

기계시각을 이용한 현미의 개체 품위 판별 알고리즘 개발†

Algorithm for Discrimination of Brown Rice Kernels Using Machine Vision

노 상 하*

정회원

S. H. Noh

황 창 선*

정회원

C. S. Hwang

이 증 환*

정회원

J. W. Lee

ABSTRACT

An ultimate purpose of this study was to develop an automatic system for brown rice quality inspection using image processing technique. In this study emphasis was put on developing an algorithm for discriminating the brown rice kernels depending on their external quality with a color image processing system equipped with an adaptor magnifying the input image and optical fiber for oblique lightening.

Primarily, geometical and optical features of images were analyzed with paddy and the various brown rice kernel samples such as a sound, cracked, green-transparent, green-opaque, colored, white-opaque and broken. Secondary, geometical and optical parameters significant for identifying each rice kernels were screened by a statistical analysis(STEPWISE and DISCRIM Procedure, SAS ver. 6) and an algorithm for on-line discrimination of the rice kernels in static state were developed, and finally its performance was evaluated. The results are summarized as follows.

- 1) It was ascertained that the cracked kernels can be detected when the incident angle of the oblique light is less than 20° but detectivity was significantly affected by the angle between the direction of the oblique light and the longitudinal axis of the rice kernel and also by the location of the embryo with respect to the oblique light.
- 2) The most significant parameters which can discriminate brown rice kernels are area, length and R, B and r values among the several geometrical and optical parameters.
- 3) Discrimination accuracies of the algorithm were ranged from 90 % to 96 % for a sound, cracked, colored, broken and unhulled, about 81 % for green-transparent and white-opaque and 75 % for green-opaque, respectively.

주요용어(Key Words): 영상처리(image processing), 현미(brown rice), 품위(external quality), 등급판정(grading), 기계시각(machine vision)

† 이 연구는 농촌진흥청 특정연구개발사업 연구비로 수행된 것임

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

1. 서 론

최근 보급되고 있는 미국종합처리시설의 운영의 효율화를 위해 공동 출하 및 대금 정산제의 필요성이 증대되고 있다. 이를 위해 농가 단위로 반입되는 벼 또는 현미의 등급을 보다 정확하고 신속한 방법으로 측정할 수 있는 기술개발이 요구되고 있다. 일본의 경우 도정수율과 밀접한 관계가 있는 탈부된 현미의 품위를 측정하여 등급판정 기준으로 이용하고 있다. 현미의 품위판정 인자와 기준은 나라마다 차이가 있으나, 최종적으로 생산되는 백미의 수율과 관계되는 인자 즉, 완전립, 활청미, 청사미, 분상질립, 착색립, 피해립, 동할립 등의 구성비를 근거로 하고 있다.

현재 국산화를 통해 보급되고 있는 기계식 자동 제현율 판정기(벼 자동 품위판정기라고 명명되고 있음)는 단지 곡립의 두께에 따라 선별하는 방법으로 완전립과 두께가 비슷한 착색립, 분상질립, 동할립 등은 모두 완전립으로 분류되기 때문에 제현율 이외에 위에서 제시한 각종 곡립의 구성비는 구할 수 없다. 특히, 급속 건조로 인해 발생하는 동할립은 도정수율을 저하시키므로 이에 대한 엄격한 검사가 요구되고 있다. 최근 일본에서 광센서를 이용하여 완전립, 착색립, 동할립, 백사미, 청미를 선별하는 광학식 현미 품위 판정장치가 시판되고 있지만, 시료에 미탈부립이나 쏜미가 포함되어 있을 경우 선별이 불가능하므로 이들을 미리 분리해야 하는 불편함이 있는 것으로 조사되었다.

최근 컴퓨터 관련산업의 발달과 더불어 농산물의 선별과 품질 검사에 컴퓨터를 이용한 영상처리기법이 많이 도입되고 있다. 그 사례를 살펴보면 다음과 같다.

현미에 대해서는 松久次雄 등(1978, 1981, 1983)이 투과광과 영상처리시스템을 이용하여 현미의 품위를 판정하기 위한 일련의 연구를 수행하였고, Dekker와 Visser(1988)는 백미의 등급 결정을 위해 완전미과 동할미, 쏜미를 구별하는 알고리즘을 개발

하였다.

옥수수 곡립에 대해서는 Gunasekaran 등(1988)이 옥수수 곡립의 동할(crack), 외부손상, 곰팡이 피해를 검출하기 위한 조명장치와 알고리즘을 개발하였고, Kim등(1989)은 영상처리 장치를 이용하여 옥수수의 동할을 검출하는데 Sobel과 Non-maximum suppression 연산자를 조합한 것이 가장 좋은 것으로 보고하였다. 그리고 Ding 등(1990)과 Ni 등(1993)은 컴퓨터 비전 시스템을 이용하여 옥수수의 완전한 곡립과 불완전한 곡립을 검사하는 장치를 개발하였다.

본 연구는 영상처리 기술을 이용하여 현미의 품위를 자동으로 판별하는 온라인 시스템을 개발하기 위한 기초연구로서, 구체적인 목적은 다음과 같다.

1) 색채영상처리 장치를 이용하여 현미의 각 구성 곡립인 완전립, 동할립, 백사미, 활청립, 청사미, 착색립, 미탈부립, 쏜미의 기하학적 특성과 색채 정보를 측정·분석하여 이들의 선별에 유의한 인자를 제시하고,

2) 제시된 선별 인자를 이용하여 정지상태의 현미 개체의 품위를 판별하기 위한 알고리즘을 개발하고 이를 검증하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 실험장치

영상처리를 이용하여 현미를 선별하기 위한 실험장치는 그림 1과 같이 영상처리장치, 조명장치, 그리고 시료대로 구성하였다. 영상 입력장치는 출력신호가 NTSC신호인 색채 CCD 카메라(Panasonic, WV-CL110)를 사용하였으며, 대상 시료를 확대하기 위해 카메라에 배율기를 부착하였다. 본 연구에서 사용된 영상보드는 Matrox社의 MVP-AT이다. 출력장치는 14" RGB 모니터(Model 38-DO51MA UU)를 사용하였으며, 주컴퓨터는 IBM PC/AT 호환기종(80486 DX2, 66MHz)이다. 대상시료의 주위에 백열등을 이용하여 확산광을 조사하고 동할립의 검출을 위해 광

섬유를 이용하여 곡립의 길이방향으로 斜光을 照射하였다. 대상시료는 현미완전립, 동할립, 백사미, 청사미, 활정립, 착색립, 미탈부립, 쇄미로 구분하여 판별하고자 하였다. 시료의 품종은 단립종인 일품을 사용하였으며, 시험용 현미기(Satake, THU-35A)로 탈부하였다.

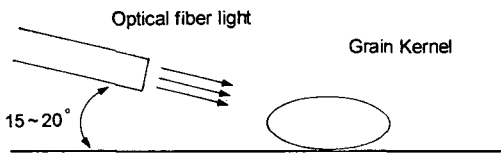
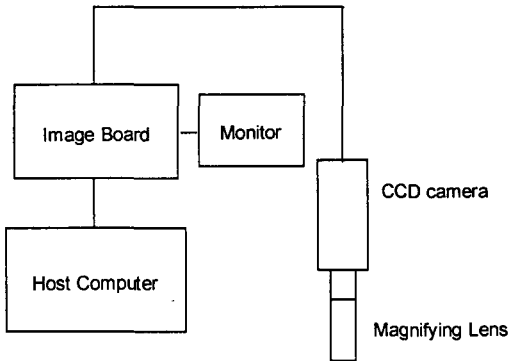


Fig. 1 Experimental apparatus.

나. 실험방법 및 내용

일차적으로 영상처리시스템의 측정 정밀도를 검정(황, 1996)하고, 보다 선명한 영상을 입력하기 위해 동할미를 대상으로 크랙(crack) 부분이 모니터상에 나타나도록 사광조명과 확산조명의 광량을 적절히 조절하였다. 입력된 영상으로부터 현미와 배경을 구분하기 위하여 문턱값을 이용한 영상영역화를 수행한 후, 체인코딩을 수행하였다. 현미를 대상으로 곡립의 길이, 폭, 면적, 둘레길이를 측정하고, 이들을 이용하여 길이/폭, 길이/면적, 둘레길이/면적 등을 계산하였다.

현미시료의 색채값은 곡립 영상내에 가로 × 세로가 (시료길이의 0.7배) × (15픽셀)의 크기를 갖는 직

사각형 영역을 설정하고, R, G, B의 평균값과 이를 이용하여 rgb, XYZ, xyz, L*a*b* 색좌표값을 구하였다.

또한, 동할립을 대상으로 광원에 대한 곡립의 자세와 방향이 동할립의 색채정보와 검출에 미치는 영향을 분석하였다.

현미의 기하학적 특성인자들과 색채정보 중에서 통계적 방법을 이용하여 선별에 유의한 인자를 선정하고, 현미의 각 곡립을 선별하기 위한 알고리즘을 개발하여 각 곡립에 대한 선별정도 및 능률을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 선별인자의 선정

각종 현미시료의 판별에 유의한 인자를 선정하기 위하여 일차적으로 통계 패키지 SAS의 판별 분석에 의한 변수선택법을 수행한 결과 기하학적 인자는 곡립의 길이, 폭/면적, 폭, 면적 및 둘레길이의 순서로, 색채정보 인자는 g, B, L*, R, G, Y, b*, b, Z, r의 순서로 선택되었다.

유의한 인자로 결정된 기하학적 특성인자와 색채정보 인자들이 구체적으로 어떤 곡립들을 구분하는데 유의한가를 분석하기 위하여 일반화된 거리제곱 $D_j^2(X)$ 를 기초로 한 SAS의 판별 분석절차를 수행하였다(황, 1996).

곡립의 길이를 이용할 경우 미탈부립과 청사미를 판별할 수 있는 사후확률은 각각 100%와 95%였다(그림 2). 미탈부립과 청사미를 제외한 다른 곡립들은 곡립의 길이가 거의 비슷하므로 길이를 이용한 판별 사후 확률은 약 50% 이하로 낮게 나타났다.

각 곡립의 판별에 유의한 것으로 분석된 곡립의 길이, 폭/면적, 폭 그리고 면적은 미탈부립과 청사미를 판별하는데 유의한 것으로 나타났다.

그리고, 각 곡립을 대상으로 측정한 색좌표값들이 어떤 곡립을 판별하는데 유의한가를 분석한 결

과, g 값은 착색립, 미탈부립, 활청립 그리고 청사미를 판별하는 사후확률이 71.7 %, 70.0 %, 61.7 % 그리고 43.3 %로 각각 나타났다. 미탈부립의 사후확률은 다른 곡립에 비해 비교적 높게 나타났지만, 미탈부립은 색채값의 편차가 클뿐만 아니라 기하학적인 자로 더욱 정확하게 분류 가능하므로 미탈부립의 사후확률은 큰 의미가 없는 것으로 판단되었다.

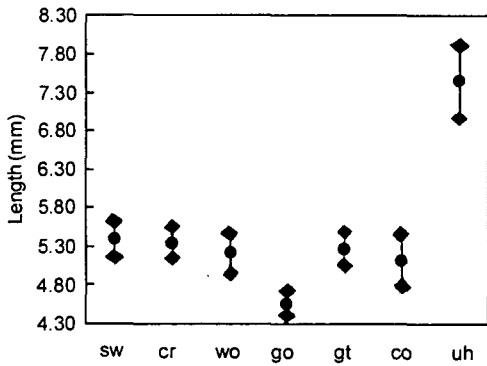


Fig. 2 Range of length for sample kernels (sw: sound, cr: cracked, wo: white opaque, go: greenopaque, gt: green transparent, co: colored, uh: unhulled).

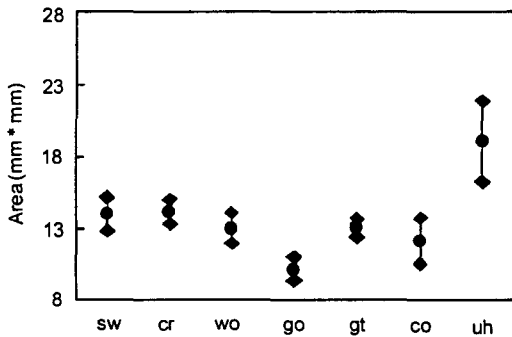


Fig. 3 Range of area for sample kernels.

B값은 백사미를 판별하는 사후확률이 80 %로 가장 높고, 그 외의 곡립에 대해서는 비교적 낮은 편이지만 그림 5와 같이 완전립과 동할립, 활청립과 청사미, 그리고 착색립과 미탈부립의 크게 세 부류를 판별할 수 있었다. 또한, L*값도 백사미를 구분하는

데 유의한 것으로 나타났다. 착색립을 구분하기 위해서는 g 값과 r 값이 유의한 것으로 나타났다.

일반적으로 조명의 변화에 의한 영향을 줄이기 위해서는 밝기 성분이 제거된 rgb, xyz 색좌표값을 이용하는 것이 바람직하다.

그러나, 이 값들만으로는 색상 차이가 거의 없는 완전립과 백사미의 구분이 어려우므로 밝기 성분을 지닌 RGB 색좌표계 값의 사용이 불가피할 것으로 판단되었다.

상기 결과와 처리속도를 고려하여 기하학적 인자로는 곡립의 길이와 면적, 색채인자로는 g, B, R, r값을 선정하였다.

그림 2에서 그림 7은 선정된 선별인자들의 각 시료에 대한 분산 범위를 나타내는 것으로 평균을 중심으로 표준편차를 가감하여 나타내었다.

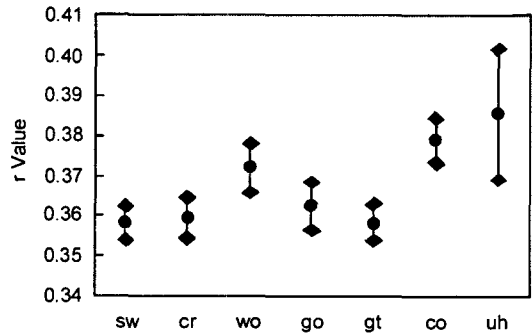


Fig. 4 Range of r for sample kernels.

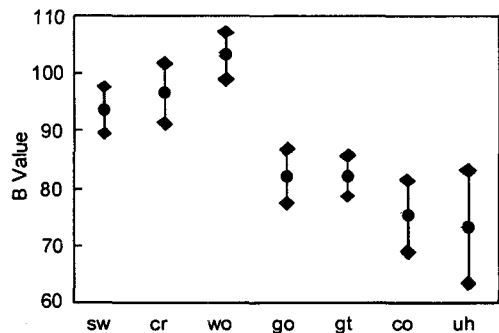


Fig. 5 Range of B for sample kernels.

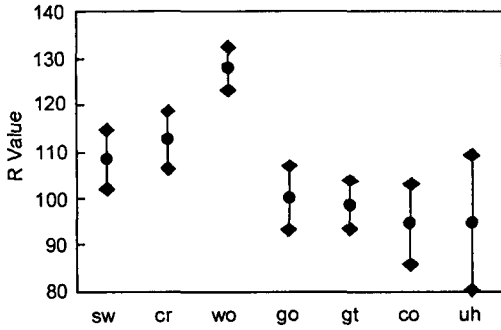


Fig. 6 Range of R for sample kernels.

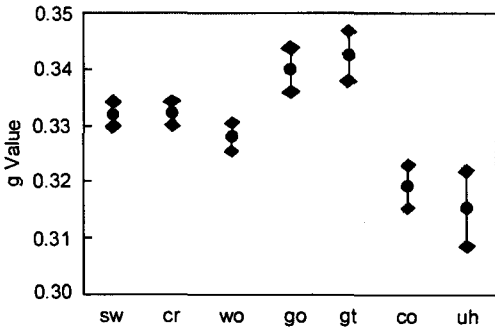


Fig. 7 Range of g for sample kernels.

나. 동할립의 검출

1) 동할립의 검출인자

동할립을 검출할 때 일반적인 확산조명만으로는 현미완전립과 구분하기 어렵다. 여러 문헌과 예비실험을 통하여 곡립의 길이 방향으로 광섬유 광원을 조사하였을 때 나타나는 곡립의 명암의 차이를 이용하는 것이 동할립의 검출에 적합한 것으로 판단되었다.

그림 8은 광섬유를 이용하여 곡립의 길이 방향으로 斜光을 조사 하였을 때의 완전립과 동할립의 영상이다. 곡립영상의 길이방향으로의 G값의 분포는 그림 9와 같이 완전립은 광원으로부터 멀어짐에 따라 서서히 감소하지만, 동할립은 동할면을 경계로 급격히 감소한다. 따라서, 동할립을 검출하기 위한 인자로 곡립의 길이방향으로 G값의 차이의 최대값을 동할지수로 정의하여 이를 이용하였다.



Fig. 8 Images of whole and cracked kernel.

2) 현미의 자세의 영향

광섬유 광원과 곡립의 장축이 이루는 각도와 광섬유 조명에 대한 곡립의 배아의 위치가 동할립의 검출에 미치는 영향을 분석하였다. 표 1에 의하면 곡립의 장축과 광섬유 광원의 조사방향이 이루는 각이

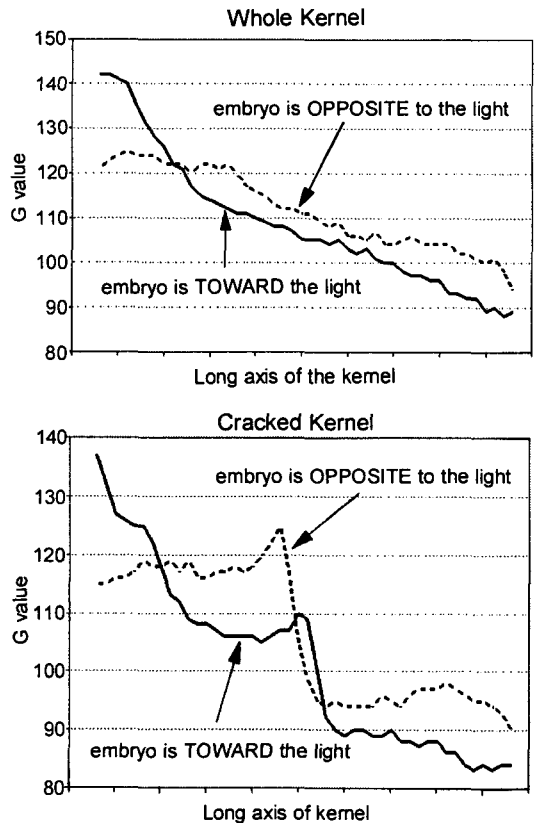


Fig. 9 Profiles of G values along the longitudinal axis of whole and cracked kernel.

증가할수록, 동할립 검출율은 급격히 감소하며, 특히 곡립의 배아가 광섬유 광원쪽에 위치할 때 동할립의 검출정도가 떨어짐을 알 수 있다. 따라서, 동할립의 검출을 위해서는 곡립의 장축이 광섬유 광원의 방향과 이루는 각도는 약 15° 이내로 위치하여야 할 것으로 판단되었다.

Table 1. Accuracy of crack detection according to the angle between the direction of optical fiber light and the longitudinal axis of grain kernel (%)

Angle between the optical fiber light and the longitudinal axis of kernel					
0°		22.5°		45°	
I ⁽¹⁾	II ⁽²⁾	I	II	I	II
86 (%)	96	34	50	6	10

(1) when the kernel embryo is toward the optical fiber light.
 (2) when the kernel embryo is opposite to the optical fiber light.

다. 선별 알고리즘

곡립의 영상을 입력하여 곡립의 기하학적 특성과 (길이와 면적지수) 색채 정보(g, R, B) 및 동할립수를 측정·분석하고, 그림 10과 같은 방법으로 곡립의 종류를 판별 하였다. 판별에 사용된 각 인자들의 기준값은 본 연구에서 사용한 시료를 대상으로 분석한 결과 (그림 2에서 그림 7 참조)이다. 이들 값은 대상 시료에 따라 차이가 있을 수 있기 때문에 각종 시료를 대상으로 공통적으로 적용할 수 있는 기준값을 구하기 위한 추가적인 분석이 요구된다. 또한 사용된 판별 인자중에서 R과 B는 조명의 영향을 받는 인자이기 때문에 조명 조건에 따라 판별 값이 달라질 수 있다.

라. 선별정도 및 능력

현미의 개체 판별 알고리즘의 선별정도를 분석하

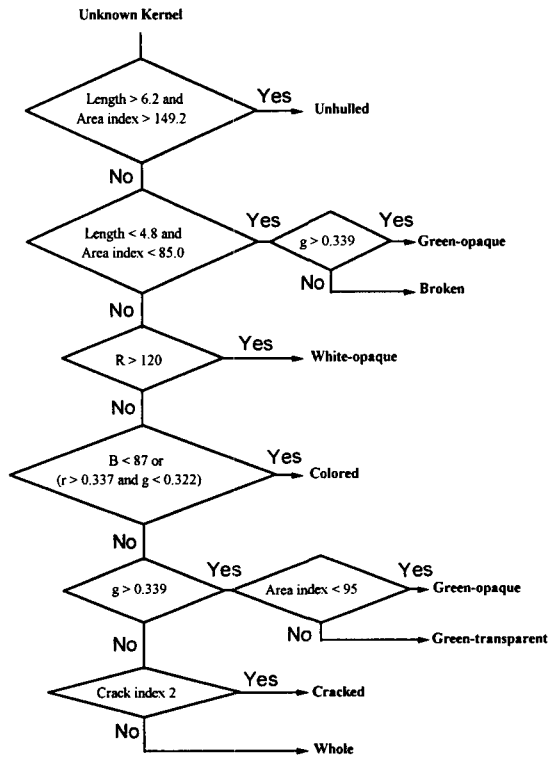


Fig. 10 Flow-chart for discrimination of rice kernels.

였다. 사람이 육안으로 선별한 각 곡립 100립씩을 대상으로 실행 프로그램에 의해 판별된 결과는 표 2와 같다. 곡립의 영상을 획득할 때 곡립의 자세는 광섬유 광원과 곡립의 길이 방향이 일치하도록 하였으며, 곡립의 배아의 방향은 임의로 놓고 측정하였다. 이 결과에 의하면 완전립, 동할립 및 복백립들 간의 판별이 서로 교차되며, 활청미와 청사미의 구분이 어려운 것으로 나타나고 있다. 앞으로 무엇보다도 완전미의 판별정도를 높이기 위한 알고리즘의 개선이 요망된다.

선별능률을 계산하기 위해 하나의 곡립에 대하여 영상을 획득하고 곡립의 종류를 판별하는데 까지 걸리는 시간을 측정하였다. 정지상태의 곡립에 대해서 1,000회 반복 측정하여 선별 능률을 계산한 결과, 본 연구에서 사용한 시스템(IBM PC 80486, 66MHz)의

경우 곡립 1,000립을 처리하는데 걸리는 시간은 100 초 정도를 가지게 되어 분석되었다. 초 정도로 이론적으로 1초에 곡립 10개 정도의 처리

Table 2. Accuracy of the rice kernel discrimination by image processing system as compared to the manual(%)

Human ⁽²⁾	IPS ⁽¹⁾	whole	cracked	green-transparent	green-opaque	colored	unhulled	white-opaque	broken
		whole	(100)	90	5
cracked	(100)	4	92	1	1	.	.	2	.
green-transparent	(100)	4	7	82	5	2	.	.	.
green-opaque	(100)	.	2	13	75	.	.	.	10
colored	(100)	.	5	.	.	91	.	.	4
unhulled	(100)	4	96	.	.
white-opaque	(100)	2	10	.	.	6	1	81	.
broken	(100)	1	.	.	2	.	.	3	94

⁽¹⁾ Discriminated by image processing system.

⁽²⁾ Discriminated by human.

4. 요약 및 결론

현미의 품위를 자동으로 판별하는 시스템을 개발할 목적으로, 컬러 영상처리 장치와 사광 조명 장치를 구축하고, 일차적으로 현미를 구성하는 완전립, 동할립, 백사미, 청사미, 활청립, 미탈부립 그리고 쉼미에 대한 기하학적인 특성과 광학적 특성을 분석하였다. 나아가서 이들을 이용하여 각 곡립의 종류를 판별하는데 유의한 인자를 통계패키지 SAS의 분석을 통하여 선정하였으며, 정지상태의 곡립을 대상으로 곡립의 종류를 판별하는 알고리즘을 개발하고, 이를 검증하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 현미 개체를 판별하는데 가장 유의한 인자로는 길이, 면적지수, R, B, g 그리고 r이 선정되었고, 이들을 이용하여 현미의 개체를 판별하는 알고리즘을 개발하였다.

2) 동할립은 곡립의 길이방향으로 수평면과 15° 이하의 사광을 조사할 때 검출이 가능한 것이 확인되었으며, 검출정도는 사광에 대한 곡립의 장축 방

향이 이루는 각도와 곡립의 배아의 위치에 따라 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.

3) 개발된 알고리즘에 의한 각 곡립의 판별 정도는 완전립, 동할립, 착색립, 쉼미 및 미탈부립이 90~96%, 활청립과 백사미가 81%, 청사미가 75%의 정확도를 갖는 것으로 나타났다. 정지상태의 현미를 선별하는데 걸리는 시간은 IBM PC(80486 DX2, 66MHz.)를 사용하여 약 100초/1,000립이었다.

참 고 문 헌

1. 황창선. 1996. 영상처리를 이용한 현미의 품위판별 알고리즘 개발. 서울대 석사학위논문
2. 松久次雄, 細川 明. 1983. 画像處理にうるち玄米の粒質ならびに胴割れの定量的判定法. 日本農業機械學會誌 45(3):357-367.
3. Dekker, E., Piet De Visser. 1988. A Machine Vision System For Rice Grading. Agricultural Engineering Dept. LSU.

4. Ding, K., W. F. Wilcke, D. J. Hansen. 1990. Corn Quality Evaluation with Computer Vision. ASAE paper No. 90-3532.
5. Gunasekaran, S., T. M. Cooper, and A. G. Berlage. 1988. Evaluating Quality Factors of Corn and Soybean Using a Computer Vision System. Transactions of ASAE 31(4):1264-1271.
6. Kim C. S., J. F. Reid, M. R. Paulsen. 1989. Algorithms for Automatic Detection of Corn Stress Cracks. ASAE paper No. 89-7508.
7. Ni B., M. R. Paulsen, K. Liao, J. F. Reid 1993. An Automated Corn Kernel Inspection System Using Machine Vision. ASAE 36(6):2045-2050.