

Crush Tube 를 이용한 충격에너지 흡수 해석 Simulation of Impact Energy Absorption Using the Crush Tube

김태욱†
Tae-Uk Kim

1. 서 론

금속 및 복합재 튜브를 이용한 완충 구조에 대해서는 많은 연구가 수행되고 있다. 이 논문에서는 Explicit finite element S/W 인 LS-DYNA 를 사용하여, 충격하중을 받는 금속과 복합재 튜브의 파손 모드와 하중-변위 관계를 구하고, 에너지 흡수 과정을 해석하였다. Crush tube 는 향후 항공기 subfloor 나 착륙장치 등에 적용하여 내추락성 (crashworthiness) 향상을 위한 에너지 흡수 장치로 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

2. Dynamic Analysis

2.1 Finite element modeling

Figure 1은 crush tube 해석을 위한 유한요소 모델을 나타낸다. 경계 조건으로, 튜브 상단에서 Rigid plate가 초속 V_0 로 충격을 가하며, 하단은 6 자유도를 모두 구속하고 rigidwall을 통해 튜브가 항상 지지되도록 하였다. LS-DYNA에서 제공하는 Contact 옵션으로, 상단 Plate와 튜브 사이에는 “contact_automatic_node_to_surface”를 사용하였고, crush tube에는 interpenetration을 막기 위해 “contact_automatic_single_surface”를 적용하였다.

Belytschko-Tsay shell element를 사용하였고, 금속 튜브의 경우 두께 방향으로 5개의 적분점, 복합재는 layey 당 1개의 적분점을 적용하였다.

또한 금속재와 달리 복합재 튜브의 경우, 안정적인 점진적인 파손(stable and progressive failure)을 위해서는 trigger 개념의 도입이 필요하다. 이를 위해 튜브 상단 4열의 element 두께를 감소시켜 파손이 쉽게 발생하도록 하였다.

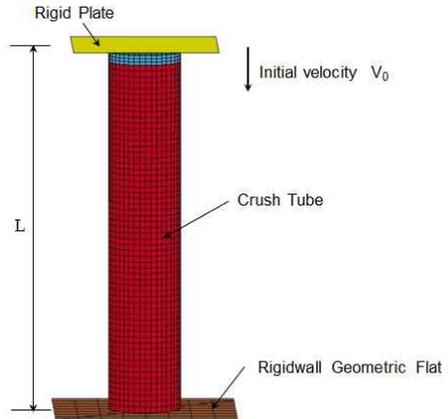


Figure 1. Finite element model for LS-DYNA.

2.2 Metal and composite tubes

금속 및 복합재 튜브는 각각 고강도강(High-strength steel)⁽¹⁾과 Glass fiber/epoxy⁽²⁾를 사용하였으며, 물성치는 Table 1과 같다. 해석에는 LS-DYNA의 Material model MAT24 Piecewise Linear Plasticity와 MAT54 Enhanced Composite Damage⁽³⁾를 사용하였다. MAT54의 경우, TFAIL과 SOFT라는 parameter가 튜브 거동에 큰 영향을 미치게 되는데, 해석에서는 trial-and-error를 통해 적절한 값을 결정하였다. 통상 Kevlar류의 복합재를 제외하고는 brittle한 파손 거동을 보이므로, TFAIL은 0.4~0.8의 범위를 갖도록 하였다. 또한 점진적인 파손이 이루어지도록 SOFT의 값을 변화시키며 거동을 분석하였다.

Table 1 Material properties

Property	Steel	Glass/epoxy
Density(kg/m ³)	7820	1795
Ea(GPa)	207.2	20.6
Eb(GPa)	-	6.9
Gab(Gpa)	80.3	2.9
Yield stress (MPa)	446	-
Compressive strength(MPa)	-	500

† 교신저자; 한국항공우주연구원

E-mail : tukim@kari.re.kr

Tel : 042-860-2025, Fax : 042-860-2006

2.3 Results and discussion

Figure 2와 Figure 3에 금속 및 복합재 튜브에 대한 해석결과를 나타내었다.

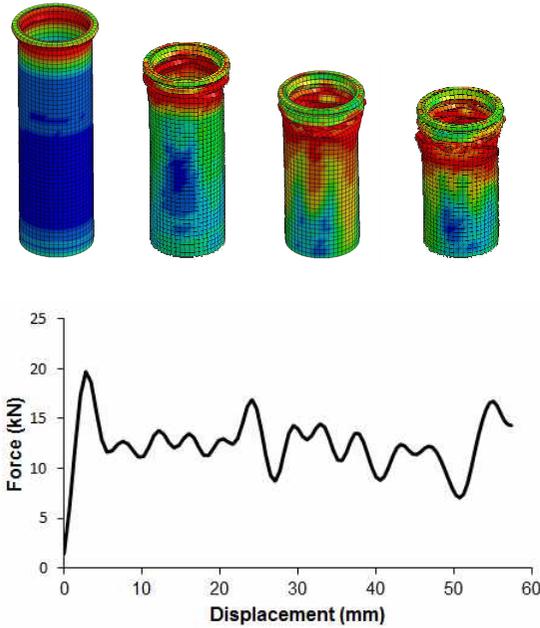


Figure 2. Failure mode and load-displacement curve of the metal tube.

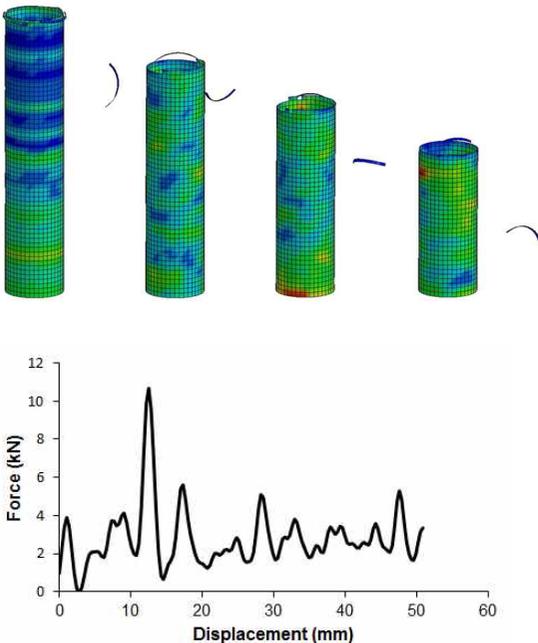


Figure 3. Failure mode and load-displacement curve of the composite tube.

Force-displacement curve의 경우 LS-DYNA에서 제공하는 SAE filter (600Hz)를 적용한 결과이다. 그림에서 보여 주듯이 metal tube의 경우는 소성변형(accordion folding)에 의해 주로 에너지를 흡수함을 알 수 있다. 파손 모드 역시 점진적이고 대칭적으로 발생하고, 첫 번째 peak load를 제외하고는 하중도 비교적 균일하게 작용함을 알 수 있다. Glass/epoxy의 복합재 튜브는 소성변형 없는 brittle fracture 현상을 보여 준다. 파손 과정이 진행됨에 따라 element가 삭제되기 때문에, loading plate와 튜브 간의 contact force가 0이 되는 결과를 얻기도 하였다. 또한 trigger 개념에 따라 파손 모드가 불안정하게 변하기도 하였다. 대부분 복합재 튜브의 경우, brittle fracture나 continuous fronds에 의한 에너지 흡수 과정이 주종을 이루며, 해석으로 이를 정확히 모사하기는 매우 어렵다. LS-DYNA MAT54 constitutive model는 사용자가 TFAIL, SOFT, EFS 등을 인위적으로 조정하여 파손 과정을 튜닝할 수 있다. 따라서 실제 구조물에 적용하기 위해서는 coupon level의 물성 시험 및 튜브 충격시험 결과를 반영하여 해석 모델을 구성하는 것이 필수적인 것으로 판단된다.

3. 결 론

항공기 내추락성 향상을 위한 부가적 에너지 흡수 장치 개발의 선형 연구로, crush tube의 동적 충격 거동을 분석하였다. 복합재 튜브의 경우는 해석에 적용한 인위적 parameter의 영향이 커 해의 신뢰성을 단정짓기가 어려우며, 시험결과와의 correlation 과정이 필요한데 이에 대한 연구가 진행 중이다.

참 고 문 헌

- (1) Tai, Y. S., Huang, M. Y. and Hu, H. T., 2010, Axial compression and energy absorption characteristics of high-strength thin-walled cylinders under impact load, Theoretical and Applied Fracture Mechanics. Vol. 53, pp. 1~8.
- (2) Han, H., Taheri, F., Pegg, N. and Lu, Y., 2007, A numerical study on the axial crushing response of hybrid pultruded and $\pm 45^\circ$ braided tubes, Composite Structures. Vol. 80, pp. 253~264.
- (3) LS-DYNA keyword user's manual, V971, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, USA.