統計的 資料에 의한 船舶의 輕荷分布推定法에 關한 硏究

朴 命 圭*

A Study on the Estimation of Light Weight Distribution on Ship by Statistical Data

Park, Myung-Kyu

〈目 次〉

Abstract
기호설명
1. 서 론
2. 계산방법
3. Local Weight 의 추정방법
3-1 Local Weight Distribution의 전단력 ($SF_W(X)$)
3-2 Local Weight Distribution 의 굽힘모우먼트($BM_W(X)$)
4. Hull Weight 의 추정 방법
5. Hull Weight 분포
5-1 Hull Weight Distribution 의 전단력 ($SF_H(X)$)
5-2 Hull Weight Distribution 의 굽힘모우먼트($BM_H(X)$)
6. 프로그램의 구성
7. 공시선에 대한 계산결과
8. 결 론
참고문헌

Abstract

From time to time the light weight distribution has been discussed. It play an important part in the preliminary design stage because of its influence on the available deadweight.

Up to the past, the Light weight distribution acting on the ship has been estimated graphically by means of integraph or approximately by the simplified calculations.

Recent development has made it possible to use Lloyd's coffin method or Robb's coffin method for Bulk carrier, Tanker, Cargo ship where the hull weight is distributed based upon the C_B.

The hull weight distribution is then super-imposed by number of fixed weights(i.e. machinery, equipment, etc.).

The authors built up the method by which the Light weight distribution is calculated using a computer. In the usual calculations, the higher accuracy is aimed at, the longer

* 正會員, 韓國海洋大學

time would be taken, therefore the accuracy would not be so good as to be expected if the time is restricted.

The method using a computer can dissolve these and calculate accurately in shorter time the Light weight distribution with less data.

기 호 설 명

$SF_W(X)$	: Shearing Force of Local weight
W_k	: The ingredient weight of the Trapezoid
W	: Total weight
W_k'	: The imagination ingredient weight of the Trapezoid
μ_k	: Length over which the weight is Distributed
λ_k	: Distance from AP to the Trapezoid
ξ_k	: The Longitudinal Distance from the smaller end of the Trapezoid to its center of gravity
P_k and Q_k	: Respectively, the Lesser and Greater Ordinates
$BM_W(X)$	: Bending Moment of Local weight
X_W	: Distance from total weight to its center of gravity
$W_o(W_\varpi)$	: Weight of Midship Section
W_G	: Hull weight
$SF_H(X)$	: Shearing Force of the Hull weight
$BM_H(X)$	: Bending Moment of the Hull weight
SM	: Section Modulus
L	: Ship Length
B	: Ship Breadth
D	: Ship Depth
d	: Ship Draft
C_B	: Block Coefficient
C_p	: Prismatic Coefficient

1. 서 론

선박을 운항하는데 있어서 선체에 발생하는 전단력과 굽힘모우먼트를 알아내는 것은 그 선박의 안전운항을 위하여 꼭 필요한 일이다. 이들 선체에 걸리는 경하중량의 분포상태는 선박설계시의 각종 계산의 기초가 되어 이의 정확도가 각종 계산결과의 정확도에 직결되기 때문에 초기설계시 주요부재들의 재료치수(Scantling)을 결정하는 자료로서 선급협회의 도면승인신청시에 제출하게 되어 있는 것이다. 이에 관한 연구는 BOUGER, EULER, T. YOUNG, W. JOHN, RANKINE, L. VIVET에 의해 시작되었다. 또한 L. VIVET의 방법

으로 BILES, PROHASKA, COLE에 의하여 중량분포가 비교적 정확히 추정되어[1],[2] 경하중량분포의 관련선에 기초 자료를 작성하였고 J.H. KING과 J.M. MURRAY에 의한 약산식의 값도 추정되었다.[3] 이와 같이 1960년대까지 일반적으로 약산식 혹은 간략계산법(Simplified method)과 도표에 의한 적분법 및 Integraph을 이용하는 방법이 채용되어 오다가 근래 고속전산기의 발달로 선박설계분야에서도 전산기를 이용하게 되어 이 분야에서도 전산기를 이용하는 방법이 연구되고 있는 바[4] 여기에 알려진 것으로는 스웨덴의 SEAKING SYSTEM,[5] 놀웨이의 PRELIKON SYSTEM,[6] 스페인의 FORAN SYSTEM,[7] DNV의 HULDA SYSTEM[8] 등이 있고 이들은 독특한 방법을 사용하여 경하중량분포상태를 계산하도록 되어 있다. 본 논문에서는 선급분류별로 선박의 종류에 따라 경하중량분포로 나누어 계산하고, 초기설계 및 완성설계 단계에서 Light weight condition의 결정에 필요한 경하중량의 분포상태와 전단력 및 굽힘모우먼트를 결정할 수 있도록 전자계산 프로그램을 개발하였다.

2. 계 산 방 법

경하중량분포의 구성을 해석해 보면 매우 많은 요소가 서로 영향을 주며 결합되어 있다. 그러나 초기설계에는 한정된 시간과 노력으로, 보다 간단하고, 한편 정도가 높은, 추정방법이 요구된다. 여기서는

1) 주요치수로 간단히 되는 것.

2) 유사선으로부터 추정가능한 것.

3) 경하중량분포에서 국부적으로 상대적인 영향을 나타내는 것.

등에 의해 주어지는 독립적인 몇 개의 요소결합이라 생각하여 각 요소의 중량을 적당히 추정하여, 경하중량분포를 구할 경우 그 중량은 각 요소를 만족시킬 것이므로, 정도는 비교적 높아진다.

그러나 요소의 수를 너무 많게 하면 계산이 복잡해질 뿐 정도는 향상되지 않고, 따라서 그 선택은 힘든 것이지만, 여기서는 상부구조중량 (가), 격벽구조중량 (나), 기관실 구조중량 (다), 국부특수구조중량 (라), 선각중량 (마) 등 다섯의 요소로 구분하였다.[9]

이들 요소중에서 (가)~(라)의 중량분포는 유사치수, 유사구조물 등의 자료를 정리하는 것에 의해 국부중량분포로 취급하였고, (마)의 선각중량분포는 선급협회 구조규정 및 선종에 따른 방법으로 처리하여 경하중량분포의 추정을 구하는 것으로 하였다.

3. Local Weight의 추정방법

국부중량을 엄밀하게 작성하려면 배의 중량품목 하나하나에 대하여 모든 점에서 단위 길

이마다의 중량을 보여주는 작은 국부중량 곡선을 그려야 한다.

그러나 모든 중량품목에 대하여 그와 같이 하는 것은 너무나 번거로운 일이어서 실천할 수가 없다. 따라서 결과에 큰 변화를 주지 않는 범위안에서 곡선을 단순화할 필요가 있다.

그러한 한 방법으로써 일반배치도를 중심으로 배를 스테이션(station) 또는 주횡격벽에 의해 구분하고 중량들을 구간별로 묶어서 몇 개의 군을 만든다. 각 군의 전체 중량과 중심의 새로 위치를 계산하고 그것에 맞추어 각 구간의 중량곡선을 사다리꼴로 나타내어 연결하면 그들의 계열로 된 중량곡선을 얻게 된다.[1,10]

한 중량군을 나타내는 사다리꼴의 도심을 원하는 위치에 놓으면, 그 끝변의 높이들은 P_k, Q_k로 결정되어 전단력 및 굽힘모우먼트가 계산된다.

3-1 Local Weight Distribution의 전단력($SF_w(X)$)

$SF_w(X)$는 Fig. 3-1과 같이 빗금친 면적에 해당되는 점으로부터 선수측까지의 전체 중량의 분포에 대한 계산이다. 배의 중량곡선이 배의 사다리꼴 분포 성분 하중인 합으로 표시되고, suffix k는 k항목의 성분하중을 표시한다.

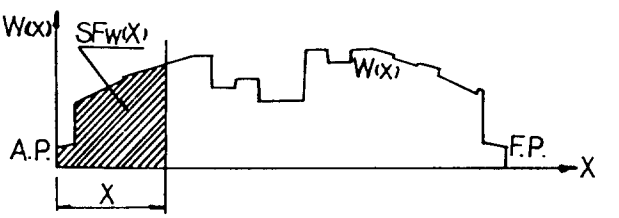


Fig. 3-1 Relationship for the $W(x)$ and $SF_W(x)$

k번째의 성분하중 W_k는 Fig. 3-3과 같이 AP로부터 거리 X는 $\lambda_k \sim (\lambda_k+\mu_k)$의 거리에 분포해서 $X=\lambda_k$의 점이 단위길이에 해당되는 중량을 P_k, $x=\lambda_k+\mu_k$의 점을 Q_k, 성분하중의 중심위치를 $\lambda_k+\xi_k$라고 할 수 있다. 성분하중을 근사적으로 사다리꼴 분포라고 생각하면 ξ_k와 P_k, Q_k사이에는 다음과 같은 관계가 있

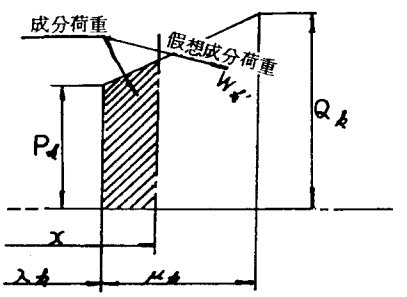


Fig. 3-2 The ingredient weight of the Trapezoid by suffix k

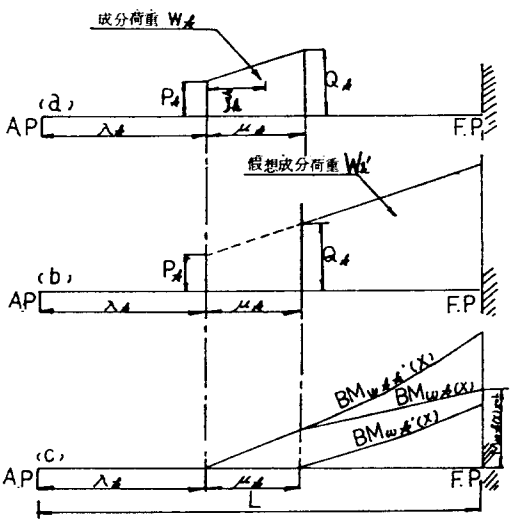


Fig. 3-3 Relationship of B·M for the Trapezoid needed Local weight.

기 때문에 ξ_k가 실제의 값에 일치되도록 P_k, Q_k을 정한다.[10]

$$P_k = \frac{W_k}{\mu_k}\left(4 - 6\frac{\xi_k}{\mu_k}\right) = \frac{2W_k}{\mu_k} - Q_k$$
$$Q_k = \frac{W_k}{\mu_k}\left(-2 + 6\frac{\xi_k}{\mu_k}\right) \tag{3·1}$$

$SF_w(x)$은 하나하나의 성분하중에 대한 전단력의 합과 같이 되기 때문에 다음과 같은 식으로 계산한다.

$$SF_w(X) = \sum_k SF_{wk} \tag{3·2}$$

$SF_w(x)$는 전단력을 계산하는 점이 성분하중의 분포범위에서 선미측에 있는가 혹은 분포범위내에 있는가 또는 선수측에 있는가에 따라 같은 3가지의 다른 값을 결정할 수 있다.

$$SF_{wk} = 0 \quad (x < \lambda_k)$$
$$SF_{wk} = (x-\lambda_k)\left\{P_k - \frac{1}{2\mu_k}(x-\lambda_k)(P_k - Q_k)\right\} \quad (\lambda_k < x < (\lambda_k + \mu_k))$$
$$SF_{wk} = W_k \quad ((\lambda_k + \mu_k) < x) \tag{3·3}$$

위의 식중$(\lambda_k > x > \lambda_k + \mu_k)$인 경우 SF_{wk}는 Fig. 3-2의 빗금친 부분을 더하여 프로그램을 구성한다.

3-1 Local Weight Distribution의 굽힘모우먼트$(BM_w(X))$

성분하중 W_k가 단독으로 선체에 작용할 때 x점에 생기는 굽힘모우먼트 $BM_w(x)$를 구할 수 있다.

Fig. 3-3(a)에 표시한 것과 같이 성분하중 W_k의 중량분포는 그 중심위치가 계산되어져 있는 트림계산서(Trim calculation sheet)의 중심위치와 일치하도록 하여 식(3·1)과 같이 선체상에 사다리꼴 분포가 된다고 한다.

다음 Fig. 3-3(b)에 표시한 것과 같이 성분하중을 연장한 가상성분하중 W_k'을 생각한다. 이와 같이 하면 선체의 x점에서의 성분하중 W_k에 의한 굽힘모우먼트 $BM_{wk}(x)$는 다음과 같이 표시된다.[10]

$$BM_{wk}(x) = BM_{wkk'}(x) - BM_{wk'}(x) \tag{3·4}$$

단,
$$BM_{wkk'}(x) = \frac{Q_k - P_k}{6\mu k}(x-\lambda k)^3 + \frac{P_k}{2}\left\{(x-\lambda k)\right\}^2$$

또한 (성분하중 W_k)+(가상성분하중 W_k')에 의해 생기는 굽힘모우먼트는 다음과 같이 표시된다.

$$BM_{wk\cdot}(x) = \frac{Q_k - P_k}{6\mu k}\left\{x - (\mu k + \lambda k)\right\}^3 + \frac{P_k}{2}\left\{x - (\mu k + \lambda_k)\right\}^2 \tag{3·5}$$

식(3·5)는 (가상성분하중 W_k')에 의해 생기는 굽힘모우먼트로 되니까 x점에 있어서 전

해 중량모우먼트 $BM_{Wk}(x)$는 다음과 같이 표시된다.

$$BM_W(X)=\sum_K BM_{Wk}(x) \qquad (3\cdot6)$$

그러므로 위의 식을 계산할 때 다음 조건을 만족하도록 한다.

즉, $(x-\lambda_k)\geqq 0$일 때만 $BM_{WKk'}(x)$을 계산하고 $\{x-(\mu_k+\lambda_k)\}\geqq 0$일 때만 $BM_{Wk'}(x)$를 계산한다.

그 이외에 $(x-\lambda_k)<0$일 때는 $BM_{Wkk'}(x)=0$으로 하고 $\{x-(\mu_k+\lambda_k)\}<0$일 때는 $BM_{Wk'}(x)=0$으로 한다.

4. Hull Weight의 추정방법

먼저 추정에 필요한 자료를 얻을 목적으로 조선소에서 최근 건조된 배에 대하여 Table 4-1과 같은 것을 얻었다.

Table 4-1 Principal Dimensions for Builded ships

No.	L(M)	B(M)	D(M)	d(M)	C_B	CLASS	NAME
1	96.00	14.20	7.80	5.850	0.688	A B S	GENERAL CARGO SHIP
2	98.00	15.00	8.10	6.500	0.725	N K	〃
3	100.00	15.00	8.50	6.660	0.730	A B S	〃
4	112.00	16.20	8.30	6.400	0.695	A B S	〃
5	116.00	16.60	10.00	7.770	0.726	A B S	〃
6	128.00	18.20	11.40	8.530	0.742	N K	〃
7	136.00	18.90	11.85	8.850	0.737	N K	〃
8	150.00	19.00	12.60	9.324	0.757	A B S	〃
9	157.00	20.40	12.50	9.101	0.750	Lloyd's	〃
10	144.00	20.40	11.80	8.510	0.783	N K	BULK CARRIER
11	157.00	20.40	12.50	9.101	0.750	N K	〃
12	163.00	22.40	13.90	9.650	0.770	A B S	〃
13	163.40	20.30	13.60	9.600	0.812	A B S	〃
14	215.00	32.00	15.16	10.520	0.780	A B S	〃
15	146.00	22.80	12.52	10.000	0.761	A B S	〃
16	167.00	22.90	14.50	10.400	0.822	A B S	〃
17	127.00	23.00	12.10	9.140	0.777	A B S	TANKER
18	153.50	22.90	12.50	9.160	0.803	A B S	〃

19	161.54	21.40	12.27	9.701	0.762	Lloyd's	〃
20	168.00	22.00	12.30	9.633	0.768	NK	〃
21	168.00	28.00	14.00	10.400	0.789	ABS	〃
22	187.50	25.60	13.40	9.930	0.789	ABS	〃
23	202.50	31.00	16.87	11.900	0.811	ABS	〃
24	169.00	29.60	15.15	10.670	0.776	DNV	CHEMICAL TANKER
25	128.90	19.50	9.55	7.574	0.700	ABS	ORE CARRIER
26	144.00	20.40	11.80	8.540	0.787	NK	〃
27	153.00	22.00	12.50	9.000	0.765	NK	〃
28	154.50	22.00	12.35	9.300	0.760	NK	〃
29	162.00	23.40	12.00	9.000	0.777	NK	〃
30	134.84	21.07	11.80	8.740	0.773	Lloyd's	OBO(Ore bulk and oil carrier)
31	161.54	22.40	12.95	9.990	0.758	ABS	〃
32	172.21	25.91	14.33	10.980	0.784	ABS	〃
33	187.50	25.60	13.40	9.930	0.789	ABS	〃
34	146.00	22.80	13.55	10.520	0.729	GL	CONTAINER
35	160.00	23.00	13.55	9.950	0.726	GL	〃
36	186.00	28.60	16.30	10.590	0.587	ABS	〃
37	132.00	21.00	14.25	6.400	0.6526	Lloyd's	RO. RO SHIP

이 Table 4-1을 보아 알 수 있듯이 선급협회, 선형, 구조방식 등이 산만하여 초기조건이 동일하지 않지만, 이것은 뒤에 말하는 것과 같이 거의 문제가 되지 않는다. 이들 각각의 배의 중앙단면도에서 Fig. 4-1에 나타냄과 같이 L-Member와 T-Member로 나누고 특히 T-Member는 동일구조가 반복되는 일정구간의 중량 모두를 집계하여 이것을 1m당의 평균으로 하여 중앙단면 1m당의 T-Member중량으로 하였다. 즉 ||::|: 인 범위의 T-Member

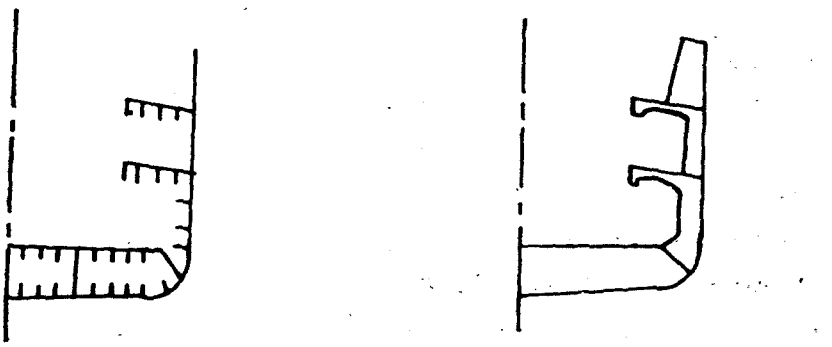


Fig. 4-1 A scope of W_G

중량을 모두 집계하여 1m당으로 평균한다. 이들을 종합한 것, 즉 중앙단면의 둘레에 해당되는 $B+D$의 1m당 중량을 배의 길이에 대하여 점을 찍어 나열해 본 결과 Fig.4-2을 얻었다. 여기에서 Fig.4-2에 의해서 다음과 같은 식을 얻는다.

$$\frac{W_{\text{m}}}{B+D}=K\quad(\alpha L+\beta) \tag{4·1}$$

여기에서 계수 α, β는 배의 최소 중량을 나타낸다고 생각되는 것을 기준으로 결정하였다. 즉, 이 경우를 기준으로 하면 K는 기준선($K=1$)에 대한 수정계수이며, Fig.4-2에 의하여 선종별로 Table(4-2)와 같이 어떤 일정할 추정의 K값을 나타낼 수가 있다.

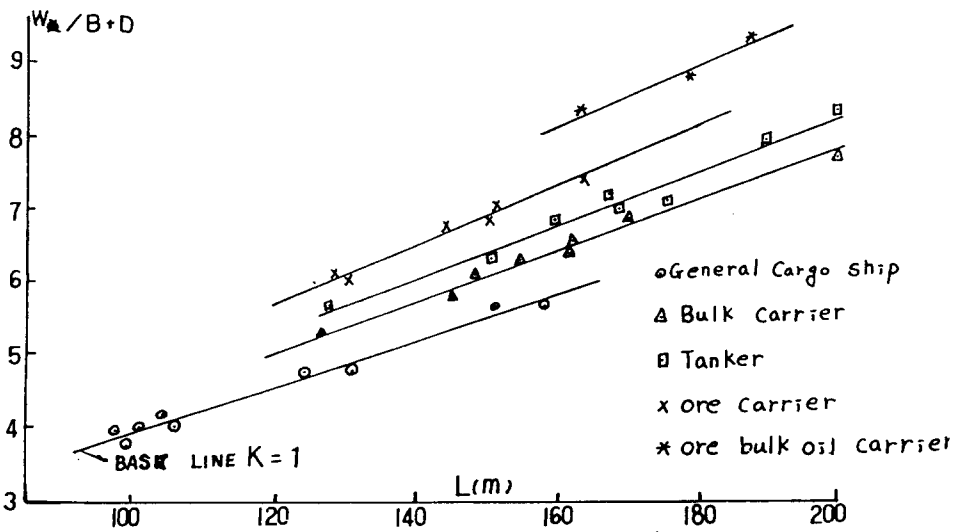


Fig. 4-2 The connection of $W_{\text{m}}/B+D$ and L determined by the kind of ship.

Table 4-2 A comparative table of K for the kind of ship

보통화물선	산적화물선	유 조 선	광석운반선	광유운반선
K=1.000	K=1.905	K=1.16	K=1.25	K=1.35

또한, K가 각 선종간에서 서로 다른 것은 선급협회에서 직접 또는 간접으로 L-Member에 대한 단면계수 SM를 선박의 종류에 따라서 구별하고 있는 점과 T-Member의 구성이 선박의 종류별로 다르기 때문이다.

따라서, 여기서 취급한 선종 이외의 중앙단면구조를 가지는 선박에서는 앞서 말한 것과 같은 방법에 의하여 대략적인 계수 K를 구해 두면 된다. 예를 들어, 주요치수가 변화되더라도 이 K값을 쓸 수 있다는 점이 명백하다. 그러나, 중앙단면에서 상세한 K값을 구하지 않은 구조에서는 초기설계단계에서 상세한 계산을 하기가 힘들 것이므로 동일한 구조를 가

지는 배에서는 필요한 수정을 가한 것을 쓴다.

1) 추정의 기초가 되는 실선자료에는 suffix 1을 붙인다. 즉, $L_1, B_1, D_1, d_1, K_1, W_{k1}, W_{G1}$으로 하고 모두가 기지의 수이다. 여기서 위의 요목중량 등이 정확히 판명되어 없는 것이라면 선종은 아무래도 상관 없다.

2) 추정하려고 하는 것에는 suffix 2을 붙어 L_2, B_2, D_2, d_2로 하며 이것을 미지수로 하여 K_2는 선종에서 $W_{\varpi 2}$는 Fig. 4-2에서 추정한다.

3) 구조방식이 (1)과 같은 주요치수 등이 (2)와 같을 때의 선체중량을 W_{G1}', 이때 W_{ϖ}을 $W_{\varpi 1}'$라 하면, Fig. 4-2에서 길이 L_1에 있어서의 K를 K_1으로 하여 이 때의 $W_{\varpi}/(B+D)$를 구하고 여기에서 $W_{\varpi 1}'$을 얻는다.

W_{G1}은 보기대등의 영향도 그대로 포함하여 $W_{\varpi}L$에 비례한다고 가정하면 다음과 같다.

$$W_{G1}' = \frac{W_{G1}}{W_{\varpi 1} \cdot L} \times W_{\varpi 1}' \times L_2 \tag{4·2}$$

4) 다음에 W_{G2}는 다음과 같다.

$$W_{G2} = W_{G1}' + \left\{ \left(\frac{W_{\varpi} \cdot K_2}{B+D} - \frac{W_{\varpi} \cdot K_1}{B+D} \right) \times (B_2 \times D_2) \times L \right\} \tag{4·3}$$

여기에서 $\frac{W_{\varpi} \cdot K_2}{B+D}$, $\frac{W_{\varpi} \cdot K_1}{B+D}$는 각각의 길이 L_2에 있어서 K_2, K_1일 때 $W_{\varpi}/B+D$의 차이에 의하고 그 밖의 부분에서는 중량의 변화가 없다는 가정을 기초로 한 것이다.

따라서, 앞에서 구한 (1), (2), (3), (4)에는 선급협회구조규정에 따른 차이, 깊이와 홀수의 영향,[11),12),13),14)] 방형계수(C_B)의 영향,[16)] 현호(Sheer)의 영향[17)]이 고려되어 있지 않으므로 여기에 대하여 각 CLASS별로 수정을 한다.

5. Hull Weight 분포

3절에서 국부중량의 추정방법에 의한 전단력과 굽힘모우먼트가 결정되고 나면 4절의 선각추정방법에서 선급협회 구조규정에 따른 차이, 깊이와 홀수의 영향, 방형계수, 현호의 영향을 고려하여 선각중량을 결정하는데, 우선 경하중량에서 국부중량을 뺀것을 중심으로 배의 길이에 대한 선각중량의 분포를 결정하는 것으로 하였다.

이것은 선급협회에 따른 분류와 선종에 따른 분류로서 3개의 표준곡선으로 정리하여 Table 5-1, Table 5-2, Table 5-3의 값으로 나타내어 Fig. 5-1, Fig. 5-2, Fig. 5-3으로 정리하였다.

여기에서 선급은 ABS, Lloyd's, NK와 선종은 Bulk Carrier, Tanker, Tanker, Cargo Ship으로 구분하여 추정하려는 선박의 C_B에 따라서 선각중량 분포를 결정하여 이것에 따른 LCG를 맞추고, 다음과 같은 방법으로 계산하였다.[11),16)]

Table 5-1 The prismatic Value of Lloyd's CLASS Vessel for Bulk carrier, Tanker, and Cargo ship

No.	$C_B=0.65$	$C_B=0.70$	$C_B=0.75$	$C_B=0.80$	$C_B=0.85$)
0	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340
1	0.492	0.495	0.495	0.497	0.502
2	0.620	0.622	0.624	0.627	0.637
	0.725	0.725	0.725	0.730	0.741
4	0.810	0.813	0.814	0.818	0.831
5	0.880	0.882	0.883	0.888	0.902
6	0.935	0.935	0.937	0.942	0.954
7	0.975	0.975	0.975	0.978	0.986
8	0.995	0.999	0.999	1.000	1.000
9	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
11	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000
12	0.988	1.000	1.000	1.000	1.000
13	0.964	0.995	1.000	1.000	1.000
14	0.928	0.985	0.999	1.000	1.000
15	0.873	0.933	0.988	1.000	1.000
16	0.797	0.866	0.942	0.995	1.000
17	0.690	0.764	0.853	0.945	0.999
18	0.542	0.612	0.707	0.823	0.938
19	0.352	0.397	0.462	0.555	0.709
20	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140

CLASS: LIOYD'S REGISTER OF SHIPPING (Det Norske veritas)
TYPE : (GENERAL), (MULTIPURPOSE), (SPECIAL), CARGO VESSEL

Actual Hull을 구하기 위하여 부록의 Output결과와 같이 선각중량분포에서 맞추어진 *LCG* 값($C_w(i)$)과 선각중량/*CPN*×배의 길이($W(O)$)을 곱한 것을 선각중량분포를 위한 Factor로 한다.

즉, Actual Hull=$W(O)\times C_w(i)$이다. 여기에서 *ABS*(*NK*)의 Cargo Ship인 경우에는 C_B의 범위를 0.65~0.80까지 잡고 *CPN*을 $0.401\times C_B+0.543$으로 계산하고, *ABS*(*NK*)의 Bulk Carrier 혹은 Tanker인 경우에는 C_B의 범위를 0.70~0.80까지 잡고 *CPN*을 $0.400\times C_B+0.562$로 계산한다.

또한 Lloyd's(DNV)의 Cargo ship, Bulk carrier, Tanker인 경우에는 C_B의 범위를 0.65~0.85까지 잡고 CPN을 $0.401\times C_B+0.543$으로 계산하여 배의 길이에 대한 선각중량분포를 구한다.

이와 같이 선각중량분포가 결정되면 Gauss-Legendre Quadrature의 수치해석을 적용함으로써 선각중량(경하중량-국부중량)의 값과 일치되어 다음 단계인 전단력과 굽힘모우먼트를 계산한다.

Table 5-2 The Prismatic Value of ABS CLASS Vessel for Cargo ship

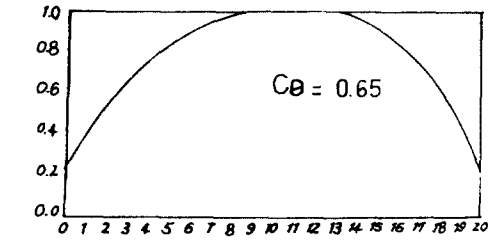
No.	$C_B=0.65$	$C_B=0.70$	$C_B=0.75$	$C_B=0.80$
0	0.194	0.198	0.205	0.210
1	0.405	0.410	0.420	0.425
2	0.555	0.555	0.565	0.575
3	0.672	0.675	0.680	0.685
4	0.765	0.770	0.775	0.778
5	0.845	0.852	0.855	0.860
6	0.910	0.912	0.915	0.920
7	0.985	0.988	0.990	1.000
8	0.998	1.000	1.000	1.000
9	1.000	1.000	1.000	1.000
10	1.000	1.000	1.000	1.000
11	1.000	1.000	1.000	1.000
12	1.000	1.000	1.000	1.000
13	0.982	1.000	1.000	1.000
14	0.954	0.985	1.000	1.000
15	0.902	0.955	1.000	1.000
16	0.838	0.900	0.970	1.000
17	0.750	0.824	0.906	0.980
18	0.640	0.712	0.795	0.900
19	0.427	0.540	0.630	0.755
20	0.202	0.250	0.340	0.470

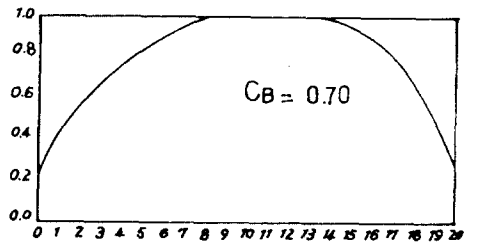
CLASS: AMERICAN BUREAU OF SHIPPING (Nippon Kaiji Kyokai)
TYPE : MULTIPURPOSE GENERAL CARGO VESSEL

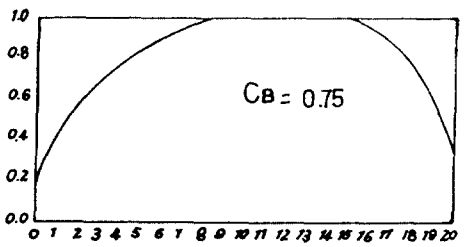
Table 5-3 The Prismatic Value of ABS CLASS Vsesel for Bulk Carrier and Tanker

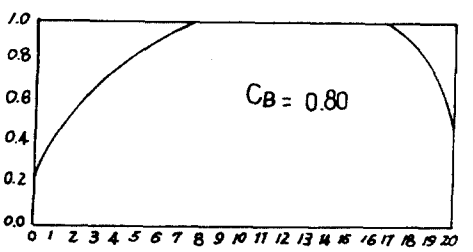
No.	$C_B=9.70$	$C_B=0.75$	$C_B=0.80$
0	0.198	0.205	0.210
1	0.420	0.425	0.430
2	0.610	0.615	0.630
3	0.745	0.750	0.765
4	0.840	0.850	0.855
5	0.905	0.912	0.925
6	0.960	0.965	0.975
7	0.980	0.985	1.000
8	1.000	1.000	1.000
9	1.000	1.000	1.000
10	1.000	1.000	1.000
11	1.000	1.000	1.000
12	1.000	1.000	1.000
13	1.000	1.000	1.000
14	0.980	1.000	1.000
15	0.952	1.000	1.000
16	0.895	0.960	1.000
17	0.805	0.890	0.965
18	0.680	0.775	0.875
19	0.505	0.590	0.695
20	0.250	0.340	0.470

CLASS: AMERICAN BUREAU OF SHIPPING (Nippon Kaili Kyokai)
TYPE : SPECIAL CARGO VESSEL
TANKER, BULK CARRIER, OBO(Ore Bulk and Oil Carrier)









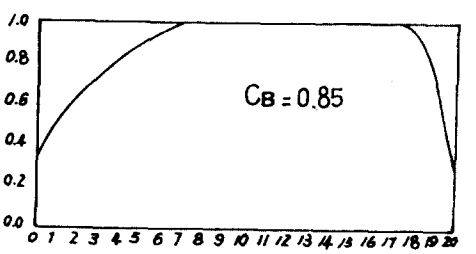
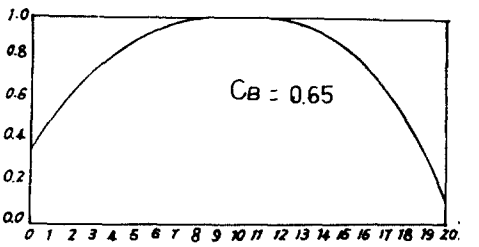
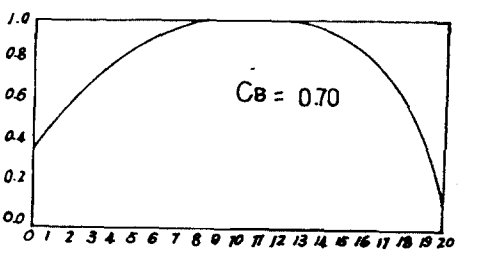
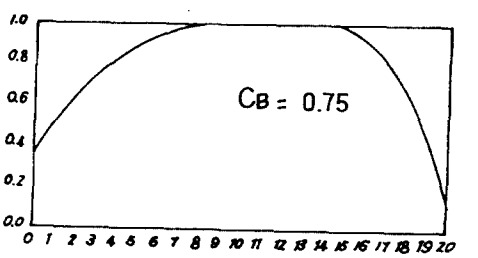


Fig. 5-1 The Prismatic curve of Lloyd's CLASS Vessel for Bulk carrier, Tanker and cargo ship.







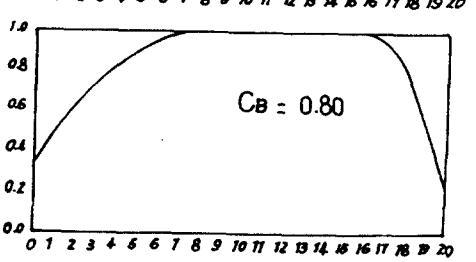


Fig. 5-2 The Prismatic curve of ABS CLASS Vessel for cargo ship.

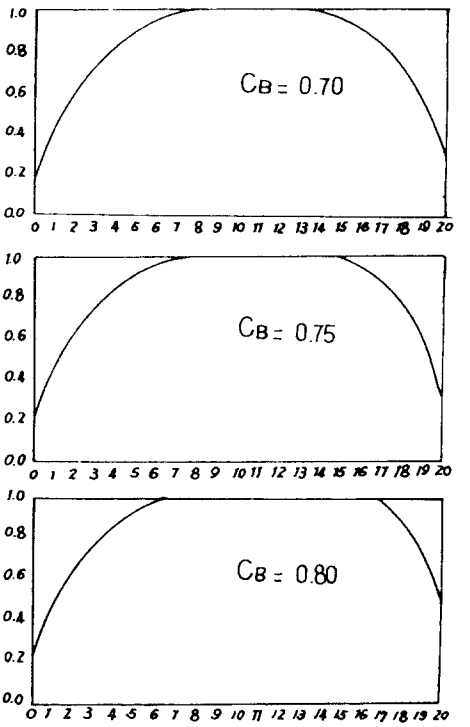


Fig. 5-3 The Prismatic curve of ABS CLASS Vessel for Bulk carrier and Tanker.

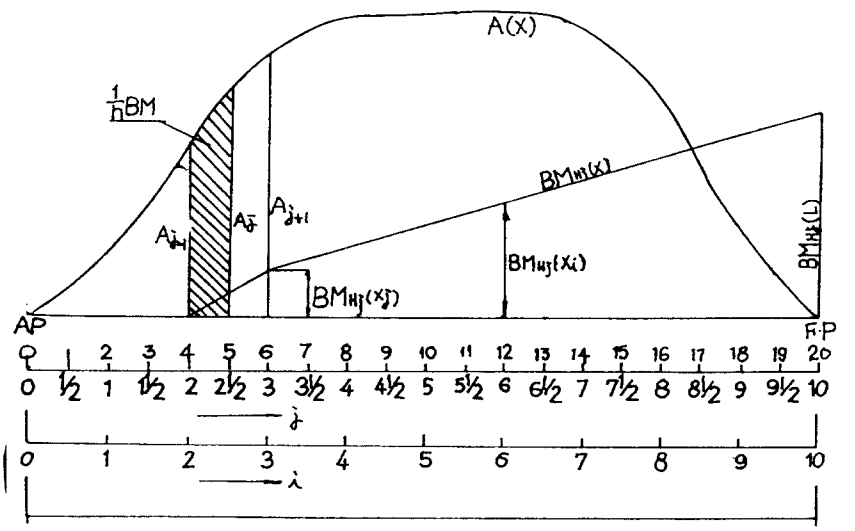


Fig. 5-4 Relationship of S. F and B. M needed Hull weight.

5-1 Hull Weight Distribution의 전단력($SF_H(x)$)

Fig. 5-4와 같이 각 20등분점에 있어서 $SF_H(x)$을 구한다. 각 20등분점의 A_j는 선각분포에 의한 Actual Hull값으로 하여 20등분점 $j-1 \sim j$의 사이에 작용하는 빗금친 면적 H_j는 5-8공식에 의해 구해지고 다음 식으로 표현되어 진다.

$$H_j = \frac{h}{12} \cdot \frac{L}{20}(5A_{j-1} + 8A_j - A_{j+1}) \tag{5·1}$$

임의의 20등분점 i의 $SF_H(x_i)$ (x_i은 20등분 i의 x좌표)는 $i < j$일 때 H_j는 0이므로 다음 식으로 계산한다.

$$SF_H(x_i) = \sum_j H_j \tag{5·2}$$

이와 같이 해서 얻어진 각 등분점의 전단력 값을 토대로 해서 선각중량분포에 의한 전단력곡선을 구상할 수 있다.

5-2 Hull Weight Distribution의 굽힘모우먼트($BM_H(x)$)

$SF_H(x)$의 경우와 같이 20등분점의 $BM_H(x)$을 구하는 것으로 한다. H_j에 의해 임의의 20등분점 $i(i \geqq j)$에서 생기는 굽힘모우먼트는 다음 식으로 표현된다.

$$BM_{Hj}(x_i) = H_j(x_i - x_j) + BM_{Hj}(x_j) \tag{5·3}$$

위의 식중 $BM_{Hj}(x)$는 H_j에 의해 20등분점 j에서 생기는 굽힘모우먼트이고 다음 식에 기여된다.[10]

$$BM_{Hj}(x_j) = \frac{h}{24}\left(\frac{L}{20}\right)^2(7A_{j-1} + 6A_j - A_{j+1}) \tag{5·4}$$

따라서 임의의 20등분점 i의 굽힘모우먼트 $BM_H(x_i)$는 다음 식으로 계산된다.

$$BM_H(x_i) = \sum_j BM_j(x_i) \tag{5·5}$$

단지 이 계산은 3-1절, 3-2절의 경우와 똑같은 방법으로 $BM_{Hj}(x_i)$는 $x_i \geqq x_j$일 때 모든 계산을 수행하고 $x_i < x_j$인 경우에는 0으로 하여 계산한다.

6. 프로그램의 구성

본 논문에서 사용한 프로그램은 Main 프로그램에서 입력문(Input Data)를 읽고 7개의 SUBROUTINE을 거쳐서 결과를 얻은 것으로 그 과정을 요약하면 다음과 같다.

1) Main 프로그램에서 선급협회에 따른 선박의 분류를 한 다음 Light Weight와 Dead Weight Condition에 따른 LCG 및 KG와 Local Weight에 따른 Weight Name을 일반배치도상에서 Scale로 대략의 값을 구간별로 묶어서 최소 30개 이하로 추정하고 AP로부터 Ch-

ecking Point 수를 기입한 다음 선박의 주요 치수를 가지고 Light Weight Distribution 의 결과를 추정한다.

2) 국부중량과 선각중량 분포를 위한 계산으로서 전자는 P_k, Q_k 의 공식에 의하여 구하며 후자는 선급협회에 따른 선종의 구별에 따라 만재흘수까지의 선체횡단면을 먼저 구하여 이것을 중앙횡단면의 면적으로 나눈 값을 종축으로 하고 배의 길이를 횡축으로 한 프리즈멕틱(Prismatic)곡선을 Two-Dimension 을 써서 기억시켜 놓은 SUBROUTINE LWSUB 7 을 사용한다. 이 프리즈멕틱 곡선에 둘러 쌓인 면적은 C_p 값이 되며 도심과 같은 종방향의 부심위치를 SUBROUTINE LWSUB 4 로서 결과를 얻고 여기에서 부수적으로 SUBROUTINE LWSUB 5 와 SUBROUTINE LWSUB 6 를 써서 함께 사용하여 계산한다.

3) 국부중량분포에 따른 전단력 및 굽힘모우먼트는 일반배치도상에서 Fig. 6-1 과 같이 AP 를 기준으로 한 부호(+, −)로 한다.

즉, (A)의 경우일 때는

$$\begin{matrix} & IF(XP(N)\cdot GE\cdot A(L))\ GO\ TO\ 170 \\ 170 & QQ=P(L)+(Q(L)-P(L))*(XP(N)-A(L))/B(L) \end{matrix}$$

의 Statement 로서 국부중량분포의 전단력$\left[(S.F)=\frac{(X-\lambda_k)(P_k+P)}{2}\right]$은 이것으로 계산하고, 굽힘모우먼트$\left[(B\cdot M)=\frac{S\cdot F(X-\lambda_k)(2P_k+P)}{3P_k+P}\right]$로 계산한다.

단, $P=P_k+\frac{(Q_k-P_k)(X-\lambda_k)}{\xi_k}$ 이다.

(B)의 경우일 때는

$$\begin{matrix} & IF(XP(N)\cdot GE\cdot A(L))\ GO\ TO\ 160 \\ 160 & WHWL(L)=W(L) \end{matrix}$$

의 Statement 로서 국부중량분포의 전단력$[(S\cdot F)=W_k]$을 계산하고 굽힘모우먼트$[(B\cdot M)=W_k\cdot e=W_k(X-\lambda_k-\xi_k)]$는 이것으로 계산한다.

또한 선각 중량분포의 전단력 및 굽힘모우먼트는 선체에 등분된 Ordinate 의 3점과 그곳에 해당하는 선각 중량분포의 값으로서 SUBROUTINE LWSUB 2 을 사용하여 전단력을 구하고 같은 방법으로 SUBROUTINE LWSUB 3 을 사용하여 굽힘모우먼트를 계산한다.

이와 같이 국부중량분포와 선각 중량분포의 전단력과 굽힘모우먼트값이 구하여지면 경하중량분포에 따른 전단력(국부중량분포 전단력+선각중량분포전단력)을 합친 것이고, 굽힘모우먼트(국부중량분포 굽힘모우먼트+선각중량분포전단력)로 합친 것으로 각각의 Ordinate 에 대한 값을 결정할 수 있다.

4) Fig. 6-2, Input Data Sheet 에 의하여 사용하는 Data 를 구성할 수 있고 프로그램의 구성은 Fig. 6-3 의 Flowchart 로 구성되어 있다.

7. 공시선에 대한 계산결과

본 논문에서 사용한 프로그램 자체의 편성에 대한 검정과 채용한 계산방법의 정도에 대한 검증을 목적으로 K.S.E.C에서 건조한 D/W 26,400 LT Bulk Carrier에 대하여 예제 계산을 Teble 7-1과 같은 주요 치수로 하여 다음과 같은 과정을 수행하였다.[19]

1) 일반배치도에서 30개 정도의 Local Weight Name을 Scale로 추정하여 Weight, A, B, G의 값을 INPUT DATA로 넣어 사다리꼴 분포로 추정하여 결과를 얻는다.

2) Dead Weight Condition 값은 아래의 6가지 방법으로 구분하여 Weight, LCG, KG 값을 추정한 모든 합으로 계산한다.

가) Crew & their effects

나) Provisions

다) Necessary days on the voyage

라) Consumpton on fuel & fresh water

마) Fresh Water shall be supplied by F.W generator

바) Drinking Water

3) 중앙단면도에서 선각중량을 추정의 한 단면으로 생각하여 초기 설계시에는 Light Weight Estimation을 동형선에서 추정하여 (1)의 결과에서 얻은 전체 국부중량을 뺀 차로 선각중량을 구하여 선급협회 및 선박의 종류에 의한 결과로서 배의 길이에 대한 선각중량 분포를 부록의 Output로 얻는다. 완성도 계산시에는 경사시험결과 Light Weight가 결정되므로 이 값을 가지고 위와 같은 방법으로 경하중량에서 국부중량을 뺀 선각중량과 비교·검토하여 작업을 수행한다.[20]

4) Light Weight Condition에 필요한 전단력과 굽힘모우먼트를 찾기 위한 Checking Point는 Fig. 7-1과 같이 30개 정도로서 구성하여 놓으면 설계자는 다음 단계인 Buoyancy에 대한 값만 구하여 그 차를 가지고 Condition를 결정할 수 있겠끔 경하중량 분포에 대한 계산을 하도록 하였다.

이상과 같은 흐름으로 Data 및 도면에 의하여 값을 작성하여 프로그램을 수행한 결과 부록과 같은 Output의 결과를 얻을 수 있다.

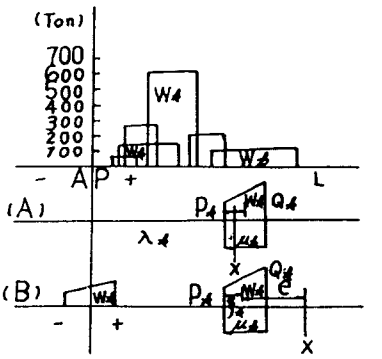


Fig. 6-1 A calculation scope of S. F and B. M for the Local weight.

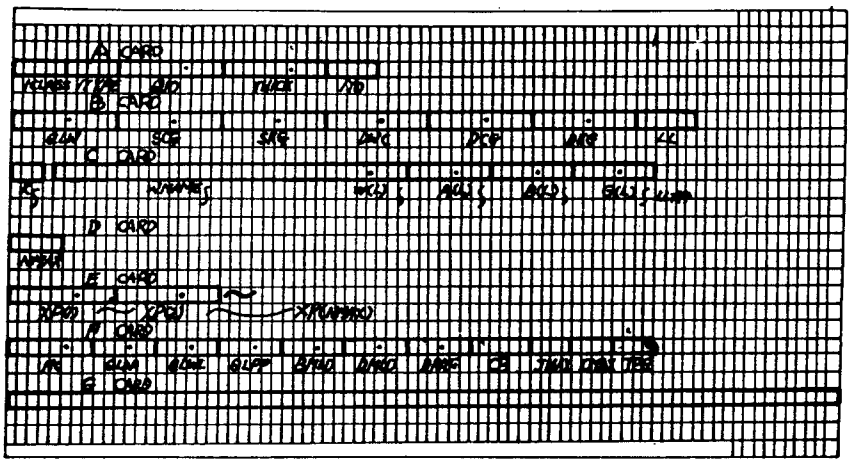


Fig. 6-2 Input Data sheet

Table 7-1 PRINCIPAL DIMENSION of D/W 26,000 Bulk Carrier

LENGTH(OVER ALL)	177m. 000
LENGTH(P. P)	167m. 000
BREADTH(MLD)	22m. 900
DEPTH(MLD)	14m. 900
DESIGNED LOAD DRAFT(MLD)	10m. 400
GROSS TONNAGE	16354T
DEADWEIGHT	22633KT
CARGO CAPACITY(IN GRAIN)	34234m³
MAIN ENGINE 1 Set	DIESEL ENGINE SULSUR 6 RND 76
SERVICE SPEED	15. 095 KNOTS

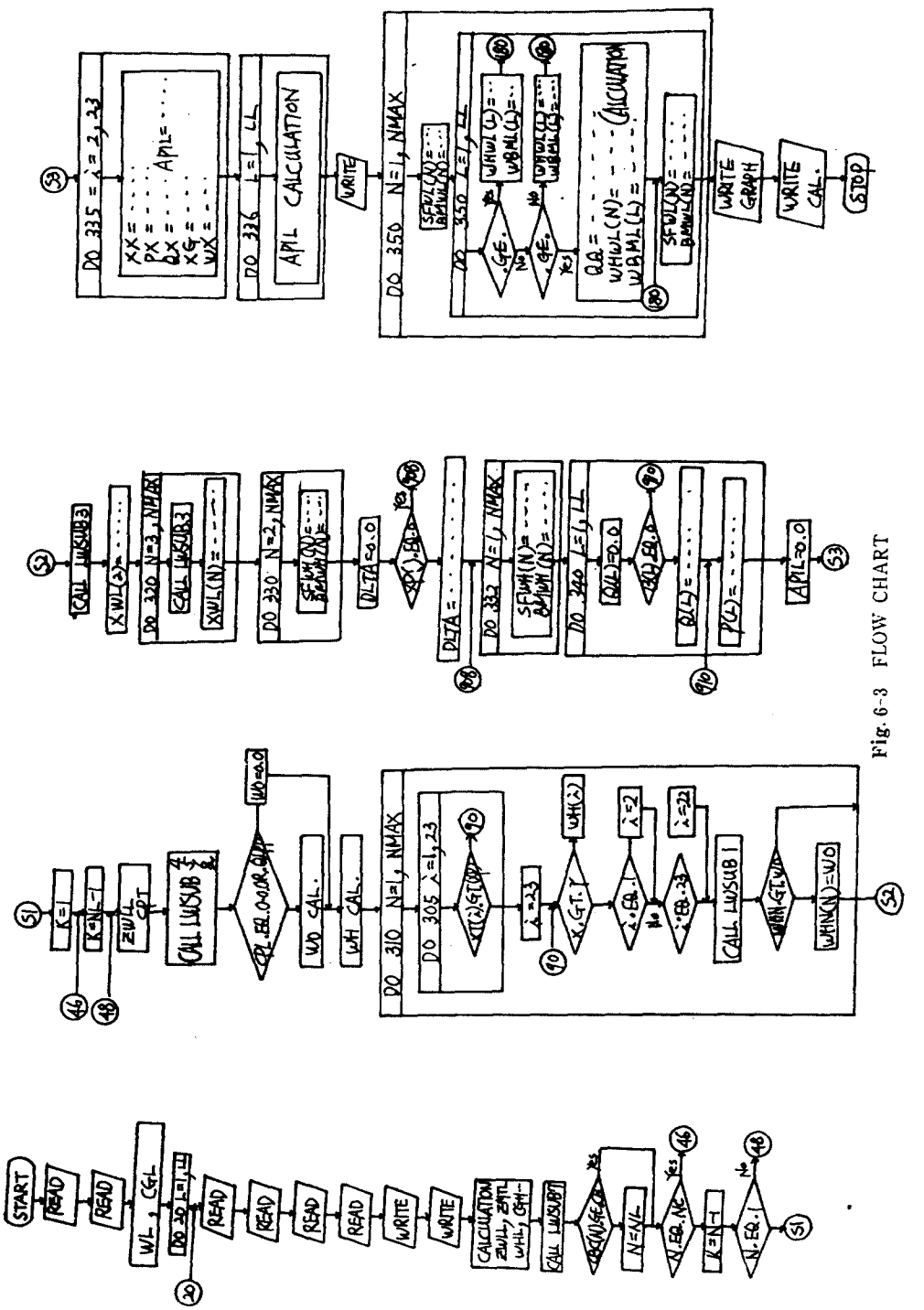
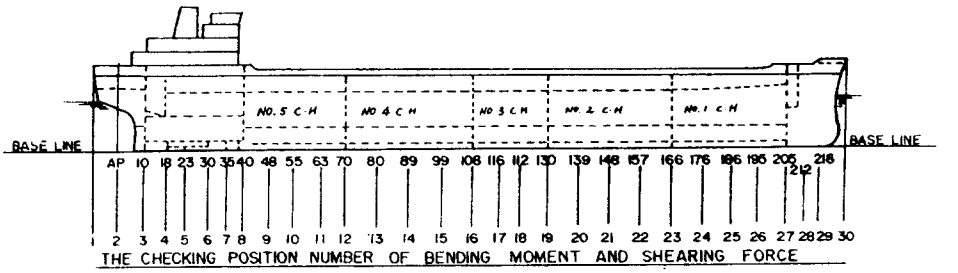


Fig. 6-3 FLOW CHART



NO.	DISTANCE	NO.	DISTANCE	NO.	DISTANCE	NO.	DISTANCE	NO.	DISTANCE	NO.	DISTANCE
1	-5.493	6	21.150	11	47.550	16	83.550	21	115.550	26	150.275
2	0.0	7	25.150	12	53.150	17	89.950	22	122.750	27	157.050
3	6.100	8	29.150	13	61.150	18	94.750	23	129.950	28	161.320
4	11.550	9	35.550	14	68.350	19	101.150	24	137.260	29	164.980
5	15.550	10	41.150	15	76.350	20	108.350	25	144.110	30	171.507

Fig. 7-1 Checking point diagram for Light weight of B.M and S.F

8. 결 론

Longitudinal Strength 나 Loading Manual작성시 제일 중요한 것은 경하중량 분포상태의 계산인 바, 이 연구의 결과는 선박설계시 초기도면과 선각중량 혹은 재화중량 분포가 정확하게 알려지지 않은 예비설계단계에서 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

경하중량 분포를 구함에 있어 국부중량이 개략적인 일반배치도에 의해 사다리꼴 분포로 구성되면 선각중량 분포는 자연히 결정되어 이것을 선급협회규정, 흘수, 방형비척계수, 현호 등의 영향을 고려하여 각 조선소에서 건조된 실적선(Tanker, Bulk carrier, Cargo ship)들과 종방향의 선각중량 분포를 선급 및 각종 정역학적 계수와 연관시켜 비교·검토함으로써 이를 토대로 하여 프리즈매틱 곡선을 구하고 중앙단면도를 검토함으로써 선각 중앙단면에 있어서의 중량을 선종별로 어떤 일차함수(K값)로 얻을 수 있음을 알 수 있다.

또한, 선체중앙부 근처뿐만 아니라 배의 길이의 어느 점에서나 Light Weight Condition에 필요한 전단력과 굽힘모우멘트를 비교적 짧은 시간에 처리할 수 있으며 치수결정에 충분한 정확도를 가지도록 미리 선급협회의 규정으로서 지침서를 준비할 수 있는 유용한 결과를 얻을 수 있다.

이 결과에 의하여 설계자는 부력에 대한 값을 결정함으로써 경하상태에 대한 종강도 계산을 수행할 수 있도록 프로그램을 구성하였다.

OUTPUT DATA LIST

MAIN HULL PART WEIGHT-

LOCAL PART WEIGHT

SHIP NAME : D/W 26300 LT BULK CARRIER LIGHT WEIGHT DISTRIBUTION(TEST
SHIP NO : 19810603
LBP : 167.00
BMLD : 22.90
DMLD : 14.50
DRAFT : 10.40
LIGHT WEIGHT : 7147.00
MAIN HULL PART : 5357.30
L.C.G OF LIGHT WT : 71.23

NO	X/L	STANDARD DISTRIBUTION AT CB 0.750	AT CB 0.800	AT CB 0.820	LCG ADJUSTED DISTRIBUTION	ACTUAL HULL	P	Q
1	-0.050	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.796	27.009
2	0.0	0.205	0.210	0.212	0.498	17.944	10.061	0.012
3	0.050	0.425	0.430	0.432	0.766	27.606	26.477	-11.325
4	0.100	0.615	0.620	0.636	0.869	31.323	-0.392	11.536
5	0.150	0.750	0.765	0.771	0.947	34.125	4.307	1.726
6	0.200	0.850	0.855	0.857	0.989	35.637	1.848	4.893
7	0.250	0.912	0.925	0.930	1.000	36.048	9.667	9.667
8	0.300	0.965	0.975	0.979	1.000	36.048	2.996	6.095
9	0.350	0.985	1.000	1.001	1.000	36.048	1.620	3.935
10	0.400	1.000	1.000	1.000	1.000	36.048	6.159	1.253
11	0.450	1.000	1.000	1.000	1.000	36.048	11.535	12.728
12	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	36.048	0.879	0.825
13	0.550	1.000	1.000	1.000	1.000	36.048	2.444	1.222
14	0.600	1.000	1.000	1.000	1.000	36.048	-0.500	2.500
15	0.650	1.000	1.000	1.000	1.000	36.048	0.132	0.132
16	0.700	1.000	1.000	1.000	0.994	35.833	3.039	3.039
17	0.750	1.000	1.000	1.000	0.938	33.802	14.146	14.146
18	0.800	0.960	1.000	1.000	0.840	30.278	3.136	3.136
19	0.850	0.890	0.965	0.995	0.726	26.173	6.790	15.843
20	0.900	0.775	0.875	0.915	0.612	22.074	3.398	3.398
21	0.950	0.590	0.695	0.737	0.424	15.269	14.146	14.146
22	1.000	0.340	0.470	0.521	0.160	5.764	3.228	3.228
23	1.025	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.580	9.053
							3.112	3.112
							4.000	0.000
							-1.481	3.704
							19.167	19.167
							7.708	7.708
							3.500	5.833
							2.110	0.316

```
        *LIGHT WEIGHT DISTRIBUTION*     *ABS AND LRS*
      REAL*8 SNAME,       NO,TYPE(3),CK2                                    IT
      DIMENSION WNAME(60,9),W(60),A(60),B(60),G(60),WHWL(60),WBML(60),
     1     P(60),Q(60),AP(4),    SNAME(8),XT(23),CPT(23),CBC(5),CPC(5,23),
     2     WH(23),CW(23),WHN(32),WHW(32),XWL(32),SFWH(32),BMWH(32),FP(4),
     3     SFWL(32),BMWL(32),XP(32),X(30),XSF(32),XBM(32),NORD(4,100)
      REAL CLAS(4),GRP(13,7),GRPH(51,111),GRAP(51,111),ORD(100)
      DATA CLAS/'LR  ','ABS ','     ','     '/,AP/'A','P',' ',' '/
      DATA TYPE/'CARGO   ','BULK    ','OIL     '/,FP/' ',' ',' ',' '/
      DATA GRP/'     ',7*'I   ','I<--',3*'I   ','AP  ',
     *          8*'     ','---A-',4*'     ',
     *          8*'     ','---->',4*'     ',
     *          5*'     ','    *',' *  ','I   ','I<-G',2*'I   ','I<--',
     *            '     ',
     *          3*'     ','   *',' *  ',3*'    ','->.-',2*'    ','--B-',
     *            '     ',
     *          '    ','   *',' *  ',5*'    ','----',2*'    ','--->',
     *            '     ',
     *          '    ',11*'I   ','    '/
      DATA AST/'*'/,ZERO/'0'/,POINT/'.'/,GI/'I'/,BLANK/' '/,TMIN/'-'/
      READ 1000,ICLASS,ITYPE,QIO,THICK,IYC
 1000 FORMAT(2I5,2F10.3,I5)
      READ 1020,QLW,SCG,SKG,DWC,DCG,DKG,LL
 1020 FORMAT(6F10.4,I6)
      WL=QLW+DWC
      CGI=(QLW*SCG+DWC*DCG)/WL
      DO 20 L=1,LL
   20 READ 1080,K,(WNAME(L,L1),L1=1,9),W(L),A(L),B(L),G(L)
 1080 FORMAT(I3,9A3,4F8.3)
      READ 1100,NMAX
 1100 FORMAT(I5)
  120 READ ( 1,1120) (XP(I),I=1,NMAX)
 1120 FORMAT(7F10.3)
      READ(1,500)NO,QLOA,CLWL,QLPP,BMLD,DMLC,DRAF,CB,IMAX,JMAX,JBG
  500 FORMAT(A8,6F6.2,F6.4,3I4)
      READ(1,501)(SNAME(I),I=1,8)
  501 FORMAT(10A8)
      CK1=CLAS(ICLASS)
      CK2=TYPE(ITYPE)
      WRITE(3,610)NO,(SNAME(I),I=1,8),CK1,CK2,      QLOA,QLWL,QLPP,BMLD,
     * DMLD,DRAF,CB,IMAX,JMAX,JBG,QLW,SCG,SKG,DWC,DCG,DKG
  610 FORMAT(1H1,30X,'* INPUT DATA LIST *'  / 31X,19(1H-) ///
     * 32X,'BASIC DIMENSION',  / 32X,17(1H-) /
     * 20X,'SHIP NO',18X,':    ',2X,A8                          /
     * 20X,'SHIP NAME',16X,':    ',8A8                          /
     * 20X,'CLASS',20X,':    ',7X,A4                            /
     * 20X,'SHIP TYPE',16X,':    ',7X,A8                        /
     * 20X,'L.O.A',20X,':    ',F10.4                            /
     * 20X,'L.W.L',20X,':    ',F10.4                            /
     * 20X,'L.B.P',20X,':    ',F10.4                            /
     * 20X,'BMLD',21X,':    ',F10.4                             /
     * 20X,'DMLD',21X,':    ',F10.4                             /
     * 20X,'DRAFT',20X,':    ',F10.4                            /
     * 20X,'CB',23X,':    ',F10.4                               /
     * 20X,'NO OF ORDINATES',10X,':    ',I10                    /
     * 20X,'NO OF WLS      ',10X,':    ',I10                    /
     * 20X,'NO OF WLS ON THE BILGE',3X,':    ',I10              /
     * 20X,'L/W(KT)',18X,':    ',F10.4                         /
```

```
     * 20X,'L/W LCG FROM AP(M)',7X,':     ',F10.4          /
     * 20X,'L/W KG(M)',16X,':     ',F10.4                 /
     * 20X,'D/W CONSTANT(KT)',9X,':     ',F10.4           /
     * 20X,'D/W CONST. LCG FROM AP(M):',4X,F10.4          /
     * 20X,'D/W CONST. KG',12X,':     ',F10.4)
      WRITE(3,611)
  611 FORMAT('1',33X,'-DETAIL DIMENSION-'          / 34X,18(1H-)  /
     * 12X,    'LOCAL WEIGHT NAME',13X,'WEIGHT',4X,'A (M)',4X,'B (M)',
     *  4X,'G (M)'  / 12X,25(1H-),3X,8(1H-),1X,8(1H-),1X,8(1H-),1X,
     *  8(1H-))
      DO 612 I=1,LL
      IF(I.GT.13) GO TO 613
      WRITE(3,614)(WNAME(I,L1),L1=1,9),W(I),A(I),B(I),G(I),
     *            (GRP(I,L2),L2=1,7)
  614 FORMAT( ' ', 9X,9A3,3X,4(F8.3,1X),10X,7A4)
      GO TO 612
  613 WRITE(3,614)(WNAME(I,L1),L1=1,9),W(I),A(I),B(I),G(I)
  612 CONTINUE
      WRITE(3,615)
  615 FORMAT(/// 20X,'ORDINATES OF CHECKING POINT(FROM AP)')
      WRITE(3,616)(XP(I),I=1,NMAX)
  616 FORMAT(7F10.3)
      ZWLL=0.0
      ZMTL=0.0
      DO 30 L=1,LL
      ZWLL=ZWLL+W(L)
   30 ZMTL=ZMTL+W(L)*(A(L)+G(L))
      WHL=WL-ZWLL
      CGH=(WL*CGL-ZMTL)/WHL
      DCGN=(CGH-0.5*QLPP)/CLPP
      CALL LWSUB7 (NC,XT,CBC,CPC,CPN,CB,ICLASS,ITYPE)
   40 DO 42 N=1,NC
      IF(CBC(N).GE.CB) GO TO 44
   42 CONTINUE
      N=NC
   44 IF(N.EQ.NC) GO TO 46
      K=N-1
      IF(N.EQ.1) K=1
      GO TO 48
   46 K=NC-1
   48 ZWLL=(CB-CBC(K))/(CBC(K+1)-CBC(K))
      DO 50 J=1,23
      CPT(J)=(CPC(K+1,J)-CPC(K,J))*ZWLL+CPC(K,J)
      IF(CPT(J).GE.1.0) CPT(J)=1.0
   50 CONTINUE
      CALL LWSUB4 (23,XT,CPT,CPN,DCGN,CW)
      IF (CPN.EQ.0.0.OR.CLPP.EQ.0.0) GO TO 900
      WO=WHL/(CPN*CLPP)
      GO TO 901
  900 WO=0.0
  901 DO 52 I=1,23
   52 WH(I)=WO*CW(I)
      WRITE(3,620)(SNAME(I),I=1,8),NC,QLPP,BMLD,DMLD,DRAF,WL,WHL,CGL,
     *            CBC(K),CBC(K+1),CB
  620 FORMAT('1',42X,'-MAIN HULL PART WEIGHT-',                    /
     *           43X, 23(1H-)                                      /
     *           20X,'SHIP NAME',9X,':',3X,8A8                     /
     *           20X,'SHIP NO',11X,':',5X,A8                       /
```

```
     *            20X,'LBP',       15X,':',3X,F10.2                    /
     *            20X,'BMLD',      14X,':',3X,F10.2                    /
     *            20X,'DMLD',      14X,':',3X,F10.2                    /
     *            20X,'DRAFT',     13X,':',3X,F10.2                    /
     *            20X,'LIGHT WEIGHT',6X,':',3X,F10.2                   /
     *            20X,'MAIN HULL PART',4X,':',3X,F10.2                 /
     *            20X,'L.C.G OF LIGHT WT :',3X,F10.2                  ///
     *            43X,'STANDARD DISTRIBUTION',10X,'LCG ADJUSTED'      /
     *           21X,'NO',7X,'X/L',2X,3('AT CB ',F5.3,2X),
     *                'DISTRIBUTION  ACTUAL HULL'                     /
     *            21X,'--- ---------  ',3(11(1H-),2X),12(1H-),2X,11(1H-))
      DO 70 I=1,23
      WRITE(3,830)I,XT(I),CPC(K,I),CPC(K+1,I),CPT(I),CW(I),WH(I)
830   FORMAT(' ',20X, I2,1X,F9.3,3F13.3,2X,F12.3,2X,F11.3)
 70   XT(I)=XT(I)*QLPP
      DO 310 N=1,NMAX
      DO 305 I=1,23
      IF(XT(I).GT.XP(N)) GO TO 90
305   CONTINUE
      I=23
 90   IF(ABS(XP(N)-XT(I)).GT.1.0E-4) GO TO 100
      WHN(N)=WH(I)
      GO TO 310
100   IF(I.EQ.1) I=2
      IF(I.EQ.23) I=22
      CALL LWSUB1(XT(I-1),XT(I),XT(I+1),WH(I-1),WH(I),WH(I+1),XP(N),
     *WHN(N))
      IF(WHN(N).GT. WO) WHN(N)=WO
310   CONTINUE
      CALL LWSUB3(1,XP(1),XP(2),XP(3),WHN(1),WHN(2),WHN(3),WHW(2),XMT)
      XWL(2)=XP(2)-XMT/WHW(2)
      DO 320 N=3,NMAX
      CALL LWSUB3(2,XP(N-2),XP(N-1),XP(N),WHN(N-2),WHN(N-1),WHN(N),
     *WHW(N),XMT)
320   XWL(N)=XP(N)-XMT/WHW(N)
      SFWH(1)=0.0
      SFWH(1)=0.0
      BMWH(1)=0.0
      DO 330 N=2,NMAX
      SFWH(N)=SFWH(N-1)+WHW(N)
330   BMWH(N)=BMWH(N-1)+SFWH(N-1)*(XP(N)-XP(N-1))+WHW(N)*XWL(N)
      IF (XP(NMAX).EQ.0.0) GO TO 907
      DLTA=(WHL-SFWH(NMAX))/XP(NMAX)
      GO TO 908
907   DLTA=0.0
908   DO 332 N=1,NMAX
      SFWH( N )=SFWH( N )+DLTA*XP(N)
332   BMWH( N )=BMWH( N )+2.0*DLTA*XP(N)**2/3.0
      DO 340 L=1,LL
      IF (B(L).EQ.0.0) GO TO 910
      Q(L)=(6.0*W(L)*G(L)/B(L)-2.0*W(L))/B(L)
      GO TO 340
910   Q(L)=0.0
340   P(L)=2.0*W(L)/B(L)-G(L)
      APTL=0.0
      DO 335 I=2,23
      KX=XT(I)-XT(I-1)
      PX=WH(I-1)
```

```
      QX=WH(I)
      XG=XT(I-1)+XX*(2.0*QX+PX)/(3.0*(PX+QX))
      WX=0.5*XX*(PX+QX)
  335 APIL=APIL+WX*X G**2+XX**3*(PX**2+4.0*PX*QX+QX**2)/(36.0*(PX+QX))
      DO 336 L=1,LL
  336 APIL=APIL+W(L)*(A(L)+G(L))**2+B(L)**3*(P(L)**2+4.0*P(L)*Q(L)+Q(L)*
     **2)/(36.0*(P(L)+Q(L)))
      PRINT 840
  840 FORMAT(1H1,//// 20X 27H* LOCAL LIGHT WEIGHT LOAD * /// 25X 4HITEM
     *17X 1HW 9X 1HA 9X 1HB 9X 1HG 9X 1HP 9X 1HQ )
      DO 75 L=1,LL
   75 PRINT 850,L,(WNAME(L,L1),L1=1,9),W(L),A(L),B(L),G(L),P(L),Q(L)
  850 FORMAT(5X I5,9A3,F10.1,5F10.3 )
      DO 350 N=1,NMAX
      SFWL(N)=0.0
      BMWL(N)=0.0
      DO 350 L=1,LL
      IF(XP(N).GE.A(L)+B(L)) GO TO 160
      IF(XP(N).GE.A(L)) GO TO 170
      WHWL(L)=0.0
      WBML(L)=0.0
      GO TO 180
  160 WHWL(L)=W(L)
      WBML(L)=W(L)*(XP(N)-A(L)-G(L))
      GO TO 180
  170 QQ=P(L)+(Q(L)-P'L))*(XP(N)-A(L))/B(L)
      WHWL(L)=0.5*(XP(N)-A(L))*(P(L)+QQ)
      WBML(L)=WHWL(L)*(XP(N)-A(L))*(2.0*P(L)+QQ)/(3.0*(P(L)+QQ))
  180 SFWL(N)=SFWL(N)+WHWL(L)
  350 BMWL(N)=BMWL(N)+WBML(L)
      PRINT 860
  860 FORMAT(1H1,/// 20X 58H* SHEARING FORCE AND BENDING MOMENT OF LIGHT
     * WEIGHT LOAD * ////
     *  20X,'LIGHT WEIGHT = LOCAL WEIGHT + HULL WEIGHT'      /
     *  20X,'LIGHT S.F    = LOCAL S.F    + HULL S.F'         /
     *  20X,'LIGHT B.M    = LOCAL B.M    + HULL B.M'         )
      DO 360 N=1,NMAX
      XSF(N)=SFWL(N)
      XBM(N)=BMWL(N)
      SFWL(N)=SFWL(N)+SFWH(N)
  360 BMWL(N)=BMWL(N)+BMWH(N)
      KK=NMAX/10
      KE=NMAX-(KK*10)
      IF(KE.GT.9)KK=KK+1
      DO 10000 J=1,KK
      K1=(J-1)*10+1
      K2=J*10
      IF(K2.GT.NMAX)K2=NMAX
10000 WRITE(3,919)(XP(I),I=K1,K2),(WHN(I),I=K1,K2),(SFWH(I),I=K1,K2),
     *   (BMWH(I),I=K1,K2),(XSF(I),I=K1,K2),(XBM(I),I=K1,K2),
     *   (SFWL(I),I=K1,K2),(BMWL(I),I=K1,K2)
  919 FORMAT(/// 1X,'POSITION',21X,10F10.3 /
     *           1X,'HULL DISTRIBUTION',12X,10F10.3  /
     *           1X,'HULL SHARING FORCE',11X,10F10.1 /
     *           1X,'HULL BENDING MOMENT',10X,10F10.0  /
     *           1X,'LOCAL WEIGHT SHARING FORCE',3X,10F10.1  /
     *           1X,'LOCAL WEIGHT BENDING MOMENT',2X,10F10.0  /
     *           1X,'LIGHT WEIGHT SHARING FORCE',3X,10F10.1  /
```

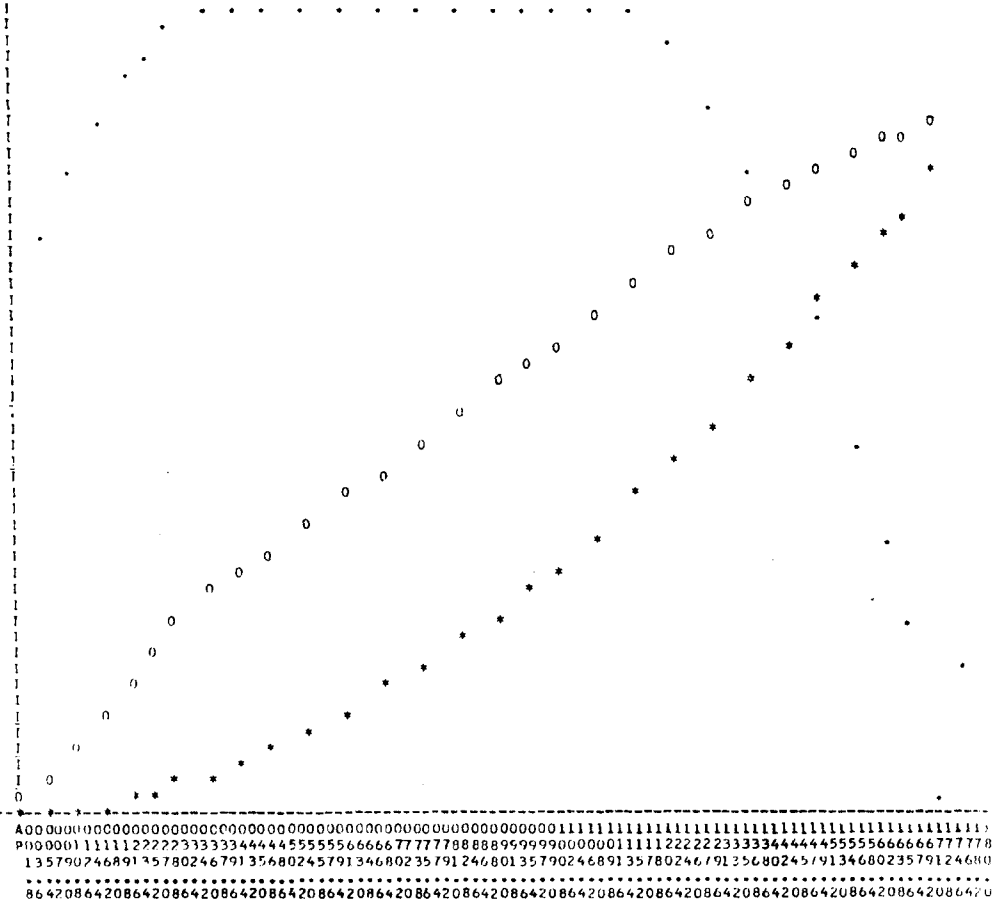
```
      *            1X,'LIGHT WEIGHT BENDING MOMENT',2X,10F10.1)
       DO 55555 I=1,51
       DO 55555 J=1,111
55555 GRPH(I,J)=BLANK
       DO 60000 I=1,51
60000 GRPH(I,11)=GI
       DO 6000) I=1,111
6000) GRPH(1,I)=TMIN
       DO 55556 I=1,JMAX
       A1=ABS(XP(I))/1.8
       N1=A1
       A2=A1-N1
       IF(A2.GE.0.5)N1=N1+1
       N4=N1+11
       IF(XP(I).LT.0.)N4=10-N1
       A2=ABS(WHN(I))/0.72
C
       N2=A2
       A3=A2-N2
       N2=N2+1
       IF(A3.GE.0.5)N2=N2+1
       IF(N2.LE.0)N2=1
       GRPH(N2,N4)=POINT
       A2=ABS(SFWL(I))/168.
       N2=A2
       A3=A2-N2
       N2=N2+1
       IF(A3.GE.0.5)N2=N2+1
       IF(N2.LE.0)N2=1
       GRPH(N2,N4)=ZERO
       A2=ABS(BMWL(I))/18000.
       N2=A2
       A3=A2-N2
       N2=N2+1
       IF(A3.GE.0.5)N2=N2+1
       IF(N2.LE.0)N2=1
55556 GRPH(N2,N4)=AST
       T1=900000.+18000.
       T2=3400.+168.
       T3=36.+0.72
       WRITE(3,55559)
55559 FORMAT('1',30X,'BENDING MOMENT & SHARING FORCE OF HULL FOR ',
     *                'GRAPHING'      /
     *    31X,51(1H*) //
     *    10X,'--- * : LIGHT WEIGHT BENDING MOMENT ---'      /
     *    10X,'--- 0 : LIGHT WEIGHT SHARING FORCE  ---'      /
     *    10X,'--- . : HULL DISTRIBUTION CURVE     ---'      /
     *     3X,'( * )  ( 0 ) ( . )')
       K10=52
       DO 70000 I=1,51
       DO 70000 J=1,111
70000 GRAP(K10-I,J)=GRPH(I,J)
       DO 55557 I=1,51
       P1=T1-I*18000.
       P2=T2-I*168.
       P3=T3-I*0.72
55557 WRITE(3,55558) P1,P2,P3,(GRAP(I,J),J=1,111)
55558 FORMAT(' ',F7.0,1X,F6.0,1X,F5.2,111A1)
```

```
      DO 80007 I=1,4
      DO 80007 J=1,100
80007 NORD(I,J)=0
      ORD(1)=1.8
      DO 80000 I=2,100
80000 ORD(I)=ORD(I-1)+1.8
      DO 80001 I=1,100
      Y=ORD(I)
      IF(Y.LT.100.)GO TO 80002
      NORD(1,I)=Y/100.
      Y=Y-100.
80002 IF(Y.LT.10.)GO TO 80003
      NORD(2,I)=Y/10.
      Y=Y-NORD(2,I)*10.
80003 NORD(3,I)=Y
      U1=Y-NORD(3,I)
      IF(U1.EQ.0.) GO TO 80001
      NORD(4,I)=U1*10.
80001 CONTINUE
      DO 81001 I=1,100
      DC1=I/5.
      DC2=I-DC1*5.
      IF(DC2.EQ.0.) GO TO 81002
      NORD(4,I)=NORD(4,I)+1
      GO TO 81001
81002 NORD(4,I)=0
      IF(NORD(3,I).EQ.9) GO TO 81003
      NORD(3,I)=NORD(3,I)+1
      GO TO 81001
81003 NORD(3,I)=0
      NORD(2,I)=NORD(2,I)+1
81001 CONTINUE
      DO 80004 I=1,4
      WRITE(3,80009)AP(I),(NORD(I,J),J=1,100),FP(I)
80009 FORMAT(' ',30X,A1,100I1,A1)
      IF(I.NE.3)GO TO 80004
      WRITE(3,80006)
80006 FORMAT(' ',31X,100('H.))
80004 CONTINUE
C
      STOP
      END
```

BENDING MOMENT & SHARING FORCE OF HULL FOR GRAPHING

--- * : LIGHT WEIGHT BENDING MOMENT ---
--- 0 : LIGHT WEIGHT SHARING FORCE ---
--- . : HULL DISTRIBUTION CURVE ----

(*)	(0)	(.)
900000.	8400.	36.00
882000.	8232.	35.28
864000.	8064.	34.56
846000.	7896.	33.84
828000.	7728.	33.12
810000.	7560.	32.40
792000.	7392.	31.68
774000.	7224.	30.96
756000.	7056.	30.24
738000.	6888.	29.52
720000.	6720.	28.80
702000.	6552.	28.08
684000.	6384.	27.36
666000.	6216.	26.64
648000.	6048.	25.92
630000.	5880.	25.20
612000.	5712.	24.48
594000.	5544.	23.76
576000.	5376.	23.04
558000.	5208.	22.32
540000.	5040.	21.60
522000.	4872.	20.88
504000.	4704.	20.16
486000.	4536.	19.44
468000.	4368.	18.72
450000.	4200.	18.00
432000.	4032.	17.28
414000.	3864.	16.56
396000.	3696.	15.84
378000.	3528.	15.12
360000.	3360.	14.40
342000.	3192.	13.68
324000.	3024.	12.96
306000.	2856.	12.24
288000.	2688.	11.52
270000.	2520.	10.80
252000.	2352.	10.08
234000.	2184.	9.36
216000.	2016.	8.64
198000.	1848.	7.92
180000.	1680.	7.20
162000.	1512.	6.48
144000.	1344.	5.76
126000.	1176.	5.04
108000.	1008.	4.32
90000.	840.	3.60
72000.	672.	2.88
54000.	504.	2.16
36000.	336.	1.44
18000.	168.	0.72
0.	0.	0.0



參 考 文 獻

1) A. M. ROBB, D. SC : "LONGITUDINAL DISTRIBUTION OF HULL WEIGHT"
Part 1. Shelter deck cargo liner
Part 2. Oil tanker
Part 3. Passenger Liner. Steel weight
Part 4. Passenger Liner. Weight of wood and outfit, B. S. R. A. Report No. 365.

2) YOSHIRO MASUDA : 統計的 見地에서 본 船體의 近似的 "Bending Moment", The Society of Naval Architecture of Japan, 1978.

3) WILIAM. H. GARSZKE, RALPH. E. JOHNSON, ALEXANDER. C. LANDSBURG : "TRIM, STABILITY AND LOADING MANUALS", Presented to the New York Metropolition Section of the Society of Naval Architects and Marine Engineers, April 23. 1974.

4) 日本海難防止協會 : "ローテイング・マニュアル硏究委員會報告書", 1979.

5) SEAKING SYSTEM : "SWEDISH SHIPBUIDERS COMPUTING CENTER(V. D. C) AND K. S. E. C. DOCUMENTATION OR PROGRAM", 1977.

6) PRELIKON SYSTEM : "SHIPPING RESEARCH SERVICES INC. (S. R. S)", NORWAY HYUNDAI SHIPPING, 1979.

7) FORAN SYSTEM : "DOCUMENTATION OF GROUP F 6/1 (VERSION 6)", SENER January 1975.

8) HULDA SYSTEM : "HULL DESIGN AND ANALYSIS", DET NORSKE VERITAS, NV 902, 1975.

9) 中田宣久외 2人 : "船體縱强度シヌテムによるュソテナ船の縱應力豫測計算", 日本造船學會論文集 第137號, 1975.

10) 寺澤一雄 : "船體構造力學", 海文堂, 1976.

11) AMERICAN BUREAU OF SHIPPING : "RULES FOR BUILDING AND CLASSING STEEL VESSELS", New York 10006. USA, 1979.

12) LIOYD'S RESISTER OF SHIPING : "RULES AND REGULATIONS FOR THE CLASSIFICATION OF SHIPS", 71 Fenchurch street, LONDON, Ec3M 4Bs, ENGLAND, 1980.

13) DET NORSKE VERITAS : "RULES FOR CLASSIFICATION STEEL SHIP", Veritasveien1, 1322, Hvik NORWAY, 1981.

14) 한국선급협회 : "선급 및 강선규칙", KOREAN REGISTER OF SHIPPING, 1985.

15) H. SCHNEEKLUTH : "A CONTRIBUTION TO THE DETERMINATION OF THE STEEL HULL WEIGHT OF DRY CARGO SHIPS", The Department of Naval Architecture and Marine Engineering, September, 1969.

16) 日本中型造船工業會 : "貨物船資料集の HULL STEEL WEIGHT 見積資料", 1970.

17) 岸田千秋 : "簡易計算法による積付計算シヌテムにァじで", 關西造船協會誌, 第153號, 1970.

18) STANDARD SHIP DESIGNS : "VOLUME 1 DRY CARGO VESSELS 9,500~25,000 DWT" Fairplay International Records & Statistics, 1977.

19) 西時男 : "LOADING TABLE の一例とその應用", 造船協會春季講會におじて講演, 1968.

20) 朴命圭 編著 : "船舶設計圖集", 海文出版社, 1982.