

## 컴퓨터 시각을 이용한 계란 표면의 결함 검출\*

### Detection of Surface Defects in Eggs Using Computer Vision

조한근\*                      권 양\*  
정희원                      정희원  
H. K. Cho                    Y. Kwon

#### ABSTRACT

A computer vision system was built to generate images of a stationary egg. This system includes a CCD camera, a frame grabber, and an incandescent back lighting system. An image processing algorithm was developed to accurately detect surface holes and surface cracks on eggs.

With 20W of incandescent back light, the detection rate was shown to be the highest. The Sobel operator was found to be the best among various enhancing filters examined. The threshold value to distinguish between the crack and the translucent spots was found to be linear with the average gray level of a whole egg image. Those values of both gray level and area were used as criteria to detect holes in egg and those values of both area and roundness 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. On the average, it took 59.5 seconds to analyze an egg image and determine whether or not it was defected.

**주요용어(Key Words)** : 계란(Egg), 결함검출(Detection of defects), 컴퓨터 시각(Computer vision), 영상처리(Image processing)

#### 1. 서론

축산물의 수입 개방에 효과적으로 대처하기 위해서는 생산 원가를 절감하고 품질을 향상시켜 국내 축산물의 국제 경쟁력을 극대화시켜야 한다. 축산물 중 계란은 생산비를 절감시켜 수입 개방에 대응할 수 있는 잠재력을 갖고 있으나 현재의 사양 관리 및 경영 방식으로는 생산비

면에서 경쟁력이 미약한 실정이다. 최근에 계란 생산을 위한 자동 설비의 보급이 확대되므로서, 생산에서 포장 과정까지 계란에 가해지는 외부 충격량이 인력 생산의 경우에 비해 증가하여 계란에 발생하는 표면 결함도 증가하고 있다. 표면 결함이 포함된 계란을 포장 수송하는 경우, 동일 포장 상품의 품질 저하를 초래할 뿐만 아니라, 계란의 신선도 유지에 막대한 영향을 준다. 현재

+ 이 연구는 학술진흥재단의 '94 자유공모과제(과제번호 01-G-0228) 연구비 지원으로 수행되었음.

\* 충북대학교 농업기계공학과

사용되고 있는 전등에 의한 육안 검사 방법은 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(Elster and Goodrum, 1991). 따라서 크랙 등과 같은 표면결함의 검사는 계란생산에 있어서 중요한 작업 과정이다.

최근 전자 산업의 발달로 컴퓨터 시각을 이용한 선별 장치가 인력에 의한 농산물의 선별을 대체할 수 있는 유용한 장치로 부각되고 있으며 이에 관한 연구가 활발히 추진되고 있다. 컴퓨터 시각을 이용한 계란 표면 결함의 검출 자동화는 실현 가능성이 매우 높은 것으로 보고되었다(Elster and Goodrum, 1991).

국내의 경우, 노 등(1990)은 영상 처리 시스템을 이용하여 과일 선별에 관한 연구를 수행하였고, Hwang 등(1993)은 컴퓨터 시각을 이용한 버섯의 시각 특징의 추출과 측정을 위한 알고리즘을 개발하였다. 조와 송(1994)은 컴퓨터 시각을 이용하여 잎담배의 자동 등급 판정에 필요한 잎담배의 외형 및 색특징을 추출하는 알고리즘을 개발하는 연구를 수행하였다. 그러나 컴퓨터 시각을 이용한 계란 품질 검사에 관한 연구는 전무한 실정이다.

국외의 연구 동향을 살펴보면 Elster와 Goodrum(1991)은 계란 표면의 크랙을 검출하는 연구를 하였고 알고리즘 수행시 96%의 크랙의 존재 여부를 정확하게 분석했고 Goodrum과 Elster(1992)는 회전하는 계란 표면의 크랙 검출에 관한 연구를 수행하였는데, 계란을 120° 회전시켜 세계의 영상을 얻어 크랙을 검출한 결과 90% 이상의 검출율을 나타냈다. Han과 Feng(1994)은 2차원 FFT(Fast Fourier Transform)를 사용하여 계란의 표면 결함을 검출하는 연구를 수행하였는데 88%의 성공율을 나타내었다. Worley와 Goodrum(1995)은 인공시각을 이용한 계란의 크랙 검출을 위한 스트로브와 백열등의 차이점에 관한 연구를 하였는데 크랙검출의 최대 성공율은 90%로서 큰 차이점은 나타나지 않았다

고 보고하고 있다.

본 연구에서는 컴퓨터 시각을 이용하여 계란의 표면 결함을 검출하는 최적의 알고리즘을 개발하기 위해 다음과 같은 세부적인 목적을 갖는다.

- 1) 컴퓨터 시각을 이용하여 계란의 결함을 검출할 수 있는 실험용 검사 시스템을 구성하고 적당한 조명 조건을 결정한다.
- 2) 계란의 표면 결함 검출에 적합한 알고리즘을 개발하고 컴퓨터 프로그램을 작성한다.
- 3) 표본 계란을 이용하여 알고리즘의 성능을 분석한다.

## 2. 재료 및 방법

컴퓨터 영상 처리 하드웨어 및 기본 소프트웨어를 구성하고, 계란 표면의 결함을 측정하여 판별할 수 있는 최적의 조명 조건과 상세 알고리즘을 개발한 후, 표본 계란을 이용하여 검사 알고리즘의 성능을 분석하였다.

### 가. 실험 장치

본 연구에 사용된 컴퓨터 시각 시스템은 주 컴퓨터, 흑백영상처리보드, 영상 출력장치, 영상 입력장치, 조명 장치로 구성되어 있다. 주 컴퓨터는 IBM-AT 486 DX2(50MHz) 호환 컴퓨터로서 컴퓨터 영상 처리 시스템의 주 제어장치이다. 보조 기억장치로는 324MB와 503MB의 하드디스크 2대, 주 기억장치로는 8MB의 메모리가 탑재되어 있다.

영상 처리 보드로는 DT-2855 보드(Data Translation사 제품)로서 흑백 영상 처리를 할 수 있고, 8-bit A/D 변환기는 각 화소당 2° 또는 256까지의 명암값을 나타낼 수 있다. 영상 출력 장치는 12인치 크기의 흑백 모니터이다. 영상 입력 장치는 고체촬상(CCD)형의 흑백 카메라(Panasonic사 모델 WV-BP100제품)이며, 입력 전원은 120V AC 60Hz, 촬영(pick up)면적은 4.8

(H)×3.6(V)mm이고, 크기(렌즈가 부착되지 않은)는 70(W)×70.5(H)×141(D)mm이다. 카메라에 부착된 렌즈(Panasonic사 모델WV-LA12 B2제품)는 C 설치형으로서 초점거리가 12mm인 수동 조절 렌즈이다. 조명 장치로는 30W 불투명 백열등을 사용하였고, 계란을 투과한 빛에 의한 영상을 얻기 위해 광원을 시료의 아래에 설치하였다. 110V 전원을 광원에 연결하기 전에 전압조정기를 설치하여 전압 변화가 가능하도록 하였다. 외부 광원의 유입을 방지하기 위하여 CCD 카메라와 시료판을 형겅으로 만든 차광막으로 덮었다. 그림 1은 본 연구에 사용된 영상 처리 시스템과 조명 장치의 개략도 이다.

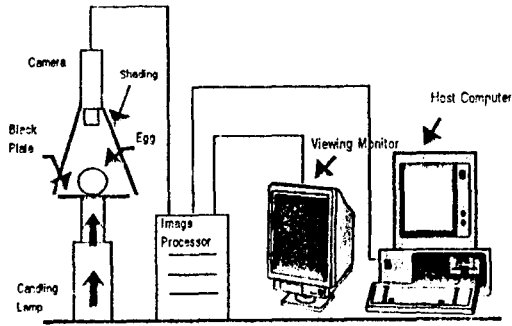


Fig. 1. Schematic diagram of computer vision system with illumination.

나. 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.

다. 영상 처리 알고리즘

알고리즘 설계의 기본 개념은 운전자의 도움 없이 결함 검출을 위한 모든 단계가 자동으로

진행되도록 하였다. 모든 영상 처리는 시간 절약을 위하여 전체 영상중 계란의 영상 부분에 국한하여 수행하였다. 흑백 영상 처리를 이용하여 영상 입력으로부터 계란 표면의 결함을 검출하기 위한 전체적인 알고리즘을 흐름도로 나타내면 그림 2와 같다.

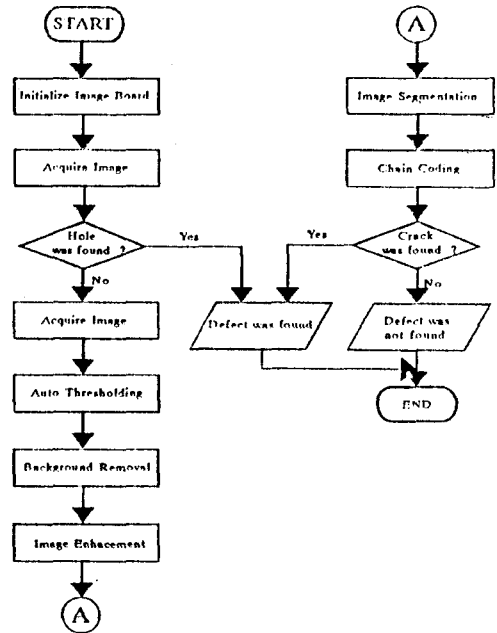


Fig. 2. Flow chart for crack detection on eggs.

1) 영상 입력

CCD카메라를 통한 영상 입력시, 계란에 가해지는 빛의 강도는 계란 표면의 명암값을 결정하므로 후에 수행할 영상분할 단계에서의 문턱값 선택에 중요한 역할을 한다. 조명의 강도가 지나치게 낮으면 계란 표면의 결함에 대한 감도가 상대적으로 낮아지고, 영상향상 후에도 결함의 추출이 어렵게 된다. 반면에 너무 높으면 결함과 투명성 반점들에 대한 감도가 동시에 높아지게 되어 반점들이 서로 연결되어 결함으로 간주되는 경우가 있다. 강도의 변화에 따른 결함 검출을 알아보기 위하여 광원에 공급되는 전력을 전압조정기를 통해 15W에서 25W까지 2.5W 간격으로 변화시켜 각각 시료계란 30개에 대한 영

상을 얻었다. 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.

2) 1차 영상 향상

배경이 분리된 영상에 대해 영상분할 전의 영상을 향상시키기 위하여 Unsharp masking 방법과 영상에리화 방법들을 이용하였고, 서로의 장단점을 비교 조사하였다.

Unsharp masking은 배경에서 분리된 영상에 고역 통과 필터로 처리된 영상을 본래의 영상과 합성하는 방법이며, 이렇게 합성된 영상은 명암값이 같은 결합과 투명성 반점에 대한 감도는 높아지고, 그 밖의 반점에 대한 감도는 낮아지는 효과를 얻을 수 있다(Goodrum and Elster, 1992). 전체적인 unsharp masking 연산을 다음과 같은 식으로 나타내었다(Jain 1989).

$$v(m, n) = u(m, n) + \lambda g(m, n)$$

여기서,  $\lambda$ 는 가중치( $> 0$ ) 이고  $u(m, n)$ 은 입력 영상,  $v(m, n)$ 은 출력 영상이고  $g(m, n)$ 은 미분된 영상이다.

영상에리화는 영상에 포함되어 있는 결합 부분을 강조하기 위한 방법으로서, 영상에 대하여 윤곽선 향상을 위한 연산자들인 Prewitt, Sobel, Isotropic, Kirsch, Stochastic(Jain and Ranganath, 1982) 등을 적용하였다.

3) 영상분할

향상된 영상에서 결합 부분과 반점들을 분리하기 위해 문턱값을 결정한다. 문턱값을 자동으로 설정하기 위해 평균 명암값과 문턱값 사이에는 상관관계가 있을 것으로 가정하고 60개의 표본 계란에서 얻은 180개의 영상에 대하여 실험을 수행하였다. 문턱값 결정은 시행착오에 의하여 검출율을 높이도록 하였다. 즉 문턱값을 하향 조정하면 결합 검출이 어려워지고, 문턱값을 상향 조정하면 결합검출은 다소 쉬어지나 결합이 없는 경우의 검출율을 낮게 하는 경향을 보였다.

따라서 본 연구에서는 결합이 없는 경우에 검출율이 낮은 쪽 보다는 안전한 편인 결합이 있는 경우에 검출율이 높은 쪽을 선택하여 문턱값을 정하였다. 문턱값에 의하여 분리된 영상은 콘트라스트 확장 기법을 통하여 이진화 되었다.

4) 2차 영상 향상

영상분할 과정을 거친 영상은 부분적으로 윤곽선이 끊어지는 경우가 발생한다. 이 경우 특징을 추출하기 위한 전 단계로서 결합들 또는 반점들 사이에 끊어진 화소들을 연결하기 위하여 그림 3과 같은 2차 미분 연산자인 8방향 라플라시안 필터를 적용하였다.

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

Fig. 3. Mask used for Laplacian filtering.

5) 특징 추출

윤곽선을 추출하여 기하학적 특성의 기초가 되는 둘레 및 면적을 구하기 위하여 8방향의 연결 성분을 가진 3×3 마스크 체인코딩 방식을 기본으로 하였다(Freeman 1960). 그러나 3×3 마스크 체인코딩으로 윤곽점의 화소를 찾을 수 없는 경우가 많아서 5×5 마스크로 확장하여 사용하였다. 이때 각 방향별로 다음 화소점을 찾아가는 경우는 3×3 마스크의 경우와 같이 8방향으로 나타내었고 그림 4는 기본적인 5×5 마스크

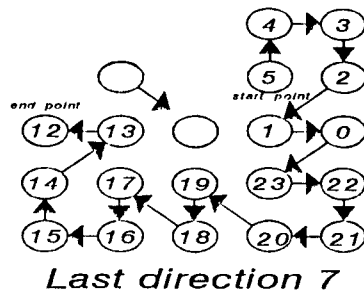


Fig. 4. Example of 5X5 mask extension.

크 확장중 A번 화소에서 B번 화소로의 검색방향이 7번 방향일 때, B번 화소에서 조건에 맞는 다음 연결점을 찾는 방법을 표시한 것이다. 즉 B번 화소에서 시작점 화소 5번부터 4번, 3번, 2번, 1번, 0번, 23번, 22번, 21번, 20번, 19번, 18번, 17번, 16번, 15번, 14번, 13번을 경유하여 끝나는 화소점 12번까지 검색을 하여 조건에 맞는 연결점을 찾는 경우를 나타낸 것이다.

6) 결합 판별

가) 홀(hole)의 경우

계란 표면의 결합중 물리적인 충격량이 커서 접질이 완전히 파손된 경우 계란 표면에 홀(hole)이 발생하는 경우가 있다. 이러한 홀들은 명도값이 반점들에 비해 상당히 높게 나타나므로 영상향상전에 문턱값을 설정하여 문턱값에 의한 판별을 하였다. 홀들과 명도값이 같은 반점들은 문턱값만으로는 분리가 불가능하므로, 분리기준으로 문턱값과 면적값을 함께 사용하였다.

나) 크랙의 경우

영상향상을 실시한 후에 도형들에 대한 체인코딩을 실시하여 둘레, 면적, 원형도, 복잡도를 구하였다. 이러한 기하학적 특징들 중 결합과 반

점을 구별하여 크랙을 판별할 수 있는 기준으로 사용할 수 있는지를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 영상 입력

표 1은 조명강도에 따른 검출율을 보여주며, 공급 전력이 20W일 때 결합 검출율이 가장 높은 것으로 나타났다. 이때의 조도값은 690Lux 이었으며 계란의 밑면과 전구 사이의 거리는 12.5cm 이었다(MACAM사 R101 조도계 사용).

Table 1. Success rate according to lighting power variation

(단위 : %)					
Power(W)	15	17.5	20	22.5	25
Type					
Crack	69.4	89.8	95.9	93.9	93.9
Crack free	100	97.6	92.7	85.4	70.7
Total	83.3	93.3	94.4	90.0	83.3

나. 영상 향상

영상 향상을 위하여 Unsharp masking기법과

Table 2. Success rate according to gradient operators

Type	No of images	Egg images correctly analyzed and time executed	Unsharp	Prewitt	Stochastic	Sobel	Isotropic	Kirsch
Crack	78	No. of images	77	75	73	76	75	71
		Success(%)	98.7	96.2	93.6	97.4	96.2	91.0
		Time(sec)	19.1	19.1	20.1	19.1	24.4	19.9
Crack free	102	No. of images	92	94	96	98	95	95
		Success(%)	90.2	92.2	94.1	96.1	93.1	93.1
		Time(sec)	27.6	27.6	29.4	28.1	33.6	30.2
Total	180	No. of images	169	169	169	174	170	166
		Success(%)	93.9	93.9	93.9	96.7	94.4	92.2
		Time(sec)	22.9	22.9	24.5	23.3	28.5	26.4

Prewitt 연산자, Stochastic 연산자, Sobel 연산자, Isotropic 연산자, Kirsch 연산자를 표본 계란 60 개에 적용하여 각각에 대한 검출율을 비교한 결과를 표 2에 나타내었다.

결함이 없는 경우의 검출율은 Sobel 연산자가 제일 높은 96.1%를 나타냈고, 다음으로 Stochastic 연산자가 94.1%를 나타냈고, Isotropic 연산자, Kirsch 연산자, Prewit 연산자, Unsharp masking 순으로 나타났다. 결함이 있는 경우의 검출율은 Unsharp masking이 제일 높은 98.7%를 나타냈고, 다음으로 Sobel 연산자가 97.4%를 나타냈고, Isotropic 연산자, Prewit 연산자, Stochastic 연산자, Kirsch 연산자 순으로 나타났다. 검출에 소요된 시간으로는 Prewit 연산자의 경우 제일 짧은 22.9s, 다음으로 Sobel 연산자가 23.3s, 다음으로 Stochastic 연산자, Kirsch 연산자, Unsharp masking, Isotropic 연산자 순으로 나타났다. 검출율과 소요시간 면 모두를 고려하면 Sobel 연산자가 가장 우수한 방법으로 나타났다.

다. 영상 분할

향상된 영상에서 결함과 반점들을 구분하는

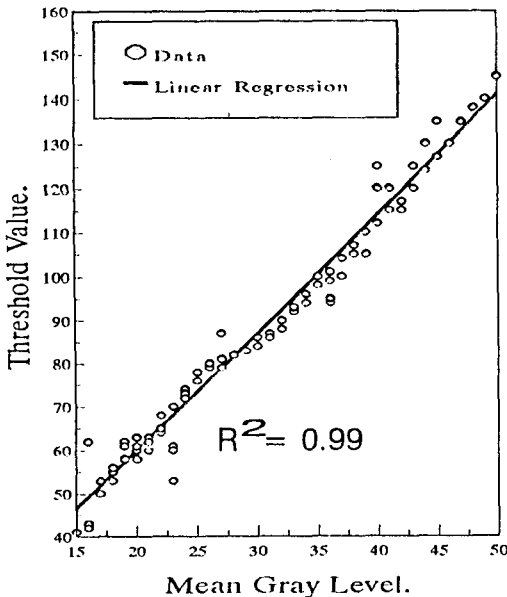


Fig. 5. Threshold values vs. mean gray levels.

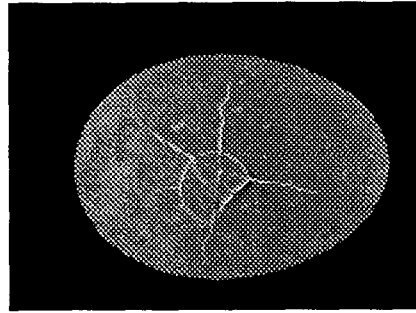


Fig. 6. Image of cracked egg prior to image processing.

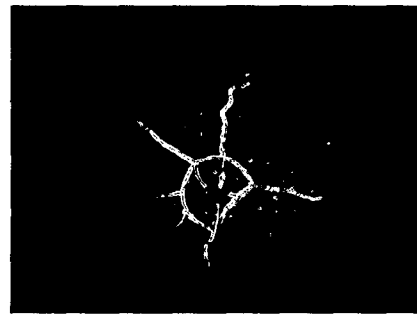


Fig. 7. Image of cracked egg after image segmentation.

문턱값의 자동 설정을 위하여 평균 명암값과 문턱값 사이에 상관관계가 있음을 예측하고 실험한 결과 다음과 같은 회귀식으로 나타났다(결정 계수  $r^2=0.99$ ).

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

여기서, T는 문턱값이고  $G_m$ 은 평균 명도값이다. 그림 5는 평균 명도값에 따른 문턱값과 회귀 직선을 나타낸다. 그림 6은 결함이 있는 계란의 영상처리 전의 화면이며, 그림 7은 영상분할 후의 화면을 나타낸다. 영상분할 후 크랙의 명도가 배경색에 비해 더욱 선명해지고, 크랙의 폭이 넓어졌으며, 동시에 반점들도 더욱 선명해졌음을 알 수 있다.

라. 결함의 추출 및 판별

영상분할 과정을 거친 영상은 전반적으로 명도값이 같은 결함과 반점들이 함께 존재한다. 결함과 반점을 구분하기 위하여 체인코딩을 실시한 후 각각의 기하학적 도형의 차이점을 조사한 결과 영상 처리된 결함의 면적은 반점들보다는 크고, 결함의 원형도는 0에 가까운 값으로 나타났으며 반점의 원형도는 1에 가까운 값을 나타냈다. 그 밖의 기하학적 특징들은 결함과 반점을 구분할 수 있는 기준값으로 정하기에는 불규칙한 값을 나타냈다. 따라서 결함과 반점을 구분하는 기준으로 면적값과 원형도 값을 함께 사용하기로 결정하였다. 체인코딩시 미리 설정해 놓은 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.

위와 같은 알고리즘을 적용하여 결함이 있는 계란과 결함이 없는 계란에 대한 표면 결함 검출 실험을 실시하였고 그에 대한 결과를 표 3에 나타내었다. 표 3은 계란 한 개당 약 120° 간격으로 회전하여 세개의 영상을 얻은 다음 각각의 영상에 대해 알고리즘을 적용하여 실험한 결과이다. 결함 검출율은 실험 1의 경우 95.4%로 나타났고 실험 2와 실험 3의 경우에는 각각 98.5%로 나타났다. 이와 같은 검출율의 차이는 품종간의 차이보다는 표본계란 선정의 임의성에서 비롯된 것으로 추정된다. 결함이 없는 계란에 대한 검출율이 결함이 있는 계란의 검출율 보다는 다소 낮은 값을 보였다. 이유로는 영상분할 과정에서 반점들이 서로 연결되어 결함으로 간주되었기 때문이며, 결함이 있는 경우의 검출율을 높이기 위해서는 피할 수 없는 현상임을 확인하였다.

표 4는 Elster와 Goodrum(1991)의 실험결과를 보여준다. 본 연구결과와 그들의 결과를 비교하면 평균 검출율은 95.0%로서 그들의 결과인 95.6%와 비슷하게 나타났으나 검출 시간은 크랙이 있는 경우 40.5 초, 크랙이 없는 경우 104.7

초로서 그들의 실험결과인 22.9 초, 27.9 초 보다 많은 시간이 걸린 것으로 나타났다. 이와 같이 검출 시간이 길게 나타난 것은 전체적인 영상처리 알고리즘에 기인되었기보다는 영상처리 보드 등과 같은 하드웨어 상의 차이일 것으로 추정된

Table 3. Summary of result from testing the developed program's ability to detect cracks in eggs

Exp.* No.	Type of eggs	No of eggs	Eggs correctly analyzed		Elapsed Time (sec)
			No	%	
# 1	Crack	65	62	95.4	42.3
	Crack-free	35	32	91.4	105.9
	Total	100	494	94.0	67.8
# 2	Crack	65	64	98.5	39.7
	Crack-free	35	32	91.4	104.6
	Total	100	85	96.0	57.9
# 3	Crack	65	64	98.5	39.4
	Crack-free	35	31	88.6	103.6
	Total	100	95	95.0	52.9
	Crack	195	190	97.5	40.5
	Crack-free	105	95	90.5	104.7
	Total	300	285	95.0	59.5

- \* # 1 : 청운 농장
- # 2 : 제일 양계장
- # 3 : 일반 슈퍼 소매점

Table 4. Summary of result from testing the developed program's ability to detect cracks in eggs (Elster and Goodrum, 1991)

Type of eggs	Number of eggs tested	Eggs correctly analyzed		Elapsed Time (sec)
		No	%	
Crack	59	57	96.6	22.9
Crack-free	54	51	94.4	27.9
Total	113	108	95.6	25.3

다(Elster와 Goodrum은 Datacube IVG-128 사용). Sobel 연산자를 사용할 경우에는 Elster와 Goodrum(1991)이 사용한 unsharp masking 보다도 단계가 간단하여 처리 시간이 적게 소요되고, 적용이 쉬우므로 같은 하드웨어를 사용할 경우 짧은 검출 시간을 예상할 수 있다.

#### 4. 결론

1. 불투명 백열등을 20W로 사용하였을 때(690 Lux) 가장 높은 결함 검출율을 나타냈다.

2. 영상을 향상시키기 위해 사용된 미분 연산자로는 소벨연산자가 가장 높은 검출율을 나타냈다.

3. 계란의 표면에서 결함만을 추출하기 위한 영상분할시 평균 명도값과 문턱값과의 관계는 선형으로 나타났다.

4. 흠을 검출하는데 사용한 기준값으로 면적 0.05cm<sup>2</sup> 이상, 크랙을 검출하는데 사용된 기준값으로 면적 0.065cm<sup>2</sup> 이상, 원형도(Roundness) 0.3 이하로 선택하였을 때 가장 높은 검출율을 나타냈다.

5. 300개의 계란으로 알고리즘의 검증 실험 결과 결함이 있는 경우 97.5%, 결함이 없는 경우 90.5%의 검출율을 나타냈다.

6. 검출에 소요된 시간은 결함이 있는 경우 40.5초, 결함이 없는 경우 104.7초로 나타났다.

#### 5. 참고문헌

1. 노 상하, 유 관희, 김 일웅. 1990. 영상 처리를 이용한 과일외의 기하학적 특성 측정. 한국농업기계학회지 15(1) : 23-32.

2. 조 한근, 송 현갑. 1994. 컴퓨터 시각에 의한 잎담배의 외형 및 색특징 추출. 한국농업기계학회지 19(4) : 380-396.

3. Elster, R. T. and J. W. Goodrum. 1991. Detection of cracks in eggs using machine vision. Trans. of the ASAE 34(1) : 307-312.

4. Goodrum, J. W. and R. T. Elster. 1992. Machine vision for crack detection in rotating eggs. Trans. of the ASAE 35(4) : 1323-1328.

5. Freeman, H. 1960. On the encoding of arbitrary geometric configurations. IRE transactions on electronic computers. 260-268.

6. Han, Y. J. and Y. Feng. 1994. Egg shell inspection using global image analysis. Trans. of the ASAE 10(1) : 109-114.

7. Hwang, H, C. H. Lee, and Y. K. Lee, 1993. Automatic visual feature extraction and measurement of mushroom. Proceedings of the International Conference for Agricultural Machinery & Process Engineering. pp.1230-1242, October 19-22, Seoul, Korea.

8. Jain, A. K. 1989. Fundamentals of digital image processing. Prentice-Hall international, inc.

9. Jain, A. K. and S. Ranganath. 1982. Image rotation and edge extraction based on 2-D stochastic models. Proc. ICASSP-82, Paris.

10. Worley, J. W. and J. W. Goodrum. 1995. Strobe versus incandescent lighting for egg crack detection using machine vision. Trans. of the ASAE 11(4) : 549-554.