

멜론의 음파반응과 속도와의 관계*

Relationship between Acoustic Response and Ripeness of Melon

최완규* 최규홍* 최동수* 이강진*
정희원 정희원 정희원 정희원

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

1. 서론

국내에서 멜론(*Cucumis melo L.*) 재배는 주로 온실이나 하우스 같은 시설에서 재배되고 있어 연중 생산되며, 생산량은 1991년에 4,414톤에서 1998년에는 13,232톤으로 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 어느정도 물러졌을 때 수확해야만 후숙 후에도 먹기 좋은 상태가 된다. 그러나 네트 형성이 완료되면 성숙하여도 과피색의 변화가 적기 때문에 겉모양으로 적기 수확시기를 판단하는 것이 전문가가 아니면 어려우며, 적기 수확시기를 놓치면 재배를 아무리 잘 했다 하더라도 상품가치를 잃게 된다(원예연구소, 2002). 따라서 멜론의 속도 및 적기 수확시기를 객관적으로 평가할 수 있는 비파괴 품질평가의 필요성이 대두되고 있다.

멜론의 속도를 비파괴적으로 평가하기 위하여 Sugiyama 등(1994)은 음파의 전파속도를 이용하였으며, 이를 이용하여 휴대용 멜론 속도 판정기를 개발하였다(Sugiyama 등,1998). 또 Mizuno 등(1991)은 시간영역 파형의 주기와 피크 주파수를 멜론 속도 판정에 이용하였다. 이처럼 음파 반응을 이용하면 멜론의 속도에 따른 수확적기 및 수확 후 멜론의 과육상태를 비파괴적으로 판단할 수 있다.

본 연구는 음파 반응을 이용하여 멜론의 속도를 비파괴적으로 평가하기 위한 연구로서 착과 후 수확시기까지 경과일수별로 멜론의 음파반응을 측정하고, 파괴적인 방법에 의해 대표적인 속도평가 인자인 경도와 당도를 측정하여 이들간의 관계를 구명함으로써 음파 반응을 이용한 적기 수확시기 판정을 위한 기초자료를 제공할 목적으로 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

멜론의 속도에 따른 음파 특성, 경도 및 당도를 측정하기 위하여 사용된 공시재료는 전남 나주지방에서 10월~12월 사이에 재배한 네트멜론인 슈퍼VIP 품종으로서, 멜론의 생육특성을 고려하여 착과 후 수확시기까지 경과일수(35일, 40일, 50일, 55일) 별로 각각 10개씩 총 40개의 멜론을 이용하였다.

† 이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.(KRF-2002-037-D00017)

* 농업기계화연구소

나. 음파신호 측정

멜론의 음파신호를 측정하기 위하여 진자를 이용한 타격장치를 이용하였다. 아크릴 볼이 달린 진자로 멜론의 적도부위를 타격하고 타격지점으로부터 180도 지점에서 마이크로폰(Type2669, B&K)으로 음파신호를 측정하여 오실로스코프(TDS380, Tektronix)에 파형을 저장하였다. 저장된 파형은 RS232C 통신포트를 통해 컴퓨터로 보낸 후 소프트웨어 MATLAB(The Mathworks, Inc.)을 이용하여 파형을 분석하였다. 이때 구성된 실험장치는 최 등(2002)이 사용한 실험장치와 실험조건으로서, 진자의 타격각도는 40도, 멜론과 마이크로폰 사이의 거리는 2mm, 프리앰프 게인은 20dB, 그리고 오실로스코프의 샘플링 주파수는 5kHz로 하고, 각 멜론을 4번씩 타격 하여 음파신호를 수집하였다.

다. 경도 및 당도 측정

경도와 당도는 멜론의 속도를 평가하는데 가장 중요한 지표이다. 음파신호 측정 후 멜론을 꼭지에서 화흔부 방향으로 반으로 쪼개어 과육의 상태를 확인하고 음파신호 측정 부위인 적도부 둘레를 3cm 두께로 잘라 경도 및 당도 측정에 이용하였다.

경도 측정은 Texture Analyzer(TA.XT2i, STABLE MICRO SYSTEMS)를 이용하여, 자른면의 껍질 바깥부분으로부터 25mm 지점에 직경 6mm의 플런저로 관입길이 10mm의 관통테스트를 하였다. 이때 관입속도는 0.4mm/s(ASAE Standard S368.2, 1991)였다. 경도 측정은 각 멜론에서 4점을 수행하였고 각 점에서의 최대 관통력(파괴점)의 평균을 경도지수로 사용하였다. 당도는 경도 측정한 시료를 즙을 내어 디지털 굴절당도계(DBX-55, ATAGO)로 Brix 당도를 측정하였다.

라. 멜론의 음파특성과 속도와의 관계 조사

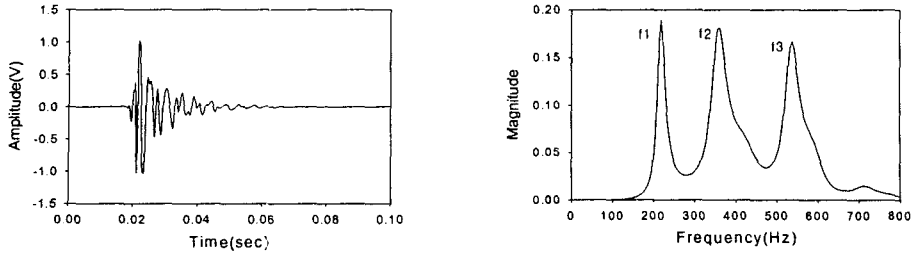
멜론을 타격 하여 얻은 시간영역의 음파신호에 대한 주파수 특성을 알아보기 위해서 주파수 해석 방법의 하나인 최대엔트로피 방법(MEM: Maximum Entropy Method)을 이용하였다. 이 방법은 FFT(Fast Fourier Transform) 방법보다 주파수 분해능이 뛰어나고, 피크의 검출이 용이한 장점을 가지고 있다.

최대엔트로피 방법에 의해 구한 스펙트럼에서 멜론의 주된 주파수 특성을 보여주는 800Hz 미만의 스펙트럼에 대하여 공진주파수들을 구하여 경과일수 별로 공진주파수의 차이가 나타나는지를 조사하였다. 또 0~800Hz의 주파수 대역을 구간별로 세분화하여 전체 스펙트럼 에너지에 대한 구간별 스펙트럼 에너지의 비율을 구하였다. 그리고 이들 값들과 속도 평가의 지표가 되는 경도와의 관계를 조사하였다.

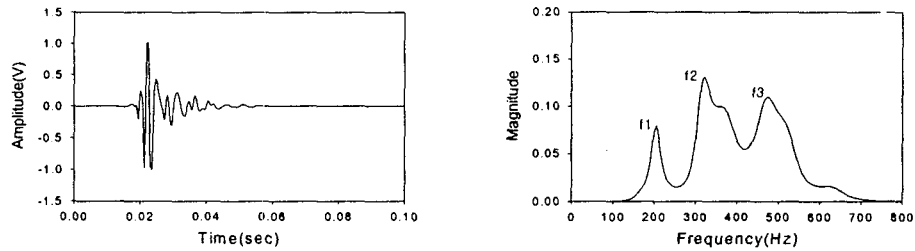
3. 결과 및 고찰

가. 멜론의 음파특성

멜론의 전형적인 음파신호와 스펙트럼을 그림 1에 나타내었다. 그림 1(a)는 착과 후 35일 경과한 미숙과의 경우이며, 그림 2(b)는 착과 후 55일이 경과한 수확시기의 멜론이다.



(a) unripe



(b) ripe

Fig. 1. A typical acoustic response(left) and MEM spectrum(right) of melon.

그림 1의 시간영역의 음파신호에서도 나타나듯이 대체적으로 수확시기의 성숙한 멜론이 미숙과에 비해 진동이 빨리 감쇄되며 진동주기도 길어지는 것을 알 수 있었다. 이러한 특성은 주파수 영역의 스펙트럼에도 반영된다. 그림 1의 스펙트럼에서 보듯이 수확 전 멜론에는 3개의 주된 공진주파수(f_1 , f_2 , f_3)가 존재하는데, 공진주파수가 성숙한 멜론일수록 저주파대로 이동하며 스펙트럼의 매그니튜드(magnitude)도 성숙한 멜론일수록 작아지는 경향을 나타내었다.

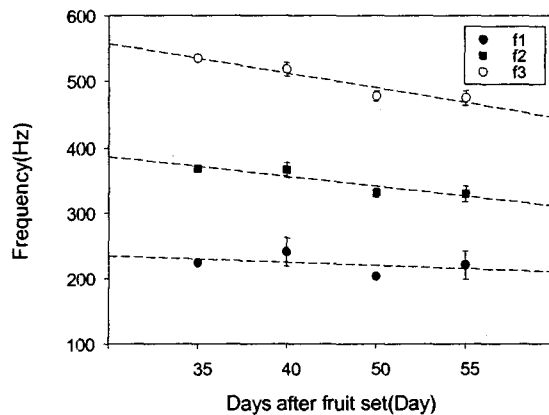


Fig. 2. Distribution of resonant frequencies with the lapse of day after fruit set.

그림 2는 착과 후 경과일수 별 f1, f2, f3 공진주파수의 평균값의 분포와 99% 신뢰구간을 보여준다. 착과 후 35일~55일 경과한 멜론의 경우 f1 공진주파수는 150~250Hz 범위에 주로 분포하였으며, f2 공진주파수는 300~400Hz 범위, 그리고 f3 공진주파수는 450~550Hz 범위에 주로 분포하였다. f1 공진주파수 분포에서 40일과 55일 경과한 멜론의 경우 신호간 편차가 커서 신뢰구간이 크게 나타났으며, 경과일수별 공진주파수의 변화가 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나 f2와 f3 공진주파수는 경과일수가 지날수록 주파수가 작아지는 경향을 나타내었다. 특히 f2와 f3 공진주파수 분포에서 35일과 40일 경과한 미숙과와 50일과 55일 경과한 수확시기의 멜론이 두드러진 차이를 보여, 이들 f2와 f3 공진주파수의 변화를 이용한 속도평가 가능성을 확인하였다.

나. 경과 일수별 당도 및 경도 특성

멜론의 경도측정에서 얻은 대표적인 힘-변형 곡선을 그림 3에 나타내었다. 멜론의 경우 생물체항복점이 존재하지 않고 파괴점만 존재하며, 힘-변형 곡선에서 최대점인 파괴점을 멜론 속도의 지표인 경도지수로 사용하였다.

그림 4는 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 10Brix 이상, 경도는 5N 이하에 분포하였다. 이처럼 경과 일수가 지날수록 과육의 경도가 물러지고 당도가 높아지지만 당도의 경우 재배조건에 따라 변화가 심하기 때문에 본 연구에서는 경도만을 속도 평가에 이용하였다.

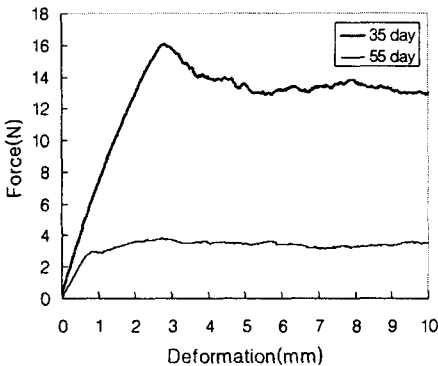


Fig. 3. A force deformation curve of a melon sample.

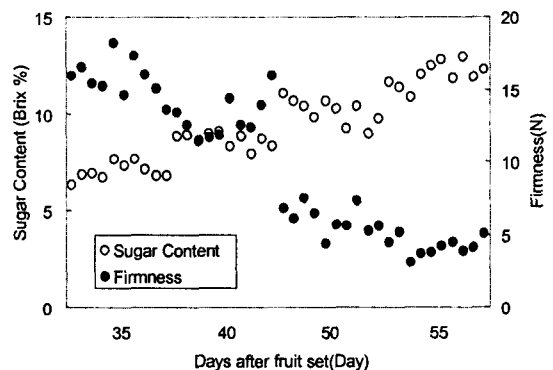


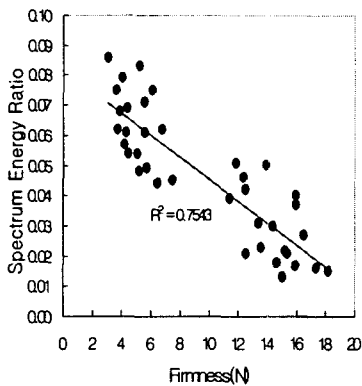
Fig. 4. Distribution of sugar content and firmness with the lapse of day after fruit set.

다. 멜론의 음파특성과 경도와의 관계

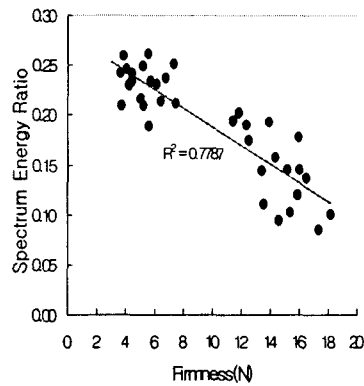
스펙트럼에서 0~800Hz의 주파수 대역을 구간별로 세분화하여 전체 스펙트럼 에너지에 대한 구간별 스펙트럼 에너지의 비율을 구하고 구간별로 에너지비와 경도와의 관계를 조사

하였고, f1, f2, f3 공진주파수와 경도와의 관계를 조사한 결과 공진주파수 보다는 구간별 에너지비가 경도와 더 유의성이 있는 것으로 나타났다.

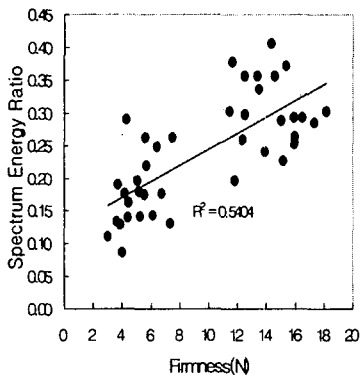
그림 5는 구간별 에너지비와 경도와의 관계에서 가장 유의성이 있는 구간을 선정하여 나타낸 것이다. 그림 5의 (a)(b)(c)에서 보듯이 150~200Hz, 300~350Hz 그리고 600~800Hz 구간에서 어느정도의 선형성을 나타내었다. 그림 5의 (a)와 (b)는 각각 f1, f2 공진주파수가 분포하는 구간으로서 f1, f2 공진주파수의 변화에 의해 나타나며, (c)는 미숙과에서 나타나는 고주파 성분이 수확시기가 되면 줄어드는 데서 기인하는 것으로 판단된다. 그림 5(d)는 f3 공진주파수가 분포하는 450~550Hz 범위의 에너지비와 경도와의 관계를 나타내는데, 이 구간에서는 경도와 에너지비가 유의성이 없었다.



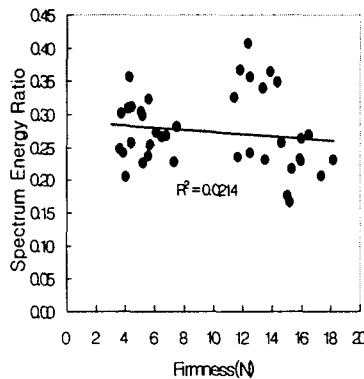
(a) 150~200Hz



(b) 300~350Hz



(c) 600~800Hz



(d) 450~550Hz

Fig 5. Relationship between firmness and spectrum energy ratio at different frequency band.

위의 결과에서 멜론 속도의 지표인 경도가 착과 후 경과일수에 따라서 차이가 있었으며 경도가 변함에 따라 음파특성도 변화한다는 것을 알 수 있었고, 음파반응을 이용하여 멜론의 속도를 비파괴적으로 판단할 수 있는 가능성을 확인하였다. 그러나 멜론의 경도와 음파

특성과의 관계를 정립하기 위해서는 더 많은 품종의 멜론과 연중 생산되는 멜론에 대한 데이터가 축적되어야 할 것이다.

4. 요약 및 결론

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

1. 수확 전 멜론에는 3개의 주된 공진주파수가 존재하는데, 공진주파수가 성숙한 멜론일 수록 저주파대로 이동하며 스펙트럼의 매그니튜드도 작아지는 경향을 나타내었다.

2. 멜론은 착과 후 경과일수가 지남에 따라 당도는 높아지고 경도는 작아지는 경향을 나타내었다.

3. 멜론의 주파수 대역 중 150~200Hz, 300~350Hz 및 600~800Hz 구간의 스펙트럼에너지비가 멜론 속도의 지표인 경도와 어느정도의 선형성을 나타내어 음파특성을 이용한 속도평가가 가능할 것으로 기대된다.

5. 참고문헌

- 1) 원예연구소, 2002, 원예작물재배기술-채소-멜론, <http://www.nhri.go.kr/ddd/crop/vegetable/멜론.htm>
- 2) 최동수, 김만수, 최규홍, 이영희, 이강진, 2002, 타격조건에 따른 수박의 음파특성, 한국농업기계학회지 27(1) : 67~76.
- 3) 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.
- 4) Sugiyama J., K. Otake, S. Hayashi, S. Usui, 1994, Firmness measurement of muskmelons by acoustic impulse transmission, Trans. of the ASAE 37(4) : 1235~1241.
- 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.