

복합재료 헬드 후레임의 물성 고찰

Investigation of mechanical properties for the composite heald frame

정광섭, 이준석, 김승진, *이정환, **김영태

K. S. Jeong, J. S. Lee, S. J. Kim, *J. H. Lee and Y. T. Kim

영남대학교 섬유학부, *영남대학교 섬유학부 대학원, **(주)성진인더스트리
 School of Textiles, Yeungnam University
 **Sungjin Industrial Co., Ltd.

1. 서 론

직기에 있는 5대 운동 메카니즘[1] 중에서 고속화가 가장 어려운 것으로는 개구운동과 위입운동을 들 수 있다. 그런데, 위입운동의 효과적인 고속 위입방법을 개발하려는 노력의 결과로 Water Jet, Air Jet, Rapier, Projectile 등의 방법들이 이미 개발되어 현재, Water Jet 및 Air Jet 직기인 경우에는 1,500 rpm에 이르는 위입운동의 고속화가 이루어진 상태에 있다. 개구운동이 위입운동과 같은 속도로 운동을 하기 위해서는 동일한 회전속도를 추종할 수 있는 헬드(Heald)의 상하운동(Up-Down Motion)이 이루어져야만 한다. 그러나, 헬드의 상하운동은 헬드를 지지하고 있는 헬드 후레임(Heald Frame)의 상하운동에 의해 이루어지므로 결국은, 개구운동의 고속화 연구를 위해서는 헬드 후레임의 운동 메카니즘에 대한 연구가 필요하게 된다.

본 연구에서는 레피어 직기에서 사용되는 개구운동 메카니즘의 핵심 기계요소 부품으로 사용되는 헬드 후레임의 운동을 연구하고 이러한 운동상태에서 헬드 후레임의 응력해석(Stress Analysis)을 수행함으로써 헬드 후레임의 주요 부품인 헬드 빔의 재료개선에 대한 연구를 수행하였다. 특히, 탄소섬유 직물을 이용한 복합재료 헬드 빔의 물성에서 얻을 수 있는 장점에 연구의 초점을 두었다.

직기에 사용되는 헬드 후레임은 일반적으로 Figure 1에서 알 수 있는 것처럼 크게 3가지의 부품으로 구성되어 있다.

본 연구에서 연구대상으로 삼은 헬드 빔의 길이는 2m이고 빔의 폭은 알루미늄인 경우 10cm이고 복합재료인 경우에는 10.5cm이다. 1개의 헬드 후레임에는 2개의 헬드 빔이 있으나, 헬드 후레임은 강체 운동(Rigid Body Motion)을 한다고 가정할 수 있으므로 상승 운동을 할 경우에는 상부 빔만을 고려하였고 하강 운동을 할 경우에는 하부 빔만을 고려하였다.

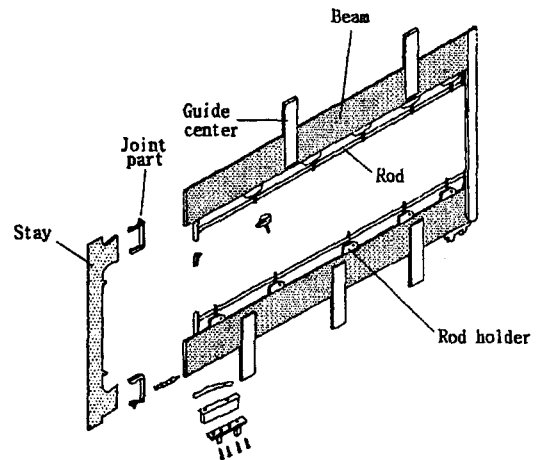


Figure 1. Configuration of the heald frame

헬드 후레임의 유한요소해석을 위한 개구운동 시 속도에 따른 헬드 후레임의 가속도 변화

를 실험적으로 결정하기 위해서 실제 직기에 사용되고 있는 도비 구동 방식(Dobby Driving Type)의 개구 메카니즘을 대상으로 가속도계(Accelerometer), 신호증폭기(Signal Amplifier), 그리고 오실로스코프(Oscilloscope) 등을 사용하여 헬드 후레임의 가속도를 측정하였다.

2. 헬드 후레임의 기구학적 해석

Figure 2는 캠 구동방식의 셰딩(Shedding) 메카니즘의 기구학적전도를 보여준다.

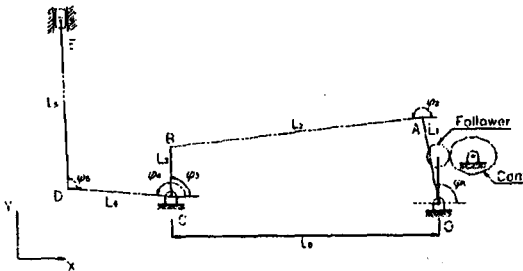


Figure 2. Kinematic diagram of a cam shedding mechanism

Figure 2와 같이 셰딩 캠 기구는 캠 구동으로 캠 피동절과 연결된 링크를 구동하여 전체 기구를 움직이는 형태로 되어 있으므로, 간단한 삼각함수의 몇 가지 범칙과 기구학적 관계를 이용해서 각 링크의 각변위, 각속도, 그리고 각가속도를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_E &= -L_0 - L_4 \\ y_E &= -L_0 + L_4 \sin \varphi_4 + L_5 \sin \varphi_5 \\ \dot{x}_E &= 0 \\ \dot{y}_E &= L_4 \omega_4 \cos \varphi_4 + L_5 \omega_5 \cos \varphi_5 \\ \ddot{x}_E &= 0 \\ \ddot{y}_E &= -L_4 \omega_4^2 \sin \varphi_4 + L_4 \alpha_4 \cos \varphi_4 \\ &\quad - L_5 \omega_5^2 \sin \varphi_5 + L_5 \alpha_5 \cos \varphi_5 \end{aligned}$$

위 식들은 O 점을 기준으로 한 E 점의 변위, 속도, 가속도를 나타내며 헬드 후레임의 변위, 속도, 가속도 성분과 일치한다. 또한, x_E 는 상수값을 가지며, 헬드 후레임은 상하 수직 운동

만 하는 것을 알 수 있다.

3. 헬드 후레임의 가속도 측정

헬드 후레임에 응력을 유발하는 인자는 헬드 후레임의 자체 중량과 헬드 후레임에 걸려 있는 헬드(Heald)와 경사(Warp)에 의한 하중, 그리고 헬드 후레임의 운동 가속도 등이 있다. 그런데, 이들 중에서 가장 지배적인 영향을 주는 것은 헬드 후레임의 운동 가속도에 의한 관성력이다. 본 연구에서는 헬드 후레임의 운동 가속도에 의한 응력해석을 하기 위하여 압전소자(Piezoelectric)형의 가속도계를 헬드 후레임에 부착하는 방법으로 350 rpm, 450 rpm, 550 rpm에서 헬드 후레임의 상하 운동 가속도 구배를 측정하였다.

Figure 3은 헬드 후레임 가속도 측정을 위한 실험장치를 보여준다.

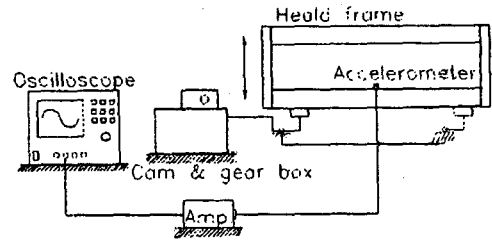


Figure 3. Acceleration measurement setup

헬드 후레임은 캠 구동속도를 조절할 수 있는 컨트롤러가 달려있는 셰딩 캠 기구에 장착되어 있으며, 설계된 직물의 특성에 따라 4~20 매까지를 동시에 성치하고 미리 준비된 셰딩 프로그램의 순서에 따라서 순차적으로 구동되도록 되어있다. 따라서, 측정된 가속도 신호에는 여러 종류의 신호가 포함하게 되는데, 헬드 후레임의 급격한 움직임에 의한 충격파와 부품간의 유격, 그리고 동력전달에 영향을 주는 주변 기구들의 움직임 등이 원인이 된다. 기구학적인 관계에 따라 계산해 본 헬드 후레임의 가속도 구배는 대칭적인 형상을 나타내는데 FFT(Fast Fourier Transform)분석을 해보면, 100Hz 이하의 저주파 영역에서 지배적으로 영향력 있는 값을 갖는 것으로 나타났다. 따라서

실험적으로 얻은 가속도 데이터를 로우 패스 필터링 (Low Pass Filtering)하면 노이즈를 제외한 헬드 후레임의 가속도 구배를 얻을 수 있다.

Figure 4(a)는 가속도 측정 시험을 통해 얻은 여러 신호가 섞여 있는 데이터이며, 이 데이터를 로우 패스 필터링하여 Figure 4(b)와 같은 결과를 얻었다.

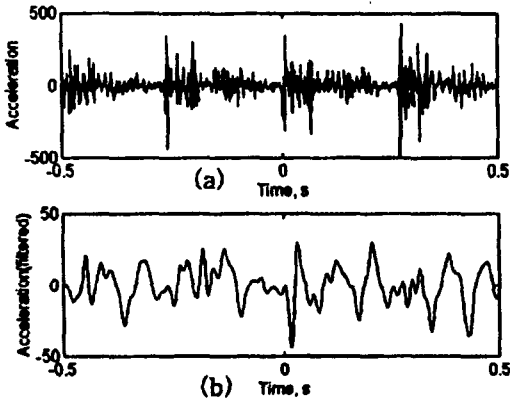


Figure 4. Measured acceleration data ; (a) raw data, (b) after low pass filtering

Figure 5는 캠의 각속도에 따른 헬드 후레임의 가속도를 보여주며, 350 rpm, 450 rpm, 550 rpm에서 시험한 가속도를 필터링 한 값을 토대로 2 차 식의 외삽법을 통해 800 rpm에서의 최대 가속도를 얻었다.

4. 물성 측정 시험

헬드 후레임 재료의 기계적 성질을 파악하고 이를 현재 사용되고 있는 헬드 후레임의 해석에 응용하기 위하여 인장시험을 수행하였다. 시편은 헬드 후레임을 길이 방향과 세로 방향으로 절단한 후 탭(Tab)을 양쪽 끝 부분에 부착하여 Figure 6과 같은 방법으로 제작하였다.

인장 시험을 통해 인장 강성 및 인장 강도, 포아송비를 측정하였으며 그 결과는 Table 1에 나타내었다.

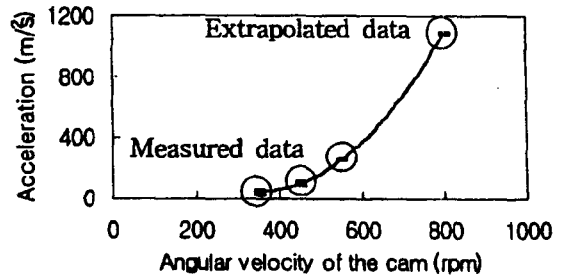


Figure 5. Maximum acceleration of the heald frame with respect to angular velocity of the cam.

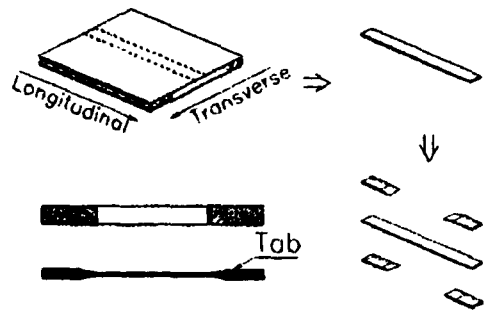


Figure 6. Tensile specimen

Table 1. Mechanical properties of the heald frame

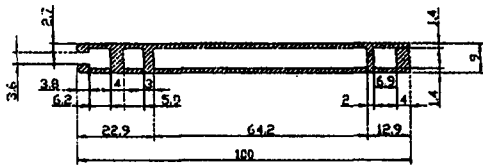
| | Composite | Aluminum |
|-----------------------------|-----------|----------|
| Density(kg/m ³) | 1333 | 2700 |
| S _L (MPa) | 511 | 274 |
| S _T (MPa) | 190 | |
| E _L (MPa) | 92 | 70 |
| E _T (MPa) | 28 | |
| ν _{LT} | 0.19 | 0.30 |

여기서, 아래첨자 L은 길이(Longitudinal) 방향, T는 횡(Transverse) 방향을 의미한다. 알루미늄은 원래 등방성 재료이므로 길이 방향과 횡방향의 구분이 없지만 복합재료는 이방성 재료이므로 섬유방향과 횡방향의 시편을 각각 제작하여 시험을 수행하였다.

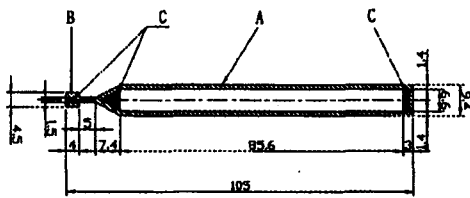
5. 유한요소해석

헬드 후레임의 경계 조건을 결정하는 것은 어려운 일이기 때문에 헬드 후레임 외에 조인트(Joint)와 스테이(Stay)를 동시에 같이 모델

링 하였다. 기존의 알루미늄 헬드 후레임의 단면은 가운데 보강심이 있고 열린 단면구조를 갖지만 복합재료 헬드 후레임은 Figure 7에 나타낸 것과 같은 닫힌 단면구조를 갖도록 하였다[2].



(a)



(b)

A : Carbon fabric(four layers), B : Carbon fabric(two layers), C : Carbon tow

Figure 7. Cross section shape and dimension of the heald frame ; (a) aluminum, (b) composite

유한요소해석에 사용한 헬드 후레임의 치수는 Table 2 와 같으며 이 부품들이 결합된 형태는 좌우 상하 대칭이므로 유한요소해석 모델은 전체 구조물의 1/4만을 설정하였다. 해석에 사용한 도구는 ANSYS 5.3이며 Solid45 요소를 이용하여 알루미늄 헬드 후레임은 등방성 물질로 모델링 하였다.

Table 2. Dimensions of the heald frame

| | Heald frame |
|-------------|-------------|
| Length (mm) | 2000 |
| Height (mm) | 100 |
| Width (mm) | 9 |

헬드 후레임의 중앙 부위는 좌우 대칭의 경계 조건을 가지고, 스테이는 상하 대칭의 경계 조건을 가진다고 가정하였다. 그리고 헬드 후

레임에 실험과 외삽을 통해 구한 가속도(1083 ㄱ)를 주어 관성력을 받는 응력 조건을 설정하였다. 또한, 헬드 후레임과 조인트, 스테이의 변위를 서로 커플링(Coupling) 하는 방법으로 연결하였다.

복합재료의 닫힌 단면을 알루미늄에서도 구현할 수 있으므로 알루미늄의 기존 단면과 비교하여 해석을 수행하였다. 닫힌 단면은 열린 단면에 비하여 단면적이 20%, 단면 2차 관성모멘트가 28% 감소하는 효과가 있으나 단면적이 감소함에 따라 중량도 28%가 감소하므로 결과적으로는 단면 변화에 따른 응력 분포의 차이는 작았다. 해석한 각 단면에서의 최대 응력분포는 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Max. Stresses for each sections

| | Section 1 | Section 2 |
|-----------|-----------|-----------|
| Aluminum | 68.0 MPa | 69.4 MPa |
| Composite | 34.5 Mpa | 35.4 Mpa |

6. 결 론

1. 알루미늄의 인장강도에 비하여 복합재료의 인장강도는 약 100 %이상 증가시킬 수 있었다.
2. 복합재료 헬드 후레임은 알루미늄에 비하여 약 50 % 응력 감소 효과를 나타내었다.
3. 복합재료의 우수한 비강성 특성은 고속 직기의 헬드 후레임 구조용 재료로 적합하다.

참고문헌

1. Oldřich Talaváň and Vladimír Svatoš, "Shuttleless Weaving Machines", Chapter 1, Elsevier Scientific Publishing Co., New York, 1981.
2. High Speed Loom's Heald Frame, Catalog, Mic Engineering Co., Ltd., Japan, 1996.

감 사

본 연구는 '97 공업기반기술개발사업과 영남대학교 지역협력연구센터의 도움으로 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.