

農産物の物理的 特性 測定에 關한 研究 Measurement of Physical Properties of Agricultural Products

高 學 均*
Hak Kyun Koh

Summary

Properties of agricultural products are important for engineering design and analysis with respect to their mechanical harvesting, handling, transporting and processing. Researchers have presented the data of properties for various kinds of agricultural products. These data, however, are obtained from the materials produced in foreign countries, and a very few data could be found in Korea.

In this paper, emphasis put on the importance of measuring the properties of agricultural products through an extensive review of literatures, and some experimental results on the viscoelastic and elastic properties of the materials are presented.

Viscoelastic characteristics of some agricultural materials, specifically the force-deformation-time relationship of the whole orange and cylindrical samples of cheese under different types of loading were investigated.

In elastic test, the response of apple during an impact and the relationships among various parameters such as degree of damage, drop height and absorbed energy were determined.

I. 序 論

農業의 近代化는 圃場作業의 機械化는 물론 農産物 加工作業의 기계화까지도 필요로 한다. 이 중에서도 加工作業은 많은 시간과 세심한 주의를 요하는 작업일 뿐만 아니라 농산물의 品質과 밀접한 관계를 맺고 있는 작업이기 때문에 이들 작업의 機械化를 위한 많은 研究가 꾸준히 이루어지고 있다. 특히 농산물의 處理, 加工作業에 이용되는 기계, 기구는 그 농산물의 各種 物理的 性質에 근거하여 設計되는 경우가 대부분이다. 따라서, 각종 농산물과 축산물 내지 食品의 物理的 性質, 電氣的 性質, 光學的 性質 등을 究明하고 이들 資料에 근거하여 機계를 開發하거나 改善할 경우 作業能率의 향상은 물론 效率的인 加工作業이 可能한 것이다.

本 研究에서는 이와 같은 重要性을 認識하여 광범

위한 문헌조사와 몇가지 實驗을 통하여 농산물의 물리적 특성에 관한 諸般資料를 提示함으로써 農産物 加工作業의 機械化를 促進하고 아울러 效率的인 作業에 寄與하고자 한다. 특히 近來에 가장 많은 研究와 實用化가 이루어지고 있는 力學的 性質과 光學的 性質을 重點的으로 고찰하고, 이어서 粘彈性特性和 彈性 特性에 관한 實驗結果를 간단히 소개하고자 한다.

II. 物性의 內容과 適用 分野

農産物의 物性은 여러가지 方法으로 分類할 수 있으나 Mohsenin¹⁾의 분류 방법과 적용 분야를 소개하면 표 1 과 같다.

III. 力學的 性質

* 서울大學校 農科大學 農工學科

Table 1. Physical Properties of Agricultural Products and their Applications

Item	Properties	Application
Physical State	Sphericity, Roundness, Frontal area, Geometric mean diameter, Porosity, Bulk density, Solid density, Unit density, Permeability, Specific gravity, Average projected area.	<ul style="list-style-type: none"> ● Machine design (harvesting, sorting, grading) ● Product analysis
Rheological Properties	Axial stress, Axial strain, Bulk strain, Bulk stress, Shear stress, Shear strain, Shear deformation, Bulk deformation, Modulus of elasticity, Bulk modulus, Compressibility, Rigidity, Poisson's ratio, Strength, Yield point, Bioyield point, Rupture point, Pressure, Toughness, Stiffness, Resilience, Mechanical hysteresis, Elasticity, Plasticity, Viscoelasticity, Stress relaxation, Creep, Viscosity	<p>(Mechanical & Rheological)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Pneumatic handling of chopped forage ● Dry forage and grain ● Sorting and cleaning of grains and seeds ● Forced-air drying of agricultural products ● Size reduction of cereal grains ● Compressing and packaging
Mechanical Properties other than rheological properties	Brinell hardness, Coefficient of restitution, Stress cracking, Maximum allowable load, Drag coefficient, Reynolds' number, Terminal velocity, Coefficient of surface friction, Surface tension, Rolling resistance, Coefficient of internal friction, Angle of repose, Pressure ratio in silos and bins, Cohesion of granular materials, Flow function of granular materials	<ul style="list-style-type: none"> ● Cutting ● Mechanical harvesting ● Bulk handling ● Transporting ● Bulk storage
Thermal and diffusional properties	Heat capacity, Specific heat, Latent heat, Sensible heat, Heat of adsorption, Heat of wetting, Heat of respiration, Thermal conductivity, Thermal diffusivity, Mass transfer coefficient, Coeff. of thermal expansion	<ul style="list-style-type: none"> ● Optimum design of heat transfer, dehydration and sterilization processes ● Heating, cooling, and freezing of agricultural products
Electromagnetic radiation properties	Regular reflectance, Body reflectance, Absorption coefficient, Spectral reflectance, Spectral transmittance, Transmittance, Absorbance, Delayed light emission (DLE), Electrical resistivity, Conductance, Electrical conductivity, Dielectric constants, Power factor, Magnetic permeability, Electrostatic force, Electrostatic charge	<ul style="list-style-type: none"> ● Maturity evaluation ● Detection of internal and external defects ● Material sorting ● Quality evaluation ● Separation ● Moisture content determination ● Separation and cleaning of seeds ● Heat treatment of seeds

곡물의 수확, 탈곡 및 처리과정에서 발생하는 機械的인 損傷은 發芽力이나 病虫害에 관한 抵抗性 및 最終 生産物의 品質에 커다란 영향을 미친다. 따라서 이들 손상을 줄이기 위해서는 농산물의 각종 力學的 性質을 잘 알고 있어야 한다. 즉 壓縮強度나 충격 및 剪斷抵抗은 곡물의 粉碎는 물론 收穫處理時 破碎程度를 연구하는 데 중요한 工學的인 資料가 된다. 마찰계수는 收穫處理機械內에서 材料의 運動을 豫測하거나 기계를 合理的으로 設計하는 데 필요하고, 乾草의 壓縮性, 팽창 특성, 내부마찰계수, 粘着係數, 彈性 等의 性質은 乾草의 壓縮 및 包裝 研究에 필요하며, 전단저항이나 굽힘강도는 모우어의 切斷過程 分析 및 所要에너지 算出에 필요하다. 또한 농산물의 空氣力學的 性質과 動水力學的 性質(hydrodynamic properties)은 移送過程이나 選別作業에 필요하다. 이 밖에 과일이나 채소의 기계수확, 벌크取扱, 移送 및 貯藏을 效果的으로 수행하기 위해서도 역시 역학적 性質을 잘 파악하고 있어야 한다.

만일, 農産物에 機械的인 힘이 가해졌을 때 그 農産物內에 變形(deformation)이나 流動(flow) 현상이 나타날 경우 이때의 그 농산물의 역학적 性質을 리올로지 性質(rheological properties)이라고 부른다. 또한 이 性質은 힘이 가해지는 동안의 時間을 고려하기 때문에 어떤 재료의 리올로지 性質은 힘, 變形 및 時間의 세 가지 變數로 表示된다. 이들 性質의 예로서는 時間의 函數로 주어지는 應力(stress)과 變形率(strain), 크리프(creep), 應力弛緩(stress relaxation) 및 粘性(viscosity) 등이 있다.

대부분의 농산물은 粘性(viscous)과 彈性(elastic)의 두 가지 性質을 모두 나타내기 때문에 농산물의 역학적 性質은 粘彈性 原理를 적용해서 究明하여야 한다. 따라서 여기서는 농산물의 粘彈性 性質(viscoelastic properties)에 대하여 重點적으로 說明하고자 한다.

1. 粘彈性 特性

앞에서도 言及한 바와 같이 農産物은 收穫 以後의 諸般過程에서 機械的인 處理가 가해지기 때문에 機械效率를 높임과 동시에 농산물의 損傷을 최소화하

고 또 品質을 최대로 향상시키기 위해서는 應力을 받을 때의 그 농산물의 性質은 물론 變形率까지도 완전히 파악하여야 한다. 특히 농산물의 應力-變形率-時間과의 關係를 알고 있다면 손상이 발생하는 應力과 變形率의 限界點을 알 수 있게 된다. 이들 限界點은 一般工業材料의 降伏強度(yield strength), 極限強度(ultimate strength) 等과 같은 變數와 類似하게 취급할 수 있다.

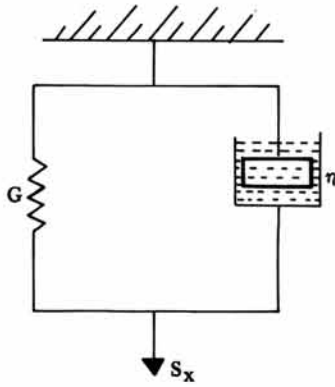
粘彈性 特性은 材料에 一定한 荷重을 加하면서 時間과 變形과의 關係를 究明하거나 또는 材料에 變形을 加했을 때 時間에 따른 應力의 減少現象을 分析할 수도 있다. 前者의 경우를 크리프 현상(creep behavior), 後者를 應力弛緩(stress relaxation) 이라고 부른다.

가. 解析의 方法

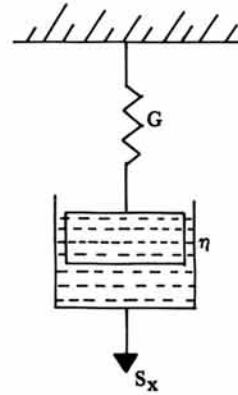
粘彈性 現象은 一般彈性理論과 뉴튼理論을 適用함으로써 理論적으로 表示할 수 있다. 즉 彈性體의 變形率은 荷重에 比例하며 이와 같은 현상은 스프링의 경우에 해당된다. 反面 뉴튼材料의 경우 應力은 變形率의 程度(rate of strain)에 比例하여 이 關係는 粘性流體內에서 움직이는 피스톤 즉, 대시포트(dashpot)의 현상과 비슷하다. 따라서 점탄성 현상은 탄성스프링과 점성 대시포트로 構成되어 있는 力學的 모델을 사용하면 쉽게 이해할 수 있다.

農産物의 경우 세포는 탄성에 가까운 性質을 나타내며 細胞液은 앞서의 粘性流體의 役割을 하므로 농산물의 力學的 現象은 이와 같은 力學的 모델을 이용하여 理論적으로 나타낼 수 있다.

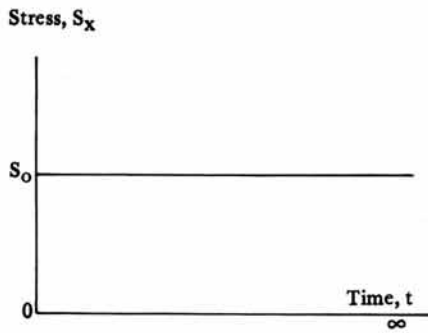
彈性和 粘性現象을 同時에 나타내는 基本的인 數學的 모델에는 이 두 要素를 並列로 組合한 Kelvin 또는 Voigt 모델(그림1)과 直列로 組合한 Maxwell 모델(그림2)이 있다. 그러나 실제로 대부분의 농산물의 점탄성 현상은 이와 같은 간단한 모델로서는 정확하게 나타낼 수가 없기 때문에 Kelvin이나 Maxwell 모델을 여러가지 방법으로 組合한 修正 모델이나 그림3과 같은 Generalized Maxwell 모델이 提示되고 있다. 특히 과일이나 채소의 應力弛緩 現象은 後者의 모델이 만족스러운 결과를 보여 주는데 이것은 다음과 같은 函數로 나타낼 수 있다.



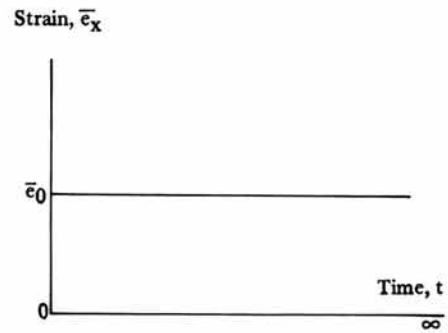
KELVIN MODEL REPRESENTATION



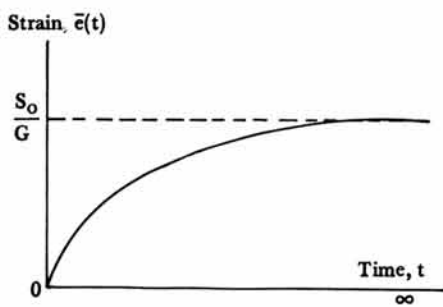
MAXWELL MODEL REPRESENTATION



STEP FUNCTION STRESS HISTORY

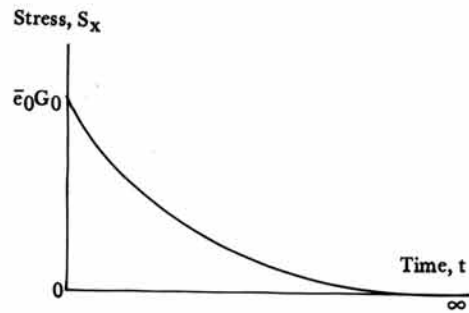


STEP FUNCTION STRAIN HISTORY



STRAIN VS. TIME RELATIONSHIP
CORRESPONDING TO STEP FUNCTION
STRESS HISTORY

Fig. 1. Kelvin model



STRESS VS. TIME RELATIONSHIP
CORRESPONDING TO STEP FUNCTION
STRAIN HISTORY

Fig. 2. Maxwell model

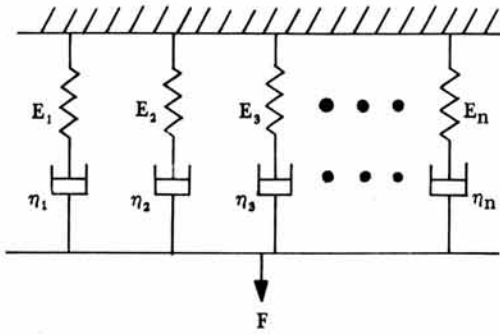


Fig. 3. Generalized Maxwell model.

$$\phi(t) = \sum_{i=1}^n E_i e^{-\alpha_i t}$$

여기서 E_i 와 α_i 는 材料의 粘彈性 常數를 나타낸다.

나. 測定方法

농산물의 응력 이완함수는 일반적으로 Instron Universal Testing Machine을 이용하여 試料에 一定한 變形을 加한 다음 이것을 일정하게 유지하는데 필요한 應力을 시간의 함수로 測定하여 應力弛緩曲線을 그리며, 이 그림으로부터 粘彈性 常數 E_i 와 α_i 를 求한다. 이때 常數值는 連續殘差法(successive residual method)을 이용할 수 있으나 近來에는 컴퓨터의 發達로 인하여 數值解析法이 널리 이용되고 있다.

2. 彈性 特性

농산물 가운데서 특히 과일의 탄성 특성(elastic behaviour)은 機械收穫 및 處理過程에서 발생할 수 있는 과일의 損傷을 연구하는 데 매우 유용한 資料를 提供한다. 例를 들면 機械的으로 과수를 흔들어서 수확할 경우 과일은 落下하면서 나무가지나 또 다른 과일 혹은 과일받침대 등과 충격함으로 말미암아 損傷을 입게 된다. 따라서 이들 損傷을 줄이기 위해서는 과일받침대 材料의 改善, 과일의 받침대와 충돌하기 전에 과일의 속도를 줄이는 방법 등의 연구가 필요하며 이를 위해서는 과일의 탄성 특성, 즉 壓縮과 衝擊時 과일 겹질 바로 밑의 속살이

變色되고 아울러 損傷이 일어나기 시작할 때의 荷重-變形-에너지와의 相互關係를 알아야 한다.

농산물의 이와 같은 성질은 機械工學的인 측면에서 損傷을 줄일 수 있는 연구에 기여할 뿐만 아니라 植物育種學者에게는 機械收穫處理에 적합한 새로운 品種을 開發하는 데 필요한 資料를 提供한다.

IV. 光學的 性質

1. 一般概念

食品生産過程에서 品質評價와 選別作業은 매우 중요한 工程으로서 이들 두 공정은 生産물의 光學的(optical) 성질에 근거하여 效率的으로 수행될 수 있는 것으로 證明되고 있다.

光學的 性質의 一般概念은 다음과 같다. 즉 어떤 물체에 光線을 投射하였을 때 一部는 그 물체의 表面으로부터 反射되고(regular reflectance) 나머지는 그 물체 内部로 通過하는데 이의 一部는 다시 表面으로부터 反射되거나(body reflectance) 吸收되거나(absorption) 또는 아주 그 물체를 뚫고 통과해버린다(transmittance). 또한 吸收된 에너지는 다시 형광이나 DLE(delayed-light emission)의 형태로 變換된다. 즉 reflectance는 주로 과일 등의 색깔이나 表面의 損傷度나 内部의 品質을 평가하는데 사용된다.

특히 品質의 평가나 選別작업을 사람의 눈에 依存할 경우 눈의 피로는 물론 個人에 따라 색깔識別의 차이나 편견이 있을 수 있으며, 또한 사용하는 光線의 차이에 따라 判定이 다를 수도 있기 때문에 光學的 性質에 의한 機械開發, 특히 選別機의 개발이 成功的으로 이루어지고 있다.

2. 測定裝置

가. 測定單位

波長別 反射率(spectral reflectance)은 그 물체로부터 反射된 총복사량과 基準面(白色表面) 으로부터 反射된 量을 비교하여 측정한다. 따라서 반사

율은 百分率로 表示한다.

농산물의 透過率은 OD(optical density) 單位 로서 나타내는데 이것은 다음과 같이 定義한다.

$$OD = \log_{10} (I_1/I_2)$$

여기서, I_1 : 어떤 물체에 投射된 輻射에너지

I_2 : 그 물체를 통과한 복사에너지

그리고 투과율은 대개 다음과 같이 정의한다.

$$T = I_2/I_1$$

따라서

$$OD = \log_{10} 1/T$$

로 表示할 수 있다.

앞에서도 言及하였지만 반사율은 %로 表示되는 反面 투과율은 OD로 표시하는 경우가 대부분이다. 왜냐하면 波長別 OD의 차이는 그 파장에서의 투과율의 比率과 同一한 값을 가지기 때문에 分析(計算)이 용이하며, 또한 對數的 表示方法(對數눈금이용)이 일반적인 表示方法에 비하여 그 범위가 넓기 때문이다.

나. 品質指標

光學的 方法에 의하여 어떤 농산물의 品質을 평가하는 데 있어서 重要한 因子는 品質지표(quality index)를 選定하는 문제이다. 品質지표란 한 가지 이상의 광학적 성질로부터 얻어진 定量的인 값으로서 다음과 같은 성질을 가지고 있어야 한다.

첫째, 評價하고자 하는 品質과 밀접한 관계가 있어야 한다.

둘째, 다른 物理的인 성질에 따라 쉽게 영향을 받

지 않아야 한다.

셋째, 測定器具의 變數(光源의 세기, 光感知 裝置의 感度等)에 따라 민감하게 작용해서는 안된다.

一般的인 방법은 여러가지 波長에서 농산물의 광학적 성질을 측정한다 다음 이들 성질 가운데서 品質要因과 가장 관계가 깊은 一聯의 波長을 선택하는 것이다. 다음에 두개 또는 그 이상의 파장에 따른 광학적 성질의 測定值로부터 品質지표를 얻는다.

예를 들면 붉은 사과와 반사율은 그 사과가 익을수록 波長 676nm부근에서 증가하여 400~600nm에서는 크게 감소한다. 따라서 成熟度를 品質지표로 채택할 경우 品質지표는 R580/R620으로 하는 방법을 들 수 있다. 또한 OD의 차이를 이용하여 充實한 사과와 不充實한 사과(이 경우 사과 中心部에 물이 차 있는 것)를 區別하는 방법이 있다. 그림 4와 같이 사과 中心部에 물이 차 있으면 공기의 공간이 감소하기 때문에 光分散能力이 감소할 뿐만 아니라

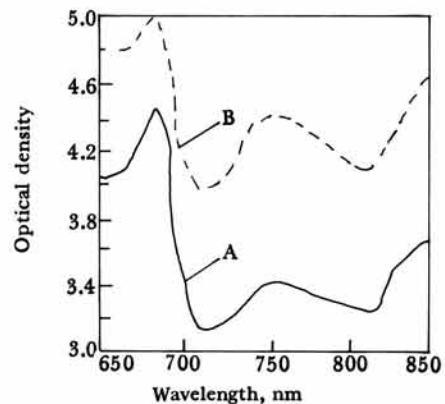


Fig. 4. Optical density curves of a water-cored apple (A) and a sound apple (B).

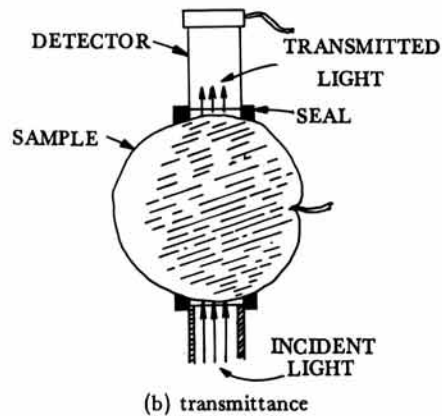
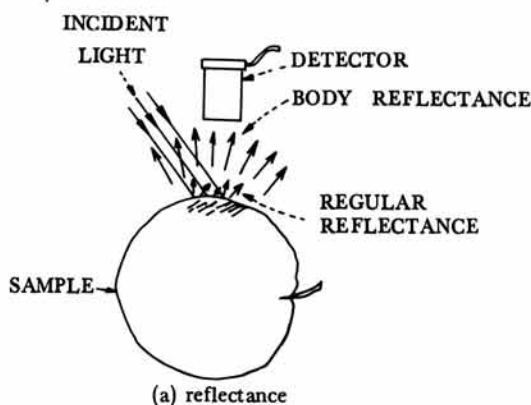


Fig. 5. Measuring devices for reflectance and transmittance.

건전한 사과에 비하여 光을 보다 많이 통과 시키게 된다. 따라서 $\Delta OD(760\sim 810)$ 를 품질지표로 사용하면 가장 좋은 결과를 얻을 수 있는 것이다.

다. 測定方法

反射率과 透過率 測定裝置의 概略圖는 그림 5 와 같다.

光學的 性質을 測定함에 있어서 중요한 것은 필요한 輻射光(一定한 波長範圍內的 反사율과 투과율)은 측정하되 불필요한 복사광(형광等)은 無視하는 것이다. 이를 爲해서는 適當한 光源, 波長調節裝置 및 感知器가 필요하다.

일반적으로 光源은 필요한 波長 範圍內에서 適當한 能量을 放出하여야 하며 感知器의 感度는 감지하고자 하는 복사광의 強度와 波長範圍에 적합해야 한다. 波長調節裝置는 프리즘을 사용하여 일정한 波長 範圍內의 光을 固定시키거나 또는 光學 濾器를 사용하면 되는데 이 때 濾器는 光源과 物體 또는 物體와 感知器 사이에 位置한다. 이 밖에 波長의 크기에 따른 測定值의 誤差를 줄이기 위하여 光線을 좁고 굴곡진 經路를 통해 보낼 수 있는 fiber optics(그림 6)가 效果的으로 사용되기도 한다.

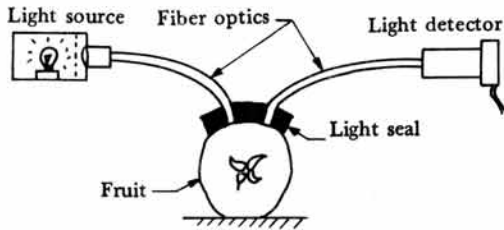


Fig. 6. Schematic drawing showing a new method which used fiber optics to measure light transmittance through a region of a fruit.

V. 實驗結果

1. 粘彈性 特性

本 實驗에 사용된 農産物은 치즈이며 Instron

Universal Testing Machine을 이용하여 荷重-變位-時間과의 關係(應力弛緩現象)를 究明하였으며 이 실험결과를 理論的인 方法과 比較하였다.

가. 實驗方法

치즈는 직경 2.22cm, 길이 3.2cm의 圓筒形 샘플로 만들어 실험에 사용하였으며 載荷速度는 1cm/min 와 5cm/min의 두 가지 速度를 적용하였으며 變位는 0.2cm, 最高荷重은 1.0kg으로 유지하였다.

치즈의 應력이완곡선은 다음 式으로 表示할수 있으며 실험 결과로 부터 常數 c와 α 값을 각각 圖解的 方法(連續殘差法)과 컴퓨터에 의한 數值解析法을 이용하여 求한 다음 이들 두 곡선을 實驗曲線과 比較하였다.

$$\sigma(t) = c_1 e^{-\alpha t} + c_2 e^{-\alpha t} + c_3 e^{-\alpha t}$$

여기서 $\sigma(t)$: 應력이완함수

t : 時間

c : 變形率과 彈性係數의 積(ϵE)

α : 應力弛緩 時間의 逆수($1/t$)

나. 實驗結果

載荷速度에 따른 應力弛緩曲線 方程式은 다음과 같다.

載荷速度 : 1.0cm/min

$$\text{圖解的方法 : } \sigma(t) = 0.8e^{-0.146t} + 0.4e^{-2.24t} + 0.43e^{-85.6t}$$

$$\text{數值解析的方法 : } \sigma(t) = 0.8e^{-0.1342t} + 0.4e^{-3.85t} + 0.085e^{-26.32t}$$

載荷速度 : 5.0cm/min

$$\text{圖解的方法 : } \sigma(t) = 0.9029e^{-0.246t} + 0.423e^{-10.42t} + 0.286e^{-88.32t}$$

$$\text{數值解析的方法 : } \sigma(t) = 0.803e^{-0.151t} + 0.256e^{-4.52t} + 0.127e^{-34.56t}$$

그림 7 과 그림 8 은 上記 實驗結果와 理論的 分析結果를 比較한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 應력이완곡선 방정식은 圖解的인 方法에 비하여 컴퓨터에 의한 數值解析的인 方法이 實驗結果와 거의-

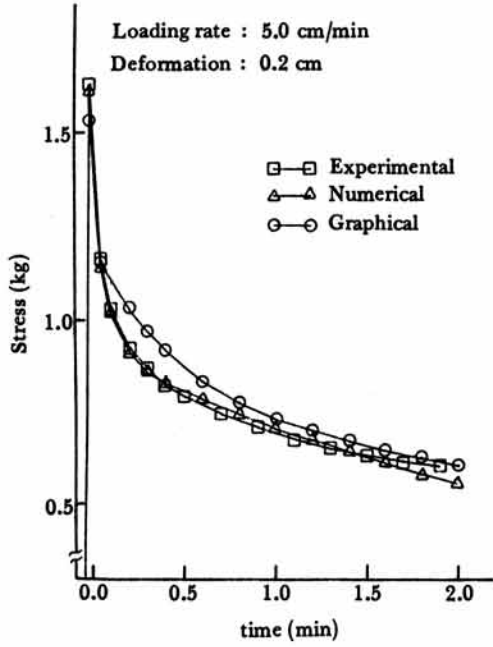


Fig. 7. Stress relaxation curves for cheese samples at loading rate of 5.0 cm/min.

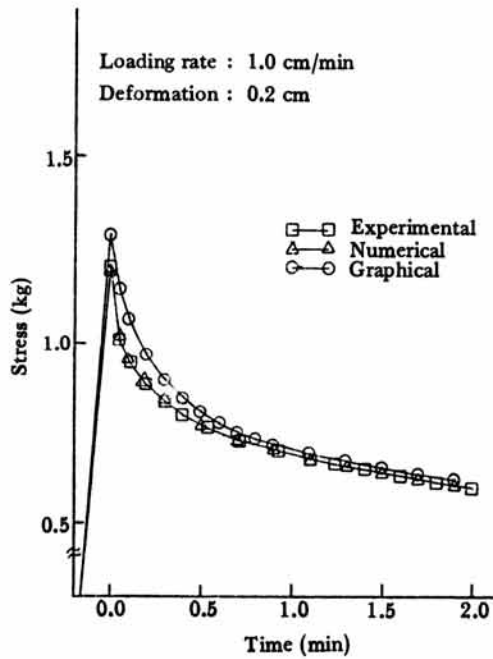


Fig. 8. Stress relaxation curves for cheese samples at loading rate of 1.0 cm/min.

致하는 경향을 보여주고 있다.

또한 치즈의 응력이완현상은 一定한 變位에서 재하속도가 빠른 경우가 느린 경우에 비하여 이완현

상이 크게 일어났음을 알 수 있으며 완전히 이완되는 데 소요되는 시간은 재하속도가 빠른 경우가 느린 경우에 비하여 큰 값을 보여주었다.

또 다른 실험결과는 하중을 일정하게 유지시킬 때 발생하는 變位는 재하속도가 빠른 경우가 느린 경우에 비하여 작은 값을 보여주었다. 즉, 2kg의 하중을 가했을 경우 재하속도가 5cm/min일 경우 變位는 3.8mm, 1cm/min일 경우 4.5mm의 값을 나타내었다.

2. 彈性 特性

여기서는 사과가 어떤 物體와 충격할 때 나타나는 各種 現象을 究明하기 위하여 충격실험을 실시하였으며 本 實驗에 사용된 Computer-Interfaced Impact-Testing System은 그림 9와 같다.

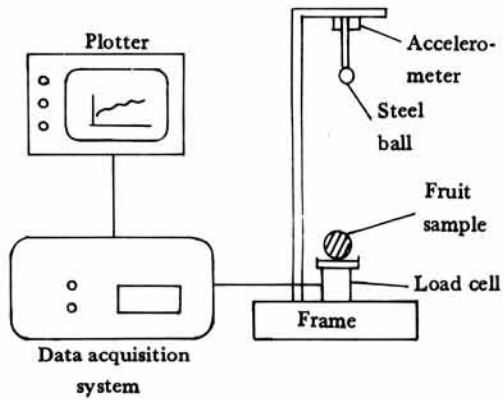


Fig. 9. Impact Testing System

가. 실험방법

사과와 충격하는 물체는 끝이 球形으로 된 강철봉을 사용하였으며 落下높이는 4, 6, 8, 10, 12, 16cm의 높이로 조절하였다. 이 때 사과와의 충격지점을 표시하기 위하여 강철봉 끝에 잉크를 발라 충격 후에 흔적이 남도록 하였으며 각 지점에 해당되는 낙하높이를 표시하였다. 또한 충격 후 사과에 멍든 자국이 나타나도록 30분을 기다린 후 멍든 部位의 길이와 직경을 측정하여 比較 分析하였다.

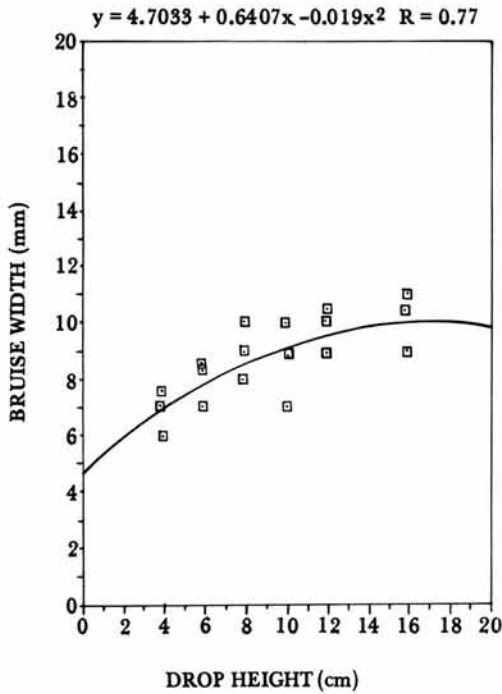


Fig. 10. Drop height vs bruise width for impact test of apple

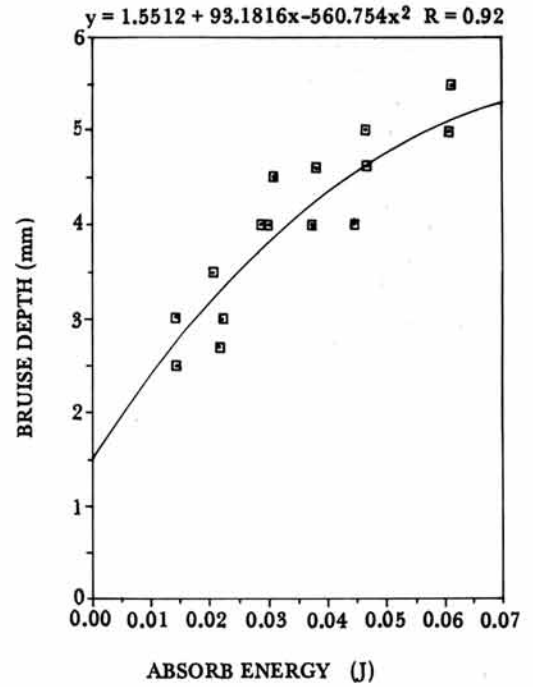


Fig. 12. Absorb energy vs bruise depth for impact test of apple

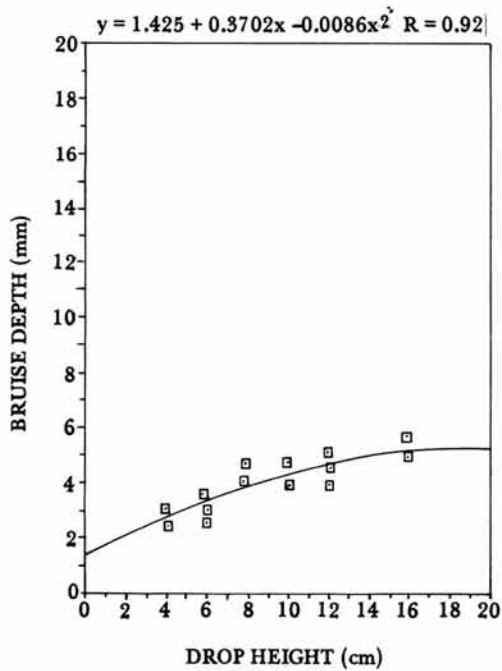


Fig. 11. Drop height vs bruise depth for impact test of apple

實驗은 3 反覆을 實施하였으며 IBM PC로 수집된 實驗値는 다시 APPLE Macintosh를 이용하여 分析하였다.

나. 實驗結果

그림 10과 11은 낙하높이에 따른 사과 損傷程度를 보여주고 있으며 그림 12는 손상程度와 衝擊時 吸收된 에너지와의 關係를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 충격시 과일의 손상을 줄이기 위해서는 落下높이 또는 吸收에너지 를 最少로 해야 한다. 특히 흡수에너지 를 最少로 하기 위해서는 과일과 충격되는 表面을 slanting하여 이것을 부드럽고 彈力性 있게 만들어 과일과 충격 표면과의 接觸面積을 크게 하여 줌으로써 충격을 완화시켜 주는 方法 등이 고려될 수 있다.

VI. 結 論

近來 先進國에서는 農産物 뿐만 아니라 畜産物과

食品에 이르기까지 광범위한 物性 研究가 수행되고 있으며 同時에 選別機를 위시한 加工機械가 開發되어 效率적으로 이용되고 있다.

우리나라의 경우 농산물의 加工作業은 아직 舊習에서 벗어나지 못하고 있으며 더구나 農家單位에서는 人力에 依存하는 경우가 대부분이다. 따라서 앞으로 豫見되는 農家人口의 감소에 대처하고 加工作業의 能率化와 效率化를 위하여 國內에서 生産되는 農畜産物과 韓國固有食品 등의 物性에 관한 研究가 꾸준히 進行되어야 할 것이다. 아울러 이들 物性資料에 근거하여 選別方法과 選別機가 開發되어야 할 것으로 判斷된다.

참 고 문 헌

1. Chen, P. 1978. Use of optical properties of food materials in quality evaluation and materials sorting. *J. of Food Process Engineering* 2:307-322.
2. Gunasekaran, S., M.R. Paulsen and G.C. Shove. 1985. Optical method for nondestructive quality evaluation of agricultural and biological materials. *J. Agric. Engng. Res.* 32: 209-241.
3. Sun, Z., P. Chen and R.E. Garrett. 1984. Distribution of light transmitted through agricultural products. *Trans. of ASAE* 27(2): 572-576, 580.
4. Birth, G.S. 1975. Optical radiation. Chapter 9. Instrumentation and measurement of environmental science, (Z.A. Henry ed.) ASAE Special Publication No. SP-0375, St. Joseph, Michigan.
5. Finney, E.E. 1973. Measurement techniques for quality control of agricultural products. ASAE, St. Joseph, Michigan. 53p.
6. Powers, J.B., J.T. Gunn and F.C. Jacob. 1953. Electronic color sorting of fruits and vegetables. *Agric. Eng.* 34, 149-154, 158.
7. Chen, P. and V.R. Nattuvetty. 1980. Light transmittance through a region of an intact fruit. *Trans. of ASAE* 23(2): 519-522.
8. Chen, P. and R.B. Fridley. 1971. An analytical method for determining viscoelastic constants of agricultural materials. ASAE Paper No. 72-339, ASAE, St. Joseph, Michigan.
9. Husain, A., K.K. Agrawal, T.P. Ojha and N.G. Bhole. 1969. Viscoelastic behaviour of rough rice. ASAE Paper No. 69-816, ASAE, St. Joseph, Michigan.
10. Zoerb, G.C. and C.W. Hall. 1960. Some mechanical and rheological properties of grains. *J. Agric. Engng. Res.* 5(1): 83-93.
11. Mohsenin, N.N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Beach Science Publishers, New York
12. Morrow, C.T. and N.N. Mohsenin. 1966. Consideration of selected agricultural products as viscoelastic materials. *J. of Food Science.* 31(5): 685-698.
13. Hemmat, A., P. Chen and W.J. Chancellor. 1980. Determining proper thickness of cushioning materials for fruit-catching frames. *Trans. of ASAE* 23(3): 558-561, 567.
14. Chen, P and S. Chen. 1986. Stress-relaxation functions of apples under high loading rates. *Trans. of ASAE* 29(6): 1754-1759.
15. Horsfield, B.C., R.B. Fridley and L.L. Claypool. 1972. Application of theory of elasticity to the design of fruit harvesting and handling equipment for minimum bruising. *Trans. of ASAE* 15(4): 746-750, 753.
16. Fridley, R.B. and P.A. Adrian. 1966. Mechanical properties of peaches, apricots, and apples. *Trans. of ASAE* 9(1): 135-138, 142.
17. Fridley, R.B., R.A. Bradley, J.W. Rumsey and P.A. Adrian. 1968. Some aspects of elastic behavior of selected fruits. *Trans. of ASAE* 11(1): 46-49.
18. Bilanski, W.K. 1971. Aerodynamic properties of agricultural products research, past and present. ASAE Paper No. 71-846.

(37페이지에서 계속)

- transfer predictions for a pulverized coal-fired furnace. Proceedings of the 8th International Heat Transfer Conference: 815-820.
8. Robert Siegel & J.R. Howell. 1981. Thermal radiation heat transfer. McGraw-Hill book company, 2nd ed.
 9. Rohsenow, W.M. & J.P. Hartnett. 1973 Handbook of heat transfer. McGraw-Hill book company.
 10. Shimizu, H., A. Kanno & Y. Nishiyama. 1978. Physical properties of rice hull as the fuel. JSAM 39(4): 477-481.
 11. Shimizu, H. & T. Kimura. 1981. Study on volatile matter during combustion of rice hull. JSAM 42 (3): 383-388.
 12. Shimizu, H. & T. Kimura. 1985. Direct combustion properties of rice hull. JSAM 46(1): 633-638.
 13. Skocypec, R.D. & R.O. Buckius. 1984. Total hemispherical emittance for CO₂ or H₂O including particulate scattering. Int. J. HMT. 27(1):1-13.
 14. Takata, Y., K. Iwashige, K. Fukuda & S. Hasegawa. 1984. Three-dimensional natural convection in an inclined cylindrical annulus. Int. J. HMT. 27(5): 747-754.
 15. Tzafestas, S.G., Aov. Spyridonos & N.G. Koumoutsos. 1974. Finite-difference modeling, identification and simulation of a solar water heater. Solar energy 16(1): 25-31.
 16. Zhuravlev, Y.A., F.K. Sidrov & M.Y. Protsailo. 1980. Employment of the zone method for calculating heat transfer in a boiler furnace. Thermal Engineering 27(11): 622-625.

(29페이지에서 계속)

- ASAE, St. Joseph, Michigan.
19. Mohsenin, N.N. 1984. Electromagnetic radiation properties of foods and agricultural products. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
 20. 許潤根, 1987. 水稻의 力學的 및 리올러지 特性에 관한 研究. 農學博士學位論文. 忠北大學校.