

CAD시스템에 의한 船體中央斷面の 最小重量設計에 關한 研究

朴命圭* · 梁永泰**

Minimum Weight Design of Midship Structure by the CAD System

Myung-Kyu Park · Young-Tai Yong

目 次

- | | |
|---------------|-------------------|
| 1. 서 論 | 2.2 선체 중앙단면의 최적설계 |
| 2. 구조물의 최적화설계 | 3. 계산 결과 |
| 2.1 최적설계방법 | 4. 결 論 |

ABSTRACT

The study presents the optimum design of B/C midship structure based on the classification society's Rule.

The SUMT(Sequential Unconstrained Minimization Technique), using the Direct Search Methods (Hooke and Jeeves, Simplex) is applied to the solution of this nonlinear optimum design problem with constraints.

Through the optimum designs of existing ships(60k, 186k, 220k), the amount, 0.45-6.18% in weight of their midship structures are obtained on the viewpoint of minimum weight design.

* 정회원 : 한국해양대학 선박공학과

**인하대학교 대학원 선박해양공학과

1. 서론

선박구조설계의 최근경향은 선박경량화를 목표로 구조재료의 개발과 최적구조 설계를 통하여 이분야에 상당한 진보가 이루어졌으며, 국내에서도 많은 연구가 시도 되고있다. [7, 8, 9, 10]

이는 최근 Computer의 활용과 CAD system의 개발로 선체중량의 감소와 건조비를 최소로 하는 Computer Program을 활용하게 되었고 CAD System을 이용한 설계도면의 전산화를 촉진하게 하였으며, 선진국에서는 이러한 Program을 이미 개발하여 경쟁력 제고 및 이의 적용범위를 계속 확대해 나가고 있다.

본 연구에서는 살물선(Bulk Carrier)을 적용모델로 하여 이의 선체 중앙단면 최적설계를 위한 프로그램 및 Graphic (CAD) 프로그램을 개발하였으며 선체중앙단면의 형상을 전산처리하여 선박기본설계시 선체중앙단면의 최적구조설계에 이용되도록 하였다.

이 프로그램을 이용하여 3척의 실적선 A, B, C에 대해 최소중량을 갖는 선체중앙단면을 계산하고 그결과를 비교하였다.

2. 구조물의 최적화설계

2-1. 최적설계 방법

일반적으로 선박설계문제는 많은 설계변수와 제한조건을 갖고 있으며, 설계자가 목적으로하는 최적설계값을 얻을수 있는 목적함수가 비선형 함수로 표시되므로 주어진 문제에 따라서 적당한 비선형 최적화 기법을 선택하여야한다. 널리 이용되고 있는 비선형 최적화 기법들을 다음과 같다.

-2nd Derivative Method.

-1st Derivative Method.

-Direct Search Method.

-Random Based Method.

-Exhaustive Search Method.

-Trial and Error Method.

위의 최적화 기법중요소 효율, 일반성 및 신뢰도가 비교적 높은 Direct Search Method를 택하며, Direct Search Method를 사용하기 위해서는 비제한조건 문제로 치환해야 하는데 이를 위해 Penalty Function을 이용하는 SUMT(Sequential Unconstrained Minimization Technique)를 사용하였다. Penalty Function에는 여러 종류가 있지만 가장 널리 이용되는 것은 다음의 두가지이다.

-Internal Penalty Function

-External Penalty Function

본 논문에서 채택한 것은 Zdnngwill에 의한 External Penalty Function으로 그 식은 다음과 같다. [6]

$$P(x, rk) = (x) + rk \sum_{i=1}^m [\min(g_i(x), 0)]^2 \quad (2.1)$$

여기서, $F(x)$: 목적함수

rk : 임의의 상수

$g_i(x)$: 제한조건 식

($i=1, 2, 3, \dots, m$)

rk 의 값에 따른 Eq(2.1)는 Fig. 2-1에 각각 나타내었다. 여기서, $r1 < r2 < r3 < \dots < rk$ 이다.

Penalty Function을 이용하여 최적점을 찾는 과정을 Fig. 2-2에 나타내었다.

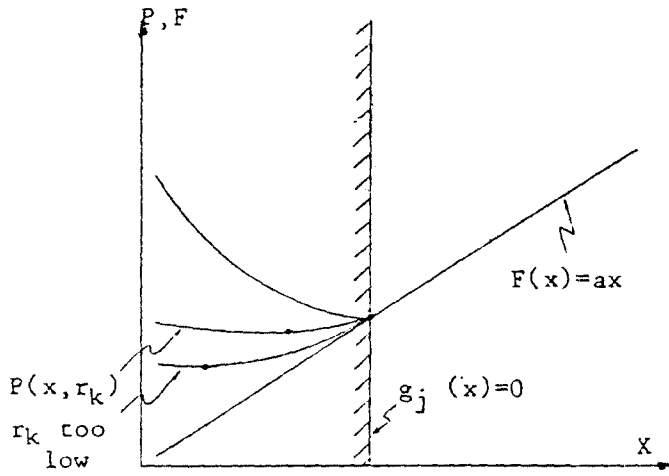


Fig. 2-1. External Penalty Function

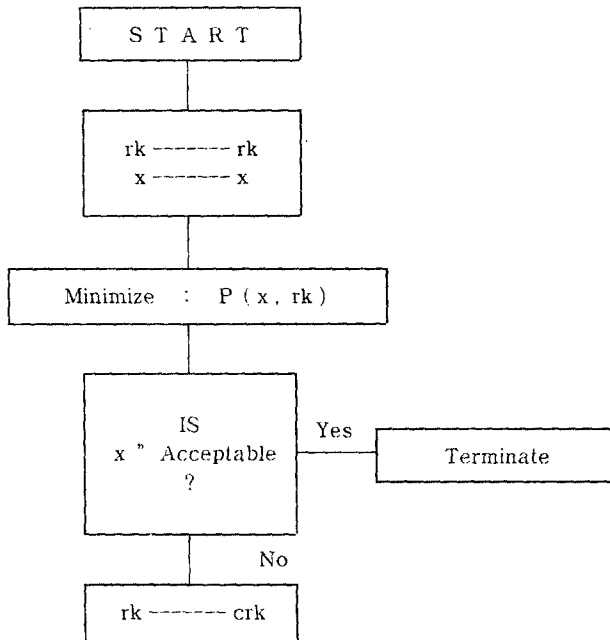


Fig. 2-2. Algorithm for External Penalty Function

2-2. 선체 중앙단면의 최적설계

2-2-1. 최적화 모델

가. 설계변수(Xi)

부록의 Lloyd 선급규정에 준하여 선체 중앙단면의 종부재 치수 결정시 큰 영향을 주는 값을 설계변수로 선택하였다. 설계변수로 각 종 보강재(Longitudinals; Longi.)의 간격(Spacing)과 Redesign을 위한 갑판 두께 및 갑판 종 보강재의 높이(Height)를 선택하였다.

X1 : 갑판 종 보강재의 간격(Spacing of Deck Longi.)

X2 : 갑판 두께(Thickness of Deck Longi.)

X3 : 갑판 종 보강재의 높이(Hight of Deck Longi.)

X4 : 선저 및 이중저의 종 보강재 간격(Spacing of Bottom Longi.)

X5 : 호퍼 탱크 내 경사판의 종 보강재 간격(Spacing of Longi. in Hopper Sloped Plate)

X6 : 호퍼 탱크 내 선측외판의 종 보강재 간격(Spacing of Side Longi. in Hopper Tank)

X7 : 톱 사이드 탱크 내 경사판의 종 보강재 간격(Spacing of Longi. in Top Side Sloped Plate)

X8 : 톱 사이드 탱크 내 선측외판의 종 보강재 간격(Spacing of Side Longi. in Top Side Tank)

나. 목적함수(F(Xi))

설계변수에 의하여 최적설계값을 얻을수 있는 목적을 가진 함수로서 최적설계에선 서체중량및 건조비등이 선택된다.

본 연구에서는 선체중량을 나타낼수 있는 중앙단면 종부재의 단면적 총합을 목적함수

로 나타내었다.

다. 제한조건 (G(j))

최적설계는 제한조건을 만족하는 범위내에서 이루어져야 하며 최적설계의 수렴정도는 제한조건외의 중요도에 의해 나타난다.

Lloyd 선급규정에 의한 제한조건으로 종 보강재의 Minimum Spacing, Maximum Spacing 및 Reduction Factor(FB, FD)를 선택하였고, Redesign시 설계변수의 제한 조건등을 선택하였다.

2-2-2. 최적설계의 정식화

가. 선체중앙단면의 설계조건

최소중량의 중앙단면 설계 정식화를 위하여 다음과 같은 가정을 하였다.

a. 선체중앙단면의 설계치수는 Lloyd 선급규정에 준한다.

b. 철판의 두께는 0.5mm 간격으로 변화 시킨다.

c. 종 보강재의 단면적계수는 유효폭과 철판두께를 사용하여 계산하며, Roll Angle 을 사용한다.

단면계수가 1230cm 이상인 것은 Built-Up 으로 사용하는 것을 원칙으로 한다.

d. 갑판의 종 보강재는 갑판두께와 같은 Flat Bar를 사용하며 갑판응력에 대한 좌굴 강도를 만족해야 된다.

e. Deck Top와 인접한 Sloped Plate도 갑판응력에 대한 좌굴강도를 만족하도록 계산한다.

나. 최적설계 정식화

본 연구의 설계변수로 사용된 종 보강재의 간격(Spacing)을 이용하여 각 요소의 철판두께(Te)와 종 보강재의 단면적(Ze)을 계산한후 각 요소의 단면적과 보강재의 단면적을 더하여 선체중앙단면의 종부재 단면적총합으로 목적함수(F(x))를 표시하였다.

Find : $T_e = C1 * X_i$ (i=1, 2, ..., 8)
 $Z_e = C2 * x_j$

(j=1, 4, 5, 6, 7, 8)

Minimize : $F(x) = \sum_{i=1}^n (T_e * L_e + Z_e * N_e)$

Subject to : $G(j) \geq X_j - S_{min}$

$G(j+9) \geq S_{max} - X_j$

$G(j+9) \geq C3 * X2 - X3$

$G(j+10) \geq 1 - Z_{dm} / Z_d$

$G(j+11) \geq 1 - FB$

$G(j+12) \geq 1 - FD$

$G(j+13) \geq 1 - F_{bz}$

$G(j+14) \geq 1 - F_{dz}$

C2 : 중 보강재 단면적과 단면적계 수와의 상관 관계식

C3 : 갑판 중 보강재의 두께와 높이의 상관 관계식

Smin : 중 보강재의 최소 간격

Smax : 중 보강재의 최대 간격

Fbz : Required Section Modulus Factor

Fdz

FB, FD : Reduction Factor of Lloyd Rule

Zdm : 갑판 중 부재의 최소 단면적 계수

Zd : 갑판 중 부재의 단면적 계수

여기서,

F : 선체 중앙단면의 단면적

Te : 각 요소의 평판 두께

Ze : 각 요소의 중 보강재 단면적

Xi : 설계변수

Gj : 제한조건

n : 요소의 총 갯수

Ne : 요소 내의 중 보강재 수

C1 : 평판 두께 계산시 사용 되는 관계식

2-2-3. 최적 설계 Program의 구성

가. 최적설계 프로그램의 구성도

본 연구의 Optimization Algorithm으로 Direct search Method 중 Hooke and Jeeves와 Simplex Method를 사용자의 선택에 따라 이용할 수 있도록 하였다.

또한 Fig. 2-3 Flowchart에 의해서 프로그램의 기본적 구성은 Fig. 2-4에 있다.

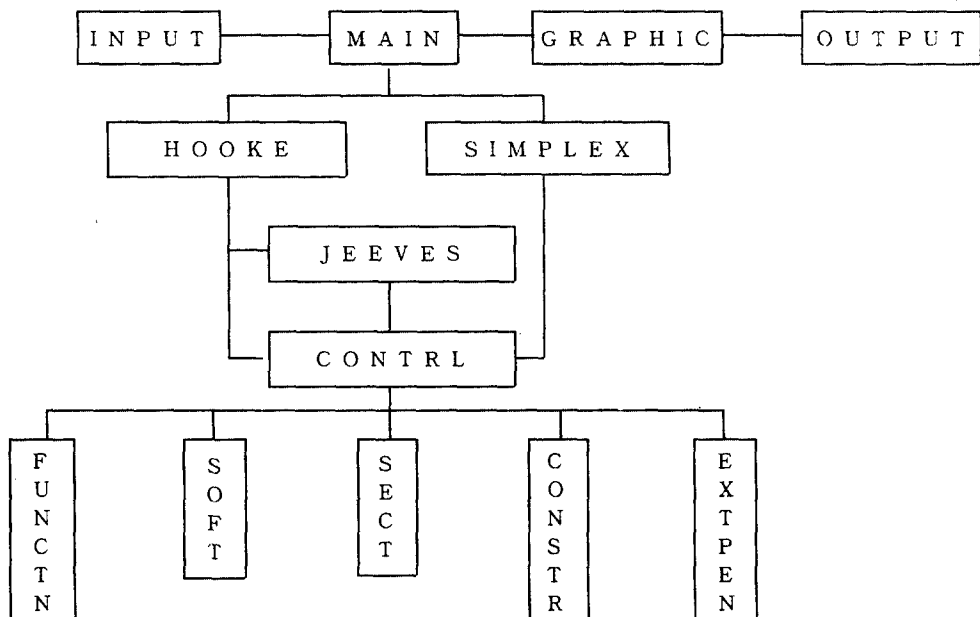


Fig. 2-4. 최적설계 프로그램의 구성도.

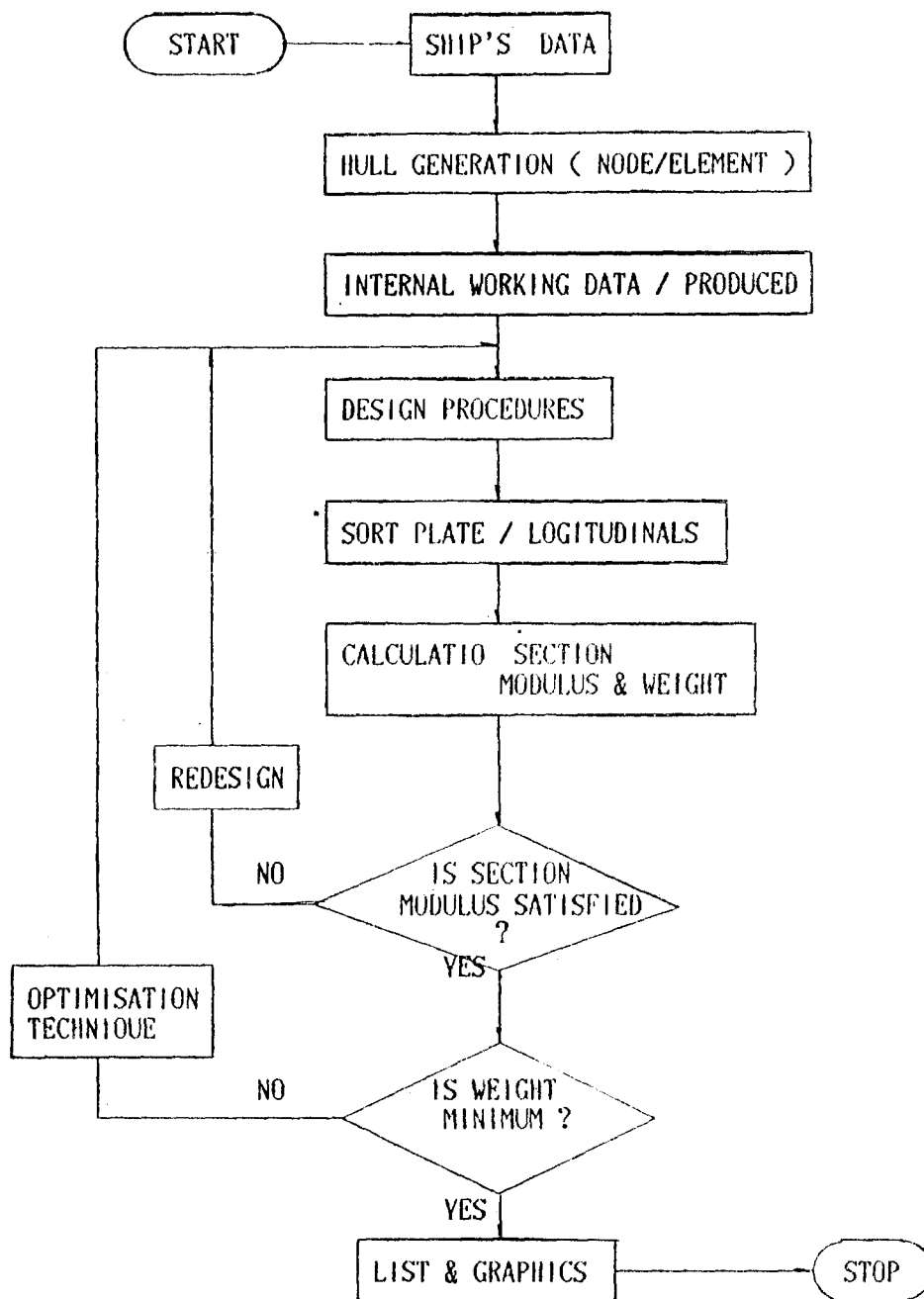


Fig. 2-3. 프로그램의 흐름도.

나. Graphic 프로그램의 구성도
 최적설계 프로그램으로 계산된 선체중양단
 면의 단면형상의 전산화 프로그램인 Graphic

프로그램의 기본적인 구성은 Fig. 2-5에 제시하
 였다.
 또한 프로그램의 기능정의는 표 2.1과 같다.

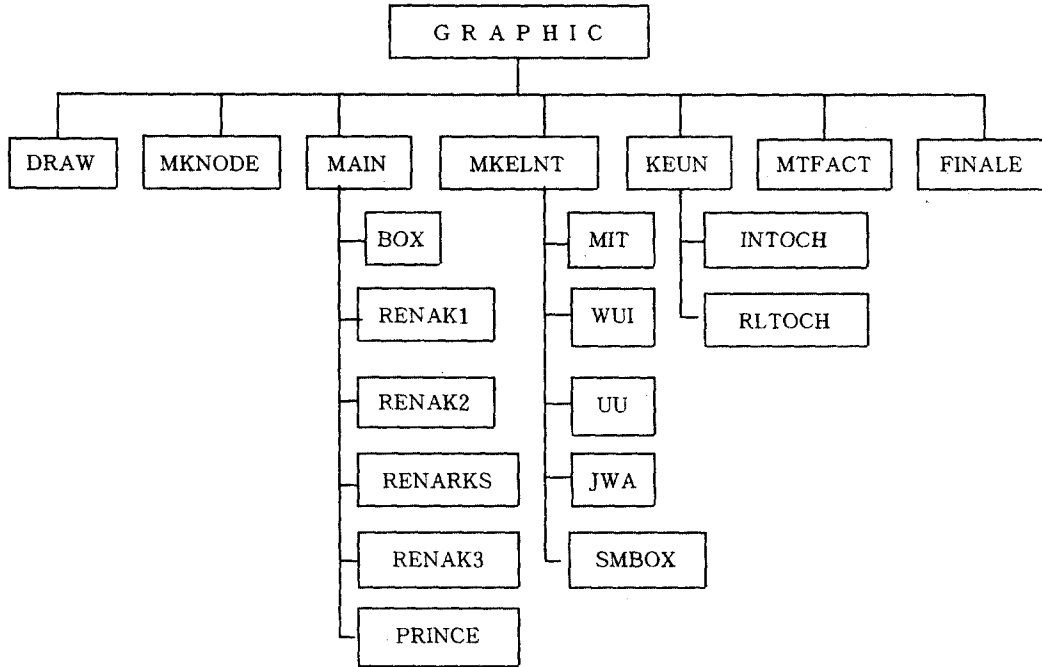


Fig. 2-5. Graphic 프로그램의 구성도.

MODULE NAME	FUNCTION
MAIN	B/C OPTIMUM PROGRAM의 MAIN으로 최적화기법 선택
INPUT	SHIP'S DATA가 INPUT되며 INTERNAL WORKING DATA를 생성 한다
HOOKE	DIRECT SEARCH
JEEVES	DIRECT SEATCH
SIMPLEX	DITECT SEARCH
CONTRL	SUBROUTINE을 호출하며, REDESIGN을 수행
FUNCTN	LLOYD RULE에 의해 각 부재의 치수 결정
SORT	결정된 부재치수를 ELEMENT의 위치에 따라 수정 하며, ANGLE POSTION을 계산한다.
SECT	중양단면의 SECTION MODULUS 및 WEIGHT를 계산한다.

CONSTR	제한조건에 의하여 설계변수의 위반여부를 판단한다.
EXTPEN	설계변수가 제한조건을 위반하였을때 PENALTY FUNCTION에 의하여 설계 가능영역으로 넘겨준다.
OUTPUT	OUTPUT FILE은 FILE.OP1, FILE.OP2, FILE.TAPE 세개의 FILE이 형성된다. FILE.OP1 : PROGRAM를 실행한 결과를 담고 있는 OUTPUT FILE FILE.OP2 : DIRECT SEARCH 수행중 INCREMENT 100 STEP마다 20개의 MINIMUM을 담고 있는 OUTPUT FILE FILE.TAPE : GRAPHIC을 나타내는 ESSI CODE을 담고 있는 OUTPUT FILE
GRAPHIC	GRAPHICS 참조(표 2-2)

표 2.1 프로그램의 기능정의

MODULE NAME	FUNCTION	
MIN	BOX	도면의 OUTLINE
	REMAK1	부서및 호선 NUMBERING
	REMAK2	JOB IDENTIFICATION, DATE 및 SIGN
	REMARKS	범례의 내용을 그림
	REMAK3	PROFILE HEAD 내용을 그림
	PRINCE	도면 HEAD 및 PRINCIPAL DIMENSION 내용을 그림
MKELMT	ELEMENT NO. 와 THICKNESS를 적을 위치를 선정 그림	
SMBOX	ELEMENT NO. 를 둘러싸주는 작은 BOX를 그림	
KEUN	ELEMENT NO. 및 수량, DIMENSION에 대한 DESCRIPTION을 그림	
MTFACT	각종 MATERIAL에 대한 FACTOR를 그리고 BOX로 PROFILE의 내용과 분리시킴	
DRAW	MAIN CROSS SECTION을 그림	
MKNODE	각 NODE 마다 '*'를 MARKING	
FINALE	각 SIDE의 이름과 DATA를 그림	
INTOCH	INTEGER DATA 값을 그림을 그리기 위하여 CHARACTER로 변환 시키는 PROGRAM	
RLTOCH	REAL DATA 값을 그림을 그리기 위하여 CHARACTER로 변환 시키는 PROGRAM	

표 2.2 Graphic 프로그램의 기능정의

3. 계산 결과

세척의 실적선 A, B, C를 모델선으로 선정하여 최소중량의 선체 중앙단면설계 수행한 후 실적선과 비교하였다.

모델선 A(PanaMax Type Bulk Carrier: 60k)의 최적설계의 경우 Frame Space의 변화에 따른 중앙단면의 중량변화를 Fig. 3-1에서 도시하였으며, Frame Space를 780 mm로 고정하고 재료의 변화에 따른 중앙단면의 중량변화비를 Fig. 3-2에 나타내었다.

Fig. 3-1, Fig. 3-2 에서 W7(All AH36)와 W6(Dk. & Btm. AH36, Side AH32)의 경우 선체 중량이 증가하는 원인은 선급규정의 선측외판 관계식 $t=0.001 \times s_l \times (0.059Ll+7) \times \sqrt{(FB \text{ or } FD)/k}$ 및 $t=(0.018 \text{ or } 0.012) \times s \times \sqrt{FD/k}$ 에 의해 선각중량이 증가될 수 있다.

따라서 전단력을 고려한 횡 구조의 직접설계법에 의해 선측외판 두께 및 횡 구조부재 결정이 요구된다.

모델선 A, B, C의 재료변화에 따른 선체 중앙단면의 중량을 (표 3.1-표 3.3)에 제시하였으며 또한 Fig. 3-3-Fig. 3-5에 최소중

량설계를 수행한 선체중앙단면의 도형은 파트프로그램(Part programming)에 파일해 두고 Fig. 3-6의 Hull Geometry를 모델선 A, B, C로 변경시켜 표2.1의 프로그램의 기능정의중 FILE.TAPE에서 ESS1 CODE를 사용하여 표2.2의 MAIN에서 REMAK3로 Fig 3-7을 구상하고 CAD Graphic 프로그램(2-2-3, 나) 과 연결하여 미리 선박 종류에 따라 각정의 중앙횡단면 표준선형을 결정해부하므로써 그 선박의 중앙횡단면 도형에 필요한 수치들을 패러미터로 하여 파일하고 아래 ①~⑤의 데이터로 Calcomp plotter로 도시하였다.

- ① 선체의 곡면의 형에 관한 데이터
- ② 선체의 표준 도형에 관한 데이터
- ③ 선체의 내부구조에 관한 데이터
- ④ 선체의 부품에 관한 데이터
- ⑤ 선체의 생산관리에 관한 데이터

또한 (표 3.4)에서 모델선 A는 조선소 초기에 건조한 선박으로 6.2%의 중량을 감소하였으며 모델선 B, C는 직접설계법에 의해 건조된 대형선박으로 0.45-1.74%의 중량이 감소되었다.

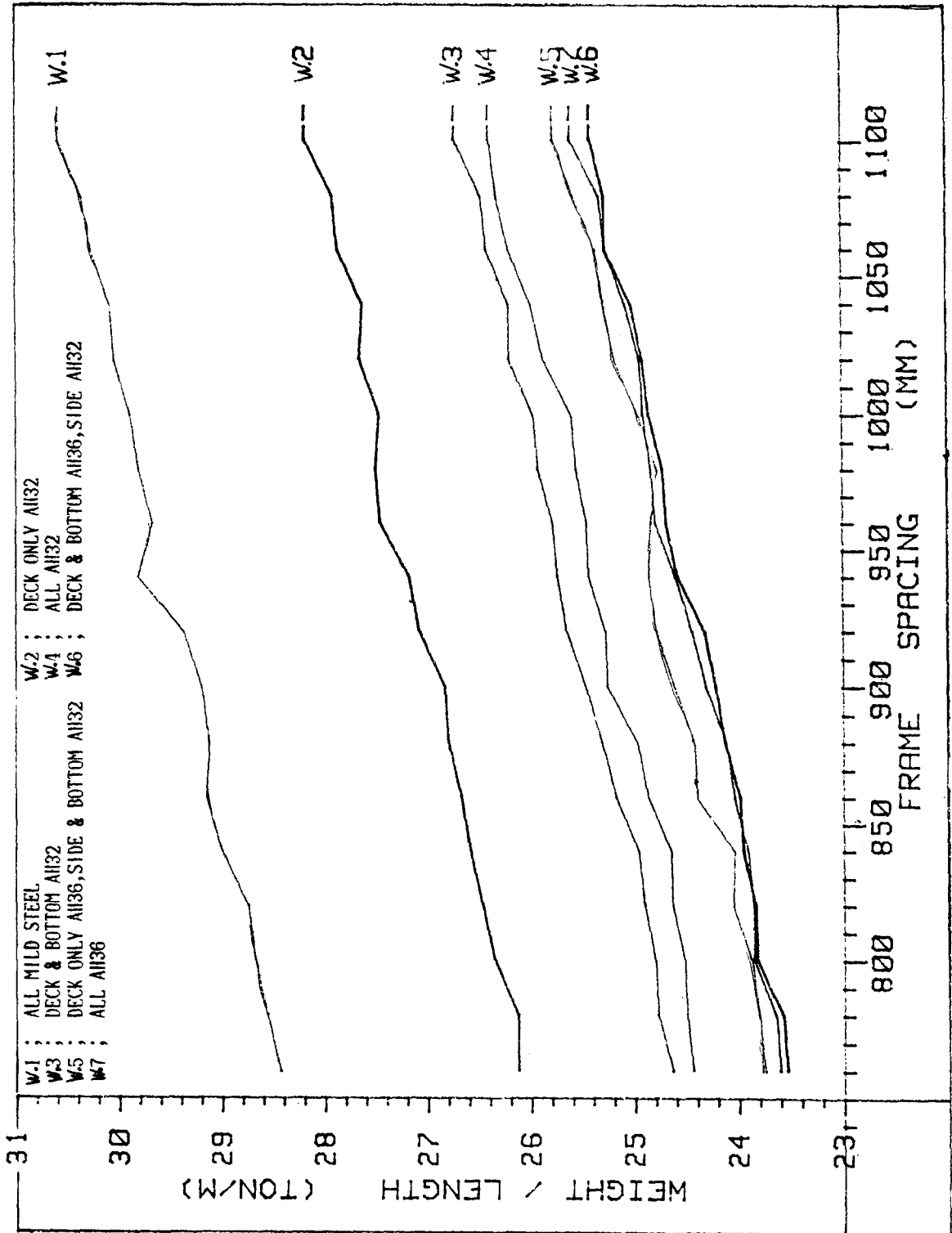


Fig. 3-1. Frame Space의 변화에 따른 모델선 A의 중앙단면 중량변화. (PanaMax 60k B/C)

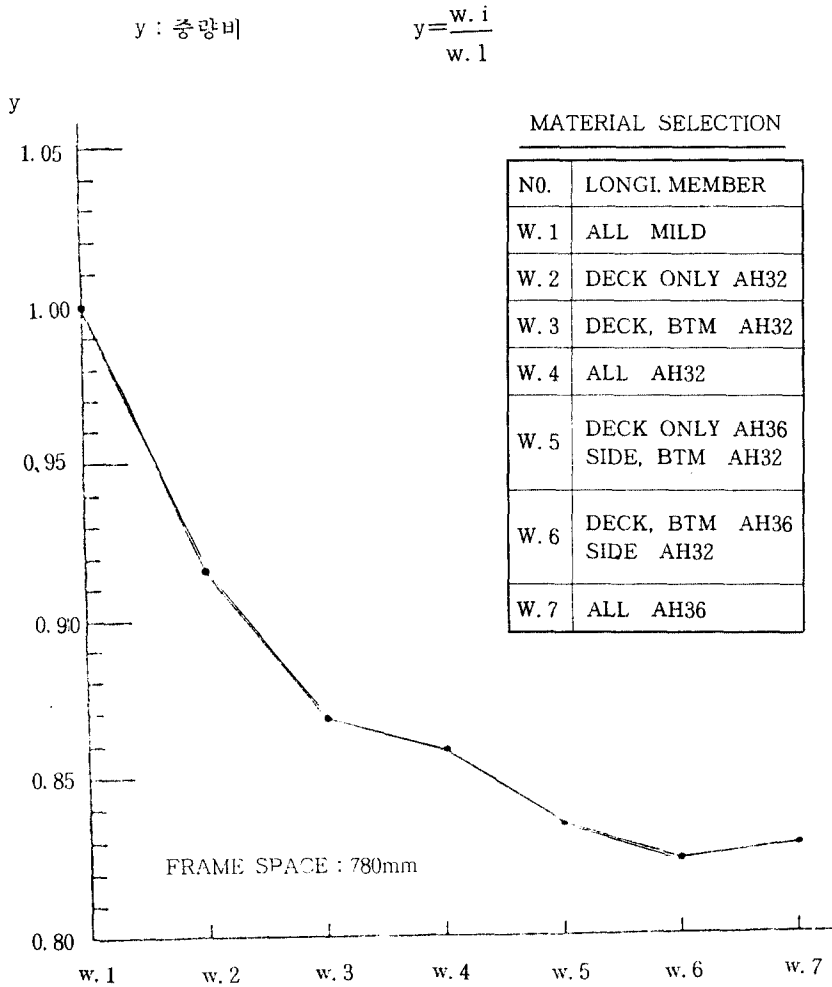


Fig. 3-2. 재료 변화에 따른 모델선 A의 중앙단면 중량변화비.

(표 3.1) 모델선 A(60k) 중앙단면의 중량비교.

unit : mm, ton/m

Case Variable	All Mild	Dk only AH32	DK Btm AH32	All AH32	Dk only AH36	Dk Btm AH36	All AH36
Dk. Thickness	34.0	26.0	28.0	25.5	25.5	23.0	23.0
Dk. Longi. He.	680.	505.	410.	505.	375.	460.	450.
Frame Spacing	780.	780.	780.	780.	780.	780.	780.
Dk. longi. -	1040.	915.	1000.	950.	1000.	830.	850.
Btm. Longi. -	825.	830.	830.	830.	830.	825.	830.
Hopper Bhd. -	825.	825.	830.	830.	830.	825.	830.
Hopper Side -	825.	830.	830.	830.	830.	830.	830.
Topside Bhd. -	950.	825.	830.	830.	825.	825.	830.
Side Shell -	905.	825.	830.	830.	830.	835.	830.
Weight (ton / m)	28.559	26.117	24.779	24.502	23.804	23.509	23.649

(표 3.2) 모델선 B(186k) 중앙단면의 중량비교.

unit : mm, ton/m

Case Variable	All Mild	Dk only AH32	DK Btm AH32	All AH32	Dk only AH36	Dk Btm AH36	All AH36
Dk. Thickness	36.0	28.5	27.5	28.0	26.5	27.5	28.0
Dk. Longi. He.	715.	550.	550.	560.	485.	480.	490.
Frame Spacing	890.	860.	860.	860.	860.	860.	860.
Dk. longi. -	1020.	1000.	835.	855.	830.	875.	995.
Btm. Longi. -	840.	830.	835.	830.	830.	840.	845.
Hopper Bhd. -	875.	830.	835.	830.	850.	845.	940.
Hopper Side -	835.	835.	835.	835.	840.	845.	865.
Topside Bhd. -	905.	835.	835.	830.	830.	845.	830.
Side Shell -	830.	830.	835.	830.	830.	830.	845.
Weight (ton / m)	55.519	50.819	47.698	24.502	45.204	44.417	44.184

(표 3.3) 모델선 C(220k) 중앙단면의 중량비교.

unit : mm, ton/m

Case Variable	Dk only AH32	Dk Btm AH32	All AH32	Dk only AH36	Dk only **REQ	Dk Btm AH36	All AH36
Dk. Thickness	36.0	33.5	33.5	31.5	32.0	34.5	31.5
Dk. Longi. He.	720.	640.	665.	605.	515.	675.	625.
Frame Spacing	880.	880.	880.	880.	880.	880.	880.
Dk. longi. -	1015.	835.	835.	830.	945.	1060.	830.
Btm. Longi. -	970.	835.	835.	830.	830.	835.	835.
Hopper Bhd. -	910.	855.	835.	835.	855.	835.	835.
Hopper Side -	925.	835.	840.	835.	840.	830.	835.
Topside Bhd. -	885.	835.	835.	830.	845.	835.	835.
Side Shell -	880.	830.	830.	830.	845.	855.	835.
Weight (ton / m)	65.710	26.117	57.207	55.308	56.288	53.973	53.840

**REQ. : Inner Btm. Thk. = 26mm Mild (선주요구사항)
DK & Btm AH36, SIDE shell AH32

(표 3.4) 실적선과 모델선과의 중량비교

unit : mm, ton/m

Ship Variable	Model Ship A		Model Ship B		Model Ship C	
	Actual**	Optimum*	Actual	Optimum	Actual	Optimum
Dk. Thickness	31.0	23.0	30.0	27.5	36.0	33.0
Dk. Longi. He.	435.	460.	450.	480.	525.	515.
Frame Spacing	780.	760.	860.	860.	880.	880.
Dk. longi. -	800.	830.	970.	875.	980.	945.
Btm. Longi. -	850.	825.	860.	840.	890.	830.
Hopper Bhd. -	850.	825.	860.	845.	900.	855.
Hopper Side -	850.	830.	860.	845.	900.	840.
Topside Bhd. -	700.	825.	800.	845.	900.	845.
Side Shell -	900.	835.	880.	830.	900.	845.
Weight (ton / m)	25.143	23.509	44.671	44.417	57.285	56.288
Savings in %	6.18 %		0.45 %		1.74 %	

Actual** : 실적선 Optimum : 최적설계

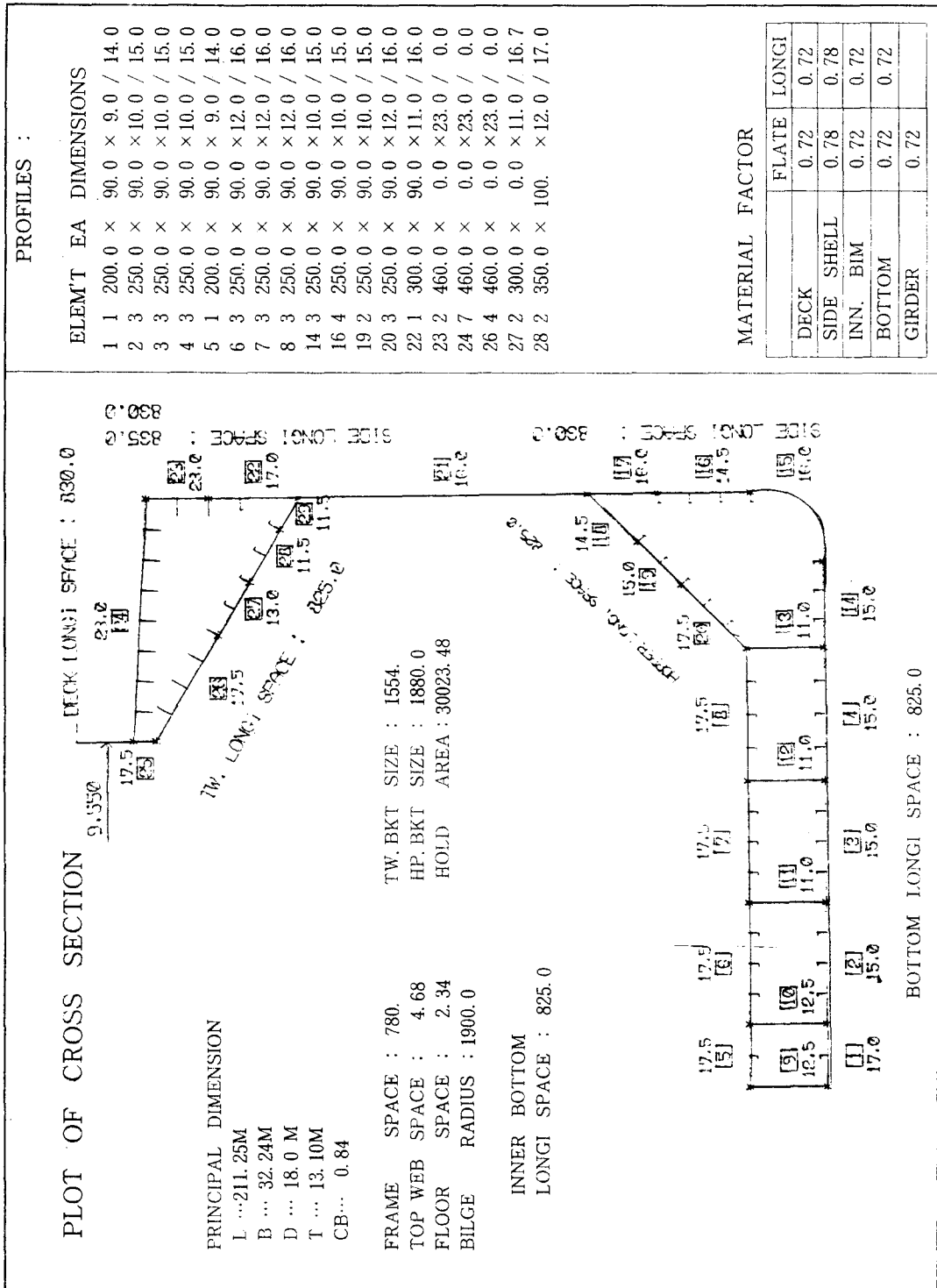


Fig. 3-3. 실적선 A의 중앙단면 곡적설계. (60k)

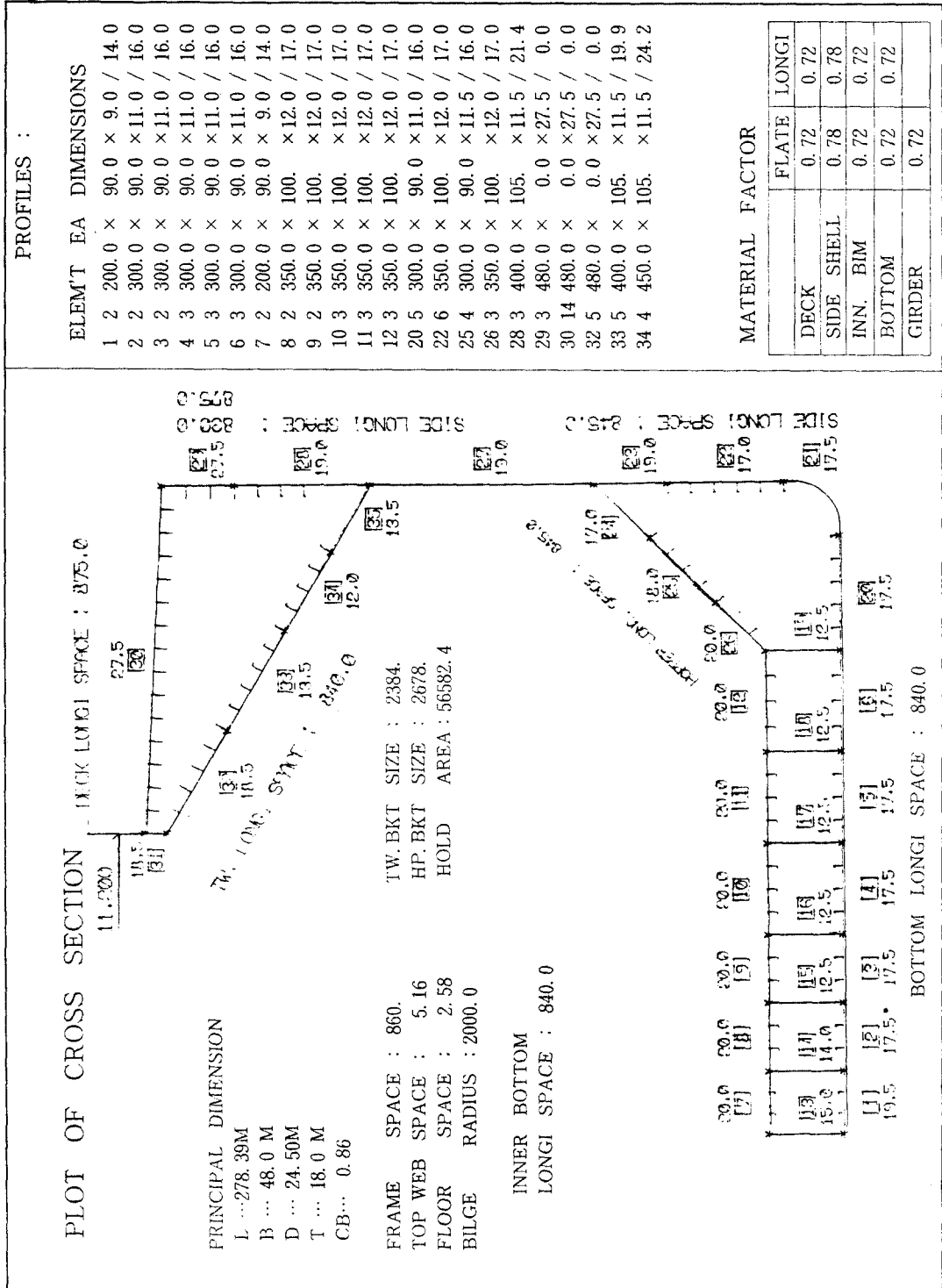


Fig. 3-4 실제선 B의 중앙단면 외적설계. (186k)

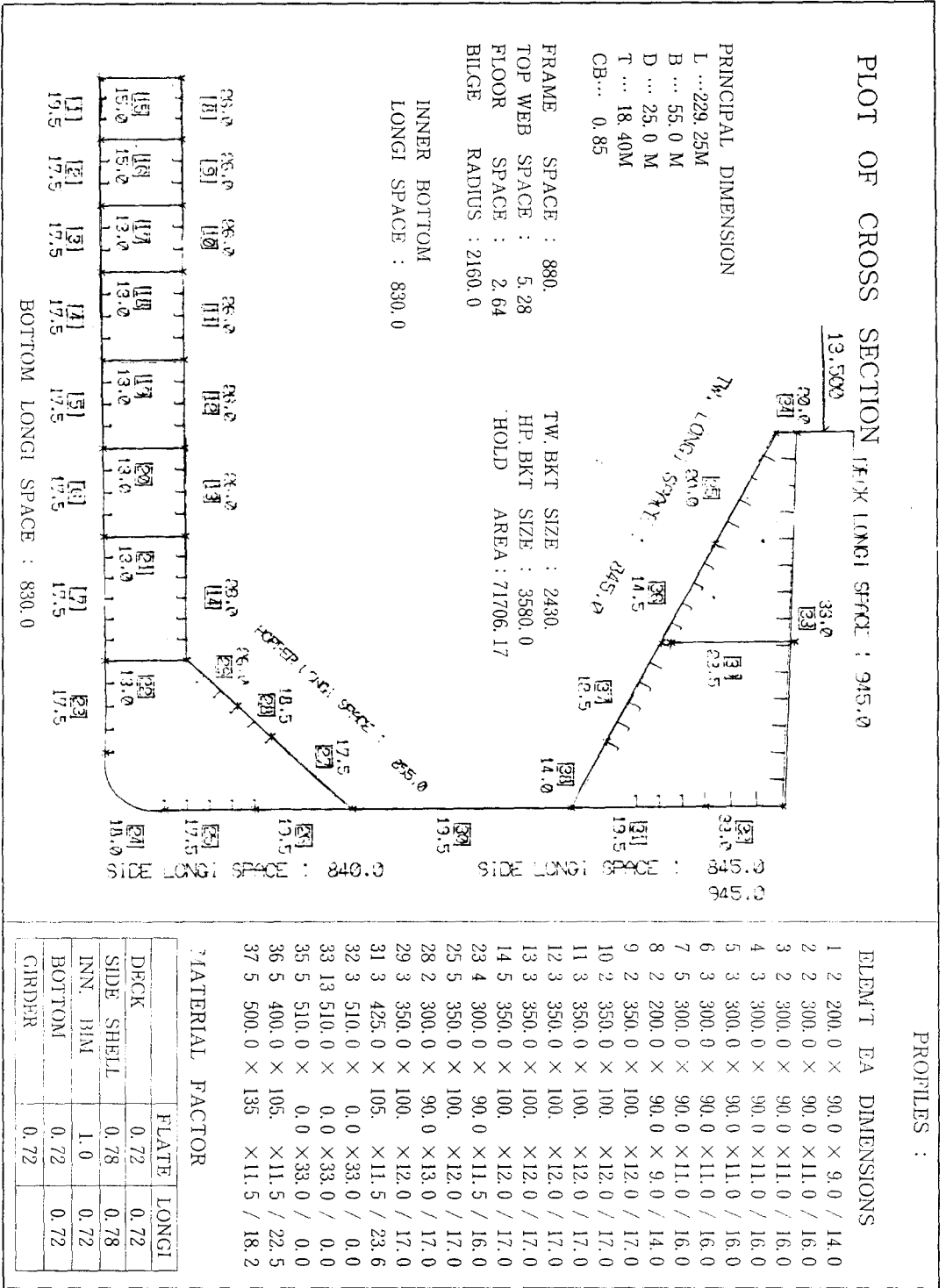


Fig. 3-5 선적선 C의 중앙단면 좌적설계. (220k)

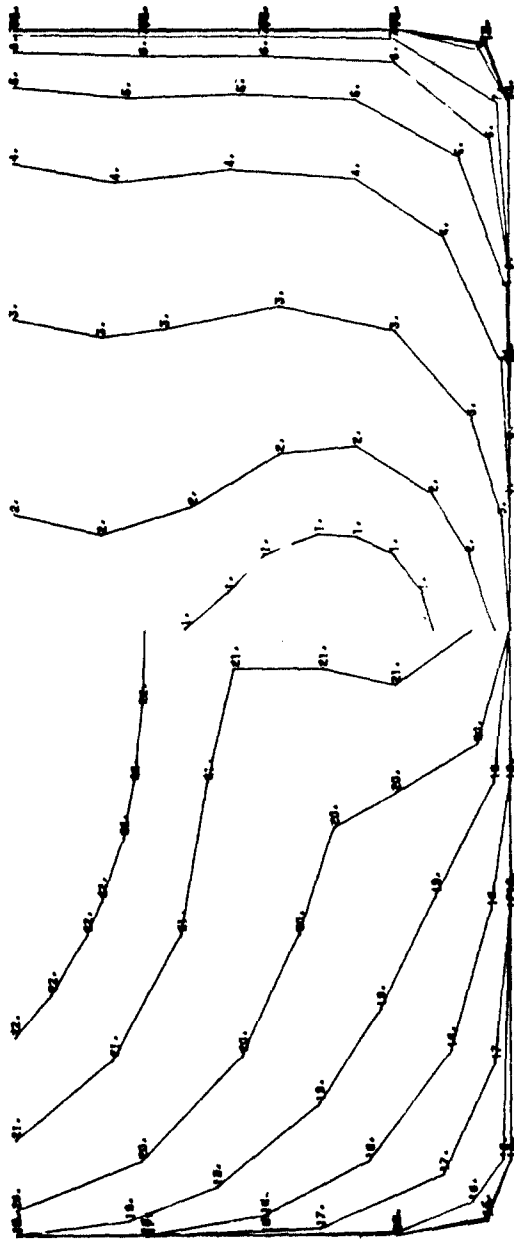


Fig. 3-6 Computer Offsets plots of Hull Geometry

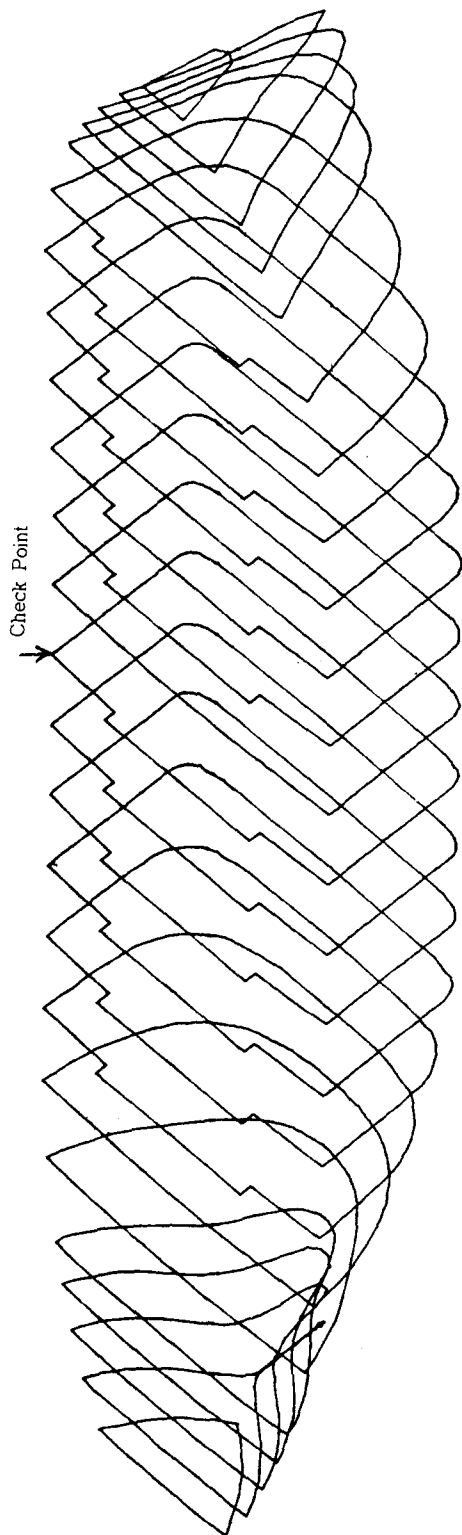


Fig. 3-7 PLOT OF ASSEMBLED ELEMENTS

4. 결 론

최적화 기법중 Hooke and Jeeves 와 Simplex Method를 사용하여 Bulk Carrier의 중앙단면 최소중량설계를 실적선 A, B, C에 대해 수행한 결과로 부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 최적설계시 설계변수의 종 보강재의 간격은 Lloyd 선급규정의 최소 간격값 (Minimum Spacing) 근처에서 최적설계가 이루어진다.
- 2) 모델선 A, B, C에 적용시켜본 결과 실적선에 비해 각각 6.18%, 0.45%, 1.74%의 중량감소를 기대할 수 있다.
- 3) 고 강력강(Hi-ten Steel)은 부분적으로 갑판과 선저부분에 사용하는 경우가 선각중량변화에 가장 큰 영향을 주며, 모든부재를 고 강력강으로 사용할 경우 선각중량이 증가될 수 있다.
- 4) 최적설계에서 주어진 Data Base을 이용하여 CAD system과 연결하여 도면 자동화를 이룰수 있었다.
앞으로의 연구방향은 최적화 설계 프로그램에 의해 계산된 설계단면의 형상을 CAD system과 연결시켜서 상세 설계 작업을 수행하여 설계도면의 완전 전산화가 이루어지는 CAD System의 최적화 프로그램의 개발이 필요하다.

참고문헌

- 1) G. R. WALSH "METHOD OF OPTIMIZATION" JOHN WILEY AND SONS, 1975
- 2) URI KIRSH "OPTIMUM STRUCTURAL DESIGN" MACGRAW-HILL, 1981
- 3) JAMES L. KUESTER AND JOE N. MIZE "OPTIMIZATION TECHNIQUE WITH FORTRAN" MACGRAW-HILL, 1973
- 4) HOOKE R. AND JEEVES T. A "DIRECT SEARCH SOLUTION OF NUMERICAL AND STATICAL PROBLEM" JOURNAL OF ASSOC. FOR COMPUTING MACHINERY VOL. 8, 1961
- 5) NELDER J. A AND MEAD R. "A SIMPLEX METHOD FOR FUNCTION MINIMIZATION" COMPUTER JOURNAL VOL. 7, 1965
- 6) MICHAEL G. PARSONS "OPTIMIZATION METHOD FOR USE IN COMPUTER - AIDED SHIP DESIGN" STAR SYMPOSIUM AUG. 26-29, 1975
- 7) 신 중 계 "최적화 기법을 이용한 선체 중앙단면의 최소중량설계" 조선학회지 vol. 17, No. 4, 1980
- 8) 김외현, 라영관, 박지화, 김지중 "OPTIMIZATION THEORY AND IT'S APPLICATION TO BULK CARRIER DESIGN(PART I)" 기술현대, 1981
- 9) 민계식, 나승수 "Lloyd Rule에 의한 살물선의 최적설계" 대우조선기술, 1984
- 10) 어 민 우, "최소중량 및 건조비를 위한 선체설계에 관한 연구" 서울대학교 석사학위 논문, 1983
- 11) 김기성, 함병렬 "Pitched Structure의 최적설계에 관한 연구" 인하대학교 산업과학기술논문, 1988
- 12) 박명규, 김성규 "적자형 2중저의 선

- 체최적설계에 관한 연구”
한국항해학회지(제 12권 2호),
1988
- 13) 고윤섭, 박명규 “G/T 4500톤급 실습선의 선체 최적 구조설계 개발에 관한 연구
한국해양대학 선박공학연구소 논문집, 1988
- 14) 박명규 저 “CAD/CAM 도형정보기술” 한국이공학사, 1989
- 15) 박명규 저 “조선공학의 NC기술및 컴퓨터” 해문출판사, 1982
- 16) 박명규편저 “CAD/CAM 형상처리 공학(I), (II)” 도서출판 기연사, 1987
- 17) 박명규 저 “CAD/CAM 조선도형정보” 해문출판사, 1984
- 18) 박명규 편 “도형처리공학(CAD화)” 이연사, 1986

부 록

· 중앙단면 설계의 Design Procedure(LLOYD 선급)

A. Girder Thickness(4.1.8.3.1)

* CENTER GIRDER

$$t = (0.008d + 4) \sqrt{K} \text{ mm}$$

$$6.0 \text{ mm} < t \leq 15.0 \text{ mm}$$

THE THICKNESS MAY BE DETERMINED USING THE VALUE FOR d WITHOUT APPLYING THE MINIMUM DEPTH OF 650mm

* SIDE GIRDER

$$t = (0.0075d + 1) \sqrt{K} \text{ mm}$$

* WATERTIGHT SIDE GIRDER

$$t = (0.0075d + 2) \sqrt{K} \text{ mm}$$

$$\text{OR, } t = 0.004 \cdot S \cdot f \sqrt{\rho \cdot H \cdot K / 1.025} + 2.5 \text{ mm}$$

* DUCT KEEL

$$t = (0.008d + 2) \sqrt{K} \text{ mm}$$

$$\text{OR, } t = 0.004 \cdot S \cdot f \sqrt{\rho \cdot H \cdot K / 1.025} + 2.5 \text{ mm}$$

B. INNER BOTTOM

* PLATE

$$t = 0.00136(s + 660) \sqrt{K \cdot L \cdot T} + 5 \text{ mm}$$

$$\text{OR, } t = 0.00455 \sqrt{HK/C} \text{ mm}$$

$$\text{OR, } t = 0.004 \text{ sf } \sqrt{\rho HK / 1.025} + 2.5 \text{ mm}$$

* LOGITUDINALS

$$Z = 0.85 \cdot 0.0106 \cdot s \cdot K \cdot Le^3 \cdot K_3 \cdot Cm^3$$

$$\text{OR, } Z = 0.0081 \cdot s \cdot S^3 \cdot H_c \cdot K /$$

$$(1 - 0.233Y1/D)C \text{ Cm}^3$$

$$\text{OR, } Z = \rho \cdot s \cdot K \cdot H_1 \cdot Le^2 / 22 \cdot b(W1 + W2 + 2) \cdot$$

C. BOTTOM SHELL

* KEEL PLATE

$$b = 70 \cdot B \cdot 750 < b < 1800$$

$$t = t_1 \text{ WHERE, } t_1 = \text{BOTTOM}$$

PLATE THICKNESS

* BOTTOM & BILGE PLATE

$$t = 0.001 \cdot S1 \cdot (0.043L1 + 10) \sqrt{FB/K}$$

$$\text{OR, } t = 0.063 S1 \sqrt{TK / (2 \cdot -FB)}$$

* LONGITUDINALS

$$Z = 0.0106 \cdot s \cdot K \cdot Le^3 \cdot K_3 \cdot Cm^3$$

$$\text{OR, } Z = \rho \cdot s \cdot K \cdot Le^3 \cdot H_1 / 22 \cdot b(W1 + W2 + 2) \cdot Cm^3$$

D. HOPPER SLOPED BULKHEAD

* PLATE

$$t = 0.004 \text{ sf } \sqrt{\rho HK / 1.025} + 2.5 \text{ mm}$$

BUT THE FIRST PLATE THICKNESS IS SAME AS INNER BOTTOM PLATE THICKNESS.

* LONGITUDINALS

$$Z = \rho \cdot Le^3 / 22 \cdot b(W1 + W2 + 2) \cdot Cm^3$$

E. SIDE SHELL

e1. AT UPPER TURN OF BILGE

* PLATE

$$t = 0.001 S_1 (0.059 L_1 + 7) \sqrt{FB/K} \text{ mm}$$

$$\text{OR, } t = 0.0059 S_1 \sqrt{TK / (2. - FB)} \text{ mm}$$

* LONGITUDINALS

$$Z = 0.00106 s K L e^2 K_1 \text{ Cm}^3$$

$$\text{OR, } Z = 0.0113 \rho s K H_1 L e^2 / b \text{ Cm}^3$$

e2. ABOVE D/2 FROM BASE

* PLATE

$$t = 0.001 S_1 (0.059 L_1 + 7) \sqrt{FD/K} \text{ mm}$$

$$\text{OR, } t = 0.0049 S_1 \sqrt{T \cdot K} \text{ mm}$$

* LONGITUDINALS

$$Z = 0.00106 s K L e^2 K_1 \text{ Cm}^3$$

$$\text{OR, } Z = 0.00113 \rho s \cdot K \cdot H_1 \cdot L e^2 / b \text{ Cm}^3$$

F. TOP SIDE SLOPED BULKHEAD

f1. TOE & TOP STRAKE

* PLATE

$$t > 0.6t$$

$$t = 0.018s \text{ mm}$$

$$\text{OR, } t = 0.018 s \sqrt{FD/K} \text{ mm}$$

$$\text{OR, } t = \sqrt{\sigma_c \cdot s^2 / 736264} \text{ mm}$$

f2. LOWER SLOPED PLATE

* PLATE

$$t = 0.004 s f \sqrt{\rho H_1 \cdot K} / 1.025 + 2.5 \text{ mm}$$

$$\text{OR, } t = 0.012s \text{ mm}$$

$$\text{OR, } t = 0.012 \sqrt{FD/K} \text{ mm}$$

* LONGITUDINALS

$$Z = 0.01s \cdot K \cdot H L e^2 \text{ Cm}^3$$

$$Z = s K H_1 L e / 22. b (W_1 + W_2 + 2) \text{ Cm}^3$$

G. DECK

* PLATE

$$t = 0.001 S_1 (0.059 L_1 + 7) \sqrt{FD/K} \text{ mm}$$

$$\text{OR, } t = 0.00083 S_1 \sqrt{LK} + 2.5 \text{ mm}$$

$$\text{OR, } t = 0.004 s f \sqrt{\rho K \cdot H_1} / 1.025 + 3.5 \text{ mm}$$

* LONGITUDINALS

$$Z = 0.0106s K L e^2 K_1 \text{ Cm}^3$$

$$Z = 0.0113 \rho s K \cdot H_1 \cdot L e^2 / b \text{ Cm}^3$$

후 기

본 논문은 극동선박설계가 한국해양대학 선박설계팀에 의뢰한 연구프로젝트를 화일 시스템(주)과 구성이 되어 개발되었다. 본 논문의 Program Listing 을 담은 floppy diskette 을 원하는 분은 한국해양대학 선박공학과 CAD/CAM Lab. (Tel 414-0031~5)로 연락하면 구할수 있다.