

## 난각의 음향반응에 영향을 주는 인자

### Factors Affecting Acoustic Responses of Egg Shell

조한근\*      최완규\*  
정회원      정회원  
H. K. Cho    W. K. Choi

#### ABSTRACT

A nondestructive quality inspection technique using acoustic impulse response method was studied to investigate the feasibility of egg shell inspection. An experimental system was built to generate impact force, to measure the response signal and to analyze the frequency spectrum. This system includes an impulse generating unit, an egg holding seat, a microphone with preamplifier, and a digital oscilloscope connected to Personal Computer by RS-232C interface. The factors such as impulse generating method, egg holding method, and sensor location were evaluated by analyzing the power spectrum density of the measured signal.

The results obtained are summarized as follows:

1. From the sampled eggs, the proper conditions for detecting damaged eggs were found as followings; ceramic for the impact ball material, rubber for egg seat material, 20 degrees for an impact angle of pendulum, 10mm for the distance between egg and sensor, the sharp side for impacting part, and 180 degrees for the location of sensor.
2. Examination of the Fourier transformed analysis in both normal and damaged eggs revealed that those factors such as the resonant frequency, a number of peak frequencies and the magnitude of power spectrum were important to detect damaged eggs.

**주요용어 (Key Words):** 계란(Egg), 음향반응(Acoustic Response), 파워스펙트럼(Power Spectrum), 공진주파수 (Resonant Frequency)

#### 1. 서      론

계란 소비의 증가와 소비자의 기호가 고품질과 저가의 상품을 원하는 추세에 있기 때문에 계란의 품질을 평가하는 것은 중요한 일이 되었다. 계란의 품질은 외부와 내부의 품질로 나누어지며, 외부 품질 요소로는 난각에 묻어 있는 오물, 난각이 깨지거나 구멍이 생긴 것, 기형란, 크기가 보통 계란보다 너무

크거나 혹은 너무 작은 것, 난각이 연한 것 등으로서 이러한 계란은 아무리 신선하고 내용물이 우량하다 할지라도 상품의 가치를 저하시킨다. 내부 품질평가 요소로는 난황, 난백 그리고 기실의 상태 등을 들 수 있다(오, 1990). 그러나 이러한 모든 것을 고려하여 계란의 품질을 평가하는 데는 많은 어려움이 따른다.

최근 세계적인 첨단 양계 시설의 도입으로 집란,

\* 충북대학교 농업기계공학과.

이송, 세척, 선별, 포장 등 대부분의 양계시설에 자동화가 이루어지고 있으나, 계란의 파란 및 오란 검사는 기초 장비를 활용한 인력에 의한 육안 검사에 의존하고 있다. 현재 자동화된 양계장의 경우 파란이나 오란율이 약 1.5%로 추정되고 있으며 계란의 고품질 유지를 위해서 이러한 파란이나 오란의 검사는 반드시 포함되어야 할 작업 과정이다.

최근에 영상처리를 이용해서 계란의 표면 결함을 검출하려는 연구가 행해지고 있다. 이 방법은 기계 시각에 의해서 결함 검출을 한다는 점에서 특기할 만한 일이지만, 영상처리에 의한 방법으로는 미세한 크랙의 검출이 어렵고, 검출에 소요되는 시간도 현실적으로 부합되지 않으며, 계란의 이상유무 뿐만 아니라 불필요한 결함의 위치 정보까지 제공하여 검색의 낮은 효율성을 갖는 문제점을 가지고 있다(조와 권, 1995). 특히 부화용 계란의 경우는 미세한 표면 크랙이나 난각의 조직 특성에도 민감하게 반응을 하기 때문에 검란시 각별한 주의를 요한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위한 새로운 방안으로 음향 반응에 의한 검란방법을 제시하였다.

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. 음파 진동공진법과 비교해서 음향 충격 전파반응은 장비면에서 더 간단하다. 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.

과일의 음향특성을 기초로 해서 사과와 수박의 조직특성을 비파괴적으로 측정하기 위한 연구가 Yamamoto 등(1980)에 의해 수행되었다. 그들은 나무로 된 볼로 사과와 수박을 타격하고 타격에 의해 발생한 소리 신호를 푸리에 변환함으로써 사과와 수박의 고유주파수를 얻었다. Armstrong 등(1990)은 사과에 순간적인 충격을 가했을 때 발생하는 음향 공진

주파수 진동으로부터 사과의 탄성계수를 예측하여 사과의 견고함의 정도를 측정하였다. Chen 등(1992)은 4개중에서 추출한 14개의 사과에 대한 소리의 고저 수준을 사람의 청력으로 평가한 다음 실험장치에 의한 사과의 음향 반응 측정과 비교하였다. 그 결과 소리의 고저 수준이 사과의 첫 번째와 두 번째 공진 주파수와 직접적인 상관이 있음을 확인하였다. Sugiyama 등(1994)은 음향 충격전파 반응을 이용하여 머스크 멜론의 품질을 평가하는 연구를 수행하였는데, 샘플의 적도 부분을 24등분해서 각각의 점에서 음향신호를 얻은 다음 시간에 따른 소리의 강도를 분석해 본 결과 충격에 의해서 발생한 음파가 샘플의 적도면을 따라 일정속도로 전달되며, 이 전달 속도는 성숙한 멜론일수록 더 느리다는 사실을 알았다. Hayashi 등(1995)은 몇가지 과일과 채소를 대상으로 음향 반응을 측정하여 음향 특성과 품질과의 관계를 설명하였다.

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

실험에 사용된 계란은 일반 상점과 계란 도매상에서 구입한 계란을 이용하였다. 구입한 계란에서 양호한 계란과 크랙이 있는 것을 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. 실험장치 구성

난각의 음향반응을 측정하기 위해서 실험용 검사 시스템을 구성하였다. 시스템의 구성은 음향반응 감지 센서로서 콘덴서형 마이크로폰(Bruel & Kjaer 4165)을 사용하였고, 신호 조절장치는 프리앰프(Bruel & Kjaer 2669)와 마이크로폰 전원공급장치(Bruel & Kjaer 5935), 그리고 계란 타격장치를 음향 유도장치로 사용하였다. 또 신호처리 장치로 디지털 오실로스코프(Tektronix 2232), 직렬 인터페이스(RS-232-C) 및 컴퓨터(IBM-AT 486 DX2 66MHz)를 사용하였으며, 계란을 고정하는 계란 고정장치와 전체 케이스로 구성하였다. 그림 1은 음향 실험장치의 개략도이다.

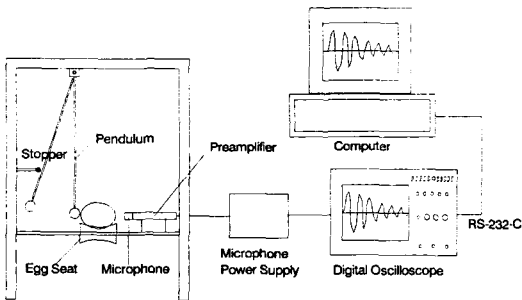


Fig. 1 Schematic diagram of the acoustic response measurement system of the egg shell.

실험장치의 작동은 먼저 불이 달린 진자를 이용하여 계란이 깨지지 않을 정도로 타격하고, 타격에 의해 발생한 음향신호를 5Hz~20kHz의 주파수 반응을 측정할 수 있는 콘덴서형 마이크로폰에 의해 감지한다. 마이크로폰에 의해서 감지된 미세한 전기적 신호는 프리앰프에서 증폭된 후 마이크로폰 전원 공급장치를 거쳐 초당 100만개의 샘플링율을 갖는 디지털 오실로스코프로 보내져 파형을 기록한다. 오실로

스코프에 기록된 파형은 시간영역의 파형으로서 입력된 파형의 특성을 알아보기 위해서 FFT(Fast Fourier Transformation)와 같은 주파수 분석을 할 필요가 있다. 본 실험에서 사용한 오실로스코프에는 FFT 기능이 없기 때문에 FFT를 수행하기 위해서 RS-232-C 직렬 인터페이스를 이용하여 오실로스코프에 저장되어 있는 파형 데이터를 PC로 보내 PC에서 FFT를 수행하였다.

#### 다. 실험방법

모든 실험에서 마이크로폰 전원공급장치의 이득은 주위 잡음의 영향을 고려해서 0dB(±5)로 놓고 수행하였으며, 오실로스코프는 파형의 변화를 쉽게 관찰할 수 있도록 시간축을 0.5ms, 전압축을 50mV로 설정하였다. 오실로스코프의 파형 포착방법은 불규칙 파형이나 급격한 펄스주기를 포착할 수 있는 Peak Detect 모드로 설정하고, Bandwidth Limit(BW LIMIT) 스위치를 ON으로 설정해서 파형에 포함된 잡음을 최소화 하였다. 또한 계란의 음향 반응 측정 시에는 단 한 번의 타격으로 발생한 신호를 감지해야 하기 때문에 단발 현상을 포착할 수 있는 Single Sweep(SGL SWP) 기능을 이용하였다. 실험에 사용된 오실로스코프는 측정하고자 하는 계란의 음향신호를 에일리어스(alias) 없이 받아들이기에 충분한 샘플링율을 가지고 있다.

계란의 음향 반응에서 표면에 크랙이 있는 계란과 없는 계란의 주파수 특성을 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 실험을 하였다. 실험에서 얻어진 데이터는 오실로스코프와 PC간에 인터페이스를 할 수 있는 소프트웨어(Tektronix Docuwave)를 이용하여 PC에 저장되며 주파수 분석은 MATLAB의 FFT 함수를 이용하였다. FFT를 이용한 스펙트럼 분석 결과를 기초로 계란의 크랙 유무를 판별할 수 있는 최적의 조건을 조사하였다.

(1) 타격 구의 재질

계란을 타격하는 구의 재질에 따른 계란의 음향반응을 알아 보기 위해서 구의 재질을 변화시켜 가면서 실험을 하였다. 구의 재질은 알루미늄, 세라믹, 플라스틱 및 나무를 선택하였으며, 봉의 길이는 200mm로 고정하고, 구의 직경은 알루미늄, 플라스틱, 나무의 경우는 20mm, 세라믹은 15mm로 하여 구의 재질에 따른 영향을 조사하였다. 이때 봉은 나무로 고정하고, 구의 재질만 변화시켜 가면서 파형의 변화를 측정하였다.

(2) 충격력

충격력의 변화에 따른 반응을 조사하기 위해 봉의 길이를 200mm로 고정하고 타격진자의 각도를 변화시켰다. 각도는 계란이 깨지지 않을 정도로 수직위치에서 25도, 20도, 15도, 10도로 변화시켰으며, 봉과 볼의 자중에 의해 계란을 타격하도록 하였다.

(3) 계란을 고정하는 받침대의 재질

받침대의 재질에 따라서 계란의 음향반응이 어떻게 변화하는가를 알아보기 위해서 받침대의 재질을 알루미늄, 고무, 나무로 변화시켜 가면서 파형의 변화를 관찰하였다. 받침대는 기존 양계 자동화 시설의 계란 이송 장치에 사용하고 있는 것과 동일한 모양과 크기로 제작하였으며, 철재 봉에 끼워 양단을 고정하였다.

(4) 계란과 마이크로폰 사이의 거리

계란의 타격음을 마이크로폰으로 감지할 때 증폭기의 성능에 따라서 차이가 있겠지만, 계란과 마이크로폰의 거리에 따른 영향이 있을 수 있다. 따라서 계란과 마이크로폰 사이의 거리를 10mm, 20mm, 30mm로 변화시켜 가면서 파형의 변화를 분석하였다.

(5) 계란의 타격부위와 마이크로폰의 위치

그림 2와 같이 계란의 타격부위와 마이크로폰의 위치를 변화시켜 가면서 계란의 음향반응을 측정하였다. 먼저 계란의 첨단부를 타격하고 마이크로폰의

위치를 타격지점에서 180도, 90도, 45도로 변화시켜 가면서 파형을 관찰하였다. 다음으로 계란의 둔단부를 타격하고 위와 같은 실험을 반복했으며, 마지막으로 계란의 적도부위를 타격하고 위의 실험을 반복하였다. 적도부위 타격시 90도 지점에서는 둔단부와 첨단부 두 군데를 측정하여 파형을 비교하였다.

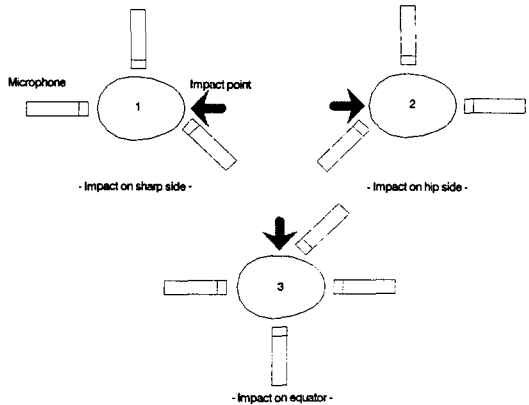


Fig. 2 Impact and sensor locations in egg.

(6) 난각의 음향반응 측정

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

3. 결과 및 고찰

가. 타격구의 재질에 따른 영향

계란을 타격하는 구의 재질을 알루미늄, 세라믹, 플라스틱, 나무로 변화시켜 가면서 양호한 계란과 깨진 계란의 음향 반응을 측정하고, 얻어진 파형에 대해서 FFT 분석을 실시한 결과 그림 3의 파워 스펙트럼에서 보듯이 알루미늄, 세라믹 및 플라스틱 모두 양호한 파형을 얻을 수 있었으나 나무의 경우는 탄성이 약해서 파형이 약간 미약하였다. 크랙이 있는 계란의 경우 세라믹이 제일 좋은 파형을 보여서

이후 실험은 직경 15mm의 세라믹 구로 고정하여 실시하였다.

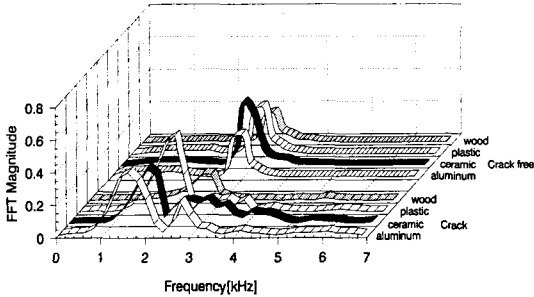


Fig. 3 Effects of impact materials on power spectrum.

나. 충격력에 따른 영향

충격력의 영향을 알아보기 위해서 진자의 타격 각도를 변화시킨 결과 양호한 계란의 경우 그림 4에서 보듯이 진자의 타격 각도에 따라 파워 스펙트럼의 크기에는 영향을 미치지 않았지만, 그 침두치에 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 타격 각도에 관계없이 거의 일정했다.

깨진 계란의 경우에는 양호한 계란의 두드러진 특성과는 달리 진자의 타격 각도에 따라서 공진 주파수의 변화가 생겼다.

위의 사항을 고려해 볼 때 양호한 계란만을 생각하면 충격력에 따른 영향을 고려하지 않아도 되지만, 깨진 계란을 같이 고려한다면 적당한 충격력을 찾는 것이 중요한 일이다. 실험결과 진자의 각도가 25도일 경우에는 계란에 무리한 충격을 가하며, 20도 미만일 경우에는 공진주파수의 크기가 작아서 양호한 계란과 깨진 계란의 구별이 확실치 않기 때문에 진자의 타격 각도를 20도로 선택하였다. 이때 진자의 길이는 200mm이고, 타격 높이는 7mm였다.

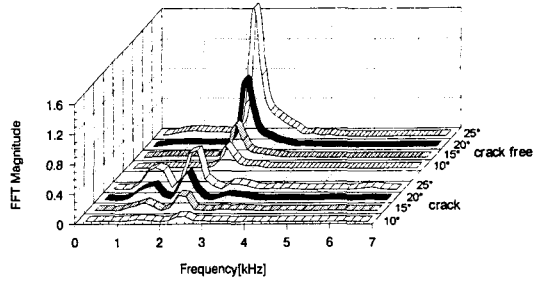


Fig. 4 Effects of pendulum angle on power spectrum.

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 음향 반응에 크게 영향을 미치지 않는 것이 확인되었다. 고무의 경우 알루미늄이나 나무보다 공진 주파수의 크기가 작게 나타났지만 그 차이는 극히 작았고, 알루미늄과 나무의 경우는 계란을 확실하게 고정하지 못하고 타격시 흔들리는 경향이 있었다. 따라서 계란을 확실히 고정 시켜줄 수 있는 고무 받침대를 선택하였다.

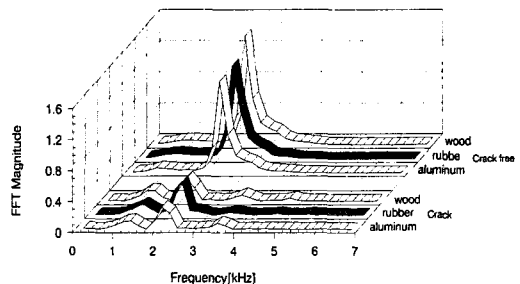


Fig. 5 Effects of egg seat materials on power spectrum.

라. 계란과 마이크로폰 사이의 거리에 따른 영향

그림 6은 계란과 마이크로폰 사이의 거리를 10mm, 20mm, 30mm로 변화시켜 가면서 파형의 변화를 관찰한 것이다. 그 결과 계란과 마이크로폰 사이의 거리는 진동의 진폭에만 영향을 미치고 공진 주파수에는 영향을 주지 않았으며, 10mm 이내에서 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.

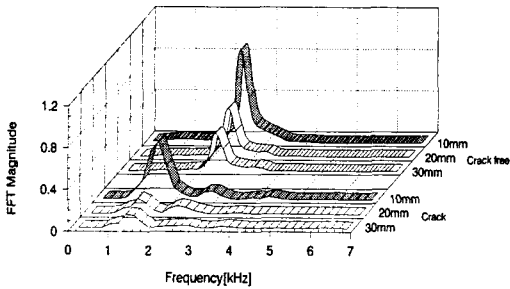


Fig. 6 Effects of distances between sensor and egg on power spectrum.

마. 타격 부위 및 센서의 위치에 따른 영향

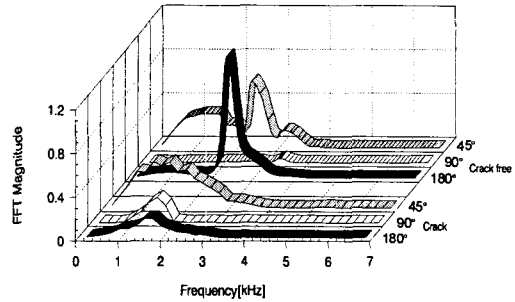
(1) 침단부 타격

계란의 침단부를 타격하고 마이크로폰을 타격지점을 기준으로 45도에서 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. 90도에서 측정시에는 어느정도의 주파수 특성이 나타났지만 파워 스펙트럼의 크기가 그림 7(a)에서 보듯이 45도나 180도에 비해 아주 작게 나타났다. 180도에서 측정시에는 시간영역에서 진동의 감쇠가 다른 경우와 비교해서 일정하게 오래 지속되며 파워 스펙트럼에서는 하나의 높은 첨두치를 가지기 때문에 공진 주파수와 그

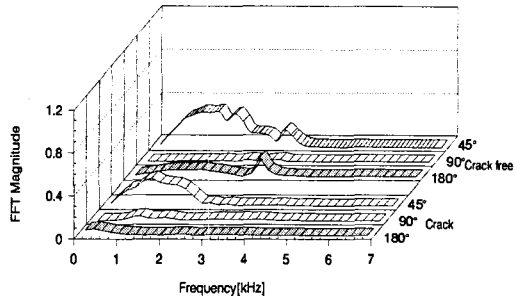
크기의 구별이 확실하게 나타났다.

(2) 둔단부 타격

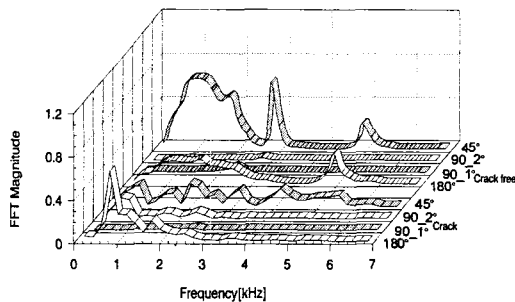
침단부를 타격할 때와 거의 같은 양상을 나타내지만 둔단부를 타격할 경우 시간영역의 파형은 진동이 빨리 감쇠되며 주기 또한 침단부를 타격할 때와 비



(a) Impact on sharp side



(b) Impact on hip side



(c) Impact on equator

Fig. 7 Effects of sensor locations on power spectrum.

교해서 일정하지 않다. 파워 스펙트럼에서도 45도일 때 파워 스펙트럼의 크기가 상대적으로 매우 높았으며 90도일 때는 거의 구별할 수 없을 정도로 작았다. 180도 지점에서 측정시 어느정도의 계란의 주파수 특성이 나타나지만 두 개의 침두치가 생기는 경우가 있었으며, 또 두 침두치의 크기 차이가 그림 7(b)에 나타난 바와 같이 분명하지 않았다.

(3) 적도부위 타격

적도부위를 타격할 경우 시간영역의 파형에는 잡음이 많이 섞여 나왔으며 진동의 감쇠 또한 일정하지 않았다. 파워 스펙트럼에서는 그림 7(c)에서 보듯이 90도 지점에서 측정시에는 파워 스펙트럼의 크기가 아주 작아서 특정 주파수를 구별하기가 힘들었다. 45도와 180도 지점에서 측정시 2~3개 이상의 침두치가 생기며 공진 주파수도 수시로 변해서 구별하기가 어려웠다.

이상에서 계란의 타격부위는 첨단부를 타격하고, 마이크로폰의 측정위치는 타격지점을 기준으로 180도 지점에서 측정하는 경우를 선택하였다.

바. 난각의 음향반응

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

그림 8과 그림 9는 각각 양호한 계란과 깨진 계란의 전형적인 음향신호와 파워 스펙트럼을 나타낸다. 각 음파로부터 총 1,024개의 데이터 점이 얻어졌으며, 이 1,024 데이터를 가지고 FFT를 실시 하였다. 그 결과 첫 번째 100쌍의 푸리에 계수만이 원래의 음파를 설명하는데 필요했으며, 이 중 50쌍의 계수가 계란의 음향 반응에서 공진 주파수를 설명하는데 필요했다.

양호한 계란의 경우 그림 8에서 보듯이 시간의 변화에 따른 음향반응은 파형에 잡음이 거의 없고, 주

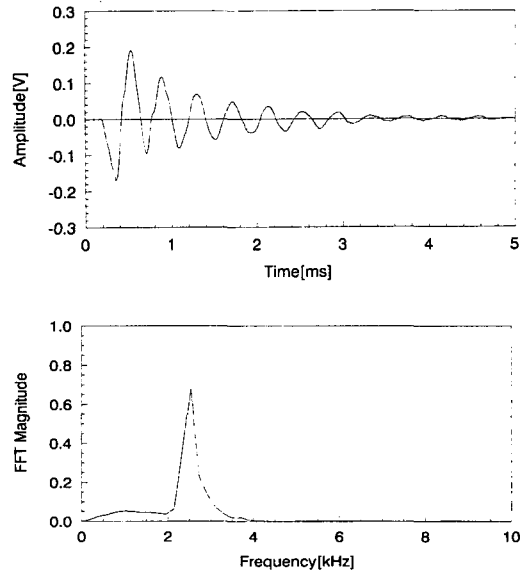


Fig. 8 Sound response(upper) and power spectrum(lower) of normal eggs.

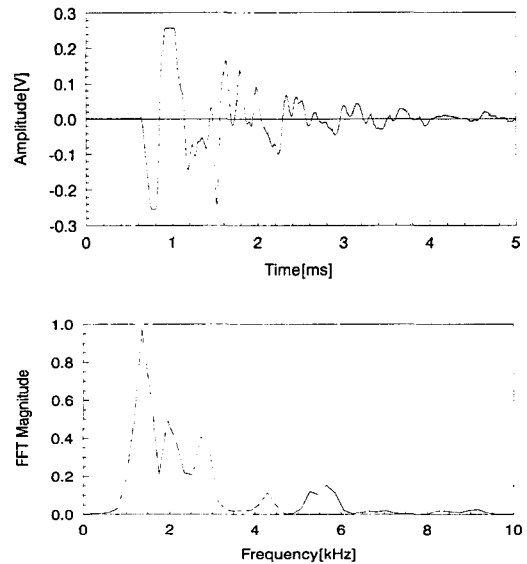


Fig. 9 Sound response (upper) and power spectrum (lower) of damaged eggs.

기가 일정하며 지수함수적으로 감소하는 파형을 보였다. 또 파워 스펙트럼에서는 단 하나의 침두치를

나타내었으며, 다른 침두치들은 거의 무시할 만큼 작았다. 그림 9의 깨진 계란의 시간영역 파형에서는 파형에 잡음이 많이 섞여 있으며, 주기 또한 일정하지 않고 파워 스펙트럼에서도 여러 개의 침두치를 나타내었다.

음향반응에 의한 검사방법이 실제의 집란설비에 적용되기 위해서는 다른 장치들에 의한 소음문제가 해결되어야 하며, 빠른 속도로 이동하는 계란에 대한 효과적인 음향측정 방법에 관한 보다 많은 연구가 필요할 것으로 본다.

#### 4. 결 론

음향반응에 의한 검란 가능성을 조사하기 위한 기초실험으로 난각의 음향반응에 영향을 미치는 인자들을 조사하고, 계란의 결함이 가장 잘 구별될 수 있는 실험조건을 조사하여 난각의 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 20도, 그리고 계란과 마이크로폰과의 측정거리는 10mm 이내로 할 경우였다. 또한 계란의 타격부위는 첨단부, 측정위치는 타격지점과 180도 지점에서 측정할 경우였다.

2) 계란 음향의 파워 스펙트럼 분석에서 표면이 양호한 계란의 경우는 하나의 침두치를 나타냈으며, 깨진 계란의 파워 스펙트럼에서는 대부분의 경우 침두치가 하나 이상 나타났다. 또한 공진 주파수에서의 파워 스펙트럼의 크기가 깨진 계란의 경우 양호한 계란에 비해서 평균적으로 작게 나타났다.

#### 5. 참고문헌

1. 오봉국. 1990. 현대가금학. 문운당:383-391.
2. 조한근, 권 양. 1995. 컴퓨터 시각에 의한 계란 표면의 결함 검출. 한국농업기계학회지 20(4): 368-375.
3. 최완규. 1997. 비파괴 품질검사를 위한 난각의 음향특성. 충북대학교 석사학위논문.
4. 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.
5. Chen P., Z. Sun, L. Huarng. 1992. Factors affecting acoustic responses of apples. Trans. of the ASAE. 35(6):1915-1920.
6. 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.
7. 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.
8. 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.