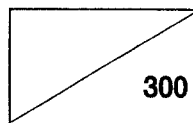


664. 725
L293K

GA0054-0989



최 종
연구보고서

19916635

쌀의 품질등급화를 위한 지표설정 및 비파괴적 품질측정기 개발

A study on the specification of rice for
grading and development of
non-destructive rice grader

연구기관

한국식품개발연구원

농림부

제 출 문

농림부 장관귀하

본 보고서를 “쌀의 품질등급화를 위한 지표설정 및 비파괴적 품질측정기 개발”과제의 최종보고서로 제출합니다.

1998 12. 20

주관연구기관 : 한국식품개발연구원
총괄연구책임자 : 김 상 숙
연 구 원 : 이 상 호
연 구 원 : 이 창 호
연 구 원 : 김 영 진
연 구 원 : 김 재 민
연 구 원 : 홍 남 운
연 구 원 : 민 봉 기(특허청)
연 구 원 : 김 진 태(두리테크)
연 구 원 : 조 규 채(두리테크)

여 백

요 약 문

I. 제목

쌀의 품질등급화를 위한 지표설정 및 비파괴적 품질측정기 개발

II. 연구개발의 목표 및 중요성

- 본 연구의 목표는 WTO협정에 의한 쌀 시장의 점진적인 개방에 따라 수입되는 값싼 수입쌀과의 품질경쟁에 대비하여 고품질미의 생산 및 유통을 유도하기 위한 1) 쌀의 품질등급화 기준을 설정하고, 2) 신속 정확하게 비파괴적으로 품질을 측정할 수 있는 장치를 개발하는데 있다.
- 쌀은 농가소득의 23%에 해당하고 백만농가 이상이 생산에 종사하는 중요한 품목으로서 장기적인 식량안보 측면에서 볼 때 국제경쟁력 강화 및 소비자의 국내 유통미 품질에 대한 이미지 향상이 절실히 필요하다.
- 현재 우리 나라의 쌀 등급에 관한 기준은 미국, 일본 등 선진국에 비해 미흡하여 국산 유통미가 수입쌀과의 품질경쟁에서 뒤질 위험이 있으며, 궁극적으로 국내 유통쌀에 대한 이미지 하락으로 연결될 가능성이 존재한다.
- 현재 국내 유통미의 품질과 가격과는 상관성이 낮은데, 이는 결과적으로 소비자들의 국내 쌀에 대한 신뢰도를 저하시킬 위험이 있으며, 이를 방지하기 위해 국내 쌀의 품질등급화 지표 설정이 필요하다.

- 밥맛을 포함한 품질을 차별화 할 수 있는 국내 쌀 등급 기준을 제시하고 양질미를 객관적으로 판단할 수 있는 기기 개발을 통해 국내 양질미의 유통기반 구축이 요구된다.
- 우리 나라는 육종 및 재배기술에 있어서는 많은 기술의 발달이 있고, 수확후의 관리 기술인 건조, 저장, 가공은 현재 RPC 설치를 통하여 많은 발전을 보이고 있으나 아직 품질검사 부문은 미약한 상태이다. 따라서, 이를 위해서는 먼저 신속 정확한 품질 측정장치의 개발이 필요하다.
- 현재 비파괴적인 방법으로 쌀의 단립을 이용한 수분과 단백질 정량은 전 세계적으로 아직 전무한 상태이므로 이에 대한 시도는 커다란 의미를 지닌다.
- 국내 쌀의 품질관정에 영향을 주는 인자를 세밀하게 분석 검토하여 고품질쌀 생산기반을 구축함으로써 우리쌀의 국제 경쟁력 확보는 물론, 재배단계부터 품질관리가 가능하다.
- 미국을 비롯한 모든 나라에서 쌀의 등급은 육안에 의해 판정하고 있는 상황으로, 본 연구는 쌀의 등급판정을 비파괴적으로 화상분석에 의해 판정하는 것으로 의의가 매우 크다.
- 화상분석에 의한 등급판별결과는 국산 등급판별기 개발을 위한 기초자료로서 사용될 것이며, 이를 활용한 제반 품질평가기술이 발전 될 것임.

III. 연구개발내용 및 범위

1. 품질평가지표의 설정 및 국내외 쌀의 품질평가 (1차년도)

- 가. 국내외 쌀의 품질측정기준의 비교
- 나. 품질평가방법의 결정
- 다. 품질분석방법 및 기준의 작성
- 라. 국내외 쌀의 수집
- 마. 이화학적, 관능적 지표의 조사
- 바. 쌀의 기준에 의한 품질비교

2. 비파괴분석법에 의한 쌀의 품질측정 및 백미의 유통중 품질지표의 변화 (2차년도)

- 가. 화상분석법에 의한 품질의 측정
- 나. 근적외분광법을 이용한 품질의 측정
- 다. 백미의 유통중 품질지표의 변화

3. 비파괴적 품질측정기의 개발 (3차년도)

- 가. 비파괴적 품질측정기의 설계 및 제작
 - 1) 쌀의 성분(지방산, 아밀로오스)분석
 - 2) 백미의 품위분석
 - 3) 단립품질 측정시스템의 설계 및 제작
- 나. 운영실험을 통한 설계 및 장치보완
- 다. 비파괴적 품질측정기의 성능분석

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 쌀의 품위평가기술현황

- 가. 현재 우리나라 쌀 규격은 다른 쌀 수출국에 비해 세분화되어 있지 못하기 때문에 쌀 품질저하의 위험이 있으며, 이를 방지하기 위해서는 좀더 엄격하게 세분화된 규격이 필요하고, 이에 따른 가격 차별화가 요구된다.
- 나. 비파괴적 품질검사 장비로서 가능성이 큰 방법으로는 화상분석법과 근적외분광분석법이 있으며, 성분과 관계된 품질인자는 근적외선분석법을 그리고 외형적 품질, 즉 등급과 관계된 특성분석방법으로는 화상분석을 이용하여 분석할 수 있다.

2. 유통중 백미의 품질변화

- 가. 백미의 유통중 품질변화는 지방산도, 물추출액의 pH, 효소활성등을 측정함으로써 판별 가능하다.
- 나. 백미 저장중 성분변화는 수분, 환원당, 지방산도 등에서 볼 수 있는데, 저장기간이 길어질수록, 수분과 환원당의 함량이 감소하였으며, 지방산도의 경우 증가하였다.
- 다. 저장된 쌀로 밥을 했을 때 취반특성을 살펴보면 밥알 팽창율은 저온저장시 거의 변화가 없었으나, 상온저장시 일정기간동안 증가하였으며, 밥알의 수분흡수율, 요오드 정색도는 저장기간에 따라 증가하였다.

3. 비파괴분석법에 의한 등급측정

가. 현미의 품위(피해립, 정립, 백사미, 청사미, 동할, 백미숙, 청미숙, 복백립)별, 백미의 품위(완전립, 분상질립, 피해립, 착색립)별 시료는 화상특성에서 차이가 있었다.

나. 미국 등급기준에 의한 국내 유통백미의 등급판별 요인은 쇠립과 복백립으로 나타났으며, 생산 년도에 따라 등급에 결정적인 역할을 하는 요인은 달랐다. 즉, 97년산 유통 백미의 경우 쇠미가, 98년산 유통백미의 경우 복백립이 등급결정에 가장 중요한 인자였다.

다. 주요 등급판별요인인 완전립, 대쇄립, 소쇄립, 복백립의 판별을 화상분석 장비와 ANN에 의해 시도하였을 때, 97.8%, 94.3%, 98.7%, 96.2%의 정답율을 보여주어 화상분석 장비에 의해 등급판별이 가능함을 보여주었다.

라. RPC등 현장에서 직접 근적외선 remote reflectance 모듈을 이용한 등급판별 가능성을 검토한 결과, 400-2500nm의 1차미분 spectrum을 사용한 모델이 교정과 검증시 각각 96%와 100%의 판별율을 보여주어 RPC등 현장에서의 등급판별가능성을 보여주었다.

4. 광학적 특성에 의한 품위판별

가. 현미 시료를 정상립, 찰현미, 병충립, 비정상립, 다미, 동할립, 백미숙립, 청미숙립, 백사미, 청사미로, 백미를 정립, 찹쌀, 분상질립, 피해립 및 착색정도에 따라 4단계로 구분한 다음, 각 시료를 대상으로 색도지수

(L, a, b, ΔE)를 측정·분석한 결과, 색도지수와 이들 시료사이의 상관관계는 발견되지 않았다.

나. 400~2500nm의 파장영역에서 제시한 현미와 백미의 품위별 반사 스펙트럼을 측정하여, 외형특성에 따른 품위를 판별하기 위하여 판별분석법을 이용한 모델을 개발하였다. 교정부의 판별율은 현미가 95.3%, 백미가 92.5%였으며, 검증부의 판별율은 현미가 92%, 백미가 87.5%로 나타나 모델의 성능이 우수함을 알 수 있었다.

5. 정백수율의 측정

가. 정백수율 측정을 위한 다중회귀 모델은 투과 스펙트럼을 이용하기보다는 반사 스펙트럼을 이용하여 전파장 영역에서 전처리된 얇은 1차 미분 스펙트럼에 대하여 6개의 파장을 선택하여 모델을 개발하는 것이 정백수율을 가장 잘 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

나. 본 연구에서 개발된 세 가지 모델 중에서 다중회귀모델이 정백수율 측정을 위한 가장 적합한 모델로 나타났다.

6. 근적외선 분광분석법에 의한 쌀의 성분분석

가. 단립 현미의 수분함량은 1100~1400nm영역의 스펙트럼을 이용한 다중회귀 모델과 1100~1500nm영역의 스펙트럼을 이용한 PLS 모델에 의한 예측이 가장 우수하였다.

나. 1100~2000nm의 파장영역에서 개발된 단백질 함량 예측용 다중회귀

모델은 분할간격 10nm로 2차 미분한 모델이 우수한 결과를 보여 주었다. 1100~1500nm의 파장영역을 이용하여 다분산 보정을 한 PLS 모델은 수학적 처리에 관계없이 예측 결과가 우수하였다.

다. 29개 품종의 현미를 이용하여 화학분석법으로 아밀로오스함량을 분석한 후 1100~2290nm의 근적외선 스펙트럼을 이용하여 아밀로오스함량 예측용 모델을 개발하였다. 전처리하지 않고 분할간격 20nm로 2차 미분 스펙트럼을 이용한 PLS 모델은 검증부의 R^2 가 0.992, SEP가 1.423%로 우수한 결과를 나타내었다.

라. 지방산도 측정을 위한 모델 개발에는 1500~2300nm의 파장영역을 이용하였으며, 다중회귀 모델과 PLS 모델은 다분산 보정 후에 2차 미분 스펙트럼(분할간격 20nm)을 이용하여 개발한 모델이 가장 양호한 결과를 나타내었다. 특히, 다중회귀 모델은 1696nm · 1754nm · 1998nm · 2108nm · 2162nm · 2272 nm의 6개 파장을 사용하였을 때, 검증부의 R^2 가 0.730, SEP가 4.050mg KOH/100g로 나타났다.

7. 단립품질측정시스템

가. 쌀의 내면적 품질을 가장 잘 나타내는 성분인 수분과 단백질 함량을 측정할 수 있는 비파괴 품질 측정시스템을 제작하기 위하여 수행되었다. 특히, 본 시스템은 단립 현미를 측정 시료로 이용함으로써 현미 1립에 포함된 수분과 단백질 함량을 측정 가능하여 시료에 대한 정확한 정보를 얻을 수 있다.

나. 기존의 근적외선 분광분석기에 단립 공급장치를 부착한 단립 현미의

품질 측정시스템을 개발하고 수분함량과 단백질 함량의 측정오차를 분석하였다. 품질 측정시스템은 측정부, 구동부 및 제어부로 구성하였으며, 측정부는 근적외선 분광분석기를 이용하여 1100~1500nm의 파장영역에서 스펙트럼을 측정하였다.

다. 품질 측정시스템의 검증 결과, 단립 현미의 수분함량 및 단백질 함량의 측정 오차는 각각 0.264%, 0.457%이내를 유지하여 우수한 성능을 보여주었다.

SUMMARY

I. Title

A study on the specification of rice for grading and development of non-destructive rice grader

II. Objective and Importance of Research

- The objectives of this research were to 1) establish the specification for grading of rice to improve the quality of rice in Korea and 2) to develop the non-destructive rice grader to improve the quality of domestic rice.
- Since rice, as staple, is an important crop which consist of 23% of farmer's income, strengthening the international competitiveness and improve of image of current marketed domestic rice are urgently required at the stand point of long term foods security.
- Current inspection guide for milled rice in Korea is not strict compared to that in U. S. A. or Japan, resulting in possibility of quality deterioration.
- The correlation coefficient between price and the grade of milled rice currently marked in Korea is low, causing the deterioration of the credibility of milled rice, thus enhanced guide for grading of milled rice is required.
- For establishment of basis for marketing domestic rice with quality, the development of system for evaluation of rice with quality and

suggestion of inspection guide to discriminate the quality of rice including eating quality are needed.

- Even though the techniques for planting, cultivating, and drying, storage and processing has been improved by the distribution of Rice Processing Complex (RPC), the inspection guide for milled rice is not well set up, thus the development of equipment for evaluation of rice quality is required.
- Since the evaluation of moisture and protein content by non-destructive method is not yet published internationally, it is meaningful to measure the moisture and protein content in single kernel by non-destructive method.
- The researches on the factors affecting the quality of rice provide the basis for the production of rice with quality resulting in not only for strengthening international competitiveness of rice but also for controlling quality from cultivation stage.
- Since the grade of rice is determined by eye observation in every country including USA, it's quite meaningful to determine the grade using image analysis by non-destructive method.
- The result of grading by image analysis will be utilized as basic information for development of rice grader made in Korea and the techniques with developed grader will be enhanced.

III. Research Contents and Scope

- 1. Establishment of guide for rice quality and quality evaluation of rice grown in Korean and foreign countries (1st year)**
 - a. Comparison of inspection guide depending on countries
 - b. Determination of methods for quality evaluation of rice
 - c. Establishment of specification and analysis methods for rice quality
 - d. Collection of rice samples with domestic and foreign origin
 - e. Survey on the chemical and sensory specification
 - f. Comparison of rice quality by established specification

- 2. Evaluation of rice quality by non-destructive methods and changes of quality characteristics during marketing (2nd year)**
 - a. Quality by image analysis
 - b. Quality by Near Infra-red spectrum analysis
 - c. Quality changes of milled rice during marketing

- 3. Development of quality measuring system by non-destructive methods (3rd year)**
 - a. Planning and construction of quality measuring system
 - 1) Component (fatty acid, amylose) analysis
 - 2) Analysis of grade for milled rice
 - 3) Planning and construction of quality measuring system with single kernel of rice

- b. Correction of system by actual test
- c. Efficacy of non-destructive quality measuring system for milled rice

IV. Results and Suggestion

1. Survey on the evaluation techniques for quality of rice

- a. The grading systems in rice exporting countries are more fractionated than current inspection guide for rice in Korea. Deterioration of the rice quality might be caused by the crude inspection guide therefore, revision of inspection guides and discriminative price systems depending on the quality of rice are required.
- b. As potential non-destructive methods for measuring rice quality, image analysis and near-infrared (NIR) spectrum analysis are available. The quality factors related to rice components can be measured by NIR spectrum analysis and those related to appearance or grading can be measured by image analysis.

2. Quality changes of milled rice during marketing

- a. The quality changes of milled rice during marketing can be detected by the changes in fatty acidity, pH of the water extract and enzyme activity.

- b. The moisture content and reducing sugars of milled rice were reduced while fatty acidity were increased with storage time.
- c. Cooking characteristics of stored rice showed that water absorption and reaction with iodine were increased with storage time.

3. Grading of rice by non-destructive method

- a. Significant differences in image characteristics of kernels were found depending on the grading factors for brown rice (damaged, head rice, dead, immature, and chalky etc) and for milled rice (head rice, chalky, damaged and colored kernel).
- b. The most influential factors for grading of milled rice marketed in Korea were broken and chalky kernels.
- c. The identification rate for head rice, large broken, small broken and chalky kernels were 97.8%, 94.3%, 98.7% and 96.2% respectively when image analysis and ANN(artificial neural network) were used, implying the possibility for grading of rice using image analysis.
- d. Discrimination of rice grade using the remote reflectance model of NIR showed that correct identifications of rice grade for calibration and validation were 96% and 100% respectively when 1st differential calculus of spectrum between 400-2500nm were used.

4. Grading of rice by optical properties

- a. The significant correlation were not found between colors(L, a, b and delta E) and grading factors for brown rice(normal, waxy, abnormal, colored, cracked, immature and dead) for milled rice (normal, waxy, chalky kernel, damaged and colored).
- b. The correct identifications of grading factors for brown rice were 95.3% and 92.0% for calibration and validation respectively, while 92.5% and 87.5% were noted for milled rice when discriminative equation with reflectance spectrum of NIR between 400-2500nm were used showing the superiority of the discriminative equation model.

5. Milling ratio by non-destructive method

- a. NIR reflectance spectrum was more effective in predicting milling ratio than NIR transmittance spectrum.
- b. Among three models (models with multiple regression(MR) with six band of wave length, partial linear square: PLS and artificial neural network: ANN) developed for measuring milling ratio of rice, MR was better than others by resulting in smallest SEP and bias.

6. Component of rice measured by NIR spectrum analysis

- a. Moisture content in single kernel of brown rice was measured effectively by MR model with NIR spectrum between 1100-1400nm, and by PLS model with NIR spectrum between 1100-1500nm.
- b. The most effective models for predicting protein content were MR with 2nd differential spectrum between 1100-2000nm, and PLS with spectrum in the range of 1100-1500nm.
- c. The model for measuring amylose content of brown rice was developed with PLS equation with 2nd differential spectrum in the range of 1100-2290nm. The R^2 and SEP of the model were 0.992 and 1.423% respectively on validation.
- d. The model developed for predicting fatty acid content in brown rice was MR with wavelength of 1696nm, 1754nm, 1998nm, 2108nm, 2162nm, and 2272nm. and the validation of the equation resulted in R^2 and SEP, 0.730 and 4.05mg KOH/100g respectively.

7. Quality measuring system with NIR spectrum of single kernel

- a. Quality measuring system by single kernel was manufactured using NIR systems to predict the moisture and protein content of brown rice, which has been known to be internal quality factors.

- b. Quality measuring system consists of three parts: measuring, stepping motor and controller. NIR spectrum between 1100-1500nm was scanned in measuring part.

- c. The validation of quality measuring system using single kernel of brown rice showed 0.264% and 0.457% of standard error in predicting moisture and protein content.

목 차

제 1 장 서론	25
제 1 절 연구개발의 목적 및 범위	25
1. 연구배경 및 필요성	25
2. 연구내용 및 범위	28
제 2 절 연구개발의 중요성	30
<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">쌀의 품질평가</div>	
제 2 장 쌀의 등급 및 품질평가기술 현황	32
제 1 절 국내외 쌀의 품질측정기준의 비교	32
1. 국내외의 (쌀 ^별 검사 규격)	32
가. 국내의 쌀 검사 규격	32
나. 국외의 쌀 검사 규격	37
(1) 일본	37
(가) 검사규격	37
(나) 일본의 양정제도	40
(2) 중국	43
(3) 미국	45
(4) 호주	53
(5) 태국	54
2. 국내 RPC의 품질관리 장비	62
제 2 절 품질평가방법 및 기준의 작성	66
1. 비파괴적 품질판정기술현황	66
가. 화상처리법에 의한 품질측정	72

나. 근적외선분광법에 의한 품질측정	76
다. 쌀의 등급화 기술의 특허동향	82
2. 품질평가방법 및 기준의 결정	83
가. 품질에 영향을 미치는 인자	83
나. 품질평가방법 및 기준	83
제 3 절 이화학적, 관능적 지표의 조사	85
1. 이화학적 특성 분석	85
2. 관능적 특성 분석	91
3. 비파괴 분석장비를 이용한 품질분석조사	99
가. 근적외선 분광분석법을 이용한 식미 평가	99
나. 색차 색도계를 이용한 품위분석	103
다. 광학식 품질관정기에 의한 품위 분석	104
라. 화상분석에 의한 품위분석	106
마. 근적외선 분광분석법(NIR)에 의한 품위분석	108
제 4 절 쌀의 기준에 의한 품질비교	109
1. 각국의 유통쌀의 품위 비교	109
2. 유통쌀의 관능적 특성 비교	110
제 3장 유통중 <u>백미</u> 의 <u>품질</u> 변화	112
제 1 절 백미의 품질 측정방법	112
제 2 절 품질 지표의 변화 분석	114
1. 수분함량	114
2. 환원당	116
3. 지방산도	117
제 3절 저장중 백미의 취반특성 변화	120

1. 밥의 팽창율	120
2. 밥의 수분흡수율	120
3. 밥의 요오드 정색도	120
4. 밥의 고형물	121
제 4 장 비파괴분석법에 의한 쌀의 품위측정	126
제 1 절 화상분석법에 의한 품위의 측정	126
1. 화상분석법에 의한 품질특성	126
가. 색도계와 화상 System에 의한 색도값의 상관관계	126
나. 현미 품위별 시료의 화상특성	126
다. 백미 품위별 시료의 화상특성	133
2. 화상분석방법에 의한 등급판별 system	137
가. 화상분석법에 의한 등급판별 성능	137
나. 98년도산 신곡의 등급판별	142
제 2 절 근적외분광분석법에 의한 품위의 측정	147
제 5 장 광학적 특성을 이용한 현미 및 백미의 품위판별	150
제 1 절 기술현황	150
제 2 절 재료 및 방법	150
1. 공시재료	150
2. 색도 및 가시광선/근적외선 스펙트럼 측정	151
3. 판별분석	152
제 3 절 결과 및 고찰	154
1. 현미의 외형적 특성	154
2. 백미의 외형적 특성	162

제 6 장 근적외선 분광분석법을 이용한 쌀의 정백수율 측정	172
제 1 절 기술현황	172
제 2 절 재료 및 방법	175
1. 재료	175
2. 정백수율별 시료 제조	175
3. 근적외선 분광광도계	176
4. 정백수율 측정모델 개발 방법	176
5. 다중회귀 모델의 결정조건	178
6. PLS모델의 결정조건	178
7. ANN모델의 결정조건	179
제 3 절 결과 및 고찰	180
1. 백미의 정백수율별 스펙트럼	180
2. 다중회귀 모델을 이용한 정백수율 측정	182
3. PLS 모델을 이용한 정백수율 측정	184
4. ANN 모델을 이용한 정백수율 측정	188
5. 정백수율 측정 모델의 비교	191
제 7 장 근적외선 분광분석법을 이용한 쌀의 성분 분석	193
제 1 절 기술현황	193
제 2 절 재료 및 방법	197
1. 공시재료	197
2. 실험방법	199
가. 스펙트럼	199
나. 수분함량 측정	200

다. 단백질 함량 측정	201
라. 아밀로오스함량 측정	202
마. 지방산도 측정	203
3. 모델 개발	204
제 3 절 결과 및 고찰	207
1. 단립 현미의 수분함량 측정 모델 개발	207
가. 다중회귀 모델 개발	207
나. PLS 모델을 이용한 단립 현미의 수분함량 예측	219
다. 모델의 비교	228
2. 현미의 단백질 함량 측정 모델 개발	229
가. 다중회귀모델 개발	229
나. PLS 모델 개발	243
다. 모델의 비교	255
3. 아밀로오스 함량 예측 모델 개발	257
가. 다중회귀 모델의 개발	257
나. PLS 모델의 개발	260
4. 아밀로오스 함량 예측 모델 개발	265
가. 다중회귀 모델의 개발	265
나. PLS 모델의 개발	267
다. 모델의 비교	268
제 8 장 단립 품질 측정시스템의 제작 및 검증	272
제 1 절 기술현황	272
제 2 절 단립 품질 측정시스템의 설계 및 제작	274
1. 설계 기준	274

2. 비파괴 품질측정기 구성	274
제 3 절 단립 품질 측정시스템의 검증	282
제 9장 종합결론	287
제 1절 쌀의 품위평가기술현황	287
제 2절 유통중 백미의 품질변화	287
제 3절 비파괴분석법에 의한 등급측정	288
제 4절 광학적 특성에 의한 품위판별	289
제 5절 정백수율의 측정	290
제 6절 근적외선 분광분석법에 의한 쌀의 성분분석	292
제 7절 단립품질측정시스템	294
참고 문헌	296
Appendix	309

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 목적 및 범위

1. 연구배경 및 필요성

쌀은 우리의 중요한 주식일 뿐만 아니라, 농가소득의 23%에 해당하는 중요한 농가의 소득원이다. 현재 우리 나라의 쌀 등급에 관한 기준은 미국, 일본 등 선진국에 비해 미흡하여 국산 유통미의 품질이 수입되는 쌀과의 품질경쟁에서 뒤질 위험이 있으며, 궁극적으로 국내 유통쌀에 대한 이미지 하락으로 연결될 가능성이 있다.

가격결정에 기존의 가격 다음에 품질(Umali, 1988)이 중요한 요소로 나타났듯이 품질은 쌀의 상품성에 중요한 역할을 한다. 쌀의 품질은 품종, 산지, 기상조건, 재배방법, 수확방법과 건조, 저장, 취반 및 유통등 생산단계에서 부터 마지막 소비단계에 이르기까지 여러 단계에서 직간접적으로 영향을 받는다. 경제력 향상과 식생활변화로 쌀에 대한 개념이 달라지고 있으며, 과거의 생산자측면의 품질에서 최근에는 소비자측면에서 품질을 고려하고 있다. 쌀의 품질 즉, 미질은 1) 품위와 같은 외관적 품질 2) 성분에 의한 내면적 품질, 3)관능적 품질로 나눌 수 있다. 품위와 같은 외면적 품질은 국제적으로 쌀 가격 결정에 근거자료로 사용되며, 대부분의 쌀 생산국에서는 나름대로의 품위규격을 갖추고 있다. 성분에 의한 내면적 품질은 주로 밥맛에 영향을 주는 성분을 말하며, 이들 내면적 품질은 관능적 품질인 밥맛을 간접적으로 나타내 주는 수단이라고 할 수 있다.

주요 쌀 생산국들의 등급 검사규격 및 방법은 우리나라에 비하여

자세하고, 등급이 세분화되어 있다. 예로써 미국은 쌀의 등급화에 대한 일반적인 정의, 시료채취법, 벼, 현미 및 백미의 등급화기준, 창고 및 저장단위별 검사법, 품질보증법 등에 대하여 따로 상세하게 규정하고 있다.

우리나라도 양질미에 대한 소비자의 선호도 증가와 시장 개방을 대비한 국제 경쟁력 확보를 위하여 양질미 생산 및 유통을 장려하여야 한다. 이를 위해서는 현재의 생산 및 가공 기술에 맞추어 쌀 등급을 보다 세분화하여 양질립의 생산 농가와 고품질 쌀의 유통에 대한 올바른 보상이 있어야 하며, 쌀의 품질 측정 방법도 시대에 맞추어 새롭게 변화하여야 할 것이다.

농가에서 수확한 벼를 정부에서 수매할 때는 농산물검사소에서 파견된 검사원에 의해 주로 현장에서 등급이 결정되며 필요시 농산물 검사규격에 따른 정밀한 등급 판정을 수행한다. 그러나 이와 같은 수분함량 측정과 경험을 위주한 품질 평가는 현장에서 신속하게 이루어지는 장점이 있으나, 미질에 대한 정확한 평가를 하기에는 미흡하다. 현재 우리나라의 쌀은 주로 농산물 검사규격에 근거하여 등급화 하여 수매되고 현미와 백미로 가공되어 소비자에게까지 유통 판매되고 있다. 이 검사규격은 과거 쌀이 부족한 시기에 식량확보를 위하여 만들어진 것이 대부분이다. 우리나라의 쌀 육종기술과 재배기술, 수확후 처리기술, 도정기술은 과거보다 상당히 발전하여 육종 및 재배기술은 세계 정상급 수준에 있으므로 대부분 이 기준을 쉽게 만족시키고 있다. 예를 들면 현행 검사규격에 규정된 일반벼 1등급의 제현율은 78%이상이지만 1989년에는 76.5%, 1990년에는 87%로 점차 증가되어, 이제는 거의 대부분이 이 기준을 충족시키고 있다. 그러나, 예년에 비하여 작황이 좋지 않았던 1995년의 산물수매벼의 제현율 분포를 살펴보면 평균 제현율이 80.8%, 제현율 80% 이상이 47%로 나타나 78% 이상이 1등급인 현행 제도하에서는 많은 양질미 생산 농가가 올바른 평가를 받지 못했음을 알 수 있다. 이를 개선하기 위해서는 품질 등급 기준을 보다 현실에 맞

게 세분화하여 고품질 쌀의 생산을 유도하여야 한다(민, 1997).

미국을 비롯하여 모든 나라에서 쌀의 등급결정은 검사원의 육안판정과 수작업에 의해 수행되며, 검사원을 대신한 분석 기기를 공식적인 방법으로 채택한 나라는 아직 없다. 다만 이러한 육안과 수작업을 대신해 줄 수 있는 기기로서 화상분석장비를 들 수 있다. 컴퓨터의 화상분석법을 이용한 농산물의 품질평가 및 선별기술에 관한 연구는 1980년대 이후 화상처리장치가 보급된 후부터 시작되어 현재는 농산물의 비파괴적 선별시스템과 품질측정장치에 일부 실용화되고 있다.

쌀의 내면적 품질로 성분을 들 수 있는데, 이들 성분은 주로 밥맛과 관련하여 평가되고 있다. 최근 센서 및 정보처리기술의 발달로 비파괴적으로 신속하게 성분을 측정할 수 있는 장치 및 그에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 여러 가지 분석방법중에서 근적외분광분석법(Near infrared method)은 최근 이용범위를 넓히고 있는 비파괴 분석기술로서, 시료에 근적외선 영역(800-2500nm)의 파장을 조사하여 그 흡수 또는 반사스펙트럼을 분석하여 성분이나 특성을 분석하는 기술이다. 과거의 근적외분광법은 일부성분의 정량분석에만 사용되고 왔으나 최근에는 기기의 발달과 소프트웨어의 진보로 시료의 전처리 없이 비파괴적으로 신속하게 정량 및 정성분석을 수행할 수 있다. 쌀의 단백질 및 아밀로오스함량은 밥맛에 영향을 주는 성분으로 이들 성분이 많은 경우 단단하고 점착성이 낮다고 알려져 있는데 이 근적외분광분석법을 이용하여 밥맛에 영향을 주는 단백질 혹은 아밀로오스와 같은 성분을 측정할 수 있다.

본 연구는 WTO타결에 의한 쌀 시장의 점진적인 개방에 따라 수입되는 값싼 수입쌀과의 품질경쟁에 대비하여 고품질미의 생산 및 유통을 유도하기 위한 1) 쌀의 품질등급화 기준을 설정하고, 2) 신속 정확하게 비파괴적으로 품질을 측정할 수 있는 장치를 개발하는데 목적이 있다. 본 연구

에서는 쌀의 외면적 품질과 내면적 품질을 비파괴적으로 측정할 수 있는 시스템 개발에 중점을 두었다.

2. 연구내용 및 범위

가. 품질평가지표의 설정 및 국내외 쌀의 품질평가 (1차년도)

- (1). 국내외 쌀의 품질측정기준의 비교
- (2). 품질평가방법의 결정
- (3). 품질분석방법 및 기준의 작성
- (4). 국내외 쌀의 수집
- (5). 이화학적, 관능적 지표의 조사
- (6). 쌀의 기준에 의한 품질비교

나. 비파괴분석법에 위한 쌀의 품질측정 및 백미의 유통중 품질지표의 변화 (2차년도)

- (1). 화상분석법에 의한 품질의 측정
- (2). 근적외분광법을 이용한 품질의 측정
- (3). 백미의 유통중 품질지표의 변화

다. 비파괴적 품질측정기의 개발(3차년도)

- (1). 비파괴적 품질측정기의 설계 및 제작
 - (가) 쌀의 성분(지방산, 아밀로오스)분석
 - (나) 백미의 품위분석
 - (다) 단립품질 측정시스템의 설계 및 제작

(2). 운영실험을 통한 설계 및 장치보완

(3). 비파괴적 품질측정기의 성능분석

제 2 절 연구개발의 중요성

쌀은 농가소득의 23%에 해당하고 백만농가 이상이 생산에 종사하는 중요한 품목으로서 장기적인 식량안보 측면에서 볼 때 국제경쟁력 강화 및 소비자의 국내 유통미의 품질에 대한 이미지 향상이 필요하다. 그러나 현재 우리나라의 쌀 등급에 관한 기준은 미국, 일본 등 선진국에 비해 미흡하여 국산 유통미가 수입쌀과의 품질경쟁에서 뒤질 위험이 있으며, 궁극적으로 국내 유통쌀에 대한 이미지 하락으로 연결될 가능성이 존재한다.

또한 국내 유통미의 품질과 가격과의 상관관계에 대한 확실한 근거 부재는 결과적으로 소비자들의 국내 쌀에 대한 신뢰도를 저하시킬 위험이 있으며, 이를 방지하기 위해 국내 쌀의 품질등급화 지표 설정 및 등급에 따른 가격차등화가 필요하다. 밥맛을 포함한 품질을 차별화할 수 있는 국내 쌀 등급 기준을 제시하고 양질미를 객관적으로 판단할 수 있는 기기 개발을 통해 국내 양질미의 유통기반 구축이 가능하다.

우리나라는 육종 및 재배기술에 있어서는 많은 발달이 있었으며, 수확후의 관리 기술인 건조, 저장, 가공은 현재 RPC 설치를 통하여 많은 발전을 보이고 있으나 아직 품질검사 부문은 미약한 상태이다. 따라서, 이를 위해서는 먼저 신속 정확한 품질 측정장치의 개발이 필요하다. 현재 비파괴적인 방법으로 쌀의 단립을 이용한 수분과 단백질 정량은 전세계적으로 아직 전무한 상태이므로 이에 대한 시도는 커다란 의미를 지닌다. 국내 쌀의 품질관정에 영향을 주는 인자를 세밀하게 분석 검토하여 고품질쌀 생산기반을 구축함으로써 우리 쌀의 국제 경쟁력 확보는 물론, 재배단계부터 품질관리가 가능하다.

미국을 비롯한 모든 나라에서 쌀의 등급은 육안에 의해 판정하고 있는 상황으로, 본 연구는 쌀의 등급판정을 비파괴적으로 화상분석에 의해 판정하는 것으로 의의가 매우 크다. 화상분석에 의한 등급판별결과는 국산 등급판별기 개발을 위한 기초자료로서 사용될 것이며, 이를 활용한 제반 품질평가기술이 발전 될 것이다.

제 2 장 쌀의 등급 및 품질평가기술 현황

제 1 절 국내외 쌀의 품질측정기준의 비교

1. 국내외의 쌀 검사 규격

가. 국내의 쌀 검사 규격

국내벼, 현미, 백미의 검사규격은 Table 2-1, 2-2, 2-3에 있으며, 표준 쌀 출하규격은 각각 Table 2-4와 Table 2-5에 있다. 정부수매벼의 제현율의 분포는 75% 이상이 91%이며 이중 80%이상은 47%로서 규격의 세분화와 상향조정등이 필요하다. 또한 농산물검사소의 백미의 규격(Table 2-3)은 단 한가지 합격품만 있는데, 백미유통을 하는 우리나라 쌀의 품질향상을 위해서는 백미의 등급화 및 그에 따른 가격의 차등화가 필요하다고 판단된다. 이러한 결점을 보완하기 위해 제정된 검사 규격은 Table 2-4에 있으며, 이 규격은 백미를 3등급으로 구분하고 있다. 품질인증을 위해 제정된 표준 쌀 출하규격은 Table 2-5에 있으며, 이 규격은 Table 2-3보다는 향상된 것이나, 싸라기의 정의 등이 모호하여 검사원에 따른 등급이 다를 가능성이 존재하며, 이에 따른 보완이 필요하다.

Table 2-1-1 한국벼의 검사규격

항목 등급	최 저 한 도		최고한도
	형 질	제 현 율(%)	함 수 율 (%)
1 등	1등 표준품	75.0	15.0
2 등	2등 표준품	70.0	15.0
등외	등외 표준품	65.0	15.0

Table 2-1-2 한국벼의 검사규격

항목 등급	최 고 한 도			
	피해립, 착색립		이종곡립 (%)	이 물 (%)
	계 (%)	착 색 립 (%)		
1 등	4.0	0.0	0.5	0.5
2 등	7.0	0.1	1.0	1.0
등외	10.0	0.5	2.0	2.0

Table 2-2-1 한국의 현미 검사규격

항목 등급	최 저 한 도			최 고 한 도			
	형 질	용적중 (g)	정 립 (%)	수 분 (%)	피해립 사미 착색립		
					계 (%)	사 미 (%)	착색립 (%)
1등	1등표준품	810	75.0	15.0	10.0	7.0	0.0
2등	2등표준품	800	70.0	15.0	20.0	10.0	0.1
등외	등외표준품	780	60.0	15.0	25.0	15.0	0.5

Table 2-2-2 한국의 현미 검사규격

항목 등급	최 고 한 도			
	누 (%)	이종곡립 (%)	이 물	
			계 (%)	돌 (1.5kg중)(개)
1등	0.2	0.3	0.1	2
2등	0.3	0.5	0.2	2
등외	0.5	1.0	0.7	2

Table 2-3 쌀의 검사규격

항목 등급	최저 한도	최 고 한 도									
	도정 도	수분 (%)	분상질립 피해 립 착색립			싸라기		ぬ(1.5 Kg중 (립)	이종 곡립 (1.5 kg중 (립)	이 물	
			계 (%)	피해립, 착 색립		큰 싸 라 기 (%)	잔 싸 라 기 (%)			계 (%)	물(1.5 Kg중 (개)
				계 (%)	착 색 립 (%)						
합격	표준 품	15.0	6.0	2.0	0.1	5.0	0.0	3	3	0.0	1

Table 2-4 표준출하규격에 따른 한국의 쌀 검사규격

항목 등급	최 저 한 도				최 고 한 도							
	형 질	용적 중 (g)	정립 (%)	수분 (%)	피해립 사미 착색립			ぬ (%)	이종 곡립 (%)	이 물		
					계 (%)	사미 (%)	착색 립(%)			계 (%)	물 (1.5kg 중, 개)	
1등	1등표준품	790	60.0	15.0	18.0	10.0	0.0	0.2	0.3	0.1	2	
2등	2등표준품	780	50.0	15.0	30.0	14.0	0.1	0.3	0.5	0.2	2	
등의	등의표준품	760	45.0	15.0	40.0	18.0	0.5	0.5	1.0	0.7	2	

Table 2-5 한국쌀의 표준 출하 규격 (농협 품질인증쌀)

항목\등급	특	상	보통
형 질	강층이 완전히 제거된 것으로 낱알의 투명도와 윤기가 뛰어나며, 심심백, 복백이 적고, 낱알이 충실하고 고른 것	강층이 완전히 제거된 것으로 낱알의 투명도와 윤기가 양호하며, 심심백, 복백이 대체로 적은 것	특·상에 미달하는 것
냄새	신선한 쌀의 고유의 향미가 많고, 묵은 냄새가 없는 것	신선한 쌀 고유의 향미가 있으며, 묵은 냄새가 없는 것	
제강정도	제강정도는 습식연미 이상인 것	유리강의 제거가 양호한 것	
수분	16.0% 이내	16.0% 이내	16.0% 이내
참쌀혼합	1.0% 이내	2.0% 이내	3.0% 이내
피해립	0.5% 이내	1.0% 이내	2.0% 이내
분상질립	2.0% 이내	5.0% 이내	7.0% 이내
착색립	0.0% 이내	0.1% 이내	0.2% 이내
싸라기	5.0% 이내	7.0% 이내	10.0% 이내
돌	없는 것	없는 것	없는 것
뉘, 이종곡립(1.5kg중)	없는 것	없는 것	2개 이내
이물	0.0% 이내	0.0% 이내	0.0% 이내

*조건: 산 년이 다른 것끼리 혼합하거나 미곡 년도로 과년산의 것은 “특”이 될 수 없다.

나 국외의 쌀 검사 규격

(1) 일본

(가) 검사규격

일본벼, 현미, 백미의 검사규격은 각각 Table 2-6, 2-7, 2-8에 있다. 전반적으로 일본과 우리나라의 규격은 비슷하나, 일본은 우리나라에 비해 보다 엄격하고 유형에 의한 분류로 보다 세분화되어 있다. 일본은 현미유통을 하고 있기 때문에 벼에 대한 규격은 합격품 1개만을 제시하고 있다. 규격항목으로 아직 이물로서 들의 개수를 사용하고 있는 반면 일본에서는 단지 이물%로 나타내고 있다. 백미의 경우 우리나라와 같이 3등급이나, 우리나라의 경우 피해립/사립/착색립의 함량을 최고 18%, 30%, 40%에서 등급을 가리는 반면 일본의 경우 각각 10%, 20%, 25%로 보다 엄격하게 등급을 구분 짓고 있다. 일본에서는 1979년부터 구분수매를 실시하면서 등급별, 유형별로 쌀을 차등구매하고 매년 산지 품종별로 유형을 조정하고 있다.

Table 2-6-1 일본벼의 검사규격

항목	최 저 한 도		
	형 질	중 량(g)	정 립 (%)
등급			
합 격	표 준 품	540	70

Table 2-6-2 일본벼의 검사규격

등급	항목	최 고 한 도			
		수분함량 (%)	피해립, 착색립, 이중곡립, 이물		
			계 (%)	착색립 (%)	이중곡립 (%)
합 격	14.5	6	0.2	0.3	0.2

Table 2-7-1 일본의 현미 검사규격

등급	항목	최 저 한 도			최 고 한 도		
		용적량 (g)	정 립 (%)	형 질	수 분 (%)	피해립 사미 착색립	
						계 (%)	사 미 (%)
1등	810	70	1등표준품	15.0	15	7	0.1
2등	790	60	2등표준품	15.0	20	10	0.3
3등	770	45	3등표준품	15.0	30	20	0.7
등외	(770)	-	-	15.0	100	100	5.0

Table 2-7-2 일본의 현미 검사규격

항목 등급	최 고 한 도			
	벼(누) (%)	이 종 곡 립		이 물 (%)
		보리 (%)	벼와 보리를 제한 것(%)	
1등	0.3	0.1	0.3	0.2
2등	0.5	0.3	0.5	0.4
3등	1.0	0.7	1.0	0.6
등외	5.0	5.0	5.0	1.0

Table 2-8 일본의 백미 검사규격

항목	최저한도	최 고 한 도							
		형 질	수분 (%)	분상질립 피해립			쇄 립 (%)	이종곡립 이물	
				계 (%)	피해립			벼 (%)	벼 이외의 이물 (%)
					계 (%)	착색립 (%)			
등급									
1등	1등표준품	15.0	10	1	0.0	5	0.0	0.0	
2등	2등표준품	15.0	20	2	0.2	10	0.0	0.1	
등외	등외표준품	15.0	25	4	0.2	15	0.0	0.2	

(나) 일본의 양정제도

일본에서 생산되는 쌀은 농산물 검사법에 의한 등급구분외에도 식미를 중심으로 하여 품종과 산지에 따른 5개의 유형(Table 2-9)으로 구분하여 구분수매를 실시하고 있다. 일본의 구분수매제도는 1969년에 자주 유통제도를 발족한 후 1973년에 명표제도의 도입으로 일본곡물검정협회에서 식미평가 기준을 마련하여, 1979년부터 정부미에 대한 차등가격 수매제도를 실시하고 있다. 이는 쌀의 관능적 품질이 상품성에 미치는 영향을 보여준

예라 할 수 있다.

일반소비자들이 쌀의 상태와 품질을 정확히 알 수 있도록 포장재에 품질기준을 아래와 같은 방법으로 표시하도록 하고 있다.

1. '궁성현지정표시정미'라는 것
2. 품명 및 품질구분
3. 품질구분마다 원료현미의 내용 설명
4. 판매가격
5. 정미중량
6. 포장정미를 제조한 판매업자의 이름·명칭·주소 및 전화번호, 도정공장의 명칭·주소 및 전화번호
7. 精米 이외의 것을 혼입했을 경우 혼입물의 명칭 및 혼입량
8. 精米 年月日
9. 檢定濟의 mark

Table 2-9 일본의 유형별 구분내용

유형별	내	용
1 류	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 일반적으로 맛있는 그룹으로 분류되는 쌀 ◦ 전국 64개 산지, 품종이 지정되어 있음 ◦ 등급은 1, 2 등의 것으로서 대부분 '자주유통미'로 유통됨 	
2 류	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 1류 다음으로 평가되는 쌀 ◦ 전국 56개 산지, 품종이 지정되어 있음 ◦ 등급은 1, 2 등의 것 	
3 류	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 1류, 2류, 4류, 5류 이외의 것으로서 주로 정부미로 유통되는 것 	
4 류	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 주로 청삼현산 쌀(일부지역 제외) 및 북해도쌀 '기타히카리'와 서남은대 지방의 조생종 쌀임. 대부분 정부미로 유통 	
5 류	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 북해도산 쌀로(히마시리, 고까라 제외) 대부분 정부미로 유통 	

(2) 중국

중국의 벼, 쌀 및 찰쌀 및 만생종 쌀 검사규격은 Table 2-10, 2-11, 2-12에 있다. 중국의 벼에 대한 등급규격은 이물질과 이종곡립이 아닌 용적 중량에 의해 구분하고 있어 쌀의 품질에 대한 나라별 기준의 차이가 있었다. 중국에서는 채미함량 30%(만생종의 경우 15%)는 모든 등급에 허용하고 있어 쌀의 품질규격이 낮은 것으로 판단되었다.

Table 2-10 중국벼의 검사규격

등 급	최 저 표 준	최 고 한 도		
	용적중량(kg/석)	수분함량 (%)	이물질(%)	이종곡립 (%)
1등	55.4	13	0.5	6
2등	53.2	13	0.5	6

Table 2-11 중국의 쌀 및 찹쌀 검사규격

등급	도 정 도	불완 전립 (%)	이 물 질 최 대 한 도					쇄 미 (%)			수분 (%)	광택 냄새 맛
			계 (%)	겨분 (%)	광물 질 (%)	벼껍 질과 피해 립/kg	뉘립 /kg	계		쇄립		
								조생 종쌀	찹쌀			
특등	표준품과 대비	3.0	0.25	0.15	0.02	20	4					
1등	표준품과 대비	4.0	0.30	0.20	0.02	50	6	30.0	20.0	2.0	14.5	정상
2등	표준품과 대비	6.0	0.40	0.20	0.02	70	8					
3등	표준품과 대비	8.0	0.45	0.20	0.02	90	10					

Table 2-12 중국의 만생종 쌀 검사규격

등급	도 정 도	불완 전립 (%)	이 물 질 최 대 한 도					쇄 미 (%)		수 분		광택 냄새 맛
			계 (%)	겨분 (%)	광 물질 (%)	벼껍 질과 피해 립(kg)	누립 (kg)	계	소 쇄립	6개 성외	6개 성	
특등	표준품과 대비	3.0	0.20	0.15	0.02	10	4					
1등	표준품과 대비	4.0	0.25	0.20	0.02	20	6					
2등	표준품과 대비	6.0	0.30	0.20	0.02	30	8	15.0	1.5	15.5	14.5	정상
3등	표준품과 대비	8.0	0.35	0.20	0.02	40	10					

(3) 미국

미국의 벼, 현미, 백미, 대쇄미, 소쇄미, 양조미 검사 규격은 각각 Table 2-13, 2-14, 2-15, 2-16, 2-17 및 2-18에 있다. 미국은 주요 쌀 수출

국으로서 우리나라 검사 규격에 비해 세분화된 검사 규격에 의하여 등급을 나누고 있으며, 가공용 쌀과 찌쌀에 대한 규격도 갖추고 있다. 미국의 쌀 등급은 종자 열손립, 피해립, 분상질립, 쇠립의 평가기준에 의해 7등급으로 좀더 엄격하게 세분화된 규격이며, 특히 분상질립의 %를 규격항목으로 사용하고 있다.

쇠립의 기준 또한 우리나라의 경우 전체길이의 1/2인 반면 미국의 경우 쇠립은 전체길이의 3/4이하로 하고 있어 같은 쇠립의 함량이라도 쇠립의 기준이 달라 현재 우리나라의 규격은 국제적으로 통용되는 미국 규격에 비해 엄격하지 못하며 쌀의 품질향상 유도를 위해 품질 규격의 상향조정이 필요하다.

Table 2-13 미국버의 검사규격

등 급	최 고 한 도						색
	폴씨 및 열 손상립		착색립 및 피해립 (%)	분 상 질 립		기형립 (%)	
	합 계 (립/500g)	피및열손상 (립/500g)		장립형 (%)	단립형 (%)		
1	4	3	0.5	1.0	2.0	1.0	백색 및 유백색
2	7	5	1.5	2.0	4.0	2.0	희미한회색
3	10	8	2.5	4.0	6.0	3.0	얇은회색 회색
4	27	22	4.0	6.0	8.0	5.0	또는 희미한홍색 짙은회색
5	37	32	6.0	10.0	10.0	10.0	또는 얇은홍색 짙은회색
6	75	75	15.0	15.0	15.0	10.0	또는 얇은홍색
등 외	① 품질이 1~6등급에 부합되지 않는 것. ② 수분함량이 14%를 초과하는 것. ③ 곰팡이 핀 것. ④ 이상한 냄새가 나는 것. ⑤ 현저하게 품질이 떨어지는 것.						

Table 2-14 미국의 현미검사 규격

등급	최 고 한 도												
	누 (벼)		종자 및 열손립			적미 및 피해 립	분상 질립	6(p)체 또는 6½(s) 체통과 한쇄미	타 명 표 립	쌀	수 분	이 물	
			계	열손 립	금기 종자							관 련	비 관 련
%	500 g중 개 수	500 g중 개 수	500 g중 개 수	500 g중 개 수	%	%	%	%	%	%	%	%	
1등	-	20	10	1	2	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	14.5	0.2	0.1
2등	2.0	-	40	2	10	2.0	4.0	2.0	2.0	3.0	14.5	0.2	0.1
3등	2.0	-	70	4	20	4.0	6.0	3.0	5.0	10.0	14.5	0.2	0.1
4등	2.0	-	100	8	35	8.0	8.0	4.0	10.0	10.0	14.5	0.2	0.1
5등	2.0	-	150	15	50	15.0	15.0	6.0	10.0	10.0	14.5	0.2	0.1

등외(a) 1-5등 요건에 부적합한 것.

(b) 수분 14.5% 이상인 것.

(c) 곰팡이 냄새, 산패 혹은 발열에 의한 피해품이 있는 것.

(d) 상품적 가치를 저하할 정도의 냄새가 나는 것.

(e) 0.2%이상의 관련이물 또는 0.1%이상의 비관련 이물을 함유한것.

(f) 바구미 또는 기타 살아 있는 해충이 2마리 이상인 것.

(g) 현저히 품위가 낮은 것.

Table 2-15 미국의 쌀 검사규격

최 고 한 도											
등 급	종자, 열 손립, 버		피 해 립	분상질립		쇄 립				타 명 표 립	도 정 도 및 색 택
	계	열손 립및 금기 종자		장 립 중	중 립 중	계	5호(P))채상 의것	6호(P) 채상의 것	6호(P) 채상의 것		
1등	500 g중 2개	500g 중 1개	%	%	%	%	%	%	%	%	백색 또는 우유색, 완전도정
2등	4	2	1.5	2.0	4.0	7.0	0.06	0.2	0.2	2.0	엷은회색, 완전도정
3등	7	5	2.5	4.0	6.0	15.0	0.1	0.8	0.5	3.0	약간 짙은 회색, 적절 한 도정
4등	20	15	4.0	6.0	8.0	25.0	0.4	2.0	0.7	5.0	회색, 적절 한 도정
5등	30	25	6.0	10.0	10.0	35.0	0.7	3.0	1.0	10.0	짙은회색 또는 홍색
6등	75	75	15.0	15.0	15.0	50.0	1.0	4.0	2.0	10.0	경미한도정 짙은회색 또는 적색 도정도저하

등의 (a) 1-6등 까지의 품위에 해당되지 않는 것.

(b) 수분 15.0% 이상인 것.

(c) 곰팡이 및 산패의 냄새와 발열에 의한 피해품이 있는 것.

(d) 이취를 발하는 것.

(e) 이물 0.1% 이상인 것.

(f) 살아있거나 죽은 바구니 및 곤충, 거미줄 또는 곤충류의 잔해.

(g) 기타 현저히 저질인 것.

Table 2-16 미국의 대쇄미 검사 규격

등급	최 고 한 도				색 택 과 도 정 도
	종자, 열손립, 벼		적미및 피해립	분상 질립	
	계	열손립 및 금기종자			
	500g중 개	500g개	%	%	
1등	15	5	1.0	4.0	백색 또는 우유색 완전도정
2등	20	10	2.0	6.0	옅은회색, 완전도정
3등	35	15	3.0	10.0	짙은회색, 도정도 약간저하
4등	50	25	5.0	15.0	회백색 또는 옅은적색 도정도 약간저하
5등	75	40	10.0	20.0	짙은회색 또는 적색 도정도 저하

- 등의 (1) 1-5등까지의 품위에 해당되지 않는 것.
 (2) 수분 15.0% 이상의 것.
 (3) 곰팡이 및 산패의 냄새와 열을 발하는 것.
 (4) 이취를 발하는 것.
 (5) 이물 0.1% 이상인 것.
 (6) 2½호(S)체하의 쇄립이 15.0% 이상인 것.
 (7) 바구미 및 기타해충의 장해가 있는 것.
 (8) 기타 현저히 저질인 것.

Table 2-17 미국의 소쇄미 검사 규격

등급	최 고 한 도			색 태	도 정 도
	벼, 종 자		분상질립		
	계	금기종자			
	500g개	500g개	%		
1등	30	20	5.0	백색 또는 우유색	완전도정
2등	75	50	8.0	얇은회색	완전도정
3등	125	90	12.0	얇은회색	도정도 약간저하
4등	175	140	20.0	회색 또는 얇은적색	도정도 약간저하
5등	250	200	30.0	짙은회색 또는 적색	도정도 저하

등의 (1) 대쇄미와 동일

Table 2-18 미국의 양조미검사 규격

등급	최 고 한 도		색 택	도 정 도
	벼, 종 자			
	계(%)	금기종자 (%)		
1등	0.5	0.05	백색 또는 우유색	완전도정
2등	1.0	0.1	얇은회색, 완전도정	완전도정
3등	1.5	0.2	얇은회색 또는 미적색	도정도 약간저하
4등	3.0	0.4	회색 또는 적색	도정도 약간저하
5등	5.0	1.5	짙은회색 또는 적색	도정도 저하

등의 (1) 대체미와 동일

(4) 호주

호주에서의 현미 및 백미의 검사 규격은 각각 Table 2-19와 2-20에 있다. 호주는 고유의 쌀 규격은 없으나, 수요자의 요구에 맞추어 쌀을 생산하고 있다.

Table 2-19-1 호주의 현미검사규격

등 급	최 고 한 도 (%)			
	수 분 (%)	피 해 립		
		피해립	열손립	적미
카로스 5%	13.0-15.0	2.0	0.002	없음

Table 2-19-2 호주의 현미검사규격

등 급	최 고 한 도 (%)					
	쇄미	벼립 /kg	백미	이 종 곡 립	이 물	
					관 련 이 물	비관련 이 물
카로스 5%	5.0	40	0.20	장립 2.0	0.20	0.01

Table 2-20 호주의 쌀 검사규격

등 급	최 고 한 도 (%)										
	수 분 (%)	피 해 럽				쇄미	벼	현미	이종 곡립	이 물	
		피해 럽	열손 럽	분상 질립	적미					관련 이물	비관련 이물
카로스 5%	13.0-15.0	0.5	0.002	3.0	없음	5.0	0.0002	0.0005	장립 2.0	0.10	0.006

(5) 태국

태국의 현미, 백미, 쇄미, 찌쌀의 검사 규격은 Table 2-21, 2-22, 2-23, 2-24에 있다. 우리나라의 현미등급은 3등급인 것에 비해 태국은 7 등급체계를 사용하고 있어 쌀 주요 수출국으로서 보다 세분화된 검사 규격에 의하여 등급을 나누고 있다. 또한 우리나라에는 아직 없는 가공용 쌀과 찌쌀에 대한 규격도 갖추고 있다

Table 2-21-1 태국의 현미검사 규격

{ + : 최소, - : 최대 (항목에 따라 다름) }

현미의등급	명 표 (%)			품 위			
	입 장		단 립	쇄립의 크기	완전립 %	8부쇄립 / 대쇄립 %	쇄립 %
	초장립	장립&중립					
100% ClassA	70-100	0-30	0-5	-8.0 +5.0	+80	16	-4
100% ClassB	55-65	29-45	0-6	-8.0 +5.0	+80	15.5	-4.5
100% ClassC	40-50	43-60	0-7	-8.0 +5.0	+80	15	-5
5%	30-35	55-70	0-10	-7.0 +4.0	+75	18	-7
10%	20-25	60-80	0-15	-6.5 +3.5	+70	18	-12
15%	10-20	30-55	35-50	-6.0 +3.0	+65	18	-17
25%	0-10	20-45	55-70	-6.0 +3.0	+55	17	-28

Cargo Broken Rice (현미쇄립)는 다양한 등급의 현미를 도정하여 얻은 Cargo Small brokens를 포함하는 것으로 길이가 2.5/10~6/10인 Cargo brokens이다. 이중 완전립 3% 이하와 길이가 6/10~10/10 사이인 Cargo brokens 20% 이하의 혼입이 허용된다.

Table 2-21-2 태국의 현미검사 규격

현미의등급	혼입물의 최대허용치(%)											수분 함량 (이하)
	적 미	분상 질립 (A)	피해 립	황색 립	기형 립	미숙 립	조개 진립	이물	종자	찰 쌀	누	
100% ClassA	1	2	-	0.75	2.5	2.5	1	0.5	0.25	1	1	14%
100% ClassB	1.5	2	-	0.75	2.5	2.5	1	0.5	0.25	1	1	14%
100% ClassC	2	2	-	0.75	2.5	2.5	1	0.5	0.25	1	1	14%
5%	3	4	0.5	1	3.5	3.6	2	0.75	0.5	1	1	14%
10%	6	5	1	1	5	5	4	1	0.75	1	2	14%
15%	8	6	1.5	1	5	5	5	1	0.75	1	2	14%
25%	12	8	2	1	6	6	7	1	1	1	2.5	14%

Table 2-22-1 태국의 백미검사 규격

백미 의 등급	곡 물 의 유 별			곡 물 의 조 성					
	곡 장			단립 (6.2 mm 미만)	쇄미 의 크기	완전 립 %	분절미/ 조쇄미 %	쇄미 %	백미 세미 C.1 %
	초장 립 7mm 이상	장 립 6.6~7.0	중 립 6.2~6.6						
100% class A	+70 (70-100)	±25 (0-30)	-5 (0-5)	-	-8.0 +5.0	+60	±36	-4	-
100% class B	±50 (45-55)	±35 (30-40)	±10 (0-25)	-5 (0-5)	-8.0 +5.0	+60	±35.5	-4.5	-
100% class C	±35 (30-40)	±45 (40-50)	±15 (5-30)	-5 (0-5)	-8.0 +5.0	+60	±35	-5	-
5%	+20 (20-25)	±35 (30-40)	±35 (25-51)	-10 (0-10)	-7.5 +3.5	+60	±33	-7 (3-7)	-
10%	+10 (10-15)	±30 (25-35)	±45 (35-55)	10-15 (10-15)	-7.0 +3.5	+55	±33	-12 (8-12)	-
15%	+5 (5-10)	-20 (0-20)	-40 (20-40)	35-50 (35-50)	-6.5 +3.0	+55	±28	-17 (13-17)	-
20%	+0 (0-10)	-15 (0-15)	-30 (10-30)	55-65 (55-65)	-6.0 +3.0	+50	±27	±22 (18-23)	-1
25% (super)	+0 (0-8)	-35 (17-35)		65-75 (65-75)	-5.0 +3.0	+40	±32	±27 (23-28)	-1
25%	+0 (0-8)	-35 (17-35)		65-75 (65-75)	-5.0 +3.0	+40	±32	±26 (23-28)	-2
35%	+0 (0-8)	-35 (17-35)		65-75 (65-75)	-5.0 +3.0	+32	±28	±38 (33-40)	-2
45%	+0 (0-8)	-35 (17-35)		65-75 (65-75)	-5.0 +2.0	+28	±22	± (42-50)	-3

Table 2-23-1 태국의 쌀 검사 규격

백새미의 등급	곡물의 유별	곡 물 의 조 성 (%)								
	도정 대상 백미 유형	10/10 (완전립)	(%) 8/10~ 10/10	(%) 6.5/10~ 8/10	(%) 5/10~ 8/10	(%) 3/10~ 6.5/10	(%) 3/10~ 5/10	(%) 백(白) 미새미 C.1	(%) 백미세 미 C.3	(%) 이물질
A.1 super special	100%	(0~5)	(0~15)	-	90 (70~90)	-	10 (0~10)	-	-	-
A.1 super	100%, 5%, 10%	-	(0~5)	(0~15)	-	100 (75~100)	-	(0~5)	-	0.5
A.1 special	100%, 20%, 25%(Super)	-	(0~5)	(0~15)	-	100 (74~100)	-	(0~6)	-	1
A. ordinary	25%, 35%, 45%	-	-	(0~5)	-	100 (69~100)	-	(0~12)	(0~4)	3

Table 2-23-2 태국의 쇄미 검사 규격

백미쇄미 (Small White Broken Rice)의 등급	곡물 의 유별	곡 물 의 조 성 (%)					
	도정대 상 백미유 형	Sieve NO.8½을 통과하지 못하는 것.(%)	백미쇄 미A.1 (%)	(C.1) (%) Sieve NO.7은 통과하고 NO.6½은 통과하지 못하는 것	(C.3) Sieve NO.6½을 통과하는 것.(%)	이물 질 (%)	종자 (%)
C.1 special	100% 5% 10% 15%	-	(0~10)	100 (70~100)	(0~20)	1	1
C.1 ordinary	20% 25% 35% 45%	-	(0~10)	100 (60~100)	(0~30)	3	1
C.3	다양한 등급	-	-	(0~15)	100 (85~100)	3	1.5

- * 보통으로 도정된 상태
- ** 비교적 도정이 잘 된 상태
- *** 도정이 잘 된 상태
- **** 가장 도정이 잘 된 상태

Table 2-24-1 태국의 전쌀 검사 규격

{ + : 이상, - : 이하 또는 미만 (항목에 따라 다름) }

전쌀 의 등급	곡물의 유별 (%)			곡물의 조성				
	곡 창		단 곡	쇄미 의 크기	완전립 %	분질 미/ 조세 미%	쇄 미 %	미쇄미 C.1 %
	초장곡& 장곡	중곡						
100%	60-100	0-40	0-10	-8.0 +4.0	+80	16	-4	-
5%	45-55	25-45	10-20	-7.5 +3.5	+80	13	-7 (4-7)	-
10%	30-40	30-50	20-30	-7.0 +3.5	+75	13	-12 (8-12)	-
15%	15-25	20-40	45-55	-6.5 +3.0	+70	12	-17 (12-18)	1
25%	0-20	0-50	50-100	-5.5 +3.0	+60	12	-26 (18-28)	2

Table 2-24-1 태국의 찌쌀 검사 규격

찌쌀의 등급	혼합 최대 허용율									도정도	수분 함량 (이하)
	적반미	적색미	손상미	황색미	변미혹형성색미숙미	이물질	종자	참쌀	조곡		
100%	0.5	-	-	0.5	0.25	0.25	-	0.5	-	****	14%
5%	1.5	-	0.25	1	0.25	0.25	0.25	0.5	0.25	***	14%
10%	3	0.5	0.5	1.5	0.25	0.25	0.25	1	0.5	***	14%
15%	5	2	0.75	2	0.5	0.5	0.5	1	0.5	**	14%
25%	6	3	1	3	0.75	0.75	0.5	1	0.75	*	14%

찌쇄미 A.1(Boiled broken A.1)는 다양한 등급의 찌쌀을 도정하여 얻은 찌쇄미로 곡장 2.5/~6/10의 것이 전체를 차지하며, 이중 곡장 6/10 이상의 것 10% 이하와 찌쇄미 C.1 6% 이하의 혼합을 허용한다.

찌쇄미 C.1(Small boiled brokens C.1)은 다양한 등급의 찌쌀을 도정하여 얻은 찌미쇄미로 Sieve NO.7을 통과하는 것이다. 이중 찌쇄미 A.1 5% 이하의 혼합을 허용한다.

2 국내 RPC의 품질관리 장비

미곡종합처리장은 1991년부터 보급되기 시작하였으며, 1994년 현재까지 107동이 보급되었으며 2000년까지 400동이 전국에 보급될 예정이다. 미곡종합처리장에서 사용되는 쌀 품질 관련장비 현황은 Table 2-25, 2-26에 있다. 미곡종합처리장에서 시설한 검사 장비는 5가지 유형으로 구별할 수 있으며, 대부분이 단순화된 제1안을 설치하였으며, 아직은 쌀의 수급과 정책적인 수매 방식 등에 의해 쌀의 품위 판정에 대한 기기의 사용은 활발하지 않은 실정이나 쌀의 품질 고급화와 수매에 의한 품질 차별화가 본격적으로 이루어질 경우 품질 측정 장비의 사용이 활발해질 것으로 기대된다.

Table 2-25 미곡종합처리장의 품질 검사장비 현황

내 용	기 계 구 성	검 사 품 목
실험실 스타일 (제 1 안)	균분기,시험용현미기 시험용입선별기,시험용 건조기,수분계,전자저울	샘플중량, 양질현미의 중량, 이물질의 중량, 시료건조, 샘플제현
실험실 스타일중 다소 편리한 형 (제 2 안)	품질판정기,균분기,시험 용건조기,시험용현미기 수분계,전자저울	제1안과 동일 검사품목에 동할립, 사립, 정상립으로 분류기능 추가
자동식 스타일 (제 3 안)	제현율자동판매기,균분 기,시험용건조기,수분계 전자저울	제1안과 동일 검사품목과 정상립 및 이물질의 중량을 자동계량
자동식 스타일중 제현율 자동판정기에 조선기를 포함한 경우 (제 4 안)	제현율자동판매기,균분 기,시험용건조기,수분계 전자저울	제3안과 동일하되 시험시 산물벼 정선기능 추가
외산 자주검정장치 스타일 (제 5 안)	자주검정장치,균분기,시 험용건조기,수분계,전자 저울	제3안과 동일함

Table 2-26 단위농협별 품질 측정 장비 현황

년	제1안 설치농협	제2안설치농협	제3안 설치 농협	제4안 설치 농협	제5안설치농협
91 (2)		당진합덕,의성안 계(2)			
92 (30)	포천기산,예산삼교,거창거창, 함양함양 (4)	부여규암,정읍정 우,고창홍덕,부안 계화,옥구대야,김 제광활,나주남평, 파주탄현,철원철 원,횡성횡성,서산 대산,예천예천,상 주함창,서천화양, 함안군북 (10)			청원오창,괴산증 평,고흥포두,경주 안강,영광영광,강 진도암,구미선산, 영암시종,창원동 면,이천모가,평택 평성 (11)
93 (31)	안성보개,보성조성,연천전곡, 무안일로,진도동진,음성금왕, 해남황산,장흥장흥 (8)	김제김제,승주별 량,산청산청,홍천 홍천,원주문막,합 천합천,창녕창녕, 강화삼도,김포양 촌,논산연무 (10)	천안성 환,용 인이동 ,진천 진천 (3)		광주본량,담양수 북,하동금남,평택 안중,보령남포,영 일홍해,철원갈말, 정읍영원,정읍정 읍,연기금남 (10)
94 (44)	사천곤양,하동옥종,강화길상, 양평양평,여주여주,여주가남, 여주대신,이천대월,이천부발, 이천이천,이천장호원,파주북 파주,화성삼피,철원동송,의성 다인,의성금성,구례구례,진천 이월,청원옥산,공주신평,당진 고대,당진송악,아산둔포,예산 고덕,중원주덕,태안원북,고창 고창,신안지도,정읍감곡,나주 동강,강진강진,무안해제,광주 대촌,화순도곡,보성보성,문경 산양,익산용안,부안행안,임실 오수,함평나산,포항연일 (41)		예산봉 산 연기동 면 (2)	김제 진봉 (1)	
(107)	53	27	5	1	21

제 2 절 품질평가방법 및 기준의 작성

1. 비파괴적 품질판정기술현황

농산물 또는 식품류의 화학적 구성 성분 및 내부 품질의 분석 방법에는 시료를 절단 또는 분쇄하여 사용하는 파괴적인 방법, 화학분석법 및 비파괴적 방법이 있다. 파괴적인 방법과 화학분석법은 공인된 분석방법에 따라 수행되므로 측정결과에 대한 신뢰도가 높은 반면 시료의 반복사용이 불가능하고, 많은 시간이 소요되며, 시료의 표본조사에 의존할 뿐만 아니라 분석 전문가가 필요하고, 실험 후 잔류 화학물질과 같은 폐기물 처리 등의 문제점이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 이용되고 있는 방법이 비파괴검사법이다. 비파괴검사법은 시료를 분쇄하거나 절단하지 않고 원상태를 유지하면서 검사하는 방법이다. 이러한 비파괴검사법은 신속한 측정이 가능하여 전량검사를 할 수 있으며, 분석시간이 짧고, 전처리가 간단하며, 정확한 검량식이 확보되면 화학분석법보다 오차가 적고 여러 이화학적 성분을 동시에 측정할 수 있는 장점을 지니고 있다. 또한, 비파괴검사법을 응용하면 측정 및 선별시스템의 자동화가 가능한 장점을 지니고 있다.

농산물 및 식품류의 비파괴검사법은 Fig. 2-1과 같이 시료에 외부로부터 입력되는 에너지와 시료를 통과하여 방출되는 에너지의 차이로부터 시료의 내부상태 및 이화학적 특성에 관계되는 정보를 수집하여 시료의 상태를 분석하는 방법이다.

비파괴검사법의 종류는 이용되는 에너지의 종류에 따라 다음과 같이 크게 7가지로 나눌 수 있다. 첫 번째 물리적·역학적 성질을 이용한

방법을 들 수 있으며, 이 방법에는 밀도의 측정에 의한 방법과 힘-변형, 충격력, 충격-반동에 의한 방법이 있다. 두 번째로는 광학적 성질을 이용한 방법이 있는데, 이 방법에는 근적외선, 가시광선을 이용한 방법이 있다. 세 번째 방사적 방법에는 x - ray, 그리고 γ - ray에 의한 방법이 있으며, 네 번째 진동특성을 이용한 방법에는 저주파 진동, 타음 응답, 그리고 초음파에 의한 방법이 있다. 다섯 번째로. 전기적 성질을 이용한 방법, 여섯 번째로 핵 자기 공명을 이용한 방법이 있으며, 일곱 번째로 화상 처리를 이용한 방법이 있다. 최근 비파괴검사법과 관련된 전기, 전자 및 컴퓨터기술의 발전으로 많은 종류의 비파괴 분석기기가 간편하게 이용될 수 있도록 개발되어 일부 품목은 상품화되어 있다.

국내 농산물의 경쟁력 향상을 위해 정부에서는 농축산물의 유통시설 현대화 정책의 일환으로 미곡종합처리 시설, 청과물 종합처리 시설, 도축 시설, 농산물 검사시설 등을 지원 보급하고 있다. 이들 시설의 핵심부분인 곡류의 색채선별 및 품질판정 장치, 과일류의 색채선별 및 품질판정 장치, 육류의 품질판정 장치 등은 거의 전량 외국에서 고가로 수입되고 있는 실정이다.

선진국의 경우 전자산업의 발달과 함께 농축산물의 비파괴 품질평가 기술은 급속도로 발전하고 있으며, 국내에서도 1980년도 이후 여러 분야에서 연구가 진행중이다.

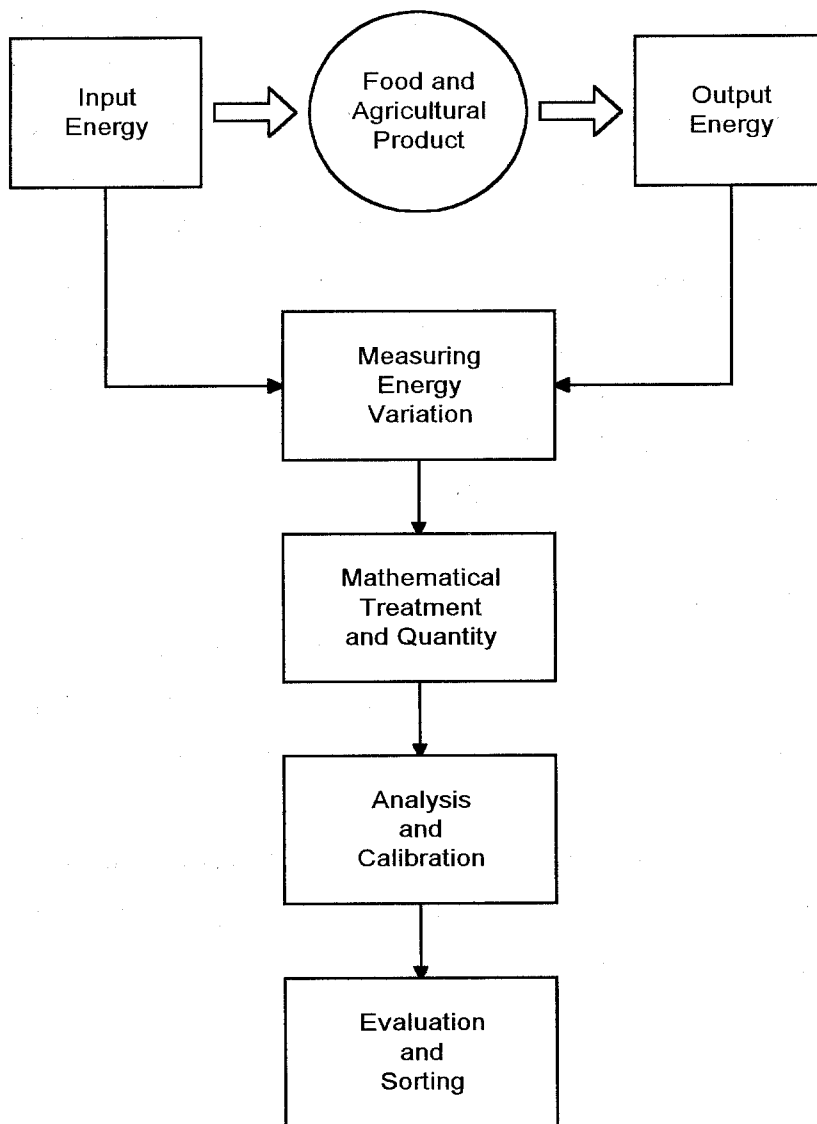


Fig. 2-1 General concept of non-destructive analysis

예를 들면 쌀의 경우 국내에서는 크기와 모양을 이용하는 기계식 선별이 주로 이용되고 있으며, 최근에는 색채선별기가 이용되고 있다. 선진국에서는 색채선별기가 보편화되어 있으며, 동할립, 복백립 등의 선별이 가능한 품질 판정 장치와 근적외선을 이용한 식미 판정장치가 개발 이용되고 있다.

과실류의 경우 국내에서는 전자식 선별기에 의한 중량 선별 및 육안에 의한 색깔 선별이 이루어지고 있으며, 선진국에서는 영상처리에 의한 색깔 및 형상선별이 보편화되어 있으며, 최근에는 근적외선을 이용한 당도 및 속도 판정장치가 개발 보급되고 있다.

화훼류의 경우 국내에서는 인력에 의한 육안선별이 이루어지고 있으나 선진국에서는 영상처리 기술을 이용한 지능형 선별장치가 개발 보급되고 있다.

축산제품의 경우 국내에서는 인력에 의한 육안선별이 이루어지고 있으나 선진국에서는 초음파를 이용한 도살된 고기의 육질판정 및 살아있는 가축의 육질판정, 근적외선 및 영상처리 기술을 이용한 계란의 무정란 선별, 우유의 전기전도도를 이용한 온라인 유방염 진단장치 등이 선진국에서는 실용화되고 있다.

국내 농촌 노동력의 급격한 감소, 국민 생활수준의 향상, WTO체제의 출범으로 인한 농산물 수입의 자유화 등을 감안할 때 우리나라의 농업등 1차 가공 산업도 선진국형으로 발전할 것이며, 따라서 비파괴 품질 판정기술과 같은 고급기술이 농업 및 식품분야에 널리 응용될 것으로 판단된다. 분광분석법은 시료 내·외부의 상태에 따른 광학적 특성을 분석하여 품질을 비파괴적으로 평가하는 방법이다. 근적외선 영역에서는 수분에 의한 흡수가 아주 미약하여 전수검사가 가능하며, 유기물을 구성하는 C-H, N-H, O-H 등의 관능기가 나타내는 정보가 근적외선 영역에서 압축되어 나타나므로 농산물의 물리화화학적 특성 정보를 동시에 얻을 수 있다. 또

한 분광분석법은 시료의 상태를 표현할 수 있는 특정 파장이 결정되면 다른 비파괴검사법에 비하여 품질평가 시스템을 구성하기 쉽고, 분석이 숙련된 기술이 필요 없으며, 결과의 해석이 간편할 뿐만 아니라 저 비용으로 측정시스템을 구성할 수 있는 장점이 있다. 그러므로, 분광분석법은 쌀의 식미와 같은 종합적 품질 측정에 적합하다(조, 1987).

비파괴검사법에 이용되는 시료의 상태는 원시상태의 시료를 1차 가공한 분말 시료나 산물(bulk)상태의 시료를 이용하며, 최근에는 단립(single kernel)을 이용한 연구가 발표되고 있다. 비파괴검사법이 개발되기 시작한 초기에는 분말시료를 이용하여 이화학적 분석법이 가능하였기 때문에 대부분의 비파괴 관련 연구에 분말시료를 이용하였다. 비파괴검사에서 결과에 영향을 미치는 분말시료의 요인으로는 시료의 샘플링, 입도, 수분함량, 온도 등이 있다. 특히, 입도는 분포에 따라 결과가 다르게 나타나므로 입도 분포를 일정하게 하는 것이 중요하다.

1970년대에 들어서면서 분석 기술의 발달로 물리적 변형을 가하지 않은 상태에서도 이화학적 분석방법이 가능해졌으며, 이때부터 산물상태의 시료를 이용하여 비파괴검사에 의한 분석을 수행하게 되었다. 산물의 시료는 이동, 취급, 채취 및 전처리가 용이하고, 간편하고 신속하게 측정할 수 있는 장점을 지니고 있다. 또한, 산물상태에서 측정된 자료는 시료의 평균적인 특성을 나타내므로 대단위 농산물 유통이나 공장 등에서 포장단위로 처리할 경우에 유리하게 적용될 수 있다. 그러나, 산물상태의 시료는 시료 개개의 이화학적 분포를 알 수 없으며, 단립이 지니고 있는 유전적 특징이 소멸되어 서로 다른 품종의 시료가 지니고 있는 특성들이 혼합되어 나타나게 되므로 선별시스템과 같이 개체별 특성에 따라 작용하는 품질평가시스템에 적용하기에는 부적합하여 온라인(ON-Line)화가 불가능하다. 이러한 산물상태의 시료에서 나타나는 단점을 보완하기 위하여, 단립 시료

에 대한 비파괴검사법의 개발이 요구된다. 비파괴검사시 단립의 곡물을 이용하게 되면 각 개체별 이화학적 분포를 알 수 있고, 품질 판정 및 선별시스템의 온라인화가 가능하며, 개체별 이화학 특성을 알 수 있으므로 선별시스템의 자동화가 가능하다. 또한 종자 육종분야에서는 육종된 종자의 이화학 성분 분포를 비파괴적으로 측정할 수 있으며, 이 결과는 쌀 등의 한 이삭에 대한 수분 및 단백질 분포를 파악할 수 있으므로 육종 관련 연구분야에 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다. 그러나 단립의 곡물은 시료의 취급이 까다롭고, 다량의 시료에 대한 측정시간과 검량선 작성을 위한 이화학 적 분석이 어려운 단점을 지니고 있다.

가. 화상처리법에 의한 품질측정

인간의 시각 능력을 대신할 수 있는 영상처리기술 방법은 그 동안 많은 발전이 이루어졌다. 농산물의 영상처리기술에 가장 중요한 요소는 신속하고 정확하게 영상을 분석할 수 있는 능력이다. TV카메라, X-ray 검색기, NMR 영상 같은 여러 가지 방법들이 농산물에서 색깔, 형태, 병, 결함 등의 내부적 외적요소의 검색에 용이하게 사용된다. 하지만 이러한 특성을 필요한 속도로 형상을 만들어 내기에는 많은 어려움이 있다. 최근에 단가의 절감, 처리속도의 증가, 이미지 프로세싱을 위한 컴퓨터 하드웨어의 발달로 실용화 단계에 들어섰다. 결과적으로 새로운 알고리즘과 하드웨어 구조가 농산물의 특정 품질 요소 평가에 적합한 처리속도 만큼 발달되었다. Rehugler 과 Throop는 사과와 손상도에 따른 선별 분야를 발전시켰고 Thomson 과 Godinez 는 비정상적인 영상특성과 예상 가능한 정상적 영상 특성 사이의 차이를 판별할 수 있는 영상처리 기계를 상업화할 수 있도록 구조를 설계했다. Merchant는 감자를 크기와 모양에 따라 선별할 수 있도록 컴퓨터영상장치를 발전시켜 초당 40개의 감자를 선별할 수 있게 하였다. Throop는 사과에서 수액을 검사하기 위해 영상처리 기계와 빛의 투과 특성을 결합하여 이용하였으며 Bowers는 손상된 복숭아에서 결함을 검사하기 위해 컴퓨터 영상처리와 X-ray 영상을 이용하였다.

쌀알의 크기는 쌀 산업계에서 판매, 등급, 새로운 품종의 개발, 세미기, 및 등급기기, 건조, 가공공정등, 여러가지와 연관되어 있다. 미국 농무성(USDA, 1976)에서는 쌀알의 길이 : 너비의 비에 따라 단립종, 중립종, 장립종으로 나누는데, 단립종은 1.9:1이하, 중립종은 2.0:1에서 2.9:1, 그리고 장립종은 3.0:1이상으로 분류하고 있다. FAO (The Food and Agricultural

Organization)은 백미의 길이에 따라 최장립종은 7mm이상, 장립종은 6.0-7.0mm, 중립종은 5.0-5.9mm, 단립종은 5mm이하로 분류하고 있다 (Houston, 1972). 전통적으로 실험실에서 쌀알의 길이와 너비를 측정하기 위해 격자판의 substage와 현미경을 사용하고 있다. 이러한 방법에 의해 쌀은 시각적으로 분류할 수 있지만, 중요한 품종간 비교를 위해서는 좀 더 정확한 방법에 의한 분류가 필요하다. Wratten 등(1975)은 쌀알(벼) 10개를 길이로 정렬시키고 너비로(볼록한 점이 서로 마주 닿게) 정렬시켜 길이를 각각 측정한 후 10으로 나누어 쌀알의 길이 및 너비를 구하였다.

전통적인 시각에 의한 곡물의 분류방법은 시간이 많이 걸리며, 방법상의 문제로 인해 애매 모호한 결과를 가져오기 쉽다. 백미를 분류하기 위한 빠른 방법의 하나로서 화상분석방법이 Goodman과 Rao(1984)에 의해 제시되었으며, 기존의 시각적 분류방법을 사용하였을 때 소요되는 시간의 1/3이하로 단축시킬 수 있었다고 하였다. 이 연구에서는 격자판을 지닌 현미경을 카메라와 컴퓨터의 화상분석 system에 연결하여, 쌀알의 둘레, 면적, 길이, 너비, 길이-너비의 비율의 결과를 평균값, 최고값, 최저값, 표준편차, 빈도수 histogram으로 나타내었다. 이때 쌀알의 둘레길이는 쌀알의 형태가 타원이라 간주하여 계산하였으며, 전통적인 방법에 의한 결과와 화상분석 방법에 의한 결과를 비교하였다. 전통적인 측정 방법에 의한 결과와 화상분석 방법에 의한 결과는 거의 비슷하게 나타났으나, 전통적인 방법으로는 10개의 쌀알을 측정하는데 10분이 소요된 반면, 화상분석기에 의해서는 50알의 쌀알을 측정하는데 단지 3분이 소요되어, 시간적으로, 노동력을 고려할 때 경제적인 방법으로 나타났다. 현재 화상분석기의 가격은 저가 아니지만, 요즈음의 임금상승을 고려해 볼 때 쌀알의 크기측정에 화상분석기기를 사용하는 것은 경제적이라 할 수 있다.

미국 농무성의 밀 품종간 구별은 형태에 근거하여 판별하는데, 몇

몇 밀 품종은 연질밀 형태를 지니고 있으면서 경질밀의 특성을 지니고 있어, 형태에 의한 품종판별에 어려움이 있다. 예를 들면, Arkan이라는 품종은 연질밀 Arthur와 경질밀 Sage 사이의 교배종으로, 경질밀과 같은 제빵적성을 지니고 있으면서, 연질밀의 형태를 지니고 있다(Martin 등, 1983). 더욱이 경질밀 중에서 hard red spring과 hard red winter의 차이를, 곡물검사원의 시각적 판정에 의존하는데 문제가 대두되어왔다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Zayas 등(1986a)은 경질밀(hard red winter)과 연질밀(soft red winter), 두 품종간의 차이를 가장 잘 나타내는 형태적인 특성들을 결정하여 두 품종으로 판별하기 위한 표준을 만들기 위해, 밀알에 대해 화상처리기술을 응용하여 판별분석을 시도하였다. 이 연구에서는 hard red winter 4품종, soft red winter 4품종을 구분하고, hard red winter(2품종), hard red spring(2품종)을 형태적으로 판별하기 위해 화상분석을 사용하였으며, hard red winter, 혹은 soft red winter의 3품종의 혼합으로부터 83%를 올바르게 판별하였으며, hard red winter나 hard red spring 2품종의 혼합에서 보정시료군으로는 78%, 시험시료군으로는 77%를 올바르게 판별할 수 있었다. 이 실험에서 사용된 형태적 특성으로는 장축, 단축, 장단축비, 밀알 표면과 단축이 만나는 (짧은 포물선을 그리는) 두점(Q, S)에서 포물선 상에서 장축과 만나는 점(P)을 연결한 두면의 길이, 밀알의 화상안에서 장축과 단축이 만나는 점(R)과 P를 연결한 면과 PQ가 이루는 각의 tan과 sin값이었다. 곡물의 특성연구에 있어서 화상분석을 이용한 경우는 Zayas 등(1986a, 1986b), Neuman 등(1987), Sapirstein 등(1987)의 연구에서 찾아볼 수 있다. 이들의 연구는 주로 camera 영상으로부터 얻은 회색톤의 2차원적인 영상을 이용하여 얻은 자료를 분석하여 판별 혹은 확인을 하였다. 그러나 이들 system은 평면적인 화상으로부터 얻어지는 부족한 정보 때문에 그 능력에 제한이 있다. 가장 확연한 제한점은 곡물의 높이와 그와 관련된 특성

인데, 이들 특성은 시각적인 검사시 중요한 역할을 한다. 예를 들면, 밀의 종류, 품종, 그들의 연관성에 있어서 배아의 높이, 가운데 홈의 깊이 등은 밀의 특성화, 가공, 최종 이용특성에 중요하다(Pomeranz, 1982).

Sapirstein 등(1987)은 화상분석기기를 이용하여 밀, 귀리, 보리, 호밀의 혼합물에서 곡물판별 및 품위분석법에 관하여 연구하였으며, Neuman 등(1989)은 digital image analysis를 이용하여 밀의 색에 의한 품종판별을 시도한 결과 34-90%까지의 정확률을 얻었다. 1980년대에서는 대부분 평면적인 2차원적 화상을 분석하여 개체간 차이를 판별하였다. 그러나 그후에는 laser scanning device를 이용하여 밀품종을 3차원적 화상을 분석함으로써 정확도를 92-94%까지 올릴 수 있었다 (Chen 등, 1989; Thomson과 Polmeranz, 1991). 松永陸可(1992)는 화상해석에 의한 쌀의 품종판별기술을 기술하였는데, 그는 광원 두개가 부착된 CCD (charge coupled device) camera를 이용하여 쌀의 중심으로부터 둘레에 선을 그려서 둘레를 한바퀴 돌았을 때 선의 길이로 쌀형태를 수량화하여 각 품종간의 차이를 비교하였다. 그 결과 현미와 백미 4품종을 분석하였을 때 현미와 백미에서 거의 비슷하게 정확도 66-89%로 판별할 수 있다고 하였다. 최근에는 곡물의 외형상 차이뿐만 아니라 밀 내부에 존재하는 전분을 추출하여 전분의 형태와 크기를 화상분석함으로써 품종판별에 유용하게 사용될 수 있음을 보여주고 있다. 그 예로 Zayas 등(1994)은 밀의 곡립경도에 대한 이해를 향상시키기 위해 전분의 형태 및 화상분석을 이용하여 경질밀인 hard red winter(HRW)와 연질밀인 soft red winter(SRW)를 비교하였다. NIR경도가 다른 14점의 HRW과 10점의 SRW의 화상분석결과 전분직경 5.5-7.0 μ m, 전분의 장단축비 1.65-1.95사이에서 NIR경도에서 구분이 안되는 HRW, SRW를 구분하여, 전분입자크기와 형태는 경질밀과 연질밀을 구분하는데 유용하다고 발표하였다.

컴퓨터를 이용한 화상처리연구는 이미 선진국에서 농산물선별기등에 상업적으로 활용되고 있으나, 국내의 경우 1980년대 후반에 소개되었고 1990 년대에 본격적인 연구를 시작하고 있다. 노 등(1990)은 과일의 화상을 분석할 수 있는 프로그램을 개발하여 사과와 기형을 판별할 수 있음을 보고 하였으며, Hwang 등(1993)은 벼의 등급구분을 위하여 흑백영상처리장치를 사용하였다. 한국식품개발연구원에서 박 등(1993)은 마늘의 영상에서 결점을 신속히 추출하는 방법을 개발하여 원료선별을 효과적으로 할 수 있는 선별시스템의 설계방안을 제시하였다. 신 등(1994)은 품종별 현미의 평면적인 외형을 분석하였을 때 품종별 차이가 있다고 하였다. 김 등(1995)은 94년산 국내 현미와 백미 화상자료에 의해 19개 품종판별을 시도하여 각각 83.6%, 87.6%의 판별율을 얻었으며, Kim 등(1997)은 미국산33점, 호주산 5 점, 중국산 11점과 한국산 40점에 대한 산지판별결과 95%의 판별율과 97.2%의 검증율을 보여주었다. 이는 화상분석을 이용한 쌀의 원산지 판별의 가능성을 보여주고 있다. 또한 최근 Chtioui 등(1996)은 color image를 이용한 종자판별에서 통계적 접근인 판별분석과 artificial neural network 두 방법을 비교한 바 있어 화상분석방법에 의해 외형적 품질, 품위측정 가능성을 내포하고 있다.

나. 근적외선분광법에 의한 품질측정

근적외선은 1800년에 Herschel이 프리즘으로 만든 스펙트럼 중에서 가시광선 영역 밖에서 필름을 암화시키고 온도를 상승시키는 전자기 스펙트럼을 관찰함으로써 발견되었다. 20세기초에 정밀한 조건하에서 고분자와

적외선에 대한 연구가 시작되었으며, Brackett는 1,200nm대역에서 1차, 2차, 3차 수소원자들과 탄소원자의 결합상태를 관찰하여 보고하였다(Shenk 등, 1978).

1950년대까지 농업부문에서 비파괴검사를 위한 광학적 특성의 이용은 색채 측정에만 국한되었다. 그 후, 주사(scanning)방법을 이용한 적외선(ultra violet), 가시광선(visible) 및 근적외선(Near-infrared) 장비의 출현 전까지 근적외선을 분광법으로 적용한 분석은 극히 미미하였다.

그러나, 1960년대에 Norris 등이 농산물에 함유된 수분, 단백질, 지방 등의 정량분석을 위하여 근적외선 분광분석법을 이용한 후 근적외선 분광광도계(Near-Infrared Spectrophotometer)라는 용어가 확립되었으며, Norris는 근적외선 분광분석법의 발전에 지대한 공헌을 하였다. 이 후, 미국 농무성(USDA) 등에서는 근적외선 분광분석법을 농산물의 선별 및 이화학적 분석 등에 이용하였다.

1970년대에는 근적외선 분광광도계에 대한 실용적인 장치의 개발이 급속하게 진전되었다. 근적외선 분광분석법을 응용한 연구 결과도 1930년부터 1960년대 말까지 50여회 발표되었으나 1970년대에는 100회 이상 발표되기 시작하였다. 1980년대에는 근적외선 분광분석법을 응용한 연구가 기하급수적으로 증가하여 1,000편 이상 발표되었고, 근적외선 분광분석법을 이용한 분석법이 공정분석법으로 자리잡기도 하였다. 대표적으로 1980년대에 미국 농무성(USDA) 및 캐나다 곡물위원회 등과 같은 곡물 검사기관에서 밀의 수분, 단백질 등과 같은 성분 측정의 공정분석법으로 적용하기에 이르렀다. 기타 미국곡류화학자협회(소맥의 단백질 분석), 국제곡류과학기술협회(소맥의 수분, 단백질 분석), 미국연방종자유지협회(대두의 유지, 수분, 단백질 및 휘발성물질 분석), 미국분석과학자협회(야채중의 수분분석) 등에서 종래의 화학분석을 대신하여 NIR에 의한 측정 방법을 공정분석법으로 적용

하고 있다. 현재에도 많은 연구자들이 근적외선 분광분석법을 공정분석법으로 이용하기 위하여 연구를 수행하고 있다.

식품이나 농산물의 선별에는 외부와 내부상태에 따라 두 가지 방법으로 나누어 고려할 수 있다. 외부의 상태에 따른 선별에는 가시광선 영역에서 반사율을 측정하여 분석한다. 내부상태에 따른 선별은 가시광선 영역에서 투과율이나 적외선 영역에서 반사율과 흡수율을 측정하여 분석한다. 적외선(infrared)은 근적외선 영역과 중적외선(mid-infrared) 영역으로 분리할 수 있으며, 근적외선 영역은 주로 시료의 성분분석에 이용되고 중적외선 영역은 관능기(functional group)의 분석에 이용된다. 적외선 스펙트럼 영역은 근적외선 영역(700~2,500nm), 중적외선 영역(2,500~25,000nm), 원적외선(far-infrared) 영역으로 구분한다. 물질의 화학적 성분분석에는 근적외선과 중적외선이 이용되며, 각각 스펙트럼의 구성상 특성에 의하여 이용되는 부분이 다르다.

따라서 중간적외선에 의한 흡광분석법은 유기화합물의 정성분석에는 아주 적합하지만, 정량분석으로 이용되기에는 다음과 같은 몇 가지 문제점을 지니고 있다.

- ① 중간적외선 분석장치는 광원출력이 작고, 검출기의 감도가 비교적 약하기 때문에 높은 S/N비를 얻을 수 없다.
- ② 중간적외선은 흡수영역이 상당히 좁기 때문에 높은 정밀도의 측정과장이 요구된다.
- ③ 중간적외선은 흡광성이 상당히 높기 때문에 시료 셀의 두께를 매우 얇게 설계하여야 한다.
- ④ 중간적외선은 측정 셀의 창에 적합한 시료를 얻기 어렵다.
- ⑤ 중간적외선은 물에 의한 흡수가 상당히 강하고, 타 성분의 스펙트럼이

물의 스펙트럼에 흡수되어 정량할 수 없다.

- ⑥ 중간적외선은 측정시 신속성이 결여되어 근적외선 분광법에 비하여 긴 측정시간을 요한다.

이에 반해 근적외선 분광분석법을 이용한 정량분석은 분석대상전체에 걸쳐 강력한 광원을 이용할 수 있다. 이것은 근적외선의 흡수가 적외선 기준진동 영역의 고주파진동(배음 및 결합진동)에 의해 발생하여 흡수가 약해지기 때문이다. 이에 따라, 응답시간이 짧고 고감도의 포토셀을 이용할 수 있으므로 분석시간이 대폭 축소되고 높은 S/N비를 얻을 수 있게 된다. 또한, 근적외선 영역의 약한 흡광성에 의해 긴 광로장의 시료 셀을 설계할 수 있으며, 시료 셀 두께의 교정과 청소 및 시료 셀의 보수유지가 용이하게 된다. 시료 셀은 유리, 석영과 같은 저가의 재질을 이용할 수 있다. 위에서 열거한 장점 외에도 중적외선 분광분석법에 비하여 근적외선 분광분석법이 갖는 가장 큰 장점은 흡광도가 약한 성분의 정량이 가능하고, 다양한 성분에 대하여 동시 정량이 가능하다는 것이다.

근적외선 분광분석법을 응용한 연구는 세계적으로 광범위하게 수행되고 있으며, 지역별로 살펴보면 다음과 같다. 미국에서는 근적외선 분광분석법에 관한 연구를 가장 먼저 시작하였으며, 다양한 분야에서 근적외선 분광분석법을 응용하고 있다. 소맥, 쌀, 옥수수, 보리 등 곡류의 성분분석 및 품질판정(Czuchajowska 등(1992), Delwiche 등(1996)), 사과, 배, 토마토 등과 같은 과채류의 당도 및 숙도 분석(Brown 등(1974), Upehurch 등(1990)), 그리고 소고기 등 축산물의 성분 및 신선도 분석과 병든 닭고기의 선별(Chen 등, 1993)) 등에 적용하고 있다. 유럽에서는 육고기의 단백질 함량과 신선도 분석(Lanza, 1983), 소맥류의 제분공정 제어와 품질 측정분야 등에서 근적외선 분광분석법을 응용하고 있다(Cooper, 1984). 또한, 곡류, 종자, 사

료 및 사료작물 등의 성분분석과 주스의 당도관정, 와인류의 첨가물 분석 등에 이용하고 있다(Donald 등, 1992). 러시아에서는 1960년대 중반부터 가공식품의 공정분석에 관한 연구를 시작하였으며, 주로 소맥류와 보리 등의 단백질 분석과 사료용 건초류의 성분분석 등에 관하여 연구를 수행하였다(Williams 등, 1987). 아시아 지역에서는 주로 일본에서 많은 연구를 수행하고 있으며, 쌀, 소맥, 콩, 고추 등의 품질 분석과 우유의 지방 및 단백질 함량 분석 등에 적용하고 있다(瀨尾康久, 1994). 오스트레일리아와 뉴질랜드에서 1974년부터 근적외선 분광분석법에 관한 연구가 시작되었으며, 양모와 유제품의 성분분석과 가축의 사료로 이용되는 사료용 건초의 성분 및 신선도 분석에 주로 응용하고 있다(Williams 등, 1987).

일본에서는 근적외선 분광분석법을 이용하여 쌀의 식미기를 개발하여 보급하고 있다. 처음으로 식미기를 개발한 사다께(주)의 초기 식미기는 분쇄한 정미를 측정 대상으로 하여 단백질, 수분, 지질, 및 아밀로오스함량을 근적외선 분광분석법으로 분석하여 개발된 방정식에 의해 식미를 평가하였으나, 최근에는 쌀의 입자 상태나 밥의 상태에 따라서 식미를 평가하기도 한다(瀨尾康久, 1994). 시즈오카세이키(주)에서 개발된 식미기는 백미에 함유된 단백질 함량과 취반액의 발색도를 근적외선 분광분석법으로 분석하여 식미를 평가하며, (주)니레코에서 개발된 식미기는 Mg, K, Na 등과 같은 미네랄 성분을 분석하여 식미를 평가하고 있다. 그 외에도 일본에서는 4개사 정도에서 비슷한 식미계를 생산하고 있다. 일반적으로 한국과 일본에서의 쌀의 식미는 아밀로오스함량이 낮고, 수분함량이 높으며, 지방산도가 낮은 것이 좋은 것으로 알려져 있다(瀨尾康久, 1994). 우리나라에서는 사과, 배, 복숭아 등의 당도, 산도 및 경도 측정에 관한 연구(최 등, 1997))와 가시광선 영역을 이용한 사과, 복숭아의 숙도 측정(김 등, 1992), 쌀의 성분 분석(문 등, 1994) 및 도정도 측정(김 등, 1997), 식육 및 육제품의 성분 측정(오 등

(1992), 김(1996)) 등에 관한 연구가 수행되었다.

곡물의 물리적, 화학적 분석에 근적외선 분광분석법을 이용한 연구는 다양하게 수행되었다. 주요 대상 곡물은 밀, 옥수수, 콩 등이었으며, 보리와 쌀에 관한 연구도 일부에서 수행되었다. 시료의 상태는 대부분 분말과 산물상태였으며, 밀과 보리의 경우는 수분, 단백질, 지방산도, 아미노산과 같은 화학적 성분분석과 경도 측정 및 품종 분류 등에 관한 연구가 주로 수행되었다(Donald 등, 1992). 옥수수는 지질(lipid) 함량, 열손상, 변질, 발아 등에 관한 연구가 수행되었으며(Finney 등, 1978), 콩은 주로 수분 및 단백질 함량 분석(Casady 등, 1993)에 관한 연구가 수행되었다. 쌀은 수분, 단백질, 아밀로오스, 지방산도 및 점도 예측과 도정도(degree of milling) 측정에 관한 연구를 수행하였다(Btten 등(1991), Wadsworth 등(1991)).

최근 일부에서는 밀과 옥수수의 단립을 이용한 연구도 수행되었다. 단립 시료를 이용한 연구는 Beerwinkle 등(1978)이 처음으로 보고하였으며, 1993년 이후 Delwiche 등은 단립의 밀을 이용하여 근적외선 분광분석 결과를 발표하였다. 현재까지 곡물류에서 단립의 특성은 쌀, 옥수수, 밀에 관하여 보고되었으며, 쌀의 정상립 분류, 옥수수는 수분함량 측정, 밀의 경도(Hardness), 수분 및 단백질 함량, 밀의 분류 등에 이용되었다.

쌀의 품질에 가장 관계가 깊은 것은 백미의 도정도(김 등, 1990)와 내부 성분으로 수분, 단백질, 아밀로오스 함량 및 지방산도가 있다(瀨尾康久, 1994). 이들 성분에 관한 연구는 대부분 분말 및 산물 시료를 이용하였다.

다. 쌀의 등급화 기술의 특허동향

한국과 일본에서의 쌀의 품질측정기 관련 특허 출원현황은 Table 2-27에 있다. 한국에 출원된 5건의 가시광선이나 근적외선등에 의한 쌀의 품질 등급화 관련 기술에 관한 특허(Appendix 1)는 일본 기업에서 출원한 것으로(1건은 한국과 공동 출원), 국내 관련 업체에서는 출원이 전무한 실정이나, 한국에서도 비파괴 품질 판정기술이 도입되면서 1990년 이후 본격적인 연구가 수행되고 있으며, 집중적인 관련 기술의 개발과 산업화 대책이 시급하다.

일본에서는 1970년대부터 품질 판정에 있어서 광학적 센서를 이용한 품질 측정기의 기술 개발 연구를 수행하여, 1980년대 이후 일본을 포함한 미국, 유럽과 한국 등에 다수의 특허를 출원하고 있으며, 일본에서만 94년까지 69건의 관련 특허를 출원하였으며(Appendix 2), 현미와 백미의 품위등급을 판정하는 측정기(도정도, 동할율, 미숙립, 사미등)의 개발 뿐 아니라 1990년대 초반부터는 쌀의 내부적 품질(단백질, 아밀로오스, 지방산가, 식미등)을 측정할 수 있는 제품들을 생산하여 1997년 현재 6개 회사(그 외 2-3개 회사에서 개발중임)에서 제품을 생산중이다.

Table 2-27 쌀의 품질측정기 관련 특허 출원현황

(단위 : 건)

출원국 \ 년도	'86 이전	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	계
	한국	2	2	-	-	-	-	-	-	1
일본	19	12	1	6	9	5	4	5	8	69

2. 품질평가방법 및 기준의 결정

가. 품질에 영향을 미치는 인자

쌀의 품질은 육종 및 생산단계에서부터 마지막 소비단계에 이르기까지 여러 가지 단계에서 직간접적으로 영향을 받으며, 쌀은 외관, 도정특성, 저장성 및 식미특성 등의 내용이 광범위하게 복합된 것으로 여러 인자들이 관여한다 (Table 2-28).

우리나라는 육종 및 수확, 재배기술에 있어서는 많은 기술의 발달이 있었으나 수확후의 건조, 저장, 도정 및 유통에 있어서는 낮은 기계화의 보급율과 기술 수준으로 수확후 품질을 유지할 수 있는 기술이 절실히 요구되며, 이를 위해서는 먼저 신속 정확한 품질 측정장치의 개발이 필요하다.

Table 2-28 쌀의 품질에 영향을 미치는 인자

요 인	내 용
1. 품 종	자포니카 타입, 인디카 타입, 이화학적 성분 및 특성
2. 산 지	지형, 토양
3. 기상조건	일조시간, 강수량, 적산온도, 등숙기의 기온
4. 재배방법	이앙시기, 시비방법, 물관리
5. 수확방법	수확시기, 수확기의 종류 및 수확조건
6. 건조방법	건조속도, 건조중 벼의 온도, 건조 형태
7. 저장형태	저장온도, 저장기간, 벼, 현미, 백미등 저장상태, 온습도, 해충, 미생물 유무
8 도정특성	정미기의 배열, 도정률, 정백수율, 백도, 싸래기, 벼와 현미의 상태
9. 유통	유통기간, 유통중 보관, 포장재질 및 포장 방법
11. 취반조건	밥술의 종류, 불림 및 가열등 취반상태
12. 보관방법	보온 및 보관조건, 식사할 때 밥의 온도, 외관, 향기, 텍스처, 맛,

나. 품질평가방법 및 기준

품질은 외관적인 품질, 내면적인 품질, 관능적 품질로 나눌 수 있으며, 외관적인 품질 혹은 물리적 품질에는 도정특성, 색도, 정상립, 쉼, 피해립등 쌀의 품위분석, 조직감을 들 수 있다. 내면적 품질 혹은 화학적 품질로는 수분, 단백질, 아밀로오스등 성분을 들 수 있다.

본 연구의 목적은 외관적인 품질과 내면적인 품질을 비파괴적으로 신속 정확하게 측정할 수 있는 품질 측정기 개발이므로 외관적인 품질평가 방법으로는 화상분석방법과 내면적인 품질과 평가방법으로는 근적외선 분광 분석방법을 결정하여 연구를 수행하였으며, 본 연구에 사용된 품질분석방법 및 기준은 아래와 같다.

(1) 근적외선 분석방법

- 도정도, 관능적 품질과 화학적인 방법에 의해 쌀의 수분, 단백질, 아밀로오스함량의 측정
- NIR spectrum과 다중회귀분석을 수행하여 정확한 예측식의 개발
- 가장 높은 R^2 를 지닌 회귀식의 선택 및 검증
- 비파괴적 품질 측정 system개발

(2) 화상분석방법

- 쌀의 품위별 화상특성분석
- 시중 유통되는 쌀의 품위분석
- 화상분석에 위한 품위분석

(3) 기준

- 신속성, 정확성($R^2 > 0.95$), 반복성

제 3 절 이화학적, 관능적 지표의 조사

1. 이화학적 특성 분석

농촌진흥청을 통하여 수집한 국내산 벼 41종을 동일 조건에서 도정하여 현미와 백미의 도정 특성 및 이화학적 성분의 특성을 분석하여 품질에 미치는 영향에 관하여 분석하였다 (Table 2-29, 2-30, 20-31, 2-32, 2-33).

Table 2-29 산지별 품종별 95년산 시료의 도정특성

번호	산지 및 품종	제현율 (%)	설미율 (%)	현백율 (%)	싸라기율 (%)	도정율 (%)	쇄미율 (%)
1	경기주안	82.7	0.5	90.0	0.1	74.4	2.8
2	경대안	82.7	1.6	90.2	0.3	74.6	3.5
3	경기화성	80.4	2.8	90.3	0.2	72.6	1.9
4	경기봉광	83.2	1.0	90.4	0.2	75.2	5.9
5	경기추청	84.1	0.8	90.4	0.2	76.0	4.3
6	경기일품	82.0	1.7	90.6	0.2	74.3	6.9
7	강원오대	78.6	2.1	90.5	0.2	71.1	3.8
8	강원진미	78.7	1.8	89.7	0.2	70.6	2.9
9	강원화성	82.2	0.9	90.8	0.1	74.6	1.7
10	강원봉광	81.7	0.8	90.8	0.1	74.2	3.4
11	충북품성	79.8	1.1	90.1	0.3	71.9	4.0
12	충북화성	83.1	0.5	90.1	0.1	74.9	3.0
13	충북오대	82.1	0.9	90.4	0.2	74.2	4.0
14	충북추청	82.7	0.8	90.5	0.2	74.8	3.3
15	충남동진	83.4	1.5	90.0	0.3	75.1	5.6
16	충남추청	82.8	1.5	90.0	0.4	74.5	6.8
17	충남일품	82.2	0.7	90.1	0.3	74.1	7.3
18	충남안중	80.0	2.2	89.9	0.3	71.9	3.4
19	충남계화	80.7	1.4	90.4	0.2	73.0	2.4
20	충남계화	81.8	1.4	90.4	0.3	72.6	2.9
21	전북동진	80.1	2.2	90.0	0.3	72.1	3.6
22	전북계화	80.0	2.4	90.5	0.3	70.6	2.5
23	전남영남	80.2	1.0	90.5	0.3	70.4	2.2
24	전남팔공	82.5	0.9	90.5	0.2	74.7	2.8
25	전남계화	81.9	1.0	89.7	0.4	73.5	14.0
26	전남만금	81.6	0.7	90.1	0.2	73.5	3.4
27	전남화성	83.5	0.3	90.5	0.3	75.6	7.4
28	호남장성	82.5	1.0	90.2	0.4	74.4	6.3
29	호남운장	84.1	0.4	90.5	0.4	76.1	8.3
30	경북화성	80.4	1.6	90.2	0.3	71.5	2.2
31	경북오대	76.7	3.0	90.1	0.5	69.1	6.0
32	경북동진	81.0	1.1	90.6	0.3	71.8	4.2
33	경북일품	80.5	1.6	90.7	0.2	73.0	3.7
34	경남화성	83.6	0.3	90.6	0.2	75.7	4.9
35	경남영남	82.8	0.6	90.7	0.2	75.1	6.5
36	경남동진	82.9	0.8	90.6	0.4	75.1	7.6
37	경남탐진	82.1	1.3	90.6	0.2	74.4	5.1
38	경남영남	82.0	0.8	90.6	0.2	74.3	4.6
39	제주영남	81.5	0.5	90.6	0.1	73.8	2.4
40	제주진설	79.1	2.0	90.7	0.3	71.7	1.5
41	제주청	79.9	1.7	90.4	0.4	72.2	2.2

Table 2-30 산지별 품종별 95년산 시료의 백도 및 수분함량

번호	산지및품종	백도			백미수분(%)
		벼	현미	백미	
1	경기주안	35.9	16.1	15.7	14.8
2	경기대안	37.3	15.8	15.4	14.6
3	경기화성	39.2	15.1	14.7	13.7
4	경기봉광	37.2	14.7	14.5	14.0
5	경기추청	38.4	14.8	14.7	13.9
6	경기일오	38.4	13.8	13.8	12.7
7	강원진미	37.1	14.7	14.3	13.1
8	강원진화	35.1	15.5	15.1	14.4
9	강원화성	37.0	13.9	13.9	12.7
10	강원봉광	38.1	13.9	13.7	12.8
11	충북일품	38.1	14.7	14.0	12.9
12	충북화성	39.1	14.9	14.4	13.9
13	충북대청	38.3	13.8	13.8	12.5
14	충북추청	38.9	14.8	14.1	13.0
15	충남동진	35.7	15.3	15.1	14.5
16	충남동청	38.2	15.1	14.8	13.9
17	충남동진	35.9	14.6	14.6	13.9
18	충남일품	38.2	14.9	14.6	13.8
19	충남중충	36.6	15.2	14.6	13.6
20	충남계화	39.9	14.8	14.3	13.6
21	전북동진	37.0	15.5	14.9	14.0
22	전북영남	42.4	15.0	14.5	13.6
23	전북영남	39.9	15.8	15.4	14.5
24	전북팔공	38.0	13.6	13.3	12.3
25	전남계화	40.4	15.8	15.3	14.7
26	전남금성	38.0	16.3	16.2	15.4
27	전남화성	38.9	13.8	13.7	12.8
28	전남장성	40.6	15.3	14.7	13.7
29	호남운장	36.8	13.1	12.6	11.5
30	경북화성	40.6	15.2	14.7	14.3
31	경북오대	36.4	13.1	13.1	12.0
32	경북동진	38.0	14.5	14.4	13.8
33	경북일품	37.8	14.9	14.8	14.0
34	경남화성	37.8	12.9	13.1	12.3
35	경남화영	36.2	13.7	13.5	12.6
36	경남동진	38.1	13.4	13.1	11.9
37	경남탐진	39.7	13.4	13.0	11.9
38	경남영남	36.8	13.5	13.0	12.1
39	제주영남	37.9	15.5	15.0	14.4
40	제주섬진	40.3	13.7	13.5	12.6
41	제주청진	37.7	13.6	13.4	12.4

Table 2-31 산지별 품종별 95년산 백미시료의 색도(L, a, b값), 단백질(%), 아밀로오스 함량 (%)

시료	산지및품종	색 도			단백질 아밀로오스	
		L	a	b	(%)	(%)
1	경기주안	65.533	-0.4767	11.433	9.82	16.64
2	경기대안	64.127	-0.6900	9.767	8.61	17.56
3	경기화성	64.820	-0.7300	8.827	8.48	18.44
4	경기봉광	62.800	-0.6300	9.587	8.49	17.67
5	경기추청	63.767	-0.7333	9.273	8.10	18.23
6	경기일품	65.470	-0.7767	10.363	8.48	18.44
7	강원오대	67.693	-0.5700	11.013	8.01	17.41
8	강원진미	63.317	-0.9567	11.373	7.51	17.51
9	강원화성	63.993	-0.9100	10.017	7.16	19.15
10	강원봉광	63.333	-1.0333	8.933	7.23	19.05
11	충북일품	65.980	-0.7767	10.597	6.94	18.08
12	충북화성	65.613	-0.8000	9.177	7.20	19.36
13	충북오대	65.333	-0.6767	10.240	7.76	17.97
14	충북추청	63.580	-0.8767	9.570	6.50	18.54
15	충남동진	63.887	-0.3667	10.707	7.17	18.49
16	충남추청	65.637	-0.6300	10.190	7.80	18.95
17	충남동진	63.353	-0.3467	10.497	7.57	19.20
18	충남일품	66.220	-0.7133	10.320	7.87	18.28
19	충남안중	62.700	-0.7167	9.807	8.29	18.28
20	충남계화	65.480	-0.2300	9.903	8.35	17.36
21	전북동진	65.593	-0.4933	10.487	8.72	18.79
22	전북계화	67.680	-0.1133	10.600	9.28	18.79
23	전북영남	64.947	-0.1433	11.137	9.15	18.49
24	전북팔공	66.437	-0.5900	9.723	9.20	18.74
25	전남계화	65.837	-0.4567	9.180	8.75	18.90
26	전남금성	64.713	-0.5800	9.037	8.74	18.85
27	전남화성	66.980	-0.3733	9.123	7.60	18.33
28	호남금남	67.137	-0.4533	9.763	7.86	19.36
29	호남운장	63.560	-0.6567	9.790	8.10	18.69
30	경북화성	66.283	-0.2367	9.960	7.82	19.77
31	경북오대	67.360	-0.2533	11.197	8.26	18.85
32	경북동진	64.907	-0.1367	10.950	7.94	17.56
33	경북일품	65.733	-0.5167	10.690	7.85	17.61
34	경남화성	66.750	-0.1533	10.217	8.25	17.51
35	경남영남	65.617	-0.3100	10.410	7.41	17.36
36	경남동진	65.473	-0.4533	10.173	8.26	17.97
37	경남담진	65.060	-0.8300	9.450	7.60	18.44
38	경남영남	64.957	-0.6300	10.677	7.42	18.49
39	제주영남	63.950	-0.6167	9.747	8.32	17.82
40	제주섬진	65.407	-0.6667	9.890	8.36	18.18
41	제주추청	63.280	-0.7667	9.520	7.95	18.59

Table 2-32 산지별 품종별 95년산 현미시료의 광학적 품질관정치

Variety	Normal	Chalky	Damaged	Discolored	Broken
경기주안	81.35	5.85	4.55	0.05	8.20
경기대안	95.05	2.50	0.60	0.00	1.85
경기화성	91.80	2.95	0.85	0.05	4.35
경기봉광	94.65	1.70	1.20	0.05	2.40
경기추청	92.20	1.65	0.15	0.00	6.00
경기일품	86.90	5.75	1.75	0.00	5.60
강원오대	69.80	23.40	4.75	0.00	1.45
강원진미	89.65	2.75	0.50	0.00	7.10
강원화성	91.15	3.20	0.50	0.00	5.15
강원봉광	96.15	1.60	0.25	0.00	2.00
충북일품	82.40	8.95	1.70	0.00	6.95
충북화성	90.20	2.15	1.25	0.05	6.35
충북오대	89.00	7.50	1.60	0.00	1.90
충북추청	87.30	1.65	0.25	0.00	10.80
충남동진	86.95	5.50	0.65	0.00	0.95
충남추청	85.80	5.50	1.25	0.00	7.45
충남낙동	90.75	3.25	4.00	0.00	2.00
충남일품	86.25	7.85	1.40	0.05	4.45
충남안중	94.55	2.95	0.65	0.00	1.85
충남계화	85.80	6.45	6.45	0.30	1.00
전북동진	83.80	11.85	3.10	0.05	1.20
전북계화	70.95	16.35	11.05	0.40	1.25
전북영남	80.30	7.85	9.45	0.35	2.05
전북팔공	93.15	4.10	1.85	0.10	0.80
전남계화	89.65	5.45	1.95	0.05	2.90
전남금성	91.65	1.10	3.70	0.05	3.50
전남화성	90.55	1.20	3.95	0.10	4.20
호남금남	85.25	6.03	1.70	0.10	6.65
호남운장	90.60	2.05	1.15	0.00	6.20
경북화성	80.85	6.15	10.85	0.10	2.05
경북오대	74.40	14.60	8.05	0.00	2.95
경북동진	80.70	7.50	10.30	0.25	1.25
경북일품	85.25	7.25	1.85	0.05	5.60
경남화성	87.25	3.40	3.75	0.00	5.60
경남화영	87.45	4.50	2.05	0.05	5.45
경남동진	88.20	5.20	2.85	0.00	3.75
경남담진	94.90	3.40	0.20	0.00	1.50
경남영남	90.35	2.35	1.30	0.05	5.95
제주영남	94.70	1.80	0.65	0.00	2.85
제주섬진	93.80	2.95	0.20	0.05	3.00
제주추청	91.55	0.70	0.25	0.00	7.50

Table 2-33 산지별 품종별 95년산 백미시료의 광학적 품질관정치

Variety	Normal	immature	Damaged	Chalky	Discolored	Cracked
경기주안	54.53	20.17	16.97	1.17	0.90	6.27
경기대안	67.20	9.00	14.00	0.95	0.45	8.40
경기화성	74.20	11.85	4.50	1.95	0.10	7.40
경기봉광	72.55	7.90	8.30	0.95	0.40	9.90
경기추청	73.50	6.60	7.85	1.55	0.45	10.05
경기일품	52.30	16.50	16.05	2.80	0.60	11.75
강원오대	39.65	29.00	6.25	6.75	0.40	17.95
강원진피	57.65	21.45	7.40	4.90	0.20	8.40
강원화성	62.40	9.85	17.05	3.45	0.40	6.85
강원봉광	72.80	5.75	5.15	1.15	0.10	15.05
충북일품	62.70	12.25	10.20	4.40	0.65	9.80
충북화성	74.85	10.00	4.45	3.25	0.45	7.00
충북오대	46.65	14.85	16.40	5.05	0.55	16.50
충북추청	75.40	8.35	5.45	4.55	0.15	6.10
충남동진	61.00	11.80	10.75	5.55	0.60	10.30
충남추청	60.55	12.15	14.85	1.65	0.75	10.05
충남나동	41.85	4.45	27.75	3.20	1.15	21.60
충남일품	53.50	17.30	14.45	1.85	0.45	12.45
충남중중	69.90	12.50	4.55	4.20	0.35	8.50
충남계화	54.25	11.45	9.75	4.35	2.70	17.00
충남동진	62.70	18.15	8.85	5.35	0.75	4.20
충남계화	42.70	26.10	8.20	4.95	0.80	17.25
충남영남	68.20	12.75	7.90	7.45	0.50	3.20
충남팔공	45.75	12.50	8.05	2.20	0.85	30.65
충남계화	55.40	9.75	9.35	1.60	1.20	22.70
충남만금	80.45	3.30	12.10	0.20	1.30	2.65
충남화성	64.65	6.65	11.50	0.40	1.45	15.35
충남금남	67.35	9.25	14.10	1.80	1.40	6.20
충남운장	69.90	8.05	9.05	0.65	0.80	11.55
경북화성	56.55	11.45	18.25	5.05	2.30	6.40
경북오대	38.95	23.40	11.80	9.15	0.45	16.25
경북동진	59.15	11.75	9.95	6.90	1.00	11.65
경북일품	54.80	13.10	17.65	3.40	0.90	10.15
경남화성	65.25	8.85	12.80	1.30	1.30	10.50
경남화성	57.85	9.75	12.90	1.40	0.85	17.75
경남동진	64.10	8.35	7.20	4.65	0.65	15.05
경남탐진	68.80	6.80	5.80	3.65	0.35	14.50
경남영남	72.55	8.30	5.40	5.80	0.50	7.45
제주영남	72.90	10.20	11.25	2.40	1.05	3.20
제주섬진	34.05	16.55	6.30	1.05	0.15	41.90
제주추청	50.85	5.65	11.15	0.40	0.30	31.65

2. 관능적 특성 분석

농촌진흥청을 통하여 수집한 95년산의 산지별 품종별 41점의 시료 중 시료량이 부족한 제주도산 2개 종을 제외한 39개 시료에 대하여 밥의 관능적 품질평가를 실시하였다. 관능검사용 밥시료의 색도와 수분함량은 Table 2-34, Texturometer에 의한 조직감 측정결과는 Table 2-35에 있다. 39점 쌀 시료의 밥에 대한 향, 외관, 조직감, 맛 및 전반적인 품질평가 결과는 각각 Table 2-36, 2-37, 2-38, 2-39, 2-40에 있다.

전북 동진 현미를 6% - 14%(중량비) 까지 1% 간격으로 도정하여 도정도에 따른 관능적 식미평가를 실시하였다. 도정도가 90% 이하일 때 종합적기호도가 높게 나타났다(Table 2-41). 본연구실에서는 쉐미 함량 및 동할미 함량에 따른 관능평가를 실시하여 쉐미 및 동할미 함량에 따른 식미차를 구명한 바있으며, 쌀의 식미는 품종과 산지 뿐 아니라 수확후 관리 기술의 여하에 따라 발생할 수 있는 쉐미, 동할미 및 도정도의 특성이 품질에 영향이 크게 미치는 것을 알 수 있다. 특히 우리나라의 농업 여건에서는 수확후 관리 기술에 의한 쌀의 품질 유지가 중요한 요소로서 작용하는 것으로 사료된다.

Table 2-34 95년산 백미를 사용한 밥의 색도(L, a, b값) 및 수분함량

산지 및 품종	색 도			수분함량 (%)
	L	a	b	
1 경기주안	75.353	-2.596	2.889	61.504
2 경기대안	73.989	-1.652	2.023	61.538
3 경기화성	75.357	-1.773	1.793	61.218
4 경기봉광	75.338	-2.434	1.906	61.253
5 경기추청	74.994	-1.887	2.434	61.041
6 경기일품	72.601	-2.606	2.478	60.910
7 강원오대	72.331	-2.364	3.050	61.547
8 강원진미	73.572	-2.678	2.366	61.430
9 강원화성	73.625	-2.621	1.321	61.509
10 강원봉광	72.882	-2.513	1.526	61.187
11 충북일품	71.854	-2.451	1.240	61.130
12 충북화성	71.711	-1.957	1.368	60.076
13 충북오대	72.168	-2.799	2.106	61.464
14 충북추청	73.818	-2.670	1.621	61.518
15 충남동진	75.323	-2.592	2.266	62.272
16 충남추청	74.697	-2.601	2.084	61.287
17 충남낙동	73.028	-2.528	2.898	61.752
18 충남일품	74.774	-1.739	1.993	61.534
19 충남안중	75.119	-1.772	3.077	61.017
20 충남계화	73.020	-2.399	2.706	60.880
21 전북동진	74.946	-1.752	3.616	61.147
22 전북계화	75.436	-2.526	3.464	61.009
23 전북영남	74.607	-2.137	3.480	60.722
24 전북팔공	73.526	-2.159	2.171	61.456
25 전남계화	75.610	-1.637	2.163	60.862
26 전남만금	74.356	-1.668	1.867	61.357
27 전남화성	75.257	-2.319	2.130	60.827
28 호남금남	73.228	-2.354	1.889	61.296
29 호남운장	73.290	-2.577	2.371	61.021
30 경북화성	70.912	-2.419	2.708	60.979
31 경북오대	71.859	-2.579	4.120	61.002
32 경북동진	73.199	-2.720	2.537	61.133
33 경북일품	72.588	-2.391	1.576	61.348
34 경남화성	74.018	-2.682	2.331	61.060
35 경남화영	74.239	-2.301	3.184	60.741
36 경남동진	73.826	-2.659	2.992	61.060
37 경남탐진	74.144	-2.667	1.702	60.956
38 경남영남	75.589	-2.852	2.384	60.612
39 제주영남	75.618	-2.478	1.892	60.726

Table 2-35 95년도산 산지별 품종별 밥의 조직감 측정치

산지품종	Hard.	Adhe.	Spring	Cohe	Gum.	Chew.	Resi.
경기주안	5051	-349.0	0.475	0.198	995	477.9	0.119
경기도대안	5128	-325.3	0.441	0.208	1067	473.1	0.123
경기화성	5442	-206.1	0.454	0.204	1110	505.0	0.128
경기기흥	5533	-216.8	0.425	0.187	1032	458.3	0.126
경기광명	5533	-216.8	0.425	0.187	1032	458.3	0.126
경기청주	5262	-218.2	0.396	0.205	1076	427.3	0.132
경기일품	5213	-289.4	0.509	0.197	1028	519.8	0.125
경강원오대	5249	-458.0	0.549	0.211	1108	606.4	0.118
경강진미	5272	-271.6	0.455	0.198	1044	474.1	0.126
경강원화성	5449	-241.4	0.475	0.221	1205	574.3	0.135
경강원봉광	5392	-276.0	0.469	0.203	1100	516.7	0.134
충북일품	4769	-344.8	0.484	0.216	1027	500.3	0.125
충북화성	5429	-418.0	0.495	0.221	1198	596.0	0.128
충북오대	4920	-298.3	0.459	0.202	998	460.6	0.122
충북추대	5301	-416.9	0.499	0.218	1156	578.8	0.126
충남동진	6125	-310.9	0.482	0.217	1232	591.6	0.128
충남추대	5287	-366.3	0.531	0.210	1118	603.7	0.122
충남나동	6068	-271.5	0.488	0.215	1228	603.3	0.126
충남일품	5025	-321.8	0.477	0.202	1016	487.5	0.121
충남안중	6087	-276.3	0.492	0.210	1277	630.5	0.136
충남계화	5693	-335.2	0.480	0.208	1182	567.9	0.125
전북동진	5525	-345.1	0.511	0.202	1106	557.3	0.126
전북계화	5540	-292.8	0.433	0.201	1118	484.8	0.123
전북영남	5680	-351.8	0.501	0.197	1122	560.1	0.124
전북팔공	6041	-368.4	0.523	0.196	1183	635.3	0.122
전남계화	5341	-260.5	0.470	0.191	1020	484.2	0.122
전남만금	5366	-193.6	0.471	0.186	1001	472.3	0.124
전남화성	5574	-326.5	0.496	0.202	1128	557.8	0.126
호남금남	6653	-280.0	0.482	0.207	1372	665.6	0.140
호남운장	5090	-405.4	0.501	0.213	1078	542.4	0.127
경북화성	5743	-454.3	0.516	0.225	1292	672.1	0.128
경북오대	4950	-523.4	0.533	0.214	1058	565.1	0.117
경북동진	5777	-384.2	0.488	0.207	1198	589.9	0.128
경북일품	5192	-344.0	0.486	0.205	1063	516.4	0.126
경남화성	5826	-480.1	0.539	0.205	1195	641.4	0.117
경남영남	4963	-443.5	0.544	0.220	1080	586.1	0.125
경남동진	5320	-425.4	0.506	0.214	1134	577.1	0.127
경남탐진	5114	-342.8	0.481	0.224	1143	547.2	0.139
경남영남	5404	-429.0	0.513	0.218	1183	607.2	0.126
제주영남	5345	-252.2	0.450	0.203	1083	487.8	0.129

Table 2-36 95년도산 산지 및 품종별 시료의 향에 대한 품질평가

산지	품종	향	품질평가
1	경기	주안	5.49 DEFGHIJ
2	경기	대안	6.10 ABCD
3	경기	화성	4.99 FGHIJKL
4	경기	광명	5.82 ABCDEF
5	경기	청주	5.80 ABCDEF
6	경기	일품	5.60 ABCDEFGH
7	강원	오대	4.28 M
8	강원	진미	5.23 EFGHIJK
9	강원	화성	6.03 ABCDE
10	강원	원일	4.96 GHIJKL
11	충북	양품	6.18 ABC
12	충북	화성	5.71 ABCDEFG
13	충북	대청	6.12 ABCD
14	충북	진천	5.60 ABCDEFGHI
15	충남	동진	5.36 DEFGHIJ
16	충남	추동	5.51 BCDEFGHI
17	충남	낙동	4.55 KLM
18	충남	일품	5.57 ABCDEFGHI
19	충남	중화	6.05 ABCD
20	충남	화진	3.82 N
21	충북	계동	5.69 ABCDEFG
22	충북	화남	4.67 JKLM
23	충북	영남	4.86 HIJKLM
24	충북	팔공	5.52 BCDEFGHI
25	충남	금화	6.03 ABCD
26	충남	금성	4.98 EFGHIJK
27	충남	화성	5.39 CDEFGHIJ
28	충남	금남	5.44 CDEFGHIJ
29	충남	운장	6.13 ABCD
30	경북	화성	5.11 FGHIJKL
31	경북	대진	4.99 GHIJKL
32	경북	동오	5.42 CDEFGHIJ
33	경북	일품	6.27 AB
34	경남	화성	4.79 IJKLM
35	경남	영진	4.41 LM
36	경남	진진	5.75 ABCDEFG
37	경남	담영	6.34 A
38	경남	영영	5.74 ABCDEFG
39	제주	영남	5.51 CDEFGHIJ

Table 2-37 95년도산 산지 및 품종별 39점 시료의 외관에 대한 품질평가

	산지	품종	외관	품질평가
1	경기	주안	4.45	LMN
2	경기	대안	6.14	ABCDE
3	경기	화성	5.42	EFGHI
4	경기	봉광	5.58	DEF
5	경기	추청	6.09	ABCDE
6	경기	일품	5.88	ABCDEF
7	강원	오대	4.29	LMN
8	강원	진미	5.16	FGHIJK
9	강원	화성	5.25	FGHIJ
10	강원	봉광	5.87	ABCDEF
11	충북	일품	6.38	ABC
12	충북	화성	5.75	BCDEFG
13	충북	오대	5.61	CDEFG
14	충북	추청	6.38	A
15	충남	동진	4.74	HIJKLM
16	충남	추청	5.53	DEFG
17	충남	낙동	4.10	MN
18	충남	일품	6.45	AB
19	충남	안중	5.21	FGHIJ
20	충남	계화	3.31	O
21	전북	동진	5.05	GHIJKL
22	전북	계화	3.24	O
23	전북	영남	3.13	O
24	전북	팔공	4.67	IJKLMN
25	전남	계화	5.45	EFGH
26	전남	만금	5.25	EFGHI
27	전남	화성	4.73	HIJKLM
28	호남	금남	4.35	LMN
29	호남	운장	6.17	ABCDE
30	경북	화성	3.48	O
31	경북	오대	4.01	LMN
32	경북	동진	3.95	N
33	경북	일품	6.38	ABC
34	경남	화성	4.61	JKLMN
35	경남	화영	5.06	GHIJKL
36	경남	동진	4.55	KLMN
37	경남	탐진	6.51	AB
38	경남	영남	5.92	ABCDEF
39	제주	영남	5.86	ABCD

Table 2-38 95년도산 산지 및 품종별 39점 시료의 조직감에 대한 품질평가

	산지	품종	조직감	품질평가
1	경기	주안	4.72	FGHIJ
2	경기	대안	6.07	AB
3	경기	화성	5.24	CDEFGH
4	경기	봉광	5.20	CDEFGH
5	경기	추청	5.56	ABCDE
6	경기	일품	5.59	ABCDE
7	강원	오대	4.47	HIJK
8	강원	진미	4.80	FGHIJ
9	강원	화성	4.64	GHIJK
10	강원	봉광	5.47	ABCDEF
11	충북	일품	6.14	A
12	충북	화성	5.39	BCDEFG
13	충북	오대	5.75	ABC
14	충북	추청	5.83	ABC
15	충남	동진	4.53	HIJK
16	충남	추청	5.18	CDEFGHI
17	충남	낙동	4.19	JKL
18	충남	일품	6.12	AB
19	충남	안중	4.93	EFGHIJ
20	충남	계화	3.38	MN
21	진북	동진	4.62	GHIJK
22	전북	계화	3.63	LMN
23	전북	영남	3.25	N
24	전북	팔공	3.96	KLM
25	전남	계화	5.20	CDEFGH
26	전남	만금	4.92	DEFGHIJ
27	전남	화성	4.67	GHIJK
28	호남	금남	3.70	LMN
29	호남	운장	5.70	ABCD
30	경북	화성	3.75	LMN
31	경북	오대	4.18	JKL
32	경북	동진	4.46	HIJK
33	경북	일품	6.18	A
34	경남	화성	4.40	IJK
35	경남	화영	5.00	DEFGHI
36	경남	동진	4.81	FGHIJ
37	경남	탐진	6.03	AB
38	경남	영남	5.66	ABCDE
39	제주	영남	5.17	CDEFGHI

Table 2-39 95년도산 산지 및 품종별 39점 시료의 맛에 대한 품질평가

	산지	품종	맛	품질평가
1	경기	주안	4.75	FGHIJK
2	경기	대안	6.32	A
3	경기	화성	5.30	DEFGHI
4	경기	봉광	5.38	CDEFG
5	경기	추청	5.77	ABCDE
6	경기	일품	5.74	ABCD
7	강원	오대	4.52	HIJKL
8	강원	진미	4.81	FGHIJK
9	강원	화성	5.19	DEFGHI
10	강원	봉광	5.55	BCDEF
11	충북	일품	6.27	AB
12	충북	화성	5.89	ABCD
13	충북	오대	5.79	ABCD
14	충북	추청	6.21	AB
15	충남	동진	4.53	IJKL
16	충남	추청	4.42	CDEFGH
17	충남	낙동	4.27	JKLM
18	충남	일품	6.07	ABC
19	충남	중계	5.32	CDEFGHI
20	충남	화계	3.13	N
21	전북	동진	4.78	FGHIJK
22	전북	계화	3.65	M
23	전북	영남	3.45	M
24	전북	팔공	4.18	JKLM
25	전남	계화	5.34	CDEFGH
26	전남	금만	4.90	EFGHIJ
27	전남	화성	4.80	FGHIJ
28	호남	금남	4.03	KLM
29	호남	운장	5.92	ABCD
30	경북	화성	3.93	LM
31	경북	오대	4.25	JKLM
32	경북	동진	4.64	GHIJK
33	경북	일품	6.46	A
34	경남	화성	4.54	HIJKL
35	경남	화영	4.71	GHIJK
36	경남	동진	5.27	DEFGHI
37	경남	탐진	6.45	A
38	경남	영남	5.99	ABCD
39	제주	영남	5.32	CDEFGHI

Table 2-40 95년도산 산지 및 품종별 39점 시료의 전반적인 품질평가

산지	품종	전반적인 품질평가
1	경기	주안 4.61 HIJKLM
2	경기	대안 6.17 AB
3	경기	화성 5.12 EFGHIJ
4	경기	봉광 5.40 CDEFG
5	경기	추청 5.72 ABCD
6	경기	일품 5.63 ABCDE
7	강원	오대 4.37 JKLMN
8	강원	진미 4.90 FGHIJK
9	강원	화성 5.00 EFGHIJ
10	강원	봉광 5.47 CDEF
11	충북	일품 6.26 AB
12	충북	화성 5.60 BCDE
13	충북	오대 5.75 ABCD
14	충북	추청 6.02 ABC
15	충남	동진 4.60 IJKLM
16	충남	추청 5.29 DEFGH
17	충남	낙동 4.08 LMNO
18	충남	일품 6.13 AB
19	충남	안중 5.20 DEFGHI
20	충남	계화 3.09 P
21	전북	동진 4.76 GHIJKL
22	전북	계화 3.52 OP
23	전북	영남 3.26 P
24	전북	팔공 4.25 KLMN
25	전남	계화 5.32 DEFG
26	전남	만금 4.79 FGHIJK
27	전남	화성 4.76 FGHIJKL
28	호남	금남 4.01 MNO
29	호남	운장 5.83 ABCD
30	경북	화성 3.84 NO
31	경북	오대 4.13 LMN
32	경북	동진 4.46 IJKLM
33	경북	일품 6.33 A
34	경남	화성 4.41 JKLMN
35	경남	화영 4.58 IJKLM
36	경남	동진 4.97 FGHIJK
37	경남	탐진 6.30 A
38	경남	영남 5.86 ABCD
39	제주	영남 5.35 DEFG

Table 2-41 전북 동진쌀의 도정도별 관능적 특성

특성	도정도								
	86	87	88	89	90	91	92	93	94
향***	5.96 ^a	6.40 ^a	6.32 ^a	5.85 ^a	6.34 ^a	5.85 ^a	5.70 ^a	4.57 ^b	4.24 ^b
외관	6.69 ^a	6.59 ^a	6.71 ^a	6.64 ^a	6.13 ^{ab}	5.70 ^b	5.03 ^c	3.10 ^d	2.48 ^e
조직감	6.55 ^a	6.59 ^a	6.21 ^{ab}	5.89 ^{ab}	5.93 ^{ab}	5.33 ^{bc}	4.85 ^c	2.96 ^d	2.68 ^d
맛	6.27 ^{ab}	6.63 ^a	6.17 ^{ab}	6.14 ^{ab}	6.20 ^{ab}	5.55 ^{bc}	5.22 ^c	3.39 ^d	3.00 ^d
종합적인 기호도	6.48 ^a	6.66 ^a	6.35 ^a	6.07 ^{ab}	6.06 ^{ab}	5.48 ^{bc}	5.07 ^b	3.10 ^d	2.86 ^d

3. 비파괴 분석장비를 이용한 품질분석조사

가. 근적외선 분광분석법을 이용한 식미 평가

근적외선 분광분석기를 이용하여 관능평가에 사용된 쌀 및 밥의 반사 스펙트럼을 측정된 결과 쌀 및 밥에서 높은 상관관계를 보였으며(Table 2-42, 2-43, Fig 2-2, 2-3), 특히 쌀을 측정할 때 외관, 맛, 종합적 기호도에서 관능적 평가와 90%이상의 설명율을 보여 근적외선 분광분석에 의한 한국산 쌀의 식미평가가 가능함을 보여주었다.

Table 2-42 밥의 관능검사치와 밥의 근적외선 분광분석치(Partial Least Squares)와의 상관관계

Sensory Attribute	Calibration		Validation	
	SEC	R ²	SEP	R ²
Flavor	0.339	0.668	0.397	0.547
Appearance	0.423	0.828	0.487	0.771
Texture	0.405	0.764	0.446	0.713
Taste	0.427	0.769	0.475	0.714
Overall Desirability	0.435	0.766	0.485	0.709

Table 2-43 밥의 관능검사치와 쌀의 근적외선 분광분석치(Partial Least Squares)와의 상관관계

Sensory Attribute	Calibration		Validation	
	SEC	R ²	SEP	R ²
Flavor	0.316	0.497	0.375	0.320
Appearance	0.304	0.903	0.427	0.812
Texture	0.351	0.784	0.402	0.716
Taste	0.187	0.951	0.428	0.744
Overall Desirability	0.200	0.943	0.450	0.715

SEC : Standard error of calibration
R : Multiple correlation coefficient
SEP : Standard error of prediction

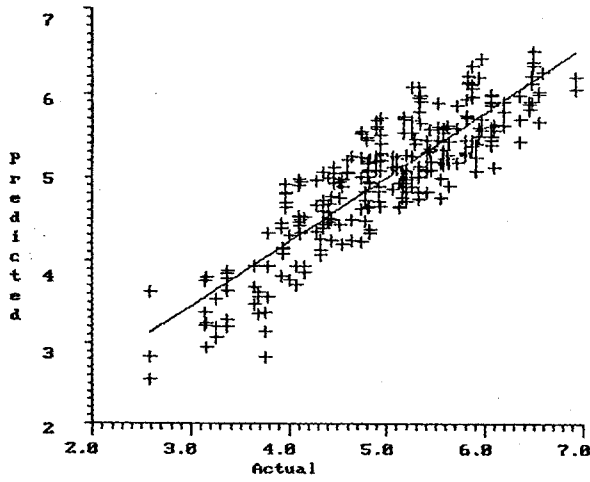


Fig. 2-2 밥의 근적외선 분광분석치를 이용한 종합적기호도의 추정

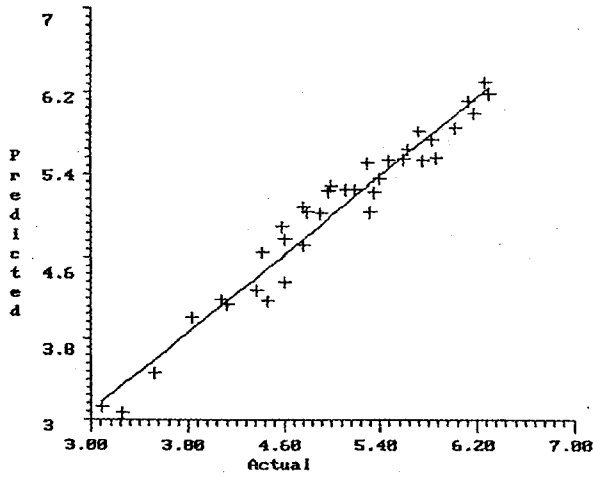


Fig. 2-3 쌀의 근적외선 분광분석치를 이용한 종합적기호도의 추정

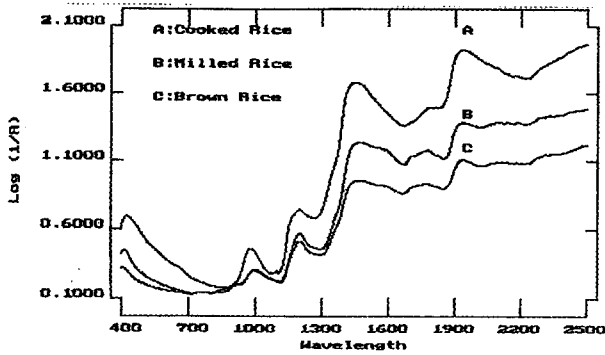


Fig. 2-4 현미, 백미 및 밥의 근적외선 분광스펙트럼

나. 색차 색도계를 이용한 품위분석

국립 농산물검사소에서 육안으로 분리한 쌀의 완전립, 분상질립, 착색립, 피해립 및 찹쌀을 색차색도계를 이용하여 낱알별로 10회 반복 측정하였다(Table 2-44). L 값에서 착색립과 피해립이, a값은 완전립, 분상질립 및 찹쌀, b 값에서는 분상질립과 찹쌀을 구분하지 못하였다. 또한 피해립중 열손립에 의한 피해정도별로 측정결과 L값에서 강도별로 구분할 수있었다 (Table 2-45).

Table 2-44 국내 농산물검사소 기준에 의해 분리된 완전립, 분상질립, 착색립, 피해립, 찹쌀의 색도(L, a, b)

특성 ¹	완전립	분상질립	착색립	피해립	찹쌀
L ^{***}	45.8 ^c	51.5 ^b	38.8 ^d	40.5 ^d	53.6 ^a
a ^{***}	-0.29 ^c	-0.38 ^c	1.61 ^a	0.40 ^b	-0.52 ^c
b ^{***}	2.69 ^d	3.91 ^c	8.23 ^a	4.94 ^b	3.77 ^c

*** p=0.001 수준에서 각 실험군간에 유의적인 차이가 있음

¹ 각 색도 특성은 10번 반복 측정의 평균값; 각 특성에서 같은 alphabet 을 함유한 실험군은 같은 수준임; 위의 분석은 같은 열에 있는 실험군 을 비교하기 위함

Table 2-45 농산물 검사소에서 사용하는 열손립 착색강도의 표준 등급(매우강함, 강함, 약간 강함, 강함)에 따른 색도 (L, a, b)와 현미 완전립의 색도와의 비교

열손립의 착색강도					
특성 ¹	매우강함	강함	약간강함	약함	현미완전립
L ^{***}	36.1 ^e	38.3 ^d	40.7 ^c	43.8 ^b	47.4 ^a
a ^{***}	4.23 ^a	3.07 ^b	1.75 ^c	-0.02 ^d	0.09 ^d
b ^{***}	12.21 ^b	14.00 ^a	13.89 ^a	11.19 ^b	9.07 ^c

*** p=0.001 수준에서 각 실험군간에 유의적인 차이가 있음

¹ 각 색도 특성은 10번 반복 측정의 평균값; 각 특성에서 같은 alphabet을 함유한 실험군은 같은 수준임; 위의 분석은 같은 열에 있는 실험군을 비교하기 위함

다. 광학식 품질판정기에 의한 품위 분석

시중에서 유통되는 50종의 쌀을 수집하여 기존의 육안에 의한 품위 분석과 광학식 품질판정기를 사용하여 얻어진 분석치와 비교하였다(Table 2-46). 육안분석에 비하여 광학식 품질측정기를 사용하였을 때 피해립, 찌라기 및 분상질립에서 2.4%, 4.0%, 2.9% 각각 높게 나타났다. 광학식에 의한 품위분석은 아직은 품질 측정 장비로는 미비한 것으로 나타났다.

Table 2-46-1 육안계측과 광학식품질판정기에 의한 품위분석 비교

(중량%)

연번	품질판정기				육안 계측				차			
	피해립	싸라기	분상질립	착색립	피해립	싸라기	분상질립	착색립	피해립	싸라기	분상질립	착색립
1	3.1	9.9	9.2	0.1	0.3	7.8	4.8	0.0	2.8	2.1	4.4	0.1
2	1.5	13.1	7.3	0.0	0.2	10.8	2.3	0.0	1.3	2.3	5.0	0
3	1.1	1.30	3.0	0.0	0.2	4.1	1.7	0.0	0.9	8.9	1.3	0
4	2.6	10.9	8.4	0.1	0.5	5.9	3.2	0.0	2.1	5.0	5.2	0.1
5	1.5	8.6	5.1	0.0	0.2	5.2	1.7	0.0	1.3	3.4	3.4	0
6	1.6	12.0	6.0	0.0	0.2	7.2	1.4	0.0	1.4	4.8	4.6	0
7	3.5	12.3	7.0	0.1	0.2	8.2	1.6	0.0	3.3	4.1	5.4	0.1
8	1.9	11.4	9.0	0.0	0.1	6.6	1.9	0.0	1.8	4.8	7.1	0
9	0.8	9.6	5.0	0.0	0.1	4.7	2.0	0.0	0.7	4.9	3.0	0
10	4.2	10.6	7.3	0.1	0.5	7.3	2.4	0.0	3.7	3.3	4.9	0.1
11	2.6	10.2	7.8	0.0	0.4	6.6	2.3	0.0	2.2	3.6	5.5	0
12	1.8	9.8	5.5	0.0	0.2	7.4	2.2	0.0	1.6	2.4	3.3	0
13	1.2	11.4	4.0	0.0	0.1	7.4	1.6	0.0	1.1	4.0	2.4	0
14	1.4	13.4	8.3	0.0	0.7	10.1	4.8	0.1	0.7	3.3	3.5	0
15	1.8	13.9	4.9	0.0	0.2	9.3	1.7	0.0	1.6	4.6	3.2	0
16	2.7	9.0	3.7	0.0	0.2	5.3	2.0	0.0	2.5	3.7	1.7	0
17	1.1	11.3	5.7	0.0	0.2	5.8	2.4	0.0	0.9	5.5	3.3	0
18	1.6	8.6	4.4	0.0	0.4	4.4	3.9	0.0	1.2	4.2	0.5	0
19	3.2	17.2	6.6	0.0	0.2	12.5	3.7	0.0	3.0	4.7	2.9	0
20	1.9	13.6	7.6	0.0	0.3	9.3	5.9	0.0	1.6	4.3	1.7	0
21	3.9	9.7	5.2	0.1	0.2	7.5	3.7	0.0	3.7	2.2	1.5	0.1
22	1.5	14.8	5.5	0.1	0.2	8.5	2.5	0.0	1.3	6.3	3.0	0.1
23	2.0	9.2	4.4	0.0	0.1	6.0	2.5	0.0	1.9	3.2	1.9	0
24	2.2	12.1	5.4	0.0	0.1	6.3	2.3	0.0	2.1	5.8	3.1	0
25	2.4	9.1	5.4	0.0	0.4	2.9	3.8	0.0	2.0	6.2	1.6	0
26	1.8	11.9	4.8	0.0	0.2	6.5	4.0	0.0	1.6	5.4	0.8	0
27	1.4	15.0	8.1	0.0	0.1	11.0	4.0	0.0	1.3	4.0	4.1	0
28	2.3	8.4	4.7	0.0	0.2	5.5	2.3	0.0	2.1	2.9	2.4	0
29	2.0	6.6	5.9	0.1	0.2	4.2	2.9	0.0	1.8	2.4	3.0	0.1
30	3.6	10.8	7.9	0.1	0.4	8.0	4.2	0.0	3.2	2.8	3.7	0.1
31	2.1	11.5	7.8	0.0	0.4	9.1	3.6	0.0	1.7	2.4	4.2	0
32	2.2	14.0	9.6	0.0	0.2	11.2	5.9	0.0	2.0	2.8	3.7	0
33	2.2	10.0	6.9	0.1	0.2	7.0	3.3	0.0	2.0	3.0	3.6	0.1
34	1.2	12.6	5.0	0.0	0.4	9.6	2.2	0.0	0.8	3.0	2.8	0
35	1.8	11.5	1.8	0.0	0.1	4.8	0.6	0.0	1.7	6.7	1.2	0
36	1.7	8.6	8.4	0.1	0.2	5.7	4.5	0.0	1.5	2.9	3.9	0.1
37	1.0	14.8	3.4	0.1	0.2	10.5	2.3	0.0	0.8	4.3	1.1	0.1
38	1.9	5.0	3.9	0.0	0.3	2.8	2.4	0.0	1.6	2.2	1.5	0
39	2.6	16.8	6.7	0.0	0.3	13.5	3.0	0.0	2.3	3.3	3.7	0
40	3.5	7.7	5.5	0.1	0.4	4.8	3.0	0.1	3.1	2.9	2.5	0.1

Table 2-46-2 육안계측과 광학식품질판정기에 의한 품위분석 비교

(중량%)

연번	품질판정기				육안 계측				차			
	피해립	싸라기	분상질립	착색립	피해립	싸라기	분상질립	착색립	피해립	싸라기	분상질립	착색립
41	4.3	9.0	5.0	0.0	0.3	5.6	2.2	0.0	4.0	3.4	2.8	0
42	3.7	12.5	3.1	0.0	0.2	8.0	1.0	0.0	3.5	4.5	2.1	0
43	3.1	11.8	1.3	0.0	0.4	3.0	0.8	0.0	2.7	8.8	0.5	0
44	5.3	12.6	8.6	0.1	0.4	9.6	5.9	0.0	4.9	3.0	2.7	0.1
45	4.7	10.5	5.9	0.2	0.3	5.7	2.7	0.0	4.4	4.8	3.2	0.2
46	2.9	6.6	3.1	0.1	0.4	3.6	1.2	0.0	2.5	3.0	1.9	0.1
47	3.5	8.2	1.7	0.0	0.2	5.4	1.6	0.0	3.3	2.8	0.1	0
48	8.6	7.6	4.4	0.1	0.4	5.4	4.4	0.0	8.2	2.2	0	0.1
49	8.1	8.8	5.2	0.0	0.5	5.9	4.4	0.0	7.6	2.9	0.8	0
50	4.5	11.4	3.3	0.0	0.2	6.3	1.6	0.0	4.3	5.1	1.7	0
평균	2.7	11.0	5.7	0.0	0.3	7.0	2.8	0.0	2.4	4.0	2.9	0

라. 화상분석에 의한 품위분석

국내에서도 최근에 화상을 이용한 품질 분석기술들이 많이 연구되고 있으며, 곡립에서 화상을 이용한 품위 분석 등을 위한 제품들이 유럽에서 몇가지 소개되고 있다. 본연구실에서는 Grain Check (Tecator Co.)을 이용한 쌀에서의 품위 분석에 대한 기기 성능 평가를 실시중에 있으며 우리 쌀에 적합한 품질 측정기 개발에 대한 기술 검토를 수행하고 있다. 쇄미에 있어서 동일시료를 육안 및 Grain Check에 의한 25회의 분석결과 (Fig. 2-5)는 Grain Check에 의한 분석이 보다 재현성이 있음을 보여주고 있다.

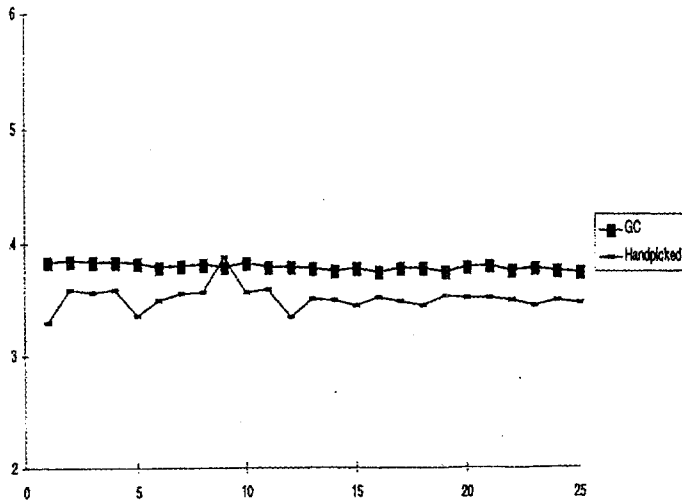


Fig. 2-5 쌀의 쉼미분리에 있어서 Grain Check과 육안 판별법과의 비교

마. 근적외선 분광분석법(NIR)에 의한 품위분석

근적외선 분광분석기를 이용한 낱알의 품위 비교시 400 -700nm의 가시광선 영역에서 양질립과 미숙립, 심복백립등에서 차이가 있음을 알 수 있었다(Fig. 2-6). 근적외선 분광분석기는 근적외선 영역(700 -2500nm)에서 성분이나 이화학적 특성에 관한 분석들이 가능하므로 쌀의 품질 측정시 다양한 정보를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

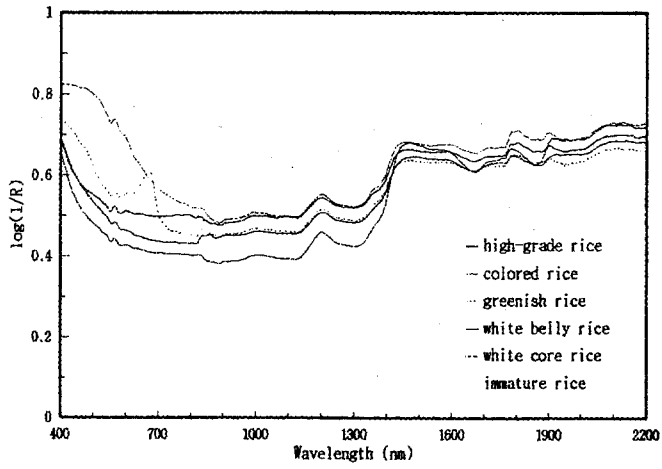


Fig. 2-6 근적외선 분광분석법에 의한 현미의 품위 분석

제 4 절 쌀의 기준에 의한 품질비교

쌀의 품질비교를 위해 농업진흥청을 통하여 9개도의 1군 품종을 포함하여 주요품종의 원원종 41점(품종28)을 수집하였으며, 이외에도 한국의 품질인증쌀 9점, 일본산 중단립종 11점, 호주산 중단립종 6점, 미국산 중단립종 30점, 미국산 장립종 10점, 대만산 중단립종 1점, 이집트산 중단립종 1점, 이탈리아산 장립종 2점, 태국산 장립종 2점 및 중국산 중단립종 4점을 수집하였다.

1. 각국의 유통쌀의 품위 비교

한국, 일본 및 미국의 대표적인 산지와 품종의 쌀을 구입하여 품위를 비교한 결과 (Table 2-47) 우리나라 쌀은 껍데립과 이물에서는 별 차이가 없었으나 싸라기, 분상질립 및 찹쌀이 많은 것으로 나타났다. 특히 싸라기는 미국 및 일본쌀에 비하여 4-5%가 많았으며, 이를 제거할 때는 보다 높은 품질의 쌀을 얻을 수 있으며 부산물로 생기는 싸라기를 활용하는 기술이 필요할 것으로 보인다.

Table 2-47 한국, 일본 및 미국산 유통쌀의 품위 비교 (중량비)

산지	피해립	싸라기	분상질립	찹쌀	잔싸라기	이물
한국	0.1	5.5	2.5	0.3	0.19	0.00
	0.2	5.0	2.7	0.1	0.30	0.00
	0.1	8.8	1.1	0.1	0.50	0.01
일본	0.1	1.2	0.3	·	0.07	0.01
	0.1	3.2	0.4	0.1	0.10	0.01
	0.1	2.0	0.2	·	0.05	0.00
미국	0.0	3.0	0.1	·	0.02	0.00
	0.1	2.3	1.9	·	0.06	0.01
	0.0	1.9	0.9	·	0.01	0.00

2. 유통쌀의 관능적 특성 비교

한국과 미국의 유통중인 쌀을 각각 3개 품종을 선택하여 관능적 특성 평가(Table 2-48)를 실시하였다. 한국은 추청, 일품 및 동진을, 미국은 캘리포니아 지역에서 생산된 만생종 중립종쌀을 선택하여 비교한 결과 한국산 쌀이 미국산 쌀에 비하여 다소 높게 나타났다.

Table 2-48 미국산쌀과 한국산쌀의 관능적 특성 비교

특 성	미국산			한국산		
	한미	국보	타미끼	경기추청	충북일품	전북동진
향**	5.29 ^{ab}	5.12 ^b	6.21 ^a	6.71 ^a	5.96 ^{ab}	6.00 ^{ab}
외관***	5.18 ^b	6.08 ^a	6.78 ^a	6.56 ^a	6.18 ^a	6.12 ^a
조직감**	4.63 ^b	4.95 ^{ab}	6.04 ^a	6.17 ^a	5.25 ^{ab}	5.79 ^{ab}
맛	5.00	5.41	6.13	6.08	5.74	5.95
종합적인 기호도***	4.77 ^c	5.08 ^{bc}	6.26 ^a	6.08 ^a	5.70 ^{ab}	5.87 ^{ab}

^{abc} 같은 row내 같은 알파벳을 갖는 시료는 차이가 없음

** , *** p=0.05, p=0.001 수준에서 유의적인 차이가 있음

제 3 장 유통중 백미의 품질 변화

제 1 절 백미의 품질 측정방법

저장중 쌀의 화학적 변화에는 효소작용, 산화 및 호흡 등이 작용하며 주로 탄수화물, 단백질, 지질의 변화가 복합적으로 반응하여 일어난다. 주성분인 전분은 분해와 함께 환원당이 증가하며 micell binding 강도의 증가와 유리 지방산과의 복합체 형성으로 취반시 팽윤을 억제하여 밥을 경화시키며, 단백질의 SH기도 산화되어 찰기를 낮아진다. 아미노산과 당이 반응하여 고미취를 생성하며, 지질은 가수분해되어 지방산도가 증가하며, 산화생성물에 의하여 조직감의 경화와 고미취의 원인이 됨. 이외에도 색의 변화, 효소 활성 저하, 각종 무기 성분의 변화 등이 발생한다.

쌀은 저장중 품질이 열화되지만, 그 정도는 품종의 휴면성, 쌀의 초기수분함량, 저장조건 (온도, 환경습도, 기체조건), 포장형태(有孔袋, 樹脂袋, 積層필름), 기타 조건에 의하여 달라지므로 단순히 저장기간으로 추정하기는 불가능하다. 그러므로 저장중 또는 저장후 쌀품질의 변화를 보이는 명확한 지표가 필요하며, 다음과 같은 방법에 의해 저장중 또는 저장후 쌀품질의 변화를 측정한다.

o 지방산도

쌀을 저장하는 동안 지방은 빠르게 분해된다. 즉 glycerin과 ester가 결합되어 있는 linoleic acid, oleic acid, palmitic acid 등은 리파제에 의하여 가수분해되어 지방산으로 유리된다. 이것을 benzene이나 toluene 등의 유기용매로 추출하고 알콜성 KOH로 중화하고 곡분 100g중 유리지방산의

중화에 필요한 KOH(mg)으로 표시함. 삼곡(澁谷)에 의하면 저장중 지방산도의 상승은 백미저장이 현미저장보다 더 빠르게 진행된다. 대평(大坪)은 지방산도의 측정에 관하여 적정법은 종말점을 육안으로 비교하는 것이므로 결과에 개인차가 생기기 쉽고, 측정감도도 낮은 단점을 갖고 있으므로 이를 해결하기 위하여 유리지방산을 toluene으로 추출하고 cupric salt(銅鹽)로 정량하는 비색정량법을 개발하였다.

o pH에 의한 선도 측정

쌀의 저장기간이 길어지면 물추출산도가 증가하는 것을 이용한 방법으로 현미의 新古판정법으로 알려져 있다. 방법의 유의사항으로는 물의 pH가 다른 경우 반응에 영향을 주기 때문에 필히 순수를 사용하여야 한다. 또한 시료미에는 대조로 각종조건에서 보관한 쌀, 생산년도가 다른 쌀, 특성이 다른 쌀을 동시에 시험하여 비교하여야 한다. 정확도를 기하기 위하여 산성도 지시약에 의한 방법, 구아이야콜에 의한 방법도 동시에 하는 것이 바람직하다. 동일년도의 産에서도 보관상태, 건조, 조제방법, 피해립의 혼합상황, 도정정도, 도정후의 일수, 보관상태 등에 따라 정색이 달라질 수 있다. 시약의 혼합비율에 따라 색의 차이가 있을 수 있는 이 방법은 간편한 장점이 있는 방법이나, 근본적으로 산화의 상태, 신선도의 상태를 판별하는 것이 지 생산년도에 의한 신미, 고미를 판별하는 것은 아니다.

o 효소활성

저장중 쌀의 생명력과 각종 효소활성이 저하되는 것을 이용하는 방법이 있는데, 이중 구아이야콜시험은 현재 우리나라 농산물 검사소의 신고미(新古米) 감정방법으로 채택되어 있다. 구아이야콜이 과산화수소와 혼합하여 산화환원효소(peroxidase) 작용에 의하여 테트라구아이야콜로 되어 적갈색을

내는 것을 이용한 시험이다. 효소활성이 저하되면 쌀입자 및 침적액의 색이 약하게 되고 고미로 되면 발색을 나타내지 않는다. 이 방법은 현미 및 백미에서 시험이 가능하나 주로 현미를 대상으로 하고 있으며, 백미의 경우는 침적액의 발색도로 판정한다.

상기의 품질지표이외에도 catalase활성, 물추출산도, 밥중의 hexanal(고미에서 주로 생긴다), 환원당(amylase에 의한 전분의 분해산물), 수용성질소, 비타민B₁, 호화최고점도 등이 저장중의 품질변화를 보이는 지표로 이용될 수 있다.

제 2 절 품질 지표의 변화 분석

백미의 저장유통중 품질 변화를 분석하기 위하여 저장조건과 저장기간별로 시료를 채취하여 백미 상태에서의 품질인자와 저장중인 백미의 취반 특성의 변화를 측정하였다. 저장중인 백미의 품질인자는 수분 함량, 지방함량, 환원당 및 지방산도로 결정하여 분석하였다. 취반 특성 분석을 위하여 밥팽창을 및 수분 흡수율, 취반액의 요오드 정색도와 고형분 함량을 측정하였으며, 백미의 저장조건은 5℃진공 상태, 5℃, 15℃, 25℃, 35℃ 및 상온 상태 등 6가지로 하였으며, 상온상태는 일반 창고를 기준으로 하였고 시료의 채취 및 분석은 2주 간격으로 실시하였다.

1. 수분함량

백미의 수분함량은 저장온도에 따른 커다란 차이가 있었으며, 상온보다 높은 온도에서 저장할 때 현저한 변화가 나타났다. 특히 저장 8주까지는 수분함량이 급격히 감소하였으나, 그 이후에는 큰 변화가 없었다(Fig. 3-1).

2. 환원당

환원당의 변화는 저장온도에는 상관없이 저장 6주까지 큰 폭으로 감소하였다. 6주 이후에는 약간 감소하는 경향으로 나타났지만, 거의 변화가 없었다(Fig. 3-2).

3. 지방산도

지방산도는 전체적으로 상온 및 35℃ 저장시에는 전반적으로 저장기간에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 특히 8주까지 지방산도가 급격히 증가하였다. 기타 저장조건에서도 8주까지는 지방산도가 증가하는 경향을 보였으나 전체적으로 큰 변화가 없었다(Fig. 3-3).

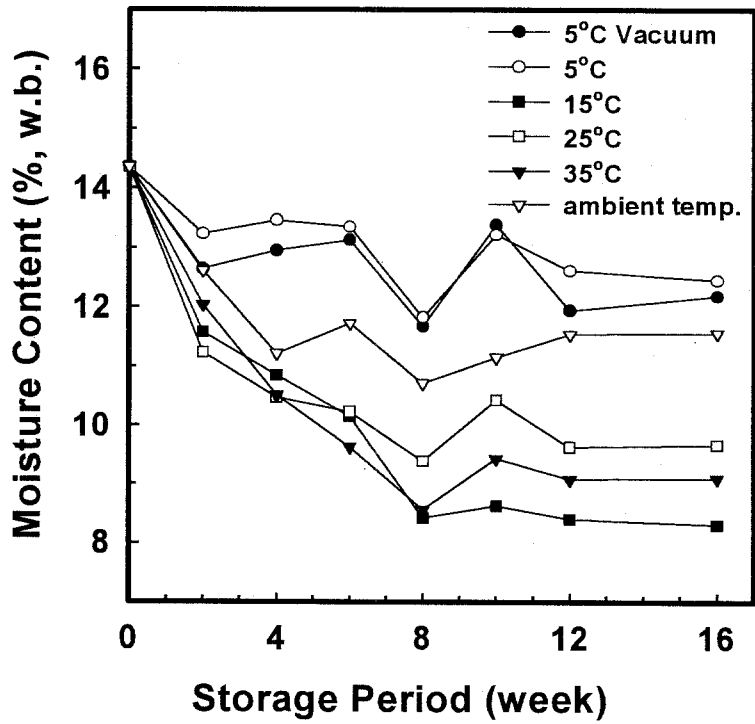


Fig. 3-1 저장조건과 저장기간별 백미의 수분함량 변화

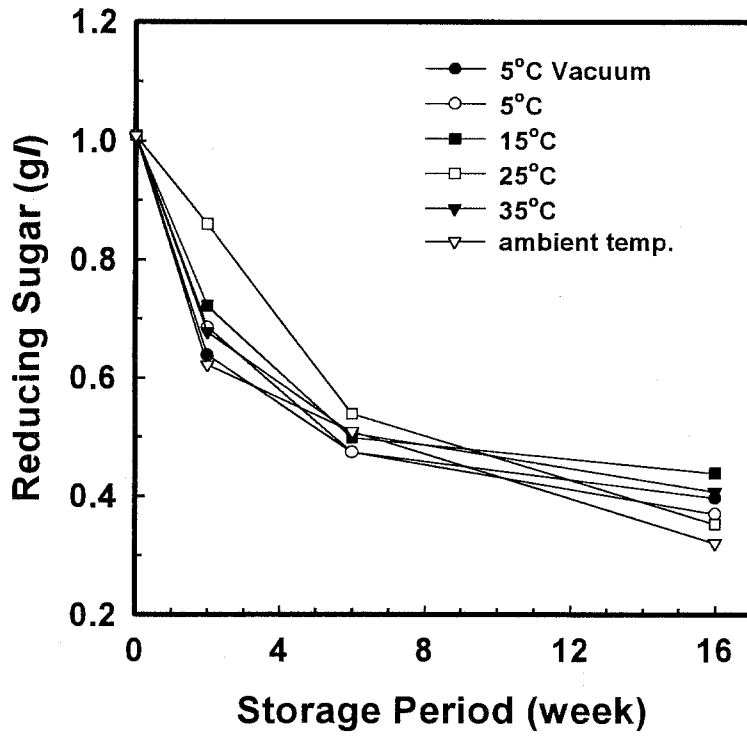


Fig. 3-2 저장조건과 저장기간별 백미의 환원당 변화

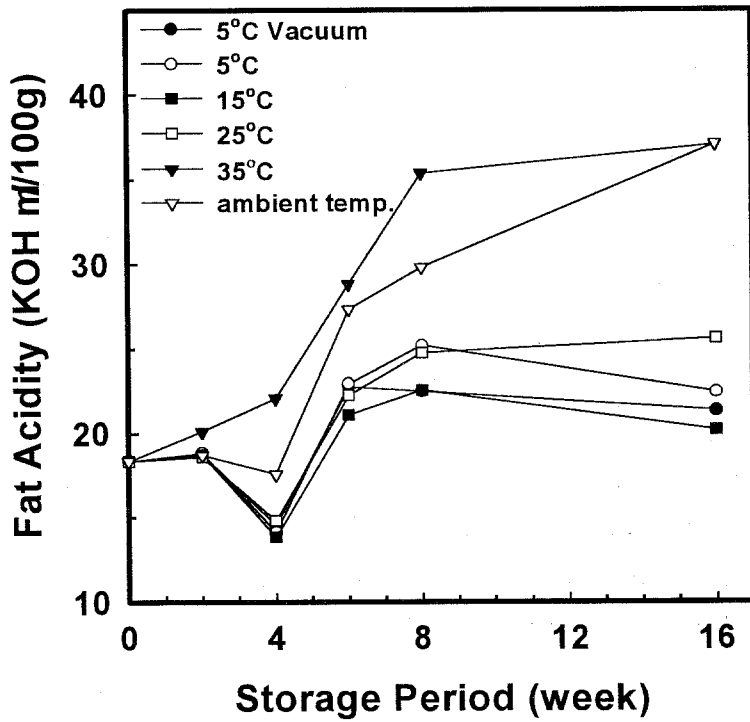


Fig. 3-3 저장조건과 저장기간별 백미의 지방산도 변화

제 3 절 저장중 백미의 취반특성 변화

1. 밥의 팽창율

15°C와 35°C에서 저장된 백미의 취반시 밥의 팽창도는 8주까지 급격히 증가하였으며, 8주 이후에는 증가도가 감소하는 경향을 나타냈다.

25°C에서 저장된 백미는 4주까지 밥 팽창율이 급격히 증가하였으나, 4주 이후에는 증가 추세가 감소되었다. 상온 저장시에도 25°C에서 저장된 백미와 유사한 경향을 나타내었다. 5°C와 5°C 진공상태에서 저장된 백미는 밥 팽창율의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다(Fig. 3-4).

2. 밥의 수분흡수율

밥의 수분흡수율은 5°C에서 저장할 때는 진공의 유무에 관계없이 거의 변화가 없는 것으로 나타났으며, 저장온도가 높을수록 증가하는 경향을 나타내었다. 또한, 8주까지는 급격한 증가를 보였으며, 8주 이후에는 증가추세가 감소하였음. 이러한 현상은 백미의 수분함량과 관계가 깊었으며, 백미의 수분함량이 높을수록 밥의 수분흡수율은 낮게 나타났다(Fig. 3-5).

3. 밥의 요오드 정색도

요오드 정색도는 높은 온도에서 저장할수록 증가하는 경향을 보였으며, 저온저장시에는 거의 변화가 없었다. 8주째의 자료는 실험오차에 의하여 감소한 것으로 판단된다(Fig. 3-6).

4. 밥의 고형물

밥의 고형물은 그림과 같이 측정기간에 따라 많은 오차를 나타냈다. 5℃에 저장한 백미는 진공의 유무에 관계없이 서서히 증가하는 경향을 나타내었다. 25℃와 35℃에 저장한 백미는 저장기간에 따라 밥의 고형물 함량이 증가하였다(Fig. 3-7).

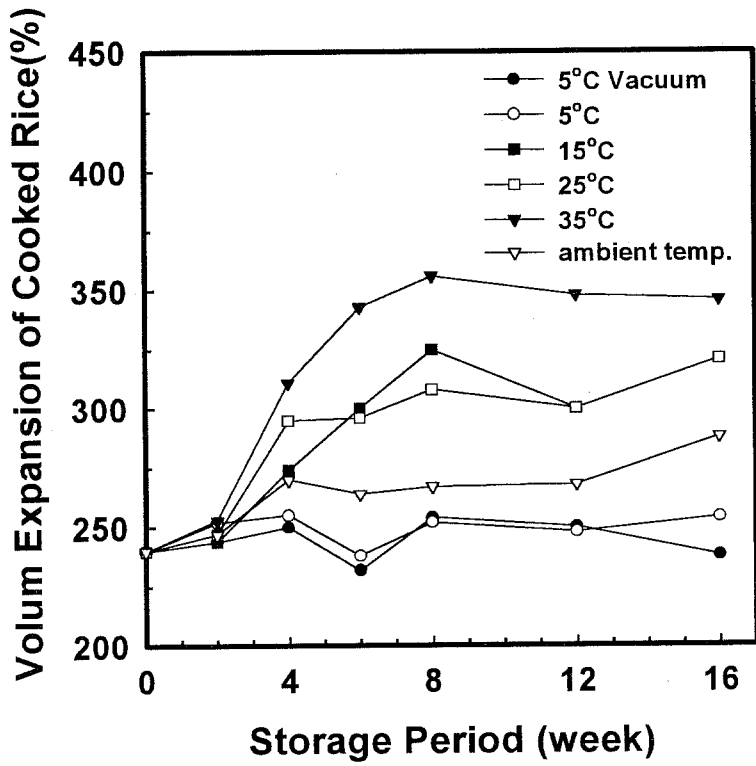


Fig. 3-4 저장조건과 저장기간별 백미의 밥 팽창율 변화

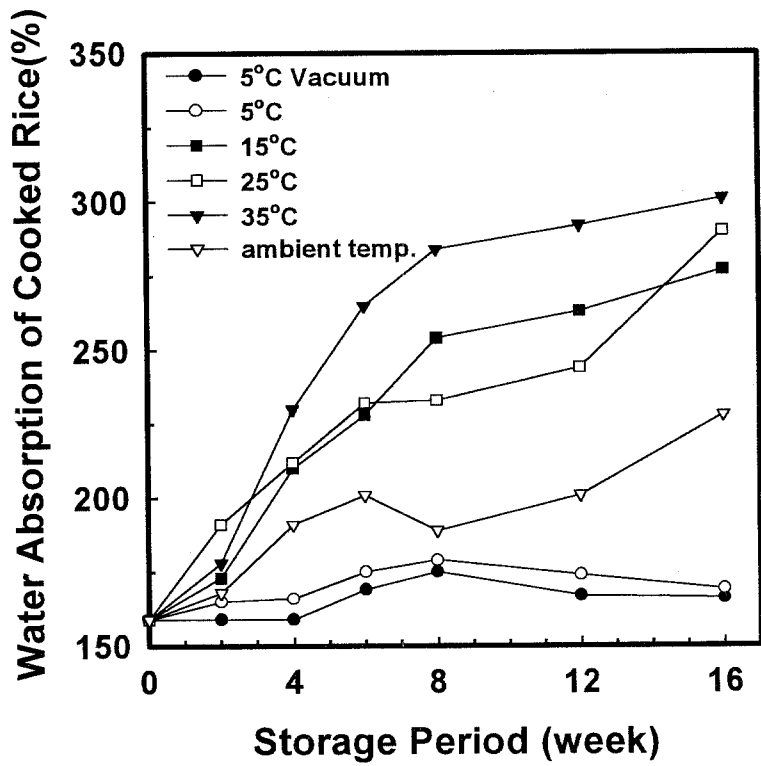


Fig. 3-5 저장조건과 저장기간별 밥의 수분 흡수율 변화

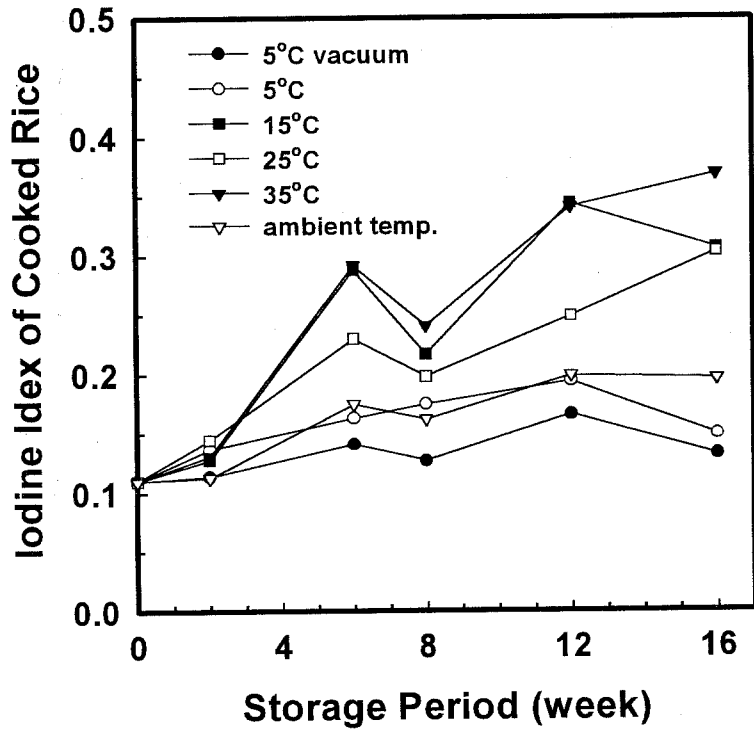


Fig. 3-6 저장조건과 저장기간별 밥의 요오드 정색도 변화

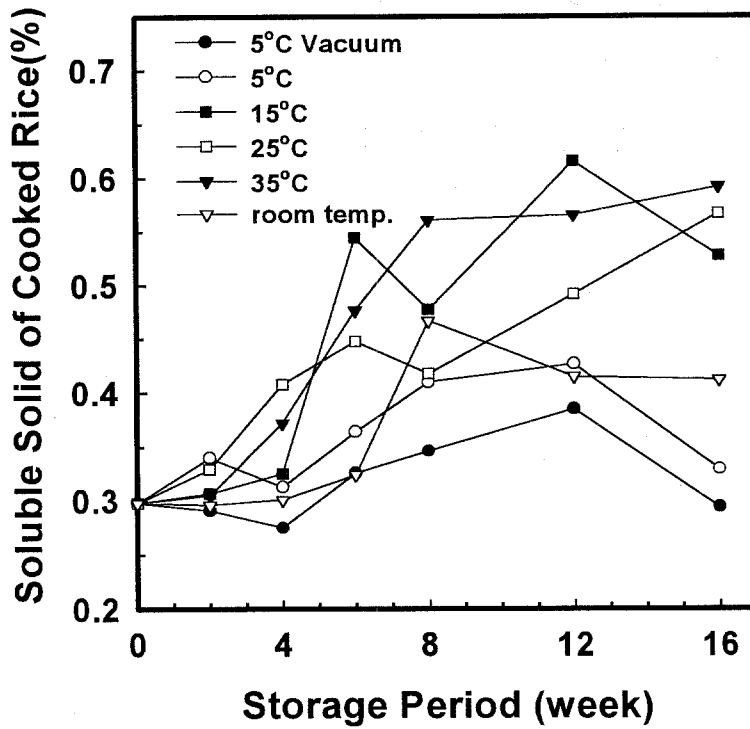


Fig. 3-7 저장조건과 저장기간별 밥의 고형물 함량 변화

제 4 장 비파괴분석법에 의한 쌀의 품위측정

제 1 절 화상분석법에 의한 품위의 측정

1. 화상분석법에 의한 품질특성

가. 색도계와 화상 System에 의한 색도값의 상관관계

본 실험에 사용된 77개 표준색지의 화상분석장치에 의한 R, G, B값은 Y', x', y'값으로 변환하였을 때 화상분석장치에 의한 색지의 Y', x', y'값과 색도계에 의한 Y, x, y값과 상관계수를 구하였을 때 Y값과 Y'값과의 상관계수는 0.95이며 x와 x'사이의 상관계수는 0.83, 그리고 y와 y'값사이의 상관계수는 0.78이었다.

회귀식과 그 때 사용된 77개 표준색지의 화상분석장치에 의한 R, G, B값은 Y', x', y'값으로 변환하였다. 이 때, 화상분석장치에 의한 색지의 Y', x', y'값과 색도계에 의한 Y, x, y값과 상관계수를 구하였을 때 Y값과 Y'값과의 상관계수는 0.95이며 x와 x'사이의 상관계수는 0.83, 그리고 y와 y'값사이의 상관계수는 0.78이었다. 회귀식과 그에 따른 R²값은 아래와 같다.

$$Y = 0.32 Y' - 17.45 \quad (R^2 = 0.89)$$

$$x = 7.76 x' - 2.25 \quad (R^2 = 0.69)$$

$$y = 4.13 y' - 1.09 \quad (R^2 = 0.60)$$

위의 결과에서 알 수 있듯이 두 방법에 의한 색도측정은 예상 외로 낮은 상관계수와 R^2 값을 보여 주었는데, 이런 오차는 두 측정방법의 측정 조명원이 다르므로 이에 따라 주위환경이 변하여 측정값도 달라진 것으로 판단된다.

나. 현미 품위별 시료의 화상특성

2개의 거울을 이용하여 얻은 현미 품위별(피해립, 정립, 백사미, 청사미, 동할립, 백미숙, 청미숙, 복백립) 윗면, 측면, 앞면화상을 나타낸 그림은 Fig. 4-1과 Fig. 4-2에 있으며, 각 화상의 면적, 장단축비, 장축길이, 단축길이, 둘레길이는 Table 4-1에, 원형도, 적색도(R), 녹색도(G), 청색도(B)는 Table 4-2에 있다. 전반적으로 피해립, 청사미, 청미숙의 경우 정립에 비해 크기가 작았으며, 동할립과 복백립의 경우 크기에서 정립과 차이가 없었다.

Table 4-1 현미의 품위별 시료에 따른 화상특성(윗면, 측면, 앞면의 면적, 장단축비, 장축길이, 단축길이, 둘레길이)의 차이

현 미	면 적 (mm ²)	장단축비	장축길이 (mm)	단축길이 (mm)	둘레길이 (mm)
(윗면)	***	***	***	***	***
피해립	9.55 ^d	2.12 ^a	4.91 ^d	2.32 ^c	12.73 ^d
정 립	13.11 ^{ab}	1.80 ^b	5.36 ^{ab}	2.94 ^a	14.32 ^{ab}
백사미	12.03 ^{bc}	1.86 ^b	5.24 ^{abc}	2.77 ^{ab}	13.82 ^{bc}
청사미	11.07 ^c	1.89 ^b	5.04 ^{cd}	2.62 ^b	13.29 ^{cd}
등 할	13.74 ^a	1.83 ^b	5.53 ^a	2.99 ^a	14.85 ^a
백미숙	12.20 ^{bc}	1.76 ^b	5.11 ^{bcd}	2.85 ^a	13.76 ^{bc}
청미숙	11.15 ^c	1.87 ^b	5.02 ^{cd}	2.64 ^b	13.30 ^{cd}
복백립	13.00 ^{ab}	1.81 ^b	5.34 ^{ab}	2.91 ^a	14.24 ^{ab}
(측면)	***	***	***	***	***
피해립	5.88 ^d	3.01 ^b	4.62 ^c	1.50 ^d	11.08 ^c
정 립	8.21 ^{ab}	2.48 ^c	5.10 ^{ab}	2.00 ^a	12.28 ^{ab}
백사미	5.33 ^d	3.68 ^a	4.97 ^{ab}	1.32 ^e	11.28 ^c
청사미	6.01 ^d	3.09 ^b	4.83 ^{bc}	1.51 ^d	11.30 ^c
등 할	8.77 ^a	2.49 ^c	5.26 ^a	2.04 ^a	12.70 ^a
백미숙	7.14 ^c	2.64 ^c	4.90 ^{bc}	1.80 ^c	11.75 ^{bc}
청미숙	7.05 ^c	2.55 ^c	4.81 ^{bc}	1.84 ^{bc}	11.55 ^c
복백립	8.02 ^b	2.56 ^c	5.10 ^{ab}	1.94 ^{ab}	12.24 ^{ab}
(앞면)	***	***	***	***	***
피해립	5.09 ^e	1.39 ^a	2.95 ^c	2.11 ^c	8.64 ^e
정 립	7.27 ^{ab}	1.12 ^b	3.22 ^b	2.81 ^a	10.10 ^a
백사미	6.25 ^{ca}	1.09 ^b	2.98 ^c	2.62 ^{ab}	9.33 ^{ca}
청사미	5.82 ^d	1.13 ^b	2.90 ^c	2.49 ^b	9.03 ^{ab}
등 할	7.68 ^a	1.17 ^b	3.41 ^a	2.83 ^a	10.34 ^{da}
백미숙	6.68 ^{bc}	1.09 ^b	3.08 ^{bc}	2.71 ^a	9.61 ^{bc}
청미숙	6.02 ^{ca}	1.12 ^b	2.95 ^c	2.52 ^b	9.16 ^{ca}
복백립	7.05 ^{ab}	1.12 ^b	3.18 ^b	2.77 ^a	9.89 ^{ab}

abc 같은 면(윗면, 측면, 앞면) 화상에서 각 특성별 차이를 나타낸 것으로 같은 alphabet은 같은 수준임

*** p=0.001 수준에서 시료간 유의적 차이가 있음

Table 4-2 현미의 품위별 시료에 따른 화상특성(윗면, 측면, 앞면의 원형도, 적색도, 녹색도, 청색도)의 차이

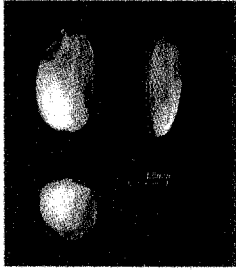
현 미	원형도	적색도 (R)	녹색도 (G)	청색도 (B)
(윗면)	***	***	***	***
피해립	1.38 ^a	154 ^g	155 ^e	12.0 ^d
정 립	1.24 ^d	176 ^{ez}	179 ^d	56.3 ^d
백사미	1.26 ^d	224 ^a	226 ^a	33.5 ^d
청사미	1.27 ^d	199 ^c	205 ^d	17.0 ^d
동 할	1.28 ^d	183 ^{de}	186 ^{ca}	34.1 ^d
백미속	1.24 ^d	208 ^d	210 ^d	34.9 ^d
청미속	1.26 ^d	170 ⁱ	178 ^d	113 ^a
복백립	1.25 ^d	190 ^d	193 ^c	123 ^a
(측면)	***	***	***	***
피해립	1.69 ^d	142 ⁱ	144 ⁱ	127 ⁱ
정 립	1.46 ^c	167 ^d	170 ^{de}	150 ^{de}
백사미	1.91 ^a	206 ^a	207 ^a	182 ^a
청사미	1.69 ^d	177 ^c	183 ^{bc}	158 ^c
동 할	1.47 ^c	173 ^{ca}	176 ^{ca}	162 ^c
백미속	1.54 ^c	187 ^d	189 ^d	169 ^d
청미속	1.51 ^c	159 ^e	166 ^e	147 ^e
복백립	1.49 ^c	171 ^d	174 ^{de}	156 ^{ca}
(앞면)	***	***	***	***
피해립	1.19 ^a	146 ^g	149 ^e	130 ^e
정 립	1.12 ^d	164 ^{ez}	168 ^d	148 ^d
백사미	1.11 ^d	213 ^a	215 ^a	189 ^a
청사미	1.12 ^d	186 ^{bc}	193 ^d	164 ^c
동 할	1.11 ^d	172 ^{de}	176 ^{ca}	161 ^c
백미속	1.10 ^d	193 ^d	196 ^d	175 ^d
청미속	1.11 ^d	159 ⁱ	167 ^d	148 ^d
복백립	1.10 ^d	178 ^{ca}	182 ^c	163 ^c

abc 같은 면(윗면, 측면, 앞면) 화상에서 각 특성별 차이를 나타낸 것으로 같은 alphabet은 같은 수준임

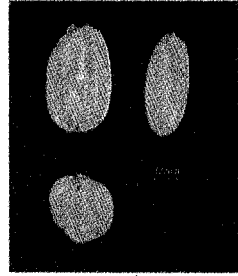
*** p=0.001 수준에서 시료간 유의적 차이가 있음

특히 피해립의 경우는 외형특성에 있어 다른 품위별 시료와 원형도와 색도에서 확연히 구별되었다. 피해립은 장축길이, 단축길이 작고 장단축비와 원형도값이 높게 나와, 품위특성별 시료중에서 원형에 가장 먼 시료였으며, 적색도, 녹색도, 청색도가 아주 낮게 나와 쉽게 구별이 되었으며, 백사미의 경우 적색도, 녹색도가 정립에 비해 높았고 청색도의 경우 낮게 나타났다.

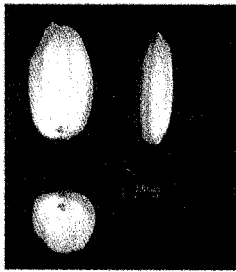
청사미의 경우 외형적으로 정립에 비해 작았고 백사미의 경우와 같이 적색도, 녹색도가 정립에 비해 높았고 청색도의 경우 낮게 나타났다. 청사미와 백사미의 커다란 차이는 크기와 청색도값에서 볼 수 있는데, 청사미는 백사미에 비해 청색도가 낮게 나타났다. 동할의 경우 적색도와 녹색도에서 정립과 백사미의 중간값으로 청색도의 경우 백사미와 비슷한 수준이었으며, 백미숙립의 경우 정립에 비해 적색도, 녹색도가 높고, 청색도값이 낮았다. 청미숙현미의 경우 백미숙현미의 경우와 같이 정립에 비해 크기가 작고 다른 품위의 시료에 비해 청색도가 높게 나타났다. 복백립의 경우 크기는 정립현미와 비슷하였으나, 색도에서 차이가 있으며, 특히 청색도가 다른 품위의 시료에 비해 가장 높았다.



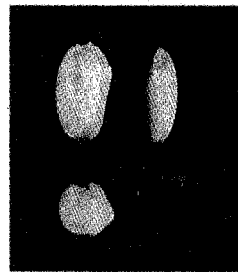
피해립



정립

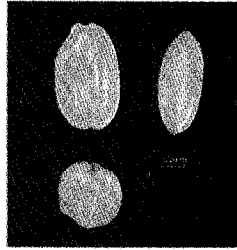


백사미

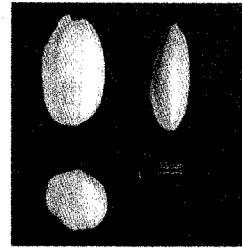


청사미

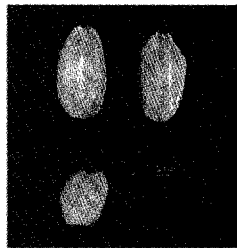
Fig. 4-1 현미 품위(피해립, 정립, 백사미, 청사미)별 세면(윗면, 측면, 앞면)의 화상



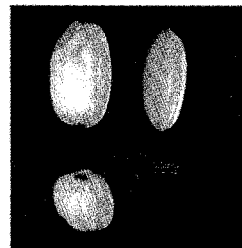
동 할



백미숙



청미숙



복백립

Fig. 4-2 현미 품위(동할, 백미숙, 청미숙, 복백립)별 세면(윗면, 측면, 앞면)의 화상

다. 백미 품위별 시료의 화상특성

백미의 품위(완전립, 분상질립, 피해립, 착색립)별 세면(윗면, 측면, 앞면)의 화상특성(면적, 장단축비, 장축길이, 단축길이, 둘레길이, 원형도, 적색도, 녹색도, 청색도)은 Table 4-3과 4-4에 있으며, 화상은 Fig. 4-3에 있다. 크기에서는 완전립과 착색립이 비슷한 외형을 지니고 있었으며, 피해립의 경우 네 품위의 시료중 가장 작았다. 비슷한 크기를 지닌 착색립은 녹색도와 청색도값이 가장 작았으며, 분상질립의 경우에는 적색도, 녹색도, 청색도값이 가장 높게 나타났다.

Table 4-3 백미의 품위별 시료에 따른 화상특성(윗면, 측면, 앞면의 면적, 장단축비, 장축길이, 단축길이, 둘레길이)의 차이

백 미	면적 (mm ²)	장단축비	장축길이 (mm)	단축길이 (mm)	둘레길이 (mm)
(윗면)	***	*	***	***	***
완 전 립	11.64 ^a	1.74 ^{ab}	5.09 ^a	2.85 ^{ab}	13.42 ^a
분상질립	10.49 ^d	1.70 ^{ab}	4.78 ^{bc}	2.73 ^d	12.73 ^d
피 해 립	8.92 ^c	1.81 ^a	4.62 ^c	2.46 ^c	11.95 ^c
착 색 립	11.63 ^a	1.65 ^d	4.95 ^{ab}	2.90 ^a	13.26 ^a
(측면)	***		***	*	***
완 전 립	8.03 ^a	2.43 ^a	4.94 ^a	1.99 ^a	12.0 ^a
분상질립	7.05 ^d	2.49 ^a	4.63 ^{bc}	1.85 ^a	11.3 ^{bc}
피 해 립	6.65 ^d	2.37 ^a	4.43 ^c	1.84 ^a	10.9 ^c
착 색 립	7.75 ^a	2.34 ^a	4.78 ^{ab}	2.00 ^a	11.7 ^{ab}
(앞면)	***	*	***	***	***
완 전 립	7.07 ^a	1.16 ^{ab}	3.22 ^a	2.74 ^a	9.92 ^a
분상질립	6.35 ^d	1.13 ^{ab}	3.02 ^d	2.62 ^a	9.38 ^d
피 해 립	5.37 ^c	1.20 ^a	2.87 ^c	2.33 ^d	8.68 ^c
착 색 립	6.78 ^{ab}	1.10 ^d	3.12 ^{ab}	2.73 ^a	9.70 ^{ab}

^{abc} 같은 면(윗면, 측면, 앞면) 화상에서 각 특성별 차이를 나타낸 것으로 같은 alphabet은 같은 수준임

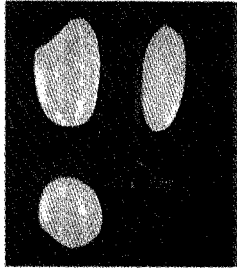
*, *** 각각 p=0.05, p=0.001 수준에서 시료간 유의적 차이가 있음

Table 4-4 백미의 품위별 시료에 따른 화상특성(윗면, 측면, 앞면의 원형도, 적색도, 녹색도, 청색도)의 차이

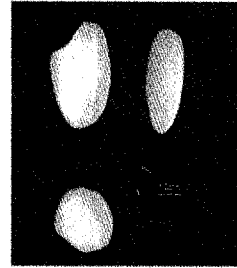
백 미	원형도	적색도 (R)	녹색도 (G)	청색도 (B)
(윗면)	***	***	***	***
완 전 립	1.23 ^b	190 ^b	202 ^b	195 ^b
분상질립	1.23 ^b	217 ^a	225 ^a	216 ^a
피 해 립	1.28 ^a	170 ^c	176 ^c	162 ^c
착 색 립	1.20 ^b	171 ^c	168 ^d	141 ^d
(측면)		***	***	***
완 전 립	1.44 ^a	184 ^b	195 ^b	190 ^b
분상질립	1.46 ^a	198 ^a	207 ^a	198 ^a
피 해 립	1.44 ^a	160 ^c	165 ^c	154 ^c
착 색 립	1.42 ^a	161 ^c	159 ^c	137 ^d
(앞면)	*	***	***	***
완 전 립	1.11 ^b	186 ^b	198 ^b	192 ^b
분상질립	1.10 ^b	207 ^a	217 ^a	209 ^a
피 해 립	1.12 ^a	164 ^c	170 ^c	157 ^c
착 색 립	1.11 ^b	165 ^c	163 ^c	139 ^d

^{abc} 같은 면(윗면, 측면, 앞면) 화상에서 각 특성별 차이를 나타낸 것으로 같은 alphabet은 같은 수준임

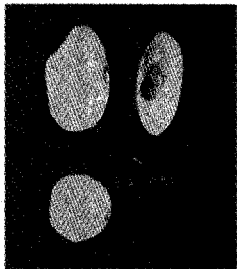
*, *** 각각 p=0.05, p=0.001 수준에서 시료간 유의적 차이가 있음



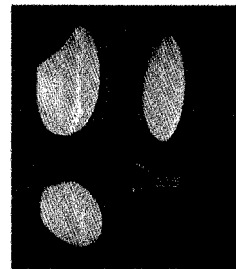
완전립



분상질립



피해립



착색립

Fig. 4-3 백미 품위(완전립, 분상질립, 피해립, 착색립)별
세면(윗면, 측면, 앞면)의 화상

2. 화상분석방법에 의한 등급판별 system

가. 화상분석법에 의한 등급판별 성능

국내 유통되는 백미 54점을 USDA등급기준에 의거 육안으로 등급을 판별한 결과 국내 유통쌀에는 열손립, 이중곡립, 착색립, 손상립은 없었으며, 주로 쉼립과 복백립의 함량이 등급을 결정하는 인자로 나타났다 (Table 4-5).

등급판별은 미국을 비롯하여 모든 나라에서 육안판별에 의해 수행되기 때문에, 화상분석에 의한 등급판별이 가능하다고 판단되어 화상분석에 의해 쉼립과 복백립량을 이용하여 등급판별을 시도하였다.

화상분석 system으로 Unix system을 사용한 Grain Check(Tecator Inc.)을 사용하였다 (Fig. 4-4). 이 system은 CCD camera와 저울을 사용하여 쌀알을 넣어 흠이 파여진 conveyer belt에 shaking 하면서 쌀알을 붙지 않게 하여 CCD camera를 이용하여 화상을 찍은 후 화상의 pixel 면적과 전체 백미의 무게를 측정하여 pixel 무게를 계산하여 전체 무게중 완전립, 쉼립, 분상질립의 양을 백분율로 계산하였다.

calibration시료로서 head rice는 완전정립의 백미, chalky kernel은 복백이 50%이상인 백미, 쉼립은 완전립의 3/4이하인 백미를 사용하였으며, 쉼립중 2.0mm체를 통과하는 시료를 소쉼립으로 하고 그 이외의 쉼립은 대쉼립으로 calibration시료를 사용하였다.

완전립, 대쉼립, 소쉼립, 복백립판별은 ANN(artificial neural network)을 사용하여 calibration시 head rice, chalky kernel, 대쉼립, 소쉼립의 판별율이 각각 97.8% 96.2%, 94.3%, 98.7%일때의 조건으로 validation

하였을 때 정립의 판별율은 100%였다.

위의 측정조건으로 국내 유통되는 54점의 시료에 포함된 쇠미함량을 측정한 결과는 Table 4-6, 등급의 분포는 Table 4-7에 있다. 화상분석기에 의한 등급판별은 육안에 의한 등급보다 상향조정되는 경향이 있었는데 이는 아마도 calibration은 한 품종에 의해 수행된 반면 시험시료들은 각기 산지 및 품종의 차이에 의한 것으로 판단되며, 품종별로 서로 다른 calibration file을 개발하여 적용하면 등급판별의 정확도는 향상될 것으로 판단된다.

Table 4-5 The percentage of chalky kernels and broken kernels and grade of milled rices currently marketed in Korea

Cultivated province	Chalky kernel(%)	Grade by chalky kernel	Broken kernel(%)	Grade by broken kernel	Grade by chalky and broken kernel
Kyonggi	2.07	2	4.71	2	2
Kyonggi	1.87	1	6.94	2	2
Kyonggi	2.17	2	5.67	2	2
Kyonggi	1.31	1	3.81	1	1
Kyonggi	3.65	2	3.33	1	2
Kyonggi	2.21	2	12.58	3	3
Kyonggi	2.85	2	4.50	2	2
Kyonggi	1.90	1	5.32	2	2
Kyonggi	3.85	2	7.82	3	3
Kyonggi	3.89	2	9.77	3	3
Kangwon	4.36	3	10.94	3	3
Kangwon	5.76	3	7.60	3	3
Kangwon	5.27	3	15.56	4	4
Kangwon	4.84	3	6.43	2	3
Kangwon	3.85	2	7.73	3	2
Kangwon	4.40	3	19.67	4	4
Chungchong	2.51	2	2.73	1	2
Chungchong	2.17	2	5.18	2	2
Chungchong	3.20	2	3.06	1	2
Chungchong	2.59	2	10.22	3	3
Chungchong	2.08	2	5.65	2	2
Chungchong	3.37	2	11.42	3	3
Chungchong	4.82	3	4.42	2	3
Chungchong	2.32	2	5.08	2	2
Chungchong	3.04	2	4.52	2	2
Chungchong	6.44	5	7.71	3	5
Chungchong	2.05	2	6.87	2	2
Chungchong	3.08	2	4.59	2	2
Chungchong	2.28	2	6.19	2	2
Chulla	4.50	3	8.86	3	3
Chulla	1.75	1	5.55	2	2
Chulla	2.83	2	3.68	1	2
Chulla	2.91	2	3.86	1	2
Chulla	2.28	2	4.46	2	2
Chulla	1.70	1	2.24	1	1
Chulla	3.16	2	2.89	1	2
Chulla	2.34	2	5.26	2	2
Chulla	4.29	3	3.90	1	3
Chulla	2.23	2	7.01	3	3
Chulla	0.97	1	9.53	3	3
Chulla	2.31	2	3.40	1	2
Chulla	3.14	2	3.89	1	2
Chulla	2.35	2	5.73	2	2
Chulla	3.08	2	3.20	1	2
Chulla	1.53	1	6.02	2	2
Chulla	3.21	2	3.53	1	2
Chulla	2.90	2	2.82	1	2
Chulla	2.12	2	6.72	2	2
Chulla	2.16	2	8.92	3	3
Chulla	1.53	1	8.01	3	3
Kyongsang	4.00	2	7.41	3	3
Kyongsang	3.42	2	8.08	3	3
Kyongsang	3.23	2	9.55	3	3
Kyongsang	2.93	2	6.40	2	2

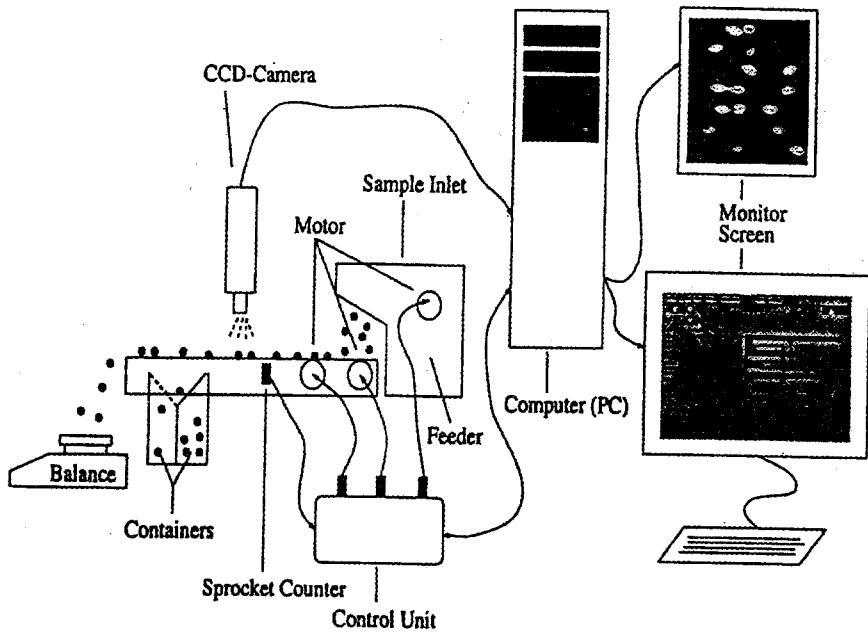


Fig. 4-4 화상분석을 이용한 등급판별에 사용된 Grain Check system개요도

Table 4-6 Grain check에 의한 쇠미함량 측정 및 등급

sample Number	GRAIN CHECK BROKEN (%)	GRAIN CHECK Grade by broken kernel (%)	HAND PICKING BROKEN (%)	HAND PICKING Grade by broken kernel (%)
1	2.70	1	4.71	2
2	3.90	1	6.94	2
3	3.30	1	5.67	2
4	3.00	1	3.81	1
5	1.70	1	3.33	1
6	7.60	3	12.58	3
7	2.30	1	4.50	2
8	4.20	2	5.32	2
9	6.60	2	7.82	3
10	8.20	3	9.77	3
11	10.00	3	10.94	3
12	6.60	2	7.60	3
13	13.60	3	15.56	4
14	4.60	2	6.43	2
15	6.00	2	7.73	3
16	17.40	4	19.67	4
17	2.00	1	2.73	1
18	3.60	1	5.18	2
19	8.50	3	10.22	3
20	5.10	2	5.66	2
21	11.80	3	11.42	3
22	3.20	1	4.42	2
23	3.70	1	5.08	2
24	4.00	1	4.52	2
25	5.40	2	7.71	3
26	4.50	2	6.87	2
27	5.00	2	4.59	2
28	5.20	2	6.19	2
29	7.20	3	8.86	3
30	2.90	1	5.55	2
31	2.80	1	3.88	1
32	2.90	1	3.86	1
33	3.20	1	4.46	2
34	1.70	1	2.24	1
35	2.40	1	2.89	1
36	4.00	1	5.26	2
37	2.90	1	3.90	1
38	2.70	1	7.01	3
39	8.80	3	9.53	3
40	3.20	1	3.40	1
41	2.60	1	3.89	1
42	5.00	2	5.73	2
43	1.80	1	3.20	1
44	4.80	2	6.02	2
45	2.70	1	3.53	1
46	2.70	1	2.82	1
47	5.10	2	6.72	2
48	8.50	3	8.92	3
49	5.60	2	8.01	3
50	2.30	1	3.06	1
51	5.40	2	7.41	3
52	5.50	2	8.08	3
53	7.60	3	9.55	3
54	7.70	3	6.40	2

Table 4-7 유통백미 54점의 USDA등급기준에 의한 등급분포의 비교 :
육안과 화상분석(Grain check)

등급	육안에 의한 등급	화상분석에 의한 등급
1	14	26
2	21	16
3	17	11
4	2	1

나. 98년도산 신곡의 등급판별

화상분석에 의한 '98년도산 산지별 유통백미의 쉐립과 복백립% 분석을 통한 신곡의 USDA 쌀 등급기준에 따른 등급판별현황은 Table 4-7에 있다. 97년도산 유통백미의 경우 등급에 영향을 주는 인자는 쉐립으로 나타난 반면, 98년도산 신곡의 경우 복백립으로 나타나 매년 기후 조건 등에 의해 유통백미의 외형적 품질에 가장 많은 영향을 주는 인자는 변할 수 있으나, 우리나라에서는 쉐립 혹은 복백립이 유통미의 외형적 품질에 가장 많은 영향을 주는 인자였다. 이들 쌀의 등급별 분포는 Table 4-8에 있으며, 대부분의 유통미는 4등급, 5등급, 6등급에 분포되어 있었다. '97년산 유통미의 등급분포는 주로 2등급과 3등급에 분포되고 있었음을 감안할 때 '98년산 유통미의 품질은 복백립에 의해 등급이 비교적 낮았으며, 결과적으로 그 해의 기후 등 작황조건에 따라 쌀의 품질이 크게 달라짐을 짐작할 수 있었다.

Table 4-7-1 화상분석방법을 이용한 '98년산 유통백미의 등급판별

No.	지역	등급	항목	완전립	복백립	쇄립	대쇄립	소쇄립
1	경기도	3	Wt %	87.37	5.93	6.7	6.4	0.33
			Wt g	21.67	1.43	1.67	1.59	0.07
			# of kernels	1156	83	160	150	11
2	경기도	4	Wt %	90.93	6.77	2.27	1.83	2.43
			Wt g	22.6	1.7	0.57	0.46	0.11
			# of kernels	1185	98	59	42.33	16.67
3	경기도	5	Wt %	89.77	8.13	2.13	2.1	0.03
			Wt g	22.27	2.03	0.53	0.52	0.01
			# of kernels	1165	114	50	48.67	1.33
4	경기도	2	Wt %	90.27	3.77	5.97	5.57	0.4
			Wt g	22.43	0.93	1.48	1.38	0.1
			# of kernels	1153	51.67	145	129	15.67
5	경기도	4	Wt %	91.43	6.6	1.93	1.7	0.23
			Wt g	22.67	1.67	0.48	0.42	0.06
			# of kernels	1192	92.33	48	39.67	8.33
6	경기도	4	Wt %	90.5	7.2	2.3	2	0.27
			Wt g	22.47	1.8	0.57	0.5	0.07
			# of kernels	1147	102	57.67	47.33	10.33
7	강원도	7	Wt %	68.77	18.33	12.93	12	0.87
			Wt g	17.07	4.53	3.19	2.98	0.22
			# of kernels	830	245	303	270	33
8	강원도	7	Wt %	71.77	19.03	9.2	8.93	0.23
			Wt g	17.8	4.7	2.28	2.21	0.06
			# of kernels	811	236	195	186	9
9	강원도	7	Wt %	74.6	17.97	7.43	7.3	0.17
			Wt g	18.47	4.47	1.85	1.81	0.04
			# of kernels	832	224	157	151	6.33
10	충청북도	5	Wt %	88.97	8.2	2.87	2.67	0.23
			Wt g	22.07	2.03	0.71	0.65	0.05
			# of kernels	1175	118	71.67	64	7.67
11	충청북도	6	Wt %	85.27	12.17	2.57	2.57	0
			Wt g	21.1	3.03	0.64	0.63	0.01
			# of kernels	1076	172	59	58	1

Table 4-7-2 화상분석방법을 이용한 '98년산 유통백미의 등급관별

No.	지역	등급	항목	완전립	복백립	쇄립	대쇄립	소쇄립
12	충청남도	6	Wt %	82.6	12.7	4.67	4.3	0.4
			Wt g	20.5	3.17	1.17	1.07	0.1
			# of kernels	1107	182	120	104	16
13	충청남도	5	Wt %	83.93	8.73	7.33	6.73	0.6
			Wt g	20.9	2.17	1.81	1.67	0.48
			# of kernels	1010	112	171	149	22.33
14	충청남도	6	Wt %	82.93	13.2	3.87	3.5	0.33
			Wt g	20.57	3.23	0.96	0.87	0.08
			# of kernels	1059	184	96.67	83.67	13
15	충청남도	6	Wt %	86.5	10.37	3.17	2.7	0.4
			Wt g	21.47	2.57	0.78	0.67	0.11
			# of kernels	1168	148	83.67	65.67	18
16	충청남도	6	Wt %	83.4	13.63	2.93	2.5	0.4
			Wt g	20.7	3.4	0.73	0.63	0.1
			# of kernels	1094	191	76.67	60.33	16.33
17	충청남도	7	Wt %	77.7	15.17	7.1	6.6	0.53
			Wt g	19.23	3.77	1.77	1.64	0.13
			# of kernels	930	199	169	149	20.33
18	전라북도	6	Wt %	83.73	12.53	3.73	3.3	0.47
			Wt g	20.8	3.13	0.93	0.81	0.11
			# of kernels	1030	164	91	74.33	16.67
19	전라북도	6	Wt %	80.27	13.13	6.6	6.07	0.53
			Wt g	19.93	3.27	1.63	1.5	0.13
			# of kernels	1030	178	163	143	19.67
20	전라북도	5	Wt %	82.47	8.73	8.8	7.93	0.87
			Wt g	20.43	2.17	2.18	1.97	0.22
			# of kernels	1091	121	231	195	35.67
21	전라북도	5	Wt %	86.4	8.77	4.83	4.53	0.33
			Wt g	21.4	2.17	1.2	1.12	0.08
			# of kernels	1072	121	114	102	12.33
22	전라북도	4	Wt %	86.47	7	6.53	5.67	0.9
			Wt g	21.37	1.73	1.62	1.4	0.22
			# of kernels	1066	96.33	170	133	36.67
23	전라북도	5	Wt %	88.4	9.6	1.97	1.73	0.27
			Wt g	21.9	2.4	0.49	0.43	0.06
			# of kernels	1174	138	50.67	41	9.67

Table 4-7-3 화상분석방법을 이용한 '98년산 유통백미의 등급관별

No.	지역	등급	항목	완전립	복백립	쇄립	대쇄립	소쇄립
24	전라북도	5	Wt %	83.2	9.03	7.77	7	0.77
			Wt g	20.6	2.23	1.92	1.74	0.18
			# of kernels	1041	122	192	163	29
25	전라북도	6	Wt %	80.9	12	7.17	6.73	0.4
			Wt g	20.03	2.97	1.77	1.67	0.1
			# of kernels	1030	165	173	158	14.33
26	전라남도	4	Wt %	86.2	7.27	6.6	5.53	0.97
			Wt g	21.4	1.8	1.63	1.38	0.24
			# of kernels	1093	99.67	172	132	40
27	전라남도	5	Wt %	83.63	9.07	7.3	6.57	0.67
			Wt g	20.73	2.23	1.8	1.63	0.17
			# of kernels	1034	123	181	154	26.33
28	경상북도	4	Wt %	89.17	6.27	4.57	3.8	0.77
			Wt g	22.1	1.57	1.13	0.94	0.19
			# of kernels	1128	84.33	120	89	30.67
29	경상북도	6	Wt %	84.23	12.33	3.43	3.03	0.4
			Wt g	20.87	3.03	0.85	0.75	0.1
			# of kernels	1100	170	89.67	72.67	17
30	경상북도	6	Wt %	86.53	10.73	2.73	2.37	0.37
			Wt g	21.4	2.67	0.68	0.59	0.09
			# of kernels	1149	152	72.33	57.33	15
31	경상남도	4	Wt %	85.67	7.7	6.6	6	0.6
			Wt g	21.17	1.9	1.63	1.49	0.15
			# of kernels	1116	110	166	144	22
32	전라남도	3	Wt %	85.27	5.47	9.27	9.07	0.17
			Wt g	21.07	1.33	2.29	2.25	0.04
			# of kernels	1124	80.33	224	217	6.67
33	전라남도	2	Wt %	92.33	3.33	4.27	4.07	0.23
			Wt g	22.8	0.83	1.06	1	0.06
			# of kernels	1202	49	106	97.33	8.33
34	전라남도	5	Wt %	83.43	9.2	7.37	7.13	0.23
			Wt g	20.73	2.27	1.83	1.77	0.06
			# of kernels	1132	133	178	169	9.67

Table 4-8 화상분석을 이용한 98년산 신곡의 등급별 분포

등급	화상분석에 의한 등급
1	-
2	2
3	2
4	7
5	9
6	10
7	4
총 시료수	34

제 2 절 근적외분광분석법에 의한 품위의 측정 스펙트럼 측정방법

가시광선/근적외선 영역의 스펙트럼 측정을 위하여 근적외선 분광 분석기(NIRSystems, Model 6500, Silver Spring, USA)를 이용하였다. 근적외선 분광분석기는 회절격자형으로 400~2500nm의 파장범위에서 2nm간격으로 반사 및 투과 스펙트럼을 측정할 수 있으며, 파장의 정밀도는 $\pm 0.3\text{nm}$ 이다. 또한, 근적외선 분광분석기는 시료의 상태와 종류에 따라 각각 다른 모듈을 설치하여 측정할 수 있다. 본 실험에서는 광 화이버로 구성된 Remote Reflectance 모듈을 이용하여 400~2500nm의 파장영역에서 2nm간격으로 반사 스펙트럼을 측정하였으며, 근적외선 분광분석기의 구동을 위하여 전용 프로그램인 NSAS(NIRSystems, Silver Spring, USA)를 이용하였다. 시료에 광선을 32회 주사(scan)하여 측정 후 평균한 스펙트럼은 흡광도($\log(1/R)$)로 변환되어 컴퓨터의 파일로 저장되었다. 기준 스펙트럼(reference)은 항상 일정한 흡광도를 나타내는 세라믹판(ceramic plate)을 이용하였다.

판별분석법

백미의 등급 분류를 위하여 가시광선 및 근적외선 영역의 스펙트럼을 이용하여 판별분석을 실시하였다. 백미의 등급은 3등급으로 분류하였으며, 각 등급별 스펙트럼 130개씩을 임의 추출하여 총 390개의 스펙트럼을 교정부로 활용하여 모델을 개발하였고, 국내에서 유통중인 백미 54점을 시중에서 구입하여 스펙트럼을 측정한 후 검증부로 활용하여 개발된 모델의

검증에 이용하였다. 판별분석은 400~2500nm의 전파장 영역에서 원시 스펙트럼과 Gap 크기를 변화시킨 1차 및 2차 미분 스펙트럼을 이용하였다. 또한, 표준정규화와 다분산보정으로 스펙트럼의 산란을 보정하였다.

도정공장 및 RPC등 현장에서의 근적외선 분광분석법에 의한 등급 판별 가능성을 조사하기 위하여 광 화이버로 구성된 Remote Reflectance 모듈을 이용하여 400~2,500nm의 파장영역에서의 반사 스펙트럼의 흡광도 ($\log(1/R)$)를 측정하였다. 표준시료로서 USDA 쌀 검사규격에 의하여 쇄미 함량에 따라 1등급, 2등급, 3등급 시료를 각각 130점씩 제조하여 총 390개 (Appendix 3)의 스펙트럼을 교정부로 활용하여 모델을 개발하였고, 국내에서 유통중인 백미 54점을 시증에서 구입하여 스펙트럼을 측정한 후 검증부로 활용하여 개발된 모델의 검증에 이용하였다. 판별분석은 400~2,500nm의 전파장 영역에서 원시 스펙트럼과 분할간격을 변화시킨 1차 및 2차 미분 스펙트럼을 이용하였다. 또한, 표준정규화와 다분산 보정으로 스펙트럼의 산란을 보정하였다.

모델의 개발 결과, 분할간격 2nm인 1차 미분 스펙트럼을 이용한 모델이 가장 우수하게 나타나 교정과 검증시 각각 96% 와 100 %의 판별율을 보여 주었다 (Table 4-9). 본 실험에 사용된 54점 유통백미의 쇄미 함량에 따른 육안에 의한 USDA등급은 주로 1, 2, 3 등급으로 나타났으며, 각 시료의 등급분포는 Table 4-9에 있다. 54점 시료의 fiber optic에 의해 확립된 판별식에서 대부분 백미는 3등급으로 판별되었다. 즉, 표준시료를 사용한 판별은 거의 완벽하게 수행되었으나, 유통되는 쌀은 복백립등 여러가지 복합적인 변수가 존재하는데, 이 system으로는 쇄미이외의 변수를 무시한 쇄립에 의한 차이 판별율은 낮은 것으로 판단되었다. 일반 유통미와 같은 여러 가지 변수를 지닌 표준 등급시료에 의한 판별식의 구축에 의해서 이러한 오차는 쉽게 해결될 수 있을 것으로 판단된다.

Table 4-9 Fiber optic에 의한 등급판별

	판별된 등급		
	1등급	2등급	3등급
Calibration			
시료 1등급 (130점)	129	0	0
2등급 (130점)	1	128	10
3등급 (130점)	0	2	120
Validation			
시료 1등급 (130점)	130	0	0
2등급 (130점)	0	130	0
3등급 (130점)	0	0	130
54점 유통시료	0	4	50

· 판별조건 : Math treatment 1st derivative(gap size 2nm)
 Scatter Correction NONE
 Wavelengths 400-2500nm

제 5 장 광학적 특성을 이용한 현미 및 백미의 품위 판별

제 1 절 기술현황

최근 전기 및 전자 산업의 발달로 농산물의 품질검사 분야에 가시광선/근적외선을 이용한 연구가 다양하게 수행되고 있다. 그러나, 가시광선/근적외선을 이용한 현미 및 백미의 품위판정에 관한 연구는 대부분 가시광선만이 이용되었으며, 근적외선의 특성을 고려한 연구는 매우 적다. 일본에서는 佐竹隆顯 등(1992)이 가시광선을 이용하여 신경회로망으로 현미의 품위 판정 모델과 품질판정시스템을 개발하였으며, 국내에서는 노 등(1997)이 기계시각을 이용하여 현미의 개체별 품위 판별 알고리즘을 개발하였다. 따라서, 본 연구는 가시광선/근적외선을 이용한 단립 현미 및 백미의 광학적 특성을 분석하고 쌀의 품위 판정용 모델 개발을 위한 기초 자료를 제공하기 위하여 수행하였다.

제 2 절 재료 및 방법

1. 공시재료

국립농산물검사소의 검사기준에 의거하여 외관상태에 따라 현미 시

료를 정상립, 찰현미, 병충립, 비정상립, 다미, 동할립, 백미숙립, 청미숙립, 백사미, 청사미로, 백미를 정립, 찹쌀, 분상질립, 피해립 및 착색정도에 따라 4단계로 구분하였다.

2. 색도 및 가시광선/근적외선 스펙트럼 측정

선별된 시료는 색채색차계(CR-300, Minolta Co., Japan)를 이용하여 색도(L, a, b)를 측정하고, 식 (1)을 이용하여 색도차(ΔE)를 계산하였다.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \dots\dots\dots (5-1)$$

여기서, ΔL , Δa , Δb : difference in L, a, and b values between the specimen color and target color

색도 측정이 끝난 시료는 근적외선 분광분석기(NIRSystems, Model 6500, Silver Spring, USA)에 수평시료대를 부착하여 가시광선/근적외선 영역에서 반사 스펙트럼을 측정하였다. 본 연구에 이용된 근적외선 분광분석기는 회절격자형으로 400~2500nm의 파장범위에서 2nm간격으로 반사 및 투과 스펙트럼을 측정할 수 있으며, 파장의 정밀도는 $\pm 0.3\text{nm}$ 이며, 시료의 상태와 종류에 따라 각각 다른 모듈을 설치하여 측정할 수 있다. 스펙트럼의 측정 시 시료의 자세와 위치를 일정하게 유지하기 위하여 별도의 시료대를 제작하여 부착하였다.

색채색차계로 측정된 색도와 색도차를 이용하여 각 품위별 특성을

비교·분석하였다. 통계 프로그램 SAS를 이용하여 품위별로 Duncan test의 다중범위검증을 실행하였다. 또한 각 품위별 반사 스펙트럼의 흡광도를 이용하여 판별분석을 실시하고 판별분석용 모델을 개발하였다.

3. 판별분석

스펙트럼과 시료 성분간의 관계를 구명하는 계량분석화학(Chemometrics)에 이용되는 판별분석법(discriminant analysis)은 각 집단(group)의 표본 변량값으로부터 개체가 어느 집단에 속하는가를 판별하는 방법이다. 서로 다른 두 집단의 스펙트럼을 비교하여 하나의 판별분석용 모델을 개발한 후, 미지의 스펙트럼이 어느 집단에 속하는지 판단한다. 따라서 판별분석용 모델의 개발을 위하여 각 집단의 스펙트럼으로부터 집단을 대표하는 하나의 표준 스펙트럼(ideal spectrum)을 만든다. 이 때 만들어진 표준 스펙트럼은 각 집단을 가장 잘 나타낼 수 있는 몇 개의 부분 파장영역(팩터의 수)으로 구성하고, 팩터의 수와 같은 축을 지닌 미지의 공간에서 표준 스펙트럼의 좌표를 결정하여 모델을 구성한다. 개발된 모델로서 미지의 스펙트럼을 판별할 때는 미지의 스펙트럼이 속하는 좌표를 구하고, 각 집단을 대표하는 표준 스펙트럼으로부터의 거리를 계산하여 미지의 스펙트럼이 포함되는 집단을 결정한다. 이러한 분광분석법에서의 판별분석은 주로 품종분류에 이용(Delwiche 등, 1996)되고 있다.

본 연구에서는 현미 및 백미의 품위별 스펙트럼을 이용하여 품위별 판별분석을 실시하고 모델을 개발하였다. 품위별로 현미는 10개, 백미는 8개의 집단으로 분류하였으며, 각 집단별로 20개 시료의 스펙트럼을 측정하였다. 각 집단별 스펙트럼 20개중에서 교정부의 15개 스펙트럼으로 표준

스펙트럼을 구하여 모델을 개발하였고, 각 집단별 검증부의 5개 스펙트럼으로 개발된 모델을 검증하였다. 검증부의 각 스펙트럼이 속한 집단은 미지의 스펙트럼과 각 집단의 표준 스펙트럼까지의 공간상의 거리를 계산하여 가장 가까운 집단으로 결정되었다.

관별분석용 모델의 수학적 처리 및 산란보정방법은 예비분석을 통하여 결정하였고, 각 품위 집단별로 스펙트럼을 교차 검증하여 관별분석에 적합한 팩터의 수를 탐색하였다. 적정 팩터의 수는 교정부의 결과에서 오판된 시료의 수가 최소인 것을 선택하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 현미의 외형적 특성

본 연구에서는 현미의 품위에 따라 국립농산물검사소의 검사규격에 의하여 완전립, 찰현미, 피해립, 동할립, 미숙립, 사미의 6가지로 선별하고, 피해립은 병충해립, 기형립, 다미로 분류하였으며, 미숙립은 백미숙립과 청미숙립으로, 사미는 백사미와 청사미로 각각 분류하였다. 미숙립과 사미의 차이는 육안으로 시료를 관찰하여 광택이 있는 것은 미숙립으로, 광택이 없는 것은 사미로 분류하였다. 특히 벼의 숙성과정에서 장애를 받아 완전히 숙성되지 않은 백미숙립에는 50%이상의 백색 반점이 있는 복백립과 심백립이 포함되도록 하였다. 이러한 백미숙립은 현미 전체에 걸쳐 백색을 띄어 찰현미와 유사한 경향을 나타내었다. 따라서 본 연구에 이용된 현미의 품위별 시료는 완전립을 포함하여 모두 10가지로 분류하였으며, 선별된 시료는 국립농산물검사소에서 재선별하여 시료의 공정성을 기하였다.

본 연구에서 선별된 현미의 외형에 따른 종류, 시료의 수 및 각 시료의 색도지수인 명도(Lightness, L), 적색도(Redness, a), 황색도(Yellowness, b)와 색도차(Color difference, ΔE)의 값은 Table 5-1과 같다. 전체 시료중 L값이 가장 높은 것은 백사미로 나타났으며, 동할립, 백미숙립 및 찰현미의 L값은 유사하게 나타났고, 다미의 L값이 가장 작게 나타났다. a값은 다미가 가장 높았으며, 청미숙립과 청사미가 가장 작은 것으로 나타났다. 또한, 정상립, 동할립, 백미숙립, 백사미 및 찰현미는 유사한 값을 나타내었다. b값은 완전립이 가장 높았으며, 병충해립에서 가장 낮게 나타났고 동할립, 백미숙립 및 찰현미가 유사한 값을 나타내었다.

Table 5-1 Simple statistical values of brown rice

Variety	No. of samples	Lightness(L)			Redness(a)			Yellowness(b)			Color diff.(ΔE)		
		max.	min.	mean	max.	min.	mean	max.	min.	mean	max.	min.	mean
Normal	20	90.61	88.29	90.01	0.99	0.09	0.41	11.51	9.50	10.12	12.95	9.87	10.74
Damaged													
pecked	20	89.66	83.17	86.05	1.71	0.34	1.11	8.40	4.83	7.18	14.88	8.48	12.21
abnormal	20	91.28	87.40	89.53	1.31	0.05	0.82	9.68	6.83	7.94	11.77	6.83	7.94
red	20	82.33	78.49	80.51	4.24	2.05	3.30	7.74	4.29	5.57	19.16	15.26	17.18
Crack	20	91.57	88.72	90.44	0.81	-0.11	0.22	11.16	8.63	9.73	12.01	8.66	10.16
Immature													
white	20	91.52	89.42	90.67	0.67	-0.54	0.34	10.68	8.80	9.73	11.36	8.82	10.03
greenish	20	90.66	87.86	88.85	-0.64	-2.25	-1.58	9.59	7.58	8.77	11.90	9.21	10.73
Dead													
white	20	92.31	89.91	91.13	0.57	0.04	0.31	10.65	8.10	9.34	11.18	8.15	9.43
greenish	20	91.01	88.05	89.52	-0.89	-2.37	-1.54	10.19	7.76	8.85	11.84	8.45	10.29
Waxy	20	91.32	89.61	90.43	1.01	0.10	0.51	10.91	8.09	9.53	11.60	8.85	10.04

Table 5-1에서와 같이 찰현미, 동할립, 백미숙립 및 백사미의 경우는 정상립과 전체적으로 차이가 없었으며, 이것은 현미의 품위가 외관 색체에 많은 영향을 받는 것에 따른 것으로 판단되었다. 미숙립과 사미는 외부에서 나타나는 광택의 정도로서 선별하지만 청미숙립과 청사미는 색도의 차이가 없는 것으로 나타나 가시광선을 이용하여 선별할 수 없을 것으로 사료된다. 이러한 결과는 Duncan test의 결과에서도 알 수 있었으며, L, a, b 및 ΔE 값을 이용한 Duncan test의 결과는 Table 5-2와 같다.

Table 5-2 Results of Duncan test for various brown rice

Variety	Intensity Lightness (L)	Redness (a)	Yellowness(b)	color diff. (ΔE)
Normal	90.01 ^{CD}	0.41 ^{DE}	10.12 ^A	10.74 ^C
Damaged				
pecked	86.05 ^F	1.11 ^B	7.18 ^E	12.21 ^B
abnormal	89.53 ^D	0.82 ^C	7.94 ^D	7.94 ^{DE}
red	80.51 ^G	3.30 ^A	5.57 ^F	17.18 ^A
Crack	90.44 ^{BC}	0.22 ^E	9.73 ^{AB}	10.16 ^{CD}
Immature				
white	90.67 ^{AB}	0.34 ^{DE}	9.73 ^{AB}	10.03 ^{CDE}
greenish	88.85 ^E	-1.58 ^F	8.77 ^C	10.73 ^C
Dead				
white	91.13 ^A	0.31 ^{DE}	9.34 ^B	9.43 ^E
greenish	89.52 ^D	-1.54 ^F	8.85 ^C	10.29 ^{CD}
Waxy	90.43 ^{BC}	0.51 ^D	9.53 ^B	10.04 ^{CDE}

Values with different superscript are different at $\alpha=0.05$ level by Duncan's multiple range test

위에서 이용된 시료를 이용하여 현미의 품위별 분광반사 특성을 분석하기 위하여 근적외선 분광분석기에 단립의 스펙트럼 측정용 시료대를 부착하여 400~2500nm영역에서 흡광도를 측정하였다. 현미의 상태별 흡광도는 Fig. 5-1과 Fig. 5-2와 같다. 정상립, 찰현미, 다미, 백미숙립, 동할립의 흡광도는 Fig. 5-1과 같으며, Fig. 5-2에는 정상립에 대한 병충해립과 청사미 및 청미숙립의 흡광도를 나타내었다. Fig. 5-1과 Fig. 5-2에서와 같이 현미의 흡광도는 1100nm를 기준으로 400~750nm까지는 외부상태에 따라 흡광도가 변하였으며, 1100~2500nm에서는 화학성분에 따라서 흡광도의 차이가 나타남을 알 수 있었다.

정상립과 동할립은 전 파장영역에 걸쳐 같은 형상의 스펙트럼을 보였으며, 동할립에 비하여 정상립의 흡광도가 높게 나타났다. 청사미와 청미숙립은 가시광선과 근적외선 영역에서 흡광도의 형상이 유사한 경향을 나타내었으나, 청미숙립의 흡광도가 높게 나타났다. 또한, 청사미와 청미숙립은 엽록소 흡수대역인 675nm에서 흡광도의 피크를 나타내었다. 찰현미와 백미숙립은 외부 색이 유사하므로 400~1098nm영역에서 흡광도가 같은 것으로 나타났다. 그러나 1100nm 이상의 근적외선 영역에서는 흡광도의 차이가 발생하여 내부 성분의 차이가 나타남을 알 수 있었다. 다미는 표면 색이 붉은 색을 띠므로 600nm 이후의 가시광선 영역에서 흡광도가 급격하게 감소하였다. 병충해립은 400~600nm영역에서 정상립과 유사한 스펙트럼을 나타내었으나, 600~900nm 영역에서는 흡광도가 급격하게 감소하였다. 1100nm 이상의 근적외선 영역에서는 정상립과 같은 형상의 스펙트럼을 나타내었으며, 정상립에 비하여 흡광도가 작게 나타났다.

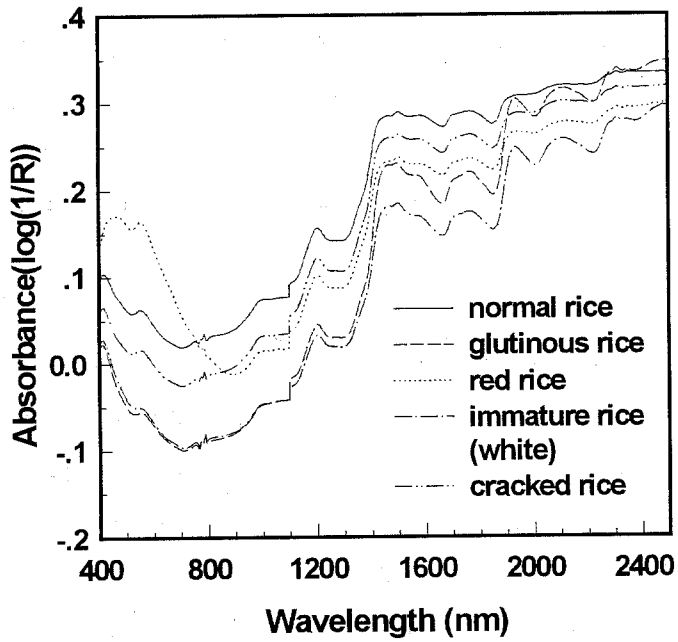


Fig. 5-1 Spectra for various brown rice.

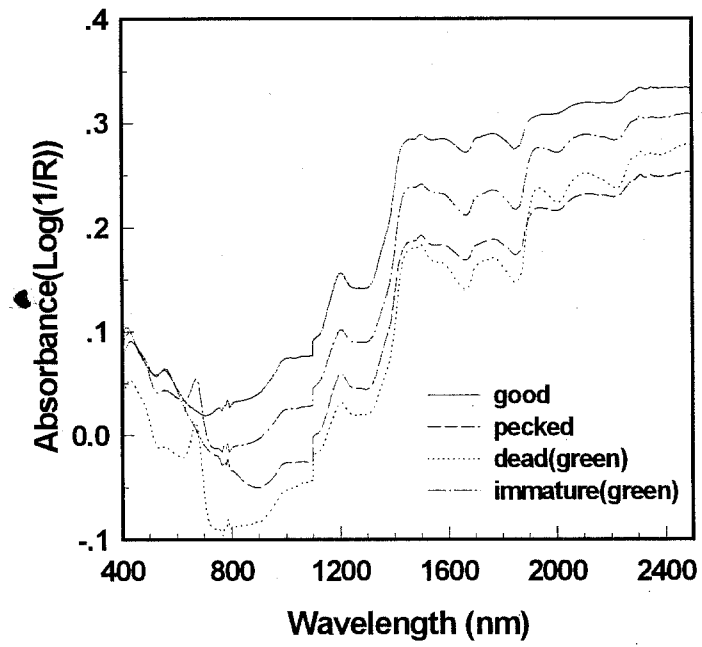


Fig. 5-2 Spectra for Brown rice(green).

현미의 품위별 분류를 위하여 가시광선 및 근적외선 영역의 스펙트럼을 이용하여 판별분석을 실시하였다. 각 품위별 스펙트럼 중에서 15개씩을 임의 추출하여 총 150개의 스펙트럼을 교정부로 활용하여 모델을 개발하였고, 나머지 50개의 스펙트럼은 검증부로서 개발된 모델의 검증에 이용하였다. 현미의 품위별 판별분석 결과는 Table 5-3과 같다. 판별분석에 이용된 스펙트럼은 400~2500nm의 전파장 영역, 가시광선과 근적외선 영역의 일부를 포함하는 400~1100nm 및 근적외선 영역인 1100~2500nm의 3부분으로 분리하였다. 이것은 실험에 이용된 근적외선 분광분석기의 감지부가 1100nm를 기준으로 가시광선용과 근적외선용으로 분리되므로 1100nm를 기준으로 가시광선 영역과 근적외선 영역의 스펙트럼으로 분리하였다.

Table 5-3 Results of discriminant analysis for various brown rice by raw spectrum

Wavelength (nm)	Calibration			Validation		
	n	error	accuracy (%)	n	error	accuracy (%)
400~1100	150	15	90.0	50	6	88.0
1100~2500	150	24	84.0	50	16	68.0
400~2500	150	7	95.3	50	4	92.0

400~1100nm의 파장영역을 이용한 모델은 교정부에서는 90%의 판별율을 보였으나, 검증부의 결과에서는 88%의 판별율을 보였다. 특히 백미숙립은 찰현미, 백사미 및 동할립으로 오판되었다. 또한, 정상립은 찰현미로, 백사미는 백미숙립으로 오판하였다. 1100~2500nm의 파장을 이용한 모델은 교정부의 검증부의 결과가 각각 84%, 68%로 나타나 모델로 사용할 수 없었다.

Table 5-3에서와 같이 400~2500nm의 전파장 영역을 이용한 모델은 교정부의 판별율은 95.3%였으며, 50개의 검증부로 검증한 결과는 92.0%의 판별율로 다른 모델보다 우수하게 나타났다. 정상립, 찰현미, 피해립 및 다미는 모두 정확하게 판별하였으나, 동할립, 청사미 및 백사미중 일부는 다른 시료로 판단하여 오차로 나타났다. 검증부의 판별 결과에서 청사미 5개의 스펙트럼중 1개를 청미숙립으로, 백사미 5개의 스펙트럼중 1개를 백미숙립으로 오인하였으며, 동할립 4개의 판별에서는 2개를 정상립으로 오인하였다. 청사미와 청미숙립, 백사미와 백미숙립은 서로 외부 색은 같고 광택의 유무로 판별하므로 시료의 선별시 발생한 오차가 검증부의 오차로 나타났다. 동할립을 정상립으로 판별한 것은 일부 금간 시료를 동할립의 스펙트럼을 판별에 이용하므로써 정상립과 오류를 일으킨 것으로 사료된다.

위의 결과에서와 같이 색도지수를 이용한 현미의 품위분석 결과는 완전립, 찰현미, 동할립, 백사미, 백미숙립이 혼돈되어 완전립과 비정상립의 판별이 불가능하였다. 그러나 가시광선/근적외선을 이용한 판별분석에서는 가시광선 및 근적외선 영역을 포함하는 400~2500nm의 전파장 영역에서 현미의 품위판정을 위한 판별분석용 모델을 개발한 결과, 검증부의 판별율이 92.0%로 높게 나타났다. 또한 찰현미, 백사미, 백미숙립을 정상립으로 판정하지 않아 색도지수를 이용한 판별결과와 대별되었다. 400~2500nm의 파장영역을 이용한 모델의 결과가 우수하였던 것은 가시광선 영역이 시료 외

관의 색에 의해, 근적외선 영역이 시료의 이화학적 특성과 물리적 특성에 의해 반사율의 차이가 나타나는 것에 기인하는 것으로 사료된다. 모델의 개발 결과, 수학적 처리 및 전처리를 하지 않은 원시 스펙트럼을 이용하는 것이 교정부 및 검증부의 결과가 우수하였으며, 수학적 처리와 전처리는 시료의 스펙트럼을 일정한 기준선으로 보정하여 모델 개발에 이용하므로 외형 특성의 분석에는 유용하지 않은 것으로 판단되었다.

2. 백미의 외형적 특성

국립농산물검사소의 검사규격에 의하여 백미를 외형에 따라 정립, 찹쌀, 분상질립, 피해립, 열손상립의 5가지로 선별하였고, 열손상립은 손상정도에 따라 다시 4단계로 분류하여 백미의 품위분석에는 총 8가지의 시료가 이용되었다. 분상질립은 백미 전체에 걸쳐 75%이상이 분상질 형태로 남아 있는 것을 선별하였으며, 피해립은 병충해를 입은 것과 백미의 표면이 일부 또는 전부 착색된 것을 이용하였다. 본 실험에서는 열손상립을 착색립과 분리하여 선별하였으며, 쇄미는 시료에서 제외하였다.

선별된 백미의 품위에 따른 종류, 시료의 수 및 각 시료의 색도지수인 명도(L), 적색도(a), 황색도(b)와 색도차인 ΔE 값은 Table 5-4와 같다. 전체 시료중 L값이 가장 높은 것은 분상질립이었으며 정립, 찹쌀의 L값과 유사하게 나타났다. a값은 열손상립에서 크게 나타났으며, 손상정도가 심할수록 증가함을 알 수 있었다. 열손상립중 정도가 가장 약한 시료의 경우 (slightly)는 피해립의 a값보다 작게 나타났다. 정립과 분상질립은 a값이 유사하게 나타났으며, 찹쌀의 a값이 가장 작은 것으로 나타났다. b값은 a값과 같이 열손상립에서 높게 나타났으며, 정립이 가장 작게 나타났다. 전체적인

색차를 나타내는 ΔE 값을 살펴보면 열손상립이 가장 크게 나타났고, 정립과 분상질립은 동일한 것으로 나타났다.

위의 분석 결과를 바탕으로 Duncan test를 실시한 결과, 전체적으로 정립, 찹쌀, 분상질립이 같은 수준으로, 병충해립과 열손상립 등은 다른 수준으로 나타나 백미는 가시광선 영역을 이용하여 정립으로부터 피해립과 열손상립 등은 선별할 수 있을 것으로 판단되었다.

백미의 품위별 L, a, b 및 ΔE 값을 이용하여 품위별 Duncan test를 실시하였으며, 그 결과는 Table 5-5와 같다. Table 5-5에서와 같이 정립, 찹쌀 및 분상질립은 L, a, b 및 ΔE 값으로 구별할 수 없었다. 따라서 가시광선 영역의 반사 스펙트럼으로는 정립, 찹쌀 및 분상질립을 선별할 수 없으므로 가시광선 영역의 투과 스펙트럼을 활용해야 할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 백미의 품위별 분광반사 특성을 분석하기 위하여 400~2,500nm영역에서 흡광도를 측정하였다. Fig. 5-3은 정립, 찹쌀, 분상질립, 피해립 및 착색립과 같은 백미의 품위별 흡광도를 나타낸다. Fig. 5-3에서와 같이 가시광선 영역에서는 정립과 찹쌀 및 분상질립의 스펙트럼은 유사한 형태를 나타내었다. 그러나, 흡광도는 찹쌀이 가장 낮았으며, 정립이 가장 높게 나타났다. 찹쌀은 시료 전체가 완전한 백색을 띠므로 반사율이 높게 나타났으며, 정립의 경우는 시료의 내외부가 투명하게 보이므로 가시광선 영역에서는 많은 빛이 투과된 것으로 사료된다. 분상질립은 내외부가 전체적으로 반투명하게 보이므로 가시광선 영역에서 정립과 찹쌀사이에서 스펙트럼이 나타난 것으로 판단되었다.

착색립은 가시광선 영역에서 가장 높은 흡광도를 나타내었으며, 정립과 뚜렷한 차이를 나타내었다. 이 결과는 백미의 품위별 L, a, b 및 ΔE 값을 이용한 Duncan test와 같이 나타났다. 피해립은 400~750nm영역에서 정립에 비하여 스펙트럼의 기울기가 급격하게 변화하였다.

Table 5-4 Simple statistical values of milled rice

Varieties	No. of samples	Lightness(L)			Redness(a)			Yellowness(b)			Color diff.(ΔE)		
		max.	min.	mean	max.	min.	mean	max.	min.	mean	max.	min.	mean
Normal	20	94.70	93.76	94.32	-0.50	-0.66	-0.57	5.59	4.36	4.93	4.88	3.40	4.03
Waxy	20	94.95	93.70	94.46	-0.54	-0.82	-0.67	6.74	4.55	5.75	5.69	3.34	4.61
Chalky	20	95.36	93.99	94.56	-0.35	-0.69	-0.55	6.13	4.11	5.12	5.01	2.74	4.02
Damaged	20	92.69	86.00	90.65	1.00	-0.09	0.34	10.07	5.35	6.23	11.87	5.47	7.12
Colored													
slightly	20	92.94	90.33	91.64	0.57	-0.79	-0.09	10.91	8.31	9.81	11.06	8.24	9.52
moderately	20	91.02	86.54	88.44	2.08	0.28	1.26	12.25	8.75	10.07	13.03	10.84	11.91
very much	20	90.64	86.31	89.08	2.70	0.60	1.53	13.59	9.40	11.85	14.79	11.22	12.82
extremely	20	88.53	84.22	86.65	3.43	1.97	2.70	12.89	8.72	10.62	15.16	11.88	13.82

Table 5-5 Results of Duncan test for various milled rice

Variety \ Intensity	Lightness (L)	Redness (a)	Yellowness (b)	Color Diff. (ΔE)
Normal	94.32 ^A	-0.57 ^F	4.93 ^E	4.03 ^F
Waxy	94.46 ^A	-0.67 ^F	5.75 ^D	4.61 ^F
Chalky	94.56 ^A	-0.55 ^F	5.12 ^E	4.02 ^F
Damaged	90.65 ^C	0.34 ^D	6.23 ^D	7.12 ^E
Colored				
slightly	91.64 ^B	-0.09 ^E	9.81 ^C	9.52 ^D
moderately	88.44 ^E	1.26 ^C	10.07 ^{BC}	11.91 ^C
very much	89.08 ^D	1.53 ^B	11.85 ^B	12.82 ^B
extremely	86.65 ^F	2.70 ^A	10.62 ^A	13.82 ^A

Values with different superscript are different at $\alpha=0.05$ level by Duncan's multiple range test

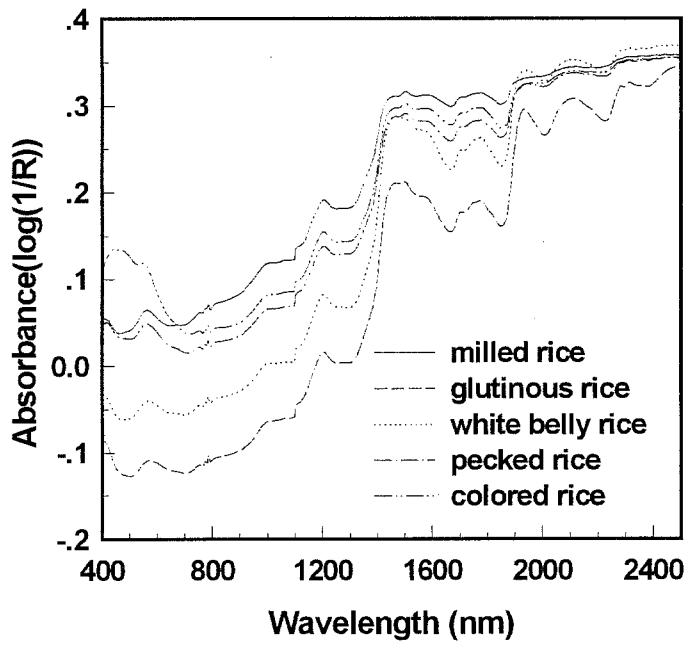


Fig. 5-3 Spectra for various milled rice.

1100nm이상의 근적외선 영역에서 정립, 피해립 및 착색립은 전체적으로 유사한 형태의 스펙트럼을 보여 주었다. 그러나, 찹쌀과 분상질립의 스펙트럼은 1400nm이상에서 산란이 심하게 나타났다.

백미의 착색립 중에서 열손상립을 4단계로 나누었을 때, 각 단계별 흡광도는 Fig. 5-4와 같다. Fig. 5-4와 같이 각 단계별 스펙트럼은 전과장에 걸쳐 유사한 형태로 나타났으나, 가시광선 영역에서는 열손상의 정도가 심할수록 흡광도가 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 열손상의 정도에 따라 시료의 표면색이 짙어져 반사율의 감소에 기인하는 것으로 판단되었다.

가시광선 및 근적외선 영역의 스펙트럼을 이용한 백미의 품위분석을 위하여 각 품위별 스펙트럼으로 판별분석을 실시하였다. 품위별 스펙트럼 160개중에서 각 품위별로 15개씩의 스펙트럼을 임의 추출하여 총 120개의 스펙트럼을 교정부로 활용하여 모델을 개발하였고, 나머지 40개의 스펙트럼은 검증부로서 개발된 모델의 검증에 이용하였다. 판별분석에 이용된 과장영역은 현미의 판별분석에 이용된 것과 같은 방법으로 분리하였다. 백미의 품위별 판별분석 결과는 Table 5-6과 같다.

Table 5-6에서와 같이 근적외선 영역인 1100~2500nm의 과장을 이용한 모델은 교정부와 검증부의 판별 결과가 각각 70.8%, 55.0%로 낮게 나타나 모델로 사용할 수 없었으나, 정립 및 찹쌀은 정확하게 판별하였다. 교정부의 판별율은 400~2500nm의 과장 영역을 이용한 모델이 92.5%로 가장 높게 나타났으나, 검증부의 판별율이 87.5%로서 약간 낮게 나타났다.

400~1100nm의 과장영역을 이용한 모델은 교정부의 판별율이 87.5%로 낮게 나타났으나, 검증부의 판별율은 92.5%로 다른 모델보다 높게 나타났다. 특히 정립, 찹쌀은 정확히 판별하였으며, 착색립중에서 중간 착색립을 제외한 나머지도 정확히 판별하였다. 이 모델에서 잘못 판단된 것을 살펴보면, 분상질립중 분상정도가 아주 심한 것을 찹쌀로 오인하였으

며, 병충해립중 백미의 대부분에 약하게 병해를 입은 것을 정상립으로 오인하였다. 또한, 중간 착색립(moderately colored rice)을 매우 강한 착색립(extremely colored rice)으로 판별하였다. 이것은 중간 착색립의 일부가 강하게 착색되어 가시광선 영역에서 흡광도가 감소하였으며, 이 영향으로 매우 강한 착색립으로 오인한 것으로 판단되었다. 그러나, 이 모델은 검증부의 판별율은 높았으나, 비정상립을 정상립으로 오인한 것이 있어서 판별 분석용 모델로는 부적합하였다.

400~2500nm의 파장영역을 이용한 모델은 교정부의 판별 결과는 9개를 오인하여 92.5%의 높은 판별율을 나타내었다. 40개의 검증부로 검증한 결과는 정상립, 찹쌀, 병충해립, 일부 착색립 등은 정확하게 판별하였으나, 모두 5개의 시료를 오인하여 87.5%의 판별율을 나타내었다. 이 모델에서 판별율이 낮게 나타난 것은 검증에 사용된 시료의 수가 부족하여 나타난 것으로 400~1100nm를 이용한 모델처럼 병충해립을 정상립으로 오인한 것은 없었다. 400~2500nm를 이용한 모델에서 잘못 판정한 5개의 시료는 분상질립을 찹쌀로 오인한 것이 1개, 중간 착색립을 약한 착색립(slightly colored rice)으로 오인한 것이 2개, 매우 강한 착색립을 강한 착색립(very much colored rice)으로 오인한 것이 2개로 비정상립을 비정상립으로 판별한 것이었다.

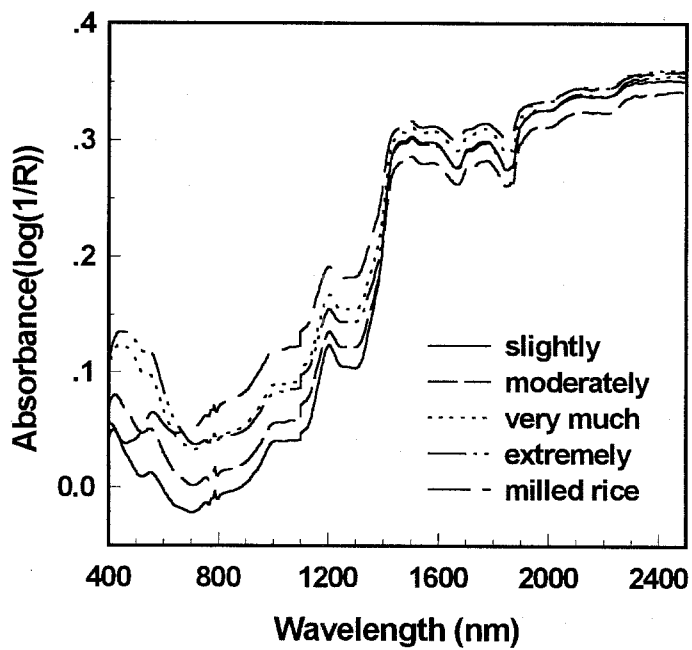


Fig. 5-4 Spectra for heat damaged milled rice.

Table 5-6 Results of discriminant analysis for various white rice by raw spectrum

Wavelength (nm)	Calibration			Validation		
	n	error	accuracy (%)	n	error	accuracy (%)
400~1100	120	15	87.5	40	3	92.5
1100~2500	120	35	70.8	40	18	55.0
400~2500	120	9	92.5	40	5	87.5

따라서, 백미의 품위분석을 위하여 판별분석용 모델을 개발한 결과, 색도지수를 이용한 Duncan test에서는 판별이 불가능하였던 정상립, 찹쌀, 분상질립의 판별이 가능하였다. 특히, 백미의 품위판정에 유의한 파장은 현미의 경우와 마찬가지로 400~2500nm였으며, 이 파장 영역에서 판별분석용 모델을 개발하는 것이 우수한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단되었다. 또한, 백미의 판별분석용 모델은 현미의 경우와 같이 수학적 처리 및 전처리를 하지 않은 원시 스펙트럼을 이용하는 것이 교정부 및 검증부의 결과가 우수하였다.

위에서 개발된 가시광선/근적외선을 이용한 현미 및 백미의 품위판정용 모델은 스펙트럼 수가 부족하여 모델의 개발 및 검증과정에서 판별을

이 낮게 나타났으나, 스펙트럼을 이용한 관별분석으로 현미 및 백미의 품위 판정이 가능함을 알 수 있었다. 따라서 교정부와 검증부의 스펙트럼 수를 충분히 확보하면 현미와 백미의 품위판별율이 증가하여 가시광선/근적외선을 이용한 현미와 백미의 품위판정이 가능할 것으로 사료된다.

제 6 장 근적외선 분광분석법을 이용한 쌀의 정백수율 측정

제 1 절 기술현황

곡물의 가공, 저장 및 유통과정에서의 손실을 방지하기 위한 연구는 곡물의 생산 못지 않게 중요하게 취급되고 있다. 특히 주식인 쌀의 경우, 도정과정에서 곡물의 양적, 질적 손실을 절감할 수 있는 도정과정의 자동화가 절실하게 요구되고 있다.

이를 위해서는 정백수율에 대한 신속하고 객관적인 측정 방법의 개발이 필요하다. 국내에서의 정백수율 판정은 대부분 경험에 의한 주관적 판단에 의존하고 있으나, 일본의 경우, 일본정미공업회(재)에서는 반드시 백도계(whiteness tester)와 수분계 등을 사용하여 품질 측정을 하도록 규정하고 있고, 우리나라에서도 농협이나 증소형 도정공장에서 품질 측정을 위하여 백도계의 사용이 활발하다. 백도계는 가시광선 영역에서의 특정 파장에 의한 도정된 쌀 표면의 반사율을 측정하여 백도로 나타내며 이를 정백수율로 환산할 수 있다. 그러나 단순히 쌀 표면의 색상을 측정하여 나타내므로 정백수율을 표현하는 참고 자료로는 활용할 수 있으나, 동일 정백수율에서도 산지 및 품종에 따른 백도의 차이가 다소 있으므로 단순히 백도를 이용한 정백수율의 측정은 적합하지 않은 것으로 판단된다. 미국의 일부 대형 도정공장에서는 근적외선 분광분석기를 이용하여 지방함량을 측정함으로써 정백수율을 측정하고 있다.

정백수율을 측정하기 위한 연구는 오래 전부터 많은 연구자들이

관심을 가지고 연구를 수행하였다. 초기에는 시약을 이용하여 지방함량을 측정하거나 백미의 색을 측정하여 정백수율을 결정하고자 하였다. 1960년대 이후 분광분석법이 보급되면서부터 반사 및 투과 스펙트럼을 이용한 정백수율 측정에 관한 연구가 수행되었다. Stermer 등(1977)은 백미의 투과율과 지방함량의 비가 밀접한 관계가 있다는 것을 밝혔으나, 투과율은 산물 밀도 등의 영향을 받을 것으로 판단하여 반사율을 측정하여 도정도를 측정하였다. Marshall 등(1993)은 근적외선(1100~2500nm)을 이용하여 도정도(Degree of Milling) 측정을 위하여 다중회귀분석법과 부분최소자승법을 이용하여 모델을 개발하였다. 다중회귀 모델에서는 2차 미분 스펙트럼을 정규화 하여 1220, 1640, 1720, 2060, 2120nm 등 5개의 파장을 사용하였으며, 부분최소자승법에서는 2차 미분 스펙트럼을 정규화하여 1100-2500nm 전 영역의 파장을 이용하여 분석하였다. Marshall 등(1993)에 의하면 도정도의 측정은 부분최소자승법을 이용하는 것이 유리하지만 근적외선 분광분석기의 가격이 고가이므로 필터형의 측정장비를 이용하여 다중회귀분석에서 개발된 모델을 적용하는 것이 바람직하다고 하였다. 또한, 근적외선 영역뿐만 아니라 가시광선 영역을 포함하여 스펙트럼을 측정한 후 분석하는 것이 모델의 적합성을 높일 수 있을 것으로 측정하였다. 국내에서 근적외선을 이용한 쌀의 도정도 측정에 관한 연구는 전무한 실정이며, 노 등(1990)이 가시광선 영역에서 정백미의 백도 측정에 관한 연구가 보고된 바 있다. 노 등은 정백도에 따른 반사율의 차이는 420-500 nm에서 가장 크게 나타났다고 보고하였다. 또한, 현미 및 백미의 백도는 품종에 따라 차이가 있었고, 수분함량은 백도에 영향을 미치지 않는 것으로 보고하였다.

따라서, 본 연구는 가시광선/근적외선 영역(400-2500nm)을 이용하여 쌀의 정백수율을 판정함에 있어서 사람의 시각과 백도계가 사용하고 있는 가시광선은 물론 쌀 표면의 이화학적 특성 측정이 가능한 근적외선 영

역을 사용하여 반사 및 투과특성을 분석함으로써 비파괴적 방법으로 현장에서 신속하게 정백수율을 측정할 수 있는 방법을 개발하기 위하여 수행하였다.

제 2 절 재료 및 방법

1. 재료

공시재료는 농촌진흥청 산하의 도진홍원에서 재배한 1995년산 벼로서 1996년 2월에 구입하였다. 각 지역별로 선택된 품종은 동진(충남, 경북, 경남, 전북), 화성(강원, 전남, 경북, 경기), 일품(경북, 충남, 충북, 경기)등으로 모두 12개의 재료를 이용하였다. 시료의 장기 보관을 위하여 진공포장용 비닐 팩으로 밀봉한 후 4℃의 저온저장고에 보관하였으며, 벼의 제현시에는 비닐 팩에 넣은 상태로 상온에서 24시간 동안 노출시켜 곡물의 온도를 상온에 도달하도록 하였다.

2. 정백수율별 시료 제조

벼는 제현기(Satake, THU 35A, Japan)를 사용하여 왕겨를 제거한 후 1.7mm 줄체와 쉼미 정선기(Satake, TRCO5A, Japan)를 사용하여 미숙립과 쉼미를 제거하므로써 정립의 현미를 선별하였다. 선별된 현미는 시험용 도정기(Toyo Tester Miller, MC-90A, Japan)를 이용하여 정백수율 94%-86%까지 0.5%-1%내외의 간격으로 도정을 실시한 후 무게를 측정하였다. 정백수율은 도정전 현미의 중량과 도정후 백미의 중량의 비로서 나타낼 수 있으므로 다음 식과 같이 계산하였다.

$$\text{정백수율(Milling ratio)} = \frac{\text{도정 후 백미의 중량(g)}}{\text{현미의 중량(g)}} \times 100 \dots\dots\dots(6-1)$$

3. 근적외선 분광광도계

백미의 정백수율별 흡광 스펙트럼의 측정은 근적외선 분광광도계 (NIRSystems, Model 6500, Silver Spring, U.S.A.)를 이용하였다. 근적외선 분광광도계는 반사도 및 투과도를 측정할 수 있으며, 시료의 종류에 따라 각각 다른 모듈을 설치하여 측정할 수 있다. 본 연구에서는 백미의 정백수율별 투과 및 반사스펙트럼을 측정하기 위하여 시료이송장치(Sample Transport Module, NIRSystems, NR-6511, USA)를 근적외선 분광광도계에 부착하여 측정하였다. 시료이송장치는 넓은 면적의 스펙트럼을 측정할 수 있으므로 시료채취시의 오차를 줄이고 다량의 시료로 대표성이 향상되며 시료의 천처리에서 발생하는 오차를 줄일 수 있다. 특히, 투과 스펙트럼 측정 시 시료의 밀도를 일정하게 하기 위하여 120g의 시료를 일정 높이에서 자유낙하시켜 시료이송장치에 투입하였다.

12개의 공시재료 각각에 대하여 정백수율별로 10-20개의 시료를 선정하므로써 총 149개의 시료를 이용하여 스펙트럼을 측정하였다. 스펙트럼의 측정범위는 400-2500nm였으며, 반사 스펙트럼과 투과스펙트럼을 각각 149개씩 측정하였다.

4. 정백수율 측정모델 개발 방법

스펙트럼을 이용한 정백수율 측정 모델을 개발하기 위하여 149개의 스펙트럼은 교정부 92개와 검증부 57개로 분류하였으며, 교정부의 스펙트럼은 모델의 개발단계에서 반복하여 사용되었고 검증부는 측정모델의 최종평가에 사용되었다.

정백수를 측정모델은 다중회귀분석법(Multiple Linear Regression; MLR), 부분최소자승법(Partial Least Square method; PLS), 신경회로망기법(Artificial Neural Network; ANN)을 이용하여 개발하였다. MLR과 ANN 모델 개발은 NSAS 4.0(NIRSystems, Silver Spring, U.S.A.)을 사용하였으며, PLS모델은 상용 프로그램인 GRAMS/32(Galactic Industries, Salem, USA)를 사용하였다.

각 모델은 교정부의 표준오차(Standard Error of Calibration, SEC), 검증부의 표준오차(Standard Error of Prediction, SEP), Bias를 이용하여 모델의 측정성능을 분석하였다. 또한 PLS 모델에서는 PRESS값을 이용하여 최적 팩터를 결정하였다. SEC, SEP, Bias, PRESS는 다음 식과 같은 방법으로 구하였다.

$$SEC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{k_i} - Y_{p_i})^2}{n - f - 1}} \dots\dots\dots(6-2)$$

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{k_i} - Y_{p_i})^2}{n}} \dots\dots\dots(6-3)$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{k_i} - Y_{p_i})}{n} \dots\dots\dots(6-4)$$

$$PRESS = \sum_{i=1}^n (Y_{k_i} - Y_{p_i})^2$$

여기서, n : 총 스펙트럼 수

Y_{k_i} : 실측치

Y_{p_i} : 측정치

f : 모델에 사용된 변수의 수

각 모델의 개발에는 원시스펙트럼(raw spectrum)과 gap과 평활화 간격을 변화시킨 1차 및 2차 미분 스펙트럼(1st & 2nd derivative spectrum)이 사용되었으며, 이들 스펙트럼은 빛의 산란효과를 제거하기 위하여 다분산보정(Multiplicative Scatter Correction; MSC)과 표준정규화(Standard Normal Variate and Detrending)를 적용시킨 전처리 스펙트럼과 전처리를 실시하지 않은 스펙트럼으로 분리하여 분석하였다.

5. 다중회귀 모델의 결정조건

다중회귀 모델은 step-up, stepwise 두 가지 방법으로 모델을 개발하였으며, 최대 6개의 과장을 선택할 수 있도록 설정하였다. 이때, 최적의 모델은 실측치와 측정치 사이의 결정계수(R^2)가 높고, 교정부의 표준오차가 낮으며, 최소의 과장을 가진 모델로 결정한 후 검증부를 이용하여 검증하여 측정치의 표준오차와 Bias가 낮은 모델을 최종적인 모델로 결정하였다.

6. PLS모델의 결정조건

PLS 모델의 적정 팩터 수는 PRESS(Prediction Residual Error Sum of Squares)의 수치를 이용하여 결정하였다. 이 때, PRESS값이 수렴하고 F-test의 결과가 0.75미만의 값을 나타내는 최초의 팩터를 최적팩터로 결정하였다. 개발된 모델은 검증부의 측정에 적용하여 측정치의 표준오차(SEP)를 이용하여 분석하였다.

7. ANN모델의 결정조건

가시광선/근적외선 스펙트럼을 이용한 정량 및 정성분석은 비선형 문제로 해석할 수 있으며, 이러한 비선형문제는 신경회로망기법을 이용함으로써 보다 우수한 모델을 개발할 수 있다. 본 연구에서는 많은 신경회로망기법중 오차역전달회로망(Back propagation network)을 이용하였으며, 하나의 은닉층(hidden layer)을 두었고, 입력층(input layer)은 흡광 스펙트럼, 출력층(output layer)은 정백수율로 결정하였다. 스펙트럼의 학습시 입력층과 출력층의 전달함수는 시그모이드함수를 사용하였으며, 시그모이드 함수의 전달율은 0.25, 학습율(learning rate)은 0.2, 모멘텀(momentum)은 0.3으로 하였다. 또한, ANN 모델은 PLS 분석 결과를 이용하여 개발하였다. PLS 모델에서 파장영역, 수처리방법, 산란보정방법등을 결정한 후 교정부의 전 스펙트럼을 PLS 분석하였으며, 그 결과를 학습시켜 ANN 모델을 개발하였다. 개발된 모델은 검증부의 측정에 적용하여 측정치의 표준오차, Bias 등을 분석하여 최적의 모델을 결정하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 백미의 정백수율별 스펙트럼

본 연구에 이용된 시료는 현미의 정백수율을 100%로 하였을 때, 백미의 정백수율은 86.0-94.9%로서 약 0.5%간격으로 도정을 실시한 후 반사 및 투과 스펙트럼을 측정하였다. 반사 및 투과 스펙트럼은 가시광선/근적외선 영역이 포함된 400-2500nm 영역에서 2nm간격으로 측정하였다. 그러나 투과 스펙트럼의 경우 600-1400nm 이외의 파장에서는 시스템 감지부의 특성으로 나타나는 잡음이 많아 분석시 사용하지 않았다.

정백수율별 원시 스펙트럼을 분석한 결과 가시광선영역에서는 현미의 흡광도($\log(1/R)$)가 가장 높게 나타났으며, 정백수율이 감소할수록 흡광도는 감소하였다. 근적외선 영역에서는 현미의 흡광도가 가장 낮았으며, 백미의 경우에는 정백수율에 따라 유사한 흡광도를 나타내었다. Fig. 6-1은 백미의 정백수율별 원시, 1차 및 2차 미분한 반사 스펙트럼을 나타내고 있다.

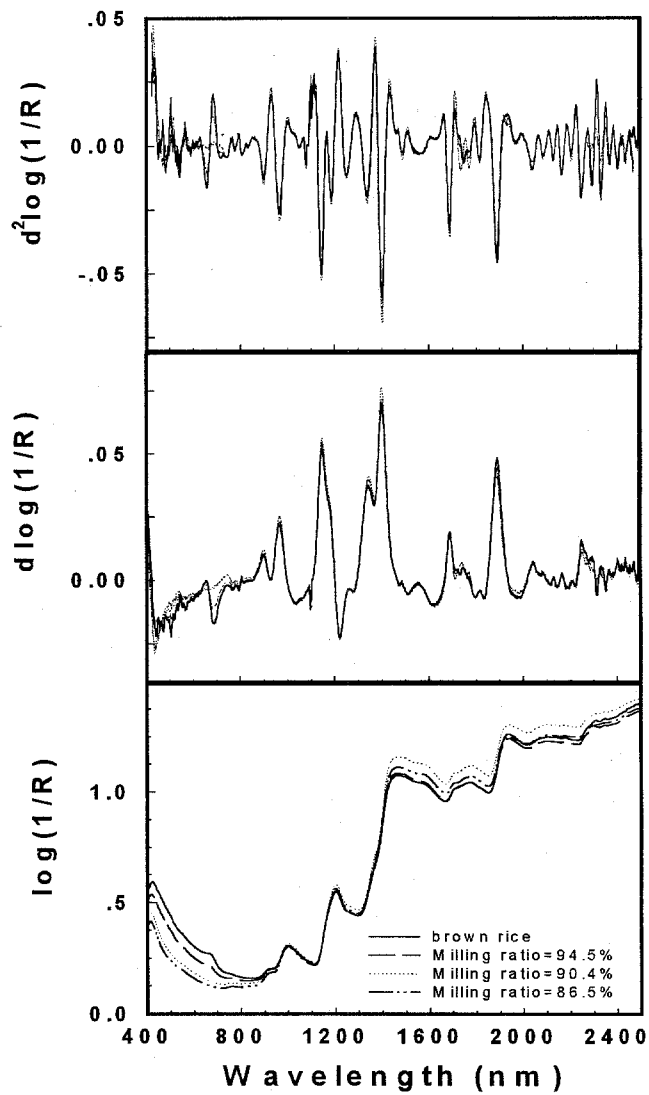


Fig. 6-1 Raw, 1st and 2nd visible/ NIR Reflectance spectra for brown rice and various milling ratio

2. 다중회귀 모델을 이용한 정백수율 측정

다중회귀분석을 이용하여 정백수율 측정 모델을 개발하기 위하여 수처리 및 전처리를 실시한 스펙트럼과 실시하지 않은 반사 및 투과 스펙트럼에 대하여 step-up, stepwise방법을 적용하였다.

반사 스펙트럼의 경우 Stepwise방법으로 전과장영역에서 산란보정을 하지 않고 평활화 간격 4nm, gap 8nm로 하여 1차 미분한 후 6개의 파장을 선택하였을 때 가장 적합한 모델을 구할 수 있었다. 사용된 파장은 404, 1184, 1216, 1732, 1734, 1846nm였다. 이 결과를 바탕으로 가시광선인 404nm를 제외한 후, 1100-2500nm의 근적외선 영역만을 이용하여 새로운 모델을 구하였지만 만족할 만한 결과를 얻지 못하였다. 따라서 쌀의 정백수율 측정 모델은 가시광선과 근적외선을 포함한 400-2500nm의 파장범위에서 개발되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서 구한 다중회귀모델에서 교정부의 R^2 는 0.984, SEC는 0.416%으로 나타났으며, 57개의 미지시료에 대하여 검증한 결과 R^2 는 0.980, SEP는 0.535%, Bias는 -0.069로 나타나 이 모델은 우수한 모델임을 알 수 있었다. Table 6-1은 다중회귀 분석 결과를 나타내며, Fig. 6-2는 실제 측정된 정백수율과 다중회귀 모델로 예측한 값의 관계를 나타낸 것이다.

600-1400nm영역에서 스펙트럼을 분석한 투과 스펙트럼의 경우에도 반사 스펙트럼의 경우와 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 산란보정을 실시하지 않고 평활화 간격 4nm, gap 8nm로 하여 1차 미분한 후 6개의 파장을 선택한 모델이 가장 우수하였으며, 교정부의 R^2 는 0.973, SEC는 0.549%로 나타났다. 이때, 사용된 파장은 610, 664, 684, 692, 968, 1228nm였다. 투과 스펙트럼을 이용하여 57개의 미지시료에 대하여 검증한 결과 R^2 는 0.963, SEP는 0.724%, Bias는 -0.078로 나타났다.

Table 6-1 Summary of multiple linear regression and validation results using six wavelength calibration equations by reflectance

Pre-processing	Math. Treatment	No. of Wavelength	Calibration		Validation		
			R ²	SEC	R ²	SEP	Bias
	none	6	0.984	0.420	0.977	0.577	0.019
None	1st deriv.	6	0.984	0.416	0.980	0.535	0.069
	2nd deriv.	6	0.980	0.465	0.967	0.701	0.092
	none	6	0.978	0.488	0.967	0.697	-0.039
SNV & Detrend	1st deriv.	6	0.976	0.510	0.964	0.724	-0.078
	2nd deriv.	6	0.980	0.473	0.969	0.802	-0.073

위의 결과로부터 정백수율 측정을 위한 다중회귀모델은 반사 스펙트럼을 이용하여 전파장영역에서 산란보정을 하지 않고 1차 미분하여 6개의 파장을 선택한 모델이 정백수율을 가장 잘 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

3. PLS 모델을 이용한 정백수율 측정

부분최소자승법은 교정부의 모든 스펙트럼을 각각의 고유벡터(eigenvector)와 스코어(score)로 분해하여 스펙트럼과 성분에 대한 분석을 연속적으로 수행하게 된다. 본 연구에서는 PLS 모델을 개발하기 위하여 교정부를 수처리 및 전처리를 실시한 스펙트럼과 실시하지 않은 스펙트럼으로 분리하여 각각 교차검증(cross validation)을 실시하였다.

반사 스펙트럼의 경우 400~2500nm의 전파장 영역에서 PLS를 실시한 결과, 산란보정 및 전처리 방법에 따라 약간의 차이는 있었지만 정백수율과 반사 스펙트럼은 높은 상관관계를 보여 주었다. 본 연구에서는 반사 스펙트럼을 이용한 모델은 원시 스펙트럼을 전파장 영역에서 다분산보정을 실시하여 적정 팩터를 4로 결정하였을 때, 가장 양호한 모델로 개발할 수 있었다. 이 모델에서 교정부의 R^2 는 0.971, SEC는 0.556%로 나타났으며, 57개의 미지시료에 대하여 검증한 결과 R^2 는 0.981, SEP는 0.529%, Bias는 -0.063으로 나타났다. Table 6-2는 PLS를 이용한 분석 결과를 나타내며, Fig. 6-3은 실제 정백수율과 본 연구에서 개발된 PLS 모델을 이용한 측정치의 관계를 나타내었다. Table 6-2에서와 같이 산란보정 및 전처리를 하지 않은 원시 스펙트럼의 경우, 본 연구에서 개발한 PLS 모델보다는 검증결과가 우수하게 나타났지만 팩터의 수가 8로서 시스템의 잡음 등이 모델에 포함될 가능성이 높아 제외하였다.

투과 스펙트럼에서는 원시 스펙트럼을 전파장 영역에서 산란보정과 전처리를 하지 않고 적정 팩터를 7로 결정하였을 때, 가장 양호한 모델을 작성할 수 있었다. 이 모델에서 교정부의 R^2 는 0.961, SEC는 0.651%로 나타났으며, 57개의 미지시료에 대하여 검증한 결과 R^2 는 0.964, SEP는 0.720%, Bias는 0.005로 나타났다.

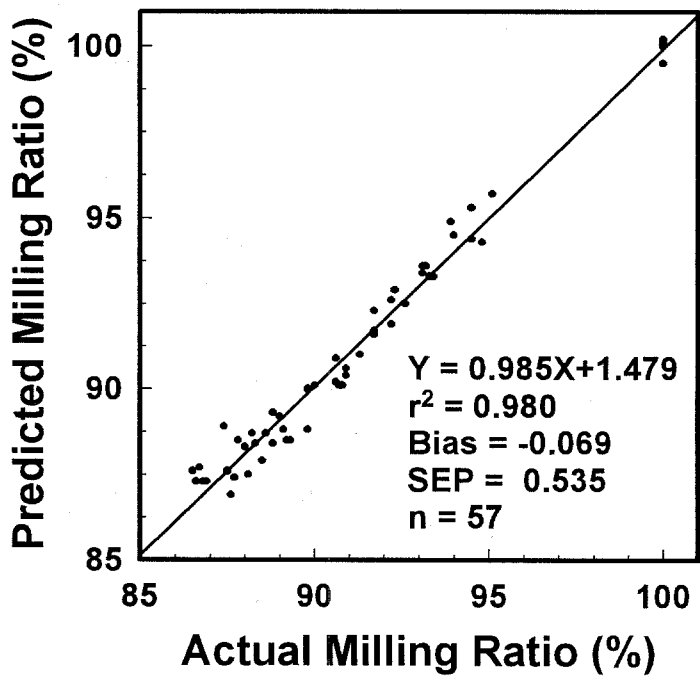


Fig. 6-2 Comparison of actual and predicted values for milling ratio by visible/NIR Reflectance(Multi-Linear Regression).

Table 6-2 Summary of partial least squares calibration and validation results by reflectance

Preprocessing	Math.	Factor	Calibration		Validation		
			R ²	SECV	R ²	SEP	Bias.
None		8	0.971	0.556	0.981	0.529	-0.063
MSC	none	4	0.970	0.564	0.976	0.365	-0.145
SNV & Det.		7	0.964	0.621	0.973	0.620	-0.016
None		5	0.972	0.547	0.976	0.604	-0.132
MSC	1st deriv.	5	0.970	0.572	0.975	0.596	-0.029
SNV & Det.		5	0.966	0.603	0.974	0.606	-0.028
None		6	0.971	0.558	0.974	0.607	-0.010
MSC	2nd deriv.	5	0.964	0.625	0.971	0.642	-0.014
SNV & Det.		13	0.972	0.553	0.972	0.636	0.043

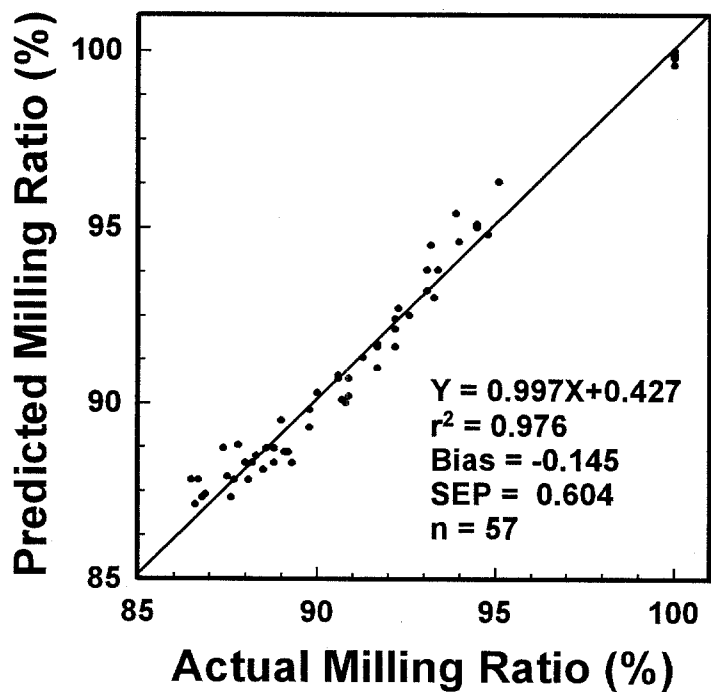


Fig. 6-3 Comparison of actual and predicted values for milling ratio by visible/NIR Reflectance(Partial Least Squares).

위의 결과에서 알 수 있듯이 PLS 모델은 교정부보다는 검증부에서 오히려 오차가 줄어들었으며, 다중회귀 모델과 같이 반사 스펙트럼을 이용하여 모델을 개발하면 정백수율을 정확히 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

4. ANN 모델을 이용한 정백수율 측정

ANN 모델은 PLS 분석 결과를 기초로 하여 개발하였다. 원시 스펙트럼과 1차 및 2차 미분 스펙트럼을 이용하여 전처리를 하였을 때와 하지 않은 경우 각각에 대하여 모델을 개발하여 비교하였으며, 각 모델의 교정부의 결정계수와 SEC값을 검토하여 적정 모델을 선정하였다.

반사 스펙트럼의 경우, 원시 스펙트럼을 전파장 영역에서 전처리를 하지 않고 4nm의 gap으로 1차 미분한 스펙트럼을 사용한 PLS 모델로서 교정부의 전 스펙트럼을 학습시킨 ANN 모델이 가장 우수한 결과를 나타내었다. 이 모델에서 교정부의 R^2 는 0.997, SEC는 0.143%로 나타났으며, 57개의 미지시료에 대하여 검증한 결과 R^2 는 0.978, SEP는 0.566%, Bias는 0.031로 나타났다. Table 6-3은 반사 스펙트럼을 수처리와 전처리를 하여 신경회로망으로 분석 결과를 나타내며, Fig. 6-4는 실제 정백수율과 본 연구에서 개발된 ANN 모델을 이용한 측정치의 관계를 나타내었다.

투과 스펙트럼에서는 전파장 영역에서 전처리를 하지 않은 원시 스펙트럼에서 적정 팩터를 7로 결정한 PLS 모델을 기초로 하여 개발된 ANN 모델이 가장 양호하였다. 이 모델에서 교정부의 R^2 는 0.978, SEC는 0.439%로 나타났으며, 57개의 미지시료에 대하여 검증한 결과 R^2 는 0.968, SEP는 0.672%, Bias는 0.024로 나타났다. 따라서 ANN모델은 다중회귀모델 및 PLS모델과 같이 반사스펙트럼을 이용하는 것이 우수한 모델을 개발할 수 있었다.

Table 6-3 Summary of artificial neural network calibration and validation results by reflectance

Preprocessing	Math. Treatment	Calibration		Validation		
		R ²	SEC	R ²	SEP	Bias
MSC	none	0.979	0.454	0.968	0.690	-0.154
None	1st deriv.	0.997	0.143	0.978	0.566	0.031
None	2nd deriv.	0.990	0.307	0.973	0.626	0.051

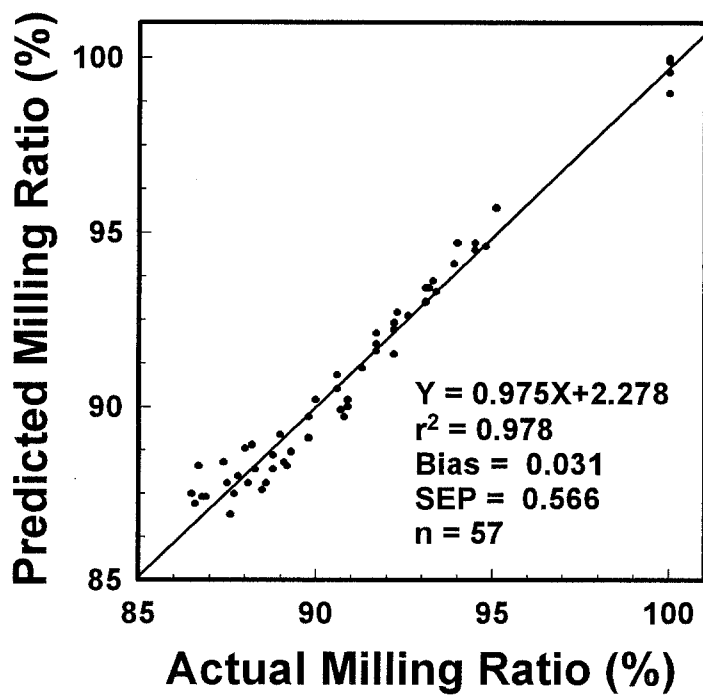


Fig. 6-4 Comparison of actual and predicted values for milling ratio by visible/NIR Reflectance(Artificial Neural Network).

5. 정백수율 측정 모델의 비교

본 연구에서는 반사스펙트럼을 이용하여 정백수율 측정 모델을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 정백수율 측정 모델은 MLR 모델, PLS 모델과 ANN 모델이다. 정백수율은 물리적 특성으로 표현할 수 있으므로 각 측정 모델의 개발에 2차 미분 스펙트럼이 적합하게 사용되지 않은 것으로 판단되었다. 이것은 일반적으로 2차 미분 스펙트럼이 물리적 특성의 분석보다는 이화학적 특성의 분석에 유용하게 이용되기 때문인 것으로 판단되었다. 또한, PLS 모델에서는 각 스펙트럼의 잡음과 산란 등을 제거하여 정백수율과 상관없는 스펙트럼의 피크를 제거하기 위하여 전처리로서 다분산보정이 사용된 것으로 판단되었다.

Table 6-4는 본 연구에서 개발된 각 모델의 교정부와 검증부의 결과를 나타낸 것이다. MLR 모델과 ANN 모델은 전처리를 하지 않은 1차 미분 스펙트럼을 이용한 모델이 우수하였으며, PLS 모델은 전처리로서 다분산보정을 한 원시스펙트럼으로 모델을 개발한 것이 우수한 것으로 나타났다. Table 6-4에서와 같이 교정부의 결과만을 분석할 경우 ANN 모델이 우수하였지만, 검증부의 결과에서는 MLR 모델이 가장 우수한 것으로 나타났다.

Table 6-4 The best result of calibration and prediction Milling Ratio using each model

Method	Math. Treatment	Preprocessing	Calibration		Validation		
			R ²	SEC	R ²	SEP	Bias
MLR	1st deriv.	None	0.984	0.416	0.980	0.535	-0.069
PLS	none	MSC	0.970	0.564	0.976	0.604	-0.145
ANN	1st deriv.	None	0.997	0.143	0.978	0.566	0.031

제 7 장 근적외선 분광분석법을 이용한 쌀의 성분 분석

제 1 절 기술현황

분광분석법은 시료 내·외부의 상태에 따른 광학적 특성을 분석하여 품질을 비파괴적으로 평가하는 방법이다. 근적외선 영역에서는 수분에 의한 흡수가 아주 미약하여 전수검사가 가능하며, 유기물을 구성하는 C-H, N-H, O-H 등의 관능기가 나타내는 정보가 근적외선 영역에서 압축되어 나타나므로 농산물의 물리화학적인 특성 정보를 동시에 얻을 수 있다. 또한 분광분석법은 시료의 상태를 표현할 수 있는 특정 파장이 결정되면 다른 비파괴검사법에 비하여 품질 평가 시스템을 구성하기 쉽고, 분석시 숙련된 기술이 필요 없으며, 결과의 해석이 간편할 뿐만 아니라 저 비용으로 측정 시스템을 구성할 수 있는 장점이 있다.

20℃의 순수한 물의 근적외선 흡수 스펙트럼은 760nm, 970nm, 1190nm, 1450nm, 1940nm의 5개의 파장인 것으로 알려져 있다. 이들 파장은 O-H stretch의 1차, 2차, 3차 배음대와 O-H 밴드(bend)의 결합대에 해당된다(Osborne 등, 1986). 그러나 이런 파장들을 이용하여 다중회귀 분석 방법으로 수분함량 측정에 필요한 파장을 찾아보면 이들 파장에서만 특정 피크가 나타나는 것은 아니다. 대부분의 경우 시료 내부에 존재하는 다른 성분들에 의하여 피크가 좌우로 이동되기도 하며, 오차를 보정하기 위하여 수분과 관계가 없는 다른 파장을 수분함량 측정에 필요한 파장으로 사용하기도 한다. 이것은 필터형 근적외선 분광분석기를 이용하여 수분함량 예측 모델을 개발한 Hart 등(1962), 문 등(1994) 및 한 등(1996)의 결과에서 확인

할 수 있다. Li 등(1995)은 이러한 영향을 제거하기 위하여 전체 또는 일부 파장 영역의 스펙트럼을 이용하여 예측 모델을 개발하는 것이 모델의 정밀도를 향상시킬 수 있다고 하였다. 반사 스펙트럼 외에도 Finney 등(1978)은 투과 스펙트럼을 이용하여 다중회귀 분석법으로 수분함량 예측 모델을 개발하여 곡물의 수분을 측정할 수 있음을 밝혔다.

근적외선 분광분석법을 이용한 단백질 함량 예측에 관한 연구는 보리, 밀, 콩 등 다양한 곡물에 대하여 수행되었다. 단백질 함량에 이용되는 파장은 N-H 결합대인 2100~2200nm 영역이며, 특히 밀의 경우 단백질과 가장 상관이 높은 파장은 2180nm로 알려져 있다(Osborne 등, 1986). Iwamoto 등(1986), Batten 등(1991)과 국내에서는 문 등(1994)과 한 등(1996)이 분말시료의 밀과 쌀에 함유된 단백질 함량의 예측 모델을 개발하였다. 특히, Williams 등(1983)은 근적외선 분광분석기를 이용함으로써 복잡하고, 많은 시간이 소요되는 이화학적 실험법을 대체할 수 있을 것이라고 하였다. Delwiche 등(1996)은 산물 상태에서 밀의 반사 스펙트럼을 측정하여 단백질 함량을 분석하였다. 위의 연구 결과들에서와 같이 단백질 함량 측정 모델은 근적외선 영역에서 반사 스펙트럼을 이용하여 개발하는 것이 좋은 결과를 얻을 수 있는 것으로 보고되고 있다. 또한, 분말 및 산물시료에 관한 연구는 많이 수행되었으나, 단립 시료의 단백질 함량 예측 모델을 개발한 보고는 Delwiche(1995)가 740~1139nm의 파장영역에서 근적외선 투과 스펙트럼을 이용하여 모델을 개발한 것 외에는 없었다. 그러므로 품종 개량과 단립의 선별시스템을 개발하기 위해서는 단립시료의 특성을 분석하여 성분을 예측할 수 있는 모델이 개발되어야 한다.

아밀로오스 함량은 밥의 조직(texture)과 광택(gloss)에 관계가 있는 쌀의 식미를 결정하는 중요한 인자로 알려져 있다(김, 1997). 일반적으로 아밀로오스 함량은 요오드 정색법이 주로 이용되고 있으며, 최근에

는 Juliano(1971)가 제안한 자동 분석법을 이용한 장치가 개발되어 보급되고 있다. 이 방법은 아밀로오스 함량을 정확히 알고 있는 표준 물질을 이용하여 기준선을 설정한 후 아밀로오스 함량을 측정하는 것으로, 일반적으로 표준 물질로는 감자의 아밀로오스가 가장 많이 이용되고 있다. 현재까지 개발된 아밀로오스 함량 측정 방법들은 표준물질과 실험자의 주관에 따라 많은 영향을 받아 같은 시료의 아밀로오스 함량을 측정하더라도 실험자에 따라 다른 결과를 얻고 있다. 따라서 많은 연구자들이 객관적인 측정 방법을 개발하기 위하여 연구를 수행하고 있으며, 근적외선 분광분석법도 한가지 방법으로 이용되고 있다. 대부분의 경우, 반사 스펙트럼을 측정하여 모델을 개발하였으나, Vilareal 등(1994)은 투과 스펙트럼을 이용하여 모델을 개발하였지만 예측치의 표준오차가 1.88%로 높게 나타났다.

Delwiche 등(1994)과 Vilareal 등(1994)은 분말시료를, Li 등(1995)과 Delwiche 등(1994, 1996)은 산물 시료의 반사 스펙트럼을 이용하여 아밀로오스 예측 모델을 개발하였다. 특히, Delwiche 등(1996)은 시료의 상태별 검증결과는 분말시료를 이용한 모델은 예측 결과가 우수하였으나, 분말은 시료의 전처리가 필요하므로 산물시료를 이용하여 모델을 개발하여야 한다고 하였다.

최근에는 부분최소자승법을 이용하여 모델을 개발하고 있으며, Vilareal 등(1994), Li 등(1995)과 Delwiche 등(1994, 1996)은 PLS 모델이 예측모델 개발에 유용하게 이용된다고 하였다.

곡물의 저장시 지방산도가 20mg KOH/100g에 달하면 변질의 주의 신호이며, 25mg KOH/100g이상이면 변질의 징후를 나타낸다. 곡류의 입자나 분말을 이용하여 지방(fats) 함량을 측정하는 방법에는 속슬렛(soxhlet)을 이용한 에테르(ether)추출법, 산분해법 등이 있다. 에테르추출법에 의한 지방의 정량은 시료를 100메시(mesh)이상으로 분쇄해야하며, 이 방법은 일부

지방성분은 추출이 불완전한 경우도 있다. 산분해법은 분쇄정도에 무관하며 전지질이 추출되므로 일반성분으로서 전지질 정량이 가능하지만 시료중의 지질 구성성분 조사에 사용하기는 부적합한 방법이다(주 등). 일반적으로 현미에는 약 2.0~3.3%, 백미에는 0.4~0.6%의 지방이 함유되어 있어(Marshall 등, 1994), 지방함량은 쌀의 품질에 크게 영향을 미치지 못한다. 그러나, 어느 성분보다도 저장 중에 산화되어 변화되기 쉽고 효소의 작용에 의해 분해되어 쌀의 고미화에 크게 영향을 준다(문 등, 1994). 쌀 속에 있는 주요 지방산은 linoleic acid, oleic acid, palmitic acid 등으로 전분에 이와 같은 지방산을 더하여 소화시키면, 전분립이 단단해져 전분의 호화를 어렵게 한다(민, 1993).

夏架 등(1992)은 지방산도의 변화가 주로 현미의 당층이나 백미 표면에 부착된 당에 의해서 발생하므로 입자를 분쇄하면 당이 배유와 혼합되어 지방산도의 변화에 따른 스펙트럼의 변화가 상쇄되는 것이 가장 큰 원인으로 분석하였다. 일반적으로 지방의 주파장은 2310nm로 알려져 있으나, 지방산의 포화 및 불포화에 관련된 파장은 다른 파장영역에 있는 것으로 알려져 있고, 지방산 측정을 위한 파장은 아직 구명되어 있지 않다.

일본에서 개발된 근적외선 분광분석법을 이용하는 식미계는 현미의 지방산도를 측정하여 식미치의 산출에 활용하고 있지만(瀬尾康久, 1994), 최근까지 연구된 결과에서는 근적외선 분광분석법으로 쌀의 지방산도를 정확히 측정할 수 없는 것으로 알려져 있다(夏架 등, 1992). 이것은 Li 등(1995)의 연구결과에서 확인할 수 있다.

따라서, 본 연구는 현미의 분광반사 특성을 이용하여 수분함량, 단백질, 아밀로오스 함량 및 지방산도를 예측할 수 있는 모델을 개발하기 위하여 수행하였다.

제 2 절 재 료 및 방 법

1. 공시재료

실험에 사용된 공시재료는 우리나라에서 주로 생산되는 품종을 지역별로 선정하여 현지에서 벼상태로 구입하였으며, 성분 측정 항목별로 사용된 품종은 Table 7-1과 같다.

수분함량 및 단백질 함량 측정에는 생산지역과 지역별 주 생산품종을 고려하여 1996년 10월~11월에 생산된 동진벼(전북), 추청벼(충북), 일품벼(경기)의 3품종을 이용하였다. 동진벼는 영·호남 지역, 추청벼는 경기·충청 지역, 일품벼는 중부전역에 걸쳐 생산되고 있다. 아밀로오스 함량 측정에는 1996년에 영남농업시험장에서 재배된 29개 품종의 벼를 이용하였다. 지방산도 측정에 이용된 시료는 전남지역에서 1996년 10월에 수확된 동진벼를 현지에서 구입하였다. 지방산도는 초기 수분함량이 각각 16%, 18%, 20%, 22%, 24%인 벼를 10℃, 20℃, 30℃의 저장창고에 보관하면서 1~2주간격으로 채취하여 측정하였다.

시료는 각 품종 및 생산지별로 분류하여 진공포장용 비닐팩에 5kg씩 밀봉한 후 저온저장고에 보관하였으며, 곡물의 저장온도는 4℃(±1℃)로 설정하였다. 스펙트럼 및 성분 측정을 위하여 저온저장고의 시료를 비닐팩에 넣은 상태로 상온에서 24시간 동안 노출시켜 곡물의 온도를 상온에 도달하도록 하였다.

Table 7-1 Calibration and validation sample sets of each constituent

Variety	Constituents			
	Moisture ^a	Protein ^a	Fatty Acid ^b	Amylose ^b
Dongjin	1	1	1	1
Hwasung	-	-	-	1
Ilpum	1	1	-	1
Chucheong	1	1	-	1
Others	-	-	-	25
Sum	3	3	1	29

2. 실험방법

가. 스펙트럼

스펙트럼 측정을 위하여 근적외선 분광분석기(NIRSystems, Model 6500, Silver Spring, USA)를 이용하였다. 본 실험에서는 400~2500nm의 파장영역에서 2nm간격으로 스펙트럼을 측정하였으며, 근적외선 분광분석기의 구동을 위하여 전용 프로그램인 NSAS(NIRSystems, Silver Spring, USA)를 이용하였다. 단립 시료의 스펙트럼은 근적외선 분광분석기에 수평 시료장치(Horizontal Setup Module)를 부착하여 반사 스펙트럼을 측정하였다. 시료에 광선을 32회 주사(scan)하여 측정 후 평균한 스펙트럼은 흡광도($\log(1/R)$)로 변환시켜 컴퓨터 파일로 저장하였다. 또한 시료의 위치를 일정하게 유지하기 위하여 시료대를 제작하여 수평시료장치에 부착하였다.

산물상태의 시료를 이용한 지방산도별 스펙트럼은 시료이송장치(Sample Transport Module)를, 아밀로오스 함량별 스펙트럼은 시료회전장치(Spinning Sample Module)를 근적외선 분광분석기에 부착하여 측정하였다. 시료이송장치는 46mm×15mm×240mm(L×W×H)의 직육면체 시료셀에 100~130g의 시료를 채운 후 스펙트럼을 측정한다. 따라서, 넓은 면적을 주사하여 스펙트럼을 측정하므로 시료 채취시의 오차를 줄일 수 있고, 다량의 시료로 대표성이 향상되므로 시료의 전처리에서 발생하는 오차를 줄일 수 있다. 시료회전장치는 지름 3.8cm, 높이 1.2cm의 원기둥형 시료셀에 6g 정도의 시료를 채운 후 스펙트럼을 측정하므로 시료의 양이 적을 경우에 유용하게 이용할 수 있다.

나. 수분함량 측정

저온저장고에 보관중인 동진, 일품, 추청의 3품종 벼를 비닐팩에 밀봉된 상태로 상온에서 24시간 노출하여 곡온이 상온에 도달하도록 한 후 고무 롤러형 제현기를 사용하여 제현하였다. 제현된 현미 중에서 광학식 품질판정기(RS-2000, Kett Ltd., Japan)와 육안검정으로 정립을 선별하였으며, 선별된 현미는 각 품종별로 100g씩 6개의 시료군으로 분리하여 수분함량 범위가 10~21%가 되도록 조정하였다. 저수분함량의 현미는 시료를 상온에서 건조시키고, 고수분함량의 현미는 항온항습기에서 흡습시켰으며, 항온항습기의 운용조건은 온도가 25℃, 상대습도를 85%로 하였다. 건조 및 흡습과정중 1시간 간격으로 단립수분계(CR-800E, Shizuoka Seiki, Japan)를 이용하여 50립의 현미 수분함량을 측정하였으며, 평균수분함량이 목적 수분함량에 도달된 현미는 비닐팩에 밀봉하여 저온저장고에 보관하여 실험을 수행하였다. 밀봉상태로 저장된 현미는 데시케이터에서 24시간동안 방치시켜 곡온이 상온에 도달하도록 하였다. 그리고 동할립 판정기(DC-50, Shizuoka Seiki, Japan)를 이용하여 동할립을 제거하여 완전립 현미의 반사 스펙트럼을 측정하였다.

스펙트럼 측정이 완료된 시료는 수분함량 및 단백질 측정에 이용되었다. 단립 시료의 무게를 측정한 후 135℃의 공기오븐에서 시료를 24시간 건조시킨 후(135도법), 건조된 시료를 데시게이터에서 1시간 동안 방냉하여 건조후 시료의 무게를 측정하였다. 일반적으로 표준수분함량은 105도법으로 표시하므로 식 (7-1)을 이용하여 수분함량을 환산하였다(岩尾俊男, 1987).

$$M_t(105) = 100 - 1.0122(100 - M_t(135)) \quad \dots\dots\dots(7-1)$$

여기서, $M_A(105)$: wet-basis moisture content of 105°C method

$M_A(135)$: wet-basis moisture content of 135°C method

다. 단백질 함량 측정

단립 시료의 단백질 함량은 수분함량 측정이 끝난 건조된 시료를 대상으로 자동질소분석기(Auto Nitrogen Analyzer, NA-1500, Italy)를 이용하여 측정하였다. 자동질소분석기는 시료를 연소시킨 후 발생하는 기체로부터 질소의 함량을 측정하며, 무게 0.5~100 mg인 자연 상태 시료의 질소 함량을 분석할 수 있고, 측정범위는 0.01~100%이다.

먼저, 표준물질을 이용하여 기준을 설정한 후 임의 시료의 질소 함량을 측정하였다. 본 실험에서는 기기의 표준 사양에 준하여 표준물질로서 BBOT(Fison Ins., Italy, 2,5-Bis-(5-tert.-butyl-benzoxazol-2-yl)-thiophen; $C_{26}H_{26}N_2O_2S$)를 이용하였으며, 매 실험 시작시 3~4 μ g 범위에서 6개의 BBOT를 이용하여 검량식을 설정하였다. 또한 실험횟수의 증가로 인한 시스템의 오동작과 기준값의 변동을 보정하기 위하여 10회 측정 후 BBOT로서 기준을 보정하였다. 시료의 단백질 함량은 A.O.A.C. (American Association of Official Analytical Chemistry)의 기준에 따라 자동질소분석기에서 측정되는 질소 함량에 상수 5.95를 곱하여 환산하였다.

라. 아밀로오스함량 측정

우리나라에서 생산되는 29개 품종을 이용하여 10g 내외의 벼를 시험용 제현기(TR200, Kett Co., Japan)로서 제현하였다. 제현된 산물의 현미 6g을 시료회전장치용 시료셀에 채워 가볍게 눌러 시료의 밀도를 일정하게 유지한 후 400~2500nm의 파장영역에서 반사 스펙트럼을 측정하였다.

스펙트럼 측정이 끝난 시료의 아밀로오스 함량은 Juliano(1971)의 방법에 의하여 상품화된 자동 아밀로오스 분석기(Model 3590, ALPKEM Co., USA)를 이용하여 측정하였다. 자동 아밀로오스 분석기는 비색법에 의한 아밀로오스함량 분석법의 최대 문제점인 시료의 전처리 과정을 자동화시킨 것이다. 쌀의 아밀로오스 측정 범위는 1.0~50.0%이며, 자체에 내장된 분광분석기의 측정범위는 400~700nm이다.

본 실험에서 이용된 아밀로오스 함량 측정을 위한 표준곡선은 감자 아밀로오스(Sigma Co., USA)를 사용하였다(Juliano, 1971). 쌀가루 100mg에 95% 에탄올(ethanol) 1ml와 1N NaOH 9ml를 첨가하여 100℃에서 10분간 호화한 후 냉각시켰다. 이것을 100ml로 정량한 후 이 용액 5ml를 취하고 여기에 1N acetic acid 1ml와 iodine 용액(0.2g I₂+2.0g KI/100ml D.W.) 2ml를 첨가한 후 다시 100ml로 정량하였다. 흡광도는 이 용액을 실온에서 20분간 방치한 후 자동 아밀로오스 분석기의 분광분석기를 이용하여 620nm의 파장에서 측정하였다.

마. 지방산도 측정

지방산도는 초기 수분함량이 각각 16%, 18%, 20%, 22%, 24%인 벼를 10℃, 20℃, 30℃의 저온저장고에 저장된 벼상태의 시료를 1~2주 간격으로 채취하여 측정하였다. 임펠러형 제현기(HSFC-4, Hansung Co., Korea)를 이용하여 채취된 시료를 제현한 후 1.7mm 줄체를 사용하여 미숙립과 설미를 제거하므로써 완전립의 현미를 선별하였다. 현백비율 측정시와 동일한 방법으로 선별된 현미의 반사 스펙트럼을 측정하였다.

화학분석법을 이용하여 스펙트럼 측정이 끝난 시료의 지방산도를 측정하였다. 현미의 지방산도는 A.A.C.C.(American Association of Cereal Chemistry) 방법으로 에틸-에테르(ethyl-ether) 용매로서 현미 내의 지방을 추출하여 측정하였으며, 측정 방법은 다음과 같다.

- ① 현미 40g을 싸이크로텍 밀(Cycrotec Mill)에서 분쇄한다. 시료는 체(No. 40 US Standard Sieve)에서 90%이상 통과되는 것이어야 한다. 일단, 분쇄한 시료는 지방 분해 효소(lipolytic enzyme)로 인한 변화를 방지하기 위하여 1시간 이내에 지방을 추출하여야 한다.
- ② 분쇄된 시료중에서 10g을 정량하여 원통여지에 담은 후 탈지면으로 가볍게 충전한다.
- ③ ②의 것을 속슬렛(soxhlet) 추출 장치에서 용매 pet. ether를 이용하여 흡수(siphoning) 속도(3분당 1회)와 pet. ether의 끓는점(boiling point) 범위(30~60℃)를 맞추어 16시간 동안 추출한다.
- ④ 추출된 용액은 회전감압농축기(rotary evaporater)를 이용하여 지방성분만을 얻는다.
- ⑤ ④에서 얻은 시료를 0.02% BAP(Benzene Alcohol-Phenolphthalen) 용액 50ml로 재용해시킨 후 표준색(end point)인 분홍색이 될 때까지

0.0178N KOH로 적정한다.

⑥ 공시험(Blank test)은 BAP 용액 50ml를 취한 후 표준색이 될 때까지 0.0178N KOH로 적정한다.

⑦ 위 과정에서 얻어진 결과를 식 (7-2)에 대입하여 지방산도로 환산한다.

$$F.A. = \frac{(T-B) \times 10}{100 - W} \times 100 \dots\dots\dots (7-2)$$

여기서, F.A. : fat acidity(mg KOH/100g)

T : ml 0.0178N KOH required to titrate sample

B : ml 0.0178N KOH required to titrate blank

W : g water in 100g of sample

3. 모델 개발

스펙트럼을 이용한 예측 모델을 개발하기 위하여 전체 스펙트럼의 65%를 교정부로, 35%를 검증부로 분류하였다. 스펙트럼을 각 성분의 크기 순서로 정렬한 후 순차적으로 교정부와 검증부로 분류하였으며, 교정부와 검증부의 화학성분이 유사한 크기와 범위의 분포를 갖도록 조정하였다. 교정부의 스펙트럼은 모델의 개발단계에서 반복하여 사용되었으며, 검증부는 예측 모델의 최종평가에 1회 사용되었다.

각 성분의 예측 모델은 다중회귀 분석법(Multiple Linear Regression; MLR), 부분최소자승법(Partial Least Square; PLS)을 이용하여 개발하였다. 다중회귀 모델의 개발을 위해서 NEWISI 4.0(NIRSystems,

Silver Spring, USA)을, PLS 모델은 상용 프로그램인 GRAMS/32 (Galactic Industries, Salem, USA)를 사용하였다.

각 모델의 예측성능은 교정부 오차(Standard Error of Calibration, SEC), 검증부 오차(Standard Error of Prediction, SEP), 편차(bias)를 이용하여 분석하였다. 그리고, 모델의 성능은 검증부 오차(SEP)를 검증부의 화학분석값의 평균값(mean)으로 나눈 모델의 오차변위(SEP /mean)를 이용하여 분석하였다.

각 모델을 개발하기 위해서 원시 스펙트럼, 분할간격(gap) 및 평활화 간격을 변화시킨 1차 및 2차 미분 스펙트럼을 사용하였다. 반사 스펙트럼은 시료 입자의 비선형성으로 인하여 흡광도의 차이가 발생한다. 흡광도의 차이는 빛의 산란(scattering)으로 발생하며, 산란은 스펙트럼 곡선의 변화를 가져온다. 따라서 본 연구에서는 전처리 방법으로서 다분산보정(Multiplicative Scatter Correction; MSC)과 표준 정규화(Standard Normal Variate and Detrending; SNV & Dtr.)를 이용하였다.

다중회귀 모델은 변수증감법(stepwise method)을 이용하여 개발하였으며, 예비분석 결과와 문 등(1994) 등의 연구 결과를 참고하여 최대 6개의 파장을 선택할 수 있도록 설정하였다. 최적 모델은 교정부의 결정계수(R^2)가 높고, 교정부 오차가 낮으며, 최소의 파장으로 구성된 모델로 결정하였다.

PLS 모델은 교차검증(cross validation)을 이용하여 개발하였으며, 팩터의 수와 PRESS(Prediction Residual Error Sum of Squares)값을 참조하고 결정계수와 교정부 오차를 비교하여 선정하였다. 팩터의 수가 증가하면 PRESS값은 감소하나 팩터의 수가 너무 많으면 검증시 예측능력이 떨어지므로, F비를 활용한 F-검증을 수행하고 F-검증의 확률이 0.75미만이 되는 팩터의 수를 모델의 최적 팩터의 수로 결정하였다. 최적의 PLS 모델은 먼

저 결정계수가 높은 모델을 선정하였으며, 결정계수가 유사한 값을 나타낼 때에는 교정부 오차가 낮은 모델로 선정하였다. 결정계수와 교정부 오차가 유사한 값을 가지는 경우에는 팩터의 수가 작은 것을 최적 모델로 결정하였다. 이때, 결정계수는 높으나 교정부 오차가 큰 모델은 제외하였다. PLS 모델 개발에 사용된 교정부 오차는 SECV (Standard Error of Cross Validation)를 이용하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 단립 현미의 수분함량 측정 모델 개발

가. 다중회귀 모델 개발

다중 회귀모델은 원시 스펙트럼, 1차 및 2차 미분 스펙트럼을 이용하여 각 품종별 모델을 개발하였다. 미분 스펙트럼은 예비 분석을 실시하여 가장 안정된 분할간격의 크기를 정하였다. 또한, 400~2500nm의 전파장 영역을 기본으로 파장영역을 변화시키면서 교정부의 결정계수와 교정부 오차가 안정된 파장을 선정하였다. 예비분석 결과, 1차 미분 스펙트럼은 분할간격을 10nm, 2차 미분 스펙트럼은 분할간격을 20nm로 결정하였다. 1100~1400nm의 파장에서 안정된 모델을 선정할 수 있었다.

Table 7-2에는 동진을 이용하여 수처리별 다중 회귀모델을 개발한 결과를 나타내었다. Table 7-2에서와 같이 동진을 이용한 다중 회귀모델은 2차 미분 스펙트럼을 표준 정규화로서 전처리한 모델이 결정계수는 0.993으로서 가장 높고, 교정부 오차는 0.174%로 나타났다. 이때, 선정된 파장은 1174nm, 1192nm, 1280nm, 1344nm, 1366nm 등 모두 5개의 파장이 사용되었다. 전처리를 하지 않은 2차 미분 스펙트럼은 파장의 수는 4개가 선택되어 위에서 선택된 모델보다 1개의 파장이 줄었다. 그러나, 교정부의 결정계수와 교정부 오차를 모델과 비교한 결과 측정 모델로서 사용하기에는 부적합하였다.

일품의 다중 회귀모델의 개발 결과는 Table 7-3과 같았다. 일품의 다중 회귀모델은 원시 스펙트럼을 표준 정규화한 모델이 가장 적합한 것으로

로 판단되었다. 이 모델은 1162nm, 1170nm, 1272nm, 1338nm, 1390nm, 1398nm 등 6개의 파장을 사용하였으며 결정계수는 0.994, 교정부 오차는 0.217%로서 다른 모델에 비하여 결정계수가 높고 교정부 오차는 낮은 것으로 나타났다.

Table 7-2 Summary of MLR(multiple linear regression) results for Dongjin brown rice by moisture content

Mathematical Treatment	Preprocessing	No. of Wavelength	r^2	SEC ^a
None	None	6	0.992	0.177
	MSC ^b	6	0.992	0.177
	SNV and Dtr. ^c	6	0.990	0.208
1st derivative	None	5	0.991	0.191
	MSC ^b	6	0.992	0.181
	SNV and Dtr. ^c	6	0.993	0.172
2nd derivative	None	4	0.991	0.191
	MSC ^b	5	0.993	0.175
	SNV and Dtr. ^c	5	0.993	0.174

Remark : 1. number of sample : 102
 2. wavelength : 1100~1400nm
 a. SEC : Standard error of Calibration
 b. MSC : Multiplicative Scatter Correction
 c. SNV and Dtr. : Standard Normal Variate and Detrending

Table 7-3 Summary of MLR(multiple linear regression) results for
Ilpum brown rice by moisture content

Mathematical Treatment	Preprocessing	No. of Wavelength	r^2	SEC ^a
	None	6	0.992	0.224
None	MSC ^b	6	0.994	0.197
	SNV and Dtr. ^c	6	0.995	0.187
	None	4	0.991	0.244
1st derivative (gap=10nm)	MSC ^b	6	0.994	0.201
	SNV and Dtr. ^c	6	0.994	0.197
	None	6	0.993	0.224
2nd derivative (gap=20nm)	MSC ^b	5	0.993	0.220
	SNV and Dtr. ^c	5	0.994	0.206

Remark : 1. number of sample : 103
 2. wavelength : 1100~1400nm
 a. SEC : Standard error of Calibration
 b. MSC : Multiplicative Scatter Correction
 c. SNV and Dtr. : Standard Normal Variate and
 Detrending

2차 미분 스펙트럼을 다분산보정 및 표준정규화로 전처리한 모델은 선택된 파장의 수가 5개로서 교정부의 결정계수 및 교정부 오차는 원시 스펙트럼을 전처리하지 않은 모델에 비하여 결과가 나쁘게 나타났으나, 이 모델도 단립 현미의 수분함량 예측 모델로 사용할 수 있을 것으로 판단되었다. 1차 미분 스펙트럼을 전처리하지 않은 모델은 4개의 파장이 선택되었으나, 교정부 오차가 0.244%로서 다른 모델에 비하여 높게 나타나 일품의 수분함량 예측용 모델로 선택하지 않았다.

Table 7-4에는 추청을 이용하여 다중 회귀모델을 개발한 결과를 나타내었다. Table 7-4에서와 같이 추청을 이용한 다중 회귀모델은 수처리를 하므로써 교정부의 결정계수가 높아졌으며, 교정부 오차도 감소하였다. 교정부의 결정계수와 교정부 오차를 검토한 결과, 2차 미분 스펙트럼을 다분산 보정한 모델이 결정계수가 0.995, 검증부 오차가 0.175%로 나타나 다른 모델보다 교정부의 결과가 우수하였다. 2차 미분 스펙트럼을 다분산 보정한 모델은 1170nm, 1224nm, 1246nm, 1282nm, 1334nm, 1342nm 등 6개의 파장을 사용하였다.

원시 스펙트럼을 다분산 보정으로 전처리한 모델은 1336nm, 1376nm, 1384nm 등 3개의 파장이 선택되었으며, 결정계수는 0.990, 교정부 오차는 0.259%로 나타나 수분함량 예측 모델로 사용 가능하였으나, 이 모델은 검증부의 스펙트럼에 산란이나 시스템상의 오차가 포함될 경우 검증부의 예측오차를 증가시킬 가능성이 있으므로 모델로서 채택하지 않았다.

1차 미분 스펙트럼을 다분산 보정으로 전처리한 모델과 2차 미분 스펙트럼을 표준정규화로서 전처리한 모델도 결정계수가 높고 교정부 오차가 낮으므로 수분함량 예측모델로 사용할 수 있을 것으로 판단되었다.

Table 7-4 Summary of MLR(multiple linear regression) results for
 Chucheong brown rice by moisture content

Mathematical Treatment	Preprocessing	No. of Wavelength	r^2	SEC ^a
	None	6	0.990	0.259
None	MSC ^b	3	0.990	0.259
	SNV and Dtr. ^c	6	0.990	0.206
1st derivativ (gap=10nm)	None	6	0.992	0.225
	MSC ^b	6	0.994	0.195
	SNV and Dtr. ^c	6	0.994	0.202
2nd derivative (gap=20nm)	None	6	0.994	0.201
	MSC ^b	6	0.995	0.175
	SNV and Dtr. ^c	6	0.995	0.182

Remark : 1. number of sample : 105
 2. wavelength : 1100~1400nm
 a. SEC : Standard error of Calibration
 b. MSC : Multiplicative Scatter Correction
 c. SNV and Dtr. : Standard Normal Variate and
 Detrending

전체적으로 추청의 수분함량 예측 모델은 원시 스펙트럼 및 2차 미분 스펙트럼을 전처리의 유무에 관계없이 어떤 모델도 사용 가능할 것으로 판단되었다. 추청의 수분함량 예측모델은 2차 미분 스펙트럼을 다분산 보정한 모델이 안정성 및 적용성은 높았다.

위에서와 같이, 품종별로 개발된 수분함량 예측용 다중 회귀모델은 1100~1400nm의 파장에서 수처리 및 전처리에 무관하게 교정부와 검증부의 결과가 양호하였으며, 모든 모델을 사용할 수 있을 것으로 판단되었다. 특히, 수처리와 전처리는 스펙트럼의 잡음을 제거하므로 모델 개발시에 유용하게 사용됨을 알 수 있었다.

동진, 일품 및 추청의 스펙트럼을 혼합하여 수처리별로 수분함량 예측용 다중 회귀모델을 개발하였으며, 각 품종별 검증부를 이용하여 모델의 적합성을 검증하였다. 모델의 검증에는 동진 52개, 일품 52개, 추청 53개의 스펙트럼이 이용되었다. 원시 스펙트럼과 1차 및 2차 미분 스펙트럼을 이용하였으며, 전처리를 하지 않은 경우와 다분산 보정 및 표준 정규화로서 전처리한 것을 분리하여 모델을 개발하였다. 모델의 적합성은 교정부의 결정계수와 교정부 오차를 이용하여 분석하였다.

모델의 개발 결과, 원시 스펙트럼과 1차 및 2차 미분 스펙트럼 모두 전처리를 하지 않은 모델이 교정부의 결정계수는 0.987 이상, 검증부 오차는 0.292%이하로서 우수한 결과를 보여 주었다. 따라서, 본 연구에서는 단립 현미의 수분함량 예측용 다중 회귀모델로서 원시 스펙트럼과 1차 및 2차 미분 스펙트럼 모두 전처리를 하지 않은 모델을 사용하였다.

Table 7-5에는 각 모델에서 사용된 파장을 나타내었다. Table 7-5에서와 같이 수처리를 하지 않은 원시 스펙트럼과 2차 미분 스펙트럼은 5개의 파장이 선택되었으며, 1차 미분 스펙트럼에서는 6개의 파장이 선택되었다.

위에서 선택된 모델을 이용하여 동진, 일품, 추청의 검증부 스펙트럼으로 검증하였으며, 각 품종별 검증 결과는 Table 7-6와 같았다. Table 7-6에서와 같이 검증부의 결정계수, 검증부 오차, bias 등을 비교하였을 때 모든 모델이 사용 가능하였으며, 분할간격의 크기를 20nm로 2차 미분한 것이 가장 우수하였다. 수처리를 하지 않은 원시 스펙트럼과 1차 미분 스펙트럼을 이용한 모델도 양호한 결과를 나타내어 단립 현미의 수분함량 예측용 모델로 이용할 수 있을 것으로 판단되었다.

동진은 52개의 스펙트럼을 이용하여 검증한 결과, 1차 미분 스펙트럼에서 결정계수가 0.987, 검증부 오차가 0.148%, bias가 -0.060%로 나타났다. 원시 스펙트럼과 2차 미분 스펙트럼을 이용한 모델은 결정계수는 0.985 이상으로 높고, bias도 충분히 낮았지만, 검증부 오차가 1차 미분 스펙트럼보다 높게 나타났다.

Table 7-5 Selected wavelength for each model of predicted moisture content

Mathematical Treatment	Preprocessing	Wavelength(nm)
None	SNV and Dtr.	1252/1272/1326/1364/1374/1396
1st derivative (gap=10nm)	SNV and Dtr.	1166/1174/1262/1300/1364/1388
2nd derivative (gap=20nm)	None	1206/1280/1290/1306/1350

Table 7-6 Validation results of MLR models for the moisture content of single kernel brown rices

Varieties	n	R ²	SEP	bias	$\frac{SEP}{mean}$ (%)
Dongjin	52	0.987	0.148	-0.060	0.91
Ilpum	52	0.992	0.137	-0.026	0.83
Chucheong	53	0.991	0.189	0.007	1.18

* Model conditions : 1st derivative(gap=4nm), Standard Normal Variate and Detrending

일품은 수처리를 하지 않은 원시 스펙트럼과 1차 미분 스펙트럼의 결정계수가 0.992로서 높았고, 검증부 오차는 각각 0.240%와 0.137%로 나타나 모델로 적합할 것으로 판단되었다. 2차 미분 스펙트럼을 이용한 모델은 검증부 오차와 bias는 각각 0.296%와 0.002%로 낮았지만, 결정계수가 0.985로서 다른 모델에 비하여 낮게 나타났다.

추정의 경우 수분함량 예측모델은 1차 미분 스펙트럼을 이용한 모델이 가장 우수하였다. 이 모델의 결정계수는 0.991이었으며, 검증부 오차는 0.189%, bias는 0.007%로 나타났다. 원시 스펙트럼 및 2차 미분 스펙트럼은 결정계수가 0.988로 나타났으며, 검증부 오차와 bias가 모델로서 적합한 수준에 있으므로 수분함량 예측용 모델로 사용 가능할 것으로 판단되었다. Fig. 7-1, 7-2 및 Fig. 7-3에는 각 품종별로 실측치와 2차 미분 스펙트럼을 이용하여 예측한 결과를 나타내었다. 본 연구에서는 근적외선 영역인 1100~1400nm의 파장에서 수처리 및 전처리를 이용하여 단립 현미의 수분함량 예측용 다중 회귀모델을 개발하였고, 모델 개발에 이용된 3개 품종의 검증부를 이용하여 개발된 모델의 적용성을 검증하였다. 본 연구에서 개발된 모델들은 수처리 및 전처리에 관계없이 적용성이 높은 것으로 판단되었다.

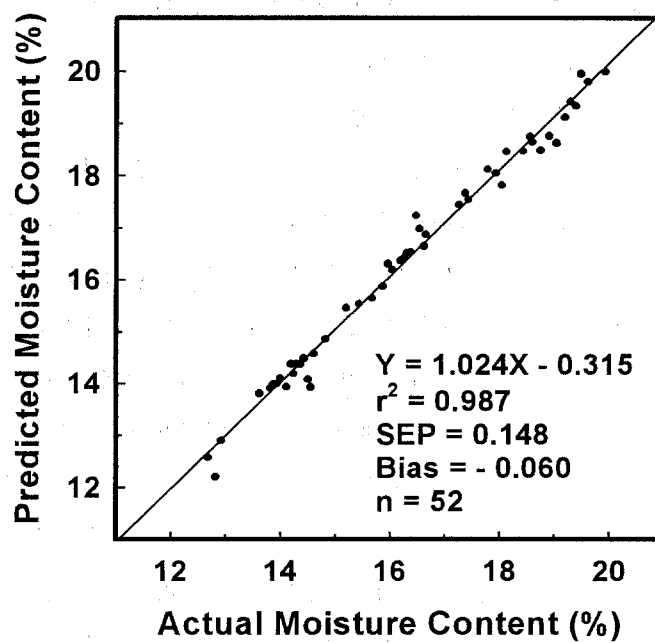


Fig. 7-1 Comparison of actual and predicted values for moisture content of Dongjin by MLR model using 6 wavelength (1st derivative, GAP=10nm)

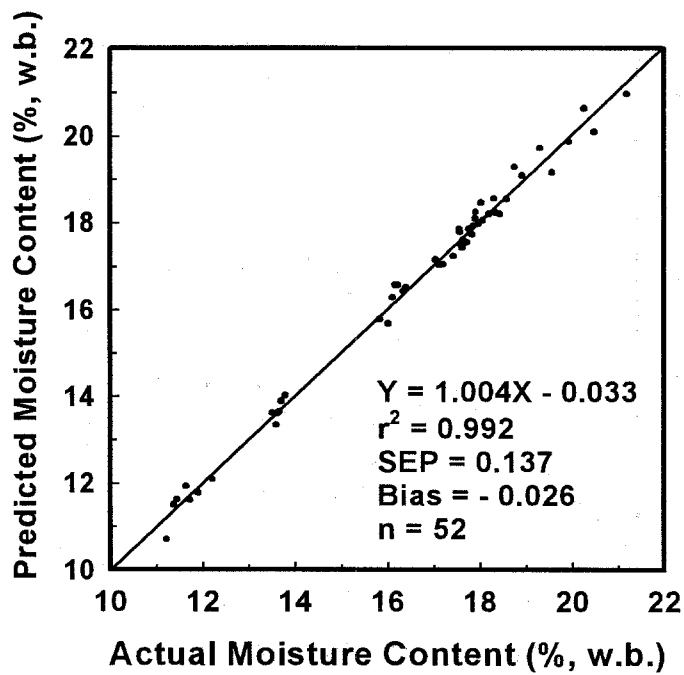


Fig. 7-2 Comparison of actual and predicted values for moisture content of Ilpum by MLR model using 6 wavelength (1st derivative, GAP=10nm)

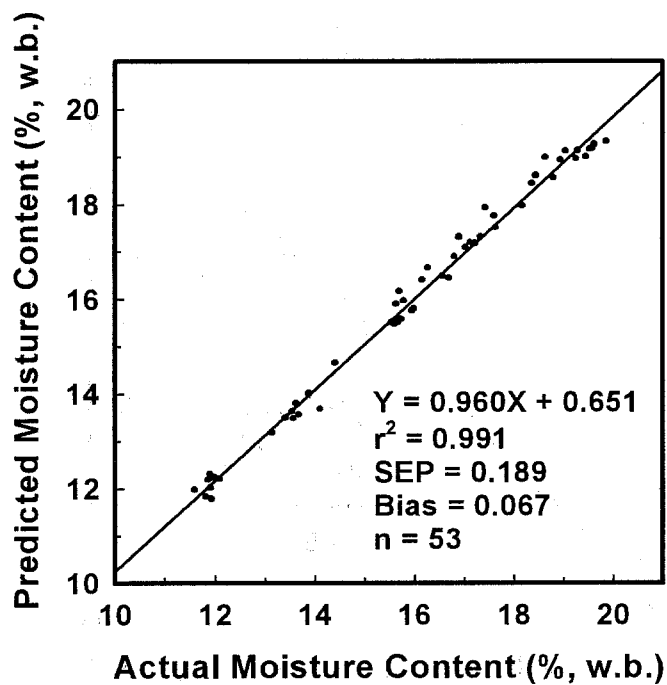


Fig. 7-3 Comparison of actual and predicted values for moisture content of Chucheong by MLR model using 6 wavelength (1st derivative, GAP=10nm)

나. PLS 모델을 이용한 단립 현미의 수분함량 예측

본 연구에서는 가장 안정된 수분함량 예측용 PLS 모델을 개발하기 위하여 수처리 및 전처리뿐만 아니라 파장 범위를 변화시키며 팩터, 결정계수, 교정부 오차를 관찰하여 적정 모델을 개발하였으며, 교정부 오차는 SECV(Standard Error of Cross Validation)을 이용하였다. 수처리의 경우 1차 미분 스펙트럼은 분할간격의 크기를 10nm로 하였으며, 2차 미분 스펙트럼은 분할간격의 크기를 20nm로 결정하여 모델을 개발하였다. 각 품종별 모델 개발시 교차검증(cross validation)을 실시하여 모델의 안정성 및 적용성을 높였다. 전처리는 다분산 보정 및 표준 정규화로 전처리한 경우와 전처리를 하지 않은 경우로 나누어 모델을 개발하였다.

각 품종별로 모델을 개발한 결과, 단립 현미의 수분함량 예측 모델에 가장 적합한 파장은 1100~1500nm였다. 이 파장은 원시 스펙트럼뿐만 아니라 1차 및 2차 미분 스펙트럼에서도 동일한 경향을 보여 주었다. 품종과 수처리에 관계없이 전처리로서 다분산 보정을 한 모델이 가장 안정적이었다.

Table 7-7은 1100~1500nm의 파장에서 품종과 수처리의 변화에 따른 모델을 개발한 결과를 나타내었으며, 전처리로서 다분산 보정을 수행한 결과이다. Table 7-7에서와 같이, 동진과 일품은 수처리를 하므로서 팩터가 감소하였으며 동진은 1차 미분한 모델, 일품은 2차 미분한 모델이 가장 안정적이었다. 그러나, 추청은 수처리를 하므로서 팩터는 증가하였지만, 결정계수가 높아지고 교정부 오차가 작아짐을 알 수 있다. 또한, 수처리를 하지 않은 원시 스펙트럼에 비하여 모델이 안정적으로 변함을 알 수 있었다. 따라서, 본 연구에서 개발한 PLS 모델은 수처리에 따라서 팩터의 수는 증가 또는 감소하였지만, 전반적으로 결정계수가 0.99이상이었으며, 교정부 오차는 0.218% 이하로서 상당히 안정되어 있음을 알 수 있었다.

Table 7-7. Summary of PLS calibration results by various varieties by moisture content

Variety	No. of samples	Mathematical Treatment	Factor	r^2	SECV*
Dongjin	102	none	8	0.993	0.175
		1st derivative	6	0.993	0.174
		2nd derivative	6	0.992	0.182
Ipum	103	none	8	0.993	0.230
		1st derivative	7	0.993	0.221
		2nd derivative	7	0.993	0.218
Chucheong	105	none	10	0.995	0.177
		1st derivative	12	0.996	0.160
		2nd derivative	11	0.995	0.175

Remark : 1. Wavelength : 1100~1500nm
 2. Preprocess : MSC(Multiplicative Scatter Correction)
 3. 1st derivative : gap size 10nm
 4. 2nd derivative : gap size 20nm
 * SECV : Standard Error of Cross Validation

위의 결과를 이용하여, 본 연구에서는 동진, 일품 및 추청의 수분함량별 스펙트럼을 혼합한 310개의 스펙트럼을 이용하여 1100~1500nm의 파장영역에서 PLS 모델을 개발하였다. 모델의 개발시, 수처리와 전처리를 하지 않은 스펙트럼과 수처리와 전처리를 실시한 스펙트럼으로 분리하여 이용하였다. 수처리는 1차 및 2차 미분을 실시하였으며, 분할간격의 크기는 전술한 바와 같다. 전처리는 다분산 보정과 표준 정규화를 이용하였다.

수처리별 모델 개발 결과는 Table 7-8과 같았다. Table 7-8에서와 같이 수처리를 하므로써 팩터의 수는 감소하여 모델이 안정되었지만, 결정계수가 감소하고 교정부 오차가 증가함을 알 수 있었다. 또한, 품종별로 개발된 모델에 비하여 결정계수가 낮고 교정부 오차가 높았다. 이것은 스펙트럼의 수가 많아지면서 품종에 따른 각 스펙트럼의 변이가 모델에 개입되어 오차로서 나타난 것으로 판단되었다.

수처리를 하지 않은 원시 스펙트럼은 전처리에 관계없이 안정된 결과를 보여 주었지만, 다분산 보정으로 전처리한 모델이 팩터의 수는 12, 결정계수는 0.979, 교정부 오차는 0.363%로 가장 좋은 결과를 보여 주었다.

분할간격의 크기를 10nm로 1차 미분한 스펙트럼은 표준 정규화로써 전처리한 모델이 결정계수가 가장 높고, 교정부 오차가 낮게 나타났다. 그러나, 이 모델은 팩터의 수가 12로서 다분산 보정한 경우보다 높게 나타났고, 결정계수와 교정부 오차가 큰 차이를 보이지 않으므로 다분산 보정한 모델을 선택하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

분할간격의 크기를 20nm로 2차 미분한 스펙트럼은 전처리의 유무에 상관없이 팩터의 수는 10으로 나타났고 결정계수도 유사한 값을 나타내었다. 그러나, 전처리로서 다분산 보정한 모델이 교정부 오차가 가장 낮게 나타났으므로 이것을 2차 미분 스펙트럼의 PLS 모델로 결정하였다.

Table 7-8 Summary of PLS calibration results for various varieties by moisture content

Mathematical Treatment	Preprocess	Factor	r^2	SECV ^a
none	none	12	0.990	0.247
	MSC ^b	12	0.992	0.215
	SNV and Dtr. ^c	13	0.991	0.235
1st derivative (gap=10nm)	none	13	0.989	0.247
	MSC ^b	12	0.992	0.222
	SNV and Dtr. ^c	13	0.991	0.231
2nd derivative (gap=20nm)	none	11	0.989	0.255
	MSC ^b	12	0.991	0.223
	SNV and Dtr. ^c	12	0.991	0.231

Remark : 1. Wavelength : 1100~1500nm
 2. Number of sample : 310
 a. SECV : Standard error of Cross Validation
 b. MSC : Multiplicative Scatter Correction
 c. SNV and Dtr. : Standard Normal Variate and Detrending

위에서 결정된 모델을 이용하여 품종별 검증부 스펙트럼으로 검증하였다. 모델의 검증에는 동진 52개, 일품 52개, 추청 53개의 스펙트럼이 이용되었다. 또한, 전처리에는 다분산 보정을 하였으며, 원시 스펙트럼과 1차 및 2차 미분 스펙트럼을 이용하여 검증하였다. 모델의 적합성은 결정계수, 검증부 오차(SEP; Standard Error of Prediction), bias를 이용하여 분석하였다. 모델의 검증 결과는 Table 7-9와 같았다.

동진은 52개의 스펙트럼을 이용하여 검증한 결과, 1차 미분 스펙트럼을 이용한 PLS 모델(1차 미분 모델)이 결정계수가 0.989, 검증부 오차가 0.100%, bias가 -0.054%로 우수한 결과를 보여 주었다. 원시 스펙트럼을 이용한 모델(원시 모델)은 결정계수는 1차 미분 모델과 같이 0.989로 나타났으나, 검증부 오차 및 bias가 각각 0.225%, -0.050%로 높게 나타났다.

일품은 2차 미분 스펙트럼을 이용한 PLS 모델(2차 미분 모델)이 결정계수가 0.993, 교정부 오차가 0.114%, bias가 0.010%로 우수하게 나타났다. 1차 미분 모델의 경우, 결정계수는 0.994로서 2차 미분 모델보다 높게 나타났으나, 검증부 오차가 0.154%로서 2차 미분 모델보다 높게 나타났다. 원시 모델은 결정계수가 0.993, 검증부 오차가 0.225%, bias가 -0.007로 나타났으나, 1차 미분 모델과 같이 2차 미분 모델에 비하여 검증부 오차가 크게 나타났다.

추청의 수분함량 예측용 PLS 모델은 1차 미분 모델이 적합한 것으로 나타났다. 1차 미분 모델은 결정계수가 0.993, 검증부 오차가 0.094%, bias가 -0.010%로 나타나 원시 모델과 2차 미분 모델에 비하여 예측성능이 우수함을 알 수 있었다. 각 품종별로 공기오븐법에 의한 실측치와 2차 미분 스펙트럼을 이용하여 예측한 결과는 Fig. 7-4, 7-5 및 Fig. 7-6에 나타내었다.

Table 7-9 Validation results of PLS models for the moisture content of brown rices

Varieties	n	R ²	SEP ^a	bias	$\frac{SEP}{mean}$ (%)
Dongjin	52	0.988	0.122	0.024	0.75
Ipum	52	0.993	0.114	0.010	0.69
Chucheong	53	0.992	0.148	-0.011	0.93

* Model conditions : 2nd derivative(gap=20nm), Multiplicative Scatter Correction

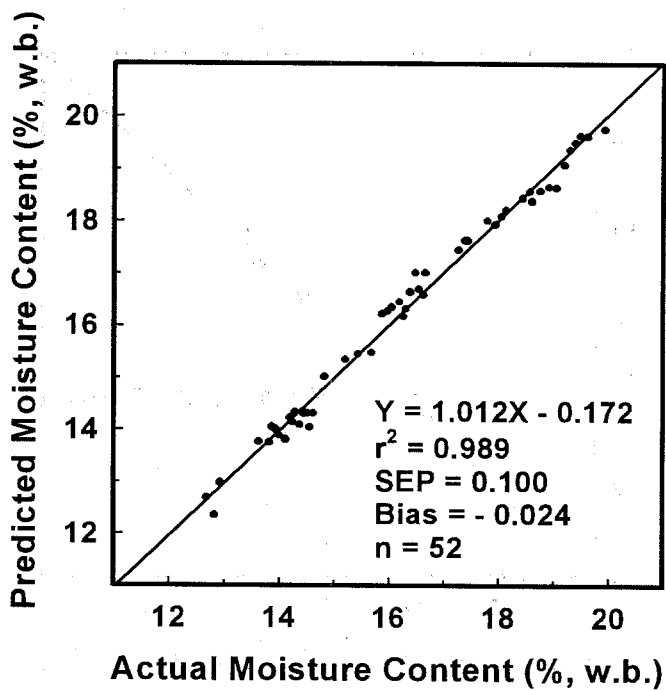


Fig. 7-4 Comparison of actual and predicted values for moisture content of Dongjin by PLS model (Wavelength : 1100~ 1500nm, 1st derivative)

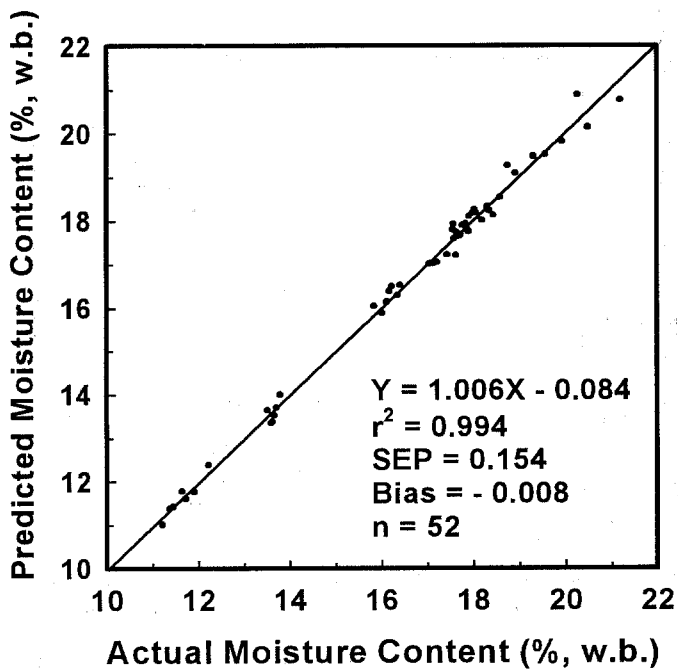


Fig. 7-5 Comparison of actual and predicted values for moisture content of Ilpum by PLS model(Wavelength : 1100~1500nm, 1st derivative).

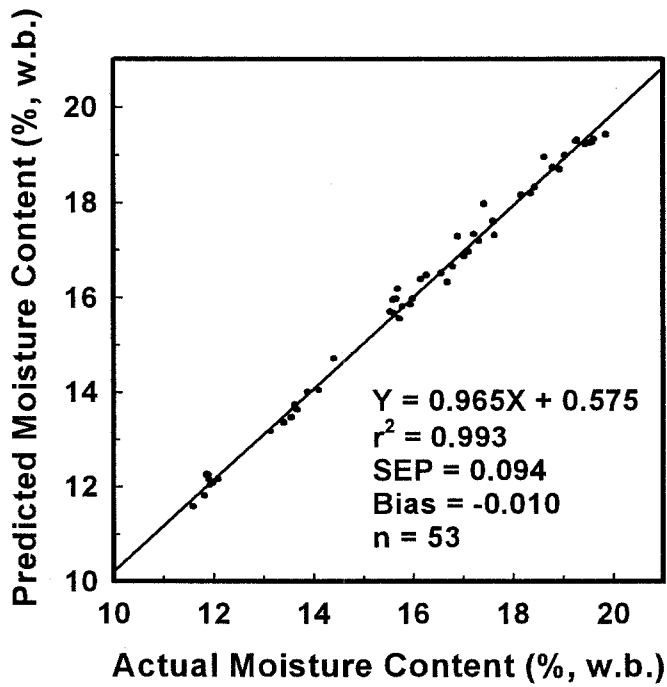


Fig. 7-6 Comparison of actual and predicted values for moisture content of Chucheong by PLS model (Wavelength : 1100~1500nm, 1st derivative)

다. 모델의 비교

본 연구에서는 다중 회귀분석법(다중 회귀모델)과 부분최소자승법(PLS 모델)을 이용하여 단립 현미의 수분함량 예측 모델을 개발하였다. 각 모델은 원시 스펙트럼과 분할 간격을 변화시킨 1차 및 2차 미분 스펙트럼을 이용하였다. 또한, 전처리를 실시하지 않은 스펙트럼과 전처리를 실시한 스펙트럼으로 분리하여 모델을 개발하였다. 스펙트럼의 전처리는 산란현상과 스펙트럼 측정시의 오차를 보정하기 위하여 사용되었으며, 전처리 방법은 다분산 보정과 표준 정규화를 이용하였다. 개발된 모델의 안정성 및 적용성은 교정부의 결정계수, 교정부 오차, 검증부의 결정계수, 검증부 오차, bias를 이용하여 분석하였다.

모델의 개발 결과, 다중 회귀모델은 1100~1400nm, PLS 모델은 1100~1500nm의 파장에서 검증부의 결정계수가 높고, 검증부 오차 및 bias가 낮게 나타났다. 다중 회귀모델은 6개의 파장을 사용하여 분할간격 20nm로 2차 미분한 스펙트럼을 다분산 보정으로 전처리한 모델이 가장 우수하였으며, 기타 다른 모델들도 단립 현미의 수분함량 예측모델로 사용할 수 있을 것으로 판단되었으며, 검증부의 최소 결정계수가 0.985, 최대 검증부 오차가 0.288%로 나타났다. PLS 모델은 수처리에 관계없이 전처리로서 다분산 보정을 하면, 어떤 모델을 사용하여도 수분함량의 예측성능이 우수할 것으로 판단되었으며, 본 연구에서 검증한 결과는 최소 결정계수가 0.988, 최대 검증부 오차가 0.225%로 나타났다.

따라서, 본 연구에서 개발된 모델들은 우리나라에서 생산되는 기타 단립종의 벼에 적용하여도 우수하게 수분함량을 예측할 것으로 사료된다. 특히 미국중합처리장에서 수분함량을 측정할 때, 최대 허용오차가 $\pm 0.5\%$ 임을 감안하면 본 연구에서 개발된 수분함량 예측용 다중 회귀모델 및 PLS 모델은 적용성이 아주 높은 것으로 판단되었다.

2. 현미의 단백질 함량 측정 모델 개발

가. 다중회귀모델 개발

현미 1립에 함유된 단백질 함량 측정용 다중 회귀모델은 원시 스펙트럼(원시 모델), 분할간격을 변화시킨 1차 및 2차 미분 스펙트럼(1차 및 2차 미분 모델)을 이용하였다. 각 모델은 전처리를 실시하지 않은 스펙트럼과 전처리로서 다분산 보정 및 표준정규화를 실시한 것으로 구분하였다. 모델 개발에 이용된 파장영역은 예비 분석을 통하여 1100~2000nm로 설정하였다. 최적 모델의 선정은 결정계수와 교정부 오차를 이용하였다.

예비 분석 결과에서 1차 미분 스펙트럼의 분할간격은 4nm일 때, 2차 미분 스펙트럼의 분할간격은 10nm일 때 결정계수가 가장 높게 나타났다. Table 7-10은 미분 및 전처리의 유무에 따른 동진의 다중 회귀모델 개발 결과를 나타내었다. 모델 개발에 이용된 스펙트럼은 101개였으며, 선택된 파장의 수는 모든 모델이 6개로 나타났다. Table 7-10을 살펴보면, 수처리를 하므로써 결정계수가 높아지고, 교정부 오차가 감소하는 것으로 나타났으며, 전처리는 다분산 보정을 이용하는 것이 좋은 것으로 나타났다.

원시 모델은 전처리로서 다분산 보정을 한 것이 결정계수가 0.840, 교정부 오차가 0.462%로 높게 나타났다. 1차 미분 모델은 표준 정규화와 다분산 보정으로 전처리한 것이 전처리하지 않은 모델보다 결정계수가 높고 교정부 오차가 낮은 것으로 나타났다. 2차 미분 모델은 전처리에 관계없이 결정계수가 0.877, 교정부 오차가 0.405%로서 유사한 값을 나타내므로써 동진의 경우, 2차 미분한 모델은 어느 것을 사용하여도 무방할 것으로 판단되었다.

Table 7-11은 일품의 단백질 함량별 스펙트럼 103개를 이용하여 다중 회귀모델을 개발한 결과를 나타내었다. 다분산 보정으로 전처리한 원시 모델은 6개의 파장을 사용하였을 때 결정계수가 0.798, 교정부 오차가 0.557%로서 전처리하지 않은 것과 표준 정규화로 전처리한 것에 비하여 결과가 양호하게 나타났다. 전처리하지 않은 원시 모델과 표준 정규화로 전처리한 원시 모델도 6개의 파장을 이용하였으며, 다분산 보정으로 전처리한 원시 모델에 비하여 교정부의 결정계수는 낮고, 교정부 오차는 크게 나타났다.

1차 미분 모델은 표준 정규화로 전처리한 것이 4개의 파장을 사용하여 다른 것보다 사용된 파장의 수는 작았지만 결정계수가 낮고 교정부 오차가 높아 모델로 사용하기에는 부적합하였다. 결정계수와 교정부 오차를 이용하여 결정된 모델은 다분산 보정으로 전처리한 것으로서 6개의 파장이 이용하였을 때 결정계수는 0.803, 교정부 오차는 0.549%로 나타났다.

2차 미분 모델은 전처리의 실행 여부에 관계없이 결정계수와 교정부 오차는 유사한 값을 나타내었다. 전처리를 하지 않은 모델은 5개의 파장이 사용되었으며 결정계수가 0.797, 교정부 오차가 0.558%로 나타났다. 다분산 보정 및 표준 정규화로 전처리한 모델은 같은 결과를 나타내었으며 6개의 파장을 이용하였을 때 결정계수는 0.801, 교정부 오차는 0.552%로 나타났다.

따라서, 위의 결과에서와 같이 일품을 이용한 모델은 전체적으로 동진을 이용한 모델과 비교하여 결정계수가 낮고, 교정부 오차가 높게 나타났다. 특히, 수처리 및 전처리에 관계없이 교정부 오차가 0.5%이상으로 나타나 모델의 적용성이 낮은 것으로 판단되었다.

Table 7-10 Summary of MLR(multiple linear regression) results for protein content of Dongjin brown rice

Mathematical Treatment	Preprocessing	No. of Wavelength	r^2	SEC ^a
None	None	6	0.776	0.545
	MSC ^b	6	0.840	0.462
	SNV and Dtr. ^c	6	0.781	0.539
1st derivative (gap=4nm)	None	6	0.807	0.507
	MSC ^b	6	0.847	0.451
	SNV and Dtr. ^c	6	0.849	0.449
2nd derivative (gap=10nm)	None	6	0.877	0.404
	MSC ^b	6	0.877	0.405
	SNV and Dtr. ^c	6	0.877	0.405

Remark : 1. number of sample : 101

2. wavelength : 1100~2000nm

a. SEC : Standard error of Calibration

b. MSC : Multiplicative Scatter Correction

c. SNV and Dtr. : Standard Normal Variate and Detrending

Table 7-11. Summary of MLR(multiple linear regression) results for
Ipum brown rice by protein content

Mathematical Treatment	Preprocessing	No. of Wavelength	r^2	SEC ^a
	None	6	0.771	0.592
None	MSC ^b	6	0.798	0.557
	SNV and Dtr. ^c	6	0.769	0.594
1st derivative (gap=4nm)	None	4	0.766	0.599
	MSC ^b	6	0.803	0.549
	SNV and Dtr. ^c	4	0.714	0.662
2nd derivative (gap=10nm)	None	5	0.797	0.558
	MSC ^b	6	0.801	0.552
	SNV and Dtr. ^c	5	0.801	0.552

Remark : 1. number of sample : 103
 2. wavelength : 1100~2000nm
 a. SEC : Standard error of Calibration
 b. MSC : Multiplicative Scatter Correction
 c. SNV and Dtr. : Standard Normal Variate and
 Detrending

Table 7-12는 추청을 이용하여 수처리 및 전처리별 단백질 함량 예측모델을 개발한 결과를 나타내었다. 모델 개발에는 105개의 스펙트럼을 이용하였다. 원시 모델은 표준 정규화로 전처리한 모델이 가장 양호하였으며 6개의 파장을 사용하였을 때 결정계수가 0.780, 교정부 오차가 0.383%으로 나타났다. 전처리를 하지 않은 모델은 2개의 파장을 사용하였지만 결정계수가 0.099로 나타나 모델로 사용할 수 없었다.

1차 미분 모델은 다분산 보정 및 표준 정규화로 전처리한 것이 6개의 파장을 사용하여 결정계수가 0.836, 교정부 오차가 0.331%로서 같은 결과를 나타내었다. 1차 미분 모델은 전처리의 실행 여부에 관계없이 결정계수가 0.8이상으로 높고 교정부 오차가 0.352%이하로 낮아 추청의 단백질 함량 예측 모델로 적합한 것으로 판단되었다.

2차 미분 모델은 1차 미분 모델과 같이 다분산 보정 및 표준 정규화로 전처리한 것이 결과가 동일하게 나타났다. 이 모델들은 6개의 파장을 사용하였을 때 결정계수가 0.806, 교정부 오차가 0.360%로 나타났다. 전처리를 하지 않은 경우는 전처리를 실행한 경우보다 결과가 나쁘게 나타났으며 6개의 파장을 사용했을 때 결정계수가 0.789, 교정부 오차가 0.375%로 나타났다. 그러나, 2차 미분 모델의 경우 전처리의 실행 여부에 관계없이 교정부 오차가 최대 0.375%로 나타나 추청 현미의 단백질 함량 예측 모델로 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서 개발된 추청의 단백질 함량 예측용 다중 회귀모델은 1차 미분모델을 전처리한 것이 가장 우수하였으며, 2차 미분 모델을 전처리한 것도 전처리의 유무에 관계없이 적용 가능할 것으로 판단되었다.

Table 7-12 Summary of MLR(multiple linear regression) results for
Chucheong brown rice by protein content

Mathematical Treatment	Preprocessing	No. of Wavelength	r^2	SEC ^a
None	None	2	0.099	0.776
	MSC ^b	6	0.733	0.422
	SNV and Dtr. ^c	6	0.780	0.383
1st derivative (gap=4nm)	None	6	0.814	0.352
	MSC ^b	6	0.836	0.331
	SNV and Dtr. ^c	6	0.836	0.331
2nd derivative (gap=10nm)	None	6	0.789	0.375
	MSC ^b	6	0.806	0.360
	SNV and Dtr. ^c	6	0.807	0.359

Remark : 1. number of sample : 105
 2. wavelength : 1100~2000nm
 a. SEC : Standard error of Calibration
 b. MSC : Multiplicative Scatter Correction
 c. SNV and Dtr. : Standard Normal Variate and
 Detrending

위에서 개발된 각 품종별 모델을 기초로 하여 3개 품종을 혼합한 후 수처리와 전처리를 변화시키며 단립종 현미의 단백질 함량 예측용 다중 회귀모델을 개발하였다. 모델 개발에는 모두 309개(동진 101개, 일품 103개, 추청 105개)의 스펙트럼을 이용하였다. 1차 미분 스펙트럼은 분할간격을 4nm로 하였으며, 2차 미분 스펙트럼은 분할간격을 10nm로 하였다.

Table 7-13은 수처리와 전처리별로 모델을 개발한 결과를 나타내었다. Table 7-13에서와 같이 원시 스펙트럼을 수처리와 전처리를 하므로서 결정계수가 증가하였다. 원시 스펙트럼을 이용하여 개발된 모델(원시 모델)은 표준 정규화로 전처리한 모델이 가장 양호하여 결정계수가 0.848, 교정부 오차가 0.638%로 나타났다. 이 모델은 결정계수는 높게 나타났으나, 교정부 오차가 0.5% 이상으로 크게 나타나 모델로 사용하기에는 부적합하였다.

1차 미분 스펙트럼을 이용한 모델(1차 미분 모델)은 원시 모델과 같이 표준정규화로 전처리한 것이 가장 양호하게 나타났다. 이 모델은 원시 모델보다 결정계수는 증가하였고 교정부 오차는 감소하였으며, 6개의 파장을 이용했을 때 결정계수는 0.873, 교정부 오차는 0.583%로 나타났다. 그러나 이 모델도 원시 모델과 같이 교정부 오차가 크게 나타났으므로 모델로 사용하기에 부적합하였다.

2차 미분 스펙트럼을 이용한 모델(2차 미분 모델)은 다분산 보정과 표준 정규화로 전처리한 모델이 같은 결과를 나타내었다. 두 모델은 6개의 파장을 이용했을 때 결정계수가 0.907, 교정부 오차가 0.499로 나타났다. 따라서, 본 연구에서 개발된 단립종의 단백질 함량 예측용 다중 회귀모델 중에서 가장 우수한 결과를 나타낸 것은 전처리를 실시한 2차 미분 모델이었다. Table 7-14는 원시 스펙트럼, 1차 및 2차 미분 스펙트럼을 표준 정규화로 전처리한 다중 회귀모델에 이용된 파장을 나타내었다.

Table 7-13 Summary of MLR calibration results for protein content of brown rice by single kernel

Mathematical Treatment	Preprocessing	No. of Wavelength	r^2	SEC ^a
None	None	6	0.811	0.712
	MSC ^b	6	0.778	0.772
	SNV and Dtr. ^c	6	0.848	0.638
1st derivative (gap=4nm)	None	6	0.810	0.715
	MSC ^b	6	0.845	0.645
	SNV and Dtr. ^c	6	0.873	0.583
2nd derivative (gap=10nm)	None	6	0.890	0.543
	MSC ^b	6	0.907	0.499
	SNV and Dtr. ^c	6	0.907	0.499

Remark : 1. number of sample : 309

2. wavelength : 1100~2000nm

a. SEC : Standard error of Calibration

b. MSC : Multiplicative Scatter Correction

c. SNV and Dtr. : Standard Normal Variate and Detrending

Table 7-15는 Table 7-13의 수처리별 다중 회귀모델 중에서 표준 정규화로 전처리한 것을 이용하여 품종별로 검증한 결과를 나타내었다. Table 7-15에서와 같이 검증 결과, 수처리를 한 모델이 좋은 결과를 보여주었으며 2차 미분 모델이 가장 우수하였다.

동진은 51개의 스펙트럼을 이용하여 검증하였으며, 2차 미분 모델에서 결정계수가 0.803, 검증부 오차가 0.570%, bias가 0.163%으로 나타났다. 원시 스펙트럼을 이용하여 검증한 결과는 결정계수가 0.591로 나타났고, 1차 미분 스펙트럼을 이용하여 검증한 결과는 결정계수가 0.644로 나타났으며 검증부 오차도 0.7%이상으로 나타났다. 따라서 이 두 모델은 동진의 단백질 함량 예측에 사용할 수 없는 것으로 판단되었다.

Table 7-14 Selected wavelength for each model of predicted protein content

Mathematical Treatment	Preprocessing	Wavelength(nm)
None	SNV and Dtr.	1118/1186/1198/1398/1728/1870
1st derivative (gap=4nm)	SNV and Dtr.	1126/1144/1170/1192/1672/1860
2nd derivative (gap=10nm)	None	1138/1182/1193/1256/1350/1684

Table 7-15 Validation results of MLR models for protein content of brown rices

Varieties	n	R ²	SEP ^a	bias	$\frac{SEP}{mean}$ (%)
Dongjin	51	0.803	0.570	0.163	5.47
Ilpum	52	0.876	0.485	-0.021	4.61
Chucheong	51	0.777	0.471	-0.179	5.97

* Model conditions : 2nd derivative(gap=10nm), Multiplicative Scatter Correction

일품은 1차 미분 모델이 결정계수 0.819로서 검증 결과가 양호하였으나, 특히 2차 미분 모델에서 결정계수가 0.876, 검증부 오차가 0.485%, bias가 -0.021%로 나타나 검증 결과가 우수하였다. 원시 모델로 검증한 결과는 결정계수가 0.774, bias가 0.157%로서 양호하였으나 검증부 오차가 0.681%로 높게 나타나 모델의 적용성이 낮은 것으로 판단되었다.

추청의 검증 결과는 다른 품종과 비교하여 결정계수는 감소하였으나, 검증부 오차가 감소하여 모델의 적용성이 높은 것으로 나타났다. 추청은 수처리에 관계없이 결정계수가 0.76 이상으로 나타났으며, 특히 검증부 오차가 0.537%이하로 다른 두 품종의 검증부 오차에 비하여 낮게 나타났다. 추청의 검증 결과가 가장 우수한 모델은 2차 미분 모델로서 결정계수가 0.777, 검증부 오차가 0.471%, bias가 -0.179%로 나타났다. Fig. 7-7, Fig. 7-8 및 Fig. 7-9에는 동진, 일품, 추청의 단립의 단백질 함량을 실측치와 본 연구에서 개발된 모델을 이용하여 예측한 결과를 나타내었다. 위의 결과와 같이, 단립 현미의 단백질 함량 예측용 다중회귀 모델은 1100~2000nm의 파장영역에서 분할간격 10nm로 2차 미분한 스펙트럼을 표준 정규화로 전처리 하면 모델의 안정성 및 적용성이 높을 것으로 판단되었다. 또한, 본 연구에서 개발된 다중 회귀 모델은 기타 단립종에 적용하여도 양호한 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

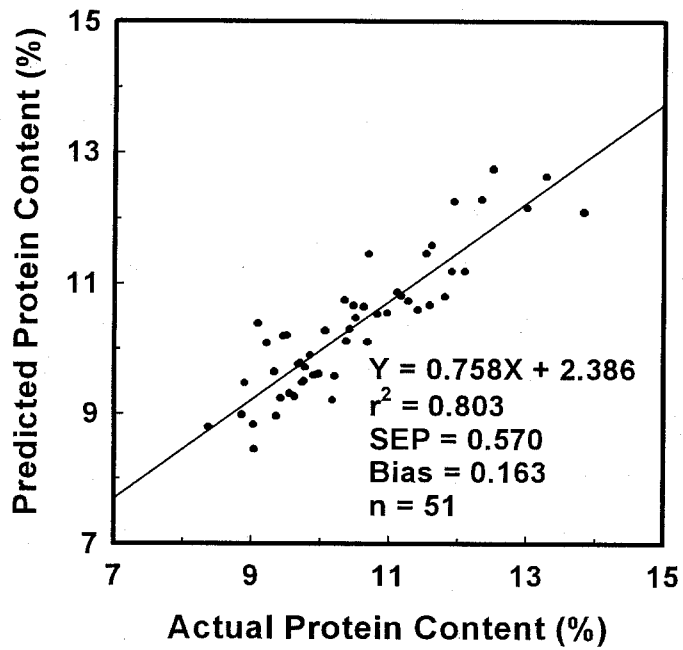


Fig. 7-7 Comparison of actual and predicted values for moisture content of Dongjin by MLR model (Wavelength: 1100~2000nm, 2nd derivative)

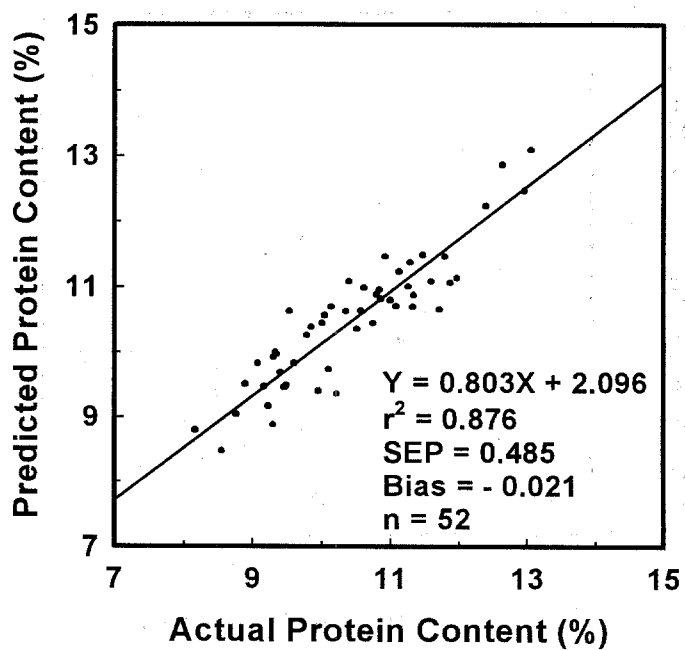


Fig. 7-8 Comparison of actual and predicted values for moisture content of Ipum by MLR model(Wavelength: 1100~2000nm, 2nd derivative)

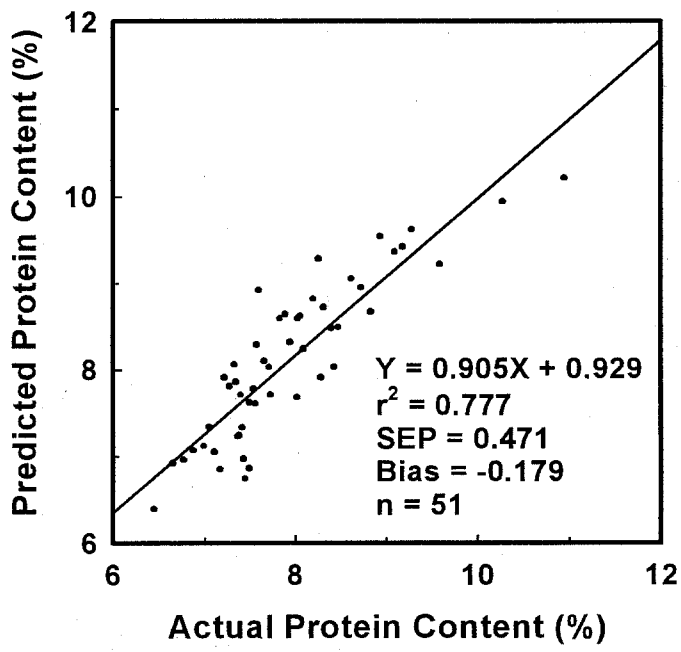


Fig. 7-9 Comparison of actual and predicted values for moisture content of Chuchoeng by MLR model (Wavelength: 1100~2000nm, 2nd derivative)

나. PLS 모델 개발

본 연구에서는 단립 현미의 단백질 함량 예측용 PLS 모델을 개발하기 위하여 원시 스펙트럼과 수처리 및 전처리를 실시한 스펙트럼을 이용하였다. 수처리는 분할간격을 변화시키며 1차 및 2차 미분을 하였으며, 전처리는 다분산 보정과 표준 정규화를 이용하였다. 1차 미분 스펙트럼의 분할간격은 4nm, 8nm, 10nm, 20nm로 나누었으며, 2차 미분스펙트럼의 분할간격은 8nm, 10nm, 20nm, 30nm로 나누었다.

스펙트럼은 400~2500nm의 파장영역에서 측정하였으며, 모델의 개발은 파장영역을 ① 400~2500nm, ② 850~2500nm, ③ 850~1098nm, ④ 1100~2500nm, ⑤ 1100~1500nm, ⑥ 1500~2000nm, ⑦ 2000~2500nm 등 7개의 영역으로 분할하여 예비 분석을 실시하였다. 최적 모델의 결정은 7개의 영역별 스펙트럼 중에서 교정부의 결정계수가 높고 교정부 오차가 낮은 하나의 파장영역을 선택하여 이용하였다. 교정부 오차는 SECV(Standard Error of Cross Validation)를 이용하였다.

예비 분석 결과, 단백질 함량 예측용 PLS 모델 개발에 유용한 스펙트럼 영역은 1100~1500nm였으며, 1차 미분 스펙트럼의 분할간격은 4nm, 2차 미분 스펙트럼의 분할간격은 10nm로 나타났다. 따라서, 본 연구에서는 이 결과를 참고하여 모델을 개발하였다. 모델 개발에는 동진, 일품, 추청의 현미를 이용하였다.

Table 7-16은 101개의 동진 현미의 스펙트럼을 이용하여 1100~1500nm의 파장영역에서 수처리 및 전처리를 변화시키며 모델을 개발한 결과를 나타내었다. Table 7-16과 같이 동진은 수처리에 관계없이 표준 정규화로 전처리한 모델이 가장 좋은 결과를 나타내었다.

Table 7-16 Summary of PLS calibration results for Dongjin brown rice
by single kernel

Mathematical Treatment	Preprocessing	Factors	r^2	SECV ^a
None	None	13	0.897	0.376
	MSC ^b	11	0.882	0.402
	SNV and Dtr. ^c	13	0.895	0.379
1st derivative (gap=4nm)	None	12	0.895	0.378
	MSC ^b	11	0.900	0.370
	SNV and Dtr. ^b	12	0.906	0.359
2nd derivative (gap=10nm)	None	8	0.884	0.394
	MSC ^b	9	0.900	0.369
	SNV and Dtr. ^b	10	0.891	0.385

Remark : 1. Number of sample : 101
 2. wavelength : 1100~1500nm
 a. SECV : Standard error of Cross Validation
 b. MSC : Multiplicative Scatter Correction
 c. SNV and Dtr. : Standard Normal Variate and Detrending

원시 스펙트럼을 이용한 모델(원시 모델)은 표준 정규화로 전처리했을 때 팩터의 수가 13, 결정계수가 0.895, 교정부 오차가 0.379%로 나타나 교정부의 결과가 가장 우수하였다. 다분산 보정으로 전처리한 경우는 팩터의 수가 11로 줄었지만 결정계수는 낮아지고, 교정부 오차가 높아졌다. 분할간격 4nm로 1차 미분한 스펙트럼(1차 미분 모델)은 전처리를 했을 때 결정계수가 0.9이상으로 높아졌다. 특히, 표준 정규화로 전처리한 경우는 결정계수가 0.906, 교정부 오차가 0.359%로 나타나 동진의 단백질 함량 예측 모델 중에서 가장 좋은 결과를 나타내었지만 팩터의 수는 12로서 다분산 보정으로 전처리한 경우(팩터의 수는 11)보다 높게 나타났다.

분할간격 10nm로 2차 미분한 스펙트럼(2차 미분 모델)은 전처리를 하지 않았을 때 팩터의 수가 8로서 가장 낮게 나타났다. 그러나 이 모델은 다른 2차 미분 모델에 비하여 결정계수가 낮고, 교정부 오차가 높은 단점이 있었다. 결정계수와 교정부 오차를 이용하여 모델을 선택한 결과 다분산 보정으로 전처리한 것이 좋은 결과를 나타내었으며, 팩터의 수는 9였다. Table 7-17은 103개의 일품 현미의 스펙트럼을 이용하여 1100~1500nm의 파장영역에서 수치리 및 전처리를 변화시키며 모델을 개발한 결과를 나타내었다. 일품의 PLS 모델은 수치리에 관계없이 전처리로서 다분산 보정을 한 것이 결정계수가 높고, 교정부 오차가 낮은 것으로 나타났다. 특히, 다분산 보정으로 전처리한 원시 모델은 팩터의 수가 11일 때 결정계수가 0.901, 교정부 오차가 0.384%로 나타나 일품의 PLS 모델 중에서 가장 좋은 결과를 보여 주었다. Table 7-17에서와 같이 일품의 PLS 모델은 수치리를 하므로서 팩터의 수는 감소하였으나, 결정계수가 감소하고, 교정부 오차가 증가하는 경향을 나타내었다.

Table 7-17 Summary of PLS calibration results for Ilpum brown rice
by single kernel

Mathematical Treatment	Preprocessing	Factors	r^2	SECV ^a
None	None	13	0.875	0.435
	MSC ^b	11	0.901	0.384
	SNV and Dtr. ^c	12	0.881	0.424
1st derivative (gap=4nm)	None	11	0.881	0.423
	MSC ^b	10	0.896	0.395
	SNV and Dtr. ^b	11	0.882	0.422
2nd derivative (gap=10nm)	None	9	0.879	0.427
	MSC ^b	9	0.893	0.401
	SNV and Dtr. ^b	9	0.884	0.417

Remark : 1. Number of sample : 103
 2. wavelength : 1100~1500nm
 a. SECV : Standard error of Cross Validation
 b. MSC : Multiplicative Scatter Correction
 c. SNV and Dtr. : Standard Normal Variate and Detrending

팩터의 수를 기준으로 선택한 모델은 분할간격 10nm로 2차 미분한 스펙트럼을 다분산 보정으로 전처리한 모델이었으며, 이 모델은 팩터의 수가 9일 때 교정부에서 결정계수가 0.893, 교정부 오차가 0.401%로 나타나 원시 스펙트럼을 이용한 모델에 비하여 팩터의 수는 줄었으나, 교정부 오차가 증가하는 단점이 있었다.

추청을 이용하여 PLS 모델을 개발한 결과는 Table 7-18에 나타내었다. 추청의 PLS 모델은 2차 미분 스펙트럼을 전처리로서 표준 정규화한 2차 미분 모델의 결과가 가장 우수하였다. 이 모델은 팩터의 수가 9였으며, 교정부의 결정계수가 0.810, 교정부 오차가 0.357%로 나타났다. 원시 모델의 경우, 팩터의 수는 다분산 보정으로 전처리한 것이 9로서 작았지만 결정계수가 0.779, 교정부 오차가 0.386%으로 나타나 전처리를 하지 않은 것과 표준 정규화로 전처리한 것에 비하여 나쁜 결과를 나타내었다. 원시 스펙트럼을 표준 정규화로 전처리한 모델은 팩터의 수는 11로서 높게 나타났지만 결정계수가 0.798, 교정부 오차가 0.368%로서 양호한 결과를 나타내었다. 1차 미분 모델은 표준 정규화로 전처리한 모델이 팩터의 수가 10, 결정계수가 0.805, 교정부 오차가 0.362%로 다른 모델에 비하여 양호하였다.

추청의 PLS 모델은 동진 및 일품의 PLS 모델과 유사하게 수처리를 하므로써 팩터의 수가 감소하였으며, 전처리를 실행하므로써 결정계수가 증가하고, 교정부 오차가 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 원시 스펙트럼을 수처리하여 기준선을 일치시키므로써 스펙트럼 측정시의 오차를 보정하고, 전처리를 이용하여 산란현상을 제거하여 스펙트럼의 안정성을 높인 결과로 사료된다.

Table 7-18 Summary of PLS calibration results for Chucheong brown rice by single kernel

Mathematical Treatment	Preprocessing	Factors	r^2	SECV ^a
None	None	11	0.792	0.374
	MSC ^b	9	0.779	0.386
	SNV and Dtr. ^c	11	0.798	0.368
1st derivative (gap=4nm)	None	10	0.795	0.372
	MSC ^b	9	0.790	0.376
	SNV and Dtr. ^c	10	0.805	0.362
2nd derivative (gap=10nm)	None	9	0.795	0.371
	MSC ^b	9	0.800	0.366
	SNV and Dtr. ^c	9	0.810	0.357

Remark : 1. Number of sample : 105
 2. wavelength : 1100~1500nm
 a. SECV : Standard error of Cross Validation
 b. MSC : Multiplicative Scatter Correction
 c. SNV and Dtr. : Standard Normal Variate and Detrending

본 연구에서는 각 품종별 모델 개발에 사용되었던 스펙트럼을 혼합하여(총 스펙트럼 수 309개) 단립 현미의 단백질 함량 예측용 모델을 개발하였다. 모델 개발에는 1100~1500nm의 파장영역에서 원시 스펙트럼, 1차 및 2차 미분 스펙트럼을 이용하였으며, 전처리로서 다분산 보정과 표준 정규화를 이용하였다. 모델 개발에 이용된 1차 미분 스펙트럼은 분할간격을 4nm로 하였으며, 2차 미분 스펙트럼은 분할간격을 10nm로 하였다. 모델은 팩터의 수와 교정부의 결정계수 및 오차를 이용하여 선정하였으며, 교정부 오차는 SECV를 이용하였다.

Table 7-19는 수처리 및 전처리별 모델 개발 결과를 나타내었다. 각 품종별로 개발된 모델과 같이, 수처리를 실시하므로써 팩터의 수가 감소하였으며, 교정부 오차는 1차 미분 모델이 가장 크게 나타났다. 원시 모델은 다분산 보정으로 전처리한 것이 팩터의 수가 13, 결정계수가 0.937, 교정부 오차가 0.411%로서 전처리하지 않은 것과 표준 정규화로 전처리한 것보다 팩터의 수가 감소하였다. 또한, 결정계수는 감소하였고 교정부 오차는 증가하였지만 그 폭이 아주 미세한 관계로 검증부에 크게 영향을 미치지 않을 것으로 사료되어 원시 모델을 이용하였다.

1차 미분 모델을 개발한 결과, 팩터의 수는 다분산 보정으로 전처리한 것이 12로 나타났으며, 나머지는 팩터의 수가 13으로 높게 나타났다. 결정계수는 표준 정규화로 전처리한 모델이 0.938로서 가장 높게 나타났으며, 교정부 오차도 표준 정규화한 모델이 0.409%로서 가장 낮게 나타났다. 그러나 결정계수와 교정부 오차의 크기가 유사하여 1차 미분 모델은 팩터의 수가 작은 다분산 보정으로 전처리한 것을 선정하였다. 이 모델은 결정계수가 0.926, 교정부 오차가 0.421%였다.

Table 7-19 Summary of PLS calibration results for brown rice by single kernel

Mathematical Treatment	Preprocessing	Factors	r^2	SECV ^a
None	None	15	0.939	0.405
	MSC ^b	13	0.937	0.411
	SNV and Dtr. ^c	15	0.938	0.407
1st derivative (gap=4nm)	None	13	0.934	0.419
	MSC ^b	12	0.934	0.421
	SNV and Dtr. ^c	13	0.938	0.409
2nd derivative (gap=10nm)	None	10	0.926	0.447
	MSC ^b	10	0.926	0.444
	SNV and Dtr. ^c	12	0.934	0.419

Remark : 1. Number of sample : 309
 2. wavelength : 1100~1500nm
 a. SECV : Standard error of Cross Validation
 b. MSC : Multiplicative Scatter Correction
 c. SNV and Dtr. : Standard Normal Variate and Detrending

2차 미분은 전처리하지 않은 것과 다분산 보정으로 전처리한 것이 팩터의 수가 10으로서 본 연구에서 개발한 전체 모델 중 가장 작은 값을 나타내었다. 이 두 모델은 결정계수가 0.926으로 같게 나타났으며, 2차 미분 모델에서 전처리하지 않은 것의 교정부 오차는 0.447%, 다분산 보정으로 전처리한 것의 교정부 오차는 0.444%로 유사하게 나타났다. 결정계수와 교정부 오차는 표준 정규화로 전처리한 모델이 각각 0.934, 0.419%로서 2차 미분 스펙트럼을 이용한 모델 중에서 가장 양호한 결과를 나타내었다. 그러나, 표준 정규화로 전처리한 모델은 팩터의 수가 12로 증가하는 단점이 있었다. 따라서, 본 연구에서는 2차 미분 모델로서 다분산 보정으로 전처리한 것으로 결정하였다.

위에서 결정된 수처리별 모델은 각 품종의 검증부를 이용하여 검증하였으며, 그 결과는 Table 7-20과 같았다. 각 모델은 다분산 보정으로 전처리를 실시하였다. 검증에는 동진이 51개, 일품이 52개, 추청이 51개 등 총 154개의 시료를 이용하였다. 동진의 검증 결과, 1차 미분 모델이 결정계수가 0.857, 검증부 오차가 0.463%, bias가 0.014%로 나타나, 검증 결과가 양호하였다. 2차 미분 모델은 검증부 오차가 0.5%이상으로 크게 나타났다. Fig. 7-10에는 검증부의 실측치와 1차 미분 모델을 이용한 예측치의 관계를 나타내었다.

일품은 원시 스펙트럼을 이용한 모델의 결과가 양호하였으며, 결정계수가 0.924, 검증부 오차는 0.400%, bias는 -0.081%로 나타났다. 일품은 동진 및 추청의 검증 결과보다 결정계수, 검증부 오차 및 bias가 우수하게 나타났으며, Fig. 7-11에는 일품의 단백질 함량에 따른 실측치와 원시 스펙트럼 모델을 이용한 예측치의 관계를 나타내었다.

Table 7-20 Validation results of PLS models for protein content of single kernel brown rices

Varieties	n	R ²	SEP ^a	bias	$\frac{SEP}{mean}$ (%)
Dongjin	51	0.857	0.463	0.014	4.42
Ilpum	52	0.887	0.479	-0.151	4.55
Chucheong	51	0.837	0.412	-0.184	5.22

* Model conditions : 1st derivative(gap=4nm), Standard Normal Variate and Detrending

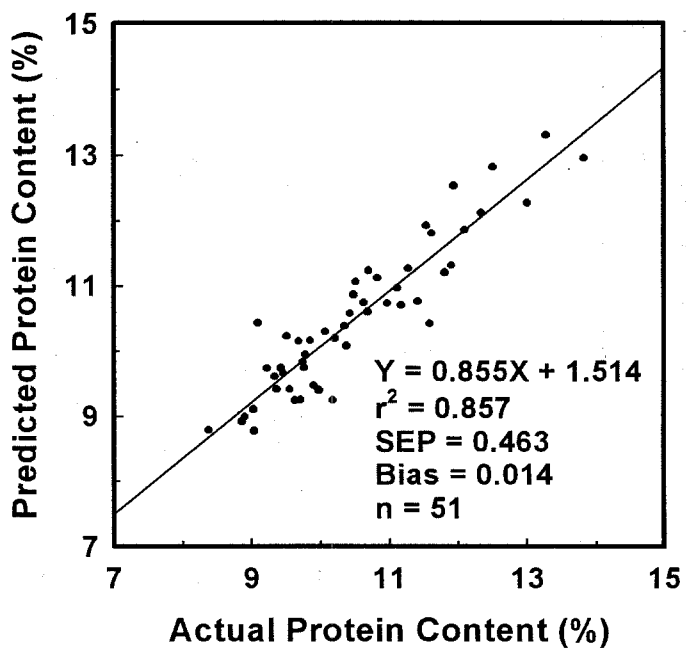


Fig. 7-10 Comparison of actual and predicted values for moisture content of Dongjin by PLS model (Wavelength: 1100~1500nm, 1st derivative)

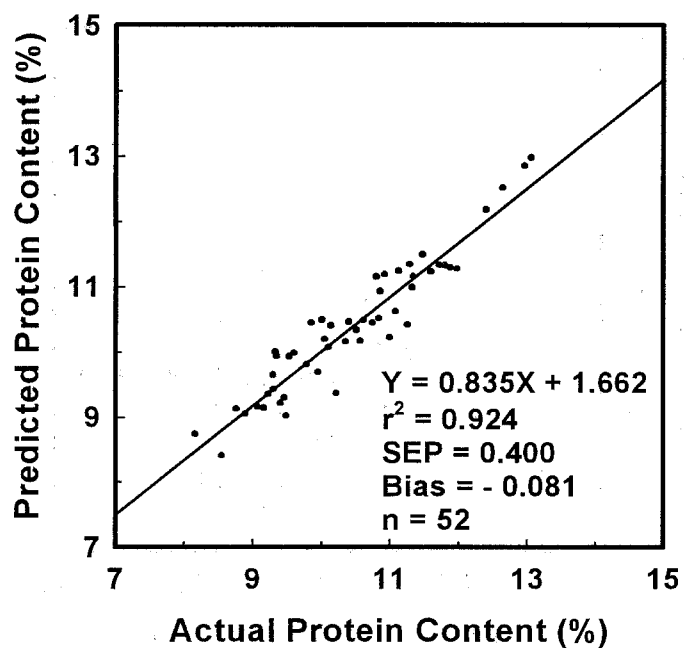


Fig. 7-11 Comparison of actual and predicted values for moisture content of Ipum by PLS model(Wavelength: 1100~1500nm, Raw Spectrum)

추청은 1차 미분 모델이 결정계수가 0.837, 검증부 오차가 0.412%, bias가 -0.184%로서 가장 좋은 결과를 나타내었다. 추청은 동진과 일품보다 결정계수와 bias는 나쁘지만, 검증부 오차는 최대 0.450%로서 양호한 결과를 나타내었다. Fig. 7-12에는 추청의 단백질 함량에 따른 실측치와 1차 미분 모델을 이용한 예측치의 관계를 나타낸 것이다.

따라서, 1100~1500nm의 파장을 이용하여 개발한 단립 현미의 단백질 함량 예측용 PLS 모델은 전처리로서 다분산 보정을 하면 수처리에 관계없이 적용 가능할 것으로 판단되었다.

다. 모델의 비교

본 연구에서는 단립 현미의 단백질 함량 예측을 위하여 다중 회귀 분석법(다중 회귀모델)과 부분최소자승법(PLS 모델)으로 모델을 개발하였다. 본 연구에서 개발된 최적의 다중 회귀모델은 1100~2000nm의 파장영역에서 분할간격 10nm로 2차 미분한 스펙트럼을 표준 정규화로 전처리한 것이다. 또한 PLS 모델은 100~1500nm의 파장을 이용하여 수처리를 하지 않고 다분산 보정으로 전처리를 하면 원시 스펙트럼, 분할간격 4nm인 1차 미분 스펙트럼과 분할간격 10nm인 2차 미분 스펙트럼을 이용하여 우수한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단되었다. 다중 회귀모델과 PLS 모델은 동진, 일품, 추청 등 3개 품종의 검증부를 이용하여 검증하였다. 결정계수, 검증부 오차, bias를 이용하여 분석한 검증 결과는 다중 회귀모델보다 PLS 모델의 예측 성능이 우수하였다. 따라서, 본 연구에서 개발된 단립 현미의 단백질 함량 예측을 위하여 개발된 다중 회귀모델과 PLS 모델은 적용성이 높은 것으로 판단되었다.

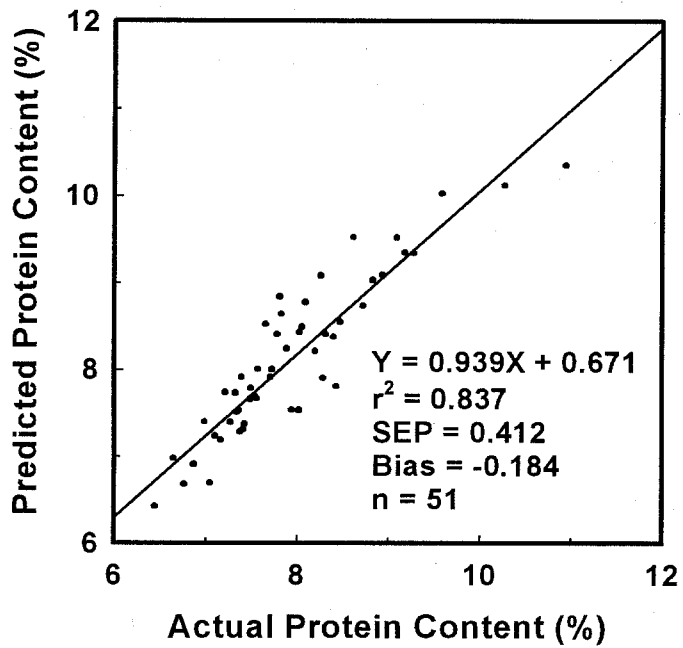


Fig. 7-12 Comparison of actual and predicted values for moisture content of Chuchoeng by PLS model (Wavelength: 1100~1500nm, 1st derivative)

3. 아밀로오스 함량 예측 모델 개발

가. 다중회귀 모델의 개발

아밀로오스 함량 예측을 위한 다중회귀 모델의 개발시 미분 스펙트럼의 분할간격과 모델 개발에 사용되는 파장영역 및 평활화 간격 등은 예비 분석을 통하여 결정하였다. 예비 분석 결과, 원시 스펙트럼을 평활화를 하지 않고 분할간격을 10nm로 하여 1차 및 2차 미분한 스펙트럼을 이용한 모델이 양호한 결과를 나타내었다.

교정부 20개의 스펙트럼을 이용하여 다중회귀 모델의 개발하고 9개의 스펙트럼으로 검증한 결과는 Table 7-21과 같다. Table 7-21의 교정부 결과를 살펴보면, 전처리는 스펙트럼의 산란을 보정하므로써 교정부의 결정계수를 높이고 교정부 오차가 줄어들게 함을 알 수 있었다. 원시 스펙트럼은 표준 정규화로 전처리한 모델이 교정부의 결정계수가 0.977로 가장 높고, 교정부 오차는 0.648%로서 낮게 나타났다. 검증부의 결정계수는 0.899, 검증부 오차는 1.577%, bias는 -0.249%로 나타났다.

분할간격 10nm의 1차 미분 스펙트럼을 이용한 모델은 전처리에 관계없이 0.98이상의 높은 결정계수를 나타내었으며, 교정부 오차도 최대 0.6% 이하로 나타났다. 특히, 전처리를 하지 않은 모델은 결정계수가 0.999, 교정부 오차가 0.128%로 나타나 전처리한 모델보다 우수한 결과를 보여 주었다. 그러나 검증부의 결과는 원시 스펙트럼이나 2차 미분 스펙트럼을 이용한 모델보다 결정계수가 0.872로 낮고, 검증부 오차가 1.614%로서 높게 나타났다.

Table 7-21 Calibration and validation results of MLR models for the amylose contents

Mathematical Treatment	Preprocessing	No. of Wavelength	Calibration			Validation				
			n	R ²	SEC ^a	n	R ²	SEP ^b	bias	$\frac{SEP}{mean}$ (%)
Raw	None	2	22	0.890	1.423					
	MSC ^c	1	22	0.921	1.207					
	SNV & Dtr. ^d	3	22	0.977	0.648	9	0.889	1.577	-0.249	8.850
1st derivative (gap=10nm)	None	6	22	0.999	0.128	9	0.872	1.614	0.214	9.057
	MSC	5	22	0.991	0.395					
	SNV & Dtr.	5	22	0.980	0.600					
2nd derivative (gap=10nm)	None	2	22	0.932	1.114					
	MSC	5	22	0.990	0.421	9	0.881	1.553	-0.238	8.715
	SNV & Dtr.	2	22	0.952	0.935					

Remark : a. SEC : Standard error of Calibration b. SEP : Standard Error of Prediction

c. MSC : Multiplicative Scatter Correction

d. SNV & Dtr. : Standard Normal Variate and Detrending

분할간격 10nm로 2차 미분한 스펙트럼을 이용한 모델은 다분산 보정으로 전처리한 모델이 결정계수가 0.990, 교정부 오차가 1.114%로서 가장 우수한 결과를 나타내었다. 모델의 검증 결과는 결정계수가 0.881, 검증부 오차가 1.553%, bias가 -0.238%로 나타났다. 모델에 사용된 파장은 1208nm, 1464nm, 1480nm, 2122nm, 2138nm로 5개였으며, 개발된 회귀식은 (7-3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Amylose content}(\%) = & -50.309 - 566.808W_{1208} - 3546.754W_{1464} \\ & + 5743.777W_{2138} + 1288.83W_{1480} - 911.269W_{2122} \\ & \dots\dots\dots (7-3) \end{aligned}$$

여기서, $W(\lambda) = d^2 \log(1/R(\lambda))$

식 (7-3)에서 1208nm는 C-H밴드의 2차 배음대이며, 2138nm는 C-H밴드의 결합대로서 아밀로오스 함량과 관계된 파장으로 판단된다. 기타 다른 파장들은 오차의 보정을 위하여 사용되었으며, 특히 1480nm는 O-H밴드의 1차 배음대를 나타낸다. 모델의 검증결과는 결정계수가 0.872, 검증부 오차가 1.614%, bias가 -0.241%로 나타나 다른 모델보다 우수한 결과를 보여주었다. 또한, 검증부의 시료의 수가 부족하여 검증부의 결정계수가 교정부의 결정계수보다 낮게 나타난 것으로 판단되었다.

각 수학적 처리별로 개발된 모델의 교정부의 결정계수와 교정부 오차를 분석하면, 결정계수가 0.977이상으로 높고, 교정부 오차는 0.648%이하로 낮으므로 현미의 아밀로오스 함량 예측용 모델로 이용할 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 검증부의 결과에서 최대 검증부 오차가 1.614%로 나타나고 모델의 최대 오차변위가 9.057%이므로 화학분석시 발생하는 오차를 고려하면, 개발된 다중회귀 모델은 실용적으로 적용 가능할 것으로 판단되었다.

나. PLS 모델의 개발

다중회귀 모델 개발에 사용되었던 교정부의 스펙트럼 20개를 이용하여 PLS 모델을 개발하였다. 모델 개발에 이용된 파장영역 및 수학적 처리는 다중회귀 모델에 이용된 방법과 동일하였다.

1100~2290nm의 파장영역에서 수학적 처리와 전처리에 따른 PLS 모델의 개발 및 검증 결과는 Table 7-22와 같다. 원시 스펙트럼을 이용한 모델은 다분산 보정과 표준 정규화로 전처리한 모델이 팩터의 수, 교정부의 결정계수 및 교정부 오차가 유사하게 나타났지만, 검증부의 결과를 고려하여 표준 정규화로 전처리한 모델을 선정하였다. 교정 결과는 팩터의 수가 4, 결정계수가 0.939, 교정부 오차가 1.004%로 나타났으며, 검증 결과는 결정계수가 0.886, 검증부 오차가 1.709%, bias가 -0.605%로 나타났다.

1차 미분 스펙트럼을 이용한 모델을 개발하기 위하여 원시 스펙트럼을 분할간격 20nm로 미분하였다. 이 때, 1차 미분 스펙트럼을 이용하여 전처리하지 않은 모델이 팩터의 수가 5, 결정계수가 0.930, 교정부 오차가 1.085%로서 우수하였다. 검증 결과는 결정계수가 0.886, 검증부 오차가 1.546%, bias가 -0.635%로 나타나 원시 스펙트럼을 이용한 모델에 비하여 검증부 오차가 줄었다. 표준 정규화로 전처리한 모델은 팩터의 수가 4로서 가장 작게 나타났으나, 결정계수와 교정부 오차가 전처리하지 않은 모델보다 나쁘게 나타나 모델에서 제외하였다. 1차 미분 스펙트럼을 이용한 모델에서는 다분산 보정으로 전처리한 모델이 결정계수가 0.839로 가장 낮게 나타났다.

분할간격을 변화시키며 2차 미분 스펙트럼을 이용한 모델을 개발한 결과, 분할간격을 20nm로 미분하여 개발한 모델이 교정부의 결과가 우수하였다. 2차 미분 스펙트럼을 이용한 모델은 원시 스펙트럼 모델과 1차 미분

Table 7-22 Calibration and validation results of PLS models for the amylose contents

Mathematical Treatment	Preprocessing	No. of Factors	Calibration			Validation				
			n	R ²	SECV ^a	n	R ²	SEP ^b	bias	$\frac{SEP}{mean}$ (%)
Raw	None	5	22	0.888	1.369					
	MSC ^c	4	22	0.939	1.004					
	SNV & Dtr. ^d	4	22	0.933	1.061	9	0.886	1.709	-0.605	9.590
1st derivative (gap=20nm)	None	5	22	0.930	1.085	9	0.886	1.546	0.635	8.676
	MSC	5	22	0.839	1.639					
	SNV & Dtr.	4	22	0.895	1.325					
2nd derivative (gap=20nm)	None	6	22	0.885	1.138	9	0.922	1.423	-0.632	7.985
	MSC	5	22	0.867	1.491					
	SNV & Dtr.	3	22	0.875	1.449					

Remark : a. SECV : Standard error of Cross Validation b. SEP : Standard Error of Prediction

c. MSC : Multiplicative Scatter Correction

d. SNV & Dtr. : Standard Normal Variate and Detrending

전처리하지 않은 2차 미분 스펙트럼을 이용한 모델은 팩터의 수가 6, 결정계수가 0.885, 교정부 오차가 1.138%이었으며, 모델의 오차변위는 7.985%로 나타났다. 전처리를 하지 않은 2차 미분 스펙트럼을 이용한 모델은 다분산 보정과 표준 정규화로 전처리한 모델보다 팩터의 수는 크게 나타났으나, 결정계수가 높고 교정부 오차가 작았으므로 아밀로오스 측정용 PLS 모델로 선정하였다. 2차 미분 스펙트럼을 이용한 모델의 검증 결과, 결정계수가 0.922, 검증부 오차가 1.423%, bias가 -0.632%로 나타났다. 특히, 표준 정규화로 전처리한 모델은 팩터의 수가 3으로서 전체 모델 중에서 가장 작게 나타났으나, 교정부 오차가 1.449%로 크게 나타났다.

위에서와 같이 PLS 모델의 경우, 교정부의 결과는 원시 스펙트럼을 이용한 모델과 1차 미분 스펙트럼을 이용한 모델이 우수하였지만 검증부의 결과는 2차 미분 스펙트럼을 이용한 모델이 오히려 우수한 것으로 나타났다. 이것은 2차 미분 모델의 경우 팩터의 수가 6으로 증가하므로써 모델의 예측성능을 높인 것으로 판단되었다. 따라서 PLS 모델은 1100~2290nm 파장영역에서 수학적 처리와 전처리를 수행한 후 2차 미분 스펙트럼을 이용해 모델을 개발하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

다. 모델의 비교

근적외선 분광분석법으로 산물 현미의 아밀로오스 함량을 측정하기 위하여 1100~2290nm의 파장영역에서 수학적 처리와 전처리를 이용하여 다중회귀 모델과 PLS 모델을 개발하였다. 다중회귀 모델은 분할간격 10nm로 2차 미분한 스펙트럼을 이용한 모델이 가장 우수하여 결정계수는 0.990, 교정부 오차는 1.114%였으며, 검증부의 결정계수는 0.881, 검증부 오차가 1.553%, bias가

-0.238%로 나타났다. 이 결과는 문 등(1994)이 개발한 다중회귀 모델의 검증 결과와 유사하였으며, 보다 많은 시료를 확보하여 모델을 개발하면 더욱 우수한 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

PLS 모델은 팩터의 수가 6인 다분산 보정으로 전처리한 2차 미분 스펙트럼을 이용한 모델이 우수하였으며, 검증부의 결정계수가 0.922, 검증부 오차가 1.423%, bias가 -0.632%로 나타났다(Fig. 7-13). 이 결과는 본 논문에서 개발한 아밀로오스 측정용 모델중 가장 우수한 결과를 나타내었으며, Delwiche 등(1995)의 연구 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 일반적으로 아밀로오스 함량의 화학분석시 나타나는 오차가 2%정도 임을 고려할 때, 2차 미분 스펙트럼을 이용한 PLS 모델은 우리나라에서 생산되는 단립종 쌀의 아밀로오스 함량 측정에 이용 가능할 것으로 판단되었다. 또한, 모델의 최대 오차변위는 9.590%로서, 현미의 아밀로오스 함량 측정 모델의 측정 성능을 향상시키기 위해서는 많은 시료의 스펙트럼을 측정하여 모델을 보완할 경우 적용성을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

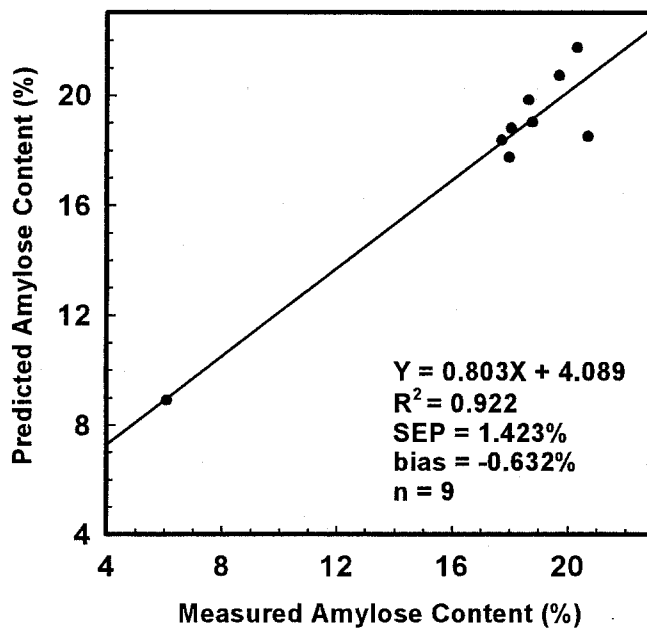


Fig. 7-13 Comparison of measured and predicted values of amylose contents by PLS model(Model conditions: 2nd derivative, 1100~2290nm, 5 factors)

4. 아밀로오스 함량 예측 모델 개발

가. 다중회귀 모델의 개발

예비분석 결과, 지방산도 예측 모델 개발에 사용할 수 있는 파장은 1500 ~ 2300nm였으며, 2300nm이상의 파장에서는 잡음 등으로 교정부와 검증부의 오차가 크게 증가함을 알 수 있었다. 1차 및 2차 미분 스펙트럼은 분할간격을 10nm로 수학적 처리를 하는 것이 양호한 결과를 나타내었다. 115개의 스펙트럼을 이용하여 다중회귀 모델을 개발한 교정부의 결과와 52개 스펙트럼으로 모델을 검증한 결과는 Table 7-23과 같다. 원시 스펙트럼을 이용하여 다분산 보정으로 전처리한 모델이 교정부의 결정계수가 0.659로 가장 높고 오차는 4.923mg KOH/100g로 나타났다. 모델의 검증 결과, 결정계수가 0.678, 검증부 오차가 4.355mg KOH/100g, bias가 -0.320mg KOH/100g로 나타났다. 표준 정규화로 전처리한 모델은 파장은 3개가 사용되었지만, 결정계수가 낮고, 교정부 오차가 크게 나타났다.

1차 미분 스펙트럼을 이용한 모델은 전처리를 하지 않은 모델과 다분산 보정으로 전처리한 모델이 유사한 결과를 보여주었다. 특히 다분산 보정으로 전처리한 모델은 결정계수가 0.668, 교정부 오차가 4.857mg KOH/100g로 나타났으며, 검증 결과는 결정계수가 0.674, 검증부 오차가 4.375mg KOH/100g, bias가 -0.179mg KOH/100g로 나타났다.

2차 미분 스펙트럼을 이용한 모델은 다분산 보정으로 전처리한 모델이 결정계수가 0.713, 교정부 오차가 4.515mg KOH/100g로서 다른 지방산도 예측용 다중회귀 모델보다 우수한 결과를 보여주었다. 모델은 1696nm, 1754nm, 1998nm, 2108nm, 2162nm, 2272nm의 6개 파장을 사용하였으며, 개발된 회귀식은 식 (7-4)와 같았다.

Table 7-23 Calibration and validation results of MLR models for the fat acidity

Mathematical Treatment	Preprocessing	No. of Wavelength	Calibration			Validation					
			n	R ²	SEC ^a	n	R ²	SEP ^b	bias	$\frac{SEP}{mean}$ (%)	
Raw	None	5	115	0.626	5.156	52					
	MSC ^c	5	115	0.659	4.923	52	0.678	4.355	-0.320	27.7	
	SNV & Dtr. ^d	3	115	0.437	6.322	52					
1st derivative (gap=10nm)	None	4	115	0.667	4.861	52	0.674	4.375	-0.179	27.8	
	MSC	4	115	0.668	4.857	52					
	SNV & Dtr.	3	115	0.629	5.131	52					
2nd derivative (gap=10nm)	None	6	115	0.697	4.637	52					
	MSC	6	115	0.713	4.515	52	0.730	4.050	-0.297	25.7	
	SNV & Dtr.	5	115	0.680	4.770	52					

Remark : a. SEC : Standard error of Calibration b. SEP : Standard Error of Prediction

c. MSC : Multiplicative Scatter Correction

d. SNV & Dtr. : Standard Normal Variate and Detrending

$$\begin{aligned} \text{Fat acidity} = & 7.877 + 2298.493 W_{2108} + 1193.793 W_{1998} - 2954.989 W_{1754} \\ & + 2837.968 W_{1696} + 1775.627 W_{2272} - 3345.383 W_{2162} \\ & \dots\dots\dots (7-4) \end{aligned}$$

여기서, $W_{\lambda} = d^2 \log(1/R(\lambda))$

식 (7-4)에서 1754nm는 지질의 흡수파장을 나타내며(Williams, 1987), 1998nm와 2162nm는 CONH의 혼합구조를 나타낸다. 다른 파장은 모델의 오차 보정을 위하여 사용된 것으로 사료된다. 모델의 검증 결과는 결정계수가 0.730, 검증부 오차가 4.050mg KOH/100g, bias가 -0.297mg KOH/100g로 나타나 교정부의 결과가 전처리를 하지 않은 모델과 표준 정규화로 전처리한 모델보다 우수한 예측결과를 보여주었으나, 모델의 오차변위는 25.7%로 크게 나타났다. 전처리하지 않은 모델은 6개 파장을 사용하였고, 표준 정규화로 전처리한 모델은 5개의 파장을 사용하였으나 결정계수가 0.7이하로 나타나 모델의 적용성이 낮은 것으로 판단되었다. 따라서, 다분산 보정으로 전처리하여 2차 미분 스펙트럼을 이용한 모델을 지방산도 측정용 다중회귀 모델로 선정하였다.

나. PLS 모델의 개발

다중회귀 모델 개발에 사용되었던 교정부의 스펙트럼 115개를 이용하여 PLS 모델을 개발하였다. PLS 모델은 다중회귀 모델과 같이 수학적 처리별로 원시 스펙트럼을 이용한 모델, 1차 미분 스펙트럼을 이용한 모델, 2차 미분 스펙트럼을 이용한 모델을 각각 개발하였다. 모델 개발에 이용된

파장영역은 1500~2300nm로서 다중회귀 모델 개발에 이용되었던 영역과 같았다. 스펙트럼의 산란 보정을 위하여 사용된 전처리 방법은 다분산 보정과 표준 정규화였으며, 미분 스펙트럼의 분할간격은 1차 미분 스펙트럼은 10nm로, 2차 미분 스펙트럼은 20nm로 하였다.

1500~2300nm의 파장영역에서 수학적 처리와 전처리에 따른 교정부의 PLS 모델 개발 결과는 Table 7-24와 같다. 지방산도 예측을 위한 PLS 모델은 다분산 보정으로 전처리하여 2차 미분 스펙트럼을 이용한 모델을 제외한 나머지 모델들은 전체적으로 결정계수가 0.6이하로 낮고, 교정부 오차가 5.0mg KOH/100g이상으로 높게 나타나 모델로서 사용할 수 없었다. 다분산 보정으로 전처리하여 2차 미분 스펙트럼을 이용한 모델은 팩터의 수가 7이었으며, 교정부의 결정계수가 0.661, 교정부 오차가 4.775mg KOH/100g로 나타났다. 검증부의 52개 스펙트럼으로 모델을 검정한 결과, 결정계수는 0.583, 검증부 오차는 5.274mg KOH/100g, bias는 0.916mg KOH/100g로 나타났다. 이 결과에서 알 수 있듯이 PLS 모델을 이용한 지방산도 예측은 정확도가 아주 낮음을 알 수 있었다.

다. 모델의 비교

다중회귀 모델과 PLS 모델을 이용하여 1500~2300nm의 파장영역에서 지방산도 측정용 모델을 개발하였다. 모델 개발 결과, 다중회귀 모델과 PLS 모델은 다분산 보정으로 전처리하여 2차 미분 스펙트럼을 이용한 모델이 교정부와 검증부의 결과가 가장 양호하였다. 다중회귀 모델은 검증부의 결정계수가 0.713, 검증부 오차가 4.515mg KOH/100g로서 PLS 모델에 비하여 결과가 양호하였다.

식 (7-4)의 다중회귀 모델을 이용하여 검증용 시료의 지방산도를 검증한 결과는 Fig. 7-14와 같다. 그러나 다른 모델과 같이 2차 미분 스펙트럼을 이용한 모델도 교정부의 오차 및 검증부의 오차가 4.0mg KOH/100g 이상이었으며, 모델의 오차변위가 33.5%로 크게 나타나 모델의 안정성과 적용성이 아주 낮았다. 개발된 지방산도 예측용 모델의 개발 및 검증 결과가 나쁘게 나타난 원인은 다음과 같이 고찰할 수 있었다.

① 현미의 저장기간 및 시료의 상태

본 논문에 이용된 시료는 서로 다른 조건에서 약 10개월간(1996년 11월~1997년 8월) 벼 상태로 저장하며 시료를 채취하였다. 따라서, 현미가 신미에서 고미로 변하는 과정에서 현미의 외부 상태가 변화하였다.

② 화학분석시 발생하는 오차

실험기간이 10개월간이고 주 1회 지방산도를 측정하였다. 따라서 현미로부터 지방을 추출하여 표준색이 될 때까지 적정하므로 실험자의 주관에 따라 적정기준이 변할 수 있었다.

③ 스펙트럼의 측정시 발생하는 오차

10개월간 시료를 저장하며 지방산도를 측정하였으므로, 실험기간중 근적외선 분광분석기의 상태와 외부 환경의 변화에 따라 흡광도가 변하여 모델 개발에 영향을 미친 것으로 판단되었다.

Table 7-24 Calibration and validation results of PLS models for the fat acidity

Mathematical Treatment	Preprocessing	No. of Factors	Calibration			Validation				
			n	R ²	SECV ^a	n	R ²	SEP ^b	bias	$\frac{SEP}{mean}$ (%)
Raw	None	10	115	0.577	5.349					
	MSC ^c	8	115	0.548	5.532					
	SNV & Dtr. ^d	9	115	0.527	5.662					
1st derivative (gap=10nm)	None	7	115	0.558	5.465					
	MSC	7	115	0.596	5.216					
	SNV & Dtr.	8	115	0.570	5.406					
2nd derivative (gap=20nm)	None	7	115	0.581	5.279					
	MSC	7	115	0.661	4.775	52	0.583	5.274	0.916	33.5
	SNV & Dtr.	7	115	0.575	5.352					

Remark : a. SECV : Standard error of Cross Validation b. SEP : Standard Error of Prediction

c. MSC : Multiplicative Scatter Correction

d. SNV & Dtr. : Standard Normal Variate and Detrending

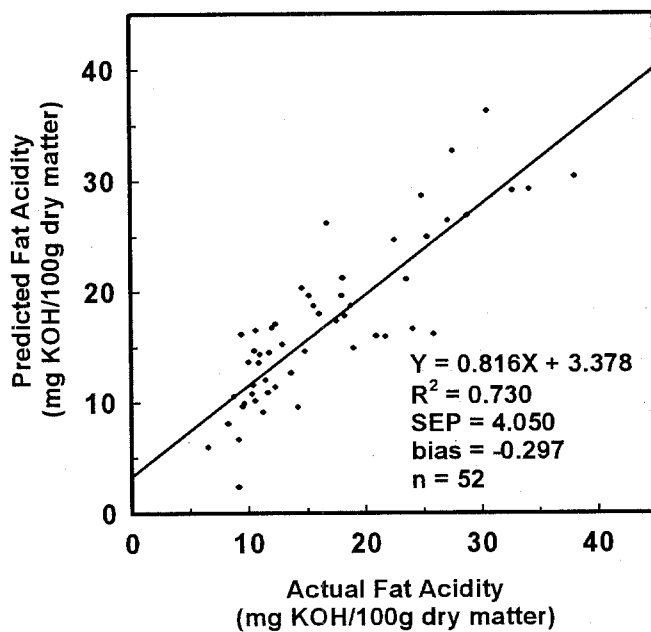


Fig. 7-14 Comparison of measured and predicted values of fat acidity by MLR model(Model conditions: 2nd derivative, 6 wavelengths).

제 8 장 단립 품질 측정시스템의 제작 및 검증

제 1 절 기술현황

현미의 품질은 수분함량, 단백질 및 아밀로오스 함량, 지방산도 등에 의하여 결정된다. 이들 품질인자는 화학 분석법의 특성상 반드시 산물을 이용하도록 규정되어 있다(A.A.C.C.). 따라서 현재까지 개발되어 상용화된 식미기 및 쌀의 품질판정기는 대부분 산물 쌀을 이용하고 있으며, 단립 시료를 이용한 예는 일본에서 개발되어 상용화된 현미 및 백미의 외관에 의한 품위를 판정하는 광학식 품질판정기외에는 전무한 상태이다. 이것은 쌀의 품질인자에 관한 화학분석법이 개발되어 있지 않은 것이 가장 큰 원인이었다. 그러나 최근 분석 기술의 발달로 미량의 시료에 대한 화학분석법이 일부 개발되었으며, 특히 단립 곡물의 단백질 함량을 측정하는 분석기기가 개발되어 보급되고 있다.

일본의 경우 외국산 쌀의 수입자유화할 경우 품질경쟁에 대비하여 자국산 쌀에 대한 품질특성 연구가 매우 활발히 진행되고 있다. 또한 일본에서 생산된 쌀의 품질을 쉽게 측정할 수 있는 기계가 계속 개발되고 있다. 특히, 일본은 백미의 품질을 신속하고 간편하게 측정하기 위한 기계가 일부 개발되어 사용되고 있다. 미국의 경우 미국산 쌀을 한국과 일본에 수출하기 위하여 엄격한 품질등급화를 실시하고 있으며 한국과 일본기준과 기호에 맞도록 연구하고 있는 실정이다.

우리나라의 경우 국내쌀과 수입쌀의 등급별 품질비교에 관한 연구는 본 연구원에서 수행한 결과 외에는 전무한 상태이다(김 등, 1997). 특히, 국내의 품질별 등급화기준은 외국에 비하여 매우 미흡한 상태이며, 국산쌀의 품질

을 현장에서 쉽게 측정할 수 있는 기계는 거의 개발되지 않고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 단립 현미를 이용하여 쌀의 품질인자 중 수분함량 및 단백질 함량을 측정하는 시스템을 개발하기 위하여 수행하였다.

제 2 절 단립 품질 측정시스템의 설계 및 제작

1. 설계 기준

본 연구에서 개발된 단립 품질 측정시스템은 쌀의 내면적 품질을 가장 잘 나타내는 성분인 수분과 단백질 함량을 측정할 수 있다. 특히, 본 시스템은 단립 현미를 측정 시료로 이용함으로써 현미 1립에 포함된 수분과 단백질 함량을 측정 가능하여 시료에 대한 정확한 정보를 얻을 수 있다.

따라서, 본 시스템은 측정의 신속, 정확성과 사용자의 편리성을 고려하였으며, 시스템의 사용 파장대역을 1,100~1,500nm(제 7 장 참조)로 제한하여 가격이 저렴한 시스템이 되도록 구성하였다. 특히, 쌀의 품질판정 및 선별 시스템의 온라인화가 가능하도록 하여 응용의 폭을 넓혀 다른 곡류에도 유용하게 응용될 수 있도록 하였다.

2. 비파괴 품질측정기 구성

본 시스템은 Fig. 8-1과 같이 측정부, 구동부, 제어부로 구성하였다. 측정부는 마이크로 컴퓨터와 모델 개발용 스펙트럼 측정에 이용되었던 근적외선 분광분석기로 구성하였다. 마이크로 컴퓨터는 근적외선 분광분석기의 구동, 측정된 스펙트럼을 이용하여 시료의 수분함량 및 단백질 함량 분석 및 결과의 저장에 사용되었다. 예측용 모델은 수분함량의 경우 분할간격 10nm로 1차 미분하여 표준 정규화로 전처리한 다중회귀 모델을, 단백질 함

량의 경우 분할간격 4nm로 1차 미분하여 표준 정규화로 전처리한 PLS 모델을 이용하였다. 투입된 단립 시료의 스펙트럼은 근적외선 분광분석기를 이용하여 측정하였으며, 1립의 측정이 끝난 후 트리거(trigger)신호를 발생하여 모터 구동 드라이버에 전달하는 역할을 하였다.

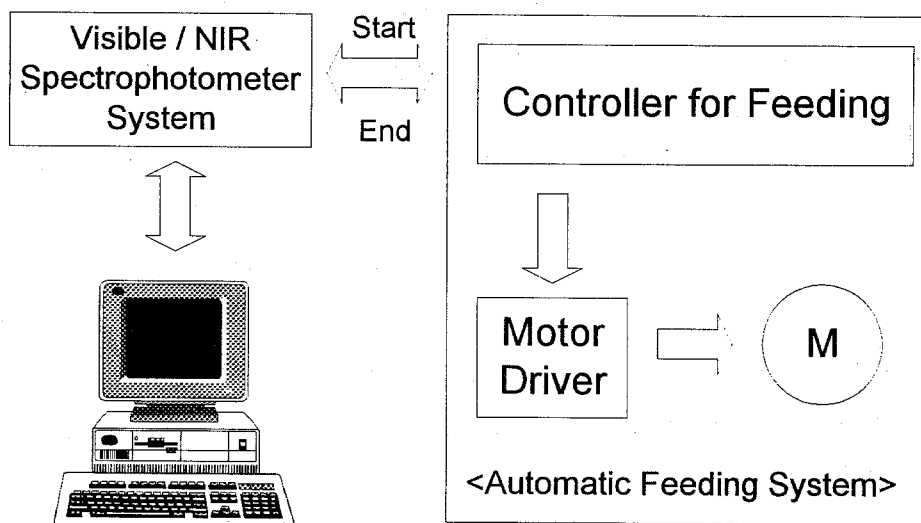


Fig. 4-21 Schematic illustration of the quality measurement system.

구동부는 시료의 이송을 위한 회전형 시료대와 시료대의 구동을 위한 스테핑 모터로 구성하였다. 회전형 시료대는 지름 220mm, 두께 3mm의 알루미늄 원판으로 제작하였으며, 기준 스펙트럼(reference spectrum)을 측정하기 위한 부분 1개와 시료를 이송시키는 부분 7개로 구성하였다(Fig. 8-2). 따라서 회전형 시료대가 1회전하면, 먼저 기준 스펙트럼을 측정하고 7개 시료의 스펙트럼을 순차적으로 측정하도록 설계하였다. 또한, 30° 각도로 기울어지도록 설계하여 시료대에 시료의 투입 및 배출이 용이하도록 설계하였다.

기준 스펙트럼은 세라믹(ceramic) 판의 반사광을 이용하였다. 시료 이송부는 우리 나라에서 생산되는 단립종 현미의 크기를 고려하여 장축 6.5mm, 단축 3.6mm의 타원형 구멍을 만들었다. 시료의 스펙트럼 측정이 끝나면 다음 시료를 이송시키는 작업이 정확하게 이루어져야 하므로 개루프 제어(open-loop control)가 용이한 스테핑 모터를 사용하였다. 스테핑 모터는 DC 모터에 비해서 토크가 약하고 저속인 단점이 있으나, 디지털 신호로 제어가 가능하므로 다른 구동모터보다는 제어장치가 간단하고 경제적이다. 또한, 스테핑 모터의 회전수는 입력 펄스의 수, 회전속도는 입력 펄스율에 비례하여 구동되므로 제어가 용이하며 모터의 기동, 정지, 변속이 쉽다. Table 8-1은 시스템에 스테핑 모터(TS3134 N13, Tamagawa Seiki, Japan)의 사양을 나타낸다.

제어부는 스테핑 모터의 구동을 위한 신호를 만들고 회전각을 제어하기 위하여 구동 프로그램, 드라이버(driver) 및 마이크로 컴퓨터로 구성하였다. 스테핑 모터의 구동 드라이버의 회로도 Fig. 8-3과 같으며, 구동을 위한 프로그램의 순서도는 Fig. 8-4와 같다. 제작된 구동 드라이버는 마이크로 컴퓨터에서 보내주는 펄스신호를 판독, 분배, 증폭하고, 스테핑 모터의 각 권선을 정해진 순서로 여자하기 위한 회로로서, 여자순서를 결정하는 논

리회로와 스텝핑 모터의 권선에 전류를 공급하는 전력 제어회로로 구성되어 있다. 기타 측정된 시료의 수를 계수하기 위한 digital counter, 수동 및 자동조작을 위한 PLC, 타이머 등을 부착하여 사용자의 편리성을 고려하였다. 본 연구에서 개발된 비파괴 품질 측정장치는 Fig. 8-5와 같다.

Table 8-1 Specifications of stepping motor

Item	Specification
Step Angle	1.8 Deg/Step
Rated Voltage	DC 2.9 V
Rated Ampere	3.1 A
Winding Resistance	0.95 Ω
Inductance	3.8 mH
Holding Torque	10.8 kg-cm
Weight	1.48 kgr
Size	63 mm

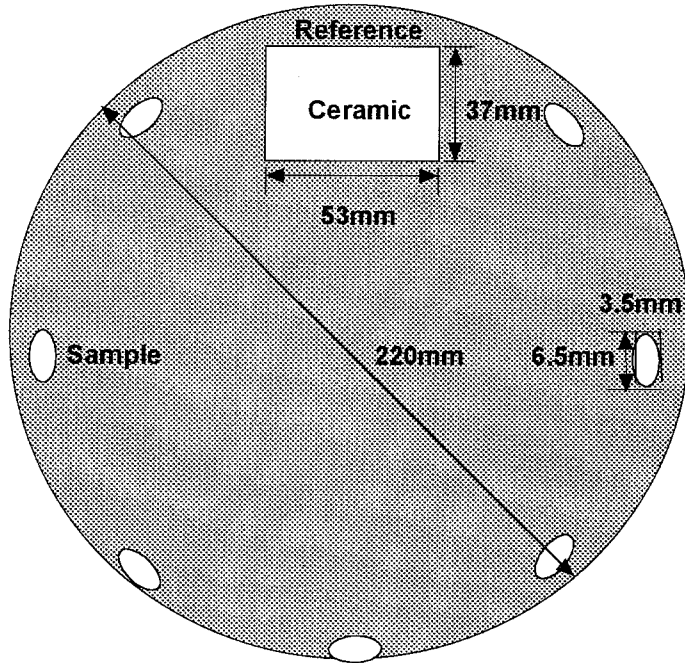


Fig. 8-2 Schematic diagram of sample holder for single kernel.

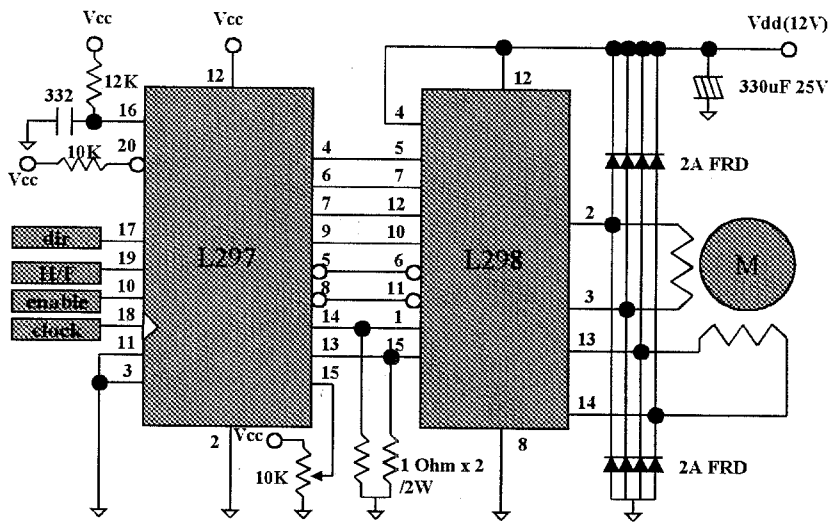


Fig. 8-3 Circuit of stepping motor driver.

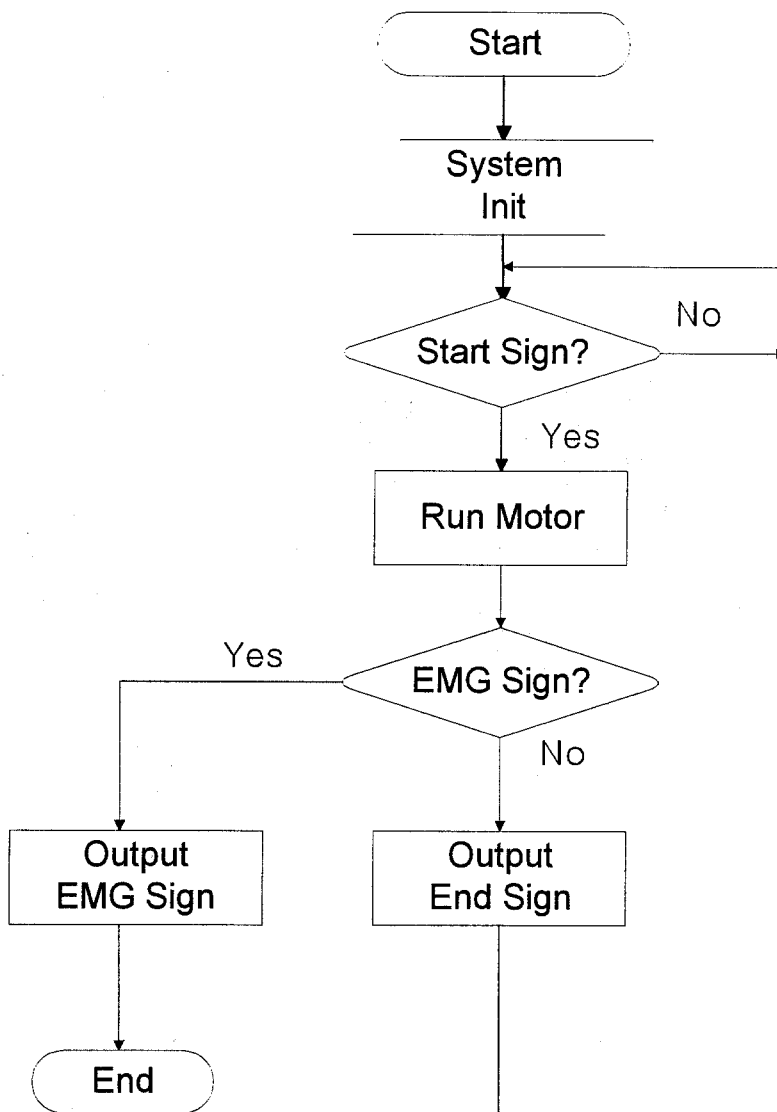


Fig. 8-4 Flow chart to control stepping motor

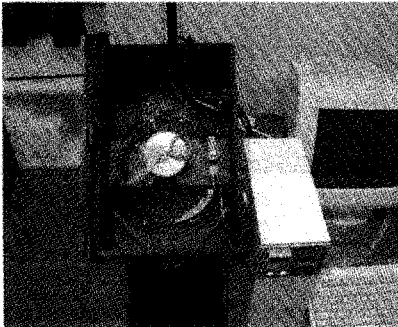
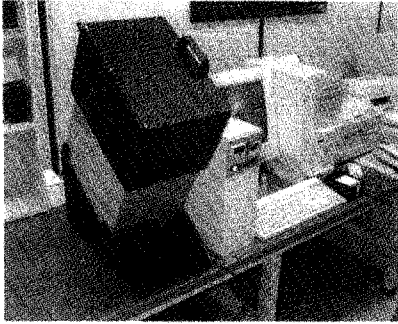


Fig. 8-5 Quality measurement system using single-kernel rice

제 3 절 단립 품질 측정시스템의 검증

품질 측정시스템의 검증은 모델 개발에 이용되었던 1995년산 추청을 이용하였다. 검증용 시료의 수분함량 및 단백질 함량 분포는 Table 8-2와 같다. 시료의 수분함량은 건조와 흡습을 통하여 12~20% 범위가 되도록 조정하였다. 수분함량 조정이 끝난 시료는 동할립 판정기를 이용하여 정립만을 선별하여 실험에 이용하였다. 임의로 조정 가능한 수분함량별로 시료를 준비하였으며, 사용된 시료의 단백질 함량은 6.45~10.75% 범위를 나타내었으며 주로 8%내외에 분포되어 있었다. 모델 개발에 사용된 시료의 수분함량 분포는 11.41~21.60%였으며, 시스템의 검증에 사용된 시료의 수분함량 분포와 유사한 경향을 나타내었다. 그러나 단백질 함량은 모델 개발 시에는 6.17~14.75%의 범위에 일정하게 분포되었으나, 시스템 검증시 사용된 시료의 단백질 함량 분포는 8%내외로 편중되어 나타났다.

Table 8-2 Moisture and protein constituents of rice tested

	No. of samples	Max.	Min.	Mean	Std. dev.
Moisture	28	19.61	11.59	16.13	2.58
Protein	28	10.75	6.45	8.12	0.93

회전형 시료대의 7개 시료 구멍에 단립 시료를 투입한 후, 먼저 표준 스펙트럼을 측정하였으며 연속적으로 각 시료의 스펙트럼을 1100~1500nm의 파장영역에서 측정하였다. 각 시료의 스펙트럼의 측정시 스테핑 모터의 회전에 의한 다음 시료의 준비를 위하여 30초간의 지연시간(delay time)을 두었으며, 1립 측정시간은 60초가 소요되었다. 각 시료의 스펙트럼 측정이 끝나면, 단립 시료의 수분함량 및 단백질 함량은 컴퓨터 화면에 표시되며, 단립의 스펙트럼과 함께 컴퓨터의 파일로 저장되었다. 스펙트럼 측정이 끝난 시료는 무게를 측정한 후 공기 오븐에 투입하여 건조시켜 수분함량을 측정하였으며, 수분함량 측정이 끝난 시료는 단백질 함량 측정에 이용되었다. 수분함량 및 단백질 함량의 표준측정법은 7장 2절에 서술한 바와 동일한 방법을 사용하였다. 이 과정을 4회 반복하여 총 28개 시료의 스펙트럼을 측정하여 모델을 이용한 예측값과 화학분석을 이용한 측정값의 수분함량과 단백질 함량을 분석하였다.

수분함량 예측 모델은 분할간격 10nm로 1차 미분하여 표준 정규화로 전처리한 다중회귀 모델을 이용하였으며, Fig. 8-6는 품질 측정장치로 예측된 값과 공기오븐법으로 실측된 값의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 8-7에서와 같이 수분함량의 측정 결과, 결정계수가 0.990, 예측부 오차가 0.264%, bias가 0.026%으로 나타났다. 모델 개발과정의 검증부 결과(Fig. 7-6)와 비교하면 결정계수는 유사하였고, 예측부 오차와 bias는 증가하였다.

단백질 함량의 경우 분할간격 4nm로 1차 미분하여 표준 정규화로 전처리한 PLS 모델을 이용하였으며, 품질 측정장치로 예측한 단백질 함량과 화학분석법의 실측값의 관계는 Fig. 8-7과 같다. 단백질 함량을 분석한 결과, Fig. 8-7과 같이 결정계수가 0.785로 낮게 나타났으며, 예측부 오차가 0.457%, bias가 0.014%로 나타났다. Fig. 7-12의 검증부 결과와 비교할 때 예측부 오차와 bias는 유사한 값을 나타내었지만, 모델 개발에 사용된 시료

와는 다르게 대부분 시료의 단백질 함량이 8%내외로 일부에만 한정되어 있어 결정계수는 낮아졌다.

위의 시스템 검증 결과에서와 같이 단립 현미의 수분함량 예측은 우수한 결과를 보여 주었으며, 단백질 함량 예측은 시료의 수가 적어 결정계수는 낮았으나 예측부 오차가 0.457%로서 매우 낮게 나타나 개발된 단립 품질 측정시스템이 우수한 성능을 보여주고 있음을 알 수 있었다. 따라서 본 품질 측정시스템은 수분함량 및 단백질 함량 측정에 유용하였으며, 우리나라에서 생산되는 기타 단립종에 적용 가능한 것으로 판단된다.

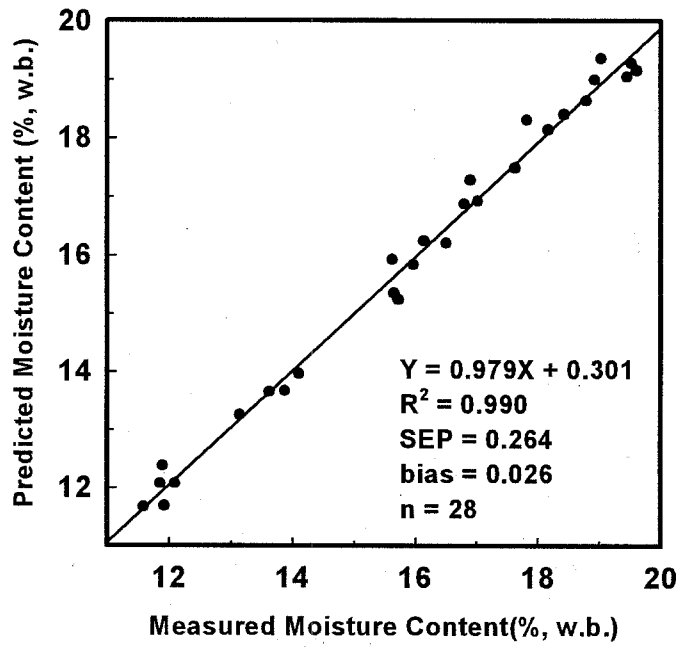


Fig. 8-6 Comparison of measured and predicted values for moisture content of Chucheong by single-kernel rice quality measurement system

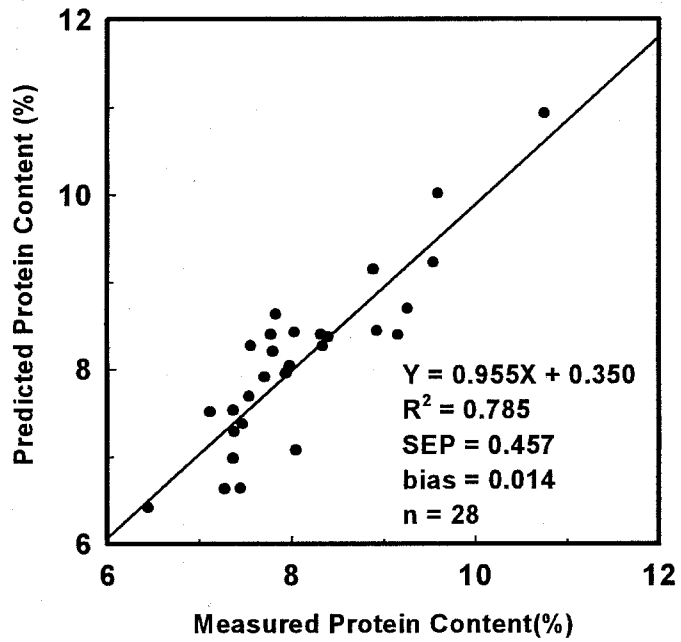


Fig. 8-7 Comparison of measured and predicted values for protein content of Chucheong by single-kernel rice quality Measurement system

제 9장 종합 결론

제 1 절 쌀의 품위평가기술현황

- 가. 현재 우리나라 쌀 규격은 다른 쌀 수출국에 비해 세분화되어 있지 못하기 때문에 쌀 품질저하의 위험이 있으며, 이를 방지하기 위해서는 좀더 엄격하게 세분화된 규격이 필요하고, 이에 따른 가격 차별화가 요구된다.
- 나. 비파괴적 품질검사 장비로서 가능성이 큰 방법으로는 화상분석법과 근적외분광분석법이 있으며, 성분과 관계된 품질인자는 근적외선분석방법을 그리고 외형적 품질, 즉 등급과 관계된 특성분석방법으로는 화상분석을 이용하여 분석할 수 있다.
- 다. 현미와 백미의 색도특성을 이용한 품위분석이 가능함을 보여주었다.
- 라. 우리나라 쌀은 일본 혹은 미국쌀에 비해 채립이 많은 것으로 나타나 쌀 품질향상을 위해서는 채립함량감소에 노력하여야 할 것이다.

제 2 절 유통중 백미의 품질변화

- 가. 백미의 유통중 품질변화는 지방산도, 물추출액의 pH, 효소활성등을 측정함으로써 판별가능하다.

나. 백미 저장중 성분변화는 수분, 환원당, 지방산도 등에서 볼 수있는데, 저장기간이 길어질수록, 수분과 환원당의 함량이 감소하며, 지방산도의 경우 증가한다.

다. 저장된 쌀로 밥을 했을 때 취반특성을 살펴보면 밥알 팽창율은 저온저장시 거의 변화가 없었으나, 상온저장시 일정기간동안 증가하였으며, 밥알의 수분흡수율, 요오드 정색도는 저장기간에 따라 증가하였다.

제 3 절 비파괴분석법에 의한 등급측정

가. 현미의 품위(피해립, 정립, 백사미, 청사미, 동할, 백미숙, 청미숙, 복백립)별, 백미의 품위(완전립, 분상질립, 피해립, 착색립)별 시료는 화상특성에서 차이가 있었다.

나. 미국 등급기준에 의한 국내 유통백미의 등급판별 요인은 쇠립과 복백립으로 나타났으며, 생산년도에 따라 등급에 결정적인 역할을 하는 요인은 달랐다. 즉, 97년산 유통 백미의 경우 쇠미가, 98년산 유통백미의 경우 복백립이 등급결정에 가장 중요한 인자였다.

다. 주요 등급판별요인인 완전립, 대쇄립, 소쇄립, 복백립의 판별을 화상분석 장비와 ANN에 의해 시도하였을 때, 97.8%, 94.3%, 98.7%, 96.2%의 정답율을 보여주어 화상분석 장비에 의해 등급판별이 가능함을 보여주었다.

라. 검사원과 화상분석장비에 의해 쌀 등급결과를 비교하였을 때 화상분석 장비에 의한 등급이 좀 더 높게 나타났다. 이는 아마도 화상분석기의 calibration에 사용된 시료가 다양하지 않았기 때문으로 생각되며, 좀 더 다양한 쌀시료를 calibration에 사용함으로써 등급판별의 정확도가 향상 될 것으로 판단된다.

마. RPC등 현장에서 직접 근적외선 remote reflectance 모듈을 이용한 등급 판별 가능성을 검토한 결과, 400-2500nm의 1차미분 spectrum을 사용한 모델이 교정과 검증시 각각 96%와 100%의 판별율을 보여주어 RPC등 현장에서의 등급판별가능성을 보여주었다.

제 4 절 광학적 특성에 의한 품위판별

가. 본 연구는 가시광선과 근적외선 영역의 스펙트럼을 이용하여 현미 및 백미의 품위를 측정할 수 있는 모델을 개발하기 위하여 수행하였다. 시료의 스펙트럼은 400~2500nm의 파장 영역에서 근적외선 분광광도계를 이용하여 측정하였다. 쌀의 품위별 스펙트럼의 측정은 단립 시료를 이용하였다.

나. 측정된 스펙트럼은 교정부와 검증부로 분리되었으며, 교정부는 모델 개발에, 검증부는 모델의 검증에 각각 사용되었다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 현미 시료를 정상립, 찰현미, 병충립, 비정상립, 다미, 동할립, 백미숙

립, 청미숙립, 백사미, 청사미로, 백미를 정립, 참쌀, 분상질립, 피해립 및 착색정도에 따라 4단계로 구분한 다음, 각 시료를 대상으로 색도지수(L, a, b, ΔE)를 측정·분석한 결과, 색도지수와 이들 시료사이의 상관관계는 발견되지 않았다.

(2) 400~2500nm의 파장영역에서 제시한 현미와 백미의 품위별 반사 스펙트럼을 측정하여, 외형특성에 따른 품위를 판별하기 위하여 판별분석법을 이용한 모델을 개발하였다. 교정부의 판별율은 현미가 95.3%, 백미가 92.5%였으며, 검증부의 판별율은 현미가 92%, 백미가 87.5%로 나타나 모델의 성능이 우수함을 알 수 있었다.

제 5 절 정백수율의 측정

가. 가시광선/근적외선 분광분석법을 이용하여 쌀의 정백수율을 측정할 수 있는 적정 모델을 개발하기 위하여 수행하였다.

나. 공시재료는 농촌진흥청 산하의 도진흥원에서 재배하여 저장중인 1995년 산 원원종의 벼로서 재배지역별로 구별하여 3개 품종을 각 4개 도별로 선택하여 1996년 2월에 구입하였다.

다. 각 시료에 대하여 400~2500nm영역에서 반사 및 투과스펙트럼을 측정하였으며, 특히 투과 스펙트럼은 분석시 600~1400nm영역만을 이용하였다.

라. 정백수율 측정 모델은 반사 및 투과 스펙트럼에 대하여 전처리를 하지 않은 원시스펙트럼과 1차 및 2차 미분 스펙트럼과 각 스펙트럼을 전처

리한 스펙트럼을 이용하였다. 측정모델은 반사 및 투과스펙트럼에 대하여 다중회귀분석법(Multiple Linear Regression; MLR), 부분최소자승법(Partial Least Square method; PLS), 신경회로망기법(Artificial Neural Network; ANN)을 이용하여 개발하였다.

마. 정백수율 측정을 위한 다중회귀 모델은 투과 스펙트럼을 이용하기보다는 반사 스펙트럼을 이용하여 전파장 영역에서 전처리를 않은 1차 미분 스펙트럼에 대하여 6개의 파장을 선택하여 모델을 개발하는 것이 정백수율을 가장 잘 측정할 수 있을 것으로 판단된다. PLS 모델은 교정부보다는 검증부에서 오히려 오차가 줄어들었으며, 다중회귀 모델과 같이 반사 스펙트럼을 이용하므로써 우수한 모델을 개발할 수 있었다. ANN 모델은 반사 스펙트럼을 PLS분석한 후, 분석결과를 학습시켜 모델 개발에 이용하였다. 본 연구에서 개발된 ANN 모델은 PLS 모델에 비하여 SEP와 Bias가 감소하는 경향을 나타내어 정백수율 측정용 모델로서 우수하게 이용할 수 있음을 보여주었다.

바. 위의 결과로부터, 본 연구에서 개발된 세 가지 모델 중에서 다중회귀 모델이 정백수율 측정을 위한 가장 우수한 모델로 나타났지만, PLS 모델 및 ANN 모델 또한 정백수율 측정을 위한 시스템 개발에 적용시킬 수 있을 것으로 판단된다. 다중회귀 모델은 6개의 특정 파장을 사용하므로 광다이오드와 대역필터를 이용한 시스템에 적용시킬 수 있으며, PLS 모델과 ANN 모델은 400-2500nm의 파장 영역에서 스펙트럼을 측정할 수 있는 회절격자형(grating type) 시스템에 적용시켜 가시광선과 근적외선 영역의 전파장을 이용하므로써 정백수율의 측정정도를 높일 수 있는 것으로 나타났다.

제 6 절 근적외선 분광분석법에 의한 쌀의 성분분석

가. 분광분석법을 이용하여 단립 현미의 품질인자인 수분함량 및 단백질 함량을 측정할 수 있는 모델과 산물상태의 현미의 아밀로오스 함량 및 지방산도를 측정할 수 있는 모델을 개발하기 위하여 수행되었다. 시료의 스펙트럼은 400~2500nm의 파장 영역에서 근적외선 분광광도계를 이용하여 측정하였다.

나. 측정된 스펙트럼은 교정부와 검증부로 분리하였으며, 교정부는 모델 개발에, 검증부는 모델의 검증에 각각 사용되었다. 예측 모델은 다중 회귀분석법과 부분최소자승법(PLS)을 이용하여 개발하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 단립 현미의 수분함량은 1100~1400nm영역의 스펙트럼을 이용한 다중회귀 모델과 1100~1500nm영역의 스펙트럼을 이용한 PLS 모델에 의한 예측이 가장 우수하였다. 다중회귀 모델은 1166nm · 1174nm · 1262nm · 1300nm · 1364nm · 1388nm의 6개 파장을 사용하여 분할간격 10nm로 1차 미분한 스펙트럼을 표준 정규화로 전처리한 모델이 우수하였다. 모델 개발에 이용한 세 품종(동진, 추청, 일품)으로 검증한 결과, 검증부의 R^2 는 0.987이상, SEP는 0.189%이하로 나타났다. PLS 모델은 수학적 처리에 관계없이 전 처리로서 다분산 보정을 한 모델이 우수한 예측 성능을 보여주었다.

- (2) 1100~2000nm의 파장영역에서 개발된 단백질 함량 예측용 다중회귀 모델은 분할간격 10nm로 2차 미분한 모델이 우수한 결과를 보여 주었다. 1100~1500nm의 파장영역을 이용하여 다분산 보정을 한 PLS 모델은 수학적 처리에 관계없이 예측 결과가 우수하였다. 특히, 모델 개발에 이용한 세 품종(동진, 일품, 추청)으로 검증한 결과, PLS 모델은 검증부의 R^2 가 0.837이상, SEP가 0.479%이하로 나타났다.
- (3) 29개 품종의 현미를 이용하여 화학분석법으로 아밀로오스함량을 분석한 후 1100~2290nm의 근적외선 스펙트럼을 이용하여 아밀로오스함량 예측용 모델을 개발하였다. 다중회귀 모델과 PLS 모델은 교정부의 결과는 우수하였으며, 검증부의 최대 오차도 화학분석시 나타나는 측정 오차 2%보다 작게 나타났다. 전처리하지 않고 분할간격 20nm로 2차 미분 스펙트럼을 이용한 PLS 모델은 검증부의 R^2 가 0.992, SEP가 1.423%로 우수한 결과를 나타내었다. 다중회귀 모델은 분할간격을 10nm로 2차 미분 스펙트럼을 이용한 모델이 양호한 결과를 나타내었으며, 1208nm · 1464nm · 1480nm · 2122nm · 2138nm의 5개 파장을 사용하였다.
- (4) 지방산도는 쌀의 저장중에도 계속 변화하므로 저장기간 및 저장조건별로 분류된 시료를 사용하여 스펙트럼을 측정하였으며, 모델 개발에는 1500~2300nm의 파장영역을 이용하였다. 다중회귀 모델과 PLS 모델은 다분산 보정 후에 2차 미분 스펙트럼(분할간격 20nm)을 이용하여 개발한 모델이 가장 양호한 결과를 나타내었다. 특히, 다중회귀 모델은 1696nm · 1754nm · 1998nm · 2108nm · 2162nm · 2272 nm의 6개 파장을 사용하였을 때, 검증부의 R^2 가 0.730, SEP가 4.050mg KOH/100g로 나타났다.

- (5) 따라서, 본 연구에서 개발된 수분함량 및 단백질 측정용 다중회귀 모델 및 PLS 모델은 검증부의 검증 결과가 우수하였으며, 우리나라에서 생산되는 다른 품종의 현미에도 적용성이 높은 것으로 판단되었다.

제 7절 단립품질측정시스템

- 가. 쌀의 내면적 품질을 가장 잘 나타내는 성분인 수분과 단백질 함량을 측정할 수 있는 비파괴 품질 측정 시스템을 제작하기 위하여 수행되었다. 특히, 본 시스템은 단립 현미를 측정 시료로 이용함으로써 현미 1립에 포함된 수분과 단백질 함량을 측정 가능하여 시료에 대한 정확한 정보를 얻을 수 있다.
- 나. 기존의 근적외선 분광분석기에 단립 공급장치를 부착한 단립 현미의 품질 측정시스템을 개발하고 수분함량과 단백질 함량의 측정오차를 분석하였다. 품질 측정시스템은 측정부, 구동부 및 제어부로 구성하였으며, 측정부는 근적외선 분광분석기를 이용하여 1100~1500nm의 파장영역에서 스펙트럼을 측정하였다.
- 다. 검증용 모델로서 수분함량은 분할간격 10nm로 1차 미분 스펙트럼을 표준 정규화로 전처리한 다중회귀 모델을, 단백질 함량은 4nm로 1차 미분 스펙트럼을 표준 정규화로 전처리한 PLS 모델을 이용하였다. 품질 측정시스템의 검증 결과, 단립 현미의 수분함량 및 단백질 함량의 측정 오차는 각각 0.264%, 0.457%이내를 유지하여 우수한 성능을 보여 주었다.

라. 본 연구에서 개발된 시스템은 약간의 프로그램 수정과 현장 적응실험 등을 통하여 현장에서 품질 즉 수분, 피해립, 착색립 등 기본지표와 관능적 지표 등 보조지표를 쉽게 측정할 수 있는 장점을 지니고 있다.

참 고 문 헌

1. 고태근, 금동혁, 김만수, 노상하, 문성홍, 박경규, 장동일. 1990. 농산가공기계학. 문운당.
2. 김동훈. 1997. 식품과학. 탐구당.
3. 김영배, 하덕모, 김창식. 1990. 우리나라 쌀의 도정 및 품위특성. 한국식품과학회지 22(2):199-205.
4. 김재민, 민봉기, 최창현. 1997. 가시광선/근적외선을 이용한 정백수율 예측. 한국농업기계학회 하계학술대회 논문집 2(2):194-201.
5. 김재민, 민봉기, 최창현. 1997. 가시광선/근적외선을 이용한 정백수율 측정. 한국농업기계학회지 22(3):333-342.
6. 노상하, 地田善郎, 山下律他. 1990. 벼의 분광반사 특성과 이를 이용한 정백미의 백도 측정기 개발. 한국농업기계학회지 15(1):33-43.
7. 문성식, 이경희, 조래광. 1994. 한국산 쌀의 품질측정에 있어서 근적외 분광분석법의 응용. 한국식품과학회지 26(6):718-725.
8. 민봉기. 1993. 취반조건이 밥의 조직감에 미치는 영향. 서울대학교 박사학위 논문.
9. 이상효. 1990. 한국산 쌀의 이화학적 특성과 식미평가에 관한 연구. 중앙대학교 박사학위 논문.
10. 이충호. 1995. 컴퓨터 시각에 의한 표고버섯의 외관검색 및 자동 선별 시스템 개발. 성균관대학교 박사학위논문.
11. 조래광. 1987. 식품공업에 있어서 근적외분석법의 응용. 식품과학 20(4):4-12.
12. 조승용, 최성길, 이철. 1994. 근적외 분광분석법에 의한 밥의

- 노화도 측정. 한국식품과학회지 26(5):579-584.
13. 주현규, 조광형, 박충균, 조규성, 채수규, 마상조. 1995. 식품분석법. 유림문화사.
 14. 한국영양학회. 1997. 한국인 영양권장량(제6차 개정판). 중앙문화사.
 15. 한충수, M.Y. Natsuga. 1996. 근적외선 분광분석계를 이용한 국내산 쌀의 성분예측모델 개발(I)-현미와 백미의 성분예측모델-. 한국농업기계학회지 21(2):198-210.
 16. Batten, G. D., A. B. Blackeney, M. G. Holmes, R. J. Henry, A. C. McCaffery, P. E. Bacon, and D. P. Heenan. 1991. Rapid Determination of Shoot Nitrogen Status in Rice Using Near Infrared Reflectance Spectroscopy. J. Sci. Food Agric. 54(1):191-197.
 17. Beasley, E. O. and J. W. Dickens. 1968. Light Transmittance of Peanut Oil as an Objective Measurement Related to Quality Raw Peanuts. Transactions of the ASAE 11(5):680-682.
 18. Beerwinkle, K. R. and R. A. Stermer. 1972. A Device to Facilitate Optical Sorting of Milled Rice Based on Translucence Differences. Transactions of the ASAE 15(3):476-481.
 19. Birth, G. S. 1960. Measuring the smut content of Wheat. Transactions of the ASAE 3(1):19-21.
 20. Birth, G. S.. 1978. The Light Scattering Properties of Foods. J. Food Sci. 43:916-925.
 21. Birth, G. S. and G. L. Zachariah. 1973. Spectrophotometry of Agricultural Products. Transactions of the ASAE 16(3):548-552.
 22. Bray, D. E. and Don McBride. 1992. Nondestructive Testing Techniques. John Wiley & Sons, Inc., New York.
 23. Burkhardt, T. H. and R. F. Mrozek. 1973. Light Reflectance as a Criterion for Sorting Dried Prunes. Transactions of the ASAE

- 16(4):683-685.
24. Butler, L. A. 1983. The History and Background of NIR. *Cereal Foods World* 28(4):238-240.
 25. Casady, W. W., M. R. Paulsen, and J. B. Sinclair. 1993. Optical Properties of Damaged Soybean Seeds. *Transactions of the ASAE* 36(3):943-947.
 26. Chen, P. and Z. Sun. 1991. A Review of Non-destructive Methods for Quality Evaluation and Sorting of Agricultural Products. *J. Agric Eng. Res.* 49(2):85-98.
 27. Chuma, Y., K. Nakaji, and M. Ohura. 1980. Maturity Evaluation of Bananas by Delayed Light Emission. *Transactions of the ASAE* 23(4):1043-1047.
 28. Chuma, Y., K. Sein, S. Kawano, and K. Nakaje. 1977. Delayed light Emission as Means Automatic Selection of Satsuma Oranges. *Transactions of the ASAE* 20(5):996-1000.
 29. Clark, R. L.. 1980. Studies of Greenhouse Germination of Cotton seed Sorted by Optical Density. *Transactions of the ASAE* 23(5):1301-1302.
 30. Clark. R. L. and H. A. McFarland. 1979. Studies of the Optical Properties of Cottonseed as Related to Seed Viability (I). *Transactions of the ASAE* 22(5):1178-1180.
 31. Clark. R. L. and H. A. McFarland. 1979. Studies of the Optical Properties of Cottonseed as Related to Seed Viability (II). *Transactions of the ASAE* 22(5):1181-1183.
 32. Clark. R. L. and T. L. Pollock. 1979. Studies of the Optical Properties of Cottonseed as Related to Seed Viability (III). *Transactions of the ASAE* 22(5):1184-1185.
 33. Clark, R. L. and P. S. Shackelford, Jr. 1973. Resonance and Optical

- Properties of Peaches as Related to Flesh Firmness. Transactions of the ASAE 16(6):1140-1142.
34. Cooper, P. J. 1984. NIR Analysis for Process Control. Cereal Foods World 28(4):241-245.
 35. Czuchajowska, Z., J. Szczodrak, and Y. Pomeranz. 1992. Characterization and Estimation of Barley Poltsaccharides by Near-Infrared Spectroscopy(I): Barleys, Starches, and β -d-Glucans. Cereal Chemistry 69(4):413-418.
 36. Delwiche, S. R. 1993. Measurement of Single-Kernel Wheat Hardness using Near-Infrared Transmittance. Transactions of the ASAE 36(4):1431-1437.
 37. Delwiche, S. R. 1995. Single Wheat Kernel Analysis by Near-Infrared Transmittance: Protein Content. Cereal Chemistry 72(1):11-16.
 38. Delwiche, S. R. and D. R. Massie. 1996. Classification of Wheat by Visible and Near-Infrared Reflectance from Single Kernels. Cereal Chemistry 73(3):339-405.
 39. Delwiche, S. R. and K. H. Norris. 1993. Classification of Hard Red Wheat by Near-Infrared Diffuse Reflectance Spectroscopy. Cereal Chemistry 70(1):29-35.
 40. Delwiche, S. R., K. H. Norris, and R. E. Pitt. 1992. Temperature Sensitivity of Near-Infrared Scattering Transmittance Spectra of Water-Adsorbed Starch and Cellulose. Applied Spectroscopy 46(5):782-789.
 41. Delwiche, S. R., K. S. Mckenzie, and B. D. Webb. 1996. Quality Characteristics in Rice by Near-Infrared Reflectance Analysis of Whole-Grain Milled Samples. Cereal Chemistry 73(2):257-263.
 42. Delwiche, S. R., M. M. Bean, R. E. Miller, B. D. Webb, and P. C.

- Williams. 1995. Apparent Amylose Content of Milled Rice by Near-Infrared Reflectance Spectrophotometry. *Cereal Chemistry* 72(2):182-187.
43. Delwiche, S. R., P. J. Wan, and M. M. Bean. 1994. Rice Amylose Content by NIR : Influence of Grind Rate and Humidity. ASAE Paper No. 946052.
44. Delwiche, S. R., R. E. Pitt, and K. H. Norris. 1992. Sensitivity of Near-Infrared Absorption to Moisture Content versus Water Activity in Starch and Cellulose. *Cereal Chemistry* 69(1):107-109.
45. Delwiche, S. R., S. Tang, and J. W. Rumsey. 1987. Color and Optical Properties of Clingstone Peach Related to Maturity. *Transactions of the ASAE* 30(6):1873-1879.
46. Donald, A. B. and E. W. Ciurczak. 1992. *Handbook of Near-Infrared Analysis*. Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
47. Dull, G. G. 1978. Nondestructive Quality Evaluation of Agricultural Products: A Definition and Practical Approach. *J. of Food Protection* 41(1):50-53.
48. Dull, G. G., R. G. Leffler, G. S. Birth, and D. A. Smittle. 1992. Instrument for Nondestructive Measurement of Soluble Solid in Honeydew Melons. *Transactions of the ASAE* 35(2):735-737.
49. Felsenstein, G. and G. Manor. 1973. Feasibility Study into the Development of an Improved Photoelectric Device for Sorting of Citrus Fruit for Surface Detects. *Transactions of the ASAE* 16(5):1006-1009.
50. Finney, E. E. and K. H. Norris. 1978. Determination of Moisture in Corn Kernels by Near-Infrared Transmittance Measurements. *Transactions of the ASAE* 21(3):581-584.

51. Gaffney, J. J. 1973. Reflectance Properties of Citrus Fruits. Transactions of the ASAE 16(2):310-314.
52. Goddard, W. B., M. O'Brien, C. Lorenzen, and D. W. Williams. 1975. Development of Criteria for Mechanization of Grading Processing Tomatoes. Transactions of the ASAE 18(1):190-193.
53. Gumasekaran, S., M. R. Paulsen, and G. S. Shove. 1986. A Laser Optical Method for Detecting Corn Kernel Defects. Transactions of the ASAE 29(1):294-298, 304.
54. Gumasekaran, S., M. R. Paulsen, and G. S. Shove. 1985. Optical Methods for Non-destructive Quality Evaluation of Agricultural and Biological Materials. J. agric. Engng Res. 32:209-241.
55. Hart, J. R., K. H. Norris, and C. Golumbic. 1962. Determination of the Moisture Content of Seeds by Near-Infrared Spectrophotometry of their Methanol Extracts. Cereal Chemistry 39(2):94-99.
56. Iwamoto, M, K. H. Norris, and S. Kimura. 1981. Rapid Prediction of Cereal Compositions for Wheat, Soybean, Pork and Fresh Potatoes by Near Infrared Spectrophotometric Analysis. 日本食品工業學會誌. 28(2):85-90.
57. Iwamoto, M., T. Suzuki, N. kongserree, J. Uozumi, and O. Inatsu. 1986. Analysis of Protein and Amino Acid Contents in Rice Flour by Near-Infrared Spectroscopy. 日本食品工業學會誌. 33(12):848-853.
58. Juliano, B. O. 1971. A Simplified Assay for Milled-rice Amylose. Cereal Science Today 16(10):334-338
59. Juliano, B. O. 1985. Rice Chemistry and Technology. Am. Assoc. of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN.
60. Juliano, B. O. 1990. Rice Grain Quality: Problems and Challenges. Cereal Foods World 35(2):246-250.

61. Kenneth, R. B. and R. A. Stermer. 1972. A Device to Facilitate Optical Sorting of Milled Rice Based on Translucence Differences. Transactions of the ASAE 15(2):476-478, 481.
62. Li, W. S. and J. T. Shaw. 1995. Determination of Chemical Compositions of Rough Rice by a Visible-Near-Infrared Spectroscopy. Food Processing Automation IV. Proceedings of the FPAC IV Conference. p288-302.
63. Mark, H. and J. Workman. 1986. Effect of Repacks on Calibrations Produced for Near-Infrared Reflectance Analysis. Analytical Chemistry 58(7):1454-1459.
64. Marshall, W. E. and J. I. Wadsworth. 1993. Rice Science and Technology. Marcel Dekker, Inc. New York.
65. Massie, D. R. and K. H. Norris. 1965. Spectral Reflectance and Transmittance Properties of Grain in the Visible and Near Infrared. Transactions of the ASAE 8(4):598-600.
66. Massie, D. R. and K. H. Norris. 1975. A High-Intensity Spectrophotometer Interfaced with a Computer for Food Quality Measurement. Transactions of the ASAE 18(1):173-176.
67. McClure, W. F. 1975. A Spectrophotometric Technique for Studying the Browning Reaction in Tobacco. Transactions of the ASAE 18(2):380-383.
68. McClure, W. F. and A. Farsaie. 1980. Dual-Wavelength Fiber Optic Photometer Measures Fluorescence of Aflatoxin Contaminated Pistachio Nuts. Transactions of the ASAE 23(1):204-207.
69. McDonald, C. 1986. Near-Infrared Spectroscopy in the Milling and Baking Quality Control Laboratory. Cereal Foods World 31(6):410-411.

70. Miles, J. A and D. E. Moehle. 1978. Use of Light Transmission and Reflectance Characteristics of Firseeds as Viability Indicators. Transactions of the ASAE 21(6):1219-1221.
71. Morgan, J. E. and P. C. Williams. 1995. Starch Damage in Wheat Flours: A Comparison of Enzymatic, Idometric, and Near-Infrared Reflectance Techniques. Cereal Chemistry 72(2):209-212.
72. Mohsenin, N. N. 1984. Electromagnetic Radiation Properties of Foods and Agricultural Products. Gordon & Breach Science Publisher, New York.
73. Osborne, B. G. and T. Fearn. 1986. Near Infrared Spectroscopy in Food Analysis. John Wiley & Sons, INC., New York.
74. Pomeranz, Y., R. A. Stermer, and E. Dikenman. 1975. NMR-Oil Content as Related to Degree of Milling. Cerael Chemistry 52:845-853.
75. Roberts, C. A., R. R. Marquardt, A. A. Flohlich, R. L. McGraw, R. G. Rotter, and J. C. Henning. 1991. Chemical and Spectral Quantification of Mold in Contaminated Barley. Cereal Chemistry 68(3):272-275.
76. Ruiz, M. and P. Chen. 1982. Use of the First Derivative of Spectral Reflectance to Mold on Tomatoes. Transactions of the ASAE 25(3):759-762.
77. Stauffer, C. E. 1984. Concepts and Directions in NIR Analysis. Cereal Foods World 29(9):577-578.
78. Stermer, R. A., C. A. Watson, and E. Dikemen. 1977. Infrared Spectra of Milled Rice. Transactions of the ASAE 20(3):547-550.
79. Villareal, C. P., N. M. De La Cruz, and B. O. Juliano. 1994. Rice Amylose Analysis by Near-Infrared Transmittance Spectroscopy. Cereal Chemistry 71(3):292-296.

80. Williams, P. C. and B. N. Thompson. 1978. Influence of Whole Meal Granularity on Analysis of HRS Wheat for Protein and Moisture by Near Infrared Reflectance Spectroscopy. *Cereal Chemistry* 55(6):1014-1037.
81. Williams, P. C., K. H. Norris. 1987. Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries. A. A. C. C. Inc., St. Paul, Minnesota, USA.
82. Williams, P. C., K. H. Norris, and D. C. Sobering. 1985. Determination of Protein and Moisture in Wheat and Barley by Near-Infrared Transmission. *J. Agric. Food Chem.* 33(2):239-244.
83. Williams, P. C., K. H. Norris, C. W. Gehrke, and K. Bernstein. 1983. Comparison of Near-Infrared Methods for Measuring Protein and Moisture in Wheat. *Cereal Foods World* 28(2):149-152.
84. Williams, P. C., K. R. Preston, K. H. Norris, and P. M. Starkey. 1984. Determination of Amino Acids in Wheat and Barley by Near-Infrared Reflectance Spectroscopy. *J. of Food Science* 49(1):17-20.
85. Wadsworth, J. I. and D. J. Sequeira. 1991. Rice Degree of Milling Measured by NIR. ASAE Paper No. 91-6030.
86. Wehling, R. L., D. S. Jacson, D. G. Hooper, and A. R. Ghaedian. 1993. Prediction of Wet-Milling Starch Yield from Corn by Near-Infrared Spectroscopy. *Cereal Chemistry* 70(6):720-723.
87. 夏架元康, 川村周三, 伊藤和彦. 1992. 近赤外線分光法による穀物成分測定の精度(1). *農業機械學會誌* 54(1):89-96.
88. 夏架元康, 川村周三, 伊藤和彦. 1992. 近赤外線分光法による穀物成分測定の精度(2). *農業機械學會誌* 54(6):89-94.
89. 夏架元康, 川村周三, 伊藤和彦. 1993. 近赤外線分光法による穀物成分測定の精度(3). *農業機械學會誌* 55(1):109-116.

90. 夏架元康, 川村周三, 伊藤和彦. 1994. 近赤外線法による穀物成分測定値の變動要因(1). 農業機械學會誌 56(2):41-48.
91. 夏架元康, 川村周三, 伊藤和彦. 1994. 近赤外線法による穀物成分測定値の變動要因(2). 農業機械學會誌 56(3):43-50.
92. 夏架元康, 川村周三, 伊藤和彦. 1994. 近赤外線法による穀物成分測定値の變動要因(3). 農業機械學會誌 56(4):35-44.
93. 瀨尾康久. 1994. 收穫後處理における米の品質向上のための最新技術. SIEMSTA '94 농업과학기술심포지움 p183-191, 한국농업기계학회.
94. 岩尾俊男. 1987. 農産物の測定と計測方法の基準化に関する総合的研究(3). 農業機械學會.
95. 岩尾俊男. 1991. 農産物の測定と計測方法の基準化に関する総合的研究(4). 農業機械學會.
96. 佐竹隆顯, 古谷立美, 下原融. 1992. 米の品質判定用ニューロプロセッサの開発に関する研究(I) -ニューラルネットワークによる米の品質判定-. 農業機械學會誌 54(4):67-75.
97. Umali, D.L. 1988. Rice marketing under government price stabilization. Final report prepared for the University of the Philippines at Los Banos-United States Agency for International Development-Winrock Agricultural policy Research and Development studies. U.P. at Los Banos, College, Laguna 4031. Philippines.
98. Chen, C., Chiang, Y.P. and Pomeranz, Y. 1989. Image analysis and characterization of cereal grains with laser range finder and camera contour extractor. Cereal chem. 66(6):466.
99. Chioui, Y., Bertrand, D., Dattee, Y. and Devaux, M. 1996. Identification of seeds by color imaging: comparison of discriminant analysis and artificial neural network. J. Sci. Food Agric.,

71:433-441.

100. Goodman, D.E. and Rao, R.M. 1984. A New rapid interactive image analysis method for determining physical dimensions of milled rice kernels. *J. Food Sci.* 49:648.
101. Houston, E.F. 1972. "Rice Chemistry and Technology," p.16. American Association of Cereal Chemists, St.Paul, MN.
102. Hwang, H., Lee, C.H. and Lee, Y.K. 1993. Automateic Visual feature extraction and measurement of mushroom. Proceedings of the international conference for agricultural machinery and process engineering. Vol. V:1230.
103. Miller, B.K. and M.J. Delwiche. 1988. A color vision system for peach grading. ASAE paper No. 88-6025, St Joseph, MI49085.
104. Neuman, M., Sapirstein, H., Shwedyk, E. and Bushuk, W. 1987. Discrimination of wheat class and cultivar by digital image analysis of whole grain samples. *J. Cereal Sci.* 6:125.
105. Neuman, M.R., Saprstein, H.D., Shwedyk, E. and Bushuk, W. 1989. Wheat grain colour analysis by digital image processing II. Wheat class discrimination. *Journal of Cereal Science* 10:183-188.
105. Osborne, B.G., Mertens, B., Thompson, M., and Fearn, T. 1994. Authentication of Basmati rice by NIR tansmittance rpictra of individual grains. *Food Science & Technol. Today* 8(3):160-161.
106. Sapirstein, H.D., Neuman, M., Wright, E.H., Shwedyk, E. and Bushuk, W. 1987. An Instrumental system for cereal grain classification using digital image analysis. *J. Cereal Sci.* 6:3.

107. SAS Institute. 1988. SAS user's guide:Statistics. Version 6.03. The Institute: Cary, NC.
108. Scotter, C. 1993. Correalation between NIR spectra and organoleptic properties of food products. Food Sci. and Technol. Today. 7(4):229-233.
109. Thomson, W.H. and Pomeranz, Y. 1991. Classification of wheat kernels using three-dimensional image analysis. Cereal Chem. 68(4):357-361
110. USDA, 1976. "Inspection handbook for the sampling, inspection, grading, and certification of rice." HB 918-11. US Dept. of Agriculture, Washington, DC.
111. Webb, B.D. 1991. Chapter 5. Rice quality and grade In: Rice Production Vol. II. Luh, B.S.(Ed.) 2nd Ed. AVI publishing Co., New York.
112. Wratten, F.T., Poole, W.D., Chesness, J.L., Ball, S., and Ramarao, V. 1975. Physical and thermal properties of rough rice. Trans. ASAE. 12(6):801.
113. Zayas, I., Lai, F.S. and Pomeranz, Y. 1986a. Discrimination between wheat classes and the varieties by Image Analysis. Cereal Chem. 63(1):52.
114. Zayas, I., Lai, F.S. and Pomeranz, Y. 1986b. Appication of patter recognition techniques in the analysis of cereal grains. Cereal Chem. 63:168.
115. 김상숙, 이상효, 류미라, 김영진, 조진숙, 안미옥 1995. 쌀의 품종판별

- 에 관한 연구. E-1321 한국식품개발연구원 보고서.
116. 김영봉. 1996. 근적외분광분석에 의한 식육 및 육제품의 성분측정에 관한 연구. 박사학위논문. 서울대학교.
 117. 노상하, 류관희, 김일웅. 1990. 화상처리 시스템을 이용한 과일외의 기하학적 특성 측정. 한국농업기계학회지. 15(1):23.
 118. 박재복, 조용진, 김종태, 황재관, 정진웅. 1993. 농산물 비파괴 선별기술 개발에 관한 연구. E-1234. 한국식품개발연구원 보고서
 119. 박재복, 김동철, 김종훈, 이충호. 1994. 영상처리를 이용한 농산물의 외형특성 판명기술 개발. 한국식품개발연구원 보고서 (E1292-0537).
 120. 松永陸可, 1992. 화상해석에 의한 쌀의 품종판별기술. 월간 Food Technol. page 82.

Appendix

Appendix 1 한국에 출원된 쌀의 품질 등급화 관련 특허 기술 내역

구 분	출원일	출원번호	출원인	발명의 명칭
1	82.2.15	82-649	사다께	벼 입자 또는 현미입자의 균열 검출장치
2	82.3.13	82-1077	사다께	균열된 쌀알의 검출장치
3	87.3.19	87-9223	사다께	쌀의 품질 평가 장치
4	87.9.10	88-4307	사다께	쌀의 아밀로오스 및 또는 아밀로 펙틴 함유량 측정 장치
5	94.3.31	94-22082	시즈오까, 한성	벼의 품질 평가 방법

Appendix 2-1 일본에 출원된 쌀의 품질 등급화 관련 특허 기술 내역

번호	출원일(년, 월)	공개번호	출원인
1	86.03	63-11841	사다께
2	86.06	62-299743	사다께
3	86.07	63-33644	사다께
4	86.08	63-58161	사다께
5	86.09	63-241338	사다께
6	86.09	63-75643	사다께
7	86.09	63-67547	사다께
8	87.01	63-188743	사다께
9	87.01	63-175747	사다께
10	87.03	63-217254	사다께
11	87.03	63-221234	사다께
12	87.03	63-235849	사다께
13	87.03	63-30414	사다께
14	86.12	63-167244	사다께
15	87.06	1-13456	사다께
16	87.07	1-54253	사다께
17	87.08	2-290537	사다께
18	89.04	2-290537	니레코
19	89.05	2-291947	토요

Appendix 2-2. 일본에 출원된 쌀의 품질 등급화 관련 특허 기술 내역

번호	출원일(년, 월)	공개번호	출원인
20	89.10	3-140845	사다께
21	89.11	3-160345	사다께
22	89.12	3-223672	토요
23	90.02	3-231149	토요
24	90.02	3-233357	토요
25	90.02	3-242537	토요
26	90.03	3-259732	사다께
27	90.03	3-255338	사다께
28	90.11	4-181160	시즈오까
29	90.11	4-204252	이세끼
30	91.06	7-260681	이세끼
31	91.07	5-26867	타이거
32	91.09	5-72198	이세끼
33	92.05	5-332928	일본담배
34	92.09	6-109719	이세끼
35	93.03	6-273325	이세끼
36	93.04	6-309023	이세끼
37	93.06	7-5138	이세끼
38	93.11	7-140064	일본담배

Appendix 2-3. 일본에 출원된 쌀의 품질 등급화 관련 특허 기술 내역

번호	출원일(년, 월)	공개번호	출원인
39	93.11	7-140066	일본담배
40	94.02	7-270312	사다께
41	94.07	8-29412	구보다
42	94.05	7-318488	이세끼
43	94.06	8-15136	이세끼
44	94.07	8-29335	구보다
45	94.07	8-29336	구보다
46	94.07	8-29412	구보다
47	82.07	59-17957	시즈오카
48	83.02	59-143941	사다께
49	89.06	3-21865	구보다
50	88.08	2-49146	사다께
51	81.03	90-33095	케트
52	80.08	89-7334	사다께
53	81.03	89-7335	사다께
54	87.12	1-161136	시즈오카
55	87.12	1-167661	시즈오카
56	81.04	89-36057	사다께
57	81.12	89-36574	사다께

Appendix 2-4. 일본에 출원된 쌀의 품질 등급화 관련 특허 기술 내역

번호	출원일(년, 월)	공개번호	출원인
58	84.12	61-139754	세이레이
59	85.04	61-231441	이세끼
60	85.05	59-214742	사다께
61	84.04	60-209140	세이레이
62	94.05	7-323237	이세끼
63	92.08	6-167454	사다께
64	92.12	6-201580	사다께
65	84.09	94-71557	이세끼
66	90.03	3-277948	이세끼
67	90.03	3-278846	이세끼
68	91.01	4-244245	사다께
69	91.02	4-260450	이세끼

Appendix 3-1 Calibration시료로서 사용된 미국 검사규격에 따른 백미
1 등급시료

번호	대, 소쇄미	완전 립%	번호	대, 소쇄미	완전 립%	번호	대, 소쇄미	완전 립%
1	0, 0	100	26	0.8, 0.2	99	51	1.8, 0.2	98
2	0, 0	100	27	0.8, 0.2	99	52	1.8, 0.2	98
3	0, 0	100	28	0.8, 0.2	99	53	1.8, 0.2	98
4	0, 0	100	29	0.8, 0.2	99	54	1.8, 0.2	98
5	0, 0	100	30	0.8, 0.2	99	55	1.8, 0.2	98
6	0, 0	100	31	0.9, 0.1	99	56	1.8, 0.2	98
7	0, 0	100	32	0.9, 0.1	99	57	1.8, 0.2	98
8	0, 0	100	33	0.9, 0.1	99	58	1.8, 0.2	98
9	0, 0	100	34	0.9, 0.1	99	59	1.8, 0.2	98
10	0, 0	100	35	0.9, 0.1	99	60	1.8, 0.2	98
11	1, 0	99	36	0.9, 0.1	99	61	1.9, 0.1	98
12	1, 0	99	37	0.9, 0.1	99	62	1.9, 0.1	98
13	1, 0	99	38	0.9, 0.1	99	63	1.9, 0.1	98
14	1, 0	99	39	0.9, 0.1	99	64	1.9, 0.1	98
15	1, 0	99	40	0.9, 0.1	99	65	1.9, 0.1	98
16	1, 0	99	41	2, 0	98	66	1.9, 0.1	98
17	1, 0	99	42	2, 0	98	67	1.9, 0.1	98
18	1, 0	99	43	2, 0	98	68	1.9, 0.1	98
19	1, 0	99	44	2, 0	98	69	1.9, 0.1	98
20	1, 0	99	45	2, 0	98	70	1.9, 0.1	98
21	0.8, 0.2	99	46	2, 0	98	71	3, 0	97
22	0.8, 0.2	99	47	2, 0	98	72	3, 0	97
23	0.8, 0.2	99	48	2, 0	98	73	3, 0	97
24	0.8, 0.2	99	49	2, 0	98	74	3, 0	97
25	0.8, 0.2	99	50	2, 0	98	75	3, 0	97

Appendix 3-2 Calibration시료로서 사용된 미국 검사규격에 따른 백미
1 등급시료

번호	대, 소쇄미	완전 립%	번호	대, 소쇄미	완전 립%	번호	대, 소쇄미	완전 립%
76	3, 0	97	101	4, 0	96	126	3.9, 0.1	96
77	3, 0	97	102	4, 0	96	127	3.9, 0.1	96
78	3, 0	97	103	4, 0	96	128	3.9, 0.1	96
79	3, 0	97	104	4, 0	96	129	3.9, 0.1	96
80	3, 0	97	105	4, 0	96	130	3.9, 0.1	96
81	2.8, 0.2	97	106	4, 0	96			
82	2.8, 0.2	97	107	4, 0	96			
83	2.8, 0.2	97	108	4, 0	96			
84	2.8, 0.2	97	119	4, 0	96			
85	2.8, 0.2	97	110	4, 0	96			
86	2.8, 0.2	97	111	3.8, 0.2	96			
87	2.8, 0.2	97	112	3.8, 0.2	96			
88	2.8, 0.2	97	113	3.8, 0.2	96			
89	2.8, 0.2	97	114	3.8, 0.2	96			
90	2.8, 0.2	97	115	3.8, 0.2	96			
91	2.9, 0.1	97	116	3.8, 0.2	96			
92	2.9, 0.1	97	117	3.8, 0.2	96			
93	2.9, 0.1	97	118	3.8, 0.2	96			
94	2.9, 0.1	97	119	3.8, 0.2	96			
95	2.9, 0.1	97	120	3.8, 0.2	96			
96	2.9, 0.1	97	121	3.9, 0.1	96			
97	2.9, 0.1	97	122	3.9, 0.1	96			
98	2.9, 0.1	97	123	3.9, 0.1	96			
99	2.9, 0.1	97	124	3.9, 0.1	96			
100	2.9, 0.1	97	125	3.9, 0.1	96			

Appendix 3-3 Calibration시료로서 사용된 미국 검사규격에 따른 백미
2 등급시료

번호	대, 소쇄미	완전 립%	번호	대, 소쇄미	완전 립%	번호	대, 소쇄미	완전 립%
131	5, 0	95	156	4.8, 0.2	95	181	5.7, 0.3	94
132	5, 0	95	157	4.8, 0.2	95	182	5.7, 0.3	94
133	5, 0	95	158	4.8, 0.2	95	183	5.7, 0.3	94
134	5, 0	95	159	4.8, 0.2	95	184	5.7, 0.3	94
135	5, 0	95	160	4.8, 0.2	95	185	5.7, 0.3	94
136	5, 0	95	161	6, 0	94	186	5.7, 0.3	94
137	5, 0	95	162	6, 0	94	187	5.7, 0.3	94
138	5, 0	95	163	6, 0	94	188	5.7, 0.3	94
139	5, 0	95	164	6, 0	94	189	5.7, 0.3	94
140	5, 0	95	165	6, 0	94	190	5.7, 0.3	94
141	4.6, 0.4	95	166	6, 0	94	191	5.8, 0.2	94
142	4.6, 0.4	95	167	6, 0	94	192	5.8, 0.2	94
143	4.6, 0.4	95	168	6, 0	94	193	5.8, 0.2	94
144	4.6, 0.4	95	169	6, 0	94	194	5.8, 0.2	94
145	4.6, 0.4	95	170	6, 0	94	195	5.8, 0.2	94
146	4.6, 0.4	95	171	5.6, 0.4	94	196	5.8, 0.2	94
147	4.6, 0.4	95	172	5.6, 0.4	94	197	5.8, 0.2	94
148	4.6, 0.4	95	173	5.6, 0.4	94	198	5.8, 0.2	94
149	4.6, 0.4	95	174	5.6, 0.4	94	199	5.8, 0.2	94
150	4.6, 0.4	95	175	5.6, 0.4	94	200	5.8, 0.2	94
151	4.8, 0.2	95	176	5.6, 0.4	94	201	5.9, 0.1	94
152	4.8, 0.2	95	177	5.6, 0.4	94	202	5.9, 0.1	94
153	4.8, 0.2	95	178	5.6, 0.4	94	203	5.9, 0.1	94
154	4.8, 0.2	95	179	5.6, 0.4	94	204	5.9, 0.1	94
155	4.8, 0.2	95	180	5.6, 0.4	94	205	5.9, 0.1	94

Appendix 3-4 Calibration 시료로서 사용된 미국 검사규격에 따른 백미
2 등급 시료

번호	대, 소쇄미	완전 립%	번호	대, 소쇄미	완전 립%	번호	대, 소쇄미	완전 립%
206	5.9, 0.1	94	231	6.7, 0.3	93	256	6.9, 0.1	93
207	5.9, 0.1	94	232	6.7, 0.3	93	257	6.9, 0.1	93
208	5.9, 0.1	94	233	6.7, 0.3	93	258	6.9, 0.1	93
209	5.9, 0.1	94	234	6.7, 0.3	93	259	6.9, 0.1	93
210	5.9, 0.1	94	235	6.7, 0.3	93	260	6.9, 0.1	93
211	7, 0	93	236	6.7, 0.3	93			
212	7, 0	93	237	6.7, 0.3	93			
213	7, 0	93	238	6.7, 0.3	93			
214	7, 0	93	239	6.7, 0.3	93			
215	7, 0	93	240	6.7, 0.3	93			
216	7, 0	93	241	6.8 0.2	93			
217	7, 0	93	242	6.8 0.2	93			
218	7, 0	93	243	6.8 0.2	93			
219	7, 0	93	244	6.8 0.2	93			
220	7, 0	93	245	6.8 0.2	93			
221	6.6, 0.4	93	246	6.8 0.2	93			
222	6.6, 0.4	93	247	6.8 0.2	93			
223	6.6, 0.4	93	248	6.8 0.2	93			
224	6.6, 0.4	93	249	6.8 0.2	93			
225	6.6, 0.4	93	250	6.8 0.2	93			
226	6.6, 0.4	93	251	6.9, 0.1	93			
227	6.6, 0.4	93	252	6.9, 0.1	93			
228	6.6, 0.4	93	253	6.9, 0.1	93			
229	6.6, 0.4	93	254	6.9, 0.1	93			
230	6.6, 0.4	93	255	6.9, 0.1	93			

Appendix 3-5 Calibration시료로서 사용된 미국 검사규격에 따른 백미
3 등급시료

번호	대, 소쇄미	완전 립%	번호	대, 소쇄미	완전 립%	번호	대, 소쇄미	완전 립%
261	7.3, 0.7	92	286	9.3, 0.7	90	311	12.3, 0.7	87
262	7.3, 0.7	92	287	9.3, 0.7	90	312	12.3, 0.7	87
263	7.3, 0.7	92	288	9.3, 0.7	90	313	12.3, 0.7	87
264	7.3, 0.7	92	289	9.3, 0.7	90	314	12.3, 0.7	87
265	7.3, 0.7	92	290	9.3, 0.7	90	315	12.3, 0.7	87
266	7.3, 0.7	92	291	10.3, 0.7	89	316	12.3, 0.7	87
267	7.3, 0.7	92	292	10.3, 0.7	89	317	12.3, 0.7	87
268	7.3, 0.7	92	293	10.3, 0.7	89	318	12.3, 0.7	87
269	7.3, 0.7	92	294	10.3, 0.7	89	319	12.3, 0.7	87
270	7.3, 0.7	92	295	10.3, 0.7	89	320	12.3, 0.7	87
271	8.3, 0.7	91	296	10.3, 0.7	89	321	13.3, 0.7	86
272	8.3, 0.7	91	297	10.3, 0.7	89	322	13.3, 0.7	86
273	8.3, 0.7	91	298	10.3, 0.7	89	323	13.3, 0.7	86
274	8.3, 0.7	91	299	10.3, 0.7	89	324	13.3, 0.7	86
275	8.3, 0.7	91	300	10.3, 0.7	89	325	13.3, 0.7	86
276	8.3, 0.7	91	301	11.3, 0.7	88	326	13.3, 0.7	86
277	8.3, 0.7	91	302	11.3, 0.7	88	327	13.3, 0.7	86
278	8.3, 0.7	91	303	11.3, 0.7	88	328	13.3, 0.7	86
279	8.3, 0.7	91	304	11.3, 0.7	88	329	13.3, 0.7	86
280	8.3, 0.7	91	305	11.3, 0.7	88	330	13.3, 0.7	86
281	9.3, 0.7	90	306	11.3, 0.7	88	331	14.3, 0.7	85
282	9.3, 0.7	90	307	11.3, 0.7	88	332	14.3, 0.7	85
283	9.3, 0.7	90	308	11.3, 0.7	88	333	14.3, 0.7	85
284	9.3, 0.7	90	309	11.3, 0.7	88	334	14.3, 0.7	85
285	9.3, 0.7	90	310	11.3, 0.7	88	335	14.3, 0.7	85

Appendix 3-6 Calibration시료로서 사용된 미국 검사규격에 따른 백미
3 등급시료

번호	대, 소쇄미	완전 립%	번호	대, 소쇄미	완전 립%	번호	대, 소쇄미	완전 립%
336	14.3, 0.7	85	361	9.4, 0.6	90	386	8.4, 0.6	91
337	14.3, 0.7	85	362	9.4, 0.6	90	387	8.4, 0.6	91
338	14.3, 0.7	85	363	9.4, 0.6	90	388	8.4, 0.6	91
339	14.3, 0.7	85	364	9.4, 0.6	90	389	8.4, 0.6	91
340	14.3, 0.7	85	365	9.4, 0.6	90	390	8.4, 0.6	91
341	10.4, 0.6	89	366	9.4, 0.6	90			
342	10.4, 0.6	89	367	9.4, 0.6	90			
343	10.4, 0.6	89	368	9.4, 0.6	90			
344	10.4, 0.6	89	369	9.4, 0.6	90			
345	10.4, 0.6	89	370	9.4, 0.6	90			
346	10.4, 0.6	89	371	12.4, 0.6	87			
347	10.4, 0.6	89	372	12.4, 0.6	87			
348	10.4, 0.6	89	373	12.4, 0.6	87			
349	10.4, 0.6	89	374	12.4, 0.6	87			
350	10.4, 0.6	89	375	12.4, 0.6	87			
351	11.4, 0.6	88	376	12.4, 0.6	87			
352	11.4, 0.6	88	377	12.4, 0.6	87			
353	11.4, 0.6	88	378	12.4, 0.6	87			
354	11.4, 0.6	88	379	12.4, 0.6	87			
355	11.4, 0.6	88	380	12.4, 0.6	87			
356	11.4, 0.6	88	381	8.4, 0.6	91			
357	11.4, 0.6	88	382	8.4, 0.6	91			
358	11.4, 0.6	88	383	8.4, 0.6	91			
359	11.4, 0.6	88	384	8.4, 0.6	91			
360	11.4, 0.6	88	385	8.4, 0.6	91			