

색채선별기 곡물 이미지 가시화 및 선별기법에 관한 연구

이춘영* · 안레이** · 이상룡* · 박철우†

Investigation on Grain Image Visualization and Color Sorting Technique

Choon-Young Lee, Lei Yan, Sang-Ryong Lee and Cheol-Woo Par

Abstract. The color sorting technique utilizing the image processing method is very applicable tool to analyze motion of a free-falling object in many agricultural and industrial research fields. In the present study, we have developed an image processing system and algorithm to sort good quality rice grains effectively from the bad ones. The system employs a high speed rate line-scan CCD camera with 2K-pixels and worked with a high speed DSP and FPGA in-line. It can accumulate acquired line-scan image data and visualize each grain image clearly. As a result, we can easily calculate the number of pixels occupied by grain(=grain size), gray level and its correct position by visualizing grain images rapidly.

Key Words: Color Sorting (색채선별), Image Processing (영상처리), Grain Image (곡물이미지), Line-Scan CCD Camera (라인스캔CCD카메라), DSP (디지털신호처리)

1. 서 론

실시간 영상 처리 기법은 최근 들면서 제품의 표면 품질 검사(surface quality inspection), 추적, 로봇 유도 제어 및 물체 인식(object recognition) 등과 같은 많은 분야에서 널리 사용되어 지고 있다. 고난도의 알고리즘을 요구하는 영상처리 시스템에서는 보통 처리 능력과 하드웨어의 안정성이 모두 요구되는데, 디지털화된 영상 데이터의 전송, 이미지 개선 (image enhancement), 이미지 분할 (image segmentation) 및 레이블링 (labeling) 등을 체계적으로 처리할 수 있어야 한다.⁽¹⁾ 따라서 이러한 기능들을 모두 갖춘 실시간 영상처리 시스템의 구현은 그 응용 분야에 따라 매우 어려운 도전과제가 되기도 한다. 또한, 이러한 영상처리 기법을 이용하여 유체역학 분야에서는 액적을 가시화하고 액적의 크기 등을 측정하는 연구들이 수행되어지고 있다.⁽²⁾

최근 고성능 디지털 신호 처리 프로세서(digital

signal processing, DSP)와 현장 프로그래머블 게이트 어레이(field programmable gate array, FPGA)의 출시와 함께, 영상 획득 및 처리기술이 진일보하고 있다. DSP를 이용한 실시간 영상처리 시스템을 비디오 영상 신호 처리에 적용하여 사물을 구분하는데 적용한 예가 최근들면서 많이 늘어나고 있다.⁽¹⁾ Vivas 등⁽³⁾은 DSP의 병렬 처리 시스템을 구현하여 품질 검사 시스템을 개발 적용하였고, Murphy 등⁽⁴⁾은 비디오 압축 시스템에 DSP를 적용하였다. 최근에는 DSP 적용 뿐만 아니라 FPGA를 이용한 영상 처리 시스템 개발에 관한 연구결과들이 발표되었다⁽⁵⁻⁷⁾.

특히, DSP는 주로 영상 처리 알고리즘을 수행하고, FPGA는 주변장치의 논리를 구현하거나 혹은 DSP를 보조하는 연산을 수행하도록 조합하여 사용하는 시스템도 개발되고 있다⁽⁸⁾. 이처럼 FPGA를 사용하여 시스템의 개발시간을 단축하고 또한 여러 가지 다양한 기능을 발휘할 수 있는 유연성을 가질 수 있어, DSP와 FPGA가 혼용된 시스템이 보다 이상적인 조합이라고 할 수 있다.

본 연구에서 다루고자 하는 곡물(grain) 색채 선별기(color sorter)는 이러한 영상 이미징 시스템을 이용하여 곡물의 상태 및 불량을 감지하여 양품과 분리해내

†경북대학교 기계공학부
E-mail : chwoopark@knu.ac.kr

*경북대학교 기계공학부

**경북대학교 대학원 기계공학과

는 시스템으로서 이미징 장치의 성능에 따라 선별기의 분리 성능이 결정된다. 그런데, 이러한 선별기능을 가진 장치들에 대한 명칭으로 일반적으로 색채선별기라는 용어가 사용되어지고 있으나, 반드시 색채(color)를 검출해야만 하는 것은 아니며 본 연구와 같은 그레이 레벨 값을 통한 개체 이미지를 구분할 수 있는 넓은 개념의 장치를 일컬어 색채선별기라고 하고 있다. 이러한 선별과 관련한 적용 예로서 양털의 이물질질을 검출하여 분리하기 위한 시스템에도 영상 처리 장치가 적용되었다⁹⁾. 최근들어서는 또한 이러한 영상처리 시스템에 신경회로망(neural network) 기법을 도입하여 시도한 연구결과들도 발표되고 있다¹⁰⁾.

본 연구에서는 먼저 곡물의 불량을 검출하기 위해 곡물 색채선별기에 적용될 수 있는 영상 시스템 즉, 라인 스캔 CCD(charge coupled device) 카메라를 통해 전송되는 정보를 축적하여 곡물의 영상을 표시하는 영상 가시화 시스템을 구현하고, 이렇게 획득된 영상신호를 처리하여 짧은 시간 내에 수많은 처리 곡물 중에서 곡물의 개체 좌표와 불량부분을 감지해내는 영상처리 기법을 개발하고자 한다. 특히, 개발된 시스템은 FPGA와 DSP를 사용하여 영상 전송 처리 능력을 극대화하여 10 KHz로 샘플링하도록 하였다.

기존의 색채 선별기에서는 지금까지 곡물의 영상가시화 없이 단지 불량부분의 그레이 레벨값을 기준값과 비교하여 분리되도록 하고 있는 실정이다. 그러나 본 연구에서 개발된 시스템은 낙하하는 곡물의 실제 영상

을 가시화할 수 있으며, 불량인 있는 곡물 개체의 중심점(centroid)을 영상 처리 기법으로 정확히 판단하여 불량 개체를 에어 이젝터(air ejector) 공압장치를 사용하여 정확하게 분리 및 제거할 수 있는 장점을 가지고 있다. 영상 시스템의 결과와 연동되어 작동하는 제거 공압장치 부분의 자세한 설명은 본 연구의 영상 가시화 시스템의 부가장치로 본 연구 내용에서 배제하였다.

따라서 본 연구에서는 곡물 색채선별을 위해 개발된 영상처리 시스템의 하드웨어, 영상처리 시스템에 적용된 소프트웨어 및 관련 알고리즘을 포함하고 곡물 선별 실험결과에 대하여 기술하고자 한다.

2. 영상 처리 하드웨어

Fig. 1은 본 연구의 색채선별기에 적용된 영상처리 시스템의 구조도를 보여주고 있다. DSP는 TI사의 TMS320C6416T 고정 소수점 DSP를 사용하였다. 이 DSP는 VLIW(very long instruction word) 구조를 가진 고성능 DSP로 1GHz 클럭 주파수에 32비트 연산을 동시에 8개까지 수행할 수 있으며, 초당 8000 MIPS (million instructions per second)를 처리할 수 있다. 특히, 64개의 범용 레지스터를 가지고 있어 최적의 영상처리 기법을 구현하는 데 활용이 가능하다. 32비트 PCI 버스 인터페이스, 64비트 및 16비트 외부 메모리 인터페이스 및 3개의 McBSP (multi channel buffered serial ports)는 주변 장치와 연결에 용이하다. 또한

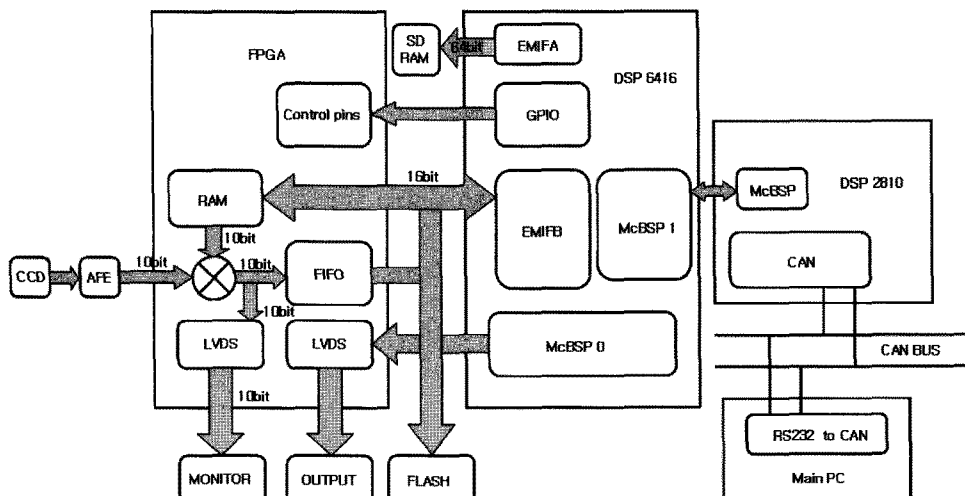


Fig. 1. Architecture of image processing system for a color sorter

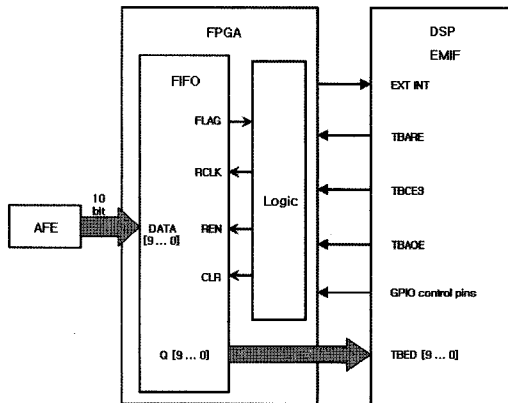


Fig. 2. Schematic diagram of interface between DSP and FPGA

EDMA (enhanced direct memory access) 컨트롤러가 내장되어 있어 CPU의 성능을 저하시키지 않고 메모리의 데이터를 처리할 수 있어 고속 영상 처리를 가능하게 하였다.

메모리는 4 Mbit 플래시 메모리를 채용하여 DSP 프로그램의 펌웨어를 저장하여 시스템 부팅시 로드될 수 있도록 하였고, 이미지 데이터를 처리하기 위해 2개의 64 Mbit SDRAM을 이용하였다. 이미지의 전처리를 위한 여러 가지 파라미터의 저장을 위해 FPGA 내부에 RAM을 설계 배치하였다.

FPGA는 외부 주변 칩들과의 논리 회로 인터페이스 역할과 라인 스캔 CCD 카메라로부터 디지털화된 영상 신호를 전송하기 위한 고속 FIFO (first-in-first-out) 메모리를 구현하였다. FPGA와 DSP는 Fig. 2에서처럼 EMIF(external memory interface)를 사용하여 데이터 전송을 직접 메모리 액세스 방식으로 처리하였다.

개발된 영상처리 시스템은 주제어기와 명령을 교신하면서 수행해야 하므로 CAN (controller area network) 통신 방식으로 접속되도록 하기 위해 제어용 DSP 모듈을 추가로 사용하였다. 영상 처리 결과를 바탕으로 불량 곡물을 분리해 내기 위한 에어 이젝터 솔레노이드 작동 명령을 생성하는데 사용하였다. 전체적인 시스템의 각 역할을 요약하면 다음과 같다.

- FPGA : 라인 스캔 CCD 카메라 영상 획득 및 저장
- DSP6416 : 영상처리
- DSP2810 : 제어명령 및 통신

Fig. 3은 상기의 방식으로 본 연구에서 개발 제작된 영상처리 보드의 모습을 나타내고 있다.

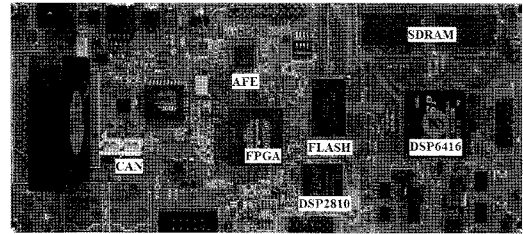


Fig. 3. Layout of developed image processing board

3. 곡물 이미지 가시화 및 영상처리

3.1 곡물 이미지 가시화

Fig. 4는 본 연구의 곡물 개체의 이미지를 측정하는 라인 CCD 센서가 장착된 카메라이다. 특히 이 경우, 색채 선별기에서 낙하하는 곡물 개체의 모든 개체 이미지를 표시함에 있어, 전체 라인 데이터의 손실이 전혀 없이 축적하는 기법이 요구된다. 본 시스템에 구축된 카메라는 2048 픽셀을 한 개의 라인으로 출력하는 카메라로 동작 속도는 40 MHz이다. 이는 최대 스캔 속도가 20 KHz 정도를 의미한다. DSP의 처리능력과 영상 처리를 위한 계산 부담을 고려하여, 초당 10,000번 (10 KHz)의 라인 데이터를 획득하도록 구현하였다.

곡물의 영상을 가시화함에 있어서는 이중 버퍼 (double buffer) 구조를 사용하여 이미지를 생성함과 동시에 새로운 라인 데이터를 전송하는 부분을 분리하여 처리함으로써 영상 데이터의 손실을 방지하였다. 라인 스캔 카메라의 2048 픽셀 영상은 AFE (analog front end)에서 12 비트로 A/D변환이 이루어져 디지털화되고 이는 FPGA의 FIFO 메모리에 저장된다.

저장된 이미지 데이터는 DSP에서 EDMA를 이용하여 DSP 연산처리와 별도로 전송된다. 이중 버퍼 구조에서는 버퍼 A에 일정한 라인수의 이미지 데이터를 먼저 저장하고 이에 대한 영상 처리를 수행한다. 이때, 새로운 영상 데이터는 버퍼 B에 저장된다. 버퍼 A에 저장된 이미지의 영상처리가 끝난 후 다시 버퍼 B에 저장된 이미지에 대하여 영상처리가 이루어지고 이때에는 새로운 영상 데이터가 버퍼 A에 저장되게 된다. 이와 같은 메커니즘을 사용하여 이미지 데이터의 손실이 전혀 없이 라인 데이터를 처리할 수 있게 된다. Fig. 5는 이와 같은 방법으로 획득된 곡물의 개체 이미지의 샘플을 보여주고 있다. 즉, 먼저 고속으로 자유낙하하고 있는 물체의 이미지를 카메라 영상 이미지로 획득

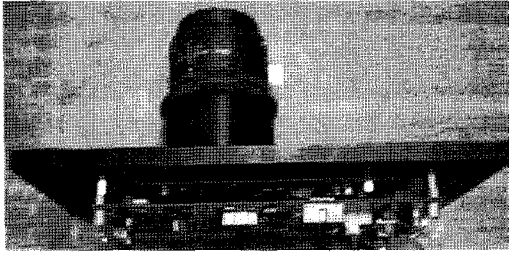


Fig. 4. Picture of line-scan CCD camera system

한 후, 이 영상에 대해 불량 곡물을 판별하는 영상처리 기법을 적용하게 된다.

3.2 불량 개체 감지 및 선별 기법

라인스캔 카메라의 이미지는 카메라 렌즈의 왜곡(distortion)과 각 CCD 소자의 특성에 따라 균일한 반응을 보이도록 보정(calibration)하는 절차가 필요하다. 특히, 색채선별기에서는 좌우측의 밝기가 낮아 중앙으로 볼록한 크기의 반응을 보이게 된다. Fig. 6은 배경 판을 라인 CCD 카메라로 촬영한 데이터 값을 나타낸다. 이를 보정하기 위한 파라미터를 아래와 같이 각 CCD 픽셀별로 값을 설정하여 저장한 후, 이를 곱하여 전체적으로 균일한 반응을 보이도록 하였다.

$$Fac(x) = BG_d / BG(x) \quad (1)$$

$$Level_{cal}(x) = Level(x) / Fac(x) \quad (2)$$

여기에서, $Fac(x)$ 는 각 픽셀별 보정계수를 의미하며

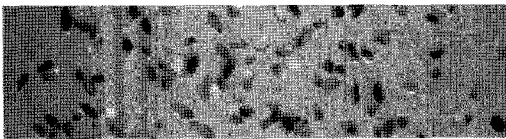


Fig. 5. Visualized grain image by an imaging processing system

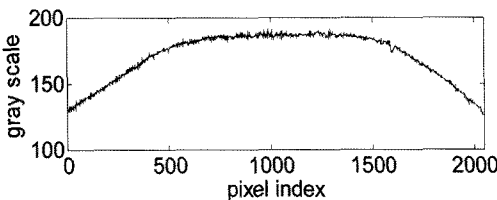


Fig. 6. Variation of background gray level due to lens distortion

, BG_d 는 보정 후 배경의 밝기값 그리고 $BG(x)$ 는 보정하기 전의 각 픽셀별 배경의 밝기값을 의미한다. $Level_{cal}$ 는 낙하하는 곡물을 카메라를 통해 촬영할 때, 식 (1)의 보정계수를 이용하여 보정된 이미지를 나타내고, $Level(x)$ 는 보정하기 전의 원래 이미지의 레벨을 나타낸다.

본 연구의 불량 개체의 선별 기준은 선별해야 할 곡물의 표면에 오점이 있는 경우와 곡물 개체의 크기가 기준 크기 범위를 벗어나는 경우로 설정하여 적용하였다. 곡물 표면의 오점은 정상 개체의 그레이 레벨과 비교하여, 그 차이가 설정값(threshold) 이상인 경우로 구별한다. 이를 위해, 각 이미지 픽셀 값이 정상 범위에 포함되는지 여부를 판단하는 부분과 곡물 개체에 레이블링 기법을 적용하여 개체의 크기를 판단하는 부분으로 구현하였다.

레이블링된 개체 R_i 의 픽셀 수를 N 이라하면, 곡물 개체의 중심 좌표 (m, n) 은 다음과 같이 표현된다.

$$(m, n) = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{(x,y) \in R_i} x, \frac{1}{N} \sum_{(x,y) \in R_i} y \right\} \quad (3)$$

여기서, 곡물의 방향(θ)은 최소 관성 모멘트를 가지는 축의 각도로 정의할 수 있다.

$$argmin I_i(\theta), \quad I_i(\theta) = \sum_{(x,y) \in R_i} [(y-n)\cos\theta - (x-m)\sin\theta]^2 \quad (4)$$

따라서, 위의 식 (4)를 최소화시키는 θ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[\frac{2\mu_{1,1}}{\mu_{2,0} - \mu_{0,2}} \right] \quad (5)$$

여기서 $\mu_{p,q} = \sum_{(x,y) \in R_i} (x-m)^p (y-n)^q$ 는 2차원 모멘트(moment)이다. 이처럼 개체와 가장 유사한 타원을 추론하여 곡물의 형태적 특징을 인식할 수 있다. 타원의 최대 및 최소 관성 모멘트는 타원의 장축길이(a) 및 단축길이(b)를 이용하여 $I_{min} = \frac{\pi}{4} ab^3, I_{max} = \frac{\pi}{4} a^3 b$ 로 표현된다. 또한, 개체의 방향 θ 에 대하여 최대 및 최소 관성 모멘트는

$$I'_{min} = \sum_{(x,y) \in R_i} [(y-n)\cos\theta - (x-m)\sin\theta]^2 \quad (6)$$

$$I'_{max} = \sum_{(x,y) \in R_i} [(y-n)\sin\theta + (x-m)\cos\theta]^2 \quad (7)$$

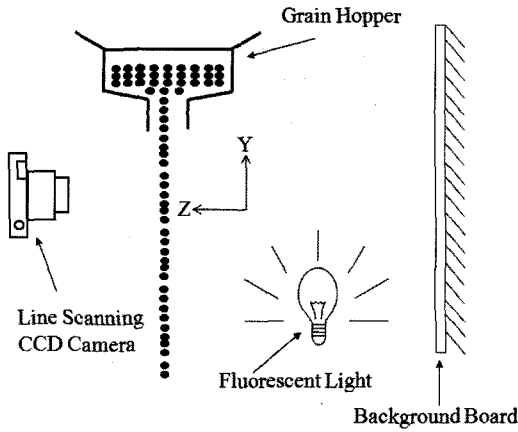


Fig. 7. Schematics of experimental set-up to evaluate image processing system

로 주어지므로, 최적 매칭 타원은 $I_{min} = I_{min}'$, $I_{max} = I_{max}'$ 일 때이다. 따라서, 개체에 대응하는 타원의 장축과 단축의 길이는

$$a = \left(\frac{4}{\pi}\right)^{1/4} \left[\frac{(I_{max}')^3}{I_{min}'}\right]^{1/8} \quad (8)$$

$$b = \left(\frac{4}{\pi}\right)^{1/4} \left[\frac{(I_{min}')^3}{I_{max}'}\right]^{1/8} \quad (9)$$

로 계산된다.

위와 같이 곡물 개체에 대한 영상처리 과정을 통해, 각 개체의 기하학적 특징을 판별하여 사용자가 원하는 선별 기준을 다양하게 적용할 수 있다. 본 시스템에서 적용된 영상처리의 절차는 다음과 같이 수행된다.

- Step 1 : 라인 데이터 입력.
 - Step 2 : 매 픽셀의 값이 곡물 개체 범위에 포함되는지 여부와 불량 기준에 해당되는지 판단.
 - Step 3 : 불량 픽셀 또는 곡물 개체에 해당하면 임시 개체로 등록하며, 인접한 개체끼리 하나의 개체로 구성하고 불량 픽셀인 경우는 불량정보를 기록함.
 - Step 4 : 현재 취득 라인의 처리가 완료되면 임시 개체들을 이전 라인의 개체와 위치 비교를 통해 기준 거리 미만이면 개체를 합하고 그렇지 않으면 새로운 개체로 등록.
 - Step 5 : 이전 라인의 개체 중 새로운 개체가 더해지지 않은 경우 최종적인 개체로 인식하고 개체의 중심을 구하여 중심 좌표로 설정.
 - Step 6 : 개체 중 불량 픽셀 정보가 있는 경우, 선별을 위해 에어 이젝터 제어 명령을 생성.
- 영상의 촬영시점과 계산완료 시점은 5 msec 이내에 이루어지며, 매 5 msec마다 에어 이젝터의 동작 명령이 발생한다. 영상 촬영부분과 에어 이젝터 사이의 거리를 이용하여, 영상처리 시간을 확보하며, 시스템 동작시 초기 설정에서 정확한 시간 지연 정도를 조절한다.

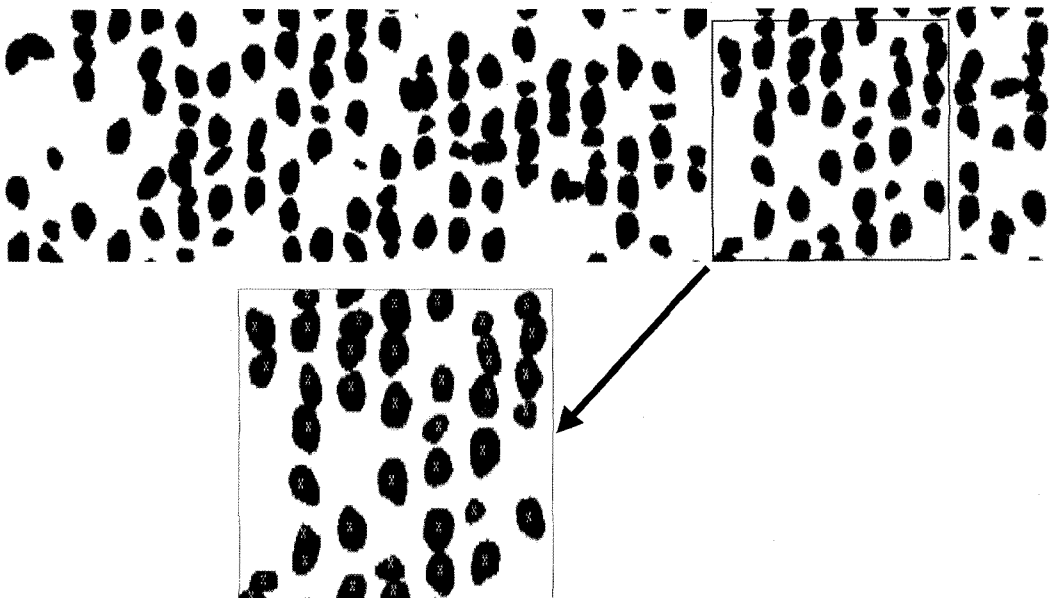


Fig. 8. Captured grain image and object centroid labeling with x-mark to be sorted by air ejector

4. 결과 및 고찰

Fig. 7은 본 연구에서 구축한 영상 시스템을 사용하여 곡물 개체 선별의 검증을 위한 실험 장치의 개략도를 나타낸다. 먼저 상부의 곡물 입력부인 피더(feeder)를 통해 곡물 낙하 출구 부분인 슈트(chute)를 따라 곡물이 자유낙하하게 되고, 이러한 슈트의 끝부분에서부터 곡물의 뒷 부분에 배경판을 설치하고 라인 스캔 카메라를 사용하여 곡물의 이미지를 취득하게 된다. 형광 전구는 선별하고자하는 곡물의 종류에 따라 특정한 색의 형광등을 사용하는데, 쌀알의 선별에서는 청색 형광등을 사용하였고 이는 곡물 선별의 경험에 의해 결정된다.

불량 곡물을 선별하여 제거되는 지점까지의 거리는 슈트 출구로부터 약 $L=60\text{ cm}$ 정도이며, 곡물의 자유낙하 속도는 중력만 작용한다고 가정할 경우, 약 $V_f=3.0\text{ m/s}$ 정도이다. 따라서 낙하하는 곡물의 평균 단축직경 $d_m=2.5\text{ mm}$ 에 기초한 레이놀즈수는 약 $Re=500$ 으로 외부 유동장은 층류에 해당된다.⁽¹¹⁾ Fig. 8은 자유낙하 하고 있는 곡물의 이미지를 취득하여 영상 처리한 결과를 보여주고 있다. 이러한 라인 스캔된 입자 영상들의 실시간 데이터를 기초로 각 곡물 개체가 차지하는 픽셀 개수(크기) 및 불량 색채 픽셀 개수를 선별하여 곡물을 선별해 낼 수 있게 된다.

Table 1은 Fig. 8의 취득된 영상에서 곡물 개체 크기의 판별과 불량 픽셀의 존재를 확인한 결과를 나타낸 표이다. 각 해당 개체의 중심좌표를 가로축(X축)과 세로축(Y)축 픽셀값으로 표시하였다. 이에 대한 중심점은 Fig. 8의 확대된 이미지 영상내에서 'X'자로 표시가 되어 있다. 오점은 곡물의 표면에 흠집 또는 표면색이 다른 경우인데, Fig. 8에서 상대적으로 어둡게 보이는 부분이 오점인 경우에 해당한다. 쌀알의 흰색 부분은 형광 빛의 투과가 잘 되지 않아 영상에서 어둡게 나타나게 되며, 이러한 쌀알도 오점이 있는 불량 곡물이 된다. Table 2는 쌀알을 타원체로 가정하고, 식(5), 식(8), 식(9)를 적용하여 계산한 타원의 기하학적인 파라미터를 계산한 결과이다.

또한, 이러한 구축된 영상처리 기법의 적용 및 검증을 위하여 인공적인 배율로 조합된 곡물에 대하여 양품 선별 성공률 검증에 대한 실험을 수행하였다. Table 3은 곡물 시료중 양품의 비율이 56%이고 불량품 비율이 44%가 되도록 인공적인 배합으로 구성된 가혹한

Table 1. Evaluated grain information from image processing system

No	곡물크기 (pixel)	불량부위 크기 (pixel)	평균 그레이 레벨	곡물 중심점 좌표
1	6	0	394	(715,1)
2	13	0	351	(281,1)
3	23	0	345	(446,1)
4	15	0	362	(771,1)
5	19	0	306	(985,1)
6	16	0	425	(851,2)
7	33	0	404	(932,2)
8	50	4	251	(1203,2)
9	68	0	346	(737,2)
10	53	0	353	(1093,2)
...

조건인 곡물에 대하여 곡물 선별 시험을 실시한 결과를 보여주고 있다.

그 결과 각기 분리된 양품과 불량품에서, 양품 내 불량량의 비율은 4% 미만이었으며, 불량품 내 양품의 비율은 17% 이내로 나타나 어려운 조건 상태에서도 우수한 영상 처리 기법이 잘 적용되고 있음을 알 수 있었다. 양품 내 불량량의 비율은 양품에 포함된 불량 곡물의 비율을 나타내는 것으로 양품의 판단 오차를 의미한다. 그리고, 불량품 내 양품의 비율은 불량품의 판단 오차로, 색채선별기의 성능을 결정하는 중요 요소 중 하나이다. 불량품내 양품의 비율이 양품내 불량품의 비율보다 높은 이유는 1차 선별에서 최상의 양품을 우선 선별하고, 다시 2차 선별의 과정을 거치므로, 불량품내 양품의 비율이 높게 된다. 기존 색채선별기가 불량품 내 양품 비율이 20% 이상인 것에 대비하여 우수한 실험 결과를 나타내었다.

특히, 일반적인 색채 선별기에 사용되는 곡물시료에 포함되어져 있는 불량품의 비율은 낮은 편이므로 본 연구에서 구축한 영상 처리 시스템을 탑재하여 처리한 결과, 양품 중 불량량의 비율이 1% 미만으로 나타남을 확인할 수 있었다.

따라서, 상기와 같은 개발된 영상처리 기법을 통해 곡물 개체의 각 중심점을 정확히 검출하여 효과적인 곡물의 분리 성능을 이룰 수 있게 되었으며, 고속으로 낙하하는 물체의 영상을 가시화 하여 향후 다양한 활용 분야에 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나, 곡물이 겹쳐진 경우는 곡물의 중심 좌표가 겹쳐진 곡물 전체의 중심으로 계산된다. 실시간 영상처리의 제한시

Table 2. Geometric calculation of rice grains

No	방향(θ) [rad]	장축(a) [pixels]	단축(b) [pixels]
1	0.2037	10.2	6.39
2	0.1711	14.31	9.45
3	0.1086	15.17	9.69
4	0.1127	8.86	7.06
5	-0.1973	12.73	9.09
6	-0.496	10.23	7.23

Table 3. Color sorting success rate at severe grain combination condition

구분	선별된 양품	선별된 불량품
양품 비율 (%)	96.3	16.5
불량 비율 (%)	3.7	83.5

간으로 본 연구에서는 중첩 곡물의 분리에 대해서는 더 이상 처리할 수 없었으므로, 곡물의 중첩이 많은 경우에는 오차 발생으로 선별기능의 저하가 있을 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 현재 상용화되어 사용되고 있는 곡물 색채선별기에 적용 가능한 영상처리기법과 시스템을 개발하고 검증 실험을 수행하였다. 먼저 고속으로 낙하는 곡물 물체를 라인 스캔 CCD 카메라를 통하여 라인 이미지를 축적하여 사용자에게 가시화하고, 각 개체의 중심점과 불량 정도를 판독할 수 있도록 하였다. 실시간 영상 처리 및 표시를 위해 DSP와 FPGA를 이용한 임베디드 시스템으로 개발하여 영상 이미지 고도 처리 알고리즘을 적용 및 향상된 기법을 제시하였다. 실험결과 기존의 단순 불량 레벨 비교에 의한 선별 방법보다 매우 우수한 선별율을 나타내었으며, 향후 다양한 곡물의 종류 변화에 따른 불량품 선별에 개발된 영상 가시화 기법을 응용 및 적용하고자 한다.

기호설명

a : length of major axis [mm]
 b : length of major axis [mm]
 d_m : average minor diameter of grain [mm]
 I_i : moment of inertia [mm⁴]
 L : free fall distance [mm]
 N : Number of pixel

Re : Reynolds number

V_f : free fall velocity of grain [m/s]

θ : object inclination angle [rad]

후 기

본 연구는 중소기업 기술혁신개발 사업(2007) 및 경북대학교 디지털메카트로닉스융합기술인력양성사업단의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

- 1) Ierodiaconou S. P., Dahnoun N. and Xu L. Q., 2006, "Implementation and Optimization of a Video Object Segmentation Algorithm on an Embedded DSP Platform," Proc. Crime and Security 2006 The Inst. of Eng. and Tech. Conf., pp. 432~437.
- 2) Lim B., Jung K., Khil T. and Yoon Y., 2004, "Drop-let Size Measurement Using Image Processing Method", J. KSV, Vol. 2(1), pp. 25~31.
- 3) Vivas C., Ortega J. G. and Vargas M., 1999, "Parallel DSP Based Implementation of an Automated Visual Quality Inspection System," Proc. IEEE Int. Conf. Emerging Tech. and Factory Autom., Vol. 1, pp. 743~749.
- 4) Murphy P., Bharadwaj V., Welsh E. and Frantz J. P., 2002, "A DSP-Based Platform for Wireless Video Compression," Global Telecommun. Conf., Vol. 2, pp. 1754~1758.
- 5) Birla M. K., 2006, "FPGA Based Reconfigurable Platform for Complex Image Processing," Proc. IEEE Int. Conf. Electro/Info. Tech., pp. 204~209.
- 6) Gorgon M. and Przybylo J., 2001, "FPGA Based Controller for Heterogenous Image Processing System," Proc. Digital Systems Design, Euromicro Symp., Warsaw, Poland, pp. 453~457.
- 7) Vega-Rodriguez M. A., Sanchez-Perez J. M. and Gomez-Pulido J. A., 2001, "Real Time Image Processing with Reconfigurable Hardware," Proc. IEEE Int. Conf. Electronics, Circuits and Systems, Vol. 1, pp. 213~216.
- 8) Baumgarthner D., Rossler P. and Kubingger W., 2007, "Performance Benchmark of DSP and FPGA Implementations of Low-Level Vision Algorithms," Proc. CVPR '07. IEEE Conf., pp. 1~8.

- 9) Zhang L. W., Dehqhani A., Su Z. W., King T., Greenwood B. and Levesley M., 2005, "Development of a Mechatronic Sorting System for Removing Contaminants from Wool," IEEE/ASME Trans. Mechatronics, pp. 297~304.
- 10) Takeda F., Uchida H., Tsuzuki T., Kadota H. and Shimanouchi S., 2002, "A Proposal of Grading System for Fallen Rice Using Neural Network," Proc. IJCNN '02 Int. Joint Conf., pp. 709~714.
- 11) White F. M., 1986, Fluid Mechanics, McGraw-Hill Inc., New York, pp. 245~286.