

영상처리에 의한 계란의 파란 검출 및 선별

조한근 · 권 양 · 조성구¹
충북대학교 농업기계공학과

Crack Detection and Sorting of Eggs by Image Processing

H. K. Cho, Y. Kwon and S. K. Cho¹

Department of Agricultural Machinery Engineering,
Chungbuk National University,
Cheongju, Chungbuk, Korea 361-763

ABSTRACT

A computer vision system was built to generate images of a single, stationary egg. This system includes a CCD camera, a frame grabber, and incandescent back lighting system. Image processing algorithms were developed to inspect egg shell and to sort eggs.

Those values of both gray level and area of dark spots in the egg image were used as criteria to detect holes in egg and those values of both area and roundness of dark spots in the egg image were used to detect cracks in egg. For a sample of 300 eggs, this system was able to correctly analyze an egg for the presence of a defect 97.5% of the time.

The weights of eggs were found to be linear to both the projected area and the perimeter of eggs viewed from above. Those two values were used as criteria to sort eggs. The coefficients of determination(r^2) for the regression equations between weights and those two values were 0.967 and 0.972 in the two sets of experiment. Accuracies in grading were found to be 95.6% and 96.7% as compared with results from sizing by electronic weight scale.

(Key words : image processing, egg shell inspection , automatic sorting of eggs)

서 론

국내의 양계산업은 세계 자유무역 체제에서 수입 개방에 대응할 수 있는 잠재력을 갖고 있다. 그러나 현재의 사양 관리 및 경영 방식으로는 생산비 면에서 경쟁력이 미약한 실정이다. 국내 양계산물의 국제적 경쟁력을 증대시키려면, 첫째, 효율적 생산체계의 확립을 통한 저원가의 대량생산 능력을 갖추어야 하고, 둘째, 아직도 개선이 미흡한 양계 산물의 품질을 국제수준

으로 향상시켜야 할 것이다. 최근에 계란생산을 위한 자동화 설비의 보급이 확대되므로서 생산에서 포장까지 계란에 가해지는 외부 충격량이 인력생산의 경우에 비해 증가하기 때문에 파란도 증가하고 있다. 파란이 포함된 계란을 포장, 수송하는 경우에 동일 포장 상품의 품질저하를 초래할 뿐만 아니라, 계란의 신선도 유지에 막대한 영향을 준다. 계란에 발생하는 파란율은 시설이 좋은 미국의 경우 산란 케이지로부터 시장 유통시까지의 평균 파란율과 그 범위는 연구자별로 다양하게 발표된 바 있다. Eggleton과 Ross (1977)는

¹ 충북대학교 축산학과(Department of Animal Science, Chungbuk National University)

19%, Bezpa 등 (1972)은 11.3%, (0.8~40.0)%, Bramhall 등(1973)은 6.5%, (2.1~11.3)%, Johnston과 Ernst (1975)는 11.4%, (1.7~34.9)%, Roland (1978)는 5% 및 Berry (1976)는 18.6%, (2~7.5)%로 각각 보고하였다(하정기 등, 1994). 따라서 파란의 검사는 계란생산에 있어서 중요한 작업 과정이다. 현재 사용되고 있는 검란방법은 전등에 의한 육안 검사 방법으로서 검사자의 숙련도를 필요로 하고, 지속적인 주의 집중이 요구되어 피로에 의한 오판 가능성이 높다. 선진국의 경우에 오판율이 10%에서 20%에 달하고 있어서 기계화의 필요성이 증대되어 왔다(Elster와 Goodrum, 1991).

최근 전자산업의 발달로 컴퓨터 시각을 이용한 선별 장치가 인력에 의한 농산물의 선별을 대체할 수 있는 유용한 장치로 부각되고 있으며 이에 관한 연구가 활발히 추진되고 있다. 영상처리방법에 의한 검란 자동화는 실현 가능성이 매우 높은 것으로 보고되었다(Elster와 Goodrum, 1992). 영상처리에 의해 검란을 하는 경우, 소프트웨어의 추가만으로 기존의 중량에 의한 선별을 대체할 수 있다. 영상처리의 이점은 비접촉 방법이므로 중량선별에 비해 계란에 가해지는 충격을 줄일 수 있고, 별도의 중량선별 장치가 필요 없게 된다. 국내의 경우 컴퓨터 시각을 이용한 파란 검출 및 선별에 관한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 파란검출과 선별작업에 컴퓨터 시각의 이용 가능성을 조사하기 위하여 다음과 같은 세부적인 목적을 갖는다.

- 1) 컴퓨터 시각을 이용하여 난각을 검사하고 계란을 선별하기 위한 실험용 검사 시스템을 구성한다.
- 2) 계란의 파란 검출에 적합한 알고리즘(algorithm)을 개발하고 컴퓨터 프로그램을 작성한다.
- 3) 카메라에 의한 투영면적 및 둘레 측정으로 계란을 선별하기 위해 계란의 투영면적 및 둘레와 중량과의 상관관계를 조사한다.
- 4) 표본 계란을 이용하여 알고리즘의 성능을 분석한다.

재료 및 방법

컴퓨터 영상 처리 하드웨어 및 기본 소프트웨어를

구성하고, 표면결함을 판별할 수 있는 최적의 조명조건을 조사하고, 파란 검출과 계란 선별에 적합한 알고리즘을 개발한 후, 표본 계란을 이용하여 알고리즘의 성능을 분석하였다.

1. 실험 장치

본 연구에 사용된 컴퓨터 시각 시스템은 주 컴퓨터, 흑백영상처리보드, 영상 출력장치, 영상 입력장치 및 조명 장치로 구성되어 있다. 외부 광원의 유입을 방지하기 위하여 CCD(Charge Coupled Device) 카메라와 시료관을 형경으로 만든 차광막으로 덮었다. Figure 1은 본 연구에 사용된 영상처리 시스템과 조명 장치의 개략도이며 Table 1은 시스템을 구성하는 장치들의 사양을 나타낸다.

2. 공시 재료

공시 재료로는 완전 자동화된 무창계사 시설을 갖춘 청운 농장(충북 음성군 생극면 소재)에서 생산된 계란(하이라인 W-77품종)과 반자동 시설을 갖춘 제일 양계장(충북 괴산군 괴산읍 소재)에서 생산된 계란(데칼브와렌 품종), 그리고 일반 슈퍼 소매점에서 구입(품종 미상)한 계란들을 사용하였다.

3. 검란 및 선별 알고리즘

알고리즘 설계의 기본 개념은 운전자의 도움없이 선별 및 검란을 위한 모든 단계가 자동으로 진행되도록

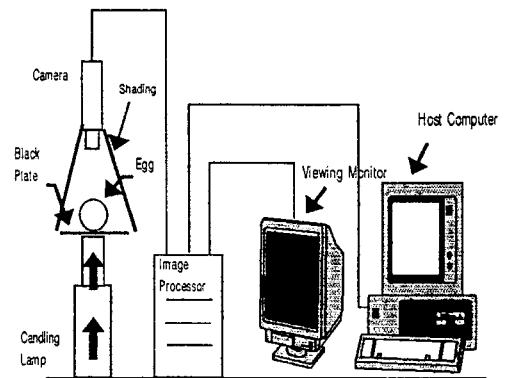


Figure 1. Schematic diagram of computer vision system with light.

Table 1. Specification of equipment

Elements	Specification
Main computer	IBM-AT486DX2(50MHz)
Main storage	8 MB
Auxiliary storage	503 MB, 324 MB
Frame grabber	DT-2855 (Monochrome)
Output unit	12" Monochrome
Input unit	CCD Camera(Mono)
Lens	Focal length 12 mm (C-mount Type)
Lighting device	Incandescent lamp, Back lighting

록 하였다. 모든 영상 처리는 시간 절약을 위하여 전체 영상중 계란의 영상 부분에 국한하여 수행하였다. 흑백 영상 처리를 이용하여 영상 입력으로부터 파란의 검출과 계란의 크기 측정에 의한 선별을 하기 위한 전체적인 알고리즘을 흐름도로 나타내면 Figure 2와 같다.

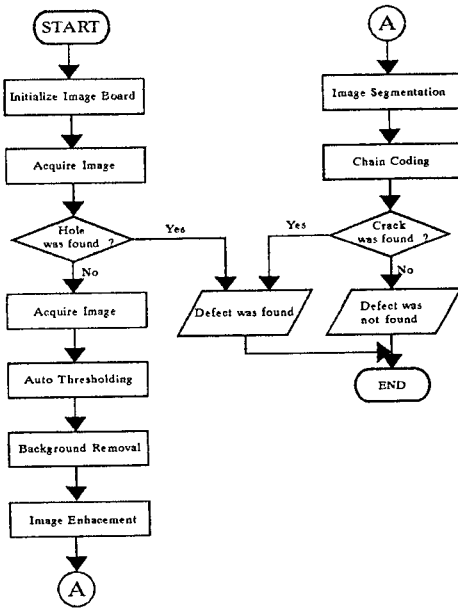


Figure 2. Flow chart to sort eggs and to inspect egg shell.

1) 검란

입력된 영상의 히스토그램은 계란(흰색 부분)과 배경(검은색 부분)의 쌍봉(雙峰)성으로 나타나므로 엔트로피 방법에 의한 자동 문턱값을 설정하였고, 이 문턱값을 이용하여 배경과 계란을 분리하였다.

영상분할 전 영상에 포함되어 있는 결함 부분을 강조하기 위한 방법으로 배경이 분리된 영상에 대하여 윤곽선 향상을 위한 연산자인 소벨 연산자(Jain, 1989)를 사용하여 영상을 향상시켰다. 향상된 영상에서 결함 부분과 반점들을 분리하기 위해 문턱값을 결정하였다.

결함 판별과정은 홀(hole)의 경우, 영상향상 전에 문턱값을 설정하여 문턱값에 의한 판별을 하였다. 홀과 명도값이 같은 반점은 문턱값만으로는 분리가 불가능하므로, 분리기준으로 문턱값과 면적값을 함께 사용하였다. 크랙의 경우 영상향상을 실시한 후에 도형들에 대한 체인코딩(Freeman, 1960)을 실시하여 둘레, 면적, 원형도, 복잡도를 구하였다. 이러한 기하학적 특징들 중 결함과 반점을 구별하여 크랙을 판별할 수 있는 기준으로 사용할 수 있는 특징들을 조사하였다.

2) 선별

계란의 등급은 계란의 품질과 크기에 따라 결정되어야 한다. 그러나 유통과정에서의 계란 선별기준은 중량에 의존한다. 영상처리를 이용하여 파란을 검란하는 과정에서 계란의 크기(투영면적 및 둘레)는 쉽게 구할 수 있다. 계란의 투영면적 및 둘레는 중량과 상관관계를 가지므로 투영면적과 둘레에 의해 계란의 선별이 가능하다. 계란의 투영면적 및 둘레와 중량과의 상관관계를 조사하기 위하여 2세트의 표본계란에 대한 실험을 하였다. 첫번째 표본은 자동설비를 갖춘 양계장에서 구입한 90개의 계란이고, 두번째 표본은 일반 계란 도매점에서 구입한 90개의 계란이다. 계란중량은 전자저울로 측정하여 유효숫자 두자리까지 기록을 하였다. 계란의 투영면적 및 둘레는 입력된 영상에서 배경이 제거된 계란의 영상에 대한 체인코딩을 실시하여 구하였다. 각 표본에 대하여 계란의 투영면적 및 둘레와 중량과의 관계를 조사하였다. 투영면적 및 둘레와 중량과의 관계식을 이용하여 실시한 선별 결과와 중량 측정에 의한 선별 결과를 비교하였다.

결과 및 고찰

1. 검란

향상된 영상에서 결함과 반점을 구분하는 문턱값의 자동 설정을 위하여 평균 명암값과 문턱값 사이에 상관관계가 있음을 예측하고 실험을 통해 다음과 같은 회귀식을 구하였다. (결정계수 $r^2 = 0.99$).

$$T = 2.7032 \times Gm + 5.8749$$

여기서, T는 문턱값이고 Gm은 평균 명도값이다.

Figure 3은 결함이 있는 계란의 영상처리 전의 화면이고 Figure 4는 결함이 있는 계란의 영상분할 후의 화면이다. 영상분할 후 크랙의 명도가 배경색에 비해 더욱 선명해지고, 크랙의 폭이 넓어졌으며, 동시에 반점들도 더욱 선명해졌음을 알 수 있다.

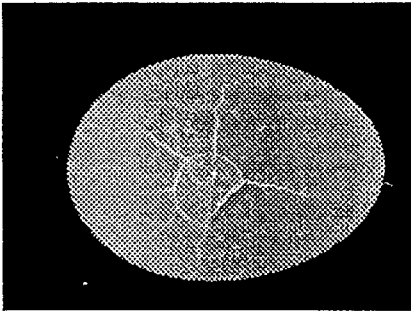


Figure 3. Image of cracked egg prior to image processing.

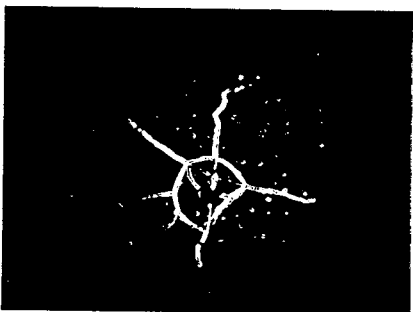


Figure 4. Image of cracked egg after image segmentation.

영상분할 과정을 거친 영상은 체인코딩시 미리 설정해 놓은 크랙과 반점들을 구분할 수 있는 면적의 기준값보다 크고 원형도의 기준값보다 작은 도형을 만나면 결함이 있는 경우로 판별하고, 체인코딩이 끝날 때까지 면적의 기준값보다 크고 원형도의 기준값보다 작은 도형이 없으면 결함이 없는 경우로 판별하였다.

위의 알고리즘을 적용하여 결함이 있는 계란과 결함이 없는 계란에 대한 표면 결함 검출 실험을 실시하였고 그에 대한 결과를 Table 2에 나타내었다. Table 2는 계란 한 개당 약 120°간격으로 회전하여 세계의 영상을 얻은 다음 각각의 영상에 대해 실험한 결과이다.

크랙 검출율은 청운농장 계란의 경우 95.4%로 나타났고 제일농장과 일반 슈퍼 소매점에서 구입한 계란의 경우에는 각각 98.5%로 나타났다. 크랙의 검출율의 차이는 품종간의 차이보다는 표본계란 선정의 임의성에서 비롯된 것으로 추정된다. 결함이 없는 계란에 대

Table 2. Summary of result from testing the developed program's ability to detect cracks in eggs

Sample No	Type of eggs	No of eggs	Eggs correctly analyzed		Elapsed time per egg (s)
			No	%	
#1	Crack	65	62	95.4	47.2
	Crack-free	35	32	91.4	100.7
	Total	100	94	94.0	65.9
#2	Crack	65	64	98.5	38.6
	Crack-free	35	32	91.4	100.9
	Total	100	96	96.0	60.4
#3	Crack	65	64	98.5	36.7
	Crack-free	35	31	88.6	101.3
	Total	100	95	95.0	59.3
Total	Crack	195	190	97.5	40.8
	Crack-free	105	95	90.5	101.0
	Total	300	285	95.0	61.9

#1 : From highly automated egg producer

#2 : From conventional egg producer

#3 : From typical grocery store

한 검출율이 결함이 있는 계란의 검출율보다는 다소 낮은 값을 보였다. 결함이 없는 경우의 검출율을 높이려면 결함이 있는 경우의 검출율이 낮아지게 되어 적절한 선택이 필요하였다. 이런 경우 결함이 있는 경우의 검출율을 높이는 쪽이 상대적으로 안전하므로 결함 있는 경우의 검출율을 높이는 쪽으로 계수를 조정하였다. 검출이 안된 경우에는 대부분이 아주 작은 크랙(hair crack)인 것으로 확인되었다. 따라서 아주 작은 크랙의 검출에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

크랙검출에 소요된 시간은 Table 2에서와 같이 크랙이 있는 경우 개당 평균 40.8초, 크랙이 없는 경우에는 개당 평균 101초로 나타났다. 크랙이 있는 경우보다 크랙이 없는 경우에 더 많은 시간이 소요된 이유는, 크랙이 있는 경우 크랙이 발견됨과 동시에 검사작업이 종료되지만, 크랙이 없는 경우 계란 영상의 전체를 검사하여야 하므로 많은 시간이 소요되었다. 실용화를 위해서는 소요시간을 대폭 줄일 수 있는 장치 및 방법에 관한 연구가 계속되어야 할 것이다.

2. 선별

계란의 투영면적 및 둘레와 중량과의 상관관계를 구하기 위하여 다중 회귀 방법을 이용하였다. 그 결과 계란의 투영면적 및 둘레와 중량과의 관계는 다음과 같은 회귀식으로 나타났다.

$$W(\#1) = 5.305 \times A - 6.238 \times P + 41.823$$

(결정계수 $r^2 = 0.967$)

$$W(\#1) = 5.872 \times A - 7.641 \times P + 53.661$$

(결정계수 $r^2 = 0.972$)

여기서, W는 중량이고 A는 계란의 투영면적이며 P는 계란의 둘레이다. 각각의 회귀식을 적용하여 각각의 표본계란에 대하여 투영면적과 둘레비로 크기 선별을 수행한 결과와 전자저울로 선별한 결과를 Table 3에 나타냈다. Table 3에서 보는 바와 같이 선별 정도가 첫째 표본의 경우 95.6%였고, 둘째 표본의 경우 96.7%였다. 투영면적 및 둘레에 의한 선별 등급이 중량에 의한 선별 등급과 일치하지 않은 경우를 조사하여 본 결과 등급간의 경계값에 해당하는 중량을 가진 계란들은 이웃등급으로 선별되어 정확한 등급 판정이

Table 3. Grade levels by standard weight and size

Grade	Weight (g)*	#1		#2	
		Gram	Size	Gram	Size
Jumbo	71~	13	12	18	18
Extra large	59~70	37	35	37	37
Large	53~58	16	15	19	17
Medium	47~52	24	22	10	9
Small	41~46	1	1	5	5
Peewee	~40	1	1	1	1
Total		90	86	90	87
Accuracy(%)		95.6		96.7	
Elapsed Time(s)		1.09		1.08	

* Standard used since 1982 in domestic market

#1 : From highly automated egg producer

#2 : From conventional egg producer

안된 것으로 추정된다.

컴퓨터 시각시스템을 이용한 파란의 검출시 선별 작업도 가능하지만, 실용화를 위해서는 선별율이 중량선별에 의한 선별을 보다 높거나 최소한 동등하게 되기 위한 연구와 노력이 계속되어야 할 것이다.

적 요

계란의 정지 영상을 만들기 위한 컴퓨터 시각 시스템이 제작되었다. 이 시스템은 CCD 카메라, 프레임 그래버, 후방향 백열전등을 포함한다. 파란을 검출하고 계란을 선별할 수 있는 영상처리 알고리즘을 개발하였다.

계란의 홀을 검출하기 위해서는 어두운 부분의 명도 값과 면적을 기준으로 이용하였고, 크랙을 검출하기 위해서는 어두운 부분의 면적과 원형도를 기준으로 이용하였다. 300개의 표본실험 결과 크랙이 있는 경우 97.5%의 검출율을 나타냈다.

계란의 중량은 계란 영상의 면적과 둘레에 정비례하는 것으로 확인되었다. 이 값들이 계란을 선별하는 기준으로 사용되었다. 두개의 실험에서 중량과 두 기준 값들 사이에는 결정계수(r^2)가 각각 0.967, 0.972로 상관관계가 매우 높았다. 등급선별의 정확도는 중량선별에 비해 95.6%, 96.7%를 나타냈다.

(색인 : 영상처리, 자동검란, 자동선별)

인용문헌

Elster RT, Goodrum JW 1991 Detection of cracks in eggs using machine vision. Trans ASAE 34 : 307-312.

Freeman H 1960 On the encoding of arbitrary geometric configurations. IRE Transactions

on electronic computers. 260-268.

Jain AK 1989 Fundamentals of digital image processing. Prentice Hall International, Inc.

Goodrum JW, Elster RT 1992 Machine vision for crack detection in rotating eggs. Trans ASAE 35 : 1323-1328.

하정기 이상진 박용운 황보종 정선부 1994 계란의 난각과손 방지를 위한 난좌 개발에 관한 연구 한국가금학회지 21: 1-19.