
 論 文

大韓造船學會誌
 第20卷 第2號 1983年 6月
 Journal of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 20, No. 2, June 1983

最小重量 및 建造費를 위한 油槽船 中央斷面 設計에 관한 研究

金 在 瑾 · 魚 民 佑 · 辛 鍾 桂

A Study on the Minimum Weight and/or Cost Design of a Midship Structure of Oil Tanker

by

Z.G. Kim, M.W. Eo, J.G. Shin

Abstract

In the light of economical engineering, the optimal configurations of ship structure that can save weights, production costs and operation costs should be investigated.

This paper presents the general method of optimization based on non-linear programming and its application to weight and/or cost minimization of ship structure. Oil tanker is chosen as a ship type because of simple layout and easy calculation of stress.

With the data of 16,200 DWT oil tanker built by KSEC 1980, this paper shows the procedure mentioned above by means of SUMT combined with two selected search methods. Then the differences between original and redesigned tanker structures are discussed.

1. 緒 言

經濟的 측면에서의 船舶 設計 과정은 세계적인 에너지 파동을 겪으면서 더욱 관심이 높아지고 있으며, 우리나라에서도 70년대의 괄목할 만한 造船 工業의 발달로 그 重要性이 강조되고 있다. 종래 값싼 노동력을 바탕으로 외국에 의존한 設計方法은 人件費의 상승, 外國 技術導入의 한계 등의 변화로 새로운 自體 設計 技術의 確立이 시급하게 되었다.

最適 構造 設計는 基本 設計에서 얻어진 수치를 바탕으로 선급 규칙과 조선소의 設計 및 작업 조건, 船主의 要求事項 등에 의해 진행된다. 노르웨이의 J. Moe [4,5], 미국의 J.H. Evans [6], 영국의 J.B.

Caldwell[7,8,9]등에 의해 연구되어 왔다. 그러나, 각 부재의 치수 및 간격 등 많은 설계 변수, 重量 또는 건조비로 나타나는 목적함수의 복잡성, 부재의 치수, 변형 및 응력에 대한 設計 制限 條件등으로 인하여 最適 構造 設計를 완전히 수행하기가 어렵다. 우리나라에서도 最小 重量을 얻기 위한 最適 設計 연구가 있었는데 [10,11], 重量, 건조비 및 運營費를 고려한 최적 설계는 아직 수행된 바 없다.

이에 따라, 本 研究에서는 重量 및 建造費가 최소가 되도록 각각 설계해 보았으며, 또 경하중량이 운항 및 계반조건에 미치는 영향과 선막건조시 소요되는 費用중 어느 것에 비중을 두는가에 따른 最適點의 變化도 조사하였다.

接受日字: 1983年 3月 28日, 再接受日字: 1983年 4月 28日

* 正 會 員, 서울大學校 工科大学 造船工學科

** 正 會 員, 서울大學校 大學院

*** 正 會 員, 韓國機械研究所 大德船舶分所

2. 最適化 技法의 船體 設計에의 適用

2-1. 最適化 理論

2-1-1. 主要 用語

설계 변수(design variable); 설계자가 임의로 선택하는 변수로 주어진 system에 영향을 크게 주는 값을 선택한다.

상태 변수(state variable); 주어진 system의 상태를 표시하는 변수로, 어떤 物理的 法則을 따른다.

目的 函數(objective function); 설계 변수의 함수로서, 주어진 設計 條件에서 最適 設計 값을 얻을 수 있는 目的을 가진 함수로, 보통 費用, 重量, 신뢰도 등이 선택된다.

制限 條件(constraints); 설계 변수 및 상태 변수에 대한 조건을 말한다.

2-1-2. 數式化

함수 F 가 最小 또는 最大가 되는 n 次元上의 점 $x \in R^n$ 을 찾는 문제를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

F, g, h ,가 連續이고 미분 가능한 함수일 때,

Find $\bar{x}^* \in R^n$

minimize $F(\bar{x})$

subject to $g(\bar{x}) \geq 0$

$h(\bar{x}) = 0$

여기서, $g(\bar{x}) = \begin{bmatrix} g_1(\bar{x}) \\ \vdots \\ g_m(\bar{x}) \end{bmatrix}$; inequality constraints

$h(\bar{x}) = \begin{bmatrix} h_1(\bar{x}) \\ \vdots \\ h_p(\bar{x}) \end{bmatrix}$; equality constraints

$\bar{x} = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$; design variable

$F(x) = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$; objective function

最適解 $\bar{x}^* = \{\bar{x} | \min F(\bar{x}), g_i(x) \geq 0, h_i(x) = 0\}$

(2-1)

2-2. 최근 傾向에 따른 目的 函數 선택

2-2-1. 重量 및 建造費 사이의 관계

(1) 중량을 최소로 하여 鋼材費를 최소로 줄이고, cargo hold를 늘이고, 그의 경하중량 감소에 따른 諸般效果를 얻기 위해 中央橫斷面積을 목적함수로 하여 중량을 추정해 보는데, 이 方法은 數式化 및 계산이 간편하며 入力變數가 포함되지 않으므로, 같은 문제에 대해서는 계산 결과가 항상 같은 信憑性을 갖게 된다.

(2) 初期 建造費를 최소로 줄이기 위해, 중앙 단면의 단위길이당 鋼材費에 각 部材의 배열 및 熔接에 드는

作業時數를 더한 형태로 표시되는 건조비를 목적 함수로 취하는데, 이 경우에는 入力變數로 들어가는 강제비 및 인건비에 관한 data가 시간 및 장소에 따라 변하므로 正確한 data를 구하기가 힘든 短點이 있다.

(3) 운항시 최고의 經濟性을 얻기 위해, 최소 중량과 최소 건조비가 미치는 효과사이의 最適點을 찾기 위한 노력이 계속 되고 있는데, 그 중에 Caldwell J.B.가 제시한 목적함수의 형태 및 data [7, 8]는 각각 식 (2-2) 및 Table 1과 같다.

$$u = f \left(\frac{Fw}{Fw_0} \right) + (1-f) \left(\frac{Fc}{Fc_0} \right) \tag{2-2}$$

where, u ; 무차원화한 目的 函數

Fw_0 ; 기존의 설계에서 얻어진 중량

Fc_0 ; 기존의 설계에서 얻어진 건조비

f ; 가중치 $\left(= \frac{1}{1 + Rc/Rw} \right)$

2-2-2. 信賴度 解析

Caldwell J.B.의 식(2-1)중에 운항시 경제성에 관련된 項이 weighting factor f 값 중에 經驗的으로 일부 삽입되어 있으나, 경제적인 측면에서의 신체설계의 궁극적인 目的은 初期 建造費 (C_i)에다 선박 運航 時維持費(C_m), 고장 시 修理費(C_r)등이 포함된 전체 life-cycle cost를 고려해야 한다. 따라서 운항중 船體 損傷에 따른 수명 및 기능의 감소, 振動 및 騒音에 따른 공해 발생과 그의 수반되는 모든 위험들에 대한 精確한 信賴度 측정이 필요하다.

일반적으로 Fig. 1과 같이 신뢰도가 증가하면 초기 건조비가 증가하는 현상을 보이는데, 가장 경제적인 설계를 위해서는 식(2-3)으로 나타나는 life-cycle cost를 최소화 시키도록 해야 한다.

$$C = C_i + C_m + PC_r \tag{2-3}$$

$$P = 1 - R$$

R ; 신체의 신뢰도 ($0 \leq R \leq 1$)

그러나, 이러한 신뢰도 해석을 船體設計에 적용시키기에는 精確한 data의 入手 및 測定, 適用方法의 어려움때문에, 실제 설계에는 현재 사용되고 있지 않으나 최근 이러한 방향으로 계속 연구가 추진되고있다[8, 9].

本 論文에서는 重量, 建造費 및 Caldwell J.B.가 제시한 식을 목적함수로 두고 각각 계산해 보았다.

Table 1 Weighting Factors

크기	계수	Rw	Rc	f
대형선		0.2	0.4	0.33
중소형선		0.3	0.3	0.5

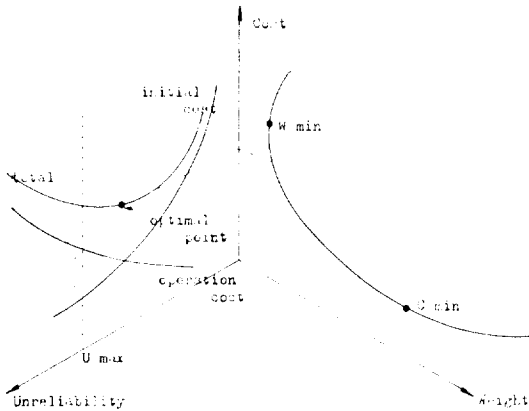


Fig. 1 Incompatibility of Design Criteria

2-3. 변수 및 제한 조건 선택

2-3-1. 설계변수 및 제한 조건

基本的인 形狀을 지배하는 선박의 길이, 폭, 깊이 등도 설계 변수가 될 수 있으나, 일반적으로 船體 構造設計에서는 板 두께, 늑골의 間隔 및 面積 등이 설계변수로 되고, 용접 가능성, 국내의 제품 조달가능성 등이 제한 조건이 되는데, 보통 제한 조건으로는 자선급협회의 규정식을 사용하고 있다. 또한 설계변수의 갯수는 해를 얻는 시간에 크게 영향을 주므로 가능한 적은 수의 설계 변수를 취하도록 하여야 한다.

2-3-2. 狀態 變數와 제한 조건

構造物의 거동을 나타내는 응력 및 변형 등이 상태 변수로 취해지는데, beam, truss, grillage 같은 간단한 구조물에서는 解析의으로 구해진 응력 및 처짐 등이 허용치에 제한을 받는 제한 조건 방법을 사용하고 실제 선체 중앙 단면 같은 복잡한 구조물에서는 직접적인 構造解析이 힘들어 본 이론에 의해 최대 응력을 계산한다. 그러나, 최근 선진국의 경우에는 RANSAP 과 같은 빠른 구조 해석용 program을 最適化 program 과 결합시켜 AUSTROSHIP, MAESTRO와 같은 대형 program package을 만들어 실제 설계에 이용하고 있다[14].

2-4. 最適化 技法의 선택

선체와 같이 복잡한 형상에서 얻어진 목적 함수 및 제한조건 식은 매우 복잡하고 非線型이므로 그 기울기를 구하기가 매우 힘들다. 그러므로, 船體 設計에서는 非線型 計劃法 중 함수 값을 비교해서 최소 값을 찾아가는 Direct Search Method를 많이 사용하고 있다.最近 노르웨이에서는 SUMT를 Powell方法에 결합한 program을 사용하고 있으나, 그의, 영국, 네델란드 및

미국등지에서는 Hooke and Jeeve 방법이나 Nelder and Mead 방법을 SUMT와 결합해서 사용하고 있다.

본 論文에서는 Hooke and Jeeves 방법[1]과 Nelder and Mead 방법[2]에 External Penalty Function Method를 사용하여 계산하였다.

3. 실제計算列 및 考察

本 論文에서는 실선과의 비교 목적으로 1980년 대한 조선공사에서 建造된 16,200DWT tanker의 주요치수를 사용하였으며, 最適化 技法 修行을 위해서 tanker 중앙 단면 모양을 Fig. 2과 같이 理想化 시켰다.

3-1. 最適化 問題化

3-1-1. 문제의 數式化를 위한 假定

- 1) 材料는 전부 연강(mild steel)을 사용하는 것으로 하였다.
- 2) 甲板, 船側外板, 船底板의 두께는 각각 균일한 것으로 하였다.
- 3) 캠버(camber), 船底句配(deadrise), 만곡부(bilge)는 없는 것으로하였다.
- 4) 중심선 거어디, 측 거어디, 甲板 거어디의 치수는 한국선급협회규정에 따라 最小 값을 주었다.
- 5) 甲板, 船側外板, 船底의 횡늑골 간격은 한국선급협회규정에 따라 주어진 값으로 하였다.
- 6) 船側外板 및 縱隔壁 늑골에 있어서는 중앙부중 늑골의 단면적은 최상단 중늑골 단면적의 1.5배로 하고 그 사이는 線型的으로 변화하는 것으로 하였다. 實船과 비교하면, 面積에서는 19.5% 작은 값을 주지만, 단면 2차 moment의 값은 0.2% 작은 값이 얻어진다.여기에서는 굽힘에 의한 실제를 진행하고 있으므로 실선 설계시에는 최상단 단면적의 값을 결정하고, 그외 부

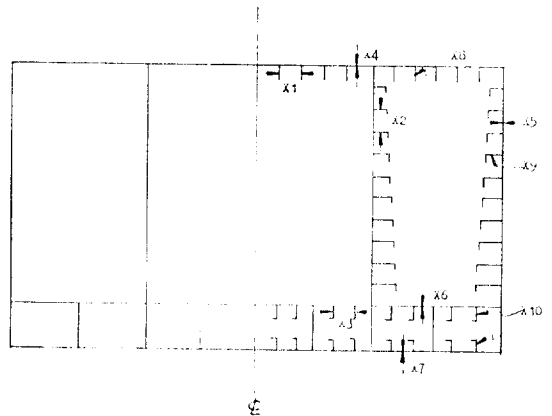


Fig. 2 Tanker Midship Section

Table 2 Comparison on Longitudinal Girder Areas of Parents and Theoretical Ships

항 목	實船중능골의 面積	가정 6)에 따른 面積	I^2	實船의 2차 moment	가정 6)에 따른 2차 moment
상단중능골 ↑	2966(mm ²)	2966(mm ²)	23.04(m ²)	68336(m ² ·mm ²)	68336(m ² ·mm ²)
	2966	3101	16.0	47456	49616
	2966	3236	10.24	30372	33137
	2966	3371	5.76	17084	19417
	3747	3506	2.56	9592	8975
	3747	3641	0.64	2398	2330
	3747	3776	0	0	0
	3247	3911	0.64	2398	2503
	3747	4046	2.56	9592	10358
	4622	4181	5.76	26623	24083
↓ 하단중능골	4622	4316	10.24	47329	44196
	4622	4451	16.	73952	71216
합 계	44465	37210		335132	334167

분은 설계경험으로 강하된 된다(Table 2).

7) 종격벽 두께는 선축외 관두께의 0.85배로 하였다.

8) 종격벽 중능골의 단면계수는 선축외관 중능골 단면계수의 1.18배로 하였다.

9) 갑판 중능골은 대칭 平鋼($Z=A^{1.5331}$)으로, 선축 및 선저 중능골은 不等邊 不等厚 山型鋼($Z=A^{1.6630}$)으로 하였다(造船 設計 便覽 참조).

3-1-2. 入力 데이터

1) 主要치수

Length	127m
Breadth	23m
Depth	12.1m
Draft	9.14m
Cb	0.777

2) 강재비 및 인건비에 관한 계수 값

1980년 말 現代 造船所의 data [13]와 J. Moe, S.

계 수	단 위	값
P_s	\$/ton	308
P_h	\$/hour	1.5
C_{s1}		1.0
C_{s2}		1.39
Ch_1	hour/m	0.70
Ch_2	hour/m	0.85
Ch_3	hour/m	0.70
Ch_4	hour/longi	15.00
Ch_5	hour/longi	7.90

Lund의 data [5]를 사용하였다.

3-1-3. 설계 변수

Fig. 2에서처럼 늑골 간격, 板 두께, 늑골 단면적 등의 10개로 취하였다.

3-1-4. 제한 조건 식

제한 조건 식은 KR, ABS, LA에 의해서 다음 15개로 취하였다.

$$G(1) = 1 - \frac{X_1}{RX_1} \geq 0, \quad G(2) = 1 - \frac{X_2}{RX_2} \geq 0,$$

$$G(3) = 1 - \frac{X_3}{RX_3} \geq 0, \quad G(4) = \frac{X_4}{RX_4} - 1 \geq 0,$$

$$G(5) = \frac{X_5}{RX_5} - 1 \geq 0, \quad G(6) = \frac{X_6}{RX_6} - 6 \geq 0,$$

$$G(7) = \frac{X_7}{RX_7} - 1 \geq 0, \quad G(8) = \frac{X_8^{1.5331}}{RX_8} - 1 \geq 0,$$

$$G(9) = \frac{X_9^{1.6630}}{RX_9} - 1 \geq 0, \quad G(10) = \frac{X_{10}}{RX_{10}} - 1 \geq 0$$

$$G(11) = \frac{SMD}{RSMD} - 1 \geq 0, \quad G(12) = \frac{SMB}{RSMB} - 1 \geq 0,$$

$$G(13) = 1 - \frac{BS}{ABS} \geq 0, \quad G(14) = 1 - \frac{SS}{LSS} \geq 0,$$

$$G(15) = 1 - \frac{SH}{LSH} \geq 0$$

3-2. 計算 結果 및 考察

3-2-1. 重量 및 建造費를 목적함수로 두었을 때

목적함수와 제한 조건 식의 경계 근처에는 깊은 협곡을 형성하므로, 10개의 變數와 15개의 제한 조건식으로 형성된 10次元의 본 문제에서는 最適解 부근에 수많은 local minimum이 존재할 것으로 예상되는데, 이러한 경우 接近 方向에 따라 때때로 local minimum

으로 빠져버리는 경우가 있다.

실제 program상에서는 설계 변수를 실선 치수의 반으로 나눈 값으로 無次元化 시켜 이것을 入力 資料로 하였는데, 출발점을 바꾸어 가며 해를 구해 본 결과 많은 local minimum이 나타났으며, 本 論文에서 사용된 두가지 방법중에서는 Hooke and Jeeves方法이 비교적 해를 잘 구해 나갔다.

重量을 목적함수로 두었을 때는 출발점이 1.8일 때가, 建造費를 목적 함수로 두었을 때는 출발점이 2.0일 때가, 가장 最適解에 가까웠는데, 이 값들과 실선 값들을 Table 3에 보였다.

Table 3에서 보는 바와 같이, Tanker 中央 斷面 설계에 있어서 最適化技法을 수행한 결과 重量 및 建造費가 실선에서의 경우보다 각각

$$10.4\% \left(= \frac{21930 - 19642}{21930} \right), 7.7\% \left(= \frac{6376 - 5886}{6376} \right)$$

감소하였다.

첫째, 重量을 목적 함수로 두었을 때의 개략적인 形狀은 모든 변수가 거의 다 감소하는 경향을 나타내었다.

板의 두께는 모두 조금씩 감소하였지만 內底板만 최대 값을 維持하고 있다. 이것은 內底板에 대한 KR제한 조건식중 분모 항에 속하는 중심선 거머디의 높이를 같은 斷面係數를 가지면서 cargo hold를 늘리기 위한 목적으로, rule에서 指定한 최소 값을 사용하였으므로 제한 조건식의 값이 증가한데서 기인하며, 또 內底板 및 船底板의 두께가 비교적 크고, 선저 中늑골의 간격이 작고 斷面積이 큰 값을 나타내며 동시에, 甲板 中늑골의 간격이 크고, 斷面積이 작으며, 板 두께가 얇은 경향을 나타낸 것은 橫強度를 고려하지 않았고, 중심선 거머디 및 측 거머디의 두께를 rule에서 정한 최소치로 두었고, 또 일반적으로 rule에서는 斷面係數에 관한 coefficient를 甲板 쪽보다 선저 쪽에 더 큰 값을 要求하기 때문이라고 생각된다.

둘째, 建造費를 목적 함수로 두었을 때의 形狀과 비교해 보면, 重量의 견지에서와 크게 변함 없는 데, 이것은 일반적으로 人件費의 비중이 鋼材費에 비해 작고, 특히, 우리나라의 경우에는 더욱 심한 현상을 나타내므로 이와 같은 경향을 나타낸 것으로 생각된다.

그러나, 다른 部材들에 비해 中늑골의 간격이 다소나마 커지고, 斷面積이 증가하는 현상을 나타내었는데 이것은 늑골의 수가 늘어남에 따라, 부수되는 熔接長의 증가 및 中늑골과의 교차점 증가에 따른 作業時數의 증가에서 유인하는 것으로 생각된다.

Table 3 Comparison of Parents and Optimum Ships

변수	Obj. Fcn.	실 선	WEIGHT	COST
X1		80	80.20	80.00
X2		80	68.00	72.00
X3		80	61.00	68.00
X4		1.25	1.000	0.938
X5		1.5	1.327	1.377
X6		1.5	1.495	1.495
X7		1.5	1.177	1.301
X8		34.5	17.85	17.84
X9		29.3	21.77	22.28
X10		37.0	40.64	43.23
Value of Weight		21930cm ²	19642	19801
Value of Cost		6376#	5929	5886
No. of* Iteration			514	548

*Iteration은 最適점을 얻기까지 목적함수를 계산하는 횟수임.

3-2-2. Caldwell J.B.가 제시한 목적 함수로 계산하였을 때

式(2-2)에서 Caldwell의 무차원화 목적 함수 u 는 重量 목적 함수로 표현한 FW 와 建造費를 목적 함수로 표현한 FC 를 더한 형태로 나타난다. 그러나, Table 3에서 나타났듯이 함수 FW 와 FC 각각의 解는 비슷한 形狀으로 아주 近接해 있고, 양쪽 해 부근에는 상당히 깊은 협곡이 형성되어 있을 것으로 예상된다. 그래서, Table 4에서의와 같이, 本問題에서는, weighting factor f 가 변함에도 불구하고 두 협곡의 영향을 받아 함수 u 의 최소 값이 양쪽 협곡으로 빠져버리는 結果로 나타났다. 그리고, u 의 최소 값이 두 가지로 바뀌는 것은

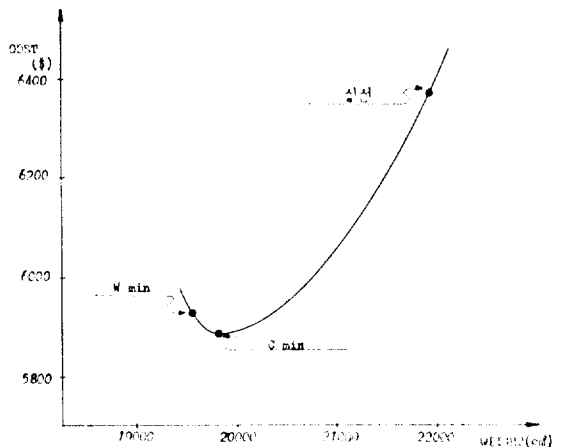


Fig. 3 Construction Costs of Parents and Optimum Ships

weighting factor f 가 FW 와 FC 의 기울기를 조정하므로, f 에 따라서 함수 FW 와 FC 의 두 최적해의 위치에서 두 함수의 더한 값이 달라지므로, f 가 FW 및 FC 중 어느 것에 더 큰 비중을 두느냐에 따라 global minimum이 양쪽으로 바뀌는 것으로 생각된다.

그러나, 우리나라의 경우와는 달리 人件費가 아주 비싸고 船體局部要素에 高價의 材料를 사용할 경우(6, 8), 중량 및 건조비를 목적 함수로 두고 각각의 최적해를 구했을 때, 그 두 가지 해 사이의 형상은 많이 달라질 것으로 예상되며, 그런 경우, Caldwell의 목적 함수 u 의 형상도 본 문제와는 달리 그 두 가지 해 사이에서 많이 변화할 것으로 예상된다.

Table 4 Functional Variation According to Weighting Factor

Factor	0.0	0.2	0.5	0.8	1.0
FW	19801cm ²	19801	19643	19643	19643
FC	5886 \$	5886	5929	5929	5929
U	1.0000	1.0017	1.0037	1.0015	1.0000
No. of iteration	548	548	453	453	453

5. 結 言

첫째, 重量 및 建造費를 목적함수로 두고 最適化 技法을 사용하여 tanker 中央 斷面을 설계한 결과, 실선에서의 값보다 重量 및 建造費가 각각 10.4%, 7.7% 감소하였다. Iteration 횟수와 computer 사용시간(PDP-11/70 Computer의 CPU시간이 Nelder and Mead 방법의 경우 20초)을 감안하면, 최적화 기법을 선체설계에 이용하는 것이 가능하다는 것을 알 수 있다.

둘째, 모든 부재를 軟鋼만 사용하였고, 현재 우리나라의 인건비가 저렴한 관계로, 重量 및 建造費를 목적함수로 두고 각각 계산한 결과, 두 해 사이의 全體的인 形狀에는 큰 차이가 없었으나, 熔接長 및 作業時數에 영향을 주는 중늑간 수에 약간의 변화를 일으켰다.

그러나, 實船의 경우에는 現存하는 規格의 板 및 늑골을 사용해야 하므로, 설계변수를 連續量으로 취급하고 계산한 본 연구의 결과와는 다소 차이가 있을 것이므로 실선의 형상은 最適에 더 가까운 형상을 가졌다고 할 수 있다. 설계변수를 불연속(discrete)量으로 취급하고, 최적설계를 수행하는 方法도 있으나, 船體설계의 경우 設計者에게 최적치에 가까운 설계 변수값을 제시하고, 그의 경험과 直觀으로 설계값을 決定하는 것이 合理的인 일 것이다.

參 考 文 獻

- [1] Hooke, R. and Jeeves, T.A. "Direct Search Solution of Numerical and Statistical Problem" Journal of the Assoc. for Computing Machinery, Vol. 8, 1961.
- [2] Nelder, J.A. and Mead, R. "A Simplex Method for Function Minimization" Computer Journal, Vol. 7, 1965.
- [3] Parson, M.C. "Optimization Methods for Use in Computer Aided Ship Design" SNAME, 1975.
- [4] J. Moe "Design of Ship Structure by Means of Non-linear Programming Technique" ISP, 1970.
- [5] J. Moe and S. Lund "Cost and Weight Minimization of Structures with Special Emphasis on Longitudinal Strength Members of Tankers" RINA, Vol. 110, 1968.
- [6] J.H. Evans, "Optimizing Ship Structural Design Through the Choice of Material" SNAJ, Vol. 128, 1970.
- [7] Caldwell, J.B. and Hewitt, A.D. "Towards Cost Effective Design of Ship Structure" Symposium on Structural Design and Fabrication, 1975.
- [8] Caldwell, J.B. and Woodhead, R.G. "Ship Structures; Some Possibilities for Improvement" NECIES, 1973.
- [9] Caldwell, J.B. "Structures 1959→79→99" ISAMT, 1979.
- [10] 辛鍾桂 "最適化 技法을 이용한 선체 중앙 단면의 최소 중량 설계" 대한조선학회지, 제17권, 1980.
- [11] 김원돈 "最適化 技法에 의한 선체 중앙 횡단면 중강도 부재의 최소 중량 설계" 부산대학교, 1982.
- [12] 김계근, 한순홍 "船舶 基本 設計 과정에서 經濟性 검토와 최적화 기법의 응용" 대한조선학회지, 제15권, 1978.
- [13] 김의현외, "Optimization Theory and its Application to Bulk Carrier Design", 技術現代, Vol. 1, 1981.
- [14] O.F. Hughes, F. Mistree, "A Practical Method for the Rational Design of Ship Structures" JSR Vol. 24, No. 2, June 1980.