

## 부분구조합성법을 이용한 제트직기 구조물의 동특성 해석

권상석, 김병옥\*, 전두환

영남대학교 섬유패션학부, \*영남대학교 지역협력연구센터

### Dynamic Characteristic Analysis of Jet Loom Structures using Substructure Synthesis Method

Sang Seuk Kweon, Byung Ok Kim\* and Du Hwan Chun

School of Textiles, Yeungnam University, KyoungBuk, Korea

\*Regional Research Center, Yeungnam University, KyoungBuk, Korea

#### 1. 서론

최근 컴퓨터를 이용한 구조물의 구조해석법이나 진동해석법이 눈부시게 발달하여 일반 구조물이나 기계 구조물의 정적, 동적 특성을 정밀도 높게 해석할 수 있게 되었고 나아가서 설계 단계에서 상당히 정확하게 구조물의 거동을 예측하는 것이 가능하게 되었다. 유한요소법이 그 대표적인 해석법으로 등장하여 복잡한 구조물의 정적, 동적 해석에 응용되고 있으나, 구조물의 특성고유모드와 목적하는 주파수를 변경시키기 위해서 많은 시행착오를 거듭해야 하는 어려움이 있다.

따라서 이러한 문제점을 개선하기 위해 부분구조합성법(Substructure Synthesis Method : SSM)이 최근 실용적인 진동해석 방법으로 사용되고 있으며 이러한 부분구조합성법은 구조물의 동특성 향상을 위해 보다 효과적으로 구조물을 분리하여 전체 구조물 중 일부를 설계 변경할 때 재 계산의 효율성과 신속성을 기할 수 있다.

특히 직기의 경우 유한요소모델은 요소의 수에 따라 방대한 자유도를 가지므로 동적 해석 시 많은 계산시간을 요하거나 과도한 컴퓨터 메모리를 요구하고 있다. 따라서 본 논문에서는 직기 구조물의 동적 해석을 수행하기 위해 직기 구조물을 몇 개의 부분구조로 나누어 수치해석 방법을 적용한 후 다시 합성하는 SSM을 이용하여 구조물 동적 모델의 자유도를 줄임으로써 기존 유한요소법의 단점을 보완함과 동시에 섬유기계설계 기술 향상을 위한 방안으로써 제시하고자 한다.

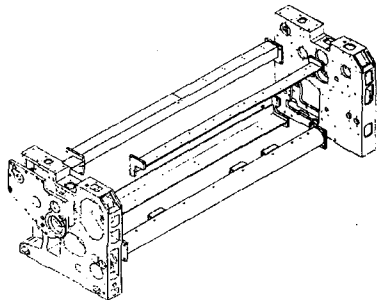
#### 2. 연구내용

본 논문에서 적용한 부분구조합성법(SSM)은 각 부분계의 동특성을 몇 개의 저차 고유모드만으로 나타내고 이들 몇 개의 고유진동수와 고유모드의 결합으로 전체 시스템의 동특성을 해석하는 부분모드합성법(Component Mode Synthesis : CMS)을 사용하였으며, 이는 유한요소모델을 구성할 수 있는 구조물이면 적용가능하고 결합부의 특성을 고려할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 따라서 본 논문에서는 CMS에 의한

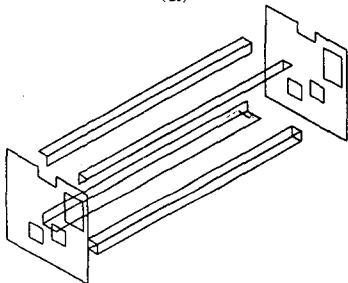
제트직기 구조물의 해석결과와 상용구조해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 유한요소모델을 구성하여 해석한 결과를 비교함으로써 본 연구에서 개발한 프로그램에 대한 효율성과 결과를 검증하였다.

2-1. 부분구조합성법을 이용한 구조물 해석

전체 직기 메인 프레임은 Fig. 1(a)에서 보는 바와 같이 좌, 우측에 위치한 두 개의 프레임과 두 개의 프레임을 연결하고 있는 네 개의 보로 이루어져 있다.



(a)



(b)

Fig.1 Main frame of jet loom structure

Fig. 1(b)는 실제 도면에 기초하여 나타낸 형상이며, 유한요소모델로 구성하기 위해 Fig. 1(b)와 같이 간략하고 이상화 시켜 표현하였다. 또한, CMS를 적용시키기 위해 전체 구조물을 두 개의 좌우 프레임과 네 개의 보로 나누어 나타내었다. Fig. 1(a)와 같이 여섯 개의 부분계는 위치에 따라 각각 Frame 1 과 Frame 2 그리고, Beam 1 ~ Beam 4 로 각각 가정하였다. 각 프레임과 보의 재료 물성치는 Table 1과 같다.

Parts	Young's Modulus (Pa)	Poisson's ratio	Density (kg/m3)	Thickness (m)
Frame	117e9	0.255	7145	0.030
Beam	210e9	0.300	7830	0.010

Table 1. Material Properties of main frame

먼저, 각 부분계의 모달 해석 결과를 확인하기 위해 CMS의 적용 이전에 각 부분계의 모달 해석을 수행하였다. 각 부분계의 경계 영역을 기준으로 나누어 보의 경우 경계 영역의 절점을 모두 구속시키는 초기 조건을 부여하여 해석을 수행하였고, 양쪽 프레임의 경우 해석을 수행하기 위해 실제 초기 조건과 유사한 프레임의 아래쪽 지지 부위를 구속하였다. Fig. 2와 Fig. 3은 각각 프레임과 보의 부분계이다.

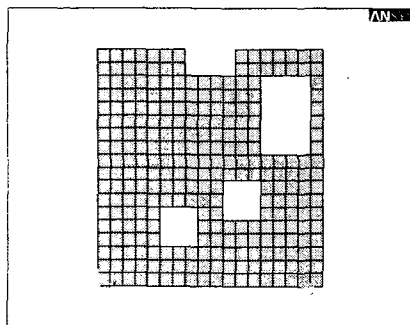


Fig. 2 Substructure of main frame

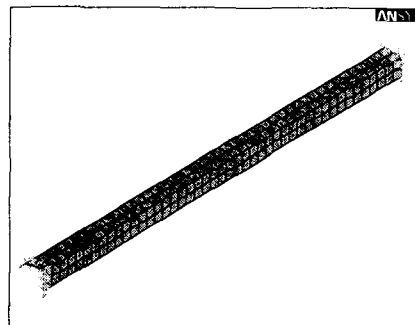


Fig. 3 Substructure of main frame

CMS 수행을 위한 프로그램 알고리즘은 다음 Fig. 4와 같이 구성하였고, 해석결과는 상용해석프로그램인 ANSYS 유한요소모델의 해석결과와 비교하여 Table 2에 나타내었다.

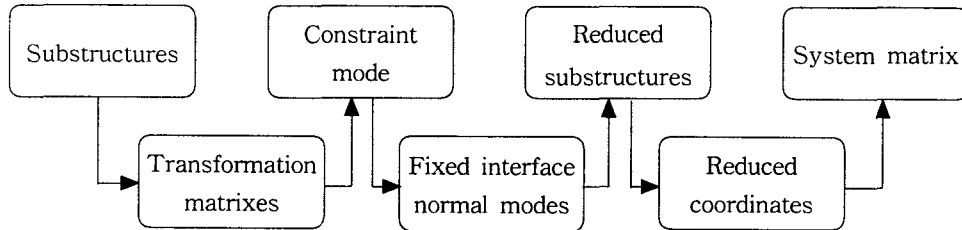


Fig. 4 Algorithm for CMS

### 2-2. 유한요소법(ANSYS)에 의한 모델링

CMS를 이용하여 해석을 수행하여 얻은 결과를 검증하기 위해 상용해석프로그램인 ANSYS를 사용하여 유한요소모델을 구성하고 모달해석을 수행하여 CMS 결과와 비교하였다. ANSYS를 이용한 유한요소모델은 CMS 해석 조건과 동일하게 가정하여 다음 Fig. 5와 같이 나타내었다.

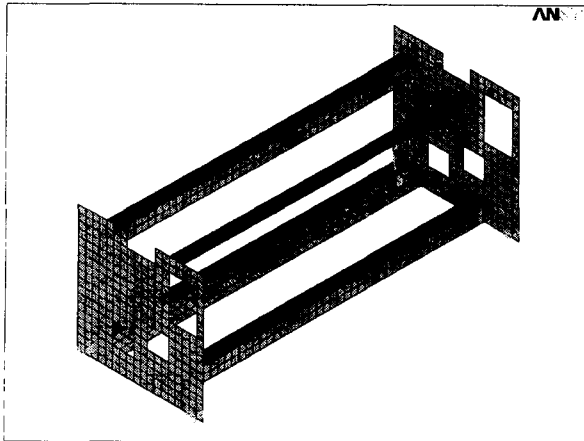


Fig. 5 F. E. Model of main frame

사용된 재료의 물성치는 CMS 해석과 동일하고, 요소는 3차원 6자유도를 가진 shell63을 사용하였다. 구속조건은 좌·우측 프레임 양단 4군데에서 5자유도를 구속시켰다. 요소 하나의 크기는 가로, 세로 50mm로 고정시켰으며, 전체 모델에서 사용된 절점의 수는 CMS 해석과 동일한 1720개가 사용되었다.

유한요소모델의 모달해석 결과는 CMS 해석 결과와 비교하여 Table 2에 나타내었으며, 전체적인 오차범위는 1.50% ~ 2.15%로 아주 근소한 오차를 나타내고 있음을 알 수 있다.

Mode	ANSYS (Hz)	CMS	
		Freq.(Hz)	Error(%)
1 <sup>st</sup> mode	39.616	40.212	1.50
2 <sup>nd</sup> mode	54.313	55.426	2.05
3 <sup>rd</sup> mode	57.189	58.419	2.15

Table 2 Comparison of two methods

### 3. 결 론

부분구조합성법을 적용한 프로그램에 의한 제트직기 구조물의 동특성 해석결과와 상용해석프로그램에 의한 해석 결과의 비교에서 보는 바와 같이 오차는 1.5%~2.15%로 아주 근소한 오차를 보이고 있다. 하지만 전체 시스템의 해석에 소요된 해석 시간과 자유도를 비교하면 상당한 차이를 보이고 있다.

특히, 자유도의 경우 두 가지 방식에 따라 큰 차이를 보이고 있으며, 전체 구조물의 시스템 행렬의 크기는 각 부분계의 경계영역의 수와 추출된 모달 데이터의 수에 따라 달라질 수 있다. 본 연구에서 사용된 직기 구조물의 경우 부분구조합성법을 적용하지 않고 전체 유한요소모델을 나타낸다면, 절점의 수는 1,720개이며, 자유도로 나타내면 전체 시스템 행렬은 [10320x10320] 행렬을 이루게 된다. 이러한 크기의 행렬 연산은 많은 해석시간과 컴퓨터 메모리를 요구하게 된다. 부분구조합성법의 적용 시 시스템 행렬은 [306x306]으로 대략 1000배 이상의 차이가 나고 있다.

또한, 각 부분계의 해석을 따로 수행하여 결과를 각각 파일로 저장하게 되므로 유한요소모델의 변경으로 인한 재해석 시 변경된 부분이 속한 부분계만 해석을 수행하고 나머지 부분계의 경우 이미 해석되어 있는 결과를 이용하여 전체 시스템을 해석할 수 있다. 이러한 장점들로 인해 제트 직기와 같이 복잡하거나 큰 규모의 유한요소모델 개발 시에 주로 부분구조합성법을 사용하고 있다.

본 연구에서 진행된 부분구조합성법은 직기뿐만 아니라 복잡한 형태를 지니고 있는 다양한 섬유기계 분야에 적용 가능할 것으로 생각되며, 효율적인 설계 및 해석 기법으로써 이미 보편적으로 사용되고 있는 상용해석 프로그램과 비교, 분석함으로써 충분한 타당성을 확보하고 있다.

### 참고문헌

1. 오재웅, 이정환, 임동규, “부분구조합성법을 이용한 대형구조물의 동특성 규명 및 개선에 관한 연구” 한국소음진동공학회지, 제4권, 제3호, pp.327~335 (1994)
2. 권상석, 전두환, 김병욱, “Computer Simulation을 위한 제트직기 구조물의 해석모델링” 한국섬유공학회 논문집 Vol. 33, No. 1, pp.315~318 (2000)
3. C.Morales, “Rayleigh-Ritz Based Substructure Synthesis for Multiply Supported Structures” Transactions of the ASME, vol.122 Jan. pp.2~6 (2000)
4. K.F.Alvin, K.C.Park, “Extraction of Substructural Flexibility from Global Frequencies and Mode Shapes”, AIAA Journal, Vol. 37, No. 11, pp.1444-1451 (1999)
5. Robert D.Blevins Ph.D “Formulas for Natural Frequency and Mode Shape”, Van Nostrand Reinhold Company (1979)
6. ANSYS User Manual, Theory Reference Vol IV., ANSYS Inc. (1998)
7. N. Johan Wismer and H. Konstantin-Hansen, “The Application note for Vibration & Modal Analysis”, Spectris Korea Ltd. (1997)
8. K. Slater, “Textile Mechanics”, The Textile Institute Manchester (1987)