

조합하중을 받는 연속보강판의 좌굴 및 붕괴거동 평가

박주신† · 최정환* · 홍관영** · 이경우***

†오사카대학원 선박해양공학과 박사과정, *목포해양대학교 해양시스템공학과 석사과정,
(주) 오션스페이스, *목포해양대학교 해양시스템공학과 교수

Estimation of buckling and collapse behaviour for continuous stiffened plate under combined transverse axial compression and lateral pressure

Joo-Shin Park† · Jung-Hwan Choi* · Kwan-Young Hong** · Gyoung-Woo Lee***

† Graduate school of Engineering, Osaka University, Suita, 565-0834, Japan
*Faculty of Ocean System Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea
**Changkang Building, 22 Dohwa-Dong, Mapo-Gu, Seoul. 121-763, Korea.
***Faculty of Ocean System Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea.

요 약 : 압축하중 및 횡하중의 조합하중을 받는 연속 보강판넬의 좌굴강도 및 최종강도의 평가는 선체구조 안정성을 재고하는데 아주 중요한 요소이다. 예를들면, 선박의 공창 상태에서 선체의외판은 수압하중에 의해서 과생되는 횡방향 면내 압축하중과 선체의외판에 작용하는 횡하중은 대표적인 하중 성분이다. 지금까지의 대부분의 연구 결과들은 실험테스트 및 이론적인 접근 그리고 수치계산 방법에 의해서 수행되었으며, 단일 판 또는 보강판의 조합하중에 대한 많은 업적들이 있다. 그러나, 이들 중 대부분의 연구는 종방향 면내 압축하중과 횡하중에 의한 연구결과가 대부분이며, 횡방향 면내 압축하중과 횡하중에 대한 결과들은 상대적으로 많지가 않다. 게다가 이전의 연구들은 주로 네변 단순지지된 판부재를 고려하였으나, 실제의 구조를 고려해보면, 횡방향 프레임과 종방향 거더들이 교차되어 있는 보강 판넬 구조이다. 본 연구는, 3축의 실적선에서 얻은 이중저 판넬 모델을 적용하고, 횡하중의 크기를 변수로 한 탄소성대변형 유한요소해석을 수행하였다. 이러한 여러 가지 수치 해석을 통하여, 횡하중의 크기 변화에 대한 영향과 횡방향 압축하중이 작용하는 붕괴 매커니즘에 대해서 고찰하였다.

핵심용어 : 좌굴, 최종강도, 탄소성대변형 해석, 붕괴, 수압하중, 연속 보강판

Abstract : Estimation of the buckling and ultimate strength of a continuous stiffened plate subjected to combined transverse compression and lateral pressure is of high importance to ensure the safety of ship structures, particularly for the bottom plating under a deep draft condition. For example, bottom plating of bulk carriers is subjected to transverse thrust caused by the bending of double bottom structure and the direct action of pressure on the side shells. Most of experimental tests, theoretical approach and numerical researches have been performed on the buckling and ultimate strength behaviour of plates or stiffened plates under combined compression and lateral pressure. With regard to stiffened panels, however, most of studies have been concerned with the load conditions of combined longitudinal thrust and lateral pressure, while fewer studies have been performed for the combined transverse thrust and lateral pressure.

In addition, the previous researches are mainly concerned with an isolated rectangular plate simply supported along the all edges, whereas actual ship plating is continuous across the transverse frames and heavy girders. In the present paper, a series of elastoplastic large deflection FEA on a continuous stiffened plate is performed and then clarify the characteristic of collapse mode and explain the effect of transverse compression.

Key words : Buckling, Ultimate strength, Elastoplastic large deflection analysis, Collapse, Lateral pressure, Continuous stiffened plate

1. 서 론

최근 여러 국제 기관[ISO(International Organization for Standardization), IMO(International Maritime Organization), IACS(International Association of Classification Societies)]들로부터 선박의 안정성 제고를 위한 노력의 일환으로 과거의

허용응력 설계에 기반을 둔 선체 구조강도 평가법에 대한 여러 가지 기준들 및 관련 법들을 개정하고 있다. 현재에도 개정이 진행되고 있으며, 앞으로도 많은 부분에 대해서 보다 합리적이고 구조안정성 측면에 신뢰성이 보다 높은 기준 및 연구 결과들이 제시 될 것으로 판단된다. 실제로, 2006년 4월부터는 IACS로부터 발효된 국제 선박공통규칙(CSR)의 적용으로 인

† 교신저자 : 박주신(정회원), Joo_Shin_Park@naoe.eng.osaka-u.ac.jp
* 정회원, goodday_81@naver.com 061)240-7476
** 정회원, sealwithakiss@lycos.co.kr, 061)240-7476
*** 종신회원, kwlee@mmu.ac.kr, 062)240-7307

하여, 산적화물선 및 유조선의 경우, 선체구조 설계 시 선체의 일부분에 대해서는 최종강도를 검토해야만 하는 최종한계상태 설계법이 실용화 되고 있다.

본 연구 논문은 선체의 이중저 구조를 이루고 있는 보강판넬에 작용 가능한 하중을 고려하여, 최종한계상태설계법에 기반을 둔 좌굴 및 붕괴거동의 특성에 대한 연구결과를 제시하였으며, 과거에 많은 부분 언급되지 않았던 조합하중 성분인 횡하중과 횡방향 면내 압축하중에 대한 붕괴거동에 대해서 특성을 파악하였다. 특히, 해석모델은 최근 개정된 CSR 기준에 의해 설계되어진 실적선의 데이터를 적용하여, 최신의 경향을 반영하였다.

2. 유한요소해석

2.1 유한요소 해석코드 및 유한요소 분할

본 논문에서의 유한요소해석 코드는 비선형 상용유한요소해석 프로그램인 ANSYS V.10을 사용하였으며, 모든 구조 요소는 셸(shell-181) 요소로 모델링 하였다. 한 개의 셸 요소는 4개의 절점을 가지고 있으며, 각 절점당 6자유도(변위: x, y, z 회전: $\theta_x, \theta_y, \theta_z$)를 가지고 있다. 조합하중에 의한 구조물의 좌굴 변형을 정확하게 표현하기 위해서, 시리즈해석 전에 유한요소의 분할조건에 대한 조사를 통하여, 최적의 요소 개수를 조사하였다.

Fig.1의 그래프는 위의 유한요소 개수에 따른 압축최종강도 변화를 나타내고 있다. 모델은 플랜지 폭(b_f)이 100mm, 보강재의 웹 높이(h_w) 300mm의 경우에 대해서 조사하였으며, 메쉬수의 변화를 5가지 종류로 채택하였다. 메쉬의 수가 적을수록 압축최종강도는 높게 평가되고 있으며, C 조건부터 메쉬수가 증가하더라도 압축최종강도는 일정한 값으로 수렴하고 있다. 이러한 결과를 바탕으로 하여, 플랜지의 경우, 100mm를 4개로 분할하고, 웹의 경우, 300mm를 기준으로 7개, 그리고, 판 부재의 유한요소 개수는 이와 동일한 치수로 계산하여 적용하였다.

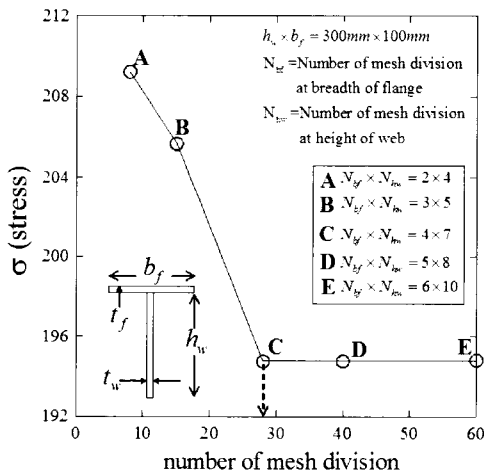


Fig. 1 Mesh study

2.2 대형상선의 이중저 보강 판넬 모델

선체의 주요 구조인 보강 판넬 구조는 해양구조물의 갑판부나, 선체의 이중저, 갑판부에서 주로 사용되어지고 있다. 종방향 보강재 뿐만 아니라, 횡방향으로 관통하는 프레임부재의 연속조합으로 구성되어있는 특징을 가지고 있다. 이러한 보강재 구조는 적은 중량비에 비하여, 높은 강도 효율을 가지고 있으며, 선박과 같이 박스형 판 구조물에는 크게 활용되어지고 있다. 특히, 선박구조물의 특성상 대양 항해 시 각종 불확실한 파랑조건에 놓이게 된다. 이러한 파랑조건에 따라서 각종 불균일 분포하중을 선박의 수명 기간 동안 받게 되며, 이러한 하중 조건 중에서도 선박의 종방향 휨에 의해서 파생되는 압축하중과 면의 수압하중은 가장 대표적인 하중형태라고 할 수가 있다.

Fig. 2에서는 대표적인 대형상선 이중저 구조에 사용중인 보강 판넬 모델을 나타내고 있다. 종방향 보강재는 대칭 플랜지를 갖고 있는 티바(tee bar)형태이며, 일정한 간격에 횡 프레임(TRANS.frame)이 위치하고 있다. 보강재의 폭(b)은 같은 간격으로 일정하게 배치가 되었으며, 가장자리 폭은 기존 폭의 절반만을 사용하였으며, 길이방향 보강재 또한 절반만을 적용하였다.

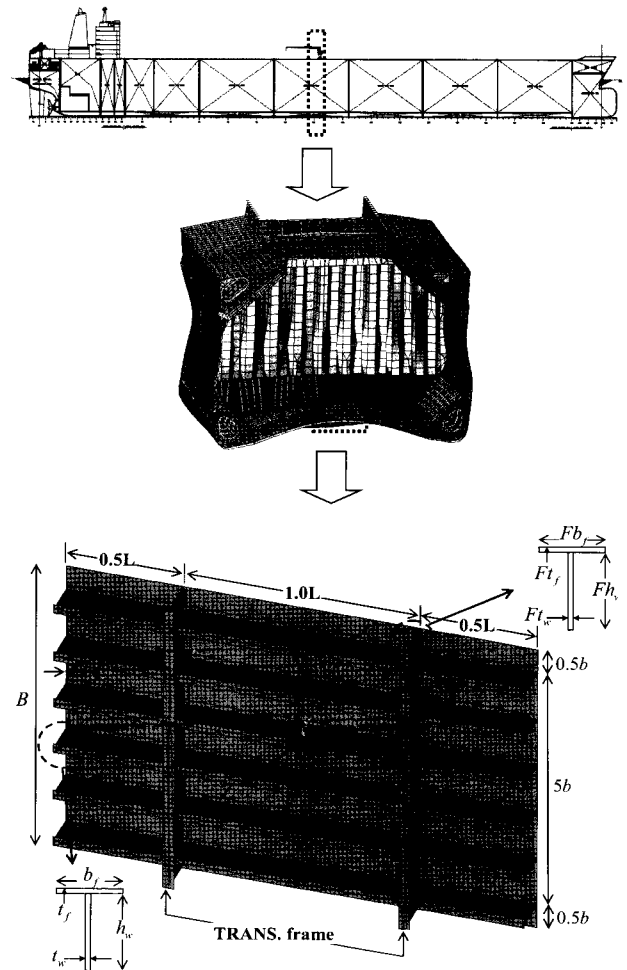


Fig. 2 Typical configuration of the stiffened panel in using large merchant ship

Table 1 Mean values of geometric properties and material yield stresses for ship's bottom panels

Model	L (mm)	B (mm)	tp (mm)	hw (mm)	tw (mm)	bf (mm)	tf (mm)	Fhw (mm)	Ftw (mm)	Fbf (mm)	Ftf (mm)	Yield Stress (MPa)	P (MPa)
ID_1	6300	5040	24	400	15	120	21	600	16	200	16	315	0.25
ID_2	6300	5040	24	400	15	120	21	600	16	200	16	315	0.15
ID_3	6300	5040	24	400	15	120	21	600	16	200	16	315	0.05
ID_4	6300	5040	24	400	15	120	21	600	16	200	16	315	0.00
ID_5	8520	5820	22	680	14	180	32	800	18	200	18	315	0.25
ID_6	8520	5820	22	680	14	180	32	800	18	200	18	315	0.15
ID_7	8520	5820	22	680	14	180	32	800	18	200	18	315	0.05
ID_8	8520	5820	22	680	14	180	32	800	18	200	18	315	0.00
ID_9	8460	4560	17	425	11	150	18	600	13	200	13	315	0.25
ID_10	8460	4560	17	425	11	150	18	600	13	200	13	315	0.15
ID_11	8460	4560	17	425	11	150	18	600	13	200	13	315	0.05
ID_12	8460	4560	17	425	11	150	18	600	13	200	13	315	0.00

이러한 모델링 기법을 2bay 내변 대칭모델이라고 한다. 즉, 길이방향 모서리 부분을 대칭 경계조건을 부여함으로써, 보강재의 연속거동을 구현할 수가 있으며, 판 폭 방향 역시 대칭경계조건을 구현하여, 판넬의 폭 방향으로의 연속거동 또한 구현이 가능한 모델링 방법이다. 즉, 길이방향으로는 연속 2bay 거동을 묘사하며, 판 폭 방향으로는 판 폭의 절반과 같은 좌굴에 의한 붕괴 형상을 재현할 수가 있다. 해석에 사용된 모델은 3가지 실선의 데이터를 적용하였으며, 각 선박의 크기와 종류에 따라서, 보강재의 간격 및 보강재의 기하학적 물성치, 횡 프레임의 물성치가 각각 다르게 적용되었다.

Table 1 에서는 본 논문에 사용된 3가지 선종의 총 12가지 해석모델에 대한 기하학적 모델정보를 나타내고 있다. 한 개의 선종마다 4개의 해석으로 분류되며, 횡압력의 크기 변화에 대한 영향을 확인하기 위하여, 횡압력의 값을 변화하였다. ID1부터 4까지의 모델은 170K 산적화물선의 모델정보이며, ID5부터 8번 까지의 제원은 318K 급 대형유조선의 이중저 판넬 모델이다. 특히, 타 선종에 비해서 종방향 보강재의 플랜지 두께가 상당히 두껍게 설계되어져 있는 특징을 지니고 있으며, 보강재 크기가 상당히 크다. 이러한 이유는 선박의 전체적인 용량(capacity)에 비례하기 때문이다. ID9부터 12번의 데이터는 105K 유조선모델의 정보이며, 고려된 선박 중 가장 작은 선종이다.

또한 Table 2 에서는 해석에서 고려한 재료의 물성치에 대한 정보를 나타내고 있다. 고장력강(AH-32) 계열을 사용하였으며, 물성치는 균일 등방성 재료로 고려하였다.

Table 2 Mechanical properties

High tensile steel AH-32	
Young's Modulus(E)	205800 MPa
Poisson's Ratio(ν)	0.3
Yield Stress(σ_y)	315 MPa

2.3 하중조건 및 경계조건

해석에 적용된 하중조건을 Fig. 3에서 나타내고 있다. 하중은 횡압력(P)이 선박의 흘수에 비례하여 외판 전체에 걸쳐서 균일하게 분포하중으로 작용되며, 그 이후 횡방향(Y-direction) 면 내압축하중이 작용하는 조합하중 조건이다. 횡하중의 최대 크기 산정은 초대형유조선(ultra large crude carrier)의 만재흘수(24.6m) 값을 선정하였으며, 횡방향 압축하중의 크기는 각 부재의 두께마다 항복응력을 곱한 값을 적용하였다.

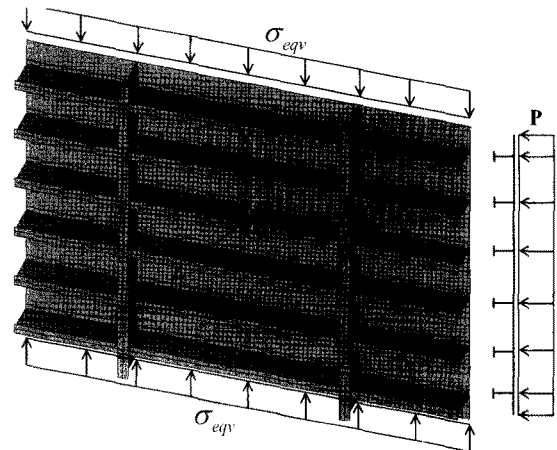


Fig. 3 Combined transverse axial compression and lateral pressure action

보강 판넬의 내변 모서리는 연속적인 좌굴 붕괴거동을 재현하기 위해서, 길이 방향/폭 방향 대칭조건을 적용하였다. 또한 모델의 정중앙 한 개의 노드에는 X,Y변위구속을 적용하여, 강체변위 거동을 방지하였다. 면내 압축하중은 Y방향의 양쪽에서 분포하중으로 균일하게 작용하였으며, 하중 작용 시 내변 모서리는 최종강도에 이르기 전 까지 직선을 유지하도록, 탄

성커플링 조건을 부여하였다. 향후 이 조건은 비선형 수렴 해석에서 각 수렴단계에서의 변위와 하중 데이터들을 자동으로 저장하는 기능을 하게 된다.

2.4 비선형 해석기법

일반적인 비선형 해석기법으로 주로 사용되는 증분법이 뉴튼랩슨 법이다. 본 해석에서는 수정된 뉴튼랩슨 증분법에 아크레스법을 혼용하여 미리 설정한 수렴조건에 만족하는 해를 찾아가도록 설정하였다(박, 2006). 매 계산 스텝의 수렴조건은 하중과 모멘트의 평균 오차가 0.03% 이내의 조건들을 선택하도록 설정되어 있다. 가장 먼저, 초기 호의 반지름을 결정하는 단계에서는 아래의 식(1)을 이용하여 정의하였다. 매 해석구간마다 변하는 하중 및 변위량을 해석 부 스텝수로 나눈 값을 초기 호의 반지름으로 설정하고, 이 값을 이용하여, 해석 구간마다 적용되는 호의 반지름의 최소/최대 범위는 아래의 식(2)와 (3)을 이용하여 계산하였다.

$$R_{arc} = \frac{\Delta\sigma_{total}(or\ \delta_{total})}{N_{step}} \quad (1)$$

where R_{arc} is ref. arc-length radius, N_{step} is number of sub-step, $\Delta\sigma_{total}(or\ \delta_{total})$ is total load, total displacement

$$L_{min} = R_{arc} \times ARC_{min} \quad (2)$$

$$L_{max} = R_{arc} \times ARC_{max} \quad (3)$$

where R_{arc} is ref. arc-length radius, L_{min} is minimum limit of arc-length radius, L_{max} is maximum limit of arc-length radius, ARC_{min} is minimum of amplitude factor, ARC_{max} is maximum of amplitude factor

각 비선형 수렴 계산 중 에서, 새롭게 계산되어진 아크의 반지름의 범위가 미리 정해진 수렴율의 최소/최대가 넘어서는 경우에는 해석이 종료되게 되어 있다(박, 2007). 따라서, 시리즈해석에 앞서 여러 가지 경우의 모델에 대해서 아크레스(arc length) 방법을 적용하기 위하여, 사전에 아크의 반지름의 계산 영역을 지정해야만 하중과 변위가 동시에 감소하는 영역대의 비선형거동을 완벽하게 추적할 수가 있다.

2.5 초기결함 적용

선체 보강 판넬 구조물은 용접이나 절단 등의 열 가공에 의해서 제작되어 지는 특성을 가지고 있다. 따라서, 이러한 열 가공에 의해서 부가적인 초기결함이 발생하며, 실제 유한요소 해석 시에 이러한 영향에 대해서 충분히 고려해주어야만 한다. 보강재 사이의 판 부분의 초기처짐량(w_{opl})은 일반적으로 국부 처짐량으로서 $0.05 \times \beta^2 \times t$ 를 적용하였다(박, 2006). 보강재의 부가 횡처짐량(w_{osx})은 주로 전체적인 처짐(Global

deflection)이며, 판재의 길이 함수로 표현하여 $0.0015 \times a$ 으로 정의하였고, 마지막으로 종보강재의 국부좌굴모드(y+z방향)의 처짐량(w_{sw})은 $0.0015 \times a$ 만큼 사용하였으며 보강재의 부가처짐량과 같은 모드수가 되도록 가정하였다. 따라서 전체 처짐모드는 w_{opl}, w_{osx}, w_{sw} 인 세 개 모드를 각각의 부재에 적용하였으며, 이러한 가정 좌굴 모드는 연속적으로 발생하게 되어 있다. 용접이나 절단 등에 의한 열 가공 작업으로 인한 초기결함의 효과를 초기 변형량으로 가정하고, 잔류응력의 효과는 고려하지 않았다.

3. 유한요소 해석 및 고찰

3.1 조합하중을 받는 보강 판넬의 좌굴 및 붕괴거동

앞 절 하중조건에서도 언급하였듯이 본 논문에서 고려한 두 가지 조합하중을 고려하였을 경우, 최근 설계되어진 실적선의 보강판넬 구조의 좌굴 및 붕괴거동 특성에 대해서 언급하고 있다. 결과는 3가지 서로 다른 크기의 선박에서 사용 중인 보강판넬에 대해서, 횡압력의 크기 변화가 있는 3가지 조건과 횡압력을 고려하지 않는 경우로 기술하고 있다.

3.2 105K 유조선 보강판넬 모델

Fig. 4의 결과는 105K 유조선의 이중저 판넬 보강모델에 조합하중이 작용한 결과를 평균응력과 평균변형률의 관계로 나타내고 있다. ID_12는 횡방향 면내 압축하중이 작용한 경우의 해석 결과이며, 나머지 조건들은 조합하중(횡압력+횡방향 면내압축)에 대한 결과이다. 작용하는 횡압력의 크기가 증가할수록, 보강재와 횡프레임 사이의 외판부재에서 처짐과 응력이 크게 발생하며, Fig. 5에서 나타내고 있다. 횡압력 작용 후, 횡

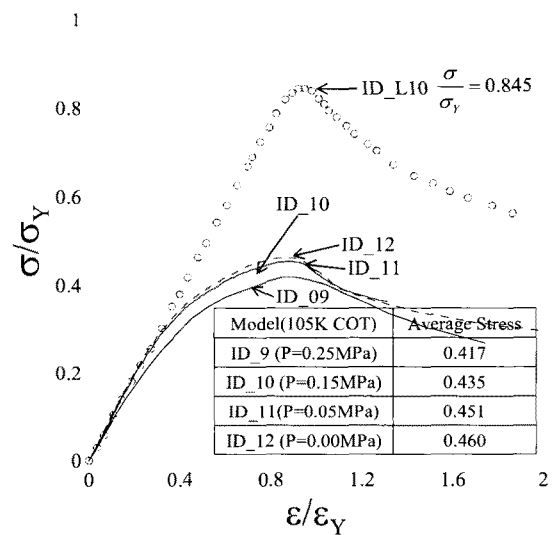


Fig. 4 Average stress and average strain curves of ship's bottom panels(105K crude oil tanker) varying amplitude of lateral pressure under combined transverse compression and lateral pressure

방향 면내 압축하중이 작용하게 되면, 압축 붕괴거동은 거의 유사한 경향으로 나타나게 되는 특징을 가지고 있다. 그러나, 횡압력(0.15MPa)과 종방향 압축하중을 고려한 조건(ID_L10)에서는 압축최종강도 거동에서 면내강성 감소가 거의 나타나지 않으며, 최종강도 또한 크게 증가함을 알 수가 있다. 즉, 횡하중이 작용할 경우에는 외판부재에 치짐과 응력발생이 일정하지만, 압축하중의 작용 방향에 따라서, 좌굴에 의한 붕괴거동은 아주 상이하게 나타남을 나타내고 있다.

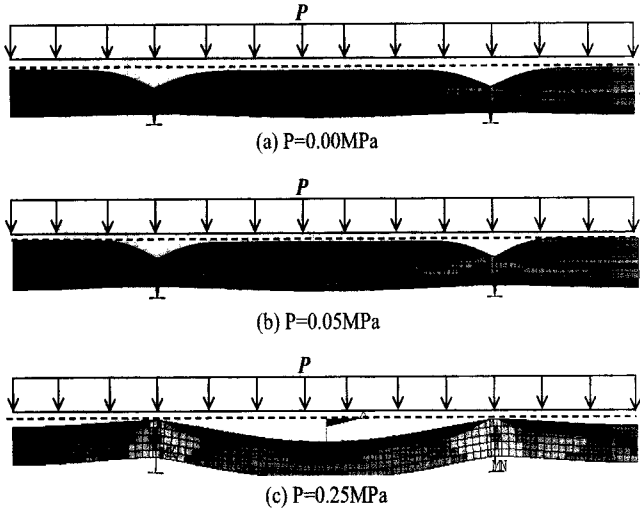


Fig. 5 A comparison of deflection shape and collapse mode varying amplitude of lateral pressure

특히, 이때의 외판부재의 붕괴 모드는 단순지지 모드에서 고정지지 상태에서의 좌굴 모드 형태로 바뀌게 되며, Fig. 5에서 나타나고 있다. 이러한 특성으로 인하여, 압축최종강도 거동에 있어서도 면내 강성이 초기부터 크게 감소되었음을 확인할 수가 있다. 그러나, 횡하중의 크기에 따른 압축 최종강도 차이는 크게 발생하지 않고 있다. 이러한 이유는, 횡방향 면내 압축이 작용하는 하중조건에서는 판의 폭방향의 좌굴은 1모드로서 상대적으로 종방향 면내 압축하중보다 구조물이 좌굴에 아주 취약한 특성을 지니고 있기 때문이다.

3.3 170K 산적화물선 보강판넬 모델

170K급 산적화물선의 이중저 판넬모델에서의 평균응력 및 평균변형을 관계를 Fig. 6에서 나타내고 있다. 횡하중이 0.15MPa이상의 조건에서는 횡하중의 크기에 상관없이 붕괴거동이 유사하게 나타나고 있다. 그러나, Fig. 4에서 나타내고 있는 유조선 이중저 모델에 비해서는 약 15%정도 압축 최종강도가 높게 평가되고 있다. 이는 횡압력과 면내압축하중을 고려한 붕괴거동에서는 보강재와 보강재 사이의 유효 폭과 보강재의 단면치수에 변화에 따라 압축 최종강도에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수가 있다. 횡압력(0.15MPa)과 종방향 압축하중을 고려한 조건(ID_L3)에서는 압축최종강도 거동에서 면내강성 감소가 거의 나타나지 않으며, 최종강도 이후 급격하게 강성 기울기가 감소하고 있다.

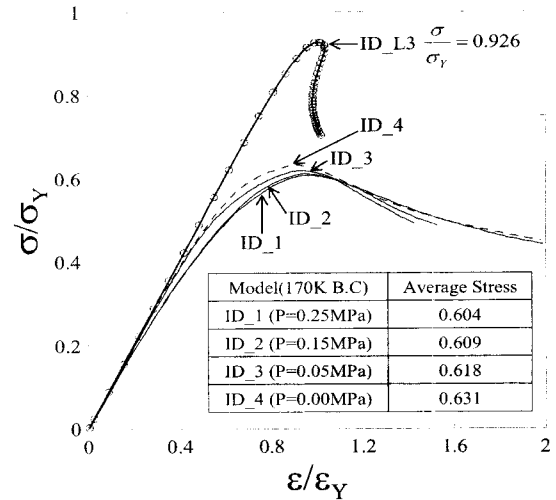


Fig. 6 Average stress and average strain curves of ship's bottom panels(170K bulk carrier) varying amplitude of lateral pressure under combined transverse compression and lateral pressure

위 결과 Fig. 6에서도 나타나듯이, 압축하중이 종방향으로 작용하게 되면, 최종강도가 크게 증가하고 있다. 이러한 근본적인 원인은 압축하중에 대한 보강판넬의 좌굴 붕괴모드에 기인한다.

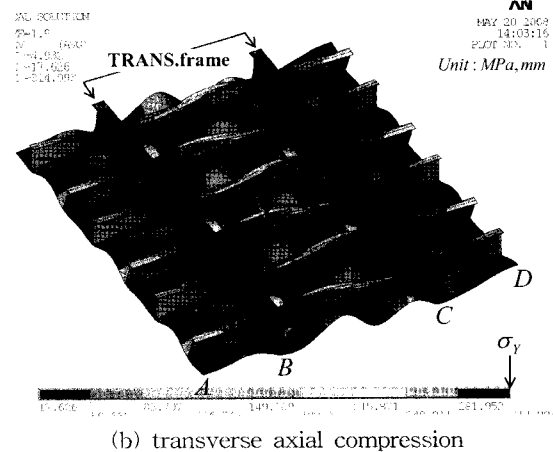
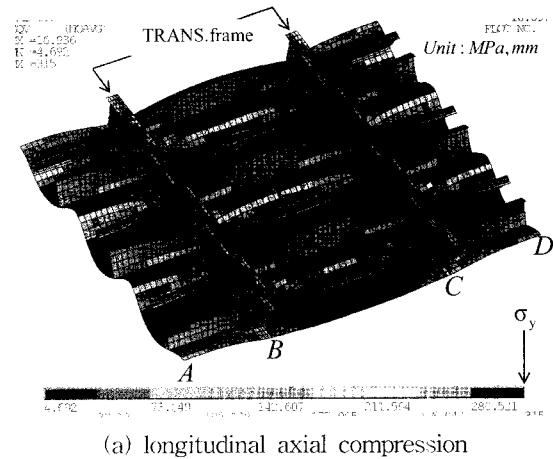


Fig. 7 A comparison of deflection shape and collapse mode according to direction of axial compression

Fig. 7에서는 동일한 횡압력($P=0.15\text{MPa}$) 조건에서, 압축하중의 방향을 변화한 최종강도 해석의 결과를 나타내고 있다. 횡방향 압축하중을 고려한 경우에는 보강재 사이의 판의 붕괴모드는 폭방향 길이방향 1모드를 유지하고 있으며, 보강재는 횡방향 처짐이 크게 발생하는 전체좌굴 형태를 Fig.7-(a)에서 나타내고 있다. 종방향 압축하중의 경우에서는 판재와 보강재에서 국부좌굴이 발생하고 있다. 이와같은 결과를 통해서, 전체좌굴 형태의 붕괴모드는 국부좌굴에 비교해서, 면내강성 감소가 적고, 압축최종강도 또한 크게 증가하게 된다.

3.4 318K 대형유조선 보강판넬 모델

318K 급 대형유조선의 이중저 판넬모델의 압축 최종강도 거동을 평균응력과 평균 변형을 관계로 Fig. 8에 나타내고 있다. 횡압력이 상대적으로 큰 경우인 ID_5와 6에서의 거동을 비교해보면, 큰 차이 없이 유사한 거동을 나타내고 있다. 이러한 경향은 선박의 종류와 크기에 상관없이 동일한 패턴을 나타내고 있다. 이 해석모델은 고려한 해석모델 중에서, 선박의 크기가 가장 큰 모델이며, 보강재의 단면치수 또한 가장 큰 경우에 해당한다. 특히, 플랜지의 두께가 32mm로서 판 두께나 웹 두께에 비해서 상당히 후판인 점이 특징이라고 할 수 있다.

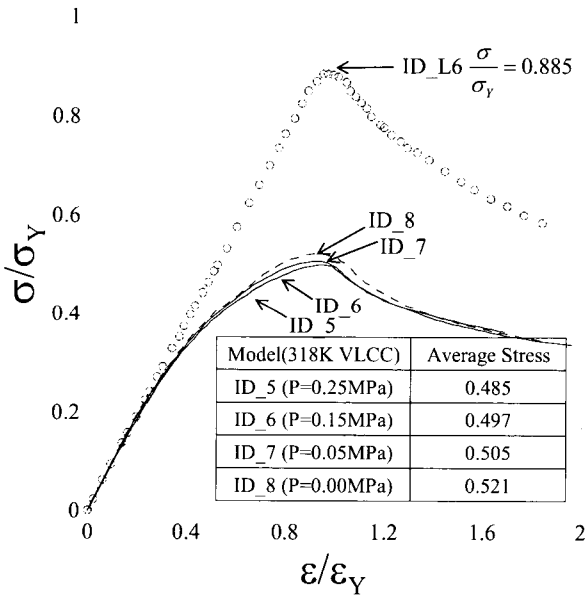
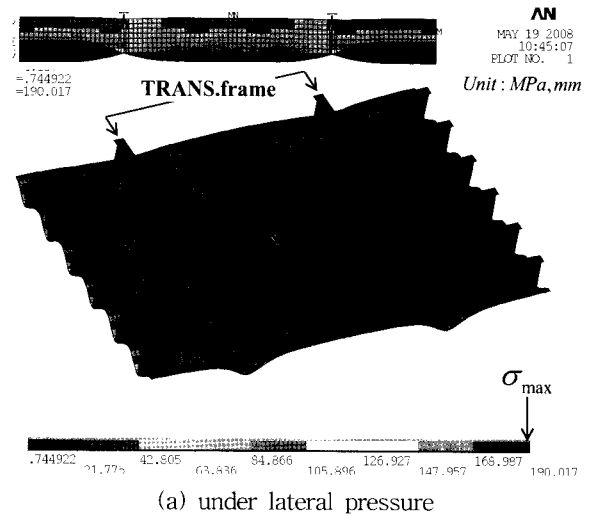


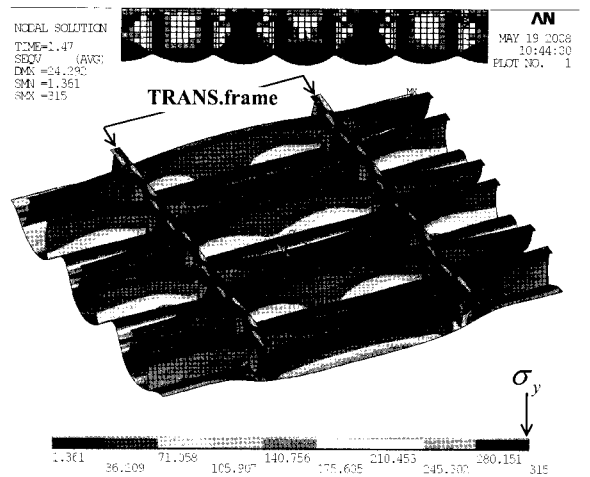
Fig. 8 Average stress and average strain curves of ship's bottom panels(318K VLCC) varying amplitude of lateral pressure under combined transverse compression and lateral pressure

횡압력이 작용하는 경우에는 큰 영향이 없지만, 이후 횡방향 면내 압축하중이 작용하게 되면, 기존에 횡압력 작용으로 인하여 발생한 외판에서의 처짐으로 인하여, 큰 처짐과 응력이 빠르게 진전한다. 횡압력($P=0.15\text{MPa}$)를 고려하고, 종방향 압축하중 조건(ID_L6)의 붕괴거동에서는 탄성기울기가 거의 선형을 나타내며, 횡방향 압축하중 조건을 고려한 경우보다 약 78%의 최종강도 증가를 나타내고 있다.

Fig. 9-(a)에서 나타내는 결과는 횡압력($P=0.25\text{MPa}$)이 작용한 상태에서의 상당응력 분포 및 붕괴모드를 나타내고 있다. 횡압력이 작용하게 되면, 횡프레임을 기준으로 하여, 외판과 보강재의 만나는 지점에서 큰 응력(190MPa)이 발생하며, 보강재와 보강재 사이의 판에서는 전체좌굴이 발생한다.



(a) under lateral pressure



(b) combined transverse compression and lateral pressure
Fig. 9 Average stress and average strain curves of ship's bottom panels(318K VLCC) varying amplitude of lateral pressure under combined transverse compression and lateral pressure

Fig. 9-(b)결과는 횡압력 작용 이후 횡방향 압축하중이 작용한 경우이며, 압축 최종강도 상태에서의 변형과 상당응력 분포를 나타내고 있다. 횡압력 작용 시 큰 처짐과 응력이 발생하였던, 보강재와 보강재 사이의 외판에서 전체좌굴에 의한 항복이 진행되었으며, 횡방향 압축하중이 작용 시 횡프레임 부재에서 하중분담이 크게 이루어지고 있다. 또한, 이 해석모델의 특징 상 보강재의 플랜지 두께가 상당히 두껍기 때문에, 웹에서 발생하는 횡방향 비틀림 거동을 제어해주고 있는 역할을 하여, 보강재에서는 항복이 발생하지 않았다.

4. 결 론

대형 상선에서 공선상태에서의 화물창 및 이중저 구조에는 측면에서 작용하는 수압하중으로 인하여 발생하는 횡방향 면내압축하중 성분과, 부체가 잠긴 만큼의 수압하중을 동시에 받게 된다. 이러한 조건에서의 판구조물의 좌굴 및 붕괴거동에 대한 특성을 파악하는 것은 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다. 본 논문에서는, 국제 공통규칙(CSR)기준으로 설계된 두 가지 선종에서 3가지 이중저 모델을 선정하고, 횡압력의 값을 설계변수로 하여, 비선형 좌굴 및 압축 최종강도 붕괴 해석을 수행하였다. 특히, 횡프레임은 직접 모델링하여, 표현하였으며, 면내압축 및 횡하중이 작용 시 연속거동을 하도록 모델링 되어 있다. 위의 조건을 고려한 수치해석을 통하여 다음의 결론을 도출 하였다.

(1) 횡방향 면내 압축하중 조건이 지배적인 경우, 보강판넬 구조는 좌굴발생에 의해서 압축 최종강도는 상당히 낮게 나타남을 알 수 가 있었다. 또한 실적선의 종류 및 크기에 따라서, 보강재의 치수 및 횡프레임의 치수가 다르며, 이의 조합비 구성에 따라서, 위와 같은 조합하중을 고려하였을 경우, 압축 붕괴 거동 특성은 상당히 민감하게 나타나고 있다.

(2) 횡방향 면내 압축을 고려한 경우, 횡하중의 크기 변화에 대한 영향은 그다지 크지 않았다.

(3) 같은 횡하중 조건에서, 종방향 압축하중을 고려한 경우에는 좌굴에 의한 붕괴모드 및 붕괴거동 자체가 크게 다르며, 압축 최종강도 또한 크게 증가하고 있다.

향후 선체 보강 판넬 구조에서 횡방향 압축하중 성분에 대해서 강도의 증가 방안으로서는 snip type의 보강재를 보강재와 보강재 사이에 지지하는 역할로 배치하면, 보강재의 좌굴

방지에 따른 구조강성의 증감 효과를 기대할 수 있을 것이라고 사료된다.

후 기

본 논문은 목포해양대학교 해양레저 활성화를 위한 레저보트산업 지역혁신체제 구축 사업단의 연구비 지원과 지식경제부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구 결과임을 밝혀둔다.

참 고 문 헌

- [1] 박주신, 고재용, 이준교(2005), “종방향 압축력을 받는 선체판부재의 횡압력 영향에 관한 연구”, 항해항만학회지, 제29권, 6호, pp. 515-522.
- [2] 박주신, 고재용, 이준교(2006), “종횡방향 압축하중을 받는 유공판의 최종강도 설계식 개발”, 항해항만학회지, 제30권, 3호, pp. 173-179.
- [3] 박주신, 고재용, 오경근(2006), “유공보강판의 좌굴 및 극한강도 특성에 관한 연구”, 항해항만학회지, 제30권, 6호, pp. 439-446.
- [4] 박주신, 고재용(2007), “횡하중을 고려한 선체보강판넬의 압축 붕괴거동에 관한 연구”, 한국항해항만학회지, 제31권, 제3호, pp.234-245.

원고접수일 : 2008년 6월 18일
 심사완료일 : 2009년 1월 20일
 원고채택일 : 2009년 2월 13일