

직물의 점탄성 특성 측정과 질감해석 연구(II)-크리프

황성욱, 권영하, 강재식, 박연규*, 강대임*

경희대학교 공과대학 섬유공학과, *한국표준과학연구원, 힘 연구실
경기도 용인시 기흥읍 서천리 1번지

MEASUREMENT OF VISCOELASTIC PROPERTIES OF FABRIC FOR TACTILE FEELING (II) - CREEP

Seong Uk Hwang, Young Ha Kwon, Jae Shik Kang, Yon Kyu Park*, Dae Im Kang*
Dept, of Textile Engineering
KOREA Force Group, Division of Mechanical Metrology
Korea Research Institute of Standards and Science
Kyung Hee University, 1 Seocheon, Kihung, Youngin City, Kyunggi Do

요 약

Voigt Model assumed for creep was used to obtain the viscoelastic properties of fabrics in thickness direction and the governing equation was derived. The weights were specially designed and calibrated for constant stress applied to fabrics and the $1\mu\text{m}$ resolution laser displacement sensor was attached in order to measure the variation of strain. Ten fabric samples were used. The few steps of strain showed according to the internal structure of fabrics. Also correlations the Hand Values from KESF with the spring and damping coefficients were considered.

1. 서 론

사람들의 문화 생활의 향상과 기술의 진보에 따라 문화의 표면적이고 기능적인 면을 넘어선 인간의 감성적인 측면이 또 다른 공학의 영역으로 자리잡고 있다. 인간의 감각과 느낌을 정량화 하는 연구가 계속 진행되고 있고, 수많은 논문들이 이러한 감성의 연구 중에 특히 직물을 손으로 누르는 주관적인 측정을 객관적으로 정량화 하는 연구가 특히 주목받고 있다. 이번 논문에는 직물의 감성을 직물이 가지는 점탄성적인 측면에서 고려하여, 직물의 점성계수와 탄성계수를 구하고자 하였다.

2. Creep

Fig. 1 a는 직물의 두께방향으로 일정한 stress를 step function의 형태로 가했을 때 시간과 stress에 대한 curve이며 직물에 일정한 stress를 step function의 형태로 가했을 때 직물은 b와 같이 시간에 따라 두께방향으로의 strain이 변화한다. 직물의 creep 현상을 해석하기 위하여 직물을 선형점탄성체라고 가정하면 creep현상이 일어날 때 stress relaxation과 마찬가지로 Hooke의 탄성거동과 Newton의 점성거동이 동시에 나타난다. 따라서 이러한 점성거동과 탄성거동을 표현하는 모델을 구축해야 할 필요가 있다. 특히 creep과 같은 점탄성 현상을 해석하는데 가장 대표적인 모델은 Voigt모델이다.

Voigt 모델은 Fig. 2와 같은 spring과 damper를 병렬로 조합한 모델이다. 즉 직물의 탄성성질과 점성성질이 병렬형태로 관계가 있다고 가정한 model임을 의미하며 기초식은 식 1 과 같다.

$$\sigma = G\epsilon + \eta \frac{d\epsilon}{dt} \quad (\text{식 1})$$

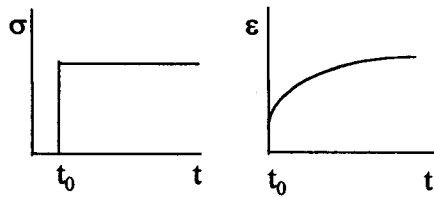
여기에서 G는 탄성계수, η 는 점성계수, ϵ 는 strain 그리고 σ 는 stress 이다.

식 1 에서 일정한 stress을 step function으로 가한다고 하면 stress는 시간에 관계없는 상수이므로 strain과 시간 t 에 대한 미분방정식이 된다. 이것을 풀면 식 2 와 같이

나타내어 진다.

$$\epsilon = \frac{\sigma}{G} \left[1 - e^{-\frac{t}{\lambda}} \right] \quad (\text{식 2})$$

$\eta/G = \lambda$ 로서 지연시간(retardation time)이라 부르며 변형이 무한변형의 63%에 도달할때까지의 시간이다. 식 2를 정리하여 탄성계수로



a. stress with step function b. creep with stress

Fig.1 Ideal creep curve

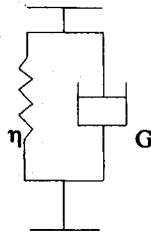


Fig.2 Voigt model

나타내면 식 3와 같이 나타내어 진다.

$$G = \frac{\sigma}{\epsilon} \left[1 - e^{-\frac{t}{\lambda}} \right] \quad (\text{식 3})$$

$\eta/G = \lambda$ 이므로 점성계수로 나타내면 식 4와 같이 나타내어진다.

$$\eta = \frac{\sigma \lambda}{\epsilon} \left[1 - e^{-\frac{t}{\lambda}} \right] \quad (\text{식 4})$$

여기에서 σ 는 추를 사용하여 가해준 stress이며 이 값은 1 gf/cm^2 과 50 gf/cm^2 이다. 그 이외의 값들, 예를 들어 t (무한변형까지 걸리는 시간 : sec), λ (retardation time : sec) 그리고 ϵ (strain)은 실험에 의하여 구해지는 값들이다.

3. 실험방법

원하는 측정값을 구하기 위해 다음과 같은 실험을 하였다. creep 실험시 일정한 stress를 가하기 위하여 12.65 cm^2 의 원형면적과 일정한 질량을 갖는 알루미늄 금속원판을 만들어 추로 이용하였다. 사용된 추는 한국표준과학 연구원의 질량실에서 교정결과 1% 이내의 오차를 갖고 있으며 자세한 내용은 Table. 1에 나타내고 있다.

두께 방향으로 눌러지면서 변화되는 길이는 $1 \mu\text{m}$ 이내의 분해능을 갖는 laser displacement sensor를 이용하여 측정하였다. 측정된 데이터는 전기신호의 형태로 amplifier를 거쳐 증폭된 후 컴퓨터를 통해 data acquisition이 이루어진다.

Table. 2에는 직물 시료의 두께를 정리하였다. 가와바타 시스템에서 직물에 50 N/m^2 를 z축방향으로 가했을 때를 직물의 두께로 하였던 것과 같은 조건으로 측정을 하였다. 위의 표에서 측정된 힘이 오류가 나타나는 것은 z축방향의 probe의 움직임을 정지시키는 타이밍에 작은 오차가 생기기 때문이다. 하지만 오차 요인이 매우 작으므로 이 실험에서는 무시하였다.

Table 1. Weights for creep testing

추 번호	실적수(g)	실적두께(mm)	원하는 무게(g)	측어지 무게(g)	무게의 오차(%)
1	12.808	3.7	12.56	12.650	-0.717
2	13.149	3.7	12.56	12.479	0.846
3	12.918	3.7	12.56	12.575	-0.119
4	12.893	3.7	12.56	12.573	-0.104
5	12.814	3.7	12.56	12.6	-0.318
6	25.845	7.4	25.12	25.15	-0.119
7	25.884	7.4	25.12	25.134	-0.089
8	25.867	7.4	25.12	25.137	-0.088
9	25.848	7.4	25.12	25.198	-0.311
10	64.352	18.5	62.8	62.971	-0.272
11	64.364	18.5	62.8	63.012	-0.338
12	64.403	18.5	62.8	62.88	-0.127
13	129.044	37	125.6	125.492	0.088
14	128.940	37	125.6	125.64	-0.032
15	129.171	37	125.6	125.353	0.197
16	129.039	37	125.6	125.85	-0.199
17	128.706	37	125.6	125.626	-0.021
18	648.991	185	628	628.203	-0.032

직물 위에 원형추를 올려놓은 후 z축 방향으로 약 3cm 가량 떨어진 위치에서 laser displacement센서를 통해 직물과 추의 z축 방향으로의 변형을 약 20초간 기록했다. 얇은 직물부터 두꺼운 직물까지 creep 실험을 통해 시간에 따른 변위의 변화를 측정했다.

추를 올려놓지 않은 직물의 두께를 0mm이
Table 2 Thickness of Fabrics

직물번호	0.5 gf/cm ² (50 N/m ²)	
	측정된 N/m ²	측정된 직물두께(mm)
1	48.11	0.5176
2	43.77	0.6128
3	47.74	0.4956
4	45.34	0.4736
5	49.49	0.4736
6	48.57	0.4785
7	46	0.5298
8	49.33	0.6006
9	48.67	0.4688
10	47.38	0.3921

라고 하고 시간변화에 따라 z축의 아래 방향에 대한 변형을 strain으로 변환하여 고찰하기 위해 thickness ratio(ϵ =변형된 두께/직물두께)의 형태로도 변환하였다.

4. 결과 및 고찰

사람이 손끝으로 직물을 가볍게 눌렀을 때와 힘을 주어 눌렀을 때의 경우를 가정하여, 추를 가지고 무게에 따른 strain 변화의 여부를 알아보기 위해 각각 1 gf/cm², 50 gf/cm²의 추를 직물 위에 올려놓고 실험한 결과 각 그래프에서 직물들이 시간변화에 따라 여러 step이 나타나는 현상이 측정되었다. Fig 4,5는 각각 1 gf/cm²과 50 gf/cm²의 stress를 가하여 두께 변화를 보여주고 있다.

직물이 두께 방향으로 stress를 가했을 때 creep 현상이 step 형태로 나오는 원인은 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫 번째 step은 직물이 가지고 있는 잔털이 bucking되는 현상으로 인해 나타나고 두 번째 step은 직물의 두께 방향으로 구조의 crimp가 펴지는 현상이다. 그리고 세 번째 step 이상에서는 직물의 두께 방향으로 yarn들이 서로 차례로 찌그러지는 현상으로 판단된다. 1 gf/cm²의 stress를 가했을 때 step의 수가 50 gf/cm²을 가했을 때보다 더 많은 원인은 1 gf/cm²의 stress에 대해 버틸 수 있는 직물의 두께 방향으로의 층이 더 많이 존재하기 때문이다. Fig. 4는 약 4개의 step이 존재하

는 반면 Fig. 5는 3개의 step이 나타나는 것을 알 수 있다.

creep 모델에서는 여러 가지 층이 관측되고, 각 층에 대해 모두 다 역학적 계수들을 구할 수 있다. Table 4,5는 각각 1 gf/cm²과 50 gf/cm²의 stress를 가했을 때 직물의 탄성계수와 점성계수를 step 별로 나타내며, 비어있는 부분은 오차가 너무 커서 기록되지 않은 부분이다. 각 표를 살펴보면 첫 번째 step과 두 번째 step이 이 직물이 두께가 두꺼워질 때 탄성계수와 점성계수가 같이 증가한다. 그러나 첫 번째 step에서 구한 탄성 및 점성계수는 직물 위에 추를 올려놓았을 때 생기는 잔털의 찌그러짐에 대한 값이기 때문에 직물의 두께와는 상관이 없다. 그래서 직물의 두 번째 step에서 구한 역학적 계수값이 더욱 확증되고, 타당성 있는 자료라고 할 수 있다.

5. 탄성계수 점성계수와 Hand Value와의 상관관계 분석

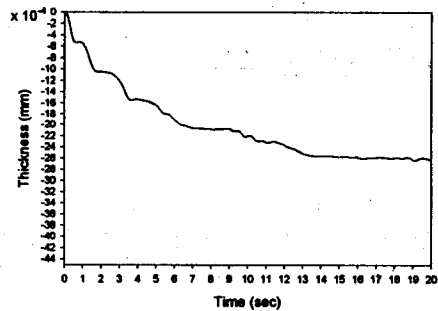


Fig. 4 Creep curve of thin fabric under 1 gf/cm² stress (thickness : 0.3921mm)

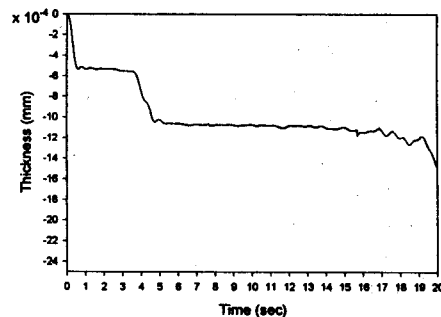


Fig. 5 Creep curve of thin fabric under 50 gf/cm² stress (thickness : 0.3921mm)

Table. 3 Spring coefficient and damping coefficient under 1 gf/cm²

step 번수	1st step		2nd step		3rd step		total	
	탄성	점성	탄성	점성	탄성	점성	탄성	점성
1			3940270	5082161	4031857	4997084	2034848	3675749
2	777457	8362335	6094333	8051876	6274659	7897751	1758035	3286471
3	2854874	4221788	3953437	5497649	4051544	6042473	1189538	3187978
4			4164893	5056770	3330263	4379295	1903721	3750712
5	3018208	4121058	3399189	4898203	4386708	7260878	1201178	3516809
6	422876.6	518785.1	3810640	5251062	1393839	20165122	1558633	4700837
7								
8	13317550	14402158	4841243	5878238	4200261	5523343	1848433	3665073
9	4151109	5354100	4865519	4865519	3962900	6409695	1363909	4474111
10	2957930	3628948	4523025	4523025	3266319	5488722	980429.3	3233455

Table. 4 Spring coefficient and damping coefficient under 50 gf/cm²

step 번수	1st step		2nd step		3rd step		total	
	탄성	점성	탄성	점성	탄성	점성	탄성	점성
1								
2	4414975	6361979	5466159	7878735	5288398	12284948	1491340	8068151
3	3318063	4990367	3363829	5440658	5141030	16477003	1173547	7088221
4	5775988	7158364	8989843	8985183	6434786	11380527	2384185	9785033
5	3314261	4400013	3704997	9772980				
6	4781914	7011243	5821156	9651485	7867020	11732874	2064573	8854126
7								
8								
9	3965397	5614208	4130894	8294834				
10	2848205	3998603	3161489	5551592				

Hand Value와 두 번째 step에서 구해진 탄성계수와 점성계수를 사용하여 비교 분석하였다. Fig. 6~Fig. 9는 두 번째 step에서 FUKURAMI와 탄성계수 그리고 점성계수와 상관계수를 각각 1 gf/cm²과 50 gf/cm² 이 가해질 때로 구분하여 살펴본 것이다. 그림에서와 같이 탄성계수와 점성계수가 증가할 때 양의 상관 관계를 보이고 있는데, 그것은 직물의 탄성과 점성이 증가할 때, Fullness도 같이 증가함을 알 수 있는 것이다. 그런데 각각의 그래프에서 1 gf/cm²이 50 gf/cm²보다 더 높은 상관관계를 표시함을 알 수 있다. 따라서 위의 그래프와 상관계수에서 직물에 가해지는 stress가 작을 때 더 높은 상관관계를 가짐을 알 수 있다. Table. 5에는 FUKURAMI와 KOSHI, NUMERI에 대한 탄성계수 그리고 점성계수와 상관계수를 표시하였다. Table 5에서는 FUKURAMI가 가장 높은 상관관계를 보이고 있고, KOSHI와 NUMERI는 그 상

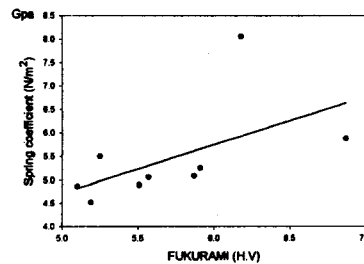
관관계가 명확하지 않음을 나타낸다.

Table. 6 Correlation coefficients of spring, damping with Hand Value

	FUKURAMI	KOSHI	NUMERI
Spring coefficient under 1 gf/cm ² stress	0.5502	0.0867	-0.2292
Spring coefficient under 50 gf/cm ² stress	0.4595	-0.4041	0.2918
Damping Coefficient under 1 gf/cm ² stress	0.5927	0.4916	-0.2347
Damping Coefficient under 50 gf/cm ² stress	0.6459	-0.4956	0.1787

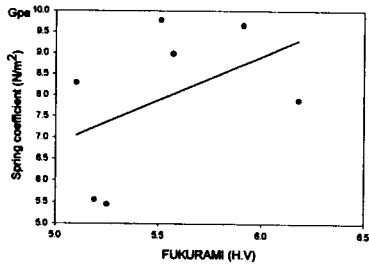
6. 결론

creep을 통해 구한 두 번째 step의 탄성계수, 점성계수는 직물의 두께가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타냈고, 구조적으로 가장 비중있는 step으로 판단된다. creep을 통해 구한 탄성계수, 점성계수는 FUKURAMI와의 상관계수가 Hand Value의 가장 높게 나타내었고, stress가 낮을수록 더 높은 상관관계를 나타냈다.



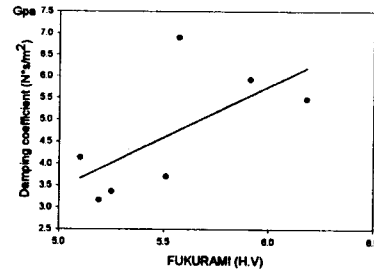
상관계수 : 0.550237

Fig. 6 Relation between spring coefficient & FUKURAMI under 1 gf/cm²



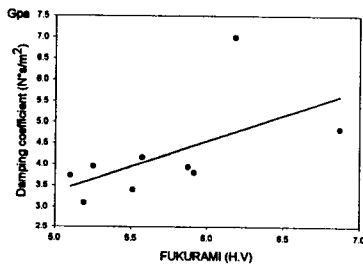
상관계수 : 0.592681

Fig. 7 Relation between damping coefficient & FUKURAMI under 1 gf/cm²



상관계수 : 0.645943

Fig. 9 Relation between damping coefficient & FUKURAMI under 50 gf/cm²



상관계수 : 0.459536

Fig. 8 Relation between spring coefficient & FUKURAMI under 50 gf/cm²