

과실의 포와송 비와 크리이프 컴프라이언스 보정

Poisson's Ratio and Corrected Creep Compliance of Fruits

박종민* 김만수**
정희원 정희원
J. M. Park M. S. Kim

ABSTRACT

The model of Poisson's ratio of the fruits was developed on the basis that the cylindrical fruits specimen became the barrel shape when it was being compressed. The model of the corrected creep compliance of the fruits was developed under considering the developed model of Poisson's ratio. Both of the Poisson's ratio and the corrected creep compliance of the samples showed the nonlinear viscoelastic behavior. Those models were a similar form, but their coefficients of the model were different, and these behaviors of the samples were well described by the nonlinear model as a function of the initial stress and time. Effects of storage condition and period on the Poisson's ratio of the samples were investigated, and comparisons between the corrected and the uncorrected creep compliance of the samples were made.

주요 용어(Key Words) : 포와송비(Poisson's ratio), 크리이프 컴프라이언스(Creep compliance), 補正係數(Corrected Factor), 非線型 粘彈性 模型(Nonlinear Viscoelastic Model), 果實(Fruit)

1. 緒論

農産物의 포와송비(Poisson's ratio)는 外力에 대한 형상(shape)과 치수(dimension)의 변화에 대한 가장 기본적인 特性으로, 收穫後 農産物의 여러 처리과정중 다양한 형태의 외력에 대한 應力解析이나 다른 物理的 特性들을 파악하는 데 매우 중요한 物理量중의 하나이다.

포와송비는 外力에 대한 길이방향과 가로방향으로의 變形率의 比로서 정의되며, 農産物의 포

와송비의 測定방법에는 直接測定하는 방법과 비교적 測定하기 쉬운 彈性係數나 體積彈性係數를 측정 한 후 이로부터 계산하는 間接測定方法이 있다.

Finney 등(1964), Finney와 Hall(1967), Morrow와 Mohsenin(1966), White와 Mohsenin(1967), Kojima와 Ishibashi(1970,1974), Hughes와 Segarind(1972), Clevenger와 Hamann(1968)은 農産物의 포와송비를 일정한 상수값으로 보고 하였으며, Chappell과 Hamann(1968), Baer-

* 밀양산업대학교 농업기계학과

** 충남대학교 농업기계공학과

demaeker와 Segerlind(1976), Gyasi등(1981), Anazodo와 Chikwendu(1983)는 포와송비를 외력이 작용하는 시간에 따라 변하는 것으로 보고하였다.

Baerdemaker와 Segerlind등(1976)은 사과果肉으로부터 圓筒型 試片을 채취하여 壓縮實驗에서 얻은 弛緩彈性係數 및 體積彈性係數로부터 포와송비를 계산하였는 바, 포와송비는 시간에 따라 급격히 감소하다 차츰 그 감소율이 둔화되는 경향을 나타내었다고 하였다. 이들은 사과果肉의 포와송비를 0.321~0.285 범위로 보고하였다.

Chappell과 Hamann(1968)도 사과果肉을 대상으로 初期應力 67.6~165.2kPa 범위에서 4수준의 死荷重에 대하여 각 수준별로 시간에 따른 포와송비를 直接測定한 결과, 포와송비는 시간에 따라 감소하였으며, 특히 荷重載荷 후 50초 이내에 현저히 감소하였다고 하였다. 이들은 初期應力과 時間을 因子로 하는 포와송비의 模型을 제시하였다. 그러나 Gyasi등(1981)은 감귤의 果肉과 果皮를 대상으로 이들의 弛緩彈性係數와 體積彈性係數를 測定하여, 이로부터 포와송비를 계산하였는데, 포와송비는 시간에 따라 다소 증가하는 경향이였으며, 특히 荷重載荷 후 초기에 급격히 증가하였다고 하였다. 그는 힘-變形 曲線이 線型일 경우는 포와송비를 일정한 상수 값으로 보아도 되지만, 粘彈性 物체에서는 대부분 S자 형(sigmoid type)을 나타내므로 시간의 함수로 보아야 한다고 하였다.

Kojima와 Ishibashi(1970, 1974)는 고구마, 감자 및 당근등으로부터 圓筒型 試片을 만들어 일정한 荷重載荷速度로 壓縮할 때 그 體積變化量을 測定하여 이로부터 포와송비를 계산하였다.

Clevenger와 Hamann(1968)은 사과皮에 대하여 荷重載荷速度 5.33 및 21.34mm/min로 引張力을 가할 때, 힘의 방향과 수평 및 수직방향으로의 變形量을 마이크로 프로젝터를 이용 50배로 확대하여 포와송비를 直接測定하였던 바, 포와송비는 測定時間에는 관계가 없었으며, 대략 0.31~0.47 범위에 있었다고 하였다.

Hammerle와 McClure(1971)는 고구마의 圓

筒型 試片에 대하여 0.254mm/min의 荷重載荷速度로 試片을 壓縮할 때 試片의 中間부위가 블록하게 팽창(barrel)되는 면적을 포토마이크로메타로 測定하여 포와송비를 계산하였는 바, 포와송비는 初期變形率에 따라 증가하였으며, 含水率이 높을수록 포와송비도 크고 時間에 따른 포와송비의 증가속도도 크다고 하였다. 이들은 含水率과 時間이 포와송비에 미치는 영향을 分析하기 위하여 時間-含水率 變動係數(time-moisture shift factor)를 적용하였다.

본 연구는 果實의 圓筒型 試片에 대하여 해석적인 방법으로 포와송비의 추정모형을 개발하고, 또한 이 모형으로부터 크리이프 컴프라이언스의 보정모형을 개발하려고 한다. 그리고 이 모형들을 果實의 크리이프 實驗結果에 적용하여 과실의 포와송비와 보정된 크리이프 컴프라이언스를 추정하며, 과실의 저장조건 및 저장기간이 포와송비에 미치는 영향과 과실의 크리이프 컴프라이언스를 비교분석하는데 그 목적이 있다.

2. 理論的 考察

가. 포와송비의 模型

그림 1에서 보는 바와같이 圓筒型 試片을 두 平板 사이에서 壓縮할 때, 平板과 接觸하는 試片의 양 끝 부분에 摩擦이 존재하고, 또한 Z-Z 방향의 中間부위에서 길이 방향과 45°되는 방향으로 최대의 剪斷應力이 작용하기 때문에 試片은 증배부른 형상(barrel shape)으로 변하게 된다(Hammerle와 McClure(1971), Sitkei(1986)). 따라서 실제로 試片의 가로방향 變形率은 증배부른 부분의 斷面積의 변화를 고려한 變形率이어야 한다.

試片의 斷面積 변화를 고려한 포와송비는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mu(\sigma_0, t) = \frac{\epsilon_{D_r}(\sigma_0, t)}{\epsilon_L(\sigma_0, t)} = \frac{\Delta D_r(\sigma_0, t)/D_0}{\Delta L(\sigma_0, t)/L_0} \dots (1)$$

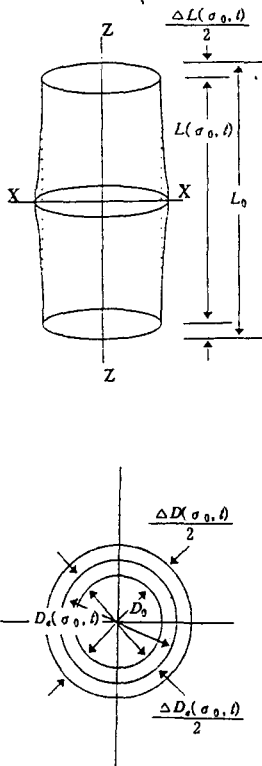


Fig. 1. Cross-sectional variation of cylindrical specimen in axial compression.

여기서,

$\mu(\sigma_0, t)$ = 初期應力과 시간에 따른 포와송 비, 무차원

$\epsilon_{De}(\sigma_0, t)$ = 중배부른 부분의 斷面積을 고려한 橫變形率, mm/mm

$\epsilon_L(\sigma_0, t)$ = 荷重을 가하는 방향으로의 變形率, mm/mm

$\Delta D_e(\sigma_0, t)$ = 중배부른 원추형 試片과 같은 體積의 원주직경과 원래 試片 직경과의 차

L_0 = 試片의 원래길이, mm

D_0 = 試片의 원래직경, mm

$\Delta L(\sigma_0, t)$ = 임의의 시간에 試片이 줄어든 길이, mm

그림 1에서 靜荷重에 의한 應力 σ^0 의 載荷 후 임의의 시간 t에서 중배부른 곳의 斷面積은 다

음과 같이 계산된다.

$$A(\sigma_0, t) = \frac{\pi}{4} [D_0 + \Delta D(\sigma_0, t)]^2 \dots\dots\dots (2)$$

또한 壓縮應力이 작용한 경우, 試片의 원래 斷面積에 대한 변화된 斷面積의 비는 試片의 줄어든 길이에 대한 원래의 길이와 같다고 가정하면, 임의의 시간에 試片의 斷面積은 다음과 같은 식 (3)으로 표시될 수 있다.

$$A(\sigma_0, t) = \frac{A_0 L_0}{L_0 - \Delta L(\sigma_0, t)} \dots\dots\dots (3)$$

試片의 늘어난 직경 $\Delta D(\sigma_0, t)$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \Delta D(\sigma_0, t) &= D_0 \left[\sqrt{\frac{L_0}{L_0 - \Delta L(\sigma_0, t)}} - 1 \right] \\ &= D_0 \left[(1 - \epsilon_L(\sigma_0, t))^{-\frac{1}{2}} - 1 \right] \dots (4) \end{aligned}$$

중배부른 부분의 Z-Z 방향의 斷面形狀을 삼각형으로 가정하면, 그 때의 試片의 等價直徑의 차이 $\Delta D_e(\sigma_0, t)$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \times L(\sigma_0, t) \times \frac{\Delta D(\sigma_0, t)}{2} &= L(\sigma_0, t) \times \frac{\Delta D_e(\sigma_0, t)}{2} \\ \therefore \Delta D_e(\sigma_0, t) &= \frac{\Delta D(\sigma_0, t)}{2} \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

따라서 이 경우의 試片의 포와송 비는 식 (4) 및 식 (5)를 식 (1)에 대입하고 정리하면 다음식 (6)과 같은 포와송 비의 模型을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \mu(\sigma_0, t) &= \frac{\Delta D_e(\sigma_0, t)/D_0}{\Delta L(\sigma_0, t)/L_0} \\ &= \frac{[1 - \epsilon_L(\sigma_0, t)]^{-\frac{1}{2}} - 1}{2\epsilon_L(\sigma_0, t)} \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

나. 補正된 크리이프 컴프라이언스 模型

試片에 일정한 크기의 靜荷重이 작용하였을 때 그 荷重에 대한 試片의 斷面積은 증가 혹은 감소하게 된다. 따라서 農産物이 外力을 받았을 때 이러한 斷面積의 변화를 고려한 粘彈性 舉動에 대한 解析은 보다 더 實際現상에 가까워질 것이다. (Peleg(1984, 1985), Purkayastha와 Pe-

leg(1986),朴(1993))

정의에 의하면 試片 斷面積의 變化를 고려하지 않은 크리이프 컴프라이언스(uncorrected creep compliance)는 식 (7)과 같이 표시된다. (Mohsenin(1980), Sitkei(1986))

$$J(\sigma_0, t) = \frac{\varepsilon_L(\sigma_0, t)}{\sigma_0} = \frac{A_0 \Delta L(\sigma_0, t)}{F_0 L_0} \dots\dots (7)$$

여기서,

$J(\sigma_0, t)$ = 補正하지 않은 크리이프 컴프라이언스, mm/mm per MPa

$\varepsilon_L(\sigma_0, t)$ = 荷重을 가하는 방향으로의 變形率, mm/mm

σ_0 = 初期應力, MPa

A_0 = 試片의 원래 斷面積, m²

F_0 = 試片에 가한 荷重, N

또한, 斷面積의 變化를 고려한 補正된 크리이프 컴프라이언스(corrected creep compliance)는 식 (3)에서와 같은 가정하에서 다음과 같이 표현된다.

$$J_c(\sigma_0, t) = \frac{\varepsilon_L(\sigma_0, t)}{\sigma_0(t)} = \frac{A_0 \Delta L(\sigma_0, t)}{F_0 L_0} \cdot \frac{L_0}{L_0 - \Delta L(\sigma_0, t)} = J(\sigma_0, t) \cdot C_f \dots\dots (8)$$

여기서, C_f = 補正係數(corrected factor),

$$\left[\frac{L_0}{L_0 - \Delta L(\sigma_0, t)} \right]$$

그림 1에서 t시간 후의 X-X단면의 斷面積을 포와송비를 고려하여 표시하면 다음의 식 (9)와 같다.

$$A_c(\sigma_0, t) = \frac{\pi}{4} [D_0 + \Delta D_c(\sigma_0, t)]^2 = \frac{\pi}{4} D_0^2 [1 + \mu(\sigma_0, t) \varepsilon_L(\sigma_0, t)]^2 \dots\dots (9)$$

따라서 포와송비를 고려한 試片의 크리이프 컴프라이언스는 다음과 같은 식 (10)으로 유도된다.

$$J_c(\sigma_0, t) = \frac{\varepsilon_L(\sigma_0, t)}{\sigma_0(t)} = \frac{A_c(\sigma_0, t) \varepsilon_L(\sigma_0, t)}{F_0}$$

$$= \frac{A_0 \Delta L(\sigma_0, t)}{F_0 L_0} [1 + \mu(\sigma_0, t) \varepsilon_L(\sigma_0, t)]^2 = J(\sigma_0, t) \cdot C_D \dots\dots\dots (10)$$

여기서, C_D = 포와송비를 고려한 補正係數, $[1 + \mu(\sigma_0, t) \varepsilon_L(\sigma_0, t)]^2$

3. 結果 및 考察

가. 과실의 포와송비

앞에서 해석적인 방법에 의해 유도된 果實의 포와송비 推定模型인 식 (6)을 Kim과 Park(1993)의 果實의 크리이프 實驗結果에 적용하여본 결과, 果實의 포와송비는 時間에 따라 그 변화 범위는 작지만 증가하였으며, 또한 初期應力에도 영향을 받는 것으로 나타났다. 추정된 포와송비의 값을 분석한 결과 포와송비는 시간뿐 만 아니라 初期應力の 함수로 보는것이 합리적일 것으로 思料되어, 初期應力 및 시간을 변수로 하는 식 (11)과 같은 포와송비의 模型을 開發하였다.

供試果實에 대하여 추정된 각 계수의 값들을 표 1에 나타내었으며, 결정계수의 값이 매우 높은것으로 보아 식 (11)이 과실의 포와송비의 모형으로 적합하다고 판단된다.

$$\mu(\sigma, t) = A\sigma^B [C + Dt - \exp(-Ft)] \dots\dots (11)$$

여기서,

$\mu(\sigma, t)$ = 初期應力 및 시간에 따른 포와송비

A, B, C, D, F = 果實의 物性에 따른 상수

나. 初期應力, 貯藏條件 및 貯藏期間에 따른 果實의 포와송비

그림 2에는 初期應力(initial stress, I.S.)과 시간에 따른 사과 및 배의 포와송비를 추정하여 그 결과를 도시하였다. 그림에서 보는 바와같이 果

Table 1. Coefficients of the regression equations of Poisson's ratio for the fruit flesh as a function of time and initial stress

Apple

Storage period, days	Storage conditions	$\mu(\sigma, t) = A\sigma^B[C + Dt - \exp(-Ft)]$					r^2
		A	B	C	D	F	
0	————	0.0014	0.0154	179.2290	0.0028	0.0461	0.9633
10	NT	0.0015	0.0173	169.5160	0.0028	0.0475	0.9633
	LT	0.0016	0.0176	171.5270	0.0028	0.0561	0.9633
20	NT	0.0018	0.0210	154.0330	0.0028	0.0455	0.9633
	LT	0.0016	0.0203	165.2890	0.0028	0.0463	0.9633
30	NT	0.0019	0.0213	141.3830	0.0028	0.0459	0.9633
	LT	0.0017	0.0200	159.2000	0.0028	0.0472	0.9633

Pear

Storage period, days	Storage conditions	$\mu(\sigma, t) = A\sigma^B[C + Dt - \exp(-Ft)]$					r^2
		A	B	C	D	F	
0	————	0.0022	0.0193	122.7570	0.0022	0.0601	0.9633
10	NT	0.0024	0.0193	113.4620	0.0020	0.0611	0.9633
	LT	0.0023	0.0188	117.9710	0.0018	0.0506	0.9633
20	NT	0.0025	0.0195	107.2740	0.0021	0.0598	0.9633
	LT	0.0022	0.0190	123.3080	0.0022	0.0611	0.9633
30	NT	0.0028	0.0209	97.7623	0.0020	0.0614	0.9633
	LT	0.0023	0.0194	117.3280	0.0022	0.0609	0.9633

Note ; — : initial state, NT : normal temperature(15±1°C, rh 45±5%), LT : low temperature(3±1°C, rh 85±5%)

實의 포와송 비는 시간 및 初期應力에 따라서 증가하는 것으로 나타났다.

果實의 포와송 비가 시간에 따라 증가하는 현상은 일정한 靜荷重에 대하여 試片의 길이방향으로 壓縮되는 率에 비하여 가로방향으로의 膨脹되는 率이 크기 때문인 것으로 판단된다. 또한 배의 포와송 비가 사과에 비하여 컷으며, 시간에 따른 그 변화범위도 큰 것으로 나타났다.

그림 3과 4에는 果實의 貯藏條件 및 貯藏期間(storage period, S.P.)별로 추정된 포와송 비를 나타내었다. 貯藏溫度가 높을수록 또는 貯藏期間이 길수록 果實의 포와송 비는 증가하였으며, 그 증가속도도 또한 큰 것으로 나타났다.

荷重載荷 후 순간적인 포와송 비도 貯藏期間이 증가할 수록, 貯藏溫度가 높을수록 더 크게 나타났다.

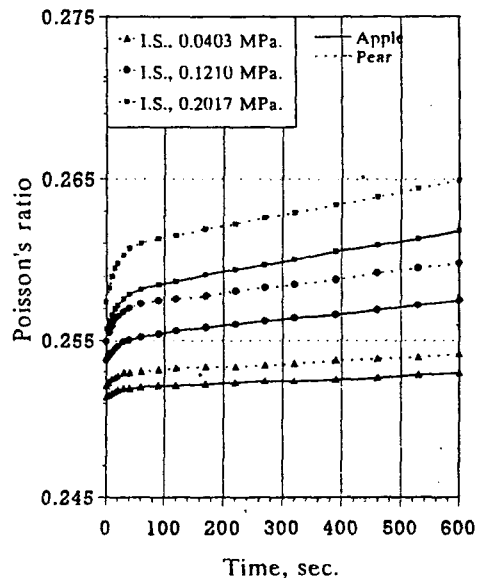


Fig. 2. Effect of the initial stress on the Poisson's ratio of the fruit flesh.

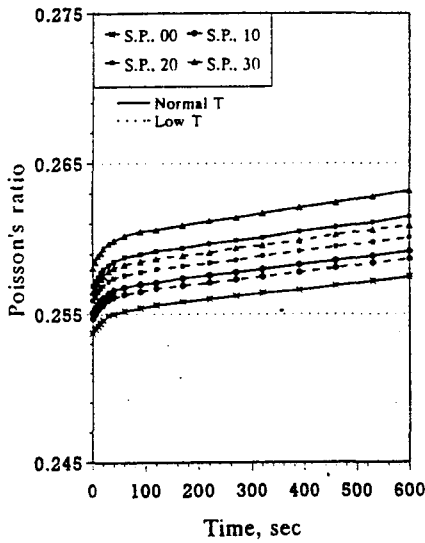


Fig. 3. Effect of the storage condition and the storage period on the Poisson's ratio of the apple flesh at initial stress of 0.1210 MPa.

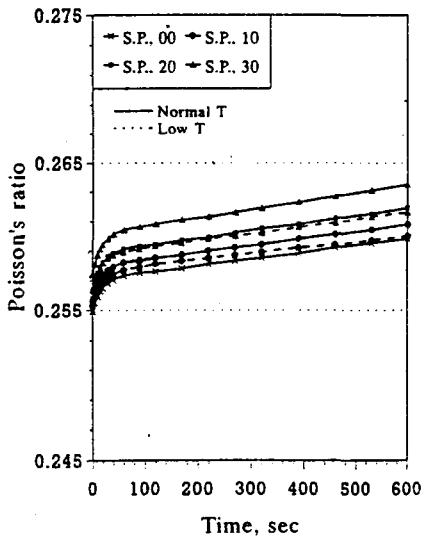


Fig. 4. Effect of the storage condition and the storage period on the Poisson's ratio of the pear flesh at initial stress of 0.1210 MPa.

다. 果實의 크리이프 컴프라이언스의 비교

그림 5는 본 연구에서 추정한 果實의 포와송비를 이용하여 果實의 크리이프 컴프라이언스를

補正하였을때와 補正하지 않았을때를 비교한 것이다.

포와송비를 고려한 補正된 크리이프 컴프라이언스가 補正하지 않은 크리이프 컴프라이언스에 비하여 약간 크게 나타났으며, 보정된 크리이프 컴프라이언스를 두 果實에 대하여 비교할 경우, 배의 크리이프 컴프라이언스가 사과와 크리이프 컴프라이언스 보다 훨씬 크게 나타났다.

果實의 포와송비를 고려하여 보정된 크리이프 컴프라이언스가 農産物의 실제 舉動에 접근 할 것이므로, 표 2에는 果實의 포와송비를 고려한 補正된 크리이프 컴프라이언스를 非線型 粘彈性 模型으로 回歸分析한 결과를 나타내었다.

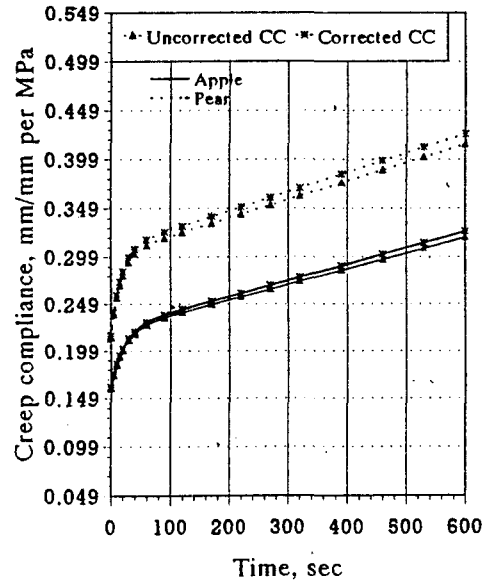


Fig. 5. Comparison of corrected and uncorrected creep compliance for fruit flesh at the initial stress of 0.1210MPa.

4. 結論

원통형 試片에 대하여 해석적인 방법으로 포와송비의 推定模型과 또한 이를 이용한 크리이프 컴프라이언스의 補正模型을 개발하였으며, 이들을 果實의 크리이프 實驗結果에 적용하여 果實의 貯藏條件 및 貯藏期間이 포와송비에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 果實의 크리이프

Table 2. Coefficients of the regression equations of corrected creep compliance by Poisson's ratio according to the storage period and conditions

Apple

Storage period, days	Storage conditions	$J_c(\sigma, t) = A\sigma^B[C + Dt - \exp(-Ft)]$					r^2
		A	B	C	D	F	
0	————	0.0472	-0.1323	3.5830	0.0027	0.0458	0.9633
10	NT	0.0395	-0.2538	3.2948	0.0027	0.0460	0.9633
	LT	0.0448	-0.1778	4.1318	0.0027	0.0457	0.9633
20	NT	0.0397	-0.2989	5.0158	0.0027	0.0462	0.9633
	LT	0.0444	-0.2080	4.7173	0.0027	0.0462	0.9633
30	NT	0.0426	-0.4080	4.4434	0.0027	0.0462	0.9633
	LT	0.0385	-0.2953	4.9365	0.0027	0.0464	0.9633

Pear

Storage period, days	Storage conditions	$J_c(\sigma, t) = A\sigma^B[C + Dt - \exp(-Ft)]$					r^2
		A	B	C	D	F	
0	————	0.0593	-0.2067	3.3569	0.0021	0.0606	0.9633
10	NT	0.0527	-0.3008	3.4786	0.0020	0.0600	0.9633
	LT	0.0539	-0.2728	3.4461	0.0018	0.0515	0.9633
20	NT	0.0489	-0.3714	3.5844	0.0020	0.0596	0.9633
	LT	0.0479	-0.3194	3.6850	0.0021	0.0607	0.9633
30	NT	0.0484	-0.4181	3.7584	0.0020	0.0595	0.9633
	LT	0.0453	-0.3647	3.8654	0.0021	0.0607	0.9633

Note ; — : initial state, NT : normal temperature(15±1℃, rh 45±5%), LT : low temperature(3±1℃, rh 85±5%)

컴프라이언스를 보정된 것과 보정되지 않은 것을 비교분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 본 研究에서 開發된 포와송比의 模型으로부터 果實의 포와송比의 추정이 가능하였으며, 供試果實의 포와송比는 荷重載荷 후 600초 이내에서 그 변화의 범위가 크지 않았으나 대체로 시간에 따라 증가하는 것으로 나타났다.

2) 貯藏期間이 길어질 수록 또는 貯藏溫度가 높을 수록 供試果實의 포와송比는 증가하였으며, 사과 보다는 배의 포와송比가 더 크게 나타났다.

3) 보정된 크리이프 컴프라이언스는 보정되지 않은 크리이프 컴프라이언스 보다 供試果實 모두에서 약간 크게 나타났으며, 배의 크리이프 컴프라이언스는 사과의 크리이프 컴프라이언스 보다 상당히 큰것으로 나타났다.

4) 果實의 포와송比 및 보정된 크리이프 컴프라이언스 模型들은 應力의 작용시간 뿐만 아니라 작용한 初期應力에도 영향을 받는 것으로 분석되었으며, 이들은 다음과 같은 非線型 模型으로 잘 표현될 수 있었다.

$$J(\sigma, t) \text{ or } \mu(\sigma, t) = A\sigma^B[C + Ot - \exp(-Ft)]$$

參 考 文 獻

1. 朴鍾民. 1993. 果實의 粘彈性 특성과 그 응용. 충남대 박사학위논문
2. Anazodo, U. G. N. and S. C. Chikwendu. 1983. Poisson's ratio and elastic modulus of radially compressed biomaterials— I : small deformation approximation. *Trans. of the ASAE* 26(3) : 923—929.
3. Baerdemaeker, J. G. D. and L. J. Segerlind. 1976. Determination of the viscoelastic properties of apple flesh. *Trans. of the ASAE* 17 (2) : 346—348, 353.
4. Chappell, T. W. and D. D. Hamann. 1968. Poisson's ratio and Young modulus for apple flush under compressive loading. *Trans. of the ASAE* 15(6) : 608—610.
5. Clevenger, J. T. and D. D. Hamann. 1968. The behavior of apple skin under tensile loading. *Trans. of the ASAE* 11(1) : 34—37.
6. Findley, W. N., J. S. Lai, and K. Onaran. 1976. Creep and relaxation of nonlinear viscoelastic materials. North—Holland publishing company. N. Y.
7. Finney, E. E., C. W. Hall, and G. E. Mase. 1964. Theory of linear viscoelasticity applied to the potato. *J. of Agri. Engg. Res.* 9(4) : 307—312.
8. Finney, E. E. and C. W. Hall. 1967. Elastic properties of potatoes. *Trans. of the ASAE* 10(1) : 4—8.
9. Gyasi, S., R. B. Fridley and P. Chen. 1981. Elastic and viscoelastic Poisson's ratio determination for selected citrus fruits. *Trans. of the ASAE* 24(3) : 747—750.
10. Hammerle, J. R. and W. F. McClure. 1971. The determination of Poisson's ratio by compression tests of cylindrical specimens. *J. of Texture Studies* 31 : 487—492.
11. Hughes, H. and L. J. Segerlind. 1972. A rapid mechanical method for determining Poisson's ratio in biological materials. *ASAE Paper* 71—310.
12. Kim, M. S. and J. M. Park. 1993. Compressive creep behavior of fruits. *ICAMPE '93* Oct. 19—22, pp : 1329—1339.
13. Kojima, T. and S. Ishibashi. 1970. Studies on mechanical properties of agricultural products (Part III)—on strength change of apples, pears and peaches after harvest. *J. of JSAM* 32(2) : 145—149.
14. Kojima, T. and S. Ishibashi. 1974. Studies on mechanical properties of agricultural products (Part IV)—Poisson's ratio of biological products and a tentative measurement method. *J. of JSAM* 36(2) : 298—302.
15. Mohsenin, N. N. 1980. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach science publishers, N. Y.
16. Morrow, C. T. and N. N. Mohsenin. 1966. Consideration of selected agricultural products as viscoelastic materials. *J. of Food Sciences* 31(5) : 686—698.
17. Peleg, K. 1983. A rheological model of nonlinear viscoelastic solid. *J. of Rheology* 27 (5) : 411—431.
18. Peleg, M. 1984. A note on the various strain measures at large compressive formations. *J. of Texture Studies* 15(4) : 317—326.
19. Peleg, M. 1985. Comparison between various correction factors in the calculation of the creep compliance. *J. of Texture Studies* 16(2) : 119—127.
20. Purkayastha, S. and M. Peleg. 1986. Comparison between projected mechanical equilibrium conditions of selected food materials in stress relaxation and creep. *J. of Texture Studies* 17(4) : 433—444.
21. Sitkei, Gy. 1986. Mechanics of agricultural materials. Elsevier Science Publishers. : 114—283.
22. White, R. K. and N. N. Mohsenin. 1967. Apparatus for determination of bulk modulus and compressibility of materials. *Trans. of the ASAE* 10(4) : 670—671.