

시료의 크기에 따른 사과 기계적 특성

Mechanical properties of the apple according to the size of specimen

김만수* 정현모* 최동수** 이영희**
정회원 정회원 정회원 정회원
M. S. Kim H. M. Jung D. S. Choi Y. H. Lee

1. 서론

청과물은 수확 후에도 호흡 및 증산작용을 하는 생명체이므로 저장 과정 중이나 운송 과정 중의 변화가 발생한다. 또한 저장 및 운송 과정 중의 기계적 외력을 받게 되면 청과물에는 변형이 생겨 손상이 발생하게 되므로 청과물의 품질 저하의 한 요인이 된다.

청과물은 수확된 후부터 소비될 때까지 여러 단계를 거치는 동안 크고 작은 외력을 받게 되므로 청과물의 품질 유지를 위해서는 청과물의 탄성특성에 관한 특성이 철저히 구명되어야 한다. 하지만 청과물의 외력에 대한 거동 현상은 일반 공업 재료와는 달리 간단하게 특성지어질수 없기 때문에 완전한 이론 분석은 불가능하고 대체로 실험에 의해 분석하는 방법이 많이 이용되고 있다.

청과물의 탄성특성을 비롯하여 여러 가지 기계적 특성들이 구명되면 과실의 수확, 선별, 포장 및 가공 기계와 시설을 해당 과실의 특성에 적합하게 설계, 개발 또는 개량에 대한 응용 및 적정 작동 조건 설정을 할 수 있게 되어 기계적 요인에 의한 과실의 손상 및 손실 감소가 가능하다. 또한 이들 자료를 응용하여 청과물 상자의 허용충격 높이 및 충격기간과 포장재의 적정 두께를 예측할 수가 있다.

이와 같이 농산물의 기계적 특성은 매우 중요한 기초자료이나 이들에 관한 자료는 빈약할 뿐만 아니라 몇몇 문헌에서 보고된 같은 농산물에 대한 이들의 값이 매우 다르다. 이것은 이들의 측정시에 UTM에서의 하중재하속도 및 시료의 크기가 서로 다르기 때문인 것으로 생각된다.

따라서, 본 논문에서는 우리나라의 대표적 과실인 사과에 대한 기계적 특성을 위한 시스템을 구성하고 시스템 및 계측용 컴퓨터 프로그램을 개발하였으며, 시료의 크기가 기계적 특성에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험재료

실험재료는 사과중 국내에서 주로 재배되고 있는 후기품종을 선택하였으며, 시료 채취용

* 충남대학교 농과대학 농업기계공학과

** 농업기계화연구소

사과는 97년 10월중순에 수확된 후 저온저장고 CA(Controlled Atmosphere) 저장에 의해 호흡 및 증산작용을 최대로 억제된 사과의 시료를 채취하여 실험하였다. 또한 시료의 위치는 충격 및 기계적 외력을 가장 쉽게 받을 수 있는 그림 1에 나타난 사과의 측면 부분이었다.

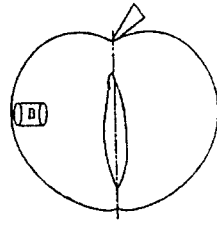


Fig. 1. Sampling position of apple.

나. 실험장치

사과의 기계적 특성을 측정하기 위하여 구성된 시스템(PPAPL-1000)은 그림 2에서 보는 바와 같다. 본 시스템은 AC서보모터(Servo motor)와 AC서보모터 드라이버(Servo motor driver), LM가이드(Guide), 볼스큐류(Ball screw), 또한 하중을 계측하기 위한 로드셀(Load cell)과 로드셀(Load cell)에서 들어오는 아날로그 신호를 디지털신호로 바꾸어 주는 A/D컨버터와 미세한 계측 값을 증폭시켜 주는 증폭기(Amplifier)가 함께 내장되어 있는 8채널 스트레인 게이지 계측보드와 서보모터 드라이버 보드(Servo motor driver board)가 장착되어 있는 계측 시스템이다.

본 계측 시스템은 서보모터의 구동에 의해 볼스큐류가 회전하면 압축판이 밑으로 하강하면서 시편을 압축하게 되고 시편 밑의 로드셀에 의해서 압축 하중에 관한 데이터를 얻을 수 있도록 구성되었다.

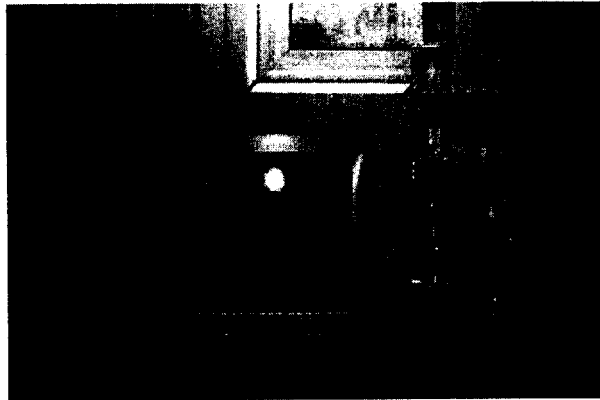


Fig. 2. The experimental equipment for obtaining force-deformation curves.

본 자료수집 컴퓨터 프로그램은 초당 힘(Force), 변위(Deformation), 시간(Time)에 대한 데이터를 각각 10개씩, 총30개의 데이터를 저장하도록 작성하였으며, 로드셀의 교체에 대비하여 측도설정(Calibration)을 할 수 있도록 각각 로드셀에 해당하는 측도설정 데이터를 저장후 불러들여 측도설정이 이루어지도록 하였다. 그런 후에 저장된 데이터를 이용하여 그래프 출력 후 여러 가지 물리량들을 구하도록 작성하였다. 이와 같이 저장된 데이터를 그래

프로 출력한 후에 생물체항복점(Bioyield Point), 생물체 항복강도(Bioyield Strength), 생물체 항복변형량(Bioyield Deformation)과 파괴점(Rupture Point), 극한강도(Rupture Strength) 극한변형량(Rupture Deformation)과 탄성계수(Elastic modulus)를 그래프 상의 마우스 클릭만으로 구할 수 있도록 프로그램 하였다. 그림 3은 자료수집 컴퓨터 프로그램의 메인 화면이다. 또한 그림 4는 로드셀의 측도설정 데이터를 저장한 후 불러들여 각각에 해당하는 측도설정을 하는 화면이며, 그림 5는 자료수집 프로그램의 변수를 입력하는 화면으로, 원형시편의 크기, 직경, 하중재하속도 및 계측시간 등을 입력하게 된다.

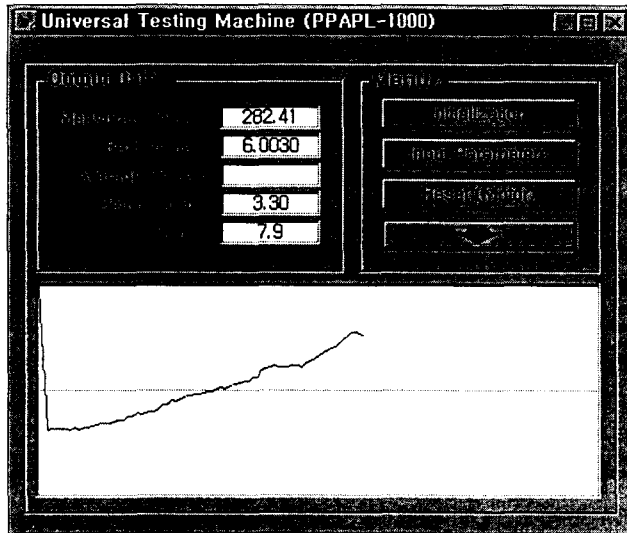


Fig. 3. Main window of PPAPL-1000 program.

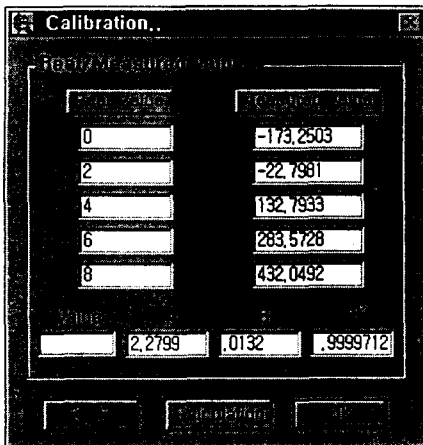


Fig. 4. Calibration window of PPAPL-1000.

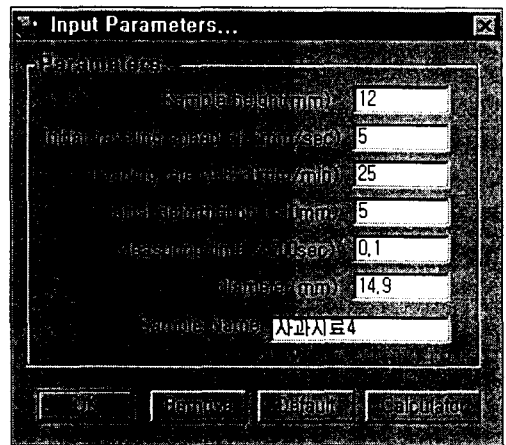


Fig. 5. Input window of PPAPL-1000.

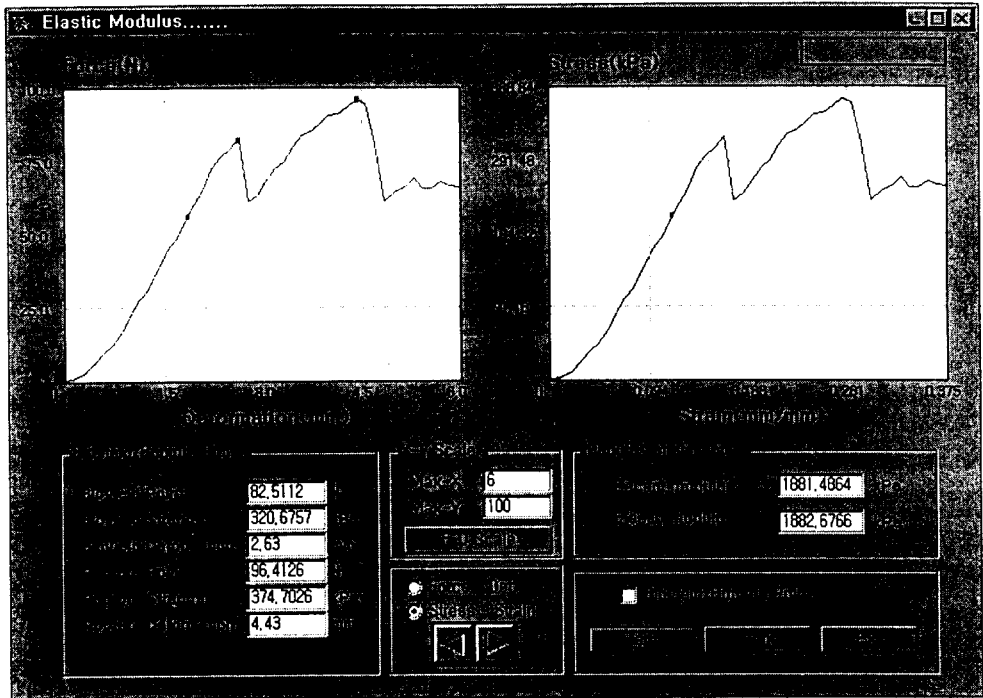


Fig. 6. Output(graph) window of PPAPL-1000.

그림 6은 저장된 데이터를 불러들여 힘-변형곡선과 응력-변형률 곡선을 나타낸 것이다. 먼저 불러들인 데이터로 힘-변형곡선을 그리고 원점을 조정된 후 생물체항복점 및 극한점을 마우스로 곡선 상에 표시하면 생물체항복점, 생물체항복변형량, 생물체항복강도, 극한점, 극한변형량 및 극한강도를 계산하여 표시하도록 프로그램 하였다.

또한 힘-변형곡선의 크기도 X-Y좌표를 필요한 범위로 입력시킴으로써 그 크기를 자동 조절 될 수 있도록 하였다. 힘-변형곡선상에서 생물체항복점보다 약간 낮은 위치를 선택하면 그 곡선상에 점이 표시되고, 우측에 있는 응력-변형률 곡선상에도 이에 상응하는 점이 표시되도록 하였으며 이점을 마우스로 클릭하면 탄성계수와 Secant modulus가 계산되도록 하였다.

또한 힘-변형곡선의 크기가 변하면 자동적으로 응력-변형률 곡선도 크기가 변하도록 하였으며 전체화면을 프린트 할 수 있도록 프로그램 하였다.

다. 실험방법

과실의 하중재하속도(Loading rate)는 ASAE(S368.1) 표준규격인 25mm/min으로 하였다.

힘-변형 곡선에서 최초에 나타나는 피크점을 극한점으로, 극한점 바로 아래에서 나타나는 변곡점을 생물체항복점으로 간주 하였다. 생물체항복 변형량 및 극한 변형량은 생물체항복점 및 극한점에 대응하는 변형량이었으며 생물체항복강도는 생물체항복점을 시료의 단면적으로 나눈값이고 극한강도는 극한점을 시료의 단면적으로 나눈값으로 나타내었다.

일반적으로 탄성계수는 응력(Stress)-변형률(Strain) 곡선의 기울기로 정의되나 일반 공업

재료와는 달리 그림 7에서 보는 바와 같이 곡선의 형태로 나타나기 때문에 세가지의 탄성계수를 정의하고 있다.

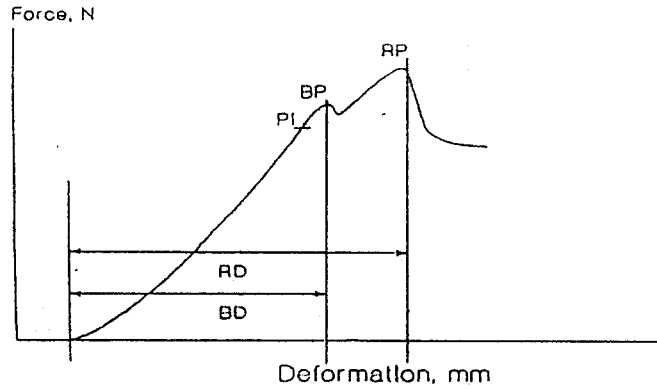
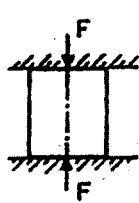


Fig. 7. Force-deformation curves for biomaterials.

농산물의 응력-변형을 곡선상에서 원점에서의 접선의 기울기로 정의되는 Initial tangent modulus, 원점과 곡선상의 임의의 점을 지나는 직선의 기울기로 정의되는 Secant modulus, 곡선상의 임의의 점에서의 접선의 기울기로 정의되는 Tangent modulus 등이 있다.

따라서 본 연구에서는 응력-변형을 곡선상에서 생물체항복점 보다 약간 낮은 점을 기준으로 하여 Secant modulus를 구하였으며, 또 다른 하나는 이점에서 그림 8에서와 같이 정의되는 탄성계수를 각각 측정하였다. 여기서 탄성계수는 3반복으로 측정하였다.



$$E = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L}}$$

E = Elastic modulus(Pa) ΔL = Deformed length(m)

F = Applied force(N) L = Original length(m)

A = Cross sectional area(m²)

Fig. 8. Definition of elastic modulus for biomaterials.

3. 결과 및 고찰

가. 생물체항복강도 및 극한강도

표 1에는 시료의 크기에 따른 생물체항복강도 및 극한강도를 측정한 결과이다. 표 1에서 보는 바와 같이 같은 길이의 시편에서 직경이 증가함에 따라 생물체항복강도 및 극한강도 모두 증가하는 것으로 나타났다. 또한 같은 직경에서 시편의 길이 따라서는 대체로 이들 물리량들이 증가하다가 감소하는 것으로 나타났다.

Table 1. Bioyield strength(kPa) and Rupture strength(kPa) of the apple according to the size of specimen

D(mm) L(mm)	11.7		14.9		18.1		21.2	
	B.S	R.S	B.S	R.S	B.S	R.S	B.S	R.S
12	151.1558	172.9932	250.0383	309.5453	320.1785	364.5482	644.7495	727.4587
16	154.4314	176.8830	222.3321	248.4005	376.6953	419.0053	682.4190	759.0075
20	112.4626	150.9511	212.3485	254.3840	315.2405	376.5080	653.1278	735.6924

* B.S : Bioyield Strength(kPa) * R.S : Rupture Strength(kPa)

나. 생물체항복변형량 및 극한변형량

표 2에는 시료의 크기에 따른 생물체항복 변형량 및 극한 변형량을 측정된 결과이다. 이들은 생물체항복강도 및 극한강도의 변화에서와는 약간 달리 시편의 직경 및 직경 및 길이에 따라 모두 증가하는 것으로 나타났다.

Table 2. Bioyield deformation(mm) and Rupture deformation(mm) of the apple according to the size of specimen

D(mm) L(mm)	11.7		14.9		18.1		21.2	
	B.D	R.D	B.D	R.D	B.D	R.D	B.D	R.D
12	1.457	2.817	1.593	2.210	2.087	2.860	2.757	3.617
16	1.490	2.113	2.130	3.337	2.643	4.277	3.493	3.890
20	1.793	2.245	3.570	3.570	2.709	3.902	3.572	4.314

* B.D : Bioyield Deformation(mm) * R.D : Rupture Deformation(mm)

다. 시료의 크기에 따른 탄성계수의 변화

그림 8에 의하여 측정된 탄성계수의 값과 Secant modulus는 이론적으로 같은 값이다. 표 3에는 직경과 길이에 따른 탄성계수의 값을 표시하였다. 또한 그림 9에는 시편의 직경에 따른 탄성계수의 값을 표시하였으며, 그림 10에는 시편의 길이에 따른 탄성계수의 값을 표시하였다.

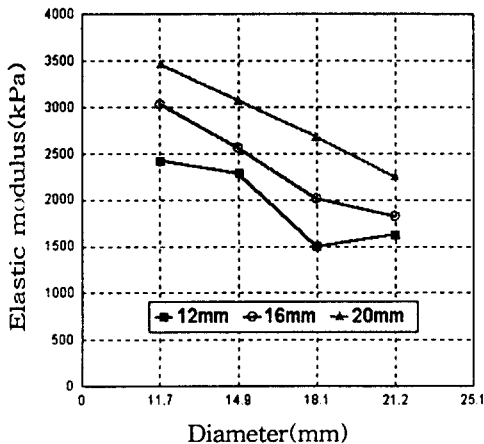


Fig. 9. Elastic modulus of the apple according to the Diameter(mm).

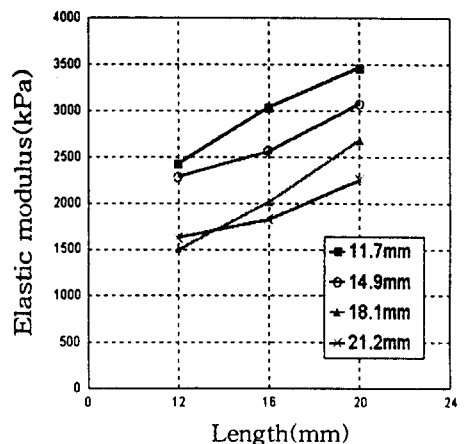


Fig. 10. Elastic modulus of the apple according to the Length(mm).

대체로 사과와 탄성계수 값은 Mohsenin(1980)이 사과와 탄성계수 값으로 보고하였던 값보다는 약간 작은 값으로 측정되었다. 이러한 차이는 시료의 차이에서 기인된 것으로 생각된다.

Table 3. Elastic modulus(kPa) of the apple according to the size of specimen

Dia.(mm) Len.(mm)	11.7	14.9	18.1	21.2
12	2424.1261	2281.3859	1497.6729	1621.5980
16	3032.5669	2558.9458	2003.9084	1820.3809
20	3461.1382	3067.1575	2672.0580	2251.6833

표 3 및 그림 9에서 보는 바와 같이 대체로 같은 길이의 시편에서 직경이 증가함에 따라 사과와 탄성계수는 감소하는 경향이었으나, 시편의 길이가 12mm로 짧았던 경우에는 시편의 직경이 증가함에 따라 탄성계수는 감소하다가 직경이 가장 큰 21.2mm에서는 약간 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 현상의 원인을 정확히 파악하기 위해서는 직경의 변화 수준을 4수준 이상으로 하여 정밀실험을 할 필요가 있다고 판단되었다.

그림 10에서 보는 바와 같이 시편의 직경이 같은 경우 시편의 길이가 증가함에 따라 사과와 탄성계수는 증가하는 것으로 나타났다.

Table 4. Analysis of variance of elastic modulus for apple according to the size of specimen

Factors	DF	SS	MS	F-value
Diameter	3	6771071.00	2257023.75	32.29**
Length	2	4958642.00	2479321.00	35.47**
Interaction	6	327804.00	54634.00	0.78
Residual	24	1677763.00	69906.79	-
Total	35	13735280.00	-	-

표 4는 사과시료의 직경과 길이가 탄성계수에 미치는 영향을 분석하기 위하여 분산분석을 하였던 결과이다. 표 4에서 보는 바와 같이 시료의 직경이나 길이가 탄성계수에 미치는 영향은 1%수준에서 고도의 유의성을 나타내고 있다. 따라서 어떤 농산물의 탄성계수 측정치를 나타낼 때는 UTM의 하중재하속도 뿐만 아니라 시료의 크기(직경, 길이)도 같이 표시해 주어야 할 것으로 판단되었다.

4. 요약 및 결론

청과물의 기계적 특성을 측정하기 위하여 컴퓨터로 구동되는 작은 용량의 UTM장치를 구성하였으며, UTM의 구동 및 여러 가지 기계적 특성들을 측정하고 그래프로 나타낼 수 있는 컴퓨터 프로그램을 개발하였다.

또한 청과물에 대한 기계적 특성들에 대한 자료가 매우 다르게 보고되고 있는 바 이것은

시료의 크기에 따라 많은 차이가 있을 것으로 판단되어 후지사과를 공시하여 시료의 크기에 따라 사과와 기계적 특성을 측정 분석하였다.

대체로 청과물의 기계적 특성은 시료의 크기에 따라 이들 값이 매우 다르므로 이들을 측정할 때는 시료의 크기도 하중재하속도와 함께 매우 중요하게 취급하여야 할 인자임을 알 수 있다.

5. 참고문헌

1. Cen, P. and S. Chen. 1986. Stress relaxation functions of apples under high loading rates. Trans. of the ASAE 29(6) : 1754-1759.
2. Hamann, D. D. 1969. Dynamic mechanical properties of apple fruit flesh. Trans. of the ASAE 12(1) : 170-174.
3. Miles, J. A., R. B. Fridley, and C. Lorenzen. 1969. Strength characteristics of tomatoes subjected to quasi-static loading. Trans. of the ASAE 12(4) : 627-630.
4. Mohsenin, N. N. 1980. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach science publishers, N. Y.
5. Sitkei, Gy. 1986. Mechanics of agricultural materials. Elsevier Science Publishers. 114-283.
6. 金滿秀, 金聲來, 朴鍾民, 明炳洙. 1990. 벼의 生物體 降伏強度 및 極限強度. 韓國農業機械學會誌 15(2) : 99-109.
7. 金滿秀, 朴鍾民, 崔東洙. 1992. 果實의 힘-變形 特性. 韓國農業機械學會誌 17(2) : 156-170.
8. 金滿秀, 金聲來, 朴鍾民. 1990. 벼의 리올러지 特性(I)-穀粒의 應力弛緩-. 韓國農業機械學會誌 15(3) : 207-218.
9. 金滿秀, 金聲來, 朴鍾民. 1990. 벼의 리올러지 特性(II)-穀粒의 壓縮 크리이프 特性-. 韓國農業機械學會誌 15(3) : 219-229.
10. 朴鍾民. 1993. 果實의 粘彈性 特性과 그 應用. 忠南大學校 博士學位論文.