

## 유공보강판의 좌굴 및 극한강도 특성에 관한 연구

박주신\* · 고재용\*\* · 오경근\*\*\*

\* 오사카대학원 선박해양공학과 박사과정, \*\*목포해양대학교 해양시스템공학부 부교수  
\*\*\*목포해양대학교 해양시스템공학부 대학원 석사과정

### Characteristic of Buckling and Ultimate Strength of the Perforated Stiffened Plate

Joo-Shin Park\* · Jae-Yong Ko\*\* · Kyoung-Gun Oh\*\*\*

\* Graduate school of Engineering, Osaka University, Suita 565-0834, Japan

\*\* Faculty of Ocean System Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

\*\*\* Graduate school of Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

**요 약** : 선체는 기본적으로 판부재들의 조합으로 구성되어 있으며 상당수는 유공판(Perforated plate)으로 이루어져 있다. 선체에 설치된 유공판으로서선 선체 상갑판 해치(하역시설로 사용), 선저부의 거더와 플로어(중량경감과 선박 건조 및 검사시 통로확보용), 다이어프램(중량경감 및 파이프 관통의 목적)등이 있다. 이들 유공판에 압축하중이 작용하면 좌굴과 극한강도 특성이 크게 변화할 뿐만 아니라 수반되는 면내응력도 재 분포하게 되어 심각한 문제를 발생한다. 실선에서는 유공주위에 스티프너 보강을 통하여 취약한 좌굴강도 보완하고 있으며, 유공을 고려한 실선에서 사용 중인 유공보강판 모델을 적용하여 좌굴강도 및 극한강도를 파악할 필요성이 있다. 이와 같은 측면에서 각 조선소에서는 각국 선급들이 제시하는 유공판의 좌굴설계식을 사용하여 강도계산을 하고 있으나 임의의 유공크기에 대한 좌굴강도 및 극한강도 평가법을 찾기란 매우 어려운 일이다. 본 연구에서는 실선에서 사용 중인 유공보강판의 모델을 조사하여 비선형 유한요소법(ANSYS)을 사용하여 면내 압축하중이 작용하는 경우에 대해서 유공비, 웹 치수, 두께 그리고 보강재 단면을 변화시켜가며, 극한강도 시리즈 해석을 수행하고 압축극한강도에 미치는 영향을 검토하였다.

**핵심용어** : 유한요소법, 유공보강판, 극한강도, 단면속성, 좌굴

**Abstract** : In ship structures many of the structural plates have cutouts, for example, at inner bottom structure, girder, upper deck hatch, floor and dia-frame etc. In the case where a plate has a cutout it experiences reduced buckling and ultimate strength and at the same time the in-plane stress under compressive load produced by hull girder bending will be redistributed. In general, actual ship structure adopted reinforcement of stiffener around the cutout in order to preventing from buckling so it need to examine a buckling and ultimate strength behaviour considering a cutout because In many ship yards used class rule for calculating buckling strength but it is difficult to evaluate perforate stiffened plate with random size.

In the present paper, we investigated several kinds of perforated stiffened model from actual ship and then was performed finite element series analysis varying the cutout ratio, web height, thickness and type of cross-section using commercial FEA program(ANSYS) under compressive load.

**Key words** : Finite element method, Perforated stiffened plate, Ultimate strength, Cross section, Buckling

## 1. 서 론

선체는 기본적으로 판부재의 조합인 상자형 박스구조물로 구성되어 있으며 이들 중 상당수는 유공을 지니고 있는 유공판구조를 나타내고 있으며, 이러한 유공이 존재함으로써 감소하게 되는 좌굴강도를 보완하기 위하여 유공판 주위에는 보강재가 위치하게 된다.

이들 유공 보강판에 압축하중이 작용하면 유공이 존재함으로써 기존의 무공 보강판의 좌굴과 극한강도 특성과 비교하여 크게 다를 뿐만 아니라 수반되는 면내응력도 재 분포하게 되

어 심각한 강도문제를 야기시킬 수 있다(박, 2002). 실선 상선에서는 유공주위에 스티프너 보강을 통하여 취약한 좌굴강도를 보완하고 있으며, 유공이 존재하면서 감소하게 되는 좌굴강도 및 극한강도와 함께 붕괴거동을 정확하게 예측하고, 유공의 존재에 대한 강도감소에 대해서 구조설계에 반영되어야 할 필요성이 있다. 이와 같은 측면에서 각 조선소에서는 각국 선급들이 제시하는 유공판의 좌굴설계식을 사용하여 강도계산을 하고 있으나 보강판 구조에서 임의의 유공크기에 대한 좌굴강도 및 극한강도 평가법을 찾기란 매우 어려운 일이다(박, 2006). 본 논문에서는 실선에서 사용 중인 표준적인 유공

\* 대표저자 : 박주신(정회원), Joo\_Shin\_Park@naoe.eng.osaka-u.ac.jp 090)1153-9326  
\*\* 정회원, kojy@mmu.ac.kr, 061)240-7129  
\*\*\* 정회원, okcraft@gmail.com, 061)240-7217

보강판의 모델을 조사하여 해석 기준 모델을 결정하였고 탄소성대변형 유한요소 해석을 적용하여 면내 압축하중이 작용하는 조건에 대한 여러 가지 변수들의 영향을 고려하면서 시리즈계산을 수행하였다. 선체의 중 굽힘에 의해서 발생하는 압축하중이 작용할 경우 선체 유공 보강판의 좌굴을 고려한 최종강도 거동을 분석하였으며, 이러한 결과들은 유공 보강판의 구조설계 시 기초적인 자료로 유용하게 사용되리라 사료된다.

## 2. 실선의 유공보강판 모델

### 2.1 해석대상

본 연구논문에서는 실제 대형상선에서 사용하고 있는 유공의 크기에 대하여 조사를 한 결과 각 조선소 마다 회사 실정에 맞게 표준적인 유공모델을 주로 사용하고 있음을 알 수가 있었다. 특히 유공의 크기는 유공의 용도에 따라 크게 3가지로 분류되었으며 같은 선종이라도 선박의 재화중량별로 차이를 부여하여 조사한 결과를 Table 1 ~ Table 3에 나타내고 있다.

Table 1 Investigated data of access hole (600×800mm)

선 종	판 두께(t)	중횡비(a/b)	유공비( $d_c/b$ )
110K C.O.T	13mm	4.42	0.72
105K C.O.T	13mm	2.77	0.72
153K C.O.T	12mm	4.74	0.69
309K VLCC	18mm	4.85	0.51
318K VLCC	19mm	3.07	0.62
170K B/C	14mm	2.94	0.58

Table 2 Investigated data of access hole (500×700mm)

선 종	판 두께(t)	중횡비(a/b)	유공비( $d_c/b$ )
153K C.O.T	12mm	4.74	0.36
6800 TEU	16mm	2.38	0.60
105K C.O.T	13mm	2.77	0.60
172K B/C	16mm	4.30	0.88
170K B/C	13mm	2.85	0.59
5000 TEU	12mm	2.14	0.59
318K VLCC	19mm	3.07	0.51

Table 3 Investigated data of lightening hole (400×600mm)

선 종	판 두께(t)	중횡비(a/b)	유공비( $d_c/b$ )
105K C.O.T	13mm	4.42	0.36
160K C.O.T	12mm	5.10	0.36
300K C.O.T	20mm	4.85	0.26

실적 상선에서 사용하고 있는 유공 보강판의 치수에 대한 조사와 함께 사용부위 그리고 용도에 대해서 조사한 결과 다음의 3가지 형태로 요약할 수가 있다. 유공의 크기가 600×800mm 와 500×700mm인 개구부를 가진 유공판의 주 용도는 사람의 이동통로(access hole)로 사용되고 있으며, 400×600mm 크기에서는 선체 중량경감(lightening hole)이 주 용도로 사용되어지고 있다.

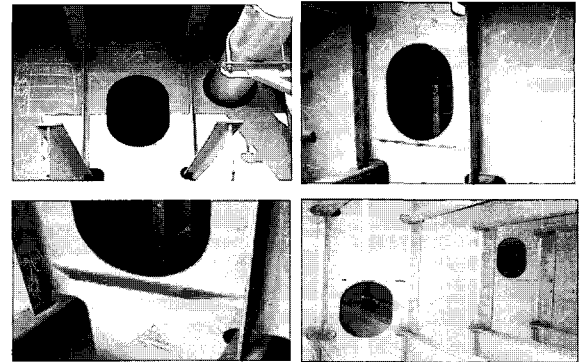


Fig. 1 Stiffened perforated plate of the inner bottom structure.

Fig. 1에서는 컨테이션(6730TEU)의 이중저구조에 사용되고 있는 유공판에서 유공주위의 좌굴강도를 보강해주기 위하여 종방향으로 플랫형태의 보강재를 유공주위에 부착한 모습을 보여주고 있다. 기본적인 초기구조설계 단계에서는 유공주위에 횡방향 스티프너를 보강하지는 않지만 탑재나 블록 간 이동 중에 발생하게 되는 여러 가지 변형에 의해 유공주위를 보강하는 형태와 구조해석을 통하여 유공주위의 보강여부를 결정하게 된다. 종방향 유공 주위의 보강형태로서는 크게 스티프너(stiffener)보강과 유공주위의 더블러(doubler)보강 그리고 스피곳(spigot)이 있다. 이들 중에서 현재 가장 많이 사용되는 방법은 스티프너 보강으로서 적은 강재의 사용으로도 보강효과가 가장 우수하며 시공 상 편리하여 조선소 현장에서 종방향 유공주위 보강의 대부분이 이러한 형태를 보이고 있다.

### 2.2 해석모델링 및 경계조건

본 논문에서는 중앙에 타원형 유공을 가진 유공 보강판을 대상으로 유공판의 유공의 크기( $d_c/b$ ), 중횡비(a/b), 보강재치수비( $h_w/t_w$ ) 및 두께(t) 를 주요 변수로 하여 탄소성대변형 시리즈해석을 수행하여, 유공 보강판의 좌굴거동 및 극한강도 거동에 있어서 고려한 변수들의 영향과 가장 중요한 변수인 유공비의 영향을 고찰하였다. 해석에 사용된 주요치수 및 재료 물성치는 다음과 같다. 판 길이(a)=4500mm, 판 폭(b)=840mm, 판 두께(t)=12, 15mm, 웹 두께( $t_w$ )=12, 15mm, 플랜지 두께(ft)=12, 15mm, 플랜지 폭(fb)=120mm, 포아송비( $\nu$ )=0.3, 탄성계수(E)=205.8GPa, 항복응력( $\sigma_y$ )=352.8MPa 이다. 하중성분은 선체 거더의 중 굽힘에 의해서 발생하는 압축

하중을 판 길이방향으로 작용시켰으며, 용접이나 절단 등의 열 가공에 의해서 필연적으로 발생하게 되는 초기결함은 스미스식의 중간 값(Smith's initial deflection formula, Average level- $0.1 \times \beta^2 \times t$ )을 적용하였다. 여기서, 세장비를 나타내는  $\beta$ 는  $\beta = (b/t) \times \sqrt{(\sigma_y/E)}$ 로 표현된다.

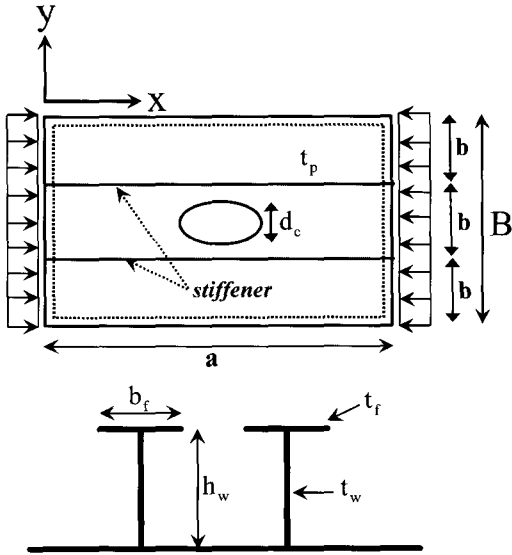


Fig. 2 Schematic model of stiffened plate with cutout

해석에 사용된 모델을 Fig. 2에서 간략하게 나타내고 있으며, 해석대상 모델은 중앙에 타원형 유공과 유공주위 보강을 위한 2개의 종방향 보강재를 포함한 구조물로서, 시리즈해석 전에 메쉬 개수의 변화를 통한 검증을 통하여 웹의 메쉬는 8개, 플랜지는 4개, 판폭은 14개 씩 길이에 비례적으로 적용하였고, 총 메쉬 개수가 5,500개부터 일정한 최종강도 값을 나타내어, 시리즈해석에는 위의 메쉬 개수를 전체해석에 적용하였으며, 이러한 결과는 Fig. 3에 나타내고 있다.

해석에서 고려하고 있는 경계조건은 유공판의 네변에서는 회전구속이 없는 단순지지 조건을 설정하였으며, 실제 판 구조물을 구성한 판 부재는 주변에서 주위의 다른 판 부재와 연결되어 있는 연속적인 구조물을 이루고 있기 때문에 네변에서는 면내방향으로의 변위를 구속하며, 극한강도에 도달할 때까지 네변 모두 직선을 유지시켰다. 이러한 이상화는 실제로 많이 사용되어지고 있으며, 다소 보수적이지만 충분히 합리적인 결과를 준다고 알려져 있다(Paik et al., 1992) 비선형 좌굴해석기법으로서 특이점에서 발생하게 불완전한 비하중 거동(Unloading path)을 수치적으로 정확하게 추적하기 위하여 비선형 좌굴해석기법 중 한가지인 Arc-length method를 사용하였다. 이때 최소 해석구간의 수렴기준은 모멘트와 하중의 수렴기준은 각각 0.05%로 설정하였고, 초기 아크반지름(arc radius)의 결정은 작용 하중 값을 해석부구간의 수로 나눈 값을 적용하였다(Ansys inc, 2000).

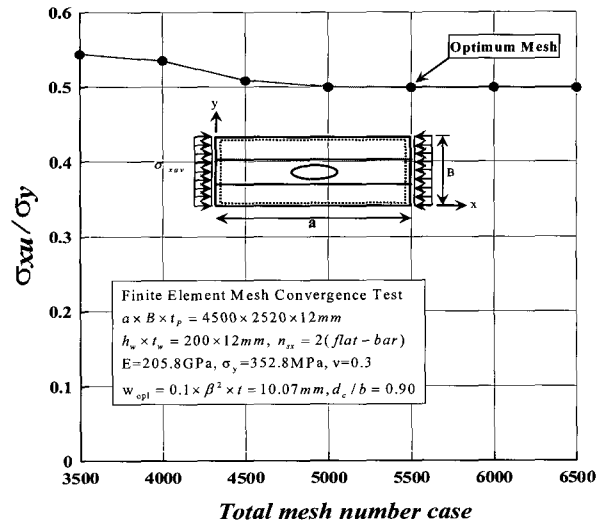


Fig. 3 The mesh study of the analysis

### 2.3 해석이론

본 논문의 탄소성대변형 시리즈해석은 기하학적 비선형성과 재료의 비선형성을 동시에 고려하고 있으며, 복잡한 비선형 거동의 한가지인 2차좌굴(secondary buckling)거동의 경로추적을 위하여, 수정된 뉴튼 방법과 아크렌스 방법을 혼용하여, 미리 설정된 부구간마다 수렴기준 평가를 하도록 설정 하였다. 특히, 탄소성대변형 거동 중 발생하게 되는 소성의 영향은 이중선형성을 가진 등방성경화(Bilinear Isotropic Hardening)거동을 고려하였고, 구조물의 항복평가는 본 미세스(von-Mises) 항복기준을 적용하여, 구조물의 극한강도 평가를 기준으로 하는 최종한계상태설계법을 기반으로 하고 있다. 이 설계법은 소성붕괴 내지는 극한강도를 기준으로 하고 있으며, 과거 선박들의 구조설계는 극한강도에 대한 고려 없이 단지 부재들의 탄성좌굴강도나 이를 소성 수정한 임계좌굴강도 계산 값들만을 기준으로 설계하였으며, 부재들의 좌굴 후 거동에 대해서는 고려하지 않은 안전율을 반영한 설계가 대부분이었다. 하지만, 이러한 설계는 정량적인 안전율을 결정하기 힘들며, 단지 경험에 의해서 결정되는 경우가 많다(J.K. Paik et al., 1992) 그렇기 때문에 극한강도에 대한 계산은 반드시 필요하며, 최근에 국제선급협회모임(IACS)와 국제해사기구(IMO)를 중심으로 하여, 선박의 강도평가 시 극한강도를 기준으로 한 설계법으로 변화하기 시작하였으며, 이미 육상에서 쓰이는 강구조물이나 해상구조물 뿐만 아니라 선박 등의 구조설계에서도 극한강도를 기준으로 설계를 수행하고 있다.

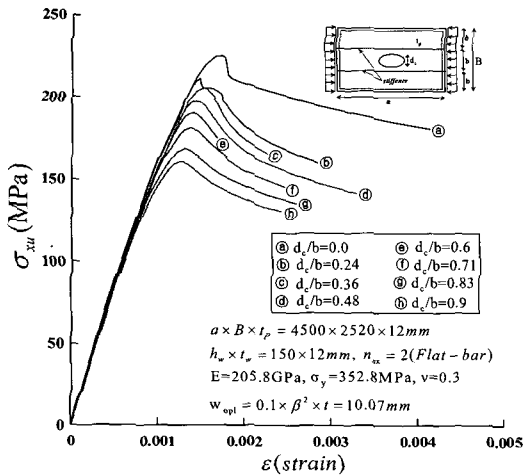
### 3. 종방향 압축하중이 작용하는 유공 보강판의 최종강도 유한요소 시리즈해석

중형비, 유공의 크기, 세장비 및 보강재의 단면형태를 변화시켜가며 범용유한요소 구조해석 프로그램인 ANSYS 9.0을 사용하여 종방향 압축하중이 작용하는 유공판에 대한 시리즈해석을 수행하였다. 유공비의 크기비는 0.24~0.83에 대해서

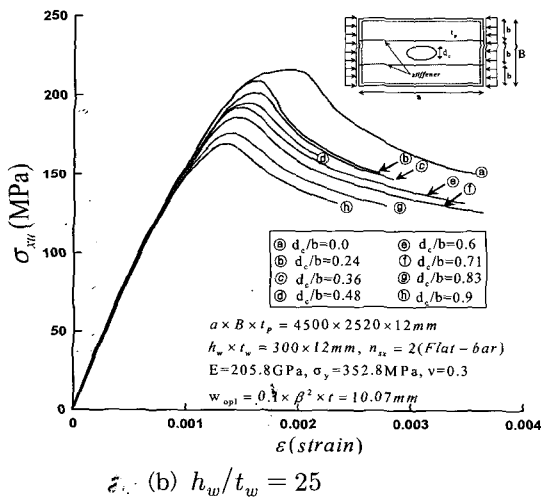
고려하였으며, 판두께와 보강재의 두께를 12mm, 15mm를 각각 적용하였으며, 보강재의 웹높이는 150~300mm의 범위로 50mm씩 변화를 주었다.

### 3.1 탄소성대변형 시리즈해석 고찰

Fig. 4에서는 플랫(flat bar) 형태의 보강재를 적용한 유공지름이 800mm인 유공 보강판에서의 보강재의 높이를 150과 300mm인 경우로 분류하고, 유공비에 따른 탄소성대변형 거동결과와 무공 보강판의 결과를 응력과 변형을 관계로 나타내고 있다. 보강재와 두께비가 12.5인 경우의 그래프에서 보는 바와 같이, 유공이 존재하지 않는 보강판에서 유공이 존재하는 경우보다 상대적으로 높은 극한강도 값을 나타내고 있으며, 극한강도 이후의 거동에 있어서는 snap-through 거동이 나타남을 알 수가 있으며, 이러한 거동의 원인은 2차좌굴에 의해 전체적인 구조의 처짐모드가 급격하게 변하면서 발생한다(박, 2005). 이는 상대적으로 약한 비틀림강성을 갖는 플랫형태의 보강재에서 주로 발생하게 되는 트리핑거동(tripping)에 의한 결과이다.



(a)  $h_w/t_w = 12.5$



(b)  $h_w/t_w = 25$

Fig. 4 Comparison of stress and strain curves varying the cutout ratio, with flat-bar stiffener under compressive load.

유공비가 0.24에서는 극한강도 이후 snap-through 현상이 발생하고 있으며, 유공비가 증가할수록 좌굴발생으로 인한 면내강성이 점차 감소하여, 결국 극한강도를 낮게 평가하는 거동을 보이고 있다. 또한 유공비가 0.71 이상에서는 압축하중이 작용하면, 유공주위에서 발생한 응력집중현상으로 인한 조기 항복 현상이 나타나면서 보강재의 강도분담이 크지 않음을 알 수 있다. Fig. 4의 (a)의 조건에 비해 (b)에서는 보강재의 단면계수가 증가하였음에도 불구하고, 강도상의 큰 차이는 나타나지 않고 있으며, 이러한 원인은 플랫 형태의 구조 형태는 압축하중이 작용할 경우 상대적으로 낮은 비틀림강성으로 인하여 보강재에서 발생하는 웹 좌굴과 트리핑 거동에 아주 취약하게 되며, 필요이상의 단면계수의 증가는 보강효과를 기대할 수가 없다는 것을 알 수가 있다.

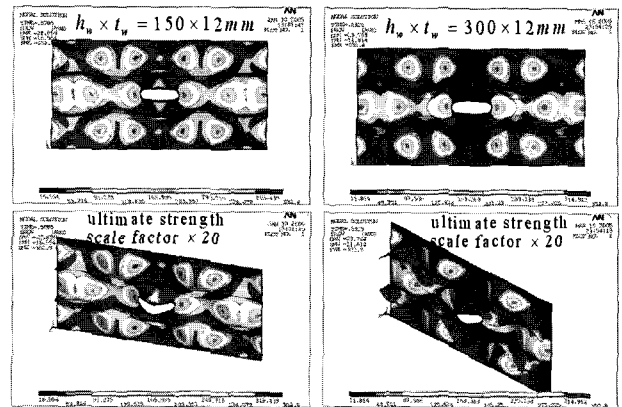
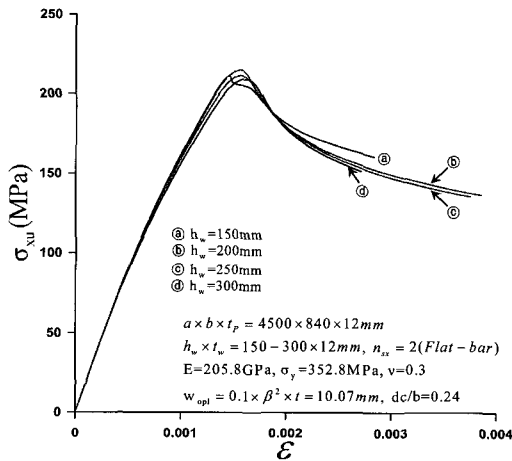


Fig. 5 Comparison of deflection mode on the ultimate strength varying the web height with flat-bar stiffener under compressive load.

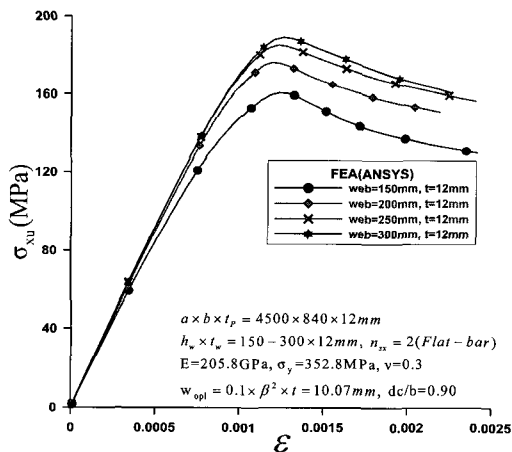
이러한 원인은 Fig. 5의 극한강도 상태에서의 웹의 높이에 따른 처짐과 응력분포에서 잘 나타내주고 있다. 웹의 높이가 150mm인 경우의 붕괴패턴은 웹의 국부 좌굴이 지배적인 붕괴형태로 나타나고 있으나, 단면계수값이 상대적으로 증가한 웹 높이가 300mm의 경우에는 웹에서 발생한 트리핑 붕괴형태를 나타내고 있다. 특히, 플랫 형태의 보강재를 가진 구조물에 압축하중이 작용하면, 보강재의 높이가 증가할수록 트리핑 붕괴패턴의 성향이 크게 나타나며, 좌굴발생 전까지는 (b)의 경우가 좀 더 높은 강도값을 유지하겠지만, 좌굴이 발생하면서 유공주의 보강재에 큰 처짐이 발생하면서 극한강도 또한 상대적으로 낮게 평가한다.

Fig. 6의 (a) 그래프는 유공비를 0.24로 고정하고 웹 높이를 150에서 300mm까지 50mm간격으로 변화를 주었다. 유공비가 작은 경우에는 단면계수가 증가함에도 불구하고 거의 일정한 극한강도를 나타내고 있다. 이러한 원인은 상대적으로 웹 길이의 증가가 되었을지라도, 웹에서 발생한 국부좌굴이나 트리핑 현상으로 인하여 초기의 조건에 비해 보강효과가 없음을 시사하고 있다. 그러나, (b)의 경우에는 유공비가 큰 경우에서

는 하중의 점진적인 증가와 함께 소성항복영역이 보강재방향으로 확산되게 된다. 이때, 보강재주변에서 최소전단면이 소성항복하면서 곧바로 극한강도에 이르는 거동(Yao et al., 2001)을 나타내기 때문에 유공비가 0.90에서는 보강재의 단면계수가 클수록 좌굴강도 및 극한강도를 높게 평가하게 된다. 이러한 결과는 실제 조선소에서 유공의 크기를 결정할 때 신중히 고려되어야 하는 부분이며, 유공의 크기가 0.9인 경우에는 별도의 횡방향 보강을 실시하여, 상대적으로 취약한 좌굴강도를 보완할 필요성이 있다.



(a)  $d_c/b = 0.24$



(b)  $d_c/b = 0.90$

Fig. 6 Comparison of stress and strain curves varying web height according to cutout ratio with Flat-bar stiffener under compressive load.

보강재 단면의 속성에 따른 붕괴거동의 차이점을 확인하기 위하여 Fig. 7에서 극한강도 상태에서의 응력분포와 보강재의 처짐형태를 비교하고 있다. 플랫 형태의 보강재를 가진 유공 보강판에서는 웹에서 발생한 국부좌굴의 영향으로 인하여 보강재 길이방향에 걸쳐서 항복이 진행되며, 플랜지가 약한 비틀림 강성을 보완하고 있는 앵글(angle), 티(Tee)형태의 단면 보강재에서는 유공주위에서 발생한 항복영역에서만 처짐과 항복이 진행되었고, 점선을 기준으로 바깥쪽 단면의 보강재의

처짐형태가 플랫 형태의 결과와 큰 차이를 보이고 있으며, 유효단면이 상대적으로 (a)경우보다 많이 존재하면서 극한강도 또한 높게 평가되고 있다. 판넬 구조에 유공의 설계 시 가장 고려해야 할 부분은 웹 국부좌굴과 트리핑 붕괴를 견딜 수 있는 보강재 치수 비 설계이다.

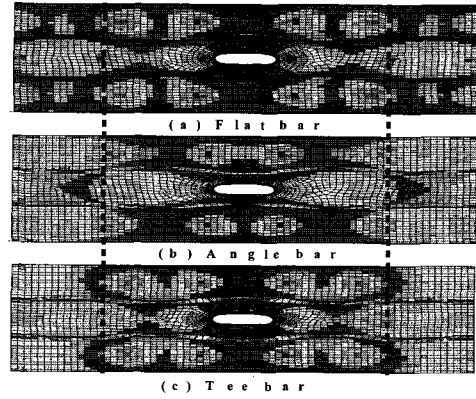
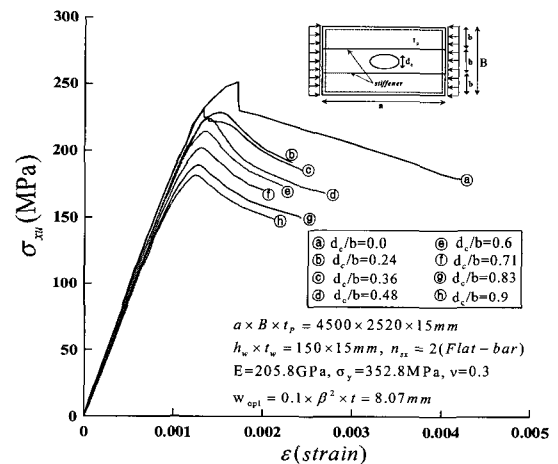
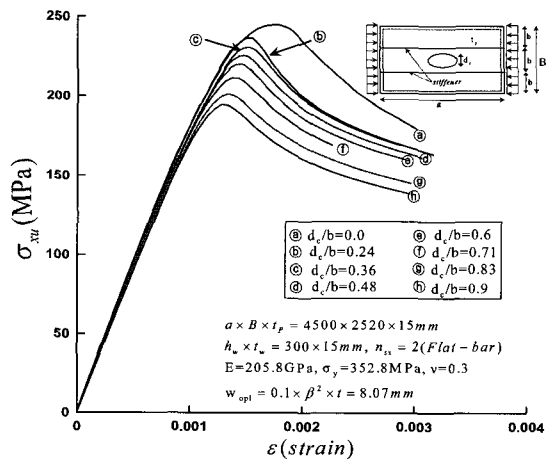


Fig. 7 A comparison of collapse pattern according to the cross section.



(a)  $h_w/t_w = 12.5$



(b)  $h_w/t_w = 25$

Fig. 8 Comparison of stress and strain curves varying the cutout ratio with flat-bar stiffener under compressive load.

보강재 단면이 플랫 형태인 경우, 판 두께와 보강재 두께를 15mm로 증가하였을 경우의 유공비에 따른 해석 결과를 Fig. 8에 나타내고 있다. 전체적으로 극한강도가 높게 평가되고 있으며, 웹 좌굴과 트리핑 붕괴현상으로 인하여 단지 판 두께의 증가로 인한 강도상의 효율은 확인되지 않고 있다. 실제 실적 상선의 중 보강재의 대부분은 플랜지가 있는 형태의보강재를 사용하지만, 플랫 단면의 보강재도 폭 넓게 사용 되고 있으며, 이러한 보강단면의 붕괴특성을 고려한 단면 설계가 필요하다고 할 수 있다.

Fig. 9에서는 플랫 형태의 보강재를 적용한 해석결과 중에서 유공지름이 600, 800mm의 결과를 비교하고 있다. 판 두께와 웹 두께에 따라서 압축극한강도 분포는 구분되어지고 있으며, 유공의 지름의 크기가 증가할수록 극한강도는 감소하고 있다. 판 두께와 웹 두께가 12mm 인 경우는 웹 높이가 200mm인 경우에서 가장 높은 극한강도를 나타내었고, 두께가 15mm인 경우에는 250mm인 경우에서 가장 높은 극한강도를 나타내고 있다.

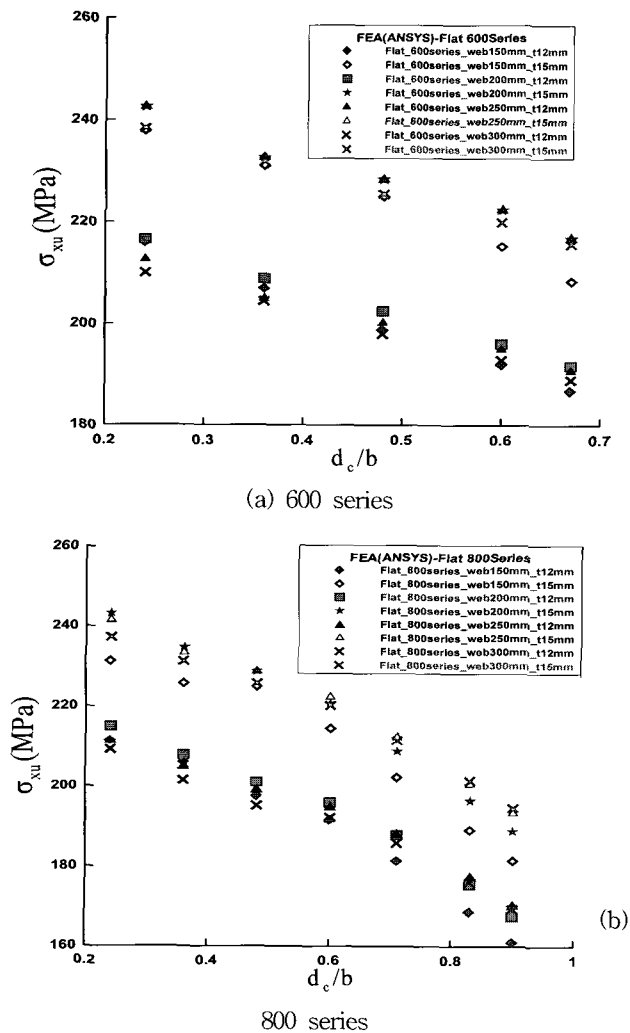


Fig. 9 Comparison of stress and cutout ratio curves varying the web height and thickness with flat-bar stiffener for cutout diameter 600 and 800 series.

이 결과는 웹의 높이가 계속해서 증가할지라도 극한강도는 비례해서 증가하지 않음을 나타내주며, 실제 초기구조설계 시 유공이 존재하는 판넬의 보강재 선택에 있어서 룰(rule)에 의한 단면계수값을 상회하였을지라도 국부 좌굴 및 트리핑 붕괴의 경우도 고려되어야 한다. 실제 유공이 존재하는 프레임(frame)사이에는 보강재가 위치하며 인접한 프레임에서는 무공판이 존재하고 있다. 따라서 평판에서의 유공에 따른 극한강도 분포는 유공비에 큰 영향을 받게 되지만, 유공보강판에서는 그 영향이 보강재의 역할로 인하여 상대적으로 감소된다.

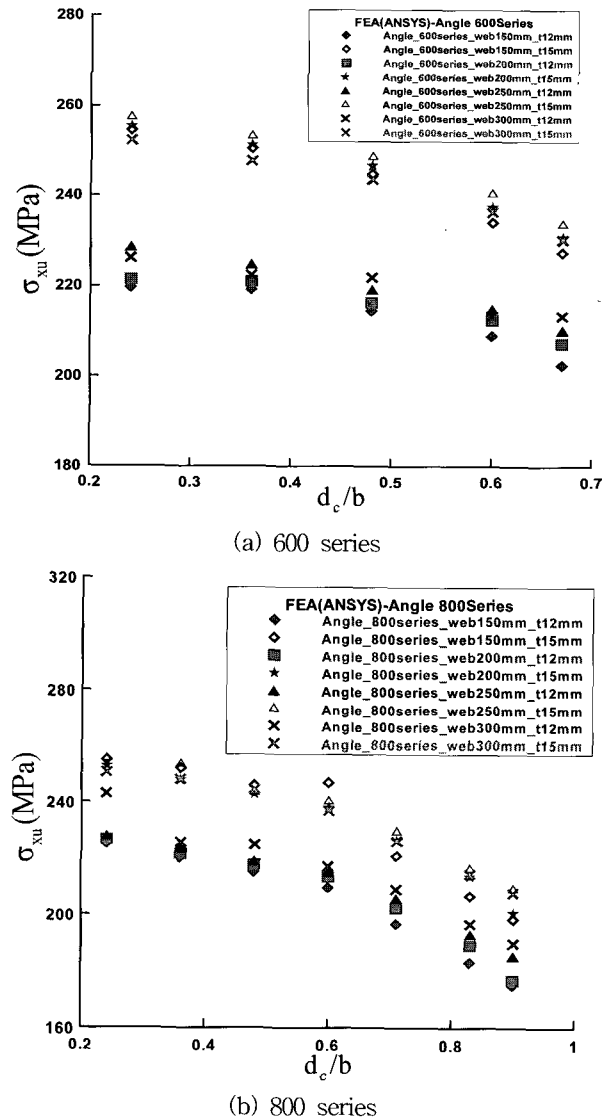


Fig. 10 Comparison of stress and cutout ratio curves varying the web height and thickness with angle-bar stiffener for cutout diameter 600 and 800 series.

Fig. 10에서는 앵글바(angle-bar) 보강재가 위치하고 유공 지름이 600인 경우와 800인 경우의 웹 두께와 웹 높이를 달리 한 시리즈해석 결과를 나타내고 있다. 플랫 형태의 보강재에 비해서 플랜지(flange)의 비틀림강성 보강 역할로 인하여 압축극한강도는 상대적으로 높게 평가되고 있으며, 유공비가 중

가할수록 감소비가 작게 나타나고 있으나, 유공비가 0.7이상에서는 크게 나타나고 있다. 유공지름이 600mm 인 경우에는 보강재의 높이가 250mm인 경우에 가장 높은 극한강도 값을 나타내었으며, 800mm인 경우에는 두께가 12mm인 경우에는 웹 높이가 300mm인 경우가 가장 높은 극한강도값을 나타내었다. 특히, 보강재의 높이가 150mm이고 웹 두께가 15mm인 경우에는 유공비의 증가와 함께 극한강도 변화가 급격하게 나타나고 있다.

극한강도 또한 비례적으로 증가하였으며, 유공비가 증가할수록 선형적으로 감소하는 분포를 나타낸다. 또한 유공비가 0.7 이상에서는 보강재의 단면속성에 상관없이 유공주위에서 조기항복 하는 현상으로 인하여, 유사한 응력 수준에서 극한강도가 결정되어지고 있다. 선체구조에 불가피하게 큰 개구부가 존재해야하는 경우 개구부의 크기와 판 폭의 관계를 면밀히 고려하여 결정하여야 하며, 추가적인 유공주위의 보강방법에 대해서 충분한 검토가 있어야 한다.

#### 4. 결론

유공이 존재하는 보강판 구조에서는 중량경감, 사람 및 화물의 이동, 배관 등 다양한 목적으로 선박에서 많이 사용 중이며, 유공주위의 좌굴강도를 보강하기 위하여 여러 가지 단면속성의 종방향 보강재가 사용되고 있다. 본 논문에서는 선박구조에서 실제 사용되어지는 유공 보강판 모델을 기준으로 세장비, 유공비의 크기, 보강재의 단면 형태 및 보강재의 치수비를 변화한 탄소성대변형 시리즈해석을 수행하고, 각각의 변수에 대한 영향에 대해 고찰하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 실적선의 타원형 유공 보강판 모델은 종방향 보강재의 역할로 인하여 유공비가 증가하더라도 극한강도 감소비율은 크지 않다.
- (2) 플랜지의 역할로 인하여 트리핑거동이 상당히 제어가 되며, 극한강도 또한 높게 평가된다.
- (3) 티(tee-bar) 단면속성을 가진 유공 보강판은 보강재의 단면계수가 증가하면 비례적으로 극한강도를 높게 평가한다.
- (4) 유공의 비가 0.7이상에서는 유공주위의 최소단면이 조기 항복하여 전단면 항복으로 전개되며 극한강도 감소가 크게 나타난다.
- (5) 플랫(flat-bar) 단면의 보강재를 사용할 경우 웹 국부좌굴이나 트리핑 붕괴패턴을 고려한 설계를 하여야 하며, 단순히 단면계수의 증가만으로는 보강효과를 기대하기 어렵다.

#### 후 기

이 논문은 2006년도 산업자원부 주관 지역혁신인력양성사업의 지원을 받아 수행되었고 위 기관에 감사를 표합니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 박주신(2004), "선체판의 2차좌굴을 고려한 비선형거동에 관한 연구", 공학석사학위논문.
- [2] 박주신, 고재용, 이준교(2005), "종방향 압축력을 받는 선체판부재의 횡압력 영향에 관한 연구", 항해항만학회지, 제29권 6호, pp. 515-522.
- [3] 박주신, 고재용, 이준교(2006), "중, 횡방향 압축하중을 받는 유공판의 좌굴을 고려한 최종강도 설계식개발", 항해항만학회지.

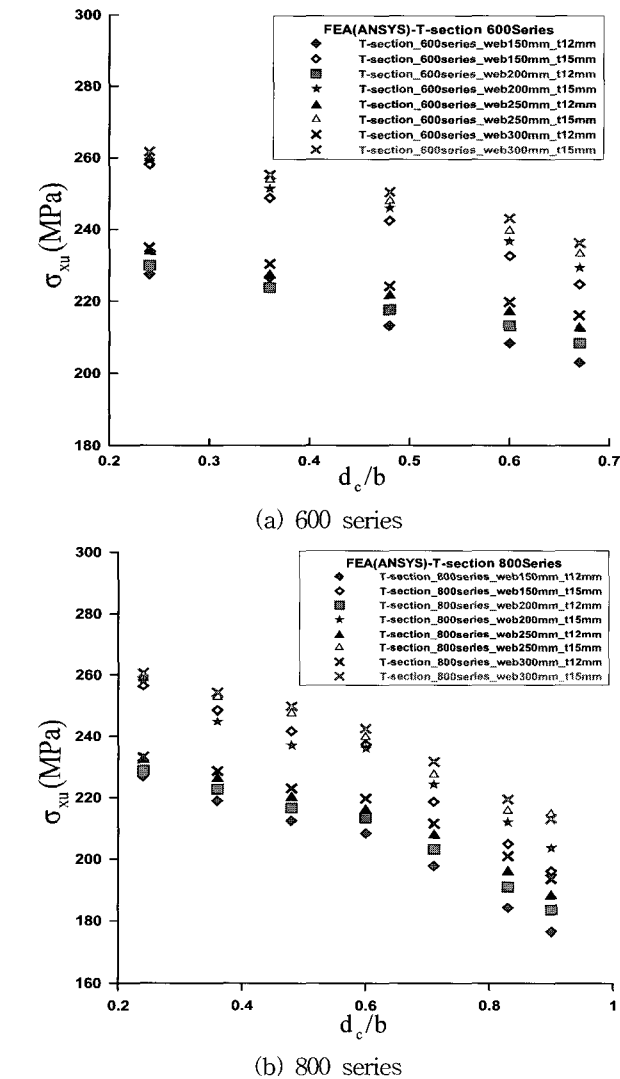


Fig. 11 Comparison of stress and cutout ratio curves varying the web height and thickness with tee-bar stiffener for cutout diameter 600 and 800 series.

Fig. 11에서는 티바(tee-bar) 보강재를 적용한 유공 보강판의 유공지름이 600, 800mm인 해석조건에 대한 결과를 극한강도와 유공비로 나타내고 있다. 앵글바를 적용한 경우보다 좀더 높은 극한강도 분포를 나타내지만 플랜지가 있는 형태에서는 큰 차이를 보이지 않으며 유공비가 0.7이상에서는 Fig. 10에서와 같이 극한강도가 급격히 감소하는 거동을 보이고 있다. 티바(Tee-bar) 보강재의 적용 시 웹의 높이가 증가할수록

- [4] ANSYS Inc.(2000), "ANSYS theory manual - Nonlinear buckling problem, Chapter 3, Part4, 2000. pp. 120-132.
- [5] Paik, J. K., Ham, J. H. and Kim, E. N.(1992), "A new plate buckling design formula", J. of the Society of Naval Architects of Japan, Vol.171, pp.559-556.
- [6] Paik, J. K., Ham, J. H. and Ko, J. H.(1992), "A new plate buckling design formula(2nd Report) - On the plasticity correction" - J. of the society of naval architects of Japan, Vol. 172.
- [7] Yao, T. and Chikahisa Murakami (2001), "Buckling / Ultimate Strength of Perporated Rectangular Plate under Thrust", J. of the Society of Naval Architects of Japan, Vol.171, pp.731-737.

---

원고접수일 : 2006년 6월 7일

원고채택일 : 2006년 8월 11일