

## 사과 및 배의 기계적 특성

### Mechanical Properties of Apple and Pear

김 만 수\* 정 현 모\* 박 종 민\*\* 이 영 희\*\*\*

M. S. Kim H. M. Jung J. M. Park Y. H. Lee

#### ABSTRACT

The damage caused in the processes and distributions after harvesting the fruits and vegetables is attributed to the mechanical factors such as compressive and impact forces. Compression tests of biological materials provide an objective method for determining the apparent modulus of elasticity and mechanical properties which are significant in quality evaluation and control, and the maximum allowable compressive forces for minimizing mechanical damage.

This study was performed to determine the mechanical properties of apple and pear, and to investigate effect of specimen shapes on the mechanical properties of them. A computer program was developed for measuring the mechanical properties and analyzing the data obtained from the measurement. Compression tests on the sample were performed with ten replications at each treatment and at 25 mm/min loading rate.

Mechanical properties of the apple was generally shown the higher value than those of the pear, and it was thought that data obtained from the cylindrical specimen removed from the sample was more reliable than from the specimen cut in half.

**주요용어(Key Words):** 압축실험(Compression tests), 기계적 특성(Mechanical properties), 시편형상(Specimen shape), 과일(Fruit)

#### 1. 서 론

청과물은 품종, 재배기술, 환경의 요인 등에 영향을 받아 품질, 형상, 색택, 병충해의 상해정도가 다르게 나타남에 따라 농산물의 다양한 상품성이 결정

된다. 또한 수확, 저장, 포장, 수송, 상하차 등 유통과정에서의 취급여하에 따라 기계적으로 손상을 받은 물론 유통기간이 길어짐에 따라 호흡 및 증산작용 등 생리적 작용으로 부패 및 변질이 진행되어 유통과정중 농산물의 품질저하가 상당한 수준에 이르

\* 충남대학교 농과대학 농업기계공학과

\*\* 밀양대학교 기계공학과

\*\*\* 농촌진흥청 농업기계화연구소

고 있으나, 이에 대한 관심은 매우 낮은 실정이다.

청과물이 가지고 있는 이러한 특성을 고려하여 수확, 저장 및 유통과정중의 청과물의 충격력과 압축력 등의 기계적 외력에 의한 손상을 줄여 청과물의 상품화 정도를 향상시키기 위해서는 청과물의 기계적 특성들이 철저히 구명되어야 한다.

청과물의 기계적 특성이 구명되면 과실의 수확, 선별, 포장 및 가공기계와 시설을 해당 청과물의 특성에 적합하게 설계, 개발 및 개량과 적정 작동 조건 등을 설정할 수 있게 되어 기계적 외력에 의한 청과물의 손상을 줄이는데 크게 기여할 것이다.

이와 같이 청과물의 기계적 특성은 매우 중요한 기초자료이나 품종에 따라 차이가 있을 뿐만 아니라 같은 품종에서도 개체에 따라 그 형상 및 조직 등이 다르기 때문에 이들에 관한 자료는 매우 빈약하고 몇몇 문헌에 보고된 자료들도 같은 청과물에 대한 이들의 값이 매우 다르다. 외국의 경우는 청과물을 비롯하여 식품재료에 대하여 이 분야의 연구가 비교적 활발히 진행되고 있으나, 국내의 경우는 일부 연구자들에 의하여 사과 및 배에 대한 연구가 진행되어 왔으나 이들에 대한 기계적 특성에 관한 자료도 충분치 못하다.

Fletcher 등(1965)은 사과, 배, 복숭아 및 감자를 대상으로 하중재하속도에 따른 기계적 특성들을 분석하였다. 공시청과물의 생물체항복점은 준정적인 하중재하속도(4.5mm/min)에서만 나타났으며 그 이상의 하중재하속도에서는 생물체항복점이 나타나지 않았다고 보고하였다. 따라서 청과물의 기계적 특성 구명을 위한 하중재하속도는 매우 낮은 속도에서 수행되어야 한다고 하였다.

Abbott 등(1996)은 사과 3품종을 공시하여, UTM을 이용하여 직경 12.7mm, 길이 12.8mm인 시편을 사과의 각 부위 별로 나누어 채취한 후 25.4mm/min의 하중재하속도로 압축실험을 수행하였다. 시편의 채취위치와 방향 및 사과의 속도에 따른 감쇄능력, 변형률, 변형에너지 및 탄성계수 등 기계적 특성들을 계측한 결과, 모든 사과 품종들에서 수직방향의 시료에서 가장 큰 탄성계수가 측정되었으며, 측면부

위에서 안쪽 방향으로 채취된 시료에서 가장 작은 탄성계수가 측정되었다고 하였다. 이와 같이 동일한 사과에서 시편의 채취 위치 및 방향에 따라서 기계적 특성의 값들이 다르기 때문에 청과물의 기계적 특성 값의 측정에는 시편의 채취위치가 중요한 인자라고 할 수 있을 것이다.

Fridley와 Adrian(1966)의 연구결과에 의하면 배가 사과보다 생물체항복강도가 훨씬 크고 상자에 포장하여 운송할 때도 외력에 의한 손상을 적게 받을 것이라고 보고하였다. 이것은 국내에서 사과와 배에 대한 유사한 연구를 하였던 김 등(1992)의 결과나 박(1993)의 결과와는 상반되는 결과이다. 이러한 차이는 미국의 배와 한국에서 재배되고 있는 배는 품종이 다르고 Fridley 등이 시료로 사용하였던 배는 약 93N의 Magness Taylor hardness tester의 값이었으며 사과는 그 값이 약 38N으로써, 시료자체가 처음부터 배가 사과보다 강도가 높은 것을 대상으로 하였기 때문이다. 이들이 보고한 생물체항복강도는 배에서 1,517kPa이었으며 사과는 689kPa이었다.

청과물의 압축실험시에는 하중을 가하는 도구(compression tool)가 매우 중요한데 여기에는 대체로 두 가지 종류가 있다. 하나는 평판으로 압축하는 것이고 다른 하나는 플런저(plunger)로 압축하는 방법이다. 이 두 가지의 도구를 사용하여 배와 복숭아를 대상으로 압축실험을 하였던 Fridley 등(1968)의 연구결과에 의하면 청과물의 기계적 특성 구명을 위한 압축실험시에는 플런저 보다는 평판으로 압축하중을 가하는 것이 이론적인 분석방법과 유사하고 실제로 청과물이 각종 처리과정에서 받는 하중의 양상도 평판압축과 유사하기 때문에 하중을 가하는 도구로는 평판을 사용하는 것이 더 바람직하다고 하였다.

따라서 본 연구에서는 사과 및 배에 대한 기계적 특성을 구명하고자 계측시스템을 구성하고 계측시스템 및 계측용 컴퓨터 프로그램을 개발하여 사과와 배의 기계적 특성을 구명하며, 시료의 형상에 따라 기계적 특성에 미치는 영향을 분석하기 위한 연구를 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 공시재료

본 실험에서 사용한 과실은 수확적기에 일반농가에서 각각을 수확한 것이었고, 실험은 수확직후 1~2일 이내에 수행되었으며, 이 기간동안은 저온저장고(2~5℃, 90~95% rh)에 보관하였다. 실험 시작전에는 시료를 약 4시간 동안 실험실 환경(15℃, 75% rh)에 적응시킨 후 시료를 채취하여 실험하였다.

### 나. 실험장치

본 실험을 위하여 그림 1에서 보는 바와 같은 실험장치를 제작하였다. 실험장치는 크로스헤드를 상하 수직으로 움직이기 위한 AC서보모터 및 LM가이드와 볼스큐류(ball screw)조합, 시편에 가해지는 하중계측을 위한 하중변환기(load cell)와 이들을 제어하고 계측하기 위한 마이크로 컴퓨터로 구성하였다.

시스템 구동 및 계측 컴퓨터 프로그램은 컴퓨터 언어인 비주얼베이직 5.0(Visual Basic 5.0)으로 작성되었으며, 압축실험시에 초당 힘, 변위, 시간에 대한 데이터를 각각 10개씩, 총 30개의 데이터를 저장하도록 작성하였다. 또한, 로드셀의 교체에 대비하여 속도설정(calibration)을 할 수 있도록 각각 로드셀에

해당하는 속도설정 데이터를 저장 후 불러들여 속도 설정이 이루어지도록 하였다.

그림 2는 사과 및 배의 시편에 대하여 완전한 파괴가 이루어질 때까지의 저장된 힘, 변위, 시간에 대한 데이터를 불러들여 힘-변형곡선 및 응력-변형률곡선을 출력하여 생물체항복점, 파괴점, 생물체항

Table 1 Specification of compression test apparatus and measuring system

Items	Specification
Micro computer	Model Pentium 200MHz
Servo motor	Parasonic MSM011A1A(AC)
Servo motor driver	Parasonic MSDO11A11XE(2,500p/r)
Strain Gage Measurement Board	ADAC, 5508BG(8channels)
STP-2M(PC) Board	CONTEC, STP-2M (for IBM PC-XT and AT)
Load cell	BONGSHIN 25, 30-OBU(25kg)
Load cell	Kyowa, LU-200KE(200kg)



Fig. 1 The experimental equipment for compression tests.

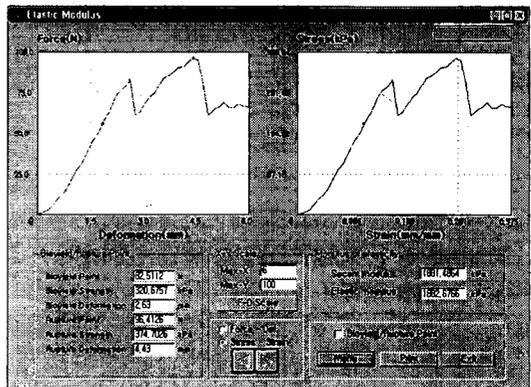


Fig. 2 Test results output window.

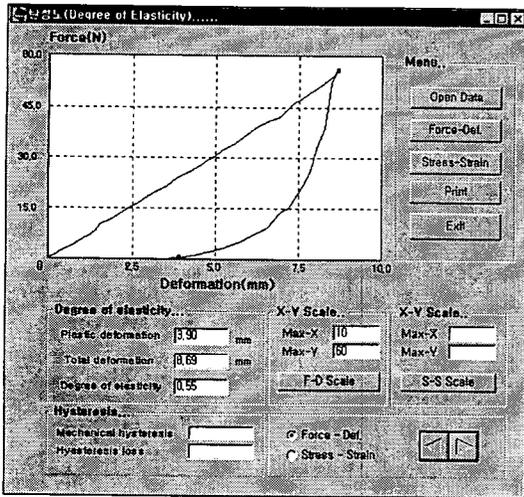


Fig. 3 Window for degree of elasticity in measurement program.

복변형량, 극한변형량, 생물체항복강도, 극한강도, 탄성계수, 레질리언스 및 터프니스를 구하는 윈도우이며, 그림 3은 사과 및 배의 시편에 대하여 생물체항복점 이전에서 하중을 제거하여 하중이 0이 될 때까지의 저장된 데이터를 불러들여 탄성도, 기계적이력 및 이력손실을 구하는 윈도우이다.

#### 다. 실험방법

본 연구에서의 모든 실험은 10회 반복으로 수행되었으며, 각 시편에 대한 압축실험은 평판압축실험 (flat plate compression test)으로 수행되었고 하중재하 속도는 ASAE S368.3 MAR95에서 규정하고 있는 2.5~30mm/min의 범위내인 25mm/min으로 하였다. 압축실험시에 사용하였던 시편의 형태는 그림 4에서 보는 바와 같은 직경 17.6mm, 길이 20mm의 원주시편(박 1993)과 반으로 절단한 시편이었다. 여기서, 원주시편의 경우, 측면에서 중심쪽으로 채취하였고, 반으로 절단한 시편은 길이방향으로 절단하여 측면부위[cheek portion]를 시편으로 사용하였다.

여기서, 반으로 절단한 시편의 생물체항복강도 및 극한강도, 탄성계수를 계측하기 위하여, 압축변위에 따른 압축도구와 시편과의 접촉면적(타원)을 식①로

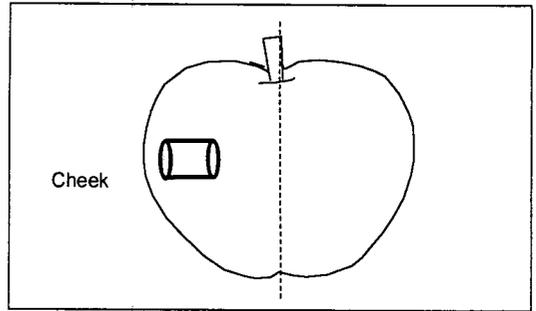


Fig. 4 Sampling positions and direction of cut for the specimen.

계산하였다.

$$A = \pi ab = \pi \sqrt{h^2 (2R_1 - h) (2R'_1 - h)} \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

여기서,  $A$  = 압축변위에 따른 접촉면적( $m^2$ )

$a$  = 타원 장축의 반경(m)

$h$  = 압축변위(m)

$b$  = 타원 단축의 반경(m)

$R_1, R'_1$  = 반으로 절단한 시료 상부곡면의 최소, 최대 곡률반경(m)

힘-변형곡선에서 측정될 수 있는 기계적 특성들은 생물체항복점, 파괴점, 생물체항복변형량, 극한변형량, 생물체항복강도 및 극한강도 등이다. 생물체항복점 및 파괴점이 힘-변형곡선상에 뚜렷이 나타나는 경우에는 그 점을 그림 상에 표시하면 개발된 컴퓨터 프로그램에 의하여 컴퓨터에 저장된 계측 자료들로부터 그 점에 해당하는 값을 바로 출력하도록 하였으며 이들 점에 해당하는 생물체항복변형량, 생물체항복강도, 극한변형량 및 극한강도 등도 초기 입력된 자료와 계측 저장된 자료로부터 계산하여 출력하도록 하였다.

탄성계수는 모든 시편에 대하여 압축실험으로부터 얻은 응력-변형률곡선(stress-strain curve)에서 시킨트 모듈러스를 구하였다. 시킨트 모듈러스에서는 원점과 연결된 응력-변형률 곡선상의 임의의 점이 매우 중요하다. 따라서 여기서는 이점을 힘-변형곡

선에서 파괴점의 약 50%에 해당하는 점을 잡았다 (Abbot and Lu, 1996). 힘-변형곡선에서 이점이 결정되면 개발된 컴퓨터 프로그램에 의하여 힘-변형곡선은 이점을 가지는 응력-변형률곡선으로 전환되고 이점과 원점을 연결한 직선의 기울기를 시컨트 모듈러스로 규정하였다.

청과물의 탄성도(degree of elasticity)는 탄성계수를 측정할 때와 같은 시편을 채취하여 각 청과물의 시편을 압축하면서 생물체항복점에서의 변위 60%에 해당하는 점에서 하중제하시의 속도와 같은 일정한 속도로 하중을 제거한다. 그런 후에 압축하중이 0이 될 때까지의 저장된 압축하중과 압축변위를 이용하여 힘-변형곡선을 출력한 후 탄성도를 계산하였다.

또한, 청과물의 기계적이력(mechanical hysteresis)과 이력손실(hysteresis loss)은 탄성도 실험에서 저장된 압축하중, 압축변위로부터 개발된 컴퓨터 프로그램에 의하여 응력-변형률곡선을 출력한 후 기계적 이력과 이력손실을 계산하였다.

레질리언스와 터프니스는 각각 응력-변형률곡선에서 생물체항복강도 및 극한강도까지의 면적을 계산하였다. 여기서 레질리언스, 터프니스, 기계적 이력 및 이력손실 등에 대한 구체적인 정의는 정(1999) 및 Mohsenin(1986)에서와 같으며, 이들을 구하기 위한 면적의 계산은 응력-변형률곡선 상에서 원점에서 해당점(하중제하시곡선, 하중제거시곡선, 생물체항복강도, 극한강도)까지를 20~30점으로 나누어 표시하면 개발된 프로그램에 의하여 이 점들에 해당하는 사다리꼴의 면적을 계산하여 전체를 합산하는 방법을 적용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 사과 및 배의 생물체항복점 및 파괴점

그림 5에서 보는 바와 같이 사과의 경우 생물체항복점이 뚜렷이 나타났으나 배에서는 생물체항복점이 나타나지 않았다(박, 1993; ASAE, 1996). 따라서 배의 생물체항복점은 박(1993)이 정의했던 바와 같

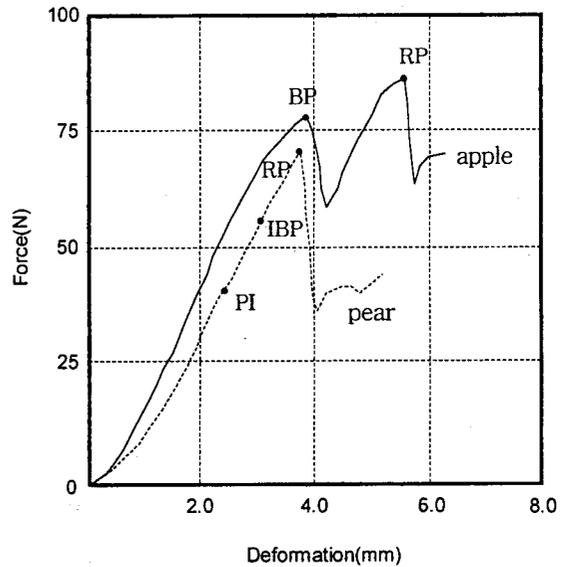


Fig. 5 Force-Deformation curves of the cylindrical specimens removed from the apple and the pear.

이 힘-변형곡선상의 첫 번째 변곡점과 파괴점의 평균값인 가상생물체항복점(Imaged bioyield point)으로 표시하였다. 그러나 파괴점은 사과 및 배의 원주시편의 힘-변형곡선에서 뚜렷이 나타났다.

사과와 배의 생물체항복점은 각각 78.5N 및 55.6N이었고, 파괴점은 각각 85.7N 및 72.1N이었다. 이와 같이 배는 사과에 비하여 그 조직의 강도가 약하기 때문에 작은 외력에도 손상을 입을 수 있음을 알 수 있다.

반으로 절단한 시편은 그림 4에서 점선방향으로 절단한 시편이었다. 그림 6은 사과 및 배의 반으로 절단한 시편에 대한 힘-변형곡선이다. 그림에서 보는 바와 같이 원주시편에 대한 힘-변형곡선과는 그 모양이 다를 뿐만 아니라 생물체항복점 및 파괴점의 값들도 훨씬 높게 나타났다. 배의 경우 원주시편에서는 힘-변형곡선상에 생물체항복점이 나타나지 않았으나 반으로 절단한 시편에서는 생물체항복점이 잘 나타나 있다. 사과 및 배의 생물체항복점은 각각 309.2N 및 384.2N이었고 파괴점은 각각 1,201.4N

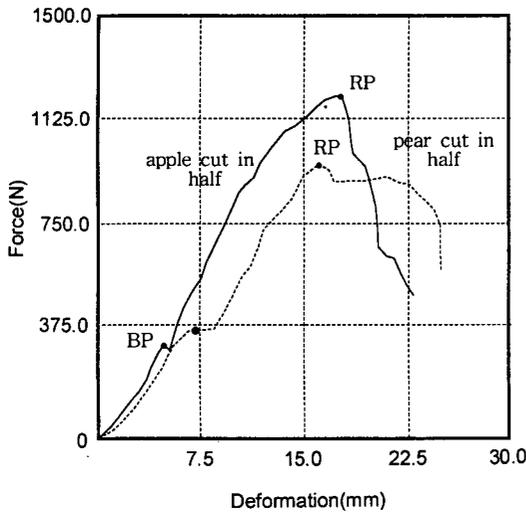


Fig. 6 Force-Deformation curves of the apple and the pear cut in half.

및 965.5N이었다.

이와 같이 사과와 배의 생물체항복점 및 파괴점이 원주시편에서보다 반으로 절단한 시편에서 훨씬 큰 값으로 측정된 것은 반으로 절단한 시편의 바닥접촉면적이 원주시편에서보다 넓고 압축도구도 평판이었기 때문에 시편이 변형되거나 파괴되는데 큰힘이 소요되었기 때문인 것으로 판단된다. 또한 그림 6에서 보는바와 같이 배의 생물체항복점이 사과에서 더 큰 값으로 나타났는데 이러한 현상은 접촉면적과 하중재하속도에서 기인된 것으로 생각된다(Mohsenin, 1986; ASAE, 1996).

이상에서 살펴본 바와 같이 청과물의 생물체항복점 및 파괴점은 시편과 하중재하속도 등 실험방법에 따라 그 값의 차이가 크기 때문에 단위면적당의 하중인 생물체항복강도 및 극한강도로 표시하여야만 청과물의 기계적 특성을 비교하는데 편리하게 이용될 수 있을 것이다.

#### 나. 사과 및 배의 생물체항복강도 및 극한강도

사과 및 배의 원주시편에 대한 생물체항복강도는

각각 322.8kPa, 228.6kPa이었으며 이들의 극한강도는 각각 352.1kPa, 296.4kPa이었다.

사과 및 배의 생물체항복강도와 극한강도를 비교하였을 때 사과가 배보다 두 값 모두에서 약간 크게 측정되었다. 청과물의 강도가 크다는 것은 청과물의 수확 후 처리시에 외력에 대한 손상을 적게 입는다는 것을 의미한다(Abbot and Lu, 1996; Fridley and Adrian, 1966).

사과 및 배의 생물체항복강도 및 극한강도는 반으로 절단한 시편에 대한 생물체항복강도는 각각 240.3kPa, 229.5kPa이었고 극한강도는 각각 284.3kPa 및 253.8kPa로서 박(1993)이 보고하였던 사과 및 배의 생물체항복강도 약 430kPa 및 약 300kPa, 극한강도 약 470kPa 및 약 340kPa 보다 작은 값을 보였다. 사과 및 배의 생물체항복강도 및 극한강도는 반으로 절단한 시편이 원주시편에서보다 약간 작은 값으로 나타났다.

이와 같이 반으로 절단한 시편에서나 원주시편에서의 이들 과실에 대한 압축강도의 차이가 생물체항복점 및 파괴점에 대한 두 시편에서의 차이인 약 3배~14배보다 아주 작은 것은 청과물의 단단한 정도를 비교할 경우, 청과물의 생물체항복점이나 파괴점보다는 생물체항복강도 및 극한강도의 값으로 비교하여야 보다 더 합리적이라는 것을 뜻한다.

#### 다. 사과 및 배의 탄성계수

공시청과물이었던 사과 및 배의 탄성계수를 측정하기 위한 응력-변형률곡선은 그림 7 및 8에 도시하였다.

원주시편으로 채취한 사과 및 배에 대한 탄성계수는 응력-변형률곡선(stress-strain curve)으로부터 시킨트 모듈러스(secant modulus)로 구하였다. 사과와 배의 탄성계수는 각각 2,010.1kPa 및 1,414.6kPa이었다. Chappell과 Hamann(1968)은 사과의 초기압축 탄성계수를 6,791~7,543kPa로 보고하였으며 Mohsenin(1986)은 5,125kPa 정도로 보고하였던 바, 이와 같이 본 연구의 결과보다는 약 2~3배 큰 값을 보이는 것

은 사과시편 및 탄성계수 측정방법에 따른 차이 때문인 것으로 판단된다.

그림 8은 사과 및 배를 반으로 절단한 시편에 대한 응력-변형률곡선을 각각 도시하였으며, 탄성계수는 각각 2,260.22kPa 및 1,329.78kPa이었다.

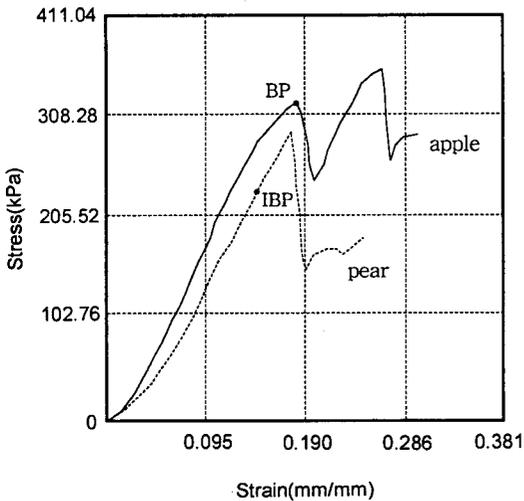


Fig. 7 Stress-strain curves of the cylindrical specimen removed from the apple and the pear.

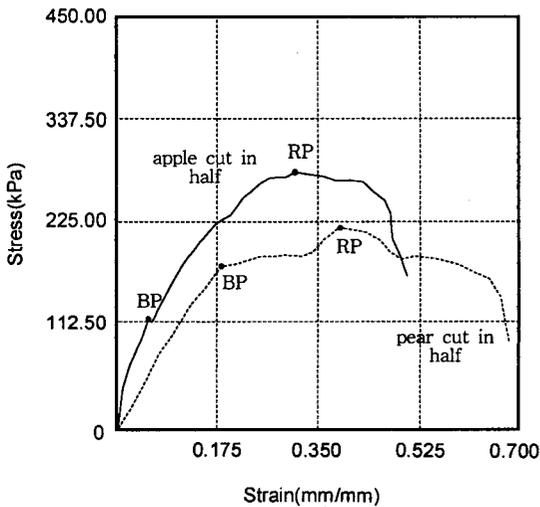


Fig. 8 Stress-strain curves of the apple and the pear cut in half.

위에서 알 수 있듯이 반으로 절단한 시편에서의 사과와 배의 탄성계수는 원주시편에서의 탄성계수와 거의 유사한 값으로 나타났다.

라. 사과 및 배의 레질리언스 및 터프니스

레질리언스는 청과물이 하중을 받아 변형이 일어날 때 변형에너지를 저장하는 능력의 척도로서 응력-변형률곡선에서 생물체항복점 이하의 면적이고 터프니스는 파괴점이하의 면적으로 정의되며 이들의 단위는 단위체적당의 일량으로 나타낸다.

사과의 레질리언스와 터프니스는 원주시편의 경우 각각 39.5kJ/m<sup>3</sup> 및 64.4kJ/m<sup>3</sup>로서 배의 21.5kJ/m<sup>3</sup> 및 28.1kJ/m<sup>3</sup> 보다 약 2배정도 크게 나타났다.

마. 사과 및 배의 탄성도

사과 및 배의 탄성도를 구하기 위한 압축실험에서 하중재하시와 하중제거시의 원주시편과 반으로 절단한 시편에 대한 힘-변형곡선을 그림 9 및 10에 도시하였다. 탄성도(degree of elasticity)는 어떤 재료

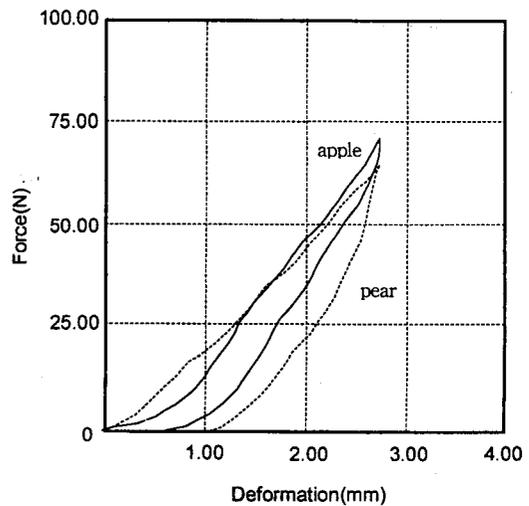


Fig. 9 Loading-unloading curves of the cylindrical specimen removed from the apple and the pear.

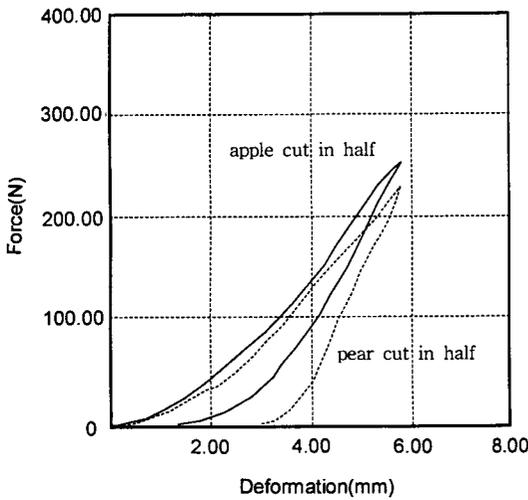


Fig. 10 Loading-unloading curves of the apple and the pear cut in half.

가 하중을 받았을 때의 총 변형량에 대한 하중제거 시 회복변형량(recoverable deformation)의 비로 정의되며, 이때 하중제거 위치는 청과물의 경우 생물체항복점 이내여야 한다.

그림 9 및 10에서 보는 바와 같이 사과와 배의 원주시편에서의 탄성도는 79.6%로서 배의 탄성도 62.2%보다 그 수치만을 비교하였을 때, 약 20% 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 박(1993)이 제시한 사과의 탄성도 약 90% 보다는 10% 낮은 값이었다. 사과의 경우 원주시편에서와 반으로 절단한 시편간에 탄성도의 차이가 거의 없었으나 배에서는 약 14% 정도 반으로 절단한 시편에서 작게 나타났다.

#### 바. 사과 및 배의 기계적이력 및 이력손실

그림 11은 사과와 배의 기계적이력 및 이력손실을 구하기 위한 하중제거-제거시의 응력-변형률곡선으로서 실선으로 표시된 것은 반으로 절단한 시료이고, 점선으로 표시된 것은 원주시편에 대한 것이다. 그림 11 및 표 2에서 보는 바와 같이 사과의 기계적이력과 이력손실이 배에서 보다 훨씬 작은 것은 그만큼 외력에 대하여 손상을 작게 입을 수 있다는 것

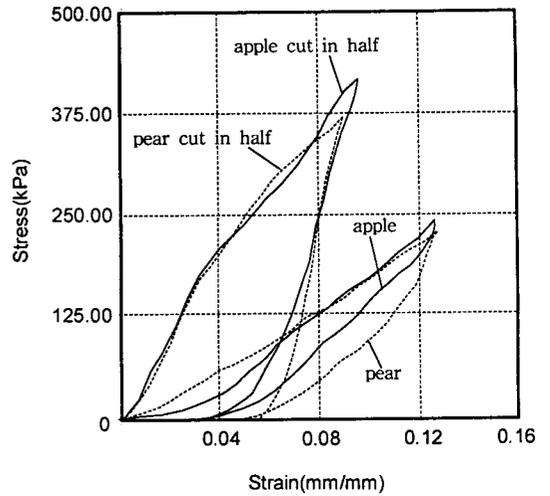


Fig. 11 Loading-unloading curves of the apple and the pear for mechanical hysteresis.

을 의미한다.

또한 이들 값은 원주시편보다 반으로 절단한 시편에서 약간 크게 나타났다. 기계적이력 및 이력손실이 크다는 것은 탄성도가 작기 때문에 주어진 외력에 대하여 하중 제거시에도 회복되지 않고 영구변형으로 남는 양이 많다는 것을 의미한다.

#### 사. 시편의 형상에 따른 청과물의 기계적 특성

앞에서 고찰하였던 바와 같이 시편의 형상에 따른 청과물의 기계적 특성의 값은 경우에 따라서는 큰 차이를 나타내었으며 연구자에 따라 보고된 이들의 값에 큰 차이가 나는 것은 시편의 형상에 기인된 부분이 많을 것으로 생각된다.

표 2에서 보는 바와 같이 기계적 특성치중 서로 비교하는데 합리적이라고 할 수 있는 생물체항복강도, 극한강도 및 탄성계수의 차이는 양 시편에서 유사하였으나 원주시편에서의 표준편차는 반으로 절단한 시편에서보다 분석한 모든 기계적 특성치에서 낮았으며 특히 다른 기계적 특성치에 기분이 되는

Table 2 Mechanical properties of apple and pear

Apple	Maximum		Minimum		Average		Standard Deviation	
	C.S.	S.C.H.	C.S.	S.C.H.	C.S.	S.C.H.	C.S.	S.C.H.
Pear								
Bioyield Point (N)	81.10	332.45	76.02	280.27	78.46	309.24	8.78	15.78
	57.58	401.56	53.69	362.51	55.61	384.18	7.09	16.43
Bioyield Deformation (mm)	4.16	5.98	3.70	4.75	3.93	5.32	0.81	0.92
	3.11	7.41	2.69	6.48	2.93	6.94	0.89	0.98
Bioyield Strength (kPa)	336.61	258.29	312.73	217.76	322.57	240.25	13.49	14.13
	236.87	239.90	220.88	216.57	228.56	229.52	14.99	14.02
Rupture Point (N)	88.25	1,230.61	82.65	1,178.46	85.66	1,201.41	8.23	21.61
	75.17	994.10	69.06	940.02	72.11	965.51	7.89	20.46
Rupture Deformation (mm)	5.92	17.30	5.03	15.13	5.40	16.15	0.45	0.98
	4.23	16.78	3.45	14.91	3.71	15.89	0.39	0.94
Ultimate Strength (kPa)	363.02	291.25	338.91	278.91	352.06	284.34	15.24	14.29
	309.20	261.36	284.07	247.10	296.39	253.80	11.90	10.49
Apparant Elastic Modulus (kPa)	2,098.02	2,356.37	1,960.19	2,140.11	2,010.14	2,260.22	67.25	73.13
	1,509.43	1,412.43	1,382.56	1,259.02	1,414.56	1,329.78	52.19	69.25
Degree of Elasticity (%)	81.24	78.09	76.13	70.82	79.64	74.26	4.93	6.28
	65.11	53.42	60.30	44.12	62.19	48.57	5.03	6.19
Resilience (kJ/m <sup>3</sup> )	43.06	16.11	34.88	7.36	39.49	11.43	7.11	6.78
	25.22	23.39	18.02	13.25	21.47	18.42	4.30	4.83
Toughness (kJ/m <sup>3</sup> )	69.15	62.99	59.04	53.37	64.40	58.14	9.44	6.07
	31.30	59.28	25.33	50.30	28.05	54.33	4.19	6.20
Mechanical Hysteresis (kJ/m <sup>3</sup> )	2.95	9.46	2.33	8.32	2.68	8.94	0.58	0.98
	7.18	9.50	5.48	8.60	6.19	9.09	0.93	0.68
Hysteresis Loss (%)	32.19	46.63	28.39	40.08	30.82	43.21	3.30	4.81
	56.31	74.92	48.47	68.45	52.03	71.42	6.22	4.45

C.S. : Cylindrical Specimen, S.C.H. : Specimen Cut in Half

생물체항복점 및 파괴점에서의 표준편차는 원주시편에서가 반으로 절단한 시편에서보다 약 반에 불과한 것으로 볼 때 원주시편을 채취하여 압축 실험하는 것이 반복간에 오차가 적고 재현성이 우수하다고 할 수 있는 반면, 반으로 절단한 시편에서는 접촉면적의 계측 등 몇 가지 계측상의 어려움으로 오차가

생길 가능성이 높다. 따라서 청과물의 기계적 특성을 구명할 경우 시편은 원주시편을 채취하여 실험하는 것이 다른 시편에서보다 신빙성 있는 자료를 얻을 수 있을 것으로 판단되었다.

그러나 원주시편을 채취하여 압축실험을 하는 경우에도 시편의 채취위치 및 방법 등의 문제점과 시

편 채취시에 약간의 외력이 가해지는 문제점도 있을 수 있으며 실험시에도 시편으로부터 수분 증발을 막기 위하여 비닐로 시편을 싸거나 실험실의 환경조건을 일정하게 유지시켜야 하는 약간의 문제점들은 있을 수 있을 것이다.

#### 4. 결 론

우리 나라의 대표적인 청과물인 사과, 배를 공시하여 기계적 특성을 구명하였다. 이를 위하여 압축 실험을 할 수 있는 계측시스템을 구성하였으며 시스템구동, 계측 및 분석용 컴퓨터 프로그램을 개발하였다. 또한 시편의 형상에 따른 기계적 특성치의 변화를 분석하기 위하여 공시 청과물 및 기계적 특성에 따라 2종류의 시편에 대하여 25mm/min의 하중재하속도로 압축실험을 수행하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 생물체항복점, 파괴점, 생물체항복변형량, 극한변형량, 생물체항복강도, 극한강도와 이력손실 및 기계적이력은 원주형시편에서보다 반으로 절단한 시편에서 더 큰 값들이 계측되었다.
2. 탄성도, 레질리언스는 반으로 절단한 시편에서보다 원주형시편에서 더 큰 값이 계측되었다.
3. 탄성계수는 사과의 경우 원주시편에서보다 반으로 절단한 시편에서 약간 큰 값이었으나, 배에서는 약간 작은 값이었다. 또한 터프니스는 사과의 경우 원주시편에서, 배의 경우 반으로 절단한 시편에서 더 큰 값으로 나타났다.
4. 사과와 배의 원주시편에서와 반으로 절단한 시편에서의 기계적특성들을 분석하였던 결과, 청과물의 기계적특성 구명시에는 원주시편을 채취하여 압축실험하는 것이 보다 신뢰성 있는 자료를 얻을 수 있을 것으로 판단되었다.

#### 참 고 문 헌

1. 김만수, 박종민, 최동수. 1992. 과실의 힘-변형 특성. 한국농업기계학회지 17(2):156-170.
2. 박종민. 1993. 과실의 점탄성 특성과 그 응용. 충남대학교 박사학위논문.
3. 정현모. 1999. 청과물의 기계적 특성에 관한 연구. 충남대학교 석사학위논문.
4. Abbott, J. A. and R. Lu. 1996. Anisotropic mechanical properties of apples. Trans. of the ASAE 39 (4):1451-1459.
5. ASAE. 1996. ASAE Standards. S368.3 MAR95.
6. Chappell, T. W. and D. D. Hamann. 1968. Poisson's ratio and Young's modulus for apple flesh under compressive loading. Trans. of the ASAE 15(6):608-612.
7. Fletcher, S. W., N. N. Mohsenin and J. R. Hammerle. 1965. Mechanical behavior of selected fruits and vegetables under fast rates of loading. Trans. of the ASAE 8(2):324-326.
8. Fridley, R. B. and P. A. Adrian. 1964. Factors affecting impact injury to mechanically harvested fruit. Trans. of the ASAE 7(4):409-411.
9. Fridley, R. B. and P. A. Adrian. 1966. Mechanical properties of peaches, pears, apricots, and apples. Trans. of the ASAE 9(1):135-138.
10. Fridley, R. B., R. A. Bradley and P. A. Adrian. 1968. Some aspects of elastic behavior of selected fruits. Trans. of the ASAE 15(1):46-49.
11. Mohsenin, N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach science publishers, N. Y.