

감성표현의 객관화를 위한 직물의 압축 점탄성 특성 해석

강재식, 권영하, 강대임*, 박연규*

경희대학교 섬유공학과, *한국표준과학연구원 힘그룹

1. 서론

사람이 손끝으로 직물을 누르며 문지를 때 느끼는 감정을 객관적으로 표현하는 연구의 필요성은 계속 증대되고 있다. 일본의 가와바타 교수는 직물의 역학적/물리적 특성을 측정하여 Hand value로서 객관화 시켰다. 가와바타 시스템에서는 직물을 손으로 누를때의 탄력성, 따뜻한 느낌이 동반된 두꺼움(Fullness & softness)을 'FUKURAMI'라는 감각표현용어를 사용하여 이 주관적인 느낌을 객관화 시켰다. 한편 WC(압축에 필요한 에너지, gf*cm/cm²)를 측정하여 직물의 두께방향으로 나타나는 역학적 특성을 설명하였다. 직물은 점탄성체특성을 갖고 있으므로 손끝으로 누를 때 나타나는 현상을 이용하여 감성표현을 객관화 시키는 방법을 연구하였다. 특히 두께 방향으로 나타나는 탄성계수와 점성계수를 Creep과 Stress relaxation실험을 통해 측정하고 감성표현과의 관계를 해석하였다.

2. 이론

점탄성체가 가지는 점성요소, 탄성요소에 의해 직물이 가지는 점탄성 거동이 결정된다. 직물의 두께방향으로의 특성을 선형점탄성체라고 가정하면 재료의 역학적 거동이 탄성체의 법칙에 따른 탄성적인 특성과 Newton의 점성법칙을 따른 점성적인 특성을 이용하여 탄성계수와 점성계수의 특성을 구하는 이론을 구성하였다.

이때 탄성과 점성의 역학적 조합방법은 spring과 dashpot를 여러 가지로 조합한 모형이 채택되고 있으나 본 연구에서는 가장 간단한 모형으로 이 두요소를 직렬로 조합한 Maxwell 모형과 병렬로 조합한 Vogit모형으로 가정하여 해석하였다. Maxwell 모형이 가지는 점성계수, 탄성계수를 Stress relaxation 실험을 통하여, 그리고 Viogt모형이 가지는 점성계수, 탄성계수를 Creep실험을 통하여 측정하였다.

기호

t: 시간(sec) ϵ : 변형(strain), σ : 응력(N/m²) η : 점성계수(N*s/m²) G: 탄성계수(N/m²)
 τ (= η /G): 완화시간(sec), λ (= η /G): 지연시간(sec), v: 이동속도(m/sec) l: 직물두께(m)

Maxwell모형의 기초식으로 하여, 다음과 같은 식이 구성된다.

$$\frac{1}{G} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{1}{\eta} \sigma = \frac{d\epsilon}{dt} \tag{1}$$

직물의 두께를 일정한 속도(v)로 누른다고 가정하여 움직인 거리는 vt 가 되므로

$$\frac{1}{G} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{1}{\eta} \sigma = \frac{vt}{l} \frac{d}{dt} \quad (2)$$

식(2)를 1차 선형 미분방정식으로 시간과 응력에 대해 나타낸다.

$$\sigma = e^{-\frac{t}{\tau}} \frac{G}{l} \left(\int v e^{\frac{t}{\tau}} dt \right) + C e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (3)$$

식(3)에서 $t=0$ 일 때, $\sigma=0$ 의 초기조건을 이용하여 일반해 C 를 구해 정리하면 식(4)과 같이 된다

$$\sigma = \frac{\eta v}{l} - \frac{\eta v}{l} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (4)$$

이 식(4)으로부터 Maxwell모형의 점성계수(5)와 탄성계수(6)를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\eta = \frac{\sigma l}{v \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)} \quad (5)$$

$$G = \frac{\sigma l}{v \tau \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)} \quad (6)$$

한편 Voigt모형의 기초식을 다음과 같이 정리하였다.

$$\sigma = G\varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (7)$$

식(7)에서 일정한 응력을 계속 가하게 되면 1차선형미분방정식으로 시간과 변형률(strain)에 대해 나타내면 다음과 같다

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{G} \left[1 - e^{-\frac{t}{\lambda}} \right] \quad (8)$$

식(8)으로부터 Voigt모형의 점성계수(9)와 탄성계수(10)을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\eta = \frac{\sigma \tau}{\varepsilon} \left[1 - e^{-\frac{t}{\lambda}} \right] \quad (9)$$

$$G = \frac{\sigma}{\varepsilon} \left[1 - e^{-\frac{t}{\lambda}} \right] \quad (10)$$

3. 실험

3.1 실험장치 구성

직물의 두께방향으로의 Stress relaxation 실험을 하기위해 fig. 1 과 같은 장치를 구성하였다. 두께방향으로의 변화와 힘의 측정은 Z축 구동부의 움직이는 거리가 짧고 힘의 크기가 작아야 하므로 특별히 한국표준과학연구원에서 정밀제작하여 자동제어되고 data 수집과 분석을 real-time으로 할 수 있는 장치를 이용하였다. 이때 사용된 센서와 장치는 table 1 에 나타내고 있다.

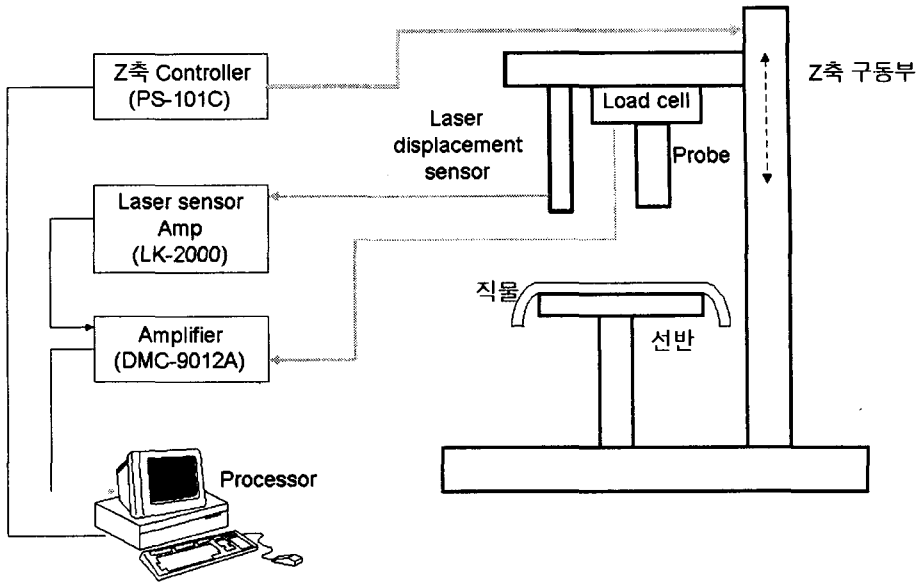


fig. 1 직물의 점성계수, 탄성계수 측정장치의 계략도

table 1 측정장치에 사용된 고정밀 센서와 Amplifier

Probe	Load cell	Laser displacement sensor	Z축 구동부	Amplifier	Computer
면적 4.04cm ² 의 원형	6축 loadcell 200N까지 측정가능 분해능 0.0389N	laser type sensor 5mm변위까지 측정 가능 분해능 1 μ m	20cm까지 이동 가능	HBM9012A	데이터 process, Z축 구동

3.2 Stress relaxation 실험

Z축 구동부의 probe가 아래로 움직이며 누르는 압력을 load cell에서 측정하여 시간에 대한 stress 변화를 측정하였다. 움직이는 속도는 가와바타 시스템의 속도와 같은 20 μ m/sec였으며, 직물을 누르는 압력이 0.5 gf/cm²에서의 변위를 이용하여 직물의 두께를 측정하였다. probe가 직물을 누르는 압력이 약 50 gf/cm²에 이르렀을 때 변위를 고정시키고 응력완화 현상을 기록하였다. 직물의 두께, probe이동 속도, 압축응력등은 가와바타시스템의 압축특성 실험을 기준으로 따랐다.

4. 결과

두께변화에 따른 Stress relaxation 현상을 알아보기 위해 얇은직물(0.3931mm, fig. 2)과 두꺼운 직물(0.6006mm, fig. 3)을 가지고 시간변화에 따른 Stress relaxation 실험을 했다.

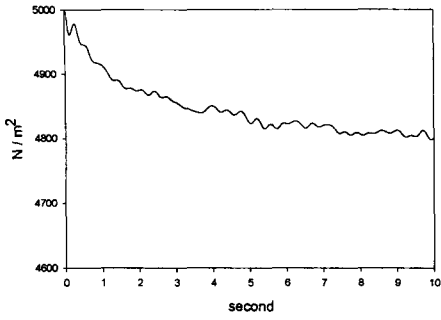


fig. 2 얇은적물(0.3931mm)의 stress relaxation 현상

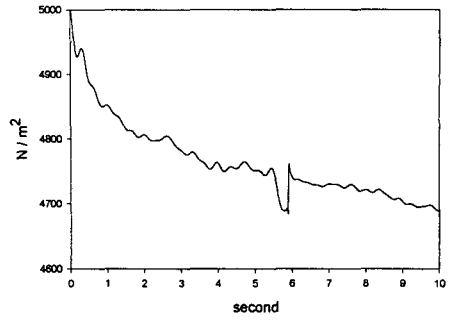


fig. 3 두꺼운 적물(0.6006mm)의 stress relaxation 현상

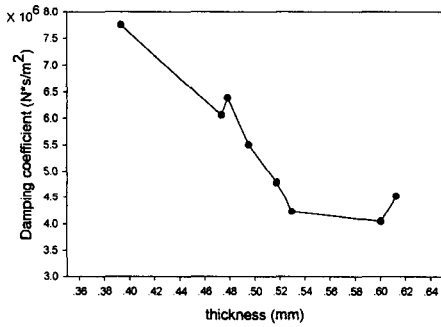


fig. 4 두께변화에 따른 점성계수변화

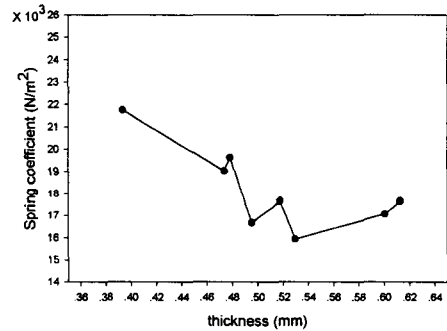


fig. 5 두께변화에 따른 탄성계수변화

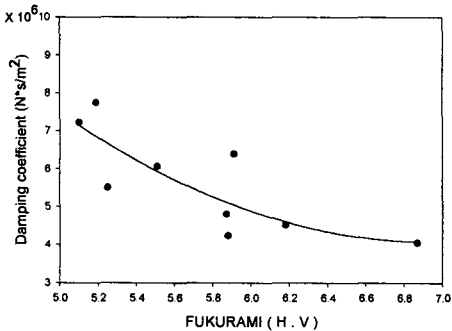


fig. 6 FUKURAMI에 따른 점성계수변화

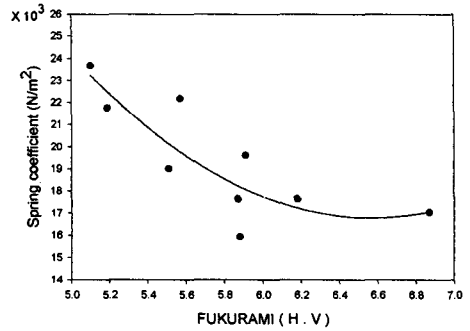


fig. 7 FUKURAMI에 따른 탄성계수변화

시간변화에 따른 응력완화현상이 얇은직물보다 두꺼운 직물에서 더 빠른시간내에 일어났다. 직물의 두께변화에 따른 점성성질과 탄성성질을 알아보기 위해 서로 다른 두께를 가진 직물들을 가지고 얇은 직물부터 두꺼운 직물까지 차례로 Stress relaxation 현상을 통해 점성계수와 탄성계수를 구했다.

두께 증가에 따른 점성계수의 변화와 탄성계수의 변화는 fig. 4, fig. 5와 같다. 여기서 직물이 가지는 조직과 소재에 대한 영향은 고려치 않았다. 직물을 손으로 누르고 문지를 때의 부피감, 부드러움을 동반한 느낌은 'FUKURAMI' 라는 용어를 통해 촉감의 강도에 따라 '감각평가치(Hand Value, H.V)'로 나타내어진다. stress relaxation 실험을 통해 얻은 직물들의 점성계수, 탄성계수와 직물이 주는 주관적 느낌중 'FUKURAMI(부피감과 부드러움)'와의 상관관계를 알아보기 위해 감각평가치(H.V)의 증가에 따른 점성계수의 변화와 탄성계수의 변화를 fig. 6, fig. 7을 통해 경향을 나타냈다.

5. 결론

- (1) 직물의 두께가 증가할수록 점성계수와 탄성계수는 감소하는 경향을 나타냈다.
- (2) 감각용어 'FUKURAMI'의 감각평가치 'H.V'가 증가할수록 점성계수와 탄성계수가 감소하는 경향을 나타냈다.
- (3) Stress relaxation 현상을 통해 구한 점성계수, 탄성계수를 가지고 직물이 가지는 감각용어 'FUKURAMI'간의 관계를 나타낼 수 있다.
- (4) Creep 현상을 이용한 연구는 진행중에 있으며, 감성표현간의 관계를 다양화 할 예정이다.

6. 참고문헌

- 1) Suelo Kawabata, THE STANDARDIZATION AND ANALYSIS OF HAND EVALUATION, The Textile Machinery Society of Japan, p7-9,36-38, (1980)
- 2) 김상용, 섬유물리학, 반도 출판사, p242-266, (1995)
- 3) Erwin Kreyszig, ADVANCED ENGINEERING MATHMATICS, John Wiley&Sons Ltd, p22-28, (1993)