

## 타격조건에 따른 수박의 음파특성

### Acoustic Characteristics of Watermelon According to Impact Conditions

최동수      김만수      최규홍      이영희      이강진  
정희원      정희원      정희원      정희원      정희원  
D. S. Choi   M. S. Kim   K. H. Choi   Y. H. Lee   K. J. Lee

#### ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effects of impact conditions on the acoustic characteristics of a watermelon. The study was crucial to develop a device for nondestructive internal quality evaluation of a watermelon by an acoustic impulse response method.

An impact device was constructed with a pendulum to hit the watermelon, a microphone to detect the acoustic impulse responses, and a digital oscilloscope and computer to store and analyze the data.

The selected samples were *Guemcheon* cultivar watermelons(*Citrulus Vulgaris Schrad*) harvested on Oct. 20, 1998. Sixty watermelons were tested on four different types of sample holders, with four kinds of ball made of different materials, at four levels of the angular position of the pendulum and distance from the watermelon to the microphone.

Since the magnitudes of frequencies obtained by hitting with the steel and rubber ball were relatively small at the bandwidths of above 500 Hz, it was shown that the steel and rubber ball were not suitable for a hitting ball in the pendulum to get informations on internal quality of the watermelon. In case of using both of the wood and acryl ball, almost the same and good acoustic responses were shown on the wide range of frequency bandwidth. Therefore, it seemed that the acryl ball was more suitable to the test than the wood ball in considering its mechanical properties. The acoustic characteristics of the watermelon were not shown a significant difference between the types of sample holder. The amplitudes of the acoustic signals and the magnitudes of frequencies from the whole samples increased with increase of the angular position of pendulum and with decrease of the distance from the watermelon to the microphone. However, the resonance frequencies of the sample were almost the same regardless of the angular positions and the distances.

**Keywords :** Watermelon, Acoustic characteristics, Impact condition.

---

This study was conducted by the research fund supported by Rural Development Administration(RDA). The article was submitted for review in October 2001, and approved for publication by the editorial board of KSAM in November 2001. The authors: D. S. Choi, K. H. Choi, Y. H. Lee and K. J. Lee in the Div. of Fundamental Engineering and Technology, National Agricultural Mechanization Research Institute; M. S. Kim in the Department of agricultural Machinery Engineering, Chungnam National University.

The corresponding author is D. S. Choi, Researcher, Div. of Fundamental Engineering and Technology, National Agricultural Mechanization Research Institute, 249 Seodun-dong, Kwonsun-ku, Suwon City, 441-100, Korea. E-mail : <choi0ds@rda.go.kr>.

## 1. 서 론

원예작물 중 수박은 연간생산액이 고추다음으로 7,800억원에 달하는 중요한 작물로서 주로 형상과 크기에 의해 유통되고 있으며, 속도나 결함 등의 내부품질은 거의 고려되지 못한 채 유통되고 있는 실정이다. 총생산면적의 50%에 달하는 노지재배 수박의 경우 대부분 포전매매로 일시에 수확하는 경우가 많아 품질이 고르지 못해 선별 출하를 하여야 한다. 인력에 의한 내부 품질판정은 극히 일부 숙련자들에 의해 행해지고 있으나, 객관적인 판별기준이 없기 때문에 일반인들이 판정한다는 것은 어려운 일이다. 따라서 경험과 전문기술 없이도 고품질의 수박을 수확·선별하기 위해서는 비파괴적으로 내부 품질을 판정할 수 있는 기술이 시급히 개발되어야 하는 실정이다.

농산물의 내부 품질을 비파괴적인 방법으로 평가하는 기술은 근적외선 분광법, 핵자기공명법, X선 CT스캔법, 타음해석법, 초음파 등이며, 이 기술 중 타음해석법, 전기적인 방법(유전율), 근적외선 분광법이 수박의 품질을 평가하는데 이용되었다.

외국에서는 오래 전부터 타음법을 이용하여 농산물의 내부 품질을 평가하고자 하는 연구들이 많이 수행되어 왔다. Chen 등(1992)은 음파신호를 계측할 때 실험조건에 따라 농산물의 음파특성에 어떤 영향을 미치는가 조사를 하였다. 음파임펄스 발생법, 과일에서의 타격위치, 과일을 잡고 있는 방법 등은 공진주파수에 영향을 주지 않았으나, 각 공진주파수의 진폭에는 약간의 영향을 미치고 가장 높은 공진주파수의 진폭에는 큰 영향을 미치는 것으로 보고하였다(Chen et al., 1992).

Chen 등(1994)은 타격에 의해 발생된 수박의 음파신호에 대해 자기상관함수 분석기법을 도입하여 내부 품질을 예측하였다. 자기상관함수의 피크 점들에 대한 포락선을 검출하여 질량을 성공적으로 예측할 수 있었으며, 예측된 질량의 에러를 문턱값으로 설정하여 속도 및 공동을 판정하였다.

Sugiyama 등(1998)은 타격에 의해 발생된 음파신호를 음의 전달속도를 측정하여 메론의 속도를 판정하였다.

국내에서는 Kim 등(1997)이 수박에 타격을 하였을 때 외부 충격에 대한 반발력의 형상, 음파반응,

감쇄변화 등을 측정 분석하여 속도를 판정할 수 있는 속도 판별센서를 개발하였다. 또한 Kim 등(1998)은 등숙정도가 미숙에서 적숙으로 진행될수록 시간영역에서 파형의 형태가 복잡해지고 저주파 성분이 강하게 나타나며, 주파수 성분은 무게, 밀도 등에 영향을 받는다고 하였다.

본 연구에서는 수박의 내부 품질별 음파특성을 구명하기 앞서 적정 타격조건을 선정하기 위하여 음파를 계측하기 위한 시스템, 음파신호를 분석할 수 있는 프로그램을 개발한 후, 타격조건에 따른 수박의 음파특성을 구명하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 공시재료

타격위치, 수박받침대 및 진자의 낙하각도(타격력), 수박과 마이크로폰의 거리에 따른 수박의 음파특성을 분석하기 위하여 사용된 시료는 1998년 8월 20일에 경기도 남양에서 수확된 '금천(*Citrus Vulgaris Schrad*)'이었으며, 총 60개를 구입하여 실험에 사용하였다.

### 나. 실험장치

진자에 의한 타격력이 수박에 가해졌을 때 수박에서 발생하는 음에 대한 신호를 계측하기 위하여 구성된 시스템의 개략도는 그림 1과 같으며, 시스템은 타격장치, 음파센서인 마이크로폰과 앰프, 디지털 오실로스코프 그리고 노트북으로 구성하였다.

### 다. 실험방법

#### (1) 음파신호 데이터 수집

일정한 낙하높이에서 진자는 공시재료를 한번만 타격하게 하였으며, 공시재료에 전달된 임펄스(impulse)를 마이크로폰(microphone)을 통하여 검출해서 프리앰프(preamplifier)에서 50dB로 증폭시킨 다음 디지털 오실로스코프(digital oscilloscope)에서 5 kHz로 샘플링(sampling) 하였다. 샘플링 된 데이터는 1,000점이었으며 RS232C 통신포트를 통해

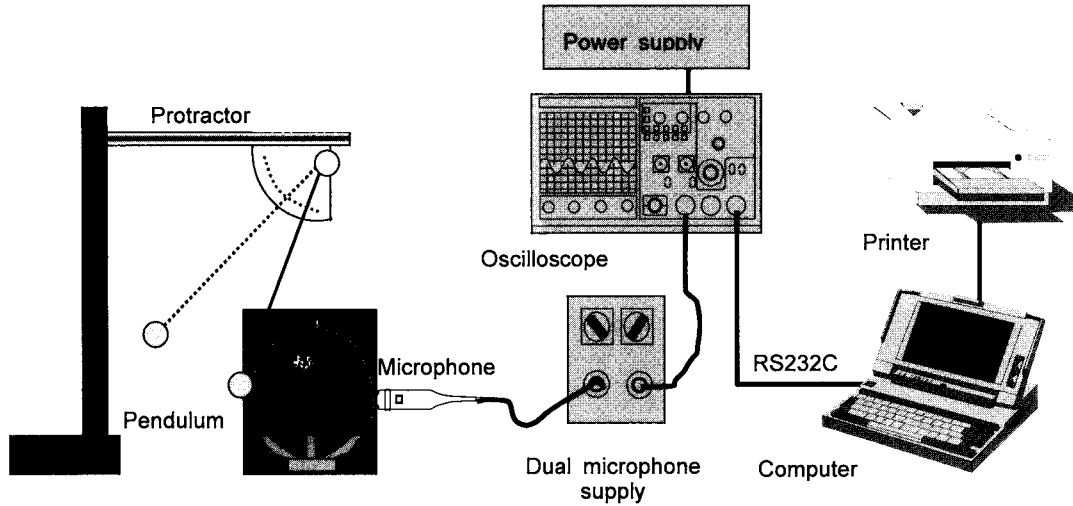


Fig. 1 Schematic diagram of measuring system for acoustic impulse responses.

컴퓨터의 하드디스크(hard disk)에 저장을 시켰다.

(2) 타격조건별 시험

타격조건이 수박의 음파특성에 어떤 영향을 미치는가를 구명하기 위하여 타격조건을 변화시켜가며 실험을 하였다. 타격구는 직경이 각각 30 mm로 14.89 g인 나무, 17.89 g인 아크릴, 93.39 g인 쇠, 15.64 g인 고무 재질의 구를 사용하여 구의 종류에 따른 영향을 조사하였다. 받침대는 3지점을 지지하는 받침대(A), 원형받침대(B), 유연한 플라스틱 받침대(C), 찰흙 받침대(D) 등 4종류에 대한 영향을 조사하였다. 그리고 진자의 낙하각도를 20°에서 60°까지 10°씩 변화시키면서 타격력의 변화에 대한 수박의 음파특성을 살펴보았다.

타격점과 마이크론의 위치에 따른 음파특성을 살펴보기 위하여 45° 간격으로 8수준에서 실험하였다. 또한 공시재료와 센서의 거리를 2~10 mm의 범위에서 2 mm씩 변화시키면서 음파특성을 분석하였다.

(3) 음파분석 프로그램

공시재료 각각에 대한 음파신호를 분석하기 위하여 프로그래머인 Matlab(ver 5.3.1, Signal Processing toolbox)을 이용하여 그림 2와 같이 프로그램을 개발하였다.

메뉴중 파일 불러오기를 이용하여 하드디스크에

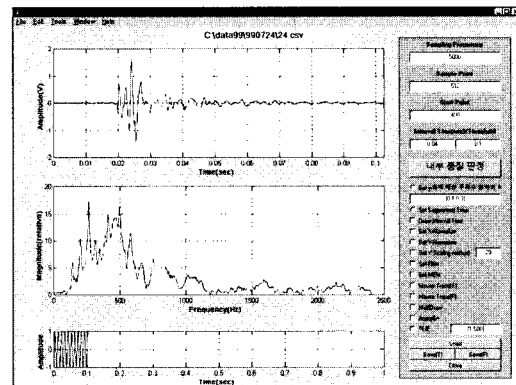


Fig. 2 Signal processing program for analyzing acoustic signals.

저장된 공시재료의 음파신호를 불러오면 시간파형이 나타나고 자동적으로 FFT(Fast Fourier Transform)가 실행되도록 하였으며, 이 시간파형과 주파수파형을 기본으로 수박의 음파특성을 구명하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 공시재료의 물성

실험에 사용된 공시재료의 기본 물성들을 측정하여 표 1에 나타내었다.

Table 1. Physical properties of watermelons used in the study

Producing district	Grade	Date		Diameter (m)	Mass (kg)	Density ( $\times 10^3 \text{kg/m}^3$ )	Volume ( $\times 10^3 \text{m}^3$ )	Sugar content (Brix %)
		full bloom	harvest					
Namyang	Unripe	98.7.24	98.8.20	0.153~0.210	2.05~5.55	0.803~0.965	2.25~6.60	4.4~10.6
	Ripe	98.7.11	98.8.20	0.213~0.250	5.70~9.30	0.899~0.952	6.05~10.05	8.6~11.2
	Inside-cavity	98.7.11	98.8.20	0.210~0.228	5.90~6.75	0.862~0.915	6.45~7.60	9.9~10.6

Table 2. Variations in peak frequencies of power spectrum according to the material types of hitting ball

Material	Peak frequency(Hz)									
	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	f <sub>3</sub>	f <sub>4</sub>	f <sub>5</sub>	f <sub>6</sub>	f <sub>7</sub>	f <sub>8</sub>	f <sub>9</sub>	f <sub>10</sub>
Acryl	151.37	205.08	263.67	341.80	434.57	493.16	556.64	727.54	908.20	986.33
Rubber	151.37	205.08	263.67	356.45	424.81	502.93	590.82	712.89	756.84	966.80
Steel	151.37	205.08	258.79	346.68	429.69	473.63	649.41	727.54	786.13	913.09
Wood	151.37	205.08	263.67	336.91	444.34	493.16	551.76	727.54	834.96	913.09

Table 3. Variations in magnitude of peak frequencies of normalized power spectrum according to the material types of hitting ball

Material	Magnitude of peak frequency(relative)									
	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	f <sub>3</sub>	f <sub>4</sub>	f <sub>5</sub>	f <sub>6</sub>	f <sub>7</sub>	f <sub>8</sub>	f <sub>9</sub>	f <sub>10</sub>
Acryl	0.120	0.422	1.000	0.550	0.253	0.222	0.083	0.033	0.006	0.002
Rubber	0.171	0.608	1.000	0.582	0.075	0.038	0.032	0.004	0.003	0.001
Steel	0.537	1.000	0.463	0.048	0.027	0.017	0.001	0.003	0.003	0.001
Wood	0.108	0.419	1.000	0.585	0.315	0.393	0.185	0.147	0.015	0.021

나. 타격구의 재질에 따른 음파특성

수박은 개체별 시간과형이나 주파수 파형이 각기 다르기 때문에 많은 시료를 가지고 타격구 재질별 실험하여 분석하는 것은 어렵다고 판단되었다. 표 2와 3에 하나의 시료 한 지점에 대해 진자로 수박을 타격(낙하각도, 40°) 하였을 때 타격구 재질별 주파수 특성을 요약하였다. 표 2에서 보는 바와 같이 타격구의 재질에 따른 피크주파수 f<sub>1</sub>,

f<sub>2</sub>, f<sub>3</sub>은 같거나 미소한 차이(±2.5)가 있으며 f<sub>4</sub>, f<sub>5</sub>, f<sub>6</sub>은 각각 재질별 ±10, ±10, +15의 차이가 났다. 타격구의 재질이 다르더라도 타격력에 의한 수박의 주 고유주파수는 거의 같음을 알 수 있었다.

그러나 표 3, 그림 3에 나타난 것과 같이 고유주파수의 매그니튜드(magnitude) 값을 타격구 재질별로 비교를 해보면 그 특성은 다르게 나타나는 것을 알 수 있었다. 타격구의 재질이 아크릴, 나무

타격조건에 따른 수박의 음파특성

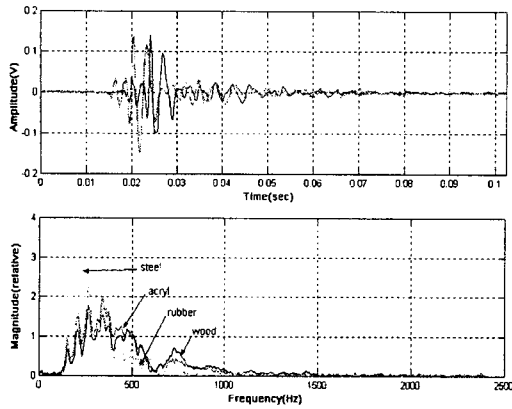


Fig. 3 The acoustic signals and their frequency spectra in a watermelon according to the material types of hitting ball.

의 경우는 대부분 피크주파수의 정규화 된 매그니튜드 값은 거의 유사하며, 고무의 경우도 피크주파수  $f_1 \sim f_4$ 의 정규화 된 매그니튜드 값은 앞의 두 재질에서와 거의 같은 값을 알 수 있었다. 그러나 타격구의 재질이 쇠인 경우 피크주파수  $f_1$ 부터

$f_3$ 까지 큰 값을 나타내고 그 이후의 피크주파수의 매그니튜드 값은 매우 작은 값을 나타내는 것을 볼 수 있었다. 쇠의 경우는 300 Hz 안쪽의 주파수에만 영향을 주는 진동특성을 가지고 있음을 알 수 있었다.

따라서 고무나 쇠로 된 타격구의 경우 500 Hz 이상의 고주파수대에서의 매그니튜드 값이 매우 작아 수박 과육의 어떤 정보를 나타내는데 부족하다고 판단되었다. 나무로 된 타격구의 경우 전 주파수대에 걸쳐 매그니튜드 값이 비교적 크게 나타났으나, 나무로 된 구를 장시간 사용하거나 환경조건이 심하게 변하는 곳에서 사용할 경우에는 타격구의 변형이 우려되어 아크릴구를 타격구로 선정하였다.

다. 받침대별 음파특성

그림 4에서 보는 바와 같이 A형에서 D형으로 갈수록 감쇠가 증가하는 것으로 나타났다. 시간영역에서의 음파신호는 대체로 유사한 형상을 나타내었으나 진폭의 크기는 약간 다르게 나타났다.

Table 4. Peak frequencies according to the various holders for watermelon

Fruit No.	Holder type	Peak Frequency(Hz)					
		$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$
1	A	151.37	214.84	283.20	356.45	449.22	493.16
	B	146.48	219.73	283.20	356.45	439.45	483.40
	C	146.48	214.84	283.20	361.33	444.34	507.81
	D	146.48	214.84	288.09	361.33	454.10	493.16
2	A	141.60	205.08	273.44	351.56	429.69	517.58
	B	141.60	205.08	273.44	346.68	429.69	502.93
	C	136.72	205.08	273.44	356.45	439.45	610.35
	D	136.72	200.20	278.32	346.48	449.22	595.70
3	A	161.13	224.61	292.97	371.09	444.34	502.93
	B	161.13	229.49	297.85	361.33	434.57	498.05
	C	161.13	229.49	302.73	371.09	458.98	541.99
	D	156.25	224.61	297.85	371.04	458.98	527.34

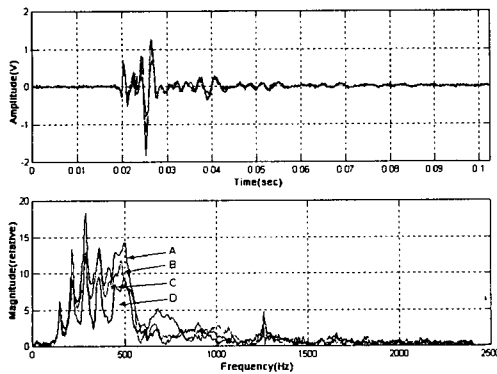


Fig. 4 The acoustic signals and their frequency spectra in a watermelon according to various holders.

주파수영역에서 음파신호의 스펙트럼은 500 Hz 안쪽의 주파수대역에서는 공진주파수(피크 주파수)의 차이가 거의 나타나지 않았으나 이후의 주파수대역에서는 약간의 차이를 보였으며, 매그니튜드 값은 받침대의 종류에 따라 차이가 있었다.

같은 타격지점에 대해 받침대로 획득한 음파데이터의 피크 주파수를 표 4에 나타내었다. 수박 과육 상태에 대한 대부분의 정보가 실려있다고 할 수 있는 제6피크 주파수까지를 살펴보면 표 4에서 보는 바와 같이 받침대에 따른 주파수의 차는 크지 않았으나 FFT의 결과 매그니튜드 값은 받침대에 따라 약간씩 차이가 나타났다. 이러한 결과는 Chen 등(1992)이 보고하였던 결과와도 일치하는 것이며 받침대에 따라 주파수들의 차이가 있는가

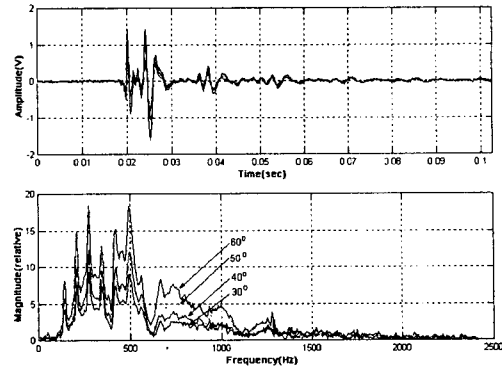


Fig. 5 Effect of hitting angle on acoustic signals of the watermelon.

를 보기 위하여 분산분석과 터키의 다중비교분석(Tukey's studentized range test)을 수행하였으며 그 결과를 표 5에 표시하였다. 표에서 보는 바와 같이 5%의 유의수준에서 받침대에 따른 각 피크주파수의 차이는 없는 것으로 나타났다.

라. 진자의 낙하각에 따른 음파특성타격조건별 음파특성

진자의 낙하각을 4수준(30, 40, 50, 60°)으로 변화시키면서 아크릴구로 수박을 타격하여 음파의 시간파형 및 그 주파수 스펙트럼을 그림 5에 나타내었다.

그림 5에서 보는바와 같이 시간파형과 주파수 스펙트럼 모두 파형의 형태는 같으며 단지 시간과

Table 5. Statistics analysis for the effect of various holders for watermelon

Peak freq.	Mean freq.	R <sup>2</sup>	F-test		Pr>F	Tukey's Studentized range test	
			F-value	f <sub>0.05</sub> (3,19)		MSD-value	Ranked order
f <sub>1</sub>	150.60	0.0359	0.19	8.66	0.904	21.479	ABCD
f <sub>2</sub>	218.19	0.0411	0.21	8.66	0.885	25.273	BCAD
f <sub>3</sub>	289.11	0.0050	0.03	8.66	0.994	31.806	CBDA
f <sub>4</sub>	364.93	0.0690	0.37	8.66	0.775	30.635	CABD
f <sub>5</sub>	452.05	0.0534	0.28	8.66	0.838	37.989	CDAB
f <sub>6</sub>	524.00	0.2086	1.32	8.66	0.305	66.697	CDAB

타격조건에 따른 수박의 음파특성

형의 진폭과 주파수 스펙트럼의 매그니튜드 값의 크기가 낙하각의 크기(타격력)에 비례하는 결과를 보였다. 따라서 타격력의 차이는 수박의 내부품질을 예측하는데 음파의 전달시간이나 주파수를 예측인자로 사용할 경우 내부품질 예측에 전혀 영향을 주지 않았으나 수박을 수확하여 유통기간이 길었던 시료나 피수박 등과 같이 수박의 내부품질이 상대적으로 좋지 않은 시료에서도 비교적 타격음파의 신호를 잡을 수 있으면서 타격력이 작았던

40°의 낙하각이 적합한 것으로 판단되었다. 그림 5에서 보는바와 같이 진자의 낙하각에 따라 시간파형이나 주파수 파형의 매그니튜드 값을 축소, 확대하면 파형들이 일치하게 된다. 따라서 시간영역에서 진폭이나 주파수 스펙트럼의 매그니튜드 값을 내부품질 예측 인자로 사용할 경우 최대 진폭값으로 전체 데이터를 나누어준 값, 즉 정규화된 값들을 이용하면 수박의 내부품질을 예측할 수 있을 것으로 판단되었다.

Table 6. Peak frequencies of power spectrum according to the position of microphone

Position	Peak frequency(Hz)									
	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	f <sub>3</sub>	f <sub>4</sub>	f <sub>5</sub>	f <sub>6</sub>	f <sub>7</sub>	f <sub>8</sub>	f <sub>9</sub>	f <sub>10</sub>
5°	146.48	209.96	268.56	336.91	385.74	454.40	507.81	546.88	615.23	678.71
45°	146.48	205.08	268.56	346.68	468.75	571.29	634.77	698.24	795.90	883.79
90°	151.37	214.84	268.56	312.5	385.74	419.92	468.75	556.64	605.47	732.42
135°	205.08	268.56	332.03	478.52	532.27	576.17	805.66	834.96	903.32	966.80
180°	151.37	209.96	263.67	322.27	356.45	424.81	483.40	659.18	742.19	966.80
225°	136.72	209.96	268.56	332.03	380.86	493.16	556.64	659.18	708.01	776.37
270°	151.37	205.08	268.56	312.50	390.63	419.92	473.63	576.17	625.00	722.66
315°	141.60	209.96	278.32	336.91	419.92	541.99	634.77	678.71	795.90	908.20

Table 7. Magnitude of peak frequencies of normalized power spectrum according to the position of microphone

Position	Magnitude of peak frequency(relative)									
	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	f <sub>3</sub>	f <sub>4</sub>	f <sub>5</sub>	f <sub>6</sub>	f <sub>7</sub>	f <sub>8</sub>	f <sub>9</sub>	f <sub>10</sub>
5°	0.054	0.359	0.587	0.881	0.943	1.000	0.715	0.526	0.425	0.161
45°	0.015	0.129	1.000	0.526	0.254	0.128	0.132	0.084	0.059	0.024
90°	0.236	0.102	1.000	0.103	0.661	0.408	0.146	0.101	0.077	0.064
135°	0.000	0.304	1.000	0.356	0.342	0.260	0.196	0.013	0.013	0.005
180°	0.104	0.338	1.000	0.554	0.381	0.375	0.199	0.010	0.017	0.002
225°	0.005	0.247	0.678	1.000	0.327	0.281	0.364	0.106	0.063	0.018
270°	0.277	0.070	1.000	0.231	0.778	0.639	0.254	0.089	0.077	0.125
315°	0.045	0.491	0.162	1.000	0.563	0.182	0.158	0.085	0.015	0.006

마. 마이크로폰의 위치 및 거리에 따른 음파 특성

아크릴 타격구로 진자의 낙하각도 40°에서 마이크로폰의 위치에 따른 주파수 특성의 피크 주파수를 표 6에 나타내었으며, 피크 주파수의 매그니튜드 값을 표 7에 나타내었다.

표 6에서 보는바와 같이 제1피크 주파수는 타격점에 대한 각도가 90°, 180°, 270° (151.37 Hz)일 때 같으며, 135° 일 때는 제1피크 주파수가 다른 각도의 제2피크 주파수와 같은 205 Hz에서 나타났다. 제2피크 주파수와 제3피크 주파수는 어느 마이크로폰 위치에서나 거의 같은 주파수 특성을 나타내고 있다. 대체로 타격점을 중심으로 좌우 대칭되는 곳에서 측정된 피크 주파수는 비슷하게 나타났다.

파워스펙트럼에서 임의 매그니튜드 값을 최대 매그니튜드 값으로 나누어 정규화 시킨 값을 표 7에 나타내었다. 표 7에서 보는 바와 같이 마이크로폰의 위치가 어느 곳에 있든지 간에 제3피크 주파수에서 매그니튜드 값이 대부분 가장 큰 것으로 나타났다. 모든 위치에서 주파수 특성이 비슷하게 나타난 것은 타격음에 의하여 수박전체가 진동되어 올려나오는 음파이기 때문으로 판단된다. 그러나 정규화 되지 않은 파워 스펙트럼의 경우, Huang 등(1993)이 타격점에 대한 사과와 각 위치별 진동 형태는 첫 번째부터 세 개의 공명 주파수 모두가 180°에서 가장 강하게 나타난다고 보고한 바와 같이 수박의 경우도 정규화하지 않은 음파신호는 180°에서 가장 강하게 나타났다.

음파 신호가 가장 강하게 나타나는 위치 즉 타격점의 반대위치인 180° 되는 위치에 마이크로폰

Table 8. Peak frequencies of power spectrum according to the distances from microphone to watermelon

Distance (mm)	Peak frequency(Hz)									
	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	f <sub>3</sub>	f <sub>4</sub>	f <sub>5</sub>	f <sub>6</sub>	f <sub>7</sub>	f <sub>8</sub>	f <sub>9</sub>	f <sub>10</sub>
2	151.37	209.96	263.67	327.15	429.69	498.05	673.83	737.31	781.25	844.73
4	151.37	209.96	263.67	322.27	424.81	502.93	727.54	776.37	898.44	952.15
6	151.37	209.96	263.67	322.27	424.81	502.93	727.54	776.37	898.44	952.15
8	151.37	209.96	263.67	327.15	429.69	493.16	737.31	927.73	1,118.16	1,191.41
10	151.37	209.96	263.67	327.15	429.69	498.05	737.31	786.13	917.97	1293.95

Table 9. Magnitudes of peak frequencies of normalized power spectrum according to the distances from microphone to watermelon

Distance (mm)	Magnitude of peak frequency(relative)									
	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	f <sub>3</sub>	f <sub>4</sub>	f <sub>5</sub>	f <sub>6</sub>	f <sub>7</sub>	f <sub>8</sub>	f <sub>9</sub>	f <sub>10</sub>
2	0.102	0.342	1.000	0.644	0.433	0.256	0.011	0.021	0.015	0.004
4	0.112	0.309	1.000	0.483	0.298	0.169	0.013	0.012	0.003	0.002
6	0.112	0.309	1.000	0.483	0.298	0.169	0.013	0.012	0.003	0.002
8	0.146	0.311	1.000	0.526	0.340	0.221	0.013	0.002	0.002	0.002
10	0.112	0.314	1.000	0.482	0.283	0.217	0.017	0.007	0.002	0.003



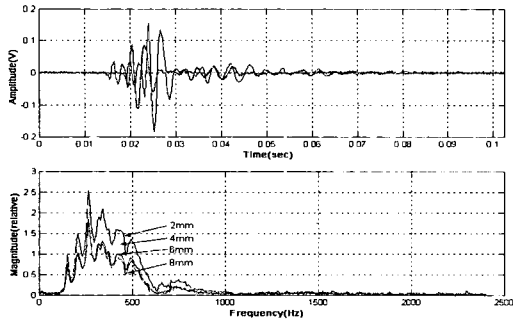


Fig. 6 The acoustic signals and their frequency spectra in the watermelon according to the distances from microphone to watermelon.

을 설치하여 공시재료와 마이크로폰과의 거리를 5 수준(2, 4, 6, 8, 10 mm)으로 변화시키면서 공시재료의 음파특성을 분석하였으며, 그 결과를 표 8, 표 9와 그림 6에 나타내었다.

표 8 및 그림 6에서 보는 바와 같이 제6피크 주파수까지는 수박과 마이크로폰의 거리에 관계없이 거의 일정한 음파특성을 나타내었다. 또한 표 9의 정규화 된 매그니튜드 값들도 음파의 수신거리에 따라 일률적인 경향을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 수신거리에 관계없이 제3피크 주파수의 진폭이 가장 크게 나타남을 알 수 있었으며 각 피크 주파수의 매그니튜드 값을 고려해야 할 경우 정규화 된 매그니튜드 값을 사용하는 것이 더 편리할 것으로 판단되었다.

따라서 수박과 마이크로폰의 거리가 1 cm 이내에서는 어느 거리에서 타격음을 수신하더라도 타격음이 수박내부를 투과한 음파특성은 차이가 없음을 확인할 수 있었으나 타격음의 신호가 작더라도 가능한 그 신호를 잡을 수 있도록 가능한 짧은 거리인 2 mm로 하는 것이 바람직할 것으로 판단 되었다.

#### 4. 결 론

수박의 품질에 따른 음파특성을 구명하기 위하여 타격조건에 따른 수박의 음파특성에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 진자의 낙하각도 즉 타격력에 따른 음파특성과 마이크로폰과 수박의 거리에 따른 음파특성을 조사한 결과, 타격력이 커질수록, 마이크로폰의 거리가 수박에 가까워질수록 시간파형의 진폭 및 주파수파형의 매그니튜드 값이 비례해서 커질 뿐 수박자체의 공진 주파수는 같게 나타났다. 따라서 진자의 낙하각도는 가능한 한 수박에 작은 타격력으로도 동일한 결과를 얻을 수 있는 40°의 낙하각이 적합한 것으로 판단되었으며, 마이크로폰의 거리는 타격음의 신호가 작더라도 가능한 한 그 신호를 잡을 수 있도록 짧은 거리인 2 mm로 하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

2) 아크릴, 나무, 쇠, 고무 4종류의 타격구 재질별로 음파특성을 조사한 결과, 고무나 쇠 타격구는 500 Hz이상의 주파수 대역에서는 주파수 응답이 매우 작아 수박의 내부 정보를 나타내는데 적당하지 않다고 판단이 되었다. 나무와 아크릴 타격구의 경우 서로 비슷한 음파특성을 보였으며 특히 나무 타격구의 경우 전 주파수대에 걸쳐 매그니튜드 값이 크게 나타났으나 장시간 사용하거나 환경변화가 심한 곳에서도 타격구의 변형이 우려되지 않는 아크릴 타격구가 적합한 것으로 판단 되었다.

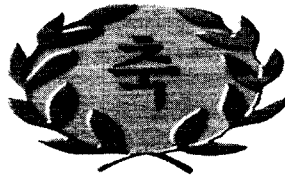
3) 수박을 타격하였을 때 수박전체가 진동되어 올라오는 음파이기 때문에 정규화 된 파워스펙트럼에서는 거의 같은 주파수 특성을 나타내고 있다. 그러나 정규화 되지 않은 파워스펙트럼의 경우, 각 위치별 음파신호중 180°에서의 음파신호가 가장 강하게 나타났다. 따라서 수박의 음파특성을 구명하는데 타격점에 대해 마이크로폰의 위치를 가능한한 180°로 하는 것이 타당한 것으로 판단되었다.

4) 네 가지 종류 받침대의 음파특성을 조사한 결과, 받침대에 따른 수박 타격음의 전파특성에는 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다.

#### 참 고 문 헌

1. Chen, P., Z. Sun and L. Huarng. 1992. Factors Affecting Acoustic Responses of Apples. Trans. of the ASAE 35(6):1915-1920.
2. Chen, J. Y., M. Miyazato and E. Ishiguro. 1994. Discrimination of internal quality in intact

- watermelons using auto-correlation function of vibration. JSAM 56(1):29-36.
3. Huarng, L., P. Chen and S. Upadhyaya. 1993. Determination of Acoustic Vibration Modes in Apples. Trans. of the ASAE 36(5):1423-1429.
4. Kim, C. S. and B. S. Myung. 1997. Development of Measuring Sensor for Discriminating Maturity of Watermelon on Repulsion Characteristics. The Korean Society for Agricultural Machinery 22(1): 49-58.
5. Kim, M. S., D. S. Choi, Y. H. Lee and Y. K. Cho. 1998. Study on Acoustic Characteristics of the Watermelon. The Korean Society for Agricultural Machinery 23(1):57-66.
6. MATLAB Signal Processing Toolbox User's Guide. The MATHWORKS inc.
7. Sugiyama J., T. Katsurai, J. Hong, H. Koyama, and K. Mikuriya. 1998. Melon ripeness monitoring by a portable firmness tester. Transactions of the ASAE 41(1):121-127.
5. Kim, M. S., D. S. Choi, Y. H. Lee and Y. K.



## 한국농업기계학회지의 KSCI 등재 결정

『한국농업기계학회지』는 한국학술진흥재단에서 학술지평가사업의 일환으로 실시하는 계속평가 결과 농학분야의 『등재학술지』로 적격판정을 받았습니다. 『등재학술지』란 한국학술진흥재단에서 학회지의 체제와 내용을 다년간 평가하여 국제수준의 학회지로서 면모를 갖추었음을 인정하는 것으로 농학분야에서는 『한국농업기계학회지』를 포함하여 지금까지 8개 학회지만이 인정받았습니다. 『등재학술지』가 되기까지 학회지 발간에 후원하여 주신 회원여러분께 깊은 감사를 드리며, 앞으로도 변함없는 관심과 성원을 부탁드립니다.