

영상처리식 온라인 품위판정을 위한 현미의 정렬공급장치

김태민 노상하

Echelon Feeder of Brown Rice for On-line Inspection Using Image Processing

T. M. Kim S. H. Noh

Abstract

An automatic echelon feeder of brown rice was presented for quality inspection system using color image processing. A echelon feeder was developed with vibratory feeder and cylindrical indent singulator having oblique light. The vibratory feeder consisted of a hopper, electromagnetic vibrator and multichannel grooves and supply the grain sample to the singulator. The feeding performance such as feed rate, blocking frequency of the channel was dependent on the size of groove and vibration pattern. A cylindrical indent singulator consisted of a rotating cylinder, prisms and a tungsten-halogen light source. It delivered grain kernels under the camera in a echelon form and illuminate the kernels with oblique ray and ambient light. The size of the indents installed on the surface of the rotating cylinder was determined by the dimensions of the paddy and a small triangular prism was placed in each indent to apply 20° oblique light to the grain kernel.

Keywords : Image processing, Echelon feeder, Cylindrical indent singulator, Multi-channel vibratory line feeder, Oblique lighting device

1. 서론

바야흐로 국제적인 자유무역 시대를 맞이하여 곡류의 국제 경쟁력 제고를 위하여 생산비 및 가공비 절감과 품질향상이 절실히 요청된다. 미국의 수확 후 손실은 전체 수확량의 10 ~ 14.5%로 추정되며, 수확 후 처리기술의 개발 및 시설의 현대화를 통한 손실 감소대책이 필요하다. 품질검사는 시설운 영상에 있어서 반입되는 원료의 집단처리를 가능하게 해 주는 매우 중요한 공정으로, 농가별로 미곡종합처리시설 내로 반입된 벼에 대해서 품질을 객관적으로 평가하여 농가별 대금정산을 위한 기초자료로도 매우 중요하다. 벼의 품질검사 규격에는 반입되는 원료의 중량, 함수율, 이물질 함유율, 제현율, 현미의 품위 등이 포함된다(Hwang, 1996).

컴퓨터 산업의 발달과 고성능 카메라의 개발로 영상처리기 법을 농업에 응용하는 사례가 증가하고 있다(Kranzler, 1985;

Gunasekaran et al., 1988; Ding et al., 1990; McDonald and Chen, 1990; Zayas et al., 1990; Miller and Delwiche, 1991; Kim and Noh, 2010). 특히, 영상처리기법을 이용하여 곡류의 선별과 품질을 판정하는 컴퓨터 비전 시스템을 개발한 사례를 살펴보면 다음과 같다. Matsuhisa와 Hosokawa(1983)는 투과광과 영상처리시스템을 이용하여 현미의 품질을 판정하기 위한 일련의 연구를 수행하였다. 이들은 여러 층의 아크릴 판으로 구성되는 시료대를 제작하여 필요에 따라 시료대를 조작함으로써 투과되는 광량을 조절하고 각 단계에서 현미의 영상을 분석하여 건전립, 미숙립, 동할립, 착색립 등을 판정하는 정량화 기법을 제시하였다. Cooper와 Berlage(1986)은 영상처리장치를 이용하여 각종 곡류의 길이와 두께, 형상, 반사도 등의 물리적 특성값들을 신속 정확하게 측정하는 프로그램 개발하였다.

Paulsen과 McClure(1985)은 곡물의 선별에 적합한 컴퓨터

The article was submitted for publication on 2010-02-17, reviewed on 2010-04-09, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2010-06-15. 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. Corresponding author: S. H. Noh, Professor, Seoul National University, Seoul, Korea; Tel: +82-2-880-4603; Fax: +82-2-873-2049; E-mail: <noh@snu.ac.kr>.

비전 시스템의 조명상태를 구명하였으며, Casady와 Paulsen (1988)은 영상처리를 위한 곡물의 자동 개체공급장치를 개발하였다. 이 시스템은 광센서를 이용하여 옥수수의 위치와 자세를 감시·제어함으로써 개체를 자동 공급하는데 99%의 성공률을 나타내었다. Lee(1992)는 자동 문턱값 설정에 의한 영상영역화, 윤곽정보 추출 및 기하학적 특성 분석을 위한 소프트웨어를 이용하여, 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. Ni 등(1993)은 컴퓨터 비전 시스템을 이용하여 옥수수 곡립을 자동으로 검사하는 장치를 개발하였다. 곡립의 이동에 의해 발생하는 영상의 잔상을 방지하기 위해 스트로브 광원을 사용하였으며, 옥수수 곡립의 개체화, 영상획득과 스트로브 광원의 동기화를 위해서 광센서를 이용하였다. Noh 등(1997)은 색채영상 처리장치를 이용하여 오프라인으로 현미의 각 구성곡립인 건전립, 백사미, 활청립, 사청미, 착색립, 미탈부립, 쇠미의 기하학적 특성과 색채 정보를 측정하고 통계적인 분석을 통하여 이들의 선별에 유의한 인자를 제시하였다. 특히, 동할립과 건전립을 구분하기 위한 사광(斜光)의 설계 규격을 제시하였다.

영상처리는 최근 컴퓨터 산업의 발전과 더불어 컴퓨터와 같은 기계에게 인간의 시각능력을 부여하기 위한 기계시각의 한 분야로 인간의 판단이 커다란 비중을 차지하는 농산물의 선별과 품질검사에 많이 응용되고 있다(Ballard and Brown, 1982; Gonzalez and Woods, 1992). 영상처리를 이용하는 경우 곡립의 기하학적인 특성은 물론 색채정보를 동시에 이용함으로써 현미시료에서 미탈부립이나 쇠미를 미리 선별할 필요가 없으며 색채정보를 이용하여 동할립, 백사미, 사청미, 착색립 등의 선별이 가능한 것으로 보고된 바 있다. 본 연구에서는 영상처리를 이용한 현미 품위판정의 완전 자동화를 위하여 현미의 자동공급장치를 개발함으로써 온라인 품위판정 알고리즘과 더불어 현미의 온라인 품위판정 시스템을 구성하는 것이다. 특히, 1) 이송중인 현미영상의 특성을 구명하여 잔상에 의한 영상정보의 왜곡을 최소화하기 위한 단립공급장치의 설계조건과 영상분석방법을 제시하고, 2) 제시된 설계인자에 따라 현미의 온라인 품위판정에 적합한 사광조사(斜光照射)장치와 자동공급장치를 개발한다.

2. 실험장치 및 방법

이송중인 현미영상의 특성을 구명함으로써 잔상에 의한 영상정보의 왜곡을 최소화하기 위한 방안을 제시한다. 이를 위한 실험장치는 현미의 영상을 획득하고 이를 분석하기 위한 영상처리장치, 대상시료에 대한 영상의 질을 향상시키기 위

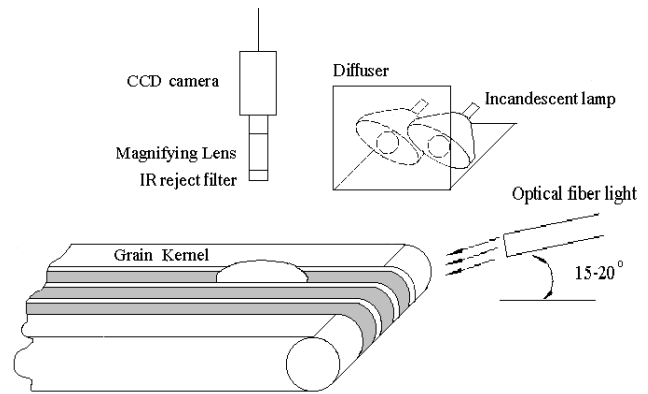


Fig. 1 Experimental apparatus for preliminary test.

한 조명장치, 그리고 시료를 이송하기 위한 평벨트 컨베이어로 구성된다. 그림 1과 같이 길이 1 m 정도의 평벨트 컨베이어를 구성하고 날알이 벨트를 따라 장축방향의 자세를 갖도록 벨트 위에 홈을 설치하였으며 배경과 현미를 쉽게 구분하기 위하여 벨트를 무광택 흑색도료로 도색하였다. 동력원은 속도조절이 가능한 교류모터를 사용하였으며 동력전달은 체인을 이용하여 벨트의 이송속도를 0~100 mm/s까지 변화시킬 수 있도록 설계·제작하였다.

조립식 앵글로 CCD 카메라와 조명장치를 설치할 수 있는 프레임 제작하였으며, 영상의 스캔방향과 곡립의 이송방향이 수직하도록 카메라를 설치하였고 벨트 위에 설치된 홈 내에 확산광을 비출 수 있도록 홈의 좌우로 두 개씩, 네 개의 백열등(30W)을 설치하였다. 그리고 곡립 표면에서의 직반사(specular reflectance)를 방지하기 위하여 밝기가 균일한 확산광(diffused light)을 조성하여야 하며 이를 위하여 백열등과 측정할 곡립 사이에 흰색 아크릴판을 설치하였다. 또한 동할을 검출하기 위하여 벨트의 앞부분으로 수평면과 15~20°를 이루는 사광(斜光)을 조사(照射)하였다. 사용된 광섬유 조명기(GLS-V100C, Halla Optical)는 밝기 조절이 가능한 텅스텐·할로겐등을 광원으로 사용하며 광섬유를 통하여 직선광을 조사할 수 있다.

가. 실험재료

현행 우리 나라의 농산물검사 표준계측방법 및 감정방법에 의하면 현미의 품위를 평가하는데 있어서 탈부된 벼에 대하여 활성현미가 차지하는 비율, 즉 벼의 제현율을 정확하게 측정하는 것이 중요하다. 현미는 건전립, 동할립, 복백립, 백사미, 사청미, 활청립, 착색립, 앵미, 미탈부립, 쇠미 등으로 구분된다(Kim and Noh, 2010). 실험에 사용된 현미시료는 1996년 경기도 화성군에 소재한 정미소에서 구입한 것으로 품종은 일품이다.

나. 실험방법 및 내용

본 연구에서는 현미의 온라인 품위판정 시스템을 개발에 필요한 사광조사장치와 현미의 자동공급장치를 개발하기 위하여 다음과 같은 일련의 연구를 수행하였다.

먼저 이송중인 현미영상의 특성을 구명함으로써 잔상에 의한 영상정보의 왜곡을 최소화하기 위한 방안을 제시하였으며 현미의 연속식 품위판정의 가능성을 조사하였다. 그리고 여러 개의 곡립이 영상 내에 일정한 자세를 유지하며 연속적으로 공급될 수 있는 자동공급장치를 개발하였으며, 동할립의 검출을 위하여 공급되는 모든 곡립에 대하여 동일한 조건의 사광(斜光)을 조사(照射)할 수 있는 사광조사장치를 개발하였다. 장치구성이나 조명조건에 관한 내용을 요약하면 다음과 같다.

Hwang(1996)은 확산조명을 이용하여 곡립의 자세와 방향에 관계없이 완전현미와 외관색이 다른 착색립이나 청미의 구분이 가능한 것으로 보고하였다. 그리고 곡립의 장축방향으로 수평면과 약 20°이하의 각도를 이루는 사광(斜光)을 조사(照射)함으로써 동할립의 검출이 가능하다는 연구를 기초로 그림 2와 같이 광섬유 조명을 이용하여 동할립을 검출하기 위한 인자를 개발하였으며 사광에 대한 곡립의 자세와 방향이 색채정보에 미치는 영향과 동할립의 검출에 미치는 영향을 분석하였다.

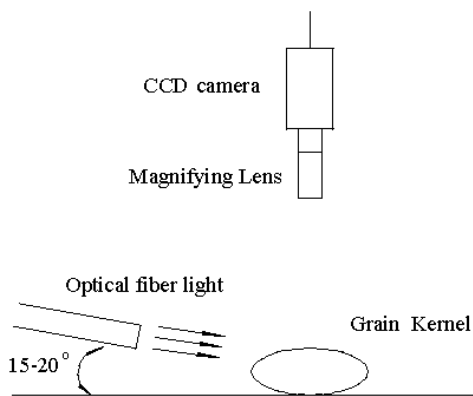


Fig. 2 Oblique ray to detect cracked kernel.

이상의 연구결과를 기초로 본 연구에서는 온라인 품위판정을 위한 단립공급장치 개발을 위하여 다음과 같은 개발목표를 설정하였다.

1) 선별능률을 높이기 위하여 여러 개의 곡립이 동시에 일정한 자세를 유지하며 영상으로 입력될 수 있는 자동공급장치를 개발한다.

2) 동할의 검출에 필요한 사광을 조사함에 있어서 영상 내의 모든 곡립에 동일한 조건의 사광을 조사함은 물론 자동공급장치의 구성을 간소화할 수 있는 사광조사장치를 개발한다.

3) 현재 수입되는 현미 품위판정장치를 대체할 수 있으며 나아가 가격 경쟁력이 있는 현미 품위판정장치를 개발한다.

상기의 목표를 달성하기 위하여 몇 가지 방안을 상정하였으며 개발하고자 하는 온라인 품위판정장치에 대한 그 방안의 적용가능성과 국내 제작기술 등을 조사하였다. 현미의 자동공급장치는 일반 산업용 진동공급장치를 이용하는 방법을 고려하였으며 사광조사장치는 새로운 메커니즘을 개발하고자 하였다. 개발된 단립공급장치의 성능을 평가하기 위하여 사광조사장치의 성능은 온라인 상태에서 동할립에 대한 장축방향 프로파일을 통하여 평가하였으며, 자동공급장치의 공급특성과 공급율을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

온라인 품위판정장치는 그림 3에서 보는 바와 같이 크게 영상처리장치, 자동공급장치, 그리고 조명장치로 구성되어 있다. 영상처리장치는 품위판정에 필요한 영상분석과 주변장치의 제어를 담당하며, 자동공급장치는 영상처리장치에서 효율적으로 현미의 영상을 획득하고 품위를 판정할 수 있도록 현미기로부터 배출되는 현미시료를 수집하여 일정한 자세와 간격으로 카메라 아래에 연속적으로 공급하는 기능을 한다. 조명장치는 현미의 품위판정에 적합한 조명상태를 제공하는 기능을 한다. 균일한 양의 현미시료를 안정적으로 공급하기 위하여 진동식 다채널 정렬공급장치와 회전원통식 단립화장치로 구성되는 자동공급장치를 개발하였다. 또한 동시에 여러 개의 현미에 동일한 조건의 사광을 조사하기 위한 사광조사(斜光照射)장치를 개발하였다.

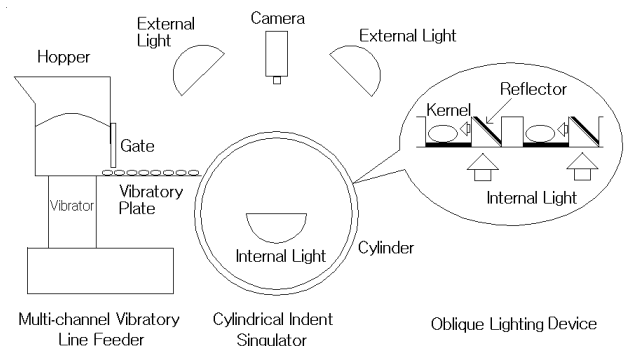


Fig. 3 Schematic diagram of an on-line brown rice inspection system.

가. 진동식 다채널 정렬공급장치

진동식 다채널 정렬공급장치는 현미기에서 배출된 현미시료를 수집하고 진동을 통해서 현미의 전진운동을 유도하며, 일정량씩 배출하면서 일렬로 정렬시켜 한 알씩 회전원통식

단립화장치로 전달하는 기능을 한다. 개발된 진동식 다채널 정렬공급장치는 그림 4와 같으며 여러 개의 채널을 설치하여 공급능률의 향상을 꾀하였다. 진동식 다채널 정렬공급장치의 진동원은 일반 부품 공급용 진동장치를 사용하였으며 현미를 일렬로 정렬하기 위한 레일과 호퍼를 설계·제작하였다. 진동식 다채널 정렬공급장치의 진동을 조절하기 위하여 마이크로 컴퓨터를 이용한 다단계 전원공급장치를 구성하였고 공급능률을 최대로 하는 임펄스의 모양을 결정하였다.

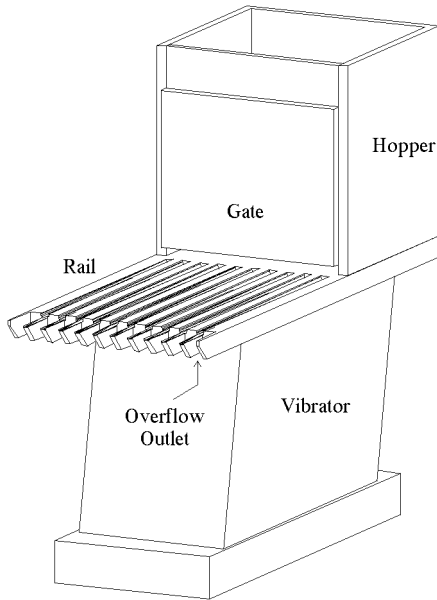


Fig. 4 Multi-channel vibratory line feeder.

진동장치는 대각선으로 진동을 하면 치부 위의 부품이 대각선운동과 자유낙하운동을 반복함으로써 결과적으로 전진하는 원리를 이용한 것으로 본 연구에 사용된 진동장치의 제원은 표 1과 같다. 진동장치 컨트롤러는 위상제어 방식으로 진동의 크기를 수동으로 변화시킬 수 있으며, 점접제어 신호 또는 유전압 제어신호(DC 12~24V)로 ON/OFF의 외부제어가 가능하다. 본 연구에서는 컴퓨터나 마이크로컴퓨터를 이용하여 100 V에서 210 V에 이르는 여러 단계의 전압을 공급할 수 있는 별도의 다단계 전원공급장치를 구성하였으며 진동장치 컨트롤러에 공급되는 전압을 변화시킴으로써 진동의 크기를 제어하였다.

Table 1 Specifications of vibrator

Manufacturer	Hansan Co.
Model	CS-1
Power Supply	AC 100/110 V or 200/220 V (50/60 Hz)
Vibrating Frequency	100/120 Hz
Power Dissipation	20 W
Weight	3.8 kg
Model of Controller	MFC-3

호퍼는 현미기로부터 배출되는 현미시료를 수집하여 품위판정이 종료될 때까지 일정하게 레일로 공급하는 기능을 하며 현미의 배출량을 조절하기 위하여 호퍼의 배출구에 게이트를 설치하였다. 호퍼에서 배출된 현미가 레일의 각 채널을 지나면서 진행방향을 따라 장축방향의 자세를 유지하면서 일렬로 전진운동을 하도록 레일을 설계하였으며 각 채널의 단면은 현미와 닿는 면적을 최대로 하기 위하여 직경 4 mm의 반원모양으로 2.5 mm의 깊이로 가공하였다. 그림 4에서 보는 바와 같이 레일의 선단부에는 채널의 양쪽으로 낙립구(落粒口, overflow outlet)를 두어 병목현상으로 인하여 회전원통식 단립화장치의 홈에 현미가 과량으로 투입되는 것을 방지하였다. 채널의 수는 10개로 하였으며 원통형 자세 고정장치의 홈과 피치를 일치시켰다.

나. 회전원통식 단립화장치

회전원통식 단립화장치는 그림 5에서 보는 바와 같이 둘레를 따라 지그재그로 홈이 설치된 회전원통과 속도조절이 가능한 직류모터 그리고 동력전달장치로 구성되어 있다. 이 장치는 진동식 다채널 정렬공급장치로부터 한 알씩 정렬되어 공급되는 현미를 회전원통의 홈 내로 전달받아 현미를 일정한 자세로 고정하여 카메라의 아래로 이송하는 기능을 수행하도록 설계되었다.

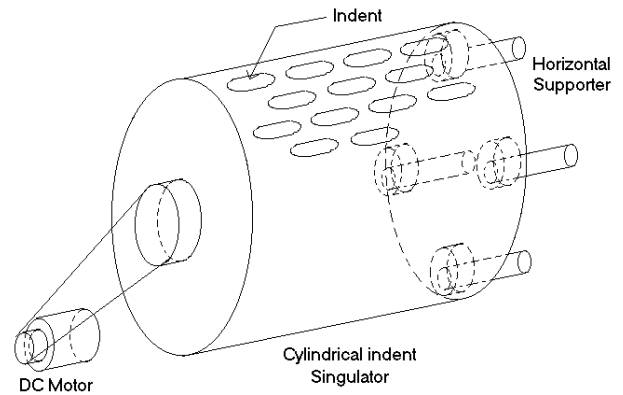


Fig. 5 Cylindrical indent singulator.

회전원통은 진동식 다채널 정렬공급장치로부터 전달받은 현미의 자세를 고정하는 기능을 수행하며, 회전원통의 둘레를 따라 그림 6과 같은 규격과 배열로 홈을 설치하였다. 회전원통은 동력전달용 풀리가 부착된 축으로 지지되며 반대쪽에는 회전원통이 수평을 유지하면서 원활히 회전하도록 베어링을 이용한 수평지지대를 설치하였다. 회전원통은 직경이 210 mm, 두께 5 mm, 길이 210 mm인 아크릴 파이프이며 무광택 흑색 도료로 도색하여 내부로부터의 불필요한 광의 투과를 방지하였다.

회전원통의 동력원은 품위판정에 적합한 이송속도를 결정하기 위하여 회전속도의 조절이 가능한 직류모터로 선정하였다. 직류모터와 회전원통 간의 동력전달은 벨트를 이용하였으며 모터풀리와 원통풀리가 10:1의 속도비를 갖도록 설계 제작하였다.

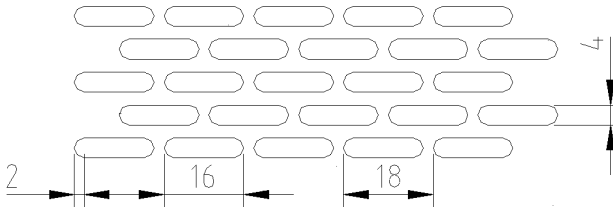


Fig. 6 Dimensions and arrangement of the indents on the cylinder (unit : mm).

다. 조명장치

현미의 품위판정을 위한 조명은 크게 선택판정용 조명과 동할판정용 사광으로 나뉜다. 선택판정을 위한 조명은 밝기가 균일한 산란광을 사용하였으며 동할판정을 위한 사광은 이보다 밝은 직사광을 사용하였다. 곡립의 장축방향으로 수평면과 15°~20°를 이루는 사광을 조사하고 곡립 내의 장축방향에 대한 명암의 변화를 이용하여 동할을 검출하였다. 본 연구에서는 온라인 상태에서 동시에 여러 개의 곡립에 동일한 조건의 사광을 조사하기 위하여 그림 7과 같은 사광조사용 프리즘을 설계·제작하였다.

사광조사용 프리즘은 그림 7에서 보는 바와 같이 직삼각프리즘을 이용하여 아래에서 수직으로 조사된 빛을 수평면과 20°를 이루는 사광으로 반사하도록 설계되었다. 곡립의 앞쪽 위에서 충분한 양의 사광을 조사할 수 있도록 곡립의 두께보다 두꺼운 5 mm 삼각프리즘을 사용하였으며, 삼각프리즘의 반사율을 높이기 위하여 지지대와 삼각프리즘 사이에 은박의 반사판을 부착하였다. 이 프리즘을 자세고정을 위한 회전원통의 모든 홈 내에 앞부분으로 설치하여 회전원통의 내부에 설치된 일자형 광원으로부터 조사되는 빛이 모든 홈에서 동일한 조건의 사광으로 반사되도록 설계하였다.

그림 3에서 보는 바와 같이 자세고정용 회전원통의 바깥쪽으로 선택판정용 조명으로 일자형 삼파장등(외부광원)을 설치하였다. 외부광원은 홈의 내부까지 비출 수 있도록 홈의 장

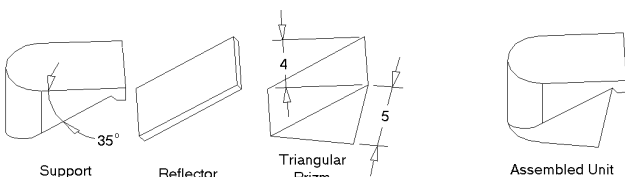


Fig. 7 Oblique lighting unit made of prism and reflector (unit: mm).

축방향과 수직하게 양쪽으로 설치하였고, 밝기가 균일한 산란광을 얻기 위하여 백색 아크릴을 사용하였으며, 반대쪽에 반사판을 설치하여 광의 손실을 작게 하였다.

동할립 검출을 위한 사광으로는 밝기가 세고 자연광에 가까운 텅스텐-할로겐등이 적합함을 예비실험을 통하여 구명하였다. 자세고정용 원통의 내부에 일자형 텅스텐-할로겐등(내부광원)을 축방향으로 설치하여 동시에 여러 채널의 홈에 동일한 광량을 조사할 수 있도록 하였다. 그리고 동할립 검출에 적합한 광량을 결정하기 위하여 조광기를 사용하였다. 텅스텐-할로겐등은 발열량이 커서 인접한 자세고정용 원통과 사광조사용 프리즘이 손상될 수 있으므로 별도의 냉각팬을 부착하였다.

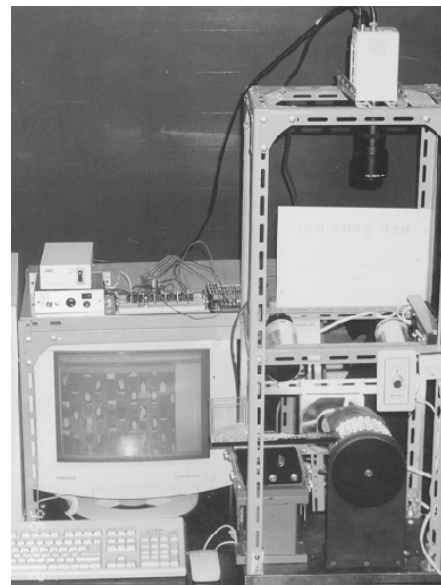


Fig. 8 Outlook of an on-line brown rice inspection system.

라. 전체 온라인 품위판정 시스템의 구성

개발된 온라인 품위판정 시스템의 전체 구성은 그림 9와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 우측하단에 진동식 다채널 정렬공급장치와 회전원통식 단립화장치로 구성되는 자동공급

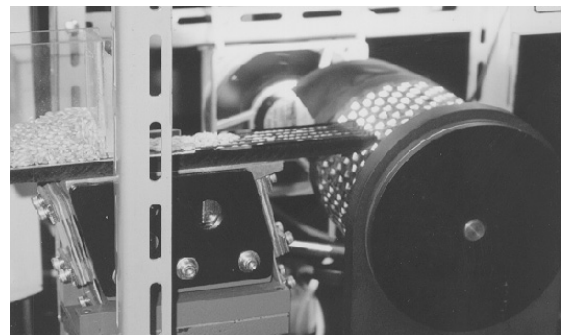


Fig. 9 Echelon feeder of brown rice.

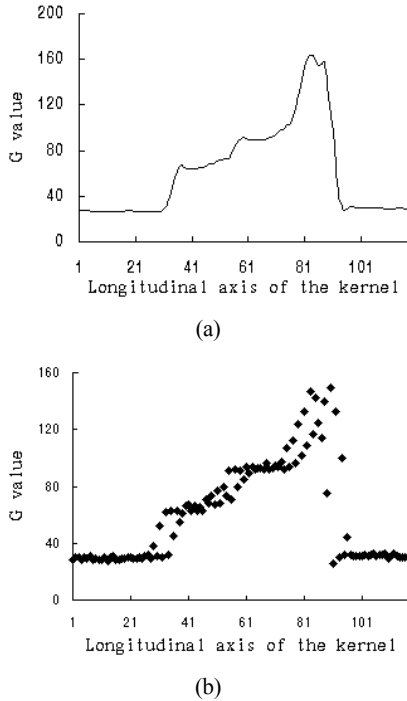


Fig. 10 Intensity profile along the longitudinal axis of a cracked kernel at stationary state (a) and at speed of 34 mm/s (b).

장치가 설치되어 있다. 그 상단에 카메라를 설치하여 모니터 화면을 통하여 자동공급되는 현미의 모습을 관찰할 수 있으며 그림 10은 현미가 진동식 다채널 정렬공급장치에서 회전원통식 단립화장치로 공급되는 모습을 보여준다. 회전원통의 내부에 설치된 텅스텐-할로겐등의 냉각을 위하여 회전원통의 뒤쪽에 냉각팬을 설치하였다.

마. 이송중인 현미영상의 특성

일반적으로 이송중인 물체에 대한 영상에는 잔상이 발생한다. 잔상이란 영상의 형성 속도가 움직이는 물체의 속도를 따라가지 못하여 이동 전의 영상과 이동 후의 영상이 동시에 입력됨으로써 나타나는 영상왜곡의 한 종류이다. 인간은 광센서인 시세포의 늦은 응답속도로 인하여 잔상을 경험하게 된다. CCD 카메라는 TV신호를 발생하기 위해 개발된 것으로 인터레이스 스캔방식을 채택하고 있다(Inoué, 1986). 인터레이스 스캔방식은 영상을 구성하는 화소 간에 입력시간의 차이가 커서 움직이는 물체에 대해서는 잔상이 발생한다.

건전립과 동할립에 대하여 곡립의 장축방향과 이송방향을 일치시켜 표 2와 같이 다양한 이송속도에 따라 장축방향 프로파일의 변화를 관찰하였다. 시료는 각각 두 개씩 배아가 사

Table 2 Speed steps of conveyor

Speed control	0	10	20	30	40	50	60	70
Conveying speed (mm/s)	0	13	34	53	68	83	94	99

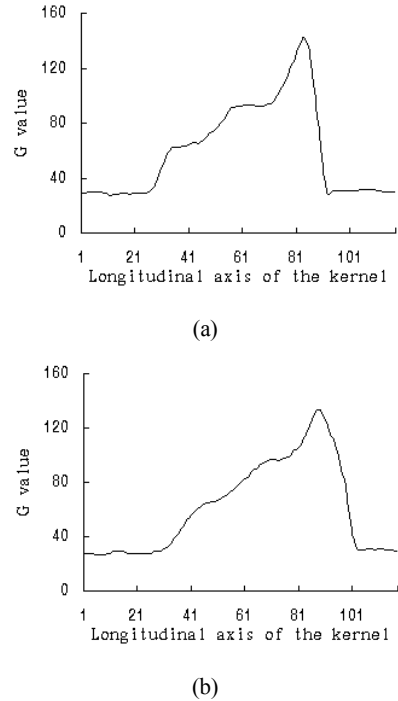


Fig. 11 Intensity profile along the longitudinal axis of a cracked kernel of odd field moving at speed 34 mm/s (a) and at speed 68 mm/s (b).

광을 향하는 경우와 반대쪽을 향하는 경우에 대하여 장축방향 프로파일을 수집하였다.

그림 10의 (a)는 정지상태에서 곡립의 배아가 사광을 향하는 경우 대표적인 동할립의 장축방향 프로파일을 나타내며 동할립에 의한 명도의 급격한 변화를 관찰할 수 있다. 그림 10의 (b)는 동일한 상태에서 34 mm/s로 이송될 때의 장축방향 프로파일이며 프로파일의 왜곡이 심하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그림 11의 (a)는 그림 11의 (b)에 나타난 장축방향 프로파일로부터 홀수 주사선에 해당되는 화소만을 취한 장축방향 프로파일로 정지상태의 프로파일과 거의 일치하고 있음을 볼 수 있다. 다시 그림 10의 (b)를 관찰해 보면 그림 11의 (a)와 같은 프로파일이 일정간격을 두고 반복되는 것을 볼 수 있다. 즉 인터레이스 스캔방식에 기인하는 다른 주사선 간의 영상왜곡보다 같은 주사선 내의 영상왜곡이 훨씬 작으며 하나의 주사선에서 영상정보를 추출함으로써 잔상에 의한 영상의 왜곡을 감소시킬 수 있다.

그림 11의 (b)는 동일한 상태에서 동할립이 68 mm/s로 이송될 때 홀수 주사선에서 추출한 장축방향 프로파일이다. 이 그림을 통하여 일정속도 이상에서는 같은 주사선 내에서도 영상왜곡이 나타나는 것을 볼 수 있으며 그림 11의 (a)의 프로파일과 비교하여 볼 때 프로파일의 평활화가 이루어진 것임을 알 수 있다. 이것은 곡립의 이송방향과 영상의 스캔방향과 수직하여 나타나는 곡립의 이송방향으로의 평활화 현상으로 주사선 간의 입력시간의 차에 의한 것으로 판단된다.

이상과 같은 실험결과를 통하여 이송중인 현미영상에서 장축방향 프로파일의 왜곡을 최소화하기 위한 영상분석방법과 자동공급장치의 설계인자를 다음과 같이 제시하였다.

- 1) 같은 필드 내에서 영상정보를 추출함으로써 곡립 하나에 대한 영상입력시간을 감소시킨다.
- 2) 영상의 스캔방향과 곡립의 장축방향을 일치시켜 곡립 내의 장축방향 프로파일의 입력시간을 감소시킨다.
- 3) 곡립의 장축방향과 이송방향이 수직을 이루도록 하여 이송에 의한 장축방향 프로파일의 평활화를 방지한다.

상기결과를 통하여 동할립 검출이 가능한 곡립의 이송속도는 34 mm/s 이하가 적합한 것으로 판단되며 이로써 현미의 연속식 품위판정이 가능할 것으로 판단된다. 이송속도를 34 mm/s로 설정하는 경우 한 줄이 6 mm 간격으로 최대 다섯 개까지 곡립을 수용할 수 있으므로 최대 선별효율은 28개/s이다.

바. 사광조사장치의 성능평가

개발된 사광조사장치의 성능을 평가하기 위하여 이송상태에서 획득된 영상으로부터 동할립에 대한 장축방향 프로파일을 구하였으며 그 결과를 그림 12에 나타내었다. 이 프로파일로부터 동할립에 의한 급격한 명암의 변화를 관찰할 수 있으며 이를 통해 동할립의 검출이 가능할 것으로 판단된다.

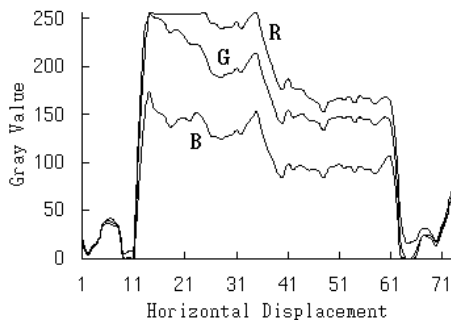


Fig. 12 The longitudinal profile of cracked using the oblique lighting device.

사. 진동식 다채널 정렬 공급장치의 공급특성 분석

곡립의 막힘을 방지하고 진동식 다채널 정렬 공급장치의 공급성능을 향상시키기 위하여 공급전압과 임펄스에 따른 공급특성을 분석하였다. 최대공급전압인 210 V를 순간적으로 공급함으로써 진동장치에 임펄스를 가할 수 있었으며 곡립의 막힘을 방지하기 위한 임펄스의 주기와 폭을 결정하였고 공급전압에 따른 임펄스의 영향을 구명하였다.

임펄스의 폭을 결정하기 위하여 임펄스의 주기를 3.68초로 고정된 상태에서 임펄스의 폭을 변화시키면서 2분 동안에 진동식 정렬공급장치로부터 회전원통식 단립화장치의 홈 내로

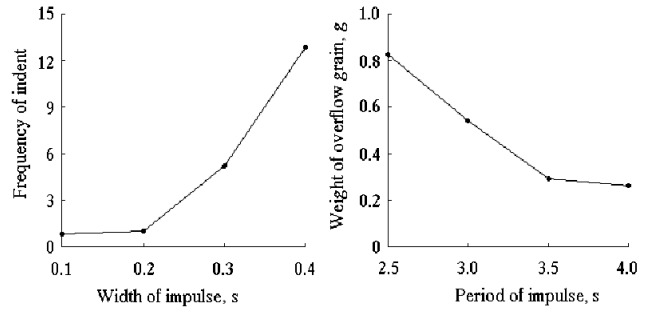


Fig. 13 Effect of impulse width and period on the frequency of indents filled with more than one kernel and the weight of overflow grain.

두 개이상 투입되는 빈도를 조사하였다. 그림 13에서 보는 바와 같이 임펄스의 폭이 커질수록 홈 내로 곡립이 두 개 이상 투입되는 빈도가 급격히 증가하였으며 임펄스의 폭이 너무 작으면 곡립의 막힘이 증가하였다. 따라서 곡립의 공급율과 막힘을 모두 고려하여 홈 내로 두 개 이상 투입되는 빈도가 급격히 증가하는 0.2초를 임펄스의 폭으로 결정하였다.

그리고 임펄스의 주기를 결정하기 위하여 결정된 임펄스의 폭에 대하여 임펄스의 주기를 변화시키면서 이송 중에 낙립구로 떨어지는 곡립의 양을 5개의 채널에 대해서 측정하였다. 그림 13에서 보는 바와 같이 임펄스의 주기가 짧으면 낙립량이 증가하였으며, 임펄스의 주기가 너무 길면 곡립의 공급율이 감소하고 막힘이 발생하였다. 따라서 공급율과 막힘 그리고 낙립량을 고려하여 낙립량이 급격히 감소하는 3.5초를 임펄스의 주기로 결정하였다.

결정된 임펄스의 폭과 주기에 대하여 공급전압과 임펄스의 유무에 따른 공급량의 변화를 관찰하기 위하여 세 단계의 공급전압에 대한 현미의 공급량을 측정하였다. 동일한 실험 조건을 유지하기 위하여 호퍼에는 30 g의 시료를 담았으며 60 초 동안의 공급량을 측정하였다.

표 3의 실험결과에서 보는 바와 같이 임펄스의 유무에 관계없이 전압이 높아지면 공급량도 증가하는 경향을 보였다. 또한 동일한 공급전압에서는 임펄스를 가함으로써 공급량이 약 1.3~2.5배까지 공급량이 증가됨을 볼 수 있다. 그러나, 공급전압이 높아질수록 임펄스의 효과는 감소하는 경향을 보였다.

Table 3 Feed rate with respect to the voltage supplied (g/min)

Supplied voltage	153 V		168.4 V		177.8 V	
	Without impulse	With impulse	Without impulse	With impulse	Without impulse	With impulse
Replication 1	2.08	3.99	2.77	4.80	9.00	13.45
Replication 2	2.03	3.91	2.81	5.10	8.41	9.70
Replication 3	2.07	4.76	2.85	5.22	8.46	10.14
Average	2.06	4.22	2.81	5.04	8.96	11.10

Table 4 Accumulation of time interval between kernels supplied to the cylindrical indent singulator (s)

Channel Replication	1		2		3	
	With impulse	Without impulse	With impulse	Without impulse	With impulse	Without impulse
1	67	137	106	143	75	141
2	64	161	72	152	61	138
3	55	126	74	157	81	154
4	68	134	63	148	75	151
5	75	145	71	149	63	144
Average	66	141	77	150	71	146

Table 5 Feed rate and overflow rate with or without impulse

Item Replication	Without impulse			With impulse		
	Feed rate	Overflow rate	Ratio (%)	Feed rate	Overflow rate	Ratio (%)
1	2.27	0.340	15.0	6.71	2.05	30.6
2	1.52	0.286	18.9	5.59	2.09	37.4
3	2.27	0.449	19.8	6.02	2.56	42.5
4	1.47	0.566	38.7	4.39	1.52	34.6
5	0.92	0.452	49.1	6.36	2.31	36.4
Average	1.69	0.419	28.3	5.81	2.10	36.3

임펄스에 의해 곡립의 막힘이 방지되는 정도를 조사하기 위하여 한 곡립이 배출되고 다음 곡립이 배출될 때까지의 배출대기시간을 정의하였으며 5분 동안에 일정한 크기 이상의 배출대기시간을 누적하는 누적 배출대기시간을 측정하였다. 공급전압은 168 V로 고정하였으며 세 채널에 대하여 5번씩 반복하여 측정하였다. 표 4의 결과를 통하여 임펄스를 주는 경우가 그렇지 않는 경우보다 누적 배출대기시간이 2배 이상 감소하는 것을 볼 수 있다.

진동식 다채널 정렬 공급장치에서 레일의 선단부에는 곡립이 과량으로 공급되어 두 개이상의 곡립이 회전원통식 단립화장치의 홈에 투입되는 것을 방지하기 위하여 레일의 선단부에 낙립구를 설치하였다. 곡립이 이 부분을 통과할 때 임펄스가 주는 영향을 구명하기 위하여 이송 중에 낙립구로 떨어지는 양과 통과하는 양의 비를 측정하였다. 표 5의 결과에서 임펄스를 주는 경우가 그렇지 않는 경우보다 떨어지는 곡립의 양이 비교적 많은 것을 알 수 있다. 그러나 현미의 품위판정이 샘플링을 통한 조사이므로 낙립(落粒)이 크게 문제되지 않을 것으로 생각된다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 기존에 개발된 국내의 제현율 자동판정장치와 일본의 광학식 품위판정장치의 문제점을 해결하고 더욱 향상된 선별성능을 갖는 현미의 품위판정을 위해 컬러영상처리장

치를 이용한 온라인 품위판정 시스템의 개발을 목적으로 수행되었다.

평벨트 컨베이어로 이송되는 현미의 영상을 획득하여 그 특성을 구명함으로써 현미의 품위판정에 대한 컬러 영상처리의 적용가능성을 조사하였다. 기초실험을 통하여 잔상의 영향을 최소화하기 위해서는 영상의 스캔방향이 곡립의 장축방향과 일치되어야 하고 곡립의 이송방향과 수직하여야 하며, 동할립을 검출하기 위해서는 사광조명이 필요한 것으로 나타났다. 상기 조건을 만족하며 진동식 공급장치와 사광조명이 가능한 회전원통식 단립화장치로 구성되는 온라인 품위판정장치를 개발하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 현미시료를 다채널로 정렬공급하는 진동식 다채널 정렬공급장치를 개발하였으며 레일의 단면, 진동장치의 진폭, 그리고 임펄스의 유무에 따른 공급특성을 구명하였다. 특히 곡립의 막힘을 방지하기 위해서는 임펄스를 가하는 것이 필수적이며 공급성능을 최대화 하는 임펄스의 폭과 주기를 결정하였다.
- (2) 곡립을 한 알씩 일정한 자세로 고정하여 영상처리장치로 공급하는 회전원통식 단립화장치를 개발하였으며 동할립을 검출하기 위하여 회전원통의 내부에 설치된 텅스텐-할로겐등으로부터 조사되는 빛을 수평면과 20°를 이루는 사광으로 반사하는 프리즘을 회전원통의 홈 내에 설치하였다.

- (3) 회전원통식 단립화장치의 충전률은 약 40%로 다소 낮게 나타났으며 이는 진동식 다채널 정렬공급장치의 각 채널 간의 불안정한 공급특성에 기인한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- Ballard, D. H. and C. M. Brown. 1982. Computer Vision. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, USA.
- Casady, W. W. and M. R. Paulsen. 1988. An automated kernel positioning device for computer vision analysis of grain. ASAE Paper No. 88-3051. ASAE, St. Joseph, MI, USA.
- Cooper, T. M., A. G. Berlage. 1986. Integrating database and machine vision seed measuring process. ASAE Paper No. 86-3062. St. Joseph, MI, USA.
- 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.
- Gonzalez, R. C. and R. E. Woods. 1992. Digital Image Processing. Addison Wesley, New York, USA.
- 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.
- Hwang, C. S. 1996. An Algorithm for Discrimination of Brown Rice Kernels using Image Analysis. Seoul National University Master Thesis. (In Korean)
- Inoué, S. 1986. Video Microscopy. Plenum Press, New York, USA.
- Kranzler, G. A. 1985. Applying digital image processing in agriculture. Agricultural Engineering 66(3):11-13.
- Kim, T. M. and S. H. Noh. 2010. On-line inspection algorithm of brown rice using image processing. Journal of Biosystem Engineering 35(2):138-145 (In Korean)
- 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)
- 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.
- Matsuhisa T. and A. Hosokawa. 1983. Quantitative measurement of cracks and glutinous rice grain quality by image processing. Japanese Journal of Agricultural Machinery 45 (3):357-368
- McDonald, T. and Y. R. Chen. 1990. Application of morphological image processing in agriculture. Transactions of ASAE 33(4):1345-1352.
- Miller, B. K. and M. J. Delwiche. 1991. Peach defect detection with machine vision. Transactions of ASAE 34(6): 2588-2597.
- 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.
- 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)
- Paulsen, M. R. and W. F. McClure. 1985. Illumination for computer vision systems. Transactions of ASAE 29(5):1398-1404.
- 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.