

계란 크랙의 온라인 검출[†]

On-line Detection of Cracks in Eggshell

최완규*	조한근*	백진하*	장영창**	연광석*	조성찬*
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
W. K. Choi	H. K. Cho	J. H. Paek	Y. C. Chang	K. S. Yon	S. C. Cho

ABSTRACT

This study was conducted to develop an automatic egg inspection system for detecting cracked eggs based on acoustic impulse response. This system includes a sound generator, a sound sensor with signal conditioner, and a computer. The sound generator that hit the sharp or the dull edges of an egg was constructed with a ceramic ball pendulum attached to a rotary type solenoid. The signal conditioner included a pre-amplifier and a digital signal processing (DSP) board. The parameters for distinguishing cracked and normal eggs were the area, the geometric centroid and the resonance frequency of power spectrum of the acoustic signal generated. An algorithm for on-line detection of the continuous transferring eggs was developed. The performance tests resulted with 91% success rate to separate cracked and normal eggs at the rate of 1 second per an egg.

주요용어(Key Words): 자동 검란 장치(Automatic egg inspection system), 온라인 검출(On-line detection), 음향 충격 반응(Acoustic impulse response)

1. 서 론

최근 대규모 양계장의 경우 첨단 양계시설의 도입으로 급이, 급수, 집란, 이송, 세척, 중량 선별 및 포장 등 대부분의 양계시설이 자동화되고 있지만, 계란에 묻어있는 오물, 파란 및 기형란의 검사는 아직도 육안판별에 의존하고 있다. 이 중 계란에 묻어있는 오물이나 기형란은 육안에 의해 쉽게 검출되지만, 미세한 파란의 경우에는 육안 판별이 쉽지 않아 식품으로서의 안전성과 상품성의 저하를 초래할 수 있다.

자동 검란장치 개발과 관련하여 일본의 Nabel, 미국의 Diamond System과 네델란드의 MOBA와 같은 양계시설 업체에서 음향반응과 전자기 진동을 이용하여 파란 검출 장치를 개발하였다고 보고하고 있지만 문헌으로 발표된 바는 없다. 음향반응을 이용한 농산물의 품질평가에 대한 연구는 국외의 경우 사과, 수박 및 멜론과 같은 일부 과일이나 채소의 경도 및 속도 판정에 사용되어 왔고, 국내에서는 최동수 등(1999)이 수박의 속도와 공동을 측정하기 위하여 음향반응과 인공 신경망을 이용하였다. 그러나 음향반응을 이용한 계란의 품질평가에 대한 학계의 연구

[†] 본 연구는 농림수산 특정 연구과제 연구비에 의하여 연구되었음.

* 충북대학교 농업기계공학과

** 서울대학교 농업생명과학대학 농업개발연구소

보고는 없으며, 더욱이 국내에서는 자동 검란에 관한 연구가 전무해서 이에 대한 연구가 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 계란의 파손 여부에 따라 정상란과 파란으로 분리하는 장치를 개발하기 위해서 음향반응을 이용한 검란 방법을 채택하였다. 음향반응을 이용한 검란 가능성과 계란의 음향반응에 영향을 미칠 수 있는 인자들에 대한 연구는 조한근 등(1997)에 의해 수행된 바 있으며, 이 연구를 기초하여 정지 상태로 놓여 있는 계란에 대한 크랙을 검사할 수 있는 단란용 검란 장치 및 검란 알고리즘이 개발되었고(조한근 등, 1998), 검란 알고리즘에 인공신경망을 적용하여 검출성능을 향상시키는 연구가 수행되었다(최완규 등, 1998).

기 개발된 단란용 검란 장치에서의 디지털신호처리 소프트웨어는 정지 계란에 대해 연속적으로 입력되는 타격신호를 디지털신호로 변환하여 신호분석 및 검란 알고리즘을 거쳐서 파란선별이 수행되었다. 그러나 양계장에 적용하기 위해서는 이송장치에 의해 연속적으로 이동하는 계란을 실시간으로 검사할 수 있는 자동 검란장치의 개발이 필요하다.

따라서 본 연구는 단란용 검란 장치 연구를 통해 얻은 검란 알고리즘 및 시스템 구성을 기초로 이송장치에 의해 연속적으로 이동하는 계란을 검사할 수 있는 연속 검란 장치 및 검란 알고리즘을 개발하고, 디지털신호처리 보드로 다 채널의 신호를 입력받아 신호처리를 거친 후 판별 알고리즘을 적용하여 판별 신호를 출력하는 신호처리 소프트웨어를 개발하기 위한 목적으로 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 시스템 구성

이송장치에 의해 이동하는 계란을 검사하기 위해서 그림 1과 같은 연속 검란 장치를 구성하였고, 구성된 검란 장치의 주요부품의 사양을 표 1에 나타내었다.

시스템의 흐름은 계란이 이송장치에 의해 1열로 이송되면서 이송장치의 동력전달 축에 설치된 근접스위치에 의해 정확한 타격지점을 지정하고, 타격장치 상부에 설치된 직접반사형 광센서에 의해 타격지

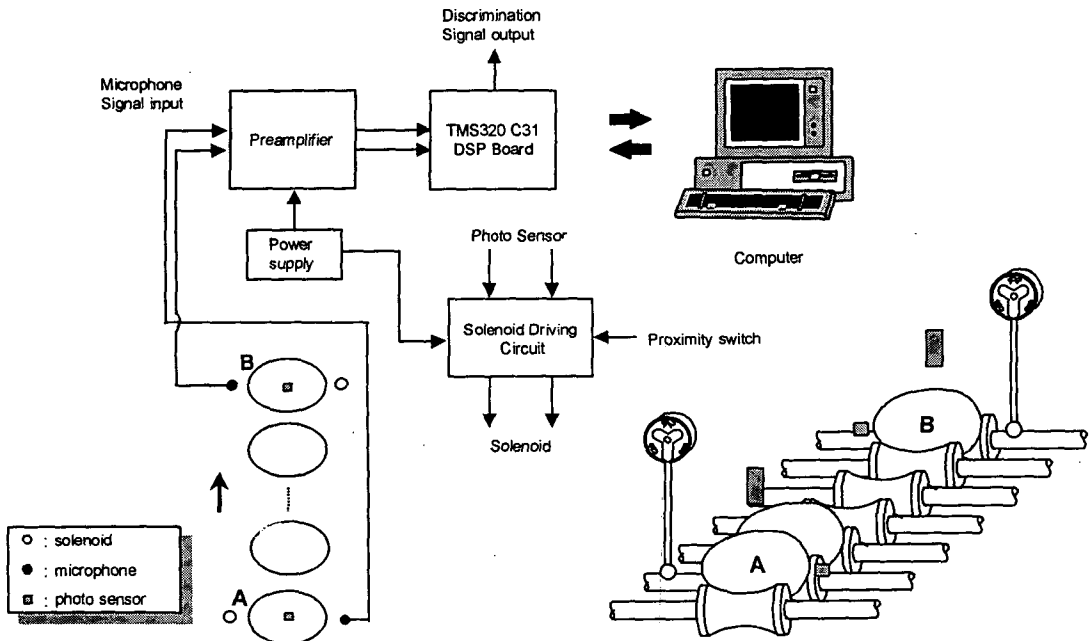


Fig. 1 Schematic diagram of multiple egg inspection system.

Table 1 Specification of main parts in multiple egg inspection system

Part	Specification	Manufacturer
Microphone	2Hz~20kHz Condenser type	National, Japan
Pre-Amplifier	2Hz~20kHz, 1A	Laboratory Made
Power supply	+5V 2A, $\pm 12V$ 0.3A	Fine Suntronix, Korea
Solenoid	M30131142R, Rotary type	Shindengen, Japan
Photo sensor	BRP100-DDT	Autonics, Korea
Proximity switch	PS17-5DP	Autonics, Korea
DSP board	PC31, 50MHz, A/D (200kHz)	Innovative Int., USA
Computer	Industrial, Pentium 233MHz	Compatible, Korea

점에서의 계란의 유무를 감지하여 근접스위치와 광센서의 신호를 동시에 만족할 경우에만 타격 솔레노이드가 일정시간 여자되어 세라믹 볼에 의해 계란을 타격한다. 이 때 계란의 타격은 두 번 행해지는데 첫 번째 타격은 침부를 타격하고, 두 번째 타격은 둔부를 타격하며, 멀티바이브레이터에 의해서 타격 접촉 시간을 0.1초로 일정하게 유지하였다.

타격에 의한 음향신호는 타격장치 반대쪽에 설치된 마이크로폰으로 감지하고, 프리앰프에서 증폭한 후 디지털신호처리 보드로 보내져 신호처리를 수행하여 판별알고리즘에 의해 파란 여부를 판별하고 판별신호를 출력한다.

각 타격장치간의 신호 간섭을 최소화하기 위해서 그림 1에서 보는 바와 같이 첫 번째 타격장치와 두 번째 타격장치의 간격을 6칸으로 설정하였으며, 프리앰프의 이득과 필터의 이득을 마이크로폰을 통해 계란의 타격음만 감지되도록 조절하였고, 디지털 신호처리 보드로의 신호입력 시 트리거 레벨을 조절하여 잡음의 유입을 최소화하였다.

나. 신호처리 소프트웨어 개발

계란 타격신호의 입출력 및 신호분석을 위한 신호처리 소프트웨어를 개발하기 위해 TMS320C31 디지털 신호처리기를 탑재하고 있는 DSP(Digital Signal Processing) 보드를 사용하였다.

DSP 보드는 200kHz의 샘플링이 가능한 2개의 A/D 변환기를 가지고 있으며, 본 연구에서는 한 개의 A/D 변환기를 사용하여 멀티플렉싱을 통해 2개의

채널로 타격신호를 입력받았다. 이 때 각 채널의 샘플링 주파수는 40kHz, 샘플 수는 128개로 설정하였다.

다. 연속 검란 알고리즘 개발

이송 중인 계란을 검사하기 위한 연속 검란 알고리즘은 단란 검란 알고리즘을 수정하고 보완하여 개발하였다. 기 개발된 단란 검란 알고리즘에 사용된 주요 인자로는 음향신호에 대한 파워스펙트럼의 면적, 도심, 최대 공진 주파수의 평균값과 이들 값들의 신호간 차이이다(조한근 등, 1998).

실험을 위해서 양계장에서 크기 45~75mm, 무게 45~70g 사이에 분포하는 하이라인 품종의 계란을 구입하여 정상란 200개, 파란 200를 임의로 선정하였다. 선정된 계란을 개발된 연속 검란 장치에 적용하여 각 계란에 대하여 침부 타격데이터 한 세트와 둔부 타격데이터 한 세트를 수집하였다. 수집된 신호를 이용하여 단란 검란 알고리즘 개발시 선정된 정규화 된 파워 스펙트럼의 면적, 도심, 최대 공진 주파수 및 이들 값들의 신호간 차이를 구하였으며, 연속 검란 알고리즘에 이들 값들의 적용 여부를 조사하기 위하여 통계패키지 SAS를 이용하여 통계분석을 실시하였다. 통계분석 절차는 먼저 단계적 변수 선택법에 의해서 위의 검란 인자 중 결정계수 값이 큰 인자들을 선정하고, 최소자승법에 의한 선형 회귀분석법을 사용하여 선형회귀모델을 구하였다(Crum 등, 1986).

3. 결과 및 고찰

가. 신호처리 소프트웨어

계란 타격시 발생하는 아날로그 신호는 가장 먼저 DSP 보드의 멀티플렉서에서 채널선택이 이루어진 후 이득 증폭기에서 신호를 증폭한다. 증폭된 아날로그 신호는 통과대역이 380kHz인 저역통과 필터를 경유하여 A/D 변환기에서 디지털신호로 변환된 후 판별알고리즘에 적용되어 파란의 유무를 판별하고 파란신호를 출력한다. 이러한 모든 과정은 신호처리 소프트웨어에 의해서 이루어진다. 개발된 신호처리 소프트웨어는 초기화 루틴, 메인 루틴, 인터럽트 서비스 루틴 및 파란선별 루틴으로 구성하였다.

(1) 초기화 루틴

초기화 루틴은 프로그램이 실행되었을 때 가장 먼저 실행되는 루틴으로서 아날로그 서브 시스템 및 포트를 초기화하고 신호처리 프로그램에서 예약변수로 사용되는 모든 변수를 초기화하며 샘플링 주기 등을 설정한다. 이 때 일정한 샘플링 주기를 설정하기 위하여 내부 타이머 인터럽트를 이용하였다.

(2) 메인 루틴

메인 루틴은 초기화 루틴을 수행하는 것 뿐만 아니라 인터럽트 서비스 루틴을 인터럽트 벡터 테이블에 등록한 후 무한 루프 상태를 유지하며, 시스템 예약변수를 검사하여 파란의 유무가 세팅된 경우 디지털 출력포트로 판정결과를 출력한다.

(3) 인터럽트 서비스 루틴

아날로그 신호는 검란 장치가 작동하고 있는 동안 마이크로폰을 통하여 연속적으로 입력되며, 이 연속적인 신호를 내부 트리거 방법을 사용하여 샘플링한 후 A/D 변환을 거쳐 홀딩 레지스터에 저장한다.

인터럽트 서비스 루틴은 100kHz의 샘플링 주기로 설정된 타이머 인터럽트에 의해 실행되는데, 루틴이 호출될 때마다 홀딩 레지스터에 저장되어 있는 값을 읽어 FFT(Fast Fourier Transform)를 수행한다. FFT에 의해 구해진 첫 번째 타격신호에 대한 파워스펙트럼 값은 두 번째 타격이 이루어질 때까지 저장되며, 두

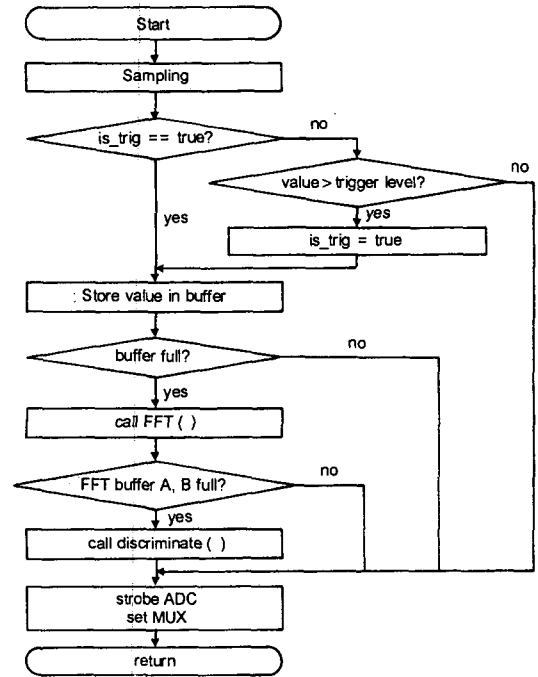


Fig. 2 Flowchart of interrupt service routine.

번째 타격이 이루어진 후 파란선별 루틴에 의해 정상란과 파란을 판정하고 판별신호를 출력한다. 그림 2는 인터럽트 서비스 루틴의 흐름도를 나타낸다.

(4) 파란선별 루틴

파란 선별 루틴은 정상란과 파란을 판정하는 부분으로 정규화된 파워스펙트럼을 이용하여 연속 검란 알고리즘의 검란인자 및 판별식을 계산하고 정상란과 파란을 판정한다. 판정결과는 시스템 예약변수에 저장되어 메인 루틴 내에서 판별결과를 출력할 수 있도록 하였다.

나. 연속 검란 알고리즘

통계 분석에 의해 구해진 선형회귀식은 식(1)과 같으며, 식(1)의 Y 값은 정상란의 경우 1에 가깝고, 파란의 경우는 0에 가까운 값을 출력한다. 이때 정상란과 파란을 분류하기 위한 경계값은 0.6으로 설정하여 0.6보다 크면 정상란, 작으면 파란으로 판정하였다.

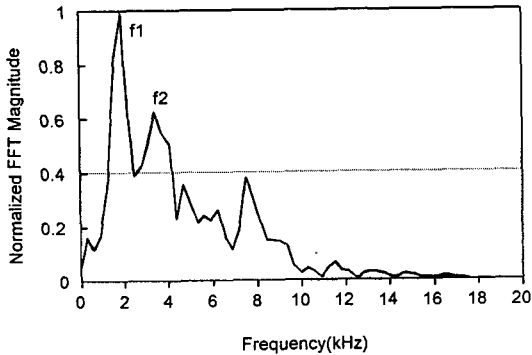


Fig. 3 Normalized power spectrum of cracked egg.

$$Y = 0.4696 - 0.1641 X1 - 0.0253 X2 + 0.3051 X3 + 3.5656 X4 - 0.2942 X5 \dots\dots\dots (1)$$

- 여기서 X1 : 파워스펙트럼 면적의 평균
- X2 : 파워스펙트럼 면적의 평균의 차이
- X3 : 파워스펙트럼 도심의 x 좌표의 평균
- X4 : 파워스펙트럼 도심의 y 좌표의 평균
- X5 : 파워스펙트럼 도심의 x 좌표의 평균의 차이

식(1)에서 경계값을 0.6으로 하였을 경우 정상란을 파란으로 판정하는 오차는 200개중 9개였고, 파란을 정상란으로 판정하는 오차는 200개중 27개였다.

파란을 정상란으로 판정하는 오차를 보완하기 위하여 그림 3과 같이 파워스펙트럼의 피크의 수와 값을 비교하였다. 파란의 경우 정상란과 비교해서

피크의 개수가 많고, 두 번째 최대 피크 값이 상대적으로 크기 때문에 최대 피크에 대한 두 번째 최대 피크의 상대적인 크기를 비교하여 40% 이상인 경우를 파란으로 판정하는 알고리즘을 추가하였다.

다. 시스템의 성능평가

정상란 200개, 파란 200개를 개발된 연속 검란 시스템에 적용하여 판별 성능을 평가하고, 그 결과표를 표 2에 나타내었다. 표 2의 성능평가 결과에서 보면 정상란을 파란으로 판별하는 경우가 200개중 14개로 7%의 오차를 나타내었고, 파란을 정상란으로 판별하는 경우는 200개중 22개로 11%의 오차를 나타내었다.

이와 같은 오차의 원인을 분석한 결과, 타격부위의 난각이 다른 부위와 비교해서 얇거나 두꺼운 경우와 기형란인 경우에는 정상란이라도 파란의 특성을 나타내는 것으로 확인되었고, 또 단란 검란 장치에서는 타격장치, 마이크 및 프리앰프를 각각 하나씩만 사용하여 정지 계란에 대해서 알고리즘을 만든 반면, 연속 검란 장치에서는 이동 중의 계란을 취급하기 때문에 이송장치의 소음이 가장 큰 문제가 되며, 한 개의 계란에 대해 두 번 타격한 음향신호를 수집하고 그 차이를 이용하여 이상유무를 판별하기 때문에 두 개의 타격 장치간에 충격력의 차이가 있거나 마이크와 프리앰프의 응답특성이 조금이라도 차이가 나면 이 차이가 계란의 음향신호에 영향을 미쳐 오차가 생길 수 있다. 따라서 오차를 줄이기 위해서는 개발된 검란 알고리즘에 계란의 품종 및 크기 등에 따른 음향 데이터를 추가하고, 파란 이외에 기형란을 별도로 분리하는 알고리즘의 보완이 필요

Table 2 Performance evaluation of egg inspection system

Class	No. of Samples	Correct Classification (%)	Error ratio (%)*	
			Type I	Type II
Good	200	93.0	7.0	11.0
Cracked	200	89.0		
Total	400	91.0	9.0	

* Type I : classifying crack-free eggs as cracked.
 Type II : classifying cracked eggs as crack-free.

하다. 또한 타격장치의 정밀도를 향상시키고, 두 개의 타격장치에 설치된 마이크와 프리앰프의 응답특성을 최대한 같게 한다면 오차를 최소화 할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 이송장치에 의해 연속적으로 이동되는 계란의 파손 여부를 실시간으로 검사하는 기술을 개발하기 위한 것으로, 이를 위하여 연속 검란 장치를 구성하였고 검란 알고리즘과 신호처리 소프트웨어를 개발하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 연속 검란 장치는 1열로 진행되는 계란을 검사할 수 있고 2세트의 타격장치로 구성되었다.

2) 계란 타격신호의 입출력 제어 및 신호분석을 위해서 디지털 신호처리 보드를 이용한 신호처리 소프트웨어를 개발하였으며, 이동중인 계란의 파란 여부를 판별하기 위한 검란 알고리즘을 개발하였다.

3) 검란 알고리즘으로 계란 타격신호에 대한 파워스펙트럼 분석을 기초로 하여 통계분석으로 구해진 판별식을 사용하였다.

4) 개발된 시스템의 성능 평가 결과 정상란을 파

란으로 판별하는 오차는 200개중 14개로 7%의 오차를 나타내었고, 파란을 정상란으로 판별하는 오차는 200개중 22개로 11%의 오차를 나타냈고, 검란에 소요된 시간은 개당 1초로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 조한근, 최완규. 1997. 난각의 음향반응에 영향을 주는 인자. 한국농업기계학회지 22(1):41-48.
2. 조한근, 최완규, 백진하. 1998. 음향반응에 의한 계란의 크랙검출에 관한 연구. 한국농업기계학회지 23(1):67-74.
3. 최완규, 조한근, 백진하. 장영창, 1998. 음향충격법과 인공신경망에 의한 파란 검출. 한국농업기계학회지 23(6):621-628.
4. 최동수, 최규홍, 이영희, 이강진, 윤진하, 김만수, 1999. 인공신경망을 이용한 수박의 음향 특성분석(1)-속도 및 공동, 한국농업기계학회 1999년 동계학술대회 논문집 4(1):652-660.
5. Crum L. D., R. Hastings and R. Luginbuhl. 1986. SAS STAT Guide for PC, SAS Institute Inc. pp. 267-336.