

# 영상처리를 이용한 현미의 온라인 품위판정 알고리즘

김태민 노상하

## On-line Inspection Algorithm of Brown Rice Using Image Processing

T. M. Kim S. H. Noh

### Abstract

An on-line algorithm that discriminates brown rice kernels on their echelon feeder using color image processing is presented for quality inspection. A rapid color image segmentation algorithm based on Bayesian clustering method was developed by means of the look-up table which was made from the significant clusters selected by experts. A robust estimation method was presented to improve the stability of color clusters. Discriminant analysis of color distributions was employed to distinguish nine types of brown rice kernels. Discrimination accuracies of the on-line discrimination algorithm were ranged from 72% to 85% for the sound, cracked, green-transparent and green-opaque, greater than 93% for colored, red, and unhulled, about 92% for white-opaque and 67% for chalky, respectively.

**Keywords :** Image processing, Brown rice, Inspection, Echelon feeder of grain, Look-up table, Bayesian classifier, Color clustering

### 1. 서론

농업구조 개선사업의 일환으로 다수의 미곡종합처리시설 설치되었다. 미곡종합처리장을 통하여 지금까지 농가단위로 맡아서 하던 벼 수확 후의 제반과정, 즉 건조·저장·도정·검사·판매 등의 작업을 대단위로 일괄처리 함으로써 농촌노동력의 절감은 물론 미곡손실의 감소, 미곡유통의 합리화, 미질의 향상, 부산물의 활용 등을 꾀할 수 있다.

품질검사과정의 생력화(省力化)를 목표로 국내외에서 자동 품질검사장치의 개발에 관한 연구가 진행되고 있다. 품질검사장치는 자동화의 정도에 따라 수동식, 자동식 그리고 전자동식으로 구분된다. 수동식은 설비 측면에서 가장 간단하고 저렴한 반면 처리수가 작고 처리시간과 소요인원이 많이 필요하며 수작업으로 인하여 정확성과 공정성이 떨어질 우려가 있다. 전자동식은 품질검사에 관련된 모든 작업이 자동화된 검사장치를 의미한다. 즉, 자동시료채취기에 의해서 시료

가 채취되면 함수율 측정, 제현, 품위판정, 수율의 측정 및 기록에 이르는 모든 작업이 자동으로 이루어진다. 특히 시험용 건조공정에서는 수분관리의 자동화를 통하여 일관된 작업의 자동화가 가능하다. 자동식은 현미수율 측정과정을 자동화한 것으로 실용화와 경제성을 고려하여 부분적으로 수작업이 포함된 검사장치를 의미한다.

일본에서는 광센서를 이용하여 건전립, 착색립, 동할립, 백사미, 청미 등을 선별하는 광학식 현미 품위판정장치가 시판되고 있으며, 국내에서도 벼의 계량, 정백, 선별, 백미계량 및 수율판정 등의 작업을 컴퓨터를 이용하여 자동으로 수행하는 제현을 자동판정장치를 개발되었다. 그러나 제현을 자동판정장치는 회전체를 이용한 기계적인 선별로 인하여 건전립과 기하학적 형상이 비슷한 동할립, 백사미, 청미, 착색립 등을 선별할 수 없으며, 광학식 현미 품위판정장치는 미탈부립이나 쇄미 등의 선별이 불가능하므로 이들을 미리 분리해야 하는 불편함이 있는 것으로 조사되었다.

The article was submitted for publication on 2010-02-22, reviewed on 2010-03-31, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2010-04-12. The authors are Taemin Kim, NASA Postdoctoral Fellow, Intelligent Robotics Group, NASA Ames Research Center, and Sang-Ha Noh, Professor, KSAM Member, Department of Biosystems Engineering, Seoul National University. Part of this work was done while Taemin Kim was at Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon 305-701, Korea. Corresponding author: S. H. Noh, Professor, Seoul National University, Seoul, Korea; Tel: +82-2-880-4603; E-mail: <noh@snu.ac.kr>.

컴퓨터 산업의 발달과 고성능 카메라의 개발로 영상처리 기법은 특정 산업에만 국한된 것이 아니라 거의 모든 분야에서 응용되고 있다(Ballard and Brown, 1982; Gonzalez and Woods, 1992). 농업분야에서는 농산물의 선별과 비과피 품질판정, 동·식물의 병해진단 등을 위해 영상처리기술에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔으며, 상당부분 실용화되어 있다(Kranzler, 1985; Berlage et al., 1988; Gunasekaran et al., 1988; Ding et al., 1990; McDonald and Chen, 1990; Zayas et al., 1990; Miller and Delwiche, 1991). 컴퓨터 비전 시스템과 영상처리 기법을 이용하여 곡류의 선별과 품질판정에 응용한 사례를 살펴보면 다음과 같다.

Dekker와 Visser(1988)는 백미의 등급결정을 위해 건전미와 동할미, 쇠미를 구별할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 이들은 백미의 동할을 검출하기 위하여 곡립의 장축방향으로 사광(斜光)을 조사할 수 있는 시료대와 조명장치를 제작하였고, 곡립의 단축 방향으로 화소의 평균값을 구하고 이에 대한 표준편차, 푸리에 변환 등을 이용하여 건전미와 동할미, 쇠미를 72 s/g의 처리속도로 선별하였다. Zayas 등(1989)은 밀과 이물질을 인식·선별하기 위해 영상처리장치를 이용하여 곡립의 면적, 둘레길이 등 기하학적 특성 인자들을 구하여 통계 패키지 SAS의 판별분석을 수행하였다. Shearer와 Payne(1990)은 후추를 색채와 손상 정도에 따라 등급별로 선별하기 위한 칼라 영상처리 시스템을 개발하였다. HIS 색좌표계에서 색상(hue)을 8개 부류로 나누고 이들에 대한 상대적인 분포를 판별분석을 통하여 색채와 손상에 대해서 각각 96%와 63%의 정확도로 분류하였다. Lee(1992)는 각종 농산물(벼, 사과, 감자, 오이)에 대한 기하학적 특성을 분석하는 컴퓨터 비전 시스템을 개발하였다. Liao 등(1993)은 신경회로망 패턴 분류기에 기초하여 완전한 옥수수 곡립과 불완전한 곡립을 온라인으로 분류할 수 있는 컴퓨터 비전 시스템을 개발하였다. 신경회로망 분류기의 입력층에 옥수수 곡립의 기하학적인 형태에 기초한 단면 형상 인자(profile shape features)들을 입력하여 완전한 곡립과 부서진 편평한 곡립을 99%와 96%, 완전한 곡립과 부서진 둥근 곡립을 89%와 94%의 정확도로 각각 분류하였다. Ni 등(1993)은 컴퓨터 비전 시스템을 이용하여 옥수수 곡립을 자동으로 검사하는 장치를 개발하였다. 완전한 옥수수 곡립과 불완전한 옥수수 곡립의 선별을 위해 곡률 반경, 대칭비, 면적, 원형도를 입력으로 하는 신경회로망 분류기를 개발하여 완전한 곡립과 불완전한 곡립을 각각 81%와 94%의 정밀도로 선별하였다. Noh 등(1997)은 색채영상처리장치를 이용하여 오프라인으로 현미의 각 구성곡립인 건전립, 동할립, 백사미, 황할립, 사정미, 착색립, 미탈부립, 쇠미의 기하학적 특성과 색채 정보를 측정하고 통계적인 분석을 통하여 이들의 선별에 유의한 인자를 제시하였다. 이를 바탕으로 개발된 선별 알고리즘에서 각 구성곡립은 대체

로 80~95%의 선별정도를 나타내었으며, 10 립/s의 선별능률을 나타내었다. 영상처리를 이용하는 경우 곡립의 기하학적인 특성은 물론 색채정보를 동시에 이용함으로써 현미시료에서 미탈부립이나 쇠미를 미리 선별할 필요없이 색채정보를 이용하여 동할립, 백사미, 사정미, 착색립 등의 선별이 가능하다.

본 논문은 현미의 온라인 품위판정 시스템을 개발하기 위한 영상처리 시스템을 구성하고 곡립 선별 알고리즘을 제안한다. 특히, 1) 이송 중인 현미영상의 특성을 구명하여 잔상에 의한 영상정보의 왜곡을 최소화하기 위한 영상분석방법을 제시하고, 2) 개발된 온라인 품위판정장치에 적합한 고속 품위판정 알고리즘을 설계한다.

## 2. 실험장치 및 방법

영상처리를 이용한 온라인 품위판정 시스템의 전체 구성은 그림 1과 같다. 우측하단에 진동식 다채널 정렬공급장치와 회전원통식 단립화장치로 구성되는 자동공급장치가 설치되어 있다. 그 상단에 설치된 카메라가 촬영한 영상으로부터 곡립이 자동으로 정렬되어 공급되는 것을 모니터 화면을 통하여 확인할 수 있다. 조명장치는 회전원통의 내부에 설치된 텅스텐·할로겐등과 그 외부에 설치된 형광등으로 구성된다(Paulsen and McClure, 1985).

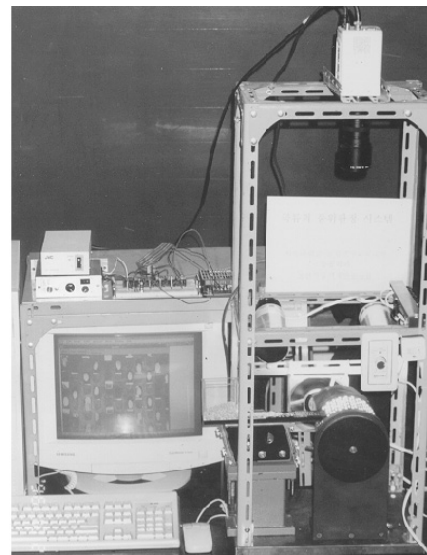


Fig. 1 Online inspection system of brown rice.

### 가. 영상처리 시스템

온라인 품위판정 시스템 개발을 위해 사용된 영상처리장치는 i) 영상을 형성하여 아날로그 영상신호로 변환해 주는 영상입력장치, ii) 이를 실시간으로 디지털 신호로 변환하여 프

레임 버퍼에 저장하고 여러 가지 영상처리를 수행하는 영상 처리보드, iii) 영상처리와 품위판정 프로그램의 수행을 위한 주컴퓨터와 출력장치로 구성된다.

영상입력장치는 NTSC(National Television Systems Committee)신호와 RGB신호를 동시에 출력할 수 있는 칼라 CCD 카메라(JVC, TK-1070U, Japan)를 사용하였으며 대상시료를 확대하기 위해 카메라에 배율기를 부착하였다. 또한 불필요한 적외선의 입력을 막기 위하여 적외선차단 필터를 부착하였다(Inoué, 1986).

영상처리보드는 RGB 방식의 컬러영상처리보드(Imagraph Chroma, USA)를 사용하였으며 카메라로부터 NTSC신호를 입력받아 1280×1024의 해상도를 갖는 24/16/8 bit의 컬러영상을 처리할 수 있다. 특히, 일반 VGA 카드와 프레임버퍼를 공유함으로써 윈도우 환경에서 영상자료의 입출력이 자유롭다. 출력장치는 일반 17"컬러 모니터를 사용하였으며 컴퓨터는 IBM PC/AT 호환기종(80486 DX2, 66MHz)을 사용한다. 개발환경은 영상처리 전용 소프트웨어인 Image-Pro(ver. 1.3)와 Microsoft Visual C++(ver. 1.5)를 사용한다.

### 나. 실험재료

현미는 미립의 성숙 정도와 손상 정도에 따라 구분한다. 미립의 성숙 정도에 따라 정립, 미숙립, 사미로 구분하며, 손상 정도에 따라 피해립으로 구분한다. 건전립은 미립의 성숙 정도가 좋고 장해를 받지 않은 곡립을 말한다. 동할립은 배유부에 균열이 발생한 것으로 도정 중에 쉘미가 되기 쉬워 백미의 품질과 수율에 큰 영향을 미친다. 착색립은 해충, 곰팡이, 열, 균 등에 의해 미립표면의 전부 또는 일부가 황색, 갈색, 흑색으로 변한 것으로 도정을 해도 색이 제거되지 않는다. 특히 미립표면의 전부가 갈색을 띠는 것을 앵미라 일컫는다. 복백립은 복부(배)가 불투명하고 백색인 미립을 말하며 백색부분이 미립 평면에 약 1/3 이상인 것을 복백립으로 분류하였다. 백사미는 성숙도중 발육이 중지된 것으로 보통 백색이며 도정을 하면 겨, 싸라기, 또는 분상질립이 된다. 사칭미는 과피에 엽록소가 남아 있는 녹색미립을 말하며 성숙도가 낮고 건전립과 비교해서 크기가 작은 것을 사칭미로 분류하였다. 활청립은 과피에 엽록소가 약간 남아 있으나 도정하면 백미가 되는 것으로 크기가 건전립과 거의 비슷한 것을 활청립으로 분류하였다. 미탈부립은 탈부과정에서 왕겨가 벗겨지지 않은 것을 말하며, 쉘미는 깨진 쌀로 건전립 길이의 2/3 이하의 미립을 말한다.

현행 우리나라의 농산물검사 표준계측방법 및 감정방법에 의하면 현미의 품위를 평가하는데 있어서 탈부된 벼에 대하여 활청현미가 차지하는 비율, 즉 벼의 제현율을 정확하게 측정하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 대상시료를 건전립, 동할립, 복백립, 백사미, 사칭미, 활청립, 착색립, 앵미, 미탈부

립, 쉘미로 구분하였으며 특히 컬러를 이용한 복백립과 앵미의 판별을 시도하였다. 실험에 사용된 현미시료는 1996년 경기도 화성군에 소재한 정미소에서 구입한 것으로 품종은 일 품이다.

### 다. 실험방법 및 내용

본 연구에서는 현미의 단립공급장치로 촬영된 영상으로부터 추출된 기하학적인 정보와 색채정보를 분석하여 각각의 곡립을 판별하는 알고리즘을 개발한다. 각 구성곡립이 갖는 고유한 색을 구명하고자 설정된 조명조건 하에서 각 구성 곡립을 대표할 수 있는 영역 내의 화소들을 수집하고 통계적인 분석을 수행하였다. 또한 고속 처리를 위하여 현미의 품위판정에 필요한 인자를 고속으로 추출하기 위한 방안을 강구하였다.

영상처리를 이용한 현미의 온라인 품위판정 알고리즘을 개발하기에 앞서 이송중인 현미영상의 특성을 구명함으로써 잔상에 의한 영상정보의 왜곡을 최소화하기 위한 방안을 제시하였다. 개발된 현미의 품위판정 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 선별정도를 조사하였으며 현미를 육안으로 분류한 결과와 개발된 알고리즘에 의한 판정 결과를 비교하였다(Cooper and Berlage, 1986; Churchill et al., 1992).

### 3. 온라인 품위판정 알고리즘

영상처리를 이용한 온라인 품위판정 알고리즘은 획득된 영상으로부터 잔상의 영향을 제거하는 전처리 과정, 영상 내에 현미가 놓인 홈을 찾기 위한 현미의 검색 알고리즘, 배경으로부터 현미를 분리하고 품위판정에 필요한 정보를 추출하기 위한 컬러 영상영역화 알고리즘, 그리고 영상영역화의 결과를 바탕으로 현미의 품위를 판정하는 품위판정 알고리즘으로 구성된다. 그리고 컬러 영상영역화 과정에 필요한 look-up table(LUT)을 작성하기 위하여 별도의 알고리즘을 개발하였다.

먼저 시스템의 초기화를 통하여 현미의 품위판정 중에 필요한 모든 상수 값을 추출 또는 계산한다. 다음으로 현미의 영상을 획득하고 전처리를 수행한다. 전처리를 거친 현미의 영상으로부터 현미를 검색하고 클러스터링 LUT를 이용한 컬러 영상영역화를 수행하면서 현미의 품위판정에 필요한 기하학적인 정보와 색채정보를 추출한다. 그리고 최종적으로 추출된 선별인자를 이용하여 판별분석으로 현미의 품위를 판정한다.

#### 가. 현미의 검색 알고리즘

획득된 영상에서 홈을 포함하는 최소의 직사각형을 영상분석의 기본단위로 정의하였고, 이 기본단위를 검색하여 현미

의 유무를 판정하는 알고리즘을 개발하였다. 현미의 검색 알고리즘은 추출되는 정보의 특성에 따라 초기화 부분과 온라인 부분으로 나뉜다. 즉, 장치의 설정에 관한 정보를 초기화 프로그램을 통하여 미리 구함으로써 온라인 부분에서 현미의 검색시간을 단축하였다.

회전원통식 단립화장치는 회전원통의 둘레를 따라 홈이 설치되어 있으며 홈의 내부에는 사광조사용 프리즘이 부착되어 있다. 홈이 시작하는 사광조사용 프리즘의 끝부분에서는 내부 광원으로부터 빛이 투과하여 규칙적인 투광영역을 형성하므로 이 투광영역을 홈의 기하학적인 정보를 추출하기 위한 지표로 사용하였다. 회전원통이 회전하면 홈이 영상의 위에서 아래로 이동하도록 카메라를 설치하여 홈의 가로방향의 위치가 변하지 않도록 하였다. 초기화를 통하여 홈의 크기와 가로방향의 위치를 추출하고 온라인 상태에서 홈의 세로방향의 위치를 추출하여 영상분석의 기본단위의 위치를 계산한다.

그림 2는 홈의 기하학적인 정보를 추출하기 위한 초기화 영상으로 가늘고 긴 투광영역이 일정한 크기와 간격을 가지고 나타나는 것을 관찰할 수 있다. 그림 3의 (a)는 초기화 영상에서 수직방향의 평균명도에 대한 프로파일을 나타내는 것으로 투광영역의 가로위치와 프로파일의 봉우리가 일치하는 것을 볼 수 있다. 따라서, 피크에서의 수평좌표를 투광영역의 가로위치로 결정하였다. 추출된 각 투광영역의 가로위치를

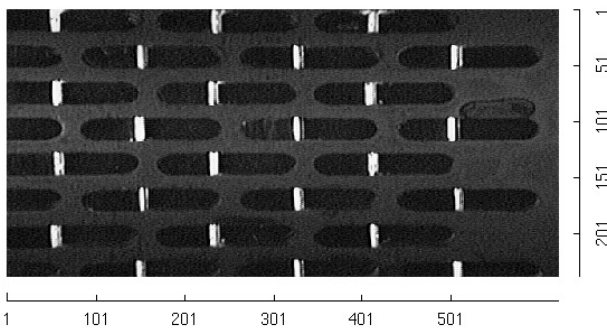


Fig. 2 Initial image of cylindrical indent singulator.

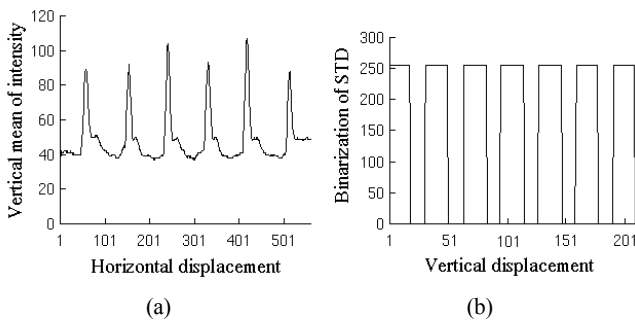


Fig. 3 Detection of horizontal location and the length of light transmission parts by searching the brightness intensity profile. (a) Profile of vertical mean brightness intensity. (b) Binary profile obtained by STD(standard deviation) of brightness in horizontal direction.

중심으로 일정한 폭에 대한 수평방향의 명도의 표준편차에 대한 수직방향의 프로파일을 구하였다. 각 프로파일의 평균과 표준편차를 이용하여 문턱값을 설정하였으며, 이 문턱값에 대한 이치화 프로파일을 모두 구하였다. 그리고 각 이치화 프로파일을 평균하여 그림 3의 (b)와 같은 펄스모양의 프로파일을 구하였으며 이 프로파일로부터 구한 펄스의 폭과 주기가 투광영역의 길이와 세로간격에 각각 일치함을 확인하였다. 투광영역에 대한 영상과 실제 기하학적인 정보를 비교하여 수평·수직방향의 화소당 실제거리 및 종횡비를 계산함으로써 온라인 품위판정장치에 사용된 영상처리장치의 교정을 수행하였다. 이때 계산된 폭과 문턱값은 투광영역의 밀동을 검출할 때 다시 사용한다.

온라인 상태에서는 투광영역이 영상의 위에서 아래로 이동하므로 투광영역의 세로위치를 검출하기 위해서 초기화를 통해 구한 투광영역의 가로위치와 문턱값을 이용하여 투광영역의 밀동을 검색한다. 투광영역의 마지막 가로위치를 따라 지정된 폭으로 수평방향의 명도에 대한 표준편차를 구하면서 위로 검색하여 표준편차가 지정된 문턱값 이하의 값에서 문턱값 이상의 값으로 변하는 지점을 투광영역의 밀동으로 간주하며, 검색시간을 단축하기 위하여 이분법(bisection search)을 이용한다(Press, 1992).

투광영역의 밀동을 검색하기 위한 검색거리는 투광영역의 길이의 두 배로 설정하며, 영상의 높이의 중심으로부터 일정 간격으로 검색하면서 처음으로 문턱값 이하의 표준편차를 갖는 지점에서부터 검색을 시작한다. 투광영역의 기하학적인 정보를 이용하여 영상분석의 기본단위의 크기와 위치를 계산하고 기본단위 내에 현미의 유무를 판정한다. 현미의 유무는 영상분석의 기본단위 내에 그림 4와 같은 탐침점을 설정하고 탐침점들에 대한 배경부분의 빈도가 미리 설정된 문턱값보다 작으면 현미가 있는 것으로 간주한다.

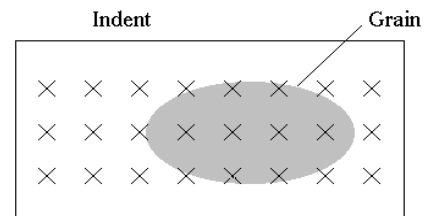


Fig. 4 Grid points set up in an indent to find a grain.

#### 나. 컬러 영상영역화

컬러 화소값은 각 축이 256단계로 구분된 유한한 RGB 색 공간에 모두 표시되므로 각 화소값의 분류결과를 look-up table(LUT)을 작성하여 별도의 계산없이 고속으로 분류할 수 있다. 영상으로부터 색채특성이 균일한 영역을 클러스터로

정의하고 해당 클러스터의 화소를 수집한다. 판별분석을 통하여 RGB 색공간 내의 모든 점들이 어느 클러스터에 포함되는지 결정하여 그 결과를 LUT에 기록한다. LUT의 크기를 줄이기 위하여 본 연구에서는 각 RGB축을 128단계로 축소하였다.

미리 정의된 클러스터의 자료를 수집하고 현미의 품위판정에 유의한 클러스터를 선정하여 그 결과를 LUT로 작성하기 위한 알고리즘은 다음과 같다.

- (1) 개발된 품위판정 시스템을 이용하여 각 구성곡립에 대한 영상을 획득하고, 획득된 영상으로부터 수작업 또는 프로그램을 통하여 정의된 클러스터에 해당되는 화소를 수집한다.
- (2) 각 클러스터에 대한 자료로부터 자료의 수집과정 중에 잘못 채취된 자료 또는 영상 내에 포함된 잡음을 제거하기 위하여 강인한 추정을 수행한다.
- (3) 통계적인 판별분석을 통하여 정의된 클러스터의 유의성을 조사하고 일반화된 거리가 가까운 클러스터들을 통합하는 방법으로 현미의 품위판정에 적합한 클러스터를 선정한다.
- (4) 선정된 클러스터에 대해서 판별분석을 통한 클러스터링 결과를 LUT로 작성한다.
- (5) 작성된 클러스터링 LUT의 성능을 평가하기 위하여 작성된 LUT에 의한 컬러 영상영역화를 수행하고 육안에 의한 영상영역화와 비교한다.

일반적으로 영상 내에는 잡음이 포함되어 있거나 수집하는 과정에서 잘못된 자료를 수집하는 경우가 발생한다. 잡음을 제거하거나 보정하는 전체 알고리즘의 성능을 향상시키는데 있어서 필수적인 과정이다. 따라서 본 연구에서는 각 클러스터에 대한 자료로부터 잡음을 제거하기 위하여 다음과 같은 잡음 자료의 처리 과정을 수행한다.

한 클러스터에 대해서 어떤 자료가 잡음 여부를 판단하는 기준으로 제공거리를 사용하며 정규분포에서 제공거리는 다음과 같이 정의된다(Schalkoff, 1992).

$$d_i^2 = (x_i - \mu)^T \Sigma^{-1} (x_i - \mu) \quad (1)$$

여기서,  $\mu$ 와  $\Sigma$ 는 각각 클러스터의 평균벡터와 공분산행렬이고,  $x_i$ 는 클러스터 내의  $i$ 번째 관측벡터이다. 정규분포에서 99%의 신뢰한계에 대한 제공거리, 6.63을 문턱값으로 사용하여 어떤 자료의 제공거리가 이보다 크면 잡음으로 간주하였다. 이와 같은 작업을 반복하면서 수집된 자료로부터 잡음으로 제외되는 자료의 수가 일정 개수 이하이면 작업을 중단하고 선택된 자료로부터 클러스터링에 대한 파라미터를 계산한다.

#### 다. 현미의 품위판정

현미를 선별에 필요한 선별인자는 기하학적 정보와 색채정보가 있으며, 색채정보는 클러스터링에 의한 컬러 영상영역화의 결과를 통하여 구한 각 클러스터에 대한 빈도를 사용하고, 기하학적인 인자는 Noh 등(1997)의 연구결과를 바탕으로 컬러 영상영역화 과정에서 간단하게 구할 수 있는 곡립의 길이와 폭 그리고 면적을 이용한다. 그런데 곡립의 면적은 각 클러스터에 대한 빈도에 종속되는 인자이므로 측정대상에서는 제외한다. 각 구성곡립이 포함된 영상분석의 기본단위에 대한 다수의 영상을 획득하여 선별인자를 측정하며 측정된 자료로부터 SAS의 판별분석을 통하여 현미의 선별에 적합한 판별함수를 구성한다(Tou and Gonzalez, 1974).

### 4. 결과 및 고찰

#### 가. 이송중인 현미영상의 특성

전진립과 동할립에 대하여 곡립의 장축방향과 이송방향을 일치시켜 다양한 이송속도에 따라 장축방향 프로파일의 변화를 관찰하였다. 시료는 각각 두 개씩 배아가 사광을 향하는 경우와 반대쪽을 향하는 경우에 대하여 장축방향 프로파일을 수집하였다. 그림 5의 (a)는 정지상태에서 곡립의 배아가 사광을 향하는 경우 대표적인 동할립의 장축방향 프로파일을 나타내며 동할면에 의한 명도의 급격한 변화를 관찰할 수 있다. 그림 5의 (b)는 동일한 상태에서 34 mm/s로 이송될 때의 장축방향 프로파일이며 프로파일의 왜곡이 심하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러나, 같은 필드 내에서 영상정보를 추출하면 곡립에 대한 영상입력시간을 감소시킬 수 있다. 동할립 검출이 가능한 곡립의 이송속도는 34 mm/s이하가 적합한 것으로 판단되며 이로써 현미의 연속식 품위판정이 가능할 것으로 판단된다. 이송속도를 34 mm/s로 설정하는 경우 한 줄

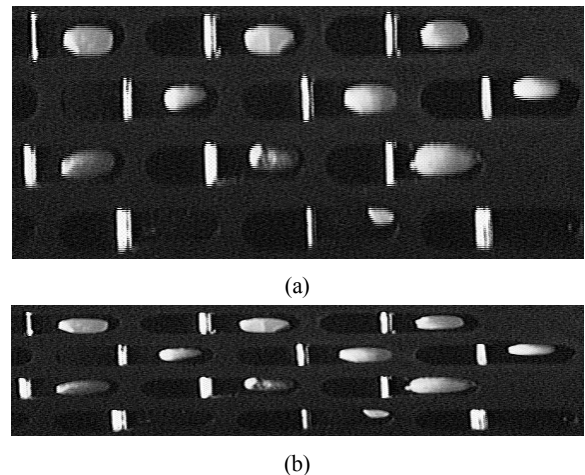


Fig. 5 Original image (a) and image formed by its odd-field (b).

이 6 mm 간격으로 최대 다섯 개까지 곡립을 수용할 수 있으므로 최대 선별효율은 28 개/사이다.

그림 6의 (a)는 이상의 연구결과를 토대로 개발된 온라인 품위판정 시스템에서 획득된 것이며 투광영역과 곡립의 상단과 하단 부분에서 잔상을 관찰할 수 있다. 이때 곡립의 이송 속도는 22 mm/s이다. 그림 6의 (b)는 그림 (a)의 홀수 주사선에 대한 영상으로 잔상이 거의 제거되어 영상이 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다.

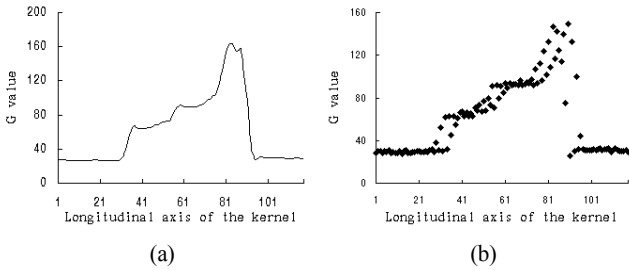


Fig. 6 Profile of G values along the longitudinal axis of a cracked kernel at stationary state (a) and at speed of 34mm/s (b).

#### 나. 색채공간의 클러스터링

그림 7은 개발된 품위판정 시스템을 이용하여 구분하고자 하는 모든 곡립에 대한 영상을 나타낸 것이며 각 곡립 내에서 색채특성이 균일한 영역을 개개의 클러스터로 정의한다. 정상립을 비롯하여 활청립, 사청미, 백사미, 앵미, 미탈부립 등은 배아부분을 제외하면 곡립 내에 전체적으로 균일한 색채특성을 나타내어 각각 하나씩 클러스터를 부여한다. 그런데 동할립은 동할면을 경계로 급격한 명암의 변화를 나타내며 복백립은 불투명한 복백부분과 투명한 정상부분이 서로 상이한 색채특성을 나타낸다. 따라서, 동할립과 복백립에 대해서는 곡립 내에 균일한 색채특성을 갖는 영역 각각에 대하여 하나씩 클러스터를 부여하였다. 그러나, 착색립은 균일한 색채영역이 없고 점박이 모양의 색채특성을 나타내므로 착색립에는 별도의 클러스터를 부여하지 않았다.

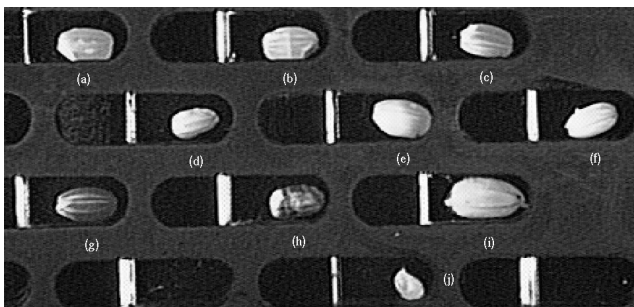


Fig. 7 The image of all kernels to be discriminated.

이상과 같은 전문가의 판단기준을 통하여 영상 내의 색채 특성이 균일한 영역을 다음과 같은 15가지 클러스터로 정의하였다.

- AC — 앵미의 중심영역
- BK — 배경영역
- BO — 사청미의 중심영역
- BT — 활청립의 중심영역
- CR — 동할립의 중심영역
- CRH — 동할립에서 동할면을 중심으로 사광쪽의 중심영역
- CRT — 동할립에서 동할면을 중심으로 사광 반대쪽의 중심영역
- IL — 사광조사용 프리즘의 투광영역
- ST — 곡립 내의 직반사 영역
- SW — 정상립의 중심영역
- UH — 벼의 중심영역
- WO — 백사미의 중심영역
- WT — 복백립의 중심영역
- WTO — 복백립의 불투명한 영역
- WTT — 복백립의 투명한 영역

곡립의 영상으로부터 수작업을 통하여 각 클러스터에 해당하는 화소를 수집하고 잡음을 제거하기 위한 과정을 수행한다. SAS의 판별분석으로 클러스터의 유의성을 조사하여 일 반화된 거리가 가까운 클러스터를 통합하는 방법으로 현미의 품위판정에 유의한 클러스터를 선정한다. 최종 선정된 클러스터는 AC, BK, BO, BT, CRH, CRT, ST, UH, WO, WTO, WTT이며, 모든 클러스터에 대한 분류결과는 표 1과 같다.

표 1에서 보는 바와 같이 선정된 클러스터에 대해서는 대체적으로 높은 분류정도를 나타낸다. 클러스터 IL은 ST와 색채특성이 유사하여 IL을 ST로 통합하며 클러스터 CR은 SW와 색채특성이 유사하고 분류정도가 낮아 선정대상에서 제외하는 대신 CRH와 CRT로 나누는 것이 비교적 높은 분류결과를 나타낸다. 클러스터 WT에 대해서도 마찬가지로 WTO와 WTT로 나누어 클러스터링을 수행하는 것이 적합한 것으로 판단된다. 또한 클러스터 SW도 선정대상에서 제외되었는데 이는 클러스터 SW의 분류정도가 낮고 SW가 클러스터 CRT, WTO, WTT 등에 넓게 퍼져 있기 때문이다.

표 1에서 SW와 CR의 분류결과를 비교하면 CRH와 CRT에서 서로 다른 비율로 나타난다. 이것은 별도의 동할지수 없이 각 클러스터에 대한 빈도분포만으로도 동할립과 정상립의 구분이 가능하다는 것을 의미한다. 마찬가지로 백사미와 복백립도 ST, WO, WTO, WTT의 비율을 동시에 고려함으로써 구분이 가능할 것으로 판단되며, 활청립과 사청미는 BO, BT, ST로 분류되는 비율을 고려할 때 분류가 가능할 것으로 판단된다. 특히 벼의 경우에 별도의 기하학적인 정보를 사용

**Table 1** Percent classified into the significant clusters from the defined

Significant Defined	AC	BK	BO	BT	CRH	CRT	ST	UH	WO	WTO	WTT	Total
AC	92	0	0	0	2	0	1	2	1	1	0	100
BK	0	99	1	0	0	0	0	0	0	0	0	100
BO	0	0	69	14	1	0	3	5	6	0	1	100
BT	0	0	8	66	5	3	3	3	4	3	5	100
CR	1	0	1	2	34	30	6	6	6	10	6	100
CRH	0	0	0	1	69	11	2	5	4	8	0	100
CRT	0	0	0	1	6	71	0	2	1	7	11	100
IL	0	0	0	0	0	0	93	0	4	2	0	100
ST	0	0	1	0	3	0	85	0	7	3	0	100
SW	0	0	0	2	9	44	0	5	1	22	19	100
UH	3	0	3	5	8	8	3	56	3	2	10	100
WO	0	0	4	3	12	4	19	3	38	14	3	100
WT	0	0	0	3	9	11	5	3	6	34	28	100
WTO	0	0	0	2	10	7	6	1	7	64	4	100
WTT	0	0	0	2	0	8	0	0	0	1	88	100

하지 않아도 56%로 상당한 분류정도를 나타낸다.

**다. 선별 알고리즘의 선별정도**

모든 곡립을 100개씩 채취하여 개발된 품위판정 알고리즘의 선별정도를 분석하였다(Table 2). 건전립, 동할립, 활정립, 사청미가 각각 83%, 72%, 85%, 84%의 정확도로 선별되었고, 백사미, 복백립, 착색립, 앵미, 그리고 미탈부립이 각각

92%, 67%, 100%, 100%, 93%의 정확도로 선별되었다. 표 2의 선별결과를 통하여 볼 때 대부분의 곡립이 대체적으로 높은 선별결과를 나타내었으나 정상립과 동할립, 복백립의 선별정도가 다소 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이것은 동할립의 색상분포가 정상립 또는 복백립과 겹쳐 나타나기 때문으로 판단된다. 따라서, 곡립의 장축방향에 따른 명암의 변화를 정량화한 새로운 지수를 활용함으로써 선별정도의 향상을 꾀할 수 있을 것으로 판단된다.

**Table 2** Classification rates of the rice kernels(%)

Human <sup>(2)</sup>	IPS <sup>(1)</sup>	SW	CR	GT	GO	WO	CH	CO	RD	UH
SW <sup>(3)</sup>	(40) <sup>(4)</sup>	83	15				2			
CR	(53)	20	72				13			
GT	(61)			85	15					
GO	(56)			11	84	5				
WO	(61)				2	92	3	2		2
CH	(48)	8	17			8	67			
CO	(21)							100		
RD	(62)								100	
UH	(61)					2		5		93

<sup>(1)</sup> Discriminated by color image processing system

<sup>(2)</sup> Discriminated by human

<sup>(3)</sup> Description of the kernel type

sw: sound whole kernel

gt: green-transparent kernel

ch: chalky kernel

cr: cracked kernel

go: green-opaque kernel

wo: white-opaque kernel

rd: red kernel

co: colored kernel

uh: unhulled kernel

<sup>(4)</sup> The number of the kernels tested

## 5. 요약 및 결론

본 연구는 기존에 개발된 국내의 제현율 자동판정장치와 일본의 광학식 품위판정장치의 문제점을 해결하고 더욱 향상된 선별성능을 갖는 현미의 품위판정을 위해 컬러영상처리장치를 이용한 온라인 품위판정 시스템의 개발을 목적으로 수행되었다.

펄벳트 컨베이어로 이송되는 현미의 영상을 획득하여 그 특성을 구명함으로써 현미의 품위판정에 대한 컬러 영상처리의 적용가능성을 조사하였다. 진동식 공급장치와 사광조명이 가능한 회전원통식 단립화장치로 구성되는 자동공급장치에 적합한 온라인 품위판정 알고리즘을 개발하였다. 품위판정 알고리즘은 건전립, 동할립, 활청립, 사청립, 백사미, 복백립, 착색립, 앵미, 그리고 벼 등을 구분할 수 있으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 컬러 클러스터링 결과를 LUT(look up table)로 작성하여 이를 참조함으로써 별도의 계산없이 클러스터링 방법을 이용한 컬러 영상영역화를 고속으로 수행하였다.
- (2) 컬러 클러스터를 통하여 현미의 길이와 폭, 그리고 색채 클러스터의 빈도분포를 추출하고 현미의 품위를 판정하는 온라인 품위판정 알고리즘을 개발하였다.
- (3) 개발된 온라인 품위판정 알고리즘의 선별정도는 사람이 육안으로 선별한 결과와 비교할 때 건전립, 동할립, 활청립, 사청미가 각각 83%, 72%, 85%, 84%의 정확도로 선별되었고, 백사미, 복백립, 착색립, 앵미, 그리고 미탈부립이 각각 92%, 67%, 100%, 100%, 93%의 정확도로 선별되었다.
- (4) 개발된 온라인 품위판정 알고리즘은 최대 28 립/s의 선별능률을 가지며 고속접사 카메라를 활용하면 그 효율을 향상시킬 수 있다.

## 참고 문헌

1. Ballard, D. H. and C. M. Brown. 1982. Computer Vision. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, USA.
2. Berlage, A. G., T. M. Cooper and J. F. Aristazabal. 1988. Machine vision identification of diploid and tetraploid ryegrass seed. Transactions of ASAE 31(1):24-27.
3. Churchill, D. B., D. M. Bilstrand and T. M. Cooper. 1992. Comparison of machine vision with human measurement of seed dimensions. Transactions of ASAE 35(1):61-64.
4. Cooper, T. M. and A. G. Berlage. 1986. Integrating database and machine vision seed measuring process. ASAE Paper No. 86-3062. St. Joseph, MI, USA.
5. Dekker, E. and P. de Visser. 1988. A machine vision system for rice-grading. Technical Report. Wageningen University & Research Centre, Netherland.
6. Ding, K., R. V. Morey, W. F. Wilcke and D. J. Hansen. 1990. Corn quality evaluation with computer vision. ASAE Paper No. 90-3532. St. Joseph, MI, USA.
7. Gonzalez, R. C. and R. E. Woods. 1992. Digital Image Processing. Addison Wesley, New York, USA.
8. Gunasekaran, S., T. M. Cooper and A. G. Berlage. 1988. Evaluating quality factors of corn and soybeans using a computer vision system. Transactions of ASAE 31(4):1264-1271.
9. Inoué, S. 1986. Video Microscopy. Plenum Press, New York, USA.
10. Kranzler, G. A. 1985. Applying digital image processing in agriculture. Agricultural Engineering 66(3):11-13.
11. Lee, J. W. 1992. Computer vision system for analysis of geometrical characteristics of agricultural products and microscopic particles. Seoul National University Ph.D. thesis. (In Korean)
12. Liao, K., M. R. Paulsen, J. F. Reid, B. C. Ni and E. P. Bonifacio-Maghirang. 1993. Corn kernel breakage classification by machine vision using a neural network classifier. Transactions of ASAE 36(6):1949-1953.
13. McDonald, T. and Y. R. Chen. 1990. Application of morphological image processing in agriculture. Transactions of ASAE 33(4):1345-1352.
14. Miller, B. K. and M. J. Delwiche. 1991. Peach defect detection with machine vision. Transactions of ASAE 34(6):2588-2597.
15. Ni, B., M. R. Paulsen, K. Liao and J. F. Reid. 1993. An automated corn kernel inspection system using machine vision. ASAE Paper No. 93-3032. St. Joseph, MI, USA.
16. Noh, S. H., C. S. Hwang and J. W. Lee. 1997. Algorithm for discriminating of brown rice kernels using machine vision. Korean Society for Agricultural Machinery 22(3):295-302. (In Korean)
17. Paulsen, M. R. and W. F. McClure. 1985. Illumination for computer vision systems. Transactions of ASAE 29(5):1398-1404.
18. Press, W. H. 1992. Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
19. Schalkoff, R. J. 1992. Pattern Recognition: Statistical, Structural and Neural Approaches. John Wiley & Sons Inc, New York, USA.
20. Shearer, S. A. and F. A. Payne. 1990. Color and defect sorting of bell peppers using machine vision. Transactions of ASAE 33(6):2045-2050.
21. Tou, J. T. and R. C. Gonzalez. 1974. Pattern Recognition Principles. Addison Wesley, New York, USA.
22. Zayas, I., H. Converse and J. Steele. 1990. Discrimination of whole from broken corn kernels with image analysis. Transactions of ASAE 33(5):1642-1646.
23. Zayas, I., Y. Pomeranz and F. S. Lai. 1989. Discrimination of wheat and nonwheat components in grain samples by image analysis. Cereal Chemistry 66(3):233-237.