 크기의 배를 안착시켜 실제 이송실험을 수행한 결과 무게 1kg이상의 배의 경우 접시의 크기를 증가시킬 필요가 있는 것으로 판단되었다. <그림 4-25>는 실제 제작된 이송접시의 외형을 나타낸 것이다.

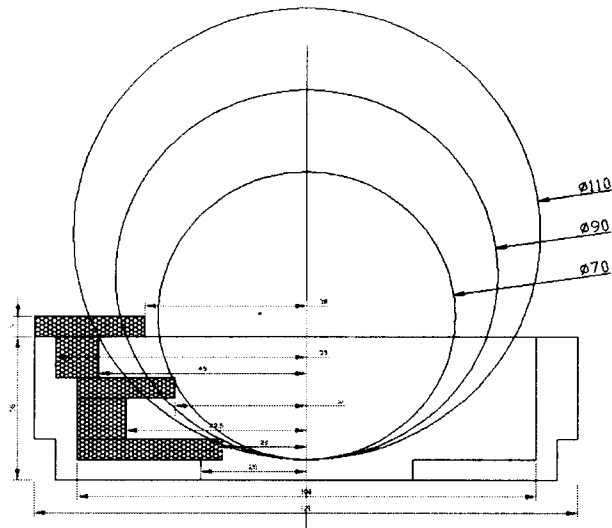


그림 4-24 이송접시의 설계

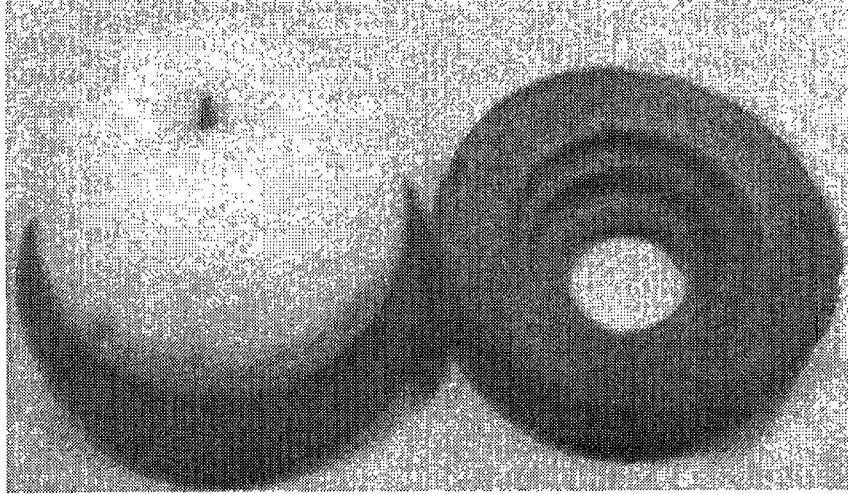


그림 4-25 이송접시의 외형

나. 체인 컨베이어식 선별 시스템의 성능 실험 결과

1~2차년도 연구에 걸쳐 개발된 체인 컨베이어 및 캐리어를 이용한 선별 시스템의 경우, 전체적으로는 작동이 원활하였으나, 몇가지 문제점이 발견되어 이를 보완해야 할 것으로 판단되었다.

즉, 원료의 공급을 위하여 사용된 스타휠은 이송접시를 캐리어에 정확하게 안착시키기 위하여 설계/제작되었으나, 제작이 까다롭고, 정확한 동기화를 요구하여 보다 쉽게 공급이 될 수 있는 방식이 필요한 것으로 판단되었다.

원료의 배출에 있어서, 배출 경사각이 커서 배출시 접시에서 배가 이탈되는 경우가 발생하는 경우가 있고, 또한 배출시의 충격에 배가 상처를 다소 입을 가능성이 있어 이를 보완해야 할 것으로 판단되었다.

원료 이송접시의 경우, 과실이 너무 클 경우 과실 외경이 접시 외정보다 큰 경우가 있어 접시의 크기를 증가시켜야 할 것으로 판단되었다.

3. 평벨트 컨베이어식 선별 시스템 설계 및 제작

앞에서 개발된 체인 컨베이어식 선별 시스템의 시작기에서 발견된 보완점을 개선하기 위하여, 본 연구의 최종년도에는 평벨트 컨베이어를 이용한 선별 시스템을 재설계하였다. <그림 4-11>에서 보는바와 같이, 과실이 담겨져 있는 모든 이송접시는 평벨트의 동일 평면상에서 공급, 선별, 배출이 이루어지게 되고, 특히 배출의 경우 자동등급분류가 과실에 손상이 전혀 없도록 설계하였다.

가. 주요부 설계/제작

1) 자유이송접시

자유이송접시형 선별 시스템에서는 과실이 올려져 이송될 자유 이송 접시의 형상이 매우 중요하다. 즉, 카메라 시스템을 이용하여 외부품질을 판별하기 위해서는 가능한한 과실의 전체면이 카메라에 노출되어야 하며, 근적외선 투과광을 이용하여 내부 품질을 측정하기 위해서는 과실의 상부에서 입사되는 광이 배를 투과하여 접시하단의 NIR센서에서 누광이 되지 않고 효율적으로 집광이 되도록 설계되어야 한다. 또한 다양한 과실(배, 사과, 복숭아, 딸론 등의 구형 과일)에 대해 선별이 가능한 시스템을 구축하기 위해 그 크기 및 형상이 설계되어야 한다. 배의 경우, 특히 신고는 그 표피가 다른 과실에 비해 보다 연약하여, 작은 충격에도 상처를 입기 쉬우므로 이를 고려해야 한다.

본 연구에서는 이러한 설계조건을 바탕으로 그림 4-26과 같이 자유이송접시를 설계/제작하였다. 그림에서 자유이송접시의 외경은 메론의 선별이 가능하도록 직경을 220mm로 하고, 높이는 40mm로 하였다. 또한 구형의 과일에 적합하도록 접시의 내부에 깊이 10mm의 단($\phi 160, \phi 120, \phi 50$)을 설치하여 과일이 접시의 내면에 안착이 되도록 하였다. 각 단의 면에는 내경이 각 단의 내정보다 10mm 작은 흑색의 러버를 절단, 부착하여 누광의 차단과 과일의 안착이 용이하도록 하였다. 이송접시의 재료로는 내마모성이 강한 엔지니어링 플라스틱을 사용하여 장기 반복 사용시 발생할 수 있는 손상이 최소화되도록 하였다. 그림 4-27은 실제 제작된 자유이송접시의 외형이다.

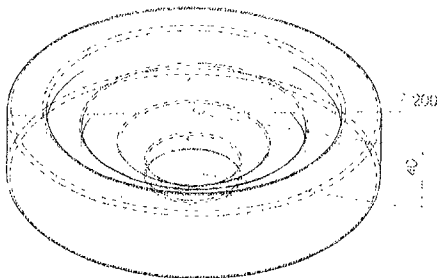


그림 4-26 자유 이송접시 설계

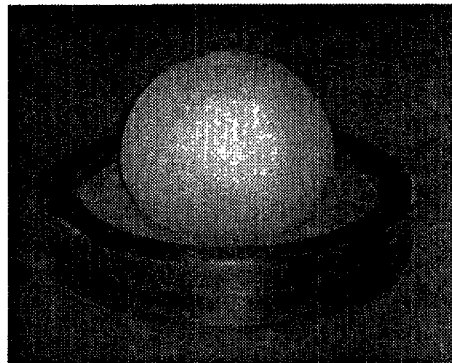


그림 4-27 자유이송접시 외형

2) 시료 접시 공급부

회송라인으로부터 들어오는 빈 접시에 인력에 의해 과일을 올려놓고, 각종 센서가 부착된 선별라인으로 자유이송접시를 자동으로 공급하기 위하여, 접시 공

급부를 <그림 4-28>과 같이 설계하였다. 1·2차년도에 제작된 캐리어 방식 시스템의 경우, 각각의 접시를 접시이송 캐리어에 하나씩 정확하게 밀어 넣기 위하여 스타휠 방식을 채용하였으나, 구조가 복잡하고 3차년도에 최종 결정된 시스템 레이어아웃에는 맞지 않으므로, 적합한 방식으로 설계할 필요가 있다. 따라서 원료 공급 컨베이어로부터 배가 담겨진 이송접시가 원료 공급가이드에 의해 각종 센서가 장착되어 있는 이송컨베이어로 공급되고, 다른 복잡한 메커니즘이 필요없이 단순히 컨베이어 상에서 이송되는 접시를 가이드를 이용하여 그 이송방향만 전환해줌으로써 원활한 공급이 될 수 있도록 하였다.

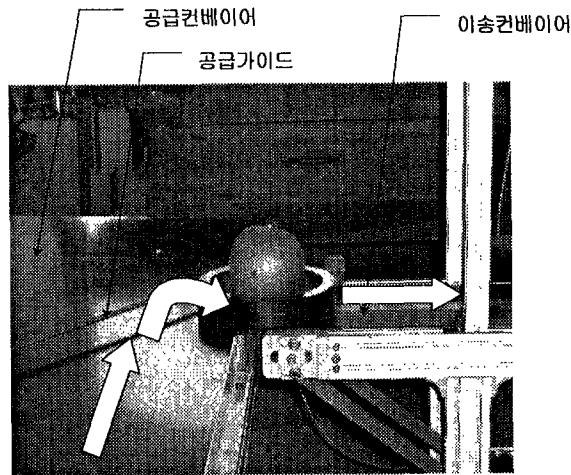


그림 4-28 원료공급부의 외형

3) 자동 공기 세척 장치

수확된 배의 표면에는 배 잎이나 기타 이물질이 부착되어 있으므로, 이를 제거해야 한다. 또한 꼭지나 꽃받침부에는 응애 등이 부착되어 있어 배 수출시 문제가 되고 있다. 따라서 이를 제거하기 위하여 기존에는 인력에 의한 공기세척 작업이 이루어지거나, <그림 4-29>와 같은 공기 세척 장치를 설치하여 사용하였다. 이러한 방식은 배가 선별라인에 공급되기 전에 별도의 라인을 구성하여야 하므로 전체 라인이 복잡해지고 별도의 작업 인원이 필요하게 된다.

본 과제에는 기존의 공기 세척방식을 개선하기 위하여 그림 4-30과 같은 자동 공기 세척장치를 제작하고, 이를 전체 라인의 중간에 설치하여 별도 라인을 없애고, 추가 인력이 필요한 문제점을 해결하였다.

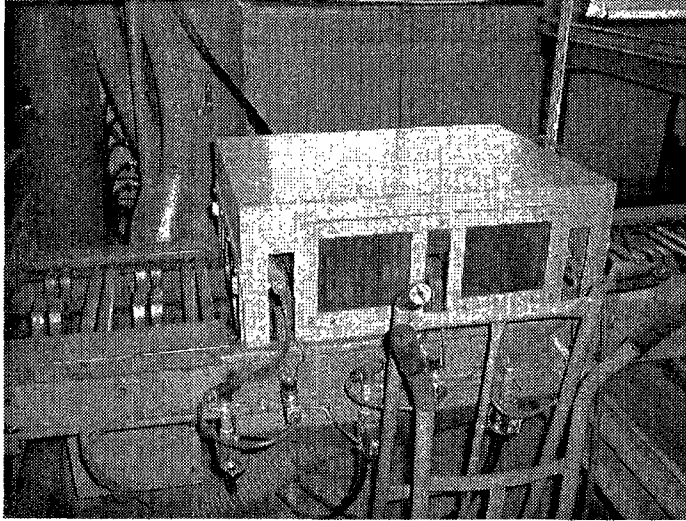


그림 4-29 관행의 공기세척장치

그림 4-30에서 원료공급 컨베이어에서 공급되는 자유이송접시는 위치감지 센서에 의해 위치가 감지되고, 이 신호에 의해 공압 솔레노이드가 작동되어 꼭지부 및 꽃받침부의 위치에 설치된 공압 노즐을 통해 고압의 공기가 분사되게 된다. 분사된 고압 공기에 의해 꼭지부 및 꽃받침부에 있는 응애 및 기타 이물질이 제거되게 된다.

그림 4-31은 실제 제작된 자동 공기 세척장치이다. 자동 공기 세척 장치는 전체 시스템에서 기형과 검출 센서 앞부분의 위치에 설치하여 각종 품질 측정이 이루어지기 전에 작동이 되도록 하였다.

위치감지센서로는 리밋트 스위치를 사용하였으며, 리밋트 스위치의 신호를 받아 고압의 공기가 배출되게 하기 위하여 공압 솔레노이드를 사용하였다. 공기 세척장치는 전체 시스템의 제어와는 무관하게 독립적으로 작동되도록 하여 필요시 착탈이 용이하도록 구성하였다.

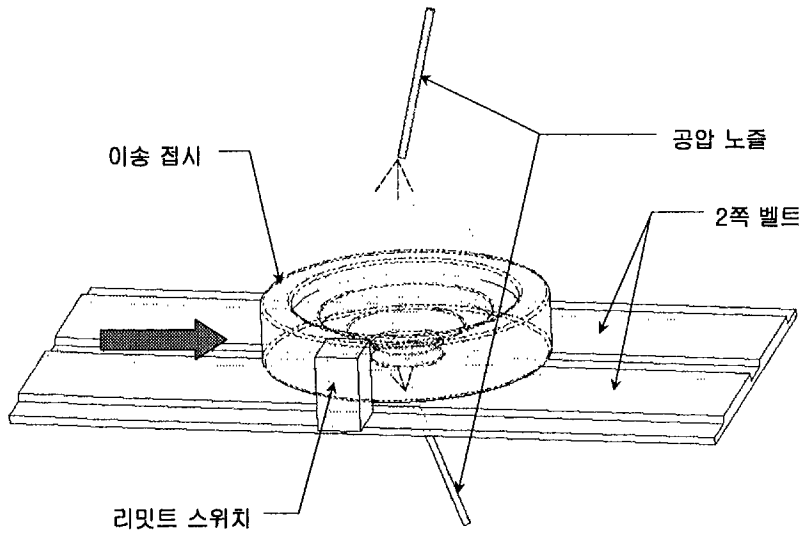


그림 4-30 자동 공기세척장치의 작동원리

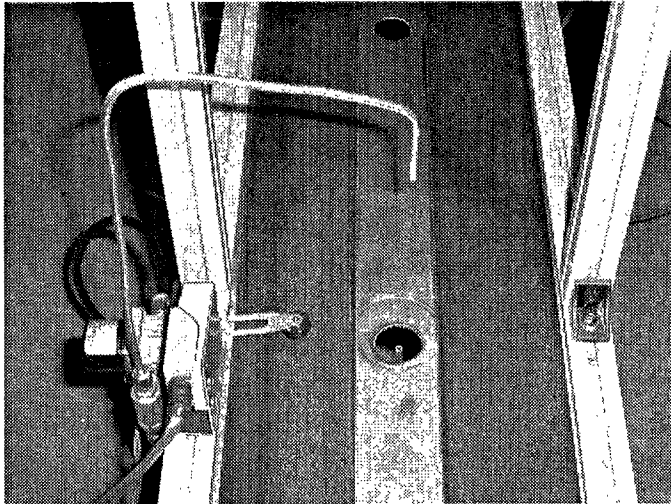


그림 4-31 자동 공기세척장치의 외형

4) 레이저 구조광 형상 판정 장치

레이저 광원을 이용한 형상 판정 장치를 그림 4-32와 같이 구성하였다. 진행방향의 전후에 레이저 광원을 설치하여 레이저선이 과일의 상단부에 조사되도록 프레임을 구성하였다. 조사된 레이저선은 과일의 기형정도에 따라 다양한 패턴을 나타내게 되고 이 패턴을 상부에 설치된 카메라를 이용하여 영상을 획득한 후, 2장에서 개발된 기형과 판정 알고리즘에 따라 판정이 되게 하였다. 컨베이어 벨트의 측면에 자유이송점시의 위치를 감지하기 위한 포토센서를 설치하고, 센서에서 나오는 트리거 신호에 의해 영상이 획득되도록 장치를 구성하였다.

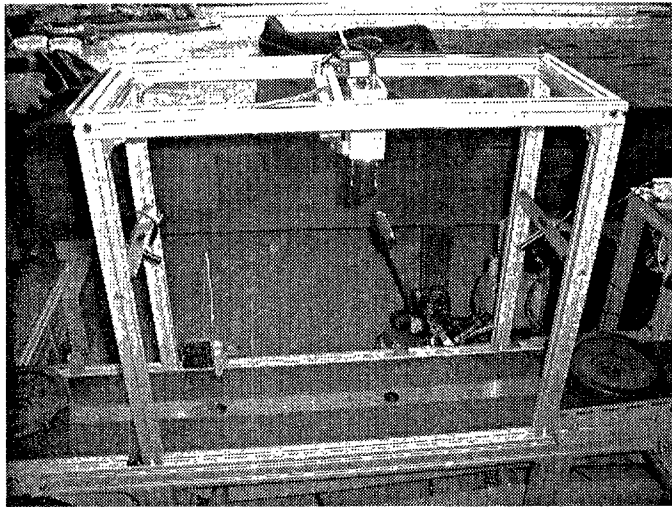


그림 4-32 레이저 형상판정장치의 외형

5) 스펙트럼 측정 장치

과일의 당도를 판정은 과일에 대해 반사 혹은 투과 스펙트럼을 실시간 분광광도계를 이용하여 측정하고, 그 스펙트럼 특성을 분석하여 이루어지게 된다. 따라서 반사 혹은 투과 스펙트럼을 측정하기 위한 장치의 구성이 필요하며, 본 연구에서는 1·2차년도에 반사 및 투과 스펙트럼 측정장치를 구성, 간이 당도 판정 시스템을 구축하여 그 성능을 확인한 바 있다. 근적외선의 특성상 반사 스펙트럼의 경우, 과일의 표면 수 mm정도의 정보만 얻게 되므로 과일의 전체적인 내부품질과 관련된 정보를 얻기에는 불리하며, 또한 과일 내부 결함의 경우 반사 스펙트럼으로는 분석하기가 어려운 것으로 판단되었다. 따라서 3차년도 연구에서는 반사 스펙트럼 측정장치를 제외하고, 2차년도의 투과 스펙트럼 측정장치를 개선/보완하여 최종적인 시스템을 구성하였다.

투과 스펙트럼 측정 장치는 광원부의 구성과 투과 스펙트럼을 획득하기 위한

광파이버의 구성이 중요하다. 광원부의 경우, 광원은 점광원과 선광원으로 나눌 수 있으며, 3차년도에서는 2차년도에 개발된 투과 스펙트럼 측정장치를 바탕으로 하여 광원부를 점광원 및 선광원을 사용하여 스펙트럼을 측정할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

온라인 반사 스펙트럼 측정에서와 마찬가지로 투과 스펙트럼 측정을 위해서도 과일에 균일하게 조명이 가해지도록 광원(텅스텐 할로겐 램프)를 배치하여야 한다. 또한, 시료를 이송할 경우 이송속도에 따라 적절한 조명장치의 출력이 다르므로 조광기(220V AC, 2.5kW)를 설치하여 조명의 강도를 조절할 수 있도록 온라인 투과 스펙트럼 측정장치를 구성하였다.

투과 스펙트럼의 측정은 입사광을 주기 위한 광원부로 점광원 및 선광원을 사용하여 각각 실험하였으며, 2장에서 연구 결과, 보다 안정적인 스펙트럼을 획득할 수 있는 광원은 선광원으로 나타나, 이를 이용하여 최종적인 시스템을 구성하였다.

가) 광원부 설계

일반적으로 가시광 및 근적외선 영역의 광원은 조사한 광 에너지의 1/10~1/1,000,000 %정도가 투과하여 나오므로 입력광원이 약할 경우 투과 스펙트럼을 측정하는 것은 거의 불가능하다. 따라서, 안정적인 투과 스펙트럼을 측정하기 위해서는 입력광원의 출력이 아주 높아야 한다. 또한 배의 투과 스펙트럼을 안정적인 측정을 위해서는 광원부의 설계가 중요하다. 배나 사과와 같은 과일의 경우, 씨방을 중심으로 조직의 방향성이 있기 때문에 광원의 위치에 따라 동일한 시료라도 조금씩 다른 스펙트럼 특성을 보일 수 있다. 이러한 영향을 최소화하기 위해서는 광원의 배치를 최적화할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 광원부에 점광원과 선광원의 두가지 광원을 사용하여 실험을 하고, 그 중에서 보다 안정적인 스펙트럼을 획득할 수 있는 광원을 선정하였다.

점광원의 구성은 과일에 광이 집중될 수 있도록 직류전원(DC12V, 100W)에서 작동하는 텅스텐-할로겐 램프를 사용하고, 특히 램프의 선정에 있어서 근적외선 영역 광의 세기를 증폭하기 위하여 램프의 반사갓에 금코팅이 되어 있는 것으로 하였다. 점광원의 배치는 시료가 이송접시에 담겨 투과광 측정부를 지나갈 때 측정되도록 그림 4-33와 같이 양측면의 상부에서 2개씩 총 4개의 램프를 설치하여 총 400W의 광이 과일에 집중되도록 하였다.

선광원은 그림 4-34와 같이 이송접시가 센서의 중앙을 지나갈 때, 양측면 하단에서 과일의 중심부에 광이 조사되도록 200W의 선광원을 두 개 설치하였으며, 진행방향의 전후 상방에 200W의 선광원을 설치하였다. 과일이 센서를 지나갈 때 좌우측 및 전후측에서 과일의 표면에 고르게 조사되도록 배치하였다. 또한 광원의 냉각을 위하여 팬을 좌우 2개씩 4개 그리고 상단에 1개를 설치하여 램프가 가열되지 않도록 하였다.

나) Collimating 렌즈 제작

광원부에서 조사된 광은 과일을 투과하여 센서부로 입사되어 투과 스펙트럼이 측정된다. 이때 투과광은 그 광량이 매우 미약하게 된다. 자유이송접시의 경우, 접시와 배의 사이에는 광차단체를 사용하여 배를 투과한 광 이외에는 센서로 입사되지 않도록 하였으나, 배의 곡면과 광차단체 사이에 누광이 발생할 가능성이 있고, 접시주변부로 반사/산란된 광이 왜란으로 입사될 가능성이 있다. 따라서 배 밑부분에서 투과된 광만을 포집하기 위하여 collimating 렌즈를 제작하여 왜란광이 최소화되도록 하였다. collimating 렌즈는 평행하게 입사되는 광만을 획득하기 위한 장치로서 다양한 렌즈의 조합으로 구성하였다.

다) 투과 광 측정

광원부에서 방사되는 광이 배가 올려져 있는 자유이송접시를 통과하여 효율적으로 collimating 렌즈에 입사되도록 컨베이어벨트를 2개의 쪽으로 분리하고, 그 사이에 지름 30mm의 렌즈 개구부를 설치하였다. collimating 렌즈를 통과한 광은 직경 1000 μ m의 광파이버 프로브로 모아져 스펙트로메터(S2000, OceanOptics, USA)로 전송되게 하였다.

스펙트로메터에서 측정된 분광 스펙트럼 정보는 A/D보드(ADC1000, OceanOptics, USA)를 통하여 컴퓨터로 보내져 연산이 이루어지게 하였다.

무작위로 센서쪽으로 들어오는 자유이송접시의 위치를 감지하여 투과 스펙트럼이 측정되도록 포토센서(BF3RX, Autonics, Korea)를 설치하였다. 포토센서의 신호는 입력 8Ch, 출력 8Ch의 Digital IO 보드(AX5008, Axiom, Taiwan)를 통하여 컴퓨터로 전송되며, 이 신호에 의해 이송접시가 감지되면 트리거링되어 투과 스펙트럼이 측정되도록 하였다.

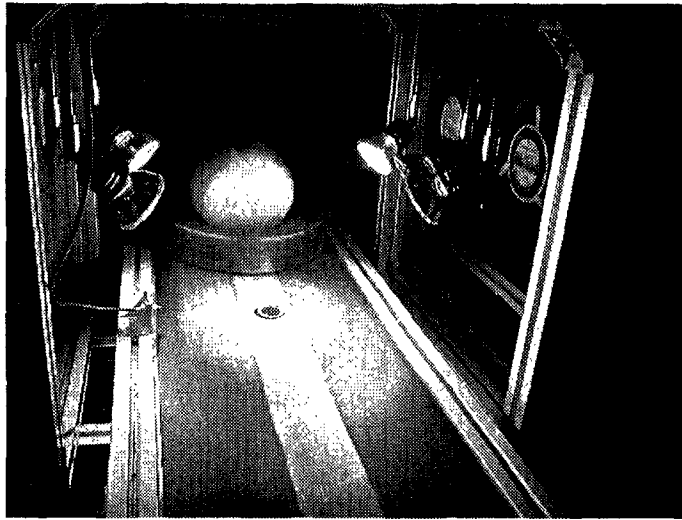


그림 4-33 점광원을 사용한 투과 스펙트럼 측정장치

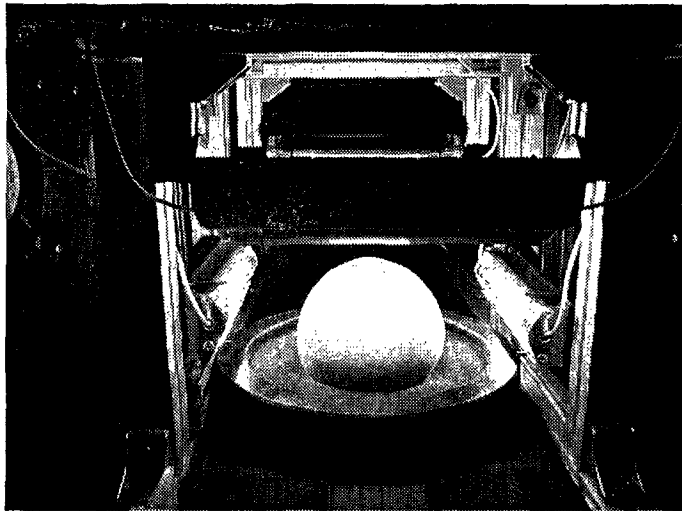


그림 4-34 선광원을 이용한 투과 스펙트럼 측정장치

6) 자유이송접시형 중량 측정 장치

가) 전자저울

자유이송접시의 경우, 공급에서 등급분류까지 컨베이어상에서 모두 움직이게 되므로 이에 적합한 중량 측정장치의 설계가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 컨베이어의 측에 로드셀을 설치하여 이송접시가 저울 컨베이어 위를 지나갈 때, 중량이 측정되도록 전자저울(CAS, Korea)을 구성하였다. 그림 4-35에서

전자저울로 진입한 이송접시는 이송 컨베이어에 의해 로드셀이 장착된 중량 측정 컨베이어로 공급이 되고, 이때 위치센서에 의해 접시가 감지되어 중량 측정 트리거 신호가 컴퓨터에 전달되게 된다. 트리거 신호가 감지된 시점으로부터 필요한 수의 데이터를 전자저울 컨트롤러(CI-6000A, CAS, Korea)의 시리얼 포트로부터 PC로 읽어 들여, 데이터 전치리를 행하고 중량이 측정되도록 중량 측정 장치를 구성하였다. 중량 측정 장치에 사용된 로드셀의 제원은 AD변환속도가 50 회/sec이며, 최대 측정 중량 5kgf, 정지상태에서의 측정 오차는 $\pm 10g$ 이다.

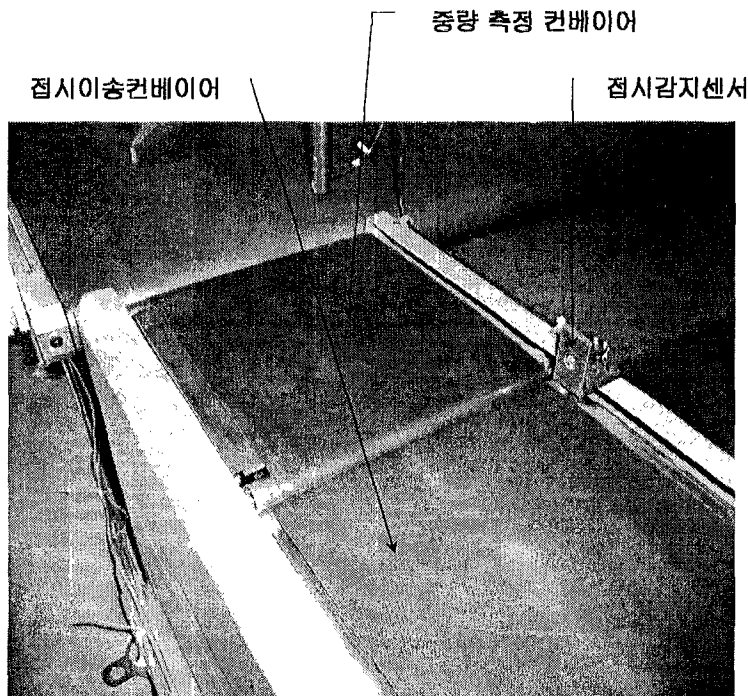


그림 4-35 자유이송접시형 전자저울의 외형

나) 전자저울 신호의 안정화

자유이송접시형 중량 측정장치는 접시가 컨베이어 위를 지나갈 때 그 중량이 측정되므로, 접시와 과일의 무게를 합한 중량만큼의 운동량을 가지게 되며, 컨베이어 위를 지나갈때의 진동에 의해 측정되는 데이터의 변이가 커지게 된다. 이는 특정 시점에서의 신호를 측정할 경우 그 무게의 변화 때문에 정확한 중량 측정이 어렵게 되므로 이를 보완할 필요가 있다. 그림 4-36은 전자저울 위를 지나가는 동일한 접시의 무게를 5반복 측정하여 프로팅한 것으로, 측정 시점에 따라 중량 편차가 남을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 센서로부터 트리거 신호가 입력된 시점으로부터 필요한 수만큼 중량 데이터를 연속 측정한 후 그

Median 평균값을 구하여 이를 측정중량으로 하였다.

그림 4-27은 실제 측정한 배의 중량값과 자유이송접시형 전자저울로 측정한 값과의 상관 그래프로서, 표준편차 $\pm 18.4g$ 정도의 정밀도를 나타내었다.

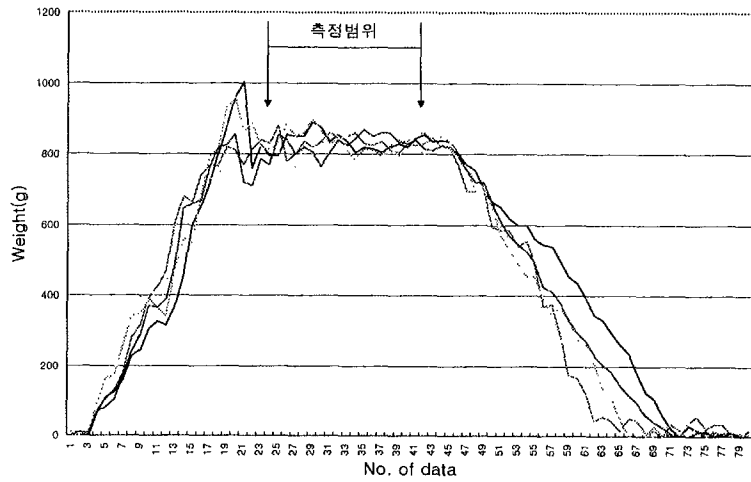


그림 4-36 전자저울에 의한 중량 측정

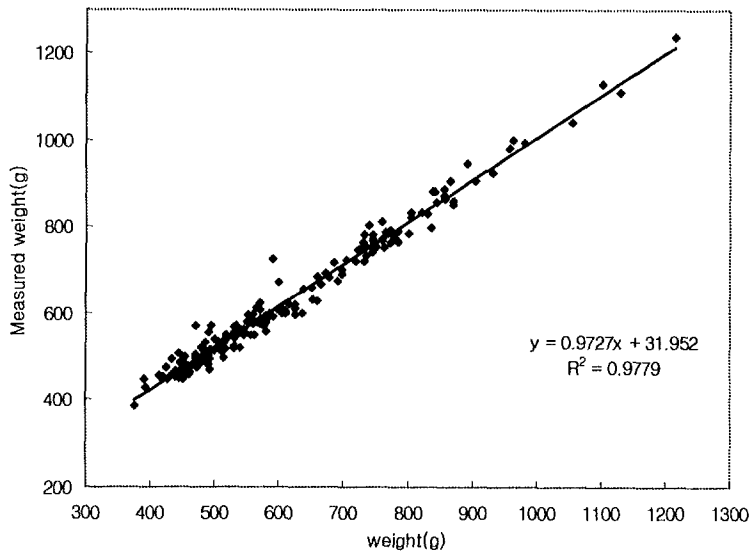


그림 4-37 과일중량 및 측정중량의 상관 그래프

7) 자동등급 분류

가) 자동 등급분류 장치

(1) 등급분류 액추에이터

기존의 배 선별시스템의 경우, 접시 형태의 공급/배출 방식이 주로 사용되었으나, 본 과제에서는 자유이송접시를 이용하여 배의 공급/배출이 이루어지게 되므로, 새로운 배출방식이 설계되어야 한다. 따라서 그림 4-38과 같은 등급분류 액추에이터를 설계/제작하였다. 등급분류 가이드의 왕복 회전에 의해 자유이송접시가 컨베이어상에서 자연스럽게 진행 흐름을 바꾸어 배출 방향이 결정되도록 하였다. 등급분류 액추에이터는 등급분류를 위한 분류 가이드부와 이 가이드를 왕복 회전시키기 위한 회전 솔레노이드로 이루어지며, 시스템 컨트롤러에서 오는 등급분류 신호에 따라 액추에이터의 솔레노이드를 작동시켜 컨베이어상에서 자유이송접시의 방향이 결정되게 하여 최종 등급라인으로 배출되도록 하였다. 액추에이터에 사용된 회전 솔레노이드는 회전각 95° , 토크 0.046 Nm의 사양을 갖는 AWG490(Shindengen, Japan)을 사용하였으며, 회전 솔레노이드가 원활하게 회전하도록 베어링을 가이드 축에 부착하였다. 또한 무작위로 들어오는 개개의 접시의 위치를 확인하기 위하여 분류 액추에이터 앞에 위치감지를 위한 포토센서를 부착하였다. 그림 4-39는 실제 제작된 등급분류 액추에이터의 외형이다.

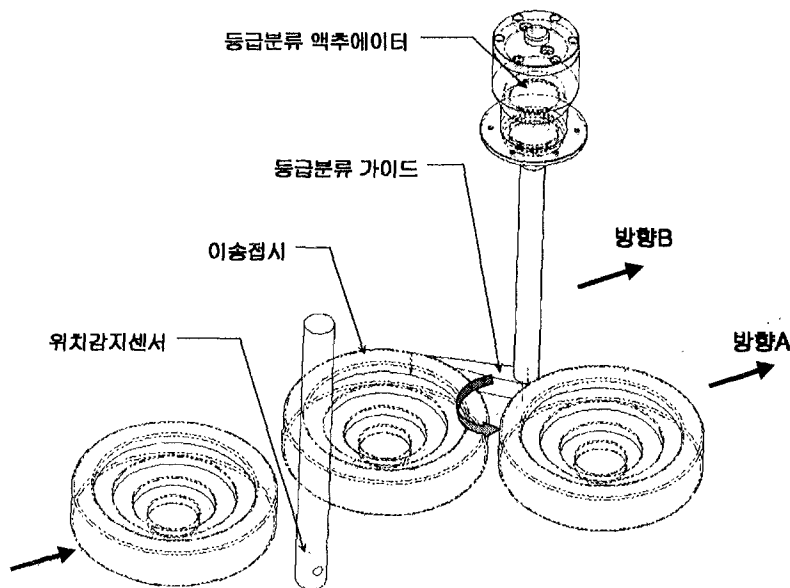


그림 4-38

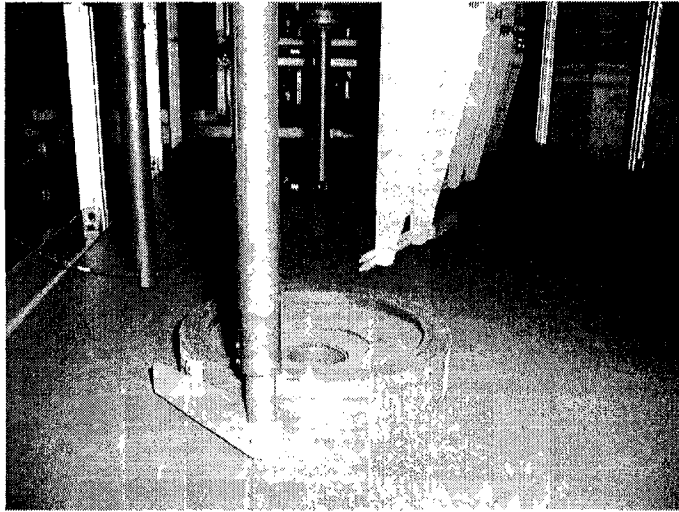


그림 4-39 등급분류 액추에이터 외형

(2) 자동 등급분류 및 회송라인

상기 등급분류 액추에이터를 이용하여 3등급 및 5등급 배출 컨베이어를 제작하였다. 그림 4-40 및 그림 4-41과 같이 등급분류 액추에이터와 각 등급간의 간격을 주기 위한 등급분류 보조 가이드로 등급분류 라인을 구성하였다. 3등급 배출 컨베이어의 경우, 각 등급은 당도 2개 등급(특이상, 미숙)과 기형과 배출 등급으로 이루어지게 구성하였으며, 당도 특이상의 경우에는 전자저울 쪽으로 바로 이송되어 중량이 측정된 후, 5등급 배출 컨베이어로 이송될 수 있도록 하였고, 미숙과 및 기형과에 대해서는 중간회송라인을 거쳐 다시 공급컨베이어 쪽으로 회송되도록 하였다.

등급이 분류되는 원리는 등급분류라인으로 진입하는 이송접시는 먼저 위치 감지 센서에 의해 진입여부가 감지되고, 해당 등급일 경우에는 등급분류가이드가 액추에이터에 의해 작동되어 해당 등급라인으로 배출이 되게 된다. 해당 등급이 아닐 경우에는 액추에이터가 작동하지 않게 되고, 등급분류 가이드 및 방향 가이드를 따라 다음 등급으로 넘어가게 되어, 같은 동작을 반복하게 된다. 전자저울을 통과한 이송접시는 5등급 분류라인에 의해 각 등급으로 분류되고, 이를 회송하기 위하여 회송컨베이어를 이용하였다.

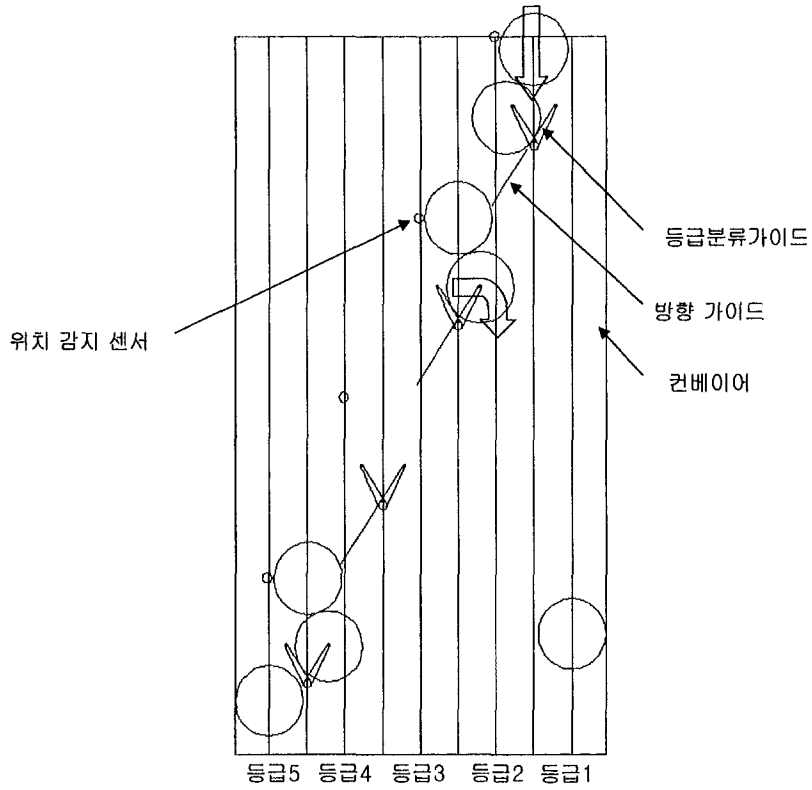


그림 4-40 등급 분류 라인 작동 원리

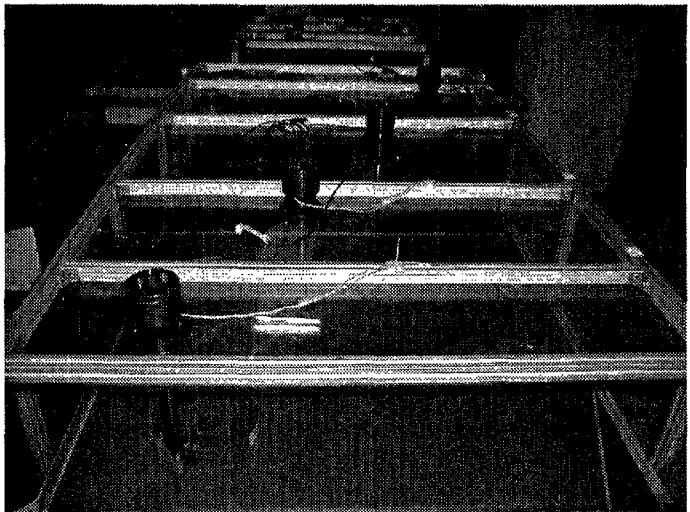


그림 4-41 5등급 자동 분류 라인의 외형

나) 자동 등급분류 알고리즘

본 연구에서 개발된 자유이송형 선별 시스템의 경우, 공급컨베이어에서 공급되는 자유이송접시가 무작위로 품질 측정 센서로 이송되므로, 배출단에 도달하는 접시 또한 무작위로 되게 된다. 따라서 기존의 배출 알고리즘으로는 이를 처리하기가 어려우므로, 무작위 배출 알고리즘과 그에 대응되는 배출 장치가 필요하다. 배출장치로는 앞에서 언급한 자동등급분류 액추에이터와 분류 라인을 이용하여 위치검출 센서를 이용한 자동배출 라인을 구성하였다. 무작위 배출을 위한 알고리즘은 <그림 4-42>와 같으며, 이의 구현을 위해 PLC를 컨트롤러로 사용하였으며, 래더 다이어그램(ladder diagram)을 이용하여 PLC용 배출 알고리즘을 구현하였다(<그림 4-43>~<그림 4-44>).

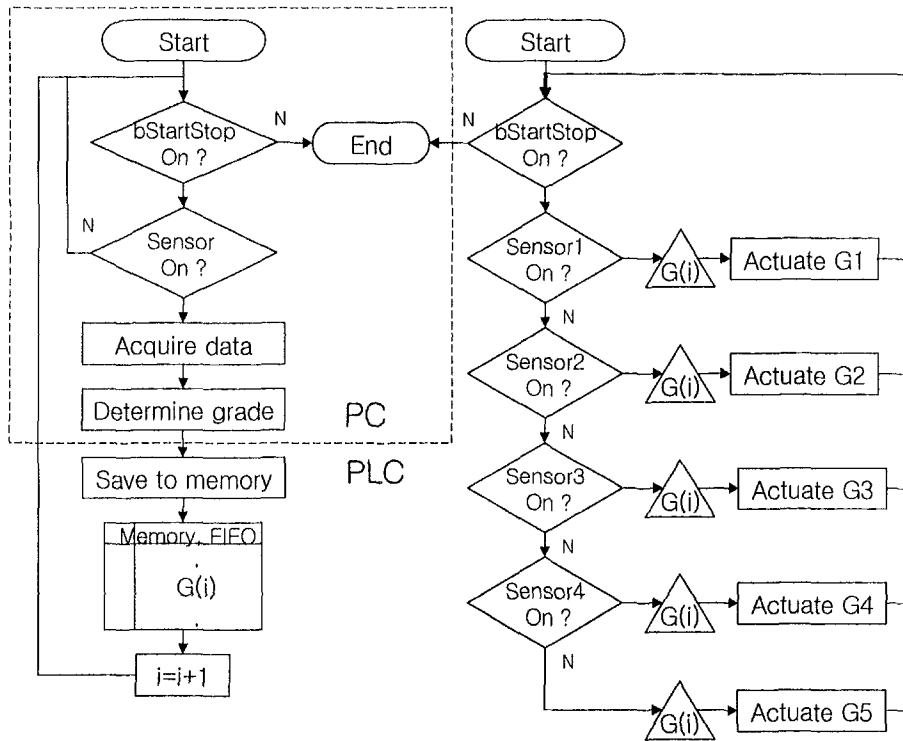


그림 4-42 무작위 자동 배출 알고리즘

<그림 4-42>는 전자저울에서 측정된 중량 5등급의 자동 배출 알고리즘으로, 기형과 및 당도판정 센서도 동일한 알고리즘이 적용된다. 알고리즘은 크게 품질 측정센서에서 데이터를 측정하기 위한 루틴과 액추에이터를 작동하기 위한 루틴 두 부분으로 나뉘어진다. 데이터 측정을 위한 루틴은 위치센서에 의해 감지된 자유이송접시가 품질측정센서의 정위치에 도달하게 되면 데이터를 획득하고, 이 데

이터를 연산하여 PC에 내장된 등급판정 루틴에 의해 등급이 결정되고, 그 등급 정보는 디지털 IO보드를 통해 PLC로 그 등급정보가 전달된다. PLC의 내부 메모리에 저장된 등급정보는 PLC를 통해 들어오는 등급분류컨베이어의 위치센서에 의해 각 이송접시의 위치가 파악되고, 저장된 메모리에서 해당 등급의 정보를 추출하여 액추에이터가 작동되게 하였다.

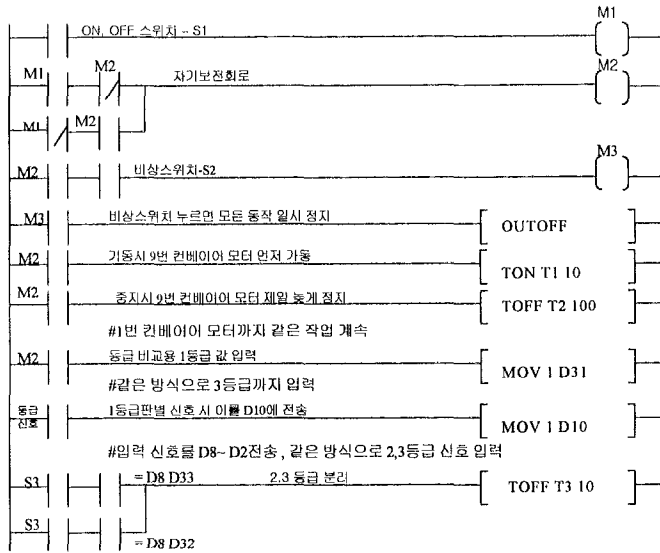


그림 4-43 PLC 래더 다이어그램(계속)

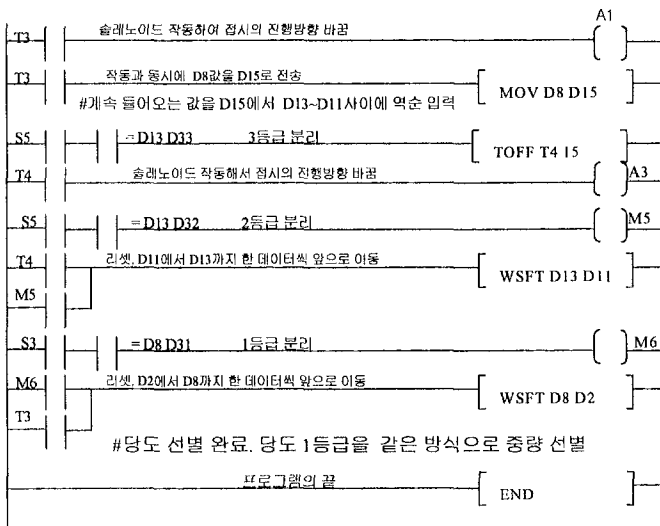


그림 4-44 PLC 래더 다이어그램

8) 시스템 구동 컨트롤러

본 연구의 경우 최종년도에서는 각각 개발된 단위 측정장치를 통합한 온라인 선별 시스템을 구축하는 것이 목표이므로, 시스템의 구동을 위하여 <그림 4-45>와 같이 시스템 컨트롤러를 구성하였다. 시스템 컨트롤러는 크게 산업용 PC, DIO 보드, PLC, 센서 및 액추에이터로 구성된다. PC에는 스펙트럼을 측정하기 위한 스펙트로메터 및 AD보드가 장착하였고, 또한 레이저 영상을 획득하기 위하여 프레임 그래버 및 카메라를 장착하여, 영상처리 시스템과 스펙트럼 측정 시스템을 PC에 통합되도록 하였다.

PLC의 경우 각종 센서 및 액추에이터의 신호 입출력을 처리하고, 시스템의 ON/OFF나 각종 파일럿 램프의 작동을 처리하도록 구성하였다. 또한 각종 하드웨어의 작동 상태를 운영프로그램에 표시하기 위하여 센서 및 하드웨어의 ON/OFF상태를 PC의 DIO 보드를 통해 PC로 전송하도록 접점을 구성하였다. 이는 사용자가 운영프로그램상에서 각종 하드웨어의 작동 상태를 모니터링하여, 운전중의 이상 발생을 자동 감지하기 위한 것이다.

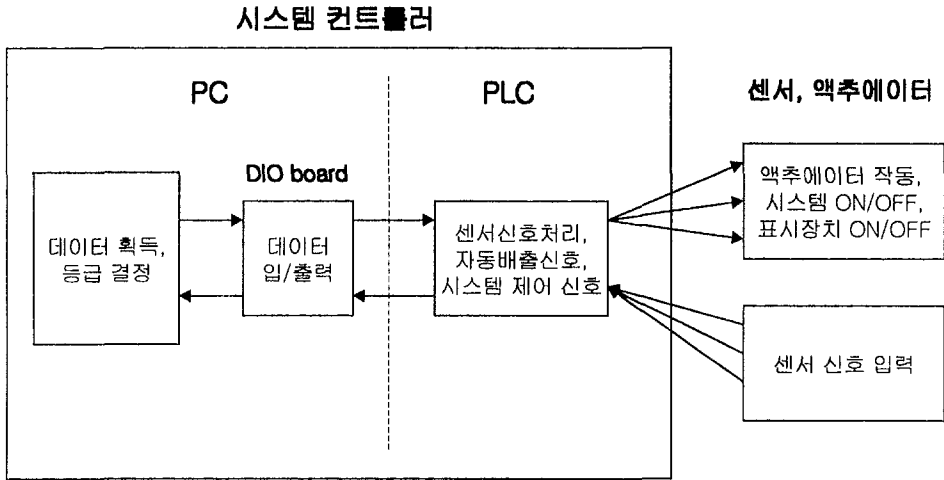


그림 4-45

온라인 선별 시스템의 구동을 위한 통합 컨트롤러를 <그림 4-46> 및 <그림 4-47>과 같이 구성하였다. 실제 현장에서는 그 작업환경이 매우 열악하며 먼지나 고온, 고습 등의 다양한 작업환경에서도 시스템 컨트롤러가 오동작이 일어나지 않아야 하므로, PC 및 PLC를 포함한 내부 컨트롤러의 안정을 위해 외곽 프레임 제작하였다. 센서 신호 처리 및 액추에이터의 작동을 위하여 PLC(K-Master, LG, Korea)를 사용하였으며, PLC와 다른 장치와를 <그림

4-48>과 같이 접점을 구성하였다.

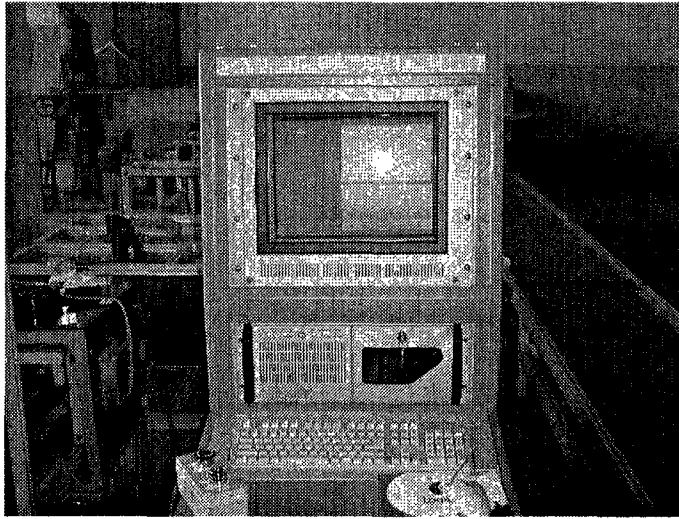


그림 4-46 온라인 선별 시스템 컨트롤러의 외형

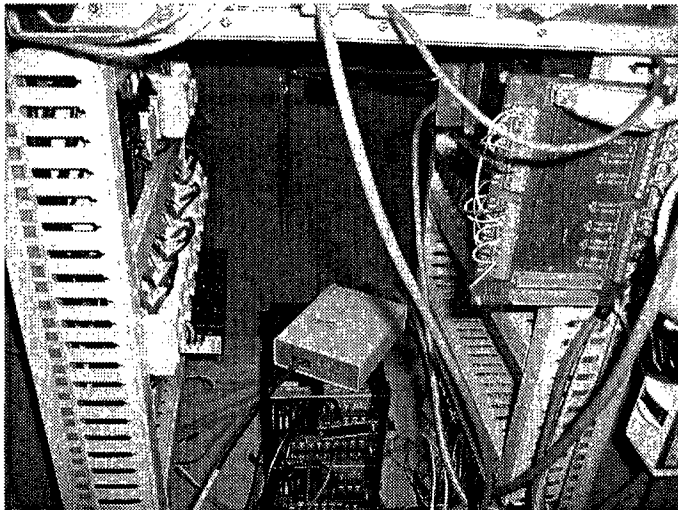


그림 4-47 컨트롤러 내부

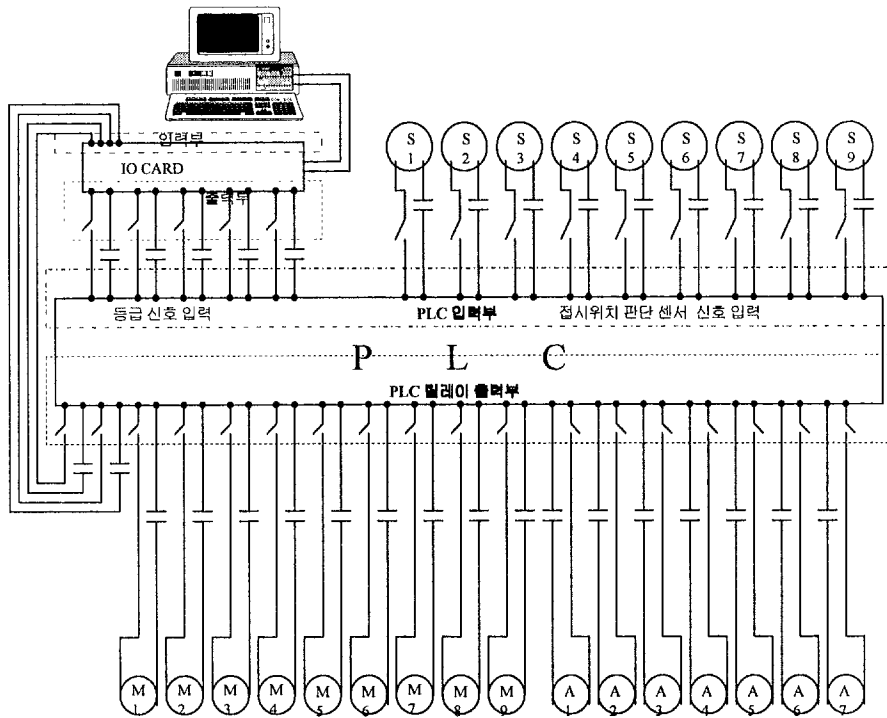


그림 4-48 PLC 접점 구성도

9) 시스템 운영 소프트웨어 개발

가) 당도 및 중량 판정 루틴

당도 판정 루틴은 예비실험에 의해 결정된 당도 예측 모델파일을 MATLAB을 이용하여 만들고, 이를 시스템 운영 소프트웨어에 이식하였다. 이때 사용된 루틴은 MATLAB C++ Math Library를 사용하였으며, Visual C++ 코드에 이를 삽입하여 계산이 가능하도록 하였다. 중량 판정 루틴의 경우 기존의 중량 등급분류를 참조하여 크게 5등급으로 나누어 판정이 되도록 하였다.

나) 기형과 판정 루틴

기형과 판정 루틴은 2장에서 개발된 판정 루틴을 사용하였으며, 시스템 운영 소프트웨어에 통합하여 구동되게 하였다.

다) 시스템 구동 루틴

당도 판정 프로그램 루틴과 기형과 판정 프로그램 루틴에 의해 결정된 등급 신호에 따라 자동 배출되도록 시스템 구동 프로그램을 개발하였다. 사용자 인터페이스로 하드웨어 상태를 프로그램상에서 점검할 수 있도록 하였으며, 모니

터링 루틴을 두어 선별도중에 특정등급으로 선별된 과일, 현재까지의 처리량등이 출력되도록 하였다.

등급의 결정은 기형과 및 당도 판정 루틴에 의해 기형과, 당도 특이하 및 당도 특이상의 3등급으로 판정하였다. 당도 특이상을 제외한 나머지 등급은 3분류 등급분류장치에 의해 회송라인으로 배출하고, 당도 특이상의 경우에만 중량 측정 장치로 이송하였다. 중량 측정 장치로 이송된 당도 특이상의 등급에 대해서 중량을 측정하고, 중량 판정 결과에 따라 5개의 등급으로 분류하도록 프로그램을 작성하였다. 또한 처리된 물량 및 각 등급으로 배출된 물량등 운영상 필요한 정보를 파일로 저장할 수 있도록 하고 보고서의 형태로 출력되도록 하였다.

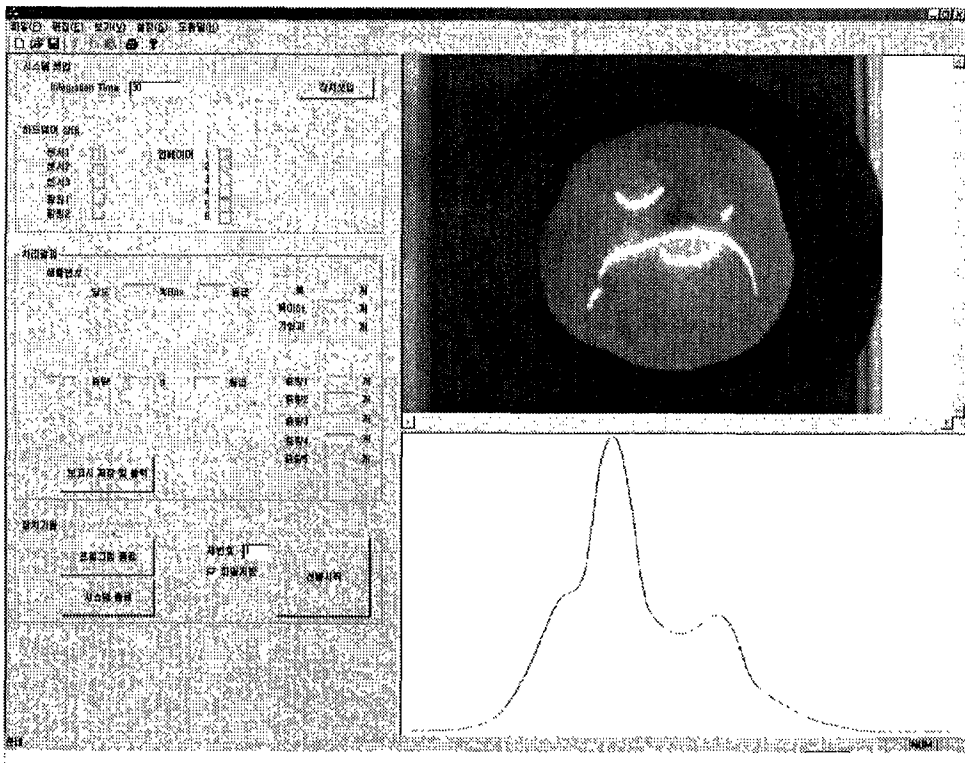


그림 4-49 구동 소프트웨어

나. 평벨트 컨베이어식 선별 시스템의 성능 실험 결과

평벨트 컨베이어식 선별 시스템의 경우, 성능 실험을 한 결과, 초당 2개의 선별속도까지는 무리없이 선별이 수행되었으며, 원료의 공급, 공기세척 및 이송접시의 배출 등이 원활하게 처리되었다. 개발된 선별 시스템은 1~2차년도에 개발하였던 시스템의 문제점이 보완된 시스템으로 판단되었다.

전자저울을 이용한 중량 측정장치의 경우, 그 오차가 $\pm 18\text{g}$ 으로 배의 중량 측정에 사용하기에는 다소 큰 것으로 판단되었으나, 본 시스템으로 멜론 등의 큰 과실을 포함한 다양한 구형 과실에 대해서도 선별이 가능하도록 하기 위하여 접시의 크기를 200mm로 증가시켰고, 사용한 로드셀의 측정범위를 5Kg까지 증가시켰기 때문이며, 접시의 무게를 줄이거나, 전자저울의 로드셀의 정밀도를 높이면 개선의 여지가 있을 것으로 판단되었다.

제 3 절 자유이송접시형 선별 시스템 보급 현황

본 연구에서 개발한 온라인 자유이송접시형 선별 시스템은 2차년도까지 개발한 간이 당도 판정 장치의 경우, 이를 상품화하여 당해연도에 3개소의 현장에 설치하여 시험 가동중이며, 이의 성능 테스트를 진행중이다. 배 2개소(울산 U원협, 나주 S농협) 및 토마토 1개소(김해 D영농조합)에 설치된 당도 선별 센서에 대해 현장에서의 문제점을 파악/관찰중이다. 그림 4-50은 현장에서 운영되고 있는 선별 센서의 설치모습이다.

본 과제외의 주관기관인 서울대학교와 참여기업인 (주)경우시스테크 그리고 동양물산이 컨소시엄을 이루어 보급하였으며, 검토가 끝나는대로, 서울대총장과 (주)경우시스테크 간에 기술실시계약을 체결할 예정이다.

3차년도에 개발된 시스템의 경우, 아직 현장에 설치된 바는 없으나, 배뿐만 아니라 사과, 토마토, 멜론, 복숭아 등 모든 구형 과실에 대해 그대로 적용될 수 있을 것으로 판단되며, 2차년도에 개발된 간이 당도 판정시스템에 비해 레이저 구조광 기형과 판정장치, 자동 공기 세척장치, 자동 등급 분류장치 등을 통합한 시스템으로 개발을 완료하였다.

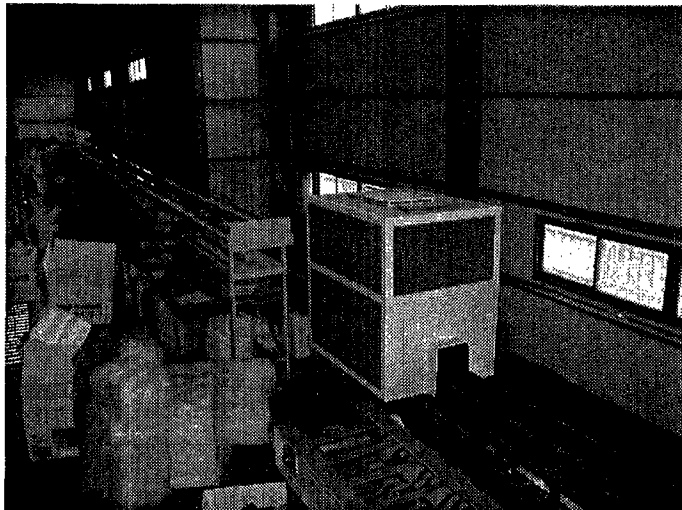


그림 4-50 나주 S농협 배 당도 선별라인

제 4 절 요약 및 결론

본 연구는 수출용 배의 부가가치 향상을 위한 선별·포장 시스템 개발에 관한 연구의 일환으로, 온라인 선별시스템 및 자동화장치 개발을 위하여 수행되었다.

기존의 중량식 선별기 위주의 선별 시스템에서 외관품질(기형, 색상 등)이나 내부품질(당도, 내부 결함 등)을 동시에 측정할 수 있는 복합 시스템 개발을 위하여 수행되었으며, 특히 자유이송접시를 사용함으로써 과일의 표면에 거의 상처를 주지 않는 선별 시스템을 개발 완료하였다.

시스템 설계를 위하여 설계조건을 설정하고, 이에 따라 시스템 설계를 수행하였으며, 단위기계의 모듈화가 가능하도록 하여 시스템의 증설 및 배출구 방향의 변경이 용이한 레이아웃을 제시하였다.

제시한 레이아웃에 따라 각 단위 기계의 상세 설계를 하였다. 먼저 과일의 이송을 위한 자유이송접시를 설계하였고, 또한 이 자유이송접시를 선별 센서부로 자동 공급하기 위한 원료공급부, 응애나 기타 이물질 제거를 위한 자동 공기세척장치를 제작하여 시스템에 설치하였다. 또한 기형과 판정을 위한 레이저 구조광형상 판정 장치, 내부 품질 판정을 위한 스펙트럼 측정장치, 자유이송접시에 담겨진 과일의 중량을 측정하기 위한 자유이송접시형 중량 측정장치, 등급 분류를 위한 장치 및 회송장치 그리고 PC 및 PLC를 이용하여 상기 장치를 자동화하기 위하여 시스템 구동 컨트롤러를 제작하였다.

구동 컨트롤러를 운영하기 위하여 2장에서 개발된 알고리즘을 프로그램에 모두 이식하여, 과일의 당도, 내부결함, 기형과 유무, 중량등을 자동으로 판정할 수 있는 소프트웨어를 개발 완료하였다. 최종년도에는 1·2차년도에 개발된 장치의 성능을 테스트하고 문제점을 파악하였으며, 이를 보완하여 통합 시스템을 구축, 최종적인 시스템을 완성하였다.

2차년도에 개발된 간이 당도 판정 시스템의 경우, 최근 기업체와 컨소시엄을 이루어 상품화하여 당해연도에 3개소에 설치하였으며, 현장에서의 운영상의 문제점을 현재 관찰/분석중이다. 3차년도에 개발된 통합 시스템의 경우 현재 현장 보급된 바는 없으나, 다양한 크기의 구형과일에 적용할 수 있는 범용 시스템으로 제작 완료하였다.