

論 文

## 압축하중을 받는 선체판의 좌굴후 면내강성에 관한 연구

고 재 용 \* 박 성 현 \*\* 박 주 신 \*\*\*

\* 북포해양대학교 해양시스템공학부, \*\* 북포해양대학교 해상운송시스템학부

\*\*\* 북포해양대학교 대학원

## A Study of the In-plane Rigidity of a Compressed Ship Plate above Buckling Load

Jae-Yong Ko \* Sung-Hyeon Park \*\* Joo-Shin Park \*\*\*

\* Mokpo Maritime University, Faculty of Ocean System Engineering

\*\* Mokpo Maritime University, Faculty of Maritime Transportation System

\*\*\* Graduate school of Mokpo Maritime University

**Abstract** : Basically, ship structure consists of the plate members, and a strength of overall ship structure depends on the stiffness and strength of ship platings. If buckling which causes to deflect ship plate members occurs, the stiffness of ship plate markedly decreases, and thus buckling has a serious effect on the stiffness or strength of overall ship structure. Buckling is one of the most important design criteria when we scantle structure members.

In the present study, an inplane rigidity of a compressed ship plate above buckling load is proposed. The proposed inplane rigidity is available in the elastic or elasto-plastic ranges in order to carry out a more efficient and reliable design.

**Key word** : Hogging condition, In-plane rigidity, Buckling mode, Initial deflection, Plasticity

**요 약** : 기본적으로 선박의 판 부재로 구성되어 있고 선체구조의 전체적인 강도는 선체판의 강도와 강성에 지배를 받게 된다. 만약 국부적인 좌굴이 발생하게 되면 선체판의 강도는 급격하게 감소하게 된다. 이러한 좌굴현상은 선박구조 전체에 심각한 영향을 미치게 되는데 좌굴은 구조강도평가에 있어서 중요한 설계요소 중 한가지이다.

이 연구논문에서는 압축하중이 작용하고 있는 선체판에 대해서 면내하중 변화를 연구하였으며 제안된 면내하중식은 탄성 혹은 탄소성 영역에서 좀더 만족할만한 실계를 하는데 있어서 좀더 효율적이라고 판단된다.

**핵심용어** : 호강상태, 면내강성, 좌굴모드, 초기처짐, 소성

\* 정희원, kojy@mail.mmu.ac.kr, 061)240-7129

\*\* 정희원, shpark@mail.mmu.ac.kr, 061)240-7127

\*\*\* 955116@hanmail.net, 061)240-7217

1. 서론

선체구조는 기본적으로는 보강판 구조요소로서 구성된 막스형거더라고 가정하여 단순한 선박계산을 하는 경우가 대부분이다. 이런 선체에서는 자중이나, 적재물중량, 부력, 파력 등의 분포하중에 의하여 굽힘모멘트가 작용한다. 이런 하중하에서 가장 먼저 고려해야 할 구조강도로서는 종강도이다. 이 경우에는 새김시에는 상갑판과 호킹시에는 선저판의 좌굴붕괴강도가 가장 문제가 된다. 따라서, 갑판이나 선저판을 대상으로 하는 판과 보강판이 면내압축하중을 받는 좌굴붕괴강도에 대하여 수 없이 많은 연구가 이루어 졌다.

그러나, 최근 선체에 광범위하게 사용되고 있는 고장력강으로 인하여 선체판은 계속적으로 박판이 되어 가고 있다. 이와 같이 판두께가 얇아 짐에 따라 좌굴강도에 대한 새로운 개념을 도입하고자 하는 경향이 대두되고 있다. 따라서 본 연구에서는 기본적으로 면내압축하중을 받고 있는 상갑판이나 선저판을 대상으로 하여 최근 문제시되고 있는 좌굴강도와 좌굴강도후의 면내강성을 판의 지배방정식인 미분방정식으로부터 도출하여 선체에 미치는 좌굴후의 면내강성을 규명하고자 한다.

2. 해석이론

2.1 처짐파형

Fig.1에 나타내는 바와 같이 4변이 직선을 유지하면서 x 방향에 면내압축하중을 받는 판을 대상으로 한다. 면의변형에 대해서는 단순지지되어 있다고 한다.

이 경계조건을 만족하는 처짐파형을 다음 식의 2중 Fourier급수로 근사한다.(Y.Ueda,(1985))

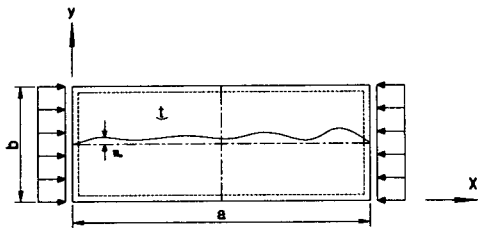


Fig.1 Rectangular plate under thrust

$$w_0 = \sum_m \sum_n A_{0mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (1)$$

$$w = \sum_m \sum_n A_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (2)$$

여기서,  $A_{0mn}, A_{mn}$ 은 각 모드의 초기처짐 및 전체처짐의 계수를 나타낸다.

2.2 면내응력성분 및 변형률성분

평판의 Airy의 응력함수를  $F$ 로 한다면 대처짐이 생기는 판

의 적합조건은 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{\partial^4 F}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 F}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 F}{\partial y^4} = E \left\{ \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 - \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) - \left( \frac{\partial^2 w_n}{\partial x \partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial^2 w_n}{\partial x^2} \right) \left( \frac{\partial^2 w_n}{\partial y^2} \right) \right\} \quad (3)$$

여기서,  $E$ 는 탄성계수를 나타낸다.

윗식에 식(1) 및 식(2)를 대입하여 하중조건을 고려하면 다음 식과 같이 응력함수  $F$ 가 구하여진다.

$$F = \frac{Ea^2}{4} \sum_m \sum_n \sum_k \sum_l (A_{mn} A_{kl} - A_{0mn} A_{0kl}) \times \left[ \frac{ml(nk - ml)}{[(m+k)^2 + a^2(n+l)^2]^2} \cos \frac{(m+k)\pi x}{a} \times \cos \frac{(n+l)\pi y}{b} \times \frac{ml(nk + ml)}{[(m+k)^2 + a^2(n-l)^2]^2} \cos \frac{(m+k)\pi x}{a} \times \cos \frac{(n-l)\pi y}{b} \times \frac{ml(nk + ml)}{[(m-k)^2 + a^2(n+l)^2]^2} \cos \frac{(m-k)\pi x}{a} \times \cos \frac{(n+l)\pi y}{b} \times \frac{ml(nk - ml)}{(m-k)^2 + a^2(n-l)^2} \cos \frac{(m-k)\pi x}{a} \times \cos \frac{(n-l)\pi y}{b} \right] - \frac{y^2}{2} \sigma \quad (4)$$

여기서,  $\sigma$ 는 평균압축응력을 나타낸다. 또,  $a=a/b$ 는 판의 종횡비를 나타낸다.

응력함수  $F$ 를 이용하면, 판내부의 면내응력  $\sigma_{xp}, \sigma_{yp}$  및  $\tau_{xyp}$ 는 각각 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\sigma_{xp} = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \quad (5)$$

$$\sigma_{yp} = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \quad (6)$$

$$\tau_{xyp} = - \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} \quad (7)$$

또, 이런 응력에 대응하는 변형률은 평면응력상태로 가정하면, 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\epsilon_{xp} = \frac{1}{E} (\sigma_{xp} - \nu \sigma_{yp}) \quad (8)$$

$$\epsilon_{yp} = \frac{1}{E}(\sigma_{yp} - \nu\sigma_{xp}) \quad (9)$$

$$\gamma_{xyp} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{xyp} \quad (10)$$

여기서,  $\nu$ 는 포아송비를 나타낸다.

### 2.3 굽힘변형률성분 및 응력성분

굽힘변형률성분은 다음 식으로 주어진다.

$$\epsilon_{xb} = -z \frac{\partial^2}{\partial x^2} (w - w_0) \quad (11)$$

$$\epsilon_{yb} = -z \frac{\partial^2}{\partial y^2} (w - w_0) \quad (12)$$

$$\gamma_{xyb} = 2z \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} (w - w_0) \quad (13)$$

이로부터, 굽힘응력성분  $\sigma_{xb}$ ,  $\sigma_{yb}$  및  $\tau_{xyb}$  는 다음 식과 같이 구하여 진다.

$$\sigma_{xb} = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_{xb} + \nu\epsilon_{yb}) \quad (14)$$

$$\sigma_{yb} = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_{yb} + \nu\epsilon_{xb}) \quad (15)$$

$$\tau_{xyb} = \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma_{xyb} \quad (16)$$

### 2.4 하중방향의 면내변위

한편,  $x$ 방향의 평균면내압축변위를  $u$ 라고 하면,  $x$ 방향의 면내변형률은 다음 식으로 주어진다.

$$\epsilon_{xp} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 - \left( \frac{\partial w_0}{\partial x} \right)^2 \right\} \quad (17)$$

윗 식을  $x$ 로 적분하면, 평균면내압축변위  $u$ 는 다음 식과 같이 구하여진다.

$$\begin{aligned} u &= \frac{1}{b} \int_0^b \int_0^a \frac{\partial u}{\partial x} dy dx \\ &= -\frac{a}{E} \sigma - \frac{\pi^2}{8a} \sum_m \sum_n (A_{mn}^2 - A_{0mn}^2) m^2 \end{aligned} \quad (18)$$

면내의 압축변형률은 윗식을 길이  $a$ 로 나누면 다음 식으로 된다.

$$\epsilon = -\frac{1}{E} \sigma - \frac{\pi^2}{8a^2} \sum_m \sum_n (A_{mn}^2 - A_{0mn}^2) m^2 \quad (19)$$

### 2.5 평형방정식

가상일의 원리를 적용하여 평형방정식을 도출한다. 다음에서 기술하는 바와 같이 본 연구에서는 기본적으로는 증분형해식을 행하기 위하여 증분형으로 평형방정식을 정식화한다. 평균압축응력  $\sigma$ 의 작용하에서 판에 평균압축변위  $u$ 가 생기고, 판내부에는 응력 ( $\sigma_{xp} + \sigma_{xb}$ ), ( $\sigma_{yp} + \sigma_{yb}$ ) 및 ( $\tau_{xyp} + \tau_{xyb}$ )가 생겨서 평형상태가 된다. 이 상태에서부터  $\sigma$ 가  $\Delta\sigma$ 만 증가하여 응력증분 ( $\Delta\sigma_{xp} + \Delta\sigma_{xb}$ ), ( $\Delta\sigma_{yp} + \Delta\sigma_{yb}$ ) 및 ( $\Delta\tau_{xyp} + \Delta\tau_{xyb}$ )가 생기고, 이 상태에서 가상압축변위증분  $\delta\Delta u$ 를 주었을 때의 외력이 행한 가상일  $\delta\Delta W_e$ 는 다음 식으로 된다.

$$\delta\Delta W_e = -bt(\sigma + \Delta\sigma)\delta\Delta u \quad (20)$$

또, 판의 응력이 가상변형률  $\delta\Delta\epsilon_x$ ,  $\delta\Delta\epsilon_y$  및  $\delta\Delta\gamma_{xy}$ 에 대하여 행한 가상일  $\delta\Delta W_i$ 은 다음 식으로 된다.

$$\begin{aligned} \delta\Delta W_i &= \int_0^a \int_0^b \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} \times \\ & \left[ (\sigma_{xp} + \sigma_{xb} + \Delta\sigma_{xp} + \Delta\sigma_{xb}) \delta(\Delta\epsilon_{xp} + \Delta\epsilon_{xb}) \right. \\ & \left. + (\sigma_{yp} + \sigma_{yb} + \Delta\sigma_{yp} + \Delta\sigma_{yb}) \delta(\Delta\epsilon_{yp} + \Delta\epsilon_{yb}) \right. \\ & \left. + (\tau_{xyp} + \tau_{xyb} + \Delta\tau_{xyp} + \Delta\tau_{xyb}) \delta(\Delta\gamma_{xyp} + \Delta\gamma_{xyb}) \right] \\ & dz dy dx \end{aligned} \quad (21)$$

판의 응력성분 및 변형률성분을 식(20)과 식(21)에 대입하면 다음 식이 얻어진다.

$$\delta\Delta W_e = \frac{\pi^2 bt}{4a} \sum_m \sum_n m^2 (\sigma A_{mn} + \Delta\sigma A_{mn} + \sigma\Delta A_{mn} + \Delta\sigma\Delta A_{mn}) \delta\Delta A_{mn} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \delta\Delta W_i &= t \sum_n \sum_m \sum_k \sum_l \sum_p \sum_q \sum_r \sum_s \\ & \times \left[ (A_{mn} A_{kl} - A_{0mn} A_{0kl} + A_{mn} \Delta A_{kl} + A_{kl} \Delta A_{mn} \right. \\ & \left. + \Delta A_{kl} \Delta A_{mn}) (A_{pq} + \Delta A_{pq}) \delta\Delta A_{rs} \right. \\ & \left. + (A_{rs} + \Delta A_{rs}) \delta\Delta A_{pq} \right] H(m, n, k, l, p, q, r, s) \\ & + \frac{\pi^4 Dab}{4} \sum_m \sum_n \left( \frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)^2 (A_{mn} - A_{0mn} \\ & + \Delta A_{mn}) \times \delta\Delta A_{mn} \end{aligned} \quad (23)$$

여기서, 가상일의 원리를 적용하면 식(22)와 (23)은 다음 식으로 된다.

$$\delta\Delta W_e = \delta\Delta W_i \quad (24)$$

윗 식으로부터 저급계수의 증분  $\Delta A_{mn}$ 과 평균압축응력의 증분  $\Delta\sigma$ 간의 관계가 다음과 같은 형태로 구해진다. 여기서, 계수  $II(m, n, k, l, p, q, r, s)$ 는 판의 치수, 탄성계수 및 반파수를

나타내는 정수파라메타  $m \sim s$ 의 함수이다.

$$\begin{aligned} & t \sum_m \sum_n \sum_k \sum_l \sum_p \sum_q \sum_r \sum_s [(A_{mn} A_{kl} \\ & - A_{0mn} A_{0kl} + A_{mn} \Delta A_{kl} + A_{kl} \Delta A_{mn} + \Delta A_{kl} \Delta A_{mn}) \\ & \times (A_{pq} + \Delta A_{pq}) \delta \Delta A_{rs} + (A_{rs} + \Delta A_{rs}) \delta \Delta A_{pq}] \\ & \times H(m, n, k, l, p, q, r, s) + \frac{\pi^4 Dab}{4} \sum_m \sum_n \left( \frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)^2 \\ & \times (A_{mn} - A_{0mn} + \Delta A_{mn}) \delta \Delta A_{mn} - \frac{\pi^2 bt}{4a} \sum_m \sum_n m^2 \\ & \times (\sigma A_{mn} + \Delta \sigma A_{mn} + \sigma \Delta A_{mn}) \delta \Delta A_{mn} = 0 \end{aligned} \quad (25)$$

위 식은 처짐계수의 증분에 관한 1차의 연립방정식으로 되어 다음 식과 같은 매트릭스로 표시할 수 있다.

$$[A] \{ \Delta A \} = \Delta \sigma \{ R \} + \{ Q \} \quad (26)$$

여기서,  $\{ \Delta A \} = [ \Delta A_{11} \Delta A_{12} \Delta A_{13} \dots \Delta A_{mn} ]^T$ 이다.

$\Delta \sigma \{ R \}$ 은 외력증분을 나타내고,  $\{ R \}$ 은 처짐계수  $A_{mn}$  및  $A_{0mn}$ 의 함수이다. 한편,  $\{ Q \}$ 는 증분간을 선형근사한 것에 의해 나타내는 불평형력을 수정하기 위한 항이다. 완전한 평형상태라면  $\{ Q \} = \{ 0 \}$ 로 된다. 식(26)은 처짐성분의 증분  $\Delta A_{mn}$ 에 관한 1차의 연립방정식으로 된다.

본 논문에서는 증분형의 해석외에 전체 처짐을 미지수로 하는 해석도 행하였다. 이 해석의 기초식은 증분의 가상변위를 생각하는 대신에 전변위의 가상변위를 생각해서 구하였다. 즉, 통상의 가상일의 원리  $\delta W_e = \delta W_i$ 를 적용하면 전체 처짐성분  $A_{mn}$ 에 관한 3차연립방정식이 다음 식과 같이 구하여진다.

$$\begin{aligned} & t \sum_m \sum_n \sum_k \sum_l \sum_p \sum_q \sum_r \sum_s \\ & \times [(A_{mn} A_{kl} - A_{0mn} A_{0kl}) \\ & \times (A_{pq} \delta A_{rs} + A_{rs} \delta A_{pq})] H(m, n, k, l, p, q, r, s) \\ & + \frac{\pi^4 Dab}{4} \sum_m \sum_n \left( \frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)^2 (A_{mn} - A_{0mn}) \delta A_{mn} \\ & - \frac{\pi^2 bt}{4a} \sum_m \sum_n m^2 \sigma A_{mn} \delta A_{mn} = 0 \end{aligned} \quad (27)$$

여기서, 가장 단순한 경우로서 다음과 같이 초기처짐 및 전체 처짐성분이 하나의 처짐성분만으로 나타나는 경우를 생각할 수 있다.

$$w_0 = A_{0m} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b} \quad (28)$$

$$w = A_m \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b} \quad (29)$$

여기서,  $A_{0m}$  및  $A_m$ 은 초기처짐 및 전체처짐의 계수를 나타

낸다. 이 경우의 평균압축응력  $\sigma$ 와 처짐성분  $A_m$ 의 관계는 다음 식으로 주어진다.

$$\begin{aligned} & \frac{m^2 \pi^2 a^2 E}{16} \left( \frac{1}{a^4} + \frac{1}{b^4} \right) (A_m^2 - A_{0m}^2) A_m + \\ & \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left( \frac{t}{b} \right)^2 \left( \frac{\alpha}{m} + \frac{m}{\alpha} \right)^2 (A_m - A_{0m}) - \sigma A = 0 \end{aligned} \quad (30)$$

여기서,  $\alpha = a/b$ 는 판의 종횡비,  $m$ 은 하중방향의 반파수를 나타낸다. 이 식으로부터 좌굴후의 면내강성을 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = E \frac{m^4 + \left( \frac{a}{b} \right)^4}{3m^4 + \left( \frac{a}{b} \right)^4} \quad (31)$$

### 3. 수치해석 및 고찰

상갑판이나 선저판의 면내강성을 알아 보기 위하여 선박에 가장 자주 사용되고 있는 판의 종횡비에 따른 면내강성에 대하여 알아 보고자 한다. 선체판에 대하여 초기처짐이 없는 경우 좌굴후의 면내강성은 식(31)에 나타내고 있다. 면내강성을 종횡비에 대하여 그래프로 나타내면 Fig.2로 나타낼 수 있다. 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 좌굴모드가 변화하는 종횡비에서 판의 면내강성은 불연속적으로 변화하는 것을 알 수 있다. 이것은 좌굴이 발생한 이후에 면내강성이 크게 저하하게 됨을 알 수 있었으며 종횡비에 따라서 같은 모드내에서도 면내강성이 크게 다를 수 있다. 이 그림중에서 각 모드에서의 가장 높은 면내강성과 가장 낮은 면내강성을 서로 연결하여 최소자승법을 이용하여 다음과 같이 면내강성식을 도출하였다.

(a) 면내강성의 상한식

$$(d\sigma/d\varepsilon)/E = -0.0015\xi^4 + 0.0172\xi^3 - 0.0046\xi^2 - 0.0591\xi + 0.8475$$

(b) 면내강성의 하한식

$$(d\sigma/d\varepsilon)/E = 0.0002\xi^4 - 0.0027\xi^3 + 0.0047\xi^2 + 0.0372\xi + 0.3294$$

여기서,  $\xi = a/b$

위와 같은 식으로부터 선박에 사용되고 있는 종횡비의 선체판에 대하여 좌굴후의 면내강성을 구할 수 있으며 실제시중 중요한 지침서로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

Fig. 3은 정사각형판의 탄성선형거동, 탄성대변형거동, 그리고 탄소성대변형거동에 있어서의 면내강성의 변화에 대하여 나타내고 있다. 여기서 탄소성대변형해석은 범한유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 해석하였다. 본 해석에 사용된 유한요소는 4절점을 가진 사각형요소(Shell 181)를 사용하였으며 더욱 자세한 해석모델링에 대하여는 참고문헌에 있기

때문에 여기서는 생략하기로 한다.(고,(2002)) 이 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 탄성선형거동에서는 좌굴이 발생하면 면내강성이 완전히 절반으로 감소하는 것을 나타내고 있으며 탄성 대변형거동에서는 좌굴이후에도 서서히 면내강성이 감소함을 알 수 있다. 또한 탄소성대변형거동에서는 초기항복이 발생하면 판의 소성이 진전됨에 따라 면내강성이 급격히 감소하다가 최종강도에 도달해서는 면내강성이 제로가 됨을 알 수 있다. 면내강성이 제로가 됨으로서 선체판으로서의 모든 역할을 마감하고 있음을 나타내고 있다.

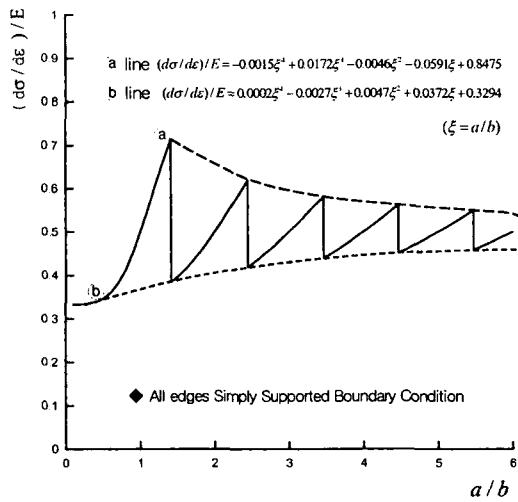


Fig.2 In-plane rigidity change at simply supported boundary condition

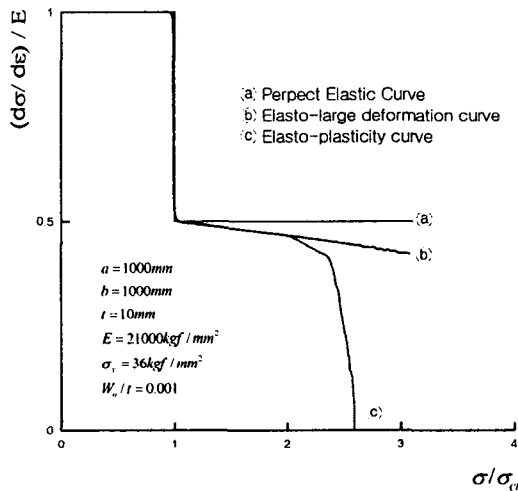


Fig.3 A comparison analysis type with in-plane rigidity change

여기서 초기처짐이 면내강성에 미치는 영향에 대하여 알아보기 위하여 선체판에 대하여 여러 초기처짐에 대한 면내강성을 해석하여 그림으로 나타 낸 것이 Fig.4이다. 이 그림으로 알 수 있는 바와 같이 초기처짐이 존재하게 되는 경우 면내압축하중이 작용하는 순간부터 면내강성이 저하하게 됨을 알 수

있으며 역시 초기처짐이 커짐에 따라 면내강성의 저하가 크게 나타남을 알 수 있다. 따라서, 면내강성이 요구되는 선체판에서는 초기처짐이 발생하지 않도록 절단이나 용접에 있어서 주의가 요망됨을 알 수 있다. 물론, 어떠한 용접이나 절단에 있어서도 초기처짐이 필연적으로 선체판 두께의 10%정도는 발생하기 때문에 이에 맞는 선박설계가 필요하다. 면내강성이 요구되는 곳에서는 특히 종강도를 담당하는 거더 등에서는 절실한 강도계산이 요구된다.

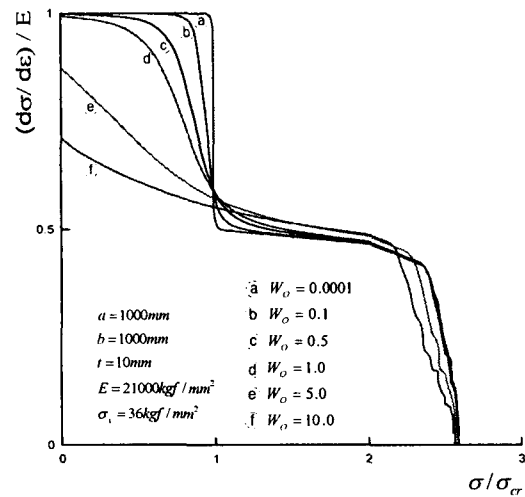


Fig.4 A comparison initial deflection with in-plane rigidity change

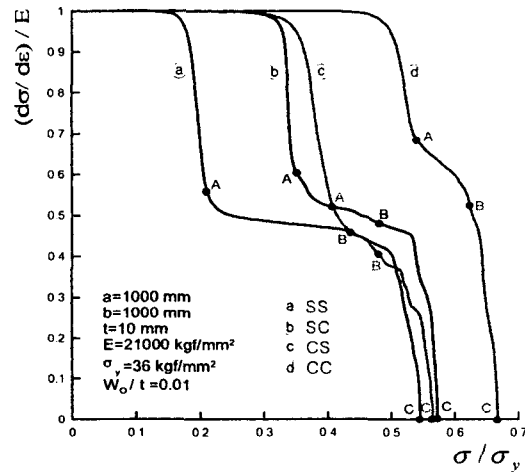


Fig.5 A comparison each boundary condition with in-plane rigidity change of a square plate

또한, 경계조건에 따른 면내강성을 해석하기 위하여 4가지 경계조건에 대하여 탄소성대변형해석을 수행하였다. 본 연구에 사용된 경계조건은 첫 번째는 네 면이 단순지지(SS), 두 번째는 하중면은 단순지지이고 비하중면은 고정지지(SC), 세 번째는 비하중면은 고정지지이고 하중면은 단순지지(CS), 네 번째는 네 면 모두 고정지지(CC)이다. 이 네가지 경우의 해석

결과를 Fig.5에 나타내고 있다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 주변의 경계조건이 고정인 경우에는 면내강성이 높게 나타남을 알 수 있다.

따라서, 면내강성이 요구되는 곳에서는 주변의 경계조건을 고정으로 해야함을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 선체의 상갑판과 선저판을 형성하고 있는 판을 대상으로 하여 면내압축하중을 받고 있는 경우 면내강성을 알아보기 위하여 판을 지배하는 미분방정식으로부터 면내강성을 나타내는 식을 도출하였으며, 탄소성대변형해석을 위하여 범용유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 면내강성을 구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 좌굴모드가 변하는 종횡비에서 판의 면내강성이 불연속적으로 변한다. 또한 같은 좌굴모드에서도 종횡비에 따라 면내강성이 다르게 나타남을 알 수 있었다.
- (2) 판의 면내강성은 좌굴과 소성에 의하여 면내강성이 급격히 감소함을 알 수 있었고, 판구조물의 붕괴강도인 최종강도에서 면내강성이 제로가 됨을 알 수 있었다.
- (3) 또한, 용접이나 절단에 의하여 생성되는 판의 초기거짐에 의하여 면내강성이 크게 저하 됨을 알 수 있다.
- (4) 그리고, 선체판의 경계조건에 따른 면내강성이 아주 다르게 나타나는 데 경계조건이 고정인 곳에서 역시 면내강성이 크게 나타남을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] 백점기 외, "판부재의 탄소성대변형 유한요소해석문제에서의 수렴기법에 관한 고찰", 한국전산구조공학회논문집, 제2권, 제3호, pp97-103, 1989.
- [2] 고재용:"에너지법에 의한 선체판의 기하학적 비선형거동에 관한 연구", 대한조선학회논문집, 제36권 제2호, pp.94-104, 1999.
- [3] 고재용, 박주신: "면내압축하중을 받고 있는 고장력강판의 경계조건에 따른 최종강도에 관한 연구", 대한조선학회, 2002년도 추계학술발표회, 2002.
- [4] 都井裕, 川井忠彦: "構造要素の衝突壓壊強度に関する基礎的研究 (その1)-有限要素法による超人變形解析-", 日本造船學會論文集, 第159號, pp.248-257, 1986.
- [5] Namura, T. and Uctani, K.: "Secondary Buckling and Post-Secondary Buckling Behaviours of Rectangular Plates", Int. J. Mech. Sci., Vol.21, pp.256-286, 1979.
- [6] Y. Ueda and T. Yao, The Influence of Complex Initial Deflection Modes on the Behaviour and Ultimate Strength of Rectangular Plates in Compression, J. of Construction Steel Research, Vol. 5, 1985.
- [7] J.K. Paik and C.Y. Kim, A Simplified Finite Element Method for the Ultimate Strength Analysis of Plates with Initial Imperfections, J. of the Society of Naval Architecture.