

기계시각을 이용한 현미의 개체 품위 판별 알고리즘 개발[†]

Algorithm for Discrimination of Brown Rice Kernels

Using Machine Vision

노상하*	이종환*	황창선*
정회원	정회원	정회원
S. H. Noh	J. W. Lee	C. S. Hwang

1. 서론

현재 정부에서는 미질 향상과 생산비 절감을 통한 쌀의 경쟁력 강화, 수확 후 작업의 기계화로 농촌노동력 부족의 해소, 유통구조 개선 등을 목적으로 미곡종합처리시설을 1997년까지 400개소를 설치할 예정이다. 이러한 미곡종합처리시설의 효율적인 운영을 위하여 곡류의 수확 후 정선, 건조, 저장 및 도정 등의 과정에서 다양한 품질에 대한 측정이 신속·정확하면서 종합적으로 이루어져야 한다. 그러나, 현재 이에 대한 시설이 미흡한 실정으로 미곡종합처리시설의 운영상의 문제점으로 나타나고 있다. 벼의 품질검사규격에 있어서 현미의 품위를 판정하기 위해서는 현미완전립, 미숙립(유백립, 심백립, 복백립, 청미숙립 등), 피해립(발아립, 부패립, 동할립, 기형립 등), 착색립, 사미 등의 구성비율을 정확히 측정해야 한다. 현재 이에 대한 검사를 수작업으로 할 경우에는 시간이 많이 걸리고, 검사자의 주관적인 판정, 피로나 부주의 등에 의해 오차가 발생할 수 있으며, 숙련된 검사자를 필요로 한다.

최근 보급되고 있는 기계식 자동 품질검사장치는 입선별기를 사용하여 완전립과 미숙립으로 분리하는데, 이것은 단지 곡립의 두께에 따라 선별하는 방법으로 완전립과 두께가 비슷한 착색립이나 동할립 등은 모두 완전립으로 분류되어 부가적인 검사가 필요할 뿐만 아니라 품질검사의 정확성이 떨어진다. 특히, 급속건조로 인해 발생하는 동할립은 도정수율을 저하시키므로 이에 대한 엄격한 검사가 요구되고 있다. 최근 일본에서 광센서를 이용하여 완전립, 착색립, 동할립, 백사미, 청미를 선별하는 광학식 현미품위판정장치가 시판되고 있지만, 시료에 미탈부립이나 썩미가 포함되어 있을 경우 선별이 불가능하므로 이들을 미리 분리해야 하는 불편함이 있는 것으로 조사되었다.

최근 컴퓨터 관련산업의 발달과 더불어 농산물의 선별과 품질검사에 컴퓨터를 이용한 영상처리 기법이 많이 도입되고 있다. 영상처리기법으로 곡류의 품위를 판정할 경우, 수작업에 비해 검사자의 주관적인 판정, 부주의 등에 따른 오차를 줄일 수 있으며, 항상 동일한 처리를 할 수 있어 품위판정의 정확도 향상과 객관성을 유지할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 곡립의 두께 차이에 의해 선별하는 기계식 품위판정장치의 단점도 보완할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

- 1) 색채영상처리장치를 이용하여 현미의 각 구성곡립인 완전립, 동할립, 백사미, 활청립, 청사미, 착색립, 미탈부립, 썩미의 기하학적 특성과 색채 정보를 측정·분석하여 이들의 선별에 유의한 인자를 제시하고,
- 2) 제시된 선별인자를 이용하여 현미의 개체의 품위를 판별하기 위한 알고리즘을 개발하고 이를 검증하고자 한다.

[†] 이 연구는 농촌진흥청 특정연구개발사업 연구비로 수행된 것임.

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

2. 재료 및 방법

가. 실험장치

영상처리를 이용하여 현미를 선별하기 위한 실험장치는 그림 1과 같이 영상처리장치, 조명장치, 그리고 시료대로 구성하였다. 영상입력장치는 출력신호가 NTSC신호인 색채 CCD 카메라 (Panasonic, WV-CL110)를 사용하였으며, 대상시료를 확대하기 위해 카메라에 배율기를 부착하였다. 본 연구에서 사용된 영상보드는 Matrox社의 MVP-AT이다. 출력장치는 14" RGB 고해상도 모니터(Model 38-DO51MA UU)를 사용하였으며, 주컴퓨터는 IBM PC/AT 호환기종(80486 DX2, 66MHz)이다. 대상시료의 주위에 백열등과 동할립의 검출을 위해 광섬유(optical fiber)를 이용하여 곡립의 길이방향으로 斜光을 照射하였다. 시료대는 대상곡립과 배경의 구분을 명확하게 하기 위해 검은색 아크릴판을 사용하였으며, 시료대 위의 곡립이 놓이는 영역에 있어서 표준편색에 대해 R,

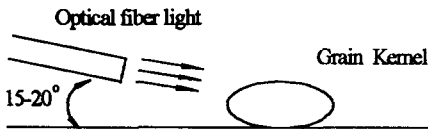
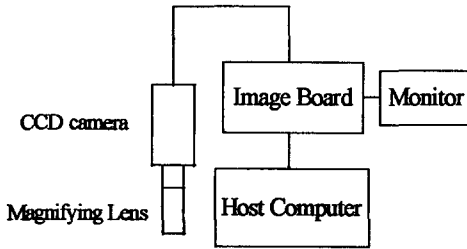


Fig. 1. Image processing system.

G, B값이 각각 $84(\pm 1.2)$, $83(\pm 1.5)$, $85(\pm 2.1)$ 가 되고, 검은색 배경에 대해서는 각각 $25.3(\pm 2.3)$, $26.9(\pm 1.3)$, $30.5(\pm 2.8)$ 이었으며, 조도는 1300 lux 정도로 유지하였다. 대상시료는 현미완전립, 동할립, 백사미, 청사미, 활정립, 착색립, 미탈부립, 쇠미로 구분하여 판별하고자 하였다. 시료의 품종은 단립종인 일품을 사용하였으며, 시험용 현미기 (Satake, THU-35A)로 탈부하였다.

나. 실험방법 및 내용

현미와 배경으로 구분하기 위하여 문턱값을 이용한 영상영역화를 수행하고, 체인코딩을 하여 곡립의 윤곽좌표에 대한 정보를 획득하였다. 현미를 대상으로 곡립의 길이, 폭, 면적, 둘레길이를 기본항목으로 측정하였고, 이들을 이용하여 길이/폭, 길이/면적, 둘레길이/면적, compactness를 계산하였다. 현미에 대한 색채값의 측정은 설정된 조명조건 하에서 곡립 내에 적당한 크기의 직사각형 영역을 설정하여 R, G, B의 평균값을 구하고, 이를 이용하여 rgb, XYZ, xyz, $L^*a^*b^*$ 색좌표계로 변환하였다. 또한, 확산광원과 광섬유 광원이 일정한 조건하에서 동할립을 검출하기 위한 인자를 결정하고, 광섬유 광원에 대한 곡립의 자세와 방향이 색채정보에 미치는 영향과 동할립의 검출에 미치는 영향을 분석하였다.

측정된 현미의 기하학적 특성인자들과 색채정보들 중에서 통계적 방법을 이용하여 선별에 유의한 인자를 선정하고 현미의 각 곡립을 선별하기 위한 알고리즘을 개발하였다. 완전립으로 판별된 곡립에 대하여 동할의 유무를 조사하였다. 그리고, 개발된 현미의 각 곡립의 판별 알고리즘의 선별정도 및 능률을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 선별인자의 선정

색채영상처리장치를 이용하여 현미의 기하학적 인자와 색채인자를 측정하고, 각 곡립의 판

별에 유의한 인자를 선정하기 위하여 통계패키지 SAS의 변수선택법(STEPDISC Procedure)과 판별분석절차(DISCRIM Procedure)를 수행한 결과, 처리속도를 고려하여 기하학적 인자로는 곡립의 길이와 면적, 색채인자로는 g, B, R, r값을 선정하였다. 곡립의 길이와 면적은 미탈부립, 청사미 그리고 쇠미를 판별하는데 유의하고, 색채인자는 완전립과 기하학적 특성이 비슷한 다른 곡립을 분리하는데 유의하다. 특히, g값은 청미, R은 백사미를 구분하는데 유의한 것으로 나타났다.

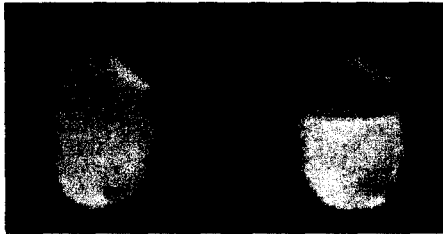


Fig. 2. Images of whole and cracked kernel.

그림 2는 팽성유를 이용하여 곡립의 길이방향으로 斜光을 조사하였을 때의 완전립과 동할립의 영상이다. 영상곡립의 길이방향으로 G값의 분포는 그림 3과 같이 완전립은 서서히 변화하지만, 동할립을 동할면을 경계로 급격히 감소한다. 따라서, 동할립을 검출하기 위한 인자로 곡립의 길이방향으로 G값의 차이의 최대값을 동할지수로 정의하여 이를 이용하였다.

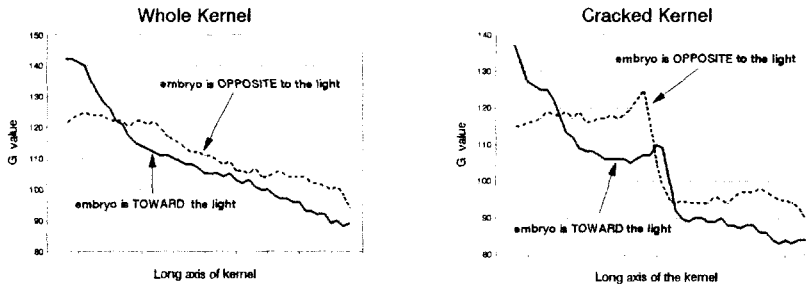


Fig. 3. Profiles of G values along the longitudinal axis of whole and cracked kernel.

나. 현미의 자세의 영향

팽성유 광원과 곡립의 장축이 이루는 각도와 팽성유 조명에 대한 곡립의 배아의 위치를 변화시키면서 동할립을 검출하기 위한 동할지수를 이용한 동할립의 검출정도를 표 1에 나타내었다. 곡립의 장축과 팽성유 광원의 조사방향이 이루는 각이 커질수록, 곡립의 배아가 팽성유 광원쪽에 있을 때 동할립의 검출정도가 낮아지는 경향을 나타낸다. 따라서, 동할립의 검출을 위해서는 곡립의 장축이 팽성유 광원의 방향과 이루는 각도는 약 20° 이내로 위치하여야 할 것으로 판단된다

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°		67.5°		90°	
I ⁽¹⁾	II ⁽²⁾	I	II	I	II	I	II	I	II
86(%)	96	34	50	6	10	0	0	0	0

(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

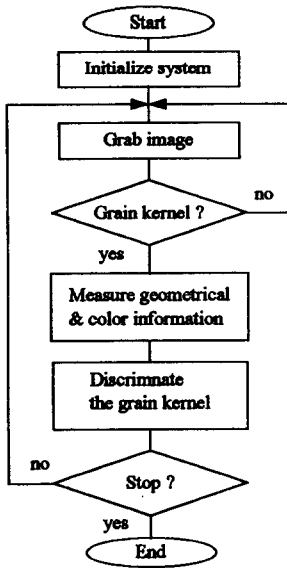


Fig. 4. Flow-chart of main program for rice kernel discrimination.

곡립의 영상을 입력하여 곡립의 기하학적 특성과 색채 정보를 측정·분석하고, 곡립의 종류를 판정하기까지의 전체적인 선별 프로그램의 흐름도는 그림 4와 같다. 본 연구에서는 정지상태의 곡립을 대상으로 영상의 획득한 후, 유의한 선별인자를 측정하였다. 현미의 위치를 인식하는 방법으로는 광센서 등 외부 감지 장치를 이용할 수 있으나, 곡립의 크기가 작고 장치구성을 간단히 하기 위하여 곡립을 적절한 위치에 놓고 영상분석을 통하여 현미의 위치를 인식하였다.

라. 선별정도 및 능률

현미의 개체 판별 알고리즘의 선별정도를 분석하였다. 사람이 육안으로 선별한 각 곡립 100립씩에 대하여 선별 실행 프로그램에 의해 판별된 결과를 표 2에 나타내었다. 곡립의 영상을 획득할 때 곡립의 자세는 광섬유 광원과 곡립의 길이방향과 일치하도록 하였으며, 곡립의 배아의 방향은 임의로 놓고 측정하였다.

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	.	.	.	.	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

선별능률을 계산하기 위해 하나의 곡립에 대하여 곡립의 영상을 획득하여 곡립의 종류를 판별하기까지 걸리는 시간을 측정하였다. 정지상태의 곡립에 대해 선별을 수행하므로, 정지 상태에 있는 하나의 곡립에 대해서 1000회 반복 측정하여 선별능률을 계산한 결과, 본 연구에서 사용한 시스템 (IBM PC 80486, 66MHz)의 경우 곡립 1000립을 처리하는데 걸리는 시간은 100초 정도로 이론적으로 1초에 곡립 10개 정도의 처리속도를 가지는 것으로 분석되었다.

4. 요약 및 결론

영상처리기술을 이용하여 현미의 품위를 자동으로 판별하는 시스템의 개발을 목적으로, 벼의 품위판정에 중요한 현미의 품위를 결정하는 완전현미수율을 구하기 위한 기초 연구를 수행하였다. 특히 동할립의 검출을 위해 곡립의 길이방향으로 斜光을 조사하기 위한 광섬유 조명과 곡립의 확대를 위한 배율기를 사용하였다.

일차적으로 현미의 각 구성곡립인 완전립, 동할립, 백사미, 청사미, 활청립, 미탈부립 그리고 쉼미에 대한 기하학적인 특성과 광학적 특성을 분석하였고, 이들을 이용하여 각 곡립의 종류를 판별하는데 유의한 인자를 통계패키지 SAS의 분석을 통하여 선정하였다. 그리고, 선정된 유의인자를 이용하여 정지상태의 곡립에 대해 온라인으로 곡립의 종류를 판별하는 알고리즘을 개발하였으며, 이를 검증하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 현미의 기하학적 특성으로 길이, 폭, 면적, 길이/면적, 폭/면적, compactness, 광학적 특성으로 RGB, rgb, XYZ, xyz 그리고 $L^*a^*b^*$ 값을 측정하는 영상처리시스템을 개발하였다.
2. 동할립을 위해서는 곡립의 길이방향으로 수평면과 20° 이하의 사광을 조사할 때 검출이 가능한 것이 확인되었으며, 검출정도는 사광에 대한 곡립의 장축의 방향이 이루는 각도와 곡립의 배아의 위치에 따라 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.
3. 현미 개체를 판별하는데 가장 유의한 인자는 SAS의 통계적 분석과 처리속도를 고려하여 길이, 면적, R, B, g 그리고 r을 선정하였고, 이들을 이용하여 현미의 개체를 온라인으로 판별하는 알고리즘을 개발하였다.
4. 판별 알고리즘은 완전립, 동할립, 착색립, 쉼미 그리고 미탈부립이 90~96%, 활청립과 백사미가 81%, 청사미가 75%의 정확도를 각각 나타내었다. 정지상태의 현미를 선별하는데 걸리는 시간은 IBM PC(80486 DX2, 66MHz.)를 사용하여 약 100초/1000립이었다.

참 고 문 헌

1. 김기영, 전명식. 1994. SAS 판별 및 분류분석. 자유아카데미.
2. 이종환. 1992. 농산물 및 미립자의 기하학적 특성분석을 위한 컴퓨터 비전 시스템. 서울대학교 박사학위 논문.
3. 황인근. 1993. 영상처리를 이용한 다목적 과실선별기 개발에 관한 기초연구. 서울대학교 석사학위 논문.
4. 황 헌, 이충호. 1992. 컴퓨터 視覺에 의거한 측정기술 및 測定誤差의 分析과 補正. 한국농업기계학회지. 17(1) : 65-78.
5. 松久次雄, 細川 明. 1983. 畫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.
6. Dekker, E., Piet De Visser. 1988. A Machine Vision System For Rice Grading. Agricultural Engineering Dept. LSU.
7. Ding, K., W. F. Wilcke, D. J. Hansen. 1990. Corn Quality Evaluation with Computer Vision. ASAE paper No. 90-3532.
8. Kim C. S., J. F. Reid, M. R. Paulsen. 1989. Algorithms for Automatic Detection of Corn Stress Cracks. ASAE paper No. 89-7508.
9. Zayas, I., H. Converse, J. Steele. 1990. Discrimination of Whole from Broken Corn Kernels with Image Analysis. Transactions of ASAE 33(5) : 1642-1646.