

자동검란 시스템 개발을 위한 기초연구

Basic Studies on the Development of Automatic Egg Inspection System

조한근* 최완규* 백진하*

정회원 정회원 정회원

H. K. Cho W. K. Choi J. H. Paek

1. 서 론

최근에 농업관련 작업의 자동화 추세에 맞추어 농산물의 품질평가를 위한 각종 비파괴적 방법에 대한 연구가 많이 시도되고 있다. 그중 하나가 농산물의 음향특성을 이용하는 방법이다. 음향특성을 이용한 농산물의 품질평가에 대한 연구는 특히 사과, 수박 및 멜론 등과 같은 과일이나 채소를 위주로 수행되어 왔다(Armstrong 등(1990), Chen 등(1992), Hayashi 등(1995), Sugiyama 등(1994), Yamamoto 등(1980)).

그러나 최근에 조와 최(1997)는 계란의 음향특성을 이용하여 파란을 검출하려는 연구를 시도하였다. 이를 위한 기초연구로서 난각의 음향반응을 측정하고, 난각의 음향반응에 영향을 미치는 인자들을 조사하였다. 그 결과 계란의 결함을 가장 잘 구별할 수 있는 최적의 조건은 계란을 타격하는 볼의 재질은 세라믹, 받침대는 고무, 진자의 타격 각도는 20도, 그리고 계란과 마이크로폰과의 측정거리는 10mm 이내로 할 경우였다. 또한 계란의 타격부위는 첨단부, 측정위치는 타격지점과 180도 지점에서 측정할 경우였다.

본 연구는 파란 선별용 자동 검란 시스템 개발을 위한 기초 연구로서 계란에 충격을 가함으로써 발생하는 음향신호를 처리, 저장 및 분석하기 위한 실험용 검사 시스템을 구성하고, 크랙을 효율적으로 검사할 수 있는 실용성 있는 알고리즘을 개발할 목적으로 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

자동화된 양계장에서 생산되는 하이라인 품종으로서 등급별(5등급) 40개씩 200개의 정상 계란을 시료로 사용하였다.

나. 실험장치 구성

실험용 검사 시스템은 계란 타격장치, 음향감지센서, 신호증폭장치, 신호수집 및 분석장치로 구성된다. 타격장치는 로타리형 솔레노이드(Shindengen사)에 PVC 막대를 연결하고 막대 끝에는 세라믹 볼을 부착하였다. 음향반응 감지 센서로는 콘덴서형 마이크로폰을 사용하였으며 계란과는 10mm 정도(대란기준)의 간격을 유지하고, 타격방향과 반대방향(180도)이 되도록 위치시켰다. 신호 증폭을 위해서 프리앰프 회로를 제작하였다. 신호 수집과 처리는 샘플

* 충북대학교 농업기계공학과.

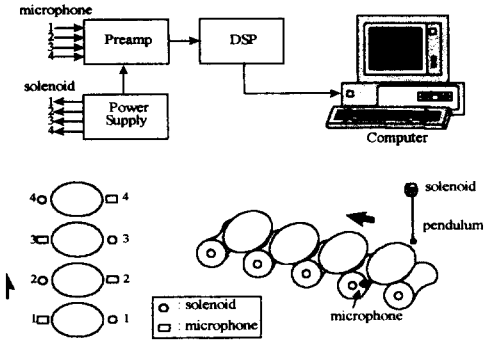


Fig. 1 Schematic diagram of experimental system.

플링율이 50kHz인 DSP(Ariel사)보드를 컴퓨터(IBM-AT 486 DX2 66MHz)와 함께 사용하였다. 계란 받침대는 양계장에서 사용되는 시판용 고무받침을 사용하였다. 그림 1은 실험장치의 개략도이다.

다. 실험방법

실험장치의 작동은 솔레노이드의 작동에 의해 계란을 타격하고, 타격에 의해 발생한 음향 신호는 5Hz~20kHz의 주파수 반응을 측정할 수 있는 마이크로폰으로 감지하였다. 감지된 미세한 전기적 신호는 프리앰프에서 증폭된 후

DSP 보드로 보내진다. 프로그램에 의해 시간영역 및 주파수 영역의 파형을 모니터에 표시하였고, 알고리즘 개발에 사용하기 위해 하드디스크에 저장하도록 하였다.

라. 판별 알고리즘 개발

판별 알고리즘을 구하기 위하여 임의로 추출한 정상란 100개를 시료로 이용하였다. 각 계란을 수동으로 회전시키면서 90도 간격으로 4세트의 신호를 측정하였는데, 침부를 타격하고 둔부에서 측정된 신호 2세트와 둔부를 타격하고 침부에서 측정된 신호 2세트를 수집하였다. 즉 계란 100개에서 추출한 400세트의 신호를 이용하여 판별 알고리즘을 구하였다.

판별 알고리즘을 구하기 위하여 정규화된 파워 스펙트럼의 면적, 파워 스펙트럼의 도심, 최대 공진 주파수 및 이들 값들의 신호간 최대 최소값의 편차를 판별 인자로 가정하고 각각의 판별 능력을 비교하였다.

1) 스펙트럼 면적

$$S = \sum_{i=0}^k P_i \quad (1)$$

여기서 S : 파워 스펙트럼의 면적, P_i : 파워 스펙트럼의 진폭

2) 스펙트럼 도심

$$C_x = \frac{\sum_{i=0}^k P_i \cdot f_i}{\sum_{i=0}^k P_i} \quad (2) \quad C_y = \frac{\sum_{i=0}^k P_i \cdot \left(\frac{P_i}{2}\right)}{\sum_{i=0}^k P_i} \quad (3)$$

여기서 C_x, C_y : 파워 스펙트럼의 도심 좌표, f_i : 주파수

3) 최대 공진 주파수

$$f_{res} = f(P_{i,max}) \quad (4)$$

여기서 f_{res} : 최대 공진 주파수, $P_{i,max}$: 파워 스펙트럼의 최대 진폭

3. 결과 및 고찰

가. 신호 유형

그림 2와 3은 정상란과 이상란에 대한 시간영역과 주파수 영역에서의 대표적인 응답신호를 보여준다. 시간영역의 경우, 이상란이 정상란에 비해 진동이 다소 빠르게 감쇠됨을 알 수 있다. 이는 난각의 파손으로 인한 감쇠효과가 정상란 보다 증가됨을 의미한다. 주파수 영역의 경우, 차이는 더욱 두드러져 스펙트럼의 면적이 이상란의 경우 증가하고, 피크의 수가 증가됨을 알 수 있으며 최대 공진 주파수의 변화 폭이 크게 나타났다.

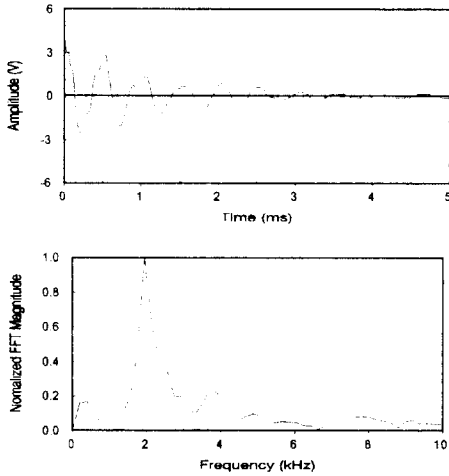


Fig. 2 Sound response(upper) and power spectrum(lower) of normal eggs.

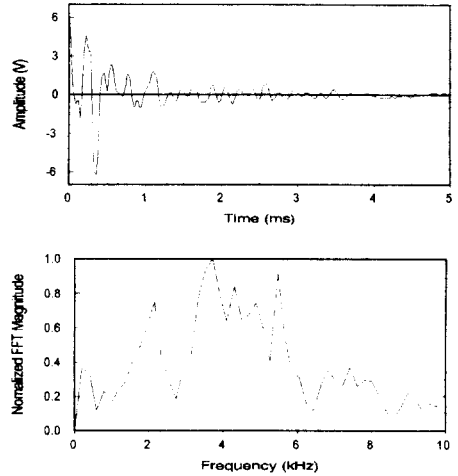


Fig. 3 Sound response(upper) and power spectrum(lower) of damaged eggs.

나. 판별 알고리즘 개발

1) 스펙트럼 면적

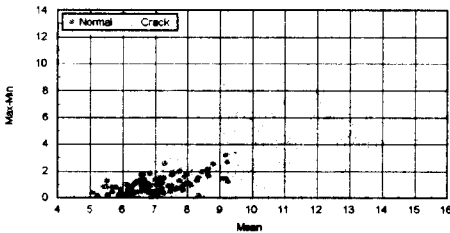


Fig. 4 Average vs. difference between maximum and minimum among four values of area in normalized power spectrum.

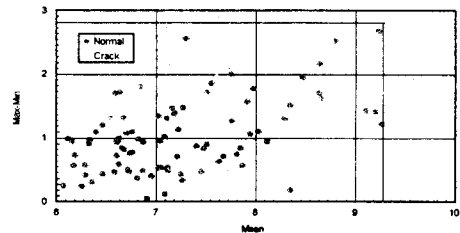


Fig. 5 Close-up view around boundary part in Figure 4.

그림 4는 각 계란에서 수집한 4개의 반응에 대한 파워 스펙트럼 면적의 평균값들을 가로축에, 최대값과 최소값의 편차들을 세로축에 보여준다. 그림 4에서 알 수 있듯이, 정상란의

경우 면적의 평균값과 편차가 작게 나타나서 좌측 하단에 모여있고, 이상란의 경우 면적의 평균값과 편차가 비교적 크게 나타남을 알 수 있다. 그림 5는 정상란과 이상란의 경계가 되는 부분을 확대하여 표시한 그림이다. 그림 5로부터 정상란과 이상란을 구분하는 조건으로 평균값이 9.3 보다 작고, 편차가 2.8 보다 작은 값을 가진 계란을 정상란으로 판정하고, 다른 값을 가지는 계란을 모두 이상란으로 판정하는 기준을 정하였다. 이 경우 정상란을 이상란으로 판정하는 오차는 0이 되고, 이상란을 정상란으로 판정하는 오차는 100개중 13개가 된다.

2) 스펙트럼 도심

그림 6은 모든 계란의 파워 스펙트럼의 도심의 4 신호간의 평균값을 나타낸다. 그림 6에서 보는 바와 같이 도심 값으로 이상란을 구별하기에는 적절치 못함을 쉽게 알 수 있다. 그림 7은 파워 스펙트럼의 도심의 4 신호간의 최대값과 최소값의 편차를 표시한다. 그림 7에서 보는 바와 같이 도심의 편차값은 이상란을 구별하는 기준으로 사용될 수 있음을 알 수 있다. 기준 식은 다음과 같다.

$$C_{y,diff} \geq -0.08571 \cdot C_{x,diff} + 0.06 \quad (5)$$

여기에서 $C_{y,diff}$: 도심 C_y 의 편차

$C_{x,diff}$: 도심 C_x 의 편차

위 식(5)를 사용하였을 때, 정상란을 이상란으로 판정할 오차는 100개중 2개로 나타났고, 이상란을 정상란으로 판정할 오차는 100개중 16개로 나타났다.

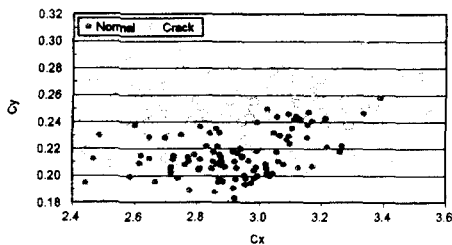


Fig. 6 Average of four values of centroid coordinates in normalized power spectrum density.

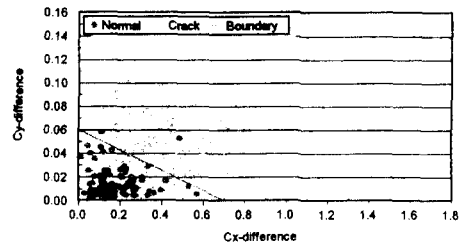


Fig. 7 Difference of four values of centroid coordinates in normalized power spectrum density.

3) 최대 공진 주파수

그림 8은 최대 공진 주파수의 신호간의 평균값이 분포할 빈도를 상대값으로 나타내고 있다. 그림 8에서 이상란의 최대 공진 주파수는 비교적 넓게 분포하고 있고, 정상란의 최대 공진 주파수는 1.5~3.0 kHz에 분포하는 특징을 보여 주고 있어 정상란과 이상란의 차이를 보여준다. 판별 경계 주파수로서 2~2.5 kHz의 범위를 고려한다면, 정상란을 이상란으로 판정

할 오차는 100개중 15개가 되며, 이상란을 정상란으로 판정할 오차는 100개 중 45개가 되어 기준으로 사용하기에는 적합하지 않았다.

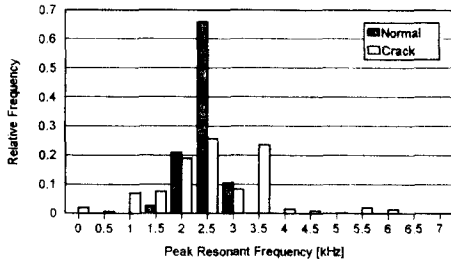


Fig. 8 Distribution of average of four values in peak resonant frequency.

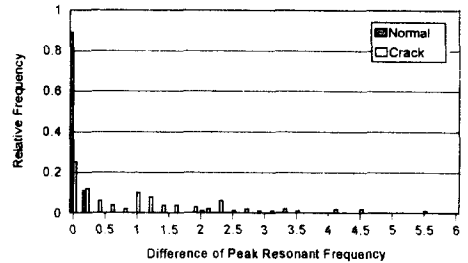


Fig. 9 Distribution of difference between maximum and minimum values in peak resonant frequency.

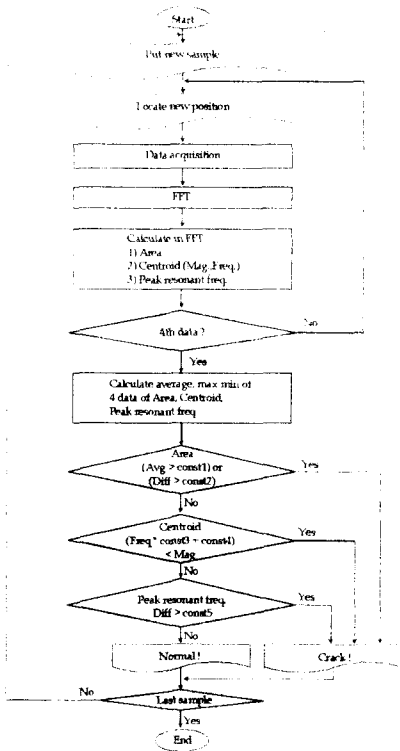


Fig. 10 Flow chart of crack detection algorithm.

그림 9는 최대 공진 주파수의 신호간 편차가 분포할 빈도를 상대값으로 표시하여 나타내고 있다. 정상란의 경우 편차가 아주 작게 나타나고, 이상란의 경우는 편차가 크게 나타났다. 기준을 0.3 kHz로 고려한 경우, 정상란을 이상란으로 판정할 오차는 100개 중 6개가 되고, 이상란을 정상란으로 판정할 오차는 100개 중 26개가 되어 편차 역시 기준으로 사용하기에는 적합하지 않았다. 위에서와 같이 면적에 의한 기준이 가장 높은 판정율을 보였고, 다음이 도심과 최대 공진 주파수 순서였다.

그림 10의 흐름도는 최종적으로 개발된 크랙 판별 알고리즘의 흐름도를 나타낸다. 알고리즘은 C 프로그램 언어로 코딩하고, DSP 제어 프로그램과 함께 컴파일하여, 하나의 실행 프로그램 파일로 구성하였다.

다. 판별 알고리즘 검정

본 연구에서 개발된 알고리즘의 성능을 점검하기 위하여 새로운 시료 100개를 구하여 검정시험을 실시하였다. 시료는 임의로 선정하였고, 이중 50개는 크랙을 임의로 만들어 실험을 실시하였다. 크랙은 계란 당 1개씩으로 가급적 작게 만들었으며, 모든 부위에 고르게 위치하도록 만들었다. 검정실험 결과 정상란을 이상란으로 판정한 오차가 2개, 이상란을 정상란으로 판정한 오차가 2개, 총 4개의 오차가 발생하였다. 이러한 오차의 주된 요인으로는 난각의 상태가 특이한 경우 음향 반응의 불균일성에서 기인한 것으로 추정된다.

현재 대부분의 양계장에서 채택되고 있는 자동 집란시설에 적용하기 위하여는, 솔레노이드 작동의 자동화와 이송용 모터나 벨트 등 다른 장치들에 의한 소음에 대한 대책이 요구되며, 현재의 판정율을 개선하기 위하여 알고리즘 개선을 비롯하여 보다 많은 연구가 필요할 것으로 본다.

4. 요약 및 결론

자동 검란 시스템을 개발하기 위한 기초실험으로 난각의 음향반응 실험장치를 구성하고, 계란의 크랙을 판별할 수 있는 방법들을 비교하여 검란 알고리즘을 개발하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 계란의 크랙을 판별할 수 있는 음향 반응장치를 구성하였다.
- 2) 판별 알고리즘 중에서 파워 스펙트럼의 각 면적간의 평균값과, 최대값과 최소값의 차이 값을 비교할 때 성공률이 높은 것으로 확인되었고, 모든 방법을 조합해서 사용할 때 성공률을 높일 수 있는 것으로 나타났다.
- 3) 본 연구에서 개발된 시스템으로 판정한 결과 정상란을 이상란으로, 이상란을 정상란으로 판정할 비율은 각각 4%, 4%로 나타났다.
- 4) 타격의 자동화, 다른 기기에 대한 소음문제 해결 및 판별 알고리즘의 개선을 통해 자동 검란 시스템의 개발이 가능할 것이다.

5. 참고문헌

1. 조한근, 최완규. 1997. 난각의 음향반응에 영향을 주는 인자. 한국농업기계학회지 22(1) : 41~48.
2. Armstrong P., H. R. Zapp, G. K. Brown. 1990. Impulsive excitation of acoustic vibrations in apples for firmness determination. Trans. of the ASAE. 33(4) : 1353~1359.
3. Chen P., Z. Sun, L. Huarng. 1992. Factors affecting acoustic responses of apples. Trans. of the ASAE. 35(6) : 1915~1920.
4. Hayashi S., J. Sugiyama, K. Otobe. 1995. Nondestructive quality evaluation of fruits and vegetables by acoustic transmission waves. Proceedings of ARBIP95 (JSAM) Vol(1) : 227~234.
5. Sugiyama J., K. Otobe, S. Hayashi, S. Usui. 1994. Firmness measurement of muskmelons by acoustic impulse transmission. Trans. of the ASAE. 37(4) : 1235~1241.
6. Yamamoto H., M. Iwamoto and S. Haginuma. 1980. Acoustic impulse response method for measuring natural frequency of intact fruits and preliminary applications to internal quality evaluation of apples and watermelons. J. of Texture Studies. 11 : 117~136.