
 論 文

大韓造船學會論文集
 제 30 卷 第 4 號 1993 年 11 月
 Transactions of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 30, No. 4, November 1993

건조선 통계자료를 이용한 선박 판부재의 최종강도 간이추정

김의현*, 함주혁*, 김을년*

Simplified Estimation of the Ultimate Strength of Ship Panels using Statistical Data of Actual Ships

by

Oi H. Kim,* Juh H. Ham* and Ul N. Kim*

요 약

정확성과 단순성의 균형을 유지하면서 선박의 강도평가에 쉽게 적용할 수 있는 평판의 최종강도 간이추정식들을 도출하였다. 당 조선소의 건조선들 중 유조선과 산적화물선에 대한 선저부와 상갑판의 최종강도에 관련된 기하학적 변수들의 통계자료를 분석하여 구조특성을 살펴보고, 강도에 영향을 미치는 주요변수를 중심으로 하여 나머지 영향인자들을 확률분포에 따라 가중시켜 선종별로 평판의 최종강도 추정식을 제시하였다. 또한 저자들에[3-5] 의해 이미 제시된 새로운 좌굴평가식을 바탕으로 좌굴후기동에서 판의 중앙단부의 항복조건을 결부시켜 또하나의 최종강도 추정식을 제시하였다. 본 논문에서 제시한 간이식의 정확도를 실험식과 기존의 식[6, 7, 9]들과 비교·확인하였다.

Abstract

The ultimate strength formulas of ship panels are suggested in a simple and suitable form. Firstly, these formulas are derived from a full description of the variables that govern plate strength by using statistical data of actual ships. Secondly, under the assumption of plate mid-edge collapse using the Von-Mises' yield criterion and the new buckling formula, a general equation for the ultimate strength estimation is also derived. The existing test data are compared with these new formulas and a good correlation is shown.

발 표 : 1993년도 대한조선학회 춘계연구발표회('93. 4. 17.)
 접수일자 : 1993년 5월 20일, 재접수일자 : 1993년 7월 21일
 * 정회원, 현대중공업(주) 선박해양연구소

1. 서 론

선박이 극심한 파랑중에서 항해하는 경우, 선체를 구성하는 주부재(主部材)인 판에 대한 좌굴 및 최종 강도 평가가 선박의 안전성의 측면에서 대두된다. 그러나 이들 판요소는 용접 및 가공에 의해 초기처짐이 필연적으로 존재하게 된다. 따라서 명확한 좌굴현상이 나타나지 않으며, 소성역의 진전과 함께 최종강도에 도달한다고 생각되기 때문에 초기처짐은 판의 압축 최종강도를 크게 저하시킨다고 할 수 있다.

그러나 복잡한 형상의 초기처짐을 고려하기 위한 유한요소해석법이나, 탄성대처짐과 소성해석의 조합에 의한 압괴강도의 추정법은 많은 계산시간과 경비가 소요되므로, 정도를 확보하면서 설계시 사용하기 편리한 간단한 형태의 최종강도 설계기준이 확립될 필요가 있다. 그러나 이미 건조된 선박의 통계치를 기준으로한 표준화된 설계기준에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

또한 선체판부재의 공칭항복응력에 대한 정확한 기준이 설정되어 있지 않은 상태에서 최종강도 추정을 위한 각종 곡선들이 제시되고 있어 이를 고려한 보다 현실적인 최종강도 추정곡선의 도출이 요망되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 건조선의 실제항복응력 등 각 자료들의 통계적 특성치에 기준하여 새로운 설계식 도출에 중점을 두었다.

또한 일축압축력이 작용하는 판의 최종강도를 평가하기 위하여 또 다른 하나의 새로운 간이평가식을, 판의 대변형 미분방정식과 저자들이[3-5] 이미 개발한 새로운 좌굴평가식을 근거로 하여 도출하였다. 이들 개발식의 적합성과 정도(程度)를 실험치와 기존의 식들[6, 7, 9]과도 비교·검토하였다.

2. 선체판부재의 압축강도

2.1 기존 판부재의 압축강도 추정식

Faulkner는 초기처짐을 가진 직사각형판의 강도를 추정하는 식으로 다음과 같이 제시하고 있다[1].

$$\phi_F = \sigma_m / \sigma_o = \phi_b - \Delta\phi_b \tag{1}$$

여기서,

σ_m : 판부재의 평균압축응력

σ_o : 항복응력

ϕ_b : 잔류응력이 없는 초기처짐을 가진 판의 강도
 $= a_1 / \beta - a_2 / \beta^2$

β : 세장비 $= (b/t) \sqrt{\sigma_o / E}$

a_1, a_2 : 경계조건에 따라 결정되는 상수

$\Delta\phi_b$: 잔류응력에 기인하는 강도의 감소량

압축잔류응력 σ_r 은 판의 양단부의 인장 항복응력과 평형을 이루는 응력치(ηbt)로서 판의 폭방향으로 균일하게 분포한다.

평형조건을 가지는 응력분포의 가정에 따라 다음의 잔류응력치가 주어진다.

$$\frac{\sigma_r}{\sigma_o} = \frac{2\eta}{(b/t) - 2\eta} \tag{2}$$

여기서, η : 용접영향부의 폭 Parameter

이 응력에 의해 야기되는 강도감소는 다음과 같다.

$$\Delta\phi_b = \frac{\sigma_r}{\sigma_o} \frac{E_t}{E} \tag{3}$$

여기서,

E_t : Ostenfeld-Bleich Parabola[1]에 의해 주어진 다음의 단순식에 의해 근사되어 질 수 있는 접선탄성계수

$$\frac{E_t}{E} = \left(\frac{a_3 \beta^2}{a_4 + P_r (1 - P_r)} \right) \text{ for } 0 \leq \beta \leq 1.9 / \sqrt{P_r} \tag{4}$$

$$\frac{E_t}{E} = 1.0 \text{ for } \beta > 1.9 / \sqrt{P_r} \tag{5}$$

여기서, P_r : 재료 비례한계 σ_p 와 항복응력의 비
 (잔류응력에 의해 감소됨)
 $= (\sigma_p - \sigma_r) / \sigma_o$

$$a_3 = 3.62 \quad a_4 = 13.1 \text{ (단순지지)} \tag{6}$$

$$a_3 = 6.31 \quad a_4 = 39.8 \text{ (고정)} \tag{7}$$

비례한계는 0.5와 0.75 사이에서 변화되나 Faulkner는 0.5[1]의 사용을 추천한다. 일반화된 Faulkner의 직사각형판에 대한 강도추정식[2] ϕ_G 는 초기처짐의 양 δ_o 를 명시적으로 설명할 수 있게 다음

과 같이 제시하고 있다.

$$\phi_G = \{1.08\phi_b\} \left\{ \left(1 - \frac{\Delta\phi_b}{1.08\phi_b}\right) (1 - 0.0078\eta) \right\} \left\{ 1 - (0.626 - 0.121\beta) \frac{\delta_o}{t} \right\} \left\{ 0.665 + 0.006\eta + 0.36 \frac{\delta_o}{t} + 0.14\beta \right\} \quad (8)$$

여기서, 첫중팔호는 이상적인 평판의 강도를 추정하기 위한 것이며 첫번째와 두번째 중팔호는 잔류응력을 가진 평판의 강도를 나타내며 첫번째와 세번째의 중팔호는 초기처짐을 가지고 잔류응력이 없는 판의 강도항이며 네번째의 중팔호는 초기처짐과 잔류응력이 동시에 존재하는 경우의 수정항이다. 이 식에 관련된 모델의 불확실성은 COV로 0.07정도의 수준이다[12].

2.2 새로운 판의 압축강도식의 도출

일축압축력을 받는 단순지지 직사각형판을 고려해 볼 때 좌굴전에는 판의 면내 응력분포가 일정하나 좌굴후에는 판의 대처짐에 기인하여 단부 근처보다 큰 압축변형이 판의 중심부에 주어지게 되어 불균일 응력분포를 발생시킨다.

판의 대변형을 지배하는 다음의 미분방정식을 풀면 판의 좌굴거동을 파악할 수 있다.

$$\nabla^4 w = \frac{t}{D} \left(\frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) \quad (9)$$

$$\nabla^4 F = E \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 \quad (10)$$

여기서, w : 판의 처짐
f : Airy 응력함수

이의 한 예로서 일축압축을 받는 주변단순지지된 직사각형판의 좌굴후 거동을 살펴보자. 실제로 직사각형판이 일축방향의 압축력을 받는 좌굴후 거동을 일축하중을 받는 정사각형판의 좌굴후 거동은 연속으로 간주하여 판의 처짐형상은 종과 횡방향으로 1반파가 되어 다음과 같은 형태의 처짐식을 가정할 수 있다.

$$w = A_1 \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b} \quad (11)$$

여기서, A₁ = 처짐의 진폭을 나타내는 미지상수

이 처짐식을 적합조건식에 넣어 응력함수 F를 구한 후, 판의 평형방정식에 Galerkin법을 적용하여 구성된 다음 식

$$\int_0^a \int_0^b \left\{ D^4 w - \frac{t}{D} \left(\frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) \right\} \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b} dx dy = 0 \quad (12)$$

에 대입하여 판의 전 체적에 걸친 적분을 수행하면 미지계수인 다음 식이 결정된다.

$$A_1 = \left[\frac{16}{E\pi^2(1/a^4 + 1/b^4)} \left\{ \frac{1}{a^2} \sigma_x - \frac{\pi^2 D}{t} \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)^2 \right\} \right]^{1/2} \quad (13)$$

구해진 응력함수에 식 (13)을 대입하면 x방향의 응력분포가 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \bar{\sigma}_x + \frac{\pi^2 E}{8a^2} A_1^2 \cos \frac{2\pi y}{b} \\ &= \left(1 + \frac{2b^4}{a^4 + b^4} \cos \frac{2\pi y}{b} \right) \bar{\sigma}_x \\ &\quad - \frac{2a^2 b^4}{a^4 + b^4} \frac{\pi^2 D}{t} \cdot \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)^2 \cos \frac{2\pi y}{b} \end{aligned} \quad (14)$$

판의 단부(즉 y=0 혹은 b)에서 최대응력이 발생하므로

$$\begin{aligned} \sigma_{x\max} &= \left(1 + \frac{ab^4}{a^4 + b^4} \right) \bar{\sigma}_x \\ &\quad - \frac{2a^2 b^4}{a^4 + b^4} \frac{\pi^2 D}{t} \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right) \end{aligned} \quad (15)$$

마찬가지 방법으로 판의 중앙단부에서 최소응력이 발생하므로

$$\sigma_{x \min} = \overline{\sigma_{xcr}} \quad (16)$$

이 된다.

물론 식 (15)와 식 (16)은 좌굴후 거동에 유용하며, 좌굴전에는 이 최대 최소응력은 평균응력 $\overline{\sigma_x}$ 와 같다.

즉 $\sigma_{x \min} = \sigma_{x \max} = \overline{\sigma_x}$ 따라서, 식 (15)과 식 (16)으로부터 $\overline{\sigma_x}$ 가 임계좌굴응력 σ_{xcr} 에 달한 후에 최대응력이 증가하는 반면에, 최소응력은 일정임을 알 수 있다.

기동은 좌굴하중, 극한하중 그리고 탄소성 좌굴하중이 같으나, 판의 경우는 좌굴이 일어난 이후에 하중을 더욱 증가시켜도 판의 강도는 유지되기 때문에 극한하중은 통상 좌굴하중보다 크다. 본 논문에서는 최대응력이 항복응력에 도달할 때 판이 붕괴한다고 생각한다. 그리고 좌굴후 거동으로서, 비재하 변(unloaded edges)이 직선을 유지한다고 가정하면 종방향의 불균일한 응력분포로 인하여 횡방향에는 처짐을 방해하는 막응력이 발생하고 그 분포는 불균일하다. 이 경우, 횡방향의 응력분포는 단부에서 최대 압축응력이 생기고 중앙부에서는 인장응력이 발생한다. 횡방향으로는 하중이 작용하지 않으므로 평균응력은 0이다. 이 경우 일반적으로 종방향의 중앙단부가 판의 모서리보다 항복이 빠르므로 중앙단부의 항복이 판의 붕괴를 야기시킨다는 가정하에서 Von Mises 항복조건을 사용하면 다음의 최종강도식이 도출된다.

$$\sigma_{x_u} = \frac{9\sigma_{xcr}^* + \sqrt{28\sigma_0^2 - 3\sigma_{xcr}^2}}{14} \quad (17)$$

그러나 이 식은 초기처짐이나 잔류응력의 효과가 고려되지 않은 식이지만, 직사각형판을 정사각형판의 연속으로 보고 참고문헌 [3, 4, 5]에서 개발한 새로운 좌굴평가식을 적용하여 이들 초기처짐과 잔류응력의 효과를 좌굴평가식 내에서 고려해서 사용하여 보았다.

새로운 좌굴평가식을 간략히 소개하면 다음과 같다.

압축력과 동시에 횡수압을 받는 직사각형판의 거동으로부터 하중-처짐 곡선의 극소치를 나타내는 점을 탄성좌굴강도를 정의하고[3], 이 추정 결과를 바탕으로 주변단순지지판의 압축 좌굴강도에 대한 횡

수압의 영향은 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$\sigma_{xcr}^* = R_{qx} \cdot \sigma_{xcr} \quad (18)$$

여기서,

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

σ_{xcr} = 횡수압과 작용하지 않을 때의 x방향 임계압축 좌굴응력

R_{qx} = x방향의 횡수압의 영향을 나타내는 파라메타
 $= (1 + \alpha Q)^{1/2}$

$$\alpha = 0.025(a/b)^2 - 0.155(a/b) + 0.360 \quad \text{for } \sqrt{2} \leq a/b < 4$$

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

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

탄소성 대변형 유한요소 해석결과를 바탕으로 도출된 판의 소성 수정식으로 다음을 이용하였다[4, 5].

$$\sigma_{cr} = \sigma_E \quad 0.5 > \sigma_E / \sigma_0 \text{ 영역}$$

$$= \sigma_0 \{ -0.0847(\sigma_g / \sigma_0)^4 + 0.5857(\sigma_E / \sigma_0)^3 - 1.5631(\sigma_g / \sigma_0)^2 + 2.0784(\sigma_g / \sigma_0) - 0.2164 \} \quad 0.5 \leq \sigma_g / \sigma_0 < 1.9 \text{ 영역}$$

$$= \sigma_0 \quad 1.9 \leq \sigma_g / \sigma_0 \text{ 영역} \quad (19)$$

여기서,

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

σ_E = 일축압축력이 작용할 때의 Euler 탄성좌굴응력 (x 혹은 y방향 각각에 따라 σ_{xE} 혹은 σ_{yE})

σ_0 = 항복응력

이들 복잡한 식에서 면내축력성분만을 수압의 영향을 등가의 초기처짐형태로 변환하여 이 영향을 고려하였고 직사각형판이 수개의 정사각형판으로 구성되었다고 간주하여 면내축력을 받는 판부재의 최종강도평가를 수행하였다.

3. 선체판부재의 특성

본 논문에서는 저자들이 당 조선소에서 건조한 유조선과 산적화물선에 대하여 장폭비와 세장비를 조사하였고, 그 결과 각 경우의 평균과 변동계수(COV)는 다음과 같이 요약할 수 있다.

$$\overline{a/b} = 5.0 \quad COV = 0.25 \quad (\text{유조선}) \quad (20)$$

$$\overline{a/b} = 4.0 \quad COV = 0.32 \quad (\text{산적화물선}) \quad (21)$$

$$\overline{b/t} = 44.9 \quad COV = 0.12 \quad (\text{유조선}) \quad (22)$$

$$\overline{b/t} = 43.9 \quad COV = 0.25 \quad (\text{산적화물선}) \quad (23)$$

b/t의 평균값은 세장비(β) 1.72와 1.69에 각각 대응한다.

사용된 자료의 근거는 최근 약 20년간에 걸친 건조선들 중 각각 20여척의 유조선과 산적화물선의 중앙단면에 대한 상갑판과 선저외판에서의 전형적인 판부재에 기초한다.

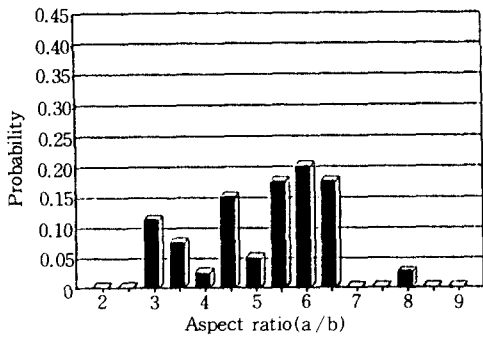


Fig. 3.1 Probability density distribution of plate aspect ratio in tankers

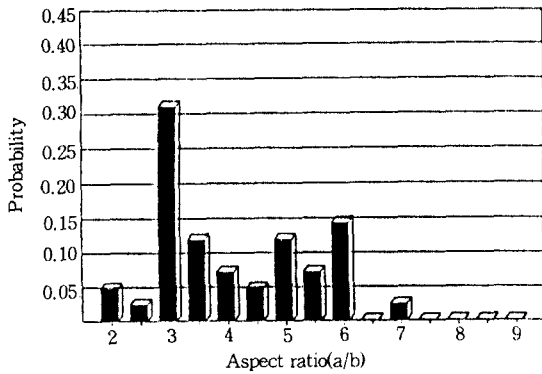


Fig. 3.2 Probability density distribution of plate aspect ratio in bulk carriers

Fig. 3.1과 Fig. 3.2는 각각 유조선과 산적화물선의 판부재에 대한 장폭비(Aspect Ratio= a/b)의 분포에 따른 확률밀도함수이며 Fig. 3.3과 Fig. 3.4는 세장비(Slenderness Ratio= b/t)의 분포에 대한 확률밀도함수로 각 선종별 분포가 상이함을 알 수 있다.

Jastrzebski Kmiecik[6]는 상선에서 다음의 관계를 주는 계측을 수행하였다.

$$\delta_o/t = 0.0094(b/t) - 0.205 \dots \dots \dots (24)$$

여기서, δ_o : 판의 초기처짐

마지막으로 선체판부재에 대한 잔류응력치에 대한 정보는 그리 많지 않다. Faulkner는 참고문헌[7]에서 다른 것과 비교하여 몇몇 측정을 시도하였고 여기서 용접영향부의 폭 Parameter인 η 의 평균과 COV를 각각 5.25와 0.07로 잡았다. 이들 통계적 자료는 모든 형태의 배에 적용될 것으로 짐작된다. 따라서 유조선

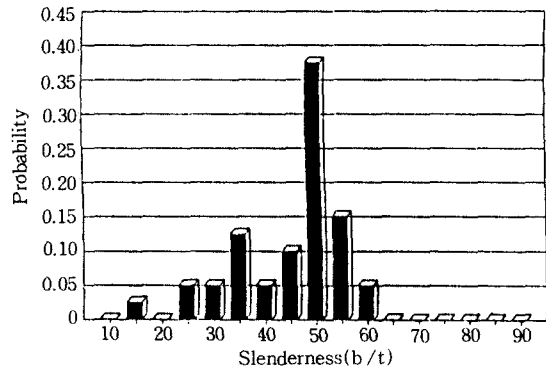


Fig. 3.3 Probability density distribution of plate slenderness in bulk carriers

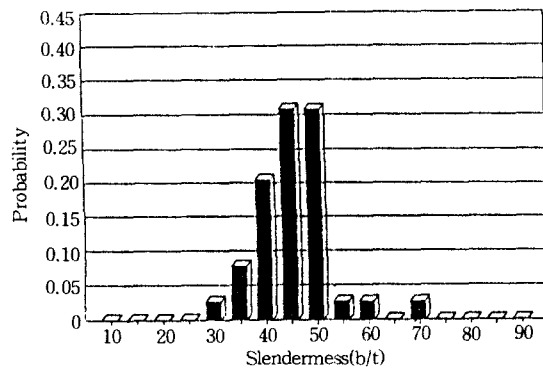


Fig. 3.4 Probability density distribution of plate slenderness in tankers

과 산적화물선의 선박판의 특성간의 차이는 판의 세장비와 초기치짐량이 관계된다.

4. 설계공식의 유도

판의 세장비만에 좌우되는 설계식을 얻기 위해 다른 매개변수의 영향은 기대치로 잡을 필요가 있다.

식 (8)을 다음과 같이 쓴다.

$$\phi_G(\beta, \eta, \delta) = \phi_b(\beta) \cdot B(\beta, \eta, \delta_o) \quad (25)$$

지배 매개변수의 분포에 좌우되는 bias factor \bar{B} 를 결정할 필요가 있다. 이 평균값과 variance는 발현확률에 의해 model error B를 가중시킨다.

$$B = \int \int \int B(\beta, \eta, \delta_o) \cdot f(\beta, \eta, \delta_o) d\beta d\eta d\delta_o \quad (26)$$

$$\sigma_B^2 = \int \int \int \{B(\beta, \eta, \delta_o) - \bar{B}\}^2 f(\beta, \eta, \delta_o) d\beta d\eta d\delta_o \quad (27)$$

여기서, $f(\beta, \eta, \delta_o)$: 변수 β, η, δ_o 의 joint 확률 밀도 함수

여기서, 확률밀도함수는 주어진 배에 대해서 중앙단면의 전형적인 판의 β, η , 그리고 δ_o 의 규정된 값을 가지는 확률을 나타낸다. 본 논문에서는 간편성을 위하여 이들 서로간의 영향은 없는 다음과 같이 독립성을 유지하는 것으로 가정한다.

$$f(\beta, \eta, \delta_o) = f_1(\beta), f_2(\eta), f_3(\delta_o) \quad (28)$$

판세장비 f_1 의 확률밀도 함수를 산적화물선과 유조선에 대하여 각각 Fig. 3.3과 Fig. 3.4에 제시하였다. 함수 f_2 는 각각 조사된 판부재의 평균항복치의 약 10% 정도에 해당하는 잔류응력의 양에 상당하는 η 의 평균치를 가지는 정규 분포로 그리고 f_3 은 식 (24)로 가정하여 계산을 수행하였다.

식 (8)과 식 (25) - (28)을 사용하여 다음 값에 이른다.

$$\bar{B}=0.867 \quad COV=0.013 \quad \text{유조선의 경우} \quad (29)$$

$$\bar{B}=0.861 \quad COV=0.020 \quad \text{산적화물선의 경우} \quad (30)$$

식 (25) 그리고 식 (1)을 조합한 이들 bias 값은 두 선종의 판부재에 대한 강도를 추정하는데 사용되는 두가지의 간단한 식을 준다. 설계를 위해 지배 파라메타의 불확실에 대한 몇몇 안전성을 결합하여 다음과 같이 나타낼 수 있다. 부분적 안전계수를 유도하는 종래의 방법도 유용하나 여기서는 평균이하의 2와 3표준편차 사이의 bias 특성치를 사용할 수 있다.

$$B_c = \bar{B}(1 - kV) \quad (31)$$

여기서 k는 상수이다.

k=2.5에 대해 B가 B_c 보다 작을 확률은 2~3% 정도이며 단순지지판에 대한 결과적인 특성곡선식은 다음과 같다.(유조선은 o, 산적화물선은 b)

$$\phi_{co} = 1.68/\beta - 0.84/\beta^2 \quad (32)$$

$$\phi_{cb} = 1.63/\beta - 0.82/\beta^2 \quad (33)$$

식 (32)과 식 (33)은 두 선종에 대하여 특성치의 평균값에 의해 다른 영향을 대표하는 가장 중요한 매개변수에 의해 명시적으로 계산되고, 유조선과 산적화물선에 대하여 선체판부재가 통상적인 초기치짐과 용접잔류응력치로 제작된 경우, 판부재의 강도 설계시 유용하게 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 최종강도 추정법의 비교검토

5.1 새로운 최종강도 추정식의 평가

Fig. 5.1과 Fig. 5.2에서 일차적으로 잔류응력은 무시하고 초기치짐만을 고려한 경우로, 산적화물선과 유조선 각각의 상갑판부의 판부재의 세장비변화에 따른 최종강도 변화상태를 나타내었다. 여기서 점선은 식 (1)에서 잔류응력의 영향을 무시한 것으로 본 논문에서 개발한 새로운 최종강도 추정식인 식 (17), (18)과의 비교를 위해 마찬가지로 식 (24)의 초기치짐만을 고려하여 각 건조선의 상갑판의 최종강도 추정(Present1)의 비교를 가능하게 하였다. 이 결과 건조선의 전 세장비 영역에서 상당히 잘 일치하고 있음을 보여주고 있다.

다음에는 초기치짐뿐 아니라 평균적인 잔류응력량 [8]까지를 고려한 경우 (Present2)로 산적화물선과 유조선 각각에 대해 Fig. 5.3과 Fig. 5.4에 방대한 실험치들의 평균곡선 [9]과 함께 나타내었다.

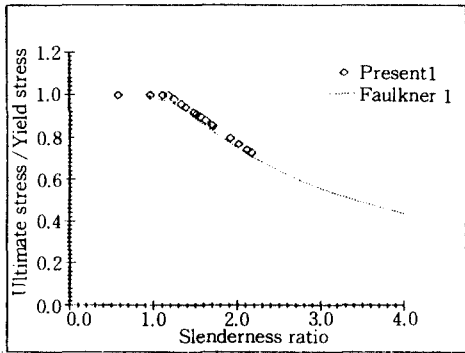


Fig. 5.1 Comparison of ultimate strength between Faulkner formula and new formula (considering imperfection of deck plate in bulk carriers)

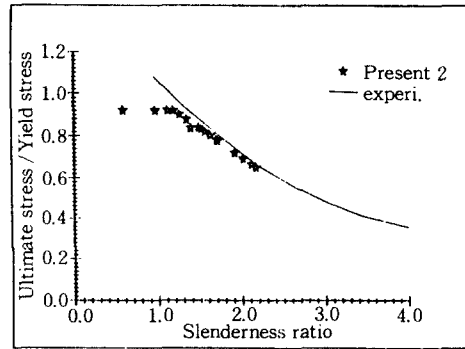


Fig. 5.3 Comparison of ultimate strength between experiment curve and new formula (considering imperfection and residual stress of deck plate in bulk carriers)

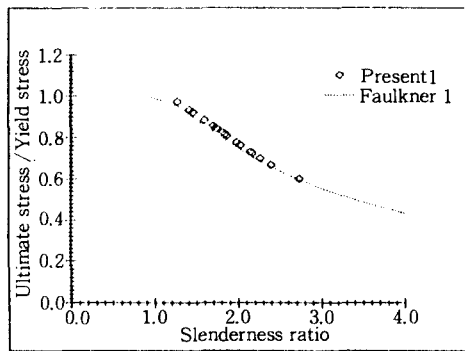


Fig. 5.2 Comparison of ultimate strength between Faulkner formula and new formula (considering imperfection of deck plate in tankers)

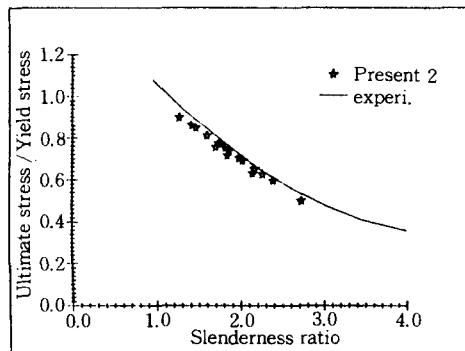


Fig. 5.4 Comparison of ultimate strength between experiment curve and new formula (considering imperfection and residual stress of deck plate in tankers)

Fig. 5.3과 Fig. 5.4에서도 전 실적선 영역에 걸쳐 상당히 근접하는 결과를 얻었으나, 다만 세장비가 1보다 작은 경우에 실험치와 상이하게 되는 것은 본 연구가 완전탄소성거동에 근거한다는 가정에 기인하며 더구나 설계목적상 항복응력 이상의 응력은 무의미하다고 볼 수 있다. 따라서 이로부터 초기처짐만 존재하는 경우 뿐 아니라 잔류응력까지 존재하는 실제적인 상황에서도 본 논문에서 제시한 새로운 최종강도 추정식의 유용성을 입증할 수 있다.

5.2 통계자료에 근거한 특성곡선식의 평가

단순성과 편의성의 관점에서 판의 세장비만으로 최종강도간이추정을 위해 도출된 식(32)와 식(33)

(Present 3)을 앞서 개발한 새로운 최종강도평가식과 실험치의 평균치곡선과 함께 Fig. 5.5 부터 Fig. 5.8까지에 나타내었다. Fig. 5.5와 Fig. 5.7은 각각 산적화물선의 상갑판과 선저외판의 세장비 변화에 따른 판부재의 최종강도곡선이며 Fig. 5.6과 Fig. 5.8에는 유조선에 대한 대응하는 내용을 보여주고 있다.

이들 네가지 그림 모두 각 내부곡선 및 건조선 자료들의 분포상황이 거의 유사한 양상을 보이고 있고, 새로운 최종강도 평가식들에 의한 결과가 평균적인 실험치 곡선보다 안전한 측면에서 강도를 평가하고 있다. Fig. 5.9와 같이 기존의 여러 최종강도 평가식들[8-10]과 비교하여 볼 때 여러 교차되는 복잡한

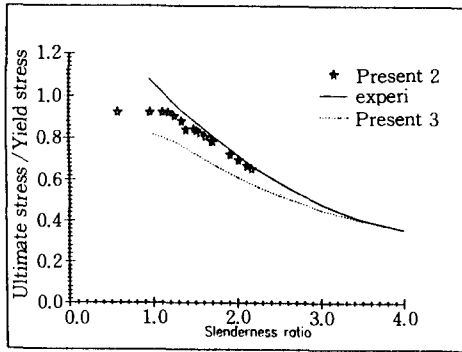


Fig. 5.5 Comparison of ultimate strength among experiment curve, general formula and bulk carrier code(considering imperfection and residual stress of deck plate in bulk carriers)

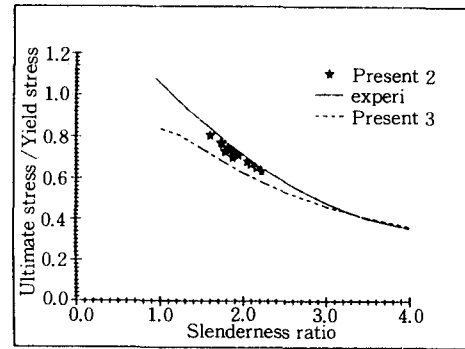


Fig. 5.8 Comparison of ultimate strength among experiment curve, general formula and tanker code(considering imperfection and residual stress of bottom plate in tankers)

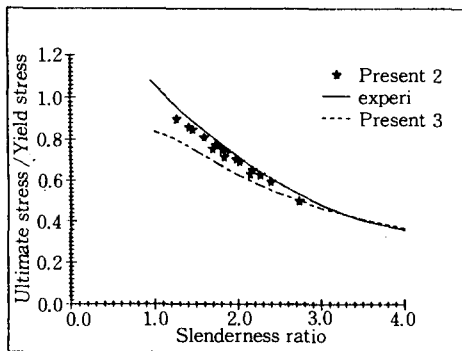


Fig. 5.6 Comparison of ultimate strength among experiment curve, general formula and tanker code(considering imperfection and residual stress of deck plate in tankers)

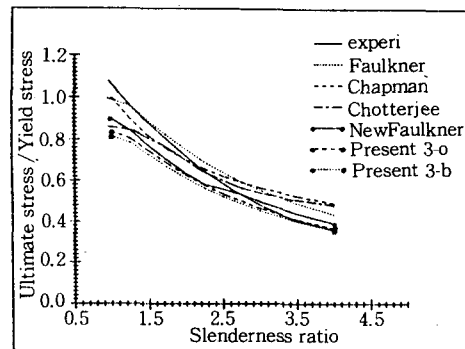


Fig. 5.9 Comparison of ultimate strength among various curves

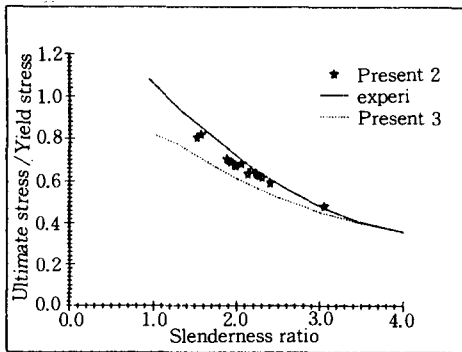


Fig. 5.7 Comparison of ultimate strength among experiment curve, general formula and bulk carrier code(considering imperfection and residual stress of bottom plate in bulk carriers)

곡선들의 바로 최하단선들을 이어 구성한 듯한 양상을 보이고 있으며, 산적화물선의 강도곡선 약간 상방에 유조선의 강도곡선이 놓여 있다. 이로부터, 정확성과 단순성의 균형을 유지하면서 선박관부재의 강도 평가에 쉽게 적용할 수 있는 건조선의 통계자료를 기준으로 한 간이추정식의 정확도를 확인할 수 있다.

6. 결 론

— 설계공식은 사용상 편리하고 구조물에 대한 안전성을 확보할 수 있는 표준화된 규정으로 설계자에게 제시되어야 한다. 그러나 실제 선박구조 설계상 구성부재로서의 강도를 정확히 평가하는 데는 많은 변수들이 관여되어 식의 단순성에 상당한 제약이 뒤따르게 된다.

상기의 관점에서 본 논문에서는 정확성과 단순성의 균형을 유지하면서 선박의 강도평가에 쉽게 적용할 수 있는 평판의 최종강도 간이 추정식을 제시하여 보았다.

우선, 20여년간에 걸쳐 건조된 당 조선소에서 가장 많이 건조되어온 유조선과 산적화물선에 대한 선저부와 상갑판의 최종강도에 관련된 기하학적 변수들의 통계자료를 분석하여 구조특성을 제시하였고, 강도에 영향을 미치는 주요변수를 중심으로 하여 나머지 영향인자들을 확률분포에 따라 가중시켜 선종별로 선박판부재의 최종강도 추정식을 제시하였다.

또한 일축압축력을 받는 판 부재의 최종강도 평가를 위한 새로운 간이평가식을, 좌굴후기동을 판의 대변형 미분방정식을 근거로 하여 판의 중앙단부의 항복조건을 최종강도로 간주하는 가정하에서 저자들이 개발한 새로운 좌굴평가식을 도입하여 일축압축력을 받는 선박판부재의 새로운 최종강도 평가식도 제시하여 보았다.

앞서 개발된 두 식의 적합성과 정도를 확인하기 위해 기존의 방대한 실험치의 평균곡선 및 기존의 평가식들과 비교하여 이의 타당성을 검토하여 보았다.

참 고 문 헌

[1] Faulkner D.A., "Review of effective plating for use in the analysis of stiffened plating in bending and compression", *J. Ship Res.*, 19 (1975)1-17.
 [2] Guedes Soares C., "Design equation for the compressive strength of unstiffened plate elements with initial imperfections", *J. Const. Steel Res.*, 9(1988), in press.
 [3] J.K. Paik, J.H. Ham and U.N. Kim, "A New Plate Buckling Design Formula", *J. of the Society of Naval Architects of Japan*, Vol. 171, 1992, pp. 559-556.

[4] 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
 [5] 백집기, 함주혁, 고재현, "판의 좌굴설계공식에 서의 소성 수정에 관하여", 선박구조연구회, Sep., 1992.
 [6] Jastrzebski T. & Kmiecik M., "Statistical investigations of the deformations of ship plates", *Bull. Assoc. Tech. Marit. Aeronaut.*, 86(1986), 325-45.
 [7] Guedes Soares C. & Faulkner D., "Probabilistic modelling of the effect of initial imperfections on the compressive strength of rectangular plates", *In Proceeding of the 3rd International Symposium on Practical Design of Ships and Mobile Units*, Trondheim, Norway, June 1987, Vol. 2, pp. 783-95.
 [8] O.F. Hughes, "Ship Structural Design : A Rationally - Based, Computer - Aided, Optimization Approach," John Wiley & Sons, 1983.
 [9] C.S. Smith, et. al., "Strength and Stiffness of Ships' Plating under In-plane Compression and Tension", *The Royal Institution of Naval Architects*, 1987
 [10] Davidon, P.C., "Design of Plate Panels under Biaxial Compression Shear and Lateral Pressure", PhD Thesis, Imperial College, London, 1989.
 [11] 백집기, "2축 압축력을 받는 단순지지 평판에 대한 비선형 거동의 해석해", 대한조선학회논문집, 제28권 1호, 1991. 4월
 [12] Guedes Soares C., "A Code Requirement for the Compressive Strength of Plate Elements", *Marine Structures* 1 (1988)71-80.