

## 함정의 최적 구조 설계에 관한 연구

서승일\*, 손건호\*\*, 박명규\*\*\*

### A Study on the Optimum Structural Design of Naval Vessels

Seung Il Seo\*, Keon Ho Son\*\* and Myung Kyu Park\*\*\*

#### 요 약

함정은 선급의 규정을 받지 않고 독자적인 기준을 가지고 설계된다. 본 연구는 함정 설계에 적용되는 가장 권위 있는 기준이라고 할 수 있는 미해군의 규정을 중심으로 그 특성과 개념을 소개하고, 개별적인 기준이 구조 설계 시에 반영되었을 때의 설계 결과에 대해 분석함으로써 설계자가 규정식 적용의 영향을 파악하는데 도움을 주고자 하였다. 또한 함정의 최적 구조 설계를 위하여 미해군 규정에 기초하고 구조 해석 이론을 접목한 최적 설계 방법을 제시하고, 실제 함정에 대해 적용하여 봄으로써 제시된 방법의 유용성을 보였다. 본 방법의 적용 결과 종보강재와 횡능골의 간격과 같은 주요 설계 변수가 함정 중앙 단면의 설계 결과에 미치는 영향이 분석 가능하며, 최적의 중앙 단면 설계가 얻어 질 수 있었다.

※Keywords : Optimum Structural Design(최적 구조 설계), Naval Vessel(함정), Naval Standard (해군 규정), Midship Section(중앙단면), Grillage Analysis(격자구조 해석)

#### Abstract

Naval vessels are not regulated by the class rules, but by the special regulations. This study introduces the concept and characteristics of the regulations of U.S. Navy which has been the most reliable standards in design of naval vessels in Korea, and intends to help designers to comprehend the effect of each regulation on design results. Also, an optimum structural design method combined with the structural analysis theory is proposed for naval vessels following the regulations of U.S. Navy and is applied to the design of a naval vessel. After application of the optimum design method, its validity is shown and an optimum design of midship section is obtained. In addition, the optimum spaces of longitudinals and transverse web frames are found and the effect of main design variables can be investigated.

접수일자: 2001년 8월 17일, 승인일자: 2001년 11월 14일

\* 정회원, 한진중공업 수석연구원(E-mail: siseo@hhic.co.kr)

\*\* 정회원, 한진중공업 책임연구원(E-mail: sonksonk@hanmail.net)

\*\*\* 정회원, 한국해양대학교 해양시스템공학부 교수(E-mail: mkpark@hanara.kmaritime.ac.kr)

### 1. 서 론

함정은 전투라는 예외적인 상황에 대비하기 위해 건조되는 특수 선박이므로 상선과는 다른 개념에 따라 설계된다. 함정은 작전 수행을 위해 신속히 목표 지점에 도달해야 하고, 적의 공격에 견디면서, 최악의 해상 상태에서도 항로를 유지하고, 일정한 속도를 내며, 복잡한 공격 무기의 탑재 및 운용을 위한 충분한 갑판 면적을 확보할 수 있도록 설계되어야 한다. 따라서 함정의 전투 능력 향상은 설계 시 최우선의 고려 대상이었고, 건조비 등의 경제성 평가는 부차적인 요인이 되고 있다.

함정의 구조 설계는 상선과는 달리 선급 규정에 적용을 받지 않는다. 현재 로이드 선급에서 함정 설계를 위한 선급 규정의 잠정안(LR 1999)을 발표하여 일부에서 적용하고 있으나, 아직까지 함정 구조 설계의 기본은 오랜 경험과 권위를 가지고 있는 미해군(U. S. Navy)의 설계기준서(NSSC 1976)와 사양서(NSSC 1995)라고 할 수 있다. 미해군의 기준서에서는 함정이 받을 수 있는 각종 하중을 정의하고, 구조 부재들의 강도 기준을 제시하고 있다. 상선의 구조 설계를 지배하는 선급 규정에서는 각 구조 부재별로 설계치를 제시하고 있는 데에 비하여, 미해군의 기준에서는 하중 기준과 강도 기준을 제시하고 설계자가 기준에 맞추어 설계를 진행할 수 있도록 하였다. 이 점에서, 직접 구조 설계의 개념에 접근하였다고 할 수 있다.

동일한 크기의 함정에서 중량이 작은 쪽이 속도나 기동성, 안전성, 유지비용 등의 면에서 우수하기 때문에 함정 구조 설계의 1차 목적은 중량의 최소화가 되고 있다. 함정 구조 설계의 목표인 중량의 최소화는 미해군의 기준을 만족하는 범위 내에서 이루어져야 하므로, 목표 달성을 위해서는 설계 단계에서 기준에 대한 충분한 검토가 이루어져야 하고, 만족할 만한 결과가 도출될 때까지 설계의 반복이 필요하다.

구조 최적화와 관련한 국내 연구자의 연구로는 국부 구조물인 격자구조에 대한 다목적 최적 설계에 관한 연구(임상전/양영순 1988)와 골조구조의 유한 요소 해석 과정을 포함한 중앙 단면의 최적

설계에 관한 연구(나승수 1985)가 있으며, 쌍동형 초고속선의 최적 설계와 관한 연구(장창두 1994)가 있으나, 함정 구조의 최적 설계에 관한 연구는 국내에서는 시작 단계(서승일 1991)이다.

본 연구에서는 함정의 구조 설계자를 위한 기초 자료를 제시하기 위하여, 먼저 미해군의 설계 기준에 대해 분석함으로써 부재 치수를 결정하는 주요 제한 조건이 무엇인지 고찰하고, 함정 구조를 최적으로 설계할 수 있는 방법을 제시하며, 제시된 최적 설계를 통해 얻어진 결과를 제시하고자 한다.

### 2. 함정 구조의 설계 기준에 대한 고찰

#### 2.1 하중 기준

Fig.1은 미해군에서 제시하고 있는 함정 설계를 위한 하중의 종류를 나타내고 있다. 함정은 평시의 운항 조건과 함께 비상시의 전투 상황에서 발생하는 하중을 고려하여 설계되어야 한다. 비상시에 함정이 받게 되는 하중은 확률적으로도 예외적인 상황임을 감안하여 기본적인 하중과 서로 조합되지 않는다. 비상시를 감안한 독립 하중 중에는 수중폭발에 기인한 충격하중(shock load)이 있다.

기본 하중(basic load)은 선박이 운항시에 받을 수 있는 하중으로서, 상선과 함정에서 개념적인 차이는 별로 없다. 그런데, 종강도 계산을 위한 종굽힘 모멘트의 산정 시에는 상선과 함정 사이에 다소의 차이가 있다. 상선은 종강도에 관련한 통일된 규정식을 가지고 있으나(DNV 1992) 함정의 경우에는  $1.1\sqrt{L(f)}$ 의 파고를 갖고, 배 길이와 동일한 파장을 갖는 Trochoid 파를 종강도 계산을 위한 기준으로 삼는다. 또한 상선에 적용되는 선급 규정에 따르면 새깅(sagging) 상태의 파랑 종굽힘 모멘트가 호깅(hogging) 상태의 파랑 종굽힘 모멘트보다 항상 큰 값을 주고 있으나, 함정의 경우에는 선형에 따라 다른 결과가 나타날 수 있다.

실적 함정에 대한 파랑 중 종굽힘 모멘트 계산

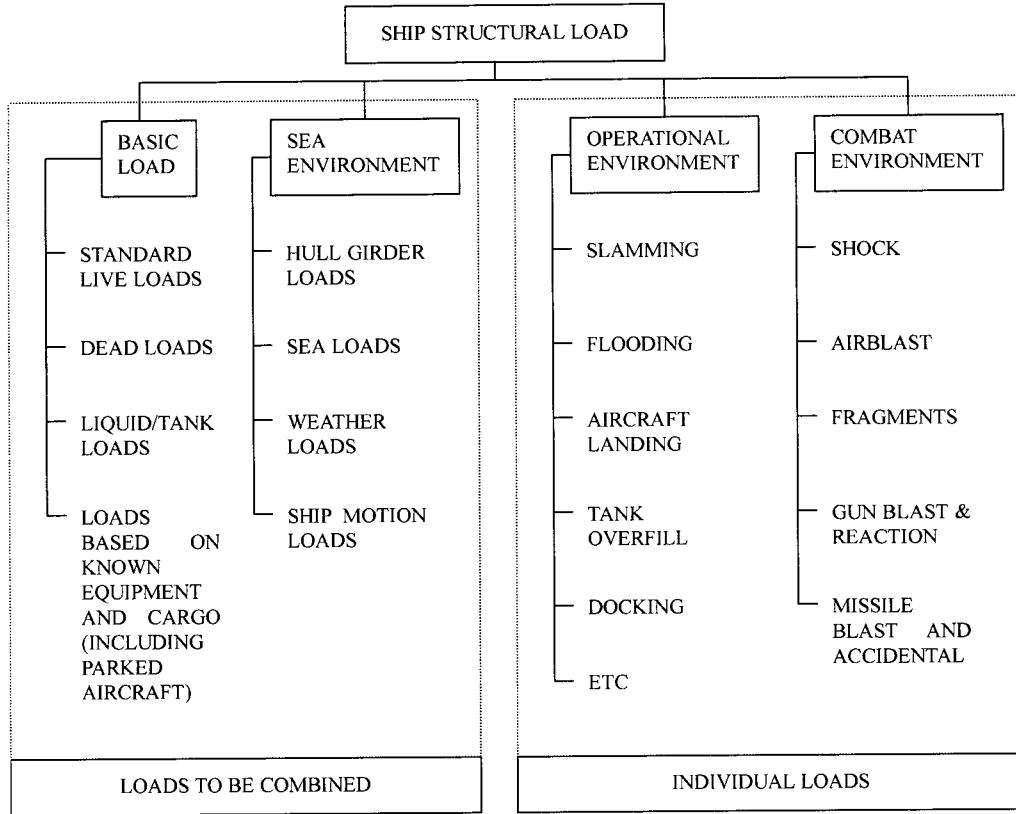


Fig. 1 Design Loads (NSSC 1976)

결과(코리아타코마 조선 1983)를 선급 규정과 비교해 보면 Fig.2와 같다.

Fig.2에 따르면 선급 규정에 의한 파랑 굽힘 모멘트 계산치가 함정 기준에 의한 파랑 굽힘 모멘트 계산치의 평균적인 값을 주고 있음을 알 수 있다. 함정의 경우 하중 적재 상태 조절을 통해 최대 호킹 또는 최대 새김 상태를 만들게 되므로 Fig.2와 같은 편차를 보인다고 사료된다.

함정의 경우에는 초기 설계 단계에서 통상 종강도 계산을 위한 전체 중굽힘 모멘트(정수중 중굽힘 모멘트 + 파랑중 중굽힘 모멘트)를 다음의 식을 통해 추정하게 된다.

$$M = \frac{A \cdot L}{C} \quad (1)$$

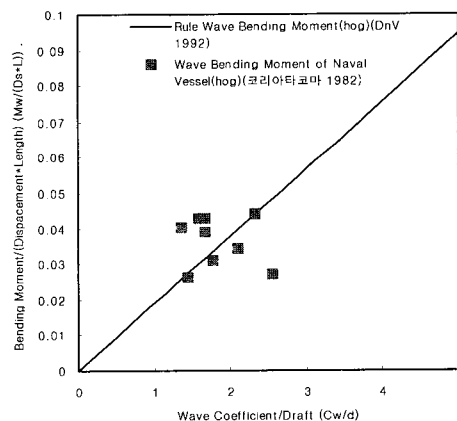


Fig.2 Wave bending moment

여기서,  $L$  = 배수량  
 $L$  = 수선간 거리  
 $C$  = 선종에 따라 유사선 자료로부터 얻어지는 계수

(1)식의 C값은 선종에 따라 다른 값을 주고 있는데, 유사선의 종강도 계산 결과로부터 얻어진 값을 사용하고 있으며, 보통 20~35정도의 분포를 보이고 있다. Fig.1에서 알 수 있듯이, 독립적인 하중으로서 선수 슬래밍에 의한 충격하중과 수중폭발에 의한 충격하중이 종강도에 영향을 미치고 있는데, 특히 수중폭발 시에 발생하는 가스 구체(gas bubble)에 의한 휘핑 모멘트는 선체 종강도에 치명적인 영향을 줄 수 있다. 독립적인 극한 하중의 경우에는 강도 기준도 항복 또는 좌굴 관점보다, 최종강도 관점에서 새롭게 정의하고 있는 것이 현재의 미해군 규정의 추세이다(US Navy 1996).

선수 슬래밍에 의한 휘핑 모멘트를 고려하는 경우 C값은 20정도로 저하되고, 수중폭발에 의한 휘핑 모멘트를 고려하는 경우의 C값은 7.5까지 저하되므로 설계 시에 충분한 고려가 필요하다.

2.2 강도 기준

합정의 종강도 기준의 주요 내용은 선체 종굽힘 모멘트에 의해 유발되는 1차 응력의 한계치라 할 수 있다.

미해군 규정에 따르면 종굽힘 모멘트에 의한 1차 응력(primary stress)의 제한치가 131 N/mm<sup>2</sup> (mild steel 기준)(NSSC 1976)인데 비하여, 선급 규정에 따르면 170 N/mm<sup>2</sup>이 (DNV 1992)되어, 전반적인 종강도 관점에서는 합정 기준이 선급 규정보다 좀더 엄격하다고 말할 수 있다.

국부 부재에 대한 강도 기준은 Table 1 및 Table 2와 같다. Table 1의 강도 기준식을 살펴 보면 보의 경우에는 일반적인 구조 설계 기준인 항복과 좌굴 관점의 기준식임을 알 수 있다. 그런데 판의 경우에는 최종강도 관점까지 포함된 강도 기준임을 알 수 있다.

Table 2에 제시된 면의 압력을 받는 판의 강도 기준을 선저 외판에 적용하여 일반 상선 기준에 의한 결과(DNV 1992)와 비교하여 보면 Fig.3과 같다. Fig.3을 보면 상선 기준에 비해 합정 기준에 의해 결정된 판두께가 상당히 적음을 알 수 있다. 물론 상선의 경우 부식에 의한 여유를 고려하고 있으나(Fig.3의 경우 1mm), 이를 제외하더라도 판두께 설계 결과는 합정의 경우가 상선에 비해 적게 된다. 이것은 합정의 경우 중량 경감을 통해 함의 기동성을 확보하기 위한 구조 설계 개념이 강도 기준에 반영되어 있다는 것을 뜻한다.

판두께 결정 측면에서 합정의 기준은 상선 기준에 비해 경량화를 추구하면서, 종강도 측면에서 합정 기준이 상선에 비해 엄격하다는 것이 합정의 구조 설계 기준이라 요약할 수 있다.

상호 모순과 같은 설계 기준으로 생각되지만, 합정은 상선에 비해 종강도에 기여하는 갑판의 수가 많다는 것을 염두에 두면 쉽게 이해가 될 수 있는 기준이다. 결국 합정은 상선에 비해 경량 설계를 추구하기 위한 설계 기준을 채택하고 있다고 결론지을 수 있다.

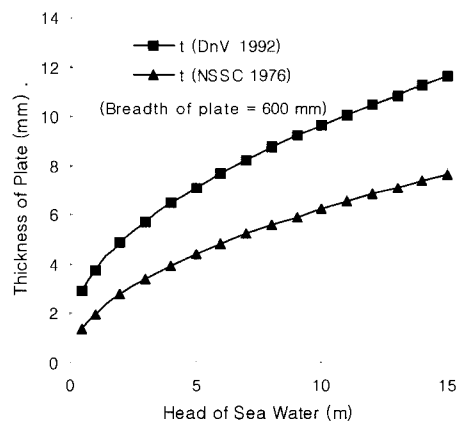


Fig.3 Thickness of plate according to normal pressure

**Table 1** Strength criteria for beams and plate stiffener combinations  
(Longitudinal framing)(NSSC 1976)

APPLICABILITY AND LOADING/FAILURE IDENTIFICATION	STRENGTH CRITERIA		SYMBOLS
	FAILURE STRESS LEVEL	ALLOWABLE STRESS/STRESS COMBINATION	
<u>BEAM</u> YIELDING - SHEAR	-----	$f_c \leq 0.60 F_b$ (2)	$f_a$ = calculated tensile axial stress ; from local load (P/A) or design primary stress
BUCKLING - STANCHION	$F_c$	$f_c \leq 0.60 F_c$ (3)	
BEAM-COLUM	$F_c$	$f_c \leq K_s F_c$ (4)	$f_c$ = calculated compressive axial stress; from local load (P/A) or design primary stress
TENSILE AND BENDING	$F_y$	$f_t + f_a \leq F_b$ (5)	
COMPRESSION AND BENDING	-----	$\frac{f_b}{F_b} + \frac{f_c}{K_s F_c} \leq 1.0$ (6)	$f_b$ = calculated compressive bending stress (M/Z from local load)
<u>PLATING</u> LATERAL LOADING (DISTRIB)	(SEE Table 2)		$f_p$ = calculated compressive stress on plate panel (design hull bending primary stress)
EDGE LOADING	$F_u$	$f_p \leq 0.80 F_u$ (7)	$f_s$ = calculated shearing stress on plate panel
SHEAR AND EDGE LOADING	-----	$[f_p, f_s] \leq F_p$ (8)	$F_c$ = column strength
<u>STIFFENED PLATE</u> UNDER LATERAL AND COMPRESS LOADING	-----	$f_c + f_b \leq 0.80 \frac{F_u F_c}{F_y}$ (9)	$F_b$ = allowable axial/bending strength excluding buckling $= \frac{1}{2} \left( \frac{F_y}{1.25} + \frac{F_m}{2.15} \right)$

**Table 2** Strength criteria for pating under lateral loads(NSSC 1976)

STRENGTH CRITERIA	RATIO b/a	K- VALUE	C-VALUE	TOP SIDE	LOWER SHELL/ TANK	FLOODING /DAMAGE CONTROL
$\frac{b}{t} \leq \frac{C}{K\sqrt{H}}$ (9) $H$ = Head of Sea Water (ft)	0.5 or less	1.00	AL5086	250	400	500
	0.6	0.98	AL5456	300	470	600
	0.7	0.94	MS	350	550	700
	0.8	0.89	HTS	400	630	800
	0.9	0.84	HY80	500	750	900
	1.0	0.78	HY100	550	800	1000

2.3 최적 설계를 위한 제한조건에 관한 고찰

2.3.1 보(beam)에 대한 제한조건

Table 1에서 보의 설계를 위한 강도기준을 살펴보면, 항복과 좌굴을 방지하기 위한 제한 조건임을 알 수 있다. Table 1의 강도 기준식이 선재 종보강재의 형상에 미치는 영향을 알기 위해, Fig.4와 같이 정의된 보강재에 대해 설계를 수행하여 보면 Fig.5와 같다. Fig.5에서 보강재 형상의 표현을 간단히 하기 위해 두께는 모두 일정하게 고정하였고, 설계 변수로 보강재 웨브 높이와 플랜지의 폭을 선정하였다. 설계 가능 영역 (design feasible region)을 확인하고 설계 변수의 변화에 따른 중량의 변화를 그림으로 나타내자 하였다. Table 1의 강도 기준식 중에서 (3)식은 기둥에 대해 적용되는 식이므로 제외하고, (4)식은 (6)식에 포함되므로 제한조건식으로서 생략하였다.

Fig.5의 결과를 보면 종보강재의 치수를 결정하는 지배 제한조건식(active constraint)은 (5)식과 (6)식임을 알 수 있다. 종보강재의 웨브 높이가 낮은 경우에는 압축하중에 의해 좌굴이 발생할 수 있으므로 굽힘과 압축 상관관계식인 (6)식이 지배제한조건식이 되지만, 웨브의 높이가 높아지게 되는 경우에는 압축에 의한 좌굴 발생 가능성이 없으므로 인장과 굽힘 상관관계식이 지배 제한조건식이 됨을 알 수 있다. 보강재의 중량을 나타낼 수 있는 단면적도 Fig.5에 나타나 있는데, 제

한조건식을 만족하는 가능 영역(feasible region) 내에서는 웨브의 높이를 증가시키고 플랜지의 폭을 감소시키는 것이 중량 최소화에 유리하다는 결과를 Fig.5로부터 도출해 낼 수 있다.

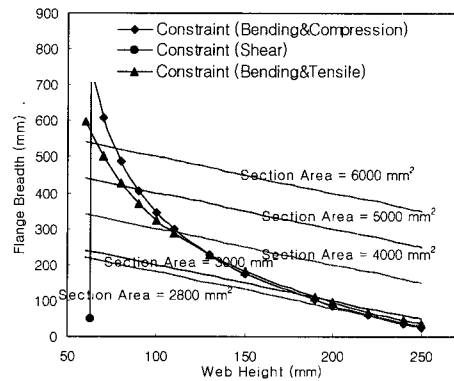


Fig.5 Feasible region of beam

2.3.2 판(plate)에 대한 제한조건식의 고찰

Table 2에서 판에 대한 강도기준식은 판 굽힘응력, 좌굴 및 최종강도 관점의 제한식이라 할 수 있다. 각 강도기준식은 판두께와 폭의 비로 표현할 수 있는데, 구체적으로 나타내 보면 Fig.6과 같다.

판의 굽힘응력과 좌굴응력의 조합 상관관계는 고려하지 않기 때문에 압축응력과 관계 없이 일정한 수압하에서 굽힘응력 관점의 요구 판두께는 일정하게 된다. 일반적으로 판의 최종강도는 좌굴강도 보다 크기 때문에 최종강도 관점의 설계 결과

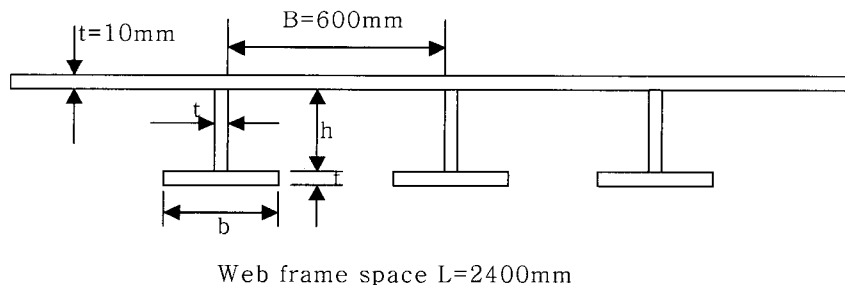


Fig.4 Sectional view of longitudinal stiffeners joined with plate (normal pressure=100 N/cm<sup>2</sup>, primary stress=10,000 N/cm<sup>2</sup>)

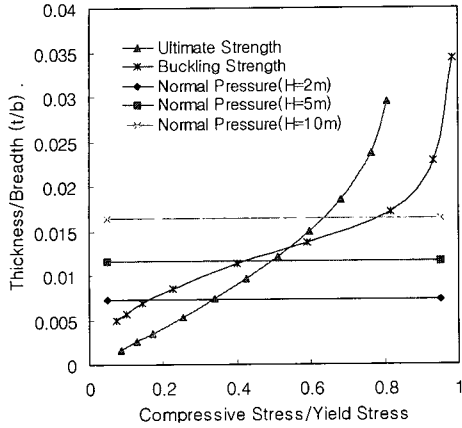


Fig.6 Constraints for plate

가 좌굴강도 관점의 설계보다 판두께가 얇게 되는 경향이 있으나, 압축강도가 증가하여 판의 두께가 크게 되는 경우에는 최종강도와 좌굴강도의 크기가 비슷하게 되나, Table 1의 (7)식에 나타난 바와 같이 최종강도 관점에서 20%의 여유를 요구하고 있기 때문에 좌굴강도 관점에서 결정된 판두께가 더 얇게 된다. Fig.6에 나타난 바와 같이 면의 압력에 의해 발생하는 굽힘응력 관점에서의 판두께는 압력의 크기에 따라 지배 제한조건식이 될 수 있다.

2.4. 충격 하중에 대한 고찰

슬래밍 또는 수중폭발에 의한 충격하중은 선체에 휘핑 모멘트를 가하게 된다. 충격하중은 독립하중으로서 하중조합을 고려하지 않게 되므로, 갑판 구조에서는 선체 굽힘 모멘트에 의한 1차응력만 고려하면 된다. 또한 강도기준도 최종강도이므로 Table 1에서 (8)식을 기준으로 삼게 된다.

수중폭발에 의한 휘핑 모멘트를 고려한 경우의 판의 요구 두께와 조합 하중을 고려한 판의 요구 두께를 비교해 보면 Fig.7과 같다.

Fig.7에서  $t_0$ 는 호킹 또는 새깅에 의한 선체 종굽힘 모멘트  $M_0$ 와 기본하중(basic loads)의 조합을 고려한 경우의 요구 판두께이다. 하중 조합을 고려한 경우에 판의 면의 압력에 의한 항복

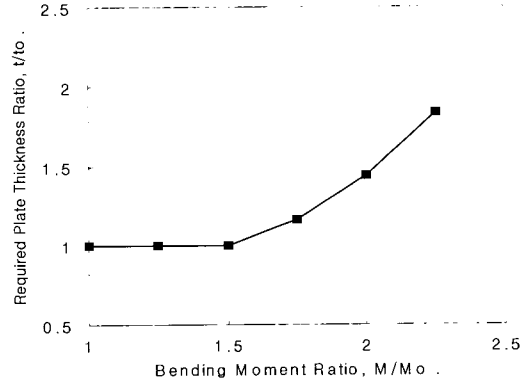


Fig.7 Variation of plate thickness according to whipping moment

또는 압축에 의한 좌굴 관점에서 설계되는 반면에 충격하중의 경우에는 최종강도 관점에서 설계되기 때문에, 휘핑모멘트의 크기가 크지 않은 경우에는 조합하중을 고려하는 경우의 판두께가 더 크게 되지만, 휘핑모멘트의 증가량이 크게 되면 요구 판두께는 조합하중 상태의 판두께에 비해 상당히 증가하게 된다.

3. 합성 구조의 최적 설계

지금까지 고찰한 강도 기준의 제한조건식에 따르면, 지배적인 제한조건식(active constraint)이 경우에 따라 달라지게 되므로 지배 제한조건식만을 가지고 구조를 설계할 수 없게 된다. 따라서 구조설계를 위해서는 각 제한조건식의 만족 여부에 대한 판정이 필요하고, 제한조건식을 만족하는 다양한 조합에 대해서 설계 목적에 최대한 부합되는 설계 결과를 선정해야 한다. 이러한 과정은 수많은 반복 과정을 필요로 하기 때문에 컴퓨터에 의존할 수 밖에 없다. 합성 중앙 단면의 최적 설계 과정을 그림으로 표현해 보면 Fig.8과 같다.

Fig.8에서 제시한 최적 설계 과정은 선체를 종강도 관점에서 보로 취급하는 개념이 포함되어 있고, 종거어더와 횡능골의 상호 작용을 정밀 격자 구조 해석을 통해 고려하면서 종 횡능골의 최소

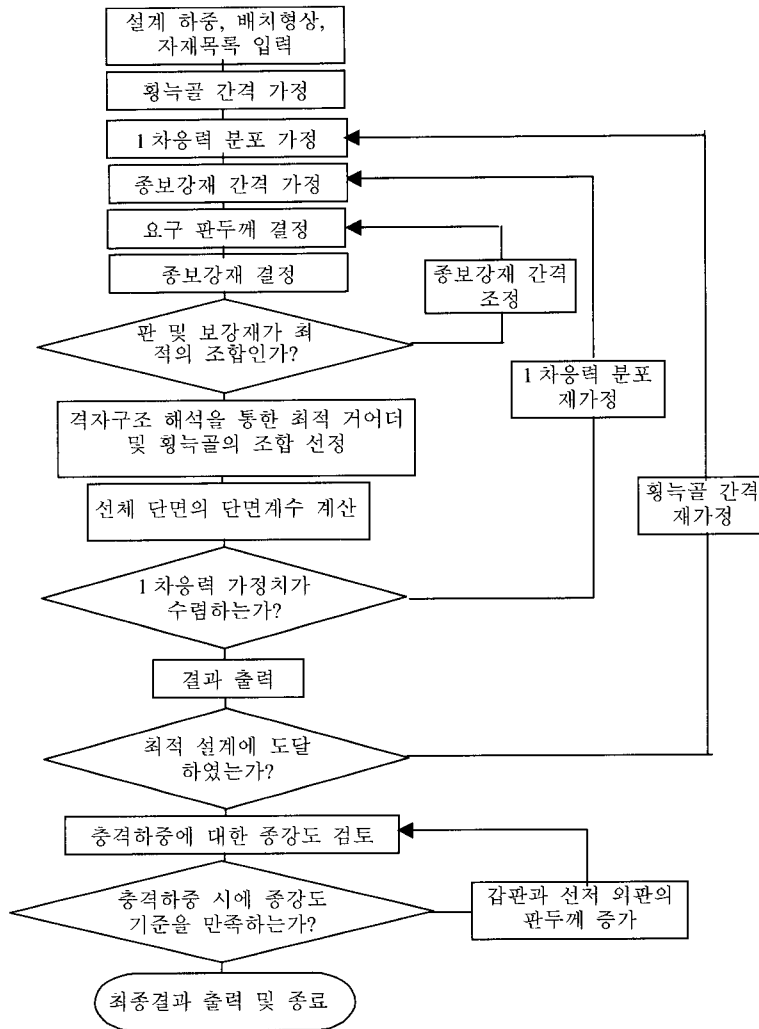


Fig.8 Flow of midship section design

준화된 자재목록 중에서만 검색 및 비교에 의해 최적 부재를 선정하도록 프로그램화하는 방법을 적용하였다.

선체 단면의 각 부분에 작용하는 설계하중은 Fig.1에서 정의된 하중 조합에 따라 경험 또는 이론적으로부터 얻어진 규정치를 이용하여 중앙단면에 작용시킨다. 구조 배치는 일반 배치, 부재의 연속성, 상가 시의 하중, 기타 관례에 따라 이루어진다. 자재 등록은 구입 가능한 판 및 형강으로 이루어지는데, 거어더와 같은 조립부재는 표준화하여 두면 작업 표준화가 가능하고 공수 절감도 가능하게 된다. 대부분의 함정에서 채택하고 있는 중능골 방식의 구조에서 횡능골의 간격은 중요한 설계 변수가 된다. 최적의 횡능골 간격을 얻기 위해서, 본 연구에서는 실적선을 참고로 하여 작업 가능한 범위를 정하고, 각 경우에 대해 설계 결과를 비교함으로써 적정 간격을 선택하는 방법을 채택하였다. 중보강재와 판재는 횡능골 사이에서 종격벽 또는 중거

중량 설계 과정이 포함되어 있다. 종거어더와 횡능골의 연성 작용에 대한 고려는 기존에 미해군 연구소에서 함정 구조 설계를 위해 개발하여 활발히 활용되고 있는 소프트웨어 SSDP(Structural Synthesis Design Program)(Natale 1972)에서는 무시하였던 것이다.

3.1 설계의 흐름

최적설계를 위한 여러 가지 수학적 최적화 기법이 있지만, 본 연구에서는 실용성과 사용자의 의도를 최대한 반영하기 위해, 구입 가능하고 표

어더로 둘러싸인 일정 영역을 정하고, 이 영역 내에서 판-보강재 조합 구조로 보고, 중보강재의 간격에 따라 제한조건식을 만족시키는 판-보강재의 조합을 찾아내고, 최소 중량이 얻어지는 중보강재 간격 및 판 보강재의 조합을 선택하게 된다. 효율적인 최적화 방안의 하나로서 중보강재의 간격을 가정하고 판두께를 Table 2의 제한조건식으로 결정된 후, 판두께를 일정하게 놓고, 보강재를 변경시키면서 제한조건을 만족하는 최소단면적의 보강재를 찾게 된다. 판-보강재의 경계를 이루는 종거어더와 횡능골과 같은 1차 강도부재는 격벽 사이



의 격자구조로 치환하고 격자 구조해석을 통해 굽힘과 전단 응력을 구하고 Table 1의 제한조건식을 만족하는 최소 단면적의 부재를 자재 목록 중에서 선택하게 된다. 이 과정도 부분적인 최적화 과정이 된다. 각 부분의 부재선정이 이루어지면 선체 단면 전체의 단면계수 및 1차응력 분포를 계산하고, 가정한 1차응력 분포와 비교하여 수렴을 판정하게 된다. 수렴이 이루어지지 않으면 1차응력 분포를 재가정하고 반복 계산을 수행하게 된다. 횡늑골 간격을 변경시키면서 위와 같은 과정을 반복 수행하여 최적의 횡늑골 간격을 결정하게 된다. 슬래밍이나 수중폭발 시의 충격 하중에 의해 유발되는 종굽힘 휘핑 모멘트는 독립하중으로 고려하기 때문에 최적 설계 과정의 변수로써 고려하지 않고 강도 검증만 수행한다.

강도 검증 결과 최종강도 관점에서 기준을 충족하지 못하게 되면 중앙 단면 최외각의 판두께를 증가시켜서 종강도를 보강하게 된다.

3.2 설계 적용 예

위에서 언급한 중앙단면 최적 설계 과정에 따라 최적설계를 수행하였다. 함정 중앙 단면은 판-보강재와 증거어더 및 횡늑골의 조합으로 이루어져 있으므로, 각 부분의 최적화를 통해 전체 단면의 최적화를 달성할 수 있다.

Fig.9와 같은 100m급 상륙함에 대해 최적 구조설계를 수행하기 위해 먼저 구조 배치가 필요하다. 상부 구조의 종격벽 하부에 거어더를 관통시키고 선저에는 상가(Docking) 등을 위해 CVK와 측거어더를 배치한다. Fig.1에 제시된 Hull Girder Load는 종강도 부재 전체에 걸쳐 작용시키고, 갑판에는 위치에 따라 Weather Load와 Live Load를 작용시킨다. 3-RD Deck 및 종격벽에는 Tank Load를 작용시키고, 외판에는 Sea Load를 작용시킨다. 각 위치별 설계하중의 상세는 Fig.9에 제시되어 있다. 주요 구조 배치 후에 단면을 판-보강재 및 증거어더와 횡늑골로 구성된 격자구조로 모델링하고 각 모델에 대해 최적 설계를 수행한다.

격벽, 갑판 또는 증거어더로 둘러싸인 국부 구조는 판-보강재 조합 구조로 모델링하고, 격벽, 외판 또는 갑판으로 둘러싸인 증거어더와 횡늑골은 격자구조로 모델링하게 된다.

3.2.1 판-보강재 조합에 대한 고찰

판-보강재 구조가 압축력과 수압을 받을 경우, 보강재 간격에 따른 중량의 변화를 살펴보면 Fig.10과 같다. 보강재 간격이 좁아지면 보강재의 개수가 증가하나, 판의 두께가 감소되고 보강재의 크기도 감소되어 전체적으로는 판-보강재 조

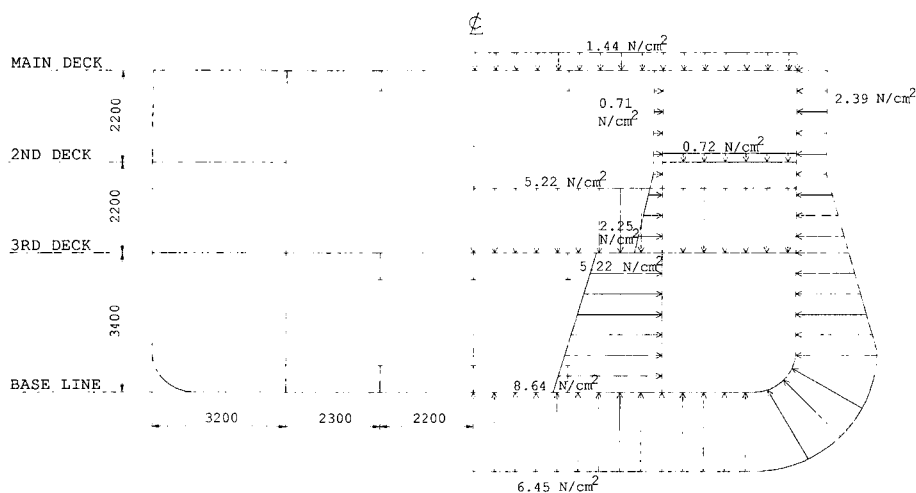
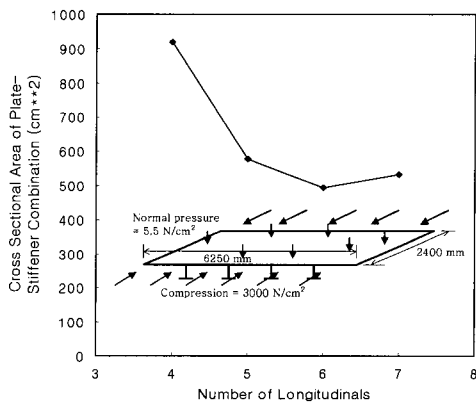
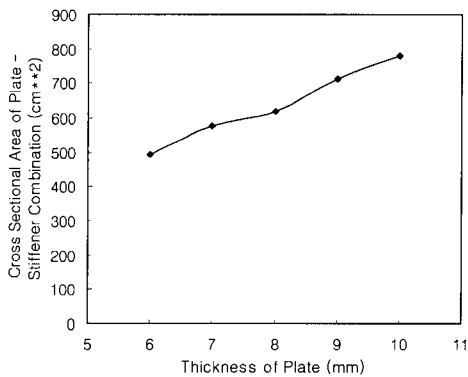


Fig.9 Design loads and structural configuration

합 구조의 중량이 감소된다. 그러나 보강재의 간격이 너무 좁아지면 판두께와 보강재 단면적이 최소치에 도달하여 더 이상 감소가 불가능하기 때문에 보강재 개수의 증가만큼 중량이 증가하는 결과를 나타내고 있다. 따라서 중량 감소 요인과 증가 요인이 조합된 최적의 보강재 개수가 존재할 수 있다.



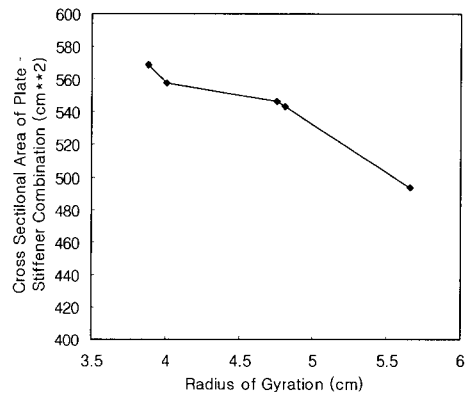
**Fig.10** Variation of cross sectional area of plate-stiffener combination according to number of longitudinals



**Fig.11** Variation of cross sectional area of plate-stiffener combination according to thickness of plate

판두께의 변화에 따른 판-보강재 요소의 최소단면적 변화를 보면 Fig.11과 같다.

강도기준을 만족하는 판과 보강재의 조합들 중에서 판의 두께가 작을수록 단면적은 감소하게 된다. 보강재의 변화에 따른 판-보강재 요소의 최소 단면적 변화를 보면 Fig.12과 같다. 보강재 자체의 관성 반경이 커질수록 최소단면적은 감소하게 된다. 자재 목록의 작성 시에 관성반경이 큰 부재를선택하는 것이 중량 감소에 효과적임을 알 수 있다.



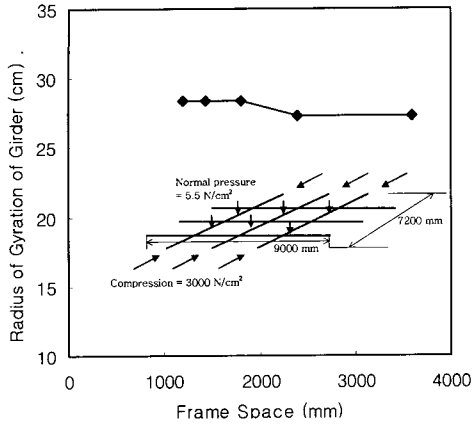
**Fig.12** Variation of cross sectional area of plate-stiffener combination according to radius of gyration of longitudinals

### 3.2.2 격자 구조에 대한 고찰

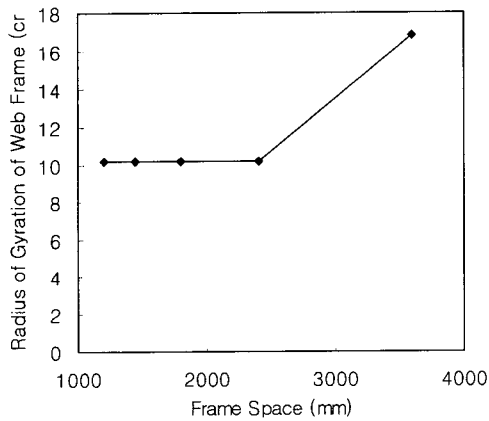
횡늑골 간격의 변화에 따라 격자 구조의 최소 단면적이 되는 거어더의 관성 반경을 표시하면 Fig.13과 같다. Fig.13에 따르면 횡늑골 간격 변화에 따라 거어더의 치수는 민감하게 변하지 않는다. 이는 중거어더가 횡격벽 사이를 지지해 주는 1차 부재의 역할을 하기 때문이라 사료된다.

횡늑골 간격의 변화에 따라 횡늑골의 관성 반경 변화를 보면 Fig.14와 같다.

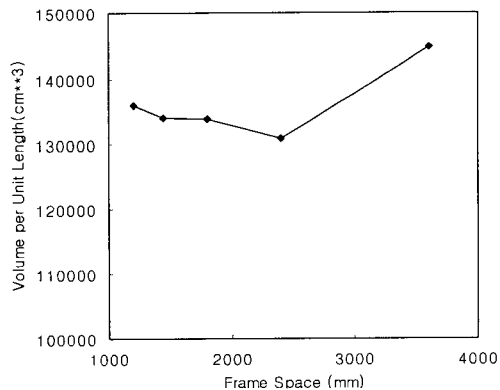
횡늑골의 개수가 어느 정도 이상 증가하게 되면 횡늑골의 치수에 변화가 거의 없게 된다. 따라서 횡늑골의 간격을 일정치 이상 감소시키면 횡늑골 단면적이 일정하게 되어 중량 감소 효과는 나타나지 않고, 횡늑골 개수 증가에 의한 중량 증가 효과가 나타나게 된다.



**Fig. 13** Variation of radius of gyration of girder according to frame space



**Fig. 14** Variation of radius of gyration of web frame according to frame space



**Fig. 15** Variation of volume of structural member according to frame space

3.2.4. 최적 횡늑골 간격

중앙부의 횡격벽과 횡격벽 사이를 취해서 횡늑골 간격에 따라 선체 단위 길이당 부재의 체적을 구해보면 Fig.15과 같다. 횡늑골 간격이 커지면 횡늑골의 수가 줄어들어 중량감소 효과가 있지만 종보강재의 스패이 길어지므로 종보강재의 중량이 증가하게 된다.

이와 같이 상반된 요인이 타협을 이루어 최소 중량이 되는 횡늑골 간격이 나타나게 된다. 최종적으로 최적 설계된 중앙단면은 Fig.16과 같다.

3.3 고찰

본 연구에서 제시한 최적 설계 방법을 실제 함정 설계에 적용한 결과를 요약하여 보면 다음과 같다.

(1) 상선의 선급 규정에 따르면 일반적으로 새깅 상태의 파랑 종굽힘 모멘트가 호깅 상태의 파랑 종굽힘 모멘트에 비해 큰 값을 주고 있으나, 함정의 경우는 기준파에 대해 직접 계산을 수행하므로 선형에 따라 호깅 모멘트가 더 크게 되는 경우가 발생할 수 있다.

(2) 함정은 전투 환경을 고려한 구조 설계가 이루어져야 하고, 수중폭발 시의 충격 하중과 같은 독립 하중은 파랑 중 선체 굽힘 모멘트에 비해 상당히 큰 하중으로서 구조 설계 시에 고려해야 할 주요한 항목이 된다.

(3) 국부 판재의 치수 결정 측면에서 함정의 기준은 상선 기준에 비해 경량화를 추구하고 있으나, 종강도 측면에서는 함정 기준이 상선 기준에 비해 엄격하다.

(4) 보의 강도 기준에 따라 간략한 모델에 대해 설계를 수행한 결과, 압축과 굽힘의 조합에 따른 강도 기준식과 인장과 굽힘의 조합에 따른 강도 기준식이 지배조건식이 될 수 있음을 알 수 있었고, 보의 웨브의 높이를 증가시키고 플랜지의 폭을 감소시키는 것이 중량 감소에 유리하다는 결과가 얻어졌다.

(5) 판재의 설계 결과에 따르면 압축하중의 크기와 면의 압력의 크기에 따라 지배 제한조건식이

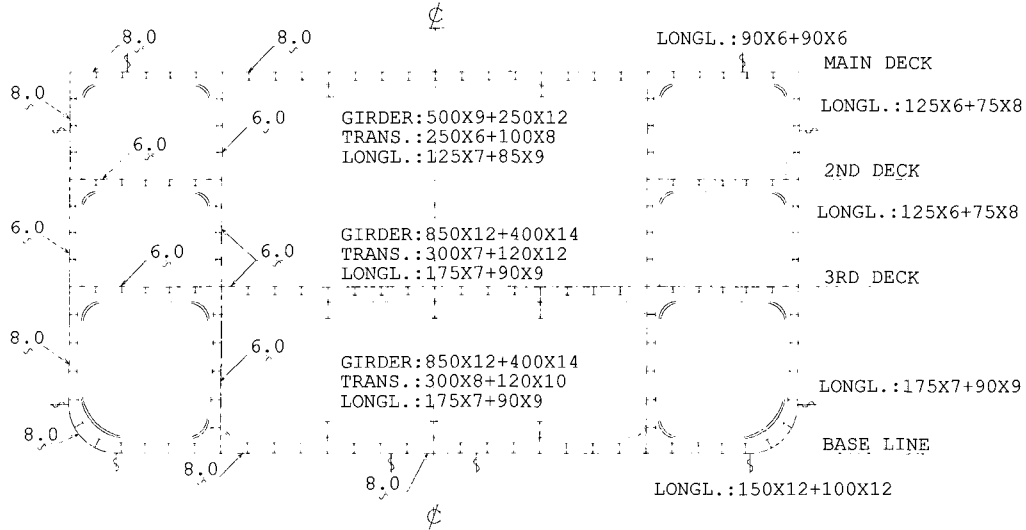


Fig.16 Optimum design result of midship section

달라 질 수 있다.

(6) 함정 설계 기준에 기초하여, 종·횡늑골의 상호 작용을 고려한 격자구조 해석 과정을 포함시키고, 충격하중을 고려할 수 있는 최적 구조 설계 방법을 제시하였다.

(7) 실제 함정에 대한 최적 구조 설계 결과, 판-보강재 조합 구조에 대해서 보강재의 간격 변화에 따른 중량 증가 요인과 감소 요인을 조합하여 최소 중량 설계 결과를 얻을 수 있었으며, 보강재 자체의 관성 반경이 큰 부재의 선택이 중량 감소에 유리하다는 결과가 얻어졌다.

(8) 종·횡늑골로 이루어진 격자구조에 대해 최적 구조 설계를 수행한 결과, 종·횡늑골의 개수 변화에 따른 중량 증감 요인을 확인할 수 있었다.

(9) 함정 중앙 단면 전체에 대해 본 연구에서 제시한 방법에 따라 최적 구조 설계를 수행한 결과, 중앙 단면의 최소 중량 설계 결과가 얻어졌고, 최소 중량이 산출되는 최적의 횡늑골 간격이 존재할 수 있음을 확인하였다.

#### 4. 결 언

본 연구는 함정 설계에 적용하는 일반적인 기준

인 미해군 규정을 중심으로 그 특성과 개념을 소개하고, 개별적인 기준이 구조 설계에 반영되었을 때의 설계 결과에 대해 분석함으로써 설계자가 규정식의 영향을 파악하는데 도움을 주고자 하였고, 함정 설계 기준을 기초로 최적 구조 설계 방법을 제시하고 실제 적용 예를 보여 주었다. 또한 최적 설계 방법을 함정 설계에 적용하여 얻어진 결과에 대해서도 정리하였다. 본 연구의 결과는 실용적인 측면에서 함정 설계자에게 유용한 정보를 제공할 수 있으리라 사료된다.

#### 참 고 문 헌

- 나승수, 민계식, 엄항섭, 신동희, 1985 "유한요소법에 의한 횡강도부재의 최소중량설계", 대한조선학회지, 제22권, 제3호.
- 서승일, 임중현, 함병렬, 1991 "함정 구조의 최적설계", 대한조선학회추계학술발표대회논문집.
- 임상전, 양영순, 1988 "다목적 함수 최적화 기법에 의한 격자형 구조물의 최적 설계", 대한조선학회지, 제25권, 제1호.
- 장창두, 서승일, 김상근, 권장욱, 박순동, 1994 "쌍둥형 초고속선의 최적 구조 설계에 관한 연구", 대한조선학회 논문집, 제31권 제4호.
- 코리아타코마조선공업(주), 1983 "함정의 구조

- 설계 분석”, Report No. 82-1.
- Det Norske Veritas, 1992 “Hull Structural Design Ships with Length 100 Meters and Above”, Rules for Classification of Ships.
- Lloyd’s Register, 1999 “Provisional Rules for the Classification of Naval Ships”, Vol. 1, Part 5.
- Natale S. Nappi and Frank M. Lev, 1972 “Midship Section Design for Naval Ships”, Report No. 3815, NSRDC.
- Naval Sea Systems Command, 1976 “Structural Design Manual for Naval Surface Ships”, NAVSEA 0900-LP-097-4010.
- Naval Sea Systems Command, 1995 “Section 100 General Requirements for Hull Structure”, General Specification of Ships of the United States Navy, Department of the Navy.
- United States Navy, 1996 “Section 100 General Requirements for Hull Structure”, LPD 17 Request for Proposal.