

중횡방향 압축하중을 받는 유공판의 최종강도 설계식 개발

박주신* · 고재용** · 이준교***

* 오사카대학교 대학원 조선해양공학 박사과정, ** 목포해양대학교 해양시스템공학부 부교수
*** 목포해양대학교 해양시스템공학부 대학원 석사과정

Development of Ultimate Strength Design Formula considering Buckling under Longitudinal and Transverse Axial Compressive Load

Joo-Shin Park* · Jae-Yong Ko** · Jun-Kyo Lee***

* Graduate Engineering, Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Osaka University
** 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 : 선체구조 부재에는 이중저의 거더 및 늑판 등에서 유공을 가진 판이 많이 사용되고 있고, 이는 중량 경감, 사람 및 화물의 이동, 배관 등의 목적으로, 보통은 강도상 큰 문제가 없는 부위에 위치하지만, 때로는 불가피하게 높은 응력이 작용하는 부위에 설치해야 할 경우도 있다. 이러한 판에 유공의 존재는 면내 하중에 의한 탄성좌굴강도 및 최종강도에 큰 영향을 주게 된다. 따라서 유공판의 탄성좌굴강도 및 최종강도 평가는 선박의 초기 구조설계단계에서 구조부재 치수를 결정할 때 검토해야 할 중요한 설계기준 중의 한가지이다. 그러므로, 유공판에 대한 합리적인 신뢰적인 탄성좌굴강도 및 최종강도 평가가 필요시 되고 있으며 본 연구에서는 다양한 중횡비와 유공비 그리고 세장비의 영향을 고려하여 탄소성 대변형 유한요소 시리즈해석 결과를 바탕으로 하여 간단한 설계식을 도출하였다.

핵심어 : 시리즈해석, 유공판, 좌굴, 최종강도, 유한요소법

Abstract : A number of perforated plates are utilized for the passage of the crew and the equipment, reducing weight and the arrangement of piping. Hull girders in double bottom and floor plates are the typical parts which have those plates in a ship structure, and the perforated plate is usually positioned at the place which has less loading without local strength problems. In the case of utilizing the plate inevitably at the place which has large strength, an opening of the plate has large effect on the buckling strength due to in-plane rigidity and ultimate strength. Therefore the assessments of the elastic buckling strength and the ultimate strength for the perforated plate are the essential requirements for determining the dimensions of the parts at the initial design stage. With above reason, a need of the reasonable assessments for the elastic buckling strength and the ultimate strength has evolved. The numerical series analysis with the consideration of the effect due to various aspect ratios and slenderness ratios were performed using finite element method in this research. Simple formulas for the design are also proposed from the above analysis.

Key words : Series analysis, Perforated plate, Buckling, Ultimate strength, Finite element method

1. 서 론

선체는 기본적으로 판부재의 조합으로 구성되어 있으며 이들중 상당수는 유공판(Perforated plate)이다. 선체에 사용되는 유공판의 종류는 다음과 같다. 선체 상갑판 해치(주로 하역시설로 사용), 선저부의 거더와 플로어(중량경감과 선박 건조 및 검사 시 통로 확보용), 다이어 프랩(중량경감 및 파이프 관통의 목적)등이 있으며, 이러한 유공판에 압축하중이 작용하면 좌굴과 최종강도 특성이 크게 변화할 뿐만 아니라 수반되는 면내응력도 재 분포하게 되어 심각한 구조강도 감소를 일으킬 수가 있다.(Ham et al., 1991). 최근의 선체 건조 경향이 고장력강의 사용 증가와 구조해석 및 최적설계 기술의 발달로 인

하여 선체구조는 경량화, 단순화 되어가고 있다. 특히, 두께가 얇은 판이 주로 사용되면서 좌굴문제가 구조설계 시 중요한 검토사항으로 부각되고 있다.(矢尾哲也, 1995). 이와 같은 측면에서 각 조선소에서는 각국 선급들이 제시하는 좌굴 설계식을 사용하여 강도계산을 하고 있으나 실제 선박의 유공판 치수 결정 시 선급에 따라서 좌굴강도를 서로 크게 다르게 표현하고 있어 설계자를 혼란스럽게 하는 경우가 있다.(Paik et al., 1992). 유공판의 좌굴강도에 대한 많은 연구가 수행되어 왔으나, 이들 대부분은 판의 중횡비가 1.0인 것을 대상으로 하고 있어 실제선박에서 사용하고 있는 유공판의 중횡비와는 다소 거리가 멀다.(전, 2001) 또한 유공(Opening)의 형태와 위치등도 제한적인 결과들로서 실제 사용상에는 다소 어려움이 있

* 대표저자 : 박주신(정회원), Joo_Shin_Park@naoe.eng.osaka-u.ac.jp 090)1153-9326
** 정회원, kojy@mmu.ac.kr, 061)240-7129
*** 정회원, jklee96@mmu.ac.kr, 061)240-7217

다. 따라서 본 연구 논문에서는 실선에서 사용 중인 종횡비 (aspect ratio), 세장비(slenderness ratio) 그리고 유공의 크기를 변수로 하여 유한요소법을 적용하여 좌굴강도 및 최종강도를 계산하고 시리즈해석 결과를 바탕으로 하여 종방향, 횡방향 압축 하중조건에의 경우 유공 감쇄비를 고려한 간단한 설계식을 도출하였다.

2. 수치해석방법

2.1 해석대상 모델

본 연구에 사용된 컨테이너선박(4500TEU)의 이중저구조의 배치도를 Fig. 1에 나타내고 있다. 현장에서 설계되어지고 있는 유공의 형상은 사각형, 타원형, 정원형이 주로 사용되고 있으며 (전 외, 2001)에서 이미 유공의 형상에 대한 최종강도 해석을 통하여 유공형상에 의한 최종강도 거동의 차이는 미비하였으며, 유공비가 가장 큰 설계 변수라는 결과를 확인한바가 있다.

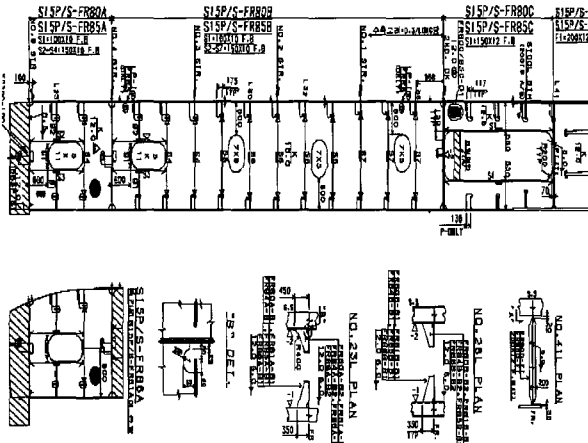


Fig. 1 Inner bottom arrangement on the container ship (4500TEU)

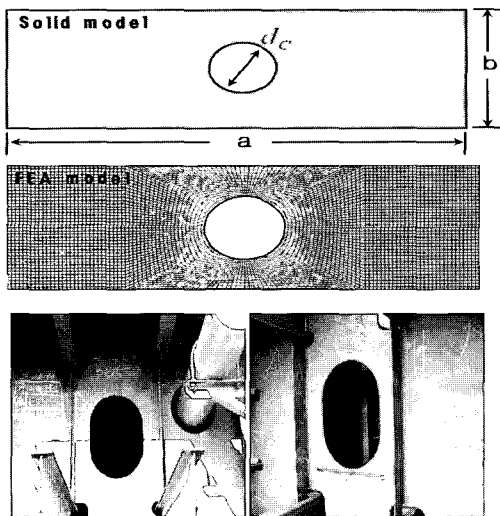


Fig. 2 FE model and actually inner bottom structure of the container ship

본 논문에서는 중앙에 원형 개구부를 가진 유공판을 대상으로 유공판의 개구 크기, 종횡비 및 판 두께를 변화시켜가며 탄소성 대변형(Elasto-plastic large deformation)유한요소 시리즈해석을 수행하였으며, 사용된 유한요소모델 및 실선에서 볼 수 있는 일반적인 유공판 형상은 Fig. 2에 나타내고 있다. 해석에서 사용한 재료의 물성치는 다음과 같다. 탄성계수(E)=205.8GPa, 포아송비(ν)=0.3, 항복응력(σ_y)=352.8MPa, 판 폭(b)을 840mm로 일정하게 유지하고, 판 길이(a)는 840, 1680, 2520, 3360, 4200, 5040mm와 판 두께(t)는 10, 15, 20mm를 적용하였다.

하중성분은 판 길이방향 압축하중과 판 폭 방향 압축하중을 대상으로 하였다. 전자의 경우는 선저형 웹 혹은 만재시의 선측 수압에 의한 압축하중을 받는 플로어(Floor) 부재에 해당된다. 한편 후자는 이중저의 웹 혹은 플로어재에서 위로부터는 화물중량, 아래에서는 선저수압을 받고 있는 상태를 가정하였다. 판재에 존재하는 초기변형을 고려하기 위한 치짐식은 아래 식(1)을 이용하였으며, 최대 초기치짐량 결정은 Smith's 식의 Average level($0.1 \times \beta^2 \times t$)을 적용하였고, 용접잔류응력에 대해서는 고려하지 않았다. 여기에서, 세장비는 $\beta = (t/b) \times \sqrt{(\sigma_y/E)}$ 과 같이 계산되어진다.

$$w_o = \sum_{i=1}^N A_{oi} \sin \frac{i\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b} \quad (1)$$

유공판의 네변에서는 회전구속이 없는 단순지지 경계조건을 적용하였으며, 실제 판 구조물을 구성한 판 부재는 주변에서 주위의 다른 판 부재와 연결되어 있는 연속적인 구조물을 이루고 있기 때문에 네변에서는 면내방향으로의 변위를 구속하며, 최종강도에 도달할 때 까지 직선을 유지하도록 설정하였다.(Ham et al., 1991). 이러한 이상화는 실제로 많이 사용되어지고 있으며, 다소 보수적이지만 충분히 합리적인 결과를 준다고 알려져 있다.(Paik et al., 1992b). 비선형 좌굴해석 기법으로서는 수정 뉴턴랩슨법(Modified Newton Rapson method)과 호장증분법(Arc-length method)을 병용하여 사용하였다. 일반적으로 비선형좌굴해석에서 사용하는 하중 증분형과 변위 증분형 비선형 해석법은 극한점에서의 거동 추적이 불가능 하지만 본 연구에서 적용한 방법은 이러한 결점이 없고, 안정된 해를 찾을 수가 있다.(박, 2004). 그러나, 전자에 비해 해석시간은 약 20%정도 더 소요되는 특징이 있다.(ANSYS, 2003).

3. 유공판의 탄성좌굴강도

판에 대한 유공의 영향을 나타내기 위하여 유공판에 대해서 고유치 탄성좌굴(Eigen elastic buckling)시리즈 해석을 수행하여 무공판에 대한 좌굴감쇄계수를 도입하여 나타내고 있으며, Fig. 3에서는 종방향 압축력을 받는 유공판에 대한 고유치 좌굴해석 결과를 나타내고 있다. 종횡비의 영향을 고려하기

위하여 종횡비(a/b)를 1.0~6.0까지 1.0씩 변화시켜가며 유공판의 탄성좌굴 계수(k_x)를 구하였다. 이렇게 구한 값을 무공판에 대한 유공판의 탄성좌굴 계수의 비로 종방향 압축력을 받는 유공판의 탄성좌굴 감쇄계수($R_{xE} = k_x/k_{x0}$)의 값을 사용하여 종축에 나타내었고, 횡축은 판폭에 대한 유공비(d_c/b)로 나타내고 있다.

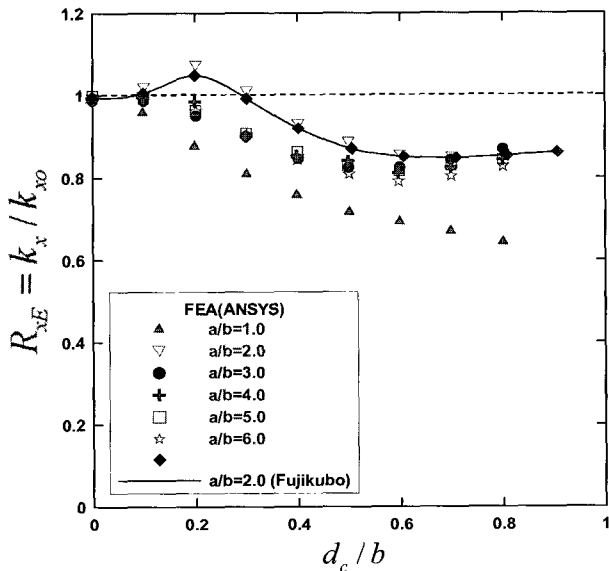


Fig. 3 Reduction factor of the elastic buckling strength with FEA under longitudinal axial compression varying aspect ratios

본 논문의 해석결과와 참고문헌 [8]의 결과를 Fig. 3에 비교하고 있으며, 거동이 아주 유사하게 나타나고 있다. 유공비가 증가함에 따라 탄성좌굴감쇄계수의 값이 감소하는 경향을 보이고 있으며 a/b=3.0~6.0의 경우 감쇄계수는 종횡비의 영향이 점차적으로 감소하고 있다. a/b=2.0에서는 유공판의 탄성좌굴 강도가 무공판의 탄성좌굴강도보다 높게 평가되는 특이 거동이 나타나고 있으며, 이는 유공의 존재가 탄성좌굴 고유모드를 방해하기 때문이라고 알려져 있다. (전 등, 2001). 본 논문의 결과에서도 같은 현상이 발생하였으며, 이러한 결과는 a/b=2.0이고 유공비가 0.1-0.2 구간에서만 특이하게 발생하는 거동이며, 이때의 좌굴모드가 1모드에서 2모드로 변화하기 때문에 이와 같은 현상이 나타난 것으로 판단된다.

Fig. 4에서는 횡방향 압축하중 조건에서의 탄성좌굴강도 분포를 나타내고 있다. 유공비의 증가에 따라 탄성좌굴감쇄계수는 감소하고 있으며, Fig. 3에 비해 변화정도가 적은 경향을 나타내고 있으며, (Park et al., 1992a)의 비교와도 잘 일치하고 있다. 횡방향 압축하중이 작용하는 경우 판 폭이 일정하기 때문에 압축하중에 대한 유효단면적은 일정하게 되며, 이러한 이유로 인하여 최종강도 차이가 적게 나타나게 된다. 그러나 종방향 압축일 경우에는 종횡비가 증가하면서 판 길이방향 길이도 증가하므로 유효단면적이 크게 증가하고 있기 때문에 이와 같은 차이가 발생한다.

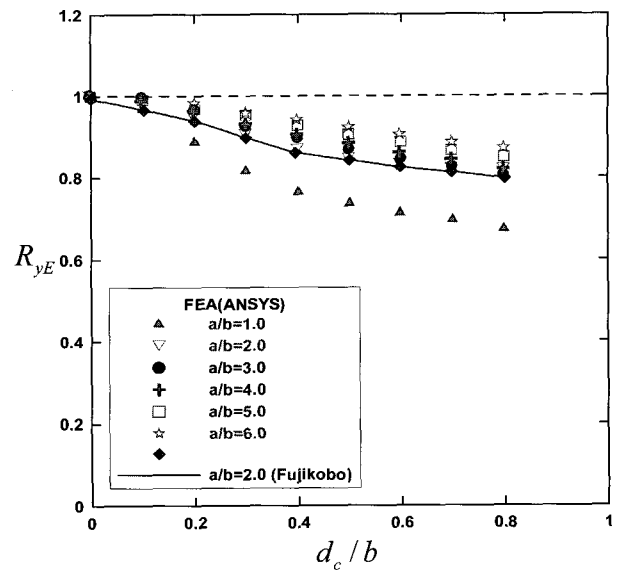


Fig. 4 Reduction factor of the elastic buckling strength with FEA under transverse axial compression varying aspect ratios

4. 유공판의 최종강도

4.1 종방향 압축하중이 작용하는 유공판의 최종강도 해석 및 설계식 도출

종횡비, 유공의 크기, 세장비를 변화 시켜가며 범용 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS 9.0을 사용하여 종방향 압축하중이 작용하는 유공판에 대한 최종강도 시리즈해석을 통하여 간단한 설계식을 도출하였다. 유공의 크기비는 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8에 대해서 해석을 수행하였으며, 종횡비와 세장비의 영향을 고려하기 위해 종, 횡방향 압축하중이 작용하는 경우 각각 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.

Fig. 5에서는 유공비 변화에 따른 탄소성 대변형 해석의 결과를 본 논문의 해석결과와 잘 알려진 FEM 프로그램인 ULSAS를 사용한 결과와(Yao et al., 2001) 비교하고 있다. 유공이 없는 경우의 해석 결과에서 최종강도 이후의 거동에서 약간의 차이가 발생하고 있으며, 나머지 경우에 대해서는 잘 일치함을 확인하였으며, 이때의 요소 분할조건을 기준으로 비선형 유한요소 시리즈해석에 적용하였다.

Fig. 6에서는 실제 컨테이너선(4500TEU)에서 가장 많이 사용되는 종횡비 3.0에서 종방향 압축력이 작용할 경우 유공비에 따른 탄소성 대변형 거동을 나타내고 있다. 유공비가 0.2일 경우 무공판에 비해서 최종강도 이후 면내강성 감소 차이가 크다는 것을 알 수가 있으며, 종횡비 3.0, 4.0, 5.0, 6.0에서는 각 종횡비의 고유모드를 유지하게 되며 유공비가 0.8에서는 면내 횡 방향 변형이 발생하기 전에 항복이 시작하여 결국은 유공주위의 최소단면이 전단면 항복하여 최종강도에 이르는 거동을 나타내게 된다.(박, 2004).

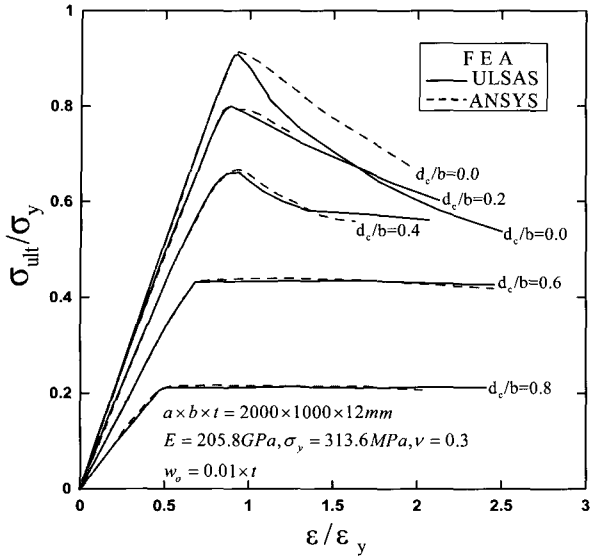


Fig. 5 Relationship average stress and average strain curves varying different FE-Analysis results on the aspect ratio 2.0

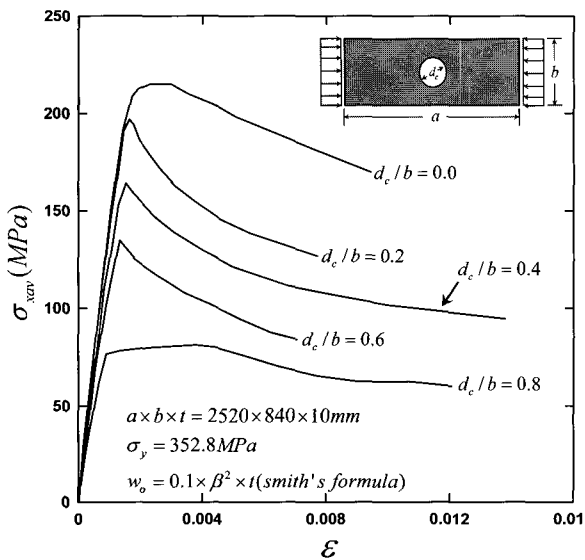


Fig. 6 Relationship stress and strain curves varying the size of cutouts on the aspect ratio 3.0

Fig. 7 그래프는 종축은 최종강도를 항복응력으로 나누어 무차원화 하고, 횡축은 유공비로 나타내고 있으며, 종횡비 1.0 부터 6.0까지 변화시키고, 판 두께 10mm에서 종횡비의 영향을 조사하였다. 유공비가 증가하더라도 종횡비 함수는 최종강도에 큰 영향을 보이지 못하였다.

Fig. 8에서는 판 두께를 20mm로 변화시키고 종횡비 1.0, 3.0, 5.0에서의 유공비에 따른 탄소성 거동을 보여주고 있다. 판 두께가 두꺼워짐에 따라 초기좌굴 발생 시점이 늦어져서 결국 최종강도가 상대적으로 높게 평가되고 있는 공통점을 나타내고 있으며, Fig. 8에서 확인되듯이 종방향 압축력을 받는 유공판의 경우 종횡비 함수는 설계식 도출에 있어서 변수의 영향을 무시할 수 있었다. 실제 무공판의 경우에도 종방향

압축력을 받는 경우 종횡비가 최종강도에 미치는 영향은 극히 작은 것으로 알려져 있다.(Paik et al., 1992a).

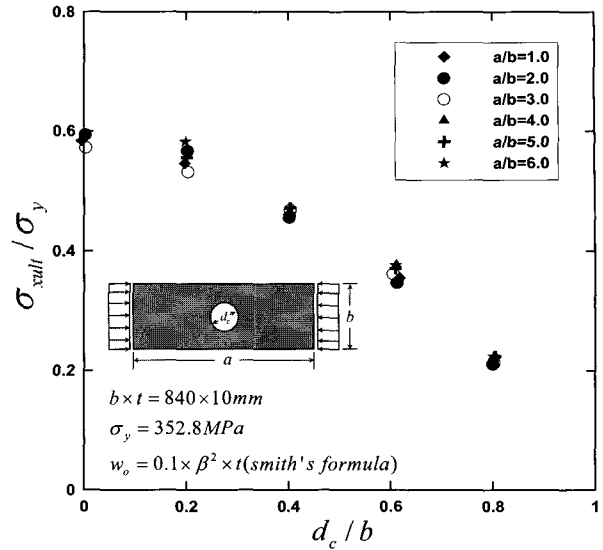


Fig. 7 Ultimate strengths of plates with cutout under axial compression varying the aspect ratio(t=10mm)

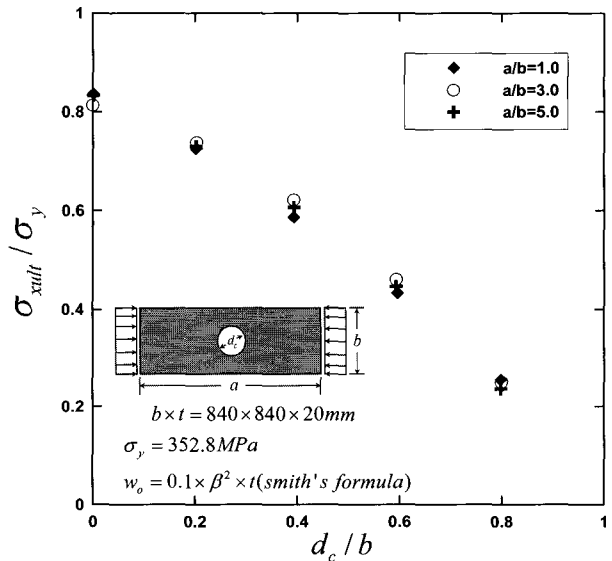


Fig. 8 Ultimate strengths of plates with cutout under axial compression varying the aspect ratio(t=20mm)

Fig. 9에서는 주요 영향 변수인 세장비의 영향을 고려하기 위해 앞서 계산한 값을 각각의 무공판에 대한 유공판의 최종강도비로 나타내고 있다. 종횡비 3.0에 대해서 두께를 10mm, 15mm, 20mm(β=3.47,2.32,1.74)로 변화시켜가며 얻어진 결과에서 확인되듯이 세장비의 영향도 크게 나타나지 않으며 이상에서 검토한 결과를 바탕으로 종방향 압축력이 작용하는 경우다음 식(2)와 같이 유공비(perforated ratio)를 주 변수로 하고 세장비를 보조 변수로 설정하여 유공 감쇄비를 기준으로 하는 설계식을 도출하였다.

$$R_{XU} = -0.709(d_c/b)^2 - 0.331(d_c/b) + 1.00 \quad (2)$$

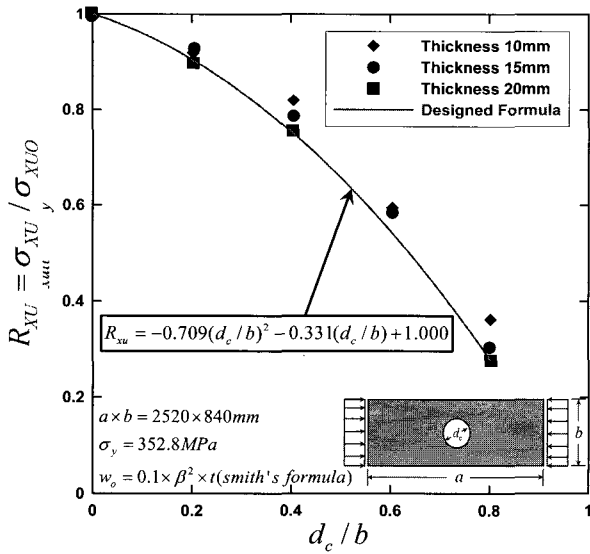


Fig. 9 Relationship of the present ultimate strength formulations and FEA results under longitudinal compression (aspect ratio=3.0)

4.2 횡방향 압축하중이 작용하는 유공판의 최종강도 해석 및 설계식 도출

횡방향 압축하중을 받는 유공판에 대한 탄소성 대변형 시리즈 해석은 종방향 압축력이 작용하는 조건과 동일한 조건을 적용하였으며, 횡방향 압축하중이 작용하는 유공판에서는 종횡비가 1.0을 제외하고는 유공비에 따라 최종강도 변화가 적은 경향을 보이고 있다. 그러나 종횡비 1.0에서는 유공이 존재하면서 최종강도는 점점 감소하는 경향을 보이고 있으며 이러한 거동이 발생하는 원인은 종횡비의 증가에 따라 d_c/a 의 비율도 감소하기 때문이다. 실제 선체 이중저 내판에서 사용되는 유공판의 종횡비에서 1.0은 거의 찾아볼 수가 없으며 2.0 이상임을 감안한다면 경향상의 문제라고 사료된다. 유공판에서 횡 방향 압축하중이 작용할 때 유공비에 따른 최종강도 거동을 살펴보면 종횡비가 커지고 유공비가 증가함에 따라 최종강도 감소는 크게 차이를 보이며 종횡비가 증가할수록 감소량은 적어지는 특징을 나타내고 있다.

Fig. 10에서는 횡방향 압축하중이 작용하는 유공판에 대해서 유공비에 따른 최종강도 상태에서의 본-미세스(Von-Mises) 항복기준에 의해서 평가한 응력분포와 붕괴모드를 나타내고 있으며, 유공비가 증가할수록 유효단면적의 하중분담 영역이 감소함을 잘 표현해주고 있다. 초기항복은 유공주위에서 시작하여 길이방향으로 부채꼴 모양으로 넓게 퍼지고 있으며, 붕괴모드는 동일하게 1모드를 유지하고 있다.

Fig. 11 and Fig. 12에서는 세장비의 영향을 고려하기 위하여 판 두께를 10, 20mm 에 대해서 유공비와 최종강도를 항복응력으로 무차원 하여 나타내고 있으며, 횡 방향 압축하중이 작용할 경우 세장비의 영향은 최종강도 거동에 있어서 영향이

크지 않음을 알 수가 있다. 실제로 유공판 에서의 유공비는 0.8인 경우도 거의 드물게 나타나고 있으며 유공감쇄계수를 고려할 경우에 유공판 에서는 세장비에 대한 고려는 그다지 크지 않다.(Paik et al., 2002)

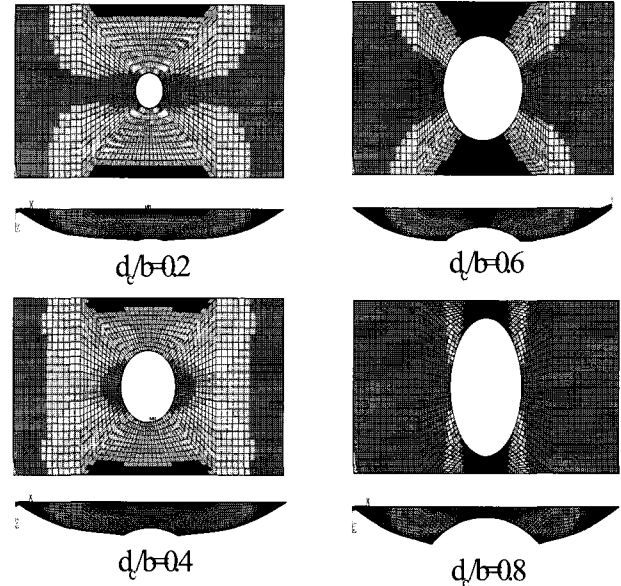


Fig. 10 Collapse mode and yielding distribution under transverse axial compression varying the perforated ratios (slenderness ratio=3.47)

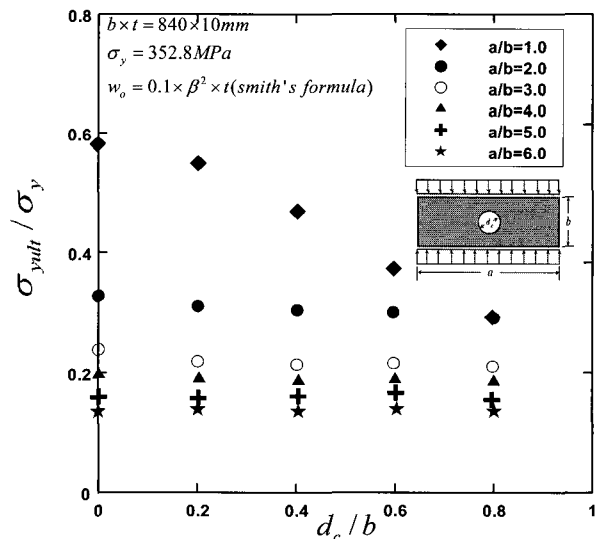


Fig. 11 Ultimate strength of plates with cutout under transverse axial compression varying the aspect ratios (slenderness ratio=3.47)

Fig. 12에서는 박판부재에서의 유공비에 따른 종횡비의 최종강도 분포를 항복응력으로 무차원(Dimensionless)하여 종축에 나타내고, 횡축은 유공비 관계를 나타내고 있다. 횡방향 압축하중이 작용할 경우 종횡비의 영향은 매우 크게 나타나고 있으며, 이러한 관계를 설계식 도출에 반영하였다.

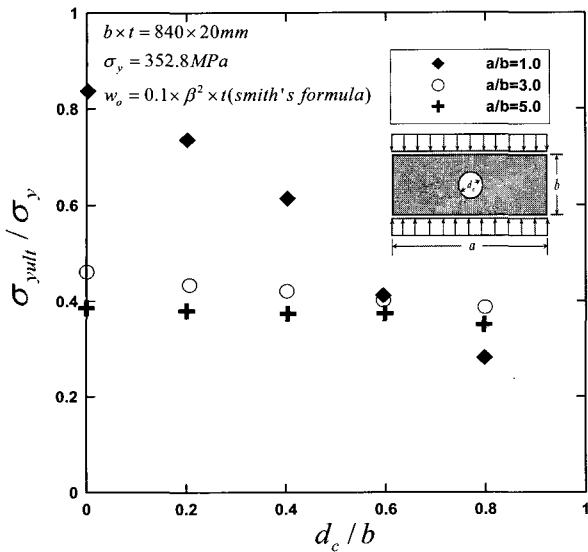


Fig. 12 Ultimate strength of plates with cutout under transverse axial compression varying the aspect ratios (slenderness ratio=1.74)

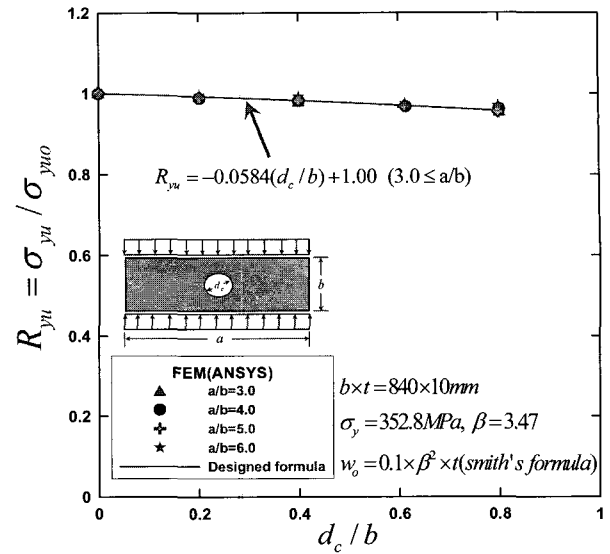


Fig. 14 A comparison ultimate strength formulations with FEA under transverse axial compression ($a/b=3.0-6.0$)

Fig. 13 and Fig. 14에서는 횡방향 압축하중이 작용하는 경우 판 두께가 10mm에 대하여 최종강도 차이가 크게 나타나는 종횡비 $1 < a/b < 3$ 구간과 차이가 미소한 $3 < a/b < 6$ 구간으로 분류하여 종횡비와 유공비를 고려하여 설계식을 커브피팅(Curve fitting)을 통하여 식(3)과 같이 도출하였다. 종횡비가 3.0이상에서는 유공감쇄 계수비 분포의 차이가 미소하여 식(4)에서 보는 것과 같이 1차식으로 커브피팅(Curve fitting)하여 설계식을 도출하였다.

$$R_{YU} = \alpha_1 (d_c/b)^2 + \alpha_2 (d_c/b) + 1.00 \quad (1 \leq a/b \leq 3) \quad (3)$$

where, $\alpha_1 = 0.798(a/b)^2 - 0.149(a/b) + 1.00$

$$\alpha_2 = 0.072(a/b)^2 - 0.419(a/b) + 0.919$$

$$R_{YU} = -0.0584(d_c/b) + 1.00 \quad (3 \leq a/b) \quad (4)$$

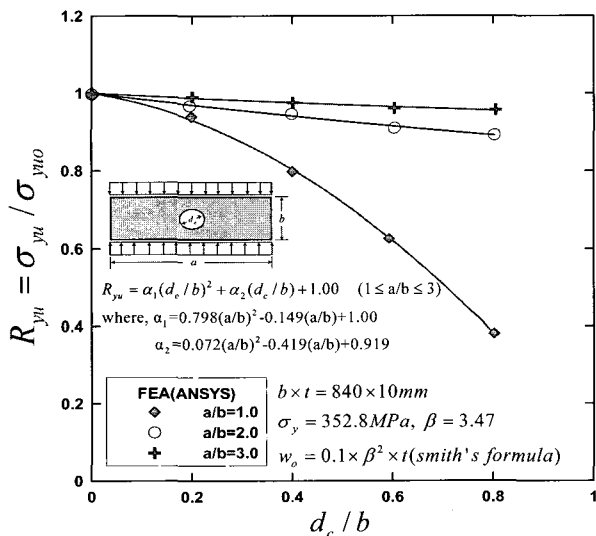


Fig. 13 Ultimate strength of plates with cutout under transverse axial compression varying the aspect ratios (slenderness ratio=1.74)

5. 결론

선체구조에서 사용 중인 유공판은 중량경감, 사람 및 화물의 이동, 배관 등 다양한 목적으로 선박에 많이 사용되고 있으며 불가피하게 유공이 존재 해야만 하는 경우가 발생하며, 이때 큰 응력집중 및 구조 강도 측면에서 큰 문제가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 실적선의 이중저 구조에 사용 중인 표준 모델을 선정하고 종횡비, 세장비, 유공비의 변화를 변수로 하여 고유치 탄성좌굴해석과 탄소성 대변형 유한요소 해석을 통해 종, 횡방향 압축하중에 대한 각종 변수들의 영향에 대해서 분석하였다. 이러한 유한요소해석 결과를 바탕으로 하여 유공감쇄계수비를 고려한 압축강도 설계식을 도출하였다. 본 연구에서는 유공판의 거동에 있어서 각 변수들의 영향을 반영한 시리즈해석을 통하여 유공판의 비선형 거동에 대한 기초자료를 제시하고 앞으로 본 연구에서 도출한 설계식과 기존의 연구결과 및 선급에서 사용하고 있는 식과의 비교와 함께 유공 보강판에 적용할 수 있는 설계식에 대해서 연구가 진행 중이다.

- (1) 종방향 압축하중만을 고려할 경우 종횡비 함수는 최종강도에 미치는 영향은 작다. 그러나 횡방향 압축하중 조건에서는 종횡비가 증가함에 따라 최종강도가 크게 감소한다.
- (2) 종방향, 횡방향 압축하중만을 고려할 경우 세장비의 영향도 무시할 정도로 작게 나타난다.
- (3) 유공의 비가 0.6이상에서는 유공주위의 최소단면이 조기 항복하여 전단면 항복으로 전개되며 이 상태에서 최종강도는 결정된다.
- (4) 최종강도를 기준으로 한 유공감쇄 계수값을 적용하여 설계식을 도출하였다.
- (5) 판 종횡비(a/b)가 2.0이고 유공비가 0.2일 경우의 특이 거동은 좌굴모드가 바뀌면서 발생하는 현상이라고 판단된다.

후 기

이 연구는 산업기술재단의 지역혁신인력양성사업의 지원으로 수행되었다.

참 고 문 헌

- [1] 박주신(2004), “선체판의 2차좌굴을 고려한 비선형거동에 관한 연구”, 공학석사학위논문.
- [2] 전민정, 박영일, 백접기(2001), “선체유공판의 좌굴 및 최종 강도 설계식의 개발”, 추계조선학회지, Vol 8, pp.314-317.
- [3] 矢尾哲也, 藤久保昌彦, 高 在用(1995), “面内壓縮 荷重を受ける矩形板の大たわみ挙動に関する 研究”, 部造船會會報, 第 89 號, pp.179-190.
- [4] ANSYS User's manual (2003-7.1 version), “Non-linear buckling analysis” SAP. Inc.
- [5] Ham, J. H. and Kim, O. H. (1991), “Buckling Strength Evaluation System”, Meeting of Korea Ship Structure Congress, Sep.
- [6] Minoru Harada, Masahiko Fujikubo(2001), “Estimation of Buckling and Ultimate Strength of Rectangular Plate with Cutout”, Meeting of KSSC Ship Structure Congress, July.
- [7] Paik, J. K. and Thayamballi, A. K. (2003), “Ultimate limit state design of steel-plated structures”, John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- [8] Paik, J. K., Ham, J. H. and Kim, E. N.(1992a), “A new plate buckling design formula”, J. of the Society of Naval Architects of Japan, Vol.171, pp.559-556.
- [9] Paik, J. K., Ham, J. H. and Ko, J. H.(1992b), “A new plate buckling design formula(2nd Report)” - On the plasticity correction - J. of the society of naval architects of Japan, Vol.172.
- [10] Tetsuya Yao 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 4월 6일

원고채택일 : 2006년 4월 10일

