
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 35 卷 第 2 號 1998 年 5 月
 Journal of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 35, No. 2, May 1998

복합재료 쌍동형 초고속선의 최적 구조 설계 - 최소 중량 설계

장창두*, 김호경**

The Optimum Structural Design of the High-speed Surface Effect Ship using Composite Materials - Minimum Weight Design

by

Chang Doo Jang* and Ho Kyung Kim**

요 약

최근 선박의 고속화와 경량화가 중요시되면서 고속화에 적합한 선형과 경량화를 위한 재료의 연구가 활발히 진행되고 있다. 따라서 본 논문에서는 고속화와 경량화에 적합한 복합재료를 이용한 쌍동형 초고속선의 최소 중량 설계를 위한 구조 설계 기법과 전산 프로그램을 개발하였다. 또한 개발된 프로그램을 이용하여 복합재료의 대표적인 구조 형식인 샌드위치 형식과 Single skin 형식, 두가지가 혼용되는 Hybrid 형식에 대하여 각각 최적 설계를 수행하여 우열을 비교 검토하였다. 설계과정은 먼저 중강도 관점에서 주요 부재의 최적 설계를 수행하고, 쌍동선형 특유의 비틀림 모멘트를 고려하여 횡부재 설계를 수행하였다. 전체적인 설계 알고리즘은 미해군의 군함설계방법 (Structural Synthesis Design Program)을 따르고 설계하중, 강도기준은 DnV 선급규정을 적용하였으며, 최적화 알고리즘은 ES 1+1을 사용하였다.

Abstract

Recently, many researches are carried for high-speed and light craft. In this study, the optimum structural design procedure and the computer program are developed to minimize the hull weight of SES(Surface Effect Ship) built of composite materials. Three types of composite materials-Sandwich, Single Skin and Hybrid type- are considered and the efficiency of each type is investigated. In design process, the optimum design of main members is performed at

접수일자 : 1997년 11월 3일, 재접수일자 : 1998년 4월 21일

* 정회원, 서울대학교 조선해양공학과

** 서울대학교 조선해양공학과 대학원

first considering longitudinal strength. And then, the transverse member design is performed considering torsional strength. SSDP (Structural Synthesis Design Program) of U.S. Navy is adopted for design algorithm, and DnV classification rule for design loads and strength criteria. For optimum structural design, ES 1+1 optimization technique is used.

기호설명

b	판의 폭	(mm)
b_f	플랜지의 폭	(mm)
c	core 두께	(mm)
$C_1, C_2, C_3, C_4, C_6, C_7, C_8, C_s, C_N$	판의 형상과 경계 조건에 따른 계수[5]	
D	Flexural rigidity	
d	face 사이의 거리	(mm)
E	face의 탄성계수	(N/mm ²)
E_c	core의 탄성계수	(N/mm ²)
f	$\frac{\sigma_{nu}}{160}$	
G_c	core의 전단응력 계수	(N/mm ²)
H	Tensile rigidity	
h_w	웹의 높이	(mm)
K	형상비에 따른 계수	
L	배의 길이	(m)
l	보강재의 길이	
m	굽힘 모멘트 계수	
n	보강재의 개수	
p	압력	(kN/m ²)
t	face 두께	(mm)
$t_{0,k}$	판의 위치에 따른 계수 [5]	
t_1, t_2	face 두께	(mm)
t_{wc}	웹 core 두께	(mm)
t_{wf}	웹 face 두께	(mm)
t_w	웹의 두께	(mm)
W	단위폭당 단면계수	(mm ³ /mm)

Z	보강재의 단면 계수	
δ	laminat deflection factor	
ρ_c	core 의 밀도	(g/mm ²)
ρ_f	face 의 밀도	(g/mm ²)
ρ_i	형상재의 밀도	(g/mm ²)
σ	보강재의 허용 굽힘 응력	
σ_{nu}	최종인장응력	(N/mm ²)

1. 서 론

초고속 쌍동형 표면효과선은 동일 기관 마력에 서 저항 감소 및 부양 효율의 증가, 적절한 갑판 면적의 확보 등의 장점에 따라 초고속화에 적합한 선형으로 군사용 및 상업용으로 활발히 건조되고 있다[1]. 그런데 초고속선의 구조 설계를 위해서는 부양/비부양시의 운항 상태에 따른 다양한 하중상태에 대한 특별한 고려가 필요하고, 길이-폭 비가 기존의 선박에 비해 상당히 작고, 쌍동선체의 연결부가 존재하므로 종강도 이외의 비틀 강도도 주요 고려 사항이 된다[2]. 또한 부양 및 추진마력 감소와 고속성능 확보를 위해서는 중량의 최소화도 필수적이라 하겠다.

따라서 본 연구에서는 초고속선의 중량의 최소화 를 위하여 복합재료를 채택하였다. 복합재료의 구조 형식에는 샌드위치 구조 형식과 Single skin 구조 형식이 있다. Single skin 형식이 충돌이나 반복 하중등에 대해 샌드위치 형식보다 유리하지 만 건조 과정에서는 샌드위치 구조가 유리한 특성이 있다. 본 연구에서는 이렇게 장단점을 지닌 두

가지 구조 형식과 deck 구조는 샌드위치 구조를, 그 외 부분에는 Single skin 형식으로 구성되는 Hybrid 형식에 대해, 중량면에서 어떤 구조가 유리한지 비교 검토하였다.

이를 위해 효율적이고, 합리적인 복합재료 쌍동형 초고속선의 최적 구조 설계 기법과 이에 따르는 전산 프로그램을 개발하여 실선에 적용하여 보았다.

2. 쌍동형 초고속선의 최적 구조 설계

본 연구에서는 최적화를 위한 계산 효율을 증가시키기 위해, 종강도 관점에서 부분 구조의 최적화를 통해 중앙 단면의 최소 중량 설계를 수행하고, 쌍동형 초고속선에 특유한 비틀림모멘트에 대비한 구조 설계를 위해 비틀림 강도 해석을 수행하여 횡격벽의 최적화를 실시하였다[3][4]. 설계 하중 및 강도 기준은 DnV 선급 규정을 적용하였다[5]. 최적화 과정은 ES(Evolutionary Strategy) 1+1을 사용하였다[6]. 본 연구에서 개발한 쌍동형 초고속 표면효과선의 최적 구조 설계 과정은 Fig. 1 과 같다.

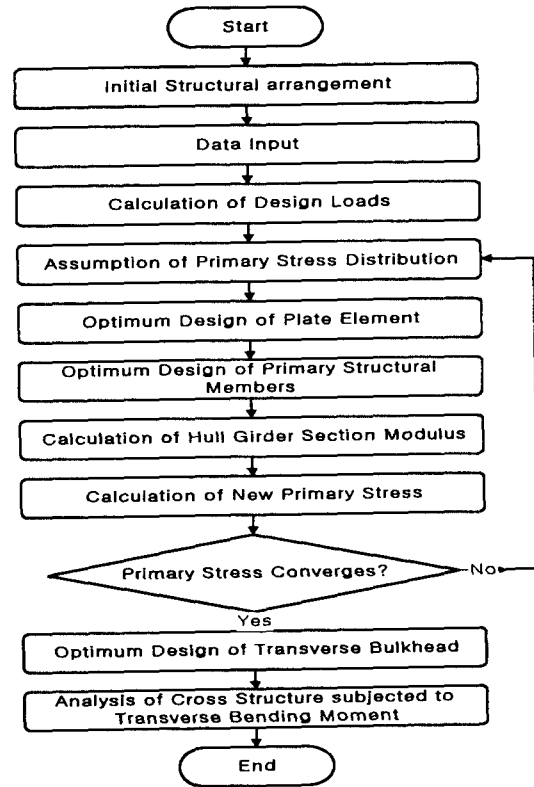


Fig. 1 Procedure of optimum design

2.1 초기 자료 입력 및 간단한 구조 배치

선체 단면의 기하학적인 형상 및 격벽, 중거여더의 위치 등에 대한 정보, 재료상수(탄성계수, 항복응력 등)에 관한 자료를 입력한다. 설계 대상 선박은 복합재료 재질의 50 knot, 32 m 급 쌍동형 표면효과선으로서 초기 설계에 의한 중앙횡단면은 Fig. 2 와 같다. 설계 대상 선박의 중앙중단면은 Fig. 3 과 같다. 프로그램 실행을 위해 필요한 선박 사양, 종굽힘 모멘트 1차응력 가정치, 재료의 탄성계수 및 항복응력 등은 다음과 같다.

1) 설계 대상선의 주요 사양

- a) Length O.A 36.65 m
- b) Length W.L 32.00 m
- c) Breadth (max) 12.00 m
- d) Depth(up to mn dk) 4.00 m
- e) Draft (off) 2.00 m
- f) Draft (on) 0.80 m

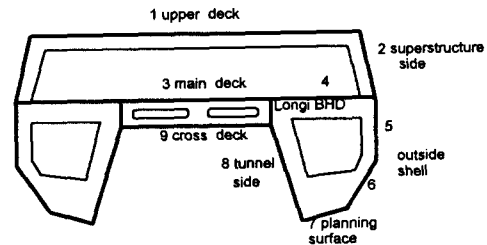


Fig. 2 Midship section

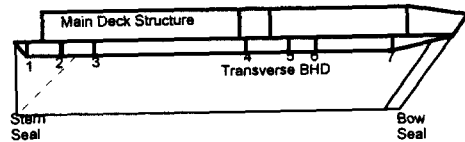


Fig. 3 Longitudinal section profile

2) 재료 특성치

a) 심재 :

KLEGECELL PVC Foam (POLIMEX) R75

Density : 0.000075 g/mm^3

E : 56.4 N/mm^2

G : 27.55 N/mm^2

b) 면재 : 72K/200 ARAMAT

Density : 0.000590 g/mm^3

E : 11447 N/mm^2

G : 5288 N/mm^2

ν : 0.17

σ_u : 203 N/mm^2

(Transverse web frame)과 같은 1차부재와 판 요소로 분리하고, 판에 대해 최소 중량 설계를 수행한다. 판 요소의 최소 중량 설계는 샌드위치 형식과 stiffened Single skin 형식에 따라 각각의 제한조건을 만족시키면서 최소 질량이 되도록 함으로써 이루어진다[7][8][9][10].

1) 샌드위치 형식

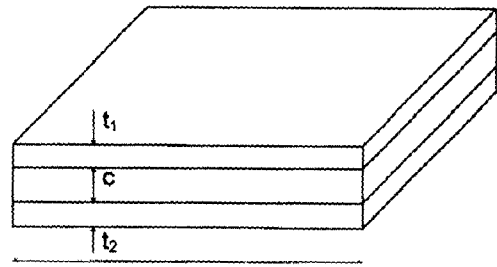


Fig. 4 Sandwich plate

2.2 설계 하중의 계산

국부적인 설계 하중으로는 선저 외판에서 슬래밍에 따르는 충격압과 수압, 적재 화물을 고려하기 위한 압력 등이고, 고려 대상의 전체 하중으로는 부양시 crest landing 과 hollow landing 상태에서 받는 굽힘 모멘트와 비부양시 파도에 의한 호킹 및 새깅 모멘트, 피칭과 연성된 비틀림 모멘트이다.

2.3 1차응력(primary stress)분포의 가정

종굽힘 모멘트에 의해 유발되는 단면 전체의 1차응력은 개별 부재의 압축 또는 인장 응력으로 작용하게 된다. 개별 부재의 좌굴 강도 검토를 위해서 1차응력의 정확한 계산이 필요하게 되는데, 최초에는 1차응력치를 가정하고 반복 계산 과정을 통해 정확한 값이 얻어지게 된다. 1차응력이란 개념이 선체 전체를 하나의 보(beam)로 이상화하였을 때, 정의되는 것이므로, 단면에 걸친 분포는 중립축을 기준으로 선형적으로 변화한다고 가정한다.

2.4 판 요소의 최소 중량 설계

선체 중앙 단면을 종거어더(Girder)나 횡능골

a) 목적함수 : 판의 질량

$$F = b(\rho_f(t_1 + t_2) + \rho_c c) \tag{1}$$

b) 제한조건

① 판의 최소 두께

$$t = \frac{t_0 + kL}{\sqrt{f}} \text{ (mm)} \tag{2}$$

② 판의 굽힘응력

$$\sigma_n = \frac{160tb^2}{W} C_N C_1 \text{ (N/mm}^2\text{)} \tag{3}$$

③ 판의 전단응력

$$\tau_c = \frac{0.52pb}{d} C_s \text{ (N/mm}^2\text{)} \tag{4}$$

④ Local skin buckling

$$\sigma_{cr} = 0.5(EE_c G_c)^{\frac{1}{3}} \text{ (N/mm}^2\text{)} \tag{5}$$

⑤ 판의 처짐

$$w = \frac{10^6 pb^4}{D_2} (C_6 C_8 + \rho C_7) \tag{6}$$

$$\text{여기서, } D_2 = \frac{E_1 E_2 t_1 t_2 d^2}{(1 - \nu^2)(E_1 t_1 + E_2 t_2)}$$

$$\rho = \frac{\pi^2 D_2}{10^6 G_c d b^2}$$

⑥ 판의 좌굴응력에 대한 허용 기준

$$\sigma_{cr} = E \frac{\pi^2 D}{b^2 H} K \quad (7)$$

2) stiffened Single skin 형식

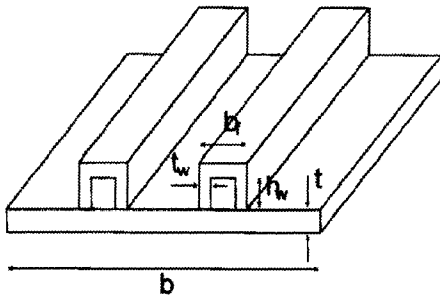


Fig. 5 Stiffened Single skin plate

a) 목적함수 : 판의 질량

$$F = b t \rho_f + n(\rho_f t_w (2h_w + b_f) + \rho_i b_f h_w) \quad (8)$$

b) 제한 조건

① 판의 최소 두께

$$t = \frac{t_0 + kL}{\sqrt{f}} \quad (mm) \quad (9)$$

② 판의 굽힘응력

$$\sigma_c = \left(\frac{t}{1000b}\right)^2 \delta E [C_1 C_3 + C_4 C_2^{\frac{2}{3}}] \quad (N/mm^2) \quad (10)$$

③ 판의 처짐

$$t = 178b \left[\frac{b}{\delta E (C_1 + \delta^2 C_2)} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (11)$$

④ 판의 좌굴응력에 대한 허용 기준

⑤ 보강재의 굽힘응력에 대한 허용 기준

$$Z = \frac{m l^2 s b}{\sigma} \quad (cm^2) \quad (12)$$

2.5 1차 구조 부재의 최소 중량 설계

종거어더(Longitudinal girder)와 횡능골

(Transverse web frame) 과 같은 큰 부재를 1차 구조 부재로 간주하고, 격벽 사이에 단독으로 위치한 부재에 대해서는 유효폭을 고려하여 단순보로 치환하여 응력을 계산한다. 일반적인 횡능골의 형상이 Fig.6 에 나타나 있다.

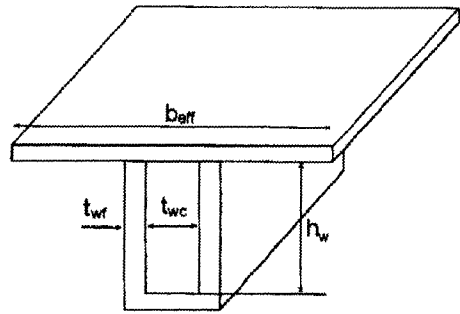


Fig. 6 Transverse web frame

a) 목적함수 : 횡능골의 전체 질량

$$F = t_{wf} \rho_f (2h_w + 2t_{wf} + t_{wc}) + t_{wc} h_w \rho_c \quad (13)$$

b) 제한조건

① 굽힘 응력에 대한 허용 기준

부재의 굽힘응력은, 유효폭을 고려한 보요소로 구조를 모델화하고 단순보이론에 따른 구조 해석을 실행하여 응력을 구한 후 이를 허용 굽힘 응력과 비교한다.

② 전단 응력에 대한 허용 기준

부재의 전단응력은, 유효폭을 고려한 보요소로 구조를 모델화하고 단순보이론에 따른 구조 해석을 실행하여 응력을 구한 후 이를 허용 전단 응력과 비교한다.

③ 전단 좌굴에 대한 허용 기준

전단좌굴하중을 구한 후 허용 전단 응력과 비교한다.

2.6 단면계수 계산 및 1차응력분포의 재계산

판 요소 및 1차부재의 설계가 완료되면, 새로운 단면에 대해 단면계수를 계산하고 1차응력 분포를 다시 계산한다.

2.7 1차응력의 수렴 판정

최초에 가정한 1차응력치와 설계된 단면에 대해 계산된 1차응력치가 수렴하게 되면 다음 단계로 넘어 가지만 수렴하지 않을 경우에는 계산된 1차응력치를 초기치로 하여 다시 구조 설계 과정을 반복하게 된다.

2.8 횡격벽의 설계

피칭과 연성된 비틀림 모멘트에 효과적으로 저항하는 구조는 쌍동 선체를 연결하는 횡격벽이므로, 횡격벽 구조의 설계시 수압과 비틀림 모멘트에 기인한 전단응력을 제한조건으로 고려하여야 한다. 비틀림 모멘트에 의한 횡격벽의 전단응력은 각각의 횡격벽을 보로 모델링하여 횡격벽의 끝단에 작용하는 전단력을 계산함으로써 구해진다.

a) 목적함수

$$F = b(\rho_f(t_1 + t_2) + \rho_c c) \quad (14)$$

b) 제한조건

- ① 설계 압력에 의한 판의 굽힘응력에 대한 허용 기준
- ② 전단력에 대한 전단 좌굴응력 허용 기준
- ③ 전단력에 의한 전단 항복응력에 대한 허용 기준

2.9 중앙 종단면에 대한 강도 검토

중앙 종단면에 대해서 횡굽힘 모멘트 작용시의 굽힘 응력을 보이론에 의해서 계산하고 강도 기준과 검토해 본다. 이 때에 중앙 종단면은 일체가 되어 보와 같은 거동을 한다고 가정한다.

3. 최적 설계 결과

3.1 판 요소의 최적 설계 결과

횡늑골 수에 따른 판 및 횡늑골 전체의 단위 길이당 질량 변화는 Fig. 7과 같다. Fig. 7에 따르면 횡늑골의 개수가 증가함에 따라 횡늑골 사이의 간

격이 좁아지기 때문에 하나의 판요소가 받는 하중이 줄어 횡늑골 하나의 크기와 판두께는 감소됨을 알 수 있다. 그러나 횡늑골의 개수가 어느 정도 이상으로 계속 증가하게 되면 횡늑골 하나의 크기 및 판두께의 감소는 둔화되는 반면에 횡늑골 개수의 증가로 인해 횡늑골 전체의 단위 길이당 질량은 증가하고 이로 인해 전체 구조의 단위 길이당 질량은 증가하게 된다. 따라서 전체 질량을 최소로 하는 최적의 횡늑골 개수가 존재하며, 이 때의 횡늑골 크기 및 판두께도 결정될 수 있다.

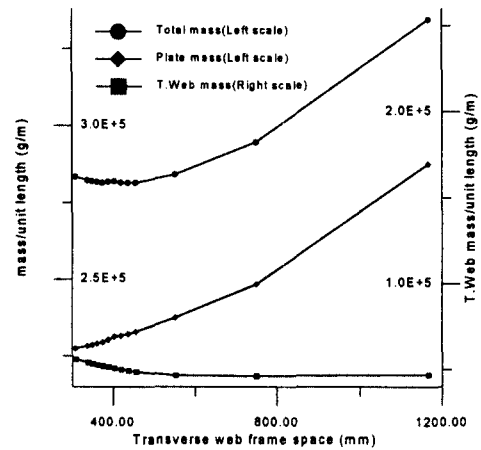


Fig. 7 Sandwich type

1) Sandwich 판의 최적화 결과

설계 결과가 Table 1에 주어져 있다. Table 1에서 deck의 core 치수가 커진 것은 좌굴 제한조건식의 영향 때문이다. 본 연구에서 사용한 좌굴식은 사변 단순 지지 판에 대한 식이므로 지나치게 안정된 값을 주게 되어 실적선보다 큰 치수를 주게 되었다. 그러나, 좌굴의 영향이 적은 다른 부분에서의 치수가 줄어 전체 질량은 감소된다.

2) Stiffened Single skin의 최적화 결과

하중 조건과 판의 형상이 주어졌을 때, 보강재 수에 따른 판두께, 보강재 및 보강판 전체의 단위 길이당 질량 변화는 Fig. 8과 같다. Fig. 8에 따르면 보강재의 개수가 증가함에 따라 보강재 사이

Table 1 Result of optimum design of sandwich type

No. of plate		Origin(mm)	Result(mm)
1 Upper Deck	face (protected)	1.75	1.74
	core	40	59.09
	face (exposed)	2.15	2.18
2 Superstructure Side	face (protected)	1.75	1.74
	core	40	19.97
	face (exposed)	2.15	2.18
3 Main Deck	face (protected)	1.75	1.74
	core	40	28.92
	face (exposed)	2.15	2.18
4 Main Deck	face (protected)	1.75	1.74
	core	20	21.10
	face (exposed)	2.15	2.18
5 Side shell above W.L.	face (protected)		3.44
	core		11.67
	face (exposed)		3.89
6 Side shell below W.L.	face (protected)		3.44
	core		12.05
	face (exposed)		3.89
7 Planning Surface	face (protected)		3.44
	core		43.47
	face (exposed)		3.89
8 Tunnel Side	face (protected)		3.44
	core		17.85
	face (exposed)		3.89
9 Cross Deck	face (protected)	3.56	3.44
	core	40	11.67
	face (exposed)	3.56	3.89

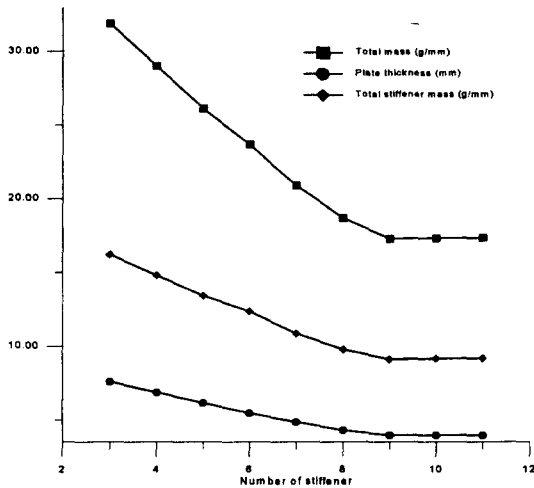


Fig. 8 Stiffened Single skin plate

의 간격이 좁아지기 때문에 보강재의 크기와 판두께가 감소됨을 알 수 있다. 그러나 보강재의 개수가 계속 증가하게 되면 판두께는 최소 두께 제한 조건에 의해 더 이상 감소할 수 없게 되는 반면 보강재 개수의 증가로 인해 보강재 전체의 단면적은 증가되는 결과가 얻어지게 된다. 따라서 최적의 보강재 개수가 존재하며, 이 때의 보강재 크기 및 판두께도 결정될 수 있다. 결과가 Table 2에 나타나 있다. 5,9번 판의 경우는 선급에서 요구하는 판의 최소 두께가 지나치게 커서 보강재가 없어도 다른 제한조건을 모두 만족시켜 주는 결과가 나왔다.

Table 2 Result of optimum design of Single skin type (괄호안은 보강재의 개수)

	Origin (mm)		Result (mm)	
	Plate thick.	stiffener size (hw*bf*tw)	Plate thick.	stiffener size (hw*bf*tw)
1 Upper deck			4.87	10.65*11.22*1.04 (62)
2 Superstructure side			4.87	12.40*12.80*1.12 (10)
3 Main deck			3.96	11.81*20.18*1.06 (16)
4 Main deck			3.96	12.00*17.18*1.16 (11)
5 Side above W.L.	7.12	75*75*3(2)	6.14	no stiffener
6 Side below W.L.	8.12	75*75*3(2)	7.00	35.03*49.89*1.05 (3)
7 Planning surface	10.12	75*75*6(2)	7.00	47.70*51.79*2.07 (4)
8 Tunnel side	8.12	75*75*3(3)	7.00	30.13*36.61*1.72 (8)
9 Cross deck			7.19	no stiffener

3) Hybrid Type 의 최적 설계 결과

실적선과 같은 선형인 Hybrid Type에 대한 설계 결과가 Table 3 에 주어져 있다. Table 3 에서 deck 의 core 치수가 약간 커진 것은 좌굴 제한 조건식의 영향 때문이다. 그러나, Single skin 형식인 부분의 치수가 줄어 전체 질량은 감소된다.

3.2 1차 구조 부재의 최적 설계 결과

1) 횡능골 구조

Table 4에 횡능골의 설계 결과가 나와 있다.

Table 3 Result of optimum design of Hybrid type(팔호안은 보강재의 개수)

No.of plate		Origin (mm)	Result(mm)
1 Upper Deck	face(protected)	1.75	1.74
	core	40	49.24
	face(exposed)	2.15	2.18
2 Superstructure Side	face(protected)	1.75	1.74
	core	40	15.88
	face(exposed)	2.15	2.18
3 Main Deck	face(protected)	1.75	1.74
	core	20	21.62
	face(exposed)	2.15	2.18
4 Main Deck	face(protected)	1.75	1.74
	core	20	14.83
	face(exposed)	2.15	2.18
5 Side above W.L.	plate thickness & stiffener size	7.12 75*75*3 (2)	6.14 no stiffener
6 Side below W.L.	plate thickness & stiffener size	8.12 75*75*3 (2)	7.00 22.26*39.03*1.17 (4)
7 Planning Surface	plate thickness & stiffener size	10.12 75*75*6 (2)	7.81 39.09*39.34*3.36 (4)
8 Tunnel Side	plate thickness & stiffener size	8.12 75*75*3 (3)	7.00 35.12*38.86*1.35 (8)
9 Cross Deck	face(protected)	3.56	3.44
	core	40	11.67
	face(exposed)	3.56	3.89

Table 4 Result of the optimum design of transverse web frame 단위(mm)

Number of T.Web	Origin	Single skin (hw*tw)	Sandwich (hw*tw)	Hybrid (hw*tw)
1	face:1.75 core:50.0	397.10*1.18	462.64*1.18	428.88*1.18
2		187.48*1.18	218.17*1.18	200.56*1.18
3		159.68*1.18	183.27*1.18	168.50*1.18
4		220.21*1.18	251.26*1.18	232.69*1.18
5		252.37*1.18	284.95*1.18	252.37*1.18
6		254.34*1.18	292.04*1.18	254.34*1.18
7		467.30*1.18	543.35*1.18	467.30*1.18
8		300.00*1.78	300.00*2.34	300.00*1.78
9		300.00*1.35	300.00*1.79	300.00*1.50

Table 4에서 횡늑골의 치수가 Single skin에서 작게 나온 이유는 굽힘에 대한 판의 effective flange

를 고려하는 방법의 차이에 기인한다. Single skin 형식의 경우 판의 두께 전체를 effective flange 두께로 고려하는데 비해 샌드위치 형식의 경우는 횡늑골이 접착되어 있는 face의 두께만을 고려하기 때문에 Single skin 형식이 유리한 결과를 주게 된다.

2) 종격벽 구조

Table 5에 종격벽의 설계 결과가 주어져 있다. Single skin의 경우 선급에서 요구하는 판의 최소 두께가 지나치게 커서 보강재가 없어도 다른 제한 조건을 모두 만족시켜 주는 결과가 나왔다.

Table 5 Result of the optimum design of longitudinal bulkhead 단위(mm)

Longitudinal BHD	Origin	Single skin	Sandwich	Hybrid
1	face:1.75 core:50.0	5.86 no stiffener	face:1.74 core:5.38	face:1.74 core:5.22

3.3 중앙 횡단면 설계 결과 및 강도 검토

Table 6에서 볼 수 있듯이 전체적으로 15%-30% 정도의 질량 감소가 되었다. Single skin 형식의 경우가 가장 유리한 이유는 첫째로 판요소의 설계시 Rule에서 요구하는 샌드위치 형식의 face 두께가 두껍고, 둘째로 횡늑골 등의 설계시 샌드위치 형식의 경우 횡늑골이 부착되어 있는 판의 face 두께만을 유효폭의 두께로 인정하기 때문에 샌드위치 형식이 Single skin 형식에 비해 치수가 커지기 때문이다.

3.4 중앙 종단면의 강도 검토

Fig.3의 종단면을 횡방향 보로 이상화하여, 종강도 관점에서 최적화한 결과를 토대로 단면계수와 응력을 구하면 Table 7과 같다. 여기서 계산된 굽힘 응력이 허용 굽힘 응력 (60.90 N/mm²) 보다 작아 충분한 횡강도를 가짐을 알 수 있다.

Table 6 Result of optimum design of midship cross section

	Origin	Sandwich	Single skin	Hybrid
Distance of N.A. from B.L. (mm)		2958	3358	3212
Section modulus at Upper Deck (m ³)		0.2398	0.3869	0.3369
Section modulus at Bottom (m ³)		0.2669	0.3332	0.3186
Primary Stress at Upper Deck (Sagging) (N/mm ²)		-34.21	-21.20	-24.35
Primary Stress at Bottom (Sagging) (N/mm ²)		30.74	24.61	25.74
Primary Stress at Upper Deck (Hogging) (N/mm ²)		23.11	14.33	16.45
Primary Stress at Bottom (Hogging) (N/mm ²)		-20.77	-16.63	-17.40
Web frame space (mm)	1050	437.5	375	375
Plate mass/Unit Length (kg/m)	278.270	232.608	177.405	230.060
Transverse Web mass/Unit Length (kg/m)	57.258	50.920	49.648	52.029
Total mass/Unit Length (kg/m)	335.528	283.529	227.053	282.089

Table 7 Result of optimum design of longitudinal cross section

	Sandwich	Single skin	Hybrid
N.A. from cross deck (mm)	2149	2043	2153
Section modulus at Upper Deck (m ³)	0.4431	0.5119	0.4383
Bending stress at Upper Deck (N/mm ²)	6.28	5.43	6.34

3.5 횡격벽의 최적 설계 결과 및 비틀림 강도 검토

비틀림 강도를 고려한 횡격벽의 설계 결과는 Table 8과 같다. 여기서 각 횡격벽에 작용하는 전단 응력이 허용 전단 응력 (40.00 N/mm²) 보다 작게 됨을 알 수 있다.

Table 8 Result of optimum design of transverse bulkhead

No. of T. Web	Origin (mm)	Result		
		thickness (mm)	Shear stress (N/mm ²)	
1	face:1.75 core:50.00	face	1.74	34.57
		core	24.58	
2		face	1.76	26.17
		core	24.47	
3		face	1.99	17.80
		core	23.48	
4		face	1.74	-4.00
	core	30.76		
5	face	2.24	-10.18	
	core	21.40		
6	face	1.78	-22.73	
	core	24.44		
7	face	2.27	-31.87	
	core	33.39		

4. 결 론

본 연구에서는 최근 선박의 고속화 경향에 따른 선체 중량 감소의 중요성이 부각됨에 따라 복합 재료를 채택한 쌍동형 초고속선형의 최소 중량 설계 전산 프로그램을 개발하여 실선에 적용하였다.

개발된 프로그램은 복합재료의 구조형식 중 대표적인 두가지 형식 즉, 샌드위치 구조 형식과 Single skin 형식에 모두 사용할 수 있으며, 이 두가지 형식이 혼용되는 Hybrid type에 대해서도 최소 중량 설계를 수행하였다. 그 결과, 중량 관점에서는 Single skin 형식이 가장 유리한 것으로 나타났다.

쌍동형 선형의 경우 종강도 뿐만 아니라 횡강도와 비틀림 강도가 중요한 요인이 되는데, 본 연구

3.4절의 결과로 볼 때, 종강도 관점에서 설계하면 횡강도는 충분한 강도를 가지게 되어 문제가 없음을 알 수 있으며, 비틀림 강도는 횡격벽의 설계시 제한 조건으로 고려하여 충분한 강도를 가지도록 설계하면 됨을 알았다.

본 연구의 최적 설계를 위한 목적함수는 중량에만 국한되어 있으므로, 실제 건조 공정 상의 제약이나 공수 등을 더 고려한 건조비에 기초한 최적 설계 기법의 개발이 더 이루어져야 할 것이다.

후 기

본 연구는 한국과학재단지원의 1996년 특정연구 과제(초고속선의 구조설계 및 동적 해석에 관한 기초연구)의 일부로 수행되었음을 밝히며, 본 연구의 지원에 대하여 깊이 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Lavis, Spaulding, "SES Developments Worldwide", Naval Engineers Journal, September 1991
- [2] Edward A. Butler, "The Surface Effect Ship", Naval Engineers Journal, February 1985
- [3] Ratmond G. Allen, Robert R. Jones, "Consideration of the Structural Design of High Performance Marine Vehicles", SNAME, Jan. 1977
- [4] 최병기, "초고속 표면효과선의 최적 구조 설계에 관한 연구.", 서울대학교 대학원 조선해양공학과 석사 학위 논문, 1994년
- [5] DnV, "Tentative Rules for Classification of High speed and Light Craft", 1993
- [6] Schwefel, H.P., Numerical Optimization of Computer Models, Wiley, Chichester, 1981
- [7] Howard G. Allen, "Analysis and Design of Structural Sandwich Panels", Pergamon press, 1969.
- [8] S. V. Nardo, "An Exact Solution for the Buckling Load of Flat Sandwich Panels with Loaded Edges Clamped.", J of Aeronautical Sciences, September, 1953
- [9] 김기성, 김익태, 김윤영, "고정지지된 Sandwich Panel의 최적설계에 관한 연구." 대한조선학회 논문집 제29권 제2호 1992년 5월
- [10] 조민수, "전단좌굴을 고려한 샌드위치 평판의 최적구조설계에 관한 연구", 서울대학교 대학원 조선해양공학과 석사학위 논문, 1995년