

섬유강화 복합재 컨테이너의 구조안전성 평가 Evaluation of Structural Safety of Fiber Reinforced Composite Container

*김원식¹, 김찬규², #윤성호³

*W. S. Kim¹, C. G. Kim², #S. H. Yoon(shyoon@kumoh.ac.kr)³

¹금오공과대학교 기계공학부 ²금오공과대학교 기계공학과 대학원

³금오공과대학교 기계공학과, 교신저자

Key words : Fiber Reinforced Composite Container, Structural Safety, Hydrostatic Pressure, Failure Index

1. 서론

복합재는 금속재에 비해 비강성과 비강도가 높기 때문에 경량화가 요구되는 산업분야에서 많이 적용되고 있다. 그러나 주어진 기능을 만족시키기 위한 효율적인 구조설계가 가능하지만 구조성능을 정확하게 예측하기 위해서는 구조해석이 수반되어야 한다. 복합재 구조해석을 위해서는 플라이 물성의 입력이 필요하지만 해석의 편의를 위해 적층판에 대해 실험적으로 평가한 등가물성을 적용하여 구조해석을 수행하기도 한다[1].

본 연구에서는 정수압을 받는 섬유강화 복합재 컨테이너의 벽면에서의 변형을 실험적으로 측정하고 이들 실험결과에 대한 타당성을 검증하기 위해 상용 유한요소해석 프로그램을 이용한 구조해석을 수행하였다. 아울러 구조해석의 결과에 대해 Tsai-Wu 파손판정식을 적용하여 섬유강화 복합재 컨테이너의 구조안전성도 조사하였다.

2. 실험방법

Fig. 1에는 물이 채워진 섬유강화 복합재 컨테이너의 형상과 실험장치가 나타나 있다. 컨테이너는 유리섬유/비닐에스터로 제작하였으며 정수압에 의한 벽면의 변형을 최소화하기 위하여 벽면 중앙부와 하단부가 다른 부위에 비해 보강된 형태로 되어 있다. 본 연구에서는 섬유강화 복합재 컨테이너의 긴 쪽을 정면(Front), 좁은 쪽을 측면(Side)으로 정의하였으며 정수압 실험을 위해 섬유강화 복합재 컨테이너의 특정 지점까지 물을 채운 뒤 바닥면을 기준으로 250, 400, 800mm 지점에서의 정면과 측면 변형을 다이얼 게이지로 측정하였다.

3. 유한요소해석

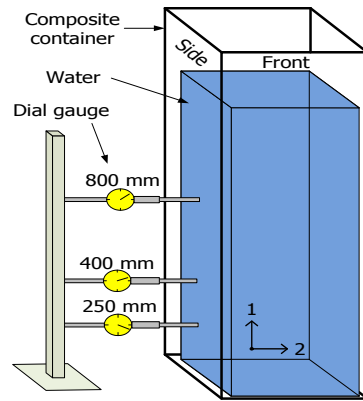


Fig. 1 Configuration of hydrostatic test

정수압을 받는 섬유강화 복합재 컨테이너의 구조해석을 위하여 상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 사용하였다. 복합재 컨테이너는 비대칭 적층패턴을 가지고 있기 때문에 복합재의 물성은 두께 방향으로 내부(Inner)와 외부(Outer)로 나누어 두 개의 층으로 가정하여 물성을 부여하였고 재료의 두께는 각 면을 7개의 면으로 나누어 각각 다른 두께를 부여하여 실제 형상과 유사하게 모델링하였다. 요소종류는 Shell 181, 요소수는 2659개, 절점수는 2680개를 사용하였다. 복합재 컨테이너에 채워진 물이 고려된 하중조건은 정수압을 가하는 형태로 적용하였다. 이러한 경우 자유면에서 바닥면으로 갈수록 수압은 증가하고 바닥면에서의 정수압은 최대 12.9kPa이다. 경계조건은 복합재 컨테이너의 바닥부에서 한쪽 모서리를 완전 고정시키고 바닥면은 회전운동과 높이방향으로 병진운동을 구속하여 복합재 컨테이너가 바닥과 미끄러짐이 가능하도록 하였다.

4. 파손판정

본 연구에서는 복합재 컨테이너의 구조안전성 평가를 위해 Tsai-Wu 파손이론을 적용하여 파손지수(failure index)를 조사하였다. 이때 파손지수가 1과 같거나 큰 경우 파손이 발생한 것으로 간주한다. 식 (1)에는 Tsai-Wu 파손판정식이 나타나 있다.

$$F.I = \frac{\sigma_1^2}{(X^t)^2} - \frac{\sigma_1\sigma_2}{X^t Y^t} + \frac{\sigma_2^2}{(Y^t)^2} + \frac{\tau_{12}}{S^2} \quad (1)$$

이때 σ_1 은 길이방향 응력, σ_2 는 폭방향 응력, τ_{12} 는 면내방향 전단응력, X^t 는 길이방향 인장강도, Y^t 는 폭방향 인장강도, S 는 면내방향 전단강도이다.

5. 결과

Table. 1에는 실험과 유한요소해석을 통해 얻은 정수압을 받는 복합재 컨테이너의 정면과 측면 변형이 나타나 있다. 실험결과를 보면 정면 250mm 지점에서 0.94mm의 최대변형이 나타나고 측위치가 높아질수록 변형이 작게 나타났으며 측면에 비해 폭이 긴 정면에서 더 큰 변형이 나타났다. 해석결과도 정면 250mm 지점에서 1.03mm의 최대 변형이 나타나고 실험결과와도 비교적 유사하게 나타났다. Fig. 2(a)에는 유한요소해석을 통해 정수압을 받는 복합재 컨테이너 정면 내부층과 외부층에서의 응력분포가 나타나 있다. 정수압을 받는 벽면의 경우 변형에 의해 내부층에서는 중앙에서 폭방향 압축응력, 모서리에서 폭방향 인장응력이 발생하고, 외부층에서는 중앙에서 폭방향 인장응력, 모서리에서 폭방향 압축응력이 나타났다. 또한 최대인장응력은 내부층 모서리 부분에서 폭방향으로 16.2MPa이 발생하고 최대압축응력은 외부층 모서리 부분에 폭 방향으로 15.6MPa이 나타났다. Fig. 2(b)에는 Tsai-Wu 파손판정식을 통해 얻은 파손지수가 나타나 있다. 여기에서 보면 내부층에서는 최대인장응력이 발생하는 지점에서 파손지수가 0.002이며 외부층에서는 최대압축응력이 발생하는 지점에서 파손지수가 0.0018임을 미루어 판단하면 복합재 컨테이너는 충분한 여유를 가지고 있어 구조적으로 안전한 것으로 판단된다.

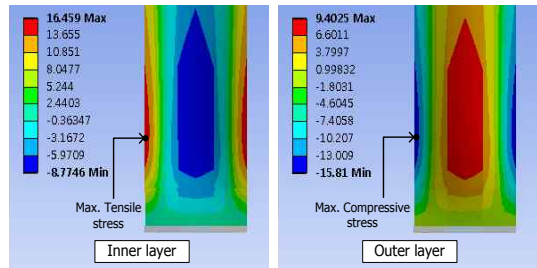
6. 결론

본 연구에서는 섬유강화 복합재 컨테이너가 정수압을 받는 경우 복합재 컨테이너 벽면에서의

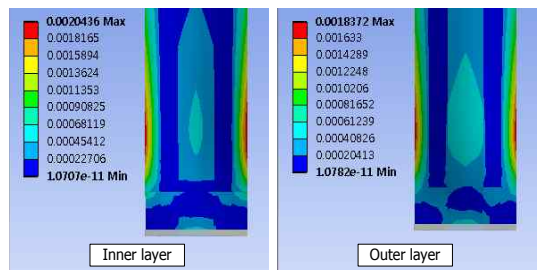
Table 1 Comparison of deformation between experimental and analysis results

position	experiment		analysis	
	front	side	front	side
250	0.94	0.88	1.03	0.85
400	0.90	0.88	0.93	0.73
800	0.70	0.66	0.51	0.41

unit : mm



(a) Stress distribution



(b) Tsai-Wu failure index

Fig. 2 Stress distribution and failure index of composite container (front)

변형 및 응력분포를 통해 구조안전성을 조사하였다. 결과에 따르면 컨테이너 벽면에서 최대 변형은 실험결과와 해석결과가 유사하게 나타났으며 Tsai-Wu 파손판정식의 적용을 통해 복합재 컨테이너는 작용된 정수압에 구조적으로 안전함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. S.W. Tsai and H.T. Hahn, "Introduction to Composite Materials," Technomic Publishing Co., Inc., Chapter 7, 1980.