

# 파란의 실시간 자동검출

## On-line Detection of Cracks in Eggshell

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

### 1. 서론

음향반응을 이용한 농산물의 품질평가에 대한 연구는 일부 과일이나 채소에 적용되어 연구되어 왔지만 계란의 품질평가에 적용한 학계의 연구보고는 없다. 국외의 일부 기업체에서 음향반응과 전자기를 이용하여 파란 검출 장치를 개발하였다는 보고가 있지만, 국내에서는 자동 검란에 관한 연구가 전무해서 이에 대한 연구가 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 계란의 크랙 유무에 따라 정상란과 파란으로 분리하는 장치를 개발하기 위해서 음향반응을 이용한 검란 방법을 채택하였다. 음향반응을 이용한 검란 가능성과 계란의 음향반응을 측정함에 있어 영향을 미칠 수 있는 인자들에 대한 연구는 조와 최(1997)에 의해 수행된 바 있으며, 이 연구를 기초로 정지상태로 놓여 있는 계란에 대한 크랙을 검사할 수 있는 단란용 검란 장치 및 알고리즘이 개발되었다(조 등, 1998).

기 개발된 단란용 검란 장치에서는 정지 상태의 계란에 대해 연속적으로 입력되는 타격 신호를 디지털신호로 변환한 후에 신호분석 및 검란 알고리즘을 거쳐서 파란선별이 이루어졌다. 그러나 이송장치에 의해 연속적으로 이동하는 계란을 검사하기 위해서는 움직이는 계란에 대한 실시간 검란 장치 및 알고리즘의 개발이 필요하다.

따라서 본 연구는 단란용 검란 장치 연구를 통해 얻은 검란 알고리즘을 기초로 이송장치에 의해 연속적으로 이동하는 계란을 검사할 수 있는 복란용 검란 장치 및 알고리즘을 개발하기 위한 목적으로 수행되었다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 시스템 구성

이동중인 복수개의 계란을 검사하기 위해서 그림 1과 같은 복란용 검란 장치를 구성하였고, 구성된 검란 장치의 주요부 사양을 표 1에 나타내었다.

시스템의 흐름은 계란이 이송장치에 의해 1열로 이송되면서 계란의 유무를 감지하는 광센서와 타격위치를 감지하는 근접스위치의 조합에 의해 솔레노이드가 자동으로 작동되어 계

\* 충북대학교 농업기계공학과

\*\* 서울대학교 농업생명과학대학 농업개발연구소

란을 타격하고, 타격에 의한 음향신호를 마이크로폰으로 감지하여 프리앰프에서 증폭한 후 DSP 보드로 보내져 신호처리를 수행하여 정상란과 파란의 유무를 판별하고 판별신호를 출력한다.

이때 첫 번째 타격은 침부를 타격하며, 두 번째 타격은 둔부를 타격하도록 했으며, 각 타격장치간의 신호 간섭을 최소화하기 위해서 그림 1에서 보는바와 같이 첫 번째 타격장치와 두 번째 타격장치의 간격을 6칸으로 설정하였다. 또한 마이크로폰 프리앰프의 이득과 필터의 이득을 계란의 타격음만 감지하도록 조절하였고, DSP보드로의 신호입력시 트리거 레벨을 계란 타격음 수준으로 조절하여 설정레벨 보다 클때만 신호가 입력되도록 하였다.

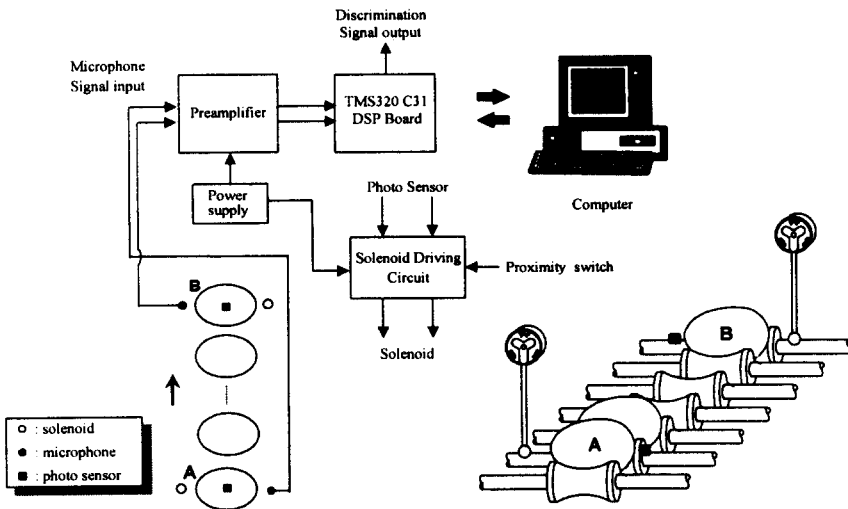


Fig. 1. Schematic diagram of multiple egg inspection system

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, ±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

## 나. 신호처리 소프트웨어 개발

계란 타격신호를 처리하는 신호처리 소프트웨어를 개발하기 위해 TMS320C31 디지털 신호처리를 탑재하고 있는 DSP(Digital Signal Processing)보드를 사용하였다.

DSP 보드는 200kHz의 샘플링이 가능한 2개의 A/D 변환기를 가지고 있다. 본 연구에서는 한 개의 A/D 변환기를 사용하여 멀티플렉싱을 통해 2개의 채널로 타격신호를 입력받았으며, 각 채널의 샘플링 주파수는 40kHz로 설정하였다.

## 다. 복란 검란 알고리즘 개발

복란 검란 알고리즘은 단란 검란 알고리즘을 기초로 개발하였다. 정지 상태의 계란에서 구해진 단란 검란 알고리즘을 연속적으로 이동하는 계란의 검사에 적용하기 위해서는 알고리즘의 수정 및 보완이 필요하였다.

따라서 양계장으로부터 구한 정상란 200개, 파란 200개를 개발된 복란 검란 장치에 적용하여 각 계란에 대하여 첨부 타격데이터 한 세트와 둔부 타격데이터 한 세트를 수집하였다. 수집된 신호를 이용하여 단란 검란 알고리즘 개발시 선정한 정규화 된 파워 스펙트럼의 면적, 도심, 최대 공진 주파수 및 이들 값들의 신호간 차이를 구하였으며, 복란 검란 알고리즘에 이들 값들의 적용 여부를 조사하였다.

# 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 안티 에일리어싱(anti-aliasing) 필터를 경유하여 A/D 컨버터에서 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.

### 가) 초기화 루틴

프로그램이 실행되었을 때 가장 먼저 실행되는 루틴으로서 아날로그 서브 시스템 및 포트 초기화하고 신호처리 프로그램에서 상태플렉으로 사용되는 모든 변수를 초기화하며 샘플링 주기 등을 설정한다. 이때 일정한 샘플링 주기를 설정하기 위하여 내부 타이머 인터럽트를 이용하였다.

### 나) 메인 루틴

메인 루틴은 초기화 루틴을 수행하고, 인터럽트 서비스 루틴을 인터럽트 벡터 테이블에 등록한 후 무한 루프 상태를 유지한다. 그리고 상태플렉에서 파란의 유무를 검사하여 세팅

된 경우 디지털 출력포트로 판정결과를 출력한다.

다) 인터럽트 서비스 루틴

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

인터럽트 서비스 루틴은 타이머 인터럽트에 의해 실행되는데, 루틴이 호출될 때마다 홀딩 레지스터에 저장되어 있는 값을 읽어 FFT를 수행한다. FFT에 의해 구해진 첫 번째 타격신호에 대한 파워스펙트럼 값은 두 번째 타격이 이루어질 때까지 저장되며, 두 번째 타격이 이루어진 후 파란선별 루틴에 의해 정상란과 파란을 판정하고 판별신호를 출력한다. 그림 2는 인터럽트 서비스 루틴의 흐름도를 나타낸다.

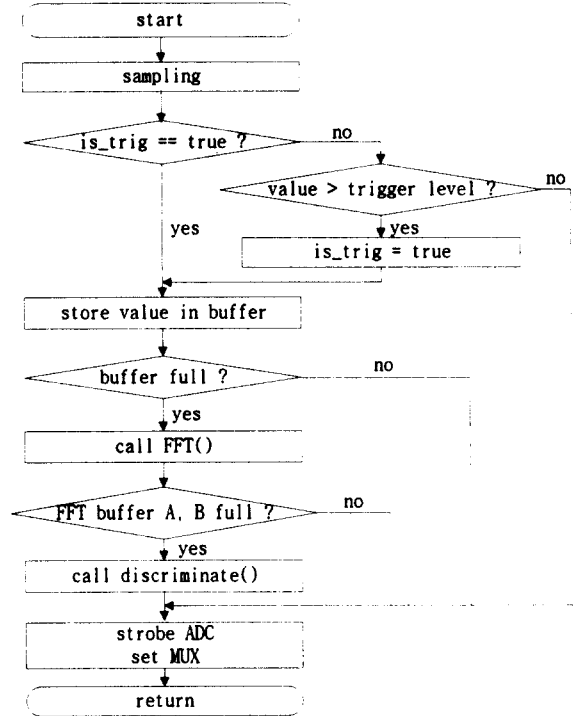


Fig. 2. Flowchart of interrupt service routine

라) 파란선별 루틴

파란 선별 루틴은 정상란과 파란을 판정하는 부분으로 복란용 검란 알고리즘에서 구한 검란 인자 및 판별식을 계산하여 정상란과 파란을 판정한다.

나. 복란용 검란 알고리즘

검란 인자인 파워스펙트럼의 면적, 도심, 최대 공진 주파수 및 이들 값들의 차이를 복란 검란 알고리즘에 적용할 수 있는지를 조사하기 위하여 통계분석에 의한 선형회귀모델을 구하였다. 이때 통계분석 방법은 최소자승법에 의한 선형회귀분석법을 사용하였고, 단계적 변수 선택법을 이용하여 결정계수 값이 큰 변수들을 선정하였다(Crum 등, 1986). 구해진 선형회귀식은 식(1)과 같으며, 식(1)의 결과값은 정상란의 경우 1에 가깝고, 파란의 경우는 0에 가까운 값을 출력한다. 이때 정상란과 파란을 분류하기 위한 경계값은 0.6으로 하였다.

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

- 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 피크값을 비교하였다. 파란의 경우 정상란과 비교해서 피크의 개수가 많고, 두 번째 최대 피크값이 상대적으로 크기 때문에 최대 피크에 대한 두 번째 최대 피크의 상대적인 크기를 비교하여 40% 이상인 경우를 파란으로 판정하는 알고리즘을 추가하였다.

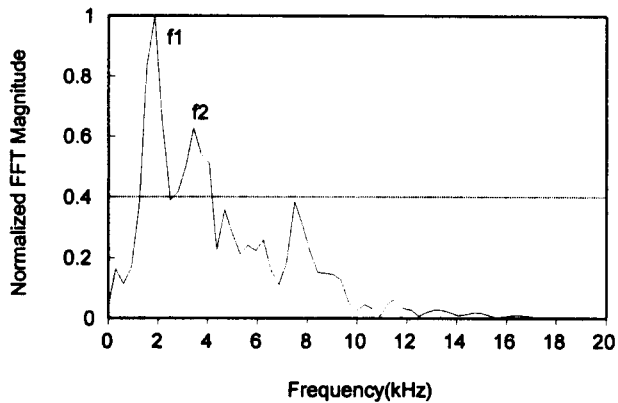


Fig. 3. Normalized power spectrum of cracked egg

### 다. 시스템의 성능평가

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

오차의 원인을 분석한 결과, 타격부위의 난각이 다른 부위와 비교해서 얇거나 두꺼운 경우와 같이 기형란인 경우에는 정상란 일지라도 파란의 특성을 나타내는 것으로 확인되었다. 또 한 개의 계란에 대해 두 번 타격한 음향신호를 수집하고 그 차이를 이용하여 이상유무를 판별하기 때문에 두 개의 타격 장치간에 충격력의 차이가 있거나 마이크와 프리앰프의 응답 특성이 조금이라도 차이가 나면 이 차이가 계란의 음향신호에 영향을 미쳐 오차가 생길 수가 있다. 따라서 오차를 줄이기 위해서는 검란 알고리즘의 보완, 타격장치의 정밀도 향상 및 마이크와 프리앰프의 이상적인 조화 등이 필요할 것이다.

Table 2. Performance evaluation of egg inspection system

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

\* Type I : classifying crack-free eggs as cracked

Type II : classifying cracked eggs as crack-free

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 이송장치에 의해 연속적으로 이동하는 계란의 크랙유무를 실시간으로 검사하는 기술을 개발하기 위한 것으로, 이를 위하여 복란용 검란 장치를 구성하였고 검란 알고리즘과 신호처리 소프트웨어를 개발하였다.

구성된 복란 검란 장치는 1열로 진행되는 계란을 검사할 수 있고 검란 속도에 맞추어 이송장치의 속도를 조절할 수 있으며, 2세트의 타격장치를 가지고 있다. 또한 계란 타격신호의 입출력 제어 및 신호분석을 위해서 디지털 신호처리 보드를 이용한 신호처리 소프트웨어를 개발하였으며, 정상란과 파란을 판별하기 위한 검란 알고리즘을 개발하였다. 검란 알고리즘은 계란 타격신호에 대한 파워스펙트럼 분석을 기초로 하며 통계분석에 의해 판별식을 구하였다. 개발된 시스템의 성능을 평가해본 결과 정상란을 파란으로 판별하는 오차는 200개중 14개로 7%의 오차를 나타내었고, 파란을 정상란으로 판별하는 오차는 200개중 22개로 11%의 오차를 나타내었다. 검란 장치의 정밀도를 개선한다면 오차를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

#### 5. 참고문헌

- 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) Crum L. D., R. Hastings and R. Luginbuhl. 1986. SAS STAT Guide for PC, SAS Institute Inc. : 267~336.