

## 수박의 음향특성에 관한 연구

### Study on Acoustic Characteristics of the Watermelon

김 만 수*	최 동 수*	이 영 희**	조 영 길**
정회원	정회원	정회원	정회원
M. S. Kim	D. S. Choi	Y. H. Lee	Y. K. Cho

#### ABSTRACT

This study was conducted to investigate the relationships between parameters affecting internal quality of watermelon and its acoustic characteristics. The measuring and analyzing system was established to study the acoustic characteristics of watermelon. Algorithms for analyzing sound signals were developed. Sound signals which was detected with the microphone were filtered, and their spectrum was computed by means of the Fast Fourier Transform. As watermelon changed from the unripe stage to ripe, acoustic waves in time domain became complicated, and several components appeared in frequency domain.

The correlationship was investigated between some parameters affecting internal quality of the watermelon and several peak frequencies. Results indicated that weight, density and sugar content had high correlations with several frequencies(the first peak frequency, the second peak frequency, and the third peak frequency). And the sugar content and the volume of the watermelon were highly correlated with the third peak frequency.

**주요용어(Key Words):** 음향특성(Acoustic Characteristics), FFT, 스펙트럼(Spectrum), 피크 주파수(Peak Frequency)

#### 1. 서 론

농산물의 품질을 판정하는 요인은 크게 외부적인 요인과 내부적인 요인으로 나눌 수 있다. 농산물의 품질판정은 크기, 형태, 색택 및 흠의 유무 등 외부적인 요인에 따라 행해지고 있는 실정이다. 그러나 비파괴적인 내부 품질판정 기술은 농산물의 적기수확 판정, 저장기간 예측, 객관적인 내부품질평가 등에 이용됨으로 인해 그 중요성이 높아지고 있다.

일반적으로 청과물의 속도판정은 인력에 의존하는 경우가 많은데 속도를 어느 정도 정확하게 판정할 수 있으려면 오랜 경험이 있어야 하겠으나 오랜

경험이 있다 하더라도 이와 같은 속도판정은 주관적인 요소가 포함되어 있을 뿐만 아니라, 내부 과육의 품질을 객관적으로 평가하기는 매우 어려운 실정이다.

농산물의 내부품질을 예측하기 위하여 음향충격 응답법, 진동응답법을 이용한 연구가 60년대 후반부터 많은 연구자들에 의해 수행되어 왔다. Abbott 등(1968)은 사과를 경도를 파괴적인 압력시험으로 측정하는 대신에 음향공명법을 이용하여 측정할 수 있을 것이라고 제안하였다. 이들은 진동 여자(vibrational excitation)를 받는 사과는 일련의 공명 주파수를 보여 준다는 것과 두 번째 공명 주파수는 굴곡진

\* 충남대학교 농과대학 농업기계공학과

\*\* 농업기계화연구소 가공기계과

동과 관계가 있고 사과와 크기와 경도에 의해 큰 영향을 받는다고 보고하였다.

또한 Abbott 등(1976)은 농산물의 속도와 밀접한 관계가 있는 경도를 비파괴적인 방법으로 측정하기 위해 단단한 표면을 타격해서 복숭아의 충격특성을 분석하였다. 시간과 주파수 영역에서 충격특성은 탄성계수, 과육 경도 그리고 바탕색과 비교적 높은 상관관계가 있었으므로 경도를 예측하는데 사용될 수 있다고 하였다. 이런 원리를 이용하여 Delwiche 등(1989)은 컨베이어벨트에 의해 이송된 과일을 타격한 후 압전소자에 의해 충격력을 측정하여 과일 경도를 예측 선별하는 충격력 응답 과일 경도 선별기를 개발하였다.

Yamamoto 등(1980, 1981)는 과일의 음향임펄스 응답을 이용하여 사과와 수박의 내부품질을 비파괴적으로 판정할 수 있는 기술을 개발하였다. 그들은 과실에 손상을 덜 입히는 나무 볼 진자로 과일을 타격해서 발생하는 음향을 기록하고 그 후 음향신호를 FFT 처리함으로써 과실의 공명 주파수를 얻었으며, 사과와 수박의 공명 주파수가 저장시간에 따라 줄어들음을 파악하였다. 그들은 또한 과일의 공명 주파수, 질량, 밀도로 표현된 경도지수와 공명주파수는 과일의 경도와 감각측정과 깊은 상관관계가 있음을 보고하였다. 경도지수( $f_m$ )는 Magness-Taylor 경도시험기로 측정된 경도와 질량  $m$ 과 높은 상관관계가 있다고 하였다.

Sasao(1985)는 고무볼로 충격을 주어 수박의 음향 응답을 수확현장에서 측정하는 실험을 수행하였다. 그는 수박의 첫 번째 공명주파수는 시간에 따라 줄어들고, 두 번째 공명주파수는 수박이 최적 숙성단계에 다다랐을 때 나타났으며, 세 번째와 그 이상의 더 높은 공명주파수 피크가 나타나는 것은 수박에 구멍과 균열이 있을 때 나타나는 것으로 보고하였다.

Armstrong 등(1990)은 사과의 첫 번째 공명주파수를 측정하여 탄성계수를 예측하였으며, 사과의 중심부가 포함된 시편에 의한 탄성계수는 공명주파수에 의하여 예측된 수확 직후 사과의 탄성계수와 밀접한 상관관계가 있음을 알아냈다.

Peleg(1990)는 아보카도(avocado) 과실을 통해 전달된 음파의 진동에너지를 측정하였으며 과실의 속도 변화에 대한 경도지수의 반응감도(sensitivity)는 지금까지 사용해 오던 파괴적인 경도시험에 의한 것보다 상당히 높은 것으로 보고하였다.

본 연구에서는 우리 나라 과채류 생산량의 약 70%를 점하고 있는 수박을 대상으로 음향실험을 할 수 있는 계측 및 분석 시스템을 구축하고, 수박의 음향학적 특성을 구명함으로써 내부품질을 비파괴적으로 평가하기 위한 기초연구를 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 공시재료

본 연구에 사용된 공시재료는 품종이 금천인 수박이었으며 대단위 생산지인 부여에서 적숙과, 미숙과를 각각 10개씩 크기별로 구입을 하였다. 미숙과의 경우 착과 후 25일된 것을 선정하였으며, 적숙과는 착과 후 45일되어 수확된 것을 선정하였다.

### 나. 실험장치

수박의 타격음에 대한 반응 신호를 계측하기 위하여 구성된 시스템의 개략도는 그림 1과 같으며, 시스템을 구성하고 있는 계측기의 제원은 표 1에 나타내었다.

그림 1은 공시재료에 외부 힘을 가하여 자유진동을 일으켜 재료의 음향 충격(impulse) 반응을 계측하는 시스템으로서, 외부 힘을 가하는 장치는 진자를 이용한 타격방식을 사용하였다. 타격부는 아크릴구를 사용하였으며, 진자의 원활한 진동을 위하여 베어링을 사용하였다. 이때 타격구의 무게는 17.18g이었으며, 진자의 길이는 35cm이었다. 진자의 낙하각도를 임의로 선택할 수 있도록 베어링이 설치된 부분에 각도기를 설치하였다.

음향신호 검출부는 마이크로폰(microphone), 마이크로폰 프리앰프(microphone preamplifier), 그리고 마이크로폰 전원공급장치이며, 신호분석부로는 음향

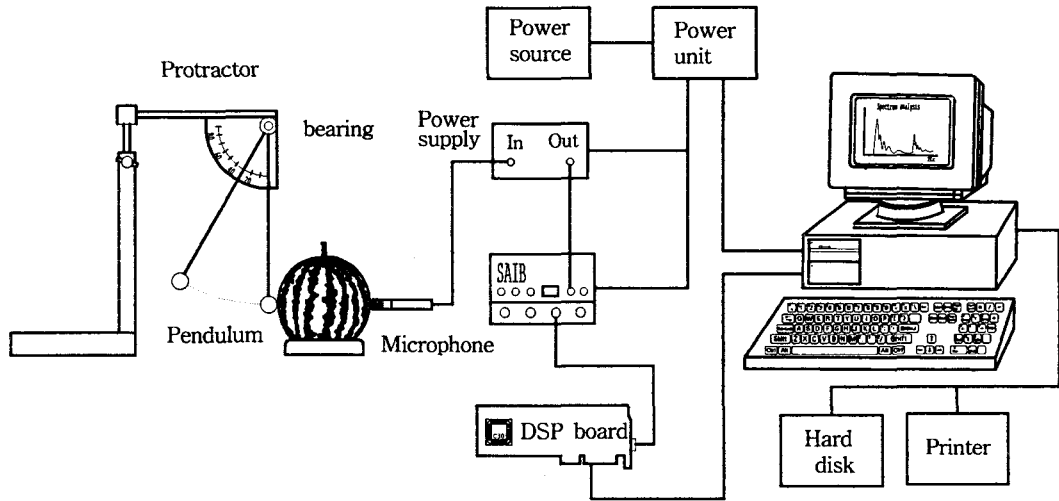


Fig. 1 Schematic diagram of measuring system for acoustic impulse responses.

Table 1 Specifications of measuring system for acoustic impulse responses

Items	Specifications	Remarks
Microphone set	microphone <ul style="list-style-type: none"> <li>• frequency response(<math>\pm 2</math>dB): 5Hz to 40kHz</li> <li>• dynamic range(3% THD): 20 to 145dB</li> <li>• Sensitivity(dB re: 1V/pa): <math>-36</math>dB</li> </ul> microphone power supply microphone preamplifier	HEWLETT PACKARD Model : HP ACOJ-7012XX HP ACOP-9200XX HP ACOP4012XX
Microphone calibrator	reference tone: 94dB SPL and 104dB SPL( $\pm 0.5$ dB) output frequency: 1 kHz( $\pm 2\%$ )	HEWLETT PACKARD Model: HP ACOP-511EXX
DSP board	DSP chip: TMS320C30, 40MHz	SONITECH International, Inc. Model: SPIRIT-30
Stereo Audio Interface Box (SAIB)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• channel: 2 channel A/D and 2 channel D/A</li> <li>• signal coding: 16-bit linear</li> <li>• sample rate: 5.5, 6.6, 8, 9.6, 11, 16, 22.05, 32, 44.1, 48kHz(software selectable)</li> <li>• full scale input: Line 2.8Vpp, Mic .29Vpp</li> </ul>	SONITECH International, Inc. Model: SAIB-48
Computer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IBM 586-100 MHz</li> <li>• hard disk: 1.2Gb</li> <li>• memory: 16Mb</li> </ul>	
Arbitrary waveform generator	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 standard waveform</li> <li>• built-in 12-bit 40MSa/s arbitrary waveform capability</li> </ul>	HEWLETT PACKARD Model: HP33120A
Digital oscilloscope	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sample rate max.: 2GSa</li> <li>• sensitivity: 1 mV/div to 5V/div</li> </ul>	HEWLETT PACKARD Model: HP54542A
Digital balance	weighing range: 5 kg to 25kg	CAS Engineering, Model: SC-25P
Universal Testing Machine	500kg, capacity, 0.05mm/min loading rate accuracy	Deayoung

신호를 A/D 변환시키는 기능을 하는 SAIB(Stereo Audio Interface Box), 고속으로 신호처리를 하는 DSP(Digital Signal Processing) 보드와 신호분석을 위한 컴퓨터로 구성하였다.

다. 실험방법

1) 밀도, 탄성계수, 당도 측정

수박이 균일한 재질로 구성되어 있다는 가정하에 수박의 질량과 체적의 비를 수박의 밀도로 간주하였다.

본 연구에서는 내부품질에 큰 영향을 미치는 탄성계수를 UTM(Universal Testing Machine)을 사용하여 측정하였다. 하중 재하속도는 20mm/min이었으며, 압축실험에 사용된 시편은 음향실험을 한 직후에 수박을 쪼개어 껍질에 가까운 부분과 중심부분 그리고 중심과 껍질의 중간부분 모두 3개를 시편채취기(cork borer)를 이용하여 채취한 다음, 직경 17.6mm, 길이 20mm의 원통형 시편을 만들어 사용하였다.

당도 측정은 압축실험에서 채취한 시편으로부터 Brix 당도계를 사용하여 측정하였다.

2) 타격구의 재질, 타격각도, 마이크로폰의 위치  
타격구의 재료가 음향특성에 미치는 영향을 구명하기 위하여 타격구를 17.89g인 아크릴구, 14.89g인 나무 구, 42.85g인 철구를 사용하였으며, 또한 타격각도에 의한 영향을 구명하기 위하여 10도간격으로 20도부터 70도까지 변화를 주면서 실험을 하였다.

마이크로폰의 위치에 따라 수박의 음향반응을 측정하기 위하여 마이크로폰을 타격점에서 반시계 방향으로 90도, 180도, 270도로 변화시켜가면서 실험을 수행하였으며, 공시재료인 수박과 마이크로폰과의 거리는 3mm~5mm로 하였다.

3) 신호처리

① 필터설계

본 실험의 조건은 무향실과 같은 실험 환경이 아니기 때문에 각종 소음(Noise)에 노출되어 있으며, 수박을 매질로 하여 전달되는 유효한 음향신호는 거의 1kHz범위 내에 존재하기 때문에 주파수 분석을 위한 FFT신호처리시 에얼리어싱 현상이 일어나지 않도록 하기 위하여 필터를 설계하여 적용하였다. 필터설계시 필터스펙과 설계된 필터 특성은 그림 2

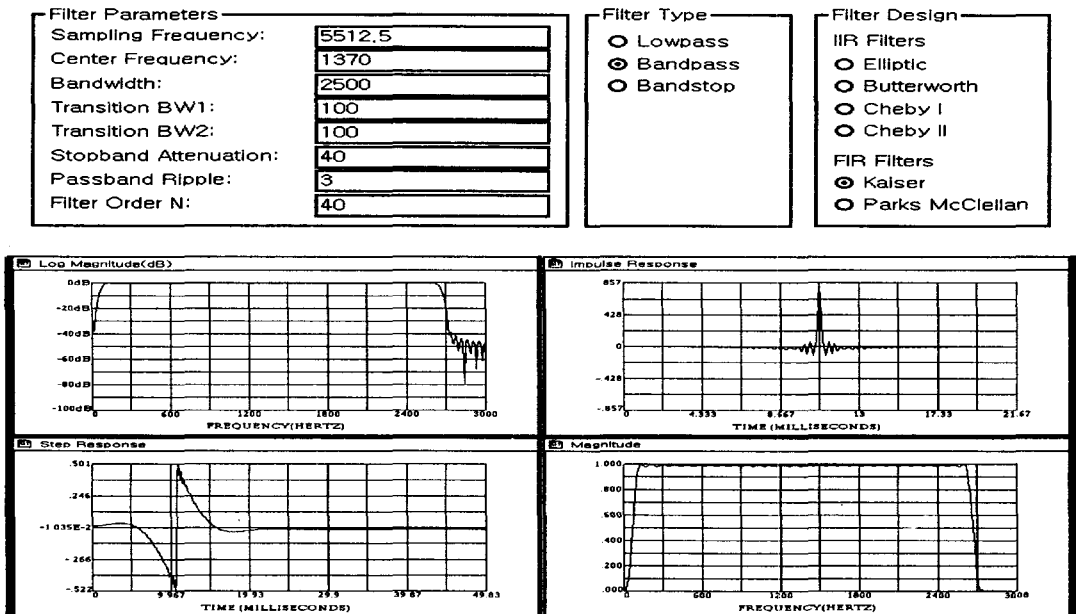


Fig. 2 Filter characteristics.

와 같다.

② 데이터 수집

진자를 이용하여 공시재료에 일정한 각도로 타격을 하였다. 진자가 재료에 타격을 한 후 다시 타격이 되지 않도록 하기 위하여 순간적으로 진자를 멈추도록 하였다.

공시재료에 전달된 임펄스를 마이크로폰(microphone)을 통하여 검출해서 프리앰프(preamplifier)에서 증폭한 후 SAIB(Stereo Audio Interface Box)에서 A/D 변환을 거쳐 DSP(Digital Signal Processing) 보드를 통해 데이터를 수집하였다. A/D 변환시 샘플링 주파수는 5.5125kHz이었으며, 프레임크기(Framesize)는 2048이 되도록 하여 데이터를 하드에 저장하였다.

③ 신호처리

음향신호를 분석하는 과정을 그림 3에 나타내었으며, 이와 같은 분석은 DSP 보드와 디지털신호처리 프로그램(Hypersignal RIDE 4.0)을 이용하였다.

그림 3에서 보는 바와 같이 아날로그 신호를 A/D 변환한 후 설계한 필터를 사용하여 원래신호를 필터링한 후 FFT처리를 하였다. FFT처리시 데이터 점수를 2048로 하였다. 그리고 스펙트럼의 진폭값을 구한 후 스펙트럼으로 표시하였다. 스펙트럼 주파수의

범위는 0에서 2,755Hz로 주파수 분해능은 2.69Hz이었다.

3. 결과 및 고찰

가. 공시재료의 물성

실험에 사용된 공시재료의 기본물성들을 표 2에 나타내었다.

나. 마이크로폰의 위치에 따른 음향반응

마이크로폰의 위치를 타격점과 반시계방향으로 90도, 180도 그리고 270도가 되도록 설치한 후 재질이 아크릴인 진자를 사용하여 타격각도를 40도로 하여 공시재료를 타격한 후 공시재료를 통하여 전달된 음향신호를 FFT 처리하여 구한 스펙트럼을 그림 4, 그림 5와 그림 6에 나타내었다. 그림들에서 보는 바와 같이 마이크로폰의 위치가 90도와 270도의 위치에서는 수박의 공명주파수가 뚜렷이 나타나질 않았으나, 마이크로폰의 위치가 180도에서는 뚜렷한 공명주파수가 나타났다. 따라서 마이크로폰의 위치가 타격점과 180도일 때 음향신호를 분석하는데 적합

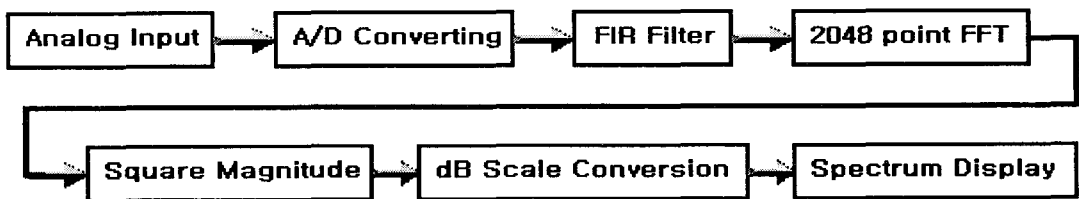


Fig. 3 Blockdiagram for digital signal processing of acoustic impulse response.

Table 2 Physical properties of watermelon used in experiment

Grade	Date of		diameter (m)	weight (kg)	density ( $\times 10^3 \text{kg/m}^3$ )	volume ( $\times 10^{-3} \text{m}^3$ )	sugar content (Brix %)	elastic modulus (MPa)
	full bloom	harvest						
ripe	97. 4. 20	97. 6. 5	0.193~0.258	3.91~8.12	0.909~1.076	3.70~8.93	7.8~11.1	0.442~0.812
unripe	97. 5. 22	97. 6. 5	0.147~0.194	1.64~3.88	1.102~1.491	1.10~3.52	4.5~ 7.3	0.575~0.737

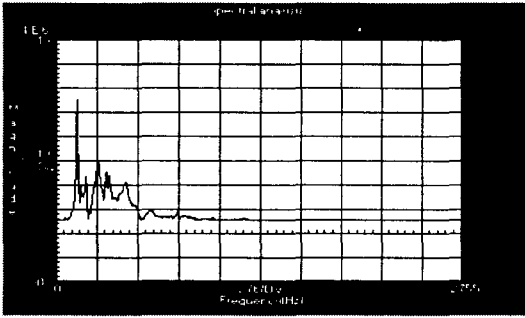


Fig. 4 Frequency spectrum obtained with an FFT when the microphone locate on 90 degree of hitting point.

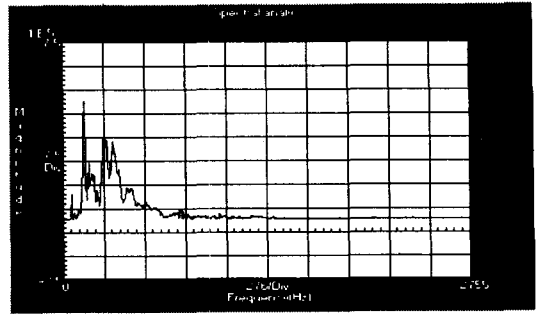


Fig. 6 Frequency spectrum obtained with an FFT when the microphone locate on 270 degree of hitting point.

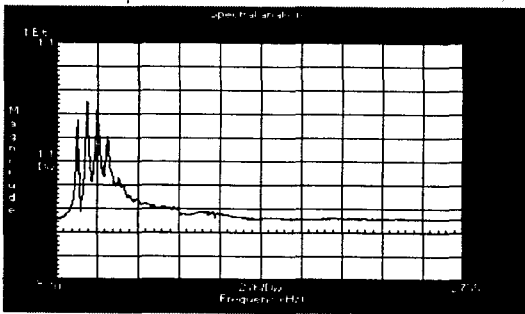


Fig. 5 Frequency spectrum obtained with an FFT when the microphone locate on 180 degree of hitting point.

하다고 판단되었다.

다. 타격구의 재질과 진자의 타격각도에 의한 정점 주파수들의 변화

표 3에는 타격구의 재질과 진자의 타격각도에 의한 파워스펙트럼의 정점 주파수의 변화를 나타내었다. 표 3에서 보는 바와 같이 각 정점 주파수는 타격구의 재질에 영향을 거의 받지 않고 거의 같은 정점 주파수를 보이고 있다. 타격각도에 의한 정점 주파

Table 3 Variations in peak frequencies of power spectrum according to the materials of hitting ball and hitting angle

peak frequency	material	impact angle					
		20	30	40	50	60	70
f <sub>1</sub>	wood	142.65	142.65	142.65	142.65	142.65	142.65
	steel	142.59	142.59	142.59	139.90	139.90	139.90
	acryl	142.59	142.59	142.59	142.59	142.59	142.59
f <sub>2</sub>	wood	209.95	209.95	209.95	209.95	209.95	209.95
	steel	209.85	209.85	209.85	207.16	207.16	207.16
	acryl	207.16	207.16	207.16	207.16	207.16	207.16
f <sub>3</sub>	wood	277.24	274.50	274.50	274.50	274.50	274.50
	steel	274.42	274.42	271.73	271.73	271.73	271.73
	acryl	277.11	277.11	277.11	277.11	274.42	274.42
f <sub>4</sub>	wood	341.84	341.84	341.84	341.84	274.50	274.50
	steel	341.68	341.68	341.68	338.99	338.99	338.99
	acryl	349.75	347.06	347.06	341.68	341.68	341.68

수의 변화는 50도~70도 범위에서 2~3Hz의 차이만 보였을 뿐이다.

표 4에는 타격구의 재질과 타격각도에 의하여 정규화된 파워스펙트럼에서 정점 주파수들의 진폭값의 변화를 나타내었다. 파워스펙트럼을 정규화하기 위하여 최대 진폭값으로 각 주파수 성분을 나누어 주었

다. 표에서 보는 바와 같이 나무, 쇠, 아크릴 세 타격구 모두 타격각도가 증가함에 따라 제1정점 주파수의 진폭값은 증가하고 나머지 정점 주파수들의 진폭값들은 감소하는 경향을 보였다. 그러나 타격구의 재질이나 타격각도에 따른 각 정점 주파수들의 정규화된 진폭값의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

Table 4 Variations in magnitudes of peak frequencies of normalized power spectrum according to the materials of hitting ball and hitting angle

material	peak frequency	impact angle					
		20	30	40	50	60	70
wood	$f_1$	0.995	1.000	1.000	0.988	1.000	1.000
	$f_2$	1.000	0.985	0.977	1.000	0.984	0.967
	$f_3$	0.899	0.879	0.842	0.845	0.818	0.777
	$f_4$	0.722	0.695	0.700	0.685	0.687	0.650
steel	$f_1$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	$f_2$	0.932	0.920	0.950	0.951	0.915	0.890
	$f_3$	0.692	0.646	0.600	0.552	0.498	0.455
	$f_4$	0.422	0.421	0.412	0.408	0.370	0.342
acryl	$f_1$	0.840	0.848	0.889	0.894	0.914	0.919
	$f_2$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	$f_3$	0.951	0.952	0.921	0.876	0.839	0.815
	$f_4$	0.698	0.665	0.627	0.594	0.570	0.560

조(1997) 등의 계란 크랙 검출에 관한 연구에서 난각의 음향반응에 영향을 주는 인자중 타격구의 재질에 따른 영향에 대한 결과를 보면 재질이 세라믹일 때 크랙이 있는 계란의 경우 제일 좋은 파형을 보였다고 하였는데, 계란과 수박의 물성차이 때문에 본 연구에서는 다른 재질의 타격구를 사용하였다. 표 3에서 보는 바와 같이 각 정점 주파수가 타격각도에 영향을 받지않는 범위는 20도에서 40도 이었다. 이 타격각도 범위에서 재질에 따라서 정점 주파수의 차이는 거의 보이질 않았으나 스펙트럼의 진폭값의 차이는 나무, 아크릴, 쇠 순서로 나타났다. 공시재료의 품질에 손상을 주지 않으며 공명 주파수를 뚜렷히 보이는 아크릴구가 타격구의 재질로 적절하다고 판단되었으며, 아크릴구를 사용할 경우 적절한 충격력을 얻을 수 있는 타격각도는 40도가 적당하다고 판

단되었다.

#### 라. 수박의 음향 반응

위의 결과로부터 수박을 타격하는 볼의 재질은 아크릴로 하고, 진자의 타격각도는 40도, 타격점과 마이크로폰의 각도는 180도로 선택하여 수박의 내부 품질에 의한 음향반응을 측정하였다.

그림 7과 그림 8은 각각 적속파와 미속파의 시간영역에서의 음향신호(좌측)와 주파수영역에서 음향신호 대한 주파수 성분(우측)을 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 적속파는 시간영역에서 파형이 미속파에 비하여 복잡한 형상을 나타내고 있다. 시간영역을 주파수영역으로 변환 할 때 파형이 복잡할 수록 정점 주파수성분이 많아진다. 내부품질을 결정

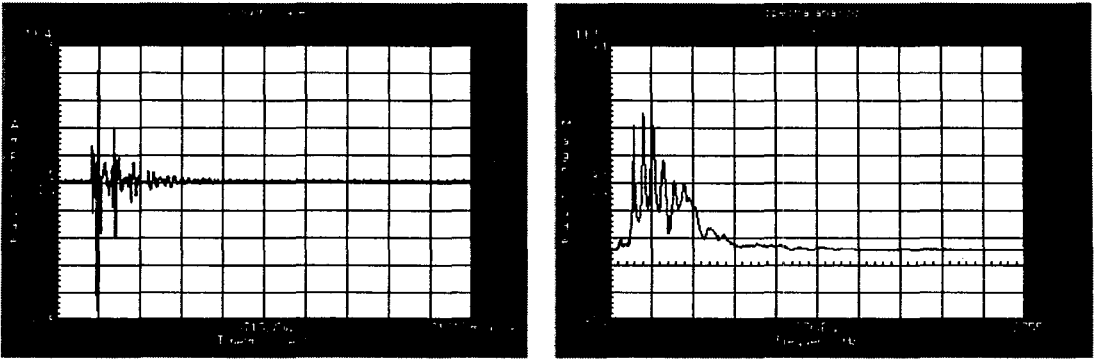


Fig. 7 The digitized acoustic impulse response of the ripen watermelon and its frequency spectrum obtained with an FFT.

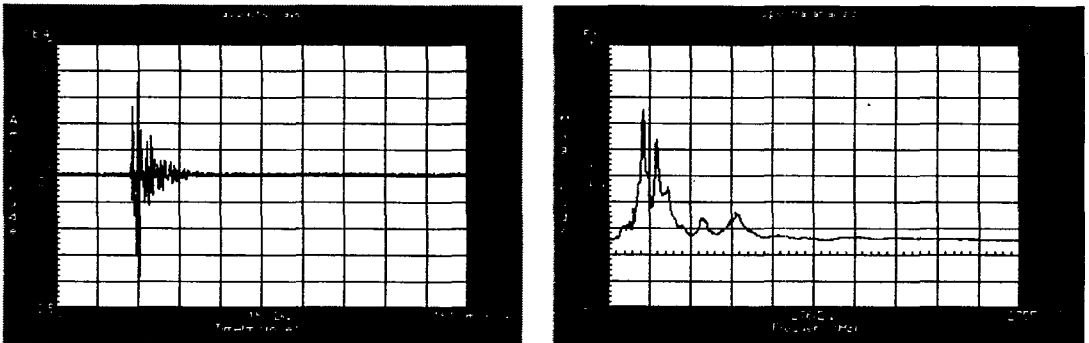


Fig. 8 The digitized acoustic impulse response of the unripe watermelon and its frequency spectrum obtained with an FFT.

하는 여러 가지 요인의 영향 때문에 미숙에서 적숙으로 진행될수록 시간영역의 파형이 복잡해지고, 여러 주파수 성분을 갖는 것으로 사료되었다.

그림 9는 무게와 처음 세 정점 주파수와의 관계를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 무게가 증가함에 따라 제 1정점 주파수, 제 2정점 주파수, 제 3정점 주파수는 저주파 쪽으로 진행됨을 알 수 있었다.

탄성계수와 각 정점 주파수간에는 제 2정점 주파수가 가장 상관관계가 높았으나, 그림 10에서 보는 바와 같이 탄성계수는 제 2정점 주파수와의 상관관계가 높지 않은 것으로 분석되었다.

표 5에는 수박의 품질을 결정하기 위하여 고려되었던 인자들간의 상관계수를 분석한 결과를 나타내

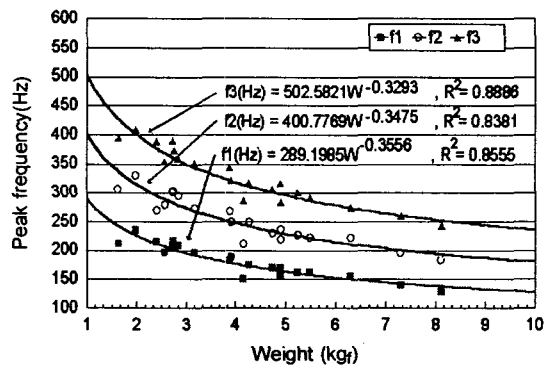


Fig. 9 Relationship between first three frequencies and weight of the watermelons.



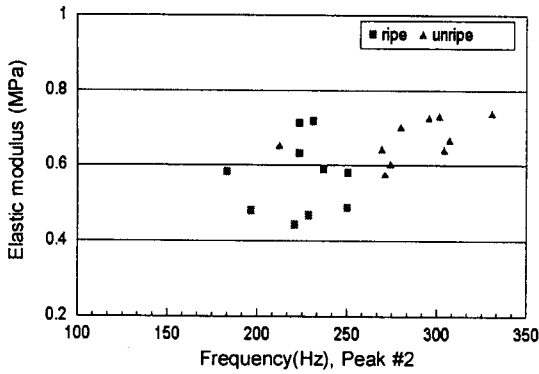


Fig. 10 Relationship between peak frequency (#2) and elastic modulus.

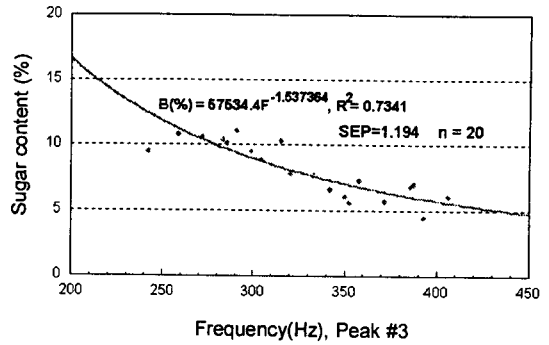


Fig. 11 Relationship between peak frequency (#3) and sugar content of watermelon.

Table 5 Correlation coefficients between quality parameters of watermelons

	p	f <sub>1</sub>	mf <sub>1</sub> <sup>2</sup>	m <sup>2/3</sup> p <sup>1/3</sup> f <sub>1</sub> <sup>2</sup>	f <sub>2</sub>	mf <sub>2</sub> <sup>2</sup>	m <sup>2/3</sup> p <sup>1/3</sup> f <sub>2</sub> <sup>2</sup>	f <sub>3</sub>	mf <sub>3</sub> <sup>2</sup>	m <sup>2/3</sup> p <sup>1/3</sup> f <sub>3</sub> <sup>2</sup>	volume	sugar content	elastic modulus
m	-0.8603	-0.9249	0.6759	-0.5010	-0.9155	0.5611	-0.4336	-0.9427	0.8161	-0.4065	0.9969	0.8149	-0.4162
p		0.8244	-0.7648	0.3053	0.8264	-0.6169	0.2675	0.8723	-0.8342	0.2669	-0.8580	-0.8033	0.3186
f <sub>1</sub>			-0.4627	0.7313	0.9760	-0.4369	0.6284	0.9787	-0.6746	0.5829	-0.9168	-0.8383	0.3516
mf <sub>1</sub> <sup>2</sup>				0.2619	-0.4881	0.7404	0.2288	-0.5559	0.9064	0.2360	0.6527	0.6087	-0.3963
m <sup>2/3</sup> p <sup>1/3</sup> f <sub>1</sub> <sup>2</sup>					0.6823	0.0942	0.8563	0.6397	-0.0359	0.8298	-0.5137	-0.4314	0.0769
f <sub>2</sub>						-0.3671	0.6961	0.9681	-0.6725	0.5667	-0.9076	-0.8499	0.4022
mf <sub>2</sub> <sup>2</sup>							0.2904	-0.4943	0.7107	0.1138	0.5368	0.4148	-0.2102
m <sup>2/3</sup> p <sup>1/3</sup> f <sub>2</sub> <sup>2</sup>								0.5713	0.0099	0.7791	-0.4477	-0.4186	0.1810
f <sub>3</sub>									-0.6888	0.5997	-0.9345	-0.8568	0.3778
mf <sub>3</sub> <sup>2</sup>										0.1596	0.7959	0.7159	-0.4105
m <sup>2/3</sup> p <sup>1/3</sup> f <sub>3</sub> <sup>2</sup>											-0.4247	-0.3546	0.0569
volume												0.7879	0.4016
sugar content													-0.2978

었다. 무게와 밀도 그리고 당도는 각 정점 주파수들과 높은 상관관계가 있었고, 탄성계수는 다른 인자들과 상관계수가 낮음을 알 수 있었다.

따라서 정점 주파수를 알면 당도, 체적, 무게, 밀도를 어느 정도 예측할 수 있으리라 사료된다.

그림 11에는 당도와 정점 주파수 중 가장 상관관계가 높은 제 3정점 주파수와의 관계를 나타내었다. 정점 주파수에 의한 당도 예측식의 R<sup>2</sup>, SEP는 각각 0.7341, 1.194 이었다.

#### 4. 결 론

수박에 가벼운 타격을 가하여 그 음향반응을 분석함으로써 수박의 내부품질을 판정할 수 있는 기초실험을 수행하였다. 타격음의 음향신호를 분석하기 위한 시스템을 구성하였으며, 수박의 내부품질판정의 기준이 될 수 있는 중요한 인자들인 당도, 밀도, 체적, 질량 및 탄성계수 등과 음향신호간의 관계를 분석하였던 결과는 다음과 같다.

가. 수박의 음향학적 특성을 구명하기 위하여 음향 측정 분석 시스템을 구성하였다. 시스템은 타격부, 음향신호 검출부, 신호분석부로 구성하였다. 수박에 전파되는 유효한 음향신호가 1kHz 범위 안에 있기 때문에 음향신호 샘플링 주파수는 선택 가능한 최소 주파수인 5512.5Hz로 설정하였으며, 프레임 사이즈는 2,048점수로 하였다.

나. 마이크로폰의 위치에 따른 음향 반응을 분석했던 결과 마이크로폰과 타격점과의 각도가 90도, 270일 때 공명주파수가 뚜렷이 나타나지 않았으나 그 각도가 180도일 때는 공명주파수가 뚜렷이 나타났으므로 마이크로폰의 위치는 타격점과 180도의 위치에 두어야 한다고 판단되었다.

다. 타격구의 재질이 정점 주파수에 미치는 영향은 크지 않았으며, 타격각도에 의한 정점 주파수의 변화는 50도~70도 범위에서 2~3Hz의 차이를 나타내었다. 따라서 타격각도가 정점 주파수에 미치는 영향도 크지 않는 것으로 분석되었다.

라. 수박의 등숙정도가 미숙에서 적숙으로 진행될수록 시간영역의 파형이 복잡해지고, 여러 주파수 성분을 갖는 것으로 나타났다.

마. 수박의 내부품질인자들인 수박의 무게와 밀도 그리고 당도는 각 정점 주파수들과 높은 상관관계가 있었으며, 상관계수들은 각각  $-0.9155 \sim -0.9427$ ,  $0.8244 \sim 0.8723$ ,  $-0.8383 \sim -0.8568$ 이었다. 특히 수박의 체적과 당도는 세 번째 정점 주파수와 매우 높은 상관관계를 나타내었다. 따라서 타격에 의한 음향신호의 주파수 성분을 분석함으로써 수박의 무게, 밀도, 체적 그리고 당도를 어느 정도 예측할 수 있리라 사료되었다.

## 참 고 문 헌

1. Abbott, J. A., G. S. Bachman, N. F. Childers, J. V. Fitzgerald and F. J. Matuski. 1968. Sonic techniques for measuring texture of fruits and vegetables. *Food Technology* 22(5):101-112.
2. Abbott, J. A., A. E. Watada and D. R. Massie. 1976. Effegi, Magness-Taylor, and Instron fruit pressure testing devices for apples, peaches, and nectarines. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 101(6):698-700.
3. Armstrong, P., H. R. Zapp and G. K. Brown. 1990. Impulsive Excitation of Acoustic Vibrations in Apples for Firmness Determination. *Trans. of the ASAE Vol.* 33(4):1353-1359.
4. Delwiche, M. J., S. Tang and J. J. Mehlschau. 1989. An impact force response fruit firmness tester. *Trans. of the ASAE* 32(1):321-326.
5. Peleg, K., U. Ben-Hanan and S. Hinga. 1990. Classification of avocado by firmness and maturity. *J. of Texture Studies* 21(2):123-139.
6. Sasao, A. 1985. Impact response properties of watermelons in growth process. *J. of the JSAM*, 47 (3):335-358.
7. Yamamoto, H., M. Iwamoto, S. Haginuma. 1980. Acoustic impulse response method for measuring natural frequency of intact fruits and preliminary applications to internal quality evaluation of apples and watermelon. *J. of Texture Studies*, 11:117-136.
8. Yamamoto, H., M. Iwamoto, S. Haginuma. 1981. Nondestructive acoustic impulse response method for measuring internal quality of apples and watermelons. *J. of Japanese Society of Horticultural Science*, 50(2):247-261.
9. 조한근, 최완규. 1997. 난각의 음향반응에 영향을 주는 인자. *한국농업기계학회지*, 22(1):41-48.