

힘 모멘트에 대한 오이의 應力弛緩 特性

Stress Relaxation Properties of Cucumber under Bending Moment

宋天鎬* 金滿秀** 朴鍾民**
C. H. Song M. S. Kim J. M. Park

Summary

Stress relaxation behaviors of the cucumber under bending moment were tested with UTM at three levels of loading rate and initial deflection ratio. Sample cucumber was selected from three cultivars of cucumber, Cheongjangmadi, Baekdadagi, and Gyeousalicheongjang, because these cultivars are the most popular grown cultivars in Korea. When the bending moment was applied to the cucumber sample, the effective span between simple supports was held a constant value of 116mm with consideration of the selected sample length.

The objectives of this study were to develop the rheological models such as linear and nonlinear models of the stress relaxation for the cucumber samples, and to investigate the effects of loading rate and initial deflection ratio on the stress relaxation behavior of the cucumber.

The results of this study may be summarized as follows :

1. Stress relaxation behavior of the cucumber could be well described by the generalized Maxwell model for each level of deflection ratio. But the stress relaxation behavior of the sample was found to be initial deflection ratio and time dependent, and it was represented the nonlinear viscoelastic model as a function of initial deflection ratio and time.
2. Stress relaxation behavior of the cucumber samples was very highly affected by the loading rate and the initial deflection ratio. The more loading rate and initial deflection ratio resulted in the more initial bending stress and after stress relaxation progressed more rapidly.
3. At the same test conditions, it was found that the stress relaxation rate of Cheongjangmadi was faster than that of other cultivars.

1. 緒 論

오이는 資本, 勞動 및 土地生産性이 높고 生育 期間이 짧아 收益性이 높은 果菜類로서 최근 施設하우스의 보급 확대와 재배기술의 향상으로

그 생산량이 급증하고 있다.²²⁾

농산물의 收穫 및 여러 처리과정에서 받는 外力의 형태는 대상 농산물의 形狀과 매우 밀접한 관계가 있으며, 오이는 形狀이 길쭉하기 때문에 運搬 및 處理過程에서 주로 軋荷重을 받게 된다.

* 農村振興廳 園藝試驗場

** 忠南大學校 農業機械工學科

오이의 粘彈性 舉動과 관련된 국내외의 研究 結果는 매우 빈약한 편이며, 길쭉한 形狀의 농산 物의 力學의 特性을 究明하는 데는 주로 휨 實驗 方法이 이용되고 있다.^{1, 2, 4-6, 9, 10, 12-15, 17, 18, 21)}

Prince¹⁴⁾, Curtis와 Hendrick³⁾는 牧草줄기, Gowin과 Hamman⁶⁾, Moustafa¹²⁾ 등은 밀 줄기, Balastreire와 Herum⁴⁾, Anazodo²⁾는 옥수수 속, Suggs와 Splinter¹⁷⁾는 담배줄기, Morita와 Taya¹⁰⁾는 벼줄기 그리고 Moini等⁹⁾은 소나무를 상대로 휨 實驗方法을 통한 각자의 대상 作物의 力學의 特性을 究明한 바 있다. 이들은 대상 作物에 휨 荷重을 가하는 方法으로 3점 荷重載荷方法^{2, 4, 5, 9, 10)}과 혹은 외팔보型 荷重載荷方法^{5, 6, 14, 17)}을 이용하였는데, 이들 대부분은 3점 荷重載荷方法이 농산物의 휨 實驗 方法에는 더 적합하다고 하였다.

따라서 본 研究에서는 收穫直 後의 오이 3 品種에 대하여 應力弛緩舉動을 3점 荷重載荷方法으로 究明하여, 이를 模型化하고 荷重載荷速度 및 初期처짐율이 오이의 應力弛緩特性에 미치는 影響을 分析하려고 한다.

2. 휨 모멘트에 대한 粘彈性 物體의 처짐 理論

오이의 形狀은 길쭉하고 그 斷面積은 위치에 따라 일정하지 않다. 이러한 形狀을 하고 있는 오이에 대하여 휨 荷重을 작용시켜 오이의 휨 應力 및 처짐량을 分析하기 위해서는 다음의 가정이 필요하다.²¹⁾ 즉, 오이의 斷面은 껍질(bark), 속살 및 연한고갱이(soft pith) 部分으로 이루어진 非均質이나 分析의 편의를 위하여 오이의 全斷面은 均質한 것으로 보며, 오이는 길이방향으로 傾斜(linear tapered)져 있고, 수평중심축에 대하여 상하대칭이다. 그리고 휨 荷重을 작용시키기 위하여 오이를 單純 支持보(simple supported beam)로 보고 오이 중앙점에 集中荷重만 작용하며, 오이의 자중으로 인한 처짐은 무시한다.

위의 가정 하에서 그림 1의 b점에 集中荷重 F

가 작용하고 있을때, a 및 c점으로 부터 각각 x와 u 거리에서의 처짐의 式은 다음과 같다.

$$EI(x) \frac{d^2y}{dx^2} = -M(x) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$EI(u) \frac{d^2y}{du^2} = +M(u)$$

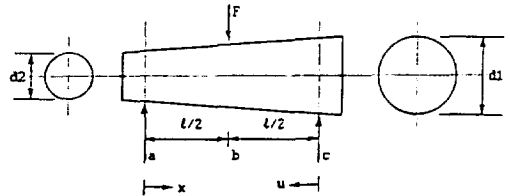


Fig. 1. Uniformly tapered beam used for analysis of simple bending of the sample.

그리고 이 점에서의 굽힘모멘트와 面積 2차 모멘트는 다음과 같다.

$$M(x) = \frac{-F}{2} x \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$M(u) = \frac{+F}{2} u \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$I(x) = \frac{\pi}{64} \left[d_1 - \frac{(d_1 - d_2)}{\ell} x \right] \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$I(u) = \frac{\pi}{64} \left[d_2 + \frac{(d_1 - d_2)}{\ell} u \right] \quad \dots\dots\dots (5)$$

式 (2)~式 (5)를 式 (1)에 대입하여 각각을 정리하면 다음과 같은 2개의 2계 微分方程式을 얻을 수 있다.

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{-M(x)}{EI(x)} = \frac{32F}{\pi E} \cdot \frac{x}{\left[d_1 - \frac{(d_1 - d_2)}{\ell} x \right]^4} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\frac{d^2y}{du^2} = \frac{M(u)}{EI(u)} = \frac{32F}{\pi E} \cdot \frac{u}{\left[d_2 + \frac{(d_1 - d_2)}{\ell} u \right]^4} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式 (6) 및 (7)을 간단히 하기 위하여 이들 방정식의 마지막 項을 移項展開(binomial series expansion)하면 각각 式 (8)과 式 (9)로 된다.

$$\frac{x}{\left[d_1 - \frac{(d_1 - d_2)}{\ell} x\right]^4} = \frac{x}{(A - Bx)^4} = xA^{-4} \left[1 - \frac{B}{A}x\right]^{-4}$$

$$= xA^{-4} \left[1 + 4\left[\frac{B}{A}x\right] + \frac{4(4+1)}{2!} \left[\frac{B}{A}x\right]^2 + \frac{4(4+1)(4+2)}{3!} \left[\frac{B}{A}x\right]^3\right] \dots\dots\dots (8)$$

여기서, $A = d_1$
 $B = \frac{d_1 - d_2}{\ell}$

$$\frac{u}{\left[d_2 + \frac{(d_1 - d_2)}{\ell} u\right]^4} = \frac{u}{(C + Bu)^4} = uC^{-4} \left[1 + \frac{B}{C}u\right]^{-4}$$

$$= uC^{-4} \left[1 - 4\left[\frac{B}{C}u\right] + \frac{4(4+1)}{2!} \left[\frac{B}{C}u\right]^2 - \frac{4(4+1)(4+2)}{3!} \left[\frac{B}{C}u\right]^3\right] \dots\dots\dots (9)$$

여기서, $C = d_2$

따라서 임의의 점 x에서의 처짐량 y는 식 (8) 및 (9)를 식 (6)과, (7)에 각각 대입하고 두번 적분하여 얻을 수 있다.

$$y = \frac{F}{\pi E} \left[\frac{2\ell^3}{3C^4} - \frac{B\ell^4}{C^5} + \frac{B^2\ell^5}{C^6} - \frac{5B^3\ell^6}{6C^7} + \frac{2\ell^3}{3A^4} + \frac{B\ell^4}{A^5} + \frac{5B^3\ell^6}{6A^7} \right] \dots\dots\dots (10)$$

여기서 적분상수를 결정하기 위하여 적용한 境界條件 및 初期條件은 다음과 같다.

境界條件 : $x = u = \frac{\ell}{2}$ 에서 $\frac{dy}{dx} = -\frac{dy}{du}$,
 $y_{x=0} = 0, y_{u=0} = 0$

初期條件 : $x = u = 0$ 에서 $y_{x=0} = 0, y_{u=0} = 0$

만약, 오이의 斷面이 일정하다면, 즉 $A = C = d$, $B = 0$ 가 되므로, 식 (10)은 결국 다음과 같이 간단한 식으로 된다.

$$y = \frac{4F\ell^3}{3\pi d^4 E} = \frac{F\ell^3}{48 EI} \dots\dots\dots (11)$$

식 (10)을 材料의 彈性係數 E에 관하여 정리하면 다음과 같다.

$$E = \frac{-F}{\pi y} \left[\frac{2\ell^3}{3C^4} - \frac{B\ell^4}{C^5} + \frac{B^2\ell^5}{C^6} - \frac{5B^3\ell^6}{6C^7} + \frac{2\ell^3}{3A^4} + \frac{B\ell^4}{A^5} + \frac{5B^3\ell^6}{6A^7} \right] \dots\dots\dots (12)$$

式 (12)로 부터 오이와 같은 粘彈性 物體의 時間變化에 따른 彈性係數, 즉 弛緩彈性係數를 計算하기 위해서는 彈性係數와 荷重을 각각 時間의 函數인 E(t) 및 F(t)로 바꾸어 주어야 한다.

$$E(t) = \frac{F(t)}{\pi y} \left[\frac{2\ell^3}{3C^4} - \frac{B\ell^4}{C^5} + \frac{B^2\ell^5}{C^6} - \frac{5B^3\ell^6}{6C^7} + \frac{2\ell^3}{3A^4} + \frac{B\ell^4}{A^5} + \frac{5B^3\ell^6}{6A^7} \right] \dots\dots\dots (13)$$

즉, 오이에 대하여 일정 처짐량 \bar{y} 에 대한 荷重 弛緩實驗의 결과인 荷重-時間의 資料와 式 (13)을 이용하여 오이의 弛緩彈性係數 E(t)를 구할 수 있으며, 弛緩彈性係數 E(t)에 오이의 荷重 처짐을 곱하여 주므로써 荷重에 대한 式을 유도해 낼 수 있다.

$$\sigma(t) = E(t) \cdot \frac{\bar{y}}{\ell}$$

$$= \frac{F(t)}{\pi} \left[\frac{2\ell^2}{3C^4} - \frac{B\ell^3}{C^5} + \frac{B^2\ell^5}{C^6} - \frac{5B^3\ell^5}{6C^7} + \frac{2\ell^2}{3A^4} + \frac{B\ell^3}{A^5} + \frac{5B^3\ell^5}{6A^7} \right] \dots\dots\dots (14)$$

3. 材料 및 方法

가. 實驗材料

본 研究에 사용된 供試材料는 우리나라의 대표적인 오이 3品種으로서 수확 당시의 주요 物理的 特性은 荷重을 받는 오이의 力學的 特性에 관한 研究²¹⁾에서와 같다.

나. 實驗裝置 및 方法

오이가 받는 荷重과 처짐량을 時間에 따라 연속적으로 測定하기 위한 測定 및 資料蒐集裝置와 각종 計測器의 주요 사양은 이전의 研究²¹⁾에서와 같으며, 그림 2는 應力弛緩의 실험장치를 나타낸 것이다.

오이에 荷重을 가하는 道具와 지지대 봉의 직경을 12.5mm로 하였고, 試片과 지지대 사이의 거리는 여러 오이品種의 크기를 고려하여 일률

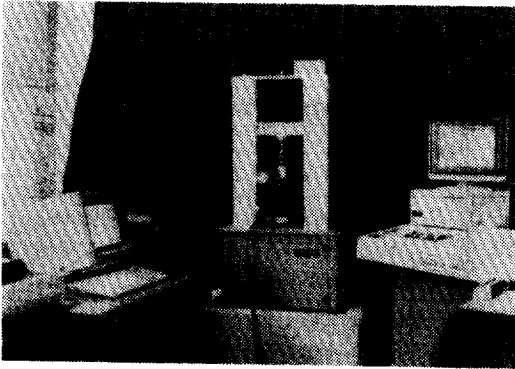


Fig. 2. The experimental equipment for stress relaxation test.

적으로 116mm로 하였다.

應力弛緩 실험시 荷重載荷速度는 20, 60 및 100mm/min의 3 수준이었고, 초기처짐율은 본 研究의 實驗材料인 모든 오이에 일률적으로 적용하기 위하여 이전의 研究結果²¹⁾를 토대로 가장 작은 極限 처짐율을 나타낸 청장마디 오이의 0.2055~0.2454mm/mm 값의 약 20%, 40% 및 60%에 해당되는 0.0431, 0.0863 및 0.1296mm/mm의 3 수준으로 결정하였다.

다. 計測시스템의 測度設定

應力弛緩의 實驗裝置에서는 荷重變換器에 入力荷重을 1~24kg 범위에서 불규칙하게 12 수준을 累加的으로 가하여 그때 시스템을 통하여 발생되는 電壓(mV)값을 조사하였으며, 또한 線型變位計를 測度設定하기 위해서는 萬能材料試驗機의 crosshead를 0~40mm 범위에서 2mm 간격으로 20 수준을 累加的으로 이동하였을때 경사진 블록을 통하여 밀려난 線型變位計로부터 발생되는 電壓을 조사하여 이들을 서로 分析하므로써 測度設定을 하였다.

測度設定한 결과는 아래의 式 (15) 및 (16)과 같다.

$$F = 0.0837 \cdot mV, r^2 = 0.9999 \dots\dots\dots (15)$$

여기서, F = 入力荷重(1≥F≥24)kg,

$$D = 0.1615 \cdot mV, r^2 = 0.9999 \dots\dots\dots (16)$$

여기서, D = 처짐량, mm

4. 結果 및 考察

가. 荷重載荷速度가 應力弛緩 舉動에 미치는 影響

유호스펜 116mm의 휨實驗 裝置에 오이를 올려놓고 오이의 중간부위에 일정한 荷重載荷速度로 일정량을 굽혔을 때, 오이가 받는 荷重을 時間에 따라 연속적으로 測定하여 앞절에서 유도된 式을 통하여 應力の 형태로 바꾼 다음, 이를 一般化 Maxwell 模型과 金等³⁶⁾이 果實에 대한 應力弛緩 實驗 結果에 적용하였던 非線型 粘彈性 模型으로 非線型 回歸分析한 결과를 表 1과

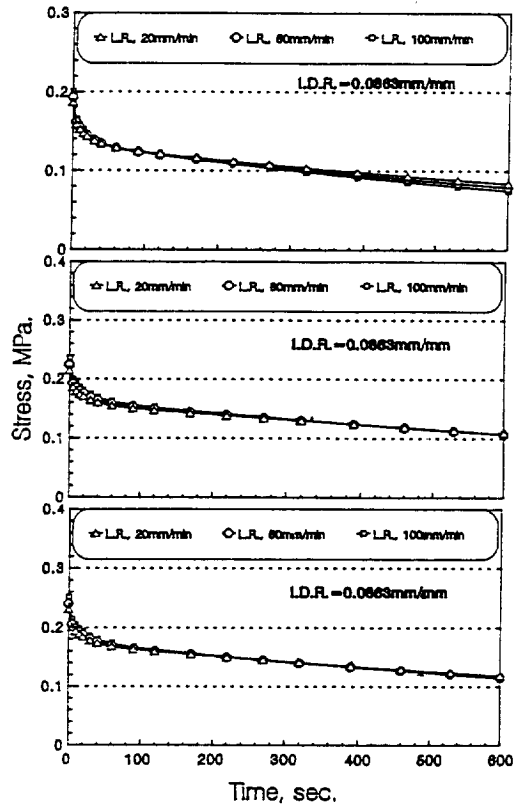


Fig. 2. Effects of the loading rate on the stress relaxation behavior of the cucumber at the initial deflection ratio, 0.0863 mm/mm. (upper : Cheongjangmadi, middle : Baekdadagi, lower : Gyeousalicheongjang)

Table 1. Parameters of the generalized Maxwell model for the cucumber according to the loading rate and initial deflection ratio

Cultivar	L.R. mm/min	I.D.R. mm/mm	$\sigma(t) = \epsilon_0 [E_1 \exp(-t/\tau_1) + E_2 \exp(-t/\tau_2) + E_e]$					r ²
			E ₁ Mpa.	E ₂ Mpa.	τ_1 sec	τ_2 sec	E _e MPa.	
Cheong-jangmadi	20	0.0431	0.6246	0.1065	8.1494	485.5522	0.8635	0.9953
		0.0863	0.5298	0.9020	8.5201	501.8958	0.7140	0.9948
		0.1296	0.4791	0.8192	8.4982	506.4197	0.6406	0.9948
	60	0.0431	0.6327	1.0604	6.4134	336.4156	0.9485	0.9879
		0.0863	0.5871	0.9730	8.4065	478.4054	0.6590	0.9948
		0.1296	0.5317	0.8826	8.4198	480.9721	0.5944	0.9948
	100	0.0431	0.7659	1.3635	12.8941	601.8668	0.5360	0.9823
		0.0863	0.6443	1.0431	8.3943	462.9019	0.6014	0.9949
		0.1296	0.5840	0.9433	8.3653	459.5897	0.5485	0.9949
Baekda-dagi	20	0.0431	0.6716	1.1543	8.6630	511.8736	1.2288	0.9943
		0.0863	0.5409	0.9313	8.5472	511.2082	0.9899	0.9944
		0.1296	0.4773	0.8205	8.6020	512.1946	0.8717	0.9943
	60	0.0431	0.7565	1.2810	8.6122	502.0110	1.1969	0.9943
		0.0863	0.6020	1.0188	8.5932	499.1186	0.9576	0.9944
		0.1296	0.5279	0.8939	8.5871	500.6122	0.8374	0.9943
	100	0.0431	0.8407	1.4009	8.5363	486.9391	1.1752	0.9945
		0.0863	0.6645	1.1086	8.5694	490.6137	0.9246	0.9945
		0.1296	0.5783	0.9631	8.5409	487.2356	0.8087	0.9945
Gyeousali-Cheongjanf	20	0.0431	0.7423	1.3006	8.6470	529.7766	1.3780	0.9945
		0.0863	0.5753	1.0035	8.5824	522.8751	1.0751	0.9944
		0.1296	0.4968	0.8714	8.6503	531.4799	0.9186	0.9948
	60	0.0431	0.8297	1.4230	8.5408	508.8966	1.3270	0.9945
		0.0863	0.6390	1.0937	8.5589	507.4895	1.0251	0.9945
		0.1296	0.5491	0.9405	8.5789	509.2870	0.8785	0.9945
	100	0.0431	0.9206	1.5549	8.5447	496.8171	1.2882	0.9945
		0.0863	0.7034	1.1846	8.5117	493.8729	0.9877	0.9945
		0.1296	0.6011	1.0119	8.5276	494.4721	0.8434	0.9945

Note : L.R.= loading rate, mm/min
I.D.R.= initial deflection ratio, mm/mm

2에 각각 나타내었다.

그림 2에서 보는 바와같이 荷重載荷速度가 증가할 수록 初期蠕應力이 더 많이 載荷되었으며, 應力弛緩되는 量 뿐만 아니라 應力弛緩 速度도 빠른 것으로 나타났다.

또한 荷重載荷速度에 관계없이 供試品種중 청장마디 오이가 다른 두品種의 오이에 비하여 應力弛緩速度가 가장 빠르고, 初期應力에 대한

殘有應力の 비는 가장 작은 것으로 나타났다. 그러나 백다다기 와 겨우살이청장 오이는 거의 같은 경향으로 나타났다.

이와같이 같은 조건하에서 청장마디 오이가 應力弛緩되는 量과 速度가 빠른것은 청장마디 오이가 다른 두品種의 오이에 비하여 眞密度가 가장 작은 것과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다.

Table 2. Coefficients of nonlinear viscoelastic model for stress relaxation of the cucumber according to the loading rate

Cultivar	L.R. mm/min	$\sigma(\epsilon, t) = \epsilon^A [B \exp(-Ct) + D \exp(-Ft) + G \exp(-Ht)]$							r^2
		A	B	C	D	F	G	H	
Cheongjang-madi	20	0.7519	0.1365	0.6971	0.2074	0.0465	0.8374	0.0008	0.9998
	60	0.7551	0.1521	0.7024	0.2314	0.0471	0.8480	0.0009	0.9997
	100	0.7586	0.1679	0.7079	0.2558	0.0476	0.8597	0.0010	0.9997
Baekdadagi	20	0.6886	0.1223	0.6675	0.1823	0.0439	0.8548	0.0006	0.9999
	60	0.6740	0.1310	0.6708	0.1955	0.0442	0.8461	0.0007	0.9999
	100	0.6599	0.1386	0.6786	0.2082	0.0449	0.8389	0.0008	0.9999
Gyeousali-cheongjang	20	0.6337	0.1126	0.6766	0.1691	0.0446	0.8106	0.0006	0.9999
	60	0.6247	0.1221	0.6801	0.1836	0.0450	0.8053	0.0007	0.9999
	100	0.6119	0.1301	0.6834	0.1957	0.0453	0.7974	0.0008	0.9998

나. 初期처짐율이 오이의 應力弛緩 舉動에 미치는 影響

初期처짐율에 따른 應力弛緩 實驗結果를 그림 3에 도시하였으며, 이들 資料를 一般化 Maxwell 模型으로 回歸分析한 結果를 表 1에 표시하였다. 또한 이들 資料를 가지고 荷重載荷速度에 따른 오이의 非線型 粘彈性 模型의 各 係數들을 추정하였으며, 그 結果를 表 2에 나타내었다.

도시한 그림에서 보는 바와같이 初期처짐율을 클 수록 더 많은 휨 應力이 載荷되어 應力弛緩 量은 큰 것으로 나타났다.

그림들에서와 같이 오이의 應力弛緩 舉動은 단지 弛緩時間 뿐 만 아니라 初期처짐율에도 상당

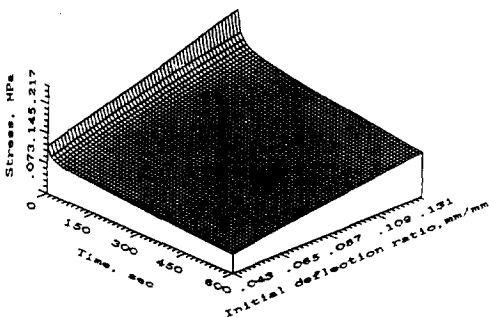


Fig. 4. Response surface of the stress relaxation for the Cheongjangmadi cucumber as a function of time and initial deflection ratio.

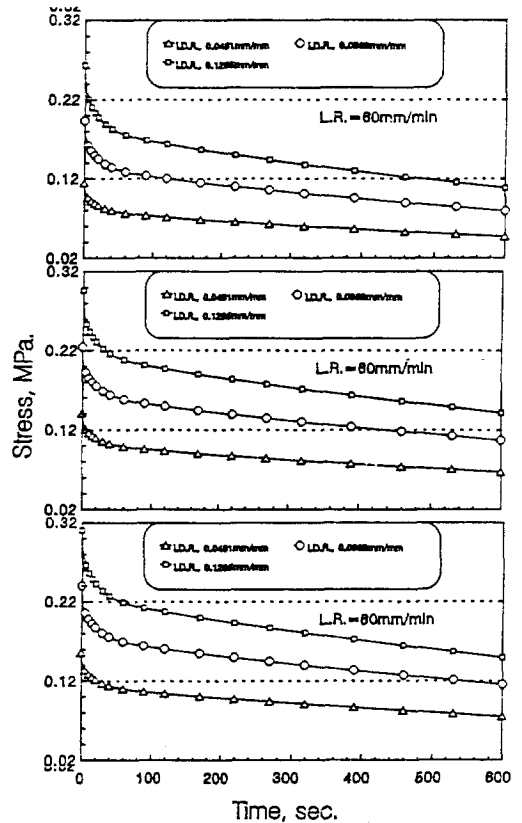


Fig. 3. Effects of the initial deflection ratio on the stress relaxation behavior of the cucumber at the loading rates, 60mm/min. (upper : Cheongjangmadi, middle : Baekdadagi, lower : Gyeousalicheongjang)

한 영향을 받는 非線型 粘彈性 舉動을 나타내었다. 이러한 오이의 非線型 粘彈性 舉動은 그림 4, 5 및 6의 시간과 초기처짐율을 변수로 하는 반응 표면을 통하여 그 경향을 잘 파악할수 있다.

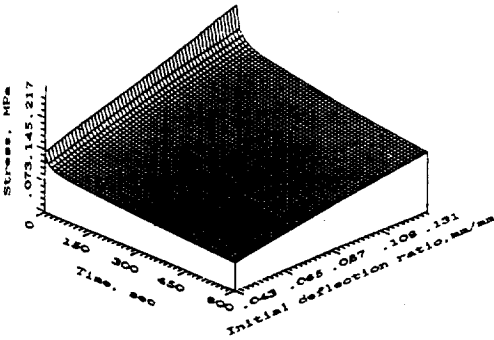


Fig. 5. Response surface of the stress relaxation for the Baekdadagi cucumber as a function of time and initial deflection ratio.

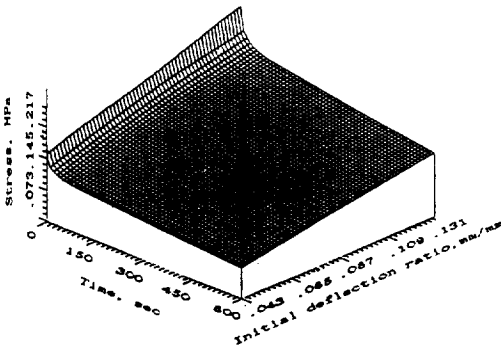


Fig. 6. Response surface of the stress relaxation for the Gyeousalicheongjang cucumber as a function of time and initial deflection ratio.

6. 結 論

우리나라 오이 品種의 대부분을 차지하고 있는 3品種을 供試하여 이들이 휨모멘트를 받을 때, 오이의 應力弛緩特性을 究명한 결과를 요약

하면 다음과 같다.

1) 3水準의 初期처짐율에 대한 應力弛緩의 實驗結果, 오이는 時間뿐만 아니라 初期처짐율에도 영향을 받는 非線型 粘彈性 特性을 나타내었으며, 이의 舉動을 非線型 粘彈性 模型과 一般化 Maxwell 模型으로 각각 나타내었다.

2) 荷重載荷速度 및 初期처짐율이 오이의 應力弛緩舉動에 미치는 영향은 매우 컸으며, 荷重載荷速度 및 初期처짐율이 클 수록 더 많은 初期應力이 載荷되고, 應力弛緩速度도 빠르게 나타났다.

3) 같은 實驗조건하에서 淸장마디 오이가 다른 品種에 비하여 應力弛緩速度가 빠르고, 應力弛緩率도 큰 것으로 나타났다.

參 考 文 獻

1. Anazodo, U.G.N. 1983. Mechanical properties of the corn cob under quasistatic radial compression. Trans. of the ASAE 25(5) : 1222-1228.
2. Anazodo, U.G.N. 1983. Mechanical properties of the corn cob in simple bending. Trans. of the ASAE 25(5) : 1229-1233.
3. ASAE Year Book. 1983. ASAE Standard S 368.1 : 332-335.
4. Balastreire, L.A. and F.L. Herum. 1978. Relaxation modulus for corn endosperm in bending. Trans. of the ASAE 21(2) : 767-772.
5. Curtis, L.M. and J.G. Hendrick. 1969. A study of bending-strength properties of cotton stalks. Trans. of the ASAE 12(1) : 39-40,45.
6. Gowin, J. and J.S. Hamman. 1984. Feasibility of using holographic interferometry to determine the mechanical properties of wheat stalks. Trans. of the ASAE 27(3) : 697-700.
7. Kojima, T. 1975. Studies on the physical

- properties of horticultural products(1). - On the shape and mechanical properties of cucumber. J. of JSAM 36(4) : 549-554.
8. Marshall, D.E. and A.W. Hooper, L.R. Baker, and D.R. Heldman. 1975. A method for measurement of carpel strength of cucumbers. Trans. of the ASAE 18(4) : 752-754.
 9. Moini, S., J.A. Miles, and P. Chen. 1981. Physical properties of ponderosa pine tree. Trans. of the ASAE 24(4) : 1058-1061.
 10. Morita, Noboru and Taya, Nobuhisa. 1957. Studies in rice-staw dynamics with reference to lodging. Part II (in Japanese). Laboratory of Agricultural Engineering, Hirosaki U., Hirosaki, Japan.
 11. Moshein, N.N. 1980. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publishers. N.Y.
 12. Moustafa, S.M.A., B.A. Stout, and W.A. Bradley. 1967. Theoretical modeling of the wheat plant. Trans. of the ASAE 10(6) : 799-804.
 13. Pickett, L.K., J.B. Liljedahl, C.G. Haugh, and A.J. Ulstrup. 1969. Rheological properties of cornstalks subjected to transvers loading. Trans. of the ASAE 12(3) : 392-396.
 14. Prince, R.P. 1961. Measurement of ultimate strength of forage stalks. Trans. of the ASAE 4(2) : 208-209.
 15. Singh, K.N. and T.H. Burkhardt. 1974. Rice plant properties in relation to loading. Trans. of the ASAE 17(4) : 1169-1172.
 16. Sitkei, Gy. 1986. Mechanics of agricultural materials. Elsevier Science Publishers. : 114-283.
 17. Suggs, C. W. and Splinter, William E. 1968. Mechanical properties of tobacco stalks. Trans. of the ASAE 8(3) : 361-364.
 18. Tawara, T., AI, M. Sudo., N. Watanabe, and H. Shimoda. 1967. Studies on the physical properties of rice plant. Trans. of the ASAE 29(3) : 137-142.
 19. 金滿秀. 1991. 果實의 粘彈性 特性. 學術振興財團 研究報告書.
 20. 金滿秀, 朴鍾民, 崔東洙. 1992. 果實의 粘彈性 特性(I)-應力弛緩舉動. 韓國農業機械學會誌 17(3) : 260-271.
 21. 金滿秀, 宋天鎬, 朴鍾民. 1993. 畝荷重을 받는 오이의 力學의 特性. 韓國農業機械學會誌 18(1) : 30-36.
 22. 農振聽 園藝試驗場. 1992. 韓國의 園藝作物 生産現況.