

양축방향 면내압축과 전단하중을 받는 선박 이중판의 강도 평가

함주혁
한라대학교 기계공학부

Strength Evaluation of a Doubler Plate of a Ship Structure subjected to Biaxial In-plane Compression and Shear Load

JU-HYEOK HAM

School of Mechanical Engineering, Halla University, Wonju 220-712, Korea

KEY WORDS: Biaxial in-plane compression and shear Load 양축 면내 압축하중, Doubler 이중판, Strength evaluation 강도평가, Contact effect 접촉효과, Elasto-plastic analysis 탄소성해석, Buckling strength 좌굴강도

ABSTRACT: A study for the structural strength analysis on the doubler plate subjected biaxial in-plane compression and shear load has been performed through the systematic evaluation process. In order to estimate the proper static strength of the doubler plate, non-linear elasto-plastic analysis is introduced. Gap element modeling for contact effect between the main plate and the doubler is prepared and nonlinear analysis procedures are illustrated based on MSC/N4W. In addition, some design guides are suggested through the consideration of several important effects such as corrosion of main plate, doubler width, doubler length and doubler thickness. Finally, theses results are compared with a developed design formula based on the buckling strength and general trends. The design guides, according to the variation of design parameters are discussed.

1. 서 론

본 논문은 선박 판부재의 강도손상시 강도보존을 위한 간편한 보수법으로 취약한 판부위에 다른 판을 겹쳐 보강하는 이중판 보강의 정적 강도의 검토를 수행한다. 그 중에서 종방향 및 양축방향 면내 압축하중을 받는 선박 이중판의 강도평가(함, 1999; 2000)에 이어 본 연구에서는 양축방향 면내 압축력과 동시에 면내 전단하중을 받는 선박 이중판의 강도를 평가한다. 이를 위해 선박 판부재 중 산적화물선의 이중저의 대표적인 판부재를 대상으로 가장 기본적인 하중인 종 및 횡방향 면내하중과 면내전단하중을 작용시키면서 이중판의 폭, 길이, 두께 및 주판(main plate)의 부식 영향 등의 각종 파라메타 영향에 따른 이중판의 강도평가를 비선형 구조해석을 통해 분석하였다. 또한 이중판의 강도를 서로 비교하는 목적으로 이중판으로 보강된 판부재를 등가의 균일판 두께로 환산하여 그 두께의 변화정도를 감지하여 보았고 이를 위해 판부재의 간이 평가식(Paik et al., 1992)을 이용하여 등가의 좌굴강도치를 평가하여 각 영향인자의 변화에 따른 설계 두께의 증감 정도를 검토하였다. 마지막으로 강도분석을 통한 설계 및 평가지침 등을 제시하였다.

2. 이중판 강도 해석

이중판의 강도평가는 판부재의 가장 극심한 하중인 종 및 횡방향 면내하중과 전단하중을 동시에 받는 조건 하에서 이

하중의 증가에 따른 이중판의 하중-처짐 특성을 분석하여 보았다. 이를 위해 가장 일반적인 판부재 모델을 선정하여 여러 가지 이중판을 부착하였고 이중판과 주판과의 접촉 효과를 고려하면서 이중판이 부착된 부위의 주판(main plate)부식의 영향, 이중판 두께의 영향, 이중판 폭 변화 그리고 길이 변화의 영향 등을 조사하였다.

Table 1 Typical floor and frame spaces of bulk carrier

(unit: mm)

DWT	25K	37K	47K	60K	70K	138K
Bottom longi. space	785	800	800	910	765	900
Floor space	2400	2280	2400	2400	2520	2400

2.1 평가 대상 이중판 구조 및 평가 개요

Table 1과 같이, 살물선 이중저의 판부재로 길이방향인 늑간격(floor space) 그리고 판폭이 이중저 종늑골 간격(bottom longitudinal space)의 대표적인 값이라 볼 수 있는 판길이 대 폭 비인 판부재의 가로세로비 3을 선정하였고, 세장비는 이와 같은 비교적 대형선으로 볼 수 있는 구조에서는 화물하중 혹은 해수압 등의 큰 횡하중을 받게 되는 경우가 일반적이어서 구조는 세장치 못한(sturdy한) 구조이나 본 연구에서는 횡하중을

무시한 양축 및 전단의 면내하중만을 고려하므로 비교적 세장한 판을 대상으로(세장비가 약 2.7)기준 모델로 선정하였다. 후판 및 극심한 횡하중 등의 다양한 항목들에 대한 고려는 추후 연구에서 계속될 것이다. 경계조건은 주변 경계부가 직선을 유지하며 횡방향 즉 판에 수직방향만 구속하여 굽힘에 따른 면내 이동은 자유롭다고 가정하였다. 이 판의 중앙에 같은 두께의 판으로 판 면적이 1/4인 이중판이 부착되는 형식을 기준으로 삼았다. 판부재의 하중은, 양축 면내하중과 면내 전단하중을 각각의 임계 좌굴 응력비로 점진적으로 증가시키면서 하중-처짐 거동을 분석하였고 비선형 해석은 Newton-Raphson법을 채택하고 모델의 한 요소 크기 및 하중 증분 등의 비선형 풀이의 타당성은 그 해가 잘 알려진 이중판이 없는 판부재의 하중-처짐 거동으로부터 그 정확도를 확인하고 이 해석법을 차후의 다양한 해석에 계속 사용하였다. 해석의 정통성을 위해 개인적으로 개발한 프로그램을 지양하고 범용 프로그램으로 잘 알려진 MSCN4W-V4.0을 이용하였으며 판의 요소크기는 판폭의 1/16으로 잡고 모델링하였으며 이중판이 주판(main plate)과의 접촉효과는 갭요소를 사용하여 이상화시켰다. 이의 상세는 다음 절에서 언급한다.

2.2 이중판 접촉부 이상화

본 판을 보강한 이중판은 주판(main plate) 위에 이중으로 설치되므로 두 판간의 간격이 멀어질 경우에는 무관하나 좁아지려 할 경우에는 그 접촉의 효과를 일반적으로 고려함이 타당하다. 따라서 본 연구에서도 이들의 효과를 고려하기 위해 갭요소를 사용하여 주판과 이중판을 연결하여 그 접촉 효과를 구현하여 보았다. 본 해석에서는 K_b 의 default값은 K_a 강성의 10^8 배 정도로 다음과 같은 관계를 이용하여 산정하였다(Lee, 1990).

$$K_a \geq 1 \times 10^3 * \max[K(m), K(db)]$$

$$K_b \leq 1 \times 10^3 * \min[K(m), K(db)]$$

(1)

여기서,

- K_a : $U_a - U_b \geq U_0$ 일 때의 갭 닫힘강성(closed stiffness)
- K_b : $U_a - U_b \leq U_0$ 일 때의 갭 열림강성(open stiffness)
- $K(m)$: 이중판과 접촉하는 주판의 절점 국부강성
- $K(db)$: 주판과 접촉하는 이중판의 절점 국부강성
- U_a : a점의 갭축방향 이동량
- U_b : b점의 갭축방향 이동량

상기 식에서, 이중판과 주판이 접촉되는 한 점을 대상으로 주판과 이중판의 각 위치에서 그 접촉점을 a, b 각각으로 나타내었다. 갭요소의 축강성은 $U_a - U_b$ 의 값이 U_0 와 비교하여 변하는 양상을 Fig. 1에 나타내었다. 갭요소에서의 힘과 변위는 통상 요소 좌표계로 양의 하중이 압축으로 고려되고 있으며 본 모델에서는 이중판과 주판의 절점을 횡방향으로 일치시킨 상태에서의 갭요소를 설정하고 초기갭 열림은 없는 것으로 하였다. 이들 주판과 이중판의 마찰력은 미소하다고 가정하여 무시하였다.

3. 각종 파라메타의 영향 분석

각종 하중-처짐 곡선을 얻고 이들을 상호 비교하기 위하여 $p-\delta^2$ 등의 강도 기준점도 있지만 보다 명확한 비교점을 선택하기 위해 하중-처짐곡선의 기울기가 0이 되는 점을 강도의 기준점으로 잡고 서로의 결과를 비교하였다. 2.1절에서 언급한 기준 이중판 모델을 표준모델로 삼고 각 파라메타를 변화시켜 검토하여 보았다. 여기서는 초기변형과 잔류응력의 효과를 고려하지 않았으나 후반부의 등가두께판 산정 시 초기변형 효과를 고려하였다.

3.1 주판(main plate) 부식의 영향

주판이 국부적으로 파손되거나 부식되어 이중판에 의해 보강된 경우로, 이중판으로 보강된 하부의 주판의 평균 부식두께를 부식되지 않은 경우부터 12.5%씩의 단계로 총 8 단계로 구분하여 그 각각의 하중-처짐의 거동을 파악하여 보았고 그 결과를 Fig. 2에 제시하였다.

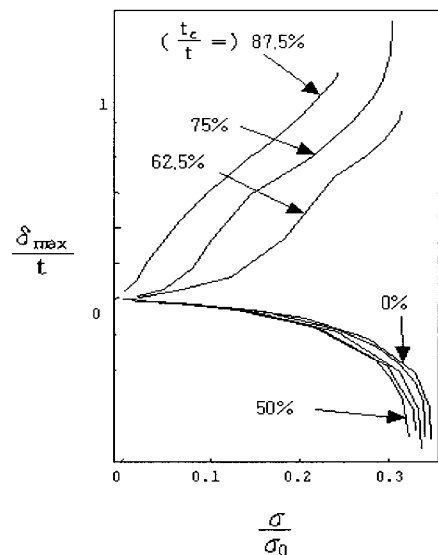


Fig. 2 Load-deflection curves according to the variation of main plate corrosion

Fig. 2의 2차원 좌표에서 바닥의 가로축은 작용하중을 항복 하중으로 무차원화시킨 값($\frac{\sigma}{\sigma_0}$)으로 판부재의 면내 길이방향 하중의 크기를, 세로축은 판의 수직방향 최대 처짐을 판두께로 나누어 무차원화 ($\frac{\delta_{max}}{t}$) 시켰으며 곡선들은 주판의 부식된 두께를 새판 두께로 나누어 부식의 정도($\frac{t_c}{t}$)를 %로 나타내었다. 본 그림으로부터 주판의 부식이 비교적 작은 경우에는 부식에 따른 점차적인 강도의 미소한 감소를 확인할 수 있고 부식 증가에 따른 하중-처짐곡선의 전반적인 강성의 하향성 보이고 있음을 파악 할 수 있다.

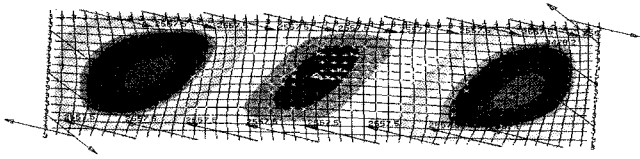


Fig. 3 Deformed contour of 12.5% corrosion of main plate under the doubler

여기서 판처짐의 형상은 전단의 영향에 의해 판에 대각선 방향의 비스듬한 3반파가 주도하며 판에 수직인 처짐성분의 최대치는 판의 중앙에 부착된 이중판의 영향으로 중앙에서의 처짐이 작고 판 양쪽의 성분이 하중-처짐 상관관계를 지배하고 있다(Fig. 3 참조). 그러나 부식량이 증가됨에 따라 이중판이 설치된 판 중앙부의 처짐량이 점차 증가되면서 주판의 부식이 큰 경우의 최대 처짐 위치는 판 중앙부로 점차 이동되어 이들 반대 방향 처짐의 형태는 부식의 증가에 따른 강도의 감소형태가 일관성을 보이고 있다. 이 이유는 하중의 증가에 따라 부식이 작은 경우에서와 같이 명확한 3반파의 좌굴모드로 거동하는 경우와 달리 부식이 50%를 상회하는 경우에는 대각방향 3반파 형상은 유지하되 판 양쪽에서 최대처짐이 발생되었던 것이 부식의 증가로 판 중앙부에서 반파 영역이 확대되면서 최대처짐이 중앙부로 이동됨을 본 해석을 통하여 파악할 수 있다(참조 Fig. 4 & Fig. 5).

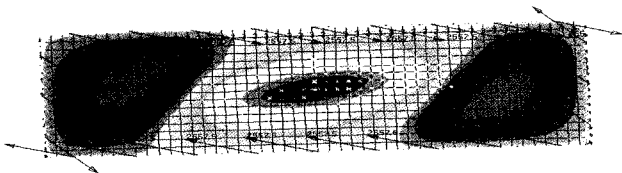


Fig. 4 Deformed contour of 62.5% corrosion of main plate under the doubler

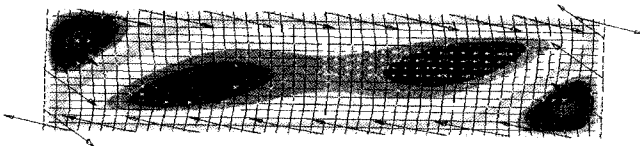


Fig. 5 Deformed contour of 87.5% doubler length model

강도 역시 대각방향 3반파의 처짐형상을 유지하면서 부식의 증가에 따라 감소한다.

3.2 이중판 두께의 영향

이중판 두께의 변화에 따른 강도, 강성의 변화를 살펴보기

위해 이중판의 두께를 주판(main plate)의 두께와 같은 경우를 기준으로 이중판을 주판의 중심에 위치시키고 곡선들을 주판 두께에 대한 이중판 두께의 비($\frac{t_d}{t}$)를 변화시켜 해석하였는데 두께의 증가 및 감소를 포함하여 주판두께의 25%부터 175%까지 25% 간격으로 총 7단계로 구분하여 그 거동을 파악하였고 Fig. 6에 이를 제시하였다. 좌표축은 앞선 부식 영향의 경우와 동일하다.

본 하중-처짐 곡선에서는 대부분 서로 상이한 곡선들은 발생하지 않고, 이중판 두께의 변화에 따라 점차적으로 변화하는 곡선군을 이루고 있음을 Fig. 6로부터 파악할 수 있으나 이중판 보강의 두께가 아주 얇은 경우 3반파 형상에서 중앙부의 처짐이 최대치로 발생한다.

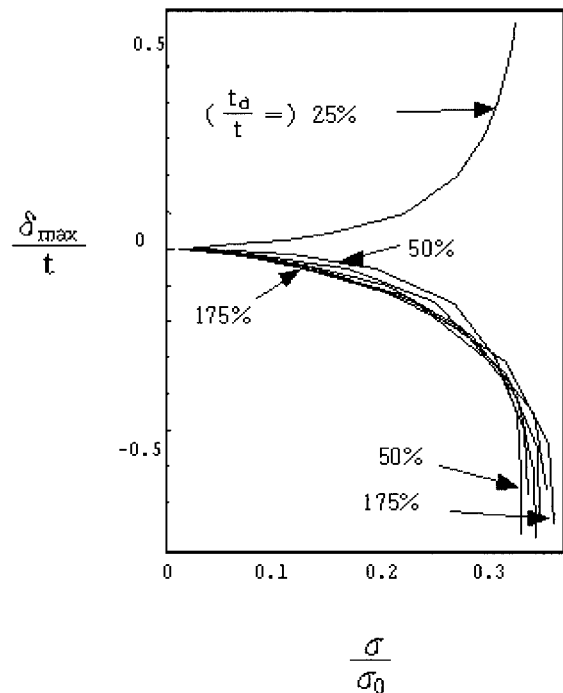


Fig. 6 Load-deflection curves according to the variation of doubler thickness

또한 이중판 두께가 감소하는 경우는 초기 편심량의 감소에 따라 초기 강성이 상대적으로 높은 값을 유지하는 반면에 어느 정도의 하중작용 후에는 상대적으로 강성이 하락되는, 즉 좌굴현상에 가까워지는 경향이 있으며 이중판 두께 증가에 따른 미소한 강도의 증가가 확인된다.

3.3 이중판 폭의 영향

이중판 폭의 변화에 따른 판부재의 강도 변화를 살펴보기 위해 이중판의 폭을 주판의 폭으로 나눈값인 ($\frac{b_d}{b}$)를 이중판 폭이 주판의 반인 경우를 중심으로 총 7단계, 즉 판폭의 12.5%에서 87.5%까지 12.5%의 간격으로 구분하여 해석을 실시하였다. 이를 Fig. 7에 나타내었다.

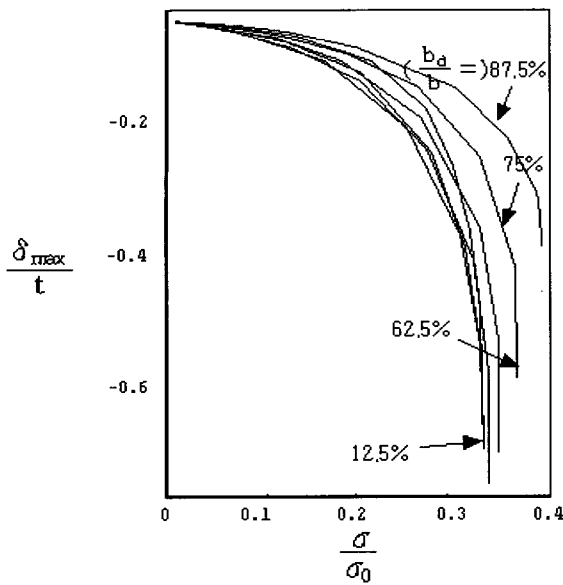


Fig. 7 Load-deflection curves according to the variation of doubler breadth

본 그림으로부터 이중판 폭 감소에 따른 강도의 감소를 보이나 이중판 폭이 줄어들다는 것은 초기 편심의 양이 작아진다는 의미이므로 이중판 폭의 감소에 따라 초기강성이 미세하게 상승하는 효과를 나타내고 있다. 이들 초기 강성 역시 폭의 증가에 따라 감소하다가 다시 넓은 영역의 이중판 폭에 다다르면 초기 강성 및 강도 공히 증가함을 알 수 있다,

3.4 이중판 길이의 영향

마지막으로 이중판 길이의 변화에 따른 판부재의 하중-처짐 거동을 살펴보기 위해 7단계의 해석을 수행하고 그 결과를 Fig. 8에 표시하였다.

본 그림으로부터 길이 감소에 따른 강도의 점차적인 감소를 보이며 초기 편심 영역, 즉 이중판 보강 영역의 축소에 따른 초기 강성의 효과는 폭, 두께 변화의 경우와 유사하게 상승하다가 강도는 줄어드는 일반적인 경향을 보인다. 그러나 길이 증가에 따라 점차적인 강도의 상승과 마지막 단계부인 75%와 87.5%의 이중판 길이에서는 급격한 강도의 증가를 보이는데 이는 이중판이 거의 판의 길이에 걸쳐 부착되어 강도가 상승하게 된다.

이 때 이중판은 앞 단계(이중판 길이가 판길이의 75%일 경우)까지 이중판 길이의 증가에 따라 주된 처짐형태로 거동한 대각 3반과 좌굴형상이 주도하는 처짐형태에서 이중판 길이가 판길이의 87.5%인 경우에 이르러서는 중앙반과 형상이 판길이의 거의 전체의 처짐형태로 주도하면서 강도의 증가를 보인다 (Fig. 8 참조).

이 이중판 길이의 변화에 따른 하중-처짐곡선은 일반적으로는 판의 중앙부는 이중판의 강성 증가로 인해 양측보다 작은 값을 보이는 반면 이중판 길이의 극심한 증가에 따라 마지막 단계에서는 최대처짐이 판의 중앙부측으로 이동하였다.

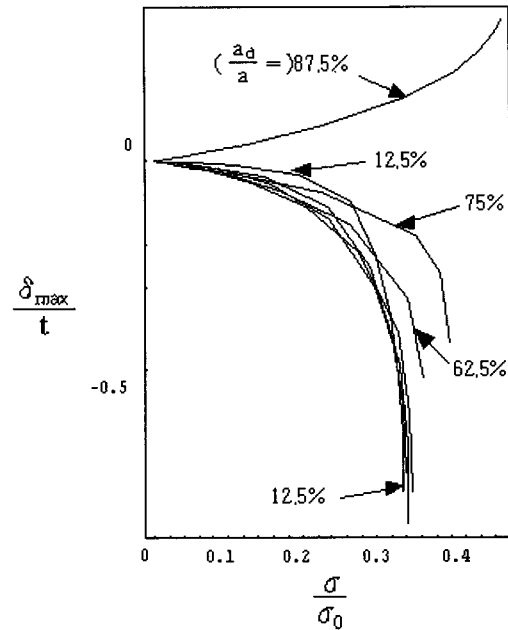


Fig. 8 Load-deflection curves according to the variation of doubler length

4. 등가 평판 두께 산정

앞선 주판 부식, 이중판 두께 변화 등 각 영향인자의 변화에 따른 하중-처짐 곡선의 변화와 강도의 증가를 개략적으로 살펴 보았으며 여기서 강도의 변화는, 같은 크기의 판부재에서 판두께의 변화와 직접관계가 있으므로 이들 강도의 변화량을 판두께의 실제변화에 얼마나 깊은 관계가 있나를 살펴보기 위해 강도 변화치를 이중판이 없을 경우의 판부재 두께의 변화 정도로 검토하여 본다.

4.1 수치해석을 통한 등가 두께식의 도출

먼저, 이중판 강도의 영향을 판의 두께의 변화로 고찰하기 위해 이중판이 부착되지 않은 평판에 길이 및 폭 방향 면내 양축하중이 작용하면서 이중판과 같이 하중-처짐 곡선이 수평에 달할 때의 하중을 평판의 강도로 잡고 이 강도가 이중판의 강도와 같으면 등가 평판두께로 선정하여 각 파라메타의 변화에 따른 등가 평판 두께의 민감도를 조사하고자 한다.

이를 위해 각 평판두께의 변화에 따른 평판의 강도를 탄소성 수치해석을 통해 시리즈 해석하여 두께 별 평판두께의 강도치를 Table 2과 같이 얻었다.

여기서, 평판의 초기 처짐값은 Jastrzebski Kmiecik의 상선의 계측치 값을 다음과 같이 사용하였다(Jastrzebski and Kmiecik, 1986).

$$\frac{\delta_0}{t} = 0.0094 (b/t) - 0.205 \tag{2}$$

여기서, δ_0 : 판의 초기 처짐
 b : 판의 폭
 t : 판의 두께

Table 2 Strength of equivalent flat plate

Slenderness ratio, β_F	ω_0 / t	σ_F / σ_0
		biaxial & shear
2.459	0.479	0.375
2.516	0.495	0.355
2.576	0.511	0.335
2.639	0.529	0.317
2.704	0.555	0.299
2.774	0.566	0.283
2.847	0.587	0.267
2.924	0.608	0.252
3.005	0.631	0.238

이 제시된 표를 이용하여 아래의 Fig. 9 및 식 (3)과 같은 세장비(β_F)-하중($\frac{\sigma_F}{\sigma_0}$)선도를 도출할 수 있다.

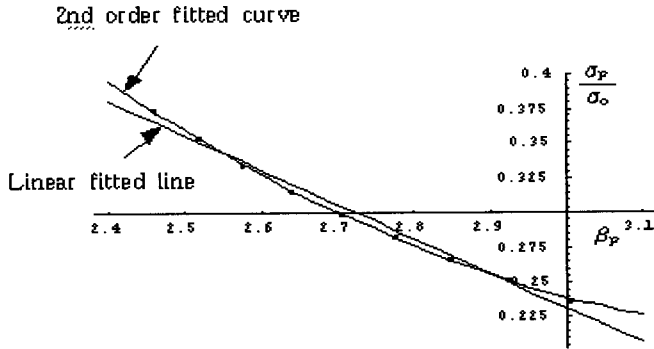


Fig. 9 Correlation curve of flat plate between slenderness ratio, β and normalized stress, σ_F/σ_0

본 그림에서 2차식의 표현이 1차식 보다 확연히 정확성 있는 표현으로 다음의 식 (3) 혹은 (4)로 표시될 수 있다.

$$\frac{\sigma_F}{\sigma_0} = 2.338 - 1.249\beta_F + 0.183\beta_F^2 \quad (3)$$

$$\beta_F = 4965 - 11.004 \frac{\sigma_F}{\sigma_0} + 11.538 \left(\frac{\sigma_F}{\sigma_0}\right)^2 \quad (4)$$

여기서, σ_F : 등가 평판의 강도

β_F : 등가평판의 세장비

따라서, 이중판의 면내 양축 및 전단하중 경우의 강도를 구하여 식 (4)의 σ_F 에 대입하면 β_F 등가 평판의 두께가 도출된다. 따라서 상기 식을 이용하여 이중판 구조와 등가의 강도를 가지는 등가 평판두께가 얻어질 수 있다.

4.2 등가평판 두께식과 좌굴강도식과의 상관관계 간이식 도출

판 두께 변화의 영향은 다음의 좌굴강도식 (5)를 이용하여 강도변화에 따른 두께변화를 검토하여 보았다(Paik et al, 1992).

$$\Gamma_B = \left[\frac{\sigma_x + \sigma_{rex}}{R_{sx}\sigma_{xcr}} \right]^{a_1} + \left[\frac{\sigma_y + \sigma_{rey}}{R_{sy}\sigma_{ycr}} \right]^{a_2} - \eta_a \leq 0 \quad (5)$$

여기서,

η_a : 좌굴에 관한 안전계수(1.0으로 잡는다)

σ_x, σ_y : 각각 판길이와 폭 방향으로 작용하는 압축응력 (인장응력 작용시는 0으로 취급)

$\sigma_{xcr}, \sigma_{ycr}$: 각각 판의 길이와 폭방향으로 축압축에 대한 임계 좌굴응력으로 이는 소성 수정인자에 의해 수정됨

$\sigma_{rex}, \sigma_{rey}$: 각각 판의 길이와 폭방향의 잔류응력

R_{sx}, R_{sy} : 전단하중 관련 인자 (a_3, a_4 변수로 포함)

$a_1 - a_4$: 판의 가로-세로비(=a/b)와 폭-두께비(=b/t $\sqrt{\sigma_0/E}$)에 의해 결정되는 상수

좌굴강도식은 압축력 단독만이 아니라 동시에 횡수압을 받는 경우 직사각형판의 거동으로부터 하중-처짐 곡선의 극소치를 나타내는 점을 탄성 좌굴강도로 정의하여 유도되었다(Paik et al., 1992).

$$\sigma_{xcr}^* = R_{qx} \cdot \sigma_{xcr} \quad (6)$$

여기서,

σ_{xcr}^* = 횡수압과 길이방향으로 압축력이 동시에 작용할 때의 좌굴응력

σ_{xcr} = 횡수압이 작용하지 않을 때의 길이방향 임계압축좌굴응력

R_{qx} = x방향의 횡수압의 영향을 나타내는 파라메타

$$= (1 + \alpha Q)^{1/2}$$

$$\alpha = 0.025(a/b)^2 - 0.155(a/b) + 0.360$$

$$\text{for } \sqrt{2} \leq a/b < 4$$

$$= 0.14 \text{ for } 4 \leq a/b$$

$$Q = qb^4/Et^4$$

탄소성 대변형 유한요소 해석결과를 바탕으로 도출된 판의 소성 수정식으로 다음을 이용하였다(함주혁 외, 1992).

$$\begin{aligned} \sigma_{cr} &= \sigma_E \text{ ----- } 0.5 > \sigma_E/\sigma_0 \text{ 영역} \\ &= \sigma_0 \{-0.0847(\sigma_E/\sigma_0)^4 + 0.5857(\sigma_E/\sigma_0)^3 - 1.5631(\sigma_E/\sigma_0)^2 \\ &\quad + 2.0784(\sigma_E/\sigma_0) - 0.2164\} \text{ ----- } 0.5 \leq \sigma_E/\sigma_0 < 1.9 \text{ 영역} \\ &= \sigma_0 \text{ ----- } 1.9 \leq \sigma_E/\sigma_0 \text{ 영역} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서,

σ_{cr} = 일축압축력이 작용할 때의 임계좌굴응력 (폭 혹은 길이방향 각각에 따라 σ_{xcr} 혹은 σ_{ycr})

σ_E = 일축 압축력이 작용할 때의 Euler 탄성좌굴응력
 (폭 혹은 길이방향 각각에 따라 σ_{xE} 혹은 σ_{yE})
 σ_0 = 항복 응력

상기 식을 이용하여 수치해석을 통해 구한 평판의 강도를 좌굴강도라고 가정하여 상기 좌굴평가 식을 이용하여 좌굴강도를 만족하는 최소두께를 주는 세장비 β 와의 관계를 Table 3에 정리하였고 이를 Fig. 9과 같이 곡선 좌표형식으로 함께 표현하면 하중($\frac{\sigma_F}{\sigma_0}$)-세장비(β_F) 선도는 Fig. 10와 같다.

Table 3 Correlation table between normalized buckling stress and slenderness ratio

Slenderness ratio, β_B	ω_0 / t	σ_B / σ_0
biaxial & shear	biaxial & shear	biaxial & shear
1.827	0.303	0.375
1.932	0.328	0.355
2.018	0.352	0.335
2.080	0.378	0.317
2.146	0.397	0.299
2.217	0.411	0.283
2.273	0.427	0.267
2.312	0.443	0.252
2.372	0.455	0.238

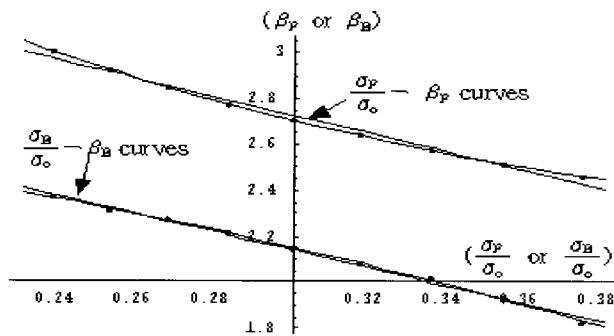


Fig. 10 Correlation curves between slenderness ratio and normalized stress

상기 그림으로부터 두 곡선들 간에는 비교적 일정한 간격의 평행을 유지하고 있음을 알 수 있고 이들 관계를 다음 식 (8)로 근사화할 수 있다.

$$\beta_F = \beta_B - 0.6086 + 0.0773 \frac{\sigma_B}{\sigma_0} \quad (8)$$

이로부터 수치해석을 통해 도출한 식 (4)와 마찬가지로 좌굴 평가식을 이용한 식 (8)을 이용하여 평판의 등가두께를 도출할 수 있다.

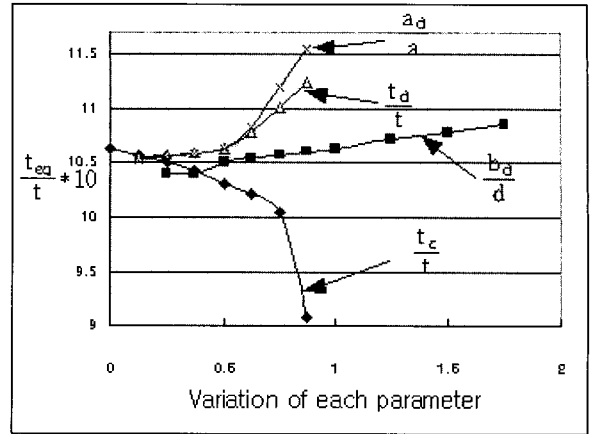


Fig. 11 Equivalent design thickness curves according to the variation of each design parameter of doubler plate

5. 강도분석을 통한 설계 및 평가 지침

각 파라메타의 변화에 따른 강도 변화를 앞서 도출한 등가 평판 두께의 변화로 대치하여 표시하면 다음 Fig 11과 같고 양축 면내 압축하중을 받는 이중판으로 보강된 비교적 세장한 직사각판의 설계 및 강도평가 지침을 다음과 같이 정리하였다. 여기서, 횡축은 각 파라메타는 주판길이에 대한 이중판 길이 ($\frac{a_d}{a}$), 주판두께에 대한 이중판 두께 ($\frac{t_d}{t}$), 주판 폭에 대한 이중판 폭 ($\frac{b_d}{b}$) 그리고 주판두께에 대한 이중판 부식두께 ($\frac{t_c}{t}$) 각각의 무차원화된 값을 나타내며 종축은 주판두께에 대한 등가 평판두께 ($\frac{t_{eq}}{t}$)의 무차원화된 값을 나타낸다.

- 상기 그림으로부터 주판의 극심한 부식의 경우를 제외하면 각 파라메타 변화에 따른 등가 평판두께가 약 100%-115% 사이에 분포하고 있어 일축 길이방향 면내압축의 경우 (96.5%-105.5%)(함, 1999) 보다 등가평판두께의 입장에서 보강 효과가 높으며 양축방향 및 전단의 면내 압축하중에 대한 이중판 보강은 비교적 세장한 등가 평판의 판두께의 변화를 일축압축의 경우에 비해 크게 야기시킨다고 볼 수 있다.
- 양축 및 전단력이 작용하는 본 해석의 경우 길이 및 두께의 이중판 확대는 그 길이 및 두께가 비교적 큰 경우에 급격한 강도의 증가를 보이나 이를 제외하고는 다른 보강법 특히 보강판의 폭변화에 따른 등가평판두께의 변화폭이 유사한 범위에 존재한다고 볼 수 있다.
- 이중판 폭의 증감에 따른 영향은 강도가 유사하며, 거의 직선적 변화를 보인다.
- 주판의 부식에 따른 강도 감소가 다른 영향인자에 비해 상대적으로 현저하다.

4. 결 론

이중판의 집속 효과를 고려하여 면내 양방향 압축 및 전단 하중을 받는 판부재의 강도평가를 실시하였다. 대표적인 선박 판부재를 대상으로 면내 양축 및 전단의 면내하중을 대상으로 이중판의 폭, 길이, 두께 및 주판(main plate)의 부식의 영향 등 각종 파라메타의 영향에 따른 이중판의 강도평가를 비선형 구조해석을 통해 분석하였다.

이중판 보강의 각종 파라메타에 따른 보강효과를 고찰하기 위해 등가평판의 강도해석을 수행하고 각 파라메타의 영향에 따른 강도변화를 비교분석하였다.

이들 시리즈해석 결과를 바탕으로 양축 면내 압축 하중에 따른 이중판의 강도평가식을 도출하였으며 판부재의 간이 평가식에 이중판 판부재의 평균두께의 개념으로 취급하여 좌굴 강도치를 평가하고 등가평판 도출식과의 상관관계를 고찰하였으며 판부재의 간이평가식으로부터 이중판 보강에 따른 등가 평판두께의 도출식을 역시 개발하였다. 또한 등가평판두께 도출식으로부터 각종 파라메타의 변화에 따른 강도의 변화를 등가 평판두께로 제시하였고 이로부터 주판의 부식이 큰 경우를 제외하면 각 파라메타 변화에 따른 등가 평판두께가 100%-115% 사이에 분포하고 있어 양축방향 면내 압축 및 전단하중에 대한 이중판 보강은 비교적 세장한 등가 평판의 판 두께의 변화를 일축압축의 경우에 비해 크게 야기시킨다고 볼 수 있다.

본 복합하중의 경우 길이 및 두께의 이중판은 그 치수가 비교적 큰 경우에 급격한 강도의 증가를 보이나 이를 제외하고는 다른 보강법 특히 보강판의 폭변화에 따른 등가평판두께의 변화폭이 유사하다. 이중판 폭변화에 따른 등가두께의 변화는 직선적 변화를 보이고 있다.

참 고 문 헌

함주혁(1998). “선박 이중판(doubler)의 강도에 관한 연구”, ‘98(6 차년도) 산학연 공동기술개발 지역컨소시엄 과제별 최종 보고서, pp 51~91.

함주혁(1999). “중방향 면내압축하중을 받는 선박 이중판의 강도평가”, 1999년도 대한조선학회 추계 학술대회 논문집, pp 471~474.

함주혁(2000). “양축방향 면내압축하중을 받는 선박 이중판의 강도평가”, 2000년도 대한조선학회 춘계 학술대회 논문집, pp 255~258.

함주혁, 백점기, 고재현(1992). “판의 좌굴 설계 공식에서의 소성 수정에 관하여”, 선박 구조 연구회.

Jastrzebski, T. & Kmiecik, M.(1986). “Statistical investigations of the deformations of ship plates,” Bull. Assoc. Tech. Marit. Aeronaut., pp 325~45.

MSC/NASTRAN for Windows, Release Guide Version 4

Paik, J. K., Ham J. H. and Kim U. N.(1992). “A New Plate Buckling Design Formula”, J. of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 171, pp 559~566.

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.

Sang H. Lee (1990). “MSC/NASTRAN Handbook for Nonlinear Analysis”, Version 67 (Draft).

2000년 9월 20일 원고 접수
 2001년 1월 16일 수정본 채택