
 論 文

大韓造船學會論文集
 第29卷第3號 1992年8月
 Transactions of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 29, No.3, August 1992

선체격벽판 규정식의 이론적 배경에 관한 연구

마진섭*

Study on the Theoretical Background of the Rules for the Bulkhead Plates

by

J. S. Mah*

요 약

본 연구에서는 굽힘을 받는 평판의 특성을 다루었으며 평판중 특히 수밀 격벽판 및 디프탱크 격벽판에 대하여 각 선급의 강선 규칙에서 규정하고 있는 규정식의 이론적 배경에 대하여 해석하고, 각 선급의 강선규칙에서 규정하고 있는 격벽판에 대한 설계 규정식을 비교검토했 후 모델 선박을 선정하여 격벽판에 대한 3차원 상세구조해석을 실시하여 선급규정식의 적용범위를 밝힘으로서 새로운 규정식의 방향을 제시하였다.

Abstract

Three dimensional structural analysis is carried out to evaluate the global behavior of the platings for the watertight bulkhead and deep tank bulkhead of the selected model ship and to analyze the theoretical background of their formulations for the bulkhead platings in the Rules of each classification societies.

In this study, coarse and fine mesh analysis for transverse bulkhead is carried out to know the stress distribution in way of the concerned areas and that result is presented to show the back data for the new formulations of such transverse bulkhead platings.

1. 서 론

선박의 선각구조를 구성하는 요소는 크게 보, 거더, 필러 및 강판 등으로 구성되어 있으며 본 연구에

서는 선각구조 요소중에서 가장 기본이 되는 강판중 격벽판을 다루고자 한다. 격벽판은 수밀구획에 물이 들어오는 것을 방지하는 주요한 역할을 하는 것으로서 관면에 수직인 수압을 받게 되는데 이 경우에는

접수일자: 1992년 7월 10일, 재접수일자: 1992년 7월 20일

* 정회원, 한국선급

평판중에 의하여 굽힘을 받는다.

이외에도, 선각구조를 구성하는 강관은 판면내의 하중을 받는 경우 또는 압축과 압축을 동시에 받는 경우로 구분할 수 있으며 어느 경우에도 강관은 보, 기더 및 보강재 등으로 둘러싸인 구형평판 모델로 고려하여 해석할 수 있다. 여기서는 굽힘을 받는 격벽판에 대한 선급규정식의 이론적배경을 다루고자 하며 이러한 경우에는 판의 경계조건에 대한 가정이 매우 중요하게 된다[7] [8].

일반적으로 각 선급의 강선규칙에 규정된 강도 규정식은 이론값과 경험값으로 구성되어 있으며 식에 포함된 내용은 다음과 같다[1] - [6].

즉, 이론값의 내용으로는

- 구조역학적 설계개념에 근거한 값
- 새로운 이론 개발 및 요소기술 축적에 의한 분석 결과

- 부재별 설계하중(정하중 및 과량변동 하중)

등이 있으며, 선급 고유의 경험과 선체손상자료 통계 분석결과에 근거한 경험값으로는

- 부재별 설계하중(정하중 및 과량변동 하중)
- 부재별 허용응력
- 부재별 안전계수
- 기타 불확정요소

등이 있다.

본 연구에서는 굽힘을 받는 평판에 대한 이론값 및 경험값을 검토하기 위하여 평판중 특히 수밀격벽판 및 디프뱅크 격벽판에 대하여 각 선급의 강선규칙에서 규정하고 있는 규정식의 이론적 배경에 대하여 해석하고, 모델 선박을 선정하여 각 선급의 강선규칙에서 규정하고 있는 설계규정식을 이용 격벽판에 대한 구조해석을 실시함으로써 동일부재에 작용하는 선급별 응력값을 밝히고자 하며 이는 격벽판의 규정식을 결정하는 지침이 될 것이다.

2. 평판의 해석이론

평판의 종류는 크게 후판(thick plate), 박판(thin plate) 및 막(membrane)으로 구분할 수 있으며, 후판의 경우 판의 두께가 다른 치수(판의 가로 및 세로)에 비하여 상당히 크기 때문에 면의전단력(transverse shear)으로 인한 변형이 휨변형과 거의 같은 크기여서 이를 무시할 수 없으며, 박판의 경우 판의 두께가 다른 치수에 비하여 상당히 작기 때문에 면의전단력으로 인한 변형을 무시해도 좋다.

또한 막의 경우 판의 두께가 아주 얇기 때문에 판의 휨강성(bending stiffness)은 거의 없고 따라서 하중은 거의 막작용으로 지탱된다고 생각할 수 있다.

선체를 구성하는 격벽판의 경우 판의 두께가 다른 치수에 비하여 작기 때문에 박판으로 취급할 수 있으므로 본 연구에서는 격벽판을 박판으로 취급하며 박판의 거동에 대하여는 다음과 같은 가정을 하기로 한다[9].

- ① 면의 전단변형 γ_{xz} 와 γ_{yz} 는 무시할 수 있으며 휨이 발생하기 전에 중앙면에 수직이었던 면은 휨이 발생한 후에도 중앙면에 수직이다.
 - ② 면의 수직응력 σ_z 와 이에 대한 변형률 ϵ_z 는 무시하며 따라서 임의점(x, y, z)에서의 면의 수직변형은 중앙면에서 이에 대응하는 점(x, y, 0)에서의 변형과 같다.
 - ③ 판의 수직변형(normal displacement)은
 - i) 판의 두께에 비하여 작기 때문에 휨에 의한 중앙면의 신장은 무시한다. 즉, 휨으로 인한 막작용은 무시한다.
 - ii) 최대치점은 작은변의 길이의 1/50보다 작다.
 - ④ 판의 두께는 다른치수에 비하여 작으며 작은변의 길이의 1/10보다 작다.
 - ⑤ 판의 재료는 균질(homogeneous), 등방성(isotropic) 이고 동시에 Hooke의 법칙을 만족한다.
- 가정 ①과 ②에 의하여 평판은 2차원 응력문제라 취급할 수 있으며, 가정 ③과 ④는 박판의 해석을 위한 이상화 가정으로서 평판의 거동을 일정계수를 갖는 선형미분방정식으로 취급할 수 있으며, 이에 해당되는 격벽판의 굽힘해석에 이용되는 지배방정식은 다음과 같다.

즉, 장방형판의 판 전면에 걸쳐 균일분포하중 q 가 작용하는 경우 평판의 단위길이당 굽힘강성(flexural rigidity) D 를 $Eh^3/12(1-\nu^2)$ 라 하면 평판굽힘의 선형 미분방정식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q}{D} \tag{2.1}$$

또한, 선각평판의 굽힘기동해석에서 고려되는 경계조건은 다음과 같다. 즉, 평판의 4변이 단순지지되어 있는 경우 단부에서 처짐 w 는 물론 휨모멘트도 0이므로 평판의 x축방향의 길이를 a , y축방향의 길이

를 b 라 하면 경계조건식은 다음과 같다.

$$x=0, a \text{에서 } w=0, \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad (2.2)$$

$$y=0, b \text{에서 } w=0, \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0 \quad (2.3)$$

또한, 평판의 4변이 고정되어 있는 경우 단부에서 처짐 w 는 물론 경사각이 0이므로 경계조건식은 다음과 같다.

$$x=0, a \text{에서 } w=0, \frac{\partial w}{\partial x} = 0 \quad (2.4)$$

$$y=0, b \text{에서 } w=0, \frac{\partial w}{\partial y} = 0 \quad (2.5)$$

3. 선체격벽판의 설계방법

각종 보강재로 둘러싸인 평판, 즉 외판, 갑판 및 격벽판등은 대부분 수압에 의한 굽힘하중에 견딜 수 있도록 설계되어진다. 이러한 보강판의 붕괴모드는 일반적으로 보강재에서 먼저 일어나게 되므로 보강재의 설계는 거의 대부분 탄성설계로 하고 있다. 그러나 평판의 설계는 강도상의 중요도에 따라 탄성 또는 소성설계를 하게 되며, 또한 최대허용 응력보다는 최대허용 영구변형(maximum allowable permanent set)에 설계의 기초를 두고 있다.

이러한 경우 평판을 주변고정의 직사각형 판으로서 취급할 수 있으며, 수압을 받는 평판의 탄소성 설계에 대한 기본 개념이 고려되고 있다.

3.1 탄성설계

평판의 탄성 굽힘 이론은 앞절의 기본 가정들을 기초로 하여 유도된다. 평판의 경계조건은 보강재의 비틀강성이 충분하지 못하기 때문에 이상적인 단순 지지나 고정조건의 상태가 되지않지만 균일 분포하중이 작용하고 인접한 판에도 같은 하중이 작용하는 경우는 고정(clamped) 조건으로 가정하는 것이 보통이다.

균일 분포 하중이 작용하고 4변이 고정된 직사각형 평판의 최대처짐 및 굽힘응력은 다음과 같다[11].

$$\delta_{\max} = x \frac{qb^4}{D} \quad (3.1)$$

$$\delta_{\max} = x_r \frac{qb^4}{Et^3}$$

$$\sigma_x = \left\{ \frac{\bar{\alpha}^i}{\alpha^i} \right\} q \left(\frac{b}{t} \right)^2 \quad (3.2)$$

$$\sigma_y = \left\{ \frac{\bar{\beta}^i}{\beta^i} \right\} q \left(\frac{b}{t} \right)^2$$

여기서, 굽힘응력의 최대치는 긴변의 중앙점에서 일어나며 평판의 형상비가 2.0을 초과하면 평판의 중앙부의 변위 및 긴변의 중앙에 있어서의 굽힘응력이 평판의 형상비의 영향을 받지 않는다[11].

평판의 중앙부에 있어서 짧은변에 평행하게 단위폭의 판을 떼내어 스패를 b , 두께 t 의 보로서 고려하면 변위 및 굽힘응력은 다음과 같다.

$$\delta_{\max} = \frac{12qb^4}{384Et^3} \quad (3.3)$$

$$\sigma = 0.5 q \left(\frac{b}{t} \right)^2 \quad (3.4)$$

보통선각을 구성하고 있는 판의 형상비가 4.0 정도 임을 고려하여 식(3.3) 및 (3.4)를 식(3.1) 및 (3.2)와 비교하면 형상비 a/b 가 2.0을 초과하면 평판으로 고려하지 않고 간단히 단위폭의 보로서 고려할 수 있다. 따라서, 식(3.4)로부터 탄성설계에 의한 평판의 두께규정식은 다음과 같이 유도된다.

$$t = \sqrt{\frac{q}{2\sigma}} b \quad (3.5)$$

3.2 소성설계

평판의 소성설계는 선체구조의 격벽판 및 선수구조의 설계에서 주로 사용되고 있으며 이 경우 다음과 같은 평판의 탄소성 굽힘 이론이 적용되고 있다.

- (1) Rigid-plastic theory
- (2) Small-deflection elastoplastic theory
- (3) Large-deflection elastoplastic theory
- (4) Dynamic rigid-plastic theory
- (5) Dynamic large-deflection elastoplastic theory

위의 이론에 대한 적용은 아래의 3가지 요소에 의해 지배된다.

- (1) Magnitude of the allowable permanent set

(moderate for unserviceability, or large for ultimate failure)

(2) Slenderness of the plating

$$\beta = \frac{b}{t} \sqrt{\sigma_y/E}$$

(3) Duration of the load : static, quasi-static, dynamic

여기서 평판은 세장비(Slenderness ratio)에 따라 다음과 같이 구분하고 있다.

$\beta > 2.4$ 의 경우: slender plates

$\beta < 2.4$ 의 경우: sturdy plates

즉, 평판의 처짐은 $(b/t)^4$ 에 비례하므로 sturdy plates는 미소 변형이 되어 미소 변형 탄소성 이론으로 충분하나 slender plates는 처짐이 크게 되어 막효과(membrane effect)를 고려한 대변형 탄소성 이론을 적용하여야 한다. 수압을 받는 선체구조의 대부분은 $30 < b/t < 80$ 의 범위에 있고, 연강의 경우 $\sqrt{\sigma_y/E} \approx 0.03$ 이므로 β 는 0.9-2.4, 즉 미소변형 탄소성 이론의 적용으로 충분한 결과를 얻을 수 있다.

그러나, 탄성굽힘 이론이 소성이론보다는 훨씬 쉽고, 간단하기 때문에 각 규정에서는 true failure criterion은 영구변형이지만, 가상적인 응력(hypothetical stress)을 주어서 탄성 이론의 식을 이용하는 것이 대부분이다. 이것은 결국 최대허용 영구 변형을 얼마나 줄 것인가 하는 문제로 귀착된다.

구형 평판이 일정한 면외등분포 하중을 받아 기와 지붕형의 붕괴를 하는 경우, 붕괴단위 하중은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 즉, 판의 소성이론에 의하여 상한붕괴하중과 하한붕괴하중은 K.M.Wood식에 의하여 다음과 같다[10].

$$P_{cu} = \gamma_u \frac{M_p}{b^2} \tag{3.7}$$

$$P_{cl} = \gamma_l \frac{M_p}{b^2} \tag{3.8}$$

P_{cu} : 상한붕괴하중

P_{cl} : 하한붕괴하중

γ_u, γ_l : Table 3.1 및 Fig. 3.1에 표시한 값.

M_p : 단위폭판의 소성모멘트

$$\left(= \frac{t^2 \cdot \sigma_y}{4} \right)$$

t : 평판두께

σ_y : 평판의 항복응력

a : 평판의 긴변 길이

b : 평판의 짧은 변 길이

β : 형상비(a/b)

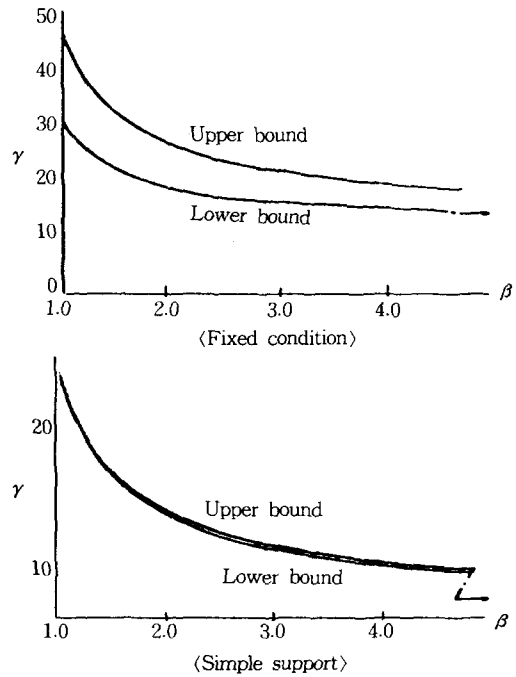


Fig. 3.1 Value of γ [7]

Table 3.1 Collapse coefficients for rectangular plates [7]

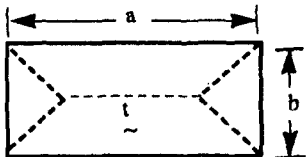
Boundary condition	Upper bound(γ_u)	Lower bound(γ_l)
 ----- : Plastic hinge line	$\frac{24\beta^2}{(1 - \sqrt{1+3\beta^2})^2}$	$8\left(1 + \frac{1}{\beta} + \frac{1}{\beta^2}\right)$
Fixed condition	$\frac{48\beta^2}{(1 - \sqrt{1+3\beta^2})^2}$	$16\left(1 + \frac{1}{\beta^2}\right)$

Fig. 3.1에서 평판의 형상비가 크게됨에 따라서 γ 의 값은 일정치에 가까워짐을 알 수가 있다.

즉, 형상비가 4.0을 초과하면 거의 일정한 값으로 됨을 알 수 있다.

소성설계에 대하여도 평판의 중앙부에서 짧은 변에 평행한 단위폭의 평판을 떼어내어 스패를 b , 두께 t 의 보로 간주하여 붕괴하중 P 를 구하면 다음과 같다.

즉, 양단이 고정된 보에 균일분포하중이 작용하는 경우 스패힌지의 위치는 양단 및 굽힘모멘트가 최대인 점에서 발생하며 이 경우 소성모멘트는 다음과 같다.

$$M_p = \frac{qb^2}{16} \quad (3.9)$$

또한, 보의 경우 소성모멘트 $M_p = \frac{1}{4} t^2 \cdot \sigma_y$ 이므로 식(3.9)를 이용 다음과 같은 소성설계에 의한 평판 두께식을 구할 수 있다.

$$t = \sqrt{\frac{q}{4\sigma_y}} b \quad (3.10)$$

4. 격벽판의 선급규정식

4.1 소성 설계

굽힘을 받는 평판중 선급규칙에서 정하는 격벽판의 경우 소성설계를 하고 있으며, 일정한 분포하중에 의한 소성붕괴 압력 P_{cu} 는 4변 고정판의 경우 다음과 같이 나타낼 수 있다. 즉, 판의 소성이론의 상한 정리에 의하여 완전고정된 판의 붕괴하중은 K. M.Wood 식에 따라 다음과 같이 유도된다[10].

$$P_{cu} = \frac{48M_p}{b^2 \left(\sqrt{3 + \frac{1}{\beta^2}} - \frac{1}{\beta} \right)^2} \quad (4.1)$$

M_p : 소성모멘트

σ_y : 항복응력(=24Kg/mm²)

t : 평판의 두께(mm)

β : 형상비(a/b 또는 ℓ/S)

$b(=S)$: 짧은변의 길이(m)

$a(=\ell)$: 긴변의 길이(m)

식(4.1)을 M_p , S , t 및 β 로 표기하면 다음과 같다.

$$P_{cu} = \frac{48\beta^3}{(3\beta^2 - 2\sqrt{3\beta^2 + 1} + 2)} \frac{M_p}{St} \quad (4.2)$$

단위폭에 작용하는 소성붕괴 압력 P_{cu} 를 γh 라고 하고 소성붕괴압력에 대한 안전율을 C_p 라 하면 식(4.2)는 다음과 같다.

$$\gamma h C_p = \frac{48\beta^3}{(3\beta^2 - 2\sqrt{3\beta^2 + 1} + 2)} \frac{1}{St} \frac{1}{4} \sigma_y t^2 \quad (4.3)$$

γ : 화물의 비중(ton/m³)

h : 화물의 적재 높이(m)

식(4.3)을 두께 t 에 관하여 나타내고 부식에비두께 t_c 를 고려하면 다음과 같다.

$$t = 1.86 \frac{\sqrt{3\beta^2 - 2\sqrt{1+3\beta^2} + 2}}{\beta} \times \sqrt{C_p \gamma h} S + t_c \quad (4.4)$$

또한, 짧은 변에 평행하게 단위폭의 판을 떼어낸 경우 띠판의 항복응력 σ_r 은 Von Mises의 식으로부터 연강의 일축인장 항복응력 σ_y 를 24Kg/mm², 소성역에서의 Poisson비 ν 를 0.5라하면 다음과 같다[12].

$$\sigma_r = \frac{\sigma_y}{\sqrt{1-\nu+\nu^2}} = 27.7 \text{ (kg/mm}^2\text{)} \quad (4.5)$$

4.2 격벽판의 선급 규정식

선각구조중 수압에 의한 굽힘만을 받는 평판의 종류에는 수밀격벽판 및 디프탱크 격벽판 등이 있다. 수밀격벽판 및 디프탱크 격벽판의 경우에는 무한 평판으로 가정하여 설계할 수 있으며 형상비 β 를 무한히 크다고 가정하면 ($\beta = \infty$) 식(4.1)은 다음과 같다.

$$P_{cu} = \frac{16M_p}{S^2} \quad (4.6)$$

또한, 소성붕괴 압력에 대한 안전율을 고려한 단위 폭에 작용하는 소성붕괴 압력 P_{cu} 를 $C_p \gamma h$, 부식여유 두께를 t_c 라 하고 M_p 대신에 $\frac{1}{4} t^2 \sigma_r$ 을 대입하면 식(4.6)은 다음과 같다.

$$t = \sqrt{\frac{C_p \gamma h}{4\sigma_r}} S + t_c \quad (4.7)$$

KR의 강선규칙에서는 수밀격벽판의 경우 소성붕괴 압력에 대한 안전율 C_p 를 1.15, 부식 여유두께 t_c 를 2.5mm로 하고 있으므로 이를 식(4.7)에 대입하면 다음과 같이 수밀격벽판에 대한 규정식을 구할 수 있으며, 여기에서 $C_p=1.15$ 의 유효성의 범주에 대한 검토가 요구된다.

$$t=3.2S\sqrt{h}+2.5 \quad (4.8)$$

또한, KR의 강선규칙에서는 디프탱크 격벽판의 경우 소성붕괴압력에 대한 안전율 C_p 를 1.44, 부식 여유 두께 t_c 를 3.5mm로 하고 있으므로 이를 식(4.7)에 대입하면 다음과 같이 디프탱크 격벽판에 대한 규정식을 구할 수 있으며, 여기에서 $C_p=1.44$ 의 유효성의 범주에 대한 검토가 요구된다.

$$t=3.6S\sqrt{h}+3.5 \quad (4.9)$$

또한, 수밀격벽판 및 디프탱크 격벽판에 대한 각 선급별 해당규정식은 Table 4.1과 같다.

Table 4.1 Comparison of the rules for bulkhead

Class	W/T BHD.	D/T BHD.
KR	$t=3.2 S\sqrt{h}+2.5$	$t=3.6 S\sqrt{h}+3.5$
LR	$t=4.0 f S\sqrt{h}$	$t=4.0 f S\sqrt{h}+2.5$
DnV	$t=15.8 f S\sqrt{P_i/\sigma}$ $+t_c$	$t=15.8 f S\sqrt{P_i/\sigma}$ $+t_c$
ABS	$t=3.45 f S\sqrt{h}+1.5$	$t=3.94 f S\sqrt{h}+2.5$

S : Stiffener spacing(m)
 ℓ : Stiffener span(m)
 P : Design load(KN/mm²)
 h : Load head measured vertically(m)
 σ : Allowable stress(220 N/mm²)
 t_c : Corrosion margin(mm)
 f : Correction factor for aspect ratio of plate
 β : Aspect ratio
 LR : $f=1.1-\frac{1}{2.5\beta} \leq 1.0$
 DnV : $f=(1.1-\frac{2.5}{\beta})^2$ ($\beta \geq 2.5$ 의 경우 $f=1.0$)
 ABS : $f=(3.075\sqrt{\beta}-2.077)/(\beta+0.272)$ ($1.0 \leq \beta \leq 2.0$)
 =1.0 ($2.0 \leq \beta$)

5. 선급규정식의 해석 및 검증

5.1 유한요소법에 의한 3차원 구조해석

5.1.1 유한요소 모델링

각 선급에서는 선급 고유의 설계 개념에 근거한 규정식을 규정하여 선박에 대한 부재치수를 결정하

고 있다. 각 선급의 규정식에 포함된 인자를 분석하여 보면 크게 이론적 배경에 근거한 이론값과 해난 손상 자료의 분석 및 통계처리 등 경험에 근거한 경험값으로 대별할 수 있으며 이들 규정식에는 선급 고유의 설계하중, 허용응력, 안전계수 및 기타 불확정 요소 등이 포함되어 있으나 이들에 관한 기본적인 자료는 널리 발표되어 있지 않다.

본 연구에서는 굽힘을 받는 평판으로써 디프탱크 격벽판 및 수밀격벽판에 대하여 각 선급의 규정식에 대한 이론적 배경을 파악하고 각 선급의 강선규칙에서 요구하는 부재치수에 대한 상대비교를 하기 위하여 유한요소법에 의한 직접계산을 하였다. 그러나 각 선급의 규정식이 결정되기 까지의 배경과 규정식에 포함되어 있는 인자들이 서로 상이하기 때문에 일률적으로 비교하는 것은 어느정도의 어려움이 있으며 가능한 한 각 선급의 규칙에서 규정하는 인자들을 통일시키기 위하여 노력하였으며 그 결과를 직접강도 해석의 기본자료로 이용하였다.

본 연구의 해석 대상 선박인 일반화물선에 대하여 횡격벽판을 포함한 전후로 1/2 Hold 씩 1 Hold에 대한 3차원 모델링을 하였으며 대상선박의 주요 제원은 다음과 같다.

$$L \times B \times D = 109.9(m) \times 18.2(m) \times 8.5(m)$$

$$C_b = 0.7553$$

화물창수 : 3개

선체단면에 작용하는 하중과 선박의 대칭성을 고려하여 좌현쪽만을 모델링하였고 이때 사용한 좌표계는 선수방향, 좌현, 상부방향을 X, Y, Z좌표의 +방향으로 택하였다. 본 3차원 구조해석에서는 선측외판, 내저판, 갑판, 선저외판 및 횡격벽판 등에 대한 전반적인 기동을 파악하고 각 절점에서의 변위를 구하였으며 이때 구한 변위를 5.2에서 수행하는 상세 구조 해석시 강제 변위로 이용하였다.

평판으로 형성되어 있는 갑판, 횡격벽판, 거더, 외판 및 내저판은 유효두께를 갖는 판요소로 이상화하였다. 또한, 갑판보, 선측중능골, 선저 및 내저중능골은 보요소로 이상화하고 판에 붙는 보강재등은 유효한 단면적을 갖는 트러스요소로 치환하였으며, 구조모델에 대한 절점수, 요소별 갯수 및 자유도는 Table 5.1과 같고 모델형상은 Fig. 5.1과 같다.

또한, 3차원 구조해석을 위하여 수밀격벽판 및 디프탱크 격벽판에 대하여 각 선급규칙에 의하여

Table 5.1 Characteristics of 3-D coarse mesh model

Description	Numbers
1. Total nodes	357
2. Total elements	885
1) Plate	452
2) Beam	149
3) Truss	284
3. Degree of freedom	1550

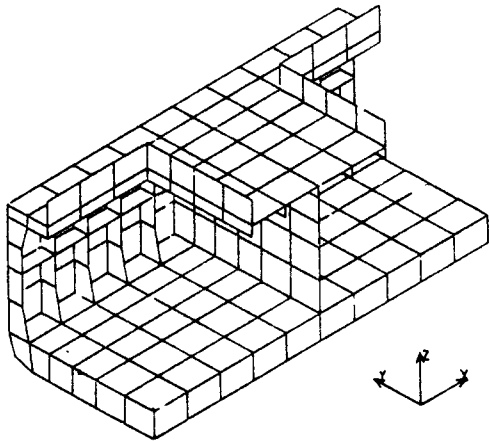


Fig. 5.1 3-D Coarse mesh model

계산한 결과는 Table 5.2와 같다.

5.1.2 하중조건 및 경계조건

3차원 구조해석을 위한 하중조건으로는 각 선급의 강선규칙에서 규정하는 직접강도해석시의 하중조건을 이용 계산을 하였으며, full load 상태와 ballast 하중 상태에서 계산을 하였다. 또한, 정적하중에 추가하여 파랑변동하중을 고려하였으며 KR의 경우 선급 및 강선규칙등 적용지침 7번 3장 표 7.3.1에

규정되어 있는 하중 상태를 고려하였다[2].

해석 모델의 급힘에 대한 경계조건은 좌우현 대칭 조건(symmetric condition) 즉, X-Z면에 대하여 대칭이므로 X-Z면상 절점들의 Y축 방향의 변위와 X축 및 Z축 방향의 회전을 구속하였다. 또한, 2 Holds의 반쪽만을 모델링하였기 때문에 Y-Z면에 대하여 대칭이므로 Holds의 중앙에 있는 절점들의 X축 방향의 변위와 Y축 및 Z축 방향의 변위를 구속하였다. 강제변위를 지지하기 위하여 갑판과 선측외판 및 횡격벽판이 만나는 점의 Z축 방향의 변위를 구속하였다.

5.2 격벽판에 대한 상세해석

5.2.1 유한 요소 모델링

본 해석은 전 5.1.2에서 고려한 하중조건하에서 횡격벽에 대한 국부적인 상세구조해석을 실시하여 이 부근에서의 자세한 응력분포 상태를 얻기 위하여 실행되었다.

본 해석에서는 횡격벽판 전체를 모델링하였으며 3차원 구조해석에서 구한 강제변위를 주기 위하여 Fr.84-Fr.90사이에 대한 선저외판, 내저판, 선측외판 및 갑판에 대한 모델링을 하였으며, 모델형상은 Fig. 5.2와 같다.

본 해석에서는 3차원 구조해석의 경우와 동일하게 각 부재를 판요소, 보요소 및 트러스요소로 치환하였으며, 구조 모델에 대한 절점수, 요소별 갯수 및 자유도는 Table 5.3과 같다.

5.2.2 경계조건 및 하중조건

전5.1에서 수행한 3차원 구조해석을 통하여 선저외판, 내저판, 선측외판 및 갑판의 경계절점에 대한

Table 5.2 Comparison of scantlings calculated by the rules

Member	Position	Class	W/T BHD.				D/T BHD.			
			KR	ABS	LR	DnV	KR	ABS	LR	DnV
Req. Thickness of platings (mm)	(B.L~1500A/B)		10.88	9.90	8.31	9.7	10.88	9.9	8.31	9.7
	(1500~2940A/B)		9.70	8.20	7.89	6.3	10.37	10.7	9.89	8.7
	(2940~5100A/B)		7.80	7.20	6.85	6.1	9.71	9.7	8.76	8.0
	(5100~6460A/B)		6.80	6.15	5.73	6.1	8.96	8.6	7.51	7.2
	(6460~8500A/B)		6.80	6.15	5.50	6.1	8.31	7.6	7.50	7.2
Req. section modulus of stiffeners (cm³)	Above inner bottom (1500~8500A/B)		320.0	318.0	397.0	359.0	1197.0	671.0	1042.0	1542.0
	Under inner bottom (B.L~1500A/B)		85.0	77.0	86.0	59.0	85.0	77.0	86.0	59.0

Table 5.3 Characteristics of 3-D fine mesh model

Description	Numbers
1. Total nodes	374
2. Total elements	690
1) Plate	486
2) Beam	24
3) Truss	180
3. Degree of freedom	1699

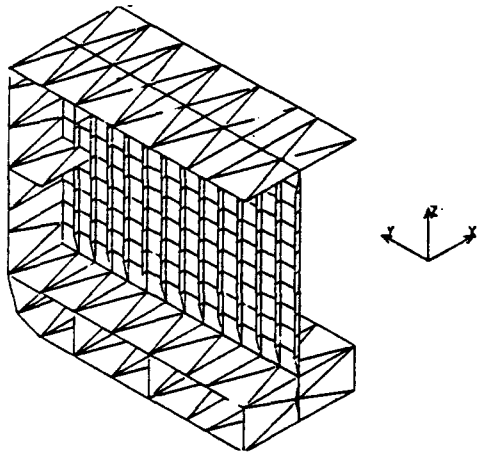


Fig. 5.2 3-D Fine mesh model of bulkhead plate

변위를 구하고 이 값들을 외부의 절점에 강제 변위를 주어 국부해석을 실시하여 횡격벽판 주위의 자세한 응력 분포를 구하였다. 하중은 3차원 구조해석의 경우와 동일하게 가하였으며 해석 대상인 횡격벽판에 대하여는 수압에 의한 X방향의 하중을 가하였다.

5.2.3 해석결과

각 선급의 강선규칙에 대한 치수를 이용하여 해석한 결과 최대응력이 발생하는 부위는 선측외판에 접한 격벽판에서 발생하였으며 Table 5.4에 표시한 바와 같다. Table 5.4에서 알 수 있는 것과같이 KR의 강선규칙에 의하면 최대응력값이 수밀격벽에서는 17.0Kg/mm², 디프뱅크 격벽판에서는 21.7Kg/mm²

Table 5.4 Results obtained from fine mesh analysis

E/N	Position (Above B/L)	W/T BHD(Kg/mm ²)				D/T BHD(Kg/mm ²)			
		KR	ABS	LR	DnV	KR	ABS	LR	DnV
26	B/L - 1500(mm)	9.7	11.9	11.0	9.5	9.0	9.5	9.4	8.5
52	1500 - 2940(mm)	11.0	12.0	12.0	10.5	9.5	9.7	10.1	9.7
91	2940 - 5100(mm)	11.9	13.0	13.5	11.0	10.2	10.3	11.0	12.0
117	5100 - 6460(mm)	13.5	19.1	14.0	13.3	16.0	16.3	17.0	15.0
156	6460 - 8500(mm)	17.0	22.7	18.0	16.5	21.7	21.9	22.0	19.0

의 값을 보여주고 있다. KR 규칙에 의한 결과를 타선급의 경우와 비교해보면 DnV 선급보다는 다소 크고, ABS 선급 및 LR 선급보다는 다소 작은 응력 값을 보여주고 있으며, 모델형상 및 격벽판에 대하여 변형된 결과를 Plotting하면 Figs.5.3 및 5.4와 같다.

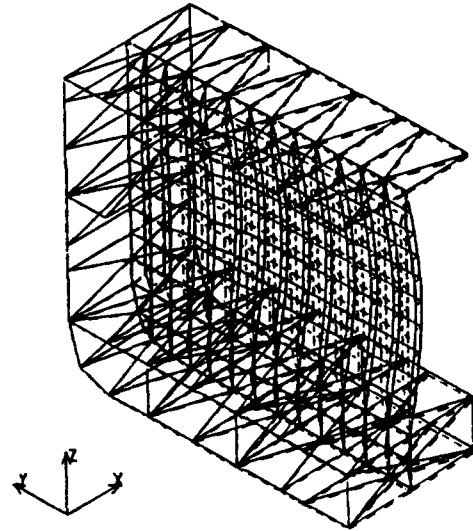


Fig. 5.3 Deformed shape of 3-D fine mesh model

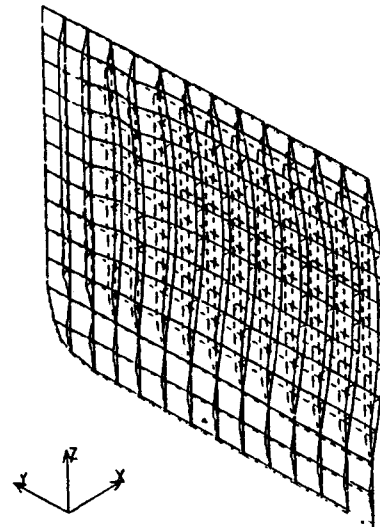


Fig. 5.4 Deformed shape of BHD.

6. 결 론

본 연구에서는 각 선급의 강선규칙에서 규정하고

있는 규정식에 대한 이론적 배경을 파악하고 이들 규정식에 대한 상대비교를 하기 위하여 유한요소법에 의한 직접강도 계산을 하였다. 직접강도 계산에 의하여 3차원 구조해석 및 상세해석을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) KR의 규칙에 의한 굽힘응력값이 타 선급의 규정식에 의한 결과에 비하여 낮은 값을 주고 있으며 이는 현행규칙에서 규정하고 있는 소성 붕괴 압력에 대한 안전율 C_p 의 값이 비교적 크게 설정되어 있는 것으로 평가된다.
- 2) 각 선급의 강선규칙에서 규정하고 있는 수밀격벽판 및 디프탱크 격벽판에 대한 하중은 실제 하중 상태값보다도 큰 하중값을 제시하고 있으므로 경계부위에 대한 탄성지지도를 고려하여 직접강도 해석을 하는 경우 부재치수의 감소가 기대된다.
- 3) 구체적인 허용응력값 및 소성붕괴압력에 대한 안전율의 결정을 위해서는 선박크기 및 선종에 따른 구조해석과 실선 계측자료가 요구된다.
- 4) 합리적인 안전율의 결정 및 실제하중 상태를 고려하여 격벽판에 대한 선급규정식의 검토가 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] 한국선급, "선급 및 강선규칙", 문원문화사, 1992.
- [2] 한국선급, "선급 및 강선규칙등 적용지침", 문원문화사, 1992.
- [3] 일본해사협회, "강선규칙집", 철판인쇄주식회사, 1991.
- [4] ABS, "Rules for Building and Classing of Steel Vessels", Port City Press Inc., 1991.
- [5] DnV, "Rules for Classification of Steel Ships", Det norske Veritas, 1990.
- [6] LR, "Rules and Regulations for the Classification of Ships", LR Printing Services Limited, 1991.
- [7] 間野正己, "선각설계의 이론과 실제", 선박, 제55권, 제12호, pp. 34-41, 1982.
- [8] 間野正己, "선각설계의 이론과 실제", 선박, 제56권, 제1호, pp. 21-27, 1983.
- [9] Szilard, R., "Theory and Analysis of Plates", Prentice-Hall Inc., 1974.
- [10] Soreide, Tore H., "Ultimate Load Analysis of Marine Structures", TAPIR, 1981.
- [11] 관서조선협회, "조선설계편람", 해문당출판주식회사, 1976.
- [12] Hughes, Owen F., "Ship Structural Design", A Wiley-Interscience Publication, 1983.

[1] 한국선급, "선급 및 강선규칙", 문원문화사,