

초음파 파라미터를 이용한 과실의 경도측정기술 개발 (I)

- 과실의 초음파 및 기계적 특성 분석

Development of technology for measurement of fruit hardness by ultrasonic parameter (I)

- Analysis of ultrasonic and mechanical properties of whole fruit

김 만 수*	김 기 복**	정 현 모***	김 기 석*	박 정 길*	이 상 대*	박 성 운*
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
M. S. Kim	K. B. Kim	H. M. Jung	G. S. Kim	J. G. Park	S. D. Lee	S. W. Park

1. 서론

현재 국민생활수준의 향상과 소득의 증가로 인하여 과실에 대한 구매 패턴이 다양해지고 있다. 기존의 양적인 소비 패턴보다 품질의 중요성을 소비자들이 인식하고, 고품질의 제품을 선호하는 경향이 대두되고 있다. 또한 대외 시장의 개방화에 따라 수입농산물이 증가하게 되었으며 이에 대한 경쟁력을 강화하기 위해 고품질 농산물의 생산과 생산된 농산물의 품질 관리를 위한 품질 판정 기술의 개발이 절실히 요구되고 있다. 특히 우리나라 농산물 중 사과와 배를 포함한 몇몇 과실류는 중요한 수출 전략 품목으로서, 수확 후 품질 관리를 위해 보다 많은 기술력의 확보와 투자가 요구되고 있다.

과실은 수확 후에도 살아있는 생명체로서 유통과정 중이나 저장과정 중에도 끊임없는 생리적 변화를 겪고 있다. 따라서 과실에 대한 비파괴 품질판정기술의 개발이 요구되고 있으며 과실의 기계적 특성과 밀접한 관계가 있는 초음파 기술을 적용하기 위한 연구들이 수행되고 있다.

본 연구는 초음파를 이용한 과실의 비파괴 품질판정에 이용하기 위한 기초연구로서 저장 기간에 따라 과실 시료를 투과하는 초음파 파라미터를 이용하여 기계적 특성과 비교하여 그 적용 가능성을 모색하기 위하여 수행되었다.

2. 재료 및 방법

본 실험에 사용된 과실은 사과의 경우 후지 품종, 배의 경우 신고 품종, 복숭아의 경우 중백 품종으로 일반농가에서 재배·구입한 국내산 과실이었다. 후지 사과와 신고 배의 경우 농가의 저온저장고(온도 : 2℃, RH 85%)에 저장하면서 10일 간격으로 각 과실 당 1회에 5개씩 시료를 임의 추출하여 사용하였으며, 복숭아의 경우 농가에서 바로 수확한 과실을 상온의 실험실 (온도: 18℃, RH 65%)에서 저장하면서 1일 간격으로 1회에 9개의 시료를 임의로 추출하여 사용하였다. 각 과실의 기본적인 물성은 표 1에서와 같다.

* 충남대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 생물산업기계 전공

** 한국표준과학연구원 환경안전계측센터

*** 경북과학대학 포장학과

Table 1. Physical properties of the fruits used in this study.

Item	Storage days	Diameter ($\times 10^{-2}m$)	Mass ($\times 10^{-2}kg$)	Volume ($\times 10^{-4}m^3$)	Density (kg/m^3)
Apple	60 ~160	7.39 ~ 7.93	20.59 ~ 22.22	2.45 ~ 2.61	839.65 ~ 859.20
Pear	60 ~120	8.91 ~ 10.28	36.75 ~ 54.36	3.76 ~ 5.52	841.40 ~ 1008.57
Peach	2~11	6.79 ~ 8.01	19.71 ~ 24.57	2.06 ~ 2.53	853.82 ~ 998.75

과실의 초음파 파라미터를 계측하기 위하여 사용된 장치는 그림 1에서 보는 바와 같다. 초음파 펄서로는 CNS FARNELL사의 PUNDIT이었으며 초음파 센서는 한국표준과학연구원에서 개발된 과실전용 초음파 센서(100kHz)를 사용하였다. 과실의 기계적 특성 값을 얻기 위해 초음파 투과실험을 한 지점에 대하여 과실을 절단하여 시편(사과, 배의 씨방부위제외)을 제작하거나 원형(복숭아) 그대로를 실험에 사용하였다. 압축 실험에 쓰인 장비는 UTM 장비를 이용하였으며, 이때의 하중재하속도(loading rate)는 5 mm/min로 하였다. 압축실험 시 사과와 배의 경우 그림 2와 같은 ASAE standard에서 제시하고 있는 평판(plate)을 이용하였다. 복숭아의 경우 그림 3과 같이 과실의 원형(whole fruit)에 대하여 평판(plate)을 이용하여 압축실험을 시행하였다.

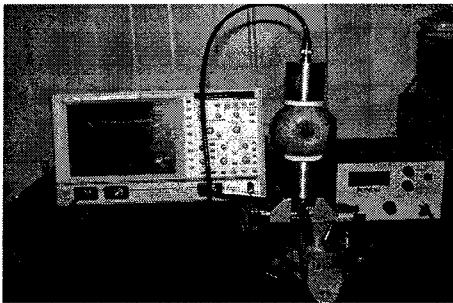


Fig. 1. Ultrasonic measurement system for fruits.

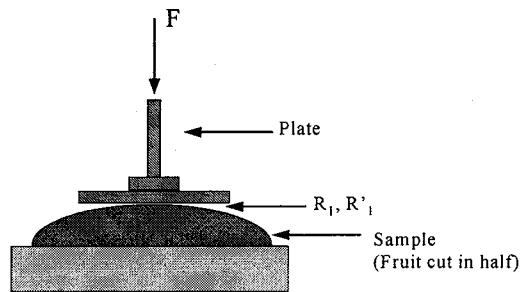


Fig. 2. Single plate contact for mechanical properties of apple and pear.

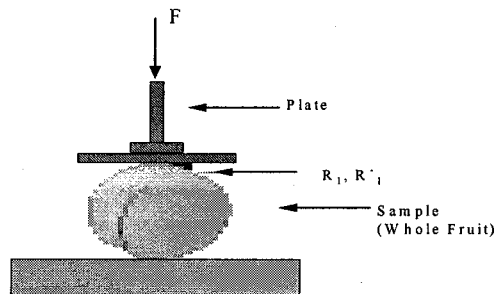


Fig. 3. Single plate contact for mechanical properties of peach.

3. 결과 및 고찰

3.1 과실의 저장기간에 따른 기계적 특성

저장기간에 따른 각 과실의 생물체항복강도를 그림 4~5에 나타내었다. 그림 4에서 보는 바와 같이 사과와 배의 생물체항복강도가 저장기간에 따라 불규칙적으로 나타난 것은 농가의 저온저장고에 시료를 저장하는 동안 온도와 상대습도가 일정하게 유지되지 않았기 때문에 발생한 결과로 사료된다. 한편 복숭아의 경우 생물체항복강도가 저장기간에 따라 대체적으로 감소하는 경향을 나타내었다.

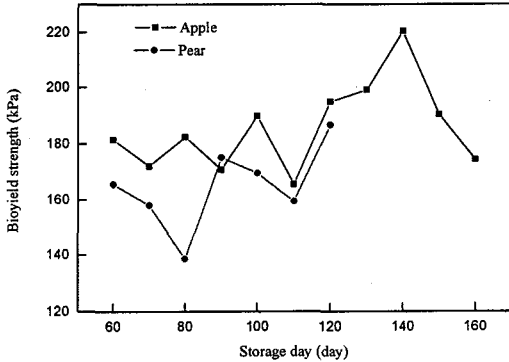


Fig. 4. Plot of bioyield strength v.s. apple (Fuji cultivar) and pear (Niitaka cultivar) according to the storage days.

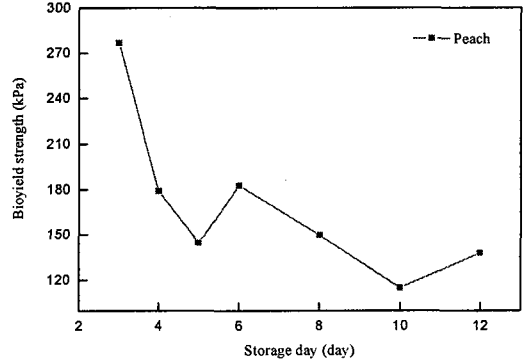


Fig. 5. Plot of bioyield strength v.s. peach (Jungbak cultivar) according to the storage days.

3.2 과실의 저장기간에 따른 초음파 파형변화 및 초음파 특성

그림 6 및 7은 사과에 대한 초음파 투과 신호를 시간영역과 주파수영역에서 분석한 결과이다. 그림 6에서 보는 바와 같이 저장기간이 늘어남에 따라 시간영역에서의 최대 혹은 최소피크의 값이 점차적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 그러나 그림 7에과 같이 주파수영역에서는 저장기간에 따른 주파수 변화 패턴이 일정하지 않게 나타났으며 이러한 결과는 배나 복숭아에서도 유사한 경향을 나타내었다.

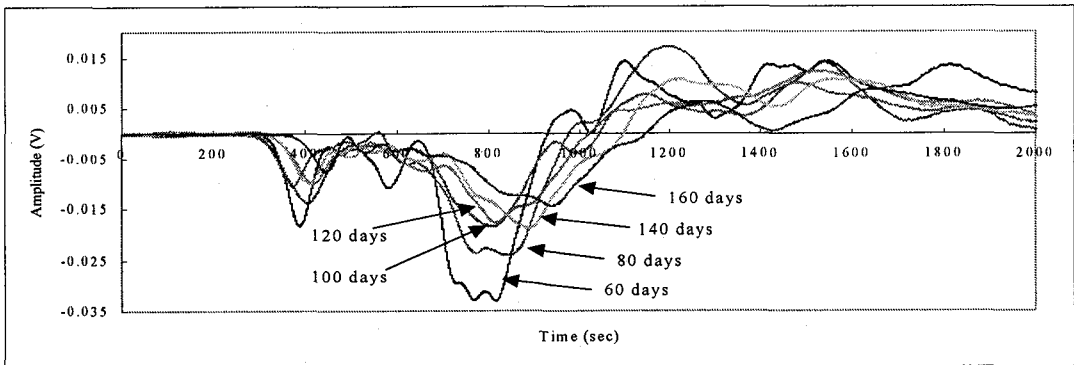


Fig. 6. Charges of ultrasonic transmitted signal of apple at time domain according to the storage days.

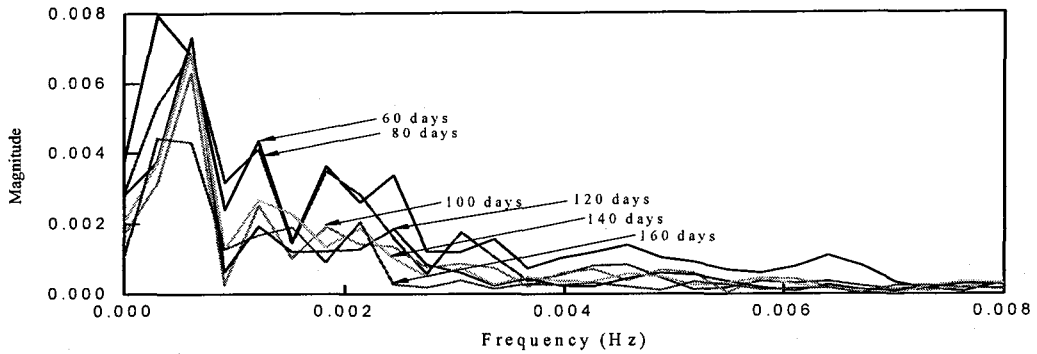


Fig. 7. Changes of frequency characteristics of ultrasonic transmitted signal of the apple according to the storage days.

그림 8~13은 각 과실의 저장기간에 따른 초음파 특성 중 투과속도, 감쇠계수, spectrum density 등을 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 spectrum density의 경우 저장기간에 따라 대체적으로 감소하는 경향을 나타내었으며, 투과속도와 감쇠계수에서는 저장기간에 따른 감소 경향이 뚜렷하게 나타나지 않는 것으로 나타났다.

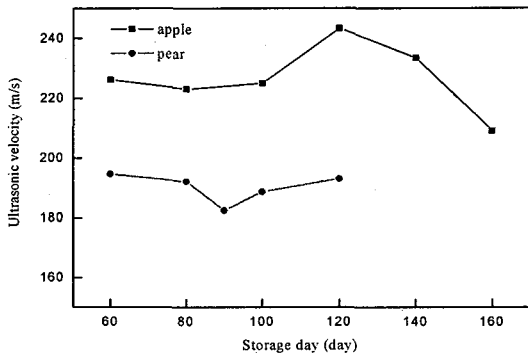


Fig. 8. Ultrasonic velocity of the apple and pear according to the storage day.

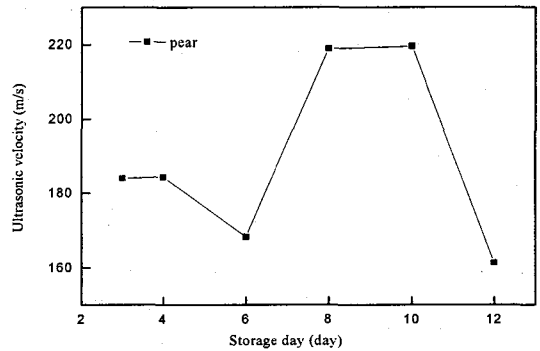


Fig. 9. Ultrasonic velocity of the peach according to the storage day.

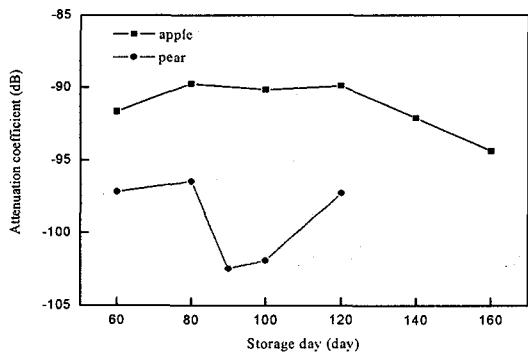


Fig. 10. Attenuation coefficient of the apple and pear according to the storage day.

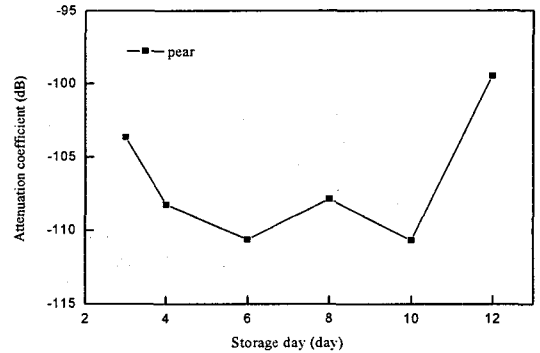


Fig. 11. Attenuation coefficient of the peach according to the storage day.

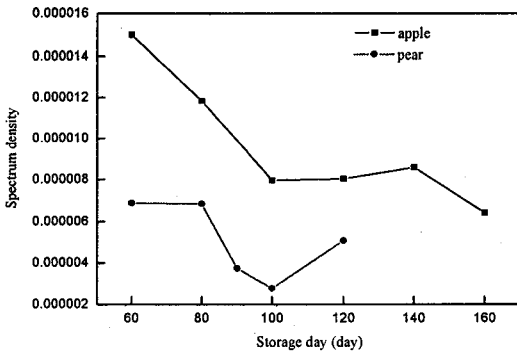


Fig. 12. Spectrum density of the apple according to the storage day.

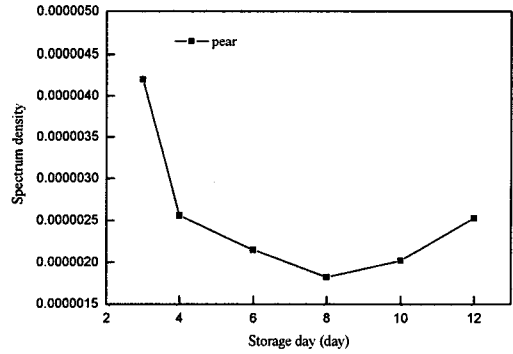


Fig. 13. Spectrum density of the peach according to the storage day.

3.3 과실의 생물체항복강도와 초음파 특성과의 상관관계

표 2~4에는 과실의 생물체항복강도와 초음파 파라미터들 간의 상관관계를 분석하여 상관 계수 값이 비교적 높게 나타난 결과들을 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 생물체항복강도와 초음파 파라미터들 사이의 상관계수는 대체적으로 비교적 높게 나타났으며, 초음파 파라미터를 이용하여 생물체항복강도와 같은 과실 경도의 예측이 가능할 것으로 분석되었다.

Table 2. Correction coefficient among bioyield strength of the apple (Fuji) and spectrum densities at various frequencies.

	Bioyield Strength (kPa)	
V (m/s)	0.3133	
Max. (V)	0.7738	
Coeff. (dB)	0.5312	
Diff (V)	0.6600	
Spectrum Density	AA11 1000 Hz	0.8941
	AA11 2000 Hz	0.9397
	AA11 3000 Hz	0.7306
	DD11 2000 Hz	0.6887
	DD11 4000 Hz	0.6137
	DD11 6000 Hz	0.5057
	DD11 8000 Hz	0.4800
	DD10 6000 Hz	0.9949
	DD10 9000 Hz	0.9301
	DD10 12000Hz	0.9894
	DD10 15000Hz	0.9433

Table 3. Correction coefficient among bioyield strength of the pear and spectrum densities at various frequencies.

	Bioyield Strength (kPa)	
V (m/s)	0.7045	
Max. (V)	0.9911	
Coeff. (dB)	0.9485	
Diff (V)	0.7283	
Spectrum Density	AA12 1000 Hz	0.9829
	AA12 2000 Hz	0.6371
	AA12 3000 Hz	0.4939
	DD12 2000 Hz	0.9942
	DD12 4000 Hz	0.9624
	DD12 6000 Hz	0.9613
	DD12 8000 Hz	0.9867
	DD11 6000 Hz	0.9905
	DD11 9000 Hz	0.9246
	DD11 12000Hz	0.9999
	DD11 15000Hz	0.9999

Table 4. Correction coefficient among bioyield strength* of the peach and spectrum densities at various frequencies.

		Bioyield Strength (kPa)
V (m/s)		0.7544
Min. (V)		0.9636
Coeff. (dB)		0.9607
Diff (V)		0.9611
Spectrum Density	AA11 100 Hz	0.9663
	DD11 1500 Hz	0.9970
	DD11 2000 Hz	0.9648
	DD11 2500 Hz	0.9978
	DD10 3000 Hz	0.9677
	DD10 4000 Hz	0.9634
	DD10 5000 Hz	0.9736

Note : V = Transmitted velocity (m/s),

Max. = Max. amplitude (V),

Min. = Min. amplitude (V),

Coeff. = Attenuation coefficient in max. amplitude (dB),

Diff = Difference between max. amplitude and min. amplitude (V)

3.4 저장기간에 따른 과실의 초음파 특성과 생물체항복강도의 상관관계

과실의 생물체 항복강도, 초음파 특성과 저장기간 간의 상관관계를 표 5에 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 사과와 배의 경우 투과속도에서 다른 파라미터보다 상관계수가 낮게 나타났으며, 배의 경우는 상대적으로 투과속도와 감쇠계수에서 상관계수가 낮게 나타났다. 한편 복숭아의 경우에는 spectrum density 값이 다른 파라미터들보다 상대적으로 낮게 나타났다.

Table 5. Correlation coefficients among ultrasonic properties and mechanical property of the fruits according to the storage days.

		Ultrasonic properties			Mechanical property
		V	AC	SD	BS
Storage day (days)	apple	0.5430	0.5062	0.9847	0.9727
	pear	0.9922	0.4080	0.9269	0.7826
	peach	0.9944	0.8283	0.3807	0.9931

* Note : V=Velocity (V), AC=Attenuation coefficient (dB), SD=Spectrum density, BS=Bioyield strength (kPa)

4. 요약 및 결론

본 연구는 초음파 기술을 이용한 과실의 경도를 측정하기 위한 기술을 개발하기 위한 기초 연구로서 저장기간에 따른 과실의 초음파 및 기계적 특성을 알아보기 위해 수행되었다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 저장기간이 늘어남에 따라 각 과실의 시간영역에 대한 초음파 파형이 점차적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 반면 주파수영역에 대한 초음파 파형의 변화는 저장기간에 따라 일정한 경향을 나타내지 않는 것으로 나타났다.

2. 과실의 생물체항복강도와 초음파 특성과의 상관관계를 분석한 결과 상관계수가 비교적 높게 나타났으며, 생물체항복강도와 같은 과실 경도를 초음파 특성을 이용하여 예측이 가능할 것으로 판단되었다. 따라서 초음파 파라미터를 이용하여 과실의 경도를 예측할 수 있는 예측 모델을 개발하기 위한 연구가 필요할 것으로 분석되었다.

5. 참고문헌

1. Abbot, 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 echnology 22(5):101-112
2. Abbott, J. A. and L. A. Liljedahl. 1994. Relationship of sonic resonant frequency to compression tests and Magness-Taylor firmness of apples during refrigerated storage. Transactions of the ASAE 37(4):1211-1215.
3. Finnelly, E., I. Ben-Gera and D. Massie, 1968, "An Objective Evaluation of Changes in Firmness of Ripening Bananas using a SonicTechnique", J. Food Science, 32(6), pp. 642-646
4. Javanoud, C. 1988, "Applications of Ultrasound to Food Systems", Ultrasonics, 26, pp. 117-123
5. Kim, K. B., M. S. Kim, H. M. Chung, and S. D. Lee. 2003a. Mechanical properties and ultrasonic parameters of the apple flesh while in storage. J. of KSAM 28(3):239-244.
6. Kim, K. B., S. D. Lee, and M. S. Kim. 2003b. Ultrasonic probe desig nand fabrication for contact measurement of fruit. Asia-Pacific Conference on Non-destructive Testing, Korea. 233.
7. 김기복, 김만수, 정현모, 이상대. 2003. 저장기간에 따른 사과 과육의 기계적 특성 및 초음파 파라미터. 한국농업기계학회지 28(3):239-244
8. 김만수, 최동수, 이영희, 조영길. 1998. 수박의 음향특성에 관한 연구. 한국농업기계학회지 23(1):57-66
9. 서륜. 2002. 초음파를 이용한 사과의 경도 측정. 충남대 석사학위논문.
10. 장경영, 김만수, 조한근, 1998, "수박에서의 초음파 전파특성에 관한 실험적 연구", 한국농업기계학회지