

# 선체유공판의 좌굴 및 최종강도에 관한 연구

고재용\* · 박주신\*\* · 박성현\*\*\*

A Study on the Buckling & Ultimate Strength for Ship's Plate with Cutout

Ko, Jae-Yong\*, Park, Joo-Shin\*\*, Park, Sung-Hyun\*\*\*

## 〈目 次〉

Abstract

1. 서론

2. 수치해석이론

2.1 해석모델링 및 해석방법

2.2 유공판의 최종강도

2.3 유공판의 최종강도 해석 및 설계식 도출

3. 수치해석 및 고찰

4. 결론

## Abstract

Place that have cutout inner bottom and girder and floor etc. in hull construction absence is used much, and this is strength in case must be situated, but establish in region that high stress interacts sometimes fatally in region that there is no big problem usually by purpose of weight reduction, a person and change of freight, piping etc..

Because cutout's existence gnaws in this place, and, elastic buckling strength by load causes large effect in ultimate strength. Therefore, perforated plate elastic buckling strength and ultimate strength is one of important design criteria which must examine when decide structural elements size at early structure design step of ship.

Therefore, and, reasonable elastic buckling strength about perforated plate need design ultimate strength. Calculated ultimate strength change several aspect ratios and cutout's dimension, and thickness in this investigation. Used program applied ANSYS F.E.M code transformation finite element law that is mediocrity finite element analysis code.

## 1. 서론

선체는 기본적으로 판부재들로 구성되어 있으며 이들중 상당수는 유공판(Perforated plate)이다. 선체

에 설치된 유공판으로서는 선체 상갑판 해치(하역시설로 사용), 선저부의 거더와 플로어(중량경감과 선박 건조 및 검사시 통로확보용), 다이어프램(중량경감 및 파이프 관통의 목적)등이 있다. 이들 유공판에 하중이 작용하면 좌굴과 최종강도 특성이 크게 변화

\* 정희원 목포해양대학교 해양시스템공학부 부교수

\*\* 목포해양대학교 해양시스템공학부 대학원

\*\*\* 정희원 목포해양대학교 해상운송시스템학부 조교수

할 뿐만 아니라 수반되는 면내응력도 재분포하게 되어 심각한 강도문제를 야기시킬 수 있다. 그리고 최근의 선체 건조경향이 고장력강 사용 증가와 구조해석 및 최적설계 기술의 발달로, 선체구조는 점점 경량화 추세이며, 이로 인해 좌굴문제가 설계시 중요한 검토사항으로 되고 있다.

이와 같은 측면에서 각 조선소에서는 각국 선급들이 제시하는 좌굴설계식을 사용하여 강도계산을 하고 있으나 실제 선박의 유공판 치수 결정시, 이들 선급식은 경우에 따라 서 좌굴강도를 서로 크게 다르게 나타내고 있어 설계자를 혼란스럽게 하는 경우가 있다. 유공판의 좌굴강도에 대한 많은 연구가 수행되어 왔으나, 이들 대부분은 판의 종횡비가 1인 것을 대상으로 하고 있어 실제선박에서 사용하고 있는 유공판의 특성치와는 다소 거리가 멀다. 또한 개공(Opening)의 형태와 위치등도 제한적인 결과들로서 실제 사용상에는 다소 어려움이 있다. 따라서, 본 연구논문에서는 종횡비, 세장비 그리고 유공의 크기를 변화시켜가며 최종강도를 계산하고 이를 바탕으로 유공판의 최종강도에 관한 설계식을 도출한다.

## 2. 수치해석이론

### 2.1 해석모델링 및 해석방법

범용유한요소 프로그램인 ANSYS를 사용하여 유공판의 cutout의 크기, 종횡비 및 두께를 변화시켜가며 시리즈해석을 수행하였으며, 사용된 모델은 Fig. 1에 보이는 것과 같다. 유공판의 네변에서는 회전구속이 없는 단순지지 경계조건을 설정하였으며, 실제 판 구조물을 구성한 판 부재는 주변에서 주위의 다른 판 부재와 연결되어 있는 연속적인 구조물을 이

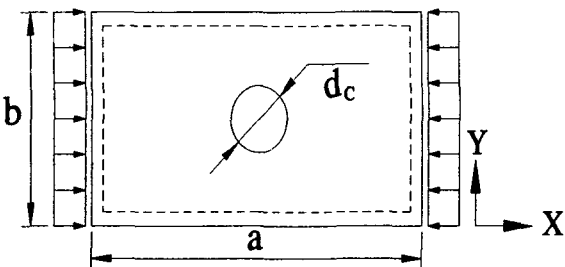


Fig. 1 Dimension of model with cutout plate

루고 있기 때문에 네변에서는 면내방향으로의 변위를 구속하며, 직선을 유지시켰다. 이러한 이상화는 실제로 많이 사용되어지고 있으며, 다소 보수적이지만 충분히 합리적인 결과를 준다고 알려져 있다.

해석에 사용된 재료의 물성치는 다음과 같다. 판폭  $(b)=800$  mm, 판의 종횡비  $(a/b)=1.0\sim 6.0$ , 판두께  $(t)=10, 15, 20$  mm, cutout의 크기비  $(d_c/b)=0.0, 0.2, 0.4, 0.8$ , 탄성계수  $(E)=21000kgf$ , 포아송비  $(\nu)=0.3$ , 항복응력  $(\sigma_y)=36kgf/mm^2$ 이다.

### 2.2 유공판의 최종강도

최종한계상태설계의 구조설계 기준은 소성붕괴 내지는 최종강도를 기준으로 하고 있다. 과거 선박들의 구조설계는 최종강도에 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 경량적인 안전율을 결정하기 힘들며, 단지 경험에 의해서 결정되는 경우가 많다. 그렇기 때문에 최종강도에 대한 계산은 반드시 필요하며, 최근에는 육상에서 쓰이는 강구조물이나 해상구조물 뿐만 아니라 선박등의 구조설계에서도 최종강도를 기준으로 설계를 수행하고 있다.

### 2.3 유공판의 최종강도 해석 및 설계식도출

종횡비, cutout의 크기, 세장비를 변화 시켜가며 단독하중이 작용하는 유공판에 대해서 범용유한요소 프로그램인 ANSYS를 사용하여 탄소성대변형 해석을 수행하여 유공판의 최종강도 설계식을 도출하였다. cutout의 크기비는 0.0, 0.2, 0.4, 0.8에 대해서 해석을 수행하였으며, 종횡비와 세장비의 영향을 고려하기 위해 두께 10mm에 대해서 종횡비 1.0~6.0까지, 15mm에 대해서는 종횡비 3.0, 20mm는 종횡비 1.0, 3.0, 5.0에 대해서 각각 계산을 수행하였다.

## 3. 수치해석 및 고찰

판종횡비  $(a/b)$ 가 1.0인 유공판에서 유공비를 달리 한 탄소성 해석결과를 Fig. 2에 나타내고 있다.

유공이 존재하지 않는 무공인 판을 기준으로 보았

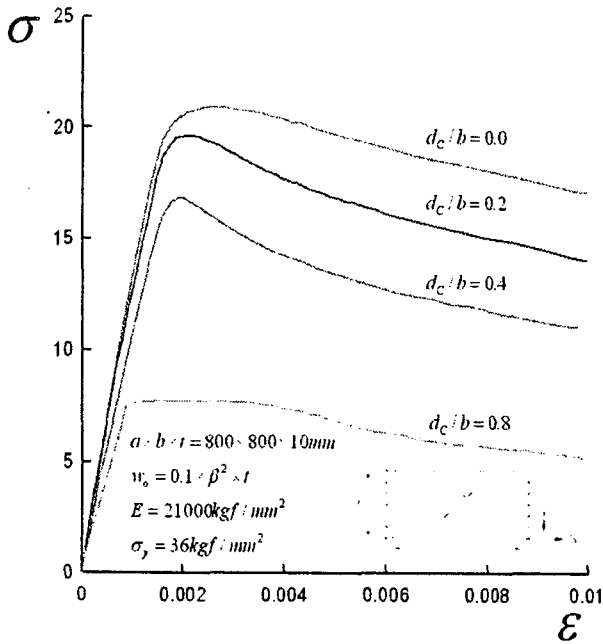


Fig. 2 A comparison stress with strain varying the size of openings ( $a/b=1, \beta=3.3$ )

을 때 유공비가 커지면 커질수록 최종강도가 감소하며 또한 초기좌굴 이후 면내강성 감소도 커짐을 알 수가 있다. 본 해석에서는 종횡비와 세장비의 영향을 고려하기 위해서 두께를 증가시켜가면서 시리즈 해석을 수행하였다.

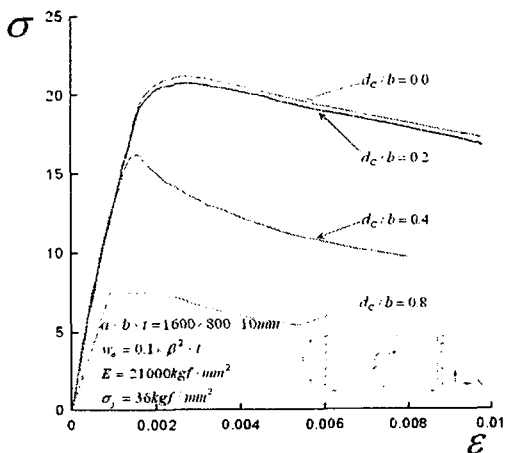


Fig. 3 A comparison stress with strain varying the size of openings ( $a/b=2, \beta=3.3$ )

두께를 10mm로 고정시킨 후 종횡비를 1.0~6.0까지 시리즈해석을 수행하면 무공판을 기준으로 하였을 경우 유공비가 커짐에 따라 최종강도가 감소하는 거동을 확인할 수가 있다. 특히 종횡비가 3.0에서는 유공비가 0.2일 경우 무공판에 비해서 최종강도 이

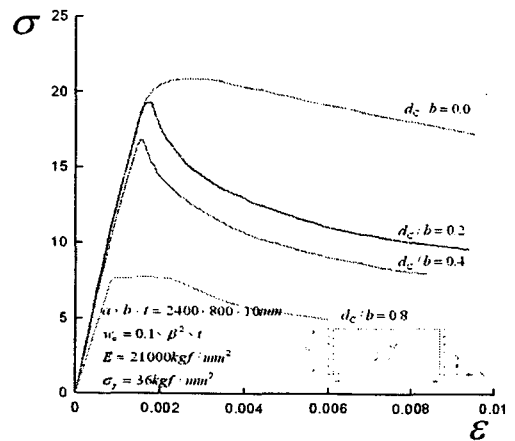


Fig. 4 A comparison stress with strain varying the size of openings ( $a/b=3, \beta=3.3$ )

후 면내강성 감소 차이가 크다는 것을 알 수가 있다. 종횡비 1.0에서의 최종강도 상태에서의 처짐모드는 1모드를 유지하며 종횡비 2.0에서는 유공비가 0.4일 경우에만 3모드를 유지하고 나머지 유공비에서는 2모드를 유지한다. 종횡비 3.0, 4.0, 5.0, 6.0에서는 각 종횡비의 고유모드를 유지하게 되며 유공비가 0.8에서는 유공원호가 찢어지는 현상이 발생하게 된다. 압축하중에 의해서 종방향 유공원호의 찢어지는 현상이 발생하면 유공판 전체적인 구조적 붕괴가 급작스럽게 진행되므로 유공의 설계시 이러한 수치해석을 통하여 최적의 유공설계를 하여야 한다. Fig.5에서는 종횡비 3.0에서의 각 유공비에 따른 최종강

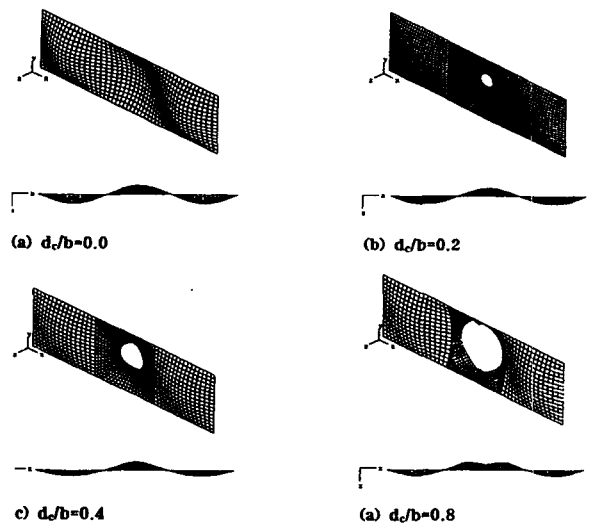


Fig. 5 Deformed shape of a plate element under thrust varying the size of openings at ultimate strength ( $a/b=3, \beta=3.3$ )

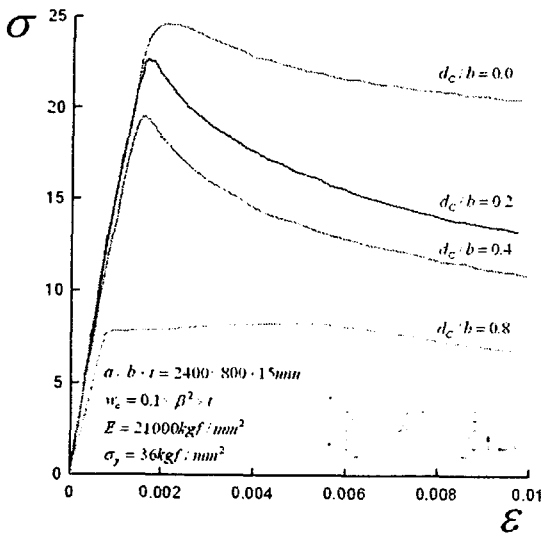


Fig. 6 A comparison stress with strain varying the size of openings ( $a/b=3, \beta=2.2$ )

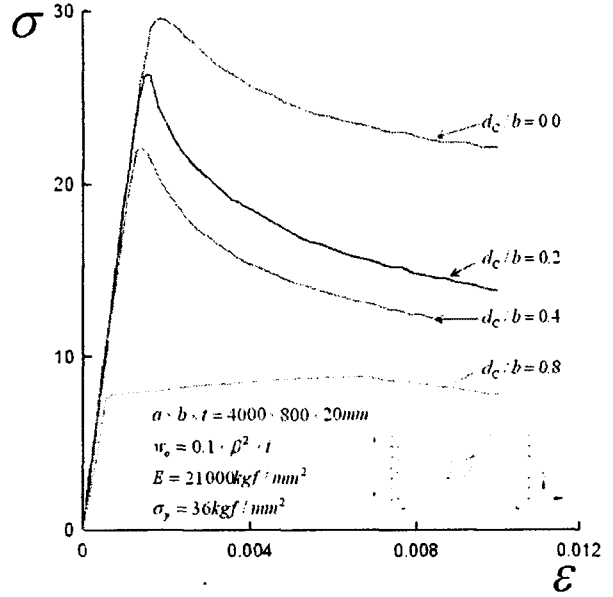


Fig. 8 A comparison stress with strain varying the size of openings ( $a/b=5, \beta=1.7$ )

ε에서의 처짐모드를 나타내주고 있다.

중횡비와 세장비의 영향을 고려하기 위해서 두께 5mm에 대해서는 중횡비 3.0, 두께 20mm에서는 중횡비 1.0, 3.0, 5.0에 대해서 각각 계산을 수행하였다.

서 결국 판내 좌굴화 소성의 미비한 전개로 인하여 최종강도가 상대적으로 높게 평가되고 있는 공통점을 나타내고 있다. 중횡비가 1.0에서 5.0으로 갈수록 유공비가 커지면 커질수록 최종강도 이후 면내강성 감소율이 더 급격하게 늘어남을 알 수가 있다. 중횡비가 커질수록 유공주위에서 발생하는 소성화로 인

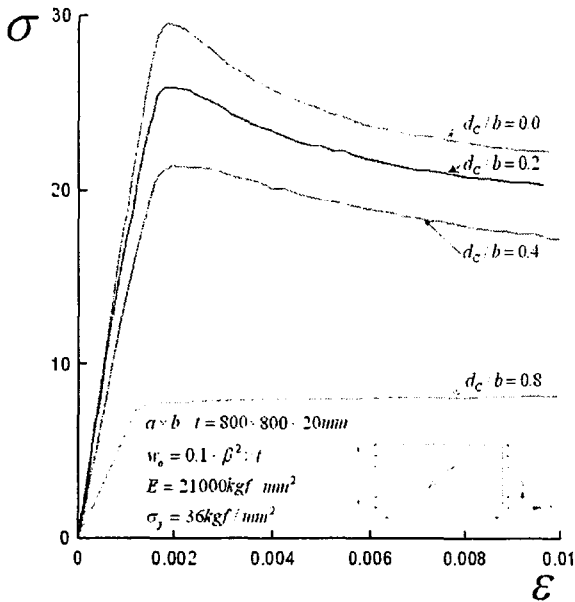


Fig. 7 A comparison stress with strain varying the size of openings ( $a/b=1, \beta=1.7$ )

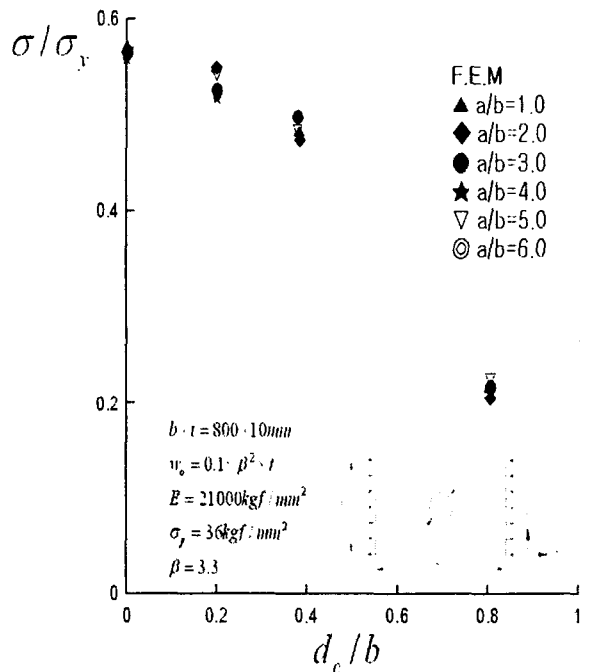


Fig. 9 Ultimate strength of plates with cutout under thrust varying the aspect ratios ( $\beta=3.3$ )

Fig.7~Fig.8에서는 두께를 20mm로 변화하고 중횡비 1.0과 5.0에서의 탄소성거동을 나타내고 있다. 두께가 두꺼워짐에 따라 초기좌굴 발생 시점이 늦어져

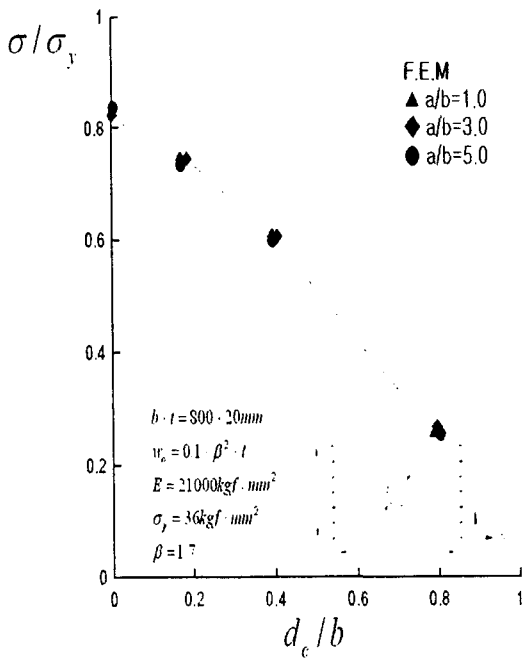


Fig. 10 Ultimate strength of plates with cutout under thrust varying the aspect ratios ( $\beta=1.7$ )

하여 이와 같은 공통적인 현상이 나타나게 된다.

Fig.9~Fig.10에서 확인되듯이 종방향 압축력을 받는 유공판의 경우는 종횡비의 영향이 크지 않음을 알 수 있다. 실제 무공판의 경우에도 종방향 압축력을 받는 경우 종횡비가 최종강도에 미치는 영향은

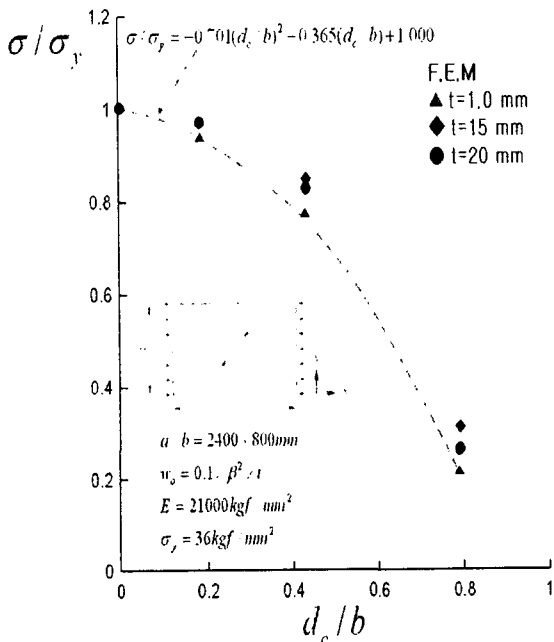


Fig. 11 A comparison of the present ultimate strength formulation with FEA under thrust ( $a/b=3.0$ )

극히 작은 것으로 알려져 있다.

Fig.11에서는 세장비의 영향을 고려하기 위해 앞서 계산한 값을 각각의 무공판에 대한 유공판의 최종강도비로 나타내었다. 종횡비 3.0에 대해서 두께를 10mm, 15mm, 20mm( $\beta=3.3, 2.2, 1.7$ )를 변화시켜가며 구한 결과를 나타낸 것으로 확인되듯이 세장비의 영향도 무시할 수 있을 정도임을 알 수가 있다. 이상에서 검토한 결과를 바탕으로 다음과 같이 종방향 압축력이 작용하는 경우의 유공판의 최종강도에 관한 설계식을 도출 할 수 있다.

$$\sigma/\sigma_y = -701(d_c/b)^2 - 0.365(d_c/b) + 1.000$$

#### 4. 결론

유공판은 중량경감, 사람 및 화물의 이동, 배관등 다양한 목적으로 선박에 많이 사용되고 있다. 본 논문에서는 선박에 실제 사용되어지는 모델을 기준으로 종횡비, 세장비, 유공비의 크기를 고려하여 고유치해석과 탄소성대변형 유한요소 해석을 통해 탄성좌굴강도 및 최종강도에 대한 시리즈 해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 종방향 압축하중만을 고려할 경우 종횡비 합수는 최종강도에 미치는 영향은 작다.
- (2) 종방향 압축하중만을 고려할 경우 세장비의 영향도 무시할 정도로 적게 나왔다.
- (3) 유공의 비가 0.4이상이고 종횡비가 3.0이상에서는 유공주위 원호에서 발달한 소성의 영향으로 찢어지는 현상을 볼 수가 있다.

#### 후기

이 연구는 한국과학재단의 첨단조선공학연구센터의 지원으로 수행되었다.

#### ◆ 참고문헌 ◆

[1]. J.K. Paik, J.H. Ham and E.N. Kim : A new plate buckling design formula, J. of the Society of Naval Architects of Japan, Vol.171, 1992, pp.559-556.

- [2]. J.K. Paik, J.H. Ham and Jae H. Ko : A new plate buckling design formula(2nd Report) - On the plasticity correction - J. of the society of naval architects of Japan, Vol.172, 1992.
- [3]. J.H. Ham and Oi Hyun Kim. " Buckling Strength Evaluation System ", Meeting of Korea Ship Structure Congress, Sep, 1991.