

G/T 4,500톤級 實習船의 船體最適構造設計 開發에 關한 研究

高 充 燮, 朴 命 圭, 金 成 圭

A study on the development of ship structural design of G/T 4,500 ton class training vessel

Ko, yoon sup. Park, myung kyu. Kim, sung kyu

< 目 次 >	
Abstract	7. 해석
1. 서론	7.1 좌굴해석
2. 설계과정	7.2 주부재의 굽힘 및 전단응력
3. 설계하중	8. 경제성
3.1 외부수압	9. 결론
3.2 갑판하중	10. References
3.3 바람에 의한 하중	Appendix. 1 Local and Hull girder strength
4. 국부강도	Appendix. 2 Three dimensional Beam analysis
4.1 판 및 보강재의 굽힘강도	Appendix. 3 Beam analysis program in rolling condition
4.2 판의 좌굴강도	Appendix. 4 G · A of G/T 4,500 ton class training vessel.
5. 종강도	Appendix. 5 Optimized midship section
6. 주부재의 강도해석	Appendix. 6 Midship section of 練習船 “靑雲丸”
6.1 일반	
6.2 Modelling	
6.3 경계조건	
6.4 하중조건	

Abstract

As voyage costs of ship are very important for reducing total running costs, economical structural design is a way of optimizations for the costs.

In this paper, it is described that G/T 4,500 ton class training vessel is redesigned and optimized with respect to reduction of fabrication costs as well as minimum steel weight.

In the design of midship section, unifying scantlings and simple construction are also dealt for fabrication and maintenance costs.

In order to check the scantlings of the vessel and adjust stress levels, which the vessel will be built in near future, DNV Rule and PILOT program are used.

The optimized midship section of the vessel is compared to similar vessel, which was built in Japan.

1. 서 론

최적구조설계는 선박의 기능과 강도를 만족하는 범위내에서 선체 중량 또는 건조비를 최소로 하는 일련의 과정이다. 지금까지 선체 최적구조설계에 대해 많은 연구가 행해져 오고 있으나, 이는 주로 중량의 최소화에 중점을 두고 있기 때문에 복잡한 구조 및 박판 사용에 따른 제조비증가와 좌굴 등에 따른 강도상의 문제가 대두되므로써 적용상에 어려움을 겪고 있다.

본 연구에서는 일종의 여객선인 새 실습선 "G/T 4,500 ton class training vessel"의 구조설계를 중량의 최소화 뿐만 아니라 제조비 및 운항비의 관점에서 검토하여 강도상의 안정성과 건조비의 절감을 가져오도록 이론적인 방법보다 실무에 이용되도록 노력 하였다. 본 연구를 함에 있어서 각종 계산은 현재 각 조선소에서 많이 사용하고 있는 DNV Rule 및 Pilot program을 이용하여 행하였으며, 간단한 Beam의 해석을 위해 각종 하중에 따른 Beam해석 프로그램을 개발하여 타당성 검토를 하였다.

규정적용 및 구조해석 방법의 폭넓은 검토를 위해 노력하였으나, 구조전체의 설계 및 해석은 방대한 분량이므로 본 논문에서는 선체 중앙부의 연구 결과만 수록하였다. 해석 결과를 일본의 유사실적선인 練習船 "靑雲丸"과 비교 검토 하였으며, 강도의 균등분포, 중량의 감소 및 도장 면적의 감소 등을 가져와 실적선에 비해 강도 및 경제성 측면에서 유리함을 입증하였다.

2. 설계과정

일반적으로 선박의 구조설계는 Fig. 1과 같은 설계과정으로 진행되나, 본 연구 선박은 기하 KR규정에 따라 초기설계 된 것을 DNV규정 및 구조해석 결과에 따라 검토 및 수정한 것이므로 Fig. 2와 같은 방법으로 진행이 되었다.

또한, 선체 전체를 설계한다는 것은 방대한 분량이므로, 본 논문에서는 선수의 스퀘밍 및 충격에 의한 강도 설계와 선미 Rudder주위의 설계는 제외시켰다.

Fig 1. DESIGN PROCEDURE FOR SHIPS

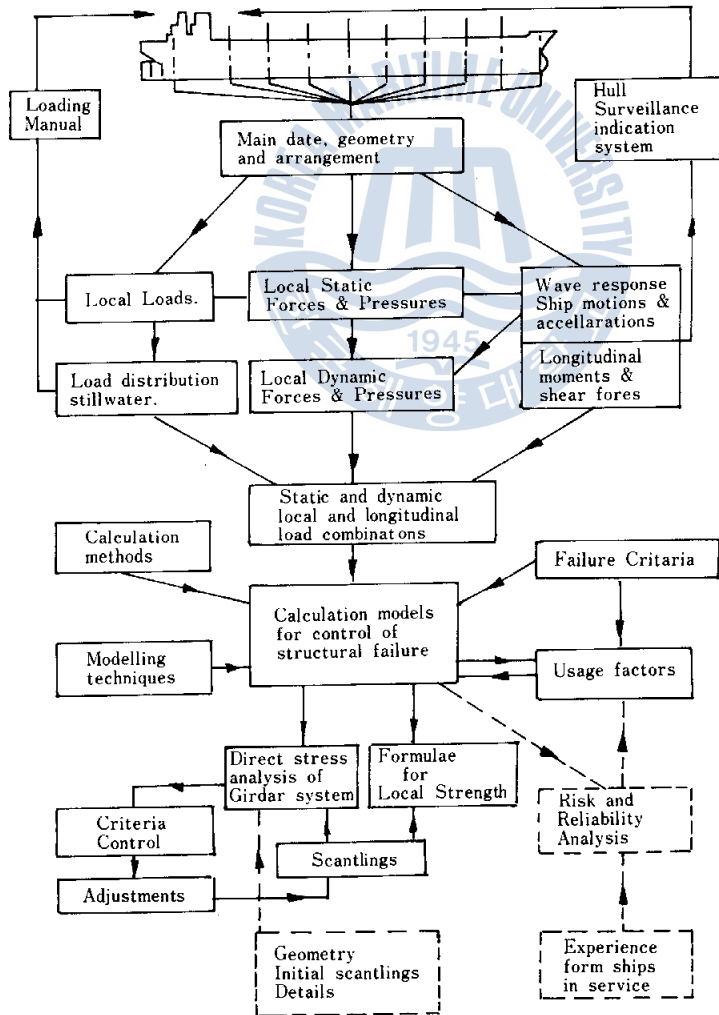
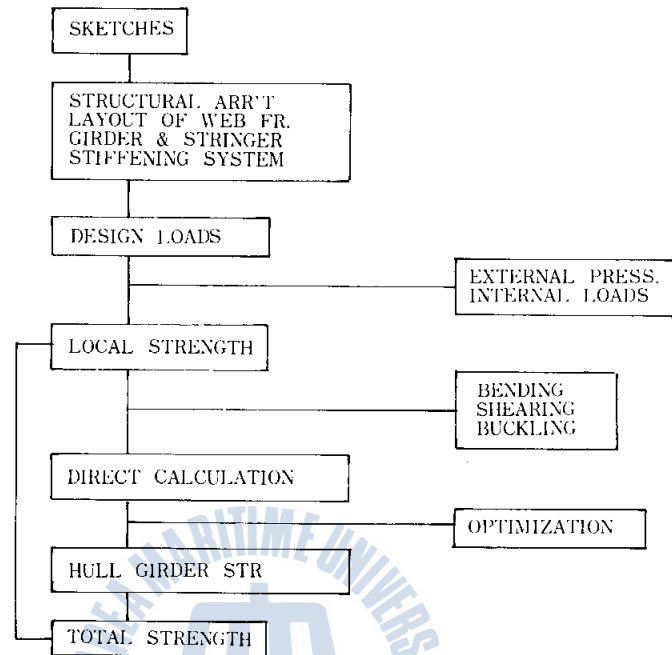


Fig 2. DESIGN PROCEDURE FOR TRAINNING VESSEL



13. 설계하중

3.1 외부 수압

동적하중을 고려한 선체외부의 수압은 DNV규정[1]에 따라, 선체의 중앙부에서 다음과 같은 산식으로 표시되며, 종방향의 분포도는 Fig. 3과 같고, C_w 는 Fig. 4로 표시된다.

$$\text{수선하부 } P = 10h_0 + 1.5C_w \{ \text{KN/m}^2 \}$$

$$\text{수선상부 } P = 3C_w \{ \text{KN/m}^2 \}$$

$$\text{수선부 } P = 3(C_w - 0.67h_0) \{ \text{KN/m}^2 \}$$

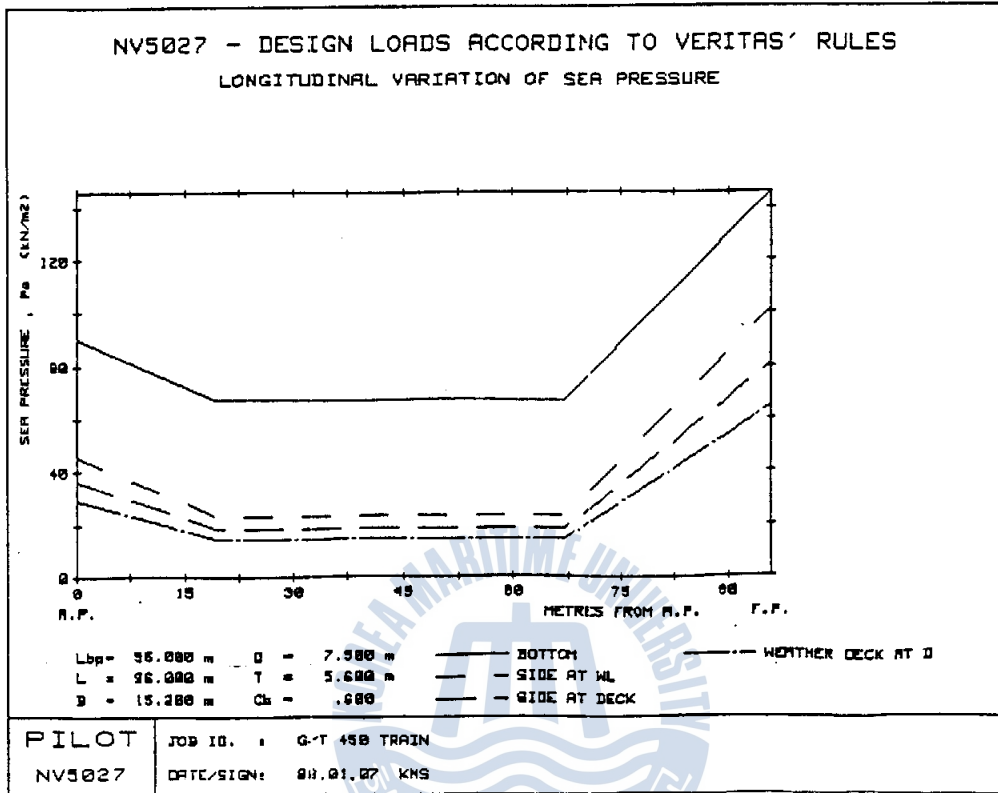
$$\text{갑판상 } P = 0.8 \times 3(C_w - 0.67) \{ \text{KN/m}^2 \}$$

여기서, P : 수압

h_0 : 수선에서의 거리(m)

C_w : Wave Coefficient

Fig 3. SEA PRESSURES



3.2 갑판하중

각 갑판의 하중은 DNV Rule에 의하여 다음과 같이 표시되며, 상부구조물에서는 거주구에 의한 하중으로 계산되었다.

$$P = \rho (g_0 + 0.5a_v) H \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

여기서, ρ : 화물밀도(t/m³)

g_0 : 중력 가속도

a_v : Combined Vertical Acceleration(m/s²)

H : 갑판간 높이(m)

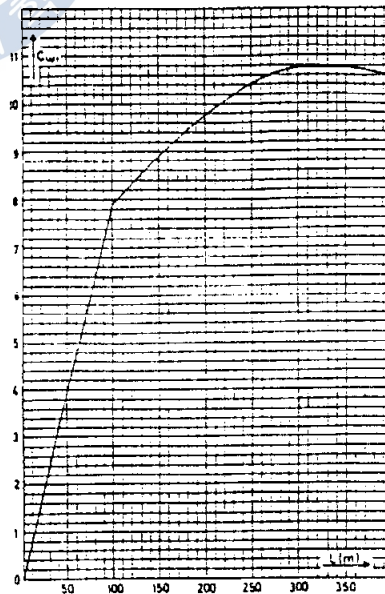


Fig 4. WAVE COEFFICIENT.

3.3 바람에 의한 하중

본 G/T 4500ton급 실습선의 상부구조물이 수선으로부터 높게 위치해 있으므로, 그 구조물의 측면에 작용하는 바람의 압력이 수압보다 크게 될 경우가 있다.

Fig 5와 같이 구조물에 작용하는 바람의 동적 하중은 다음과 같이 표시된다.

[2] [3]

$$F_d = C_s g \frac{V^2}{16} A \text{ (N)}$$

여기서, F_d : 동적하중

$A = h_v \times b_v$ (바람을 받는 면적) m^2

V : 바람의 속도 (m/sec)

C_s : 형상계수 즉,

$$C_s = [2 - 0.5 \left(\frac{l_v}{2b_v} \right)^3] (0.5 + 0.1 \frac{l_v}{b_v})$$

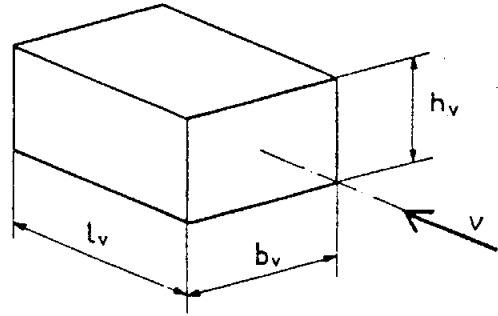


Fig 5. WIND FORCE

4. 국부강도

4.1 판 및 보강재의 굽힘강도

판에 수직인 압력을 받는 부재의 치수는 다음과 같은 산식[1]으로 계산된다.

$$t = 15.8 \cdot K_a \cdot K_r \cdot S \sqrt{p} / \sigma + t_k \text{ (mm)}$$

$$Z = 1000 \cdot s \cdot l^2 \cdot P \cdot W_k / m \sigma \text{ (cm}^3\text{)}$$

여기서, t : 요구되는 판의 두께 (mm)

Z : 요구되는 보강재의 단면계수 (cm^3)

S : 보강재 간격 (m)

l : 보강재 지지점간의 거리 (m)

P : 3절에서 규정한 압력 (KN/m^2)

σ : 허용응력 (N/mm^2)

m : 끝단의 고착계수

t_k : 부식의 허용치 (mm)

W_k : 부식에 대한 수정계수

$$K_a = (1.1 - 0.25S/l)^2$$

$$K_r = (1 - 0.5S/R)$$

R : 판의 곡면 반지름.

보강판의 실제 단면계수를 구하는데 필요한 유효폭은 현재까지 많은 연구가 행해지고 있으며 [4], [5], [6] 본 연구에서는 계산의 편의를 위해 60t(약 600mm)를 유효폭으로 잡았다.

4.2 판의 좌굴강도

판의 좌굴 강도 산식은 여러 주요 구조해석문헌에 잘 설명되어 있으며 [1], [8], [9] 본 연구 선박은 횡방향 일축응력을 받는 4변 단순지지인 경우의 좌굴강도에 대해서만 언급하기로 한다.

횡방향의 좌굴강도 산식은 다음과 같이 표시된다.

$$\sigma_c / \eta = \sigma_E, \quad \sigma_E < \sigma_F / 2 \text{ 일때}$$

$$\sigma_c / \eta = \sigma_F \left(1 - \frac{\sigma_F}{4\sigma_E}\right), \quad \sigma_E > \sigma_F / 2 \text{ 일때}$$

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t-t_k}{1000S}\right)^2 K \quad \{\text{kg/mm}^2, \text{N/mm}^2\}$$

여기서, K : plate factor

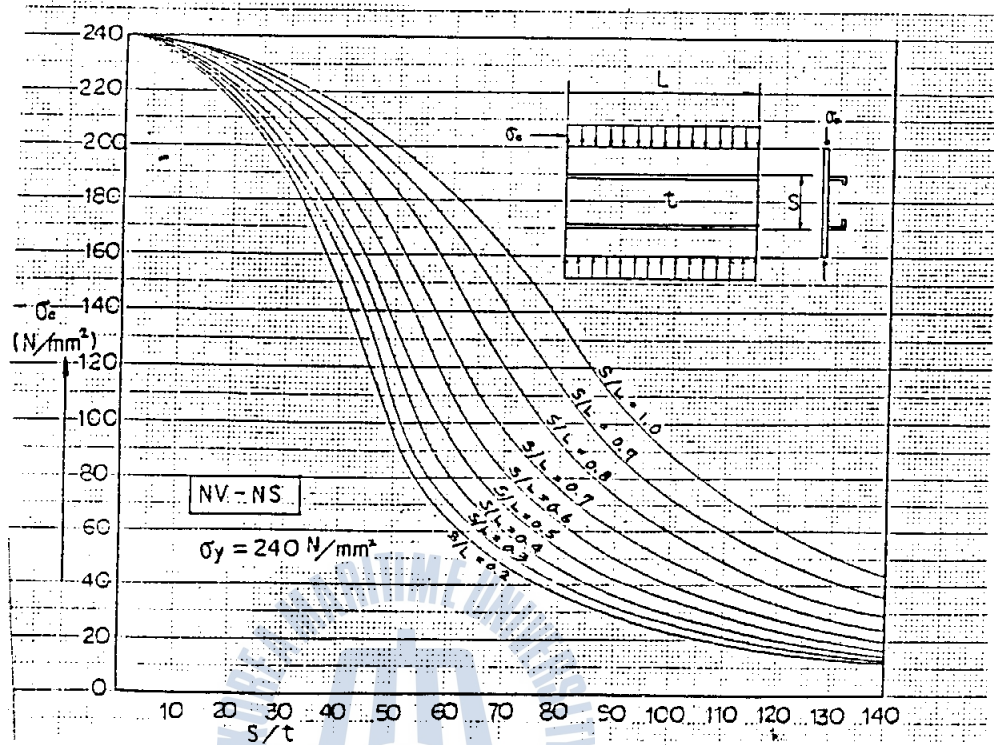
$$\text{즉 } K = 1.21 \left(1 + \left(\frac{S}{l}\right)^2\right) \frac{2.1}{\varphi + 1.1}$$

φ : 응력분포계수, (균등분포일때 $\varphi = 1$)

ν : poisson's ratio(0.3)

η : plastic reduction factor

Fig 6. CRITICAL BUCKLING STRESS



상기식을 이용하여 도표로 표시하면, 판의 폭과 길이의 비에 따라 Fig 6과 같이 되며, 본 연구 선박의 부위별 좌굴 강도는 Table 1과 같다.

Table 1. CRITICAL BUCKLING STRESS OF G/T 4,500 T/S

PART	L (mm)	S (mm)	T (mm)	σ_c (N/mm ²)	σ_L (N/mm ²)
BOTTOM PLATE	2400	750	12 - 1	62	67
INN. BOTTOM P.	2400	750	11.5 - 1	58	50
MAIN DECK	2400	750	7	26	51
SHELTER DECK	2400	750	8	30	86

5. 종강도

본 연구 선박과 같은 다층 갑판선은 중앙단면계수가 크기 때문에 종강도가 문제시 되지 않으며, 제반 하중에 대한 longitudinal bending moment는 Rule허용치 이내에 속해있다.

본 G/T 4,500 ton급 실습선의 종강도 계산은 Appendix. 1에 보여주고 있으며, 이로부터 각판의 좌굴강도 검토를 위한 좌굴응력 및 실제 작용하는 응력을 알 수 있다. 1 ACS에서 통일된 중앙단면계수의 요구치는 다음 산식과 같다.

$$Z = C_w L^2 B (C_b + 0.7) / f_1 \text{ cm}^3$$

여기서, Z : 선체의 요구되는 중앙단면계수

C_w : Wave Coefficient(Fig 4. 참조)

L : 선체길이

B : 선체폭

C_b : 방형비 척계수

f_1 : material factor

6. 주부재의 강도해석

6.1 일반

주부재의 강도해석은 Fig 7과 같은 과정으로 통상 진행되며, 본 연구에서는 구조적 특성을 고려하여 web frame 및 Girder의 3차원 보 해석을 중점적으로 다루었다. 또한 해석에 필요한 컴퓨터 프로그램은 대부분의 조선소 및 관련업체들에서 사용되고 있는 DNV PILOT program을 사용하였다.

그리고 Rolling시에 Frame의 해석을 간단하게 할 수 있도록 하기위해, Beam이론을 기반으로 SEIKO-9500의 기종을 사용하여 Appendix. 3과 같이 program을 개발하여 타당성 검토를 하였다.

6.2 Modelling

3차원 보해석을 하는데 있어서 종방향의 부재를 spring으로 대체 하므로써, 실제적으로 2차원 모델로써 3차원 해석을 할 수 있다. [15]

또한 선체는 좌우대칭이므로 중앙단면의 반쪽을 채택하였으며, shelter deck를 상부구조물로써 종 및 횡강도에 기여하는 것으로 간주하였다.

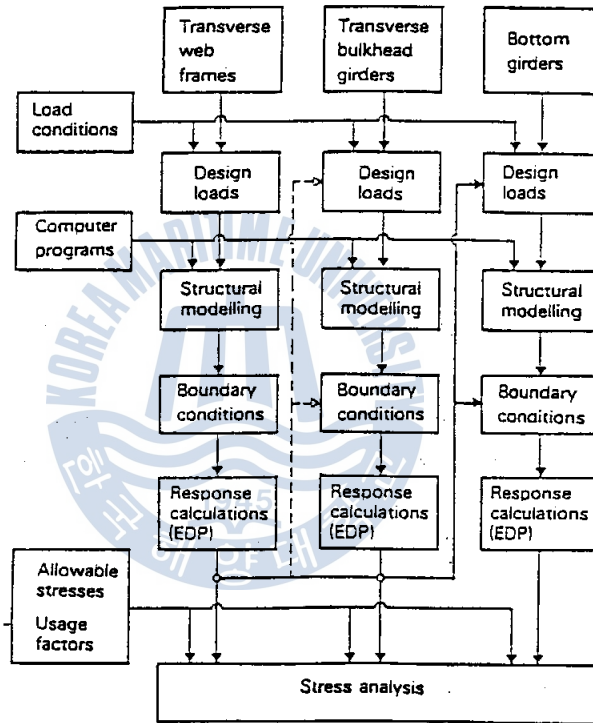


Fig 7. STRENGTH ANALYSIS PROCEDURE

Fig 8에 나타난 바와 같이 node 및 Element를 위한 좌표는 계산의 편의와 하중의 입력을 고려하여, Inner Bottom, side shell 및 deck plate를 따라 정하였다.

또한 Beam으로 치환시 Bracket부위는 강성이 매우 크므로 Rigid로 처리하였다.

Element property는 보강된 평판을 이방성 이론에 기반을 두어, 보강재 방향으로는 등가평판으로 치환하였다. [11], [14]

즉, $t_e = t + A_s / S$

여기서, t_e : 등가두께

t : 판의 두께

A_s : 보강재의 단면적

S : 보강재 간격

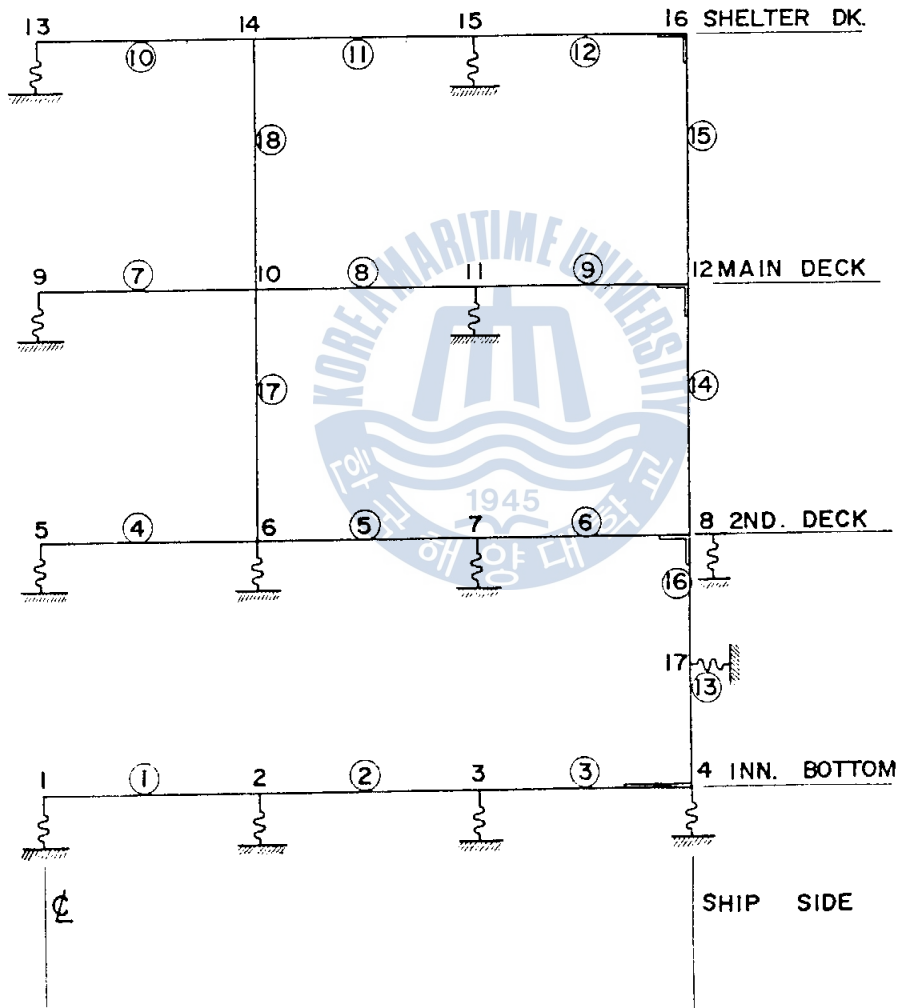


Fig 8. MODEL

web 및 Girder의 유효폭은 Schade이론 [12]에 따라 다음과 같이 표시된다.

$$B_e/B = 1.1 / (1 + 2(\frac{B}{S})^2)$$

여기서, B_e : 유효폭

B : Web 또는 Girder의 간격

S : 굽힘 모우 멘트가 0인점 간의 거리.

6.3 경계조건

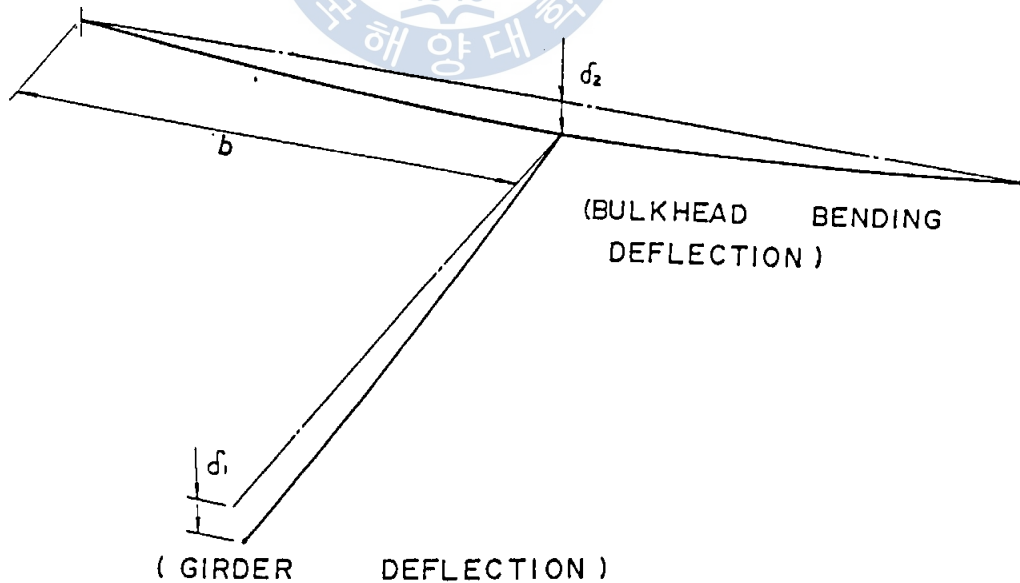
Fig 8과 같이 선체 중심선의 Nodes는 대칭이기 때문에 상하 방향의 자유도만 주어졌으며, 각 Girder 및 Stringer위치에는 spring으로 대체되었다.

계산의 신속성을 위해 거의 무시할 수 있도록 작은 값인 모든 Node의 종방향 변위 및 X와 Y축에 대한 회전은 구속되었다.

또한 Bilge line의 처짐량은 실제적으로 매우 작으므로 외판의 Spring Constant는 전체 중앙 단면의 property를 기반으로 계산된다. [15]

Fig 9와 같이 격벽에서 지지되는 Girder의 처짐은 임의의 점에서 다음과 같이 표시된다.

$$\delta_T = \delta_1 + \delta_2$$



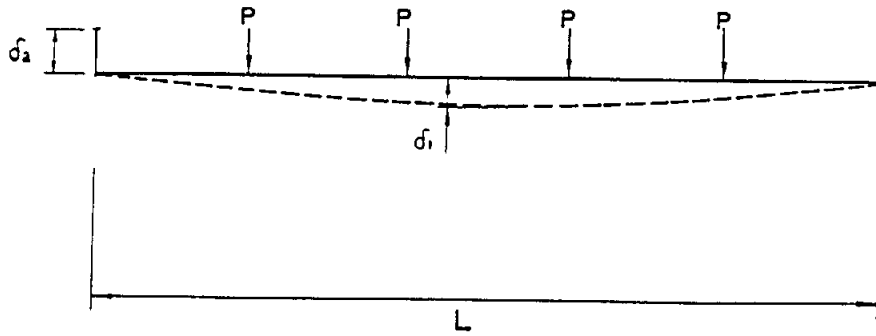


Fig 9. DEFLECTION CURVE

각 spring constant는 처짐량에 따라 결정되므로 일반적인 spring constant는 아래와 같이 표시된다.

$$S = \frac{P}{\delta} = E/n \left(\frac{K_1 l^3}{384I} + \frac{2.6K_1 l}{As} + \frac{2.6b}{A} \right)$$

여기서, E : 부재의 탄성계수

n : 하중작용개수

l : 부재의 지지점간의 거리

I : 부재의 단면 2차 모우먼트

As : 부재의 단면적

b : ship side에서 부재까지의 거리

A : Bulkhead의 단면적

K₁ : n에 따른 계수

상기식을 이용한 본 연구 선박의 각 spring constant는 다음과 같다.

$$S_{y1} = S_{y2} = S_{y3} = 8.314 \times 10^5 \text{ N/mm}$$

$$S_{y8} = 3.07 \times 10^7 \text{ N/mm}$$

$$S_{y5} = S_{y6} = S_{y7} = S_{y9} = S_{y10} = S_{y11} = S_{y13} = S_{y14} = S_{y15} = S_{x17} = 7.571 \times 10^3 \text{ N/mm}$$

6.4 하중조건

일반적으로 유조선이 아닌 경우의 선박의 하중조건은 Fig 10과 같은 경우로 계산을 하여, 그 중에서 가장 큰 값을 부위별로 해석한다.

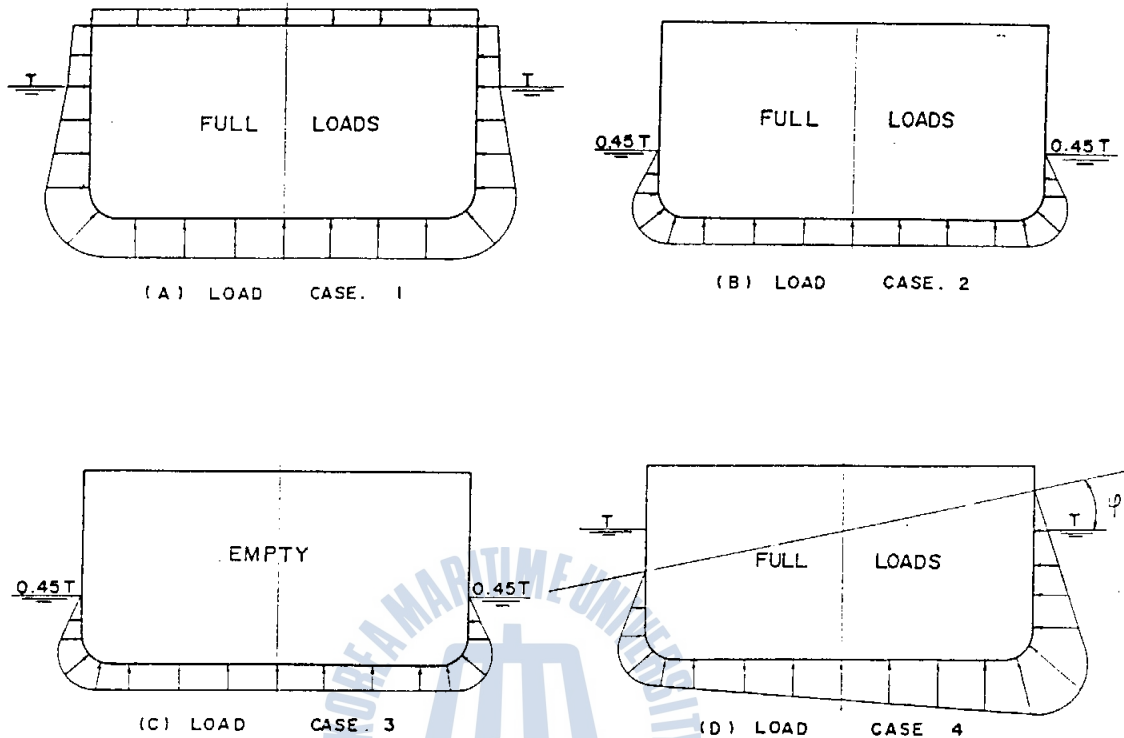


Fig 10. LOAD CASES

본 연구에서는 가장 큰 값을 얻은 Load case 1에 대해서 언급하기로 한다.

하중은 3절에서 논한바와 같이 외부압력과 내부 하중에 따라 계산된다.

Load case 4를 해석하기 위해서는 모델을 전폭으로 만들어야 하므로 wed frame의 해석을 Appendix. 3의 program에 따라 해석 하였으며, 이 값은 Load case 1보다 작은 값을 얻었다.

7. 해 석

국부강도, 전체강도 및 주부재 강도 계산 결과는 Appendix 1 & 2에 수록 되어있으며, 항목별 해석은 아래와 같다.

7.1 좌굴해석

새김 및 호킹시에 선저외판 및 갑판에 작용하는 압축응력은 Appendix. 1에 나타낸 바와 같으며, 각 판의 좌굴강도는 Table 1에 나타낸 바와 같다.

이를 주요 부위 별로 요약하면 Table 2와 같다.

Table 2. STRESS OF PLATE

부위 / 응력	σ_{act}	σ_{cr}
선저외판	70 N/MM ²	50 N/MM ²
상갑판	51 "	23 "
상부갑판	86 "	42 "

Table 2에서 알 수 있듯이, 실제작용하는 압축응력이 판의 좌굴 강도보다 크므로, Table 2에 나타난 부위의 판에 대해서는 좌굴방지 보강재를 부착하여야 한다.

7.2 주부재의 굽힘 및 전단응력

Appendix. 2에 수록된 계산결과를 부위별로 해석하면 table 2와 같다.

Table 2에서 알 수 있듯이 초기 설계된 구조의 응력은 대단히 높은 경우가 많다.

Appendix. 5와 같이 수정한 구조에 따라 해석한 결과는 허용응력 이내로 분포되어 있다.

Table 3. STRESS ANALYSIS

PARTS	ITEM	S.F (MAX.) N	B.M (MAX.) N - MM	τ (N/MM ²)	σ (N/MM ²)	ACCEPT
FLOOR		4.52×10^5	1.71×10^8	71 (20)	101 (5)	OPENING
WEB FR.	INN. BOTTOM - 2ND DK.	3.42×10^5	1.71×10^8	95 (142)	95 (157)	BRACKET
	2ND DK. - MAIN DK.	1.47×10^5	6.26×10^7	82 (116)	139 (576)	SIZE GUSSET R
	MAIN DECK - SHELTER DK.	1.67×10^5	5.26×10^7	93 (131)	148 (883)	SIZE GUSSET R
DECK TRANS.	2ND DECK	2.71×10^5	2.0×10^8	97 (100)	154 (372)	SIZE BRACKET
	MAIN DECK	1.87×10^5	6.0×10^7	97 (97)	168 (356)	BRACKET
	SHELTER DK.	1.9×10^5	5.9×10^7	106 (154)	166 (817)	SIZE BRACKET
DECK GR.	2ND DECK	2.47×10^5	6.18×10^7	88 (82)	48 (100)	
	MAIN DECK	1.9×10^5	5.5×10^7	106 (106)	154 (154)	
	SHELTER DK.	1.8×10^5	6.5×10^7	64 (60)	52 (70)	
	STRINGER	2.22×10^5	5.39×10^7	62 (56)	110 (110)	

() : 초기 구조에 대한 stress

Table 3의 결과를 항목별 상세해석은 아래와 같다.

가. floor

초기 floor의 설계는 두께 11mm, Ring plate가 있는 opening, 및 보강재 간격이 1200mm이었으나, 아래와 같이 수정하였다.

1. 중량감소 및 부재의 통일을 위해 두께를 10mm로 하였다.
2. Ring plate는 제작비 및 도장면적을 증가 시키므로 삭제 하였다.
3. 보강재의 간격이 크므로, floor의 안정성(Bending, Shearing)이 없기 때문에 약 600mm간격으로 설계하였다.
4. access 및 중량감소를 위해 stress가 허용하는 한 opening을 많이 주었다.

나. web frame

web frame은 stress가 높기 때문에 size를 키움과 동시에 끝단 고착 부위를 수정 설계하였으며, 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 2nd Deck하부 web frame은 Machinery space를 고려하여, 최하부 Bracket를 850 mm로 했으며, Deck와의 연결 부위는 Face plate의 연속으로 인한 제작비 증가 및 face plate의 Curve가 심함에 따라 유효폭 [13]문제가 대두 되므로 Bracket type으로 바꾸었다.
2. 2nd Deck상부는 거주구이므로, web frame의 하부에 Bracket의 취부는 space이용에 불편함을 주므로, Gusset type의 고착을 주었다.
3. web frame과 deck trans.와의 연결은 deck plate의 유효폭 증가 및 trans.의 section property를 늘이기 위해 적절한 Bracket를 취부하였다.

다. Deck transverse

Stress level를 낮추기 위해 size를 증가함과 동시에 끝단의 유효폭과 section property를 높이는데 중점을 두었다. Trans.의 section property를 위한 유효폭은 Fig 11과 같이 선측에서 고착부까지의 거리에 해당하는 폭이므로 [1], [15], 그 점에서의 응력해석을 해야하며, 이의 응력을 줄이기 위해 Bracket size를 적절히 키웠다.

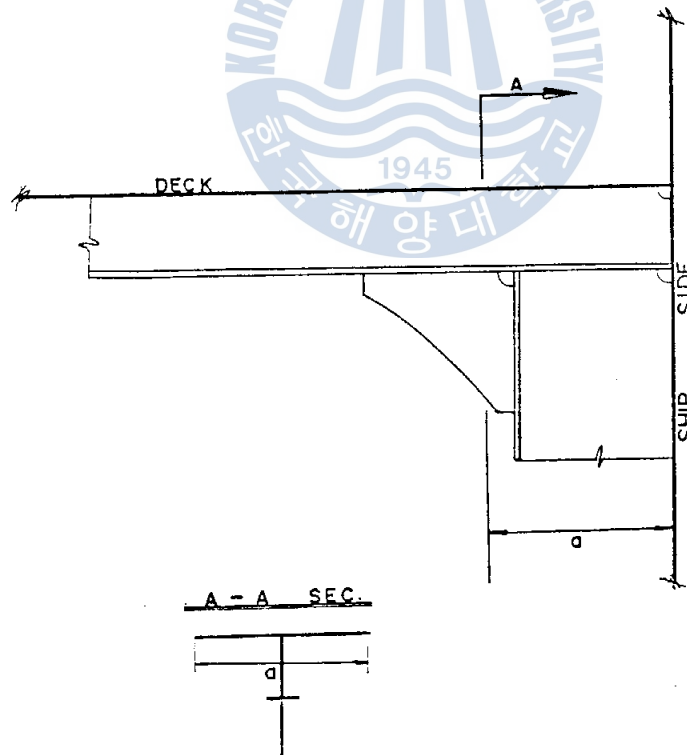


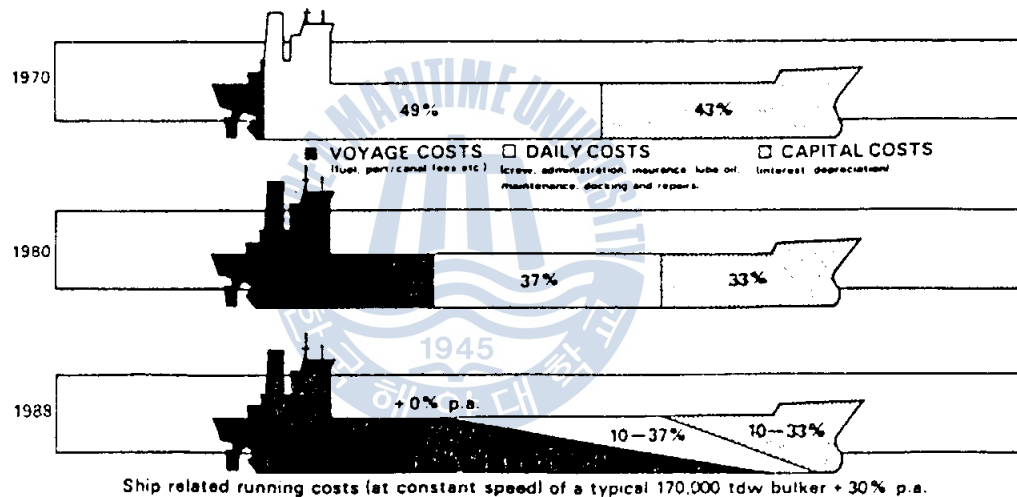
Fig 11. EFFECTIVE BREADTH OF WEB END.

8. 경제성

Fig 12에서 볼 수 있듯이, 1970년대 까지만 해도 연료비가 주종인 항해 비용이 전체운항비의 10%미만이었지만 1980년대로 들어서면서 항해비용은 30%~80%까지 증가되었다. [16], [17]

이와 같이 연료비 부분의 증가 추세에 따라, 연료비 절감을 위한 많은 연구가 행해지고 있다. 이를 위해 선형개발, 저질유 사용을 위한 엔진개발 및 각종기기의 경제성 측면에서의 개발이 진행되고 있으며, 이에 따라 선체구조의 측면에서도 부식을 방지하고 선체 중량을 줄이는 구조적 최적설계도 많이 연구되고 있다. [18~21]

Fig 12. THE GROWING IMPORTANCE OF FUEL COST



- IN 1970 VOYAGE COST FOR A 170,00 TDW BULKER REPR. 8% OF TOTAL RUNNING COSTS
- IN 1980 VOYAGE COST(FUEL COST) HAD RISEN TO 30% OF TOTAL(AT THE SAME RUNNING SPEED)
- BY 1988(AFTER FIVE YEARS OPERATION OF TO DAYS PROJECTS) THE VOYAGE COST COULD BE ANYWHERE BETWEEN 30~80% OF TOTAL

지금까지 구조의 최적설계 연구는 주로 최소 중량 설계에 중점을 두어 왔다.

그러나, 중량의 최소화는 용접장의 증가, 복잡한 구조 및 굴곡방지 등에 대한 시수의 증가에 따른 제조비 증가와, 박판사용에 따른 좌굴 및 예기치 못한 진동으로 인한 구조적인 문제에 봉착될 수 있다.

Fig 13에서 보는바와 같이 중량의 감소는 연료비를 감소시키는 요인이되나 지나친 감소는 임금 및 제조비의 증가를 가져 오므로 이를 충분히 검토 조정이 되어야 한다.

이와 같은 점들을 고려하여 본 G/T 4,500ton급 실습선의 구조설계는 다음 사항을 중점적으로 검토하여 Appendix. 4 의 G·A를 기준으로하여 Appendix. 5와 같이 설계되었다.

1. 중량 절감
2. 강도의 균등분포
3. 부재치수의 간략화
4. 구조의 단순화
5. 청탁 및 도장 면적의 감소
6. 청소 및 보수용 용이

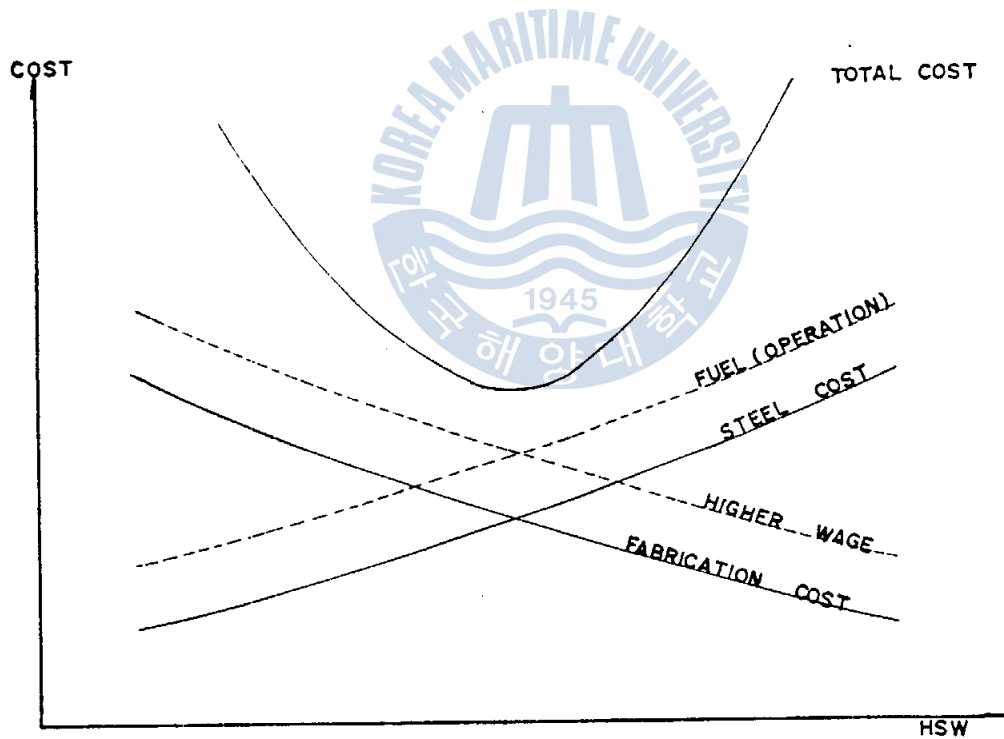


Fig 13. COST CURVE

9. 결 론

본 G/T 4,500 ton급 실습선을 강도 및 경제성 측면에서 구조설계를 하여, 실적선인 일본 練習船 靑雲丸(Appendix. 6)과 비교 검토하므로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Table 3에서 알 수 있듯이 Floor에는 stress가 너무 낮기 때문에 치수 감소와 opening을 내어 중량 절감과 더불어 stress level을 균형 있게 높였으며, stress가 대단히 높은 web 끝단 부위에는 size증가와 함께 고착 상태를 조정하여 stress를 허용치로 내림으로써 강도의 균등 분포를 가져왔다.
2. Table 4와 Appendix. 5~6에서 보는 바와 같이 Deep tank의 형상 및 Girder수 감소, web frame의 적정설계에 따른 pillar삭제 및 주위 부재 치수 감소 등으로 인해 실적선 부재의 치수를 기준하여 약 100ton의 중량감소를 가져왔다.
3. 강도가 허용하는 한 pillar를 줄이고 이중저구조와 web frame을 채택 함으로써, Racking strength를 증가시킬 뿐만 아니라, 구조를 간단히 하고 Ballast 탱크 내의 도장면적을 줄임에 따라 건조비 및 보수 유지비를 최대한 절감 하겠끔 설계하였다.

Table 4. COMPARISION TABLE OF SCANTLIN GS

ITEM	DWG.	SISTER SHIP	INITIAL DWG.	THIS PAPER	REMARK
BOTTOM SHELL R		17.5 15 + RAIF FLOOR	16 14+150 x 90 x 9 A	14 12.5+150x90x9 A	*
INNER BOTTOM R		11+150x90x9 A	11+150 x 90 x 9 A	11+150x90x9 A	
FLOOR		12+100x10 F.B	11+120x10 F.B	10+100x10 F.B	*
DOUBLE BOTTOM GIRDER		7x12.5	7x 12 , 10	5 x 12 , 10	*
INN BOTTOM - 2ND DECK	SHELL	14+200x10 B.P	13.5+150x90x9 A	12.5+150x90x9 A	*
	WEB or PILLAR	PILLAR (144 x 10.6 †)	WEB 400x10+200x12	WEB 450x7+100 x 10	
	DECK	Z+100 x 75 x 7 A	Z+100 x 75 x 7 A	Z+100x.75 x 7 A	
	GIRDER	250 x 12 B.P	300x10 + 200x12	350 x Z+200x14	
	TRANS.or PILL	PILLAR (114 x 8.6 †)	TRANS. 300x10+ 200 x12	TRANS. 350x 7+200x14	

2ND DECK -SHELTER DECK	SHELL	14+150x90x9A	13.5+125x75x7A	12.5x100x75x7A	*
	WEB or PILL.	PILLAR (114 ^ø x 8.6 ^t)	WEB & PILLAR 114 ^ø + 8.6 ^t 125 x 75 x 10	WEB 200x90x9/14A	
	DECK	12.5+125x75x7A Z+100x75x7A	Z+100x75x7A	Z+100x75x7A	
	TRANS. or PILL.	PILLAR (114 ^ø x 8.6 ^t)	TRANS & PILLAR 114 ^ø x 8.6 ^t 200 x 90 x 9/14A	TRANS. 200x90x9/14A	
	GIRDER.	(250 x 12 B.P)	200x90x9/14A	200x90x9/14A	
ABOVE SHELTER DECK	SHALL	6,7 CORRUGATED	6,7 CORRUGATED	6+75x75x6A	*
	DECK	Z+100x75x7A 4.5+75x75x6A	Z+100x75x7A 6+75x75x6A	6,4.5+75x75x6A	
	PILLAR	76.5 ^ø + 7 ^t	76.5 ^ø + 7 ^t & WEB	-	*
	GIRDER	200 x 10 B.P	200 x 90 x 9/14	150 x 90 x 9A	*
	DECK & GIRDER	200 x 90 x 9/14A	200 x 90 x 9/14A	-	*

* 중량 또는 건조비 절감

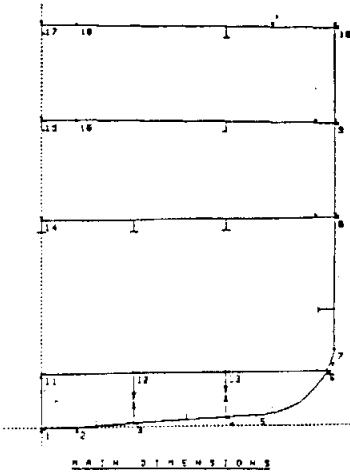
10. References

1. DNV, "Rules for classification of steel ships", 1986.
2. DNV, "ships' load and strength manual", 1978.
3. DNV, "classification Notes No. 31.4 ; strength analysis of main structures of column stabilized units", 1987.
4. schade H. A. "The effective breadth of stiffened plating under bending loads" SNAME Vol. 59, 1951.
5. Douglas Faulkner, "A review of effective plating for use in the analysis of stiffened plating", Journal of ship research vol. 19, 1975.
6. A. Mansour, "Effective flange breadth of stiffened plates", Journal of ship research, 1970.
7. KR, "소형 강선규칙", 1985.

22. 1988年 6月 韓國海洋大學 船舶工學研究所 論文集 第7輯
8. 寺澤一雄, “船體構造力學”, 海文堂 1981.
9. DNV, “Buckling strength of Mobile offshore units”, 1987.
10. DNV, Report No. 78-114 “Torsional buckling of stiffener”, 1978.
11. 김성규, “직교이방성평판 이론을 이용한 선저구조의 탄성해석” 부산대학교, 1982.
12. Schade H. A. “The orthogonally stiffened platce under uniform Lateral load” SNAME Vol 62, 1940.
13. DNV, Rule proposal “The effective width of curved flanges”, 1986.
14. 朴命圭, “統計的 資料에 의한 船舶의 輕荷分布 推定法에 關한 研究”, 韓國航海學會誌 (第10卷 第1號), 1986.
15. DNV, “Classification Notces No. 31.1 : Strength analysis of hull structures in Bulk carriers and container ships”, 1980.
16. DNV, Paper No : 84 Po15 “Trends in shipping in The 1990's”, 1984.
17. DNV, Paper No, 85 Po19 “The Shipping environment and future challenges” 1985.
18. Michael G. Parsons, “optimization methods for use in computer-aided ship design” SNAME 1975.
19. Owen F. Hughes, “A practical method for the rational design of ship structure”, Journal of ship research 1980.
20. 高允燮, “鋼船構造規程과 鋼船規則에 關한 對比研究”, 한국해양대학논문집 13호, 1978.
21. 선재오, “산물운반선 선체 중앙 단면의 최적설계 개발에 관한 연구”, 부산대학교 1986.

Appendix. 1 Local and Hull girder strength of G/T 4,500 ton class training vessel.

PLOT OF CROSS SECTION



LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS, Lbp 96.000 m
 RULE LENGTH, L 96.000 m
 BREADTH MOULDED, B 13.200 m
 DEPTH MOULDED, D 7.900 m
 DRAUGHT MOULDED AT P.P., T_{DD} (0mm/mm) 5.700 m
 BALLAST DRAUGHT AT P.P., T_{BD} (0mm/mm) 0.800 m
 BLOCK COEFFICIENT, C_b 0.600

SUMMARY OF THE TRANSVERSE SECTION

ACTUAL CROSS-SECTIONAL DATA VS. RULES

	ACTUAL	RULE	EXCESS (%)
CROSS-SECTIONAL AREA (cm ²) :	10392		
HEIGHT TO NEUTRAL AXIS (cm) :	4630		
MOMENT OF INERTIA (cm ⁴) :	14,196	3,980	356.4
SECTION MODULUS, BOTTOM (cm ³) :	3,066	1,437	210.4
SECTION MODULUS, DECK (cm ³) :	2,480	1,437	169.0
MATERIAL FACTOR F1, BOTTOM :	.979		
MATERIAL FACTOR F1, DECK :	.979		
STRESS FACTOR F2, BOTTOM :	.463		
STRESS FACTOR F2, DECK :	.329		

VARIATION TABLE FOR THE SECTION MODULUS AND MOMENT OF INERTIA

SECTION	Y (cm)	Z (cm)	-7	-1.0	0.0	1.0	7
BOTTOM	2	1	-100.0	-100.0	0.0	100.0	100.0
(cm)	028	028	-0.272	-0.073	-0.049	-0.463	-0.664
(cm ²)	-100.0	028	-1.930	-1.947	-1.907	-1.847	-1.964
(cm ³)	-100.0	01	-0.382	-0.261	-0.192	-0.220	-0.204
(cm)	028	028	-0.111	-0.12	-0.100	-0.104	-0.103
(cm ²)	-100.0	028	-1.930	-1.930	-1.906	-1.856	-1.873
(cm ³)	-100.0	01	-0.412	-0.278	-0.202	-0.141	-0.156
(cm)	028	028	-0.483	-0.083	0.000	0.000	0.083
(cm ²)	0.0	028	-1.914	-1.932	-1.921	-1.831	-1.840
(cm ³)	0.0	01	-0.114	-0.273	0.000	0.160	0.111
(cm)	1.0	028	-1.002	-0.93	-0.800	-0.712	-0.711
(cm ²)	100.0	01	0.176	0.14	0.000	0.469	0.410
(cm)	028	028	0.666	0.664	0.659	0.673	0.672
(cm ²)	100.0	01	0.200	0.198	0.186	0.180	0.183
(cm ³)	100.0	01	0.72	0.71	0.70	0.71	0.72

"BOTTOM" = Assumed change of the bottom and bilge plating
 "DECK" = Assumed change of the deck plate
 028 = Change in section modulus, bottom
 029 = Change in section modulus, deck
 01 = Change in moment of inertia

LOCAL RULE REQUIREMENTS - PLATES

PL. No.	ACT	F-ACT	TR	EFF.	TSPEC	CPAC	SIGP	F1
	LOC	F-LOC	POS	LOAD REF	LOC. REF	TL	SIGWH	F
		F-BUC	EFA			VS	STGL	SIGCR

BTM SHELL

1	ACT	14.0	1.0	100	700	1401	235.8	.90
	LOC	12.92	30T SEA	MIN	350	0	113.3	69.0
	BUC	11.32	0		0	0	71.1	120.3
2	ACT	12.0	1.0	100	700	1401	235.8	.90
	LOC	9.93	30T SEA	MIN	300	0	113.3	69.0
	BUC	6	13.84	0	4000	242	67.4	62.3

SIDE SHELL

1	ACT	12.0	0.0	100	700	307	235.8	.90
	LOC	0.93	SIDE SEA	MIN	7494	1600	0	124.3
	BUC							To be specially considered
2	ACT	12.0	0.0	100	700	307	235.8	.90
	LOC	0.93	SIDE SEA	MIN	7520	1640	0	117.6
	BUC	7.73	1.0		7600	1950	41.2	154.7
3	ACT	12.0	0.0	100	700	2500	235.8	.90
	LOC	0.93	SIDE SEA	MIN	7600	3700	0	117.3
	BUC	7.73	1.0		7600	3400	29.4	76.3
4	ACT	12.0	0.0	100	700	2500	235.8	.90
	LOC	0.93	SIDE SEA	MIN	7600	6250	0	117.3
	BUC	11.29	1.0		7600	16400	85.3	96.4

INNER BTM

1	ACT	11.3	1.0	100	700	2600	235.8	.90
	LOC	9.97	INBT BULK	MIN	3150	1400	2	137.1
	BUC	11.24	0		4000	1400	49.6	37.9

CENTER GIR

1	ACT	12.0	1.0	100	700	1400	235.8	.90
	LOC	10.94	DECK U.S. FULL	MIN	0	350	1	117.1
	BUC	10.24	1.0		0	0	71.1	100.9

SIDE GIR

1	ACT	10.0	1.0	100	700	1293	235.8	.90
	LOC	9.30	DECK	MIN	2400	457	0	117.6
	BUC	0	10.36	1.0		2400	107	69.3

SIDE GIR

1	ACT	10.0	1.0	100	700	1150	235.8	.90
	LOC	9.20	DECK	MIN	4000	392	0	110.3
	BUC	0	9.82	1.0		4000	242	67.4

2ND DECK

1	ACT	7.0	0.0	100	700	2000	235.8	.90
	LOC	6.02	IN.DK BULK	MIN	3150	5400	7	156.7
	BUC	4.70	1.0		4000	5400	11.4	23.3
2	ACT	9.0	0.0	100	700	2000	235.8	.90
	LOC	6.02	IN.DK BULK	MIN	7100	5400	3	156.7
	BUC	4.70	1.0		7100	5400	11.4	41.0

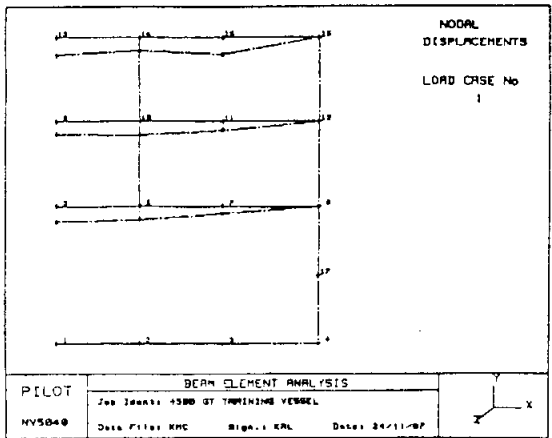
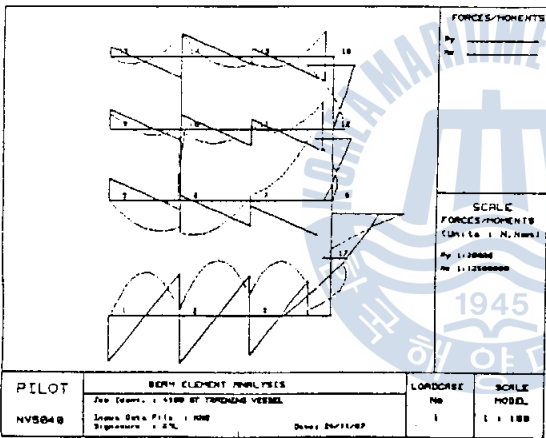
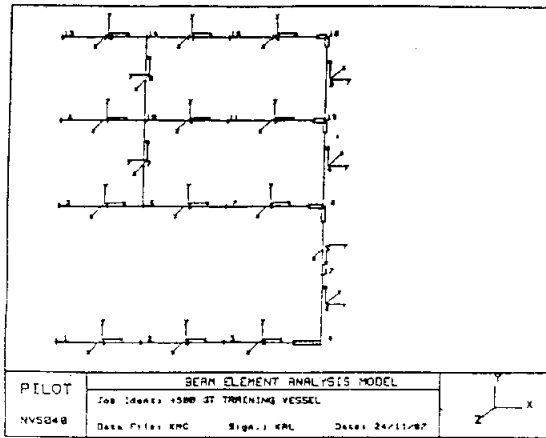
MAIN DECK

1	ACT	7.2	0.0	100	700	2002	235.8	.90
	LOC	7.30	SDECK BULK	MIN	7000	7311	4	117.5
	BUC	0	10.30	1.0		0	90.5	26.0
2	ACT	9.0	0.0	100	700	2002	235.8	.90
	LOC	7.30	SDECK BULK	MIN	7000	7911	4	117.5
	BUC	0	9.67	1.0		7000	7911	40.5

LONG HOLE DE

1	ACT	0.0	0.0	100	700	2002	235.8	.90
	LOC	6.02	IN.DK SEA	MIN	5999	10436	0	156.7
	BUC	0	13.35	1.0		0	105.0	67.5
2	ACT	9.0	0.0	100	700	2002	235.8	.90
	LOC	6.02	IN.DK SEA	MIN	7250	10400	0	156.7
	BUC	0	12.00	1.0		5999	10436	83.0

Appendix. 2 Three dimensional beam analysis of G/T 4,500 ton class training vessel.



STRESS COMPONENTS AT SECTIONS ALONG THE ELEMENTS		LOAD CASE No. 1					
ELM. No	DIST. FROM END 1 (cm)	ELEMENT STRESSES FOR THE LOCAL xy-PLANE (N/mm ²)					
		SIG-Px	TAU-Py	TAU-Mx	SIG-Mz	SIG-Mx	SIG-Ey
1	0	-2	-27	0	-8	-4	48
1	1200	-3	-1	0	3	-2	7
1	2400	-3	23	0	0	-4	43
2	0	-3	-29	0	0	-4	50
2	1200	-3	-3	0	4	-8	41
2	2400	-3	24	0	2	-3	41
3	0	-3	-23	0	2	-5	41
3	1000	-3	-2	0	4	-7	0
3	2000	-3	26	0	2	-5	33
4	0	-10	68	0	0	-10	119
4	1200	-10	20	0	127	-10	107
4	2400	-10	-27	0	110	-100	100
5	0	-19	18	0	143	-126	126
5	1200	-19	-30	0	120	-109	109
5	2400	-19	-77	0	-27	-66	133
6	0	-19	-12	0	-27	-66	48
6	1175	-19	-61	0	-134	-133	162
6	2350	-19	-100	0	-272	-131	197
7	0	-12	84	0	-215	-326	229
7	1200	-12	16	0	77	63	63
7	2400	-12	-32	0	-20	-41	92
8	0	-11	63	0	27	-16	109
8	1200	-11	-4	0	192	-10	101
8	2400	-11	-74	0	-39	-50	129
9	0	-11	43	0	-19	-50	73
9	1225	-11	-27	0	9	-13	40
9	2450	-11	-97	0	-336	-360	360
10	0	-8	61	0	36	-20	106
10	1200	-8	-37	0	132	-14	144
10	2400	-8	-136	0	-607	-695	695
11	0	-6	146	0	-697	-705	705
11	1200	-6	47	0	230	-229	229
11	2400	-6	-51	0	217	-209	209
12	0	-6	51	0	217	-209	209
12	1250	-6	-51	0	210	-210	210
12	2500	-6	-134	0	-617	-625	625
13	0	-20	142	0	-157	-177	267
13	1000	-20	37	0	33	-33	80
13	2000	-20	-49	0	27	-27	78
14	0	-32	91	0	30	-35	95
14	1075	-32	-36	0	90	-30	71
14	2150	-32	-116	0	-376	-600	600
15	0	-22	-2	0	300	-325	325
15	1100	-22	-71	0	25	-25	126
15	2200	-22	-131	0	-602	-906	906
16	450	-20	143	0	-320	-347	376
16	1225	-20	100	0	-100	-119	174
16	2000	-20	45	0	37	-27	82
17	0	-9	15	0	-191	-200	200
17	1250	-9	15	0	-20	-47	47
17	2500	-9	15	0	114	-103	103
18	0	-14	0	0	-10	-32	32
18	1250	-14	0	0	-14	-20	20
18	2500	-14	0	0	-19	-24	24

SIG-Px = Axial stress. Positive when tensile
 TAU-Py = Shear stresses in local directions y-z. Positive when isolated piece will be rotated counter-clockwise when seen in positive local x direction
 TAU-Mx = Torsional stress
 SIG-Mz = Bending stress due to local bending moments Mz. Positive when tensile stress. A minus(-) following the stress value indicates that maximum bending stress occurs at negative side of the element.
 SIG-Mx = Maximal stress in local x-dir. = (SIG-Px) + (SIG-Mz)
 Sign convention as for bending stress (SIG-Mz)
 SIG-Ey = Equivalent stress according to von Mises = $\sqrt{3(SIG-Mz)^2 + 3(TAU-Py)^2}$
 A plus(+) or minus(-) following the value indicates location at pos./neg. y-z axis side. Blank indicates at neutral axis

Appendix. 3 Beam analysis program in Rolling Condition.

```

10  PRINTER IS 16
20  PRINT " PROGRAM :GIRDER: FOR GIRDERS"
30  PRINT LIN(5)
40  PRINT " DATA:      L , B , P , Z , F1 , L1 ,
F2
L2"
50  PRINT " UNITS:      (mm) (mm) (kN/m2) (cm3) (kN) (mm) (
kN)
(mm)"
60  INPUT L,B,P,Z,F1,L1,F2,L2
70  IMAGE 10A,10D, 8D, 8A
80  IMAGE 10A,10D, 8D, 8D, 8D, 8D, 9D,8D,10D
90  PRINT USING 80;"GIVEN DATA: ",L,B,P,Z,F1,L1,F2,L2
100 C=0
110 INPUT "GIVE 1 IF CORRECTION OF DATA ( OTHERWISE CONT)",C
120 IF C=1 THEN 30
130 PRINT PAGE
140 PRINT
150 PRINT " PROGRAM :GIRDER: FOR GIRDERS      Pusan 25.11.93 LER"
160 PRINT
170 PRINT " DATA:      L , B , P , Z , F1 , L1 ,
F2
L2"
180 PRINT " UNITS:      (mm) (mm) (kN/m2) (cm3) (kN) (mm) (
kN)
(mm)"
190 PRINT USING 80;"GIVEN DATA: ",L,B,P,Z,F1,L1,F2,L2
200 PRINT
210 Wu=P*L+B/1000000
220 W=Wu+F1+F2
230 PRINT
240 PRINT "CALCULATED RESULT FOR GIRDER"
250 PRINT
260 PRINT " GIRDER      X      P      Q      M      SIGB"
270 PRINT " FREE      (mm)      (kN/m2)      (kN)      (kNm)      (N/mm2)"
280 X=0
290 Pu=P
300 FOR X=0 TO L1 STEP 200
310 Qu=Wu*(3/8-X/L)
320 Mu=Wu*(3/8*X/1000-X/L*X/2000)
330 La=(L-L1)/1000
340 Lt=L/1000
350 Lb=L1/1000
360 R1=F1/2*(3*La^2+Lt-La^3)/Lt^3
370 Q1=R1
380 M1=R1*X/1000
390 La=Lt-L2/1000
400 Lb=L2/1000
410 R2=F2/2*(3*La^2+Lt-La^3)/Lt^3
420 Q2=R2
430 M2=R2*X/1000
440 Q=Qu+Q1+Q2
450 M=Mu+M1+M2
460 Sigb=M*1000/Z
470 IMAGE 6A, 8D, 9D,12D,11D,12D
480 PRINT USING 470:" | ",X,P,Q,M,Sigb
490 IF X=L1 THEN 530
500 NEXT X
510 X=L1
520 GOTO 310
530 PRINT USING 70;" FORCE",X,F1,"(kN)"
540 FOR X=X TO L2 STEP 200
550 Qu=Wu*(3/8-X/L)
560 Mu=Wu*(3/8*X/1000-X/L*X/2000)
570 M1=R1*X/1000-F1*(X-L+(L-L1))/1000
580 Q1=R1-F1
590 M2=R2*X/1000
600 Q2=R2
610 Q=Qu+Q1+Q2
620 M=Mu+M1+M2
630 Sigb=M*1000/Z
640 PRINT USING 470:" | ",X,P,Q,M,Sigb
650 IF X=L2 THEN 690
660 NEXT X
670 X=L2
680 GOTO 550
690 PRINT USING 70;" FORCE",X,F2,"(kN)"
700 FOR X=X TO L STEP 200
710 Qu=Wu*(3/8-X/L)
720 Mu=Wu*(3/8*X/1000-X/L*X/2000)
730 Q1=R1-F1
740 M1=R1*X/1000-F1*(X-L+(L-L1))/1000
750 M2=R2*X/1000-F2*(X-L+(L-L2))/1000
760 Q2=R2-F2
770 Q=Qu+Q1+Q2

```

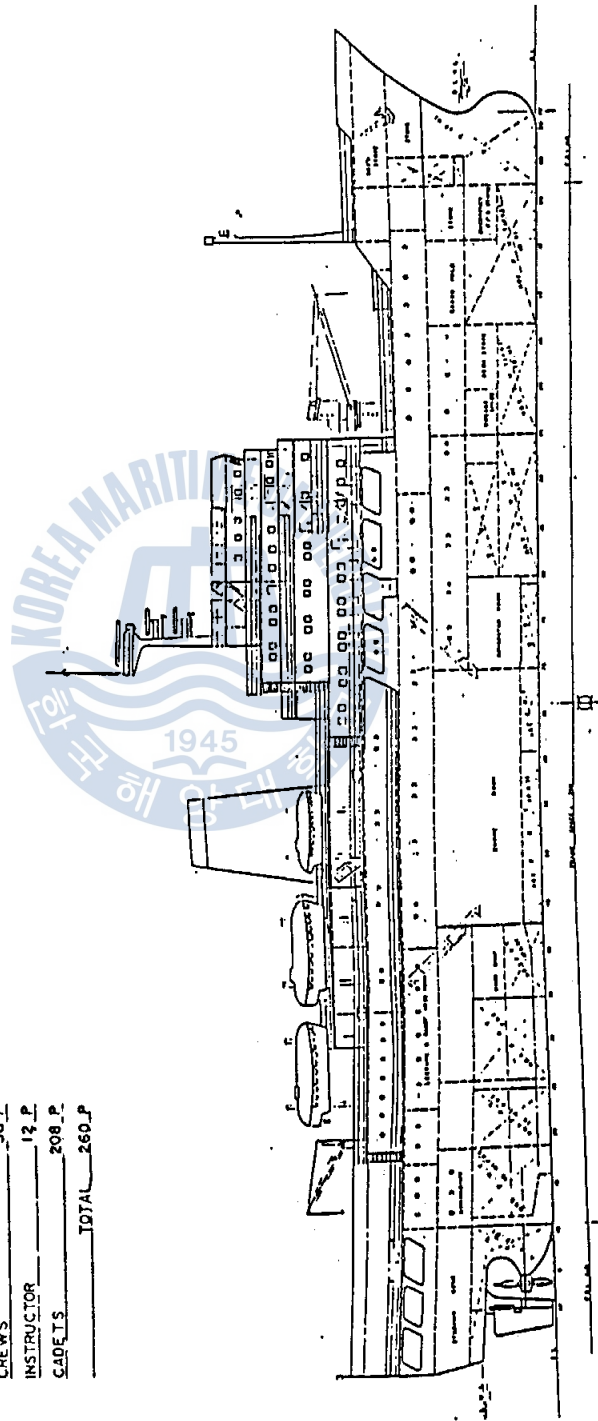
```

770 SIGD=M*1000/Z
800 PRINT USING 470;" | ",X,P,Q,M,SIGD
810 IF X=L THEN 850
820 NEXT X
830 X=L
940 GOTO 710
850 PRINT " FIXED AT THIS END -- TOTAL LOAD ON THE GIRDER =";M;"(KN)"
860 C=0
870 INPUT " GIVE 1 IF PRINTING OF RESULT",C
880 PRINTER IS 8
890 IF C=1 THEN 130
900 PRINTER IS 16
910 PRINT PAGE
920 C=1
930 INPUT "GIVE 1 IF RESULT IS WANTED FOR FIXED AT TOP",C
940 IF C=1 THEN 1720
950 PRINT PAGE
960 PRINT
970 PRINT " PROGRAM : GIRDER FOR GIRDERS Pusan 25.11.83 LER"
980 PRINT
990 PRINT " DATA: L , B , P , Z , F1 , L1 ,
F2
L2"
1000 PRINT " UNITS: (mm) (mm) (KN/M2) (cm3) (KN) (mm)
(KN) (mm)"
1010 PRINT USING 30;"GIVEN DATA:";L,B,P,Z,F1,L1,F2,L2
1020 PRINT
1030 MU=M*1000000
1040 W=MU*F1+F2
1050 PRINT
1060 PRINT "CALCULATED RESULT FOR GIRDER"
1070 PRINT
1080 PRINT " GIRDER X P Q M SIGD"
1090 PRINT " FIXED (mm) (KN/M2) (KN) (KNM) (KN/M2)"
1100 A=0
1110 P=M
1120 FOR X=0 TO L1 STEP 200
1130 QU=MU/2*(1-2*X/L)
1140 MU=MU/2000*(X-X/L*X-L/6)
1150 LA=L1/1000
1160 LI=L/1000
1170 LB=(L-L1)/1000
1180 R1=F1*(LB/L1)^2*(3*LA+LB)/L1
1190 Q1=R1
1200 M1=-F1*LA*(LB/L1)^2*R1*X/1000
1210 LB=L1-L2/1000
1220 LA=L2/1000
1230 R2=F2*(LB/L1)^2*(3*LA+LB)/L1
1240 Q2=R2
1250 M2=-F2*LA*(LB/L1)^2*R2*X/1000
1260 Q=QU+Q1+Q2
1270 M=MU+M1+M2
1280 SIGD=M*1000/Z
1290 INPAGE 30, 30, 120, 110, 120
1300 PRINT USING 1290;" | ",X,P,Q,M,SIGD
1310 IF X=L1 THEN 1350
1320 NEXT X
1330 X=L1
1340 GOTO 1130
1350 PRINT USING 70;" FORCE",X,F1;"(KN)"
1360 FOR X=X TO L2 STEP 200
1370 QU=MU/2*(1-2*X/L)
1380 MU=MU/2000*(X-X/L*X-L/6)
1390 M1=-F1*L1/1000*((L-L1)/L)^2*R1*X/1000-F1*(X-L1)/1000
1400 Q1=R1-F1
1410 M2=-F2*LA*(LB/L1)^2*R2*X/1000
1420 Q2=R2
1430 Q=QU+Q1+Q2
1440 M=MU+M1+M2
1450 SIGD=M*1000/Z
1460 PRINT USING 1290;" | ",X,P,Q,M,SIGD
1470 IF X=L2 THEN 1510
1480 NEXT X
1490 X=L2
1500 GOTO 1370
1510 PRINT USING 70;" FORCE",X,F2;"(KN)"
1520 FOR X=X TO L STEP 200
1530 QU=MU/2*(1-2*X/L)
1540 MU=MU/2000*(X-X/L*X-L/6)
1550 Q1=R1-F1
1560 M1=-F1*L1/1000*((L-L1)/L)^2*R1*X/1000-F1*(X-L1)/1000
1570 M2=-F2*L2/1000*((L-L2)/L)^2*R2*X/1000-F2*(X-L2)/1000
1580 Q2=R2-F2
1590 Q=QU+Q1+Q2
1600 M=MU+M1+M2
1610 SIGD=M*1000/Z
1620 PRINT USING 1290;" | ",X,P,Q,M,SIGD
1630 IF X=L THEN 1670
1640 NEXT X
1650 X=L
1660 GOTO 1530
1670 PRINT " FIXED AT THIS END - TOTAL LOAD ON THE GIRDER =";M;"(KN)"
1680 C=0
1690 INPUT " GIVE 1 IF PRINTING OF RESULT",C
1700 PRINTER IS 8
1710 IF C=1 THEN 950
1720 PRINTER IS 16
1730 PRINT PAGE
1740 PRINT " PROGRAM TERMINATED ( RUN TO START AGAIN )"
1750 END

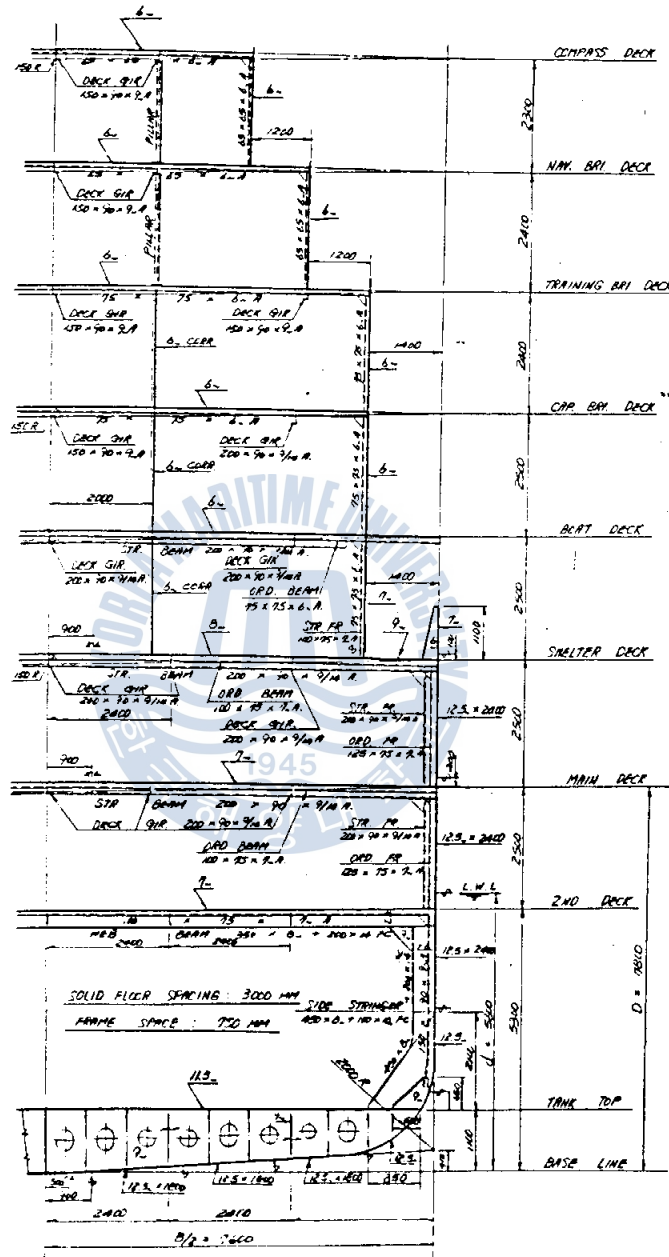
```

Appendix. 4 General arrangement of G/T 4,500 ton class training vessel.

PRINCIPAL PARTICULARS	
LENGTH O. A.	107 ^M 500
LENGTH B. P.	96 ^M 000
BREADTH (M. L. D.)	12 ^M 200
DEPTH (M. L. D.)	7 ^M 800
DRAFT (O. L. W. L.)	5 ^M 600
GROSS TONNAGE	ABT. 4,000 TON
MAIN ENGINE	15,000 P.S.
SERVICE SPEED	15.00 KT.
COMPLEMENT	
OFFICERS	10 P.
CREWS	30 P.
INSTRUCTOR	12 P.
CADETS	208 P.
TOTAL 260 P.	



Appendix. 5 Optimized Midship section of G/T 4,500 ton class training vessel.



Appendix. 6 Midship section of 練習船 “青雲丸”

