

난각의 음향반응에 영향을 주는 인자

Factors Affecting Acoustic Responses of Egg Shell

조한근*

정회원

H.K. Cho

최완규*

정회원

W.K. Choi

1. 서론

음향 반응에 의한 농산물의 품질 평가에 대한 연구는 초기에 진동장치나 낙하 충격에 의한 음파 진동공진법으로 시작해서 최근에는 타격에 의한 음향 충격 전파반응법으로 연구가 행해지고 있다. 전자의 경우 진동을 검출하기 위해 진동가속도계 같은 감지 장치를 농산물의 표면에 부착해야 한다. 그러나 후자의 경우는 진동가속도계 대신에 공기 중으로 전파하는 음향신호를 마이크로폰과 같은 센서에 의해서 비접촉으로 감지를 할 수 있으며 타격장치가 진동 시스템을 대신한다.

본 연구는 음향 특성을 이용하여 난각의 음향반응을 측정하고, 난각의 음향반응에 영향을 미치는 인자들을 조사하기 위한 것으로 다음과 같은 세부 목적을 갖는다.

- 1) 타격방법, 계란의 타격부위, 센서의 위치, 계란을 고정시키는 방법 등이 음향신호에 미치는 영향을 조사한다.
- 2) 계란 음향의 파워 스펙트럼 분석을 통해서 계란의 결함이 가장 잘 구별될 수 있는 조건을 조사한다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

일반 상점과 계란 도매상에서 구입한 계란을 양호한 계란과 크랙이 있는 계란으로 구분하고, 또 임의로 계란의 집란 및 이송과정에서 발생하는 크랙과 유사한 크랙을 만들어 실험하였다. 단, 흠형파란과 같이 계란에 커다란 손상이 있는 것은 제외하고 미세한 크랙에 한해서 실험을 행하였다.

나. 실험방법

난각의 음향반응을 측정하기 위해서 그림 1과 같이 실험용 검사 시스템을 구성하였다.

* 충북대학교 농과대학 농업기계공학과

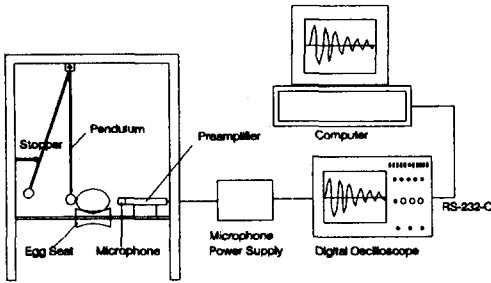


Fig. 1. Schematic diagram for acoustic response measurement of egg shell

(Tektronix 2232)로 보내져 파형을 기록한다. 오실로스코프에 기록된 시간영역 파형의 주파수 특성을 알아보기 위해서 RS-232-C 직렬 인터페이스를 이용하여 오실로스코프에 저장되어 있는 파형 데이터를 PC(IBM-AT 486 DX2 66MHz)로 보내 MATLAB의 FFT(Fast Fourier Transformation) 함수를 이용하여 주파수 분석을 하였다.

계란의 음향 반응에서 표면에 크랙이 있는 계란과 없는 계란의 주파수 특성을 가장 잘 나타내 주는 실험조건을 찾기 위해서 계란의 음향반응에 영향을 미칠 수 있는 인자들을 타격구의 재질, 충격력, 계란을 고정하는 받침대의 재질, 계란과 마이크로폰 사이의 거리 및 계란의 타격부위와 마이크로폰의 위치로 선택하고 그 인자들을 변화시켜 가면서 계란의 음향 반응을 측정하였다.

구의 재질은 알루미늄, 세라믹, 플라스틱 및 나무를 선택하였으며, 봉의 길이는 200mm로 고정하였다. 충격력의 영향을 알아보기 위해서 타격진자의 각도를 수직위치에서 25°, 20°, 15° 및 10°로 변화시켰으며, 봉과 볼의 자중에 의해 계란을 타격하도록 하였다. 받침대의 재질은 알루미늄, 고무, 나무로 변화시켰으며, 계란과 마이크로폰 사이의 거리는 10mm, 20mm, 30mm로 변화시켰다. 계란의 타격부위는 첨단부, 둔단부, 적도부위를 타격했으며, 마이크로폰의 위치를 타격지점에서 180°, 90°, 45°로 변화시켜 가면서 파형의 변화를 관찰하였다.

위의 실험 결과를 통하여 계란의 음향반응을 가장 잘 나타내주는 인자들을 선택하고, 그 인자들을 적용하여 양호한 계란과 깨진 계란의 음향반응을 측정하였다.

실험장치의 작동은 먼저 불이 달린 진자를 이용하여 계란이 깨지지 않을 정도로 타격하고, 타격에 의해 발생한 음향신호를 5Hz~20kHz의 주파수 반응을 측정할 수 있는 콘덴서형 마이크로폰(Brüel & Kjær 4165)에 의해 감지한다. 마이크로폰에 의해서 감지된 미세한 전기적 신호는 프리앰프(Brüel & Kjær 2669)에서 증폭된 후 마이크로폰 전원 공급장치(Brüel & Kjær 5935)를 거쳐 100MS/s의 샘플링율을 갖는 디지털 오실로스코프

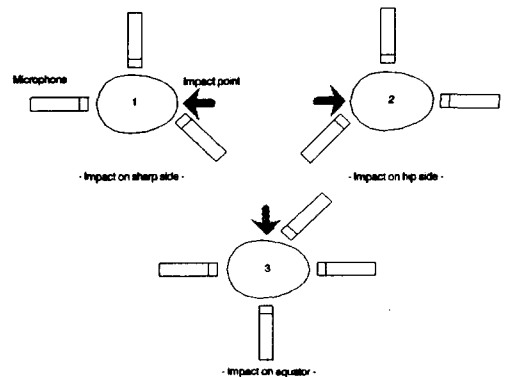


Fig. 2. Impact and sensor location in egg.

3. 결과 및 고찰

가. 타격구의 재질에 따른 영향

계란을 타격하는 구의 재질에 따른 파형의 FFT 분석 결과 그림.3의 파워 스펙트럼에서 보듯이 세라믹에서 양호한 계란과 깨진 계란을 구별하기에 좋은 파형을 얻을 수 있었다. 이후 실험은 직경 15mm의 세라믹 구로 고정하여 실시하였다

나. 충격력에 따른 영향

충격력의 영향을 알아보기 위해서 진자의 타격각도를 변화시킨 결과 양호한 계란의 경우 그림 4에서 보듯이 진자의 타격 각도에 따라 파워 스펙트럼의 크기에는 영향을 미쳤지만, 그 첨두치에 해당하는 공진 주파수의 변화는 거의 없었다. 즉 충격력이 크면 파워 스펙트럼의 크기도 커지고, 충격력이 작으면 파워 스펙트럼의 크기 또한 작아지는 경향을 나타내었다. 그러나 음향신호의 공진주파수는 진자의 타격각도에 관계없이 거의 일정했다.

깨진 계란의 경우에는 양호한 계란의 두드러진 특성과는 달리 진자의 타격 각도에 따라서 공진 주파수의 변화가 생겼다. 실험결과 진자의 각도가 25°일 경우에는 계란에 무리한 충격을 가하며, 20°미만일 경우에는 공진주파수의 크기가 작아서 양호한 계란과 깨진 계란의 구별이 확실치 않기 때문에 진자의 타격 각도를 20°로 선택하였다.

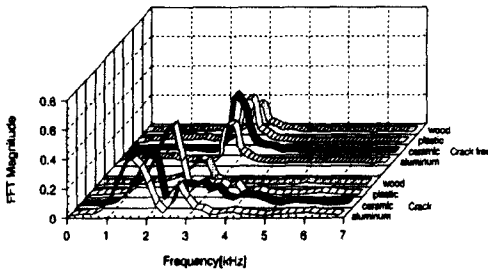


Fig. 3. Effects of impact materials on power spectrum.

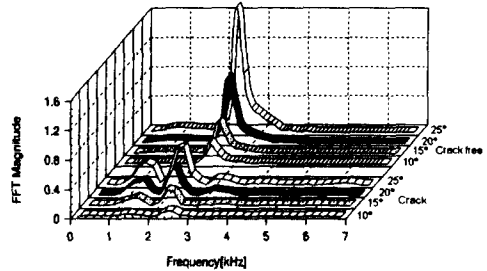


Fig. 4. Effects of pendulum angle on power spectrum.

다. 받침대의 재질에 따른 영향

계란을 고정하는 받침대의 재질을 알루미늄, 고무, 나무로 변화시켜 가면서 파형의 변화를 관찰한 결과 그림 5에서 보듯이 공진 주파수의 크기에만 약간의 차이가 있을 뿐 받침대의 재질은 계란의 음향반응에 크게 영향을 미치지 않는 것이 확인되었다. 단지 알루미늄과 나무의 경우는 계란을 확실하게 고정하지 못하고 타격시 흔들리는 경향이 있기 때문에 계란을 확실하게 고정 시켜줄 수 있는 고무 받침대를 선택하였다.

라. 계란과 마이크론 사이의 거리에 따른 영향

그림 6의 파워 스펙트럼에서 보듯이 계란과 마이크로폰 사이의 거리는 진동의 진폭에만 영향을 미치고 공진 주파수에는 영향을 주지 않았으며, 10mm이내에서 측정시 양호한 계란과 깨진 계란을 가장 잘 구별할 수 있는 파형을 얻을 수 있었다. 음향반응 측정시 계란과 마이크로폰이 접촉할 경우나 30mm 이상에서 측정할 경우에는 원하지 않는 파형이 나오는 것이 확인되었다.

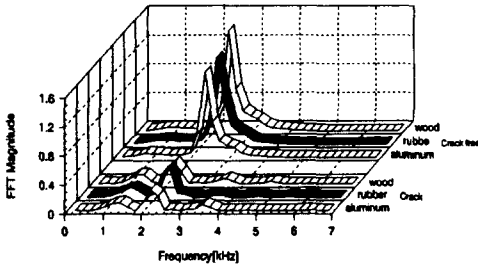


Fig. 5. Effects of egg seat materials on power spectrum.

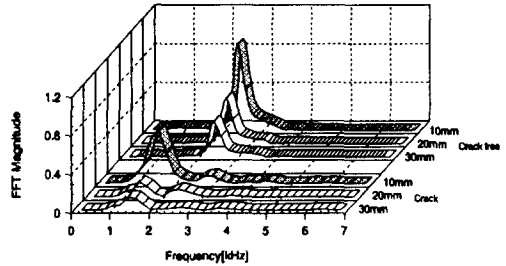


Fig. 6. Effects of distances between sensor and egg on power spectrum.

마. 타격 부위 및 센서의 위치에 따른 영향

1) 첩단부 타격

계란의 첩단부를 타격하고 마이크로폰을 타격지점을 기준으로 45°에서 측정할 때 시간영역의 파형은 타격시 타격음을 직접 받아들이기 때문에 다른 부위에서 측정할 때보다 초기 진폭이 크고 진동의 감소는 비교적 일정하게 오래 지속되었다. 그러나 초기 진폭이 크기 때문에 파워 스펙트럼에서는 두 개 이상의 첨두치를 나타내었다. 90°에서 측정시에는 어느 정도의 주파수 특성이 나타났지만 파워 스펙트럼의 크기가 그림 7(a)에서 보듯이 45°나 180°에 비해 아주 작게 나타났다. 180°에서 측정시에는 시간영역에서 진동의 감쇠가 다른 경우와 비교해서 일정하게 오래 지속되며 파워 스펙트럼에서는 하나의 높은 첨두치를 가지기 때문에 공진주파수와 그 크기의 구별이 확실하게 나타났다.

2) 둔단부 타격

그림 7(b)에서 보듯이 45°일 때 파워 스펙트럼의 크기가 상대적으로 매우 높았으며 90°일 때는 거의 구별할 수 없을 정도로 작았다. 180°지점에서 측정시 어느 정도의 계란의 주파수 특성이 나타나지만 두 개의 첨두치가 생기는 경우가 있었으며, 공진 주파수의 구별이 확실하지 않았다.

3) 적도부위 타격

적도부위를 타격할 경우 파워 스펙트럼에서는 그림 7(c)에서 보듯이 90° 지점에서 측정시에는 파워 스펙트럼의 크기가 아주 작아서 특정 주파수를 구별하기가 힘들었다. 45°와 180° 지점에서 측정시 2~3개 이상의 첨두치가 생기며 공진주파수도 수시로 변해서 구별하기가 어려웠다.

이상에서 계란의 타격부위는 첨단부를 타격하고, 마이크론의 측정위치는 타격지점을 기준으로 180° 지점에서 측정하는 경우를 선택하였다.

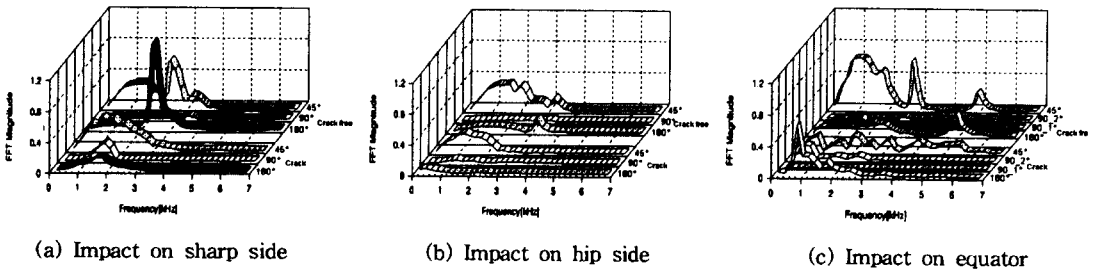


Fig. 7. Effects of sensor location on power spectrum.

6. 난각의 음향반응

위의 결과로부터 계란을 타격하는 볼의 재질은 세라믹으로 하고, 진자의 타격 각도는 20° , 받침대는 고무로 고정했으며, 계란과 마이크론과의 측정거리는 10mm 이내, 그리고 계란의 타격부위는 첨단부, 측정위치는 타격지점과 180° 지점으로 선택하여 난각의 음향 반응을 측정하였다.

그림 8과 그림 9는 각각 양호한 계란과 깨진 계란의 전형적인 음향신호와 파워 스펙트럼을 나타낸다. 각 음파로부터 총 1024개의 데이터 점이 얻어졌으며, 이 1024 데이터를 가지고 FFT를 실시 하였다. 양호한 계란의 경우 그림 8에서 보듯이 시간의 변화에 따른 음향반응은 파형에 잡음이 거의 없고, 주기가 일정하며 지수함수적으로 감소하는 파형을 보였다. 또 파워 스펙트럼에서는 단 하나의 첨두치를 나타내었으며, 다른 첨두치들은 거의 무시할 만큼 작았다. 그림 9의 깨진 계란의 시간영역 파형에서는 파형에 잡음이 많이 섞여 있으며, 주기 또한 일정하지 않고 파워 스펙트럼에서도 여러개의 첨두치를 나타내었다.

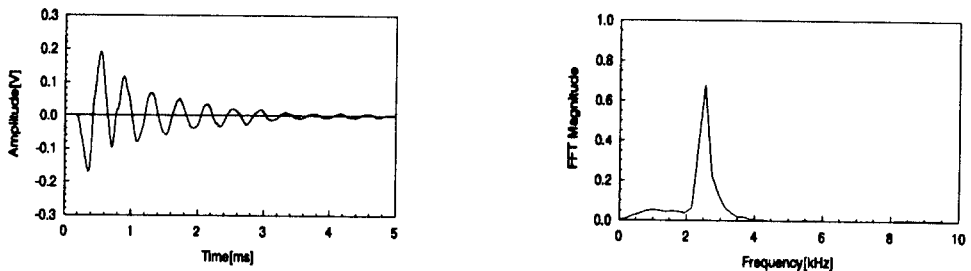


Fig. 8. Sound response(left) and power spectrum(right) of normal eggs.

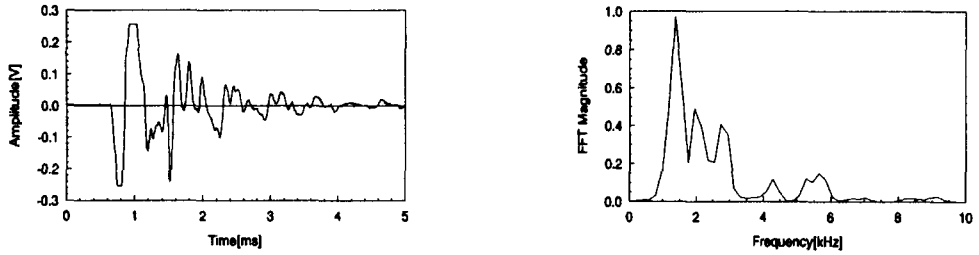


Fig. 9. Sound response(left) and power spectrum(right) of damaged eggs.

4. 요약 및 결론

음향반응에 의한 검란 가능성을 조사하기 위한 기초실험으로 난각의 음향반응에 영향을 미치는 인자들을 조사하고, 계란의 결함이 가장 잘 구별될 수 있는 실험조건을 조사하여 양호한 계란과 깨진 계란의 음향반응을 측정하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 계란의 결함을 가장 잘 구별할 수 있는 최적의 조건은 계란을 타격하는 볼의 재질은 세라믹, 받침대는 고무, 진자의 타격 각도는 20° , 그리고 계란과 마이크로폰과의 측정거리는 10mm 이내로 할 경우였다. 또한 계란의 타격부위는 첨단부, 측정위치는 타격지점과 180° 지점에서 측정할 경우였다.
- 2) 계란 음향의 파워 스펙트럼 분석에서 표면이 양호한 계란의 경우는 하나의 첨두치를 나타냈으며, 깨진 계란의 파워 스펙트럼에서는 대부분의 경우 첨두치가 하나 이상 나타났다. 또한 공진주파수에서의 파워 스펙트럼의 크기가 깨진 계란의 경우가 양호한 계란에 비해서 평균적으로 작게 나타났다.

5. 참고문헌

1. 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.
2. Chen P., Z. Sun, L. Huarng. 1992. Factors affecting acoustic responses of apples. Trans. of the ASAE. 35(6) : 1915~1920.
3. 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.
4. 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.