

Explicit Dynamic Code를 이용한 직물의 드레이프 모사에 관한 연구

유용렬, 강태진, 정관수
서울대학교 섬유고분자 공학과

1. 서론

직물의 드레이프 모사를 위해 셀이론을 이용하여 개발된 정적변형(static deformation) 해석 프로그램은 직물의 크기가 비교적 작은 경우에는 다양한 상황에서의 직물의 드레이프 거동 예측에 만족할 만한 결과를 제시하였다[1]. 그러나 직물의 크기가 큰 경우에는 수치해석시에 나쁜 수렴성을 보여준다. 이는 유한요소 해석시 직물의 굽힘강성(bending rigidity)으로 구성되는 강성행렬(stiffness matrix)이 극히 작으므로 뉴우턴 반복법에 의해 평형해를 구할 때 수렴반경(Radius of convergence)이 작아지기 때문이다. 이런 정적변형 해석 프로그램의 한계를 극복하기 위해 관성효과를 고려한 외연적(explicit) 동적변형 해석 프로그램을 작성하였다. 크기가 큰 직물의 드레이프 거동을 살펴보면 초기 변형은 직물 자중에 의해 자유낙하하여 짧은 시간에 변형이 일어나고 이후 직물의 굽힘 강성이 계속적인 변형에 저항하여 최종적인 드레이프 형상에 도달하게 된다. 그러므로 관성력을 고려한 동적 변형 해석이 직물의 드레이프 거동을 모사하는 데 적절한 방법이 될 수 있다.

관성력을 고려하여 직물의 드레이프 거동을 모사하는 이전의 연구들로는 Ascough[2], Stylios[3]의 연구 등이 있다. 이들은 직물을 단순한 보의 조합으로 가정하고 beam theory를 사용하여 직물의 드레이프 모사에 적용하였다. 그러므로 이들의 모델은 측정된 물성들(굽힘강성, 인장강성 등)을 그들이 가정한 구조에 알맞게 배분해야 하는 문제점들이 있다. Breen[4]등은 직물의 구조를 particle들의 조합으로 가정하여 constrained dynamics 응용하여 직물의 드레이프 거동을 모사하였다. Breen의 모델도 빔모델과 같이 직물의 물성을 임의로 배분해야 하는 어려움이 있다. 그러므로 본 연구에서는 직물을 연속체를 가정하고 측정된 직물의 물성이 그대로 반영할 수 있는 연속체역학과 동역학을 이용하여 직물의 드레이프 거동을 예측하고자 한다.

2. 유한요소 모델

직물의 드레이프 거동을 모사하기 위해 외연적(explicit) 시간적분 방법을 사용하는 셀 요소를 사용하였다. 사용된 유한요소(finite element) 모델은 순간적인 외력에 의해 발생하는 대변형을 해석하기 위해 고안된 모델이다[5]. 이 요소(element)는 사변형요소로서 한 점에서 수치 적분을 수행하고 이로 인해 발생하는 hourglass mode을 단순한 방법으로 처리한다.

그러므로 수행시간이 단축되는 이점을 가지고 있다. 사용된 유한요소식(finite element equation)은 $M\dot{v} = f^{ext} - f^{int}$ 이다. 여기서 M 은 mass matrix, \dot{v} 는 가속도, f^{ext} 는 외력, f^{int} 는 내력을 나타내는 벡터량이다. 이 양들은 the principle of virtual power 에 의해 계산되면 Figure 1 에 제시된 흐름도의 과정을 통해 변형된 형상을 구하게 된다. 프로그램 작성을 위한 자세한 사항은 참고문헌 [5]에 제시되어 있다.

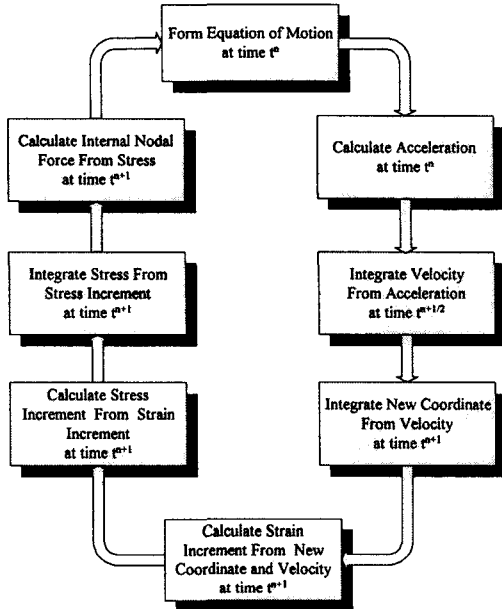


Figure 1. Overall procedure of explicit algorithm for dynamics of shell

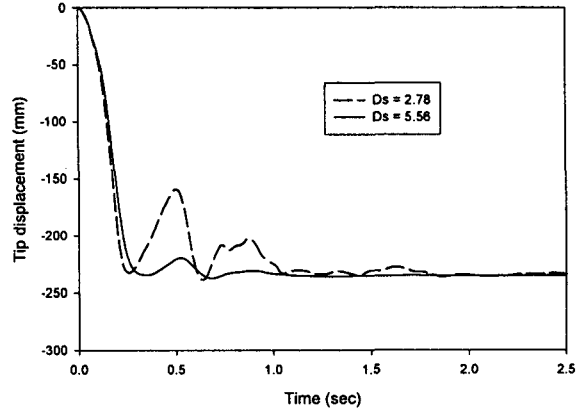


Figure 2. Variation of tip-displacement of fabric strip with time with two different damping constants, D_s

3. 결과 및 고찰

관성효과를 고려한 동적 변형 해석을 통해 직물의 최종적인 변형 형상을 구하기 위해 다음과 같은 감쇠 방법을 사용하였다. 사용된 감쇠 방법은 운동중인 구조체의 속도에 비례하여 이 운동을 멈추게 하는 외력을 부가적으로 운동방정식에 아래 식과 같이 첨가시키는 것이다. 이 방법의 특징은 구현하기가 쉽고 감쇠 효과를 확인하기 쉬운 특징이 있다.

$$\dot{v} = [M]^{-1} (F^{ext} - F^{int} - F_{damp})$$

$$F_{damp} = D_s m v$$

여기서, F_{damp} 는 감쇠력을 나타내는 항이다. D_s 는 댐핑계수(damping constant)로 해석하려고 구조체의 진동수에 의해 결정된다. 이 계수들에 따른 fabric strip의 운동을 시간에 따라 Figure 2에 나타내었다. 또한 댐핑계수에 따른 최종 형상을 알아보기 위해 댐핑계수를 임의로 크게 하여 최종 정지 형상을 비교하였다. 사용된 감쇠 방법은 Figure 3에 나타나 있는

것처럼 댐핑계수에 따라 최종 정지 형상을 변화시키지 않는 것을 알 수 있다. 또한 fabric strip의 한쪽 끝을 고정시키고 다른 끝을 자유낙하시켰을 때의 직물의 전체 변형 거동을 Figure 4에 나타내었다.

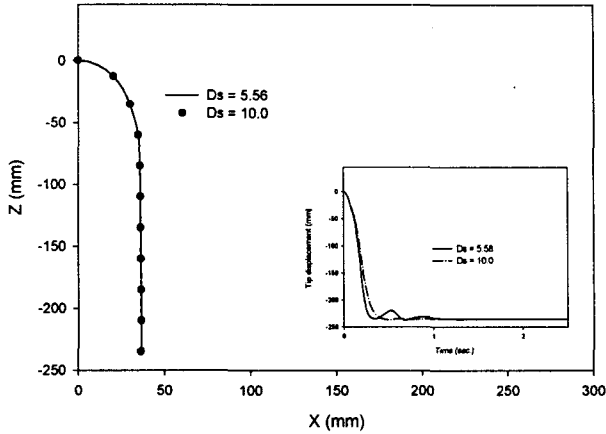


Figure 3. Comparison of deflection of the final damped shape of fabric with two different damping constants. Inner plot represents the deflection history with time with two different damping constants.

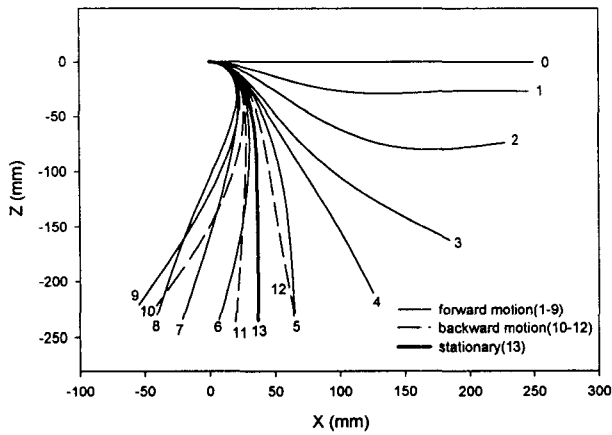


Figure 4. Deformation process of fabric strip with time

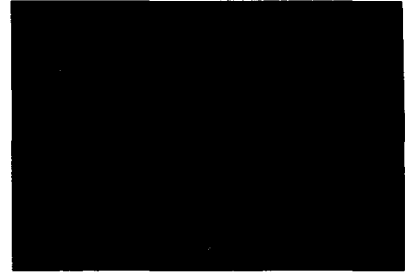


Figure 5. The draped 3-D shape of a fabric with size of 1000mm.

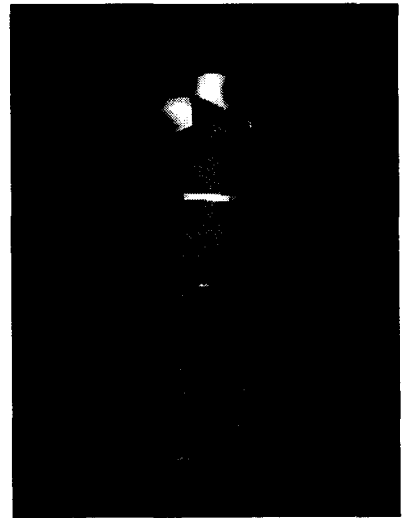


Figure 6. Draped shape of a skirt

직물의 크기가 매우 큰 경우의 드레이프 거동 해석을 위해 1000mm 크기의 정사각형 직물이 500mm 크기의 정사각 테이블 위에 놓여졌을 때의 드레이프 모사를 행하였다. 사용

된 유한요소는 2500개이며 penalty 접촉처리 알고리즘을 사용하였다. 모사된 형상은 Figure 5에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 개발된 해석 프로그램은 직물의 드레이프시에 자주 발생하는 double curvature 모양의 굴곡을 적절히 모사함을 알 수 있다. 실제 직물의 드레이프 형상과 비교를 행한 결과 처짐이 10% 이하의 차이를 보였다.

다음으로 의복의 드레이프 형상을 단순한 스커트 패턴을 사용하여 모사하였다. 먼저 2D 의복 디자인 캐드로부터 인체에 맞는 스커트 패턴을 작성하고 이 2D 패턴을 유한요소로 분할하였다. 분할된 mesh에 봉제선을 정하고 mesh line의 스트레치(stretch)를 국부적으로 최소화 하는 초기 형상을 작성하였다[6]. 이렇게 작성된 스커트의 초기형상과 인체 상반신(torso)과의 접촉처리를 행하여 스커트 착용시의 드레이프 형상을 Figure 6에 보는 것과 같이 모사하였다.

4. 결론

크기가 큰 직물의 드레이프 거동과 인체와 접촉에 의한 의복의 드레이프 형상에 대한 모사가 직물의 동적변형을 고려한 유한요소해석 프로그램을 제작하여 이루어졌다. 또한 드레이프를 고려한 의복외관에 대한 모사를 접촉처리 알고리즘을 첨가하였다. 사용된 이론의 타당성을 확인하기 위해 모사된 형상과 실제 직물의 처짐 형상을 비교하였다. 이를 통해 크기가 큰 직물의 드레이프 거동과 의복의 드레이프 형상 예측에 외연적 적분방법을 이용한 동적 변형 해석이 유용함을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. T.J. Kang, W.R.Yu, and K.Chung, "Drape Simulation of Woven Fabric by using the Finite Element Method", *J. Text. Inst.*, Vol. 86, No. 4, 1995
2. G.Stylios, T.R. Wan, and N.J.Powell, "Modeling the Dynamic Drape of Fabrics on Synthetic Humans", *Int. J. Cloth. Sci.Tech.*, Vol.7, pp.10-25, 1995
3. J.Ascough, H.E.Bez, and A.M.Bricis, "A Simple Finite Element Model for Cloth Drape Simulation", *Int. J. Cloth. Sci. Tech.*, Vol.8, pp.59-74, 1996
4. D.E. Breen, D.H.House, and M.J.Wozny, "A Particle-Based Model for Simulating the Draping Behavior of Woven Cloth", *Text. Res. J.*, Vol. 64., No. 11, pp. 663-685, 1994.
5. T.Belytschko and J.I.Lin, "Explicit Algorithms for The Nonlinear Dynamic of Shells", *Comp. Meths. App. Engrg.*, Vol. 42, No. 3, pp. 225-251, 1984.
6. T.J.Kang, W.R.Yu, J.K.Park, S.M.Kim and K.Chung, "Visualization of Clothing Appearance Using Fintie Element Analysis", *Proceedings of The 4th Asian Textile Conference*, pp.1105-1110, 1997.