

論文

선체 유공보강판의 압축최종강도에 관한 설계식 개발

고재용* · 박주신** · 오동기**

* 목포해양대학교 해양시스템공학부 부교수, ** 목포해양대학교 대학원

Development of Compressive Ultimate Strength Formulations for Ship Plating Stiffener with Cutout

Jae-Yong Ko* · Joo-Shin Park** · Dong-Keo Oh***

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

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

요약 : 본 연구에서는 비선형 유한요소법을 적용하여 면내압축방향의 하중이 작용하는 경우, 유공판에 대하여 유공의 크기를 변화시켜가며, 최종강도 시리즈 해석을 수행하고 설계식을 도출하였다. 연속판 조건을 고려하여 모델링 범위를 결정하였으며, 주변 경계조건의 영향을 충분히 고려하기 위하여 주변 보강재를 포함하여 실제의 선박구조를 선정하였다. 또한, 보강재의 크기 및 형상의 영향을 조사하기 위하여 보강재 치수 및 종류를 변수로 한 시리즈 해석을 수행하고, 개발된 설계식의 적용성을 검토하였다.

핵심용어 : 비선형, 유공판, 최종강도, 보강재, 유한요소법

ABSTRACT : Recently, High Tensile Steel is adapt to thin plate on the steel structure and marine structure is used widely, It is possible for buckling happens great. Specially, Initial deflection of ship structure happens in place absence necessarily by heat processing of welding or cutting etc. This Initial Deflection is exerted negative impact when thin plate absence complicated nonlinear behaviour accompanied secondary buckling. As a result, must idealize initial deflection that occurrence is possible to endow stability and accuracy in the hull structure or marine structure and reflect in early structure design considering secondary buckling. Longi direction of compressive load interacts and analyzed finite element series analysis that apply various kinds initial deflection shape measured actually on occasion that is arranged simply supported condition in this research. Applied ANSYS (elasto-plasticity large deformation finite element method) to be mediocrity finite element program for analysis method and analysis control used in Newton-Raphson method & Arc-length method.

KEY WORDS : High Tension Steel, Initial Deflection, Buckling, Nonlinear Behaviour, Finite Element Method

1. 서론

선체구조 부재중 이중저의 Girder 및 Floor 등에서와 같은 부위는 유공을 가진 판이 빈번하게 사용되고 있다. 이들은 중량경감, 통행 및 파이프 관통 등의 목적으로, 통상적으로 강도상 큰 문제가 없는 부분에 위치하지만, 때로는 불가피하게 높은 응력부위에 설치해야 할 경우도 있다. 이러한 경우, 특히 유공에 의한 좌굴 및 최종강도 저하와 같은 붕괴강도 특성이 매우 중요하다 [1-3].

본 연구에서는 비선형 유한요소법을 적용하여 면내압축방향의 하중이 작용하는 경우, 유공판에 대하여 유공의 크기를 변화시켜가며, 최종강도 시리즈 해석을 수행하고 설계식을 도출하였다. 연속판 조건을 고려하여 모델링 범위를 결정하

였으며, 주변 경계조건의 영향을 충분히 고려하기 위하여 주변 보강재를 포함하여 실제의 선박구조를 선정하였다. 또한, 보강재의 크기 및 형상의 영향을 조사하기 위하여 보강재 치수 및 종류를 변수로 한 시리즈 해석을 수행하였다.

2. 유공판의 최종강도 설계식

Ko & Park는 Fig. 1과 같이 일축압축력이 작용하는 유공판에 대한 최종강도 설계식을 개발하고 (식 1), 그 적용성에 관하여 검토하였다. 또한 유공의 형상에 영향을 고려한 최종강도 설계식을 개발하였다. (식 2) 이때 유공의 형상은 최종강도거동에 있어서 미소한 영향을 보였으며 이로서 정 유공 형태의 최종강도 설계식으로 대체가 가능하다고 결론을 내린 바 있다. 해석 모델링은 보강재 사이의 평판만을 해석대상으로 취하였으며, 해당판 주변의 경계조건은 단순지지로 이상화하였다. 압축하중 작용 시 네변 모두 직선을 유지하는 단

* 정희원, kojy@mmu.ac.kr 016)655-7129
** 정희원, scv2434@mmu.ac.kr 019)617-9326
*** 정희원, s955125@hanmail.net 017)851-5147

성커플링조건까지 부여하였다.

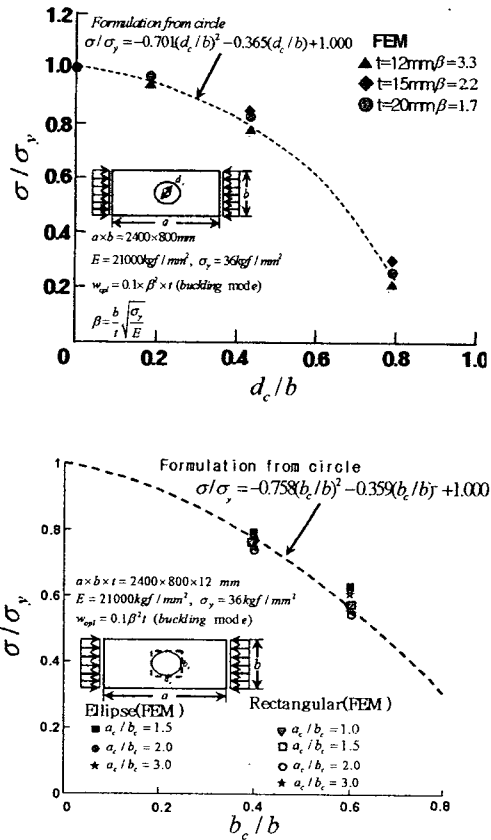


Fig.1 A comparison of the present ultimate strength formulation with FEA under axial compression (a/b=3.0)

$$R_{xu} = \frac{\sigma_{xu}}{\sigma_{xu0}} = -0.700 \left(\frac{d_c}{b} \right)^2 - 0.365 \frac{d_c}{b} + 1.0 \quad (1)$$

$$R_{xu} = \frac{\sigma_{xu}}{\sigma_{xu0}} = -0.758 \left(\frac{b_c}{b} \right)^2 - 0.365 \frac{b_c}{b} + 1.0 \quad (2)$$

여기서, σ_{xu} , σ_{xu0} = 무공판, 유공판의 최종강도
 R_{xu} = 유공판에 대한 최종강도 감쇄계수

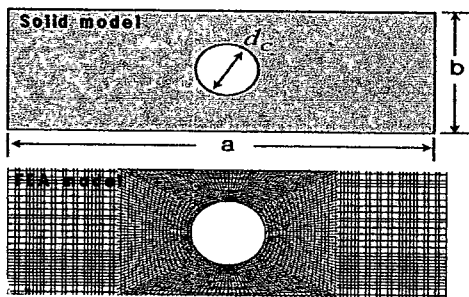


Fig. 2 A rectangular plate with cutout FEA model and solid model

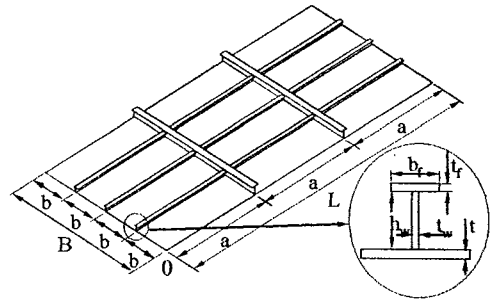


Fig. 3 A continuous stiffened plate structure

실제 선박에서의 보강판 구조는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 치수가 큰 프레임이 종/횡방향으로 지나가고 있고, 그 사이에 비교적 치수가 작은 보강재들이 위치해 있다. 보강판부재의 경계에서 회전 구속도는 주변지지부재의 회전강성에 따라 다르며, 이를 실제로 고려하기 위해서는 모델링 범위를 보강판으로 확장하는 방법이 합리적이라고 할 수 있다 [4, 5].

본 해석에서 모델링 범위는 횡프레임에 걸쳐 관통하는 종보강재의 회전구속의 효과를 충분히 고려하기 위하여 Fig. 4의 점선영역인 1/2+1+1/2 bay 모델을 채택하였다.

다양한 보강재 치수 및 유공의 크기별로 시리즈 해석을 수행하고, 유한요소해석 결과를 유공판의 최종강도식 (1)에 적용시켜 해당설계식의 확장성을 검토하였다.

3. 유공 보강판의 주요치수

본 연구에서 유공 보강판의 붕괴강도를 분석하기 위해 선정된 유공판의 모델링 범위, 주요치수 및 재료 물성치는 다음과 같다

3.1 주요치수와 재료 물성치

- 판길이(a): 2640 mm • 판폭(b): 900mm
- 판의 두께: 21 mm • web의 두께: 12mm
- flange 두께: 15 mm • flange 폭: 100mm
- 프와송 비(ν): 0.3
- 탄성계수(E): 205.8GPa
- 항복강도(σ_y): 352.8MPa

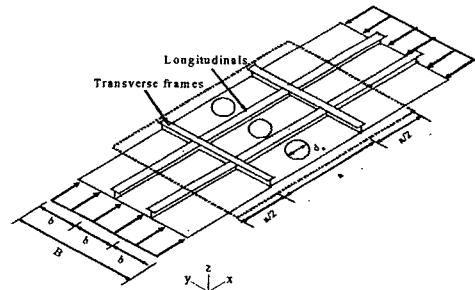


Fig. 4 A continuous stiffened plate with cutout (dot line: the modelling region)

선박에서의 보강판 구조는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 치수가 큰 프레임이 종/횡방향으로 지나가고 있고 그 사이에 비교적 치수가 작은 보강재들이 위치해 있다. 본 연구에서는 종/횡방향으로 놓여져 있는 프레임으로 지지되어진 보강판부재를 해석대상으로 하였다.

4. 경계조건

보강판부재의 주변지지부재의 굽힘강성은 보강판부재의 굽힘강성보다 일반적으로 매우 크기 때문에 보강판 부재가 붕괴하기 이전에 지지부재의 판방향으로 변위는 매우 작을 것이다. 또한, 보강판부재의 경계에서 회전 구속도는 주변지지부재의 회전강성에 따라 다르며, 그 값은 0도 무한의 값도 아니므로, 본 연구에서는 보강판 부재의 경계조건을 단순지지로 가정한다. 즉, 경계를 따라 처짐 및 회전구속이 없으며 경계는 직선을 유지한다. 이러한 가정은 실제로 널리 사용되고 있으며, 다소 보수적이지만 합리적인 결과를 준다고 알려져 있다 [4, 5].

5. 유공보강판의 최종강도 특성

5.1 Flat-type 보강재로 지지되어 있는 보강판

5.1.1 유공의 크기의 영향

본 절에서는 Flat-type 보강재로 구성되어 있는 보강판에서 유공의 크기가 최종강도에 미치는 영향을 조사하였다. Fig. 5에는 보강재의 높이가 330mm 일때 유공비 (d/b)의 크기를 0~0.8까지 변화시켜가면서 최종강도 영향을 조사하였다. 유공비의 크기의 변화가 최종강도에 미치는 영향을 뚜렷하게 관찰할 수 있다.

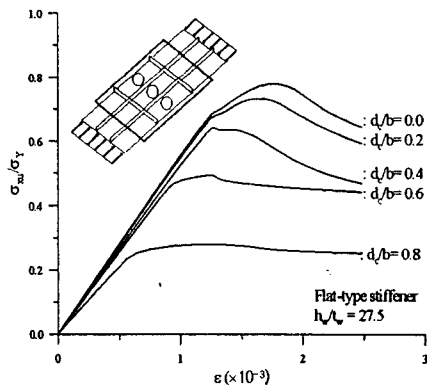


Fig. 5 The axial stress-strain curves of the stiffened plate structure with various size of cutout under uni-axial compression, (Flat-type stiffener, $h_w = 330$ mm)

5.1.2 보강재 높이의 영향

본 절에서는 Flat-type 보강재로 구성되어 있는 보강판에

서 각각의 유공의 크기별로 보강재의 높이 (web 높이)를 변화시켜가면서 최종강도 변화를 조사하였다.

5.2 T-type 보강재로 지지되어 있는 보강판

5.2.1 유공의 크기의 영향

본 절에서는 T-type 보강재로 구성되어 있는 보강판에서 유공의 크기가 최종강도에 미치는 영향을 조사하였다. Fig. 6에는 보강재의 높이가 330mm 일때 유공비 (d/b)의 크기를 0.0.8까지 변화시켜가면서 최종강도 영향을 조사하였다. 유공비의 크기의 변화가 최종강도에 미치는 영향을 뚜렷하게 알 수 있다.

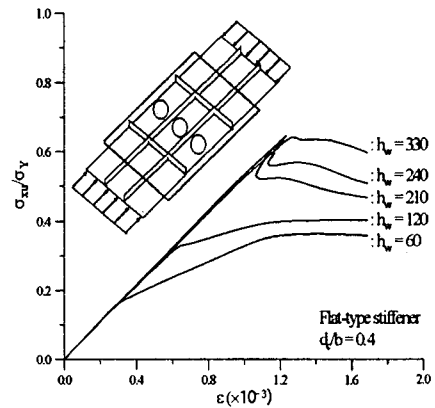


Fig. 6 The axial stress-strain curves of the stiffened plate structure with various heights of web under uni-axial compression, (Flat-type stiffener, $d/b = 0.4$)

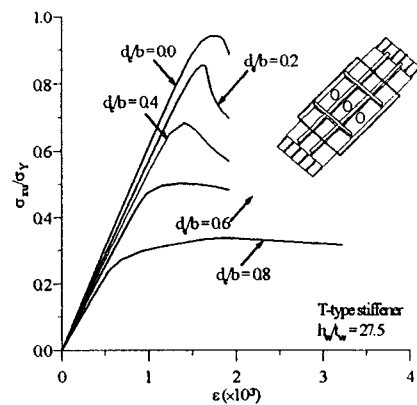


Fig. 7 The axial stress-strain curves of the stiffened plate structure with various size of cutout under uni-axial compression, (T-type stiffener, $h_w = 330$ mm)

5.2.2 보강재 높이의 영향

본 절에서는 T-type 보강재로 구성되어 있는 보강판에서 각각의 유공의 크기별로 보강재의 높이 (web 높이)를 변화시켜가면서 최종강도 변화를 조사하였다.

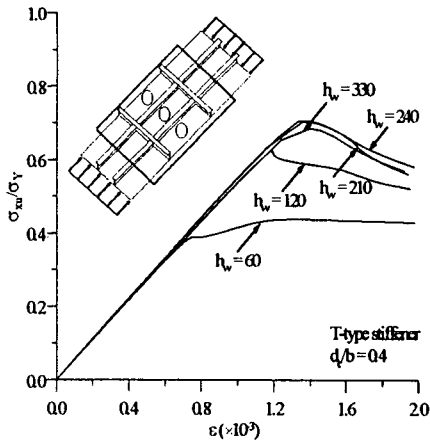


Fig. 8 The axial stress-strain curves of the stiffened plate structure with various heights of web under uni-axial compression, (Flat-type stiffener, $d/b = 0.4$)

5.3 보강재 형태에 따른 보강유공판의 최종강도 특성

앞에서는 보강재의 크기 (web 높이), 유공의 크기에 따른 유공보강판의 최종강도 특성에 관하여 조사하였다. 끝으로 본 장에서는 보강재의 형태에 따른 유공보강판의 특성에 관하여 조사한다.

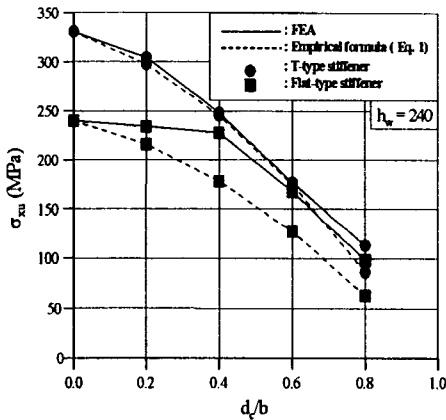


Fig. 9 A comparison with ultimate strengths of plate-stiffener with cutout varying the size of cutout and types of stiffener

Fig. 9에는 보강재 높이가 240mm인 경우를 예로 유공의 크기를 변화시켜가면서, 보강재 형태에 따른 최종강도 감소량을 도식화 하고 있다. 유공의 크기가 증가할수록 T-type stiffener와 Flat-type stiffener의 최종강도 차이가 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 유공의 크기가 상대적으로 커질수록 보강재가 아닌 판재부분에서 붕괴가 지배적으로 일어나기 때문이라고 판단된다. 따라서 유공의 크기가 큰 경우는 보강재의 강도적인 측면에서의 기여도가 상대적으로 감소함을 알 수 있다.

6. 유공보강판의 최종강도 간이식의 개발

본 절에서는 이상의 결과를 종합하여 제 2절에서 소개하였던 유공평판의 설계식을 다양한 유공보강판의 최종강도에 적용시켜보고 그 활용성을 점검하였다.

Fig. 10,11에는 다양한 크기의 유공 및 웹 높이별로 유공판에 일축압축력이 작용할때의 최종강도 설계식인 식(1)과 본 연구에서 유한요소 해석을 통하여 얻은 결과를 비교하고 있다.

유공평판의 설계식을 유공보강판에 적용했을 때 보강재의 형태에 따라 그 정도의 차이는 있었으나, 해당 변동계수는 Flat-type 보강재와 T-type 보강재의 경우 각각 16, 13%로써 다소 보수적으로 평가하는 경향이 있으나 실용적으로 충분히 사용 가능하다고 판단된다.

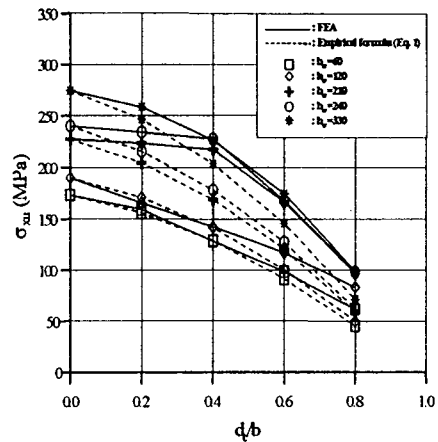


Fig. 10 Accuracy of Eq.1 for longitudinal axial compressive for stiffened panel with various size of cut-out (flat-type stiffener)

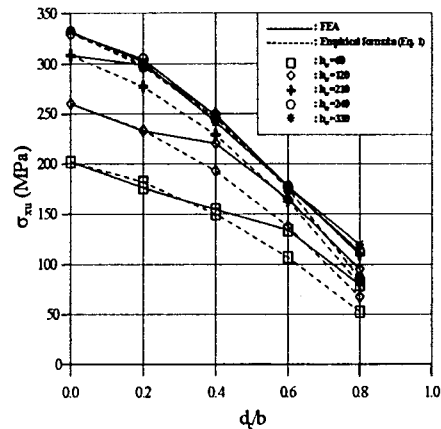


Fig. 11 Accuracy of Eq.1 for longitudinal axial compressive for stiffened panel with various size of cut-out (T-type stiffener)

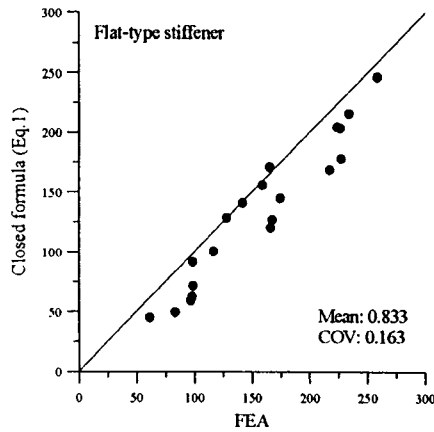


Fig. 12 Comparison of the closed formula eq.(1) with the numerical results for flat-type stiffener

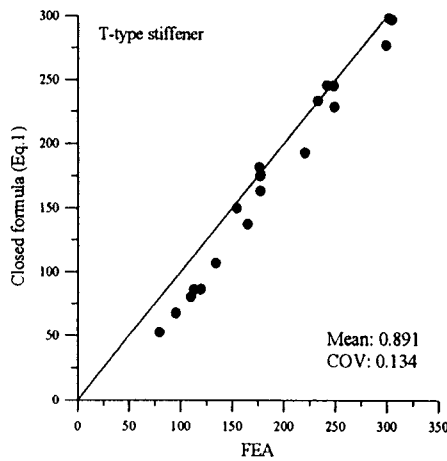


Fig. 13 Comparison of the closed formula (eq.1) with the numerical results for T-type stiffener

7. 결론

본 연구에서는 유공보강판의 최종강도 특성을 조사하기 위하여, 보강재의 형태, 보강재의 크기 (web 높이), 유공의 크기를 변화시켜가며, 시리즈 해석을 하였다. 유공평판의 설계식을 다양한 종류의 유공보강판에 적용시켜 보았다.

제안된 설계식은 경우에 따라 다소 보수적인 결과를 도출하고 있으나, 초기설계 시 실용적인 관점에서 충분히 유용하게 활용될 것이라고 판단된다.

추후 다양한 하중 (횡방향 압축력, 면내 전단하중, 횡압력)

에 관한 유사 연구가 필요시 되며, 실제 선박의 운항조건이 다양한 조합하중에 관한 최종강도 해석도 요구된다고 판단된다.

후 기

이 연구는 한국과학재단의 첨단조선공학연구센터의 지원으로 수행되었다.

참 고 문 헌

- [1] Park, J.S "A study on the nonlinear behavior accompanied secondary buckling of ship plating, 공학석사학위논문, 2004.
- [2] Jun, M.J., Park, Y.I. and Paik, J.K., "Development of buckling and ultimate strength formulations for ship plating with cutout", Proc. of the Annual Autumn Meeting, SNAK, Seoul, November, pp. 314-317, 2001.
- [3] Paik, J.K., Thayamballi, A.K., Wang, G. and Kim, B.J., "On Advanced buckling and ultimate strength design of ship plating", Trans. SNAME, Vol.108, pp.249-290, 2000.
- [4] Paik, J.K., Thayamballi, A.K. and Lee, J.M., "Effect of initial deflection shape on the ultimate strength behavior of welded steel plates under biaxial compressive loads", Journal of Ship Research, Vol.48, No.1, pp.45-60, 2004.
- [5] Ko, M.J., Park, Y.I., Paik, J.K. and Lee, J.M., "Effect of boundary conditions on the ultimate strength of ship plating", Proc. of the Annual Spring Meeting, SNAK, Busan, April, pp. 331-334, 2002.
- [6] 고재용, 박주신, 박성현 : "선체유공판의 좌굴 및 최종강도에 관한 연구", 해양환경안전학회, 2003년도 춘계학술 발표대회 논문집, pp. 167-172, 2003. 05.
- [7] 김을년, 김외현, 김판영, 유공판의 좌굴강도에 대한 연구, 춘계조선학회지, Vol 23, pp.271-274, 1998.
- [8] 전민정, 박영일, 백점기, 선체유공판의 좌굴 및 최종강도 설계식의 개발, 추계조선학회지, Vol 8, pp.314-317, 2001.
- [9] ANSYS User's Manual Book (Version 5.7).