

복합재 내압선체의 좌굴압력에 관한 유한요소해석

조종래⁺, 정해영⁺⁺, 권진희⁺⁺⁺, 최진호⁺⁺⁺⁺, 조윤식⁺⁺⁺⁺⁺

Finite Element Analysis on Buckling Pressure of Composite Pressure Hull

J.R.Cho⁺, H.Y.Jung⁺⁺, J.H.Kwon⁺⁺⁺, J.H.Choi⁺⁺⁺⁺, Y.S.Cho⁺⁺⁺⁺⁺

The results of an experimental and analytical study of composite pressure hull on buckling pressure are presented for URN 300. We predicted the buckling and post buckling analysis of composite laminated cylindrical shell and panel under external compression by using ABAQUS/Standard[Ver 6.4]. To obtain nonlinear static equilibrium solutions for unstable problems, where the load-displacement response can exhibit the type of nonlinear buckling behavior, during periods of the response, the load and/or the displacement may decrease as the solution evolves, used the modified Riks method. Experiments were conducted to verify the validation of present analysis for cross-ply laminated shells. The shells considered in the study have four different lamination patterns, $[\pm\theta/0/90]_{14s}$, $[\pm\theta_{14}/0_{14}/90_{14}]_s$, $[\pm 45/0/90]_{18s}$ and $[0/90]_{18s}$. At the result of this study, the optimized ply orientation angle is 75° . The critical load from experiment is 69% of that of numerical analysis, because the fracture of matrix was generated before buckling. So URN 300 is not proper to use at the condition under high external pressure.

Key words : Cylindrical shell (원통셸), Composite (복합재), Buckling(좌굴), Ply orientation (적층방향)

1. 서론

심해에서 운항하는 수중운동체는 외부의 높은 압축하중을 받게 되므로 충분한 강도를 지니도록 내압선체를 설계하여야 한다. 보통 수중운동체의 내압선체는 보강 원통형 셸구조로 구성되고, 양 끝단에 구형 또는 타원셸이 부착되는 형상을 지닌다 [1]. 수중운동체의 경우 잠수심도에 영향을 끼치는 것은 수중운동체의 중량으로서 이러한 중량을 줄이려는 방안으로서 수중운동체의 내압선체의 재질을 고강도강 대신 알루미늄, 티타늄 뿐만 아니라 복합재를 사용한 연구들이 진행되었다[2-5]. 특히 복합재는 종류, 적층순서, 적층각에 따라 강도가 변화하므로 복합재에 대한 연구는 계속되고 있다.

본 연구에서는 고심도 수중운동체의 내압선체에 새롭게 적용될 URN300에 대한 기초 데이터를 확보하기 위하여 상용 유한요소 코드인 ABAQUS [Ver6.4]를 이용하여, 적층각과 적층순서에 대해서 비교하였고 해석을 검증하기 위하여 압축하중 실험을 수행하여 비교 분석 하였다

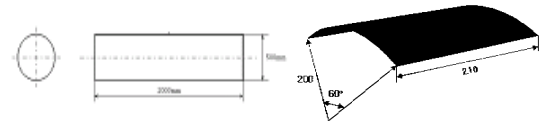
2. 복합재를 이용한 유한요소해석

좌굴해석에 사용되는 복합재는 적층복합재로서 적층각과 적층순서가 내압선체의 강도를 결정하게 된다. 따라서 이러한 적층복합재를 이용한 내압선체의 설계를 위해서는 적층각과 적층순서에 따른 비선형 좌굴해석을 수행하여야 한다.

2.1 모델링 및 경계조건

적용모델인 수중운동체 내압선체를 단순화하여 원통셸과

압축 시험 모델인 원통판넬의 치수를 Fig. 1에 나타내었다.



(a) Cylindrical shell (b) Cylindrical panel

Fig. 1 Test model dimension

복합재 시편으로 원통셸은 적층순서는 등가모델로서의 두가지 지를 비교하기 위하여 적층순서①인 $[\pm\theta/0/90]_{14s}$ 와 적층순서②인 $[\pm\theta_{14}/0_{14}/90_{14}]_s$ 를 사용하였다. 원통판넬에 대해서는 두 적층순서에 대하여 적층각 15° 는 간격으로 변화시켰다.

2.2 해석수행방법

(1) 적층형태에 따라서 고유치 해석을 수행하였고 비선형 좌굴해석에 적용될 초기압력을 구하였다.

(2) 고유치 해석에서 구한 첫 번째 형상과 좌굴계수를 이용하여 비선형좌굴해석의 초기형상과 초기압력으로 적용하여 비선형 해석을 수행한다

2.3 해석결과 및 고찰

적층순서 ①, ②에 대한 고유치 해석과 비선형 좌굴해석을 비교해 본 결과 최대좌굴압력과 최저좌굴압력은 둘다 적층각 75° 와 0° 에서 발생하였다. 그리고 적층각 60° , 75° , 90° 에서는 적층순서 ②에 의한 좌굴압력이, 적층각 0° , 15° , 30° , 45° 에서는 적층순서 ①에 의한 좌굴압력이 더 크게 발생하였다. 이로서 적층순서 ①에 대한 등가모델인 적층순서 ②

+ 조종래(한국해양대학교, E-mail: cjr@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4298

++ 정해영, 부산대학교 기계공학부

+++ 권진희, 경상대학교 기계항공공학부

++++ 최진호, 경상대학교 기계항공공학부

+++++ 조윤식, 한국국방과학연구소

는 등가모델로서 적합하지 못하고 좌굴압력에 대한 정확한 해석을 위해서는 적층순서 ①과 같이 모든 적층에 대해서 해석을 수행하여 주어야한다. 이를 Fig.2에 그래프로 나타내었다.

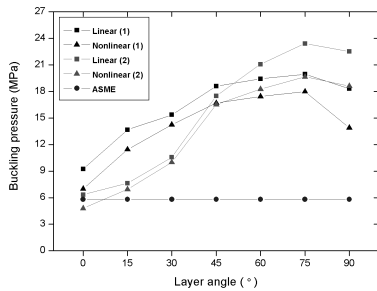


Fig. 2 Comparison of buckling pressure for two lamination patterns

3. 복합재 원형 패널의 좌굴 해석 및 실험

3.1 유한요소해석

Fig. 3에서는 적층순서①인 $[0_2/90_2]_s$ 와 적층순서②인 $[\pm 45/0/90]_s$ 에 대한 유한요소 해석 결과를 나타낸 것이다. 새(bird) 날개 모양의 전형적인 좌굴이 발생하고 있다. ①재질에 대해서는 좌굴하중이 2380N으로 나오고 ②재질에 대해서는 좌굴 하중이 3470N이 발생한다.

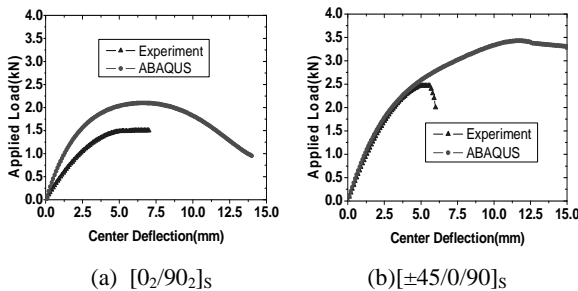


Fig.3 Curve of load-displacement

3.2 시편 제작

복합재 시편은 $[0_2/90_2]_s$ 과 $[\pm 45/0/90]_s$ 의 두 가지 적층으로 제작하였다. 사용한 재료는 SK 케미컬의 URN 300이다.

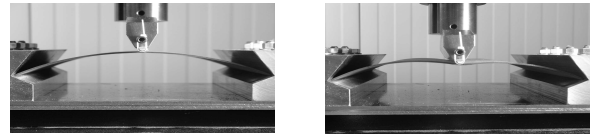
3.3 측정

직선경계는 축방향 변위를 허용하는 단수지지, 곡선경계에서는 무구속 조건이다. 하중은 Fig.4(a)에 보인 바와 같이 직경 6.0 mm의 강 환봉을 이용하여 패널의 종축방향으로 선분포 형태로 1 mm/min의 속도로 가하였다. 재료실험기는 INSTRON 5582를 사용하였다.

3.3 실험결과

Table 1에서 나타나 있듯이 실험과 해석의 차이가 크게 나는 일차적이고 주된 이유는 URN 300의 재료 특성 때문으로 판단된다. 실험과 해석 모두 동일한 형태의 좌굴을 보이며, 적층순서에 따른 좌굴형상의 차이는 크지 않다. $[\pm 45/0/90]_s$ 판넬의 경우 굽힘과 비틀림 변형을 연계시키는 연계강성 항이 존재하기 때문에 변형의 모양이 정대칭일 수는 없다. Fig.4(b) 실험사진에서 볼 수 있는 것처럼 파손은 하중이 가해지는 종축을

따라 원통관벌의 내측에서 기지파손 (matrix failure)의 형태로 발생하여, 90도층 즉 원주방향 보강섬유가 끊어질 때 최종파손에 도달하게 된다.



(a) Before buckling (b) After buckling

Fig.4 Cylindrical panel shape after buckling

Table 1 Comparison of buckling load

Pattern	Experiment	ABAQUS
$[0_2/90_2]_s$	1488[N]	2380[N]
$[\pm 45/0/90]_s$	2480[N]	3570[N]

4. 결 론

본 연구에서는 기존의 수중운동체의 복합재 내압선체의 재료로 쓰여질 URN300에 대한 고유치 해석과 비선형 좌굴해석을 상용 유한요소 코드인 ABAQUS[Ver6.4]를 사용하여 수행하였고 동일조건으로 실험하였다.

- URN300을 이용한 복합재 원통셀의 경우 균일 형압력을 받는 적층복합재 원통셀의 최대 좌굴압력과 최저 좌굴압력이 나오는 적층각은 75° 와 0° 이다.
- 초고강성 탄소섬유를 사용한 복합재인 URN 300을 사용한 복합재 원통관벌 시편을 제작하고 좌굴실험과 해석을 수행하였다. 실험값이 해석값의 60% 정도로 나타나는데 이는 좌굴 이전에 심각한 재료손상이 발생하여 좌굴하중을 현저히 저하시키는 것으로 나타났다. 따라서 수중운동체를 위한 복합재는 큰 변형에도 재료손상이 발생하지 않는 재료의 선정이 필요하다.

후 기

본 연구는 국방부가 지정한 수중운동체 특화연구센터의 지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

- [1] 손호재, 박창수, 잠수함공학 개론, 대영사, 1995.
- [2] 한국해양연구원, "차세대 심해용 무인잠수정 개발", 해양수산부, pp. 146-190, 2003.
- [3] 이재신, 선박 및 해양구조물: 좌굴강도학, 세종출판사, 1996.
- [4] Messenger, T, Buckling of imperfect laminated cylinders under hydrostatic pressure, Composite structures, vol. 53, pp. 301-307, 2001.
- [5] W. Guggenberger, "Buckling and Postbuckling of Imperfect Cylindrical Shells under External Pressure", Thin-Walled Res, Vol. 23, pp. 351-366, 1995.