
 論 文

大韓造船學會論文集
 제 30 卷 第 2 號 1993 年 5 月
 Transactions of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 30, No. 2, May 1993

선박기관실 구조의 특설늑골 설계에 대한 연구

박종진*, 강병석*

A Study for Web Frame Design on Engine Room Structure of Ship

by

J. J. Park* and B. S. Kang*

요 약

본 논문은 선박 기관실의 특설늑골에 대한 치수결정 방법으로써 하나의 접근방법을 서술하였다.

특설늑골의 치수결정 인자는 실적선의 데이터를 중심으로 조사, 연구되었으며, 그 구성인자로는 주로 갑판간 거리, 주기 및 프로펠러 기진 주파수, 만재출수선, 특설늑골 배치간격, 갑판수 그리고 주기마력 등이다.

이러한 주요인자를 기초로 정하중 및 동하중이 고려된 특설 늑골 치수를 결정할 수 있는 설계식을 유도하였다.

본 논문은 기관실구조의 특설늑골의 치수를 검토할 수 있는 한 방법으로써 설계단계에서 정하중 및 동하중을 고려한 합리적인 설계가 될 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract

A design method for web frame scantling on engine room structures was described.

The parameters determining the scantling of web frame were studied on the basis of the empirical ship's data.

It is found that the parameters determining the scantling of web frame consist of tween deck height, main engine and propeller excitation frequency, scantling draft, web frame spacing, the number of decks and main engine BHP etc.

And a formula proposed by empirical ship's data was established in view points of static

발 표 : 1992년도 대한조선학회 추계연구발표회('92. 11. 14)

접수일자 : 1992년 12월 3일, 재접수일자 : 1993년 2월 9일

*정회원, 삼성중공업(주)

and dynamic structural behavior.

In this study, it can be shown that at initial design stage, a method for web frame scantling of engine room structure is provided as very practical design processes.

1. 서 론

선박의 대형화 및 주기관의 대형화에 따라 기진력의 증대와 연료 소모율 향상을 위한 저회전수에 따른 기진원의 진동수 저하등이 선박 기관실 구조를 형성하고 있는 선체구조에 주요 설계인자로 대두되어 왔다. 그런데 선박 기관실 구조와 같이 복잡한 구조물로 형성되어 있는 경우 초기설계 단계에서 정량적으로 구조의 강도와 강성을 만족토록 각구조의 물성치를 예측한다는 것은 무척 어려울 뿐만 아니라 주기의 마력, 프로펠러의 외력에 대한 강성유지 및 적절한 강도등을 고려하여 설계하기에는 각 조선소의 공기(工期)상 상당한 무리가 따르는 실정이다. 유한요소법 등을 이용한 정적, 동적 구조해석 또한 초기 단계에서는 많은 시간과 노력이 필요하므로 설계공기 및 경제성 측면에서 비효율성을 초래할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 실적선을 데이터화하여 설계단계에서 기관실 특설늑골의 최적 부재치수를 유도할 수 있도록 정리하였다. 각 실적선의 데이터는 ① 선박의 주기관 및 프로펠러의 외력과 선체부재와의 관계 ② 갑판 배치 및 기관실 선형에 따른 특설늑골의 부재치수를 근간으로 정리하였으며, 배의 길이는 150미터이상 300미터이하, 주기관은 저속디젤엔진 6000BHP이상 50000BHP 이하인 배에서 고찰하였으며, 주로 산적 화물선, 유조선 및 컨테이너선을 중심으로 정리된 점을 첨언한다. Fig.1.1은 일반 상선에서의 기관실 단면 및 각 기호를 나타내고 있다.

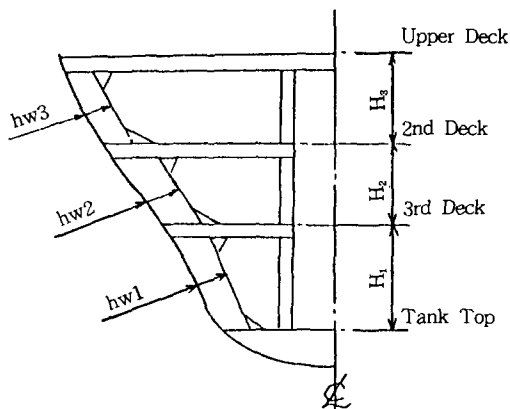


Fig.1.1 Engine room section

◆ 기호설명

- ω_n : 고유진동수 (cpm)
- ω_e : 기진주파수 (cpm)
- A : 단면적 (cm²)
- γ : 단면질량(kg)
- H_1 : 기관실 이층저부터 직상부 갑판간 거리(m)
- A_f : 면재 단면적 (cm²)
- A_w : 웨브 단면적 (=tw, hw)(cm²)
- t_w : 웨브 두께 (mm)
- h_w : 웨브 높이 (cm)
- S : 특설늑골 간격(m)
- I : 단면2차 모멘트(cm⁴)
- Z : 단면계수(cm³)
- ds : 만재출수(m)
- cl_e : 주기관 기진 주파수에 따른 계수
- cl_p : 프로펠러 기진 주파수에 따른 계수

2. 기관실 특설늑골에 추가되는 하중의 종류에 대한 고찰

2.1 기관실 구조에 작용하는 하중

기관실의 단면은 상부 구조물의 하중, 해수에 의한 압력, 주기관의 무게, 각 갑판에 작용하는 기기하중 및 자중 등에 따른 정적하중 뿐만 아니라 주기관, 프로펠러, 보기, 선체운동, 파랑하중 등에 따라 동적하중을 받는 복잡한 형태를 이루고 있다. 이러한 복잡한 하중을 2차원적 성분으로 세분하면 상하하중 및 수평하중으로 구별할 수 있는데, 상하하중은 최하단 웨브에서 강성 및 강도를 유지할 수 있어야 하며, 수평하중은 단면 2차 모멘트 및 하중종류에 따라 주위 구조물로 배분되어 진다.

2.2 동적하중에 대한 고찰

기관실내 주요 선체 부재에 영향을 주는 동적 외력 으로서는 주기관, 프로펠러 및 발전기등에 의한 기진력으로 구분되어 지는데, 이들중 특히 중요한 기진원 으로서는 주기관 및 프로펠러이다. 주기관 및 프로펠러 기진력은 일반적으로 Table 2.1에 나타낸 바와 같다 [1,3,4].

Table 2.1 Excitation frequency.

기진력의 종류		기진주파수 (cpm)
프로펠러 기진력		$n \times \text{rpm} \times z$ ($n=1,2,3\dots$) (z : 프로펠러 날개수)
주기관	관성력	$m \times \text{rpm}$ ($m=1,2$)
	가스압력변동	$c \times \text{rpm}$ (c : 실린더수에 따른 계수)

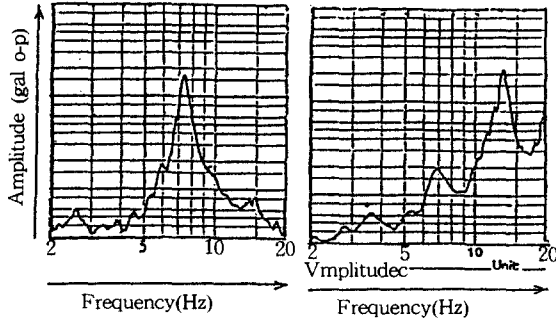


Fig.2.1 Vibration measured result
기통수 = 6개
회전수 = 71.5rpm

Fig.2.2 Vibration measured result
날개수 = 4개
회전수 = 95rpm

본 연구에서는 주로 프로펠러의 2차성분 및 가스압력변동에 따른 주기관 착화 진동수만 고려하였다. Fig.2.1 및 Fig.2.2는 실제선 국부구조물의 계측 결과의 예를 나타내었다. 실제계측결과 프로펠러는 주로 1,2차성분이, 주기관은 주로 가스압력변동에 의한 성분이 지배적인 것을 볼 수 있다.

3. 데이터 정리를 위한 가정

3.1 강도유지측면

일반적으로 보이론에 따라 단면계수 Z_{req} 는 압력 P , 지지점간거리 ℓ_e , 특설늑골간격 S , 허용응력 σ_a 의 함수로 볼 수 있다[6].

$$Z_{req} \propto \frac{P \cdot \ell_e^2 \cdot S}{\sigma_a} \dots\dots\dots (3.1.a)$$

식(3.1.a)에서 허용응력 σ_a 는 일정한 값을 갖는다면 다음과 같이 된다.

$$Z_{req} \propto P \cdot \ell_e^2 \cdot S \dots\dots\dots (3.1.b)$$

3.2 강성유지측면

강성설계(방진설계)는 크게 공진회피 설계와 진동응답 허용치 설계로 구분할 수 있다.

3.2.1 공진회피 설계에 대한 가정

구조물이 갖는 고유진동수 ω_n 및 기진력의 진동수 ω_e 와의 관계에서 공진회피를 위해 $\omega_n \geq$ 안전계수, $x\omega_e$ 가 되도록 하여 ω_n 은 다음과 같이 나타낼 수 있다 [5].

$$\omega_n \propto \frac{1}{\ell_e^2} \cdot \sqrt{\frac{I}{A}} \dots\dots\dots (3.2)$$

식(3.2)을 ω_n 대신 ω_e 를 대입하면 다음과 같다.

$$I_{req} \propto SF^2 \cdot \ell_e^4 \cdot \omega_e^2 \cdot A \dots\dots\dots (3.3.a)$$

$$\text{즉, } I_{req} \propto \ell_e^4 \cdot \omega_e^2 \cdot A \dots\dots\dots (3.3.b)$$

단, SF는 안전계수

3.2.2 진동응답 허용치 설계에 대한 가정

선박의 기관실에서는 구조물의 고유진동수와 기진력 사이에 공진을 일으키지 않더라도 강제외력에 따른 진동을 고려할 필요가 있다. 구조물에 $F = P_0 \cdot \sin \omega_e \cdot t$ 로 외력이 가해질 경우 진폭 x 는 다음과 같이 표기할 수 있다[3].

$$x = X \sin \omega_e t$$

$$= \frac{P_0}{\gamma \omega_n^2} \cdot \frac{1}{1 - (\omega_e / \omega_n)^2} \sin \omega_e \cdot t \dots\dots\dots (3.4)$$

공진점에서 벗어난 상태의 $\omega_n \gg \omega_e$ 인 경우,

$$\frac{1}{1 - (\omega_e / \omega_n)^2} \simeq 1.0 \dots\dots\dots (3.5)$$

이고, 식(3.4)을 다시 나타내면 진폭 X 는 다음과 같다.

$$X = \frac{P_0}{\gamma \omega_n^2} \dots\dots\dots (3.6)$$

또한 $P_0 \propto SHP \propto BHP$, $\gamma \propto A$ 이므로 식(3.6)에 식(3.2)를 대입하여 정리하면,

$$\frac{I}{\ell_n^4} \propto \frac{BHP}{X} \dots\dots\dots (3.7.a)$$

이고, 주어진 최대허용 진폭이 일정하다면 식 (3.7.a)는 다음과 같다.

$$\frac{I}{\ell_e^4} \propto \text{BHP} \dots\dots\dots(3.7.b)$$

식(3.1.b)와 식(3.3.b)에서 각각 요구되어지는 것은 단면계수 Zreq와 단면2차 모멘트 Ireq이다.

여기서 특설늑골이 갖는 설계준법은 한개인 반면, 요구되어지는 특성치는 2가지임을 알 수 있다.

그런데, 특설늑골의 단면형상이 I형상에서 많이 벗어나지 않는다면 일정한 특설늑골의 웨브 높이에 따른 단면의 2차 모멘트I와 단면계수Z는 면재넓이의 함수로 되어진다.

그런데, 실제 설계시 면재 넓이는 통상 웨브높이의 함수로 주어지는 경우가 많다. 따라서 식(3.1.b)와 식(3.3.a)에서 단면 목적함수를 단면 2차 모멘트 I로 정하고 단면 목적 함수의 강도(Z), 강성(I)의 변수 ℓ_e, ω_e, P, S 관계에서 변수의 고차 성분만을 고려한 식과 식(3.7.b)와의 관계식을

$$\frac{I}{\ell_e^4 \cdot \omega_e^2 \cdot P \cdot S} \propto \text{BHP} \dots\dots\dots(3.8)$$

로 가정하고, ℓ_e 는 기관실의 구조에서는 갑판간거리 H_1 로, 해수압력 p는 선박의 만재홀수 ds로 치환하여 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{I}{H_1^4 \cdot \omega_e^2 \cdot ds \cdot S} \propto \text{BHP} \dots\dots\dots(3.9)$$

3.3 특설늑골 단면특성에 대한 고찰

특설늑골의 단면을 형성하는 외판의 유효폭(Effective breadth)은 면재에 비하여 상당히 크므로 중성축은 외판에 가깝게 위치한다. 만약, 외판의 유효폭이 무한히 크면 단면 중성축은 외판에 위치하므로,

$$I = \frac{tw \cdot hw^3}{3} + A_f \cdot hw^2 \dots\dots\dots(3.10)$$

으로 표시되고, 실제 외판이 유효폭을 갖는 단면2차 모멘트 I는

$$I = \eta \cdot hw^2 \cdot \left(\frac{tw \cdot hw}{3} + A_f \right) \dots\dots\dots(3.11)$$

로 된다. 단 η 는 단면에 따른 계수다.

실제 단면에서의 η 값을 계산해보면 Fig3.2에 나타난 바와 같이 $\eta = 0.84 \sim 0.86$ 에 존재한다. 또, 면재의 단면적 A_f 의 최적치가 $0.25 \sim 0.33Aw$ 인 것을 고려하여 $A_f = 0.3Aw$ 를 식(3.11)에 대입, 정리하면 다음과 같다[4].

$$hw = 2.65 \times \sqrt[3]{\frac{I}{tw}} \dots\dots\dots(3.12)$$

또, 단면의 높이와 지지점과의 관계에서는 식(3.3.b), 식(3.12)에 주어진 선박의 ω_e, ds, S 가 일정하면,

$$I \propto H^4, I \propto hw^3 \dots\dots\dots(3.13)$$

따라서

$$\left(\frac{hw^{3/4}}{H} \right)_1 = (\text{상수})_1, \left(\frac{hw^{3/4}}{H} \right)_2 = (\text{상수})_2 \dots\dots\dots(3.14)$$

가 된다.

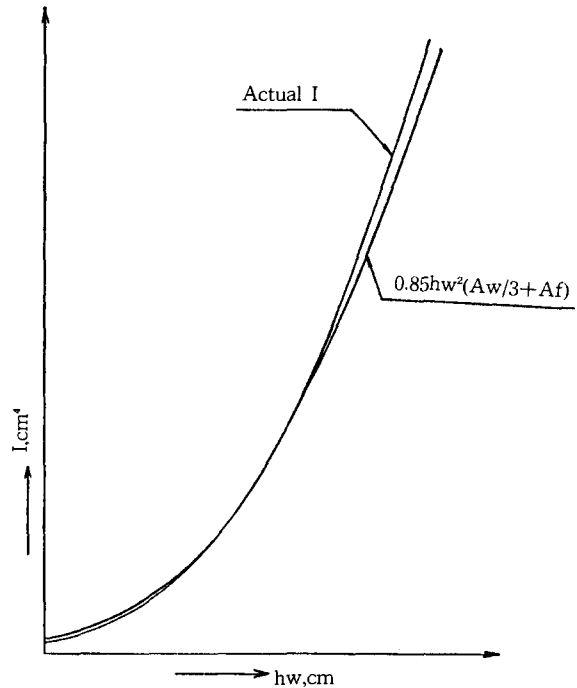


Fig.3.2 Comparison graph for 40 < hw < 150

4. 설계주요인자

4.1 최하단 특설늑골의 단면2차 모멘트와 설계상수

식(3.9)에 기초한 실적선 데이터를 고려하기 위하여 종축은 최하단 특설늑골의 단면2차 모멘트에 대한 H_1 , ω_e , ds, S의 값을 취하고 횡축은 각 선박에 갖는 BHP를 취하여 정리 하면 Fig.4.1 및 Fig.4.2와 같이 나타난다. 단, Fig.4.1 및 Fig.4.2 각각의 기진 진동수 ω_e 는 주기관의 실린더수 차수 및 프로펠러 2차 주파수에 대한 값이다.

Fig.4.1 및 Fig.4.2는 실적선 주기관의 BHP와 H_1 , ω_e , ds, S와의 상관관계를 식(3.9)에 따라 표기하였다.

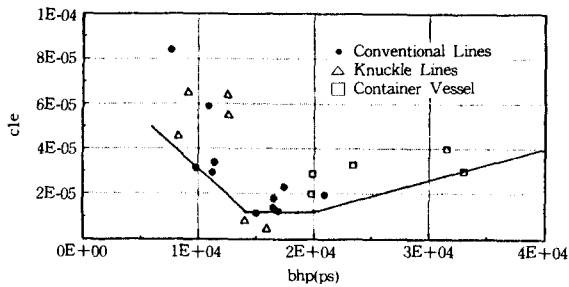


Fig.4.1 Cle for empirical ship's data

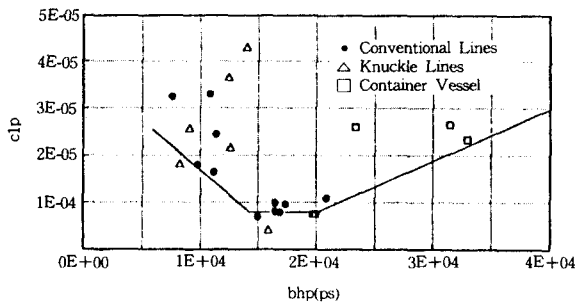


Fig.4.2 Clp for empirical ship's data

Table 4.1 Cle, Clp Value for empirical ship's data

주기관 기진력	프로펠러 기진력
$Cle = (7.85 - 4.75E - 48x\text{BHP}) \times 10^{-5}$ for $6000\text{ps} \leq \text{BHP} \leq 14000\text{ps}$ $= 1.2 \times 10^{-5}$ for $14000\text{ps} \leq \text{BHP} < 20000\text{ps}$ $= (1.4E - 4x\text{BHP} - 1.6) \times 10^{-5}$ for $20000 \leq \text{BHP}$	$Clp = (3.775 - 2.125E - 4x\text{BHP}) \times 10^{-5}$ for $6000\text{ps} \leq \text{BHP} \leq 14000\text{ps}$ $= 0.8 \times 10^{-5}$ for $14000\text{ps} \leq \text{BHP} < 20000\text{ps}$ $= (1.1E - 4x\text{BHP} - 1.4) \times 10^{-5}$ for $20000 \leq \text{BHP}$

Fig.4.1 및 Fig.4.2에 나타난 그래프는 당사에서 건조한 실적선중 기관실내 특설늑골에 강도 및 강성의 측면에서 문제가 되지않은 것을 기준으로 최적값을 선택하였다.

각각에 대한 수식을 나타내면 Table 4.1과 같다.

따라서, 최하단 특설늑골에 대한 단면2차 모멘트의 요구치 Ireq는,

$$Ireq = C1 \cdot \omega_e^2 \cdot H_1^4 \cdot S \cdot ds(\text{cm}^4) \dots\dots\dots(4.1)$$

이 된다. 단, C1은 Cle 혹은 Clp로 Table 4.1에 따른다.

4.2 최하단 특설늑골의 단면과 상부 특설늑골과의 관계

H_1 , hw1, hw2와의 상관 관계식(3.14)는,

$$\left(\frac{hw^{3/4}}{H}\right)_1, \left(1/\left(\frac{hw^{3/4}}{H}\right)_2\right) = \text{상수} \dots\dots\dots(4.2)$$

되므로, 실적선 데이터의 정리를 쉽게 하기 위하여 식(4.2)을 다음과 같이 나타낸다.

$$\left(\frac{hw}{H}\right)_1 \cdot \left(\frac{H}{hw}\right)_2 = \text{상수}(C_2, C_3, C_4) \dots\dots\dots(4.3)$$

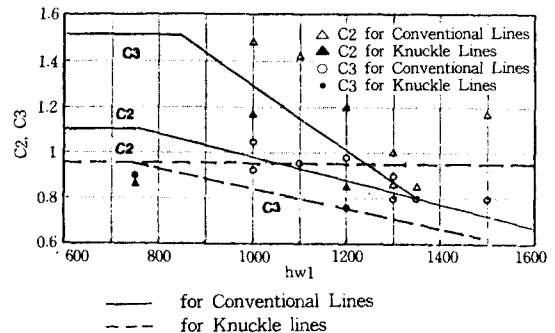


Fig 4.3 C2, C3 for deck engine room

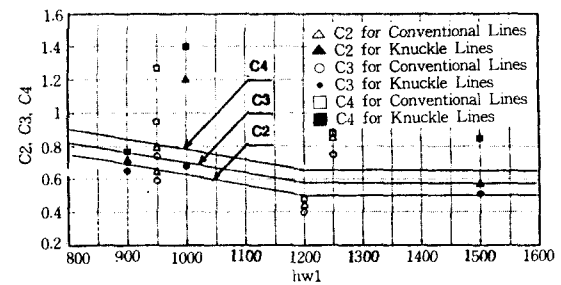


Fig 4.4 C2, C3, C4 for 4 deck engine room

Table 4.2 C₂, C₃ for 3 deck engine room

계수 Line type	C ₂	C ₃
Conventional type lines	C ₂ =1.1 for h1<75 C ₂ =1.464-4.857x 10 ⁻³ h1 for 75<h1	C ₃ =1.54 for h1<85 C ₃ =2.645-1.3x 10 ⁻² h1 for 85<h1<140 C ₃ =C ₂ for h1≥140
Knuckle type lines	C ₂ =0.875	C ₃ =C ₂ for h1<75 C ₃ =1.1-3.0x10 ⁻³ h1 for h1≥75

Table 4.3 C₂, C₃, C₄ for 4 deck engine room

계수 구분	C ₂	C ₃	C ₄
h1<120	1.32-6.75x 10 ⁻³ h1	1.36-6.75x 10 ⁻³ h1	1.44-6.75x 10 ⁻³ h1
h1≥120	0.51	0.57	0.63

식(4.3)을 이용 선형, 위치 및 갑판수에 따른 실적 선 데이터를 Fig.4.3 및 Fig.4.4에 나타내었다.

Fig.4.3 및 Fig.4.4 각각에 따른 경험식을 Table 4.2 및 Table 4.3에 나타내었다.

따라서 최하단 상부의 웨브 높이 hwi는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$hwi = \frac{hw1}{C_i} \cdot \frac{H_i}{H_1} \dots\dots\dots(4.4)$$

단, i = 2, 3, 4

5. 결 론

본 연구에서는 저속 디젤엔진을 갖는 산적화물선, 유조선 및 컨테이너선의 특설늑골 실적 데이터를 활용하여, 특설늑골 설계인자를 체계화하였다. 이러한 체계화된 설계인자를 설계변수화하여 기관실의 특설늑골 설계식을 유도하여 설계시 활용토록 하였다. 주요내용을 요약하면 다음과 같다.

① 저속 디젤엔진을 갖는 산적화물선, 유조선 및 컨테이너선으로서 선박의 길이는 150미터이상 300미터 이하 실적선이 고려되었다.

② 특설늑골을 형성하는 단면의 설계 인자로서는 단면2차 모멘트를 취하였으며, 최하단 특설늑골 단면과 주기관 및 프로펠러와의 관계식은,

$$I_{req} = C_1 \cdot \omega_e^2 \cdot H_1^4 \cdot S \cdot ds(cm^4)$$

$$hw1 = 2.65 \sqrt[3]{I_{req}/tw_1} (cm)$$

로 구할 수 있다. 단, C₁은 Cle 혹은 Clp로 주기 BHP에 따른 함수

③ 최하단의 상부 특설늑골은 최하단 특설늑골의 단면의 함수에서 유도되며,

$$hwi = \frac{hw1}{C_i} \cdot \frac{H_2}{H_1} (cm)$$

로 구할 수 있다. i = 2, 3, 4

본 연구는 선미기관실을 갖는 일반적인 선형의 선박을 실적선으로 하였다. 따라서 여객선, 초고속선 등 특수선형을 갖는 선박에서는 제반인자가 다시 고려되어야 한다. 특설늑골과 기관실 이중저와 갑판의 횡늑골과의 연성거동에 대하여도 연구가 계속 되어 지면 설계시에 상당한 도움이 되리라 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 선박진동.소음 제어지침, 한국선급, 1991
- [2] 김극천, 선체진동응답의 평가, 대한조선학회지, 제26권 2호, 1989
- [3] 선체진동설계지침, 일본해사협회, 1981
- [4] 선미기관실 구조설계에 대하여, 일본서부조선학회 기술 연구회 구조부회, 1980
- [5] 선박기관실방진설계표준, 삼성중공업선체설계 1부, 1990
- [6] 이재신, 선체구조역학, 1981