

충격신호 특성을 이용한 멜론의 경도측정(I)

- 멜론의 충격신호특성 -

이영희 최동수 최승렬 김만수 김기석

Firmness Measurement of Melon by Characteristics of Impact Signal (I)

- Characteristics of Impact Signal of Melon -

Y. H. Lee D. S. Choi S. R. Choi M. S. Kim G. S. Kim

Abstract

Firmness is very important factor to evaluate the freshness and ripeness among the various factors, in concerning about the melon quality. This study was carried out to develop the technique using impact signal to measure the melon firmness nondestructively. Results of analyzing impulse signals of melons having different firmness levels showed that the firmness of melon affected various impulse responses including amplitude, transmitted time, maximum peak frequency, firmness index 1 (f^2m), and firmness index 2 ($f^2m^{2/3}$). Impulse signal amplitude was the best indicator to predict the firmness of melon because of a strong correlation ($R^2 = 0.9071$). Firmness index 1, firmness index 2, maximum peak frequency, and normalized transmitted time were also possible indicators with acceptable correlation values.

Keywords : Melon, Firmness, Impact signal

1. 서론

청과물의 생산, 유통, 판매 과정에서 외부 및 내부품질을 평가하는 일은 청과물의 부가가치 향상을 위해서 매우 중요한 일이다. 청과물의 품질 평가 인자 중 외부인자로는 크기, 모양, 색, 결점 등을, 내부인자로는 향기, 맛, 질감 및 경도 등을 들 수 있다. 지금까지 청과물의 품질판정은 외부인자를 중심으로 주로 인력에 의하여 수행되어왔다. 그러나 이러한 품질 인자들은 물성과 연관되기 때문에 물성에 대한 연구가 활성화됨에 따라 물성을 기초로 하여 품질을 객관적으로 평가할 수 있는 기술들이 개발되었고 최근에는 몇몇 비파괴적 방법들이 개발되어 실용화되고 있다. 청과물의 진동특성은 청과물 내부 과육의 점탄성과 관련이 있기 때문에 구조적으로

아주 작은 변화가 생겨도 진동특성이 변한다. 이러한 진동특성을 측정함으로써 청과물의 내부품질을 판정하기 위한 가능성이 광범위하게 제시되어 왔다.

멜론도 점탄성이 있는 구형체이기 때문에 충격에 의한 진동 신호를 측정하여 시간영역 해석이나 주파수 분석 등을 행하면 과육의 경도를 파악할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 충격신호 분석을 이용한 청과물의 비파괴 품질평가와 관련하여 Abbott 등(1995)은 청과물의 속도와 밀접한 관계가 있는 경도를 비파괴적인 방법으로 측정하기 위해 복숭아 표면을 가볍게 타격해서 복숭아의 충격특성을 분석하고 시간과 주파수 영역에서 충격특성은 탄성계수, 과육 경도 그리고 표면색과 비교적 높은 상관관계가 있으므로 경도를 예측하는데 사용될 수 있다고 하였다. Miyamoto 등(1989)은 멜론에 대하여

충격에 의한 진동파의 스펙트럼을 분석하였던 결과 피크(Peak)는 하나만 생겼으며 타격위치의 반대편에서 진동파의 신호를 계측하는 것이 적당하다고 보고하였다. 가진기로 진동시키는 경우 정현파 진동보다는 임의 진동이 더 좋은 재현성이 있었다고 하였다. 본 연구는 멜론의 경도를 비파괴적으로 측정하기 위한 기술 중 충격신호를 이용하는 기술을 개발코자 멜론을 타격하였을 때 발생하는 충격신호 계측 시스템을 구성하고 분석프로그램을 개발하며, 타격조건과 멜론의 물성이 충격신호에 미치는 영향을 구명하여 충격신호특성과 멜론 경도와의 상관관계를 분석하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

타격에 의한 멜론의 응답 신호특성을 분석하기 위해 2007년 1월과 3월에 경남 진주시 진양농협에서 출하한 멜론(Super VIP) 20개씩을 시중에서 구입하여 각각 사용하였다. 또한 미숙, 적숙 및 후숙 과정의 멜론에 대한 충격신호특성을 분석하기 위하여 2007년 3월 5일, 3월 15일에 걸쳐 전남 나주시 세지면 농가에서 재배된 Harmony 품종으로, 착과 후 40일된 멜론 20개, 50일된 멜론 40개로 구분하여 총 60개를 현지 방문 구입하여 실험에 사용하였으며, 수확후 경과일에 따른 경도변화를 조사하기 위하여 온도 18℃, 습도 40% 조건에 보관하면서 시험하였다. 실험에 사용된 공시재료의 기본적인 물성은 표 1과 같다.

나. 타격 및 진동신호 계측시스템

타격장치에 의하여 멜론에 일정하게 가해진 타격력에 대한 반응 신호와 발생하는 진동신호를 계측하기 위하여 타격장치, 타격센서, 진동센서 및 A/D변환기와 데이터 수집 및 분석을 위한 컴퓨터로 측정시스템을 구성하였다. 타격력의 변화에 따른 충격신호의 응답 특성분석을 위한 진자의 타격각도 변경시험 장치는 그림 1에서 보는 바와 같으며 타격센서는 그림 2 (a)에서와 같이 아크릴 구에 직경 45 mm 플라스틱 환(環)을 접합하고 타격접점 내면에 압전필름센서를 접합 제작

하였다. 타격에 의한 진동신호가 매질을 통과할 때의 특성을 계측하기 위하여 그림 2의 (b)와 같이 멜론과 접촉하는 면 방향의 직경 35 mm 플라스틱 홀더 내부에 압전센서를 결합하여 진동신호를 수집토록 하였으며 충격 및 진동센서의 제원은 표 2에서와 같다.

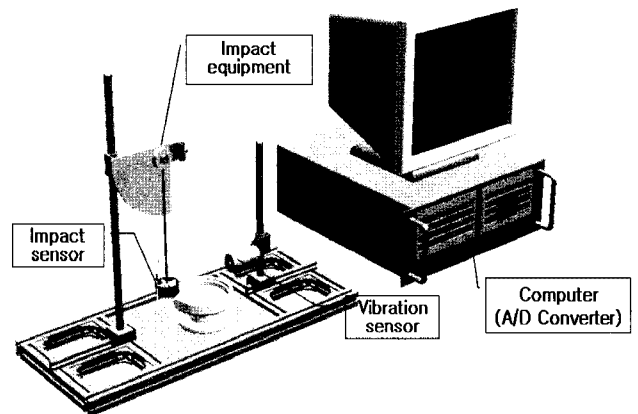


Fig. 1 Impact pendulum and its signal measuring system.

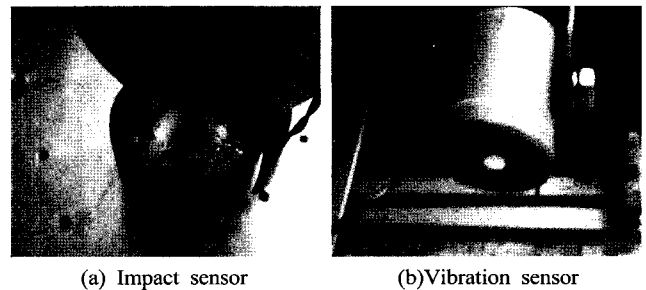


Fig. 2 Impact sensor and vibration sensor using piezo-electric film material.

충격신호 데이터를 수집하기 위하여 일정한 각도를 유지하는 높이에서 타격부(진자 길이 250 mm)를 자유낙하 시켜 공시재료를 1회에 한하여 타격토록 하고 타격센서에서 가한 충격신호와 멜론을 통과하여 전달되는 임펄스(Impulse)신호를 진동센서로 검출한 후 프리앰프(Pre-amplifier)에서 증폭시키고 A/D변환기(NI PCI-6221, National Instruments)로 데이터를 수집하였다. 샘플링 데이터는 1024점(샘플링 Rate 7.5 kHz)이었으며 계측과 동시에 컴퓨터의 하드디스크에 저장을 하였다.

Table 1 Physical properties of the melon used in the study

Cultivar		Diameter (m)	Mass (kg)	Volume ($\times 10^{-3}m^3$)	Density (kg/m^3)
Super VIP	one day after harvest	0.148(0.005)	1.625(0.260)	1.788(0.277)	909(14)
	10 days after harvest	0.147(0.006)	1.576(0.250)	1,821(0.254)	865(20)
Harmony (10 days before harvest)		0.143(0.007)	1.476(0.202)	1.659(0.238)	891(15)

Note: () Standard deviation

Table 2 Specifications of impact and vibration sensors

Item	Specifications	Remark
Impact sensor	<ul style="list-style-type: none"> • Frequency range: 0.001~10⁹ Hz • Maximum operating voltage: 30 V/μm • Film thickness: 28 μm 	Measurement Specialties, Inc. Hampton, USA
Vibration sensor	<ul style="list-style-type: none"> • Frequency range: 8~2200 Hz • Sensitivity: 40 V/mm • Spring constant: 20 N/m • Supply voltage: 5 V 	Measurement Specialties, Inc Hampton, USA.

다. 노이즈 제거 필터설계

본 연구에서 사용한 타격센서와 진동센서의 경우 아무런 힘이 가해지지 않아도 외부 환경요인에 의해 일정한 형태의 잡음신호가 발생되었다. 두 센서의 시간과형을 푸리에 변환을 통해 주파수 형태의 스펙트럼으로 살펴보면, 타격센서는 전원노이즈인 60 Hz, 진동센서는 실험 매질에 접촉해 있을 경우 실험 테이블 위에 있는 PC의 진동 및 전원에 의하여 그림 3에서와 같이 30 Hz, 60 Hz 주파수 성분의 노이즈가 발생하였다. 따라서 매질의 상태를 알기 위한 유효데이터는 1 kHz이내에 있기 때문에 위의 두 가지의 노이즈 약 60 Hz와 1 kHz이상의 노이즈를 제거하기 위해 IIR(Infinite Impulse Response) Filter를 설계하였으며, IIR Filter를 통과한 후 센서의 노이즈가 대부분 제거된 형태를 그림 4에서와 같이 확인할 수 있었다.

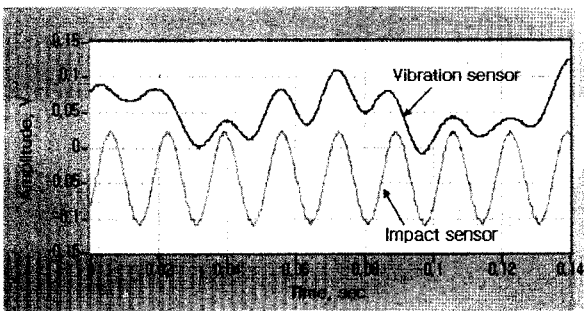


Fig. 3 Noise of the impact and vibration sensor in time domain.

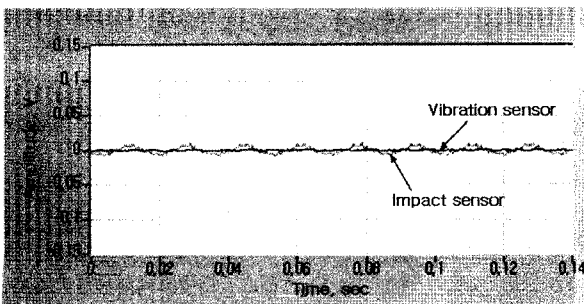


Fig. 4 The filtered sensor signal.

라. 충격신호 계측 및 분석 프로그램

공시재료에 대한 타격 및 진동신호를 분석하기 위한 계측 분석프로그램을 Labview 7.1 (National Instrument, Inc.)을 이용하여 개발하였으며, 이 프로그램은 진자가 멜론을 타격할 때 타격센서의 신호와 반대편에 전달된 진동을 감지하는 진동센서의 신호를 그림 5에서와 같이 동시에 받아들여 각각의 주파수 신호 스펙트럼을 화면에 나타내 준다. 이 신호들은 동시에 하드디스크에 저장되고, 타격센서의 진폭값, 진동신호의 전파시간을 추출하고, 진동센서 신호를 주파수 스펙트럼으로 변환한 후 최대 피크(peak)의 주파수를 추출할 수 있다.

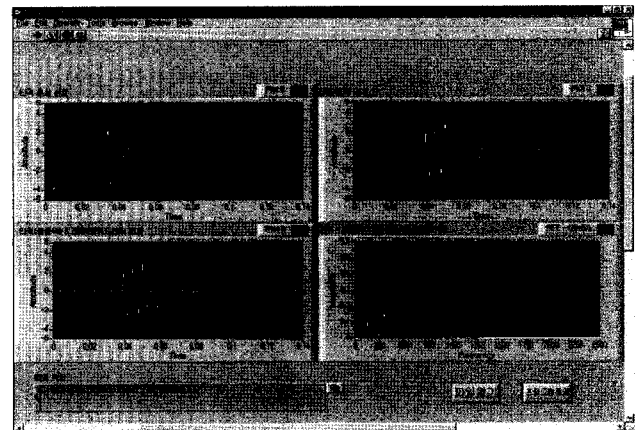


Fig. 5 The measuring and analysis program for the impact and the vibration signal of the melon.

마. 실험방법

멜론의 경도에 따른 충격신호의 특성을 구명하기 위하여 타격을 가할 때 충격력에 따른 타격센서의 반응과 멜론 고정용 받침대가 멜론의 충격신호특성에 어떤 영향을 미치는가를 구명하기 위하여 타격조건을 변화시켜 가며 실험을 하였다. 진자의 타격각도를 30°에서 90°까지 10°씩 변화를 주면서 타격력의 변화에 대한 멜론의 진동특성을 분석하였고 고정용 받침대(직경 150 mm)는 오목 반구형으로 플라스틱, 고

무, 점토 등 3종류의 재료에 대한 영향을 조사하였으며, 공시 재료에 대한 물성측정은 직경, 질량, 체적, 경도 및 당도를 측정하였다. 경도측정은 Texture Analyzer(TA-XT2i, Stable micro systems, England)를 사용하였다.

경도의 측정에 사용된 시편은 타격 및 진동신호를 측정할 부위, 적도부를 중심으로 약 상하 20 mm의 두께로 절단한 후, 껍질과 과육의 경계지점으로 멜론의 생물체 파괴점이 비교적 균일하게 측정되는 것으로 판단되는 표피로부터 중심 쪽으로 15 mm에 위치한 8개 지점에 대하여 직경 6 mm 플런저(plunger probe, P6, 6 mm dia cylinder stainless)를 이용하여 ASAE Standard (S368.2 1995)의 청과물에 대한 하중재하 속도 범위인 24 mm/min 속도로 압축시험을 실시하여 파괴점의 평균값을 경도 값으로 하였다. 당도는 경도를 측정할 시료를 즙내어 디지털 굴절당도계(DBX-55, ATAGO, Japan)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 멜론의 물리적 특성

멜론의 경도와 기본적인 물성인 질량, 밀도 및 당도와 상관 관계를 분석하기 위하여 이를 측정하였던 결과를 표와 그림으로 나타내었다. 표 3에서 보는 바와 같이 경도는 수확적기 10일 전에는 약 13 N으로 상대적으로 높은 값을 나타내었으며 수확적기를 지나 수확 후 10일에는 경도가 수확전의 약 1/6 수준인 1.8 N으로 급격히 낮아졌음을 알 수 있었다. 이러한 현상은 청과물의 일반적인 경향으로 미숙과에서는 경도가 높고 수확 후 상온에서 저장기간이 길어짐에 따라 노화가 촉진되기 때문인 것으로 알려져 있다.

Table 3 Firmness and sugar content of melons used in the study

Cultivar		Firmness (N)	Sugar content (Brix, %)
Super VIP	one day after harvest	9.925(1.838)	15(1.00)
	10 days after harvest	1.783(0.721)	13.9(0.76)
Harmony	10 days before harvest	12.828(1.992)	13(1.00)

Note: () Standard deviation

멜론의 밀도와 당도의 관계는 그림 6에서 보는 바와 같이 밀도가 높아짐에 따라 당도도 높아짐을 알 수 있다. 이는 멜론의 속도가 수확적기에 다다를 때 밀도와 당도가 동반상승

함을 알 수 있다. 이 결과는 또한, 수박의 당도를 밀도를 측정함으로써 예측할 수 있다는 Kato(1997)의 연구결과와도 유사한 결과이다.

그림 7에는 멜론의 경도와 당도의 관계를 나타내었다. 그림에서와 같이 당도가 증가함에 따라 경도는 감소하는 경향으로 나타났다. 이러한 현상은 멜론의 수확적기로부터 수확 후 저장일수가 경과함에 따라 당도가 높아지고 또한 저장일수에 따라 경도도 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 경향은 그림 8에서도 확인 할 수 있는 바와 같이 멜론의 수확적기 10일 전 후에서의 경도는 약 6~7배 차이가 있는 것으로 분석되었다.

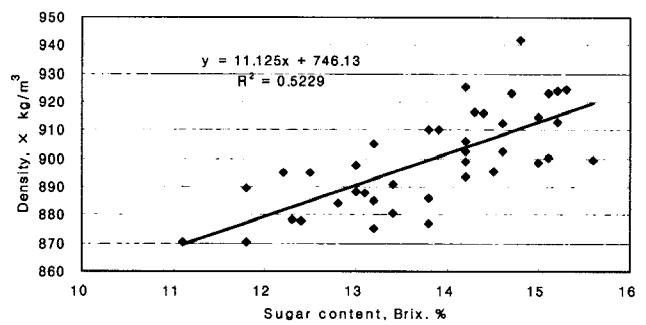


Fig. 6 Relationship between sugar content and density of the melon.

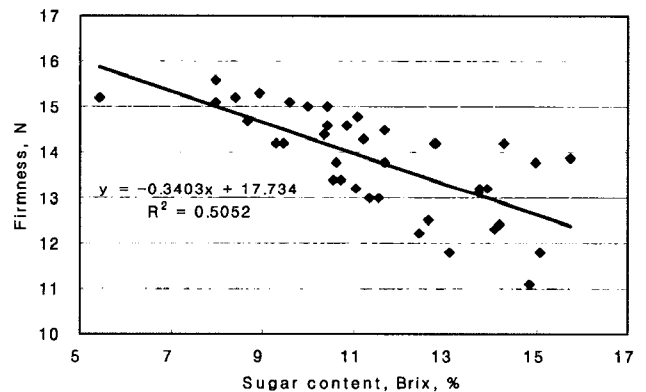


Fig. 7 Relationship between sugar content and firmness of the melon.

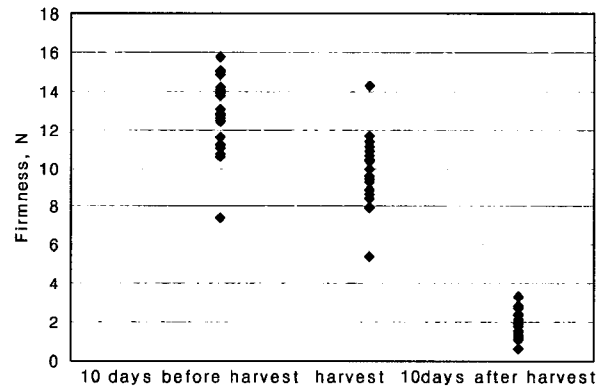


Fig. 8 Distribution of firmness according to day before harvest and day after harvest.

멜론경도와 기본물성인 질량, 밀도 및 당도간의 상관관계를 분석하였던 결과를 표 4에 나타내었다. 표에서 보는바와 같이 멜론의 경도와 당도간의 상관계수가 -0.6377, 밀도간에 -0.5400으로 이들 두 물리량에서만 상관계수가 상대적으로 높게 분석되었다. 그러나 이 정도의 상관으로는 이들 물리량으로 경도를 추정하는 것은 타당치 못한 것으로 판단되었다.

Table 4 Correlation matrix among physical properties of the melon

	FM	MS	DY	SC
FM	1.0000			
MS	0.1156	1.0000		
DY	-0.5400	0.1056	1.0000	
SC	-0.6377	0.2577	0.7231	1.0000

Note: FM = firmness (N) MS = mass (kg)
 DY = density (kg/m³) SC = sugar content (Brix, %)

나. 타격조건별 충격신호특성

1) 받침대별 충격신호특성

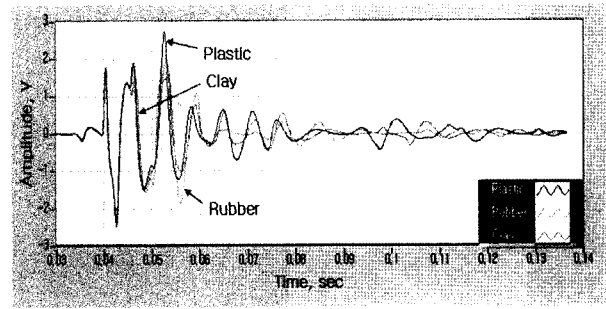
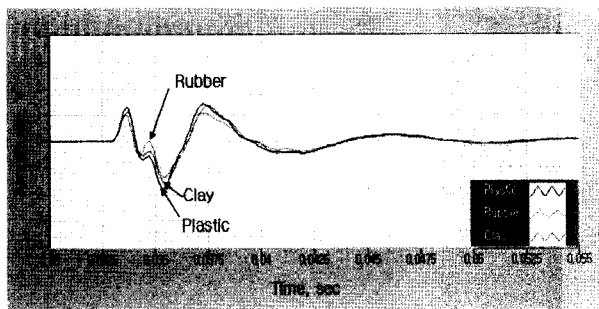
멜론에 타격을 가할 때 자세유지를 위해 설치한 받침대가 타격 및 진동신호에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 3종류의 받침대를 바꿔가며 측정한 타격 및 진동신호를 그림 9의 (a)와 (b)에 나타내었다. 그림 9의 (a)에서 보는 바와 같이 시간영역에서 받침대 간의 타격이나 진동신호의 피크주파수나 진폭의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 주파수 영역

에서 FFT의 결과 그림 9의 (b)에서와 같이 타격신호는 플라스틱과 점토 받침대에서는 유사한 피크주파수와 진폭 값을 보이고 있으나, 고무받침대에서는 다르게 나타났으며, 진동신호는 3종류의 받침대 모두 피크주파수는 유사한 주파수대역에서 존재하나, 진폭 값은 플라스틱, 점토, 고무 순으로 약간씩 낮게 나타났는데 이러한 현상은 재질의 감쇠계수에 기인한 것으로 판단되었다.

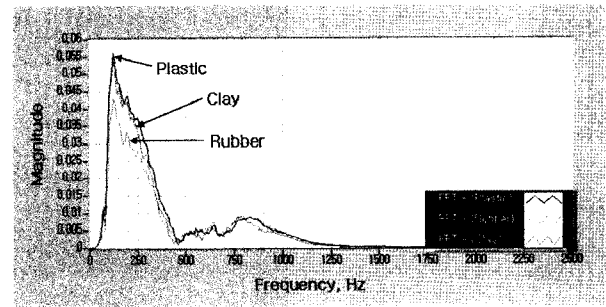
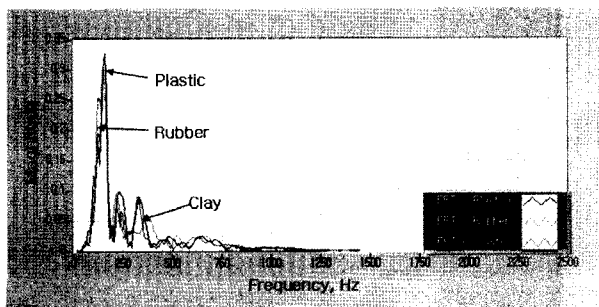
받침대별 진동특성 분석결과는 Chen(1992), Choi 등(2002)이 수박의 음파특성 연구에서 보고하였던 결과와도 일치하는 결과였으며, 따라서 멜론의 받침대의 재질에 따른 충격신호에 미치는 영향은 매우 작으므로 받침대의 재질은 어느 것으로 하든지 간에 충격 시 멜론이 움직이지 않을 정도면 충분할 것으로 생각되었다.

2) 타격력에 따른 충격신호 특성

타격 환(環)의 낙하각을 7수준(30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°, 90°)으로 하여 타격력을 변화시키면서 멜론을 타격하여 타격센서 및 진동센서에서 측정한 타격 및 진동신호의 시간영역 파형 및 주파수영역에서의 스펙트럼을 그림 10과 11에 각각 나타내었다. 진자의 타격각도 즉 타격력이 커질수록 타격센서와 진동센서의 시간 및 주파수 파형의 진폭이 비례해서 증가하였으나, 공진주파수는 거의 동일하게 나타났다. 따라서 이후의 실험에서는 낙하각 40°에서 모든 실험을 수행하였다. 이것은 신호가 어느 정도 크게 나오면서 타격력이 가능



(a) Time domain signals of sensors (Left: Impact signal, Right: Vibration signal)



(b) Frequency domain signals of sensors (Left: Impact signal, Right: Vibration signal)

Fig. 9 The signals and their spectrums in a melon according to various holders.

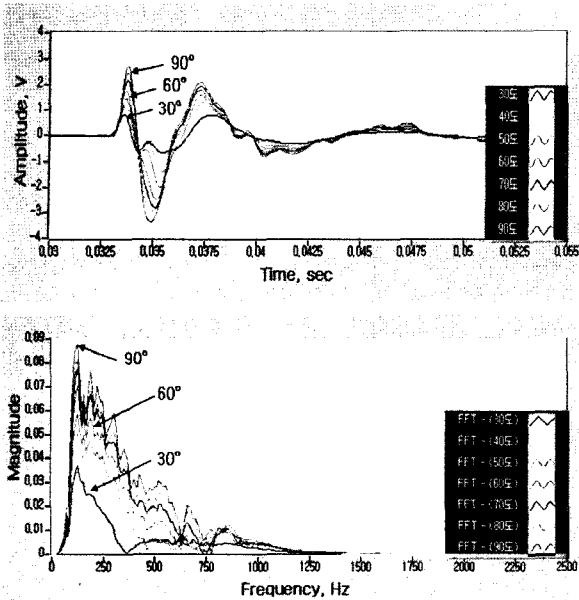


Fig. 10 The time and frequency domain signals of the impact sensor according to the different impact forces.

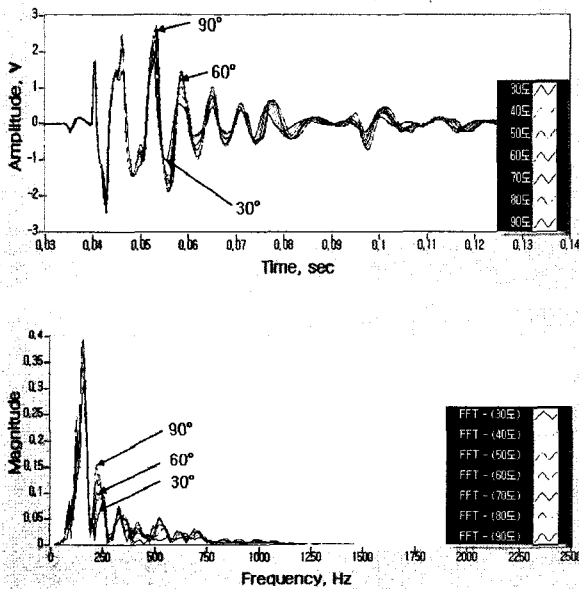


Fig. 11 The time and frequency domain signals of vibration sensor according to the different impact forces.

한 한 작은 것이 과실에 손상을 적게 줄 것이므로 낙하각 40°를 택하였다.

다. 멜론의 물성에 따른 충격신호 특성

1) 질량에 따른 충격신호 특성

일반 강체에서의 진동과 마찬가지로 농산물의 진동에서도 질량이 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 멜론을 타격하여 발생된 힘이 반대편의 진동센서에 전달될 때 멜론의 질량에 따른 진동특성을 살펴보기 위해 질량 1.2~2.5 kg 범위의 멜론

40개에 대하여 충격신호 특성을 분석하였다. 멜론의 질량에 따른 타격센서의 반응을 그림 12에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 멜론의 질량에 따라 타격센서의 진폭값이 일률적인 경향으로 나타나지 않았다. 이와 같은 현상은 타격센서의 멜론에 대한 반발력은 질량보다는 경도에 영향을 받기 때문인 것으로 판단되었다.

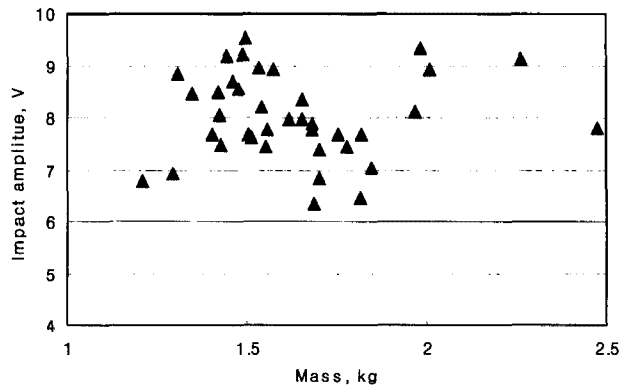


Fig. 12 Relationship between impact signal amplitude and mass of the melon.

2) 경도에 따른 충격신호 특성

멜론의 경도에 따른 타격센서의 반응과 멜론을 투과하여 전달된 신호에 의한 진동특성을 살펴보기 위하여 적기수확 10일 전의 미숙과 20개, 적숙과 20개, 수확후 10일된 후숙과 20개를 사용하였다. 충격특성들인 충격신호의 전달시간, 타격에 의하여 발생하는 신호의 진폭, 최고 피크주파수, 경도지수 (firmness index, f^2m , $f^2m^{2/3}$) 등은 청과물 경도와 매우 높은 상관관계가 있다고 많은 연구자들에 의하여 보고되어 있다(Abbott 등, 1995; Sugiyama 등, 1998).

본 연구에서도 이러한 충격특성들과 멜론의 경도와의 관계를 분석하였다. 진동센서에 의하여 측정된 충격신호의 전달시간과 경도와의 관계를 그림 13에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 멜론의 경도가 증가함에 따라 충격신호의 전달시간은 감소하는 것으로 분석되었으며 이들 간의 회귀식에 대한 결정계수도 0.6718로 나타났다. 이와 같이 멜론의 경도와 충격신호의 전달시간이 반비례하는 것은 충격파는 매질의 경도가 높은 경우에 더 잘 전달되기 때문인 것으로 판단되었다.

멜론을 타격하였을 때 발생하는 충격신호의 진폭과 경도와의 관계를 그림 14에 도시하였다. 멜론의 경도가 증가할수록 타격환에서 발생하는 진폭도 크게 나타났으며 이들 간의 회귀식에 대한 결정계수도 0.8227로 매우 높게 나타났다. 따라서 타격에 의하여 발생하는 진폭값은 멜론의 경도추정에 중요한 인자중의 하나임을 알 수 있었다.

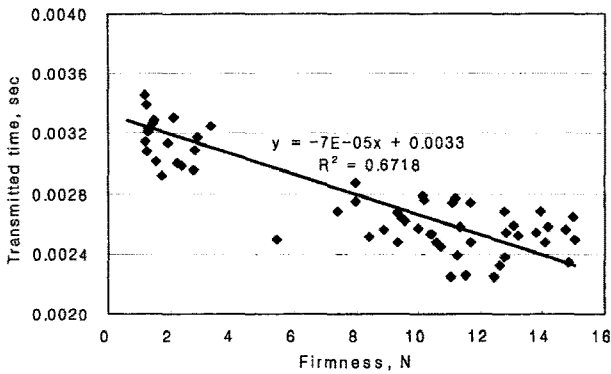


Fig. 13 Relationship between transmitted time and firmness of the melon.

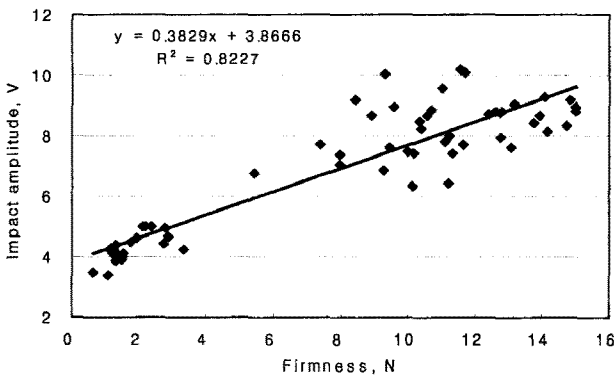


Fig. 14 Relationship between impact signal amplitude and firmness of the melon.

타격환에 의하여 발생하는 충격신호를 FFT하여 얻을 수 있는 최고 피크주파수와 멜론경도와와의 관계는 그림 15에 나타내었다. 이들 두 물리량 간에는 서로 정비례하는 관계를 보였으나 회귀식의 결정계수는 약간 낮은 0.5844로 나타났다.

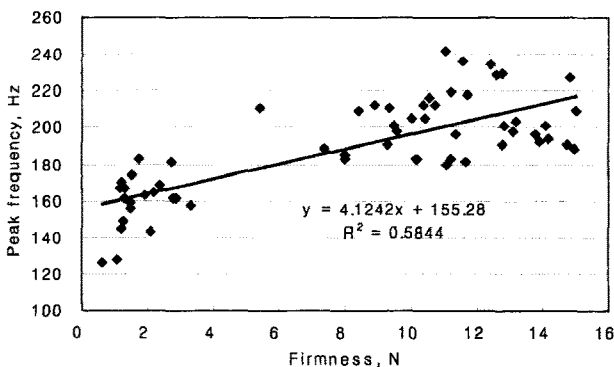


Fig. 15 Relationship between impact signal peak frequency and firmness of the melon.

경도지수 1, 2(firmness index 1, 2 f^2m , $f^2m^{2/3}$)와 멜론경도와의 관계를 그림 16 및 17에 각각 나타내었다. 여기서 주파수는 타격센서에서 계측된 신호를 FFT하였을 때의 최고

피크주파수를 적용하였다. 그림들에서 보는바와 같이 경도지수 1, 2와 멜론의 경도간에는 정비례관계가 있었으며, 회귀식에 대한 결정계수들도 각각 0.8233 및 0.7804로 비교적 높게 나타났다. 따라서 경도지수들도 멜론의 경도추정에 좋은 인자가 될 수 있을 것으로 판단되었다. 도시된 그래프들에서 경도 값 4에서 8까지의 범위내 빈도가 적은 것은 측정기간을 10일 간격으로 한 결과에 의한 것으로 사료된다

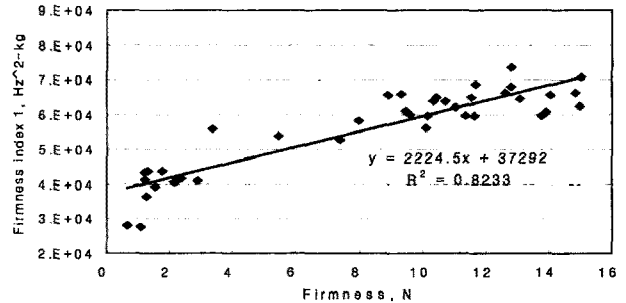


Fig. 16 Relationship between firmness index 1 (f^2m) and firmness of the melon.

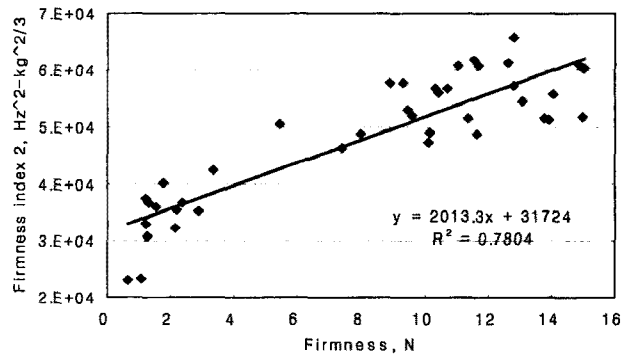


Fig. 17 Relationship between firmness index 2 ($f^2m^{2/3}$) and firmness of the melon.

라. 멜론의 경도와 관련된 요인분석

앞에서는 멜론의 경도와 관계가 높은 것으로 판단되었던 요인들과 경도 각각에 대하여 단순 상관관계를 비교분석하였으나 여기서는 멜론의 경도와 이들 요인들간의 관계를 종합적으로 분석하였다. 분석에 적용하였던 요인들은 멜론의 질량, 충격신호의 전달시간, 타격센서에 의한 충격신호의 진폭, 충격신호의 최고 피크주파수, 충격신호의 전달시간을 질량으로 나누어 정규화 시킨 전달시간, 경도지수 1, 2등이었으며 분석은 회귀분석용 패키지인 Datafit(Oakdale Engineering Co., ver.8.2)를 이용하였다.

여기에서 고려하였던 요인들 중 충격신호의 전달시간은 전달속도를 적용하는 것이 합리적일것으나 경도측정시스템의 단순화를 위하여 기본적으로 구성되는 질량측정센서를 이용

Table 5 Correlation matrix among the experimental variables of the melon

	FM	m	T	TM	IR	Pf	f^2m	$f^2m^{2/3}$
FM	1.0000							
m	-0.0846	1.0000						
T	-0.8197	0.4079	1.0000					
TM	-0.6864	-0.5651	0.5025	1.0000				
IR	0.9071	-0.2463	-0.8870	-0.5874	1.0000			
Pf	0.7645	-0.5576	-0.9514	-0.3197	0.8723	1.0000		
f^2m	0.8899	-0.0034	-0.8730	-0.7718	0.8975	0.8246	1.0000	
$f^2m^{2/3}$	0.8794	-0.2435	-0.9407	-0.6094	0.9312	0.9375	0.9691	1.0000

Note: FM = Firmness(N), m = Mass(kg), T = Transmitted time(sec),
 TM = Transmitted time(sec)/mass(kg), Pf = Impact signal peak frequency(Hz),
 IR = Impact signal amplitude(V), $f^2m = Pf^2 \times m$, $f^2m^{2/3} = Pf^2 \times m^{2/3}$

하여 전달시간을 질량으로 나누어 정규화시킴으로써 전달속도의 효과를 나타내도록 하였다. 이것은 멜론과 같은 청과물은 질량과 직경 간에 매우 높은 상관관계가 있으므로 직경대신 질량으로 전달시간을 나누어 준 것도 개념은 속도가 아니지만, 효과는 속도와 유사할 것으로 생각되기 때문이다.

표 5에서 보는 바와 같이 멜론의 경도와 이들 요인들 간에는 타격센서에 의한 충격신호의 진폭에서 상관계수가 0.9071로 가장 높게 분석되었으며 그 다음이 경도지수 1(f^2m)이 0.8899, 경도지수 2($f^2m^{2/3}$)는 0.8794, 전달시간은 -0.8197, 최고 피크주파수는 0.7645, 정규화된 전달시간은 -0.6864순이었고 질량에서는 -0.0846으로 거의 상관관계가 없는 것으로 분석되었다. 이상에서 살펴본 바와 같이 멜론의 경도추정은 경도와 상관관계가 비교적 높았던 충격신호의 진폭, 경도지수, 전달시간, 최고 피크주파수 등 4개 또는 5개의 요인으로 하는 것이 타당할 것으로 판단되었다.

4. 요약 및 결론

멜론을 타격하였을 때 발생하는 충격신호 특성을 구명하기 위하여 타격조건에 따른 멜론의 타격 및 진동특성을 분석하고, 공시재료의 물성변화에 따른 충격신호 특성을 구명하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 멜론의 속도가 수확적기에 다다를수록 밀도 및 당도는 높게 나타났으며, 경도는 수확적기보다 수확 전이 높았으며, 수확 후에는 낮아지는 것으로 나타났다.
- (2) 멜론에 타격을 가할 때 자세유지를 위해 설치한 받침대의 재질은 플라스틱, 고무, 점토 등 3종류이었으며 이들 받침대 간에는 타격이나 진동신호의 피크주파수나 진폭의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

- (3) 타격력에 따른 타격 및 진동신호의 특성을 분석한 결과, 진자의 타격각도 즉 타격력이 커질수록 타격센서와 진동센서의 시간 및 주파수 파형의 진폭이 비례해서 증가하였으나, 공진주파수는 거의 동일하게 나타났으므로 신호의 크기와 타격력에 따른 손상을 고려하여 타격각의 낙하각은 40°로 정하였다.
- (4) 멜론의 경도변화에 따른 충격신호를 분석하였던 결과 타격에 의한 충격신호의 진폭, 충격신호의 전달시간, 충격신호의 최고 피크주파수, 경도지수 1(f^2m), 경도지수 2($f^2m^{2/3}$)등이 경도에 큰 영향을 미치는 요인들로 분석되었다.
- (5) 멜론의 경도를 추정할 수 있는 모델을 개발하기 위하여 충격신호분석을 통하여 얻은 5가지의 요인과 멜론의 질량, 전달시간을 질량으로 나누어준 정규화된 전달시간 등 총 7가지 요인들과 경도와의 상관계수를 분석하였던 결과 충격신호의 진폭에서 0.9071로 가장 높았으며, 그 다음은 경도지수 1, 경도지수 2, 전달시간, 최고 피크주파수, 정규화된 전달시간 순이었으며 멜론의 질량에서는 -0.0846으로 경도와 거의 상관관계가 없는 것으로 분석되었다.

참고 문헌

1. Abbott, J. A., D. R. Massie, B. L. Upchurch and W. R. Hrushka. 1995. Nondestructive sonic firmness measurement of apples. Trans. of the ASAE 38(5):1461-1466.
2. Chen, H. and J. De Baerdemaeker. 1995. Total least square technique for estimating the vibration parameters of the apple from the time domain impulse response signal. J. Agric. Engng Res. 61:283-290.
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. J. of the Korean Society for Agricultural Machinery 27(1):67-76.
4. Debaerdemaeker, J., L. Lemaitre and R. Meire. 1982. Quality Detection by frequency spectrum analysis of the fruits impact force. Trans of the ASAE 25(1):175-178.
5. Koro, K. 1997. Electrical density sorting and estimation of soluble solids content of watermelon. Journal of Agricultural Engineering Research 67(2):161-170.
6. Miyamoto, S., T. Shiga and Ishibashi. 1989. Studies on vibrational transfer characteristics for melons. J. of the Japanese Society of Agricultural Structures 19(3):21-28.
7. Sugiyama, J., K. Otobe, S. Hayashi, S. Usui. 1994. Firmness measurement of muskmelons by acoustic impulse transmission. Trans. of the ASAE 37(4):1235-1241.
8. 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.