

# 대두의 자동 선별을 위한 컬러 기계시각장치의 설계

## Design of a Color Machine Vision System for the Automatic Sorting of Soybeans

김태호, 문창수, 박수우, 정원교, 도용태

대구대학교 정보통신공학과 전화:(053)850-4425, 팩스:(053)850-6619, E-mail:bampoo@daegu.ac.kr,  
man100sung@airobot.taegu.ac.kr, swpark@airobot.taegu.ac.kr, wkjeong@daegu.ac.kr, ytdo@daegu.ac.kr

**Abstract :** This paper describes the structure, operation, image processing, and decision making techniques of a color machine vision system designed for the automatic sorting of soybeans. The system consists of feeder, conveyor belt, line-scan camera, lights, ejector, and a PC. Unlike manufactured goods, agricultural products including soybeans have quite uneven features. The criteria for sorting good and bad beans also vary depending on inspectors. We tackle these problem by letting the system learn the inspecting parameters from good samples selected manually by a machine user before running the system for sorting. Real-time processing has another importance in the design. Four parallel DSPs are employed to increase the processing speed. When the designed system was tested with real soybeans and the result was successful.

**Keywords :** machine vision, color line-scan camera, resolution, soybean sorting

### 1. 서 론

소득의 증대와 농산물의 잉여생산으로 인하여, 소비자들은 품질 좋은 농산물을 선택하려는 경향이 두드러지는 추세에 있다. 따라서 농산물의 생산자나 판매자는 출하에 앞서 양·불량품을 선별하거나 품질의 고저를 검사하는 과정을 거치고 있으며, 공산품의 예제와 같이 분류 및 검사과정의 자동화가 점차 확대되는 추세에 있다. 또한 공산품과는 달리 농산품은 규격이나 특성이 불균일하고, 양·불량의 판단이 검사자에 의존적이어서 이를 고려한 시스템의 설계가 필요하다.

현재 농산물의 선별을 위한 기계 시각장치들은 주로 꺾, 감자, 사과 등을 대상으로 고안되었다[1,2]. 이런 과일이나 채소는 본 논문에서 대상으로 하는 콩과 비교하여 모양이나, 크기, 질량, 색도, 수량 등 검사의 특성에 현격한 차이가 있다. 특히 질량의 경우, 콩은 훨씬 가벼워서 공압을 사용하여 떨어지는 시료를 붙어냄으로서 간단히 선별할 수 있다. 그러나 과일과 같은 대상체는 이런 방식을 채용하기에는 힘들고, 떨어질 때 손상될 수 있어 상품가치가 하락하는 문제가 있다. 또 처리수량이 비교적 적어서 2차원 정지영상 처리 기법에 의해 색상이나 형태를 분석하거나, 근적외선 분광 분석법 등을 이용하여 당도나 산도같은 시료의 내부적인 특성을 비파괴적으로 측정할 수 있는 장치들이 많이 연구되어지고 있다. 이에 비해 콩의 경우는 수량이 많으므로 실시간 처리기법이 중요하다.

본 논문에서 설계된 시스템의 구조는 GM(General

Motors)의 Consight[3]와 유사하다. 즉, 벨트컨베이어로 시료를 이송한 후, 컨베이어의 종단에서 낙하하는 대두의 영상을 컬러 라인스캔(line-scan) 카메라와 배후조명(back-lighting)을 사용하여 얻는다. 양·불량의 판정은 획득 영상 내 R,G,B 히스토그램의 분포를 이용하여 행하여졌고, 불량으로 판정된 콩의 경우 공압을 이용하여 추출한다. 그림 1은 설계된 대두 선별 장치의 전체 구조를 보여준다.

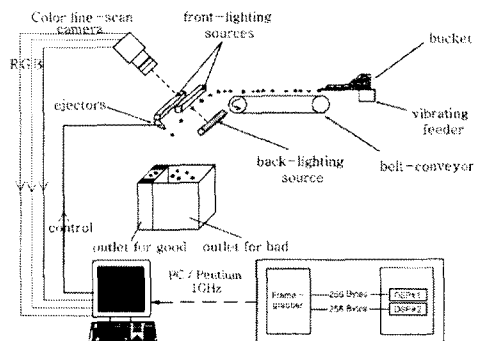


그림 1. 설계된 대두 검사 장치의 구조  
Fig. 1. The schematic diagram of the soybean sorting system designed

## II. 검사용 시각 장치의 설계

주어진 작업 목표에 적절한 카메라 장치를 구성하는 것은 기계시각 장치의 설계에 있어 가장 기본이 되는 절차이다. 구체적으로 카메라의 선택, FOV(Field of view) 또는 LOV(Line of view)와 해상도(resolution)의 결정, 렌즈 선정, 조명기법 결정, 프레임그래버(frame grabber) 선정 등은 이후 시각장치의 특성에 중요한 영향을 미친다[4]. 본 논문에서는 컬러 라인스캔 카메라를 선택하고, 벨트컨베이어의 종단에서 떨어지는 대두의 영상을 획득하도록 설계하였으므로 벨트컨베이어 종단 폭을 기준으로 LOV를 결정할 수가 있다. 우리가 제작하는 시스템의 경우 벨트컨베이어 종단부의 폭은 220mm로 하였고, 이송장치의 기계적 오차( $L_e$ )를 양쪽 가장자리에 각  $\pm 5\text{mm}$ ( $L_e=10\text{mm}$ )로 가정하고 카메라의 허용오차( $P_e$ )는 10%(식(1)에서는 0.1)로 하면, 다음 식(1)로부터 253mm의 LOV가 계산된다. 단,  $D_s$ 는 벨트컨베이어 종단 폭이다.

$$LOV = (D_s + L_e)(1 + P_e) \quad (1)$$

기계 시각장치에 의한 선별에 있어 해상도는 중요한 요소이다. 이는 시스템의 신뢰성을 나타낼 뿐만 아니라 카메라 선정의 기준이 된다. 본 논문의 시스템에서는 검사 대상물의 특징 해상도( $R_f$ )를 0.5mm로 두었고, 최소 크기의 특징에 걸치는 픽셀들의 수( $F_p$ )를 4 pixels로 하였다. 식(2)를 사용하면 공간 해상도( $R_s$ )는 0.125mm/pixel로 구할 수 있다. 이것을 식(3)에 이용하면 이미지 해상도( $R_i$ )는 2024pixels이 된다. 단, 식에서  $R_i$ 는 검출 가능한 최소 대두 결함의 크기이다.

$$R_s = R_f / F_p \quad (2)$$

$$R_i = LOV / R_s \quad (3)$$

카메라 선택의 다음 단계로 렌즈를 선정하였다. 렌즈의 배율( $M_i$ )는 카메라 CCD 셀의 전체길이( $H_i$ )를 LOV로 나누어 얻을 수 있는데, 우리의 경우  $H_i = 29\text{mm}$ (Basler L301bc)이므로  $M_i = 0.0143$ 가 된다. 이제 식(1)에서 구한 LOV와 식(3)에서 구한  $R_i$ 를 사용하여 렌즈의 초점거리( $F$ )를 정할 수가 있다. 검사 대상물인 대두와 카메라와의 거리( $D_o$ )를 약 500mm정도로 하면,  $F$ 는 아래 식(4)에서 약 51mm를 얻는다.

$$F = (D_o * M_i) / (1 + M_i) \quad (4)$$

그러나 실제로는 51mm의 렌즈는 존재하지 않으므로 가장 근접한 50mm렌즈를 사용하면, 이 때 물체와의 거리( $D_o$ )는 486mm로 조정할 것이 요구된다. 이상과

같이 결정된 파라미터로부터 카메라 시스템의 구조는 그림 2와 같다.

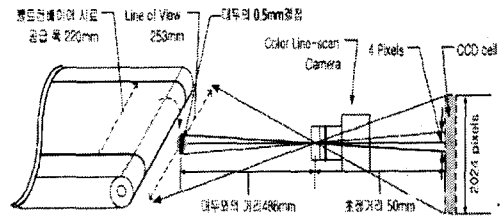


그림 2. 카메라 장치의 구성  
Fig. 2. Camera system structure

카메라의 1차원 라인 영상에서 대두와 배경을 쉽게 분리할 수 있도록 배후조명을 사용하였다. 적절한 노출시간과 조명의 조정을 통해 그림 3(a)의 히스토그램에서 볼 수 있듯이 배경 영역 화소값인 255와 이보다 어두운 대두 영상의 영역이 확연하게 구분되어진다. 라인 영상을 추적하면 2차원 영상을 얻을 수 있는데, 그림 3(b)는 128개의 라인으로 구성된 대두 영상의 예를 보여준다.

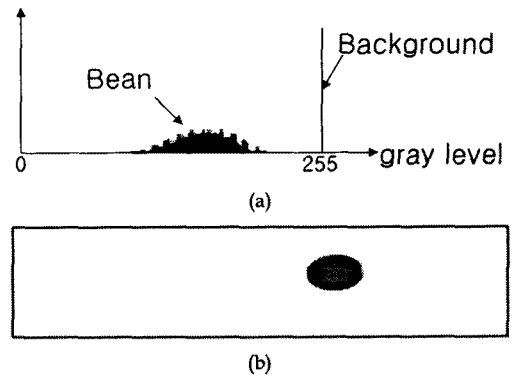


그림 3. 획득한 영상의 예  
(a) 라인영상의 히스토그램,  
(b) 다수 라인영상으로부터 얻은 2차원 영상

Fig. 3. Example of obtained image

- (a) Histogram of a line image,
- (b) 2D image resulted from multiple line images

## III. 컬러 영상을 이용한 대두의 양·불량 판정

우리는 콩의 선별을 위해 흑색의 라인스캔 카메라를 사용한 장치를 설계한 바 있다[5]. 이 경우 미세한 색상의 차이는 구분할 수 없는 문제가 발견되었으므로, 이의 해결을 위해 필연적으로 컬러 영상의 사용이 제안된다.

R,G,B 영상을 사용하여 컬러 영상을 구성할 때는 그

림 4에서 볼 수 있듯이 R,G,B 각 채널의 영상이 공간적 오차를 가지게 됨이 발견되는데, 이는 컬러 라인스캔 카메라의 R,G,B 각각의 CCD 셀 배치가 일정간격으로 떨어져 있기 때문이다. 따라서 획득된 영상 데이터로부터 이러한 오차를 없애기 위한 방법으로 공간적 보상(spatial correction)의 절차가 전 단계로 필요할 수 있다.



그림 4. R,G,B 영상의 공간상 불일치와 보상  
Fig. 4. Spatial mismatch of R,G,B images and correction

본 논문에서는 불확실한 공간적 보상을 하지 않고 R,G,B 각 채널에서 얻어지는 단색 이미지의 히스토그램 분석을 통해서 대두의 양·불량을 선별하였다. 즉, 양품의 대두들이 일반적으로 가지는 히스토그램의 형태와 어떤 정도 이상 다른 히스토그램을 가지는 시료는 불량이라고 판정할 수 있다. 단, 대두와 같은 농산품에서 양·불량의 판정기준은 기정되어 있지 않고, 선별작업을 수행하는 사람 나름의 기준에 따르는 것이 최선이다. 이에 본 연구에서는 시스템 사용자가 자신의 기준에 따라 선택한 양품의 대두 히스토그램 특성을 시스템이 학습하여 선별의 파라미터로 사용하도록 하였다. 다만 시스템의 분석을 위하여, 양품 외 불량의 종류를 아래 세 가지로 구분하고 이를 실험에 사용하였다. 그림 5는 각 유형에 속하는 대두의 예를 보여준다.

- Good Soybean Class(GSC) : 양품
- Bad Soybean Class(BSC1) : 부분변색
- Bad Soybean Class(BSC2) : 전체변색
- Bad Soybean Class(BSC3) : 표면변형

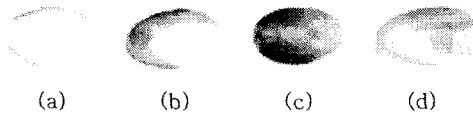


그림 5. 대두의 분류: (a)양품, (b) 부분변색, (c)전체변색, (d)표면변형

Fig 5. Classification of soybeans:

(a)GSC, (b)BSC1, (c)BSC2, (d)BSC3

GSC로 분류된 대두 영상을 이용하여 R,G,B 각 채널에서의 대두의 크기와 히스토그램을 구한 후, 아래의

식(5)를 이용하여 히스토그램의 크기를 정규화한다.

$$H_{normal}(i) = H(i) / \left( \sum_{k=0}^{255} H(k) \right) \quad (5)$$

여기서  $H(i)$ 는 히스토그램에서  $i$ 의 그레이 값(gray level)을 가지는 화소 수이다. N개의 GSC 시료에 대해서 각각 정규화된 히스토그램을 구한 후 아래 식(6)에 의해서 이의 평균을 구한다.

$$H_{avg}(i) = \left( \sum_{n=0}^N H_{normal}(i)_n \right) / N \quad (6)$$

실험 결과 양·불량의 판정은 주로 어두운 쪽, 즉 히스토그램에서 낮은 쪽 화소들에 의해 결정되어졌다. 우리는 시스템 사용자가 나름의 기준에 의해 선별한 양품 대두들에서 얻은  $H_{avg}$ 에서 어두운 쪽의 화소가 처음 나타나는 그레이 레벨을 초기 임계치로 설정하였다. 이제 시스템은 이 임계치를 사용하여 선별작업을 수행할 수 있다. 다만 사용자의 필요에 의해 임계치는 초기치의 근방에서 이동할 수 있도록 허용하였다. 그림 6은 분류된 대두의 R,G,B 히스토그램과 임계치가 적용한 예를 보여준다. 여기서 BSC3형은 조사되지 않았는데, 그 이유는 표면의 기하학적 모양에 의한 불량은 본 논문에서 다루고 있는 단순한 히스토그램 분석 방법으로는 선별되기 곤란하기 때문이다. BSC3형의 불량에 대해서는 우리가 이미 흑백의 영상을 이용한 선별법에서 제안한 바 있는 라인영상 밝기의 영상분석법[5]을 이용하는 것이 유용하다.

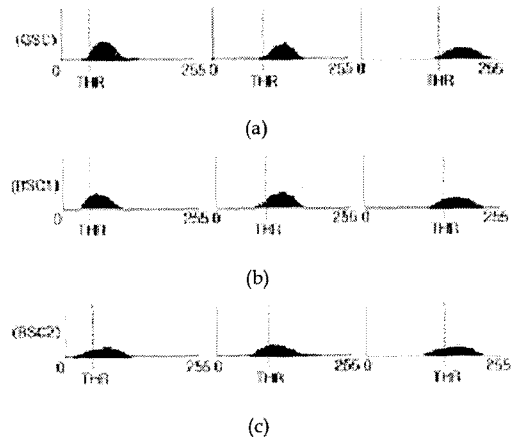


그림 6. 분류된 대두의 히스토그램 예:

(a)GSC, (b)BSC1, (c)BSC2

Fig. 6. Histogram examples of classified beans:

(a)GSC, (b)BSC1, (c)BSC2

#### IV. 실험

우선 실제 설치된 카메라 장치가 II장에서 계산된 특징을 가지는지 확인하였다. 그림 7과 같이 2mm 간격의 수직선을 대두의 관측위치에 두고 그 영상을 획득했다. 관측된 선간 간격은 16pixels이었고, 이는 우리가 의도한 공간해상도와 일치하였다.

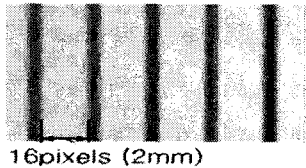


그림 7. 해상도를 확인하기 위한 시험영상  
Fig. 7. Test image for checking resolution

설계된 장치를 실제 대두 선별작업에 활용하여 보았다. 특히 시스템 사용자의 기준에 의존하여 설정되는 임계치를 이용한 선별의 효율성을 점검하기 위해서, 3명의 다른 사람이 각각 양품의 대두를 100개씩 고른 후, 이로부터 시스템이 임계치를 각각 다르게 결정하게 하였다. 또 각각 100개씩의 임계치 결정에 사용되지 않은 양품과 불량 유형의 콩들을 골라 그 선별 결과를 확인하였다. 표 1에서 볼 수 있듯이, 설계된 시스템은 각자의 기준을 대체로 만족하는 결과를 보였다.

표 1. 세 명의 다른 사람의 기준에 의한 시스템의 선별 결과

Table 1. The sorting results by the system with different criteria of three different people

분류	양품	불량품	선별율(%)
GSC	100	0	100
BSC1	1	99	99
BSC2	7	93	93

(a) R=68, G=139, B=154

분류	양품	불량품	선별율(%)
GSC	97	3	97
BSC1	0	100	100
BSC2	4	96	96

(b) R=70, G=139, B=154

분류	양품	불량품	선별율(%)
GSC	94	6	94
BSC1	1	99	99
BSC2	1	99	99

(c) R=70, G=135, B=158

#### V. 결론

양·불량의 대두를 자동 선별하기 위한 장치가 설계되고 시험되었다. 벨트 컨베이어에 의해 이송된 대두들의 영상을 라인스캔 카메라가 획득하고, 이를 해석하여 선별을 행하도록 하였다. 카메라 장치는 요구되는 조건에 맞도록 구성되었고, 컬러 라인스캔 카메라를 사용하여 이전의 흑백 선별장치에서 처리하기 곤란했던 미세한 색상의 변화까지 구분할 수 있었다. 대두와 같은 농산물은 그 양·불량의 판정기준이 사람마다 상이하므로, 본 장치는 이를 수용할 수 있도록 판정의 임계치를 장치의 설계과정에서 기정하지 않고, 사용자의 초기 운용과정 중에 결정되도록 하였다. 이러한 방식은 실제 실험에서 그 유용함이 증명되었다.

#### 참고 문헌

- [1] 최연호, 권우현, "컬러 영상의 경계추적에 의한 윤곽선 인식이 적용된 글 선별시스템", 센서학회지 11권 2호, pp. 27-35, 2002.
- [2] 이강진 외, 근적외선을 이용한 과일 비파괴 품질판정기술 개발, 농업기계화 연구소 농업기계화 시험연구 보고서, pp. 109-169, 1998.
- [3] R. D. Baumann and D. A. Wilmshurst, "Vision system sorts casting at general motors canada", Robot Vision, A. Pugh(Ed.), pp. 255-266, IFS Ltd., Berlin, 1983.
- [4] P. West, "A roadmap for building a machine vision system", Automated Vision Systems, Inc. Tech. note.
- [5] T. Kim, Y. Seo, Y. Do "Real time inspection of beans using a line-scan camera", Proc. M2VIP 2002, pp. 194-199, 2002.