

음파반응을 이용한 멜론의 속도 평가에 관한 연구

최완규 최규홍 이강진 최동수 강석원

A Study on the Evaluation of Melon Maturity Using Acoustic Response

W. K. Choi K. H. Choi K. J. Lee D. S. Choi S. Kang

Abstract

In this study, the acoustic response technique was applied to evaluate the maturity of melon nondestructively. The acoustic response signals through melon were obtained by microphone and signal conditioner with the lapse of days after fruit set. The acoustic parameters such as resonant frequencies and the spectrum energy ratio were analyzed. To investigate the relation between acoustic parameters and firmness of melon, the compression test was performed. Three resonant frequencies representing f_1 , f_2 and f_3 were 150 to 250 Hz, 300 to 400 Hz, and 450 to 550 Hz, respectively. The resonant frequencies were shifted to the lower frequencies and the magnitude of spectrum decreased as the maturity of melon increased. Some significant correlations were found between melon firmness and the spectrum energy ratio in some frequency ranges. It is possible to estimate the maturity of melon by acoustic response technique.

Keywords : Melon, Maturity, Acoustic response, Firmness

1. 서론

국내에서 멜론(*Cucumis melo* L.) 재배는 주로 온실이나 하우스 같은 시설에서 재배되고 있어 연중 생산되며, 생산량은 1998년에 13,232천톤에서 2002년에 25,625천톤으로 꾸준히 증가 추세를 보이고 있다. 멜론은 착과(교배) 후 15~21일 경부터 네트가 형성되기 시작하여 30일 경이 되면 네트 형성이 완료된다. 이때부터 수확시기인 착과 후 55일 경까지 멜론 속도의 지표인 과육의 경도와 당도의 변화를 관찰하면서 당도가 충분히 오르고 과육이 적당히 물러졌을 때 수확해야만 후숙 후에도 먹기 좋은 상태가 된다. 만약 유통기한을 고려하여 충분히 익기 전에 수확하게 되면 과육질이 부드럽지 못하고 거칠게 되어 품질에 영향을 미칠 수 있다(김, 2003; 원예연구소, 2002).

멜론은 수확직기가 되면 일시에 수확하여 출하하는데 주로 크기나 형상에 의해서 유통되고 있으며, 속도나 내부결합 등

의 내부품질은 고려되지 않은 채 유통되고 있다. 특히 내부가 썩었거나 과육이 물러진 부패과외의 경우 상품성에 커다란 영향을 미침에도 불구하고 잘라보기 전에는 선별이 어렵기 때문에 그대로 유통되고 있다. 또한 네트 형성이 완료되면 성숙하여도 과피색의 변화가 적기 때문에 겉모양으로 적기 수확 시기를 판단하는 것이 전문가가 아니면 어렵다. 따라서 멜론의 속도 및 수확 적기를 객관적으로 평가할 수 있는 비파괴 품질평가의 필요성이 대두되고 있다.

멜론의 속도를 비파괴적으로 평가하기 위하여 Mizuno 등(1991)은 멜론을 타격하여 발생하는 음파 신호의 시간영역 주기와 피크 주파수를 파라미터로 이용하였다. 또한 Sugiyama 등(1994)은 멜론의 적도면을 따라 전파되는 음파의 전파속도를 이용하여 멜론의 속도를 측정하였다. 그 결과 충격에 의해서 발생한 음파의 전파속도는 성숙한 멜론일수록 더 느리며, 주파수도 작아진다는 사실을 알았다. 이 원리를 이용하여

This study was conducted by the research fund supported by Korea Research Foundation (KRF-2002-037-D00017). The article was submitted for publication in October 2004, reviewed in December 2004, and approved for publication by the editorial board of KSAM in February 2005. The authors are Wan Kyu Choi, Kyu Hong Choi, Kang Jin Lee, Dong Soo Choi, and Suk Won Kang, National Institute of Agricultural Engineering. The corresponding author is W. K. Choi, Post Doc, National Institute of Agricultural Engineering, Suwon, 441-100, Korea; Fax : +82-31-290-1930; E-mail : <dhksrb@hanmail.net>

Sugiyama 등(1998)은 휴대용 멜론 속도 판정기를 개발하였다. 개발된 휴대용 속도 판정기는 두 개의 마이크에서 획득한 음파신호의 상호상관수와 지연시간을 이용하여 전파속도를 구하며, 멜론의 성숙과정 동안 비파괴적으로 속도를 관찰할 수 있다. 최 등(2002)은 수박의 타격 조건에 따른 음파특성을 구명하기 위하여 음파 계측 시스템을 구성하고, 음파신호 분석 프로그램을 개발하였다. 그 결과 타격 진자의 낙하각도는 40°, 마이크로폰과 수박과의 거리는 2 mm, 마이크로폰의 계측 지점은 타격지점으로부터 180° 위치가 적당하다고 보고하였다. 이처럼 멜론의 음파 반응을 측정하여 음파 특성을 구명하면 속도에 따른 수확시기 및 수확 후 멜론의 과육상태를 비파괴적으로 판단할 수 있을 것이라 기대된다.

본 연구는 음파 반응을 이용하여 국내산 멜론의 속도 및 수확정기를 비파괴적으로 평가할 수 있는 장치를 개발하기 위한 기초 연구로서, 착과 후 수확시기까지 경과일수별로 멜론의 음파반응을 측정하고, 파괴적인 방법에 의해서 대표적인 속도평가 인자인 경도와 당도를 측정하여 이들 간의 관계를 구명함으로써 새로운 음파 파라미터를 제시하고, 음파 반응을 이용한 속도 및 수확정기 평가를 위한 기초 자료를 제공할 목적으로 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

멜론의 속도에 따른 음파 특성, 경도 및 당도를 측정하기 위하여 사용된 공시재료는 전남 나주지방에서 2002년 10월~12월 사이에 채배한 네트멜론인 수퍼 VIP 품종으로서, 멜론의 생육특성을 고려하여 착과 후 수확시기까지 경과일수(35일, 40일, 50일, 55일) 별로 각각 10개씩 총 40개의 멜론을 이용하였다. 또한 부패과의 음파 특성을 조사하기 위하여 수확시기의 네트멜론 16개를 시료로 이용하였다.

나. 음파신호 측정

멜론의 음파신호를 측정하기 위하여 진자를 이용한 타격장치를 이용하였다. 아크릴 볼이 달린 진자로 멜론의 적도부위를 타격하고 타격지점으로부터 180° 지점에서 마이크로폰(Type4165, B&K, Denmark)으로 음파신호를 측정하여 오실로스코프(TDS380, Tektronix, USA)에 파형을 저장하였다. 저장된 파형은 RS232C 통신포트를 통해 컴퓨터로 보낸 후 MATLAB(The Mathworks, Inc.) 소프트웨어를 이용하여 파형을 분석하였다. 이때 구성된 실험장치(그림 1)는 최 등(2002)이 사용한 실험장치와 동일한 실험조건으로서, 진자의 타격각도는

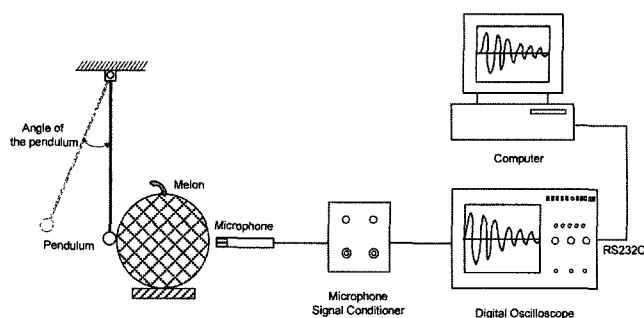


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

40°, 멜론과 마이크로폰 사이의 거리는 2 mm, 프리앰프 이득은 20 dB, 오실로스코프의 샘플링 주파수는 5 kHz로 하였으며, 각 멜론을 4번씩 타격 하여 음파신호를 수집하였다.

다. 경도 및 당도 측정

경도와 당도는 멜론의 속도를 평가하는데 가장 중요한 지표이다(원예연구소, 2002). 음파신호 측정 후 그림 2와 같이 멜론을 꼭지에서 화흔부 방향으로 반으로 쪼개어 과육의 상태를 확인하고 음파신호 측정 부위인 적도부 둘레를 3cm 두께로 잘라 경도 및 당도 측정에 이용하였다.

경도 측정을 위하여 Texture Analyzer(TAXT2i, STABLE MICRO SYSTEMS, UK)를 이용하였다. 자른 면의 겹질 바깥 부분으로부터 25 mm 지점에 직경 6 mm의 플런저로 관입깊이 10 mm의 관통테스트를 실시하였다(그림 3). 이때 관입속도는 0.4 mm/s(ASAE Standard S368.2, 1991)였다. 경도 측정은 각 멜론에서 4점을 수행하였고 각 점에서의 최대 관통력(파괴점)의 평균을 경도지수로 사용하였다. 그리고 경도 측정한 시료를 즙을 내어 디지털 굴절당도계(DBX-55, ATAGO,

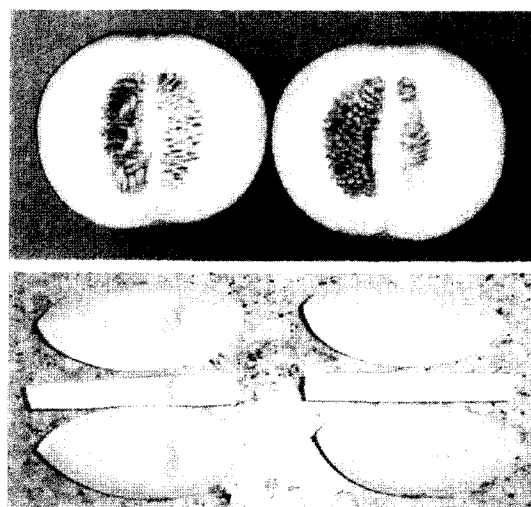


Fig. 2 Photo of melon samples for firmness and sugar content measurements.

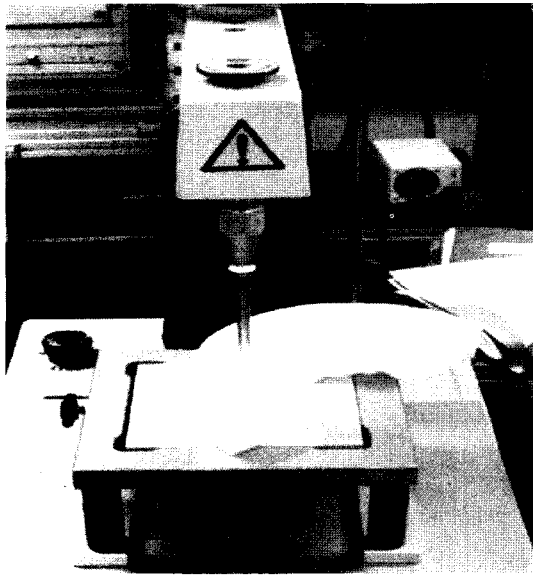


Fig. 3 Firmness measurement system.

Japan)로 Brix 당도를 측정하였다.

라. 멜론의 음파특성과 속도와의 관계 조사

네트멜론인 슈퍼VIP 품종을 착과 후 수확시기까지 경과일 수(35일, 40일, 50일, 55일)별로 분류하여 음파반응을 측정함

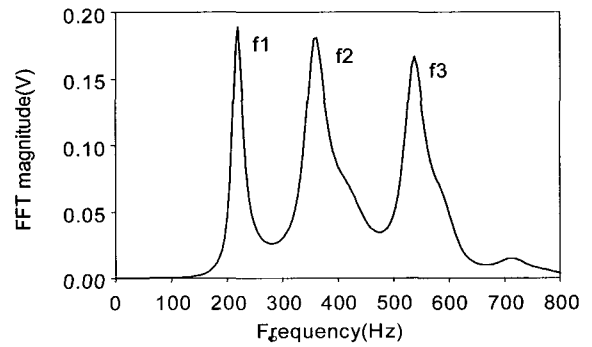
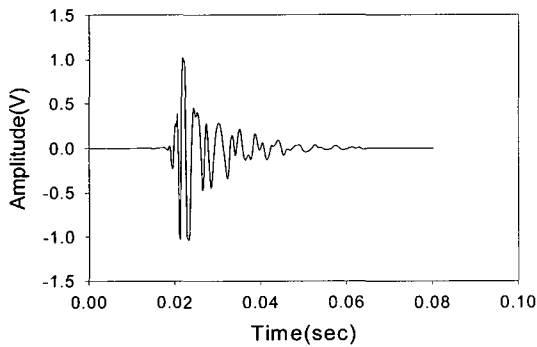
후 경도 및 당도를 측정하였고, 또한 부패과의 음파반응을 측정하였다.

멜론을 타격 하여 얻은 시간영역의 음파신호에 대한 주파수 특성을 알아보기 위해서 주파수 해석 방법의 하나인 최대엔트로피 방법(MEM: Maximum Entropy Method)을 이용하였다. 최대엔트로피 방법에 의해 구한 스펙트럼에서 멜론의 공진주파수들을 구하여 경과일수 별로 공진주파수의 차이가 나타나는지를 조사하였다. 또 일정 주파수 대역을 구간별로 세분화하여 각 구간에 대한 스펙트럼 에너지 비를 구하였다. 이때 스펙트럼 에너지는 각 구간의 스펙트럼의 크기를 합한 값이며, 스펙트럼 에너지 비는 각 구간별 스펙트럼 에너지를 전체 스펙트럼 에너지로 나눔으로써 구하였다. 그리고 멜론의 음파 파라미터와 경도와와의 관계로부터 멜론의 속도 평가 가능성을 조사하였다.

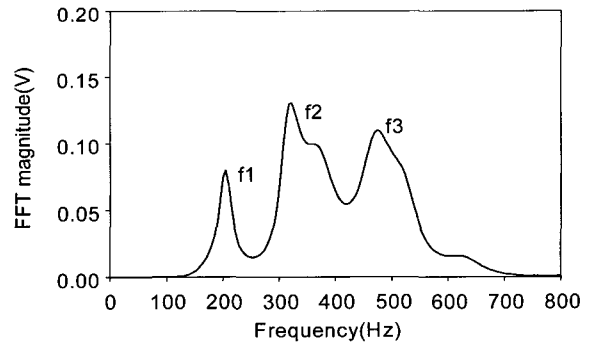
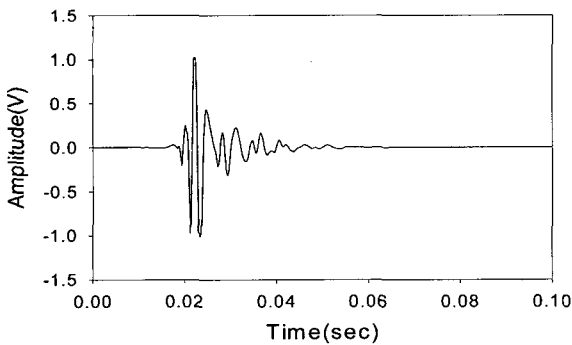
3. 결과 및 고찰

가. 멜론의 음파특성

멜론의 전형적인 음파신호와 스펙트럼을 그림 4에 나타내었다. 그림 4(a)와 4(b)는 각각 착과 후 35일 경과한 미숙과



(a) unripe



(b) ripe

Fig. 4 A typical acoustic responses (left) and MEM spectra (right) of both unripe and ripe melons.

와 착과 후 55일이 경과한 적숙과의 시간영역 음파신호와 최대엔트로피방법(MEM)으로 해석한 주파수특성을 나타낸 것이다.

그림 4의 시간영역의 음파신호를 보면 적숙과가 미숙과에 비해 진동이 빨리 감쇠되어 진동이 유지되는 시간이 짧고, 파형의 주기가 길어지는 것을 알 수 있다. 이러한 특성은 주파수 영역의 스펙트럼에도 반영된다. 그림 4의 스펙트럼에서 보듯이 수확 전 멜론에는 3개의 주된 공진주파수(f_1 , f_2 , f_3)가 존재하는데, 적숙과가 미숙과에 비해 공진 주파수가 작으며 스펙트럼의 크기도 적숙과 일수록 작은 경향을 나타내어 멜론이 성숙 할수록 주파수 특성이 변화한다는 사실을 확인할 수 있었다.

그림 5는 착과 후 경과일수 별 f_1 , f_2 , f_3 공진주파수의 평균값의 분포와 99% 신뢰구간을 보여준다. 착과 후 35일~55일 경과한 멜론의 경우 f_1 공진주파수는 150~250 Hz 범위에 주로 분포하였으며, f_2 공진주파수는 300~400 Hz 범위, 그리고 f_3 공진주파수는 450~550 Hz 범위에 주로 분포하였다. f_1 공진주파수 분포에서 40일과 55일 경과한 멜론의 경우 신호간 편차가 커서 신뢰구간이 크게 나타났으며, 경과일수별 공진주파수의 변화가 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나 f_2 와 f_3 공진주파수는 신뢰구간이 작고 경과일수가 지날수록 저주파로 이동하는 경향을 나타내었다. 특히 f_2 와 f_3 공진주파수 분포에서 35일과 40일 경과한 미숙과와 50일과 55일 경과한 수확시기의 멜론이 차이를 보여, 이들 f_2 와 f_3 공진주파수의 변화가 속도의 변화와 관계가 있다는 것을 알 수 있었다.

나. 경과 일수별 당도 및 경도 특성

멜론의 경도측정에서 얻은 대표적인 힘-변형 곡선을 그림 6에 나타내었다. 멜론의 경우 생물체항복점이 존재하지 않고

파괴점만 존재하며, 힘-변형 곡선에서 파괴점을 멜론 속도의 지표인 경도지수로 사용하였다.

그림 7은 착과 후 경과일수에 따른 당도와 경도의 분포를 나타낸다. 착과 후 경과일수가 지남에 따라 당도는 높아지고 경도는 작아지는 경향을 나타내었고, 수확시기인 55일 경과한 멜론의 경우 당도는 10 Brix 이상, 경도는 5N 이하에 분포하였다. 이처럼 경과 일수가 지날수록 과육의 경도가 물러지고 당도가 높아지지만 당도의 경우 경도에 비해 재배조건에 따라 변화가 심하기 때문에 본 연구에서는 경도만을 속도 평가에 이용하였다.

다. 멜론의 음파특성과 경도와의 관계

착과 후 경과일수별로 측정된 음파신호와 경도 값을 이용하여 멜론의 음파특성과 경도와의 관계를 조사하였다. 이를 위하여 먼저 공진주파수와 경도와의 관계를 조사하였고, 음

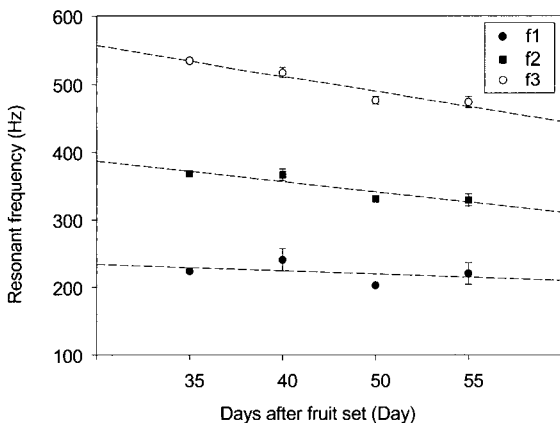


Fig. 5 Distribution of resonant frequencies with the lapse of days after fruit set.

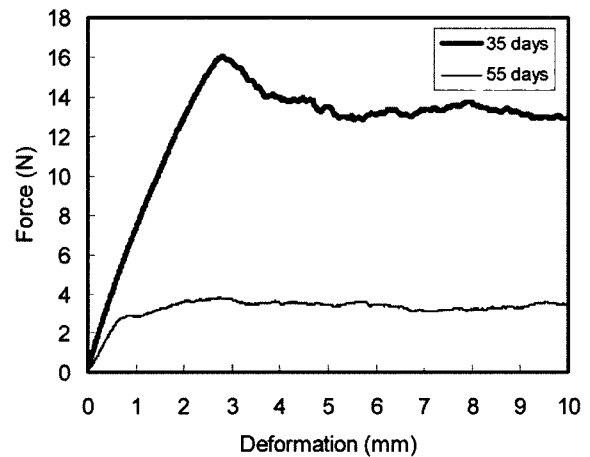


Fig. 6 Force-deformation curve of the melon sample.

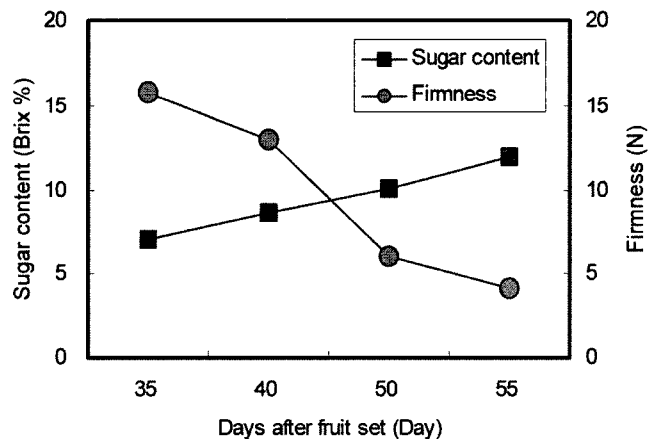


Fig. 7 Distribution of sugar content and firmness with the lapse of days after fruit set.

파스펙트럼에서 0~800 Hz의 주파수 대역을 구간별로 세분화하여 전체 스펙트럼 에너지에 대한 구간별 스펙트럼 에너지의 비를 구하고 구간별 스펙트럼 에너지비와 경도와의 관계를 조사하였다.

그림 8은 공진주파수와 경도와의 관계를 나타낸 것이다. 그

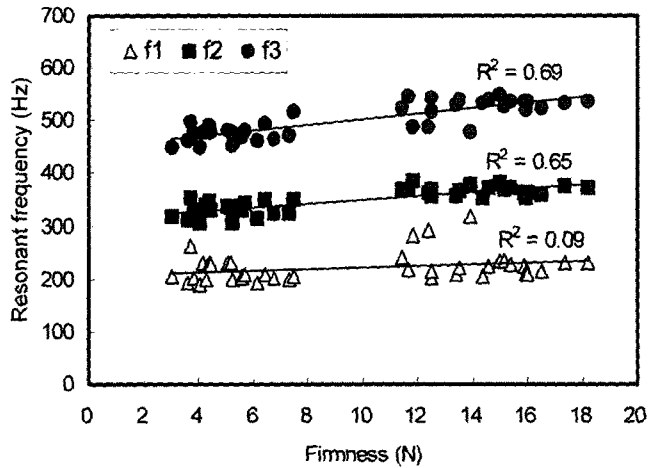
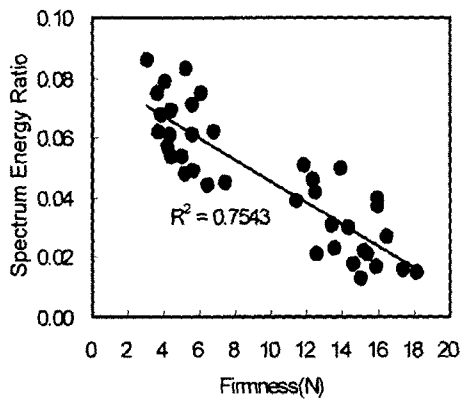


Fig. 8 Relationship between firmness and resonant frequency.

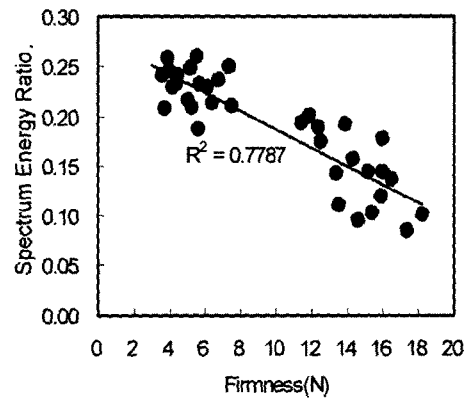
림에서 보듯이 경도가 커짐에 따라 f_2 , f_3 공진주파수는 점차로 커지는 경향을 나타내어 멜론 과육의 경도 변화가 f_2 , f_3 공진주파수의 변화와 관계가 있다는 것을 알 수 있었으며, f_1 공진주파수 자체는 경도의 변화와 크게 관계가 없는 것을 알 수 있었다.

그림 9는 구간별 스펙트럼 에너지비와 경도와의 관계에서 가장 유의성이 있는 구간과 공진 주파수와 관련이 있는 구간을 선정하여 나타낸 것이다. 그림 9의 (a)(b)(d)에서 보듯이 150~200 Hz, 300~350 Hz 그리고 600~800 Hz 구간에서 선형성을 나타내었다. 그림 9의 (a)와 (b)는 각각 f_1 , f_2 공진주파수가 분포하는 구간으로서 f_1 , f_2 공진주파수 부근의 변화가 스펙트럼 에너지에 영향을 미친 것으로 판단되며, (d)는 미숙과에서 나타나는 고주파 성분이 적숙과가 될 수록 줄어드는 데서 기인하는 것으로 판단된다. 그림 9(c)는 f_3 공진주파수가 분포하는 450~550 Hz 범위의 에너지비와 경도와의 관계를 나타내는데, 이 구간에서는 경도와 에너지비가 유의성이 없는 것으로 나타났다.

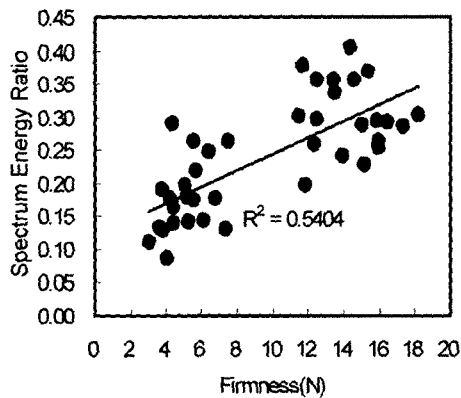
이처럼 그림 8에서처럼 f_1 공진주파수 자체는 경도의 변화와 상관없이 거의 변하지 않았지만 f_1 공진주파수가 포함된



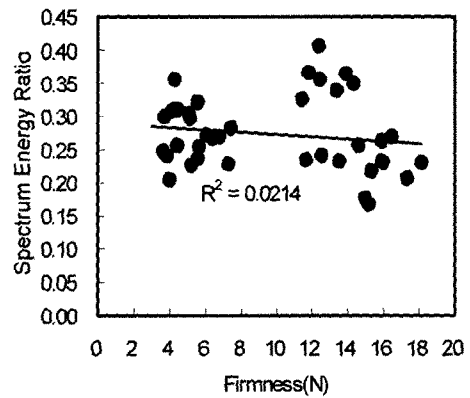
(a) 150~200 Hz



(b) 300~350 Hz



(c) 450~550 Hz



(d) 600~800 Hz

Fig. 9 Relationships between firmness of melon and spectrum energy ratio at several frequency ranges.

150~200 Hz 구간의 스펙트럼 에너지 비는 정도의 변화와 관계가 있었고, 또한 f3 공진주파수 자체는 정도의 변화와 관계가 있지만 f3 공진주파수 부근의 주파수 성분의 변화는 크지 않다는 것을 알 수 있었다. 반면에 f2 공진주파수와 f2 공진주파수가 포함된 300~350 Hz 범위의 스펙트럼 에너지비는 정도의 변화를 가장 잘 설명해 주었다.

라. 부패과

그림 10은 수확 시기의 네트멜론 중 내부가 썩었거나 무른 부패과에 대한 공진주파수와 스펙트럼에너지 분포를 나타낸다. 부패과의 경우 f1 공진주파수가 주로 100~150 Hz 범위에 분포하고, f2 공진주파수는 200~250 Hz, f3 공진주파수는 250~350 Hz 범위에 주로 분포하는데 이것은 정상적인 네트멜론의 공진 주파수보다 작다는 것을 알 수 있으며, 스펙트럼 에너지의 경우도 수확시기의 정상 네트멜론이 2.0 이상

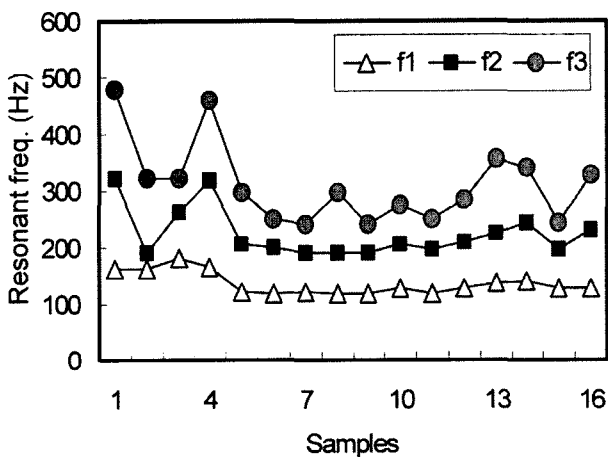
에서 분포하는 것과 달리 1.6이하에 분포하였다. 이 같은 결과는 부패과의 과육이 무르기 때문에 공진 주파수도 작아지고, 스펙트럼의 진폭도 작아지는 데서 기인한 것으로 판단된다.

위의 결과에서 멜론 속도의 지표인 정도가 착과 후 경과일수에 따라서 차이가 있었으며, 정도가 변함에 따라 공진주파수와 스펙트럼 에너지 비와 같은 음파특성도 변화한다는 것을 알 수 있었다. 따라서 위의 결과를 이용하여 멜론의 속도 예측 모델을 개발할 수 있으며, 음파반응을 이용하여 재배기간 중 멜론의 속도와 적정 수확시기를 비파괴적으로 판단할 수 있는 가능성을 확인하였다. 그러나 멜론의 정도와 음파특성과의 관계를 정립하기 위해서는 더 많은 품종의 멜론과 다년간 생산되는 멜론에 대한 데이터가 축적되어야 할 것이다.

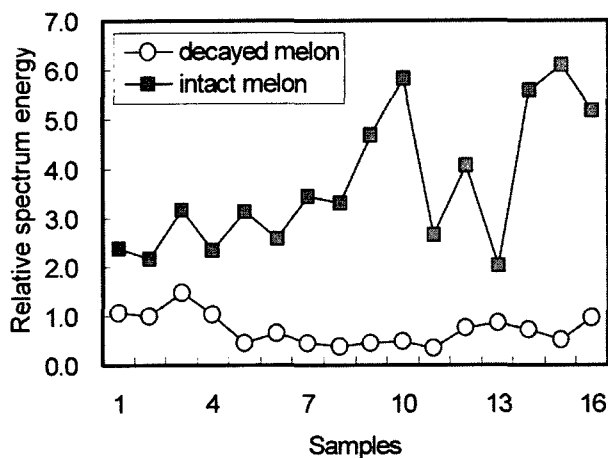
4. 요약 및 결론

멜론의 음파특성과 정도와의 관계를 구명함으로써 음파반응을 이용한 멜론의 비파괴 속도평가 가능성을 확인하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 착과 후 수확시기까지 경과일수별로 네트 멜론의 음파 반응을 측정된 결과, 시간영역의 음파신호는 적숙과가 미숙과에 비해 진동이 빨리 감쇠되어 진동이 유지되는 시간이 짧고 파형의 주기도 길었으며, 주파수 분석 결과 적숙과가 미숙과에 비해 공진 주파수가 작으며 스펙트럼의 크기도 작게 나타났다.
- (2) 네트 멜론의 f1 공진주파수는 150~250 Hz 범위에 주로 분포하며, f2 공진주파수는 300~400 Hz, f3 공진주파수는 450~550 Hz 범위에 분포하는데, 공진주파수가 착과 후 경과일수가 지날수록 작아지는 경향을 나타내었다. 이것은 미숙과에서 수확시기로 가면서 멜론의 정도가 변화하며 음파특성 또한 변화한다는 것을 말해준다.
- (3) 네트 멜론은 착과 후 경과일수가 지남에 따라 당도는 높아지고 정도는 작아지는 경향을 나타내었고, 멜론의 주파수 대역 중 150~200 Hz, 300~350 Hz 및 600~800 Hz 구간의 스펙트럼 에너지비가 멜론 속도의 지표인 정도와 어느 정도의 선형성을 나타내어 음파반응을 이용한 속도평가 가능성을 확인하였다.
- (4) 더 많은 시료를 이용하여 속도 예측 모델을 개발한다면 멜론의 속도에 따른 수확시기 및 수확 후 멜론의 과육 상태를 비파괴적으로 판단할 수 있으리라 기대된다.



(a) resonant frequency



(b) spectrum energy

Fig. 10 Distribution of resonant frequencies and spectrum energy for decayed melon.

참고문헌

1. 김희태. 2003. 고품질 수출멜론 생산을 위한 재배기술. 신기술 신농업 2003년 4월호:27-39.
2. 원예연구소. 2002. 원예작물재배기술-채소-멜론. <http://www.nhri.go.kr/ddd/crop/vegetable/멜론.htm>
3. Choi, D. S., M. S. Kim, K. H. Choi, Y. H. Lee and K. J. Lee. 2002. Acoustic characteristics of watermelon according to impact conditions. Journal of the KSAM 27(1):67-76. (In Korean)
4. Mizuno M., H. Tsuchida, S. Hongo, T. Ijichi, S. Mizuno and K. Watanabe. 1991. Evaluation on ripening stage of melon fruits by acoustic impulse response method. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 60(1):83-88.
5. Sugiyama J., T. Katsurai, J. Hong, H. Koyama and K. Mikuriya. 1998. Melon ripeness monitoring by a portable firmness tester. Trans. of the ASAE 41(1):121-127.
6. Sugiyama J., K. Otobe, S. Hayashi and S. Usui. 1994. Firmness measurement of muskmelons by acoustic impulse transmission. Trans. of the ASAE 37(4):1235-1241.