

비파괴 수박 품질판정기 개발에 관한 연구

Development of Nondestructive Quality Evaluation System for Watermelon

최동수* 최규홍* 이강진* 손재룡* 김기영* 김만수**
정회원 정회원 정회원 정회원 정회원 정회원
D. S. Choi K. H. Choi K. J. Lee J. R. Son G. Y. Kim M. S. Kim

1. 서론

원예작물 중 수박은 연간생산액이 고추 다음으로 7000~8000억원에 달하는 중요한 소득 작목이다. 수박의 내부품질요인에는 속도, 황대, 공동, 피수박 등이 있는데, 한 포장에서 20%이상 피수박이 발생되게 되면 포전매매의 경우 반값으로 전락하게 될 뿐만 아니라 출하하는데도 문제가 될 수 있다. 수박의 내부품질 판정은 오랜 경험이 있는 숙련자들에 의해 수행되고 있지만 주관적인 요소가 개입되어 객관적인 평가방법과는 큰 차이가 있을 수 있다. 이러한 현실을 고려해 볼 때, 경험과 전문기술 없이도 고품질의 수박을 수확·선별함으로써 소비자에 대한 상품의 신뢰성을 높이고 품질의 차별화로 생산자의 소득증대를 위해서는 비파괴적으로 내부품질을 판정할 수 있는 기술이 시급히 개발되어야 할 것이다.

농산물의 내부품질을 비파괴적으로 판정할 수 있는 기술을 개발하기 위하여 Hayashi 등(1995)은 여러 가지 과실 및 채소류(수박, 메론, 파인애플, 호박, 사과, 배, 감 등)에 대하여 비파괴적인 품질평가 방법으로 음파 임펄스응답을 적용하는 연구를 수행하였다. 진자로 시료에 타격을 가하였을 경우 수박과육의 경도는 내부로 투과된 파형의 진폭과 관계가 있었으며, 내부 균열이 있는 수박의 경우는 내부로 투과된 파형은 측정되지 않았다고 보고하였다.

최 등(2002)은 수박의 내부품질(속도, 공동, 황대, 피수박)에 따른 음파특성 구명에 대한 연구를 수행하였다. 등숙과정이 진행됨에 따라 피크주파수가 저주파쪽으로 이동되고, 공동과 의 경우는 시간과형에서 첫 번째 피크의 진폭값이 상당히 감쇄되는 음파특성을 갖는다고 보고하였다. 또한 피수박의 경우 500Hz 안쪽의 에너지가 850Hz 이후의 에너지에 비해 크게 나타나는 음파특성을 갖는다고 보고하였다.

본 연구에서는 수박재배포장, 집하장, 슈퍼마켓 등에서 손쉽게 사용가능한 휴대형 비파괴 수박품질판정기를 개발한 후 수박품질판정기의 성능을 평가하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 하드웨어 설계

그림 1은 수박의 내부품질을 음파를 이용하여 비파괴적인 방법으로 판정할 수 있는 휴대

* 농촌진흥청 농업기계화연구소

** 충남대학교 농과대학 농업기계공학과

형 수박품질판정기의 구성도이다. 이 기계는 타격부, 신호처리부, 음파센서부, LCD 판정표시부, 전원부로 구성되어 있다. 수박품질판정기는 그림 1과 표 1에서 보는바와 같이 수박재배포장, 집하장 등에서 간편하게 사용가능하도록 작고 가볍도록 설계를 하였다.

품질판정을 위해 수박에 기계를 접촉하면 마이크로폰 지지부분이 움직여 마이크로폰과 수박과의 거리가 일정하게(2mm) 떨어질 수 있도록 설계하였다. 타격장치에서 방아쇠가 뒤로 당겨질 때 방아쇠에 장착된 U자형 스프링에 의해 타격봉이 뒤로 같이 당겨지도록 하였다. 타격봉이 일정거리 뒤로 당겨진 후 U자형 스프링이 불록한 턱을 만나 벌어지면, U자형 스프링은 타격봉을 놓아주고 타격봉은 압축 스프링힘에 의해 전진해 수박을 타격하도록 하였다. 마이크로폰이 소리신호를 받아들일 준비상태에서 마이크로 스위치가 방아쇠와 접촉하여 작동되고 이 순간 소리신호를 받아들이게 된다. 이 소리신호는 신호처리보드에서 5kHz로 샘플링한 후 12bit의 분해능을 갖은 A/D 변환 IC에 의해 디지털신호로 변환되어 분석과정을 거친 다음 내부품질 판정결과를 타격장치상부에 설치되어 있는 액정표시화면(LCD)에 표시한다. 기계를 사용하지 않을 때는 액정표시화면을 접어서 화면을 보호하도록 하였다.

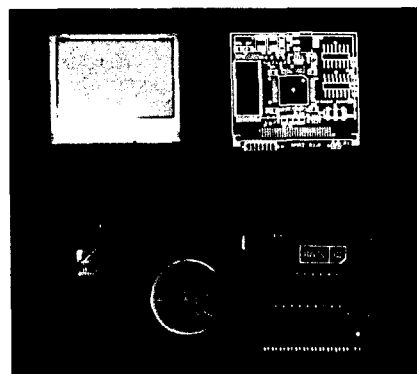
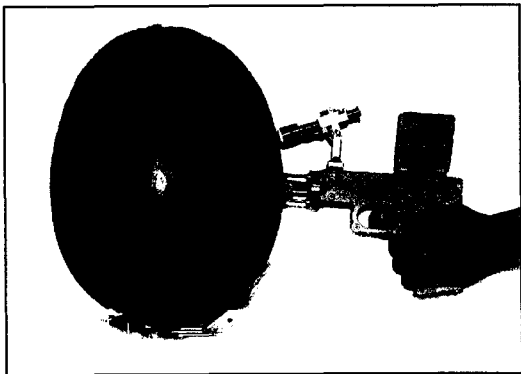
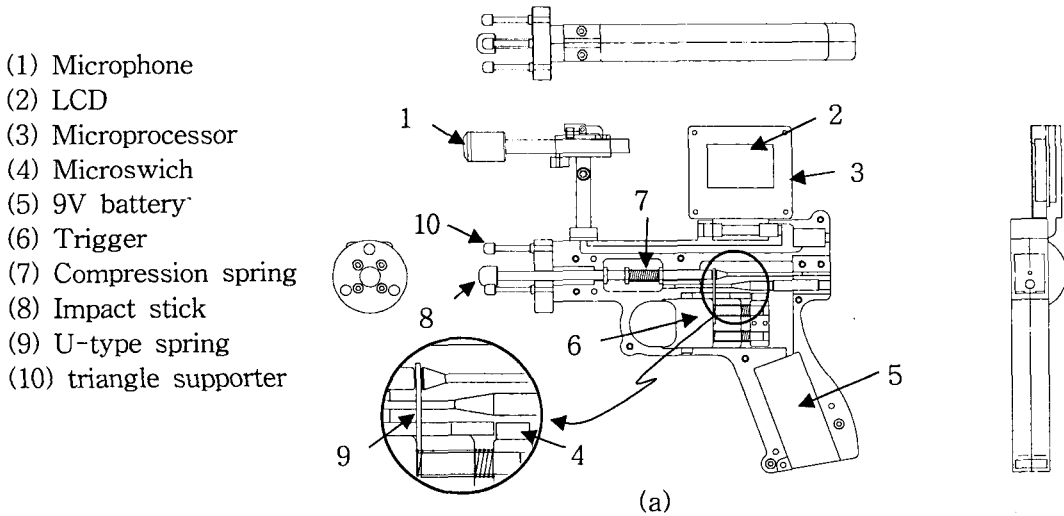


Fig. 1 Schematic diagram of quality evaluation system for watermelon(a) and its prototype(b, c).

신호처리의 메인 프로세서는 표 1에서 보는바와 같이 ARM7TDMI코어를 가지고 있는 삼성의 KS32C41000을 사용하였다. 이 프로세서는 66MHz에 32bit 프로세서로 i486 100MHz와 동급의 성능을 가지고 있으며, DSP 엔진을 가지고 있어 FFT와 같은 고속연산이 용이한 특징을 가지고 있다.

Table 1. Specification of potable quality evaluation for watermelon

Items	Specification
Processor	. ARM&TDMI (KS32C41000-60MHz)
Graphic LCD	. 128*64 mono LCD
A/D resolution	. 12bit
Trigger	. external input
Sampling frequency	. 5kHz
Microphone	. Response frequency : 20~20kHz
Size	. 200 X 200 mm
Weight	. 290g

나. 수박품질판정기 프로그램 구성과 기능

수박품질판정 구동, 음파신호 분석 그리고 내부품질을 판정하는 소프트웨어 개발은 메인 프로세서에 사용할 수 있는 것이어야 한다. 사용된 컴파일러는 영국 ARM사의 ARM SDT v2.50을 사용하였다. PC상에서 이 컴파일러를 사용하여 개발/수정된 소프트웨어를 이 시스템에 다운로드할 수 있는 다운로드 프로그램을 개발하였다. PC와 이 시스템을 시리얼 케이블로 연결하여 다운로드 프로그램을 실행하고 시스템의 전원을 켜면, 시스템은 이를 자동으로 인식하도록 하였다. 소프트웨어의 작동 흐름도는 그림 2에서 보는바와 같다..

다. 품질판정 인자 추출 알고리즘

수박을 두드렸을 때 발생하는 소리의 진동은 과육의 상태에 따라 다르게 나타난다. 정상과(적숙과)와 비정상과(미숙과, 공동과, 피수박)의 시간파형 및 주파수 파형에서 각각을 구별할 수 있는 특징인자들을 추출하여 품질판정 인자로 사용하였다. 시간파형에서 정상과와 비정상과는 피크(Peak)와 피크사이 거리의 균일한 정도, 일정한 시간대역에서 영교차율(Zero Crossing Rate) 그리고, 시간대역별, 전체 시간에 대한 에너지가 차이가 날 수 있다. 수박의 내부품질을 판정하는데 사용된 판정인자는 ①피크점간 거리 표준편차(Peak to Peak distance STD), ②자기상관함수(Autocorrelation Function Value, AFV), ③시간파형 첫피크점(First Peak Value, FPV), ④시간파형 전체 적분값(Total Integral Value, TIV), ⑤주파수대역 에너지비(E1/E2), ⑥미숙과 인자1(Immaturity Factor1, IF1), ⑦미숙과 인자2(Immaturity Factor2, IF2), ⑧피크 수(Peak No. in timewave, PN), ⑨영교차율(Zero Crossing Rate) 이다.

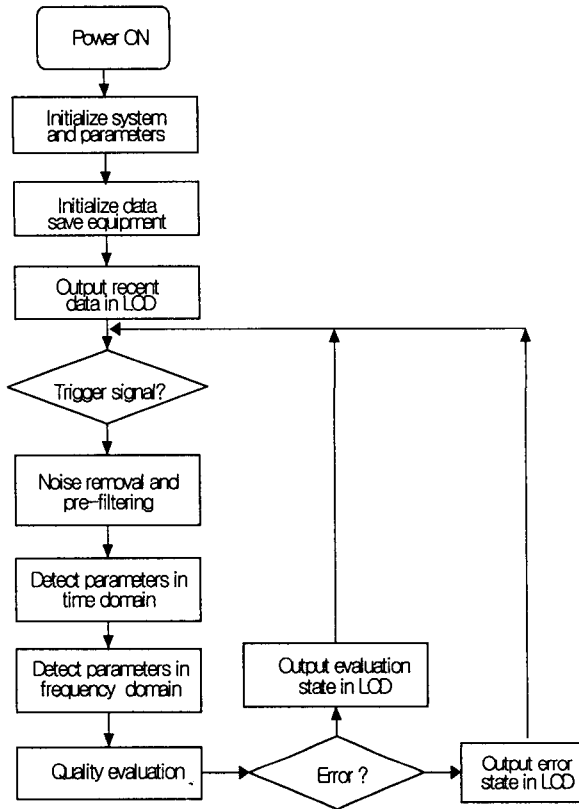


Fig. 2 Flowchart of system software.

라. 수박품질판정기 성능시험

수박품질판정기의 모델개발 및 성능시험을 위해 사용된 공시재료는 2002년 6월 중순에서 8월 중순에 전북 고창에서 재배된 '삼복꿀수박(Citrus Vulgaris Schrad)'이었으며, 정상과와 비정상과가 각각 90통, 53통을 실험에 사용하였다.

생산자와 수박품질판정기에 의한 수박의 내부품질을 판정한 후 판정 정확도를 조사하기 위하여 성능시험 직후 시료를 절개하여 육안에 의한 파괴적인 방법으로 내부품질을 판정하였다. 표 2에 육안 판정 시 피수박, 공동과에 관한 기준설정값들을 나타내었다. 육안판정 시 등숙정도는 미숙과 적숙과로 구분하였으며, 표 2에서 보는바와 같이 피수박과 공동과 정도는 5등급으로 나누었으며, 피수박 정도가 2등급 이상인 경우, 공동의 정도가 3등급 이상인 경우 그리고 미숙과인 경우를 비정상과로 판정하였다.

Table 2. Base establishment for watermelon with blood flesh, cavity

(a) Blood flesh

Item	sound	1	2	3	4	5
Flesh color*(a value)	22 and over	20~22	18~20	16~18	14~16	14 and less
Area	0	0.5cm ² and less	0.5~3.0cm ²	3.0~7.5cm ²	7.5~14.0cm ²	14.0cm ² and over
Condition of cell wall	sound	before collapse	1/3 collapse	2/3 collapse	collapse	collapse

(b) cavity

Item	sound	1	2	3	4	5
Space	0	5mm and less	5~10mm	10~15mm	15~20mm	20mm and over
Length	0	1cm and less	1.0~3.0cm	3.0~5.0cm	5.0~7.0cm	7.0cm and over
Area	0	0.5cm ² and less	0.5~3.0cm ²	3.0~7.5cm ²	7.5~14.0cm ²	14.0cm ² and over

3. 결과 및 고찰

가. 품질판정 인자간의 관계

0.0184sec에서 0.023sec 구간의 시간파형 적분값1과 0.024sec에서 0.054sec 구간의 시간파형 적분값2의 관계를 그림 3의 (a)에 나타내었다. 시간파형 적분값은 과육의 상태에 따라 차이가 있다. 과육이 단단할수록 음파 전달 효율이 좋아 시간파형 적분값이 더 큰 음파특성을 갖는다. 비정상과(공동과, 피수박)의 경우 그림에서 보는바와 같이 적분값1, 적분값2가 각각 500, 700보다 작은 영역에서 그룹을 이루는 경향을 보였다.

시간파형에서 피크간 거리의 표준편차와 전체 적분값 관계를 그림 3의 (b)에 나타내었다. 피크와 피크간 거리에 대한 표준편차가 클수록 매질의 진동은 느리게 일어나거나, 불규칙하다는 것을 의미한다. 그림에서 보는바와 같이 정상과의 경우, 전체 적분값은 830보다 크고 피크간 거리 표준편차는 2.1보다 작은 영역에서 그룹을 이루고 있었다.

시간파형영역에서 일정한 시간동안 피크의 수가 클수록 더 높은 주파수 성분을 갖는 것을 의미한다. 피크 수와 전체 에너지의 관계를 그림 3의 (c)에 나타내었으며, 정상과의 경우 피크 수는 15이상 이었다.

영점을 교차하여 통과하는 영점교차율과 시간파형 적분값2의 관계를 그림 3의 (d)에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 불량과는 영점교차율이 6보다 작으며 적분값2가 600보다 작은 영역에 존재함을 알 수 있었다.

나. 품질판정 알고리즘

수박품질판정기에 의한 내부품질판정은 여러 품질판정 인자들을 사용하여 우선 먼저 비정상과 판정(피수박 → 공동과 → 미숙과)후 적숙과 판정하는 과정을 거치며, 그림 4와 같은 알고리즘에 의해 수박의 내부품질을 판정하였으며, 판정 경계값은 아래와 같다.

○ 피수박 판정

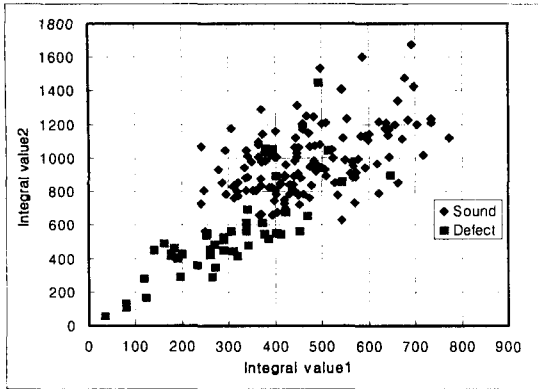
- ① 시간영역 전체 적분값(Total Integral Value of timewave, TIV) : $TIV < 830$
- ② 자기상관함수값(Autocorrelation Function Value, AFV) : $AFV < 7.5$
- ③ 영교차율(Zero Crossing Rate, ZCRspoil) : $ZCRspoil < 4$

○ 공동과 판정

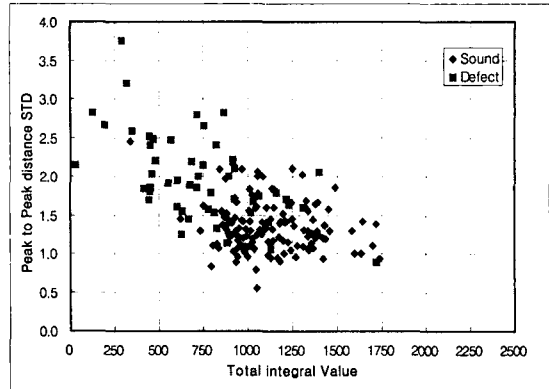
- ① 시간영역 적분값 : $600 \leq TIV < 830$, ② 영교차율(ZCR_cavity) : $ZCR_cavity < 6$
- ③ 자기상관함수값 : $AFV < 10$, ④ 시간파형에서 첫 피크값(First Peak Value in timewave, FPV) : $FPV < 0.35$

○ 적숙과 판정

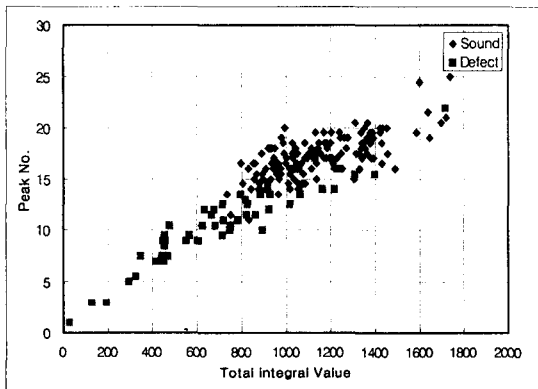
- ① 미숙과 인자1(Immature Fator1, IF1) : $IF1 > 55$,
- ② 미숙과 인자2(Immature Factor2, IF2) : $IF2 > 55$
- ③ 에너지비(Energy ratio, E1/E2) : $E1/E2 > 0.44$
- ④ 피크 수(Peak No. in timewave, PN) $PN > 15$



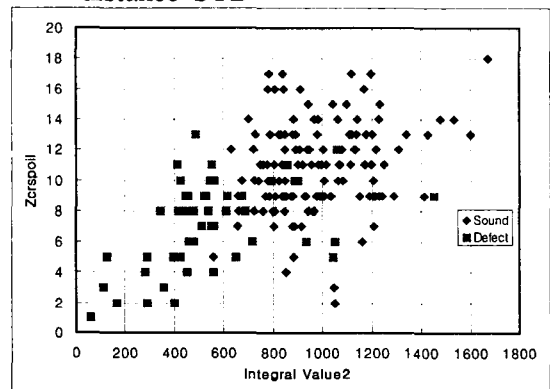
(a) Integral value1 vs. Integral value2



(b) Total integral value vs. Peak to Peak distance STD

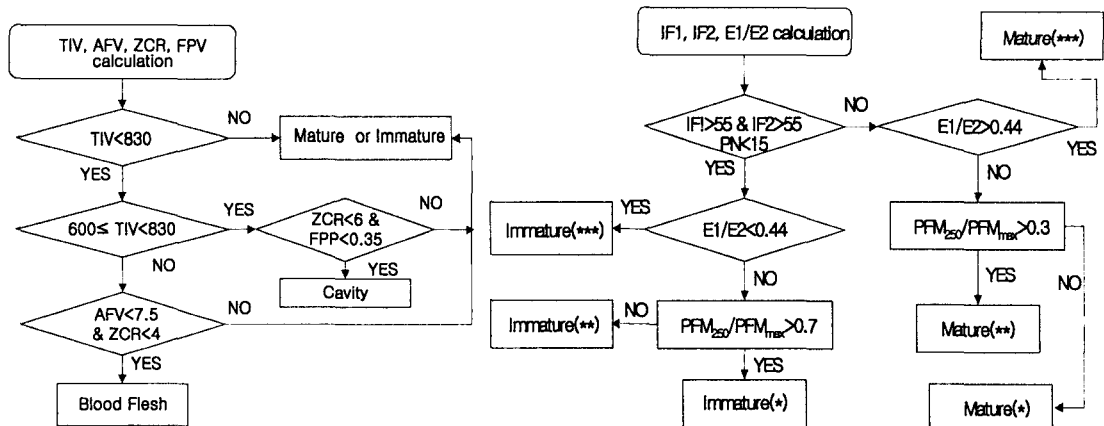


(c) Total integral value vs. Peak No.



(d) Integral value2 vs. Zcrspoil

Fig. 3 Relationship between the parameters of quality evaluation for watermelon.



<The evaluation algorithm for defect watermelon>

<The evaluation algorithm of maturity>

- * PFM_{250} : The maximum magnitude in the frequency band which is from 0 to 250Hz)
- PFM_{max} : The maximum magnitude in frequency spectrum
- $E1/E2 = (0 \sim 400\text{HZ}) \text{ energy} / (400 \sim 800\text{HZ}) \text{ energy}$

Fig. 4 The algorithm of internal quality evaluation for watermelon.

다. 생산자와 수박품질판정기의 판정정확도

수박품질판정기의 판정모델을 개발하기 위하여 품종이 '삼복꿀수박'인 비정상과와 정상과 각각 22개, 49개를 사용하였으며, 표 3에서 보는바와 같이 개발된 품질판정 모델의 정확도는 87%이었다.

개발된 모델을 수박품질판정기에 적용하여 성능평가를 하였다. 삼복꿀수박 정상과 비정상과 각각 41개, 31개 총 72개를 생산자가 먼저 품질판정을 한 후, 기계로 품질판정을 하였다. 생

Table 3. Accuracy of quality evaluation model for watermelon

Quality factors		Destructive evaluation		Total
		sound	defect	
Prototype	sound	46(93)	6	52
	defect	3	16(73)	19
Total		49	22	71

※ Accuracy = (186+64)/71 × 100 = 87%

산자와 기계의 판정정확도는 표 4과 5에서 보는바와 같이 각각 75%, 83%로 기계의 판정정확도가 높았다. 앞으로 품질판정 정확도를 더 높일 수 있는 인자를 선정하여 판정모델을 보완, 실용화하면 수박품질에 대한 신뢰성 향상과 고품질 수박이 유통되리라 사료된다.

Table 4. Accuracy of quality evaluation by producer

Quality factors		Destructive evaluation		Total
		sound	defect	
producer	sound	33(81)	10	43
	defect	8	21(68)	29
Total		41	31	72

※ Accuracy: (33+21)/72 × 100 = 75%,

Table 5. Accuracy of quality evaluation by prototype

Quality factors		Destructive evaluation		Total
		sound	defect	
prototype	sound	33(80)	4	37
	defect	8	27(88)	35
Total		41	31	72

(32+28)/72 × 100 = 83%

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 음파를 이용하여 수박의 내부품질을 비파괴적으로 판정할 수 있는 수박품질판정기를 개발하였으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 개발된 수박품질판정기는 휴대가 가능하여 수박 재배포장, 집하장, 슈퍼마켓 등 현장에서 쉽게 사용가능하도록 휴대형 비파괴 수박품질판정기를 개발하였다.
- 2) 수박의 음파수집한 후 품질요인별 분석하여 음파데이터에서 내부품질에 따른 특징점 (영교차율, 피크점간 거리 표준편차, 자기상관함수, 시간과형 컷피크점, 시간과형에너지, 주파수대역 에너지, 미숙과 인자)을 추출하여 내부품질판정 알고리즘을 개발하였다.
- 3) 개발된 수박의 내부품질판정 모델의 정확도는 87% 이었으며, 생산자와 수박품질판정기의 내부품질판정 정확도를 조사한 결과, 생산자 판정 정확도는 75% 이었으며, 제작기의 판정 정확도는 83% 이었다.

5. 참고문헌

- 1) Chuma, Y., T. Shiga and Y. Hikida. 1977. Vibration and impact response properties of agricultural products for non-destructive evaluation of internal quality (I). JSAM 39(3):335-341.
- 2) Hayashi, S., J. I. Sugiyama and K. Otohe. 1995. Nondestructive quality evaluation of fruits and vegetables by acoustic transmission waves. Proceedings of ARBIP95, Kobe, Japan.
- 3) 김만수, 최동수, 이영희, 조영길, 1998. 수박의 음향특성에 관한 연구. 한국농업기계학회지 23(1):57-66
- 4) 최동수, 김만수, 최규홍, 이강진, 이영희. 2002. 내부품질 판정을 위한 수박의 음파특성. 한국농업기계학회지 27(1): 59-66