



서울대학교
공과대학
조선해양공학과

2008년 1학기

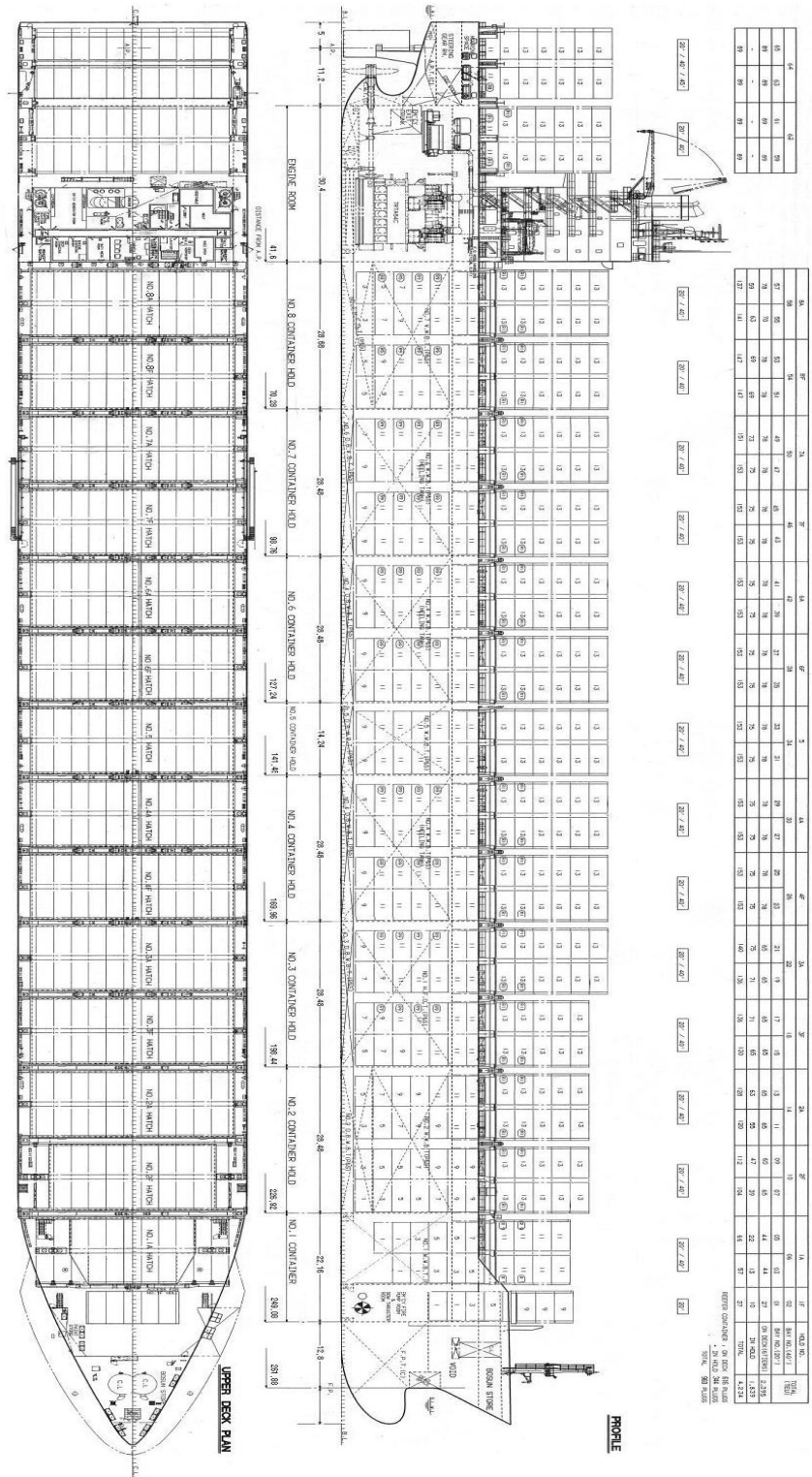
창의적 선박 설계

최종 종합 Report

- 4,200 TEU Container Carrier-

학 과	조선해양공학과
담당 교수	이 규 열
담당 조교	박 광 필
제 출 일	2008. 06. 30
조 이 름	Cosco-Europe(3조)
조 장	2002-00000 엄희동
조 원	2002-00000 곽경래
	2005-00000 박범진
	2005-00000 안승호
	2005-00000 양해상
	2005-00000 이제혁

GENERAL ARRANGEMENT



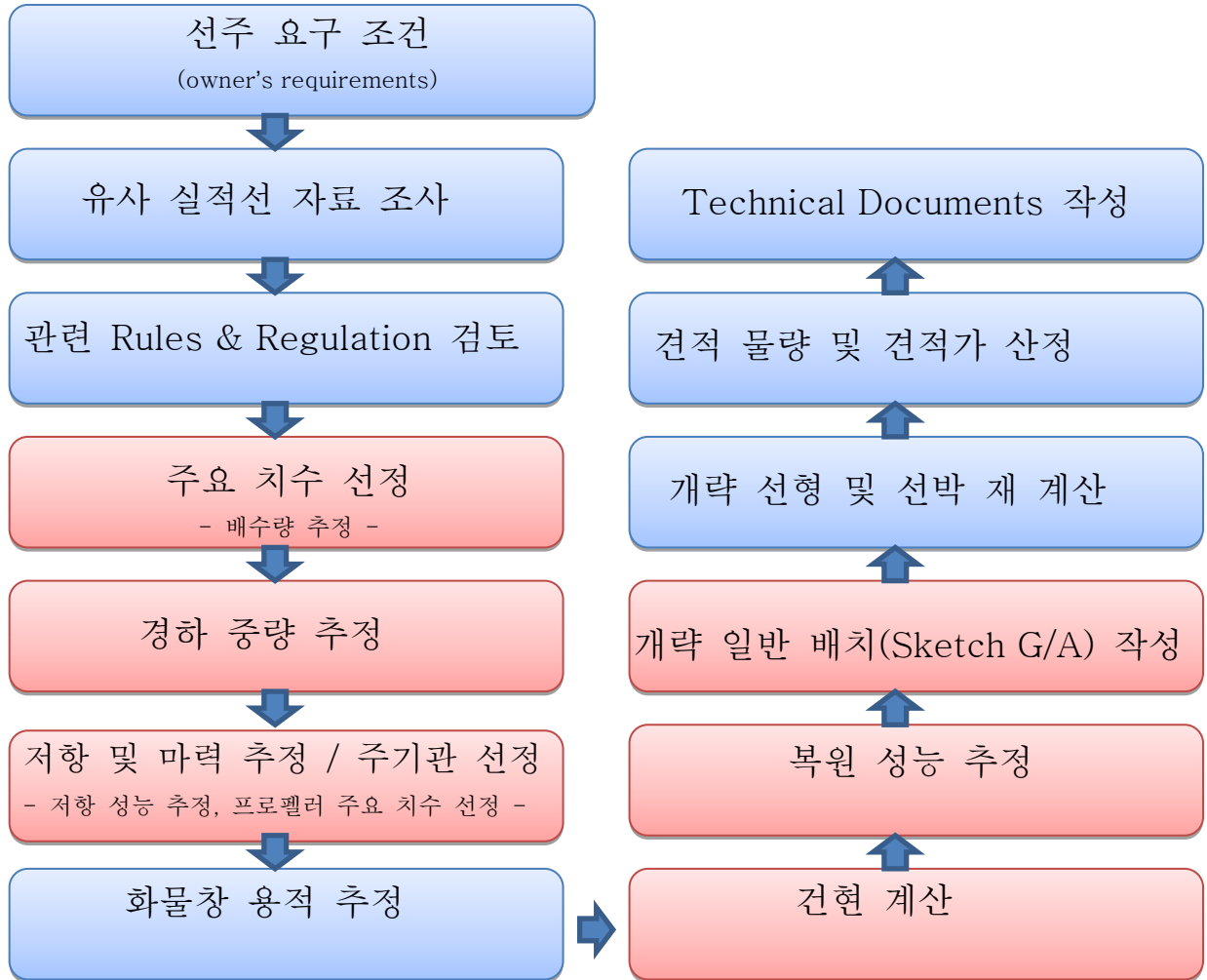
PRINCIPAL DIMENSIONS

LENGTH O. A.	273.88 M
LENGTH B. P.	261.88 M
BREADTH MOLDED	32.20 M
DEPTH MOLDED	19.30 M
DESIGNED DRAUGHT MOLDED	11.00 M
SCANTLING DRAUGHT MOLDED	12.00 M

항목	기준선 (3,700 TEU 컨테이너선)	설계 요구사항	설계선 (4,200 TEU 컨테이너선)
LOA (m)	257.4	270 ~ 275	273.88
LBP (m)	245.24	-	261.88
Bmld (m)	32.2	32.25 이하	32.2
Dmld (m)	19.3	-	19.3
Td (m)	10.1	Abt . 11	11
Ts (m)	12.5	Abt . 12	12
DWT at Td (MT)	34,300	-	-
DWT at Ts (MT)	50,200	52,000 ~ 54,000	53,613.295
LWT (MT)	15,998.10	-	17,516
Ballast Water	13,800m ³	16,000 m ³	-
Heavy Fuel Oil	6,200m ³	-	-
Marine Diesel Oil	400m ³	-	-
Fresh Water	360m ³	-	-
M/E Type	Sulzer 7RTA84C	-	Sulzer 8RTA84C
MCR (BHP(ps) x rpm)	38,570 x 102	-	40,397 x 102
NCR (BHP(ps) x rpm)	34,710 x 98.5	-	36,354 x 82
Service Speed at NCR (design draught, SM 15%)	22.5 knots(11.5m)	22.3 knots(11m)	22.3 knots(11m)
Container 개수 (on Deck/in Hold)	3,739 TEU (2,174 TEU/1,565 TEU)	Abt . 4,200 TEU	4,198 TEU (2,395 TEU/1,803 TEU)
Crusing Range	20,000 N.M	Abt . 20,000 N.M	20,000 N.M
Complement	30 P.	30 P.	.

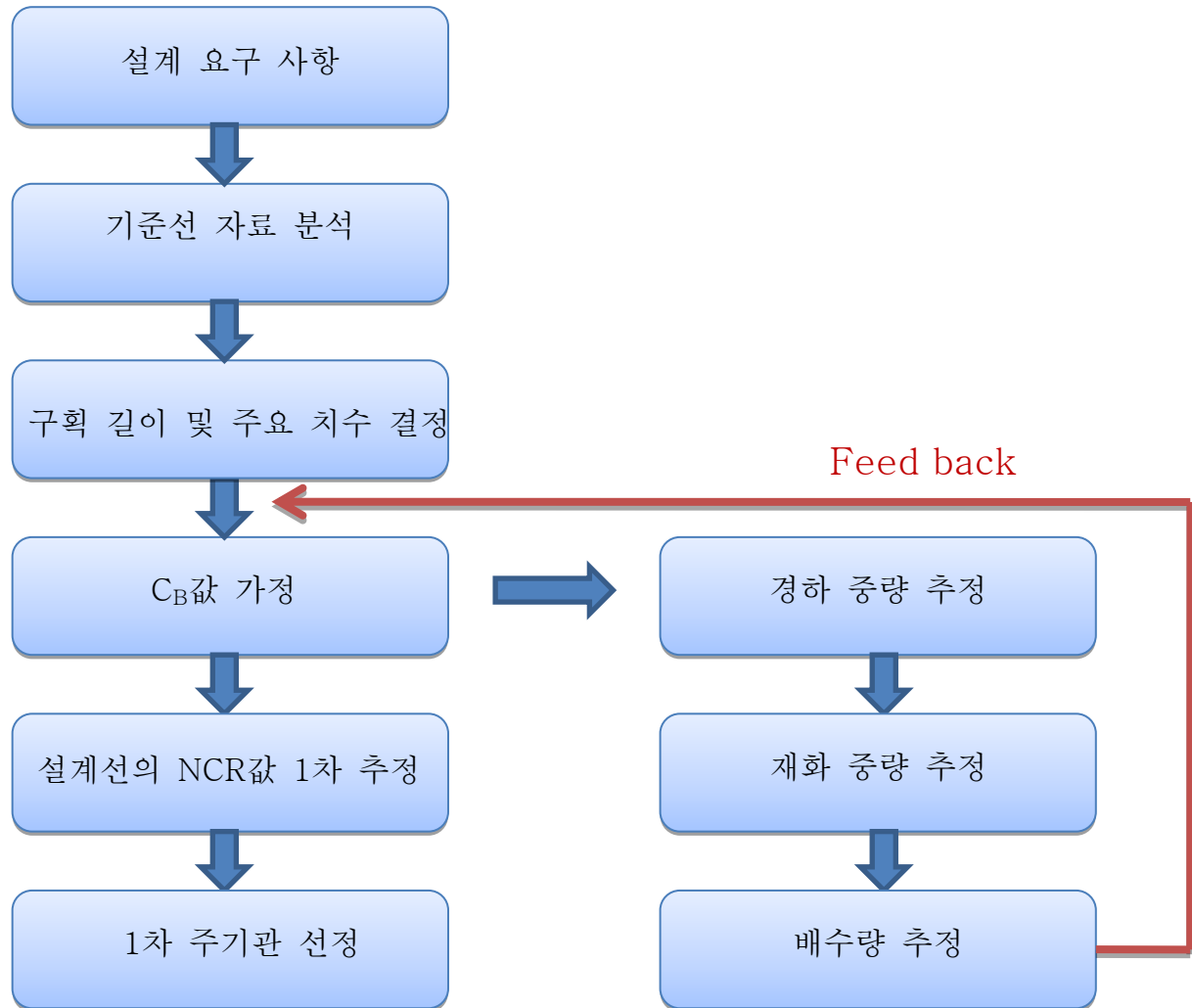
※ Summary ※

- 선박 개념 설계 순서 -



- 주요 치수 결정 및 화물 구획 배치 -

<주요 치수 결정>



<화물 구획 배치>

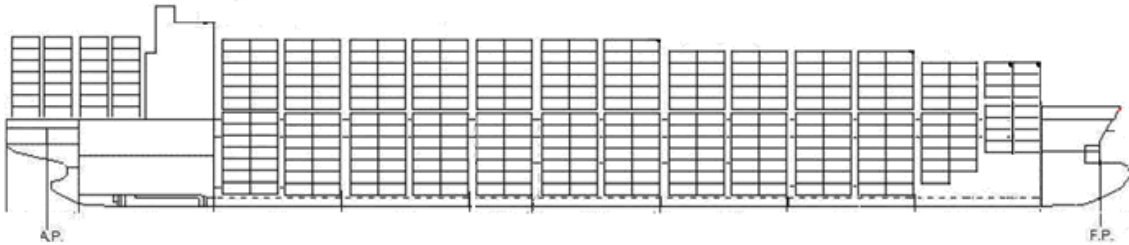


그림 1 기준선 3700TEU Container 화물 구획 배치



그림 2 기준선을 바탕으로 화물 구획의 재배치

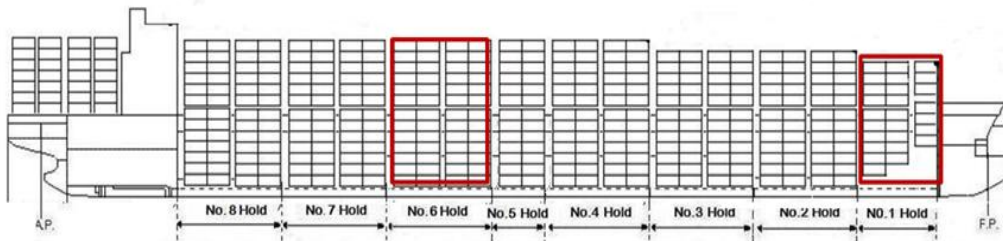


그림 3 4200 TEU Container 화물 구획 배치 확정

<구획 별 길이>

항목	Frame				구획(m)			설명	
	시작	종료	수량	Frame 간격	시작점	종료점	길이		
선미구획	0	14	14	0.800	0	11.2	11.2	A.P~선미격벽	
선실	14	52	38	0.800	11.20	41.6	30.4		
기관구획	14	52	38	0.800	11.20	41.6	30.4	E/R	
화물구 획	NO.8	52	88	36	0.797	41.60	70.28	28.68	E/R 격벽까지의 거리 1.8m 포함
	NO.7	88	124	36	0.791	70.28	98.76	28.48	
	NO.6	124	160	36	0.791	98.76	127.24	28.48	추가된 화물구획 40ft bay 2 추가
	NO.5	160	178	18	0.791	127.24	141.48	14.24	40ft bay 1
	NO.4	178	214	36	0.791	141.48	169.96	28.48	
	NO.3	214	250	36	0.791	169.96	198.44	28.48	
	NO.2	250	286	36	0.791	198.44	226.92	28.48	
	NO.1	286	314	28	0.791	226.92	249.08	22.16	
선수구획	314	330	16	0.800	249.08	261.88	12.8	선수격벽~F.P	
TOTAL FRAME	330			0.794	LBP		261.88		

- 컨테이너 배치 및 가시거리 검토 -

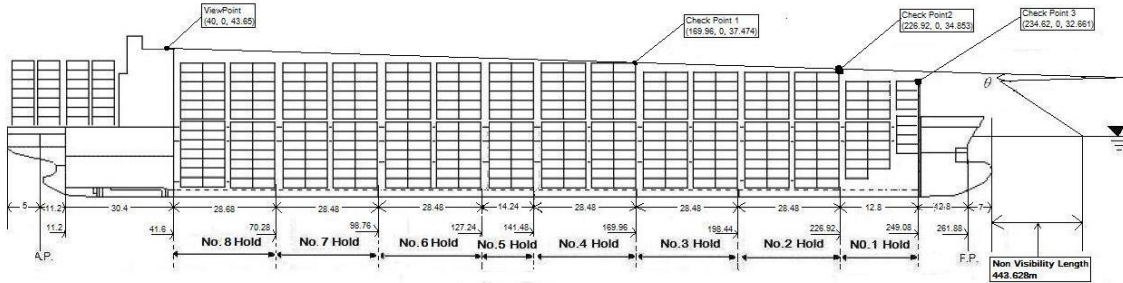
<컨테이너 배치>

<기준선과 설계선의 컨테이너 적재 수량(TEU) 비교>

구분	Hold	Deck	Total
기준선(3,700TEU 컨테이너선)	1,565	2,174	3,739
설계선(4,200TEU 컨테이너선)	1,803	2,395	4,198

94'	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	92'(선수)																							
92'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	90'(선수)																							
90'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	88'(선수)																							
88'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	86'(선수)																							
86'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	84'(선수)																							
84'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	82'(선수)																							
82'(선미)	11	11	11	11																5																								
					11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	9	7	5	3																					
					11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	9	7	5	3	1																			
					11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	9	7	5	3	1																				
					11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	9	7	5	3	1																				
					7	9	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	9	7	5	3	1	1																				
					5	7	9	9	9	11	11	11	11	11	11	11	11	9	9	7	7	5	3	3	1																			
					3	3	5	5	7	9	9	9	9	9	9	9	9	7	7	5	5	3	3	1																				
					E/R	8 cargo hold		7 cargo hold		6 cargo hold		5 cargo hold		4 cargo hold		3 cargo hold		2 cargo hold		1 cargo hold																								
distance from A,P	A,P																		F,P																									
					11				42															249	261.88																			
					32		30				28		26		24		22		20		18		16		14		12		10		8		6		4		2							
					65	63	61	59			57	55	53	51	49	47	45	43	41	39	37	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9	7	5	3	1	Bay No(40ft)	TOTAL (TEU)			
					89	89	89	89			78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	2395
					0	0	0	0			59	63	69	69	71	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	71	65	63	55	51	43	33	22	13	10	Bay No(20ft)	TOTAL (TEU)		
					89	89	89	89			127	141	147	147	149	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	156	156	150	123	120	116	100	90	66	57	57	TOTAL	4198	

<가시거리 검토(even keel 상태)>



◎ View Point의 좌표 계산

-X좌표: 41.6 m(기관구획까지의 거리) - 0.75 m ≒ 40.0 m

(X좌표는 F.P를 기준으로 한 값이다.)

-Y좌표: 0 m(Symmetry)

-Z좌표: 19.3m(Dmld) + 0.15(Deck 두께) + 3.05(선실 한 층의 높이)*7 + 1.8 + 0.15*7 = 43.65m

◎ Check Point 결정 및 Non Visibility Length 계산

Check Point: CheckPoint1(View Point와의 θ 값이 가장 작다)

Non Visibility Length:

$$\begin{aligned}
 \text{Non Visibility Length} &= \frac{(\text{Check Point2의 } Z \text{ 좌표} - T_s)}{\tan \theta} - (LBP + 7 - \text{CheckPoint2의 } X \text{ 좌표}) \\
 &= \frac{34.853 - 12}{\tan 0.047} - (261.88 - 226.92) \\
 &= 443.6278578(m)
 \end{aligned}$$

위에서 계산한 바와 같이 사각거리 값은 약 443.63m로서 500m보다 작은 값을 가지므로, IMO RULE을 만족함을 보여준다. 따라서 설계선(4200TEU)의 가시거리는 확보될 수 있다.

- 배수량 추정 -

현재 선형도 결정되지 않고 구체적인 구획 배치를 하기 전이기 때문에 기준선을 통해서 총 배수량을 추정하였다. 우리 선박의 항목별 중량은 다음과 같다.

먼저 선각중량, 의장중량, 기관중량을 합한 경하중량은 다음과 같다. 선각중량을 추정하려면 Cb값을 먼저 정해야 하기 때문에 아직 알 수 없기 때문에 기준선과 같은 Scantling에서의 Cb값을 사용하였다.

선각중량(ton)	12,052.51
의장중량(ton)	3,281.8292
기관중량(ton)	2,153.372
경하중량(1차 추정 값)	17,508.808 ton

다음으로 재화중량의 경우 선주의 요구 재화중량 범위에서 가장 작은 값을 사용하였다. 이는 재화중량이 작아지면 Cb값이 감소하는데 Cb값을 감소시키는 것이 유체역학적 측면에서 유리하기 때문이다. 그러므로 재화중량은 다음과 같다.

재화 중량	52,000 ton
-------	------------

그러므로 경하중량과 재화중량을 합한 총 배수량은 다음과 같다.

경하중량	17,508.808 ton
재화중량	52,000 ton
전체 배수량(1차 추정 값)	69,508.808 ton

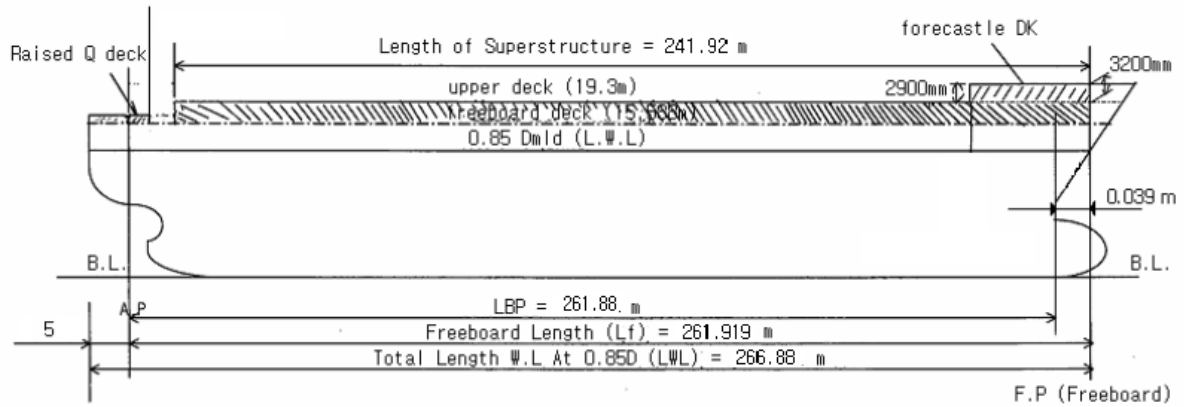
전체 배수량이 정해졌으므로 이제는 Cb값을 정할 수 있다. 이를 계산한 결과는 다음과 같다.

Scantling 상태에서의Cb값 추정(1차)	0.667853
---------------------------	----------

Cb값이 바뀌었으므로 다시 총 배수량도 바뀌게 된다. 이렇게 반복해서 구한 총 배수량과 방형계수의 결과 값은 다음과 같다.

경하중량(최종)	17,516.09 ton
재화중량(일정)	52,000 ton
배수량(최종)	69,516.09 ton
Scantling 상태에서의Cb값 추정(최종)	0.667922

- 건현 계산 -



구분	값(mm)
Cb에 의해 수정된 건현 값	4,191
깊이에 대한 수정	-465
선루 및 트렁크에 대한 수정	-1,026
현호에 의한 수정	313
요구건현	3,014
건현용 깊이(D _f)	15,603
허용 하기 만재 흘수 (건현용 깊이 - 요구건현)	15,603 - 3,014 = 12,589
계획 하기 만재 흘수(T _s)	12,000
여유	589
최소 선수 높이	6,974

『D_f - 요구 건현 > T_s』 인 경우 ⇒ 최소 요구 건현 조건 만족

- 15.603 - 3.014 = 12.589 > 12 ⇒ 설계선(4,200TEU 컨테이너선)의 경우 최소 요구 건현 조건 만족

- 설계선(4,200TEU 컨테이너선)의 경우, D_f = 15.603m, T_s = 12m, 요구건현 = 3.014m 이므로 최소 요구 건현 조건을 만족시킨다.

- 설계선의 경우 계산된 최소 선수 높이가 6.974m이고, 실제 선수 높이가 9.941m이므로 '실제 선수 높이 > 최소 선수 높이' 조건을 만족시킨다. (9.941m > 6.974m)

- Loadable Container -

<GM 값이 0.15 보다 클 조건 - IMO rule>

	중량(ton)	VCG(m)	V.M(ton-m)	KG_elevation(m)
경하중량	17516.02	13.2	231212.446	2.79372361
화물중량(on deck)	33530	-	972299.832	11.74823
화물중량(in hold)	25242	11.4083	287968.3086	3.47950068
Ballast Water 중량	0	-	0	0
etc 중량	6473.2945			1.15427562
total deadweight	65245.2945			
total	82761.3145			19.17573

결과를 보면 KG값이 14.7644로 요구 조건인 14.8026을 만족시킨다. 그리고 재화중량 또한 53613.595ton으로 요구재화중량 또한 만족함을 알 수 있다.

기준선의 경우 10ton/TEU 에서의 컨테이너 수는 2918개로 총 실을 수 있는 컨테이너 수의 약 78.042%정도를 채웠고 18ton/TEU 에서는 2372개로 약 63.44%정도 채웠다. 우리 설계선은 14ton/TEU에서 3049개로 총 컨테이너 개수인 4198의 약 72.01%로 기준선의 컨테이너 수와 비교했을 때 적정 수준의 컨테이너가 실렸음을 알 수 있다.

94'	13	13	13	13					13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13					92'(선수)		
92'(선미)	13	13	13	13					13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13					90'(선수)
90'(선미)	13	13	13	13					13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	11	11	9	9	88'(선수)
88'(선미)	13	13	13	13					13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	11	11	9	9	86'(선수)
86'(선미)	13	13	13	13					13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	11	11	9	9	84'(선수)
84'(선미)	13	13	13	13					13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	11	11	9	9	82'(선수)
82'(선미)	11	11	11	11					11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11				5	
									11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11				5	
									11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11				5	
									7	9	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11				1	
									7	9	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11				1	
									5	7	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9				1	
									3	3	5	5	7	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9				1	
					E/R	8 cargo hold	7 cargo hold	6 cargo hold	5 cargo hold	4 cargo hold	3 cargo hold	2 cargo hold	1 cargo hold																																			

컨테이너 수	3049
--------	------

<GM 값이 0.6 보다 클 조건 - 선주 특별 요구사항>

KB 값과 BM의 합은 14.95226으로 고정되어 있다. 그러므로 우리가 구할 KG 값이 14.35226보다 작으면 GM 값이 만족된다.

여기서도 마찬가지로 처음에 Ballast Water의 중량을 알 수 없기 때문에 일단은 0으로 놓고 컨테이너 수를 최대한 많이 실을 수 있는 4234개를 실어 보고 KG 값을 구해 보고 On Deck에 있는 컨테이너를 위쪽 tier로부터 빼주면서 Water Ballast를 채워 줌으로써 KG 값을 줄여준다. 더불어 재화중량을 52000ton ~ 54000ton 사이로 맞춰주도록 계산하였다. 이를 구한 결과는 다음과 같다.

	중량(ton)	VCG(m)	V.M(ton-m)	KG_elevation(m)
경하중량	17,516.09	13.2	231,212.4	3.325105
화물중량(on deck)	15,554	0	388,791.2	5.59127
화물중량(in hold)	25,242	11.4083	287,968.3	4.14132
Water Ballast 중량	4,750	0	27,658.57	0.397763
etc 중량	6,473.295	0	0	0.861823
total deadweight	52,019.29		0	0
total	69,535.39			14.31728

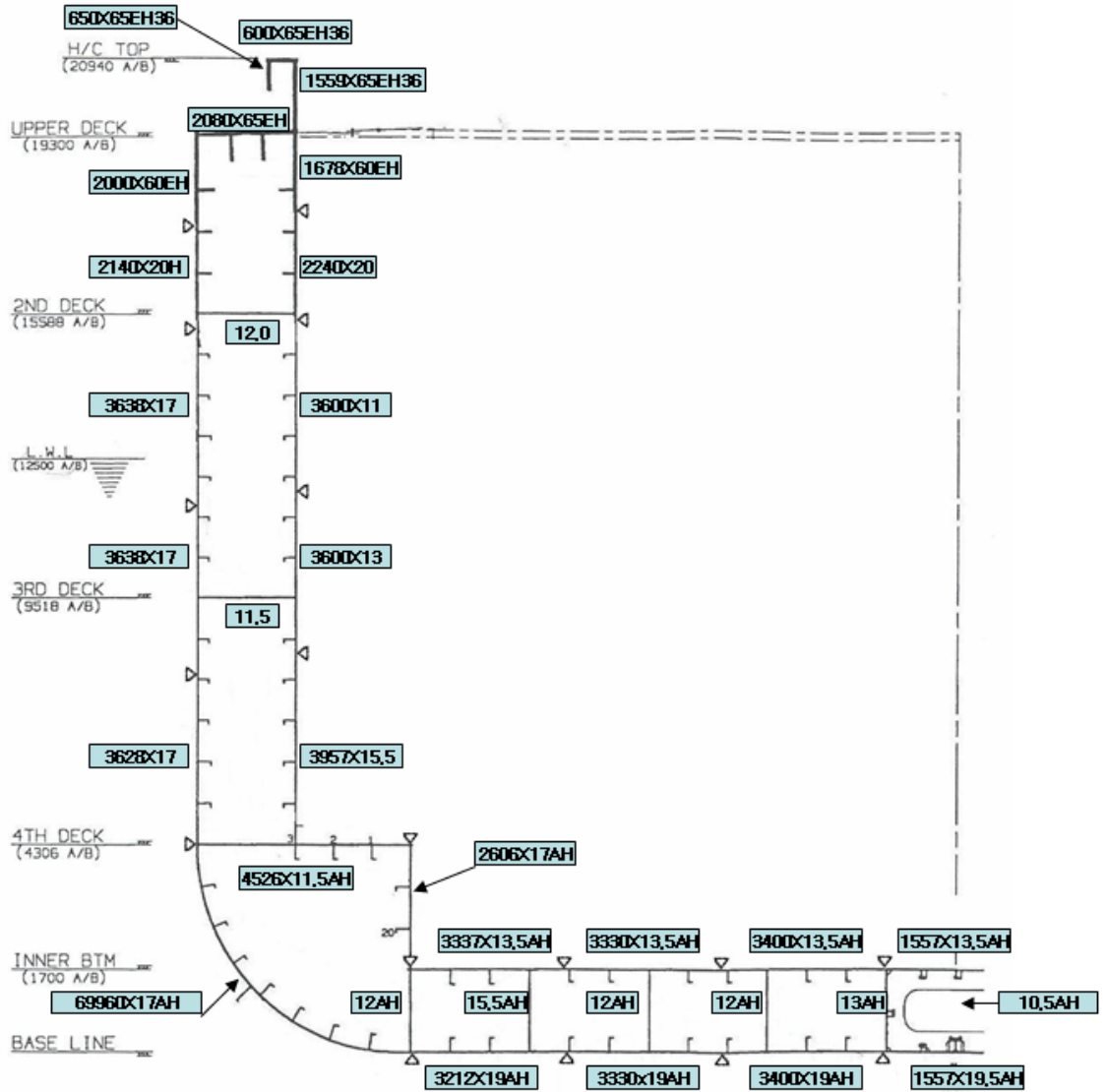
결과를 보면 KG값이 14.31728로 요구 조건인 14.35226을 만족시킨다. 그리고 재화중량 또한 52019.29ton으로 요구재화중량 또한 만족함을 알 수 있다. 이는 특히 최소 요구조건인 52000ton 보다 조금 큰 수치로 재화중량이 작기 때문에 Cb값도 감소를 가져와서 선박 성능 향상에 도움이 된다.

그리고 컨테이너 수는 2914개로 총 컨테이너 수의 약 69.414%로 기준선과 비교했을 때 적정 수준의 컨테이너가 실렸음을 알 수 있다.

94'	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	92'(선수)		
92'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	90'(선수)		
90'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	88'(선수)		
88'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	86'(선수)		
86'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	84'(선수)		
84'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	82'(선수)		
82'(선미)	11	11	11	11																	5		
					11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	7	5	3
					11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	7	5
					11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	7	5
					7	9	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	9	7	5	3
					5	7	9	9	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	9	7	7	5	3
					3	3	5	5	7	9	9	9	9	9	9	9	9	7	7	5	5	3	1
					E/R	8 cargo hold	7 cargo hold	6 cargo hold	5 cargo hold	4 cargo hold	3 cargo hold	2 cargo hold	1 cargo hold										

컨테이너 수	2914
--------	------

- 중앙 단면 구조 설계 -

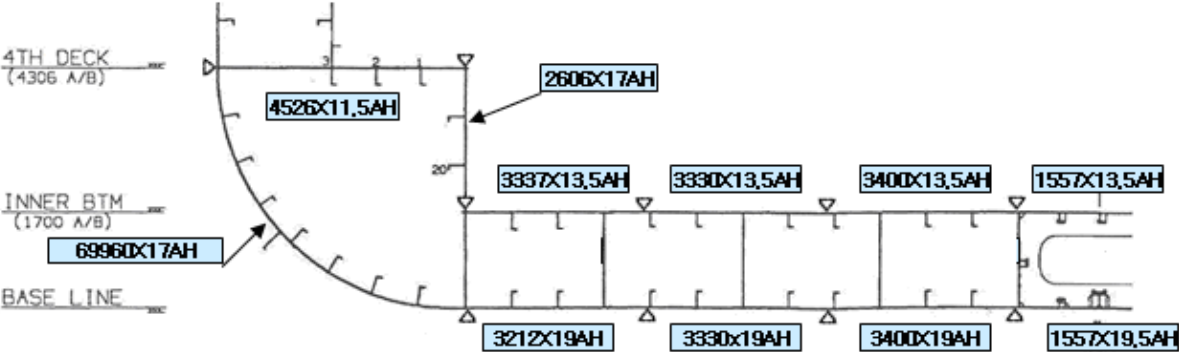


	Longi No.	Scantling	Type
Bottom shell	L1-13	300*90*13/17 AH	I.A
Bilge shell	L15-21	300*90*13/17 AH	I.A
Inner bottom shell	L1'	250*90*12*16 AH	I.A
	L3'-L13'	300*90*11/16 AH	I.A
Side shell	L23	300*90*11/16	I.A
	L24	250*90*12/16	I.A
	L25-L29	250*90*10/15	I.A
	L30-L34	200*90*9/14	I.A
	L36-L37	320*35	F.B
	L38	500*50 AH	F.B
Bulkhead shell	L20-L21	300*90*11/16 AH	I.A
	L23-L30	250*90*10/15	I.A
	L31-L34	200*90*9/14	I.A
	L36-L37	320*35	F.B
	L38	500*50 AH	F.B
upper deck	L1	500*50 AH	F.B
	L2	500*50 AH	F.B

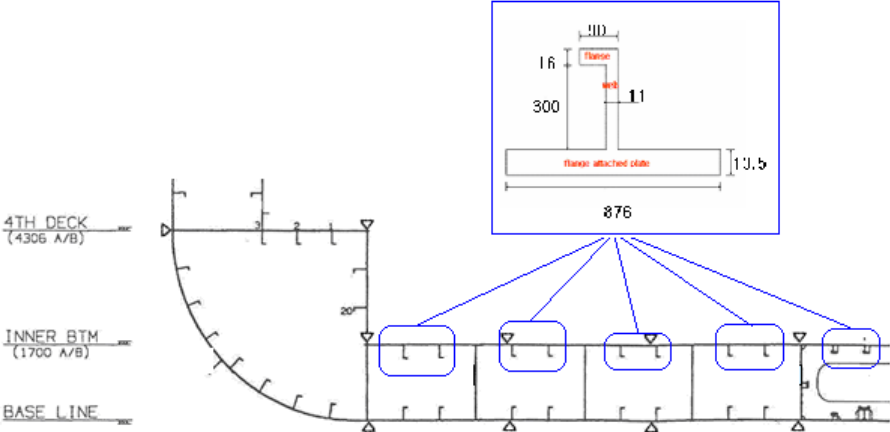
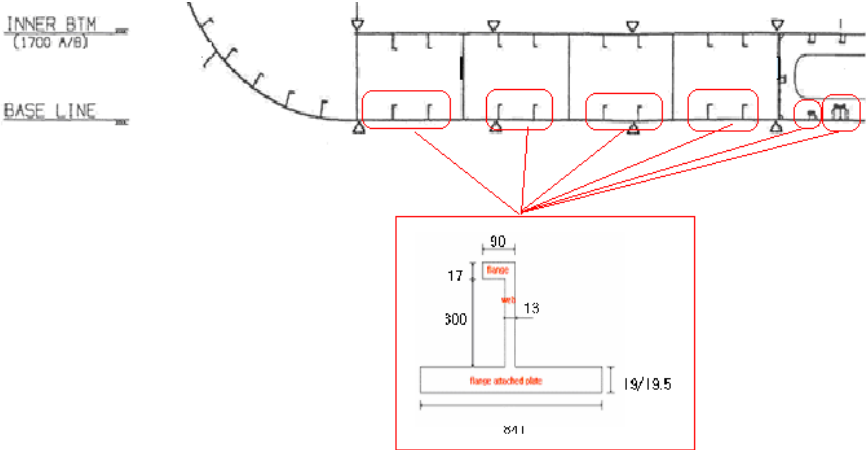
총면적 (cm ²)	1차 모멘트 from B.L. (cm ³)	N.A. from B.L. (cm)	2차 모멘트 from B.L. (cm ⁴)	2차 모멘트 from N.A. (cm ⁴)	Ymax from N.A. (cm)	Z(cm ³)	Sigma (N/mm ²)
20,743	19,904,669	959	32,331,036,642	26,461,636,768	1,134	23,326,236	234.9
요구되는 값	-	-	-	24,314,842,693	-	22,524,110	243.3

<Bottom Structure>

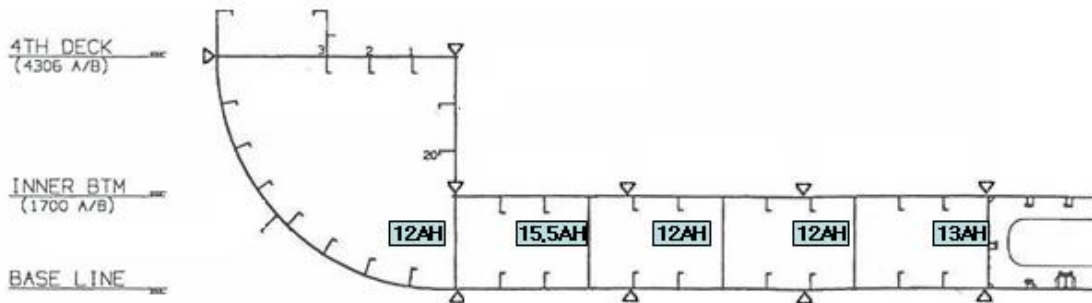
1. Plate size



2. Longi. Size

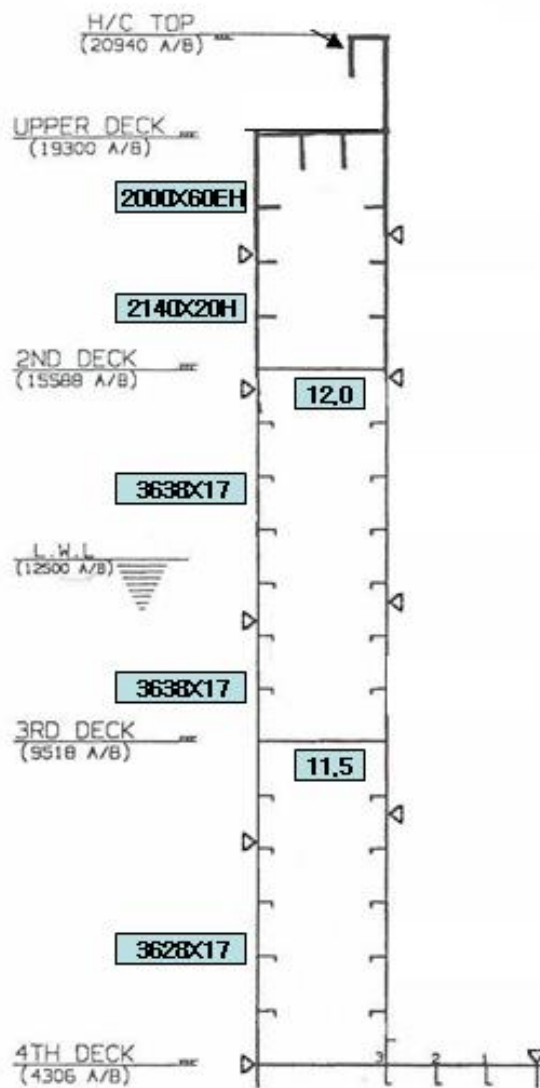


3. Girder size

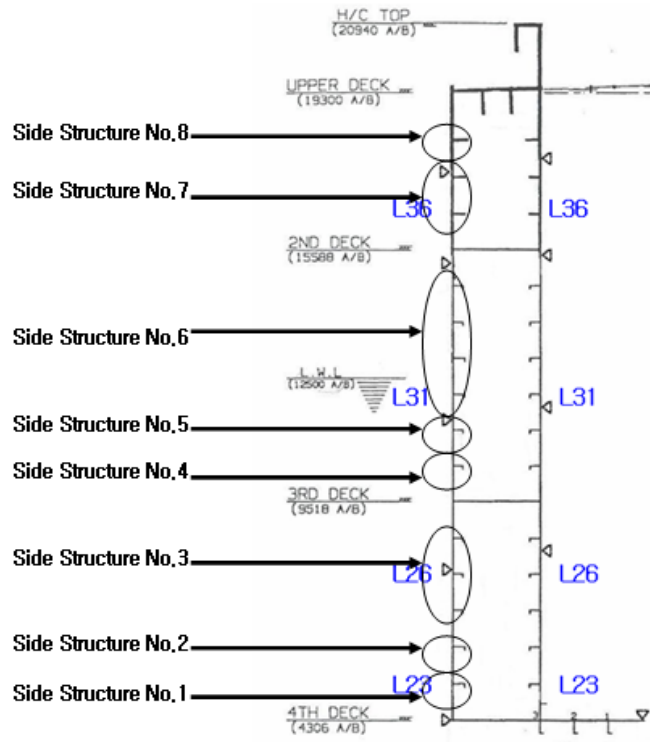


<Side Structure>

1. Plate size

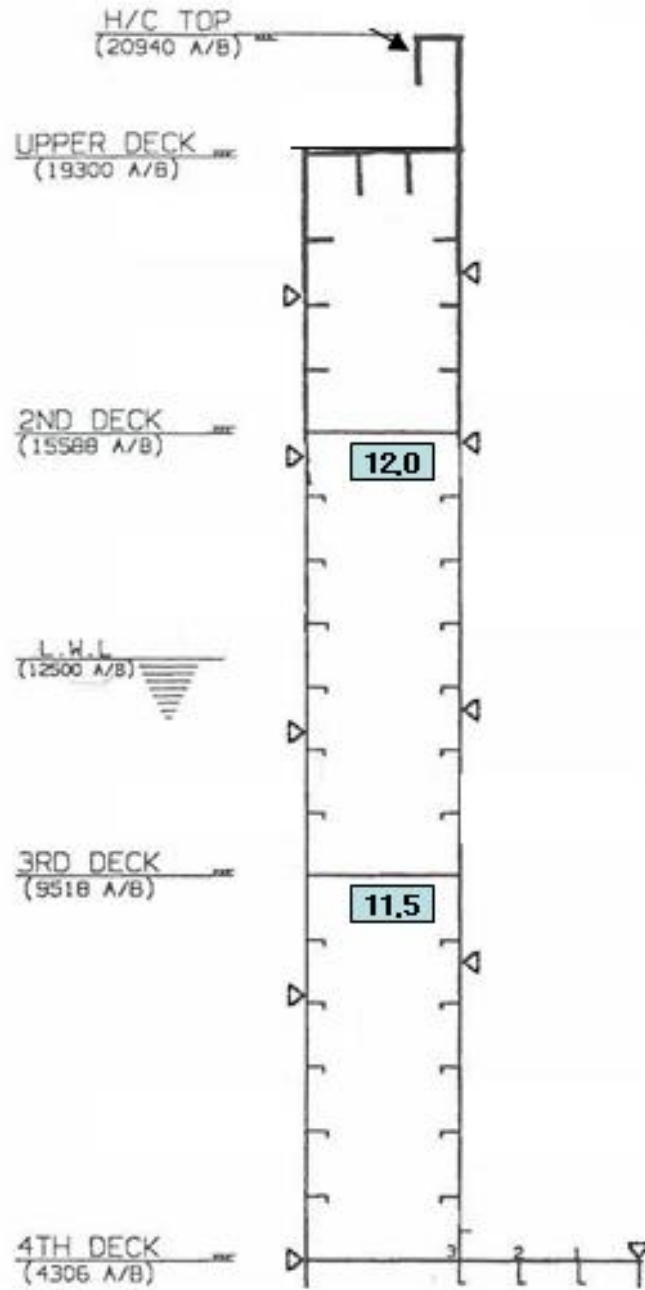


2. Longi. size



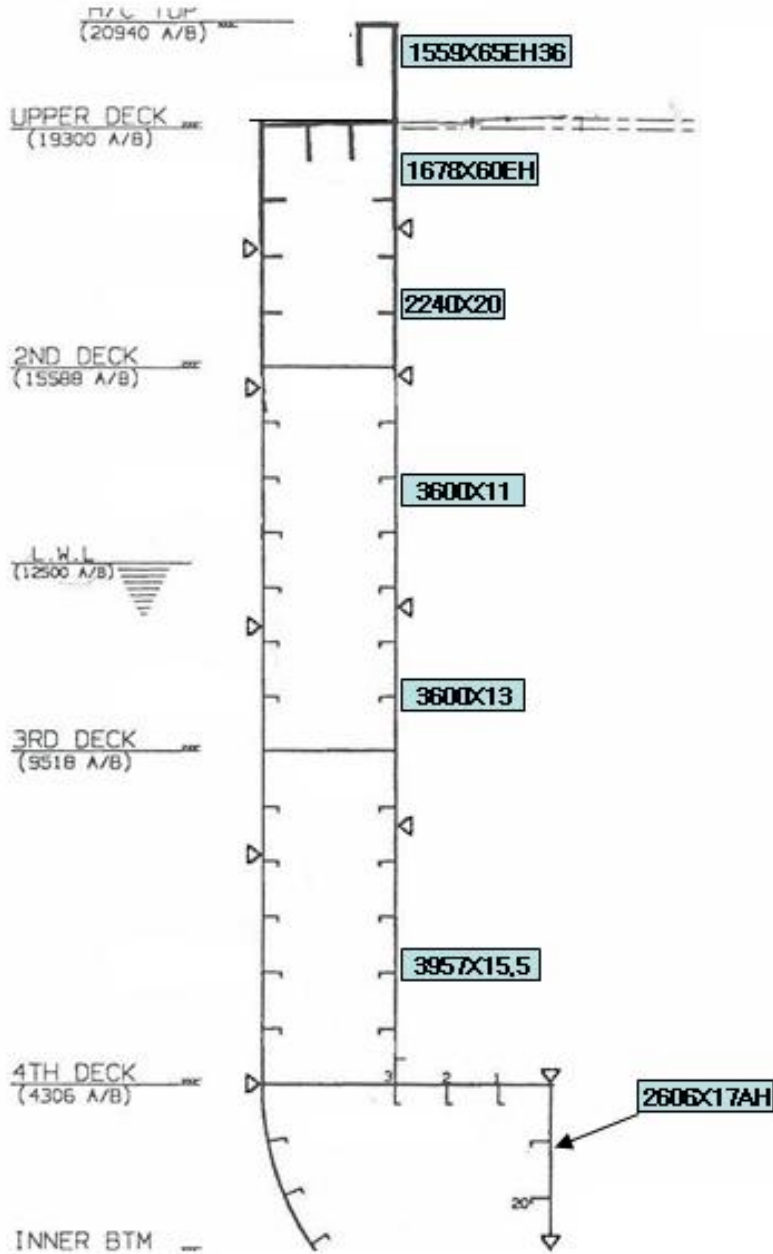
<p>Side Structure No.1</p>	<p>Side Structure No.2</p>	<p>Side Structure No.3</p>	<p>Side Structure No.4</p>
<p>Side Structure No.5</p>	<p>Side Structure No.6</p>	<p>Side Structure No.7</p>	<p>Side Structure No.8</p>

3. Girder size

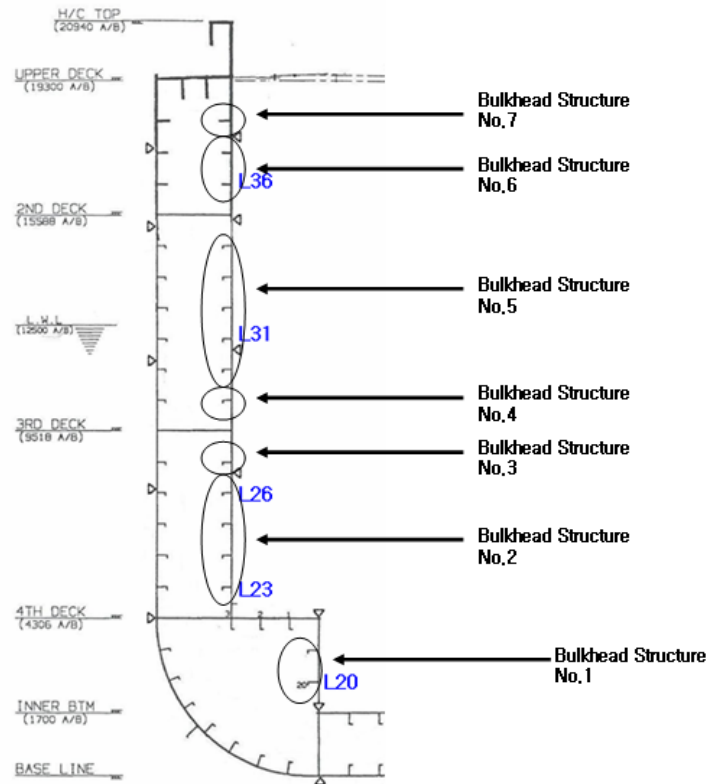


<Bulkhead Structure>

1. Plate size



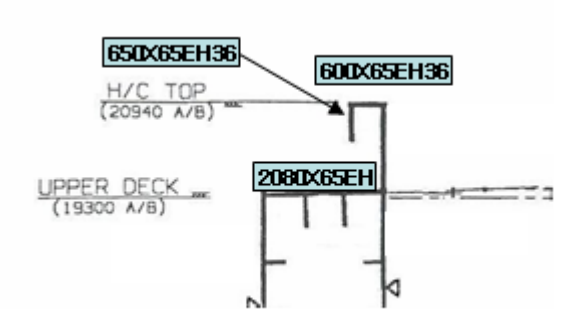
2. Longi. size



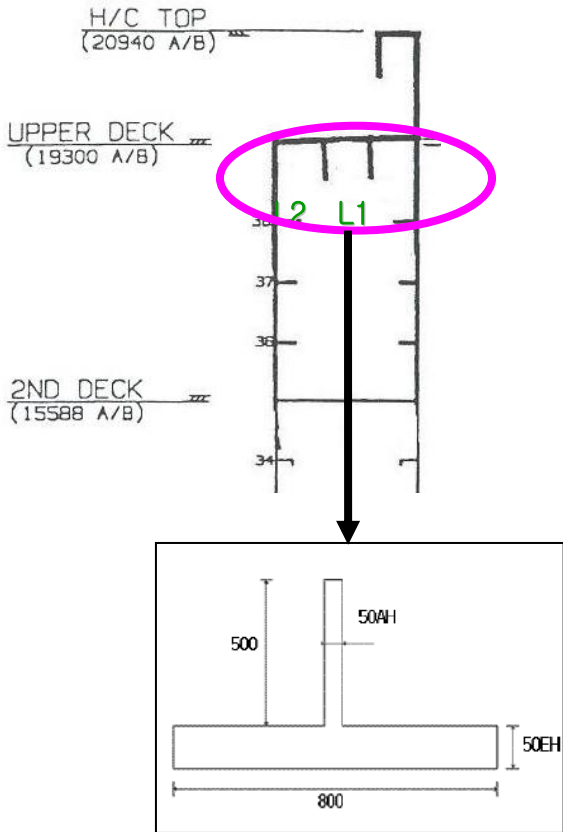
<p>Bulkhead Structure No.1</p>	<p>Bulkhead Structure No.2</p>	<p>Bulkhead Structure No.3</p>	
<p>Bulkhead Structure No.4</p>	<p>Bulkhead Structure No.5</p>	<p>Bulkhead Structure No.6</p>	<p>Bulkhead Structure No.7</p>

<Deck Structure>

1. Plate size



2. Longi. size



<Design Bending Moment 계산>

Bottom Structure			
	단면적(cm ²)	1차모멘트 from B.L. (cm ³)	2차모멘트 차모멘트 from B.L. (cm ⁴)
Total	7494.48	685884.05	134663682.75

Side Structure			
	단면적(cm ²)	1차모멘트 from B.L. (cm ³)	2차모멘트 차모멘트 from B.L. (cm ⁴)
Total	13248.53	19218785.41	32196380684.46

Deck Structure			
	단면적(cm ²)	1차모멘트 from B.L. (cm ³)	2차모멘트 차모멘트 from B.L. (cm ⁴)
Total	3730.50	7368945.75	14682886561.13

TOTAL			
	단면적(cm ²)	1차모멘트 from B.L. (cm ³)	2차모멘트 차모멘트 from B.L. (cm ⁴)
	20743.00	19904669.46	32331044367

<Midship Section Modulus 계산>

총 면적 (cm ²)	base line에 대한 1차 모멘트 (cm ³)	base line에 대한 2차 모멘트 (cm ⁴)	Hatch cover top까지 높이 (cm)
20743.00205	19904669.46	32331044367	20940

$$\begin{aligned} \text{midship 전체 중립축} &= \frac{\text{전체 1차 모멘트}}{\text{총 면적}} \\ &= \frac{19904669 \text{ cm}^3}{20743 \text{ cm}^2} = 959.6 \text{ (cm)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{중립축에 대한 2차 모멘트} &= I_{B.L.} - A_{total} \times \text{distance B.L. to N.A} \\ &= 32331044367 - 20743 \times 960^2 \\ &= 13230826109 \text{ (cm}^4\text{)} \end{aligned}$$

$$Z_{bottom} = \frac{I_{중립축}}{y_{bottom}} = 2 \times \frac{13230826109}{960} = 27576148 (cm^3)$$

$$Z_{Deck} = \frac{I_{중립축}}{y_{Deck}} = 2 \times \frac{13230826109}{2094 - 960} = 23326249.7 (cm^3)$$

$$\sigma_{bottom(req)} = 175 \times f_1 = 175 \times 1.28 = 224 (N / mm^3)$$

$$\sigma_{bottom(req)} = 175 \times f_1 = 175 \times 1.39 = 243.25 (N / mm^3)$$

$$\sigma_{deck} = \frac{(M_s + M_w)_{max}}{Z_{deck}} = \frac{5478990}{23326250} \times 1000 = 234.885 (kN / mm^3)$$

$$\sigma_{bottom} = \frac{(M_s + M_w)_{max}}{Z_{bottom}} = \frac{5478990}{27576148} \times 1000 = 198.686 (kN / mm^3)$$

	$\sigma_{bottom} (kN / mm^3)$	$\sigma_{Deck} (kN / mm^3)$
요구 값	224	243.25
계산 값	198.686	234.885

〈Buckling Strength 검토〉

부재 명칭		t(mm)	t _k (mm)	Steel Grade	s(m)	ψ	k	σ _{el} (N/mm ²)	σ _r (N/mm ²)	σ _c (N/mm ²)
Bottom Plate	KP	19.5	1	AH	0.741	1	4	462.2498	315	261.3358
	BP1	19	1	AH	0.841	1	4	339.7213	315	241.9806
	BP2	19	1	AH	0.841	1	4	339.7213	315	241.9806
	BP3	19	1	AH	0.841	1	4	339.7213	315	241.9806
	BP4	17	1	AH	0.876	0.97	4.057	250.9865	315	216.165
	BP5	17	1	AH	0.876	0.97	4.057	250.9865	315	216.165
Inner Bottom Plate	IBP1	13.5	1	AH	0.741	1	4	211.0344	315	197.454
	IBP2	13.5	1	AH	0.841	1	4	163.8316	315	163.5869
	IBP3	13.5	1	AH	0.841	1	4	163.8316	315	163.5869
	IBP4	13.5	1	AH	0.841	1	4	163.8316	315	163.5869
Side Plate	SP1	17	1.5	mild steel	0.866	0.97	4.057	241.0162	235	177.7165
	SP2	17	1.5	mild steel	0.866	0.97	4.057	241.0162	235	177.7165
	SP3	17	1.5	mild steel	0.866	0.97	4.057	241.0162	235	177.7165
	SP4	20	1.5	mild steel	0.866	0.97	4.057	343.3415	235	194.7886
	SP5	60	2	EH	0.87	0.97	4.057	3343.768	315	307.5813
Bulkhead	LHP1	17	1.5	AH	0.815	0.97	4.057	272.124	315	223.8421
	LBH1	15.5	1.5	mild steel	0.866	0.97	4.057	196.6251	235	164.7839
	LBH2	13	1.5	mild steel	0.866	0.97	4.057	132.6718	235	130.9368
	LBH3	11	1.5	mild steel	0.866	0.97	4.057	90.53783	235	90.53783
	LBH4	20	1.5	mild steel	0.866	0.97	4.057	343.3415	235	194.7886
	LBH5	60	2	EH	0.87	0.97	4.057	3343.768	315	307.5813
Deck Plate	DP1	65	1	EH	0.69	1	4	6380.159	315	311.112
	DP2	65	1	EH36	1.49	1	4	1368.224	355	331.9729
	DP3	65	1	EH36	0.65	1	4	7189.571	355	350.6178
	DP4	65	1	EH36	0.6	1	4	8437.76	355	351.266

- 목 차 -

A 서론.....	29
I. 목표.....	29
II. 역할 분담 내용.....	29
B 본론.....	30
I. 4200TEU CONTAINER 설계 요구사항.....	30
II. L, B, D의 결정 및 화물 구획 배치.....	31
1. 3,700TEU 기준선 분석	31
1.1. 3,700 TEU 기준선의 분석.....	32
2. 설계선의 L, B, D 결정을 위한 고려사항.....	34
2.1. LBP 추정을 위한 가정.....	34
2.2. Bmld 추정을 위한 가정	35
2.3. Dmld 추정을 위한 가정	35
3. 설계선의 L, B, D 결정.....	36
3.1. 화물 구획 배치 및 컨테이너 배치.....	36
3.2. LBP의 확정	38
3.3. 구획 길이 결정	39
3.4. 주요 치수 결정	39
4. Cb 및 NCR의 1차 추정	40
4.1. Cb 추정을 위한 가정.....	40
4.2. Cb 추정	40
4.3. 설계선의 NCR 추정(위의 표 참고).....	41
III. 컨테이너 배치 및 가시거리 검토	44
1. 컨테이너 배치	44
1.1. 4,200 TEU In Hold 컨테이너 배치	45
1.2. 4,200 TEU On Deck 컨테이너 배치	45
2. Visibility 검토.....	47
2.1. 기준선의 분석.....	47
2.2. 사각 거리 계산.....	48
IV. 배수량 추정.....	52
1. 3,700 TEU 기준선 분석.....	52
1.1. 경하중량 목록.....	52
1.2. 항목별 추정	54
2. 설계선 추정.....	58
2.1. 경하중량 추정	58
2.2. 재화중량 추정	62
2.3. 배수량 및 방형계수 계산.....	63

V. Loadable Container	65
1. 설계선의 KB, BM 구하기	65
1.1. 설계선의 KB 추정	65
1.2. 설계선의 BM 추정	67
2. 설계선의 KG 구하기	69
2.1. 설계선의 KG 추정	70
3. Loadable Container 수 및 Deadweight	80
3.1. GM 값이 0.15보다 클 조건	80
3.2. GM 값이 0.6보다 클 조건	82
VI. 저항 추진 성능 추정	83
1. 저항 및 마력 계산에 필요한 치수 및 주요 계수	83
2. Holtrop & Mennen의 통계적 방법에 의한 추정	85
2.1. 마찰저항	85
2.2. 조파저항	88
2.3. 부가물의 저항	93
2.4. 모형선 실선 상관 수정 저항	95
2.5. 전저항 추정	96
3. 주기관 선정	97
VII. 프로펠러 주요치수 결정	100
1. 프로펠러 설계	100
2. 설계된 프로펠러를 이용한 주기관 마력 재 추정 및 회전 수 계산	104
3. 주기관 선정에 대한 검토	106
VIII. 선형설계	107
1. 실적선 선형 모델링	107
2. 선형 Variation	108
3. 구획 배치	112
IX. 건현 계산	114
1. Introduction	114
1.1. 건현의 정의	114
1.2. 목적	114
2. 계산 과정	116
2.1. 표정 건현	116
2.2. Cb에 의한 수정값	117
2.3. 선박의 깊이에 대한 수정	118
2.4. 선루 및 트렁크에 대한 수정	119
2.5. 현호에 대한 수정	122
2.6. 요구 건현 및 허용 하기 만재 흘수	124
2.7. 최소 선수 높이	124

X. 의장수 계산.....	125
1. 의장수 계산.....	125
XI. 경제성 계산.....	130
1. 건조비 계산.....	130
1.1. Compensated Gross Ton.....	130
1.2. 설계선의 공수계산.....	131
1.3. 임금단가 추정.....	132
1.4. 재료비 계산.....	133
XII. 선박 계산.....	135
1. 선박 계산.....	135
1.1. Hydrostatic 계산.....	135
1.2. 가시거리 계산.....	137
1.3. 경하중량 계산.....	137
1.4. 안정성 계산.....	140
C 중앙 단면 구조 설계.....	148
D Discussion.....	245

A 서론

I. 목표

기존 1차 보고서의 최종 목표인 주요치수 결정이 이번 보고서의 잠재적인 목표이다. 그리고 그 과정에 도달하기 위해서 화물 구획 배치 및 컨테이너 배치, 가시 거리 검토, 설계선의 Cb와 NCR을 추정해야 한다. 중요한 점은 1차 보고서의 잘못된 점을 바로 잡고 무엇이 잘못되었는지 그리고 어째서 그러한 잘못이 나오게 되었는지 마지막으로 어떻게 잘못된 점을 바로 잡을 수 있는지를 알아가는 것이라 할 수 있다. 앞서 말한 점에 대한 고찰로서 기준선에 대한 새로운 검토와 그에 대한 해석들 그리고 그러한 점들이 어떻게 설계선으로 추정되고 바뀌어질 수 있는지에 대해 다시 한번 확인해야 한다.

II. 역할 분담 내용

조 원	역할 분담
엄희동	rule scantling, ppt 작업
곽경래	보고서 정리
박범진	선형 설계
안승호	선형 설계
양해상	건현 재추정, ppt 작업
이제혁	Rule scantling

B 본론

I. 4200TEU CONTAINER 설계 요구사항

주요 요목	기준선 (3700TEU)	설계호선 (3조)
<u>Main Dimensions</u>		
LOA	257.4 m	270 m ~ 275 m
LBP	245.24 m	
B mld	32.2 m	32.25 m 이하
D mld	19.3 m	
d(design)	10.1 m	Abt. 11 m
d(scant.)	12.5 m	Abt. 12 m
<u>Deadweight</u>		
(design/scant.)	34,300/50,200 MT	52,000 mt ~ 54,000mt at scant. draught
<u>Capacity</u>		
Container on deck/in hold	2,174 TEU / 1,565 TEU	Abt. 4,200TEU
Ballast water	13,800 m ³	16,000 m ³
Heavy fuel oil	6,200 m ³	
Marine diesel oil	400 m ³	
Fresh water	360 m ³	
<u>Main Engine & Speed</u>		
M/E type	Sulzer 7RTA84C	
MCR (BHP * rpm)	38,570 * 102	
NCR (BHP * rpm)	34,710 * 98.5	
Service speed at NCR	22.5 knots (11.5m)	22.3 knots
(design draught, 15% SM)	30,185 BHP	(design draught, 15% SM)
Daily FOC at NCR	103.2 MT	
Cruising range	20,000 N.M	Abt. 20,000 N.M
<u>Others</u>		
Complement	30 P.	30 P.
Crane 유무	Crane 있음	Crane 없음

II. L, B, D의 결정 및 화물 구획 배치

1. 3,700TEU 기준선 분석¹

항 목	Frame		구획[m]		설 명	프레임 간격(m)	
	구간	수량	구간 [m]	길이 [m]			
LBP	0 - 308	308	0 - 245,24	245,24	A.P. - F.P.	-	
선미구획	0 - 14	14	0 - 11,20	11,20	A.P. - 엔진룸 After Bulk Head	0.80	
기관구획	14 - 52	38	11,20 - 41,60	30,40	엔진룸	0.80	
화 물 구 획	NO.1 Hold	254 - 292	38	202,04 - 232,32	30,28	NO.1 Container Hold	0.80
	NO.2 Hold	218 - 254	36	173,56 - 202,04	28,48	NO.2 Container Hold	0.79
	NO.3 Hold	180 - 218	38	143,28 - 173,56	30,28	NO.3 Container Hold	0.80
	NO.4 Hold	144 - 180	36	114,80 - 143,28	28,48	NO.4 Container Hold	0.79
	NO.5 Hold	126 - 144	18	100,56 - 114,80	14,24	NO.5 Container Hold	0.79
	NO.6 Hold	88 - 126	38	70,28 - 100,56	30,28	NO.6 Container Hold	0.80
	NO.7 Hold	52 - 88	36	41,60 - 70,28	28,68	NO.7 Container Hold	0.79
	Total	52 - 292	240	41,60 - 232,32	190,72	화물창	0.79
선수구획	292 - 308	16	232,32 - 245,24	12,92	선수 격벽- F.P.까지	0.81	
Accommodation	34 - 52	18	27,20 - 41,60	14,40	Accommodation	0.80	

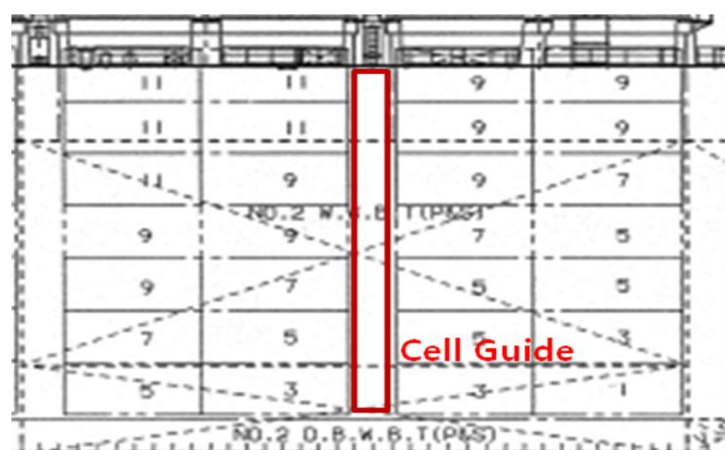
¹ 수업 게시판 강의 자료 참고

1.1. 3,700 TEU 기준선의 분석

항목	FRAME 간격 ²	구획길이	설 명	
선미구획	0.8	러더의 축을 지나는 지점. A.P.와 엔진룸 사이의 거리	A.P. ~엔진룸	
기관구획	0.80	주요 기관부, 발전 시설이 위치하는 곳으로서 선실 구획의 길이와 일치	엔진룸	
화물구획	No. 1	0.80	2 Cell Guide(3.4 m ³ +1.6 m)+ 2*40ft Bay(12.64 m)= 30.28 m	No. 1 Cargo Hold
	No. 2	0.79	2 *Cell Guide(1.6 m)+ 2*40ft Bay(12.64 m)= 28.48 m	No. 2 Cargo Hold
	No. 3	0.80	1*Crane(3.4 m)+1*Cell Guide (1.6 m)+ 2*40ft Bay(12.64m)= 30.28 m	No. 3 Cargo Hold
	No. 4	0.79	2 *Cell Guide(1.6 m)+ 2*40ft Bay(12.64 m)= 28.48 m	No. 4 Cargo Hold
	No. 5	0.79	1*Cell Guide(1.6 m)+1*40ft Bay(12.64 m)= 14.24 m	No. 5 Cargo Hold
	No. 6	0.80	1*Crane(3.4 m)+1*Cell Guide (1.6 m)+ 2*40ft Bay(12.64m)= 30.28 m	No. 6 Cargo Hold
	No.7	0.79	E/R과의 거리 확보(1.8 m)+ 1*Cell Guide(1.6 m)+2*40ft Bay(12.64 m) = 28.68 m	No. 7 Cargo Hold
선수구획	0.80	12.92 m로 Bosun store 및 선수 밸러스트 탱크가 위치하는 구획	선수 격벽~F.P.	
Accommodation	0.81	E/R 상부에 위치하고 기관구획의 길이와 같다. 네비게이션 브릿지 데크가 위치하여 Visibility 계산을 위해 중요한 구획이다.	선실(E/R 상부)	
LBP	A.P.~ F.P. 까지의 길이로서 각 구획 별 길이의 총 합과 같다. 또한 이 길이에 약 12m의 길이를 더하면 LOA와 같다.			

² 생산적 효율을 위하여 선박을 길이 방향으로 일정 frame 간격으로 나누는데 기준선의 프레임 간격은 0.8 m로써 거의 일정하다

³ Cell Guide 보다 더 넓고 크레인의 공간의 길이와 같은 것으로 보아 추후 크레인을 설치하기 위한 공간으로 생각할 수 있다.



2. 설계선의 L, B, D 결정을 위한 고려사항

◆ 파나마 운하를 통과할 수 있는 파나마급이라 가정

파나마급 선박 최대 주요 치수 ⁴			
L(LOA)	B	T	DWT
294.13 m (여객선과 컨테이너선의 경우)	32.31 m	12.04 m	60,000 ~ 75,000 DWT
현재 컨테이너의 경우 14,000TEU 까지 통행할 수 있는 공사 진행			

2.1. LBP 추정을 위한 가정

구 획	가 정
선수 구획	<ul style="list-style-type: none"> - 기준선에서는 프레임을 지키지 않고 0.12m앞으로 더 배치된 것으로 생산적인 효율성을 따져 설계선의 경우에는 프레임간격을 정확히 지켜 12.8 m을 사용하기로 한다. - bulb 형태 및 선수 부 형상이 기준선과 같다고 가정
화물구획:	<ul style="list-style-type: none"> - 4200TEU 에서는 크레인이 없는 것으로 가정 - 화물 구획의 배치가 가장 중요하다. 다른 구획의 변화는 거의 없다고 가정하고 화물 구획의 배치가 LBP 추정에 가장 큰 영향을 미친다. - 40ft bay 마다 설치된 Cell Guide 는 기준선에서처럼 2frame 즉 1.6 m 로 가정 - 20ft bay 사이의 공간은 0.44m 로 가정 (12.64-2*20ft bay(12.2m) = 0.44 m) - 모든 구획에는 40ft Bay 두 개가 배치되는 것을 기본 전제한다. 컨테이너 수를 비교해 40ft bay 의 수를 조정한다.
기관 구획	<ul style="list-style-type: none"> - 기관부와 Accommodation 같은 구획 길이를 가지는 것으로 추정 - 기준선의 엔진 길이는 14.296m 임. 설계선의 엔진 룸 길이는 기준선과 같은 것으로 가정. 차후 주 기관 선정을 통해 엔진의 길이가 기준선이 큰 차이가 나면 수정하여 반영

⁴http://cafe.naver.com/shipbuilding.cafe?iframe_url=/ArticleRead.nhn%3Farticleid=12027

선 실	<ul style="list-style-type: none"> - “A” ,” B” , “C” , “D” , “E” , “F” , Nav. Bri. Deck 의 7 개 데크와 1 개의 wheel top 데크로 구성 - 설계선의 선실 배치가 기준선과 같다고 가정
선미 구획	<ul style="list-style-type: none"> - 설계선의 선미 구획 길이는 기준선의 선미 구획 길이와 같다고 가정 - 선미부 형상이 U자 형상이고 Transom 형태 등이 기준선과 같다고 가정(저항 추정 시 필요)

2.2. Bmld 추정을 위한 가정

기준선의 형폭과 같다고 가정하겠다. 선측에 밸러스트 탱크와 연료 탱크가 위치하므로 형폭의 변화는 이와 같은 탱크의 용적을 작게 하거나 형 폭 자체의 확장을 의미한다. 하지만 파나마급의 컨테이너라고 가정하면 기준선의 형 폭이 32.2 m 이고 이는 파나마 운하를 통과할 수 있는 최대한의 폭이므로 폭의 수정은 앞으로 고려하지 않고 설계선의 Bmld를 32.20 m 로 가정하겠다.

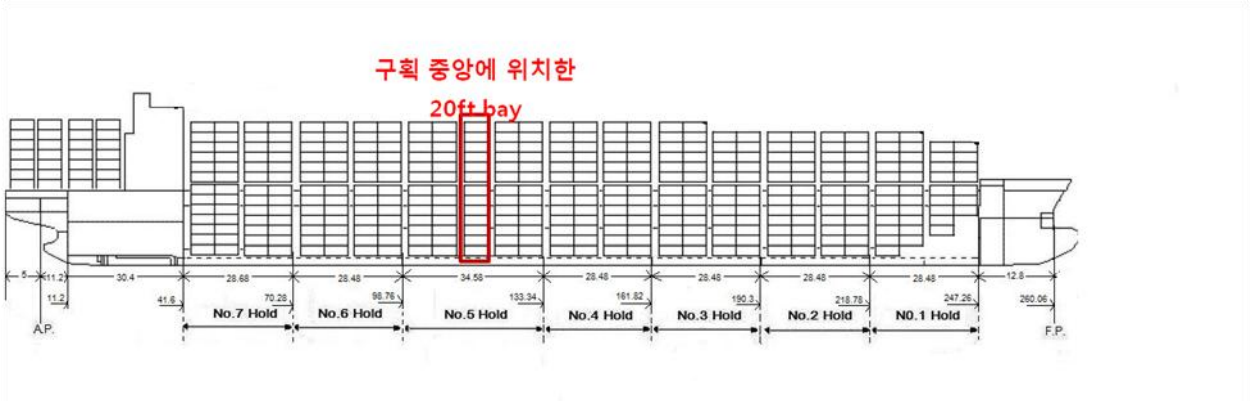
2.3. Dmld 추정을 위한 가정

Dmld 의 값을 크게 하면 화물창의 용적이 증가하므로 화물창에 많은 컨테이너를 적재할 수 있다. 또한 선박의 중량 중심을 낮추어 횡 복원력 확보라는 장점이 있지만 파나마 운하를 통과할 수 있는 최대 흘수는 12.4m 이므로 형 깊이를 확장하는데 제약을 받게 된다. 또한 횡 복원력의 확보는 형 깊이의 증가가 아닌 밸러스트 탱크의 활용을 통해 충분히 극복할 수 있다. 따라서 설계선의 Dmld는 기준선과 같은 19.30 m 로 가정하겠다.

3. 설계선의 L, B, D 결정

3.1. 화물 구획 배치 및 컨테이너 배치

5번 화물 구획의 20ft bay 배치는 실적선에서 종종 볼 수 있는 배치이지만 cell guide 등의 설치 등의 문제로 현재 조선소에서 사용하지 않는 배치이다.⁵ 따라서 화물 구획의 배치를 아래 그림의 과정에 따라 재배치하였다.



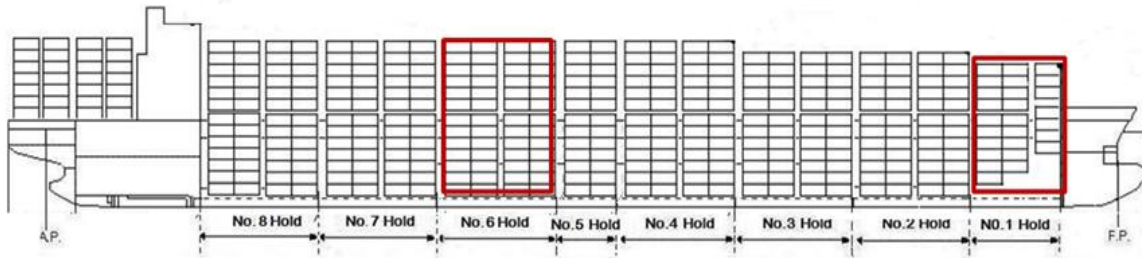
<초기 선정한 화물 구획 배치>

20ft bay를 1번 화물 구획으로 배치하는 것을 고려하였으나 컨테이너수가 현저히 작아졌다. 5번 화물 구획에서는 20ft bay 1개에 153 컨테이너 수를 보유할 수 있었으나 1번 화물 구획으로 이동시킬 경우 최대 70개의 컨테이너 공간을 확보할 수밖에 없어서 현재 상태에서 5번 화물 구획에 20ft bay를 1개 추가하여 하나의 화물 구획을 추가하고 LOA의 요구 조건을 만족하기 위해 1번 화물 구획의 20ft bay 1개를 제거하였다.



<기준선을 바탕으로 화물 구획의 재배치>

⁵ 박광필 조교님 조언 참고.



<4,200 TEU Container 화물 구획 배치 확정>

기준선의 컨테이너 수(TEU)	3,739 ⁶	
설계선의 컨테이너 수(TEU)	Abt 4,200	
설계선과 기준선의 차이	Abt 471	
확장 방안	B의 확장	파나막스 급으로 가정하였으므로 확장 불가능
	D의 확장	파나막스 급으로 가정하였으므로 확장 불가능
	L의 확장	설계선의 LOA는 270~275 m 의 값을 가져야 하므로 기준선의 LOA 257.368 m와 비교했을 때 최대 18m의 확장을 통해 컨테이너 추가 배치를 할 수 있다.
	No. 6 화물 구획 추가	- 기준선의 5번 화물 구획에서 선미 쪽으로 6번 화물 구획의 설치 - 40ft bay 2개 추가 확보 - 20ft 1 bay 당 153 TEU추가 - 총 4*153 = 612 TEU 추가
	No. 1화물 구획 수정	- LOA 요구 조건을 만족하기 20ft 1 bay 제거 - 241(기준선에서 1번화물 구획 컨테이너 수) - 160(설계선에서 1번 화물 구획 컨테이너 수) = 81 TEU 제거
	No. 57 bay	- G/A에서 잘 드러나지 않는 10TEU 제거
설계선의 컨테이너 수 (대략적인 추정 수)	(=3,739+609-93)	

⁶ 3700TEU G/A 에서 on deck 컨테이너 수는 2164 TEU 만을 확인할 수 있다. 하지만 자세히 살펴본 결과 57 번 bay 의 80 tier 에 숨겨진 10TEU 존재함을 확인하였음.

3.2. LBP의 확정

기준선의 No.6 화물 구획 확장			
	20ft bay	40ft bay	길이(m)
기준선	0	0	0
설계선	-	2	$12.64 \text{ m} \times 2 + 2 \times \text{Cell Guide}(1.8\text{m}) = 28.48 \text{ m}$
추가된 길이	+28.48 m		
기준선의 No.1 화물 구획 축소			
	20ft bay	40ft bay	길이(m)
기준선	-	2	28.48 m
설계선	1	1	$12.64 \text{ m} \times 1 + 2 \times \text{Cell Guide}(1.8\text{m}) + 12.64 \text{ m} \times 1/2^7 = 22.16 \text{ m}$
추가된 길이	-6.32 m		
Crane 유무			
기준선	3		$3 \times 3.4 = 10.2 \text{ m}$
설계선	0		0 m
감소된 길이	-5.4m ⁸		
선수 구획 길이 축소			
감소된 길이	-0.12 m		
전체 늘어난 길이	+16.64 m		
설계선의 LBP	261.88 m (= 245.24+16.64)		
설계선의 LOA	273.88 m ⁹		

⁷ G/A 상에 40ft 1 bay 의 길이가 12.64m 이므로 20ft 1bay 를 설치하기 위해서는 12.64 m 의 1/2 에 해당하는 6.32m 공간 할당

⁸ 10.2 m 가 아니라 5.4m 이다. 그 이유는 각 crane 이 차지하는 3.4 m 중 1.6 m 는 Cell Guide 를 위한 공간에 할당하고 1.8 m 만 감소하는 셈이므로 $1.8 \times 3 = 5.4 \text{ m}$ 가 감소하게 되는 것이다.

⁹ LBP 에 A.P 후방의 Transom 까지의 길이(5m)와 F.P. 전방의 bulwalk 까지의 거리(7m)와의 합. 설계요구 LOA 조건인 270~275m 를 만족함

3.3. 구획 길이 결정

항목	Frame				구획(m)			설명	
	시작	종료	수량	Frame 간격	시작점	종료점	길이		
선미구획	0	14	14	0.800	0	11.2	11.2	A.P~선미격벽	
선실	14	52	38	0.800	11.20	41.6	30.4		
기관구획	14	52	38	0.800	11.20	41.6	30.4	E/R	
화물구획	NO.8	52	88	36	0.797	41.60	70.28	28.68	E/R 격벽까지의 거리 1.8m 포함
	NO.7	88	124	36	0.791	70.28	98.76	28.48	
	NO.6	124	160	36	0.791	98.76	127.24	28.48	추가된 화물구획 40ft bay 2 추가
	NO.5	160	178	18	0.791	127.24	141.48	14.24	40ft bay 1
	NO.4	178	214	36	0.791	141.48	169.96	28.48	
	NO.3	214	250	36	0.791	169.96	198.44	28.48	
	NO.2	250	286	36	0.791	198.44	226.92	28.48	
	NO.1	286	314	28	0.791	226.92	249.08	22.16	
선수구획	314	330	16	0.800	249.08	261.88	12.8	선수격벽~F.P	
TOTAL FRAME	330			0.794	LBP		261.88		

3.4. 주요 치수 결정

설계선 주요 항목	치수(m)
LBP	261.88
LOA	273.88
B mld	32.20
D mld	19.30

4. Cb 및 NCR의 1차 추정

4.1. Cb 추정을 위한 가정

속도	NCR에서의 속도(at scantling draft)
T	-Cadm 을 구하기 위해서는 만재배수량과 선속이 요구되는데 이 두 값은 어떤 흘수에서의 값으로 추정하겠다. scantling 상태에서의 흘수(Tscan = 12.0 m)로 가정하겠다. -기준선의 흘수도 scantling 상태인 12.5m 에서의 값들을 사용하겠다.
Cb	-기준선에서 T=12.5 m에서의 Cb 선형 보간하여 구함 (Hydrostatic Table에서는 draft 에 keel plate 두께가 포함되어 있으므로 11.525m 에서 추정) -설계선의 Cb 는 기준선과 같다고 가정
1+a	-기준선에서 구한 1+a 는 설계선과 같다고 가정
만재배수량	-기준선은 T=12.5 m에서 만재배수량(Hydrostatic Table 참고) -설계선은 우선 형 배수량을 구한 뒤 1+a 의 값을 곱하여 만재배수량 추정
L, B, T	설계선의 경우 흘수 12.0 m 는 설계 만재 흘수 11.0 m 와 크게 차이가 없으므로 T des 에서의 LBP, B mld, Tmld 사용

4.2. Cb 추정

선형보간			
draft	disp.mld	disp.ext	Cb
12.5	65070.5	66927.6	0.6605
12.525	65237.9	67099.55	0.6609
12.55	65405.3	67271.5	0.6613

기준선의 Hydrostatic Table의 값을 선형 보간하여 Cb 는 0.6609가 됨을 알 수 있다. 이 값을 설계선의 scantling draft에서의 Cb 의 값과 같다고 가정하겠다.

4.3. 설계선의 NCR 추정(위의 표 참고)

① 기준선의 T=12.5 m에서 1+a

형 배수량 및 전체 배수량은 Hydrostatic Table에서 선형 보간하여 구함

$$\begin{aligned}(\Delta_{mld})_b &= \rho \cdot L_b \cdot B_b \cdot T_b \\(\Delta_{ext})_b &= (\Delta_{mld})_b \cdot (1 + \alpha) \\67100 &= 66869 \times (1 + \alpha) \\1 + \alpha &= \frac{67100}{66869} = 1.00345\end{aligned}$$

② 설계선의 T=12.0 m에서 만재 배수량

설계선의 1+a는 기준선과 같다고 가정

$$\begin{aligned}\Delta_{mld} &= LBP \cdot B_{mld} \cdot T_{mld} \cdot C_B \cdot \rho \\&= 261.88 \times 32.2 \times 12 \times 0.6609 \times 1.025 \\&= 68,549(ton) \\ \Delta_{ext} &= LBP \cdot B_{mld} \cdot T_{mld} \cdot C_B \cdot (1 + \alpha) \\&= \Delta_{mld} \cdot 1.00345 \\&= 68,785(ton)\end{aligned}$$

③ Cadm 을 이용하여 설계선의 NCR추정

기준선의 전체 배수량(at T=12.5m) : 67,100 ton

기준선의 속도(at T=12.5m) : 22.08 knots

$$\begin{aligned}(C_{adm})_{기준선} &= \left(\frac{\Delta_{기준선}^{\frac{2}{3}} \cdot V_{기준선}^3}{NCR_{기준선}} \right) \\&= \frac{67100^{2/3} \times 22.08^3}{34710} \\&= 512.1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(C_{adm})_{설계선} &= (C_{adm})_{기준선} \\ \therefore NCR_{설계선} &= \frac{(\Delta_{설계선}^{2/3} \cdot V_{설계선}^3)}{(C_{adm})_{설계선}} \\&= \frac{68785^{2/3} \cdot 22.3^3}{512.1} \\&= 36,354(PS)\end{aligned}$$

Cadm를 이용하여 NCR 추정					
3700TEU	T(M)	Vs(knots)	disp.ext	NCR	Cadm
	12.5	22.08	67099.55	34710	512.101
4200TEU	T(M)	Vs(knots)			
	12	22.3	68785.1735	36354.27	512.101

④ 주 기관 선정

주기관1차 추정						
	NCR	MCR	MCR/NCR	Engine Margin	NMCR	엔진
기준선	34710	38570	1.1112	0.1112	38570	7RTA84C
설계선	39030.53	43371.0001		0.1112	44080	8RTA84C

기준선의 MCR에서 NCR을 나누어 주면, 기준선의 주 기관의 Engine Margin을 구할 수 있다. 이제 위에서 구한 설계선의 NCR과 기준선의 Engine Margin값으로 설계선의 MCR을 추정한다.

$$Engine\ Margin_{설계선} = Engine\ Margin_{기준선} = \left(\frac{MCR}{NCR}\right)_{기준선} - 1 = 0.1112$$

$$\begin{aligned} MCR_{설계선} &= NCR_{설계선} \times (1 + Engine\ Margin)_{설계선} \\ &= 39030.53(PS) \times 1.1112 \\ &= 43371.0001(PS) \end{aligned}$$

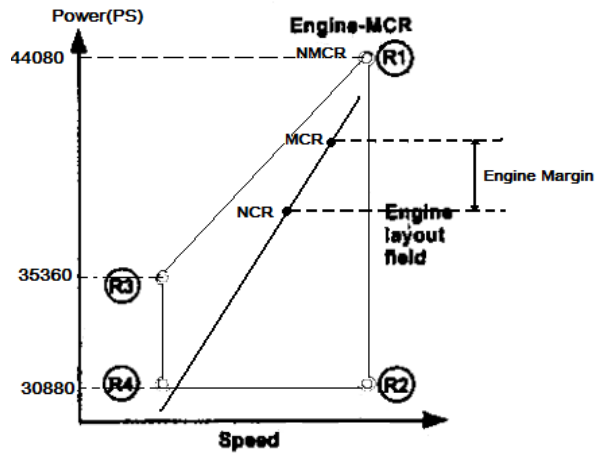
이렇게 구한 NCR과 MCR은 기준선의 주 기관의 NMCR(38570PS)¹⁰ 보다 크므로 설계선의 주 기관은 새로 선정해 줄 필요가 있다. 기준선의 자료 중 엔진 카탈로그에서 위의 설계선의 NCR과 MCR이 모두 포함되어 있는 엔진의 NMCR을 구하면, 44980 PS로 추정할 수 있다.

¹⁰ 기준선의 경우, MCR을 NMCR과 같다고 하고, 주 기관을 선정하였다.

(SULZER-8RTA84C)

Rated power Propulsion Engines								
Cyl.	Output in kW/bhp at							
	102 rpm				82 rpm			
	R1		R2		R3		R4	
	kW	bhp	kW	bhp	kW	bhp	kW	bhp
6	24 300	33 060	17 040	23 160	19 500	26 520	17 040	23 160
7	28 350	38 570	19 880	27 020	22 750	30 940	19 880	27 020
8	32 400	44 080	22 720	30 880	26 000	35 360	22 720	30 880
9	36 450	49 590	25 560	34 740	29 250	39 780	25 560	34 740
10	40 500	55 100	28 400	38 600	32 500	44 200	28 400	38 600
11	44 550	60 610	31 240	42 460	35 750	48 620	31 240	42 460
12	48 600	66 120	34 080	46 320	39 000	53 040	34 080	46 320

NMCR

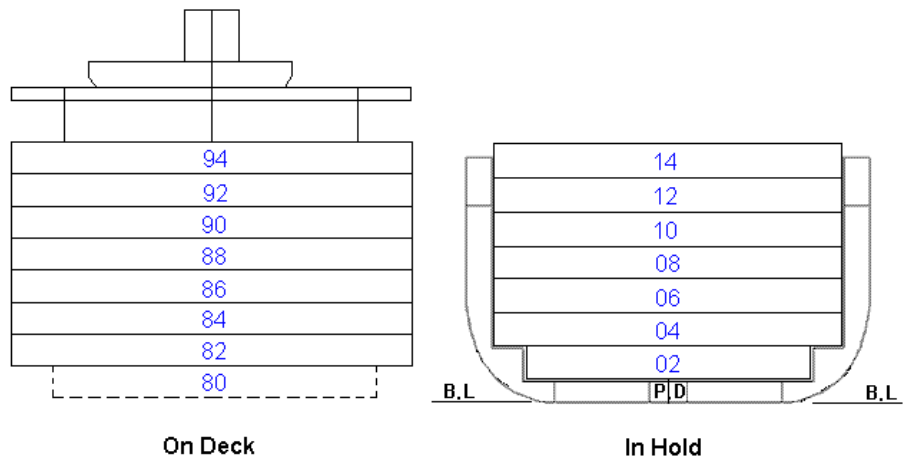


1.1. 4,200 TEU In Hold 컨테이너 배치

화물 구획	Container 배치	Container 수
No. 1 container hold	3 bays, 4 ~6tiers	45
No. 2 container hold	4 bays, 6 tiers	182
No. 3 container hold	4 bays, 6 tiers	270
No. 4 container hold	4 bays, 6 tiers	300
No. 5 container hold	2 bays, 6 tiers	150
No. 6 container hold	4 bays, 6 tiers	300
No. 7 container hold	4 bays, 6 tiers	296
No. 8 container hold	4 bays, 6 tiers	260
TOTAL	1,803TEU	

1.2. 4,200 TEU On Deck 컨테이너 배치

화물 구획	Container 배치	Container 수
No. 1 container hold	3 bays, 3 ~ 4tiers	115
No. 2 container hold	4 bays, 5 tiers	260
No. 3 container hold	4 bays, 5 tiers	260
No. 4 container hold	4 bays, 6 tiers	312
No. 5 container hold	2 bays, 6 tiers	156
No. 6 container hold	4 bays, 6 tiers	312
No. 7 container hold	4 bays, 6 tiers	312
No. 8 container hold	4 bays, 6 tiers	312
No. 59 ~ 65 Bay	4 bays, 7 tiers	356
TOTAL	2,395 TEU	



<설계선의 Tier Number¹¹>

¹¹ 창의적 선박 설계 강의 자료, “1 조 최종보고서” 참고

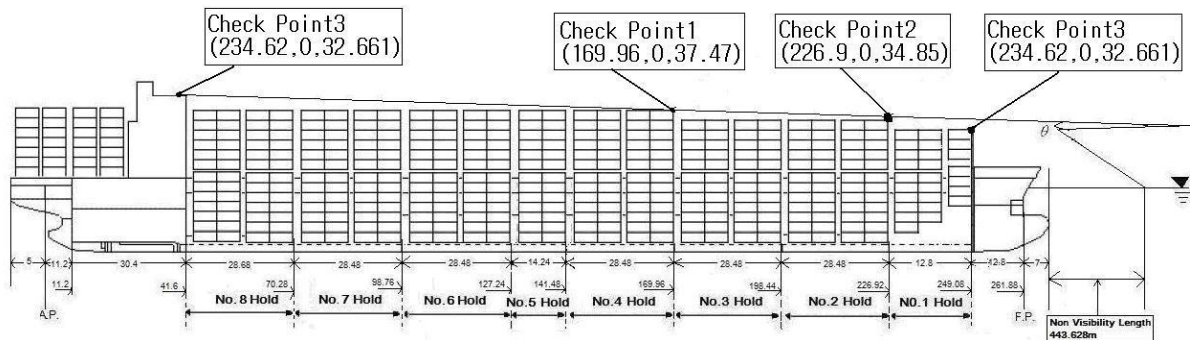
2. Visibility 검토

2.1. 기준선의 분석

선박의 안전 운항을 위해서는 선수재 끝에서부터 선박의 앞 방향으로 최소한 어느 지점부터 수면을 볼 수 있어야 하는지 규정하고 있다. 즉, 선수재 끝부분에서부터 볼 수 없는 거리를 사각거리(Blind Zone)¹² 라 하고, 각 선급 규정에 따라 조건이 주어진다.

선급	Rule
IMO A708	배의 길이(LOA)의 2배와 500m 중 작은 값
DnV	배의 길이(LOA)의 2배와 500m 중 작은 값 (시야 높이: 조타실 갑판상 1.8m)
LR	배의 길이(LOA)의 2배와 500m 중 작은 값

설계선의 LOA는 273.88m로서 그 두 배의 값은 547.76m가 된다. 이는 500m보다 크므로 Rule에 따라 500m를 사각거리의 한계치로 둔다.



¹² 사각거리: 선수재의 Bulwark 상단 끝에서부터 선박의 전방으로 해수면이 보이지 않는 곳까지의 거리

2.2. 사각 거리 계산

위 도면은 가시 거리 검토 및 화물창 배치에 대한 자료로서, View Point 설정은 SOLAS 규정 (Chapter V, Reg. 22)에 따라 전방 벽으로부터 0.75m 떨어져 있고, Navigation Bridge로부터 위로 1.8m떨어진 곳으로 한다.

View Point의 좌표 계산

-X좌표: 41.6 m(기관구획까지의 거리) - 0.75 m \approx 40.0 m

(X좌표는 F.P를 기준으로 한 값이다.)

-Y좌표: 0 m(Symmetry)

-Z좌표: 19.3m(Dmld) + 0.15(Deck 두께) + 3.05(선실 한 층의 높이)*7 + 1.8 + 0.15*7 = 43.65m¹³

다음으로 Check Point를 구한다. Check Point가 될 수 있는 지점은 위에 표시한 곳으로 두었다

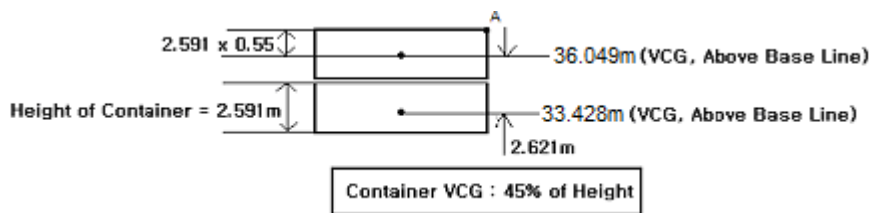
⊙ Check Point1의 좌표 계산

X좌표: 169.96m (F.P.~화물창 4번)

Y좌표: 0 (Symmetry)

Z좌표: 36.049m(4F, 6Tier) + 2.591m*0.55 = 37.47405m

(Check Point의 Z좌표는 기준선(3,700TEU 컨테이너선)의 Trim & Stability 계산서(p. 66)의 컨테이너 Tier 별 V.C.G 정보를 이용하여 계산하였으며, 이는 기선(Base Line)으로부터 3A, 6Tier에 위치한 컨테이너의 45%높이에 해당되므로, 나머지 55%높이를 고려한다.)



⊙ Check Point1과 View Point의 좌표를 이용한 θ 값 계산

이제 Check Point1과 View Point의 좌표를 이용하여 θ 를 구하면 다음과 같다.

$$\theta = \arctan\left(\frac{43.65 - 37.474}{169.96 - 40}\right) = 0.0475$$

¹³ 기준선의 View Point의 Z좌표에 0.15*7을 더해준 까닭은 Check Point에서 Visibility Line이 걸리게 되어 구할 수 없기 때문이다. 이에 우리 3조는 Accommodation의 높이를 0.15m씩 증가시켜 주었다.

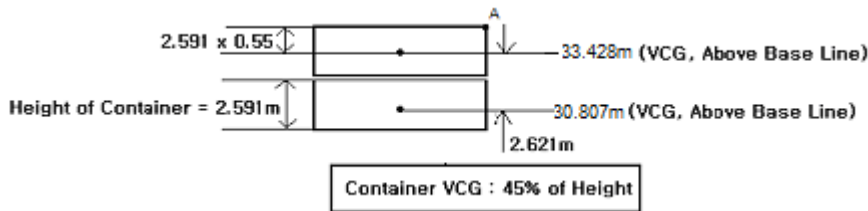
⊙ Check Point2 의 좌표 계산

X좌표: 226.92m (F.P.~화물창 2번)

Y좌표: 0 (Symmetry)

Z좌표: 33.428m (2F, 5Tier) + 2.591m*0.55 = 34.853m

(Check Point의 Z좌표는 기준선(3,700TEU 컨테이너선)의 Trim & Stability 계산서(p. 66)의 컨테이너 Tier 별 V.C.G 정보를 이용하여 계산하였으며, 이는 기선(Base Line)으로부터 1A, 5Tier에 위치한 컨테이너의 45%높이에 해당되므로, 나머지 55%높이를 고려한다.)



⊙ Check Point1과 View Point의 좌표를 이용한 θ 값 계산

이제 Check Point1과 View Point의 좌표를 이용하여 θ 를 구하면 다음과 같다.

$$\theta = \arctan\left(\frac{43.65 - 34.853}{226.92 - 40}\right) = 0.0470$$

⊙ Check Point3 의 좌표 계산

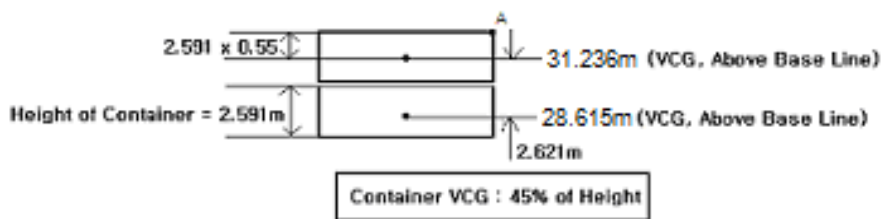
X좌표: 229.62m(F.P.~화물창 1번) + 1.6m(Lasing Bridge) + 6.096m(20ft 1bay)

= 234.62 m

Y좌표: 0 (Symmetry)

Z좌표: 31.236(1F, 3Tier) + 2.591*0.55 = 32.661

(Check Point의 Z좌표는 기준선(3,700TEU 컨테이너선)의 Trim & Stability 계산서(p. 66)의 컨테이너 Tier 별 V.C.G 정보를 이용하여 계산하였으며, 이는 기선(Base Line)으로부터 1F, 3Tier에 위치한 컨테이너의 45%높이에 해당되므로, 나머지 55%높이를 고려한다.)



⊙ Check Point1과 View Point의 좌표를 이용한 θ 값 계산

이제 Check Point1과 View Point의 좌표를 이용하여 θ 를 구하면 다음과 같다.

$$\theta = \arctan\left(\frac{43.65 - 32.661}{234.62 - 40}\right) = 0.0564$$

◎ Check Point 결정 및 Non Visibility Length 계산

Check Point: CheckPoint1(View Point와의 θ 값이 가장 작다)

Non Visibility Length:

$$\begin{aligned} \text{Non Visibility Length} &= \frac{(\text{Check Point2의 } Z\text{좌표} - T_s)}{\tan \theta} - (\text{LBP} + 7 - \text{CheckPoint2의 } X\text{좌표}) \\ &= \frac{34.853 - 12}{\tan 0.047} - (261.88 - 226.92) \\ &= 443.6278578(m) \end{aligned}$$

위에서 계산한 바와 같이 사각거리 값은 약 443.63m로서 500m보다 작은 값을 가지므로, IMO RULE을 만족함을 보여준다. 따라서 설계선(4200TEU)의 가시거리는 확보될 수 있다.

◎ Check Point 결정에 대한 검증

View Point와의 θ 값이 가장 작은 것을 Check Point로 취함으로써, Check Point2로서 결정을 하였다. 이 때, 선정한 Check Point2가 과연 적합한지 알아보기 위해서, View Point와 Check Point2를 이은 직선이 다른 Check Point에서 겹치는지 확인해야 한다.

따라서 A.P.와 Base Line의 교점을 (0,0)으로 보고, View Point와 Check Point2를 지나는 직선의 방정식을 구한 뒤, 각 Check Point의 X좌표에 해당하는 높이를 계산한 뒤, 각 Check Point의 Z좌표와 비교해 본다.

▶ Check Point1에서의 높이 계산

CheckPoint1에서의 높이

$$= (\text{Check Point2의 } Z\text{좌표}) - \tan \theta \times (\text{CheckPoint1의 } X\text{좌표} - \text{CheckPoint2의 } X\text{좌표})$$

$$= 34.853 - \tan(0.047) \times (169.96 - 226.92) = 37.5$$

이는 Check Point1에서의 Z좌표인 37.474보다 크므로, Visibility Line이 Check Point1에서 가려지지 않음을 알 수 있다.

▶ Check Point3에서의 높이 계산

CheckPoint3에서의 높이

$$= (\text{Check Point2의 Z좌표}) - \tan \theta \times (\text{CheckPoint3의 X좌표} - \text{CheckPoint2의 X좌표})$$

$$= 34.853 - \tan(0.047) \times (234.62 - 226.92) = 34.49$$

이는 Check Point3에서의 Z좌표인 32.661보다 크므로, Visibility Line이 Check Point3에서 가려지지 않음을 알 수 있다.

IV. 배수량 추정

1. 3,700 TEU 기준선 분석

1.1. 경하중량 목록

3,700TEU 컨테이너선 기준선의 경하중량 목록은 다음과 같다.

표 1 3,700TEU 컨테이너선의 경하중량 목록

NO	AFP END [m]	FORE END [m]	WEIGHT [TON]	LCG [m]
1	-5.00	14.35	616.00	7.00
2	14.35	43.40	1387.10	31.40
3	43.40	232.32	7591.50	128.62
4	232.32	252.24	732.30	239.28
5	27.20	41.60	476.40	35.80
6	0.00	254.24	30.00	122.62
7	43.40	232.32	340.00	134.20
8	-3.60	232.32	119.00	114.40
9	-3.40	2.40	151.90	0.00
10	0.00	252.24	224.00	120.00
11	202.24	232.32	137.90	217.00
12	43.40	202.24	1053.00	121.70
13	143.28	146.68	55.00	144.98
14	70.48	73.88	55.00	72.18
15	14.35	232.32	115.90	114.36
16	-3.60	232.32	128.00	114.36
17	232.32	245.24	118.30	238.60
18	3.60	170.00	3.00	81.00
19	-5.00	4.00	50.00	-0.50
20	29.00	41.60	15.50	37.10
21	-3.50	4.00	19.20	0.00
22	4.00	11.20	34.30	7.60
23	41.60	173.90	62.50	105.76
24	226.16	232.32	20.40	229.24
25	239.00	243.00	5.40	241.00
26	11.20	232.32	39.20	121.70
27	11.20	232.32	191.30	121.70
28	27.20	41.60	214.50	36.00

29	23.23	37.60	979.00	30.40
30	11.20	41.60	289.50	22.00
31	5.00	23.23	111.30	11.20
32	12.00	41.60	150.70	28.00
33	11.20	41.60	157.60	28.00
34	11.20	41.60	95.90	28.00
35	11.20	218.48	165.00	114.23
36	27.20	41.60	8.50	36.00
37	11.20	41.60	32.00	30.00
38	27.20	14.60	4.30	36.00
39	27.20	41.60	5.70	36.00

위의 표를 보면 길이의 기준이 선미에서 선수 쪽이다. 각 항목이 어느 부분을 나타내는 지에 대해서 분석해 보았다. 그런데 각각이 무엇을 의미하는지 정확히 명시되어있지 않으므로 각 항목을 설계도면을 통해서 추정해 보았다.

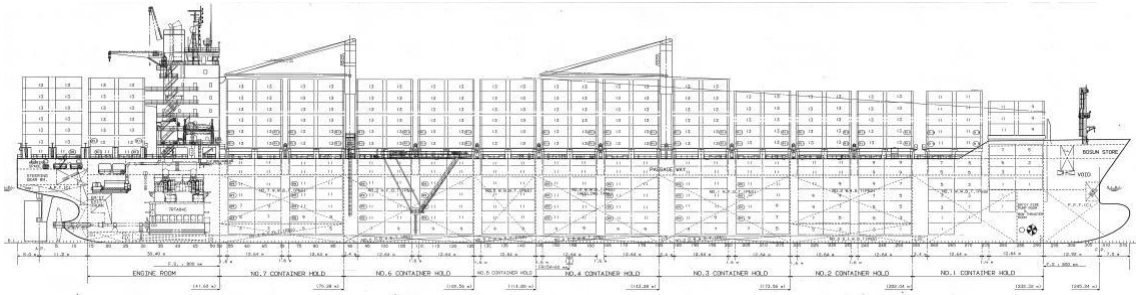
◆ LCG (Longitudinal Center of Gravity)

LCG 값을 구하기 위해서는 물리학에서 배운 질량 중심을 알아야 한다.

$$x_{CM} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i x_i$$

이 질량 중심을 2차원적으로 생각하면 면적 1차 모멘트(moment)로 변환시켜 생각할 수 있고 3차원적으로는 면적 1차 모멘트 또는 용적 1차 모멘트(moment)로 생각할 수 있다. 즉 표 항목에 있는 LCG는 각 section별로 종 방향 질량 중심이다.

1.2. 항목별 추정



<3700TEU Profile>

각 section의 위치는 위의 Profile을 보고 정확히 알 수 있다. 선박 아래쪽에 있는 F.S(Framing Space)가 800mm 단위로 촘촘히 배치되어 있어 경하중량 목록에 있는 각 section을 알 수 있다. 더불어 아래 Plan을 통해서 더 세부적인 정보를 알 수 있다.

① 선각 중량

NO	설명
NO.1 ~ NO.4	NO.1 ~NO.4를 보면 -5.00m에서 252.24m까지로 선박 전체(LOA)의 길이임을 알 수 있다. NO.1는 -5.00m에서 14.35m까지의 길이로 선미 부, NO.2는 14.35m에서 43.40m까지의 길이로 기관실, NO.3은 43.40m에서 232.32m까지의 길이로 화물구역이다. 마지막으로 253.32m에서 252.24m까지의 길이는 선수 부이다. NO.1에서 NO.4까지 더하면 1032.9ton으로 전체 경하 중량의 무게인 15998.1ton보다 훨씬 적음을 알 수 있다. 이를 통해서 이 항목은 LOA에 걸쳐서 Hull의 주요 선각중량임을 알 수 있다.
NO.5	NO.5는 27.20m에서 41.60m까지의 길이로 설계도에서 보면 Accommodation 구간과 일치 함을 알 수 있다. 이를 통해 이 부분이 Accommodation의 선각중량임을 알 수 있다.
NO.35	NO.35는 11.2m에서 218.48m까지의 길이로 항목 배치 자체는 기관 중량일 것이라고 여겨지지만, 그 길이가 기관실을 훨씬 벗어나고, 중량도 꽤 많이 차지하기 때문에 선각중량이라고 추정하였다. 위에서 특별히 갑판의 무게에 대한 언급이 없으므로 이를 갑판의 선각 무게로 추정하였다.

② 의장중량

NO	설명
NO.6	NO.6은 0.00m에서 245.24m까지의 길이로 LBP전체 길이임을 알 수 있다. 그런데 실제 무게를 보면 30ton 밖에 안 된다. 이를 통해서 NO.6은 LBP구간에서 작은 규모의 의장중량임을 알 수 있다.
NO.7	NO.7은 43.4m에서 232.32m까지의 길이로 NO.3과 마찬가지로 화물구역이다. 그런데 NO.3은 7591.50ton이고 NO.7은 340.00ton이므로 훨씬 작으므로 NO.7은 선각이 아닌 Cell Guide(컨테이너가 움직이지 못하도록 고정해주는 장치)등의 의장중량임을 알 수 있다.
NO.8	NO.8은 -3.60m에서 232.32m까지의 길이로 설계도면을 보면 갑판 위의 컨테이너를 배치하는 구간과 일치한다. 이를 통해서 NO.8은 NO.7과 마찬가지로 갑판 위의 컨테이너 박스를 고정시키는 의장의 무게임을 알 수 있다.
NO.9	NO.9는 -3.4m에서 2.4m까지의 길이로 rudder의 길이와 일치한다. 이를 통해서 이는 rudder의 무게임을 알 수 있다.
NO.10	NO.10은 0.00m에서 252.24m까지의 길이로 A.P부터 선박 끝의 길이이다. 역시 작은 무게로 봐서 의장무게임을 추정할 수 있겠다.
NO.11	NO.11은 202.24m에서 232.32m까지의 길이로 NO.1 Container hold와 일치한다. 보통 선수 쪽에 있는 Container hold에는 Green water(물이 선박 안 갑판으로 넘치는 현상)등의 영향으로부터 대비하기 위해 다른 부분 보다는 강한 hatch cover를 설치하므로 이 무게임을 추정할 수 있다.
NO.12	NO.12는 43.4m에서 202.24까지의 길이로 설계도에서 보면 NO.2 ~NO.7 Container Hold에 해당되는 부분이다. 역시 NO.11에서 추정된 것과 마찬가지로 hatch 커버임을 추정할 수 있겠다.
NO.13 ~ NO.14	NO.13과 NO.14를 설계도에서 보면 각각 Crane의 위치에 일치함을 알 수 있다. 그리고 서로의 무게가 동일하므로 Crane의 무게임을 알 수 있다.
NO.15 ~ NO.16	NO.15, NO.16는 선박의 거의 전체 길이를 포괄하면서도 적은 무게를 차지하므로 이 둘도 각각 의장무게임을 알 수 있다.
NO.17	NO.17은 232.32m에서 245.24m까지의 길이로 선수부에 해당된다. 이를 통해서 계류장비와 같은 의장중량임을 추정할 수 있다.
NO.18	NO.18은 매우 긴 구간임에도 3ton으로 매우 작은 것으로 봐서 작은 의장임을 추정할 수 있겠다.
NO.19	NO.19는 -5.0m에서 4.0m까지의 길이로 설계도면에서 Steering gear room의 길이와 일치한다. 그러므로 NO.19는 조타장치와 관련된 의장품의 무게임을 알 수 있다.
NO.20	NO.20은 29.0m에서 41.6m까지의 길이로 위의 accommodation의 무게를 나타내는 NO.5 와 비슷하다. 그런데 NO.5보다 조금 작다. 설계도면에서 보

	면 상층 선실은 아래쪽 accommodation보다 작음을 알 수 있다. 이를 통해서 NO.20은 상층 선실과 관련된 의장무게 임을 알 수 있다.
NO.21	NO.21은 -3.5m에서 4.0m까지의 길이로 위의 rudder의 무게를 나타내는 NO.9와 연관되어 있음을 알 수 있다. 그런데 NO.9보다는 크므로 rudder를 고정하고 설치하는데 필요한 의장 중량 임을 알 수 있다.
NO.22	NO.22는 4.0m에서 11.2m까지의 길이로 설계를 보면 CO2 room과 일치함을 알 수 있다. 이를 통해서 CO2 room과 관련된 의장 중량 임을 알 수 있다.
NO.23	NO.23은 41.6m에서 173.9m까지의 길이로 설계를 보면 NO.3에서 NO.7 container hold와 일치한다. 이를 통해서 NO.3에서 NO.7 container hold에 들어가는 의장중량 임을 추정할 수 있겠다.
NO.24	NO.24는 226.15m에서 232.32m까지의 길이로 도면에서 보면 Pump 및 bow thruster room이 있는 곳과 일치함을 알 수 있다. 이를 통해 NO.24는 이들과 관련된 의장 중량 임을 알 수 있다.
NO.25	NO.25는 239.0m에서 243.0m까지의 길이로 선수에 있는 mast의 위치에 일치한다. 이를 통해서 mast의 무게를 나타내는 의장 중량 임을 알 수 있다.
NO.26 ~ NO.27	NO.26과 NO.27 모두 길이가 11.2m에서 232.32m까지의 길이로 같다. 설계를 보면 이 두 구간은 기관실 및 화물 구역에 해당한다. 이를 통해서 기관실과 화물 구역에 들어가는 의장 중량 임을 추정할 수 있다.
NO.28	NO.28은 27.2m에서 41.6m까지의 길이로 NO.5의 구간과 일치한다. 이 구간은 설계를 보면 accommodation구간과 일치하므로 NO.28은 accommodation에 들어가는 의장의 중량 임을 알 추정할 수 있다.

③ 기관중량

NO	설명
NO.29	NO.29는 23.23m에서 37.6m까지의 길이로 설계도에서 main engine이 있는 위치와 일치한다. 이를 통해서 NO.29는 main engine의 무게임을 알 수 있다. 실제로 이 선박의 main engine은 Sulzer 7RTA84C로 중량이 960ton인데 NO.29의 중량인 979ton과 거의 일치한다.
NO.30	NO.30은 11.2m에서 41.6m까지의 길이로 설계도에서 보면 기관실의 위치와 일치한다. 그런데 LCG가 22m로 비교적 선미쪽에 위치한다. 이를 통해서 기관실 뒤쪽에 배치된 Diesel Generator와 같은 기관중량으로 추정할 수 있다.
NO.31	NO.31은 5.0m에서 23.23m까지의 길이로 프로펠러에서 기관실까지의 구간에 해당된다. 이를 통해서 NO.31은 Propeller Shaft에 해당하는 구간으로 Reduction gear 등과 같은 Shaft의 무게임을 추정할 수 있다.
NO.32, NO.33, NO.34	NO.32, NO.33, NO.34는 길이가 모두 11.2m에서 41.6m까지의 길이로 모두 일치한다. 그리고 LCG까지 일치한다. 정확히 어떤 기관인지는 알 수 없지만, NO.30과 같이 기관실의 위치와 일치하는 기관실에 있는 기관 중량임을 추정할 수 있다. LCG를 보면 약간 중간에서 선수쪽으로 치우쳐 있는데 이를 통해서 main engine 주위의 기관의 중량임을 추정할 수 있다.
NO.36, NO.38, NO.39	NO.36과 NO.38, NO.39는 27.2m에서 41.6m까지의 길이로 선박의 accommodation과 일치한다. 그리고 무게 또한 10ton이 훨씬 안될 정도로 매우 작다. 이를 통해서 accommodation에 있는 전기설비 등과 같은 기관 중량임을 추정할 수 있다.
NO.37	NO.37은 11.2m에서 41.6m까지의 길이로 NO.32, NO.33, NO.34의 구간과 일치한다. 그런데 앞의 세 구간보다 LCG가 뒤쪽으로 더 치우쳐 있다. 이를 통해 main engine 주변의 기관 중량임을 알 수 있다.

위에서 각 section을 선각중량, 의장중량, 기관중량으로 나누어 보았다. 이들이 차지하는 비율은 아래와 같다.

표 2 3,700TEU 컨테이너선의 경하중량

항목	선각중량	의장중량	기관중량	경하중량
중량 [ton]	10,968.30	3,183.30	1,846.50	15,998.10
배율 [%]	68.56	19.90	11.5	100

2. 설계선 추정

2.1. 경하중량 추정

Light Weight LWT = 선각중량 W_s + 의장중량 W_0 + 기관중량 W_M

기준선(3,700TEU 컨테이너선)의 주요 치수와 경하중량 자료를 이용하여 설계선의 경하중량을 추정하기로 한다.

① 선각중량 추정

선각 중량은 크게 세 개의 DNV 식, LR 식, 경험 식을 이용하여 추정한다. 각 식은 다음과 같다.

◆ DNV 식

$$W_s = \left(\frac{L}{L_b}\right) \times \left(\frac{B}{B_b}\right) \times \left(\frac{D}{D_b}\right) \times \left(\frac{T}{T_b}\right) \times \left(\frac{C_B}{C_{Bb}}\right) \times W_{sb}$$

◆ LR 식

$$W_s = \left(\frac{L}{L_b}\right)^{1.13} \times \left(\frac{B}{B_b}\right)^{0.73} \times \left(\frac{D}{D_b}\right)^{0.4} \times W_{sb}$$

◆ 경험 식

$$W_s = \left(\frac{L}{L_b}\right)^{1.6} \times \left(\frac{B+D}{B_b+D_b}\right) \times W_{sb}$$

W_s : 설계선(4,200TEU 컨테이너선)의 선각중량

W_{sb} : 기준선(3,700TEU 컨테이너선)의 선각중량

L, B, D, T : 설계선의 주요치수

L_b, B_b, D_b, T_b : 기준선의 주요치수

여기서 사용한 방형계수는 scantling 상태에서의 방형계수이다. 그런데 아직 정확한 값을 알지 못하기 때문에 일단 기준선과 동일한 scantling 상태에서의 방형계수인 0.6609를 사용하기로 한다. 한다.

위의 DNV 식, LR 식, 경험식 이렇게 세 식을 구한 후 아래와 같이 평균을 내서 선각 중량을 추정한다.

$$W_s = \frac{W_{s_DNV} + W_{s_LR} + W_{s_경험식}}{3}$$

이를 구체적으로 계산하기 위한 주요 채원은 다음과 같다.

	설계선	기준선
LBP(m)	261.88	245.24
B(m)	32.2	32.2
D(m)	19.3	19.3
T(m)	12	12.5
Wsb(ton)		10968.3
Cb	0.6609	0.6609

위의 값들을 대입하여 나온 결과 값은 다음과 같다.

선각중량(ton)	
DNV 식	12154.55
LR 식	11812.91
경험식	12183.08
선각중량(평균)	12073.61 ton

② 의장 중량 추정

의장 중량이 선박의 길이와 폭의 곱에 비례한다는 아래의 경험식을 이용하여 의장중량을 추정하였다.

여기서 주의할 점은 우리의 설계선에는 기준선과는 다르게 crane 이 없다는 점이다. 그러므로 기준선의 의장중량은 crane의 무게를 제외한 값을 사용하기로 한다. 위의 경하중량 목록 표를 보면 crane의 무게는 55ton으로 2개있으므로 총 110ton을 제외하면 된다. 그러므로 기준선의 의장 중량은 3,073.3 ton이 된다.

◆ 의장 중량 추정 경험식

$$W_o = \frac{L}{L_b} \times \frac{B}{B_b} \times W_{ob}$$

W_o : 설계선의 의장중량

W_{ob} : 기준선의 의장중량

이 식을 이용하여 설계선의 의장중량을 구한 결과는 다음과 같다.

	기준선	설계선
LBP(m)	245.24	261.88
B(m)	32.2	32.2
Wo(ton)	3073.3	3281.8292

③ 기관 중량 추정

기관 중량 추정은 위에서 admiralty 계수를 이용하여 추정된 NMCR 44980KW을 이용하여 구한다.

기관의 중량은 NMCR에 비례한다는 경험 식을 이용하여 구한다.

<p>기관 중량 추정 경험 식</p> $W_M = \frac{NMCR}{NMCR_b} \times W_{Mb}$ <p>W_M : 설계선의 기관중량 W_{Mb} : 기준선의 기관중량 NMCR : 설계선의 마력(KW) NMCR_b : 기준선의 마력(KW)</p>

위의 식에 들어가는 값들은 다음과 같다.

	설계선	기준선
NMCR(KW)	44980	38570
Wmb(ton)		1846.5

이 값들을 이용해서 구한 기관 중량의 결과는 다음과 같다.

기관중량	2153.372 ton
------	--------------

④ 경하중량 추정

경하중량은 위에서 보다시피 다음과 같이 구한다.

$$\text{Light Weight LWT} = \text{선각중량 } W_s + \text{의장중량 } W_0 + \text{기관중량 } W_M$$

더불어 우리의 설계선은 기준선보다 accommodation의 한 층의 높이가 더 높다. 즉 원래 기준선의 accommodation 한 층의 높이는 3.05m 인데, 우리 설계선의 accommodation 한 층의 높이는 3.2m이다. 그러므로 기준선의 accommodation 총 높이는 24.4m가 되고, 설계선의 accommodation 은 25.6m가 된다. 위의 기준선의 경하중량 목록 표를 보면 accommodation의 선각 중량은 476.40ton이 된다. 선각중량이므로 단순히 높이에 비례하여 무게가 증가할 것이라고 가정하고 무게 증가 분을 구했다. 그 식은 아래와 같다.

설계선의 accommodation 선각중량

$$= \frac{\text{설계선 accommodation 높이}}{\text{기준선 accommodation 높이}} \times \text{기준선 accommodation 무게}$$
$$= 499.8295$$

이를 보면 499.8295ton 이 나오므로 증가분은 23.4295ton이 된다. 그러므로 최종 경하중량에는 23.4295ton을 추가해주기로 한다.

이를 용하여 구한 결과 값은 다음과 같다.

선각중량(ton)	12052.51
의장중량(ton)	3281.8292
기관중량(ton)	2153.372
증가분(ton)	23.4295
경하중량(accommodation 증가 고려)	17508.808 ton

2.2. 재화중량 추정

우리 기준선의 재화중량 요구 범위는 52000ton에서 54000ton이다. 위에서 경하중량은 17508.808로 구했으므로 경하중량과 재화중량을 합하면 배수량이 된다. 방형계수를 구하는 식은 아래와 같다.

$$C_b = \frac{\Delta}{Lbp \times B_{mld} \times T_s \times (1 + \alpha) \times 1.025}$$

재화중량이 52000ton에서 54000ton 범위에서 변할 때 방형계수 값은 다음과 같이 변한다. 여기서 appendage factor는 위에서 구한 scantling일 때의 값을 사용한다. 사용 재원은 다음과 같다.

경하중량(ton)	17,508.808
재화중량(ton)	52,000 ~ 54,000
배수량(ton)	69,508.808 ~ 71,508.808
LBP(m)	260.06
B(m)	32.2
T(m)	12
1+ α (Appendage Factor)	1.00345

위의 재원을 위의 방형계수를 구하는 식에 대입한 결과는 다음과 같다.

재화중량(ton)	배수량(ton)	방형계수
52,000	69,508.81	0.667852811
54,000	71,508.81	0.687069161

위의 표를 보면 방형계수가 약 0.66785에서 0.68707 정도로 변한다.

52,000ton과 54,000ton모두를 방형계수로 선택할 수 있겠지만 우리 조는 방형계수가 가장 작은 52,000ton을 선정하기로 하였다. 이는 유체역학적 측면에서 Cb값이 작을수록 좋기 때문이다. Cb값이 작을수록 저항을 그만큼 더 적게 받아서 선 속이 좋아지기 때문이다.¹⁴

재화 중량	52000 ton
-------	-----------

¹⁴ 강의자료 04.PrincipalDimension P.26 참고

2.3. 배수량 및 방형계수 계산

위에서는 기준선의 Scantling 상태에서의 방형계수를 이용하여 경하중량을 구해 보았다. 또한 재화중량으로 52000ton으로 정하였다. 위에서 구한 경하중량과 재화중량 및 총 배수량은 다음과 같다.

경하중량	17508.808 ton
재화중량	52000 ton
전체 배수량	69508.808 ton

방형계수를 구하는 공식은 다음과 같다.

$$C_b = \frac{\Delta}{Lbp \times B_{mld} \times T_s \times (1 + \alpha) \times 1.025}$$

각 항목에 필요한 값은 다음과 같다.

전체 배수량(ton)	69508.808
LBP(m)	261.88
B(m)	32.2
T(m)	12
1+ α (Appendage Factor)	1.00345

여기서 사용한 appendage factor는 앞에서 구한 Scantling Draft 상태일 때를 사용한다. 이를 식에 대입하여 구한 결과는 다음과 같다.

Scantling 상태에서의Cb값 추정(1차)	0.667853
---------------------------	----------

여기서 구한 방형계수를 이용하여 배수량을 다시 추정해 본다. 재화중량의 경우 52000ton으로 고정되어 있는 값이고, 경하중량만 변하게 된다. 그런데 경하중량에서도 방형계수가 들어가는 식은 선각중량에서 DNV식 뿐이다. 그러므로 방형계수의 변화는 선각중량의 변화만 가져온다. Scantling 상태에서의 방형계수를 반영한 경하중량 및 재화중량 그리고 총 배수량은 다음과 같다.

경하중량(2차 추정)	17516.02 ton
재화중량(일정)	52000 ton
배수량(2차 추정)	69516.02 ton

위에서 보면 배수량이 약 7.2144ton 정도 변했다. 이러한 변화는 방형계수에 또 변화를 가져오므로 변한 값으로 방형계수를 다시 추정하면 다음과 같다.

$$C_b = \frac{\Delta}{Lbp \times B_{mld} \times T_s \times (1 + \alpha) \times 1.025}$$

배수량(ton)	69516.02 ton
LBP(m)	261.88
B(m)	32.2
T(m)	12
1+ α (Appendage Factor)	1.00345

이를 구한 결과는 다음과 같다.

Scantling 상태에서의Cb값 추정(2차)	0.667922
---------------------------	----------

방형계수는 거의 동일함을 알 수 있다. 그러므로 최종적으로 결정된 경하중량과 방형계수는 다음과 같다.

경하중량(최종)	17516.02 ton
재화중량(일정)	52000 ton
배수량(최종)	69516.02 ton

이 배수량은 위의 1차 추정 값과 거의 동일하기 때문에 Cb값도 거의 동일하게 나온다. 그러므로 최종적으로 구한 결과 값은 다음과 같다.

Scantling 상태에서의Cb값 추정	0.667922
-----------------------	----------

V. Loadable Container

1. 설계선의 KB, BM 구하기

$$GM = KB + BM - KG$$

KB: 선박의 base line으로부터의 부력 중심까지의 거리

(=VCB: Vertical Center of Buoyancy)

BM: 깊이 방향 부력 중심으로부터 M(메타 센터까지의 거리)

KG: 선박의 base line으로부터 깊이 방향 중량 중심까지의 거리

(=VCG: Vertical Center of Gravity)

설계선의 KB, BM: T(scantling draft)= 12.0 m 에서의 추정 값, 화물의 최대 적재 상태에서의 GM을 추정하는 데 목적이 있다.

기준선의 KB, BM: 설계선의 scantling draft에서 KB, BM을 추정하므로 추정의 기준 값이 되는 기준선의 T(scantling draft)= 12.5 m 에서의 KB, BM값을 사용 (Hydrostatic Table에서는 12.525 m(Draft) 참고, Keel Plate 두께 포함되어 있으므로)

1.1. 설계선의 KB 추정

① 기준선의 KB (at T=12.5 m, draft=12.525 m)를 선형 보간의 방법으로 추정

선형 보간	
draft	VCB(m)
12.5	6.878
12.525	6.892
12.55	6.906

② 기준선의 KB 무 차원화

KB는 깊이 방향 부력 중심으로써 흘수 T 값이 증가할수록 커지는 경향을 보인다. (Hydrostatic Table p.155 참고)

Draft (m)	KB(=VCB, m)
12.45	6.850
12.5	6.878
12.55	6.906
12.60	6.936

T 값이 커지면 형 배수량이 증가하게 되고 그에 비례하여 KB 가 커짐을 알 수 있으므로 KB 를 흘수 T로 나누어 무 차원화하겠다. 그리고 단위는 KB, T모두 길이 L단위이므로 무 차원화에 적합하다.

$$C_1 = \frac{KB}{T}$$

기준선의 Scantling draft는 12.5 m이고 KB는 위의 선형 보간에서 구한 6.892 m임을 이용하여 무 차원화 계수 C1을 구하여 보겠다

$$C_1 = \frac{6.892}{12.5} = 0.551$$

③ 설계선의 KB 추정

앞서 구한 기준선의 무 차원화 계수 C1을 설계선과 같다고 가정하여 설계선의 KB를 추정하겠다.

$$C_1 = \frac{KB_b}{T_b} = \frac{KB}{T}$$

$$KB = C_1 \times T \quad (\text{첨자 b는 기준선 base ship 을 의미한다.})$$

$$KB = 0.551 \times 12.0 = 6.616(m)$$

따라서 설계선의 KB의 추정 값은 6.616 m 로 정할 수 있다.

1.2. 설계선의 BM 추정

① 기준선의 BM (at T=12.5 m, draft=12.525 m) 을 선형 보간의 방법으로 추정

기준선의 Hydrostatic Table을 보면 BM의 값이 직접적으로 나와있지 않다. 따라서 BM=KM-KB를 이용하여 BM 값을 구하였다.

선형 보간			
draft	KM(m)	KB(m)	BM(m)
12.5	14.891	6.878	7.993
12.525	14.895	6.892	8.003
12.55	14.898	6.906	7.992

② 기준선의 BM 무 차원화

BM은 IT를 형 배수량으로 나누어 구한 값이다. 직사각형의IT를 구한 후 선박의 수선 면이 직사각형에 가까움을 이용하여 선박의 실제 수선 면의 IT를 구할 수 있다.

$$I_T = \frac{1}{12} LB^3 \text{ (수선면을 직사각형으로 가정했을 경우)}$$

$$I_T = C \frac{1}{12} LB^3 \text{ (실제 선박의 수선면은 직사각형이 아니므로 계수 C를 곱하여 줌)}$$

$$BM = \frac{I_T}{\nabla} = \frac{C \frac{1}{12} LB^3}{L \square B T \square C_b} = C_2 \frac{B^2}{T} \quad (C_2 = \frac{C}{C_b})$$

$$C_2 = \frac{BM \square T}{B^2}$$

무차원화 계수 C2를 구하였다. C는 상수이므로 무 차원수이고 Cb또한 무 차원 수이다. C2는 차원화할 경우 L^2/L^2이므로 무 차원 수라고 가정할 수 있다. 이제 기준선의 C2를 구하여 보겠다.

$$C_2 = \frac{BM \square T}{B^2} = \frac{8.003 \square 12.5}{32.2^2} = 0.096$$

③ 설계선의 BM 추정

앞서 구한 기준선의 무 차원화 계수 C2을 설계선과 같다고 가정하여 설계선의 BM를 추정하겠다.

$$C_2 = \frac{BM_b \cdot T_b}{B_b^2} = \frac{BM \cdot T}{B^2}$$

$$BM = \frac{C_2 \cdot B^2}{T} = \frac{0.096 \cdot 32.2^2}{12} = 8.336(m)$$

(첨자 b는 기준선 base ship 을 의미한다.)

따라서 설계선의 BM의 추정 값은 8.336 m 로 정할 수 있다.

설계선	KB (m)	BM (m)	KM(=KB+BM) (m)
	6.616	8.336	14.895

2. 설계선의 KG 구하기

$$KG = \frac{\int W_z dz}{\int W dz} = \frac{\sum VCG \square W}{\sum W} \quad (z: \text{base line으로부터 깊이 방향 축})$$

$$\sum W = \Delta_{ext}$$

-: LWT와 DWT의 합, 총 중량을 의미함.

$$\sum VCG_i \square W_i = \sum VM_i = VM_{LWT} + VM_{\text{화물}} + VM_{bw} + VM_{etc}$$

(V.M.: Vertical weight moment, 1차 중량 모멘트)

- VM_LWT : 경화 중량에 의한 중량 모멘트
- VM_화물 : 컨테이너 화물에 의한 중량 모멘트
on deck 컨테이너 중량 모멘트와 in hold 컨테이너 중량 모멘트의 합
- VM_bw : bw는 밸러스트 워터를 의미한다. 밸러스트 워터에 의한 중량 모멘트
- VM_etc : 기타 화물(fresh water, fuel oil, diesel oil, lubricating oil, miscall, store & provision)에 의한 중량 모멘트의 합

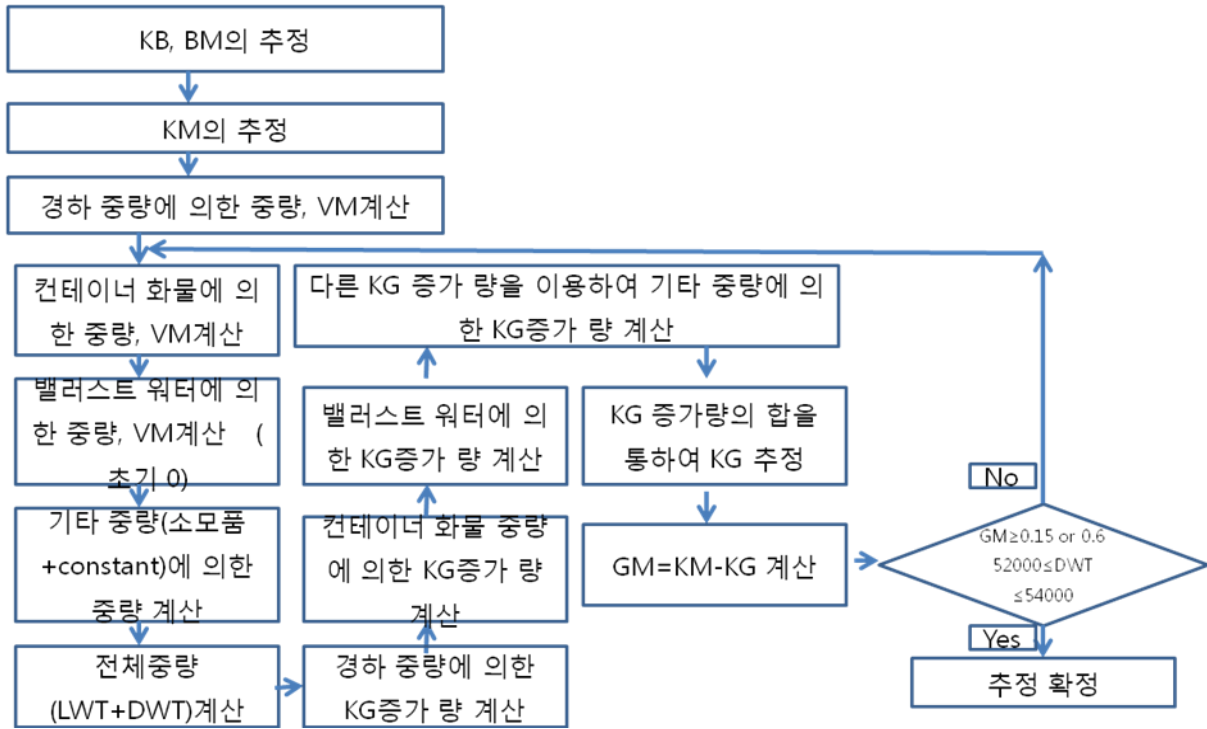
$$KG = \frac{VM_{LWT} + VM_{\text{화물}} + VM_{bw} + VM_{etc}}{\Delta_{ext}}$$

$$\frac{VM_{LWT}}{\Delta_{ext}} = KG_{LWT}, \quad \frac{VM_{\text{화물}}}{\Delta_{ext}} = KG_{\text{화물}}, \quad \frac{VM_{bw}}{\Delta_{ext}} = KG_{bw}, \quad \frac{VM_{etc}}{\Delta_{ext}} = KG_{etc}$$

- KG_LWT : WT(경화중량)에 의한 KG 증가 량
- KG_화물 : 컨테이너 화물에 의한 KG 증가 량
- KG_bw : 밸러스트 워터에 의한 KG 증가 량
- KG_etc : 기타 화물 중량(소모품+constant)에 의한 KG 증가 량

$$KG = KG_{LWT} + KG_{\text{화물}} + KG_{bw} + KG_{etc}$$

2.1. 설계선의 KG 추정



① 설계선의 LWT에 의한 중량 및 V.M 추정

기준선의 LWT는 경하 중량으로써 15998.1 ton 이다. 그리고 경하중량의 깊이 방향 중심은 base line으로부터 13.2 m 위에 위치한다. 또한 LWT에 의한 중량 모멘트는 211175 ton-m 의 값을 갖는다.

LWT(ton)	VCG above B.L (m)	V.M(=LWT*VCG, ton-m)
15998.1	13.2	211175

설계선의 LWT는 Cb 의 추정을 통하여 17516.1 ton으로 구할 수 있었다. 그리고 LWT의 VCG는 기준선의 D와 큰 변화가 없으므로 기준선과 같은 13.2m 로 가정하겠다.

LWT(ton)	VCG above B.L (m)	V.M(=LWT*VCG, ton-m)
17516.1	13.2	231212

설계선의 LWT 에 의한 V.M은 231212 ton-m로써 선박의 전체 배수량을 구하여 나누면 LWT에 의한 KG 증가를 구할 수 있다. 하지만 아직 전체 배수량을 구하지 않아서 KG 증가를 추정할 수 없다. 이 과정은 화물의 중량과 밸러스트 중량과 기타 중량에 의한 추정을 한 후 다음의 식으로

계산하겠다.

$$KG_{LWT} = \frac{VM_{LWT}}{\Delta_{ext}}$$

② 설계선의 컨테이너 화물에 의한 중량 및 V.M 추정

컨테이너 화물의 중량은 크게 In Hold 부분과 On Deck 부분으로 나누어서 구했다. 이는 In Hold 부분은 아래쪽에 배치되어 있으므로 무게중심이 낮게 배치 되어있고, On Deck 부분은 위쪽에 배치되어 있으므로 무게중심이 위쪽에 배치되어 있기 때문이다.

◆ 컨테이너(On Deck) 화물 중량의 Vertical Moment 값

선각중량의 Vertical Center of Moment와 마찬가지로 컨테이너 중량 또한 기준선과 동일하다고 보았다. KG 값을 줄이기 위해서는 맨 위 tier부터 제거 해야 하기 때문에 tier 별로 VM값을 구하였다. 그리고 문제에서 요구하는 대로 컨테이너의 무게를 14ton으로 보았다. 이를 구한 결과는 아래 표와 같다.

94'	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	92'(선수)								
92'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	90'(선수)								
90'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	88'(선수)								
88'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	86'(선수)								
86'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	84'(선수)								
84'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	82'(선수)								
82'(선미)	11	11	11	11																5									
					11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	7	5	3						
					11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	9	7	5	3	1				
					11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	9	7	5	3	1				
					11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	9	7	7	5	3	1			
					7	9	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	9	7	7	5	3	1	1			
					5	7	9	9	9	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	9	7	7	5	3	1			
					3	3	5	5	7	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7	7	5	5	3	3	3	1
					E/R	8 cargo hold	7 cargo hold	6 cargo hold	5 cargo hold	4 cargo hold	3 cargo hold	2 cargo hold	1 cargo hold																

On Deck	컨테이너 수	질량(ton)	VCG(m)	VM(ton-m)
94'	52	728	36.49	26564.72
92'(선수)	234	3276	36.049	118096.524
92'(선미)	52	728	33.869	24656.632
90'(선수)	338	4732	33.428	158181.296
90'(선미)	52	728	31.248	22748.544
88'(선수)	369	5166	30.807	159148.962
88'(선미)	52	728	28.627	20840.456
86'(선수)	369	5166	28.186	145608.876
86'(선미)	52	728	26.006	18932.368
84'(선수)	369	5166	25.565	132068.79
84'(선미)	52	728	23.385	17024.28
82'(선수)	360	5040	22.944	115637.76

82'(선미)	44	616	20.764	12790.624
합계	2395	33530	28.99790731	972299.832

◆ 컨테이너(In Hold) 화물 중량의 Vertical Moment 값

In Hold에서의 화물창 배치는 앞서 보고서에서 정하였다. 여기서도 마찬가지로 각 화물창 내 tier별 VCM 값은 기준선과 동일하다고 가정한다. 이를 구한 결과는 아래 식과 같다.

Tier	Loading Container(20ft)	Weight(ton)	V-MOM(ton·m)
2	180	2520	7373.52
4	242	3388	18808.6
6	262	3668	29908.4
8	279	3906	42234.3
10	287	4018	53899.8
12	295	4130	66440.3
14	294	4116	75053.3
Total	1839	25746	293718.152

(가정)

1. 3700TEU에서의 HOMO. 10T(18T)/TEU DEP/ARR CONDITION의 IN HOLD경우에서의 VCG(A/B)값이 동일하다고 가정한다.

(이렇게 가정을 한 이유는 설계선(4200TEU)이 기준선과 In Hold부분에서 동일하다고 설정했기 때문이다.)

2. 화물창 내에 배치한 컨테이너 모두에 1TEU당 14T을 싣는다고 가정한다. (Departure나 Arrival 모두 해당됨.)

(Container선의 경우, IMO Rule에 따르면, GM값이 0.15m이상이어야 한다. 따라서, 화물창 내에 Loading Container를 최대한 적재함으로써, KG를 최대한 낮추고, GM값을 최대한 크게 하여 IMO Rule을 만족시킴과 동시에 큰 복원 모멘트를 갖게 할 수 있다.)

3. 1번, 3번 Bay의 경우, forecastle의 영향으로 2tier의 VCG(A/B)를 8.134m로 놓고 시작한다. (다른 Bay의 경우, 2.926m부터 시작함.)

4. Vertical moment의 계산은 다음의 수식과 같이 해당 Tier의 VCG값에 무게를 곱하여 각각을 더함으로써, 얻는다.

화물창 중량 역시 아직 총 배수량을 구하지 못했기 때문에 KG 값을 구할 수 없다. On Deck의 경우 위층부터 한 tier씩 제거하는데, 제거된 tier의 KG 값을 빼면서 총 KG 값을 맞춰 나갈 수 있다. In Hold의 KG 값의 경우 총 배수량이 구해지면 고정되는 값이 된다.

③ 설계선의 밸러스트 워터에 의한 중량 및 V.M 추정

Ballast Water의 Vertical Center of Moment 역시 기준선과 설계선이 동일하다고 보았다. 그러나 무게 별로 정확한 VCM 값을 알 수 없으므로 기준선의 ballast Water 중량 별 VM을 선형 보간 하여 구하였다.

Water Ballast의 VM의 추정은 기준선의 컨테이너 무게 10ton Departure 상태에서와 18ton Departure 상태를 기준으로 정하였다. 이는 뒤에서 구할 기타 중량도 Departure 상태의 중량을 구하기 때문이다. 기준선의 각 상태에서의 중량과 VM 값은 다음과 같다.

	Ballast Water 중량(ton)	Vertical Moment
10ton	916.3	2590
18ton	14146.3	89101

위의 정보를 갖고 선형 보간 한 식은 다음과 같다.

Water Ballast VM

$$= \frac{(14146.3 - \text{Water Ballast 중량}) \times 2590 + (\text{Water Ballast 중량} - 916.3) \times 89101}{14146.3 - 916.3}$$

위의 식을 통해서 설계선 Water Ballast 중량에 따라서 Water Ballast의 VM 값을 구할 수 있다. 구한 Water Ballast의 VM 값을 가지고 후에 총 배수량을 구하면 다음의 식을 이용하여 KG 값을 구할 수 있다.

$$KG_{BW} = \frac{VM_{BW}}{\Delta_{cut}}$$

④ 설계선의 기타 화물(소모품+constant)에 의한 중량

◆ 기준선의 기타 화물에 의한 V.M

기준선의 기타 중량(소모품+constant)중량과 V.M은 Homo. 10T condition 또는 Homo. 18T condition 에서 모두 같다.

기준선	중량(ton)	VM(ton-m)	
FreshWater	362.7	5481	
FuelOil	6038.4	37277	
DieselOil	285.1	3988	
LubricatingOil	361.4	4054	
Miscell.	162.6	765	
Store&Provison	67	1173	
Deadweight Constant	212	4483	
Total etc weight	7489.2	Total etc VM	57221

◆ 기준선의 기타 중량에 의한 KG 증가 량

위에서 구한 기타 중량에 의한 모멘트 값을 전체 배수량으로 나누면 기타 중량에 의한 KG증가 량을 알 수 있다. 여기서 전체 배수량은 Homo.18T condition 에서의 전체 배수량을 이용하겠다. Homo.10T condition 상태와 전체 배수량에 큰 차이가 없으므로 둘 중의 하나인 18T condition 에서의 전체 배수량을 선택하였다. KG 증가량을 구하면 다음과 같다.

$$KG_{etc} = \frac{VM_{etc}}{\Delta_{ext}} = \frac{57221}{67099.6} = 0.853(m)$$

◆ 기타 중량에 의한 KG 증가 량 무 차원화

기준선의 Homo.18T condition 에서의 실제 KG 와 기타 중량에 의한 증가 량 KG_etc의 비율을 이용하여 무 차원화하였다.

$$C_3 = \frac{(KG_{etc})_b}{KG_b} = \frac{0.853}{14.167} = 0.060$$

$$C_3 = \frac{(KG_{etc})_b}{KG_b} = \frac{KG_{etc}}{KG}$$

(첨자 b는 기준선 base ship 을 의미한다.)

기준선에서 기타 중량에 의한 KG 증가 량은 전체 KG의 6%(=0.06)를 차지함을 알 수 있다. 무 차원 계수 C3가 설계선과 같다고 가정하면 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$KG_{etc} = C_3 \square KG$$

◆ 설계선의 기타 중량 추정

기타중량에는 소모품 중량과 spare part (spare propeller, shaft, anchor 등)와 Operating Fluid 등과 같은 DWT constant을 포함한다. 그러므로 먼저 소모품 중량에 대한 추정이 필요하다.

다음은 설계선의 기본 정보이다.

선원수	30명
Cruising Range	20,000nm
Service Speed at NCR	22.3Knot
항해일수	37.367일
DFOC (일일연료사용량)	103.2 ton

다음은 기준선의 소모품에 대한 정보이다.

기준선의 Consumable at 항해일수 37일				
항목	Departure[ton]	Arrival[ton]	1일 소모량	적재 Margin
Fresh Water	362.7	36.3	8.821622	10.00827
Fuel Oil	6038.4	618.6	-	10.24444
Diesel Oil	285.1	35.6	6.743243	12.48685
Lubricating Oil	361.4	254.8	2.881081	70.5036
Miscell	162.6	249.9	-	-
Store & Procision	67	61	0.162162	91.04478

위의 기준선 소모품 중량을 토대로 설계선의 소모품 중량을 추정하기로 한다.

- Fresh Water

기준선과 설계선의 선원수는 동일하므로 Fresh Water는 항해일수에 비례한다고 가정하고 중량을 구한다. 그리고 기준선에서는 약 10%의 Margin을 주었으므로 설계선에서도 10%의 Margin을 주기로 한다. Fresh Water를 구하는 식과 결과는 다음과 같다.

$$Fresh\ Water = \frac{1\ \text{일청수사용량} \times \text{항해일수}}{1 - Margin}$$

위의 표에서 보면 1일 청수 사용량은 8.821622ton이고 항해일수는 37.367일 이므로 계산한 결과는 다음과 같다.

Fresh Water	366.3192 ton
-------------	--------------

- Fuel Oil

설계선의 일일 연료 사용량은 기관의 마력에 비례한다고 가정한다. 즉 설계선의 일일 연료 사용량은 다음의 식에 의해 구한다.

$$\begin{aligned} \text{설계선의 } DFOC &= \frac{\text{설계선의 } NMCR}{\text{설계선의 } NMCR} \times \text{기준선의 } DFOC \\ &= \frac{44980}{38670} \times 103.2 = 120.3609 \end{aligned}$$

여기 구한 설계선의 DFOC에 항해일수를 곱하면 된다. 기준선에서는 약 10.244% 정도의 Margin을 주었으므로 설계선의 Fuel Oil의 중량을 구할 때도 이를 고려하기로 한다. 설계선의 Fuel Oil의 중량의 계산과 그 결과 값은 다음과 같다.

$$\text{Fuel Oil} = \frac{DFOC \times \text{항해일수}}{1 - \text{margin}}$$

Fuel Oil	5010.742 ton
----------	--------------

- Diesel Oil

Diesel Oil의 경우 위의 fresh water와 마찬가지로 항해일수에 비례한다고 보았다. 그러므로 설계선의 Diesel Oil의 중량은 다음과 같이 구할 수 있다. 그리고 기준선과 마찬가지로 약 12.489%의 margin을 주었다.

$$\text{Diesel Oil} = \frac{\text{1일 Diesel Oil 사용량} \times \text{항해일수}}{1 - \text{margin}}$$

이를 이용하여 구한 결과는 다음과 같다.

Diesel Oil	287.9449 ton
------------	--------------

- Lubricating Oil

윤활유의 양은 항해일수에 비례한다고 가정한다. 위에서 윤활유의 1일 사용량은 2.88ton이고, 기준선에서 약 70.5%의 margin을 주었으므로 설계선에서도 margin을 70.5%주기로 한다. 윤활유의 중량을 구하는 식과 그 결과는 다음과 같다.

$$Lubricatin\ g\ Oil = \frac{1일\ Lubricatin\ g\ Oil\ 사용량 \times 항해일수}{1 - margin}$$

Lubricating Oil	365.0063 ton
-----------------	--------------

- Miscellaneous

Miscellaneous는 각종 쓰레기 및 기름 찌꺼기의 항목으로, 총량이 항해일수에 비례한다고 가정한다. 기준선의 miscellaneous의 총량은 162.6ton이므로 이를 구하는 식과 그 결과 값은 다음과 같다.

$$Miscillane\ ous = 기준선의\ Miscell \times \frac{설계선의항해일수}{기준선의항해일수}$$

Miscell	164.2225 ton
---------	--------------

- Store & Provision

Store 항목은 기준선과 설계선이 61ton으로 동일하다고 가정한다. Provision은 식료품과 같은 항목으로 선원수와 항해일수에 비례한다고 가정한다. 선원수는 기준선과 설계선이 동일하기 때문에 항해일수에 비례한다고 볼 수 있다.

Provision을 계산한 과정과 Store & Provision 중량의 결과는 다음과 같다.

$$Provision = 1일\ Provision\ 사용량 \times 설계선의\ 항해일\ 수$$

위의 식에서 1일 Provision의 사용량은 위의 항목에서 볼 수 있듯이 0.11ton이다.

최종적으로 Provision 과 Store의 합은 다음과 같다.

Store & Provision	67.06 ton
-------------------	-----------

- Crew & Effect

선원 및 소지품은 선원수와 비례한다고 가정한다. 그러므로 설계선과 동일하다.

Crew & Effect	7 ton
---------------	-------

- DWT constant

DWT constant는 spare part (spare propeller, shaft, anchor 등)와 Operating Fluid 등이다. 이는 설계선과 기준선이 동일하다고 가정한다.

DWT constant	205 ton
--------------	---------

- 총 소모품 중량

위에서 구한 모든 소모품의 항목들과 그 합은 밑의 표와 같다.

Fresh Water(ton)	366.31923
Fuel Oil(ton)	5010.7417
Diesel Oil(ton)	287.9449
Lubricating Oil(ton)	365.00626
Miscell(ton)	164.22252
Store & Provision(ton)	67.059872
Crew & Effect(ton)	7
DWT constant(ton)	205
total	6473.2945 ton

이전 레포트에서 기준선을 바탕으로 추정된 설계선의 기타 중량의 합은 6473 ton으로 추정된다.

◆ 계선의 기타 중량에 의한 KG 증가 량

설계선의 기타 중량을 추정함으로써 경하중량, 컨테이너 화물 중량, 밸러스트 워터 중량, 기타 중량을 모두 추정함으로써 전체 배수량을 구할 수 있다. 전체 배수량을 구하면 V.M을 이용하여 KG_{LWT}, KG_{bw}, KG_{etc} 를 구할 수 있으므로 식을 정리하면 다음과 같이 나타난다.

$$KG = KG_{LWT} + KG_{\text{화물}} + KG_{bw} + KG_{etc}$$

$$KG_{etc} = C_3 \square KG$$

$$KG = (KG_{LWT} + KG_{\text{화물}} + KG_{bw}) + C_3 \square KG \quad (KG \text{에 관한 일차 방정식})$$

$$KG(1 - C_3) = KG_{LWT} + KG_{\text{화물}} + KG_{bw}$$

$$KG = \frac{KG_{LWT} + KG_{\text{화물}} + KG_{bw}}{1 - C_3}$$

따라서 위의 식에 의하여 설계선의 KG의 추정 값을 구할 수 있다. 또한 역으로 KG_{etc}의 값을 추정할 수 있다.

⑤ 체 배수량 추정

$Total\ weight = LWT + \text{컨테이너 화물 중량} + \text{밸러스트 워터 중량} + \text{기타 화물 중량}$

⑥ KG계산

$$KG_{LWT} = \frac{VM_{LWT}}{\Delta_{ext}}$$

$$KG_{\text{화물}} = \frac{VM_{\text{화물}}}{\Delta_{ext}}$$

$$KG_{bw} = \frac{VM_{bw}}{\Delta_{ext}}$$

$KG_{etc} = C_3 KG$ (설계선의 기타 중량에 의한 KG 증가량에서 식을 이용하여 계산)

$$Kg = KG_{LWT} + KG_{\text{화물}} + KG_{bw} + KG_{etc}$$

⑦ GM 조건 만족 여부 확인

$$GM = KB + BM - KG$$

1) $GM \geq 0.15m$ (IMO rule)

2) $GM \geq 0.60m$

3. Loadable Container 수 및 Deadweight

3.1. GM 값이 0.15보다 클 조건

위에서 설명했다시피 KB 값과 BM의 합은 14.95226으로 고정되어 있다. 그러므로 우리가 구할 KG 값이 14.8026보다 작으면 GM 값이 만족된다.

처음에 Ballast Water의 중량을 알 수 없기 때문에 앞에서 말했다시피 일단은 0으로 놓고 컨테이너 수를 최대한 많이 실을 수 있는 4234개를 실어 보고 KG 값을 구해 보았다. 이를 구한 결과는 아래 표와 같다.

	중량(ton)	VCG(m)	V.M(ton-m)	KG_elevation(m)
경하중량	17516.02	13.2	231212.446	2.79372361
화물중량(on deck)	33530	-	972299.832	11.74823
화물중량(in hold)	25242	11.4083	287968.3086	3.47950068
Ballast Water 중량	0	-	0	0
etc 중량	6473.2945			1.15427562
total deadweight	65245.2945			
total	82761.3145			19.17573

여기서 화물중량과 Ballast Water 중량이 정해지기 때문에 총 배수량을 구할 수 있으므로 결론적으로 KG 값을 구할 수 있다.

결과를 보면 KG 값이 19.17573로 요구 조건인 14.8026 보다 훨씬 큼을 알 수 있다. 이는 오히려 KM 값보다 훨씬 큰 값으로 매우 불안정한 상태이다. 더불어 재화중량이 65749.295ton으로 요구 재화중량인 52000ton ~54000ton을 훨씬 벗어났다.

그러므로 On Deck에 있는 컨테이너를 위쪽 tier로부터 빼주면서 Water Ballast를 채워 줌으로써 KG 값을 줄여준다. 더불어 재화중량을 52000ton ~ 54000ton 사이로 맞춰주도록 계산하였다. 이를 수정한 결과는 아래 표와 같다.

	중량(ton)	VCG(m)	V.M(ton-m)	KG_elevation(m)
경하중량	17516.094	13.2	231212.446	3.25058952
화물중량(on deck)	17444	-	442062.698	6.21490926
화물중량(in hold)	25242	11.4083	287968.3086	4.04851374
Ballast Water 중량	4454	-	25723.02832	0.36163713
etc 중량	6473.2945			0.88873649

total deadweight	53613.295			0
total	71129.389			14.764386

결과를 보면 KG값이 14.764386으로 요구 조건인 14.8026을 만족시킨다. 그리고 재화중량 또한 53613.295ton으로 요구재화중량 또한 만족함을 알 수 있다.

기준선의 경우 10ton/TEU 에서의 컨테이너 수는 2918개로 총 실을 수 있는 컨테이너 수의 약 78.042%정도를 채웠고 18ton/TEU 에서는 2372개로 약 63.44%정도 채웠다. 우리 설계선은 14ton/TEU에서 3049개로 총 컨테이너 개수인 4198의 약 72.63%로 기준선의 컨테이너 수와 비교했을 때 적정 수준의 컨테이너가 실렸음을 알 수 있다.

94'	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	92'(선수)												
92'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	90'(선수)												
90'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	11	11	9	88'(선수)									
88'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	11	11	9	86'(선수)									
86'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	11	11	9	84'(선수)									
84'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	11	11		82'(선수)									
82'(선미)	11	11	11	11																			5										
					11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	9	7	5	3						
					11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	9	7	5	3	1		
					11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	9	7	5	3	1		
					7	9	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	9	7	7	5	3	1	1			
					5	7	9	9	9	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	9	7	7	5	3	3	1	
					3	3	5	5	7	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7	7	5	5	3	3	1		
					E/R	8 cargo hold	7 cargo hold	6 cargo hold	5 cargo hold	4 cargo hold	3 cargo hold	2 cargo hold	1 cargo hold																				

컨테이너 수	3049
재화중량	53613.295
총배수량	71129.389
Cb	0.683353627

3.2. GM 값이 0.6보다 클 조건

위에서 설명했다시피 KB 값과 BM의 합은 14.95226으로 고정되어 있다. 그러므로 우리가 구할 KG 값이 14.35226보다 작으면 GM 값이 만족된다.

여기서도 마찬가지로 처음에 Ballast Water의 중량을 알 수 없기 때문에 앞에서 말했다시피 일단은 0으로 놓고 컨테이너 수를 최대한 많이 실을 수 있는 4234개를 실어 보고 KG 값을 구해 보고 On Deck에 있는 컨테이너를 위쪽 tier로부터 빼주면서 Water Ballast를 채워 줌으로써 KG 값을 줄여준다. 더불어 재화중량을 52000ton ~ 54000ton 사이로 맞춰주도록 계산하였다. 이를 구한 결과는 다음과 같다.

	중량(ton)	VCG(m)	V.M(ton-m)	KG_elevation(m)
경하중량	17516.09	13.2	231212.4	3.325105
화물중량(on deck)	15554	0	388791.2	5.59127
화물중량(in hold)	25242	11.4083	287968.3	4.14132
Water Ballast 중량	4750	0	27658.57	0.397763
etc 중량	6473.295	0	0	0.861823
total deadweight	52019.29		0	0
total	69535.39			14.31728

결과를 보면 KG값이 14.31728로 요구 조건인 14.35226을 만족시킨다. 그리고 재화중량 또한 52019.29ton으로 요구재화중량 또한 만족함을 알 수 있다. 이는 특히 최소 요구조건인 52000ton 보다 조금 큰 수치로 재화중량이 작기 때문에 Cb값도 감소를 가져와서 선박 성능 향상에 도움이 된다.

그리고 컨테이너 수는 2914개로 총 컨테이너 수의 약 69.414%로 기준선과 비교했을 때 적정 수준의 컨테이너가 실렸음을 알 수 있다.

94'	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	92'(선수)			
92'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	90'(선수)			
90'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	88'(선수)			
88'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	86'(선수)			
86'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	84'(선수)			
84'(선미)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	82'(선수)			
82'(선미)	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	5				
					11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	7	5	3	
					11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	7	5	3	1
					11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	7	5	3	1
					11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	7	5	3	1
					7	9	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	7	5	3	1
					5	7	9	9	9	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	7	5	3	1
					3	3	5	5	7	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7	7	5	3	1
					E/R	8 cargo hold	7 cargo hold	6 cargo hold	5 cargo hold	4 cargo hold	3 cargo hold	2 cargo hold	1 cargo hold										

컨테이너 수	2914
--------	------

VI. 저항 추진 성능 추정

1. 저항 및 마력 계산에 필요한 치수 및 주요 계수

주요 치수 및 계수	기준선(3700 TEU)	설계선(4200TEU)
LBP(m)	245.24	261.88
LWL(m)	250.24	266.88
B(m)	32.2	32.2
Td(m)	10.1	11
V(knots)	22.5(11.5m)	22.3
Cb	0.6245	0.6709
Cm	0.9762	0.9795
Cp	0.6397	0.685
Cwp	0.7743	0.8115
Sbh(m ²)	9483.908243	10954.7072
Lcb(%)	-1.98	-1.70
배수용적(m ³)	49804.6	62234.9

<p>주요 계수</p>	$C_b = 0.6709$ $C_m = 0.9795$ $C_p = 0.685$ $C_{wp} = 0.8115$
<p>설계선의 주 요 치수에 따 라 계산된 계 수</p>	<p>S_{bh}: 나선체의 침수 표면적</p> $S_{bh} = L(2T + B)\sqrt{C_M} (0.4530 + 0.4425C_b - 0.2862C_m - 0.003467B / T + 0.3696C_{wp})$ $+ 2.38A_{BT} / C_b$ $= 10954.7072(m^2)$ <p>L_{cb}: 선체중앙부로부터 부력중심 위치까지 거리의 선박의 길이에 대한 백분율</p> $L_{cb} = (13.33 \times C_b - 9) / LWL \times 100$ $= \frac{13.33 \times 0.6709 - 9}{266.88}$ $= -1.7(\%)$ <p>∇: 형 배수용적 (기준선의 C_b 값을 이용하여 계산)</p> $\nabla = L \times B \times T \times C_b$ $= 62,234.9(m^3)$

2. Holtrop & Mennen의 통계적 방법에 의한 추정

$$R_T = R_F(1 + K_1) + R_W + R_{APP} + R_B + R_{TR} + R_A$$

- R_T : 전 저항
- R_F : 마찰 저항
- R_W : 조파 저항
- R_{APP} : 선체부가물에 의한 저항
- R_B : *Bulb*에 의한 저항
- R_{TR} : *Transom*에 의한 저항
- R_A : 모형선 실선 상관 수정 저항

2.1. 마찰저항

① 기준선의 마찰저항

$$\begin{aligned} R_{F_기준선} &= 1 / 2 \rho V^2 C_F S_{bh} \\ &= 0.5 \times 1.025 \times (23.17 \times 0.5144)^2 \times 0.001373637 \times 9259.436616 \\ &= 925.9858196(kN) \end{aligned}$$

* C_F 계산 (ITTC 추정식, 1957)

$$C_{F_기준선} = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2} = \frac{0.075}{[(\log(2449927594) - 2)]^2} = 0.001373637$$

R_n : Reynolds number

$$R_n = \frac{V \times Lwl}{\nu} = \frac{23.17 \times 0.5144 \times 244.26}{1.1883 \times 10^{-6}} = 2449927594$$

(ν : 동점성 계수 $1.183 \times 10^{-6} (m/s)$ at $15^\circ C$ Sea Water)

$S_{Bh} = 9259.436616 m^2$ (기준선 (3700 TEU 컨테이너선)의 선형 설계를 통해 얻은 값)

② 설계선의 마찰저항

$$\begin{aligned} R_{F_설계선} &= 1 / 2 \rho V^2 C_F S_{bh} \\ &= 0.5 \times 1.025 \times (22.3 \times 0.5144)^2 \times 0.001365552 \\ &= 1009.82172(kN) \end{aligned}$$

$$C_{F_{\text{실계선}}} = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2} = \frac{0.075}{[\log(2576295974) - 2]^2} = 0.001365552$$

R_n : Reynolds number

$$R_n^{\text{실계선}} = \frac{V \times Lwl}{\nu} = \frac{22.3 \times 0.5144 \times 266.88}{1.183 \times 10^{-6}} = 2576295974$$

(ν : 동점성 계수, $1.183 \times 10^{-6} (m/s)$ at $15^\circ C$ Sea Water)

$$S_{bh} = 10954.7072(m^2)$$

◆ $(1 + K_1)$ 계산

$$\begin{aligned} (1 + K_1)_{\text{기준선}} &= 0.93 + 0.487118 \times C_{14} \times (B/L)^{1.06806} \times (T_d/L)^{0.46106} \times (L/L_R)^{0.121563} \times (L^3/\nabla)^{0.36486} \\ &\quad \times (1 - C_P)^{-0.604247} \\ &= 0.93 + 0.487118 \times 1.11 \times (32.2/244.26)^{1.0686} \times (10.1/244.26)^{0.46106} \times (244.26/76.09844145)^{0.121563} \\ &\quad \times (244.26^3/49804.6)^{0.36486} \times (1 - 0.6397)^{-0.604247} \\ &= 1.172370701 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -C_{14} &= 1 + 0.011C_{stern} \\ &= 1 + 0.011 \times 10 \\ &= 1.11 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -C_{stern} &= \text{선미 단면 형상을 정의하는 계수} \\ &= -25 \text{ (Pram with godola)} \\ &= -10 \text{ (V형 단면)} \\ &= 0 \text{ (보통형 단면)} \\ &= 10 \text{ (U형 단면)} \end{aligned}$$

- 기준선 (3,700TEU 컨테이너선)의 선미 단면은 U자형

$$\therefore C_{stern} = 10$$

$$\begin{aligned} -L_{R_{\text{기준선}}} &= \{1 - C_P + 0.06C_P \times L_{CB} / (4C_P - 1)\} \times Lwl \\ &= \{1 - 0.6397 + 0.06 \times 0.6397 \times (-1.98) / (4 \times 0.6397 - 1)\} \times 244.26 \\ &= 76.09844145 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(1 + K_1)_{\text{설계선}} &= 0.93 + 0.487118 \times C_{14} \times (B/L)^{1.06806} \times (T_d/L)^{0.46106} \times (L/L_R)^{0.121563} \times (L^3/\nabla)^{0.36486} \\
&\quad \times (1 - C_P)^{-0.604247} \\
&= 0.93 + 0.487118 \times 1.11 \times (32.2/266.88)^{1.0686} \times (11/266.88)^{0.46106} \times (266.88/73.35058759)^{0.121563} \\
&\quad \times (266.88^3/62234.9)^{0.36486} \times (1 - 0.685)^{-0.604247} \\
&= 1.176280564 \\
-C_{14} &= 1 + 0.011C_{stern} \\
&= 1 + 0.011 \times 10 \\
&= 1.11 \\
-C_{stern} &= \text{선미 단면 형상을 정의하는 계수} \\
&= -25 \text{ (Pram with godola)} \\
&= -10 \text{ (V형 단면)} \\
&= 0 \text{ (보통형 단면)} \\
&= 10 \text{ (U형 단면)} \\
\text{- 설계선 (4, 200TEU 컨테이너선)의 선미 단면은 U자형} \\
\therefore C_{stern} &= 10 \\
-L_{R_{\text{설계선}}} &= \{1 - C_P + 0.06C_P \times L_{CB} / (4C_P - 1)\} \times Lwl \\
&= \{1 - 0.685 + 0.06 \times 0.685 \times (-1.70) / (4 \times 0.685 - 1)\} \times 266.88 \\
&= 73.35058759
\end{aligned}$$

2.2. 조파저항

Holtrop-Mennen의 조파 저항 추정식을 따르면, F_n 의 범위에 따라, 낮은 속도 범위 ($F_n \leq 0.4$)에서는 $R_W = \rho g \nabla \times C_1 \times C_2 \times C_5 \times \exp\{m_1 \times F_n^d + m_4 \times \cos(\lambda F_n^{-2})\}$ 의 조파 저항식이 사용되며, 높은 속도 범위 ($F_n \geq 0.55$)에서는, 낮은 속도 범위에서의 조파 저항식에서 C_1, m_1 의 계수가 다르게 적용된다.

또한 중간 속도 범위에서는 $R_W = R_{W(at F_n=0.4)} + (10F_n - 4) \times (R_{W(at F_n=0.55)} - R_{W(at F_n=0.4)}) / 1.5$

$R_{W(at F_n=0.4)}$: 낮은 속도 범위의 식에 $F_n = 0.4$ 를 대입하여 나온 결과

$R_{W(at F_n=0.55)}$: 높은 속도 범위의 식에 $F_n = 0.55$ 를 대입하여 나온 결과

위와 같은 보간식에 따라 추정한다.

3,700 TEU 컨테이너급 기준선의 경우, $F_n = \frac{V}{\sqrt{gL}} = \frac{23.17 \times 0.5144}{\sqrt{9.81 \times 244.26}} = 0.243481693$ 이므로, 0.4보다

작은 값을 지닌다. 4,100TEU급인 설계선의 경우는 $F_n = \frac{V}{\sqrt{gL}} = \frac{22.3 \times 0.5144}{\sqrt{9.81 \times 266.88}} = 0.224188486$ 으로 0.4보다 작은 값을 지닌다. 따라서 낮은 속도 범위에서의 Holtrop-Mennen의 조파 저항식을 사용하였다.

① 기준선의 조파저항

$$\begin{aligned} R_{W_{기준선}} &= \rho g \nabla \times C_1 \times C_2 \times C_5 \times \exp\{m_1 \times F_n^d + m_4 \times \cos(\lambda F_n^{-2})\} \\ &= 1.025 \times 9.81 \times 0.740198748 \times 0.713085981 \times 1 \times \exp\{(-1.87856808 \times 0.243481693^{-0.9} \\ &\quad - 0.019497689 \times \cos(0.697434771 \times 0.243481693^{-2})\} \\ &= 321.3248596(kN) \end{aligned}$$

◆ C_1 값 구하기

$$\begin{aligned} C_1 &= 2223105 \times C_7^{3.78613} \times (T/B)^{1.07961} \times (90 - i_E)^{-1.37565} \\ &= 2223105 \times 0.131826742^{3.78613} \times (10.1/32.2)^{1.07961} \times (90 - 12.08485119)^{-1.37565} \\ &= 0.740198748 \\ -C_7 &= B/L (\because 0.11 \leq B/L \leq 0.25) \\ &= 0.131826742 \\ -i_E &= 1 + 89 \times \exp\{-(L/B)^{0.80856} \times (1 - C_{WP})^{0.30484} \times (1 - C_P - 0.0225 \times L_{CB})^{0.6367} \\ &\quad \times (L_R/B)^{0.34874} \times (100 \times \nabla / L^3)^{0.16302}\} \\ &= 1 + 89 \times \exp\{-(244.26/32.)^{0.80856} \times (1 - 0.77425)^{0.30484} \times (1 - 0.6397 - 0.0225 \times (-1.98))^{0.6367} \\ &\quad \times (76.09844145/32.2)^{0.34874} \times (100 \times 49804.6/244.26^3)^{0.16302}\} \\ &= 10.71090468 \end{aligned}$$

◆ C_2 값 구하기

$$\begin{aligned} C_2 &= \exp(-1.89\sqrt{C_3}) \\ &= \exp(-1.89\sqrt{0.03201132}) \\ &= 0.713085981 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_3 &= 0.56 \times A_{BT}^{1.5} / \{B \times T(0.31\sqrt{A_{BT}} + T_F - h_B)\} \\ &= 0.56 \times 23.78^{1.5} / \{32.2 \times 10.1 \times (0.31\sqrt{23.78} + 10.1 - 5.374)\} \\ &= 0.03201132 \end{aligned}$$

- A_{BT} : 선수 수선 위치에서의 Bulb 단면적
- h_B : 기선으로부터 면적 A_{BT} 의 중심 위치까지의 높이
- T_F : 선수 수선 위치에서의 형 흘수

◆ C_5 값 구하기

$$\begin{aligned} C_5 &= 1 - 0.8 \times A_T / (B \times T \times C_M) \\ &= 1 - 0.8 \times 0 / (32.2 \times 10.1 \times 0.97615) \\ &= 1 \end{aligned}$$

- A_T : 속도가 0일 때의 transom 부분의 물 속에 잠긴 면적

◆ m_1 값 구하기

$$\begin{aligned} m_1 &= 0.0140407 \times L / T - 1.75254 \times \nabla^{1/3} / L - 4.79323 \times B / L - C_{16} \\ &= 0.0140407 \times 244.26 / 10.1 - 1.75254 \times 49804.6^{1/3} / 244.26 - 4.79323 \times 32.2 / 244.26 - 1.322274062 \\ &= -1.87856808 \\ -C_{16} &= 8.07981 \times C_p - 13.8673 \times C_p^2 + 6.984388 \times C_p^3 \quad (C_p \leq 0.8 \text{ 일 때}) \\ &= 8.07981 \times 0.6397 - 13.8673 \times 0.6397^2 + 6.984388 \times 0.6397^3 \\ &= 1.322274062 \end{aligned}$$

◆ $d = -0.9$

◆ m_4 값 구하기

$$\begin{aligned} m_4 &= C_{15} \times 0.4 \times \exp(-0.034 \times F_n^{-3.29}) \\ &= -1.69385 \times 0.4 \times \exp(-0.034 \times 0.243481693^{-3.29}) \\ &= -0.019497689 \\ -C_{15} &= -1.69385 \quad (L^3 / \nabla \leq 512 \text{ 일 때}) \\ -L^3 / \nabla &= 244.26^3 / 49804.6 \\ &= 292.6089474 \end{aligned}$$

◆ λ 값 구하기

$$\begin{aligned} L / B &= 244.26 / 32.2 \\ &= 7.585714 \\ L / B &\leq 12 \text{ 일 때,} \\ \lambda &= 1.446C_p - 0.03L / B \\ &= 1.446 \times 0.6397 - 0.03 \times 244.26 / 32.2 \\ &= 0.697434771 \end{aligned}$$

② 설계선의 조파저항

$$\begin{aligned}
 R_{W_{\text{설계선}}} &= \rho g \nabla \times C_1 \times C_2 \times C_5 \times \exp\{m_1 \times F_n^d + m_4 \times \cos(\lambda F_n^{-2})\} \\
 &= 1.025 \times 9.81 \times 62234.9 \times 0.604171288 \times 0.738666883 \times 1 \\
 &\quad \times \exp\{-1.770602367 \times 0.224188486^{-0.9} - 0.006443193 \\
 &\quad \times \cos(0.741864037 \times 0.224188486^{-2})\} \\
 &= 311.9300618(kN)
 \end{aligned}$$

◆ C_1 값 구하기

$$\begin{aligned}
 C_1 &= 2223105 \times C_7^{3.78613} \times (T/B)^{1.07961} \times (90 - i_E)^{-1.37565} \\
 &= 2223105 \times 0.120653477^{3.78613} \times (11/32.2)^{1.07961} \times (90 - 14.32359308)^{-1.37565} \\
 &= 0.604171288 \\
 - C_7 &= B/L \quad (0.11 \leq B/L \leq 0.25 \text{ 일 때}) \\
 &= 32.2 / 266.88 \\
 &= 0.120653477 \\
 - i_E &= 1 + 89 \exp\{-(L/B)^{0.80856} \times (1 - C_{WP})^{0.30484} \times (1 - C_P - 0.0225 L_{CB})^{0.6367} \\
 &\quad \times (L_R/B)^{0.34874} \times (100 \times \nabla / L^3)^{0.16302}\} \\
 &= 1 + 89 \exp\{-(266.88/32.2)^{0.80856} \times (1 - 0.8115)^{0.30484} \times (1 - 0.6397 - 0.0225 \times (-1.70))^{0.6367} \\
 &\quad \times (73.35058759/32.2)^{0.34874} \times (100 \times 62234.9 / 266.88^3)^{0.16302}\} \\
 &= 14.32359308
 \end{aligned}$$

◆ C_2 값 구하기

$$\begin{aligned}
 C_2 &= \exp(-1.89 \sqrt{C_3}) \\
 &= \exp(-1.89 \sqrt{0.025686121}) \\
 &= 0.738666803 \\
 C_3 &= 0.56 \times A_{BT}^{1.5} / \{B \times T (0.31 \sqrt{A_{BT}} + T_F - h_B)\} \\
 &= 0.56 \times 23.78^{1.5} / \{32.2 \times 11 \times (0.31 \sqrt{23.78} + 11 - 5.374)\} \\
 &= 0.025686121
 \end{aligned}$$

- A_{BT} : 선수 수선 위치에서의 Bulb 단면적
- h_B : 기선으로부터 면적 A_{BT} 의 중심 위치까지의 높이
- T_F : 선수 수선 위치에서의 형 흘수

◆ C_5 값 구하기

$$\begin{aligned}
 C_5 &= 1 - 0.8 \times A_T / (B \times T \times C_M) \\
 &= 1 - 0.8 \times 0 / (32.2 \times 11 \times 0.9795) \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

- A_T : 속도가 0일 때의 transom 부분의 물 속에 잠긴 면적

◆ m_1 값 구하기

$$\begin{aligned}
 m_1 &= 0.0140407 \times L / T - 1.75254 \times \nabla^{1/3} / L - 4.79323 \times B / L - C_{16} \\
 &= 0.0140407 \times 266.88 / 11 - 1.75254 \times 62234.9^{1/3} / 266.88 - 4.79323 \times 32.2 / 266.88 - 1.272701887 \\
 &= -1.770602367 \\
 -C_{16} &= 8.07981 \times C_p - 13.8673 \times C_p^2 + 6.984388 \times C_p^3 \quad (C_p \leq 0.8 \text{ 일 때}) \\
 &= 8.07981 \times 0.685 - 13.8673 \times 0.685^2 + 6.984388 \times 0.685^3 \\
 &= 1.272701887
 \end{aligned}$$

◆ $d = -0.9$

◆ m_4 값 구하기

$$\begin{aligned}
 m_4 &= C_{15} \times 0.4 \times \exp(-0.034 \times F_n^{-3.29}) \\
 &= -1.69385 \times 0.4 \times \exp(-0.034 \times 0.224188486^{-3.29}) \\
 &= -0.006443193 \\
 -C_{15} &= -1.69385 \quad (L^3 / \nabla \leq 512 \text{ 일 때}) \\
 -L^3 / \nabla &= 266.88^3 / 62234.9 \\
 &= 305.4316869
 \end{aligned}$$

◆ λ 값 구하기

$$\begin{aligned}
 L / B &= 266.88 / 32.2 \\
 &= 8.2881987577 \\
 L / B &\leq 12 \text{ 일 때,} \\
 \lambda &= 1.446C_p - 0.03L / B \\
 &= 1.446 \times 0.685 - 0.03 \times 266.88 / 32.2 \\
 &= 0.741864037
 \end{aligned}$$

③ 설계선의 Bulb에 의한 조파저항

※ Bulb에 의한 조파 저항

최근에 모형-시운전 시험 결과를 분석한 결과에 의하면 Bulb에 의한 조파저항 (R_B)는 무시할 수 있다.

$$\therefore R_{B_{\text{기준선}}} = R_{B_{\text{설계선}}} = 0$$

※ Transom에 의한 저항 추정

기준선과 설계선 모두 Designed Draft에서 Transom이 물 속에 잠기지 않으므로, $A_T = 0$ 이다. 따라서 Transom에 의한 저항은 기준선과 설계선 모두 0이다.

$$\begin{aligned}
 \text{기준선 : } R_{TR} &= \frac{1}{2} \rho V^2 A_T C_6 \\
 &= 0.5 \times 1.025 \times (23.17 \times 0.5144)^2 \times 0 \times 0.2 \\
 &= 0 \\
 -C_6 &= 0.2(1 - 0.2F_{nT}) \quad (F_{nT} \leq 5 \text{ 일 때}) \\
 &= 0 \quad (F_{nT} \geq 5 \text{ 일 때}) \\
 -F_{nT} &= V / \sqrt{2gA_T / B(B + B \square C_{WP})} \\
 &= 23.17 \times 0.5144 / \sqrt{2 \times 9.81 \times 0 / 32.2 / (32.2 + 32.2 \times 0.77425)} \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{설계선 : } R_{TR} &= \frac{1}{2} \rho V^2 A_T C_6 \\
 &= 0.5 \times 1.025 \times (22.3 \times 0.5144)^2 \times 0 \times 0.2 \\
 &= 0 \\
 -C_6 &= 0.2(1 - 0.2F_{nT}) \quad (F_{nT} \leq 5 \text{ 일 때}) \\
 &= 0 \quad (F_{nT} \geq 5 \text{ 일 때}) \\
 -F_{nT} &= V / \sqrt{2gA_T / B(B + B \square C_{WP})} \\
 &= 22.3 \times 0.5144 / \sqrt{2 \times 9.81 \times 0 / 32.2 / (32.2 + 32.2 \times 0.77425)} \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

2.3. 부가물의 저항

① 선체 침수 표면적 추정

부가물의 침수 면적은 Rudder의 침수면적(A_r)과 Bilge keel의 침수표면적(A_{bk})로 나눌 수 있다. 또한, 기준선과 설계선의 경우 T_d 에서 Rudder가 물속에 완전히 잠기기 때문에 Rudder의

침수면적(A_r)은 Rudder의 전체 면적과 같다

Rudder의 침수 면적은 다음의 값을 사용한다.

$$A_{\text{기준선}} = 41.37 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} A_{\text{설계선}} &= \frac{A_{\text{기준선}}}{LBP_{\text{기준선}} \times T_{d(\text{기준선})}} \times LBP_{\text{설계선}} \times T_{d(\text{설계선})} \\ &= 48.11 (\text{m}^2) \end{aligned}$$

기준선의 Bilge keel 침수 표면적(A_{bh})은 135.0 m^2 이다. Bilge keel면적은 선박의 길이에 비례하므로 이를 고려하여 Bilge keel의 침수 표면적을 계산한다.

$$A_{bk(\text{기준선})} = 135.0 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} A_{bk(\text{설계선})} &= A_{bk(\text{기준선})} \times \frac{LWL_{\text{설계선}}}{LWL_{\text{기준선}}} = 135.0 \times \frac{266.88}{244.26} \\ &= 147.5018423 (\text{m}^2) \end{aligned}$$

부가물에 의한 침수 표면적은 다음과 같다.

$$S_{app(\text{기준선})} = A_{r(\text{기준선})} + A_{bk(\text{기준선})} = 41.37 + 135.0 = 176.37 (\text{m}^2)$$

$$S_{app(\text{설계선})} = A_{r(\text{설계선})} + A_{bk(\text{설계선})} = 48.11 + 147.5018423 = 195.6118423 (\text{m}^2)$$

위 계산 결과로부터 부가물의 유효형상 계수를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} (1 + k_2)_{\text{eq기준선}} &= \frac{\sum S_i (1 + k_2)_i}{\sum S_i} \\ &= \frac{1.4 \times 135.0 + 1.4 \times 41.37}{176.37} \\ &= 1.4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (1 + k_2)_{\text{eq설계선}} &= \frac{\sum S_i (1 + k_2)_i}{\sum S_i} \\ &= \frac{1.4 \times 147.5018423 + 1.4 \times 48.11}{195.6118423} \\ &= 1.4 \end{aligned}$$

② 선체 부가물에 의한 저항 추정

$$\begin{aligned} R_{app\text{기준선}} &= \frac{1}{2} \rho V^2 S_{app} (1 + k_2)_{eq} C_F \\ &= \frac{1}{2} \times 1.025 \times (23.17 \times 0.5144)^2 \times 176.37 \times 1.4 \times 1.370 \times 10^{-3} \\ &= 24.62 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{app\text{설계선}} &= \frac{1}{2} \rho V^2 S_{app} (1 + k_2)_{eq} C_F \\ &= \frac{1}{2} \times 1.025 \times (22.3 \times 0.5144)^2 \times 195.6118423 \times 1.4 \times 1.366 \times 10^{-3} \\ &= 25.21917985 \text{ KN} \end{aligned}$$

2.4. 모형선 실선 상관 수정 저항

① 기준선의 경우

$$\begin{aligned}
 R_{A_{\text{기준선}}} &= \frac{1}{2} \rho V^2 S_{\text{total}} C_A \\
 &= 0.5 \times 1.025 \times (23.17 \times 0.5144)^2 \times 9435.806616 \times 0.000306402 \\
 &= 210.4837722(kN)
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{total}} = S_{bh} + S_{app} = 9259.436616 + 176.37 = 9435.806616(m^2)$$

$$\begin{aligned}
 C_A &= 0.006(L+100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003\sqrt{L/7.5}C_B^4 \times C_2 \times (0.04 - C_4) \\
 &= 0.006(244.26+100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003\sqrt{244.26/7.5} \times 0.62445^4 \times 0.713085981 \times (0.04 - 0.04) \\
 &= 0.000306402 \\
 -C_4 &= 0.04 \quad (T_F / L \geq 0.04) \\
 -T_F / L &= 10.1 / 244.26 = 0.041349
 \end{aligned}$$

② 설계선의 경우

$$\begin{aligned}
 R_{A_{\text{설계선}}} &= \frac{1}{2} \rho V^2 S_{\text{total}} C_A \\
 &= 0.5 \times 1.025 \times (22.3 \times 0.5144)^2 \times 11150.3164 \times 0.000282531 \\
 &= 212.4509359(kN)
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{total}} = S_{bh} + S_{app} = 10954.7072 + 195.61184233 = 11150.3164(m^2)$$

$$\begin{aligned}
 C_A &= 0.006(L+100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003\sqrt{L/7.5}C_B^4 \times C_2 \times (0.04 - C_4) \\
 &= 0.006(266.88+100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003\sqrt{266.88/7.5} \times 0.6709^4 \times 0.738666883 \times (0.04 - 0.04) \\
 &= 0.000282531 \\
 -C_4 &= 0.04 \quad (T_F / L \geq 0.04) \\
 -T_F / L &= 11 / 266.88 = 0.04121702637
 \end{aligned}$$

2.5. 전저항 추정

$$\begin{aligned}
 R_{T_{\text{기준선}}(\text{추정})} &= R_F (1 + K_1) + R_W + R_{App} + R_B + R_{TR} + R_A \\
 &= 925.9858 \times 1.17237 + 321.3248596 + 24.6929 + 0 + 0 + 210.4837722 \\
 &= 1483.659746(kN) \\
 R_{T_{\text{설계선}}(\text{추정})} &= R_F (1 + K_1) + R_W + R_{App} + R_B + R_{TR} + R_A \\
 &= 1008.82172 \times 1.176280564 + 311.9300618 + 25.21917985 + 0 + 0 + 212.4509359 \\
 &= 1735.466677(kN)
 \end{aligned}$$

설계선의 경우, Sea Margin을 고려하여 22.3Knots에서 운항을 하게 된다.

설계선의 경우, 요구하는 조건에서의 전 저항을 알 수 없으므로, 다음과 같은 방법으로 추정할 수 있다. 먼저 Holtrop-Mennen의 저항 추정 공식을 이용하여 기준선의 T_d 에서의 선속 23.17Knots에 대해서 전 저항을 계산한 후, 기준선 모형 시험 자료에 나타난 기준선의 실제 전 저항 값과 비교하여 보정 계수를 구한다. 그리고 이 보정 계수를 설계선에 적용하여 설계선의 요구 선속 22.3Knot에서의 전저항을 계산한다.

	추정 저항(kN)	실제 저항(kN)	보정 계수
기준선	1483.659746	1402.273021	0.945144616
설계선	1735.466677	1640.266986	0.945144616

기준선의 Still Water, T_d , 선속 23.17Knots 전 저항(R_T)은 기준선의 23.0 Knots와 24.0 Knots의 모형 시험 결과 전 저항을 선형 보간하여 계산한다.

따라서 Still Water, T_d 에서 22.3 Knots에 해당하는 설계선의 전 저항은 1640.267kN이 된다.

3. 주기관 선정

주 기관은 선주 요구 조건에 따라 선정된 주요 치수를 바탕으로 하여, 추정된 저항 값을 사용하여 선정한다. 이 때, 주 기관은 요구 추진 성능 조건을 고려하여야 한다.

즉, 저항 성능 추정에서 구한 유효 마력(EHP)을 바탕으로, 전달 마력(DHP), 제동 마력(BHP)을 구해준다. 여기서, 요구되는 설계선의 추진 성능은 제동 마력(BHP)에 15%의 Sea Margin을 준 엔진의 상용출력(NCR)에서 22.3knot 이상의 선속을 내야 한다.

$$EHP = R_T(\text{Still Water}) \times V$$

$$DHP = \frac{EHP}{\eta_D}$$

$$BHP = \frac{DHP}{\eta_T}$$

$$NCR = BHP \times \left(1 + \frac{\text{Sea Margin}}{100}\right)$$

$$MCR = NCR \times \left(1 + \frac{\text{Engine Margin}}{100}\right)$$

단, 여기서 상용 출력(NCR) 추정을 위해 사용되는 준 추진 효율(η_D)값은 기준선(3700TEU 컨테이너선)의 Design Draft, Even Keel상태에서의 저항 시험 (ITC Prediction)을 이용하여 구한 데이터 값을 이용한다. (단, 기준선의 요구 선속(23.17knots)값과 동일하게 사용하되, 이후에 프로펠러 설계를 통해 결정된 효율을 이용해 재추정한다.)

또한, 이번 설계선은 선미 부분이 기준선과 동일하게 되어 있으며, 깊이(D)에 있어서 변화가 없기 때문에, 축 전달 효율(η_T)은 같은 값으로 가정한다.

준 추진 효율(η_D)	축 전달 효율(η_T)
0.762	0.985

이제 위의 표를 이용하여, 설계선의 NCR을 1차적으로 추정한다.

$$\begin{aligned} BHP &= \frac{R_T(\text{in Still Water}) \times V}{\eta_D \eta_T} \\ &= \frac{1640.266986 \times 11.47112}{0.762 \times 0.985} \\ &= 25068.54714(kW) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} NCR &= BHP \times \left(1 + \frac{\text{Sea Margin}}{100}\right) \\ &= 25068.54714 \times 1.15 \\ &= 28828.82921(kW) \\ &= 38249.74022(PS) \end{aligned}$$

이제, 기준선의 NCR과 MCR의 정보를 통해, Engine Margin을 계산하여,

설계선에 동일하게 적용하여, 위에서 1차로 추정된 NCR로부터 설계선의 MCR을 계산한다

기준선(3700TEU 컨테이너선)의 추진 정보			
MCR		NCR	
28378(kW)	38570(PS)	25538(kW)	34710(PS)

저항 및 마력 계산을 통해 1차 추정된 설계선의 NCR과, 기준선의 Engine Margin을 적용하여 설계선의 MCR을 1차적으로 추정한다.

$$\begin{aligned} \text{기준선의 Engine Margin} &= \frac{\text{기준선의 NCR}}{\text{기준선의 MCR}} \\ &= \frac{34710}{38570} \\ &= 0.8999 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{설계선의 1차 추정 MCR} &= \frac{\text{설계선 1차 추정 NCR}}{\text{기준선 Engine Margin}} \\ &= \frac{28828.82921}{0.8999} \\ &= 32034.80099(kW) \\ &= 42503.38463(PS) \end{aligned}$$

R_T (in Still Water) (kN) at 22.3knots	1640.266986
η_D	0.762
η_T	0.985
NCR(kW)	28828.82921
NCR(PS)	38249.74022
MCR(kW)	32034.80099
MCR(PS)	42503.38463

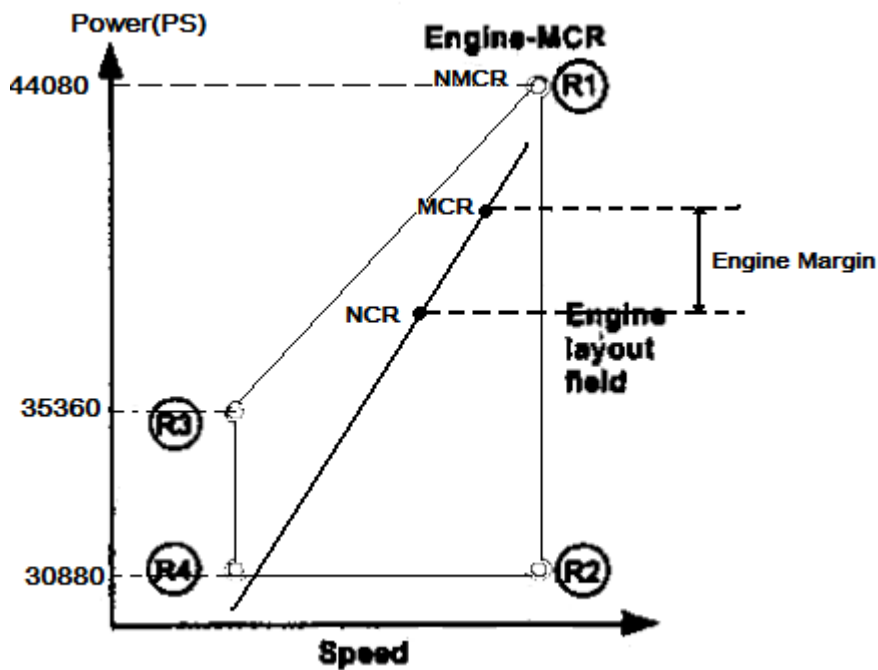
다음으로, 저항 정보를 통해 추정된 설계선(4200TEU)의 NCR, MCR 정보를 이용하여, 이에 적합한 엔진을 선정하며, 다음의 조건을 만족해야 한다.

1. (선정될 주 기관 MCR Point) > (1차 추정된 MCR)
2. (선정될 주 기관 MCR Point)와 (1차 추정된 MCR)의 차이가 최소
3. 기준선의 자료 중 엔진 카탈로그에서 위의 설계선의 NCR과 MCR이 모두 포함
4. 설계선의 주 기관의 MCR에서의 RPM은 기준선과 유사

위와 같은 고려를 바탕으로 이 조건들을 가장 만족시키는 즉, SULZER사의 8RTA84C를 주 기관으로 선정하였다.

기준선의 자료 중 엔진 카탈로그에서 위의 설계선의 NCR과 MCR이 모두 포함되어 있는 엔진의 NMCR을 구하면, 44980 PS(32400kW)로 추정할 수 있다.

Rated power Propulsion Engines								
Cyl.	Output in kW/bhp at							
	102 rpm				82 rpm			
	R1		R2		R3		R4	
	kW	bhp	kW	bhp	kW	bhp	kW	bhp
6	24 300	33 060	17 040	23 160	19 500	26 520	17 040	23 160
7	28 350	38 570	19 880	27 020	22 750	30 940	19 880	27 020
8	32 400	44 080	22 720	30 880	26 000	35 360	22 720	30 880
9	36 450	49 590	25 560	34 740	29 250	39 780	25 560	34 740
10	40 500	55 100	28 400	38 600	32 500	44 200	28 400	38 600
11	44 550	60 610	31 240	42 460	35 750	48 620	31 240	42 460
12	48 600	66 120	34 080	46 320	39 000	53 040	34 080	46 320



VII. 프로펠러 주요치수 결정

1. 프로펠러 설계

B-Series 프로펠러 Chart를 이용하여 프로펠러 최적화 문제를 해결하여 프로펠러 단독 효율이 최대가 되는 프로펠러 최적화 설계를 계산한다. 선박의 주 기관이 결정되어 있고 선박의 저항 계산이 끝난 상황이다. 따라서, 주 기관이 프로펠러에 전달하는 마력을 알 수 있으며 프로펠러의 회전 수를 알 수 있다.

Given	Find
PD.E. = 주 기관이 프로펠러에 전달하는 마력(kW) N = 프로펠러 회전 수, 1/sec RT(v) = 선박의 속력에 따른 저항(kN) Z = 프로펠러 날개수	Dp = 프로펠러 직경, m Pi = 프로펠러 피치, m AE/Ao = 프로펠러 전개 면적비 V = 선박의 속력, m/s

여기서 주의할 점은 주 기관이 프로펠러에 전달하는 마력은 NCR에서의 값이며 프로펠러 회전수는 MCR에서의 회전수라는 것이다. 이를 프로펠러의 설계점 이라 한다. 프로펠러의 주요 치수가 결정되고 나면 주어진 선박의 속력을 내기 위해 필요한 프로펠러 회전수 및 그 때의 소요 마력을 재 추정하게 된다.

프로펠러 주요 치수 결정 계산을 위해 필요한 초기 Input 값은 다음과 같다.

초기 AeAo	초기속도(knts)	날개 수	NCR	rpm
0.45	23	5	38249.74	102

우선적으로 초기 AeAo와 초기 속도는 가정하게 되는데 이는 나중에 결과값이 만족하지 않을 시에 Iteration을 통하여 수정된다. 이 때 가정하는 값은 어느 정도 예상되는 AeAo가 있을 것이고 이보다 어느 정도 작은 값을 초기값으로 주면 계산 오차가 적어질 것이다.

처음 가정한 초기 속도에 대하여 저항 실험 데이터로부터 각종 계수들의 값을 계산하는데 Table에서 계산할 수 없는 값은 B-spline 보간을 이용하여 그 값들을 계산해낸다. 저항 실험 데이터 값은 저항 프로그램을 통하여 얻어냈고 알 수 없는 계수 등의 값은 기준선 자료를 활용 하였다.

V(m/s)	정수중 EHP[PS]	T[kN]	R[kN]	w	t	η_R	η_H
23	27837.07	1713000	1731.7	0.309	0.270	1.022	1.094
24	32557.46	1960000	1940.95	0.307	0.271	1.02	1.092

선미에서 전달되는 마력을 단독적으로 작동하는 마력으로 변환하기 위하여 η_R 을 고려해야 하며, 이를 통해 전달마력(DHP), v_A , C_1 등을 계산해 낸다.

$$P = DHP = \frac{NCR}{1.025} \times 0.736 \times \eta_T \times \eta_R = \frac{NCR}{1.025} \times 0.736 \times 0.98 \times 1.022 = 27428.22[kW]$$

$$v_A = v(1 - w) = 11.8311 \times (1 - 0.3089) = 8.17556$$

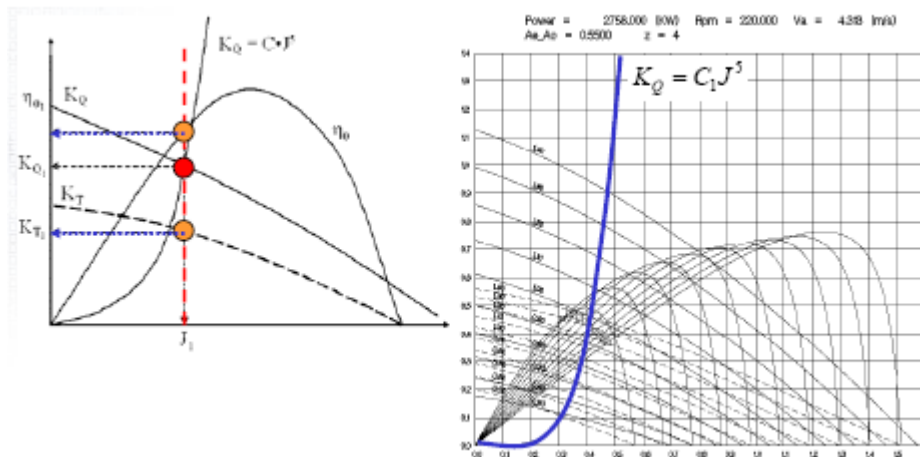
$$C_1 = \frac{P \times n^2}{2\pi\rho v_A^5} = 0.33599$$

주어진 값으로부터 조건식 1을 만족하는지를 확인해 본다. 조건식 1은 디젤엔진이 전달한 Torque를 프로펠러가 흡수하는 조건이다.

$$\frac{P}{2\pi n} = \rho \times n^2 \times D_p^5 \times K_Q, \quad J = \frac{v_A}{n \times D_p} \quad (\Rightarrow \frac{n \times J}{v_A} = \frac{1}{D_p})$$

$$K_Q = \frac{P}{2\pi n^3 \rho} \frac{1}{D_p^5} = \frac{P}{2\pi n^3 \rho} \left(\frac{nJ}{v_A}\right)^5 = \frac{P \times n^2}{2\pi\rho v_A^5} J^5 = C_1 J^5 \quad (C_1 = \frac{P \times n^2}{2\pi\rho v_A^5})$$

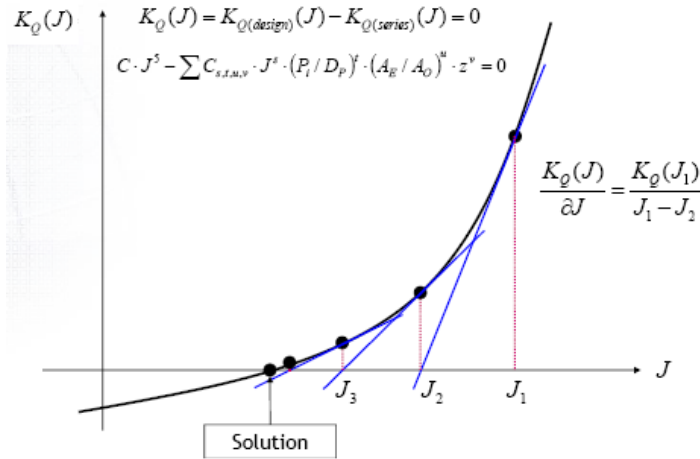
조건식 1을 만족하는 지를 확인하기 위하여 조건식 1을 $K_Q = C_1 J^5$ 의 형태로 표현한 것이다. 이를 프로펠러 단독성능 곡선을 이용하여 여러 피치비에서 최대효율을 내는 J와 그 때의 KT를 계산한다.



수치적으로 계산을 할 때는 위의 그래프를 사용할 수 없기에 계열 프로펠러가 흡수하는 Torque 및 그 때 내는 Thrust에 관한 다음의 회귀 해석식을 사용하여 $K_Q = C_1 J^5$ 와의 연립을 통하여 KQ값을 계산하게 된다.

$$K_Q = \sum C_{s,t,u,v} \times J^S \times (P_i / D)^t \times (A_E / A_O)^u \times z^v = C_1 \times J^5$$

위의 비선형 방정식의 해를 구하는 데 있어 Newton Raphson 방법을 사용한다.



위의 방법으로 J를 결정하고 나면 프로펠러의 직경 DP를 구할 수 있다. 물론 이것이 최종 프로펠러의 직경은 아니고 조건식 1을 우선적으로 만족시키는 프로펠러의 직경이라고 볼 수 있다.

$$D_p = \frac{v_A}{n \times J} = \frac{8.175564}{(220 / 60) \times 0.62224} = 7.72866[m]$$

조건식 2의 만족 여부를 확인하기 위하여 KT를 계산해야 하는데 이는 마찬가지로 프로펠러 단독 성능 곡선을 이용하여 구할 수 있다. 또는 수치적으로 계열 프로펠러가 흡수하는 Torque 및 그때 내는 Thrust에 관한 회귀 해석식을 사용할 수 있다.

$$\frac{R_T}{1-t} = \rho \times n^2 \times D_p^4 \times K_T$$

$$\text{선박이 요구하는 추력(TS)} = \frac{R_T}{1-t} = \frac{1731.7}{1-0.270005} = 2198.57[N]$$

프로펠러가 낼 수 있는 추력(TP)

$$\rho \times n^2 \times D_p^4 \times K_T = 1.025 \times (102 / 60)^2 \times 7.7286^4 \times 0.194477 = 2061.46[N]$$

이처럼 조건식 2를 만족하지 않고 선박이 요구하는 추력이 프로펠러가 낼 수 있는 추력보다 클 경우에는 속력을 감소시켜 위의 과정을 반복한다. 컴퓨터를 이용하여 Iteration을 하는 것이기에 정확한 값을 구하기 위하여 0.01의 미소량을 더하거나 빼가며 조건식 1과 2를 동시에 만족시키는 속도와 J값을 구해낸다. T_s와 T_p가 완벽하게 일치할 수는 없으며 어느 정도의 미소값 이하로 수렴할 때 같다고 간주한다.

다음으로 처음 가정한 전개 면적비가 요구 전개면적비를 만족하는지의 여부를 확인한다. 이는 프로펠러의 Cavitation(공동현상)이 발생하지 않는 최소 면적비 조건과 관계되는 값으로 Keller의 최소면적비 경험식과 Burrill의 최소면적비 경험식을 모두 확인한다.

Keller의 최소 면적비 경험식
$A_E / A_o \geq K + \frac{(1.3 + 0.3z) \times T}{D_p^2 \times (p_0 + \rho g h^* - p_v)}$ <p>K : 단추진 = 0.2, 쌍추진 = 0.01 P0pv = 99.047kN/m2 at 15'C Sea Water h * = 축 침수 깊이 h = Shaft Center height</p>

Burrill의 최소 면적비 경험식
$A_E / A_o \geq F \times (\eta_0 / (1 / J)^2) / \{[1 + 4.826(1 / J)^2] (1.067 - 0.229 P_i / D)\}$ $F = \frac{\eta_R B_P^2 v_A^{1.25}}{287.4(10.18 + h)^{0.625}}$ $B_P = n \times P^{0.5} / v_A^{2.5} \quad v_A = v \times (1 - w)$

두 식 중에 어느 하나라도 만족하지 못할 시에는 초기 전개 면적비 가정이 잘못된 것이기에 초기 면적비를 새로 가장하여 위의 과정을 반복한다. 전개 면적비 또한 정확한 값을 구하기 위하여 0.01씩 증가시켜 가며 계산을 반복한다.

프로펠러 주요치수

AeAo	V(m/s)	J	Eta0	Diameter	Pi/D
0.6985	22.601477	0.607412	0.612345	7.771901	0.93

2. 설계된 프로펠러를 이용한 주기관 마력 재 추정 및 회전 수 계산

프로펠러의 주요치수를 결정하고 나면, 주어진 속력을 내기 위한 프로펠러의 회전 수와 그 때의 소요 마력을 결정하게 된다. 위에서 계산된 프로펠러가 낼 수 있는 속력 값은 적어도 주어진 속력 보다 큰 값 이어야 할 것이다. 최종적으로 설계 프로펠러에서의 속력, 마력, 회전수가 결정되면 NCR과 MCR에 대한 재 추정이 이루어진다. 기존에 NCR과 MCR 마력 추정은 기준선과 축 전달 효율과 준 추진 효율을 같게 가정하여 계산한 값이다. 프로펠러 설계를 통하여 설계선의 프로펠러 단독 효율이 계산되었으므로 이를 이용하여 NCR과 MCR의 재 추정이 가능하다. 이 작업이 끝나면 주 기관 선정에 대한 검토가 이루어진다.

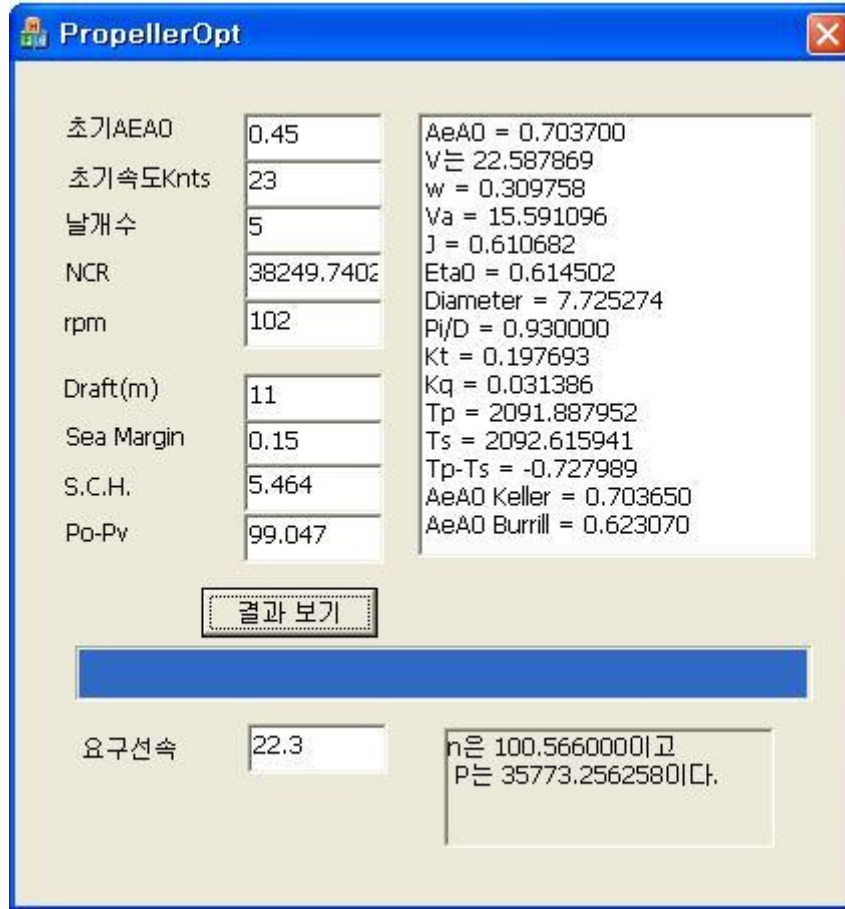
Given	Find
D_p = 프로펠러 직경, m P_i = 프로펠러 피치, m V = 선박의 속력, m/s $RT(v)$ = 선박의 속력에 따른 저항(kN) Z = 프로펠러 날개수 AE/A_o = 프로펠러 전개 면적비	P.D.E. = 주 기관이 프로펠러에 전달하는 마력(kW) N = 프로펠러 회전 수, 1/sec

주어진 조건식 1과 조건식 2를 만족시켜야 하며 미지수가 2개이므로 비선형 방정식 문제로 해결할 수 있다.

$$\frac{P}{2\pi n} = \rho \times n^2 \times D_p^5 \times K_Q - \text{조건식 1}$$

$$\frac{R_T}{1-t} = \rho \times n^2 \times D_p^4 \times K_T - \text{조건식 2}$$

요구 선속 하에 조건식 2를 만족시키는 n 을 Newton-Rapson 방법으로 구하였으며, n 이 구해지면 조건식 1을 이용하여 P 를 구할 수 있게 된다. 이는 프로그램을 이용하여 구현하였다.



최종 계산 결과이다. 요구 선속 22.3[knots]하에 n은 100.56rpm이 계산되고 P는 35773[kW]가 계산된다.

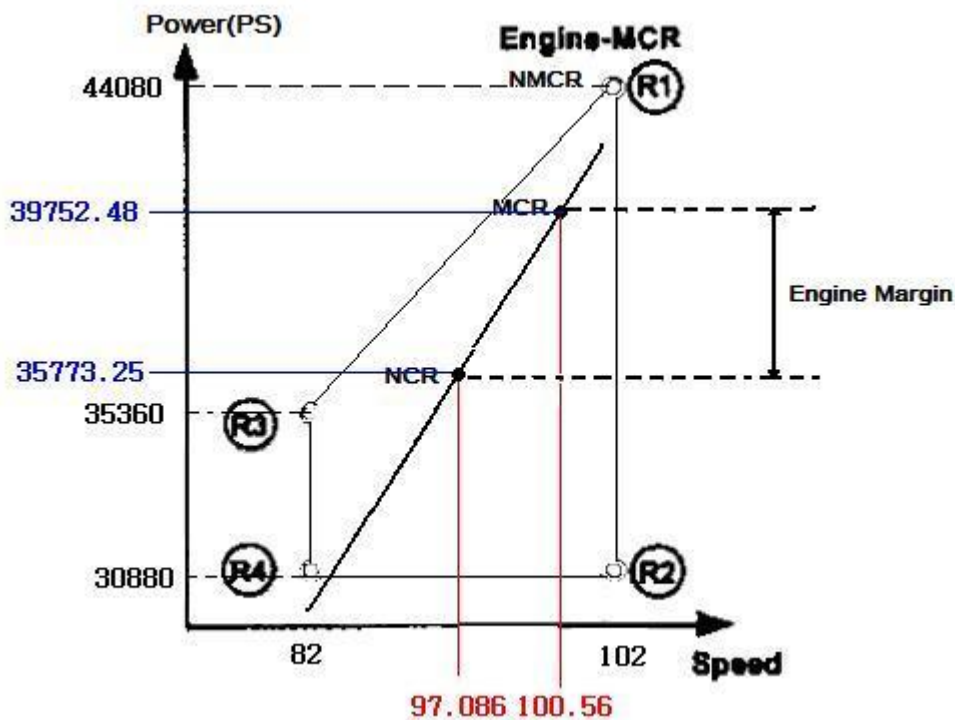
3. 주기관 선정에 대한 검토

재 추정된 주기관 마력과 선정된 주기관을 비교하여 그 적합성을 검증하도록 하겠다. 설계선의 MCR, NCR Point를 엔진 Layout Diagram에 표시해 보도록 한다. 기준선의 Engine Margin 0.8999를 이용하여 MCR을 계산 했으며 마력은 rpm의 3승에 비례한다는 성질을 이용하여 NCR에서의 rpm을 계산하였다.

$$P_{MCR} = P_{NCR} / \text{엔진 마진} = 35773.256 / 0.8999 = 39752.48$$

$$n_{NCR} = n_{MCR} \times (P_{NCR} / P_{MCR})^{1/3} = 100.56 \times (35773.256 / 39752)^{1/3} = 97.086$$

	마력(kW)	회전 수(rpm)
NCR	35773.256	97.086
MCR	39752.48	100.56

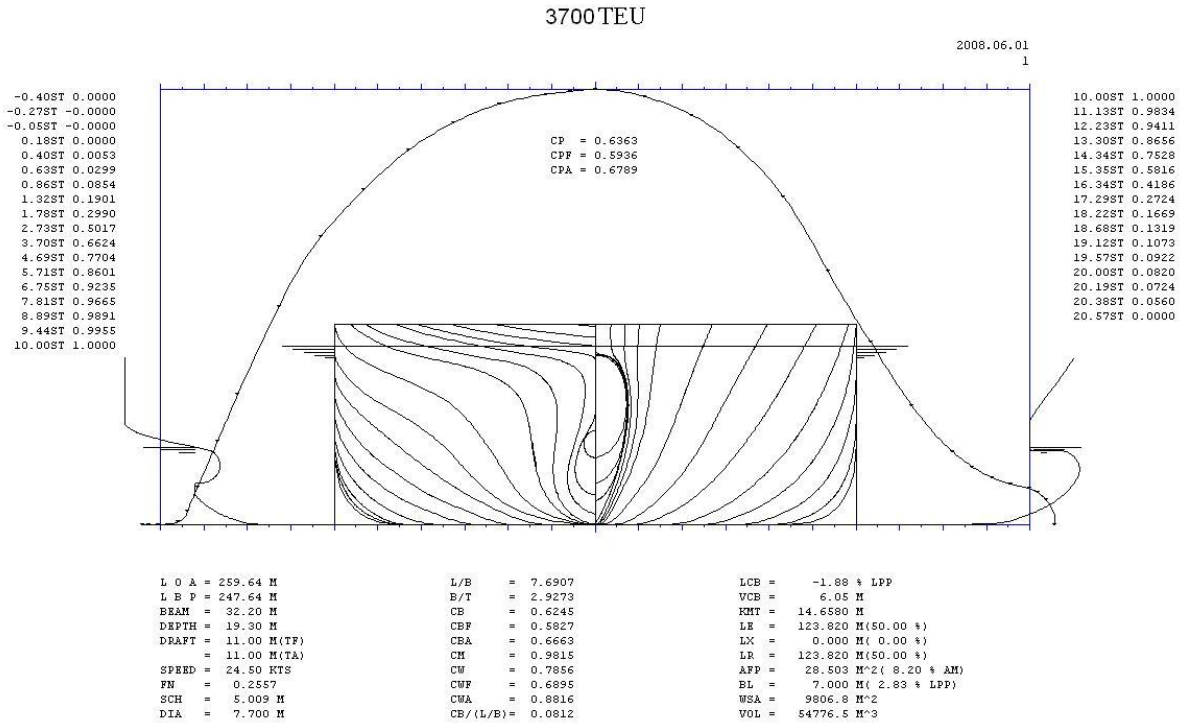


위의 그림에서 보는 바와 같이 설계선에서의 마력과 rpm의 Point가 1차로 선정된 엔진의 Layout안에 존재하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 그 적합성은 검증 되었으므로 이 엔진을 그대로 주 기관으로 선정하도록 하겠다.

VIII. 선형설계

1. 실적선 선형 모델링

우선적으로 선형설계에 사용할 3.700TEU 선박의 선형 모델링 결과를 살펴 보면 다음과 같다.



실적선의 선형 정보

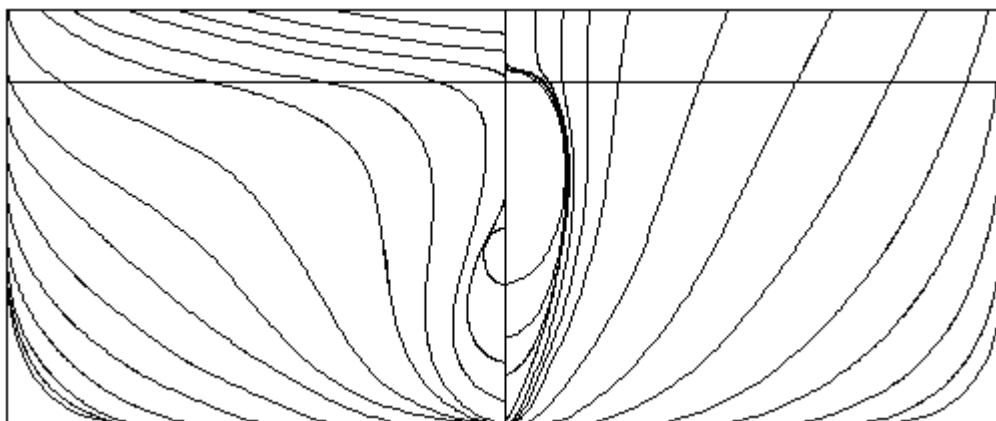
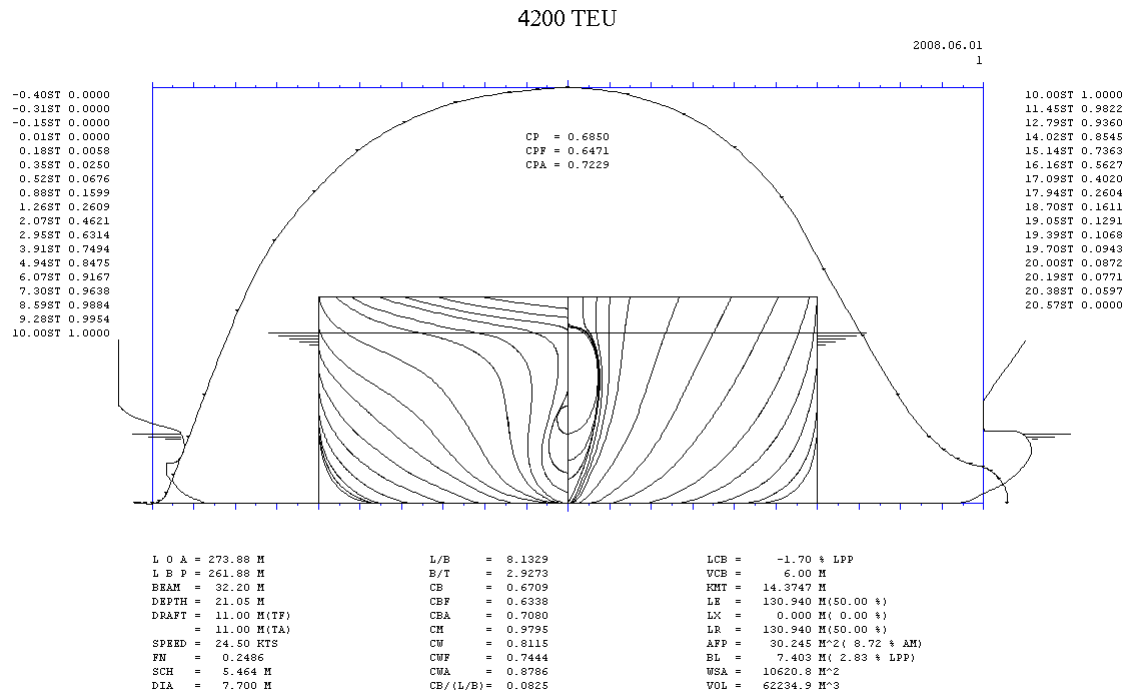
LBP[m]	B[m]	D[m]	T[m]	Volume[m3]	CM
247.64	32.2	19.3	11	54776.5	0.9815
CW	CP	LCB[%]	VCB[m]	WSA[m2]	Cb
0.7856	0.6363	-1.88	6.05	9806.8	0.6245

표의 LCB는 LBP에 대한 비율로 MidShip으로부터 +는 선수, -는 선미 방향을 의미한다.

2. 선형 Variation

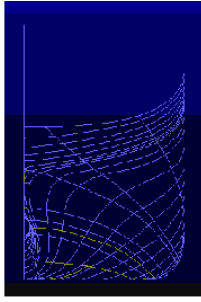
우선, 주요치수 추정을 통해 계산된 Ts에서의 방형계수를 반영하고 또한 기준선과 비교하여 설계선의 L, B, T 값을 고려하여 선형을 Lackenby 방법에 의하여 Variation 하였다. LCB는 기준선과 동일한 -1.88058%를 사용하였다.

1차 Variation한 설계선의 선형의 정면선도는 다음과 같다.

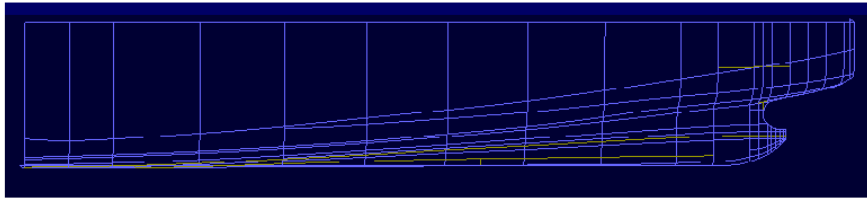


< 설계선 Lines >

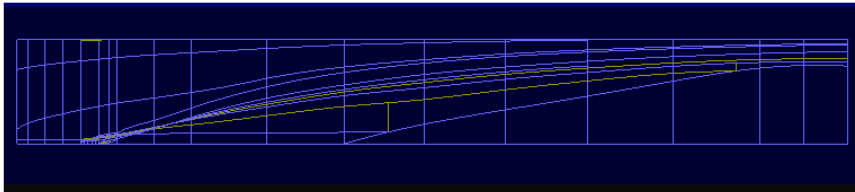
<설계선의 선미부 선형>



< 정면도 >

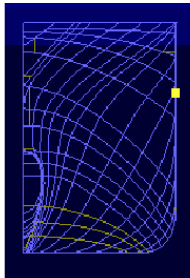


< 측면도 >

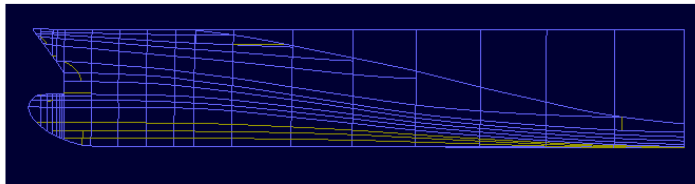


< 평면도 >

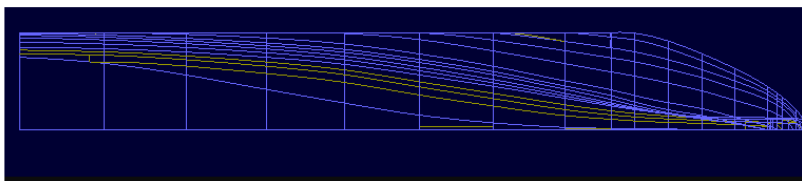
<설계선의 선수부 선형>



< 정면도 >



< 측면도 >



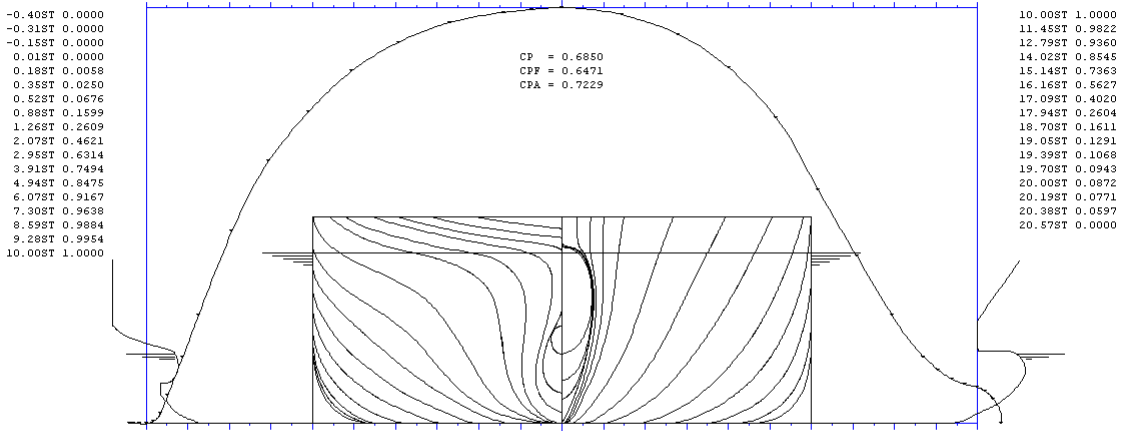
< 평면도 >

<설계선의 선형>



4200 TEU

2008.06.01
1



L O A = 273.88 M	L/B = 8.1329	LCB = -1.70 % LPP
L B P = 261.88 M	B/T = 2.9273	VCB = 6.00 M
BEAM = 32.20 M	CB = 0.6709	KMT = 14.3747 M
DEPTH = 21.05 M	CBF = 0.6338	LE = 130.940 M(50.00 %)
DRAFT = 11.00 M(TF)	CBA = 0.7080	LX = 0.000 M(0.00 %)
= 11.00 M(TA)	CH = 0.9795	LR = 130.940 M(50.00 %)
SPEED = 24.50 KTS	CW = 0.8115	AFP = 30.245 M^2(8.72 % AM)
FN = 0.2486	CMF = 0.7444	BL = 7.403 M(2.83 % LPP)
SCH = 5.464 M	CWA = 0.8786	WSA = 10620.8 M^2
DIA = 7.700 M	CB/(L/B) = 0.0825	VOL = 62234.9 M^3

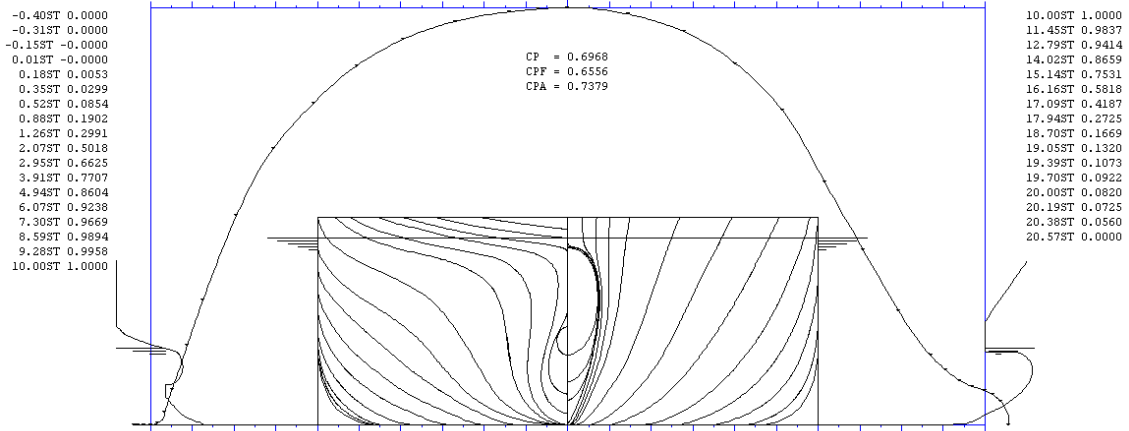
<설계선의 선형 정보 at Td>

- 설계선의 Td에서의 선형 정보

LBP[m]	B[m]	D[m]	T[m]	Volume[m3]	CM
261.88	32.2	19.3	11	62234.9	0.9795
CW	CP	LCB[%]	VCB[m]	WSA[m2]	Cb
0.8115	0.6850	-1.70	6.00	10620.8	0.6709

4200 TEU

2008.06.01
1



L O A = 273.88 M	L/B = 8.1329	LCB = -1.88 % LPP
L B P = 261.88 M	B/T = 2.6833	VCB = 6.55 M
BEAM = 32.20 M	CB = 0.6836	KMT = 14.4268 M
DEPTH = 21.05 M	CBF = 0.6433	LE = 130.940 M(50.00 %)
DRAFT = 12.00 M(TF)	CBA = 0.7240	LX = 0.000 M(0.00 %)
= 12.00 M(TA)	CH = 0.9812	LR = 130.940 M(50.00 %)
SPEED = 24.50 KTS	CW = 0.8357	AFP = 31.097 M^2(8.20 % AM)
FN = 0.2486	CHF = 0.7506	BL = 7.403 M(2.83 % LPP)
SCH = 5.464 M	CWA = 0.9209	WSA = 11302.4 M^2
DIA = 7.700 M	CB/(L/B) = 0.0841	VOL = 69178.6 M^3

<설계선의 선형 정보 at Ts>

- 설계선의 Ts에서의 선형 정보

LBP[m]	B[m]	D[m]	T[m]	Volume[m3]	CM
261.88	32.2	19.3	12	69178.6	0.9812
CW	CP	LCB[%]	VCB[m]	WSA[m2]	Cb
0.8357	0.6968	-1.88	6.55	11302.4	0.6836

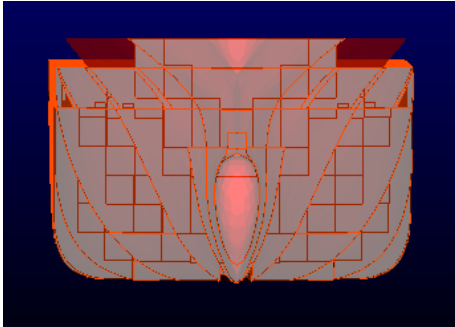
- 선형설계를 통한 설계선의 주요치수

Lbp [M]	Bmld [M]	Dmld [M]	Td [M]	Ts [M]	Cb at Td	Cb at Ts
261.88	32.2	19.3	11	12	0.6709	0.6836

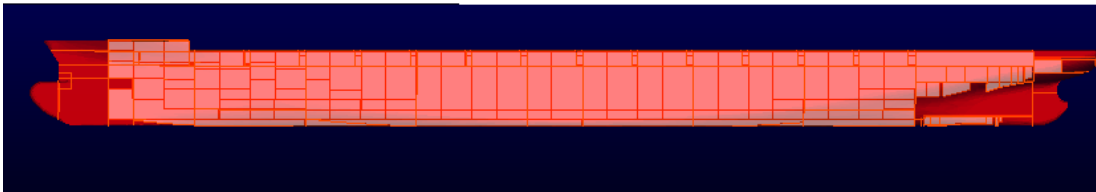
3. 구획 배치

EZCompart 프로그램을 이용하여 화물의 용적과 Rule의 요구사항을 만족시키면서 적재공간을 설계할 수 있다. 구획 분할 모델을 생성하고 선형 모델을 입력하여 이를 합치면 완성된 구획 모델을 생성할 수 있다.

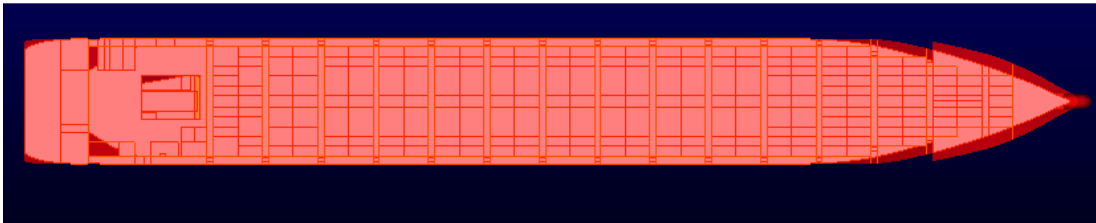
다음은 구획 배치를 완성한 모습이다.



< 정면도 >

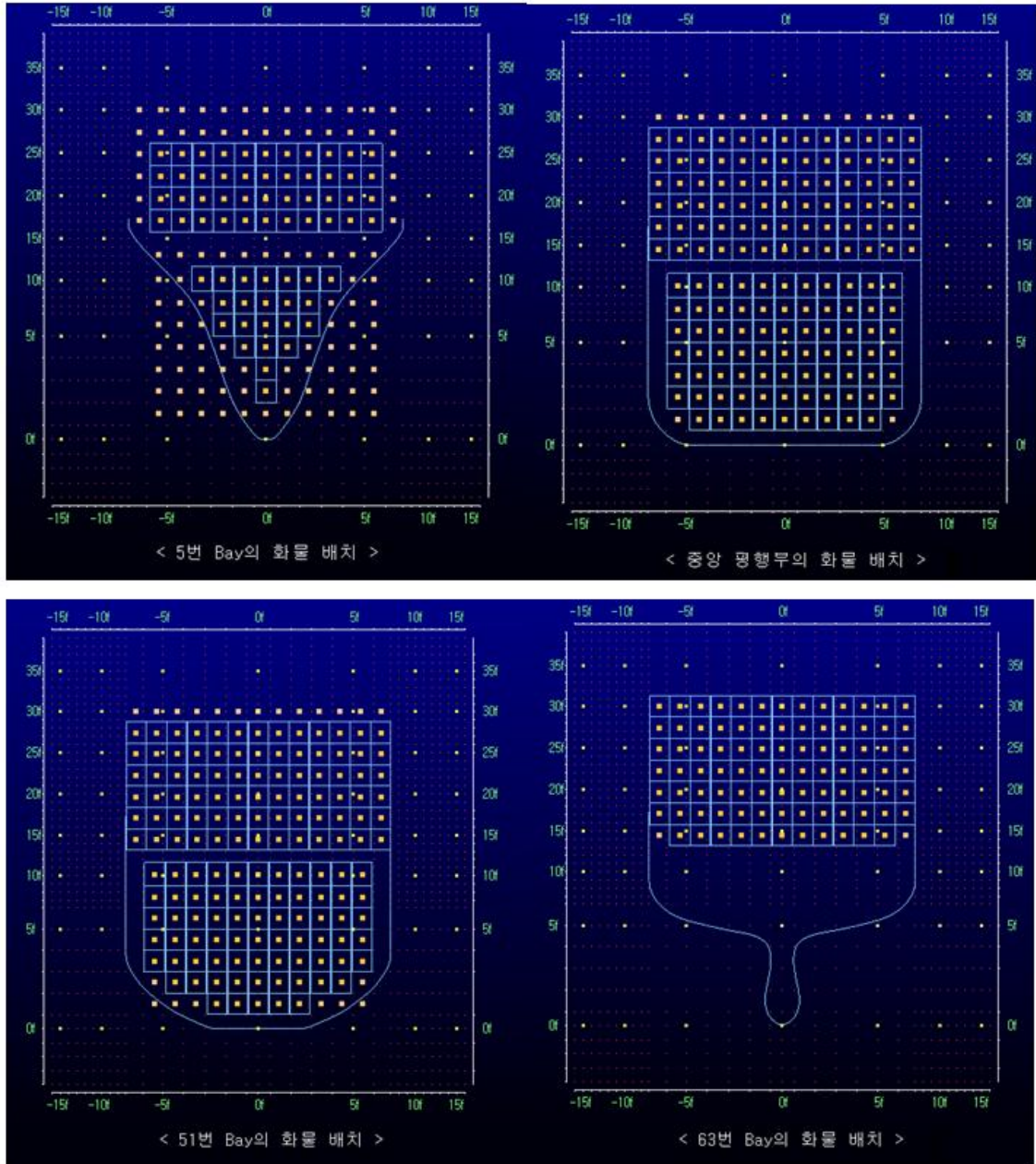


< 측면도 >



< 평면도 >

EZDraft 프로그램을 이용하여 선박의 컨테이너를 배치할 수 있다. 이를 이용하여 화물을 배치한 후 EZCompart한 선형에 반영시킨다. 대표적인 4개의 Bay의 화물 배치를 살펴 보도록 하자.

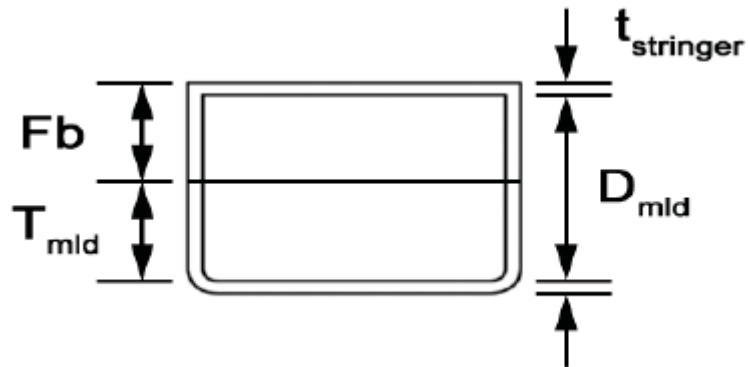


이처럼 화물 배치를 하는 과정에서 Hull Clearance를 확보해야 했기에 이를 넘어가는 컨테이너는 삭제하는 등의 약간의 컨테이너 배치에 수정을 가하였다.

IX. 건현 계산

1. Introduction

1.1. 건현의 정의



① 건현

홀수로부터 Upper Deck의 두께를 포함한 높이

② 건현용 깊이

건현용 깊이(D_f)

$$D_f = D_{mld} + t_{stringer}$$

선박 중앙의 형 깊이

갑판 스트링거 판의 두께

선박중앙의 형깊이(D_{mld})

용골의 상면으로부터 선측에서의 건현 갑판보의 상면까지 수직거리

③ 건현 갑판

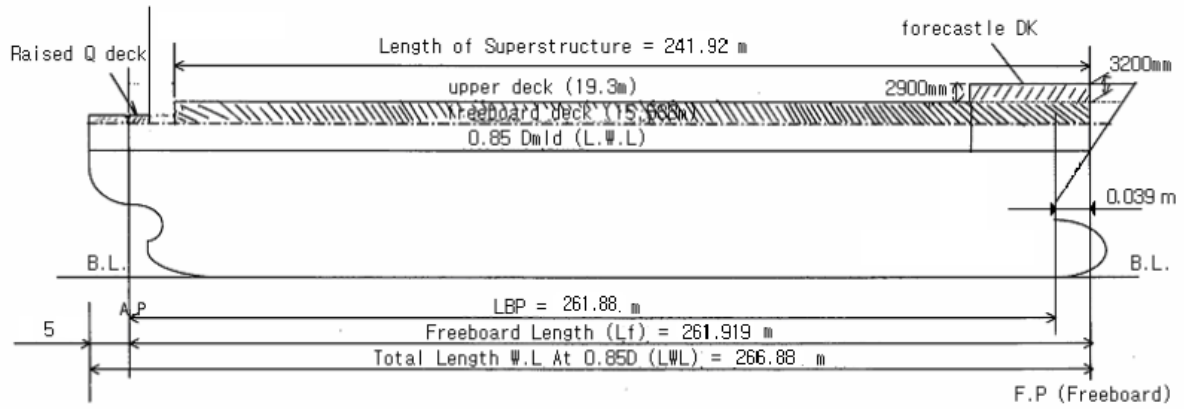
통상 외기 및 해수에 폭로(exposed) 또는 노출된 최상층의 갑판으로서 모든 Opening은 상설 폐쇄장치를 가져야 한다. 폭로갑판이 불연속인 경우 가장 낮은 선을 이은 선이 건현용 갑판이 된다. (건현 요구 조건을 만족해야 하는 갑판)

Container Ship의 경우, 2nd deck을 건현갑판으로 설정한다. 따라서 2nd deck에서 Upper deck 까지가 모두 Superstructure가 되어 예비 부력을 확보할 수 있다.

1.2. 목적

① 선박의 안전에 필요한 예비부력을 확보하기 위하여 최소 건현을 규정하고 있으며 선박에 지정될 수 있는 최소 건현은 그 선박의 치수와 특징에 따라 만재홀수선 규칙으로부터 결정된다.

② 다음은 앞에서 정한 주요치수 및 기준선의 자료를 바탕으로 한, 견현 계산을 위한 자료이다.



2. 계산 과정

2.1. 표정 건현

① 건현용 길이(Lf)

건현용 길이는 다음의 L1, L2중에서 큰 값으로 정한다.

(※기준선(3,700TEU 컨테이너선)과 비교하여 볼 때, 설계선(4,200TEU 컨테이너선)의 치수는 길이 방향으로의 변화는 없고, 길이방향에서는 LBP값만 변하므로 기준선과 설계선의 LBP값 차이를 더해주는 방식으로 계산하였다.)

◆ L1 = 용골의 상면으로부터 형심의 85%(0.85Dmld)가 되는 흘수선에서의 Total Length(Stern/Stem Thickness 포함)의 96%의 길이

$$= 240.282(\text{기준선의 } L1) + 16.64(\text{기준선과 설계선의 LBP차이}) = 256.922\text{m}$$

◆ L2 = 최소 형심의 85%(0.85Dmld)가 되는 흘수선에서의 선수재의 전면으로부터 Rudder Stock Center까지의 길이

$$= 245.279(\text{기준선의 } L2) + 16.64 = 261.919\text{m}$$

$$\text{◆ } Lf = \max(L1, L2) = 261.919\text{m}$$

② 표정 건현표

표정 건현표에서 Lf에 해당하는 값이 없으므로 선형 보간법으로 그에 해당하는 표정 건현을 구한다. 컨테이너선이므로 'B형 선박의 표정 건현표'의 수치를 이용하자.

배의 길이(m)	표정 건현(mm)
261	4165
262	4177

이 수치에 근거하여 선형 보간법으로 표정 건현을 구하면 다음과 같다.

$$4165 + (261.919 - 261) \times (4177 - 4165) \div (262 - 261) = 4176\text{mm}$$

2.2. Cb에 의한 수정값

① 0.85Dmld

◆ 건현 계산을 위한 Dmld값은 2nd Deck까지를 기준으로 한다. 설계선의 경우 기준선과 비교하여 깊이 방향으로의 변화가 없으므로 기준선의 Dmld값과 동일하다. (건현 갑판의 정의에 따라 건현 갑판의 하방에는 수밀 장치를 가져야 하므로, 2nd Deck까지를 기준으로 하였다.)

◆ 설계선의 건현 계산용 Dmld=15.588m

따라서, $0.85Dmld = 0.85 \times 15.588 = 13.250m$

② 0.85Dmld 가 13.250m이므로 선박계산에서 나온 다음의 표를 참고하여 0.85Dmld에서의 Cb값을 찾아낸다. 다음 표를 보면 알 수 있듯이 0.6990이다.

HYDROSTATIC TABLE					
DRAFT MOULDED(M)	13.250	13.500	13.750	14.000	14.250
DRAFT EXTREME(M)	13.275	13.525	13.775	14.025	14.275
TRIM(M)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
HEEL(DEG.)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
VOLUME MOULDED	78098.9	79933.2	81767.5	83602.1	85476.9
DISPL. TOT. S.W.	80250.9	82133.6	84016.4	85899.4	87823.6
DISPL. TOT. F.W.	78293.5	80130.4	81967.2	83804.3	85681.6
DISPL. AFT. BODY	42638.4	43689.5	44740.6	45791.9	46871.6
DISPL. FORE BODY	37413.0	38242.1	39071.1	39900.2	40742.2
L.C.F. FROM MIDSHIP	-12.537	-12.844	-13.152	-13.458	-13.642
L.C.B. FROM MIDSHIP	-5.722	-5.882	-6.043	-6.203	-6.361
L.C.B. AFT. BODY	-53.042	-53.296	-53.550	-53.804	-54.057
L.C.B. FORE BODY	48.200	48.276	48.351	48.427	48.504
V.C.B. ABOVE B.L.	7.247	7.388	7.528	7.668	7.809
T.P.C.(TON/1CM)	74.8	75.2	75.6	76.1	76.5
M.T.C. 0.01M(T-M)	1270.4	1291.1	1311.9	1332.6	1351.3
K.M.T.(M)	14.548	14.582	14.620	14.663	14.702
K.M.L.(M)	421.799	419.058	416.446	413.949	410.754
I LONG.*1/100(M4)	324567.5	329873.3	335179.1	340480.9	345249.4
I TRAN.*1/100(M4)	5716.1	5764.6	5813.2	5861.7	5906.0
W.P.A. MOULDED(M2)	7292.9	7336.1	7379.2	7422.4	7459.7
WETTED SURFACE(M2)	12165.1	12323.4	12481.7	12640.0	12794.9
BLOCK COEFF.(Cb)	0.6990	0.7022	0.7052	0.7082	0.7113
PRISM. COEFF.(Cp)	0.7113	0.7143	0.7171	0.7199	0.7229
W.P.A. COEFF.(Cw)	0.8648	0.8700	0.8751	0.8802	0.8846
MIDSH. COEFF.(Cm)	0.9827	0.9831	0.9834	0.9837	0.9840

◆ Cb가 0.68보다 큰 경우(설계선의 경우):

$$C_b \text{에 대한 수정량} = \text{표정 건현} \times \frac{C_b + 0.68}{1.36}$$

$$= 4176 \times \frac{0.6990 + 0.68}{1.36} = 4234 \text{ (mm)}$$

◆ Cb가 0.68보다 작은 경우: 수정 없음

◆ Cb에 의해 수정되었으므로 건현값은 4234 mm가 된다.

2.3. 선박의 깊이에 대한 수정

① 깊이가 큰 선박의 경우 일반적으로 중량이 무겁고 무거운 선박일수록 파랑 중에서 운동이 느리므로 파도에 덮쳐질 가능성이 크기 때문에 높은 건현이 필요하다.

② 건현용 깊이(Df)

$$D_f = D_{mld} + t_{stringer} = 15.588 + 0.015 = 15.603 \text{ m}$$

t_{stringer}값은 설계선(4,200TEU 컨테이너선)의 갑판 두께 15mm를 사용하였다.

③ Lf/15 = 261.919/15 = 17.46

◆ $D_f > L_f/15$ 인 경우: 다음의 수치만큼 건현 증가

$$(D_f - L_f/15) \times R$$

(단, $L_f < 120 \text{ m}$ 인 경우 $R = L_f/0.48$, $L_f \geq 120 \text{ m}$ 인 경우 $R = 250$)

◆ $D_f \leq L_f/15$ 인 경우: 건현 감소는 없다.

◆ 선루, 트렁크가 있는 경우의 깊이 관련 요구건현 감소량: 선박의 중앙부에 0.6Lf의 길이에 걸쳐 Detached Enclosed Superstructure(둘러 막힌 선루)가 있는 선박, 또는 Complete Trunk(전통 트렁크)가 있는 선박, 또는 둘러 막힌 선루와 Trunk가 연결되어 선수에서 선미까지 걸쳐있는 경우는 요구건현을 $D > L_f/15$ 의 수정량만큼 감소한다.

위 조건에 따르면, 설계선(4,200TEU Container Ship)의 경우 2nd deck에서 Upper deck까지가 모두 Superstructure이므로 Superstructure의 길이가 0.6Lf 보다 크기 때문에 다음과 같이 수정을 해준다.

$$(D_f - L_f/15) \times R = (15.603 - 17.46127) \times 250 = -464.567 \text{ mm}$$

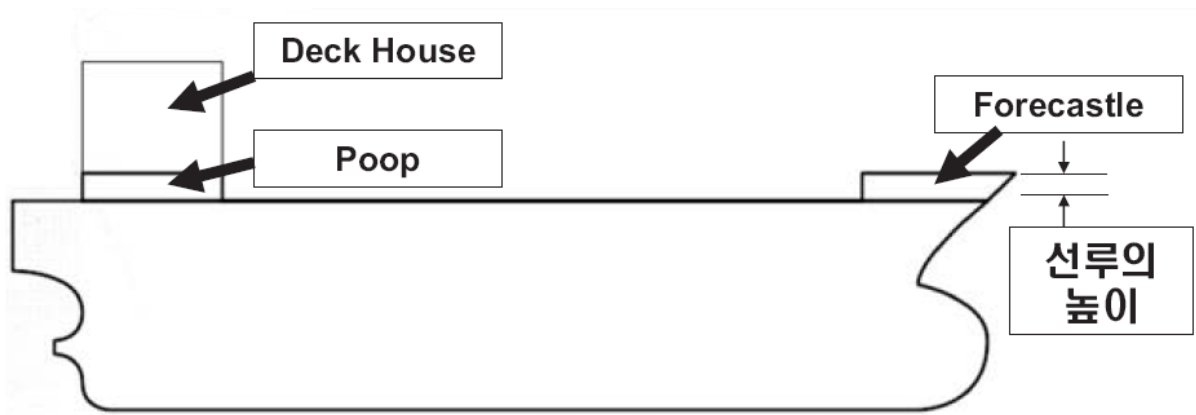
- 설계선의 경우에 해당되므로 위의 식에 따라 선박의 깊이에 따른 건현 감소량을 구하였다.

2.4. 선루 및 트렁크에 대한 수정

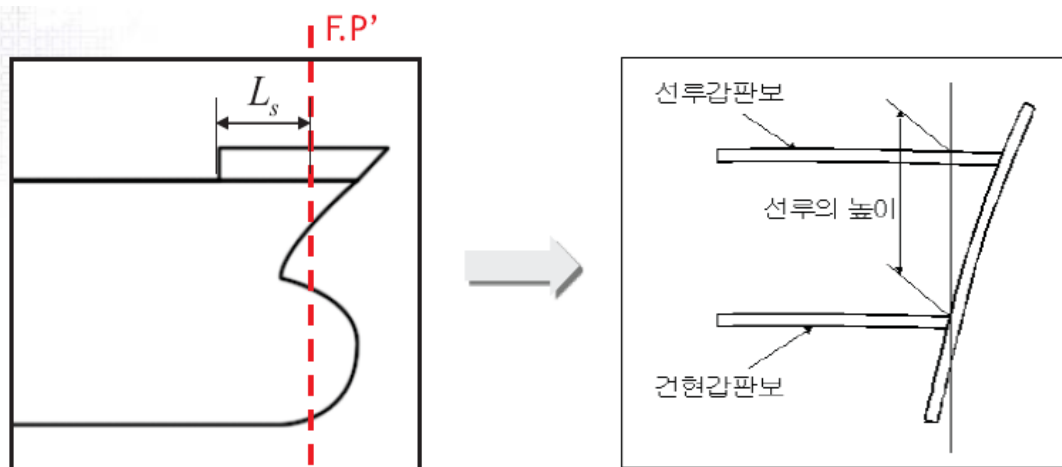
① 선루(Superstructure)

◆ 건현 갑판 상에 설치된 상부에 갑판을 가지고 있는 구조물로서 한쪽 선측에서 다른쪽 선측까지 설치되거나 또는 선측 외판에서 형폭(Bml)의 4%를 넘지 않는 위치에서 그 측판을 가지고 있는 것

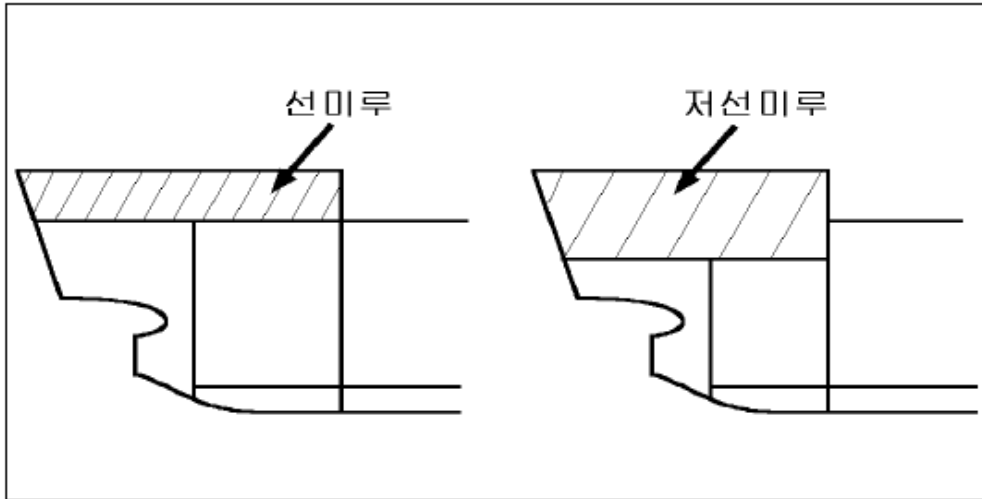
◆ 선루의 높이(H_s): 선측에 있어 선루 갑판 보의 상면에서 건현 갑판보의 상면까지 측정한 최소 수직 높이



◆ 선루의 길이(L_s): 건현 길이 내부에 있는 선루 부분의 평균 길이



◆ 저선미루(Raised Quarter Deck)는 선루로 간주한다.



② 유효길이, 표준높이 정의

◆ 유효길이(LE): 둘러 막혀 있는 선루의 실제 높이(Ha)가 표준 높이(Hs)보다

◆ 큰 경우는 유효길이(LE) = 선루의 길이(Ls)

◆ 작은 경우는 유효길이(LE) = 선루의 길이(Ls) x 실제 높이(Ha) / 표준 높이(Hs)로 계산한다. 단, 선루의 폭(b)이 선박의 전 폭(B)에 걸쳐져 있지 않으나, 선루가 선박의 외관으로부터 0.04B이내에 설치 되어 있는 경우, LE = Ls x b/B 가 된다.

◆ 선루의 표준높이는 다음과 같이 구한다.

Lf(m)	저선미루(m)	그 밖의 선루(m)
30 이하	0.90	1.80
75	1.20	1.80
125 이상	1.80	2.30

Lf가 위의 값의 중간에 있을 경우는 선형 보간법으로 구한다.

③ 선루 및 트렁크의 유효길이(LE)합계가 1.0Lf인 경우의 건현 감소량

$$\begin{cases} 350mm : L_f = 24m \\ 860mm : L_f = 85m \\ 1,070mm : L_f \geq 122m \end{cases}$$

Lf가 위의 값의 중간에 있을 경우 선형 보간법으로 구한다.

④ 선루 및 트렁크의 유효길이(LE)합계가 1.0Lf보다 작은 경우(설계선에 해당된다.)

건현 감소량 = (LE = Lf)일 때의 건현 감소량(설계선의 경우 1,070mm) x 수정계수

배의 형식	선루의 형식	선루 및 트렁크의 유효길이의 합계(LE)											
		0	0.1Lf	0.2Lf	0.3Lf	0.4Lf	0.5Lf	0.6Lf	0.7Lf	0.8Lf	0.9Lf	1.0Lf	
A	모든 형식	0	7	14	21	31	41	52	63	75.3	87.7	100	
B	선수루가 있고 분립선교루가 없는 경우	I	0	5	10	15	23.5	32	46	63	75.3	87.7	100
	선수루 및 분립선교루가 있는 경우	II	0	6.3	12.7	19	27.5	36	46	63	75.3	87.7	100

이를 바탕으로 건현 감소량을 구하면 다음과 같다.

Forecastle(m)		0
Poop(m)		0
Bridge(m)		0
Superstructure(m)	기준선의 값에 LBP차 이만큼 더해줌	241.92
Raised Q' deck(m)	기준선 값과 동일	11.2
Total effective Length(Le)(m)		253.12
Ratio(Le/Lf)		0.9664
수정계수		0.90일 때 87.7%이고, 1.0일 때 100.0%이므로 선형 보간하여 0.9664일 때 값을 구한다. $87.7 + 0.0664 \times \frac{100 - 87.7}{0.1} = 95.87\%$
Lf>122m 일때 표준 건현 감소 길이(mm)		1070
건현 감소길이(mm)		1070 x 95.87% = 1025.786

2.5. 현호에 대한 수정

현호에 의한 수정량 = $(S_o - S) \times (0.75 - 0.5r_1)mm$

$\begin{cases} S_o(mm) : \text{현호의 표준높이} \\ S(mm) : \text{실제현호의 평균높이} \\ r_1 : \text{물러막힌 선루의 합계길이}(L_E) \text{를 } L_f \text{로 나눈 값} \end{cases}$

$$r_1 = L_E / L_f$$

- $S_o > S$ 인 경우 : 수정량을 표정 건현에서 더한다.

- $S_o < S$ 인 경우 : 수정량을 표정 건현에서 빼다.

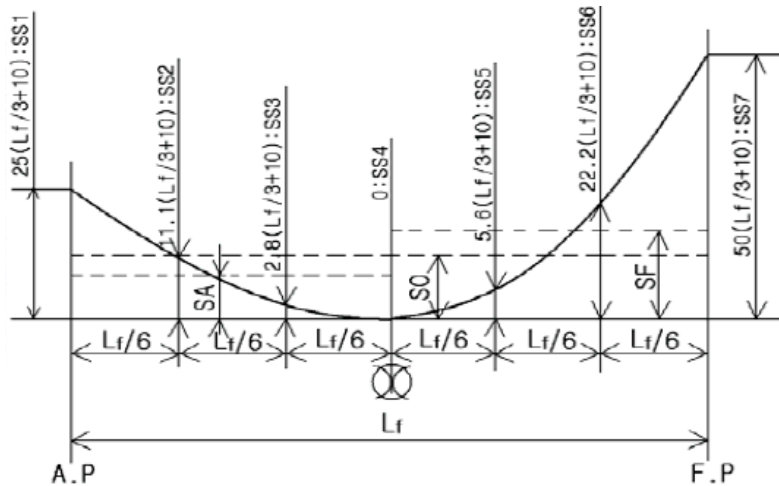
① 현호의 표준 높이 계산(S_o)

다음 표의 계산식을 통해 현호의 표준 높이(S_o)를 계산한다.

위치		표준현호	계수	실제현호	계수
		높이(mm)		높이(mm)	
후반부	A.P	$25.0(L_f/3+10)$	1	S1	1
	$L_f/6$ (from A.P)	$11.1(L_f/3+10)$	3	S2	3
	$L_f/3$ (from A.P)	$2.8(L_f/3+10)$	3	S3	3
	선체중양점	0	1	S4	1
	평균높이	$S_A = 8.34(L_f/3+10)$		$S_a =$	
전반부	선체중양점	0	1	S4	1
	$L_f/3$ (from F.P)	$5.6(L_f/3+10)$	3	S5	3
	$L_f/6$ (from F.P)	$22.2(L_f/3+10)$	3	S6	3
	F.P	$50.0(L_f/3+10)$	1	S7	1
	평균높이	$S_F = 16.68(L_f/3+10)$		$S_f =$	

현호의 표준 높이:
$$S_o = \frac{S_A + S_F}{2} = \frac{8.34 + 16.68}{2} \left(\frac{L_f}{3} + 10 \right)$$

위 식은 현호의 형상을 포물선으로 가정하고, Simpson의 제2법칙에 따라 현호 부분의 면적을 계산한 뒤, 전(후)반부의 평균높이를 계산하기 위하여, 그 면적을 $L_f/2$ 로 나눈 것이다.



$L_f = 261.919m$

$$S_0 = \frac{S_A + S_F}{2} = \frac{8.34 + 16.68}{2} \left(\frac{L_f}{3} + 10 \right) = 12.51 \times \left(\frac{261.919}{3} + 10 \right) = 1217.302mm$$

② 선루의 높이에 따른 현호의 수정(실제 현호의 평균 높이)

선미루 또는 선수루의 실제 높이가 표준 높이보다 클 때, 그 초과분에 대하여 다음 식으로 구한 값을 실제 현호의 전반부 또는 후반부의 평균 높이에 더한다.

$$Forecastdeck(S_{o_f}) : \frac{y}{3} \times \frac{L'}{L_f} = \frac{900}{3} \times \frac{38.4}{261.919} = 44mm$$

y: FP 또는 AP에서 선루의 실제 높이(3,200mm - 기준선과 동일하다.)와 표준 높이(2,300mm)의 차 => 900mm

L' : 둘러 막힌 선미루 또는 선수루의 평균 길이(19.2m) x 2

$$Poopdeck(S_{o_p}) : \frac{y}{3} \times \frac{L'}{L_f} = 0$$

y: FP 또는 AP에서 선루의 실제 높이(0)와 표준 높이(0)의 차 => 0

∴ 실제 현호의 평균 높이 S = Sof + Sop = 44mm가 된다.

③ 현호에 의한 수정량

$$\begin{aligned} & (S_o - S) \times (0.75 - 0.5r_1) \\ & = (1217.302 - 44) \times (0.75 - 0.5 \times 0.9664) \\ & = 313mm \end{aligned}$$

2.6. 요구 견현 및 허용 하기 만재 흘수

구분	값(mm)
Cb에 의해 수정된 견현 값	4,234
깊이에 대한 수정	-465
선루에 의한 수정	-1,026
현호에 의한 수정	313
요구견현	3,057
견현용 깊이(D _f)	15,603
허용 하기 만재 흘수 (견현용 깊이 - 요구견현)	15,603 - 3,057 = 12,546
계획 하기 만재 흘수(T _s)	12,000
여유	546

2.7. 최소 선수 높이

선수 수선에서 측정된 하기 만재 흘수선과 노출 갑판의 선측 상면과의 수직거리를 선수 높이라 하며 다음 식에서 주어지는 값 이상이어야 한다.

① 최소 선수 높이 계산

◆ L_f < 250m 일 때

최소 선수 높이 = $56L_f \times (1 - L_f/500) \times 1.36 / (C_b + 0.68)$ (mm)

◆ L_f ≥ 250m 일 때

최소 선수 높이 = $7000 \times 1.36 / (C_b + 0.68)$ (mm)

→ 설계선의 경우에 해당하며, C_b가 0.6990이므로 다음과 같이 계산한다.

→ $H_m = 7000 \times 1.36 / (0.6990 + 0.68) = 6903.55$ (mm)

(여기서 C_b는 0.85Dm1d에서의 값이며 0.68을 최소한으로 한다.)

② 실제 선수 높이(Actual Bow Height, H_a) 계산

H_a = 요구 견현 + FP에서의 현호 높이 + FP에서의 선수루 높이 + FP에서의 F' cle 높이 + FP에서의 갑판 두께 = 3057 + 0 + 3712 + 3200 + 15 = 9,984 mm

(FP에서의 선수루 높이와 갑판 두께는 기준선의 값과 동일)

③ 설계선의 경우 계산된 최소 선수 높이가 6.904 m이고, 실제 선수 높이가 9.984 m이므로 조건 '실제 선수 높이 > 최소 선수 높이' 를 만족한다.

X. 의장수 계산

1. 의장수 계산

기준선(3,700 TEU 컨테이너선) 의장수 계산 자료를 바탕으로 기준선의 의장수(Equipment Number)를 계산한다.

-Principal Dimension-

항목	LBP(m)	LWL(m)	Bmld(m)	Dmld(m)	Tdmld(m)	Tsmld(m)	Cb at Ts)
기준선(3,700 TEU)	245.24	250.24	32.2	19.3	10.1	12.5	0.6679
설계선(4,200 TEU)	261.88	266.88	32.2	19.3	11.5	12	0.6836

-의장수 계산식-

$$EN(\text{Equipment Number}) = \Delta^{2/3} + 2.0 \times B \times h + 0.1 \times A$$

$\Delta = L \times B \times Ts \times Cb$ (여기서 배수량은 Ts상태에서의 값이다.)

$$B = B_{mld}, \quad h = f + \sum h_i, \quad f = D_{mld} - T_s$$

f: 선체중앙의 선측에 있어서 만재흘수선으로부터 최상층 전통갑판보의 상면까지 수직거리, 즉 건현의 높이(m)

h_i : 최상층 전통갑판으로부터 넓이가 B/4를 넘는 선루 또는 갑판실 중 가장 높은 위치에 있는 것의 정부까지의 높이(m)

A: Ts위쪽의 측면적(m²), 폭이 B/4를 넘기고 높이가 1.5m를 넘는 것만 계산한다.

L: Rule Length

$$LWL \times 0.96 = 256.205 \text{ m}$$

$$LWL \times 0.97 = 258.874 \text{ m}$$

=258.874 m

기준선(3,700TEU 컨테이너선) 의장수(Equipment Number) 계산 Table

No.	Item	기준선(3,700 TEU)		
1	Displacement(at Ts)	66900		
2	Displacement^(2/3)	1647.976		
3	f	6.8		
4	h'	24.2		
5	h=f+h'	31		
6	2*B*h	1996.4		
7	L	242.733		
8	f*L	1650.583		
9	Name	h'(m)	L'(m)	h'*L'(m^2)
	Upper Deck	3.05	14.4	43.92
	A Deck	3.05	14.4	43.92
	B Deck	3.05	14.4	43.92
	C Deck	3.05	10.4	31.72
	D Deck	3.05	10.4	31.72
	E Deck	3.05	10.4	31.72
	F Deck	3.05	10.4	31.72
	NAV.BRI.DK	2.85	8.8	25.08
	FORECASTLE	3	25	75
	Sum(h'*L')	358.72		
10	8+9	2009.303		
11	0.1*10	200.93		
12	2+6+11	3845.306		
Equipment Number		3845.306		

-설계선(4,200TEU 컨테이너선) 의장수(Equipment Number) 계산-

No.1: $Displacement = 69179 MT$ (선형 설계를 통해 계산된 값을 사용하였다.)

No.2: $(Displacement)^{2/3} = 1685.186MT$

No.3: $f = D_{mld} - T_s = 19.3 - 12 = 7.3 (m)$

No.4: $\sum h_i = 24.2 (m)$ (설계선(4,200TEU 컨테이너선)의 경우, 기준선(3,700TEU 컨테이너선)과 비교하여 높이방향의 구조는 변하지 않았으므로 기준선의 값을 그대로 사용한다.)

No.5: $h = f + \sum h_i = 7.3 + 24.2 = 31.5 \text{ (m)}$

No.6: $2.0 \times B \times h = 2.0 \times 32.2 \times 31.5 = 2028.6 \text{ (m}^2\text{)}$

No.7: $L = LWL \times 0.97 = 258.874 \text{ (m)}$

No.8: $f \times L = 7.3 \times 258.874 = 1889.777 \text{ (m}^2\text{)}$

No.9: $Sum(h' \times L') = 340.72 \text{ (m}^2\text{)}$ (설계선(4,200TEU 컨테이너선)의 경우, Deck부분은 기준선(3,700TEU 컨테이너선)과 같으나, forecastle의 길이가 19m로 줄어든 것을 고려하였다.)

No.10: $No.8 + No.9 = 2230.497$

No.11: $0.1 \times No.10 = 223.049$

No.12: $No.2 + No.6 + No.11 = 3936.836$

$\therefore EN(\text{Equipment Number}) = No.12 = 3936.836$

설계선(4,200TEU 컨테이너선) 의장수(Equipment Number) 계산 Table

No.	Item	설계선(4,200 TEU)		
1	Displacement(at Ts)	69179		
2	Displacement^(2/3)	1685.186		
3	f	7.3		
4	h'	24.2		
5	h=f+h'	31.5		
6	2*B*h	2028.6		
7	L	258.874		
8	f*L	1889.777		
9	Name	h'(m)	L'(m)	h'*L'(m^2)
	Upper Deck	3.05	14.4	43.92
	A Deck	3.05	14.4	43.92
	B Deck	3.05	14.4	43.92
	C Deck	3.05	10.4	31.72
	D Deck	3.05	10.4	31.72
	E Deck	3.05	10.4	31.72
	F Deck	3.05	10.4	31.72
	NAV.BRI.DK	2.85	8.8	25.08
	FORECASTLE	3	19	57

	Sum(h'*L')	340.72
10	8+9	2230.497
11	0.1*10	223.0497
12	2+6+11	3936.836
Equipment Number		3936.836

-설계선(4,200TEU 컨테이너선) 의장수(Equipment Number) 결정-

계산한 설계선(4,200TEU 컨테이너선)의 의장수(EN)의 값을 통해 아래의 한국선급(KR)에 따라 의장 앵커의 무게, 체인 길이와 직경, 정박 로프의 길이와 강도를 결정하였다.

의장기호	의장수		선수앵커		선수앵커용 체인 (스터드 체인)			예인삭(tow line)			계류삭(mooring line)				
			수	질량(스톡리스 앵커의 단량)(kg)	길이(m)	지름			길이(m)	절단하중		수	길이(m)	절단하중	
	제1종(mm)	제2종(mm)				제3종(mm)	SI단위(kN)	공학단위(kg)		SI단위(kN)	공학단위(kg)				
J1	3210	3400	2	9900	660	100	87	78	280	⊕ 1471	150000	6	200	⊕ 554	56500
J2	3400	3600	2	10500	660	102	90	78	280	⊕ 1471	150000	6	200	⊕ 588	60000
J3	3600	3800	2	11100	687.5	105	92	81	300	⊕ 1471	150000	6	200	⊕ 618	63000
J4	3800	4000	2	11700	687.5	107	95	84	300	⊕ 1471	150000	6	200	⊕ 647	66000
J5	4000	4200	2	12300	687.5	111	97	87	300	⊕ 1471	150000	7	200	⊕ 647	66000
K1	4200	4400	2	12900	715	114	100	87	300	⊕ 1471	150000	7	200	⊕ 657	67000
K2	4400	4600	2	13500	715	117	102	90	300	⊕ 1471	150000	7	200	⊕ 667	68000
K3	4600	4800	2	14100	715	120	105	92	300	⊕ 1471	150000	7	200	⊕ 677	69000
K4	4800	5000	2	14700	742.5	122	107	95	300	⊕ 1471	150000	7	200	⊕ 686	70000
K5	5000	5200	2	15400	742.5	124	111	97	300	⊕ 1471	150000	8	200	⊕ 686	70000

(비 고)

1. 와이어로프를 사용하는 경우 표의 ●표시는 (6×12), ⊕표시는 (6×24), ⊕표시는 (6×37)을 표준으로 한다.
2. 앵커체인의 길이는 연결용 샤클을 포함하여도 좋다.
3. 예인삭에 대한 기준은 참고자료로서 권장사항이다.

설계선(4,200TEU 컨테이너선) Table for Equipment Number

의장수(EN)	3936.839 (3800 ~ 4000)	
선급(Class)	한국선급(KR)	
의장기호	J4	
선수앵커 (Stockless)	수	2
	질량	11700kg
선수 앵커용 체인 (스터드 체인)	길이	687.5m
	Grade	제3종
	지름	84mm
토우라인	길이	300m
	절단하중	1471kN
무어링 로프	수	6
	길이	200m
	절단하중	647kN

XI. 경제성 계산

1. 건조비 계산

1.1. Compensated Gross Ton

CGT 는 조선업계에서 사용하는 톤수로, 비교적 단순했던 선종과 선형이 점차 복잡해지면서 그동안 건조량을 표시하는데 사용하던 GT로는 정확한 평가가 불가능해지자 새로운 척도의 필요성이 대두되었고 그 결과로 고안되어 1967년부터 사용되고 있다.

처음에는 AWES(Association of European Shipbuilders and Shiprepairers)와 일본 간에 통계 교환의 목적으로 사용되었고 CGRT (Compensated Gross Register Tonnage)로 불리었으나, 1982년에 'TONNAGE 1969' 가 발효되자 GRT 와 새로운 GT 간의 차이를 고려해 새로운 계수를 도출하여 1984년부터 CGT로 사용하고 있다.

CGT는 선박의 가공공수, 설비능력 및 선가 등 GT에서는 나타낼 수 없었던 것을 상대적인 지수표시인 CGT계수를 사용하여 구한 것이다. 즉, CGT는 표준화물선으로 환산한 수정 총 톤으로 기준선인 1.5만DWT(1만GT) 일반화물선의 1GT당 건조에 소요되는 공사량(가공공수)을1.0으로 하여 각 선종 및 선형과의 상대적 지수로서 CGT 계수를 설정하고 선박의 GT에 이를 곱하여 CGT를 구한 것으로 선박의 공사량을 나타낼 수 있는 하나의 척도이다.

Vessel Type	From	To	Factor	Vessel Type	From	To	Factor
Single-Hull Crude Carriers (dwt)	under 4,000	4,000	1.70	General Cargo Ships (dwt)	under 4,000	4,000	1.85
	4,000	10,000	1.15		4,000	10,000	1.35
	10,000	30,000	0.75		10,000	20,000	1.00
	30,000	50,000	0.60		20,000	30,000	0.85
	50,000	80,000	0.50		30,000	and over	0.70
Double-Hull Crude Carriers (dwt)	80,000	160,000	0.40	Refrigerated Cargo Ships (dwt)	under 4,000	4,000	2.05
	160,000	250,000	0.30		4,000	10,000	1.50
	250,000	and over	0.25		10,000	and over	1.25
	under 4,000	4,000	1.85		under 4,000	4,000	1.85
	4,000	10,000	1.30		4,000	10,000	1.20
Product and Chemical Carriers (dwt)	10,000	30,000	0.85	Containerships (dwt)	10,000	20,000	0.90
	30,000	50,000	0.70		20,000	30,000	0.80
	50,000	80,000	0.55		30,000	50,000	0.75
	80,000	160,000	0.45		50,000	and over	0.65
	160,000	250,000	0.35		under 4,000	4,000	1.50
Dry Bulk Carriers (dwt)	250,000	and over	0.30	Ro-ro Ships (dwt)	4,000	10,000	1.05
	under 4,000	4,000	2.30		10,000	20,000	0.80
	4,000	10,000	1.60		20,000	30,000	0.70
	10,000	30,000	1.05		30,000	and over	0.65
	30,000	50,000	0.80		under 4,000	4,000	1.10
Combined Carriers (dwt)	50,000	80,000	0.60	Car Carriers (dwt)	4,000	10,000	1.75
	80,000	160,000	0.55		10,000	20,000	0.65
	160,000	and over	0.55		20,000	30,000	0.55
	under 4,000	4,000	1.60		30,000	and over	0.45
	4,000	10,000	1.10		under 1,000	1,000	3.00
LPG Carriers (dwt)	10,000	30,000	0.70	Ferries (gt)	1,000	3,000	2.25
	30,000	50,000	0.60		3,000	10,000	1.65
	50,000	80,000	0.50		10,000	20,000	1.15
	80,000	160,000	0.40		20,000	and over	0.90
	160,000	and over	0.30		under 1,000	1,000	6.00
LNG Carriers (dwt)	under 10,000	10,000	1.60	Passenger Ships (gt)	1,000	3,000	4.00
	10,000	30,000	0.90		3,000	10,000	3.00
	30,000	50,000	0.75		10,000	20,000	2.00
	50,000	80,000	0.60		20,000	40,000	1.60
	80,000	160,000	0.50		40,000	60,000	1.40
Fishing Vessels (gt)	160,000	and over	0.40	Other Non-Cargo Vessels (gt)	60,000	and over	1.25
	under 4,000	4,000	2.05		under 1,000	1,000	4.00
	4,000	10,000	1.60		1,000	3,000	3.20
	10,000	20,000	1.15		3,000	10,000	2.00
	20,000	30,000	0.90		10,000	and over	1.50
Other Non-Cargo Vessels (gt)	30,000	50,000	0.80				
	50,000	and over	0.70				
	under 4,000	4,000	2.05				
	4,000	10,000	1.60				
	10,000	20,000	1.25				
	20,000	30,000	1.15				
	30,000	50,000	1.00				
	50,000	and over	0.75				

1.2. 설계선의 공수계산

공수란 일정한 작업에 요하는 인원수를 노동시간 또는 노동일로 나타내는 개념이다.

2006. 9. 22.(金) 조선속보 제02-021호 <현대미포, PC 건조생산성 크게 향상>

현대미포조선은 중형 석유화학제품운반선(PC선) 건조에 있어서 '꿈의 공수(工數·M/H)'로 여겨지던 20만 공수를 마침내 무너뜨렸다. 최근 인도한 그리스 '바클레이'사의 3만7천톤급 PC선의 건조에 투입된 공수를 집계한 결과 모두 19만9천773M/H로 나타났다. 2001년에 3만7천DWT PC선 건조시 최고 공수가 33만이었던 것에 비하면 불과 5년만에 약 40%의 비약적인 생산성 향상을 이룬 것이다.

컨테이너선의 공수에 대한 자료가 없으므로 자료가 존재하는 PC선의 공수를 이용해 설계선의 공수를 추정하기로 한다. 즉, 그림1에 나와있는 CGT 계수를 참고하여 설계선의 공수를 계산하는 것이다. 위 자료에서 PC선의 DWT는 3만 7천 톤이므로 표를 참고하면 CGT factor가 0.80임을 알 수 있다. 설계선의 경우 DWT가 5만 3천 톤을 넘으므로 DWT 5만 톤 이상의 container 선의 CGT factor 0.65를 사용하여야 한다. 그러므로 다음과 같은 식이 성립한다.

PC 선의 공수 : PC 선 CGT factor = container 선의 공수 : container 선 CGT factor

$$200,000 : 0.40 = x : 0.65$$

$$x = \frac{200,000 \times 0.65}{0.40} = 325,000 \text{ (man hour)}$$

즉, 설계선의 공수는 325,000 man hour이다.

1.3. 임금단가 추정

월 평균 임금 및 환율에 대한 2007년 통계청의 자료를 따르면 다음과 같다.

<기타 기계 및 장비 제조업 월 평균 임금>

	1월	2월	3월	4월	5월	6월
월 평균 임금 (단위 : 원)	2,512,040	3,896,490	2,472,181	2,671,525	2,406,449	2,691,954
환율 (단위 : 원/\$)	936.36	937.02	943.26	931.50	927.91	928.32
(단위 : \$)	2682.8	4158.4	2620.9	2868.0	2593.4	2899.8
	7월	8월	9월	10월	11월	12월
월 평균 임금 (단위 : 원)	2,924,615	2,783,259	3,138,495	2,659,005	2,432,372	3,434,650
환율 (단위 : 원/\$)	918.85	933.80	932.41	915.86	916.98	930.24
(단위 : \$)	3182.9	2980.6	3366.0	2903.3	2652.6	3692.2

건조비 계산은 달러(\$)가 기준이므로 환율을 고려한 월 평균 임금을 위 표에서와 같이 계산해 주었다. 또한 2007년을 기준으로 국내 조선 3사는 주 40시간제도를 채택하고 있으므로 월 평균 근무시간은 160시간으로 계산할 수 있다. 각 월 마다 월 평균 근무시간 160시간을 고려하여 평균 임금 단가를 계산하여 평균값을 구해보면,

$$\left(\frac{\text{매월평균임금}}{\text{환율}} \right) \text{의 평균} / 160 = 19.06 (\$)$$

1.4. 재료비 계산

2008. 5. 15(木) 한국경제 <다시 불붙은 조선시황 논쟁>

(중략)갈수록 비싸지는 후판도 복병이다.

작년 초 t당 58만5000원 하던 포스코 후판은 현재 78만5000원에 거래된다.

조선회사들의 원가경쟁력에는 분명히 마이너스 요인이다.(후략)

선박의 철강재는 후판으로 볼 수 있으며 그 가격은 위 자료에 나와있듯이 t당 78만 5000원 (=795.6\$, 2008년 4월 환율기준 : 986.66원/\$)으로 가정하여 계산하겠다. 선박의 재료비는 크게 선각 강재 재료비, 선체 의장부 재료비, 기관부 재료비 등 세가지로 나눌 수 있는데 이 중 선각 강재 재료비와 기관부 재료비는 선종에 따라 크게 달라지지 않으므로 VLCC의 공식을 이용하여 구한다.

① 선각 강재 재료비

앞서 언급한 선각 중량 $W_{ST}=10968.3$ t이다. 그러므로 선각 강재 재료비는 다음과 같이 계산된다.

$$\text{선각 강재 재료비} = \$795.6 \times W_{ST} = \$795.6 \times 10968.3 = \$8,729,379.48$$

② 기관부 재료비

기관부 재료비를 구할 때는 컨테이너선의 엔진 Type에 대한 재료비 자료가 있어야 하나 같은 엔진이라도 계약마다 다른 가격에 거래가 이루어 지는데다 대외비로 치부되어 잘 알려져 있지 않다. 따라서 다음 식¹⁵과 같이 후판 가격이 \$450일 때와 현재 시점의 후판 가격을 고려한 보정계수를 사용하여 구하기로 하였다.

$$\begin{aligned} \text{기관부 재료비} &= \$2500 \times MCR^{0.82} \times \text{보정계수} \\ &= \$2500 \times 29164.61^{0.82} \times (795.6/450) = \$20,258,364.63 \end{aligned}$$

③ 선체 의장 재료비

선체의장 재료비와 총 순수 재료비의 비가 0.46 : 1이므로¹⁶ 이 비를 이용하여 선체 의장 재료비를 구한다.

¹⁵ 2003년 7조 12,000TEU 컨테이너선 자료 참조(건조비 계산 부분)

¹⁶ 2005년 6조 250K LNGC 자료 참조

$$\begin{aligned}
\text{총 순수 재료비} &= \text{선각강재재료비} + \text{기관부 재료비} + \text{선체의장재료비} \\
&= 8,729,379.48 + 20,258,364.63 + x \\
&= 28,537,744.11 + x
\end{aligned}$$

$$\text{선체의장재료비} = 0.46 \times (28,537,744.11 + x) = x$$

$$\therefore x = \$24,309,930.17$$

④ 총 순수 재료비

총 순수 재료비는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
\text{총 순수 재료비} &= \text{선각 강재 재료비} + \text{기관부 재료비} + \text{선체 의장 재료비} \\
&= \$8,729,379.48 + \$20,258,364.63 + \$24,309,930.17 \\
&= \$53,297,674.28
\end{aligned}$$

⑤ 일반 경비

일반 경비는 건조비의 10%라 가정한다.

$$\begin{aligned}
\text{일반경비} &= (\text{인건비} + \text{총순수재료비}) / 9 \\
&= \{ (\text{공수} \times \text{평균임금단가}) + \text{총순수재료비} \} / 9 \\
&= \{ (325,000 \times \$19.06) + \$53,297,674.28 \} / 9 \\
&= \$6,610,241.586
\end{aligned}$$

⑥ 건조비

건조비는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
\text{건조비} &= \text{인건비} + \text{총순수재료비} + \text{일반경비} \\
&= (325,000 \times \$19.06) + \$53,297,674.28 + \$6,610,241.586 \\
&= \$66,617,035.87
\end{aligned}$$

XII. 선박 계산

1. 선박 계산

1.1. Hydrostatic 계산

설계선의 Hydro Static 계산은 선형의 특성에 관련된 수치들로 수 계산이 힘들기 때문에 선박 계산에서 사용한 선박 계산 프로그램 EZCompart를 이용하기로 한다. Td와 TS 사이의 Draft에 대하여 Hydro Static Table을 작성하였다.

DRAFT MLD[M]	DISP MLD[M3]	DISP EXT[T]	LCF [M]	LCB [M]	VCB [M]	TPC [T]	MTC [T-M]
11.00	62176.3	63916.8	-7.935	-4.475	5.996	70.1	1075.4
11.25	63911.5	65698.3	-8.563	-4.596	6.134	70.7	1095.6
11.50	65646.7	67479.8	-9.191	-4.716	6.272	71.2	1115.8
11.75	67381.9	69261.3	-9.819	-4.837	6.411	71.7	1136.1
12.00	69117.6	71043.4	-10.445	-4.958	6.549	72.2	1156.3

DRAFT MLD[M]	KML [M]	KMT [M]	WSA [M2]	CB	CP	CW	CM
11.00	446.59	14.352	10676.5	0.6703	0.6845	0.8115	0.9792
11.25	442.849	14.356	10846.0	0.6737	0.6876	0.8175	0.9797
11.50	439.312	14.367	11015.4	0.6769	0.6906	0.8235	0.9801
11.75	435.964	14.384	11184.9	0.6800	0.6935	0.8296	0.9805
12.00	432.799	14.407	11354.3	0.6830	0.6963	0.8356	0.9810

선박 계산 결과의 정확도를 확인해 보기 위하여 이를 선형 설계에서 나온 값과 확인하여 보도록 하겠다.

<설계선의 Td에서의 선형 정보>

LBP[m]	B[m]	D[m]	T[m]	Volume[m3]	CM
261.88	32.2	19.3	11	62234.9	0.9795
CW	CP	LCB[%]	VCB[m]	WSA[m2]	Cb
0.8115	0.6850	-1.70	6.00	10620.8	0.6709

<설계선의 Ts에서의 선형 정보>

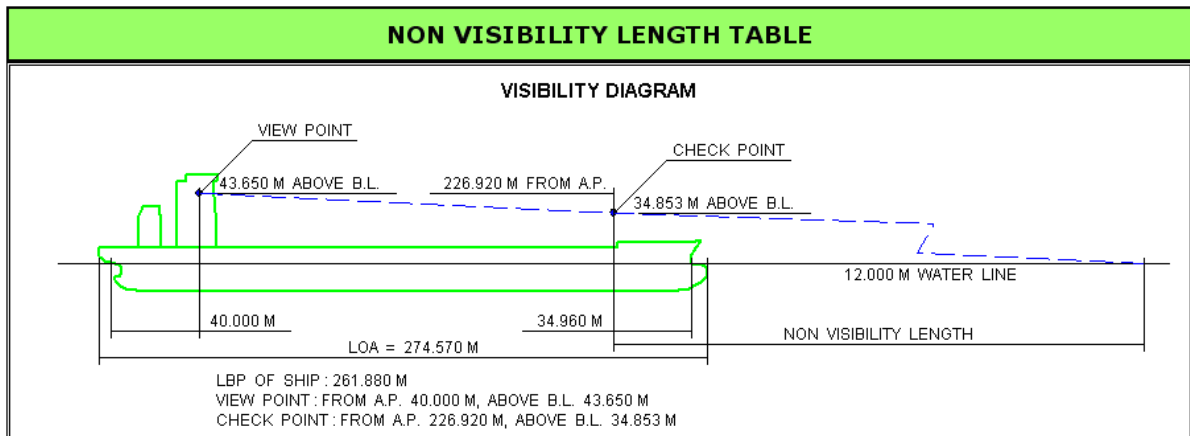
LBP[m]	B[m]	D[m]	T[m]	Volume[m3]	CM
261.88	32.2	19.3	12	69178.6	0.9812
CW	CP	LCB[%]	VCB[m]	WSA[m2]	Cb
0.8357	0.6968	-1.88	6.55	11302.4	0.6836

<설계선의 선형 설계 값과 선박 계산 값의 비교>

	At Td(11.0m)		At TS(12m)	
	선형 설계 값	선박 계산 값	선형 설계 값	선박 계산 값
Volume [m3]	62234.9	62176.3	69178.6	69117.6
WSA [m2]	10620.8	10676.5	11302.4	11354.3
CB	0.6709	0.6703	0.6836	0.6830
CM	0.9795	0.9792	0.9812	0.9810
CW	0.8115	0.8115	0.8357	0.8356
CP	0.6850	0.6845	0.6968	0.6963

선형 설계를 이용하여 구한 값들과 선박 계산을 통하여 구한 값들이 거의 일치함을 알 수 있다. 약간의 오차가 나는 이유는 프로그램에서의 표면적 처리 방식이 동일하지 않아 배수량 등을 구할 때 오차가 발생한 것으로 생각된다.

1.2. 가시거리 계산



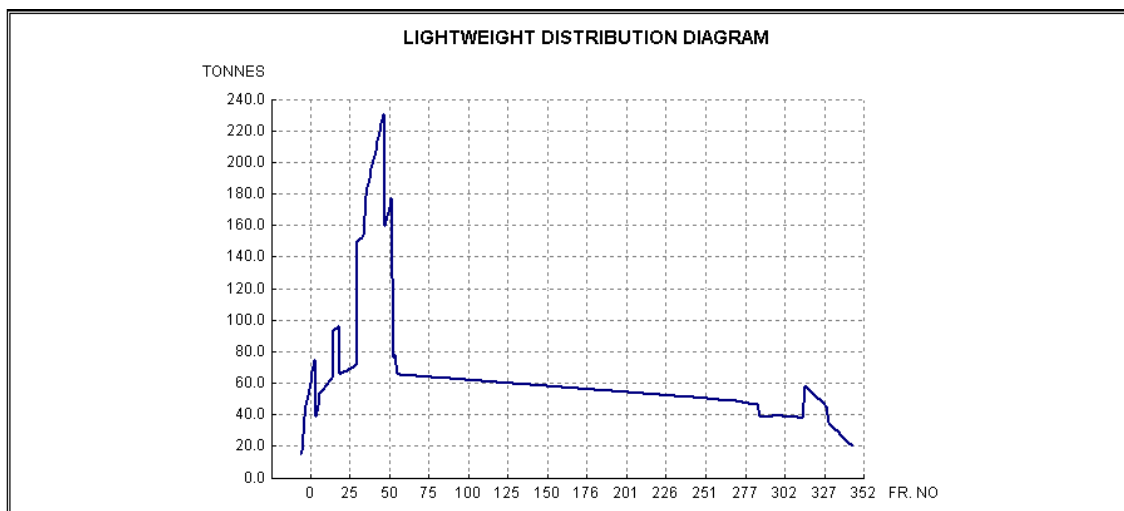
트림이 없는 상태에서 Td에서의 가시거리를 선박 계산 프로그램을 이용하여 계산해 본 결과 449.9m로 계산되었는데 이는 443.63m와 거의 비슷하게 계산 되었음을 확인할 수 있다.

1.3. 경하중량 계산

기준선의 경하 중량 자료로부터 설계선의 경하 중량을 추정 하였다. 선각중량 및 의장중량은 선박의 길이가 증가한 부분을 고려하여 비례적으로 증가 시켰으며 기관중량은 기관이 선정된 상태이므로 그 엔진의 무게를 사용하였다.

NO	AFP END [m]	FORE END [m]	WEIGHT [TON]	LCG [m]
1	-5	14.35	616	7
2	14.35	43.4	1387.1	31.4
3	43.4	249.08	8584	137.898904
4	249.08	273.88	845	259.786296
5	27.2	41.6	476.4	35.8
6	0	261.88	32.03555701	130.94
7	43.4	249.08	364.5282369	143.8814394
8	-3.6	249.08	127.5848829	122.6530303
9	-3.4	2.4	151.9	0
10	0	267.88	237.8889946	127.4405328
11	226.92	249.08	147.8483643	232.6547865
12	43.4	226.92	1181.500989	136.5514438
13	14.35	249.08	120	122.6101446
14	-3.6	249.08	128	122.6101446
15	249.08	261.88	120.5	238.6
16	3.6	197	3	85.86
17	-5	4	50	-0.5

18	29	41.6	15.5	37.1
19	-3.5	4	21.4	0
20	4	11.2	34.3	7.6
21	41.6	200.9	62.5	112.1056
22	234	249.08	20.4	229.24
23	250	259.64	5.4	241
24	11.2	249.08	39.2	130.479666
25	11.2	249.08	193.5	130.479666
26	27.2	41.6	225	36
27	23.23	37.6	1110	30.4
28	11.2	41.6	328.237998	22
29	5	23.23	126.1930541	11.2
30	12	41.6	170.8651685	28
31	11.2	41.6	178.6884576	28
32	11.2	41.6	108.73238	28
33	11.2	218.48	165	121.0838
34	27.2	41.6	9.637385087	36
35	11.2	41.6	36.28192033	30
36	27.2	14.6	4.875383044	36
37	27.2	41.6	6.462717058	36



FROM(AFT)		TO(FWD)		LCG		SECTION WEIGHT TONNES (TON)
FR. NO	DX	FR. NO	DX	FR. NO	DX	
-6	-0.200	17	0.750	8	0.600	616.0
17	0.750	54	0.206	39	0.200	1387.1
54	0.206	314	0.022	173	0.372	8584.0
314	0.022	345	0.022	327	0.328	845.0
34	0.000	52	0.000	44	0.600	476.4
0	0.000	330	0.022	164	0.532	32.0
54	0.206	314	0.022	181	0.026	364.5
-4	-0.400	314	0.022	154	0.155	127.6
-4	-0.200	2	0.800	0	0.000	151.9
0	0.000	337	0.422	160	0.196	237.9
-545	-0.650	286	0.010	293	0.203	147.8
54	0.206	286	0.010	171	0.605	1181.5
17	0.750	314	0.022	154	0.112	120.0
-4	-0.400	314	0.022	154	0.112	128.0
314	0.022	330	0.022	322	0.022	120.5
4	0.400	248	0.148	107	0.539	3.0
-6	-0.200	5	0.000	0	-0.500	50.0
36	0.200	52	0.000	46	0.300	15.5
-4	-0.300	5	0.000	0	0.000	21.4
5	0.000	13	0.800	9	0.400	34.3
52	0.000	253	0.093	140	0.676	62.5
294	0.762	314	0.022	304	0.392	20.4
315	0.142	327	0.182	321	0.162	5.4
13	0.800	314	0.022	164	0.062	39.2
13	0.800	314	0.022	164	0.062	193.5
34	0.000	52	0.000	45	0.000	225.0
29	0.030	47	0.000	37	0.800	1110.0
13	0.800	52	0.000	27	0.400	328.2
6	0.200	29	0.030	13	0.800	126.2
15	0.000	52	0.000	35	0.000	170.9
13	0.800	52	0.000	35	0.000	178.7
13	0.800	52	0.000	35	0.000	108.7
13	0.800	275	0.271	152	0.164	165.0
34	0.000	52	0.000	45	0.000	9.6
13	0.800	52	0.000	37	0.400	36.3
34	0.000	52	0.000	45	0.000	4.9
34	0.000	52	0.000	45	0.000	6.5
-6	-0.200	345	0.022	169	0.077	-0.0
TOTAL						17435.5

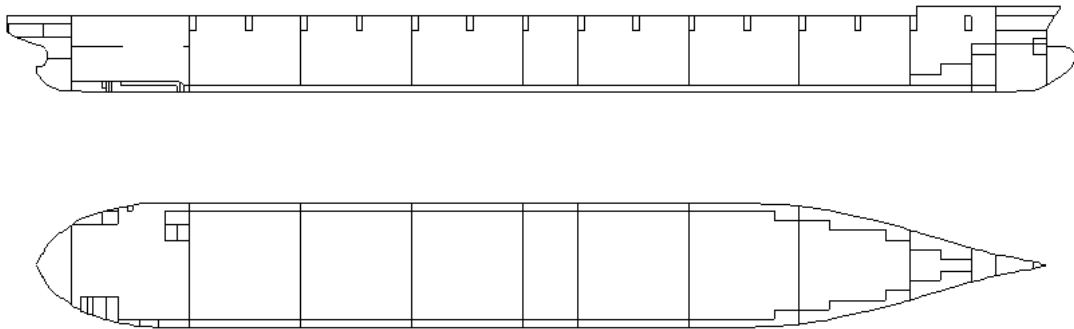
입력한 경하 중량 값으로부터 EZCompart를 이용하여 Light Weight Distribution Diagram을 그리고 Table을 얻을 수 있었다.

1.4. 안정성 계산

EZ Compartment에서 제공해주는 기능을 이용하여 각 loading 상태에 따른 loading plan, shear force and bending moment, Intact stability, Wind and rolling stability 를 계산해 보았다.

① LIGHT SHIP

LOADING PLAN

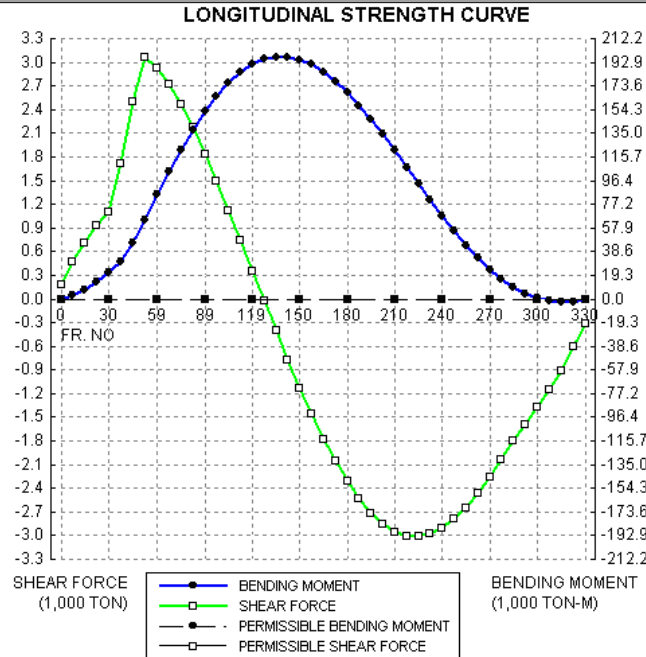


TOTAL DEAD WEIGHT	0.0	-	-	-	-
LIGHT SHIP	17287.8	-28.860	14.900	0.000	-
TOTAL DISPLACEMENT	17287.8	-28.860	14.900	0.000	0.0

DISPLACEMENT	17287.8	TON
EQUIV. DRAFT(EXT.)	3.704	M
AFT. DRAFT(EXT.)	6.815	M
FORE DRAFT(EXT.)	0.161	M
MEAN DRAFT(EXT.)	3.488	M
TRIM	6.653	M
L.C.G.	-28.860	M
L.C.B.	-3.800	M
L.C.F.	-4.005	M
V.C.G.	14.900	M
M.T.C.	680.54	TON-M/CM
T.P.C.	55.51	TON/CM
K.M.T.	21.799	M
UNCORRECTED GM	6.899	M
GGo	0.000	M
CORRECTED GM(GoM)	6.899	M
PROPELLER IMMERS.	65.5	%
VISIBILITY LENGTH	1450.1	M

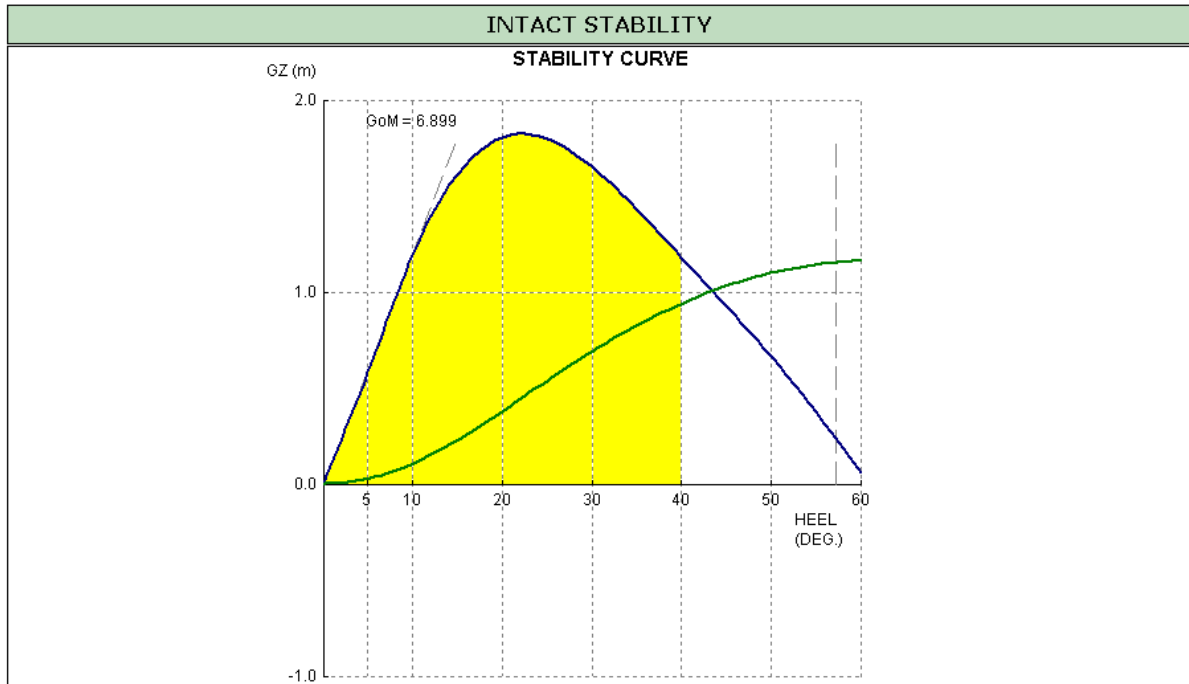
짐을 싣지 않았을 때의 loading plan의 경우 ballast water등이 실려 있지 않은 모습이다. 재화 중량은 없기에 light ship의 무게가 Total Displacement가 됨을 확인할 수 있다.

SHEAR FORCE AND BENDING MOMENT



FRAME	DX	S.F(TON)	%ALL	B.M(TON-M)	%ALL	TORSION
0	0.000	179.6	-	0.0	-	0.0
30	0.000	1096.2	-	20843.7	-	0.0
59	0.797	2924.1	-	84659.2	-	0.0
89	0.791	1839.8	-	152854.9	-	0.0
119	0.791	353.5	-	191146.2	-	0.0
150	0.000	-1127.1	-	195114.7	-	0.0
180	0.000	-2315.4	-	168325.8	-	0.0
210	0.000	-2950.0	-	120773.3	-	0.0
240	0.000	-2900.0	-	67441.3	-	0.0
270	0.000	-2259.6	-	23728.9	-	0.0
300	0.000	-1376.1	-	362.7	-	0.0
330	0.000	-321.5	-	0.0	-	0.0
MAX S.F	3069.3	-88.958	M FROM MID.	52 FRAME 0.382 DX		
MAX B.M	197351.9	-23.471	M FROM MID.	134 FRAME 0.791 DX		
MAX T.M	0.0	-130.940	M FROM MID.	0 FRAME 0.000 DX		

Light Ship 상태에서의 선박의 전단력 곡선과 굽힘 모멘트 곡선의 모양을 확인할 수 있다. 각 프레임 별로 전단력과 벤딩 모멘트를 알 수 있고 최대 전단력과 최대 굽힘 모멘트 또한 프로그램의 결과 값으로부터 확인 가능하다.



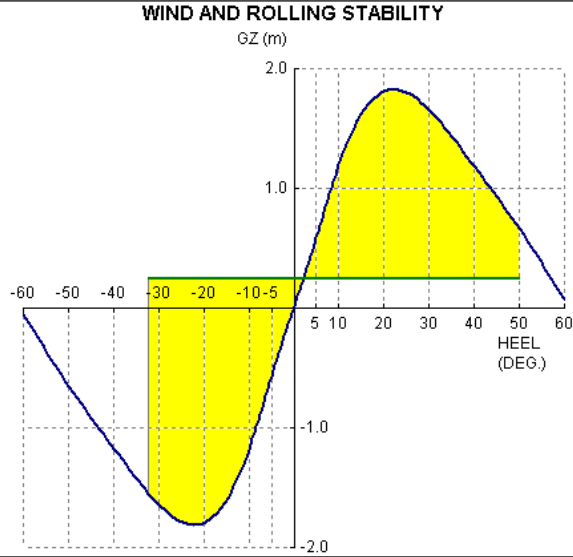
HEEL (DEG.)	PORT HEEL		STBD HEEL	
	KN(M)	GoZ(M)	KN(M)	GoZ(M)
0.000	0.000	0.000	-0.000	0.000
5.000	1.880	0.581	1.880	0.581
10.000	3.780	1.193	3.780	1.193
20.000	6.901	1.805	6.901	1.805
30.000	9.100	1.650	9.100	1.650
40.000	10.757	1.179	10.757	1.179
50.000	12.077	0.663	12.077	0.663
60.000	12.962	0.059	12.962	0.059

HEELING DIRECTION : STARBOARD

ITEM	ACTUAL	CRITERIA	
FLOODING	90.000	-	DEG.
AREA 0 ~ 30	0.689	0.055	M-RAD
AREA 30 ~ 40	0.247	0.030	M-RAD
AREA 0 ~ 40	0.936	0.090	M-RAD
GoZ AT 30	1.650	0.200	M
MAX GoZ	1.822	-	M
MAX GoZ ANGLE	22.180	25.000	DEG.
GoM	6.899	0.150	M

각 Heel 각도에 따른 KN값과 GZ값 등으로부터 Intact Stability를 계산할 수 있다. EZ Compart 프로그램을 이용하여 이를 어렵지 않게 계산해 낼 수 있다.

WIND AND ROLLING STABILITY

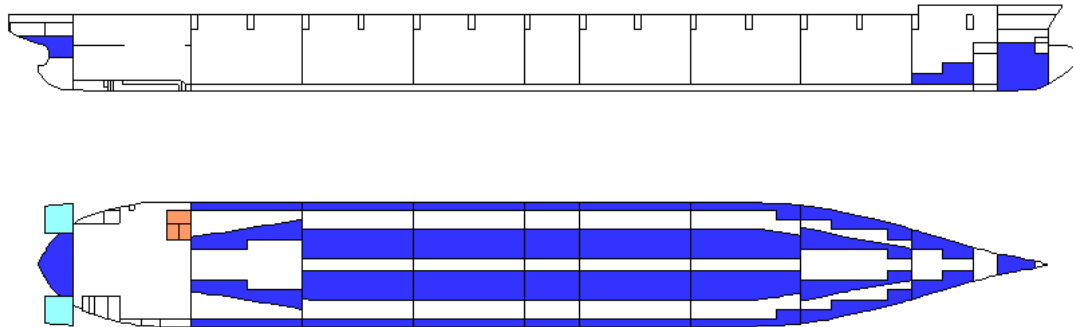
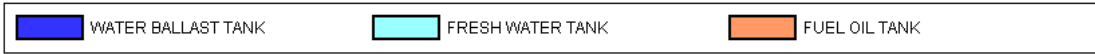


ITEM	VALUE		DESCRIPTION
P	0.0514	N/M2	WIND PRESSURE
A1	0.000	M2	DECK LOAD'G AREA
A2	4928.780	M2	SHIP AREA
A	4928.780	M2	TOTAL AREA
Z	11.021	M	WIND LEVER
0	1.427	DEG.	HEEL BY STEADY WIND
1	33.740	DEG.	ROLL BY WAVE
2	50.000	DEG.	DOWNFLOODING
f	90.000	DEG.	-
c		DEG.	-
Lw1	0.162	M	$P A Z / (1000 q)$
Lw2	0.242	M	1.5 Lw1
T	11.590	SEC	ROLLING PERIOD
Ak	60.000	M2	BILGE KEEL AREA
A	0.893	M-RAD	-
B	0.893	M-RAD	-

또한 EZ Compert 프로그램을 이용하여 Wind and Rolling stability를 계산할 수 있다.

② HOMO 10T Scantling DEP. COND

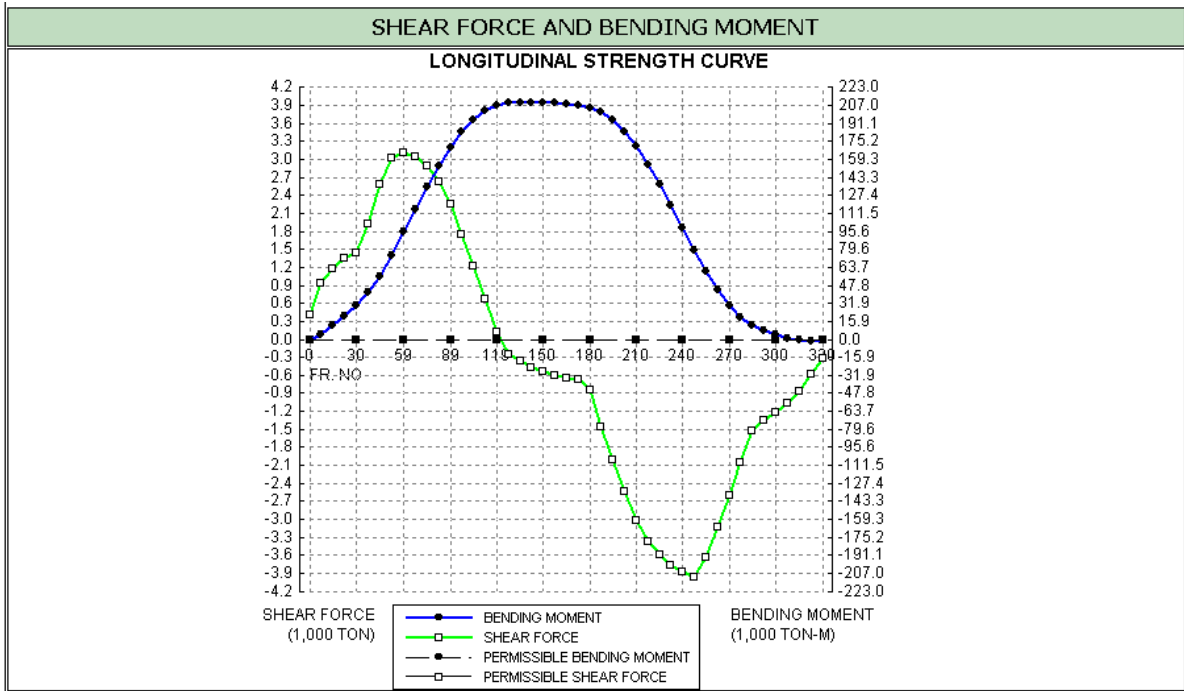
LOADING PLAN



TOTAL DEAD WEIGHT	38816.9	17.773	12.219	-0.071	55.9
LIGHT SHIP	17287.8	-28.860	14.900	0.000	-
TOTAL DISPLACEMENT	56104.8	3.403	13.045	-0.049	55.9

DISPLACEMENT	56104.8	TON
EQUIV. DRAFT(EXT.)	9.897	M
AFT. DRAFT(EXT.)	7.760	M
FORE DRAFT(EXT.)	12.167	M
MEAN DRAFT(EXT.)	9.963	M
TRIM	-4.407	M
L.C.G.	3.403	M
L.C.B.	-4.149	M
L.C.F.	-5.996	M
V.C.G.	13.045	M
M.T.C.	1005.41	TON-M/CM
T.P.C.	68.14	TON/CM
K.M.T.	14.388	M
UNCORRECTED GM	1.343	M
GGo	0.001	M
CORRECTED GM(GoM)	1.342	M
PROPELLER IMMER.	76.6	%
VISIBILITY LENGTH	343.2	M

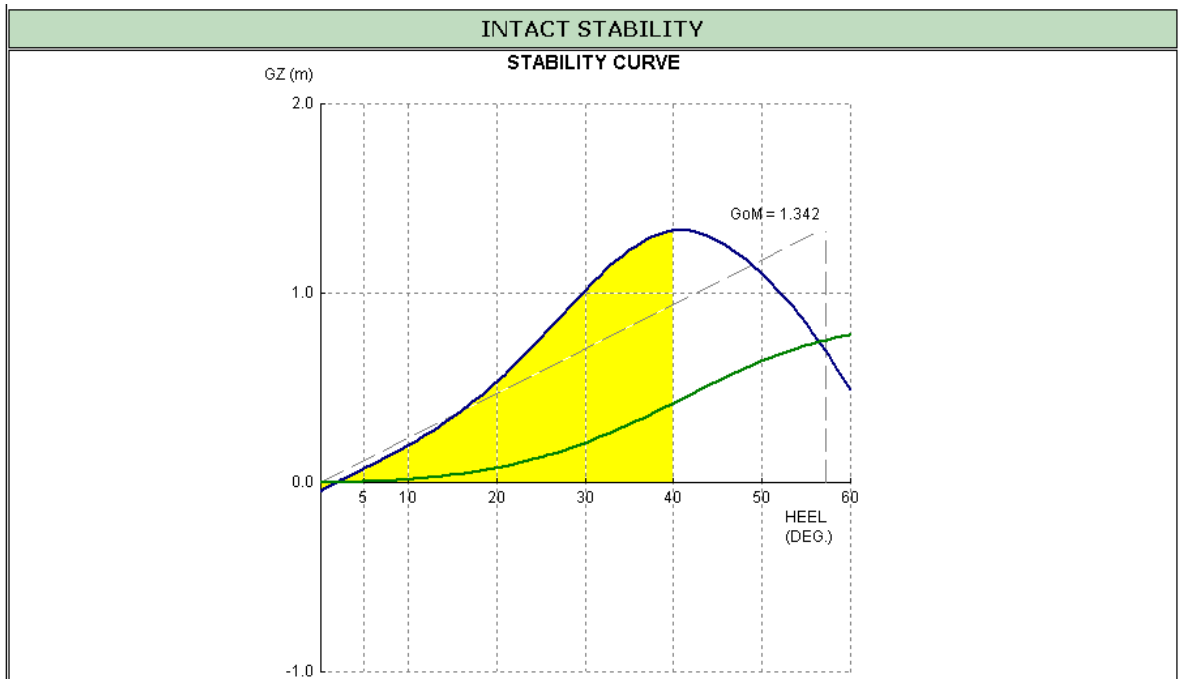
10T Scantling DEP. 상태에서는 Light Weight 상태와 다른 loading plan을 확인할 수 있으며 Total Displacement 또한 Dead Weight가 0이 아니기에 Dead Weight와 Light Weight의 합으로 총 배수량이 표현된다. 또한 LCG 및 TPC 등 선박의 주요 값들도 계산 가능하다.



FRAME	DX	S.F(TON)	%ALL	B.M(TON-M)	%ALL	TORSION
0	0.000	410.6	-	0.0	-	0.0
30	0.000	1435.0	-	29911.3	-	2.3
59	0.797	3104.2	-	94620.1	-	-234.8
89	0.791	2250.8	-	169615.7	-	-126.4
119	0.791	116.5	-	207265.2	-	6.8
150	0.000	-546.7	-	209531.9	-	144.3
180	0.000	-850.1	-	205139.3	-	281.7
210	0.000	-3014.5	-	170297.3	-	409.9
240	0.000	-3884.5	-	99091.7	-	500.9
270	0.000	-2594.1	-	29862.6	-	537.2
300	0.000	-1224.3	-	4153.9	-	542.4
330	0.000	-321.5	-	0.0	-	542.7

MAX S.F	-3953.9	65.517	M FROM MID.	247 FRAME 0.395 DX
MAX B.M	209905.0	-17.538	M FROM MID.	142 FRAME 0.395 DX
MAX T.M	542.7	130.918	M FROM MID.	330 FRAME 0.000 DX

Light Weight 상태와는 다른 모양의 전단력 곡선과 굽힘 모멘트 곡선을 확인할 수 있으며 최대 굽힘 모멘트 등도 더 큰 값으로 계산되는 것을 알 수 있으며 선박을 건조할 시에 최대 적재 상태를 기준으로 부체에 걸리는 응력을 생각해야 한다.

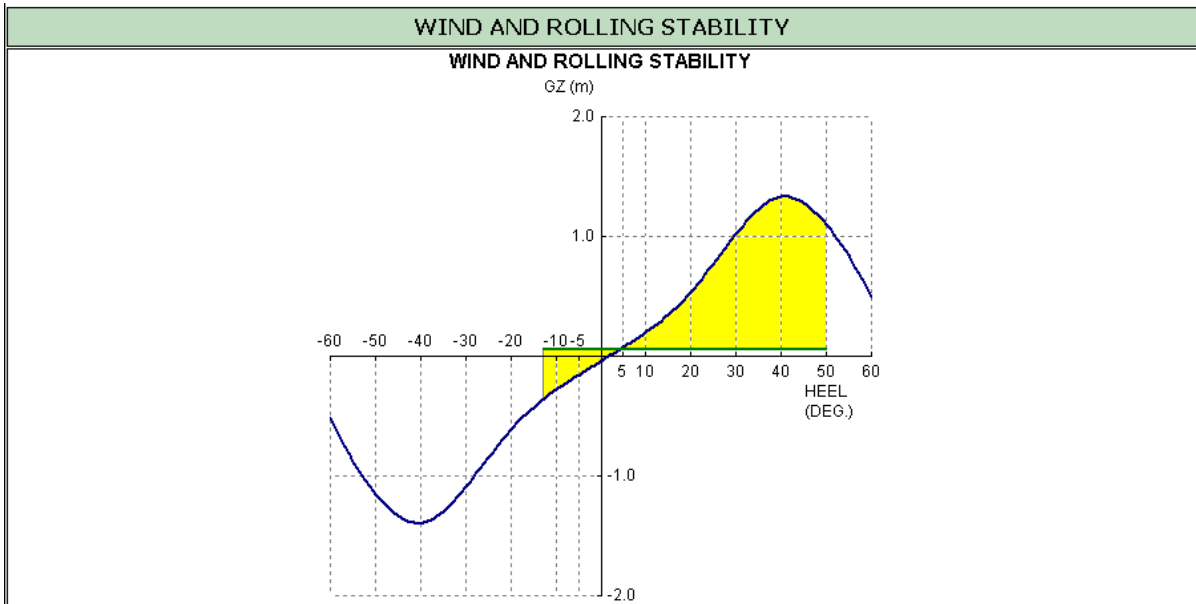


HEEL (DEG.)	PORT HEEL		STBD HEEL	
	KN(M)	GoZ(M)	KN(M)	GoZ(M)
0.000	-0.000	-0.049	0.000	0.049
5.000	1.256	0.070	1.256	0.168
10.000	2.505	0.191	2.505	0.288
20.000	5.037	0.529	5.037	0.621
30.000	7.577	1.011	7.577	1.097
40.000	9.749	1.326	9.749	1.401
50.000	11.123	1.098	11.123	1.161
60.000	11.806	0.483	11.806	0.533

HEELING DIRECTION : PORT

ITEM	ACTUAL	CRITERIA	
FLOODING	90.000	-	DEG.
AREA 0 ~ 30	0.208	0.055	M-RAD
AREA 30 ~ 40	0.214	0.030	M-RAD
AREA 0 ~ 40	0.422	0.090	M-RAD
GoZ AT 30	1.011	0.200	M
MAX GoZ	1.328	-	M
MAX GoZ ANGLE	40.821	25.000	DEG.
GoM	1.342	0.150	M

마찬가지로 각 Heel 각도에 따른 KN값과 GZ값 등으로부터 Intact Stability를 계산할 수 있다. EZ Compartment 프로그램을 이용하여 이를 어렵지 않게 계산해 낼 수 있다.



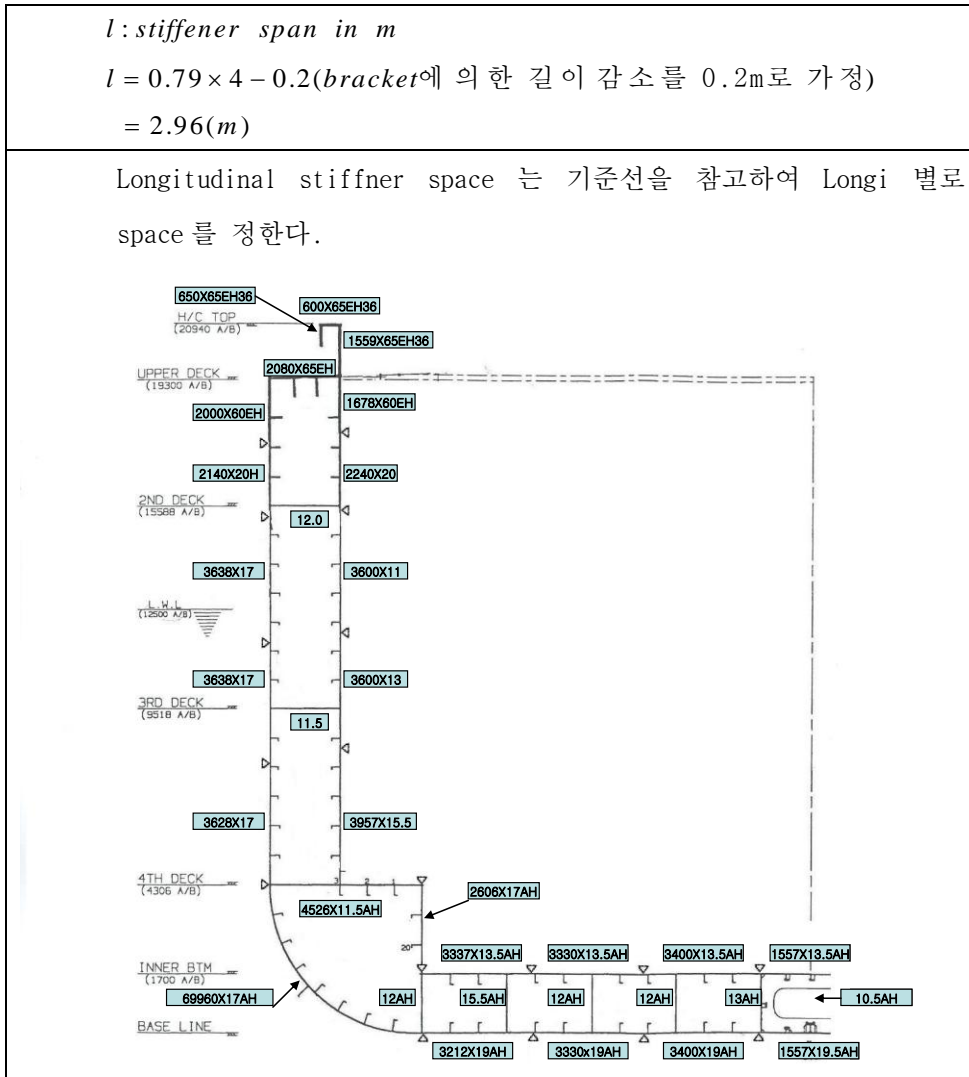
ITEM	VALUE		DESCRIPTION
P	0.0514	N/M2	WIND PRESSURE
A1	0.000	M2	DECK LOAD'G AREA
A2	3185.175	M2	SHIP AREA
A	3185.175	M2	TOTAL AREA
Z	11.071	M	WIND LEVER
0	3.422	DEG.	HEEL BY STEADY WIND
1	16.410	DEG.	ROLL BY WAVE
2	50.000	DEG.	DOWNFLOODING
f	90.000	DEG.	-
c		DEG.	-
Lw1	0.032	M	$P A Z / (1000 q)$
Lw2	0.048	M	1.5 Lw1
T	18.609	SEC	ROLLING PERIOD
Ak	60.000	M2	BILGE KEEL AREA
A	0.043	M-RAD	-
B	0.597	M-RAD	-

HOMO 10T Scantling DEP 상태에서의 Wind and rolling stability를 구할 수 있다.

C 중앙 단면 구조 설계

I. 중앙단면 부재 배치

1. frame space 및 longitudinal stiffener space 결정



2. rule length 결정

LBP	LWL	0.96·LWL	0.97·LWL	L
261.88	266.88	256.20	258.87	258.87

II. Rule Scantling

1. Bottom structure

1.1. 설계 하중 계산(Pt. 3 Ch. 1 Sec. 6 Table B1)

Table B1 Design Loads		
Structure	Load Type	p (kN / m^2)
Outer Bottom	Sea pressure	$p_1 = 10T + p_{dp}$ (kN / m^2)
	Net Pressure in way of cargo tank or deep tank	$p_2 = \rho(g_0 + 0.5a_v)h_s - 10T_M$ $p_3 = \rho g_0 h_s + p_0 - 10T_M$
Inner Bottom	Dry cargo in cargo holds	$p_4 = \rho(g_0 + 0.5a_v)H_C$
	Ballast in cargo holds	$p_5 = (10 + 0.5a_v)h_s$ $p_6 = 6.7(h_s + \phi b) - 1.2\sqrt{H\phi b_t}$ $p_7 = 0.67(10h_p + \Delta p_{dyn})$ $p_8 = 10h_s + p_0$
	Liquid cargo in tank above	$p_9 = \rho(g_0 + 0.5a_v)h_s$ $p_{10} = \rho g_0 [0.67(h_s + \phi b) - 0.12\sqrt{H\phi b_t}]$ $p_{11} = 0.67(\rho g_0 h_p + \Delta p_{dyn})$ $p_{12} = \rho g_0 h_s + p_0$
Inner Bottom, Floors and girders	Pressure on tank boundaries in double bottom	$p_{13} = 0.67(10h_p + \Delta p_{dyn})$ $p_{14} = 10h_s + p_0$
	Minimum pressure	$p_{15} = 10T$
1) For ships with service restrictions the last term in p_1 may be reduced by the percentage given in Sec. 4 B202 2) p_6, p_{10} to be used in tanks/holds with largest breadth $> 0.4B$		

V: 최대 상용 속도 (knots)

$$V = 22.3 \text{ knots}$$

T: Scantling Draft (m)

$$T = 12 \text{ m}$$

T_M : 최소 설계 흘수 (dry cargo vessel: 0.35T, tanker: 2+0.02L)

$$\begin{aligned} T_M &= 12 \times 0.35 \\ &= 4.2m \end{aligned}$$

h_s : 화물 탱크 상단으로부터 하중 지점까지의 수직 거리(m)

$$p_{dp} = p_l + 135 \frac{y}{B + 75} - 1.2(T - z) \quad (kN / m^2)$$

$$p_l = k_s C_w + k_f$$

$$= (k_s C_w + k_f) \left(0.8 + 0.15 \frac{V}{\sqrt{L}} \right) \quad \left(\text{if } \frac{V}{\sqrt{L}} > 1.5 \right)$$

$$\begin{aligned} \frac{V}{\sqrt{L}} &= \frac{22.3}{\sqrt{258.78}} = 1.39 \leq 1.5 \\ p_l &= k_s C_w + k_f \\ &= 2 \times 10.49 + 7.3 \\ &= 28.27 \end{aligned}$$

$$k_s = 3C_B + \frac{2.5}{\sqrt{C_B}} \quad (\text{at A.P. and aft})$$

$$= 2 \quad (\text{between } 0.2L \text{ and } 0.7L \text{ from A.P.})$$

$$= 3C_B + \frac{4.0}{C_B} \quad (\text{at F.P. and forward})$$

중앙단면의 경우 0.2L ~ 0.7L from AP 에 해당하므로

$$K_s = 2$$

Table B1 Wave Coefficient C_w	
L	C_w
$L \leq 100$	$0.0792L$
$100 < L < 300$	$10.75 - [(300 - L) / 100]^{3/2}$
$300 \leq L \leq 350$	10.75
$L > 350$	$10.75 - [(L - 350) / 150]^{3/2}$

설계선의 경우 $100 < L < 300$ 에 해당하므로

설계선의 경우 $100 < L < 300$ 에 해당하므로

$$\begin{aligned}C_w &= 10.75 - [(300 - L) / 100]^{3/2} \\ &= 10.75 - [(300 - 258.78) / 100]^{3/2} \\ &= 10.49\end{aligned}$$

k_f : T 와 f 중 작은 값

$$\begin{aligned}f &: \text{waterline 에서부터 선박 측면의 상단까지의 수직 거리, 최대} \\ &0.8C_w (m) \\ T &= 12 \\ f &= \min(19.3 - 12, 0.8C_w) \\ &= \min(7.3, 8.39) \\ &= 7.3 \\ k_f &= \min(12, 7.3) \\ &= 7.3\end{aligned}$$

y: 중심선으로부터 하중지점까지의 수평거리, 최소 $B / 4$ (m)

z: 선저(Baseline)로부터 하중지점까지의 수직거리, 최대 T (m)

$$a_0 = \frac{3C_w}{L} + C_v C_{v1}$$

$$C_v = \frac{\sqrt{L}}{50}, \max 0.2$$

$$C_{v1} = \frac{V}{\sqrt{L}}, \min 0.8$$

$$C_v = \min\left(\frac{\sqrt{258.78}}{50}, 0.2\right) = 0.2$$

$$C_{v1} = \max\left(\frac{22.3}{\sqrt{258.78}}, 0.8\right) = 1.39$$

$$a_0 = \frac{3C_w}{L} + C_v C_{v1} = \frac{3 \times 10.48}{258.78} + 0.2 \times 1.39 = 0.3987$$

설계선의 경우 a_v 의 값은 아래와 같다.

a_v : vertical acceleration $a_v = \frac{k_v g_0 a_0}{C_B} = \frac{0.7 \times 9.81 \times 0.3987}{0.6836} = 4.0053$
--

k_v	
1.3	Aft of A.P.
0.7	Between 0.3L and 0.6L from A.P.
1.5	Forward of F.P.

ϕ : roll angle (rad)

h_s : 하중 지점으로부터 tank top까지의 수직 거리(m)

h_p : 하중 지점으로부터 air pipe top까지의 수직 거리(m)

앞에서 구한 계수들을 다음과 같이 표로 정리하였다.

k_s	p_l	C_w	k_v	a_0	a_v
2	28.27	10.49	0.7	0.3987	4.0058

1.2. 평판 용골 Pt.3 ch. 1 Sec.6 200

Keel plate(mm)
0~1557

① 폭

평판용골의 폭에 대한 최소 조건은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 b &= 800 + 5L \text{ (mm) } (L : LBP \text{ in } m) \\
 &= 800 + 5 \times 258.78 \\
 &= 2094.4 \text{ (mm)} \\
 &= 2.0944 \text{ (m)}
 \end{aligned}$$

설계선의 keel plate 의 경우 기준선과 같은 3.114m 이므로 최소 폭의 조건을 만족한다.

② 두께

평판 용골의 두께는 다음의 값보다 작지 않아야 하며, 인접한 다른 Bottom Plate 의 두께보다 작아서는 안 된다.

$$t = 7.0 + \frac{0.05L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k$$

L_1 : L 과 300m 중 작은 값

$$\begin{aligned}
 L_1 &= \text{minimum}(258.78, 300) \\
 &= 258.78 \text{ (m)}
 \end{aligned}$$

f_1 : material factor	
NV-NS steel	1.0
NV-27 steel	1.08
NV-32 steel	1.28
NV-36 steel	1.39
NV-40 steel	1.43

설계선의 KP 는 NV-32 steel 에 해당하므로 f_1 (material factor)는 1.28 이다

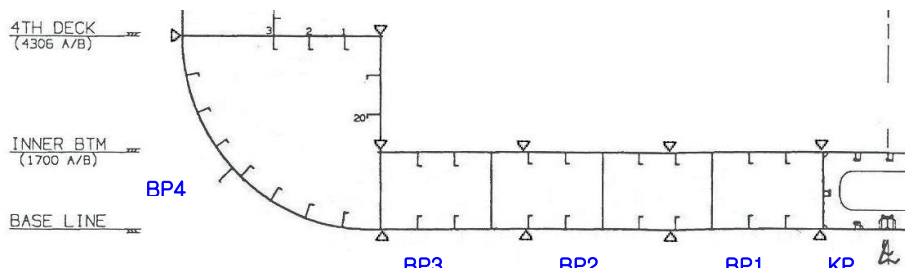
Pt.3 Ch.1 Sec.2 Table D2 를 참조하여, 해당 선박의 Case 를 찾아 올바른 두께를 추가한다.

Table D1 Corrosion addition t_k in mm		
Internal members and plate boundary between spaces of the given category	Tank/hold region	
	Within 1.5m below weather deck tank or hold top	Elsewhere
Ballast tank ¹⁾	3.0	1.5
Cargo oil tank only	2.0	1.0 (0) ²⁾
Hold of dry bulk cargo carriers ⁴⁾	1.0	1.0 (3) ⁵⁾
Plate boundary between given space categories	Tank/hold region	
	Within 1.5m below weather deck tank or hold top	Elsewhere
Ballast tank ¹⁾ / Cargo oil tank only	2.5	1.5 (1.0) ²⁾
Ballast tank ¹⁾ / Hold of dry bulk cargo carrier ⁴⁾	2.0	1.5
Ballast tank ¹⁾ / Other category space ³⁾	2.0	1.0
Cargo oil tank only / Other category space ³⁾	1.0	0.5 (0) ²⁾
Hold of dry bulk cargo carrier ⁴⁾ / Other category space ³⁾	0.5	0.5
<p>1) The term ballast tank also includes combined ballast and cargo oil tanks, but not cargo oil tanks which may carry water ballast according to Regulation 13(3), of MARPOL 73/78.</p> <p>2) The figure in brackets refers to non-horizontal surfaces.</p> <p>3) Other category space denotes the hull exterior and all spaces other than water ballast and cargo oil tanks and holds of dry bulk cargo carriers.</p> <p>4) Hold of dry bulk cargo carriers refers to the cargo holds, including ballast holds, of vessels with class notations Bulk Carrier and Ore Carrier, see Pt.5 Ch.2 Sec.5.</p> <p>5) The figure in brackets refers to webs and bracket plates in lower part of main frames in bulk carrier holds.</p>		

설계선의 keel plate 는 weather deck 에서 1.5m 보다 하부에 있고, Ballast Tank/Other category space 에 해당하므로 t_k 는 1.0 이 된다.

t_1	$L_1 : L$ 과 300m 중 작은 값 $L_1 = \text{minimum}(258.78, 300)$ $= 258.78(m)$ $t = 7.0 + \frac{0.05L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k$ $= 7.0 + \frac{0.05 \times 258.78}{\sqrt{1.28}}$ $= 19.44$
Keel Plate 두께 = 19.5 mm	

1.3. 선저 외판 Pt. 3 Ch. 1 Sec. 6 C300



Center line 으로부터의 거리(y,mm)		
BP1	BP2	BP3
1557~4957	4957~8287	8272~11499

Center girder 로부터 선저 외판을 BP1, BP2, BP3 순서로 나눈다. 선측 방향으로 1/4B 지점인 $y=8.05m$ 까지는 하중 조건이 동일하여 선저 외판의 두께가 같으나 BP1 만이 이 구간에 해당한다. 나머지 선저 외판 구간인 BP2, BP3 는 설계 하중 계산시 각 외판의 end 값인 $y=8,287m$, $y=11,549m$ 을 이용하여 각각의 설계하중을 계산한다.

④ BP1(1.557~4.957m)

Bottom 에서는 다음의 설계 하중을 고려한다.

$$p_1 = 10T + p_{dp}$$

$$p_2 = \rho(g_0 + 0.5a_v)h_s - 10T_M$$

$$p_3 = \rho g_0 h_s + p_0 - 10T_M$$

$$p = \max(p_1, p_2, p_3)$$

p_1	$p_l = k_s C_w + k_f$ $= 2 \times 10.49 + 7.3$ $= 28.27(KN / m^2)$ <p>$k_s = 2$ (between 0.2L and 0.7L from A.P.): 중앙단면</p> <p>$k_f = \min(T, f) = f = Depth - Draught_{scantling} = 19.3 - 12.0 = 7.3$</p> $p_{dp} = p_l + \frac{135 \times y}{B + 75} - 1.2(T - z)$ $= 28.27 + \frac{135 \times 8.05}{32.2 + 75} - 1.2 \times (12.0 - 0)$ $= 24.01(KN / m^2)$ <p>y 의 최소값은 4/B 인 8.05m 이므로 이 값을 사용</p> $p_1 = 10T + p_{dp}$ $= 10 \times 12.0 + 24.01$ $= 144.01(KN / m^2)$
p_2	$p_2 = \rho(g_0 + 0.5a_v)h_s - 10T_M$ $= 1.025 \times (9.81 + 0.5 \times 4.01) \times 1.7 - 10 \times 4.2$ $= -21.42(KN / m^2)$ <p>h_s: 설계선의 구획배치가 기준선(3,700TEU)의 단면과 같다고 가정하면, Bottom Structure 의 경우 Ballast Tank Top 이 Inner Bottom 까지의 높이이므로 1.7 m 를 사용한다.</p> $T_M = 0.35 \times T = 0.35 \times 12 = 4.2(m)$
p_3	$p_3 = \rho g_0 h_s + p_0 - 10T_M$ $= 1.025 \times 9.81 \times 1.7 + 15 - 10 \times 4.2$ $= -9.91(KN / m^2)$

$$p = \max(p_1, p_2, p_3) = p_1$$

$$= 144.01(\text{KN} / \text{m}^2)$$

$$\sigma = 175 f_1 - 120 f_{2b}, \text{ maximum } 120 f_1 \text{ when transverse frames, within } 0.4L$$

$$= 120 f_1 \text{ when longitudinals, within } 0.4L \text{ or } 160 f_1 \text{ within } 0.1L \text{ from the perpendiculars}$$

$$= 120 f_1 \text{ (중식구조)}$$

$$= 120 \times 1.28$$

$$= 153.6$$

$$f_1 = 1.28 \text{ (NV - 32 steel)}$$

$k_a = (1.1 - 0.25 s / l)^2$	
$s / l \leq 0.4$	k_a 는 최대 1.0
$s / l \geq 1.0$	k_a 는 최소 0.72
$s = \text{stiffener spacing in m, measured along the plating (설계선의 Longo space 간격)}$ $= 0.841(\text{m})$ $l = \text{stiffener span in m, measured along the top flange of the member}$ $= 0.79 \times 4 - 0.2$ $= 2.96(\text{m})$	
$\frac{s}{l} = \frac{0.841}{2.96} = 0.2841 \leq 0.4$ $k_a = \min((1.1 - 0.25 \times \frac{0.841}{2.96})^2, 1.0)$ $= 1$	

두께를 다음과 같이 계산할 수 있다.

t_1	$t = \frac{15.8 k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k$ $= \frac{15.8 \times 1.0 \times 0.841 \times \sqrt{144.01}}{\sqrt{153.6}} + 1.0$ $= 13.87(\text{mm})$
-------	---

t_2	$t = 5.0 + \frac{0.4L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k$ $= 5.0 + \frac{0.4 \times 258.78}{\sqrt{1.28}} + 1.0$ $= 15.15(mm)$
$t = \max \text{mimum}(t_1, t_2)$	15.15mm
선저 외판 BP1 두께=15.0mm	

② BP2(4.957~8.287m)

하중은 다음과 같이 계산한다.

p_1	$p_l = k_s C_w + k_f$ $= 2 \times 10.49 + 7.3$ $= 28.27(KN / m^2)$ <p>$k_s = 2$ (between 0.2L and 0.7L from A.P.) : 중앙단면</p> $k_f = \min(T, f) = f = \text{Depth} - \text{Draught}_{scantling} = 19.3 - 12.0 = 7.3$ $p_{dp} = p_l + \frac{135 \times y}{B + 75} - 1.2(T - z)$ $= 28.27 + \frac{135 \times 8.287}{32.2 + 75} - 1.2 \times (12.0 - 0)$ $= 24.31(KN / m^2)$ <p>y의 최소값은 end 값에서 압력이 p_{dp}가 최대가 되므로 선측 방향 끝값인 8.287m를 사용</p> $p_1 = 10T + p_{dp}$ $= 10 \times 12.0 + 24.31$ $= 144.31(KN / m^2)$
-------	---

p_2	$p_2 = \rho(g_0 + 0.5a_v)h_s - 10T_M$ $= 1.025 \times (9.81 + 0.5 \times 4.01) \times 1.7 - 10 \times 4.2$ $= -21.42(KN / m^2)$
p_3	$p_3 = \rho g_0 h_s + p_0 - 10T_M$ $= 1.025 \times 9.81 \times 1.7 + 15 - 10 \times 4.2$ $= -9.91(KN / m^2)$
$p = \max(p_1, p_2, p_3) = p_1$ $= 144.31(KN / m^2)$	

두께는 다음과 같이 계산할 수 있다.

t_1	$t = \frac{15.8k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k$ $= \frac{15.8 \times 1.0 \times 0.841 \times \sqrt{144.31}}{\sqrt{153.6}} + 1.0$ $= 13.88(mm)$
t_2	$t = 5.0 + \frac{0.4L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k$ $= 5.0 + \frac{0.4 \times 258.78}{\sqrt{1.28}} + 1.0$ $= 15.15(mm)$
$t = \max \text{mimum}(t_1, t_2)$	15.15mm
선저 외판 BP2 두께=15.0mm	

③ BP3(8.287~11.549m)

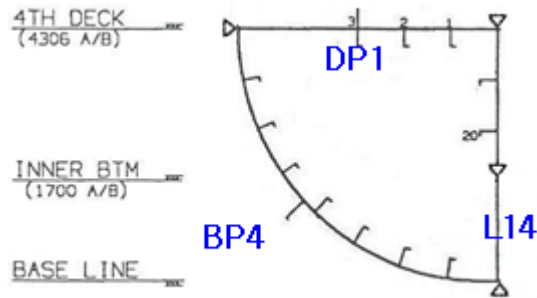
하중은 다음과 같이 계산한다.

p_1	$p_l = k_s C_w + k_f$ $= 2 \times 10.49 + 7.3$ $= 28.27(KN / m^2)$ <p>$k_s = 2$ (between 0.2L and 0.7L from A.P.) : 중앙단면</p> <p>$k_f = \min(T, f) = f = Depth - Draught_{scantling} = 19.3 - 12.0 = 7.3$</p> $p_{dp} = p_l + \frac{135 \times y}{B + 75} - 1.2(T - z)$ $= 28.27 + \frac{135 \times 11.499}{32.2 + 75} - 1.2 \times (12.0 - 0)$ $= 28.35(KN / m^2)$ <p>y의 최소값은 end 값에서 압력이 p_{dp}가 최대가 되므로 선측 방향 끝값인 11.499m를 사용</p> $p_1 = 10T + p_{dp}$ $= 10 \times 12.0 + 28.35$ $= 148.35(KN / m^2)$
p_2	$p_2 = \rho(g_0 + 0.5a_v)h_s - 10T_M$ $= 1.025 \times (9.81 + 0.5 \times 4.01) \times 1.7 - 10 \times 4.2$ $= -21.42(KN / m^2)$
p_3	$p_3 = \rho g_0 h_s + p_0 - 10T_M$ $= 1.025 \times 9.81 \times 1.7 + 15 - 10 \times 4.2$ $= -9.91(KN / m^2)$
$p = \max(p_1, p_2, p_3) = p_1$ $= 148.35(KN / m^2)$	

두께는 다음과 같이 계산할 수 있다.

t_1	$t = \frac{15.8k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k$ $= \frac{15.8 \times 1.0 \times 0.841 \times \sqrt{148.35}}{\sqrt{153.6}} + 1.0$ $= 14.06(mm)$
t_2	$t = 5.0 + \frac{0.4L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k$ $= 5.0 + \frac{0.4 \times 258.78}{\sqrt{1.28}} + 1.0$ $= 15.15(mm)$
$t = \max \text{imum}(t_1, t_2)$	15.15mm
선저 외판 BP3 두께=15.0mm	

1.4. 만곡부 외판 Pt.3 Ch 1. Sec 6. C300



만곡부의 경우 만곡부 외판의 보강재가 1 개 이하일 경우 두께가 아니면 선저 외판과 동일하게 계산된다. 우리 선박의 경우 만곡부에 보강재가 7 개 있으므로 선저 외판과 동일하게 계산한다. 계산과정은 다음과 같다.

만곡부의 경우 하나의 판으로 생각하고 계산하였다. 다음으로 각각에 대하여 설계 하중을 계산해 준다. 이 때, 설계 하중은 Pt.3 Ch.1 Sec.6 Table B1 의 Outer Bottom longi 에 대한 하중을 고려하여 가장 큰 하중을 bilge plate 에 작용하는 가장 큰 설계 하중으로 고려하겠다.

	Y	Z	P1	P2	P3	Pmax
L14	11.499	0.000	148.354	146.739	129.741	148.354
L15	12.368	0.086	149.550	146.558	129.737	149.550
L16	13.203	0.339	150.907	146.024	129.723	150.907
L17	13.973	0.751	152.370	145.157	129.700	152.370
L18	14.648	1.304	153.885	143.989	129.669	153.885
L19	15.202	1.979	155.392	142.567	129.632	155.392
L20	15.613	2.749	156.834	140.944	129.589	156.834
L21	15.867	3.585	158.156	139.183	129.543	158.156
L22(4TH DECK)	16.100	4.306	159.315	137.662	129.503	159.315

Maximum 값을 취해주므로 만곡부에 작용하는 Load 는 다음과 같다.

$$p = \max(p_1, p_2, p_3) = 159.315 (KN / m^2)$$

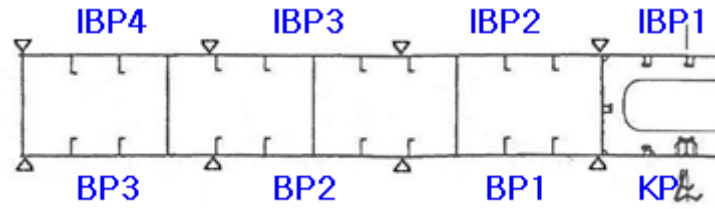
설계선의 경우 $s/l \leq 0.4$ 이므로 1.0 을 k_a 값은 1.0 을 사용한다.

Corrosion addition t_k 의 경우 일반적인 값 1.0 을 사용한다.

두께는 다음과 같이 계산할 수 있다.

t_1	$\sigma = 120f_1 = 120 \times 1.28 = 153.6$ $t_1 = \frac{15.8k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k = \frac{15.8 \times 1 \times 0.876 \times \sqrt{159.315}}{\sqrt{153.6}} + 1$ $= 15.10(mm)$
t_2	$t_2 = 5.0 + \frac{0.4L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k = 5.0 + \frac{0.4 \times 258.78}{\sqrt{1.28}} + 1$ $= 15.15(mm)$
$t = \max \text{mimum}(t_1)$	15.15 mm
선저 외판 BP4 두께=15.0mm	

1.5. 내저판 Pt. 3 Ch 1. Sec. 6 C400



단위 (mm)

IBP1	IBP2	IBP3	IBP4
0 - 1557	1557 - 4957	4957 - 8287	8287 - 11574

내저판의 경우, 판에 작용하는 압력이 y 좌표에 따라 변하는 값이 아니기 때문에, 모든 내저판에 작용하는 최대 압력이 같다.

컨테이너선의 경우, $p_4 \sim p_{15}$ 가 사용되나, p_4 는 화물 구획내 설치된 컨테이너에 의한 화물이므로 국부적으로 압력을 받게 된다. 따라서 균일한 하중이 아니므로 무시하겠다. p_9, p_{12} 는 액체 화물에 의해 받는 압력이므로 무시한다. 그리고 p_6 는 롤링 운동에 의해 받는 압력이 작으므로 무시하겠다. $p_5, p_7 (= p_{13}), p_8 (= p_{14}), p_{15}$ 를 고려한다.

하중은 다음과 같이 계산한다.

p_5	$p_5 = (10 + 0.5a_v)h_s$ $= (10 + 0.5 \times 4.01) \times 0$ $= 0(KN / m^2)$ <p>h_s : double bottom에서 탱크탑은 inner bottom에 위치하므로 0이 된다.</p>
p_7	$p_7 = 0.67(10h_p + \Delta p_{dyn})$ $= 0.67 \times (10 \times (19.3 + 0.45 - 1.7) + 25)$ $= 137.69(KN / m^2)$ <p>h_p : 하중 지점으로부터 에어 파이프까지의 거리</p> $h_p = 19.3 + 0.45 - 1.7$ $= 18.05$

p_8	$p_8 = 10h_s + p_0$ $= 10 \times 0 + 15$ $= 15(KN / m^2)$
p_{15}	$p_{15} = 10T$ $= 10 \times 12$ $= 120(KN / m^2)$
$p = \max(p_5, p_7, p_8, p_{15}) = p_7$ $= 137.69(KN / m^2)$	

내저판의 경우, Weather Deck 에서 1.5m 보다 하부에 있고, Ballast Tank/Other category space 에 해당하므로, t_k 는 1.0 을 사용한다.

$$\sigma = 140 f_1 \text{ when longitudinals, within } 0.4L \text{ (종식구조)}$$

$$= 140 \times 1.28 = 179.2$$

④ IBP 1

두께는 다음과 같이 계산할 수 있다.

t_1	$s = 0.741m$ $t = \frac{15.8k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k$ $= \frac{15.8 \times 1.0 \times 0.741 \times \sqrt{137.69}}{\sqrt{179.2}} + 1.0$ $= 11.26(mm)$
t_2	t_0 : 설계선의 경우, '5.0 in general if ceiling is fitted.' 에 해당 $t_2 = t_0 + \frac{0.03L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k$ $= 5.0 + \frac{0.03 \times 258.78}{\sqrt{1.28}} + 1$ $= 12.86(mm)$

$t = \max \text{mimum}(t_1, t_2)$	12.86mm
내저판 IBP 1 두께=13.0mm	

② IBP 2, 3

두께는 다음과 같이 계산할 수 있다.

t_1	$s = 0.841m$ $t = \frac{15.8k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k$ $= \frac{15.8 \times 1.0 \times 0.841 \times \sqrt{137.69}}{\sqrt{179.2}} + 1.0$ $= 12.65(mm)$
t_2	t_0 : 설계선의 경우, '5.0 in general if ceiling is fitted.' 에 해당 $t_2 = t_0 + \frac{0.03L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k$ $= 5.0 + \frac{0.03 \times 258.78}{\sqrt{1.28}} + 1$ $= 12.86(mm)$
$t = \max \text{mimum}(t_1, t_2)$	12.86mm
내저판 IBP 2, 3 두께=13.0mm	

③ IBP 4

하중은 다음과 같이 계산한다.

p_5	$p_5 = (10 + 0.5a_v)h_s$ $= (10 + 0.5 \times 4.01) \times 0$ $= 0(KN / m^2)$ <p>h_s : double bottom에서 탱크탑은 inner bottom에 위치하므로 0이 된다.</p>
p_7	$p_7 = 0.67(10h_p + \Delta p_{dyn})$ $= 0.67 \times (10 \times (19.3 + 0.45 - 1.7) + 25)$ $= 137.69(KN / m^2)$ <p>h_p : 하중 지점으로 부터 에어 파이프까지의 거리</p> $h_p = 19.3 + 0.45 - 1.7$ $= 18.05$
p_8	$p_8 = 10h_s + p_0$ $= 10 \times 13.88 + 15$ $= 153.8(KN / m^2)$
p_{15}	$p_{15} = 10T$ $= 10 \times 12$ $= 120(KN / m^2)$
$p = \max(p_5, p_7, p_8, p_{15}) = p_8$ $= 153.8(KN / m^2)$	

내저판의 경우, Weather Deck에서 1.5m 보다 하부에 있고, Ballast Tank/Other category space에 해당하므로, t_k 는 1.0을 사용한다.

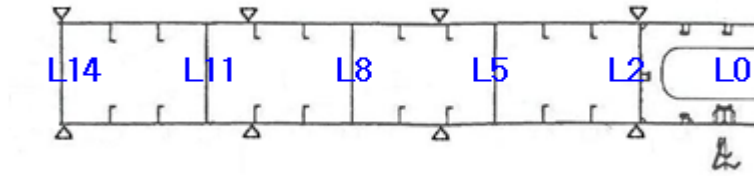
$$\sigma = 140 f_1 \text{ when longitudinals, within } 0.4L \text{ (종식 구조)}$$

$$= 140 \times 1.28 = 179.2$$

두께는 다음과 같이 계산할 수 있다.

t_1	$t = \frac{15.8k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k$ $= \frac{15.8 \times 1.0 \times 0.841 \times \sqrt{153.8}}{\sqrt{179.2}} + 1.0$ $= 13.31(mm)$
t_2	<p>t_0 : 설계선의 경우, '5.0 in general if ceiling is fitted.' 에 해당</p> $t_2 = t_0 + \frac{0.03L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k$ $= 5.0 + \frac{0.03 \times 258.78}{\sqrt{1.28}} + 1$ $= 12.86(mm)$
$t = \max \text{minimum}(t_1, t_2)$	13.31mm
내저판 IBP 4 두께=13.5mm	

1.6. 거더 Pt. 3 Ch 1. Sec 6. C500, D100



Girder 의 경우, 높이는 Rule D101 에 의해, Centre Line 에서 최소 650mm 이상의 값을 가지면서, 다음의 식보다 커야 한다.

$$\begin{aligned}
 \text{Rule D101: } h &= 250 + 20B + 50T \\
 &= 250 + 2 \times 32.2 + 50 \times 12 \\
 &= 1494(\text{mm})
 \end{aligned}$$

설계선의 경우, Girder 의 높이는 1700mm 를 사용하기 때문에 위의 조건을 만족한다.

Girder 의 longi 는 존재하지 않는다고 가정하고 단 두께의 계산을 위해 longi 가 Girder 의 중심부에 위치한다고 가정한다.

① L2 Girder

설계선의 중앙단면의 경우, relevant 에 해당하므로

$$p = \max imum(p_{13} \sim p_{15})$$

p_{13} 의 경우, over-flow 에 의한 압력으로 air pipe 를 통한 over-flow 가 고려될 수도 있다. 하중은 다음과 같이 계산된다

p_{13}	$ \begin{aligned} p_{13} &= 0.67(10h_p + \Delta p_{dyn}) \\ &= 0.67 \times (10 \times (19.3 + 0.45 - 1.7) + 25) \\ &= 137.69(\text{KN} / \text{m}^2) \\ h_p &: \text{하중 지점으로부터 에어 파이프까지의 거리} \\ h_p &= 19.3 + 0.45 - 1.7 \\ &= 18.05 \end{aligned} $
----------	---

p_8	$p_8 = 10h_s + p_0$ $= 10 \times 0.85 + 15$ $= 23.5(KN / m^2)$ <p>h_s : 탱크탑으로부터 하중 지점까지의 거리이므로 거더 높이의 절반으로 가정</p> $h_s = \frac{1.7}{2} = 0.85$
p_{15}	$p_{15} = 10T$ $= 10 \times 12$ $= 120(KN / m^2)$
$p = \max(p_{13}, p_{14}, p_{15}) = p_{13}$ $= 137.69(KN / m^2)$	

$$\sigma = 130 f_1 (\text{Logitudinally stiffened})$$

$$= 130 \times 1.28 = 166.4$$

L2 Girder 의 경우, Weather Deck 에서 1.5m 보다 하부에 있고, Ballast Tank/Other category space 에 해당되므로, t_k 는 1.0 이 된다.

두께는 다음과 같이 계산한다.

t_1	$t_1 = \frac{15.8k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k$ $= \frac{15.8 \times 1 \times 0.85 \times \sqrt{137.69}}{\sqrt{166.4}} + 1$ $= 13.21(mm)$ $s = \frac{1.7}{2} = 0.85$
t_2	$k = 0.02 L_1$ <p>(다른 거더나, 중심선 거더 중 용골로부터 높이가 2m 이하인 부분)</p> $= 0.02 \times 258.78$ $= 5.18$

	$t_2 = 6.0 + \frac{k}{\sqrt{f_1}} + t_k$ $= 6.0 + \frac{5.18}{\sqrt{1.28}} + 1$ $= 11.58(mm)$
$t = \max \text{mimum}(t_1, t_2)$	13.21mm
L2 Girder 두께=13.0mm	

② L5, 8, 14 Girder

L5, L8, L11, L14 Girder 의 경우, Girder 양쪽에서 작용하는 압력이 같기 때문에 총 압력이 0 이 된다.

따라서, $t_1 = \frac{15.8k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k (mm)$ 을 계산할 필요가 없고,

$t_2 = 6.0 + \frac{k}{\sqrt{f_1}} + t_k (mm)$ 를 계산한 값만을 적용시켜 두께를 정한다.

또한, L5, L8, L14 Girder 의 경우, Ballast water 에 잠겨있기 때문에, Ballast tank 에 해당하며, weather deck 으로부터 1.5m 이상 하부에 있기 때문에 $t_k=1.5$ 가 된다.

Table D1 Corrosion addition t_k in mm		
Internal members and plate boundary between spaces of the given category	Tank/hold region	
	Within 1.5m below weather deck tank or hold top	Elsewhere
Ballast tank	3.0	1.5

두께는 다음과 같이 계산한다.

t_2	$k = 0.02L_1$ (다른 거더나, 중심선 거더 중 용골로부터 높이가 2m 이하인 부분) $= 0.02 \times 258.78$ $= 5.18$
-------	---

	$t_2 = 6.0 + \frac{k}{\sqrt{f_1}} + t_k$ $= 6.0 + \frac{5.18}{\sqrt{1.28}} + 1.5$ $= 12.08(mm)$
L5, 8, 14 Girder 두께=12.0mm	

③ L11 Girder

L11 girder 는 side ballast tank 와 double bottom tank 의 경계 부분으로 side ballast tank 에 의한 압력을 더 많이 받는다. 따라서 side internal 설계 하중을 받는 것으로 가정하겠다. 또한 Girder 는 double bottom 내에 존재하므로 해수의 압력의 영향을 받지 않는다고 가정하겠다.

p_3	$p_3 = \rho(g_0 + 0.5a_v)h_s - 10h_b$ $= 1.025 \times (9.81 + 0.5 \times 4.01) \times (15.588 - \frac{1.7}{2})$ $= 178.45(KN / m^2)$ $h_s = 15.588 - \frac{1.7}{2}$ $= 14.74$
p_4	$p_4 = \rho g_0 h_s - 10h_b + p_0$ $= 1.025 \times 9.81 \times 14.74 + 15$ $= 163.19(KN / m^2)$
p_5	$p_5 = 0.67(\rho g_0 h_p + \Delta p_{dyn} - 10h_b)$ $= 0.67 \times (1.025 \times 9.81 \times (19.3 + 0.45 - \frac{1.7}{2}) + 25)$ $= 144.08(KN / m^2)$
$p = \max(p_3, p_4, p_5) = p_3$ $= 178.45(KN / m^2)$	

또한, L11 Girder 의 경우, Ballast water 에 잠겨있기 때문에, Ballast tank 에 해당하며, weather deck 으로부터 1.5m 이상 하부에 있기 때문에 $t_k=1.5$ 가 된다.

Table D1 Corrosion addition t_k in mm		
Internal members and plate boundary between spaces of the given category	Tank/hold region	
	Within 1.5m below weather deck tank or hold top	Elsewhere
Ballast tank	3.0	1.5

두께는 다음과 같이 계산한다.

t_1	$t_1 = \frac{15.8k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k$ $= \frac{15.8 \times 1 \times 0.85 \times \sqrt{178.45}}{\sqrt{166.4}} + 1.5$ $= 15.41(mm)$ $s = \frac{1.7}{2} = 0.85$
t_2	$k = 0.02L_1$ <p>(다른 거더나, 중심선 거더 중 용골로부터 높이가 2m 이하인 부분)</p> $= 0.02 \times 258.78$ $= 5.18$ $t_2 = 6.0 + \frac{k}{\sqrt{f_1}} + t_k$ $= 6.0 + \frac{5.18}{\sqrt{1.28}}$ $= 12.08(mm)$
L11 Girder 두께=15.5mm	

④ L0 Girder

L0 Girder 또한 마찬가지로 양쪽이 Pipe Duct 인 Void Space로서 양쪽의 압력이

같으므로, 총 압력은 0 이 된다. 따라서 $t_2 = 6.0 + \frac{k}{\sqrt{f_1}} + t_k (mm)$ 를 계산한

값만을 적용하여 두께를 정한다. L0 Girder 의 경우,

$t_k (corrosion\ addition(mm))$ 은 적용 받지 않는다.

두께는 다음과 같이 계산한다.

t_2	$k = 0.02L_1$ <p>(다른 거더나, 중심선 거더 중 용골로부터 높이가 2m 이하인 부분)</p> $= 0.02 \times 258.78$ $= 5.18$ $t_2 = 6.0 + \frac{k}{\sqrt{f_1}} + t_k$ $= 6.0 + \frac{5.18}{\sqrt{1.28}}$ $= 10.58(mm)$
<p>L0 Girder 두께=10.5mm</p>	

1.7. 선저 longi. Pt.3 Ch1. Sec. 6 C700

선저 Longi 의 Section Modulus 는 다음의 값 이상이어야 한다.

$$Z = \frac{83l^2 spw_k}{\sigma} (cm^3)$$

- $p = \max(p_1 \sim p_3)$
- σ : 허용응력 (최대 $160f_1$)

within 0.4L : [Single Bottom 의 경우 , $225f_1 - 130f_{2b}$
Double Bottom 의 경우 , $225f_1 - 130f_{2b} - 0.7\sigma_{db}$]

within 0.1L from perpendiculars : $\sigma = 160f_1$

$\sigma_{db} = \text{mean double bottom stress at plate flanges,}$
normally not to be taken less than:

- = $20f_1$ for cargo holds in general cargo vessels
- = $50f_1$ for holds for ballast
- = $85f_1 b/B$ for tanks for liquid cargo [b: breadth of tank at double bottom]

$\sigma_{db} = 20 \times 1.28$
 = 25.6

위와 같이 각 선저 Longi 에 대해 단면 계수를 구하면, 보강재의 type 을 결정하고, Rule C703 에 따라 Web 와 flange 의 두께가 다음보다 작지 않도록 한다.

t_1	$t = 5.0 + \frac{k}{\sqrt{f_1}} + t_k$ $= 5.0 + \frac{5}{\sqrt{1.28}} + 1.0$ $= 10.42(mm)$ $k = 0.02L_1$ $= 5.0 \text{ maximum}$ $= \min(0.02 \times 258.87, 5.0)$ $= 5.0$ $f_1 : 1.28(NV - 32steel)$ $t_k : 1.0$
-------	---

t_2	$t = \frac{h}{g} + t_k$ $= \frac{400}{70} + 1.0$ $= 6.71(mm)$ <p>h : profile height in m h = 400(가정) g : 70 for flanged profile webs g = 70</p>
$t = \max(t_1, t_2)$	10.42mm
최소 두께 : 10.42mm	

Bottom longi 는 위치하는 하중 지점에서 최대 하중을 이용하여 계산한다.
요구 Section modulus 는 다음과 같이 계산된다.

	y	P_{max}	σ	σ_{db}	w_k	t_{kw}, t_{kf}	l'	s	$Z(cm^3)$
L1	0.741	134.806	140.080	25.600	1.150	1.500	2.960	0.841	676.842
L3	2.323	136.798	140.080	25.600	1.150	1.500	2.960	0.841	686.845
L4	3.164	137.857	140.080	25.600	1.150	1.500	2.960	0.841	692.163
L6	4.846	139.975	140.080	25.600	1.150	1.500	2.960	0.841	702.798
L7	5.687	141.034	140.080	25.600	1.150	1.500	2.960	0.841	708.115
L9	7.369	143.153	140.080	25.600	1.150	1.500	2.960	0.841	718.751
L10	8.21	144.212	140.080	25.600	1.150	1.500	2.960	0.841	724.068
L12	9.892	146.330	140.080	25.600	1.150	1.500	2.960	0.841	734.703
L13	10.733	147.389	140.080	25.600	1.150	1.500	2.960	0.841	740.021

모든 Bottom longi 는 Inverted angle bar(I.A) 규격을 채택한다. Bottom plate 두께와 최대 요구 Section modulus 를(740 cm³) 고려하여 부재 규격을 선택한다. I.A 형강의 규격과 Section modulus 는 다음과 같다.

표 3 t=19.5mm, s=841mm

S(mm)	Plate(mm)	Web(mm)	t1(mm)	Flange(mm)	t2(mm)	Z (cm ³)
841	19.5	200	9	90	14	348.4541
841	19.5	250	10	90	15	504.3726
841	19.5	250	12	90	16	554.5191
841	19.5	300	11	90	16	695.2646
841	19.5	300	13	90	17	762.27
841	19.5	350	12	100	17	979.5753
841	19.5	400	11.5	100	16	1136.345
841	19.5	400	13	100	18	1259.681
841	19.5	450	11.5	125	18	1611.177

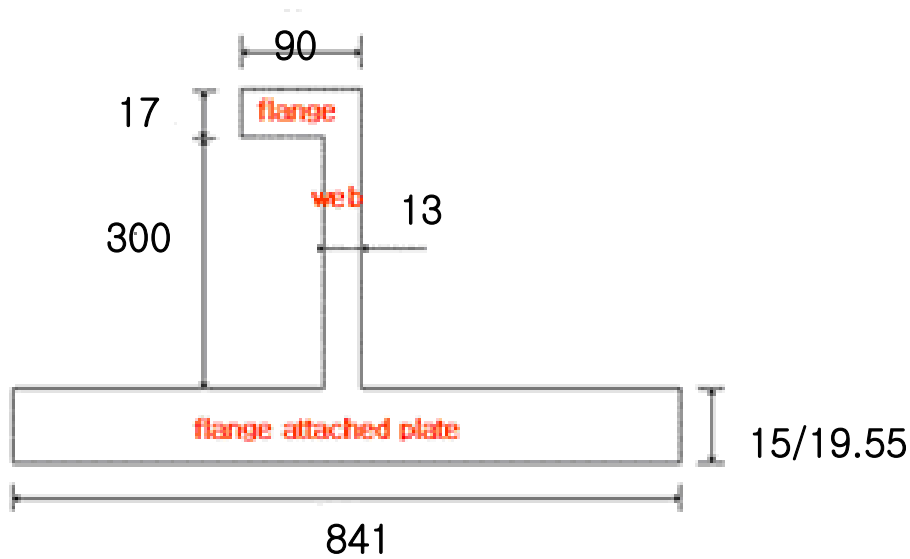
표 4 t=15.0mm, s=841mm

S(mm)	Plate(mm)	Web(mm)	t1(mm)	Flange(mm)	t2(mm)	Z (cm ³)
841	15	200	9	90	14	339.471
841	15	250	10	90	15	492.4237
841	15	250	12	90	16	540.4461
841	15	300	11	90	16	678.9774
841	15	300	13	90	17	742.9899
841	15	350	12	100	17	956.2497
841	15	400	11.5	100	16	1109.565
841	15	400	13	100	18	1228.11
841	15	450	11.5	125	18	1573.765

위의 표를 보면 300×90×13/17 I.A 는 모든 조건을 만족함을 알 수 있다.

따라서 Bottom longi 들은 하나의 동일한 규격과 등급으로 나타난다.

	Z _{require}	Plate(mm)	Z _{부재}	부재 치수
L1	676.842	19.5	762.27	300×90×13/17 I.A AH
L3	686.845	15.0	742.9899	300×90×13/17 I.A AH
L4	692.163	15.0	742.9899	300×90×13/17 I.A AH
L6	702.798	15.0	742.9899	300×90×13/17 I.A AH
L7	708.115	15.0	742.9899	300×90×13/17 I.A AH
L9	718.751	15.0	742.9899	300×90×13/17 I.A AH
L10	724.068	15.0	742.9899	300×90×13/17 I.A AH



1.8. 만곡부 longi. - Pt. 3 Ch. 1 Sec.6 C700

만곡부 longi 의 Section Modulus 는 아래의 값 이상이어야 한다.

$$Z = \frac{83l'^2 spw_k}{\sigma} \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$l' = l - b_s$$

longi 계산의 경우 stiffener span 을 Frame 간격이 아닌 유효길이를 사용한다.

b_s : vertical stiffener 폭

$$p = \max(p', p'')$$

$$p' = 10(T + B\phi / 2 + 0.088C_B(B / 2 + 0.8C_W))$$

$$p'' = 2p_1 - 10T$$

$$p_1 = 10T + p_{dp}$$

$$p_{dp} = p_l + 135 \frac{y}{B + 75} - 1.2(T - z)$$

ϕ : roll angle (rad)

C_W : wave coefficient

$$\sigma = 225f_1 - 130f_{2b}(z_n - z_a) / z_n$$

f_{2b} : stress factor

z_n : Base Line 부터 N/A 까지의 거리

z_a : Base Line 부터 longi. 위치까지의 거리 w_k : section modulus corrosion factor in tanks $w_k = 1 + 0.05(t_{kw} + t_{kf})$ for flanged sections $= 1 + 0.06t_{kw}$ for bulbs t_{kw} : corrosion addition of web t_{kf} : corrosion addition of flange		
<p>선저 longi.의 경우 Ballast Water 에 잠겨 있기 때문에 다음의 표에서 Ballast Tank 에 해당하고, weather deck 으로부터 1.5m 이상 하부에 있기 때문에</p> $t_{kw} = t_{kf} = 1.5$		
주어진 범주의 공간 사이에 내부 부재와 판 경계	Tank/hold region	
	Weather deck tank 또는 hold top 아래 1.5m 이내	그 밖에
Ballast Tank	3.0	1.5
Cargo Oil Tank Only	2.0	1.0(0)
Hold of dry cargo carriers	1.0	1.0(3)

Bilge longi 는 위치하는 하중 지점에서 최대 하중을 이용하여 계산한다. 요구 Section modulus 는 다음과 같이 계산된다.

이를 이용하여 z 를 구한 결과는 다음과 같다.

	y	z	p_{max}	σ	σ_{db}	w_k	t_{kw}, t_{kf}	l^*	s	$Z(cm^3)$
L15	12.368	0.000	148.354	158.000	25.600	1.150	1.500	2.960	0.876	687.867
L16	13.203	0.086	149.550	159.144	25.600	1.150	1.500	2.960	0.876	688.432
L17	13.973	0.339	150.907	162.532	25.600	1.150	1.500	2.960	0.876	680.195
L18	14.648	0.751	152.370	168.033	25.600	1.150	1.500	2.960	0.876	664.306
L19	15.202	1.304	153.885	175.437	25.600	1.150	1.500	2.960	0.876	642.596
L20	15.613	1.979	155.392	184.458	25.600	1.150	1.500	2.960	0.876	617.155
L21	15.867	2.749	156.834	194.750	25.600	1.150	1.500	2.960	0.876	589.964

모든 Bilge longi 는 Inverted angle bar(I.A) 규격을 채택한다. Bilge plate 두께와 최대 요구 Section modulus 를(688 cm³) 고려하여 부재 규격을 선택한다. I.A 형강의 규격과 Section modulus 는 다음과 같다.

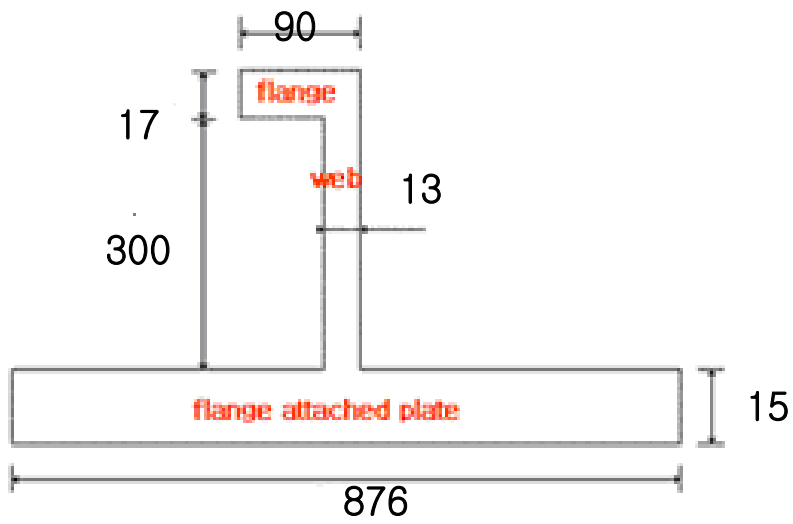
표 5 t=15.0mm, s=876mm

S(mm)	Plate(mm)	Web(mm)	t1(mm)	Flange(mm)	t2(mm)	Z(cm ³)
876	15	200	9	90	14	339.9221
876	15	250	10	90	15	493.2296
876	15	250	12	90	16	541.4779
876	15	300	11	90	16	680.3405
876	15	300	13	90	17	744.7068
876	15	350	12	100	17	958.5388
876	15	400	11.5	100	16	1112.393
876	15	400	13	100	18	1231.56
876	15	450	11.5	125	18	1578.048

위의 표를 보면 300×90×13/17 I.A 는 모든 조건을 만족함을 알 수 있다. 따라서 Bottom longi 들은 하나의 동일한 규격과 등급으로 나타난다.

	$Z_{require}$	Plate(mm)	$Z_{부재}$	부재 치수
L15	687.867	15.0	744.7068	300×90×13/17 I.A AH
L16	688.432	15.0	744.7068	300×90×13/17 I.A AH
L17	680.195	15.0	744.7068	300×90×13/17 I.A AH

L18	664.306	15.0	744.7068	300×90×13/17 I.A AH
L19	642.596	15.0	744.7068	300×90×13/17 I.A AH
L20	617.155	15.0	744.7068	300×90×13/17 I.A AH
L21	589.964	15.0	744.7068	300×90×13/17 I.A AH



1.9. 내저판 longi. - Pt.3 Ch.1 Sec.6 C800

기준선(3,700TEU 컨테이너선)의 자료를 바탕으로 부재의 재료를 우선 선정한다.

$$Z = \frac{83l'^2 spw_k}{\sigma}$$

$$p = \max(p_4 \sim p_{15})$$

컨테이너선의 경우, 내저판의 설계 하중 계산시 $p_4 \sim p_{15}$ 가 사용되는데, L1', L3', L4', L6', L7', L9', L10'의 경우, 그 중 p_7 의 영향을 가장 크게 받는다.

$$\begin{aligned} p &= \max(p_5, p_7, p_8, p_{15}) = p_7 \\ &= 137.69(\text{KN} / \text{m}^2) \end{aligned}$$

컨테이너선의 경우, 내저판의 설계 하중 계산시 $p_4 \sim p_{15}$ 가 사용되는데, L12', L13'의 경우, 그 중 p_8 의 영향을 가장 크게 받는다.

$$\begin{aligned} p &= \max(p_5, p_7, p_8, p_{15}) = p_8 \\ &= 153.8(\text{KN} / \text{m}^2) \end{aligned}$$

$$f_1 : 1.28(\text{NV} - 32\text{steel})$$

$$\sigma = 225 f_1 - 100 f_{2b} - 0.7 \sigma_{db} \text{ within } 0.4L (\text{maximum } 160 f_1)$$

$$f_{2b} = 1.0 : \text{stress factor}$$

$$\sigma_{db} = 20 \times f_1 = 20 \times 1.28 = 25.6$$

$$160 f_1 = 160 \times 1.28 = 204.8$$

$$\begin{aligned} \therefore \sigma &= 225 f_1 - 100 f_{2b} - 0.7 \sigma_{db} \\ &= 225 \times 1.28 - 100 \times 1 - 0.7 \times 25.6 \\ &= 170.08 \end{aligned}$$

w_k : section modulus corrosion factor in tanks

$$w_k = 1 + 0.05(t_{kw} + t_{kf}) = 1 + 0.05(1.5 + 1.5) = 1.15$$

Inner bottom longi 는 위치하는 하중 지점에서 최대 하중을 이용하여 계산한다.
 요구 Section modulus 는 다음과 같이 계산된다.

이를 이용하여 z 를 구한 결과는 다음과 같다.

	y	P_{max}	σ	σ_{db}	w_k	t_{kw}, t_{kf}	l'	s	$Z(cm^3)$
L1'	0.741	137.685	170.08	25.6	1.15	1.5	2.96	0.741	501.6617
L3'	2.323	137.685	170.08	25.6	1.15	1.5	2.96	0.841	569.3623
L4'	3.164	137.685	170.08	25.6	1.15	1.5	2.96	0.841	569.3623
L6'	4.846	137.685	170.08	25.6	1.15	1.5	2.96	0.841	569.3623
L7'	5.687	137.685	170.08	25.6	1.15	1.5	2.96	0.841	569.3623
L9'	7.369	137.685	170.08	25.6	1.15	1.5	2.96	0.841	569.3623
L10'	8.21	137.685	170.08	25.6	1.15	1.5	2.96	0.841	569.3623
L12'	9.892	153.8	193.29	27.8	1.15	1.5	2.96	0.841	636.0019
L13'	10.733	153.8	193.29	27.8	1.15	1.5	2.96	0.841	636.0019

모든 Inner bottom longi 는 Inverted angle bar(I.A) 규격을 채택한다. Inner bottom plate 두께와 최대 요구 Section modulus 를(569 cm³)를 고려하여 부재 규격을 선택한다. I.A 형강의 규격과 Section modulus 는 다음과 같다.

표 6 t=13.0mm, s=741mm (L1')

S(mm)	Plate(mm)	Web(mm)	t1(mm)	Flange(mm)	t2(mm)	Z(cm ³)
741	13	200	9	90	14	333.6618
741	13	250	10	90	15	483.5621
741	13	250	12	90	16	529.6178
741	13	300	11	90	16	665.5703
741	13	300	13	90	17	726.6867
741	13	350	12	100	17	935.4812
741	13	400	11.5	100	16	1084.802
741	13	400	13	100	18	1198.528
741	13	450	11.5	125	18	1537.707

표 7 t=13.0mm, s=841mm (L3', L4', L6', L7', L9', L10')

S(mm)	Plate(mm)	Web(mm)	t1(mm)	Flange(mm)	t2(mm)	Z(cm ³)
841	13	200	9	90	14	335.2554
841	13	250	10	90	15	486.4664
841	13	250	12	90	16	533.3262
841	13	300	11	90	16	670.4867
841	13	300	13	90	17	732.8388
841	13	350	12	100	17	943.6838
841	13	400	11.5	100	16	1094.907
841	13	400	13	100	18	1210.76
841	13	450	11.5	125	18	1552.926

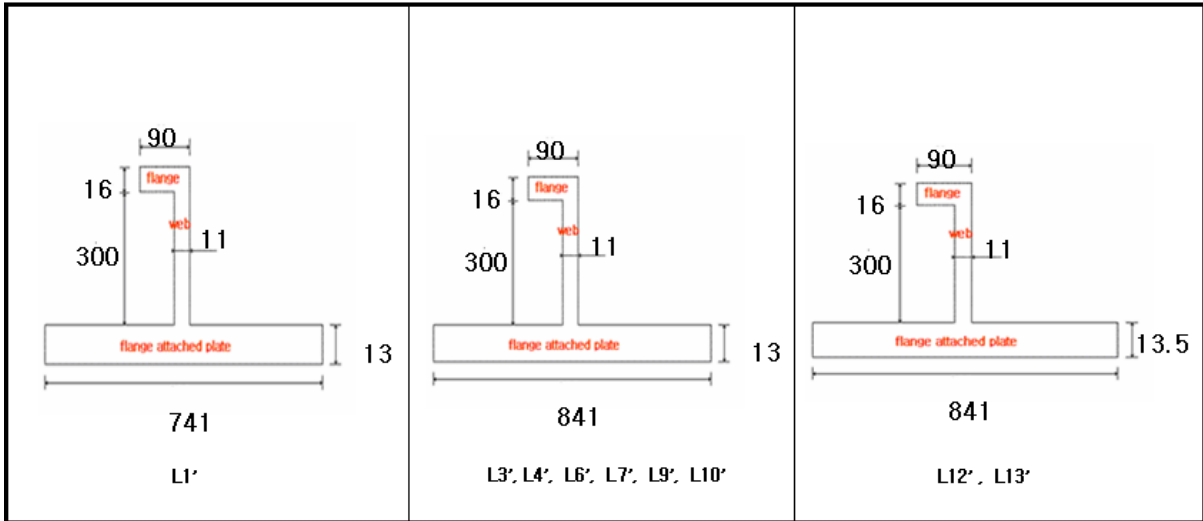
표 8 t=13.5mm, s=841mm(L12', L13')

S(mm)	Plate(mm)	Web(mm)	t1(mm)	Flange(mm)	t2(mm)	Z(cm ³)
841	13.5	200	9	90	14	336.334
841	13.5	250	10	90	15	488.0132
841	13.5	250	12	90	16	535.1809
841	13.5	300	11	90	16	672.714
841	13.5	300	13	90	17	735.5068
841	13.5	350	12	100	17	947.0034
841	13.5	400	11.5	100	16	1098.792
841	13.5	400	13	100	18	1215.362
841	13.5	450	11.5	125	18	1558.469

위의 표를 보면 I.A 는 모두 다른 규격의 longi 이다. 하지만 생산의 효율성을 위하여 Inner bottom longi 들은 하나의 동일한 규격과 등급으로 나타난다. 규격은 300×90×13/17 I.A. 로 정하겠다.

	Z _{require}	Plate(mm)	Z _{부재}	부재 치수
L1'	501.6617	13.0	665.5703	300×90×11/16 I.A AH
L3'	569.3623	13.0	670.4867	300×90×11/16 I.A AH
L4'	569.3623	13.0	670.4867	300×90×11/16 I.A AH
L6'	569.3623	13.0	670.4867	300×90×11/16 I.A AH

L7'	569.3623	13.0	670.4867	300×90×11/16 I.A AH
L9'	569.3623	13.5	672.714	300×90×11/16 I.A AH
L10'	569.3623	13.5	672.714	300×90×11/16 I.A AH



2. Side structure - Pt.3 Ch.1 Sec. 7

2.1. 설계 하중 계산

우선 design load 를 계산하기 위해서 rule 에 언급되어 있는 p 를 계산할 필요가 있다. 측면의 다양한 국부 구조들과 관련하여 각 경우에 대해 각각의 하중을 나타내는 표는 다음과 같다. 밑의 값들은 실제로 side plating 을 계산하는 과정에서 다루어 질 것이며 그 계산결과 또한 side plating 을 계산하는 과정에 나타나 있다.

Table B1 Design loads		
Load type		P (kN/m ²)
외부	하계만재흘수선 아래의 해수 압력	$p_1 = 10h_0 + p_{dp}^{1)}$
	하계만재흘수선 위의 해수 압력	$p_2 = (p_{dp} - (4 + 0.2k_s) \cdot h_0)^{1)}$ minimum $6.25 + 0.025 \cdot L_1$
내부	일반적으로 측면 탱크의 발라스트, 병커, 또는 액체 화물창	$p_3 = \rho(g_0 + 0.5a_v)h_s - 10h_b$ $p_4 = \rho g_0 h_s - 10h_b + p_0$ $p_5 = 0.67(\rho g_0 h_p + \Delta p_{dyn} - 10h_b)$
	폭 > 0.4B인 발라스트, 병커 또는 액체 화물창에서는 발라스트 흘수선 위로	$p_6 = \rho g_0 [0.67(h_s + \phi b) - 0.12\sqrt{H\phi b_t}]$
	길이 > 0.15L인 발라스트, 병커 또는 액체 화물창에서는 발라스트 흘수선 위와 탱크의 끝 쪽으로	$p_7 = \rho g_0 [0.67(h_s + \theta l) - 0.12\sqrt{H\theta l_t}]$
	채우는 높이의 제한이 없는 탱크 ²⁾	$p_8 = \rho [3 - B/100]b_b$
1) 배의 경우 service 제한이 있다. P ₂ 와 P ₁ 의 마지막 텀은 Sec.4의 B202에 주어진 퍼센트에 의해 제거될 수 있다.		
2) 자유 폭 b _s > 0.56B인 탱크의 경우에는 설계 압력이 Sec.4 C305를 특별히 고려해주어야 한다.		

h_0 : Waterline에서 하중지점까지의 수직 거리 (m)

T: Scantling Draft (m)

T_m: 최소 설계 흘수 (dry cargo vessel: 0.35T, tanker: 2+0.02L)

z: 선저(baseline)로부터 하중 지점까지의 수직거리, 최대 T (m)

p_{dp} , k_s : Bottom Structure와 동일한 방식 사용 (Sec.4 C201)

L_1 : L과 300중 작은 값 (m)

a_v : vertical acceleration, Bottom Structure와 동일한 방식 사용 (Sec.4 B600)

h_s : 하중지점부터 tank top까지의 수직거리 (m)

h_p : 하중지점부터 air pipe top까지의 수직 거리 (m)

h_b : 하중지점부터 보편적으로 T_m 까지의 수직 거리 (m)

p_0 : 일반적으로 25, dry cargo vessel의 ballast 창외 경우 15

ρ : ballast, bunker, 또는 액체 화물의 밀도 (t/m^3)

ΔP_{dyn} : pressure drop (Sec.4 C300)

H : tank의 높이 (m)

b : 하중지점으로부터 tank/hold의 상부 코너까지의 수평거리 (m)

b_t : tank/hold의 폭 (m)

l : tank 코너 상단으로부터 하중지점까지의 (선박 길이 방향으로의) 최대 거리 (m)

l_t : tank/hold의 길이 (m)

ϕ : role angle (rad)

θ : pitch angle (rad)

b_b : tank side 혹은 종격벽 사이의 유효 간격 (m)

2.2. 선측 외판(Side plating) - Pt.3 Ch 1. Sec. 7 C100

우선 Base Line부터 순서대로 SP1, SP2, SP3, SP4, SP5로 이름을 붙이고 이에 대해서 선측 외판의 두께를 결정하는 과정을 거친다. 이 때, 계산 값은 0.25단위로 반올림해주어야 한다.

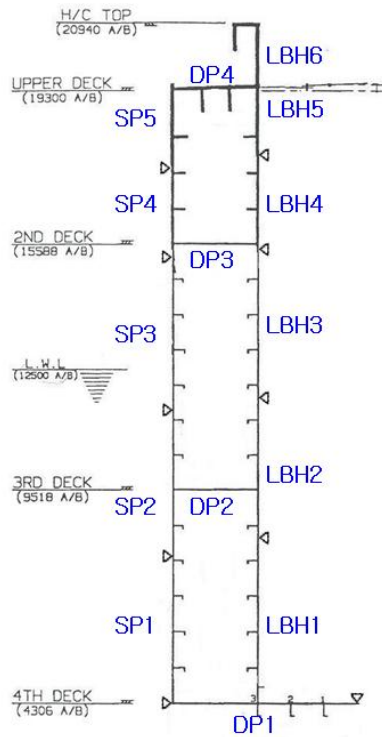
SP1	SP2	SP3	SP4	SP5
4.406 ~ 8.034	8.034 ~ 11.672	11.672 ~ 15.31	15.31 ~ 17.45	17.45 ~ 19.45

각 plate에 대한 corrosion addition t_k 는 다음과 같다.

Plate boundary between given space categories	Tank/hold region	
	Within 1.5m below weather deck tank or hold top	elsewhere
Ballast Tank / Cargo oil Tank only	2.5	1.5(1.0)
Ballast Tank / Hold of dry bulk cargo carrier	2.0	1.5
Ballast Tank / Other category space	2.0	1.0
Cargo oil Tank only / Other category space	1.0	0.5(0)
Hold of dry bulk cargo carrier / Other category space	0.5	0.5

SP1	SP2	SP3	SP4	SP5
1.0	1.0	1.0	1.0	0

SP3, SP4의 경우는 예비 Tank에 해당하지만, 최악의 경우 Ballast Tank로 이용할 수 있으므로 t_k 를 1.0으로 한다. SP5의 경우 Pressure Load Point가 Ballast Tank가 아닌 Void지역의 선측 외판이므로 t_k 를 0으로 사용한다.



① SP1

선측 외판의 두께 t_1, t_2 중 큰 값 이상이어야 한다.

$$101. \quad t_1 = \frac{15.8k_d s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k \quad (\text{mm})$$

t_1 계산에 쓰이는 값을 알아보면 다음과 같다.

- p

p 는 p_1 에서 p_8 값 중 가장 큰 값을 써야 한다. 하지만 실제로는 $p_1 \sim p_4$ 까지만 고려하면 된다. p_5 는 Ballast Tank이므로 air pipe가 있고 이를 통한 over flow가 일어날 수 있으나, 이에 의한 압력은 경험적으로 작은 값을 갖기 때문에 고려하지 않는다. p_6, p_7 는 각각 Rolling과 Pitching에 의한 값이나 컨테이너의 경우 Roll, Pitch가 작기 때문에 고려하지 않는다. 게다가 경험적으로 p_6, p_7 의 값은 $p_1 \sim p_4$ 에 비해 지배적이지 않다. 컨테이너의 Side Ballast Tank의 경우 상부가 막혀 있기 때문에 p_8 는 해당되지 않는다.

- p_1

p_1 를 계산하기 위해선 먼저 p_{dp} 를 구해주어야 한다.

$$P_{dp} = P_l + 135 \frac{y}{B + 75} - 1.2(T - z)$$

여기서 y는 중심선으로부터 하중지점까지의 수평거리이므로 선측 외판의 경우 모두 16.1m가 되고, z는 baseline으로부터 하중지점까지의 수직거리로서 SP1의 경우 4.406m이다. p_1 의 경우 다음과 같이 계산된다.

$V / \sqrt{L} \leq 1.5$	$P_l = k_s C_w + k_f$
$V / \sqrt{L} > 1.5$	$P_l = (k_s C_w + k_f)(0.8 + 0.15V / \sqrt{L})$

설계선의 경우 $V / \sqrt{L} \leq 1.5$ 인 경우에 해당하므로,

$$P_l = k_s C_w + k_f$$

$$= 2 \times 10.51 + 7.3 = 28.33 (KN / m^2)$$

선미부터 Ap	$k_s = 3C_B + 2.5 / \sqrt{C_B}$
0.2L - 0.7L from AP	$k_s = 2$
선수부터 Fp	$k_s = 3C_B + 4.0 / C_B$

중양 단면의 경우 위 표에 따라서 $k_s = 2$ 가 된다.

Table B1 Wave Coefficient C_w	
L	C_w
$L \leq 100$	$0.0792L$
$100 < L < 300$	$10.75 - [(300 - L) / 100]^{3/2}$
$300 \leq L \leq 350$	10.75
$L > 350$	$10.75 - [(L - 350) / 150]^{3/2}$

설계선의 경우 $C_w = 10.75 - [(300 - 261.88) / 100]^{3/2} = 10.51$ 가 된다.

k_f 의 경우 T와 f중 작은 값을 쓰면 되는데, f는 waterline에서부터 선박 측면의 상단까지의 수직거리이므로 $19.3 - 12.0 = 7.3m$ 가 되고, 이 값이 k_f 이 된다.

결국, p_{dp} 는 다음과 같이 계산된다.

$$P_{dp} = P_l + 135 \frac{y}{B + 75} - 1.2(T - z)$$

$$= 28.33 + 135 \times \frac{16.1}{32.2 + 75} - 1.2 \times (12 - 4.406) = 39.49 \text{ KN} / \text{m}^2$$

$$p_1 = 10 h_0 + p_{dp}$$

$$= 10 \times 8.194 + 38.89 = 120.83 \text{ KN} / \text{m}^2$$

- p_2

$$p_2 = p_{dp} - (4 + 0.2k_s)h_0$$

$$= 39.49 - (4 + 0.2 \times 2) \times 8.194 = 3.44 \text{ KN} / \text{m}^2$$

하지만 p_2 의 경우 $6.25 + 0.025L_1$ 보다 커야 한다. 여기서 L_1 은 L 과 300 중 작은 값이므로 261.88이 되고 p_2 는 12.797이 된다.

- p_3

p_3 를 구하기 위해서는 h_s , h_b , a_v 값을 알아야 한다. 우선 h_s 는 하중지점부터 2nd deck까지의 수직거리로서 $15.588 - 4.406 = 11.182\text{m}$ 가 된다. h_b 는 하중지점부터 $0.35T_s(T_M)$ 까지의 수직거리로서 $4.2 - 4.406 = 0.206\text{m}$ 가 된다. a_v 는 다음과 같이 계산된다.

$$a_v = \frac{k_v g_0 a_0}{C_B} = \frac{0.7 \times 9.81 \times 0.40}{0.6679} = 4.07$$

선미부터 AP	$k_v = 1.3$
0.3L - 0.6L	$k_v = 0.7$
FP부터 선수	$k_v = 1.5$

중앙단면의 경우 위 표에 따라서 $k_v = 0.7$ 가 된다.

$$a_0 = \frac{3C_w}{L} + C_v C_{v1} = \frac{3 \times 10.51}{261.88} + 0.2 \times 1.38 = 0.40$$

C_v 는 $\sqrt{L}/50$ 과 0.2중 작은 값으로 0.2가 되고, C_{v1} 은 V/\sqrt{L} 과 0.8중 큰 값으로 1.38이 된다.

$$p_3 = \rho(g_0 + 0.5a_v)h_s - 10h_b$$

$$= 1.025 \times (9.81 + 0.5 \times 4.07) \times 11.182 - 10 \times 0.206 = 133.71 \text{ KN} / \text{m}^2$$

- p_4

p_0 는 보통 15를 사용하고, 이 값을 사용해 p_4 를 구해보면 다음과 같다.

$$p_4 = \rho g_0 h_s - 10 h_b + p_0$$

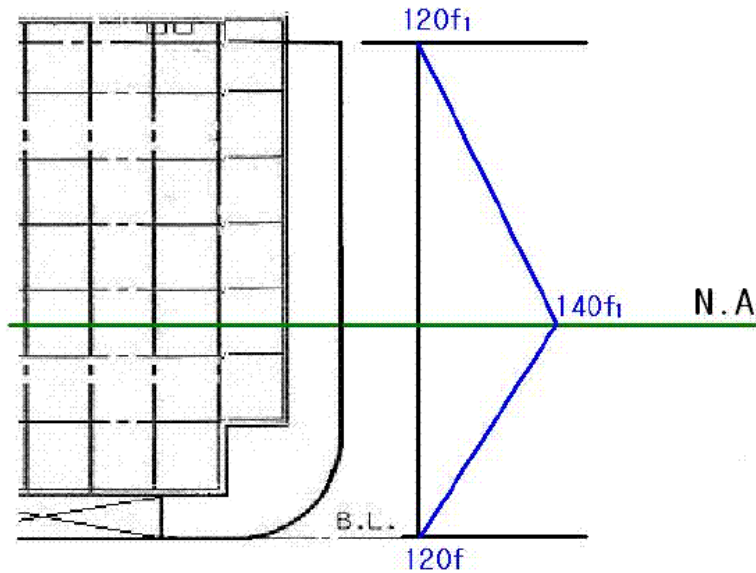
$$= 1.025 \times 9.81 \times 11.182 - 10 \times 0.206 + 15 = 125.38 \text{ KN / m}^2$$

- σ

$$\sigma = 140f_1 \text{ (종식구조, at Neutral Axis)}$$

$$= 120f_1 \text{ (횡식구조, at Neutral Axis)}$$

중립축(Neutral Axis)위의 지점에선 선저의 값(120f1)과 Deck의 값(120f1)을 선형 보간하여 사용한다.



σ 값을 구하기 위해서는 Neutral Axis을 알아야 하는데 이 단계에서는 알 수 없으므로 (depth + camber)/2 를 N.A라 가정하고 선저, deck, N.A에서의 값을 이용하여 σ 를 선형보간하여 계산한다.

$$\sigma = -\frac{140 - 120}{9.725} \times (9.725 - 4.406) + 140 = 129.06 f_1$$

- s

s 는 stiffener spacing (m)으로 0.87m를 사용하고 SP5에서는 1.102m를 사용한다.

- l

l 는 stiffener span (m)으로 $0.79 \times 4 = 3.16\text{m}$ 가 된다.

- k_a

$k_a = (1.1 - 0.25s/l)^2$	
$s/l = 0.4$ 이하	k_a 는 최대 1.0
$s/l = 1.0$ 이상	k_a 는 최소 0.72

s/l 을 계산해보면 1.0보다 큰 값이 나오므로 위 표에 따라 k_a 는 1.0을 사용한다.

- t_1

최종적인 t_1 값은 다음과 같다.

$$t_1 = \frac{15.8 \times 1.0 \times 0.87 \times \sqrt{133.71}}{\sqrt{129.06}} + 1 = 14.99 (mm)$$

102. 선체의 어느 부분에서도 두께가 다음보다 커야 한다.

$$t_2 = 5.0 + \frac{kL_1}{\sqrt{f_1}} + t_k \quad (mm)$$

- k

만재흡수선으로부터 4.6m까지	$k = 0.04$
위의 기준점 상부	매 2.3m마다 0.01감소
선미 프레임에 연결된 plate	$k = 0.06$

SP1의 t_1 의 값은 0.04이며 SP4와 SP5의 경우 각각 0.03, 0.02이다.

- t_2

$$t_2 = 5.0 + \frac{0.04 \times 261.88}{\sqrt{1}} + 1 = 16.4752 (mm)$$

- 최종 두께

t_1 과 t_2 중 t_2 가 크므로 16.4752을 사용하고 반올림하여 16.5mm를 사용한다.

② SP2 - SP5

위 SP1과 같은 과정으로 계산하여 표로 나타내었다.

	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5
Z	4.41	8.03	11.67	15.31	17.45
H ₀	8.19	4.57	0.93	2.71	4.85
h _s	11.18	7.55	3.92	0	0
h _b	0.21	3.83	7.47	11.11	13.25
D _{dp}	39.49	43.85	48.21	52.58	55.14
P ₁	121.43	89.51	57.49		
P ₂	12.80	23.75	44.13	40.65	33.80
P ₃	133.71	53.38	-27.17	-111.1	-132.5
P ₄	125.38	52.62	-20.34	-96.1	-117.5
P	133.71	89.51	57.49	40.65	33.80
σ	129.06	136.52	144.00	151.49	155.89
N.A로부터의 거리	5.32	1.69	1.95	5.59	7.73
T ₁	14.99	12.13	9.69	8.12	7.40
T ₂	16.48	16.48	16.48	13.86	11.24
계산된 t	16.48	16.48	16.48	13.86	11.24
반올림한 t	16.50	16.50	16.50	14.00	11.50

③ SP5

SP5의 경우, 2개의 strip으로 구성되어 있으며, 2개의 Unit strip에 대해 각각 Plate의 두께를 계산하고, 가장 큰 값을 SP5의 두께로 사용한다. 이 때, SP5의 material은 기준선과 동일한 NV-32를 사용한다.(f₁=1.28)

또한, SP5의 경우, Side Plate인 동시에, Strength Deck의 shear strake이므로 Side Plating과 Strength Deck Plating을 함께 고려해야 한다.

(DnV Rules, Jan. 2004, Pt.3 Ch.1 Sec.7 C202)

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2} \text{ (mm)}$$

t₁ : required side plating in mm

t₂ : strength deck plating in mm

(t₂ shall not be taken less than t₁)

SP5 를 Side Plating 으로 계산한 값이 위에 있으므로, 여기서는 Strength Deck Plating 만을 고려하여 그 값들을 비교하겠다.

SP5 를 Strength deck plating 으로 고려하는 경우, Structure 는 Weather deck 이 되며, 이 때, 가능한 Load type 은 Sea Pressure 가 되어, p₁ 만을 고려해 주면 된다.

SP5	Unit Strip	Material Factor	길이(mm)	하중점(mm)	z(mm)	z'(mm)	h0(mm)	hp(mm)	Pdp	P1
	1	1.28	870	435	17763	12000	5763	1987	48.547	1879.79
2	1.28	1102	551	18749	12000	6749	1001	48.547	2195.31	
Unit Strip	sigma	NA로부터 거리(m)	tk	t1	k	t2	계산t	t	최종 t (mm)	
1	153.6	-8.038	3	51.0879	0.02	13.0762	51.0879	54.967	55	
2	153.6	-9.024	3	54.9672	0.02	13.0762	54.9672			

따라서, 위의 Side Plating 에 의한 두께와 Strength deck plating 의 평균값을 계산해보면, SP5 의 두께는 다음과 같다.

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{14 + 55}{2} = 34.5$$

2.3. 선측 longi. - Pt.3 Ch. 1 Sec.7 C300

용접부분을 기준으로 몇 개의 구획으로 나누어 계산한다.

C301 선측 longi.의 Section Modulus 는 다음을 만족해야 한다.

$$Z = \frac{83l'^2 spw_k}{\sigma} \text{ (cm}^3\text{), minimum } 15\text{cm}^3$$

P = P₁ ~ P₈ 중 해당하는 적절한 값을 취한다.

$$\sigma = 160 f_1$$

$$l' = l - b_s$$

longi. 계산의 경우 stiffener span 을 Frame 간격이 아닌 유효길이를 사용한다.

b_s : vertical stiffener 폭

s: stiffener space

w_k : section modulus corrosion factor in tanks

$$w_k = 1 + 0.05(t_{kw} + t_{kf}) \text{ for flanged sections}$$

$$= 1 + 0.06t_{kw} \text{ for bulbs}$$

t_{kw} : corrosion addition of web

t_{kf} : corrosion addition of flange

주어진 범주의 공간 사이에 내부 부재와 판 경계	Tank/hold region	
	Weather deck tank 또는 hold top 아래 1.5m 이내	그 밖에
Ballast Tank	3.0	1.5
Cargo Oil Tank Only	2.0	1.0(0)
Hold of dry cargo carriers	1.0	1.0(3)

이렇게 각 longi.의 Section Modulus 를 구한 후, 그 값을 만족하는 longi.의 Type 을 선정한다.

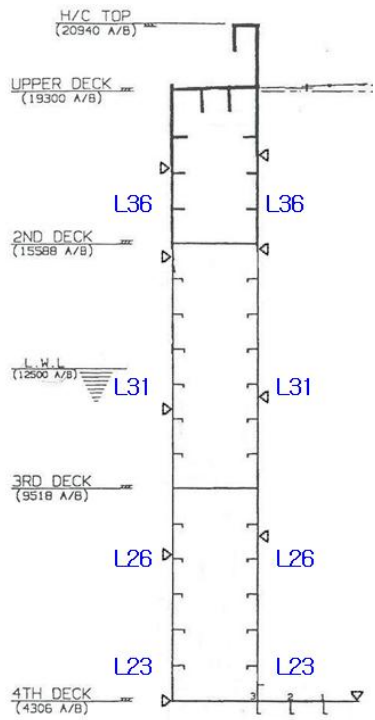


그림 4 설계선의 선측 longi. 위치

- L23의 경우

우선 각 longi.가 만족시켜야 하는 Section Modulus 의 값을 구해보도록 하겠다. 대표적으로 L23의 계산 과정을 보이고 나머지는 같은 방식으로 계산하겠다.

우선 longi. 계산의 경우 stiffener span 을 Frame 간격이 아닌 유효길이를 사용한다.

b_s : Vertical stiffener 폭, 0.2m

따라서, $l = l - b_s = 0.79 \times 4 - 0.2 = 2.96m$ 를 stiffener span 으로 사용한다.

s 의 경우 side plate 의 경우 그 간격이 일정하지 않는데 Z 를 계산할 시에는 각각의 longi 에 대하여 s 를 달리하여 계산 하여야 한다. 각 longi 를 중심으로 좌우의 간격 중 큰 값을 s 로 취하는 것이 타당하다.

L23 ~ L 37 의 경우 $S = 0.87$

L38 의 경우 $S = 1.102$

$w_k = 1 + 0.05(1.5 + 1.5) = 1.15$

p = p1~p8 으로 구성되어 있는데 이 중 P₅는 Ballast Tank 이므로 air pipe 가 있고 이를 통한 over flow 가 일어날 수 있긴 하지만 이에 의한 압력을 경험적으로 매우 작기 때문에 고려하지 않는다. P₆ 와, P₇ 은 각각 Rolling 과 Pitching 에 의한 값이나 LNGC 의 경우 Roll, Pitch 가 작기 때문에 고려하지 않는다. 또한 컨테이너선의 Side Ballast Tank 의 경우 상부가 막혀 있기 때문에 P₈ 은 고려하지 않는다.

결국, Side Plate 와 마찬가지로 P₁~P₄ 까지만 고려하면 된다. 이를 구하는 방식은 Side Plate 에서 구한 방식과 동일하므로 식을 더 기술하지는 않겠다.

P ₁ (KN/m ²)	114.69
P ₂ (KN/m ²)	12.797
P ₃ (KN/m ²)	116.75
P ₄ (KN/m ²)	110.02
P(KN/m ²)	116.75

$$Z = \frac{83l^2 spw_k}{\sigma} = \frac{83 \times 2.96^2 \times 0.87 \times 116.75 \times 1.15}{160} = 530.91 \text{ (cm}^3\text{)}$$

- L24 ~ L38 의 경우

L23 의 방법과 동일한 방법으로 계산하며, 이 때 SP4~SP5 의 경우 Water Line 상부에 위치하므로 P₁ 의 값을 고려할 필요가 없게 된다. 또한 SP5 의 경우에는 Ballast Tank 가 아니므로 P₃, P₄ 를 고려하지 않는다.

	z	Pdp	P1	P2	P3	P4	P
L23	5.172	40.41	114.69	12.79	116.75	110.02	116.75
L24	6.042	41.45	107.03	12.79	97.49	92.58	107.03
L25	6.912	42.50	99.38	17.47	4.52	14.08	99.38
L26	7.778	43.54	91.76	22.32	59.05	57.75	91.76
L27	8.648	44.58	84.10	27.19	39.79	40.30	84.10
L29	10.384	46.67	68.83	36.91	1.35	5.49	68.83
L30	11.254	47.71	61.17	41.79	-17.92	-11.96	61.17

L31	12.124	48.75	53.51	46.66	-37.18	-29.41	53.51
L32	12.99	49.79		48.08	-56.35	-46.78	48.08
L33	13.86	50.84		45.29	-75.62	-64.22	45.29
L34	14.73	51.88		42.51	-94.88	-81.67	42.51
L36	16.458	53.95		36.98			36.98
L37	17.328	54.99		34.19			34.19
L38	18.198	56.04		31.41			31.41

단, L38 의 경우, Side Structure 인 동시에, Deck Structure 에 해당한다. 따라서, 각 경우에 해당하는 두께와 단면계수 값을 구하여, 최대값으로서 Scantling 을 행한다.

	Type	z	ho	P_d.p	P1	P2	P3	P4	P5
L38	Side Structure	18.198	0	55.9853	0	55.9853	0	15	27.20585
	Deck Structure	18.198	6.7	55.9853	21.20424	0	0	0	0
	Type	P	W_k	s	sigma	l	t_kw	t_kf	Z
	Side Structure	55.9853	1.3	0.986	204.8	2.96	3	3	254.8155
	Deck Structure	21.20424	1.3	0.986	149.8965	2.96	3	3	131.86

Z 의 최대값을 살펴 보면, Side Structure 일 때의 단면 계수 값을 사용하면 된다는 것을 알 수 있다.

이렇게 계산된 P 를 이용하여 각 longi 의 Section Modulus 를 구한다. 각 longi 에 해당하는 Section Modulus 를 만족하는 longi 의 Type 을 선정하면 다음과 같다. 이 때 L36~L38 I 자형 longi 를 사용한다.

구분	$Z_{require}$	Plate(mm)	$Z_{부재}$	부재 치수
L1'	496.23	13.5	533.7890141	250×90×12/16 I.A AH
L3'	496.23	13.5	533.7890141	250×90×12/16 I.A AH
L4'	496.23	13.5	533.7890141	250×90×12/16 I.A AH
L6'	496.23	13.5	533.7890141	250×90×12/16 I.A AH
L7'	496.23	13.5	533.7890141	250×90×12/16 I.A AH
L9'	496.23	13.5	533.7890141	250×90×12/16 I.A AH
L10'	496.23	13.5	533.7890141	250×90×12/16 I.A AH
L12'	436.64	13.5	533.7890141	250×90×12/16 I.A AH
L13'	436.64	13.5	533.7890141	250×90×12/16 I.A AH

구분	Zreq	Plate(mm)	Z(cm ³)	롱지 Type
L23	530.9128	16.0	542.4966	250×90×12/16 I.A AH
L24	483.9969	16.0	494.2275	250×90×12/16 I.A AH
L25	447.1171	16.0	494.2275	250×90×10/15 I.A AH
L26	414.5279	16.0	494.2275	250×90×10/15 I.A AH
L27	379.7134	16.0	494.2275	250×90×10/15 I.A AH
L29	310.2444	16.0	340.9467	250×90×9/14 I.A AH
L30	275.4298	16.0	340.9467	250×90×9/14 I.A AH
L31	239.509	16.0	340.9467	250×90×9/14 I.A AH
L32	215.8922	16.0	340.9467	250×90×9/14 I.A AH
L33	203.2324	16.0	340.9467	250×90×9/14 I.A AH
L34	187.944	16.0	340.9467	250×90×9/14 I.A AH
L36	165.4275	20.0	200	320×35 FB AH
L37	152.7677	20.0	200	320×35 FB AH
L38	177.47	50.0	200	500×50 FB AH

위의 longi Type은 각 에서 필요로 하는 Z값을 넘는 longi중에서 가장 작은 longi를 선택하였다. 가령, L23의 경우 530.9128로 Z 값이 계산 되었으므로 Section Modulus가 631인 250×90×12/16 longi를 선택하였다. AH는 Tensile Steel을 의미하는 것으로 AH는 Yield Stress가 315N/mm²으로 NV-32 class로 Material Factor(f1)를 1.28을 사용한다. Torsion Tank에 포함되는 곳은 Rule scantling의 영역을 넘어서 구조해석을 통해 결정되어야 하므로 일단은 기준선의 수치를 그대로 가져와 사용 하였으며, 전체적인 Rule Scantling의 과정을 거친 후에 세부적인 수치를 조정하기로 한다.

<p>Side Structure No.1</p>	<p>Side Structure No.2</p>	<p>Side Structure No.3</p>	<p>Side Structure No.4</p>
<p>Side Structure No.5</p>	<p>Side Structure No.6</p>	<p>Side Structure No.7</p>	<p>Side Structure No.8</p>

그림 5 설계선의 선측 longi size

2.4. 선측 거더 Pt3. Ch. 1 Sec. 7 D100

D101 거더의 두께는 다음 값 이상이어야 한다.

$$t = 5.0 + \frac{k}{\sqrt{f_1}} + t_k (mm)$$

일반	$k = 0.01L_1$
화물구역의 cargo oil tank, ballast tank 내부의 거더	$k = 0.02L_1$
끝단의 거더	$k = 0.03L_1$ 최대 6.0

Ballast tank 내부의 Corrosion Addition t_k (mm)

주어진 범주의 공간 사이에 내부 부재와 판 경계	Tank/hold region	
	Weather deck tank 또는 hold top 아래 1.5m 이내	그 밖에
Ballast Tank	3.0	1.5
Cargo Oil Tank Only	2.0	1.0(0)
Hold of dry cargo carriers	1.0	1.0(3)

Boundary 의 Corrosion Addition t_k (mm)

주어진 범주의 공간 사이의 판 경계	Tank/hold region	
	Weather deck tank 또는 hold top 아래 1.5m 이내	그 밖에
Ballast Tank / Cargo oil Tank only	2.5	1.5(1.0)
Ballast Tank / Hold of dry bulk cargo carrier	2.0	1.5
Ballast Tank / Other	2.0	1.0

category space		
Cargo Oil Tank Only / Other category space	1.0	0.5(0)
Hold of dry cargo carrier / Other category space	0.5	0.5

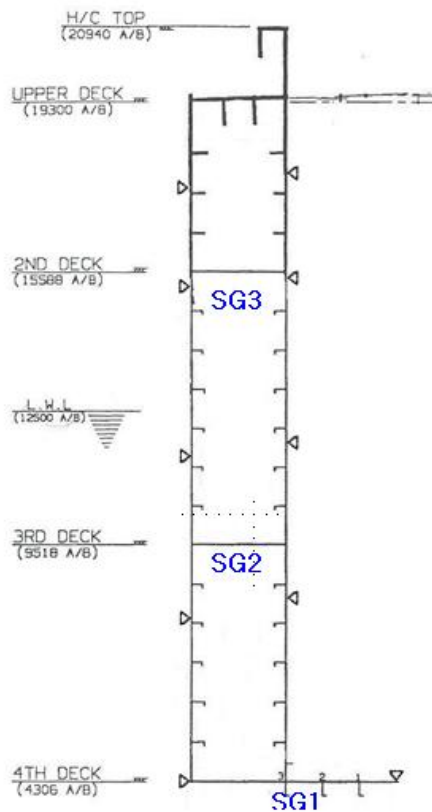


그림 6 설계선의 선측 거더의 위치

설계선의 거더 DP1은 끝단의 거더이므로 $K = 0.03 \times 261.88 > 6$ 이므로 6을 선택하기로 한다.

설계선의 거더 DP2은 ballast tank 내부의 거더 이므로 $K = 0.02 \times 261.88 = 5.2376$ 으로 계산된다.

설계선의 거더 DP3은 boundary로써 Ballast Tank 내부에 존재하는 것이 아니므로 $K = 0.01L_1 = 0.01 \times 261.88 = 2.6188$ 을 사용해야 한다.

DP2의 경우 ballast tank의 내부에 위치하므로 $t_k=1.5$ 를 쓰는 반면, DP1과 DP3의 경우에는 ballast tank와의 Boundary에 위치하므로 다른 값의 t_k 를 사용해야 한다.

즉, DP1, DP3는 Boundary의 Corrosion Addition t_k 표를 사용하여 선정하여야 하며 $t_k=1.0$ 을 취하게 된다. f_1 은 모두 1을 사용한다.

- L22 의(DP2) 경우

$$t = 5.0 + \frac{k}{\sqrt{f_1}} + t_k = 5 + 6 + 1 = 12(mm)$$

- L28 의(DP2) 경우

$$t = 5.0 + \frac{k}{\sqrt{f_1}} + t_k = 5 + 5.2376 + 1.5 = 11.7376(mm)$$

반올림 하여 선측 거더 L28의 두께는 11.5mm로 한다.

- L35 의 경우

$$t = 5.0 + \frac{k}{\sqrt{f_1}} + t_k = 5 + 2.6188 + 1 = 8.6188(mm)$$

이 값을 반올림하면 8.5mm인데, 이를 거더 L34의 두께로 사용할 수 있기는 하지만 L34는 Torsion Tank에 포함되는 곳으로 Rule scantling의 영역을 넘어서 구조해석을 통해 결정되어야 하므로 일단은 기준선의 수치를 그대로 가져와 사용한 후에 전체적인 Rule Scantling의 과정을 거친 후에 세부적인 수치를 조종하기로 한다.

즉, 선측 거더 L35의 두께는 15mm로 한다.

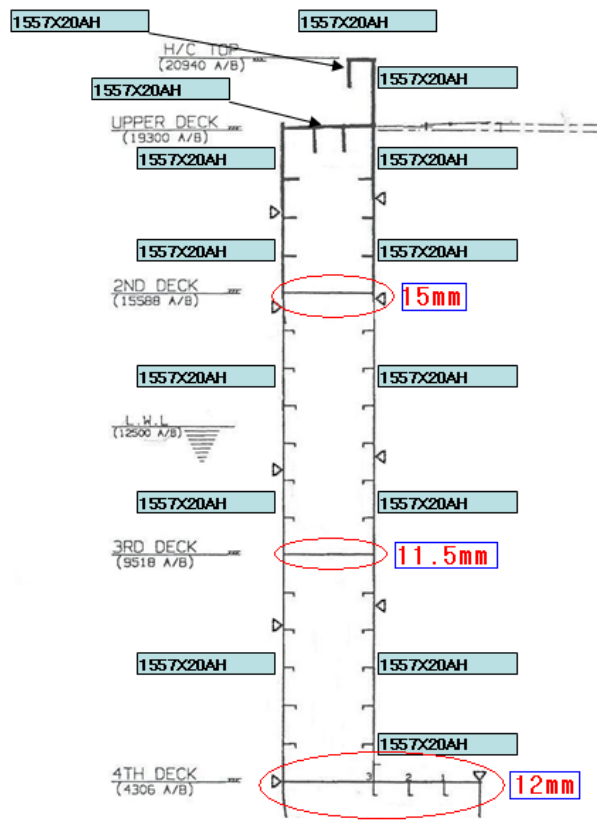


그림 7 설계선의 선측거더의 판 두께

3. Bulkhead Pt.3 Ch1. Sec 9

3.1. 설계 하중 계산 Pt.3 Ch1. Sec.9 Table B1

설계 하중			
Structure		Load type	p (kN/m ²)
Watertight bulkheads		Sea pressure when flooded or general dry cargo minimum	$p_1 = 10h_b$
Cargo hold bulkheads		Dry bulk cargo	$p_2 = \rho_c(g_0 + 0.5a_v)Kh_c$
Tank bulkheads in general		Ballast, bunker or liquid cargo	$p_3 = \rho(g_0 + 0.5a_v)h_s$ $p_4 = 0.67(\rho g_0 h_p + \Delta p_{dyn})$ $p_5 = \rho g_0 h_s + p_0$
Longitudinal bulkheads as well as transverse bulkheads at sides in wide tanks	In tanks with breadth > 0.4 B		$p_6 = \rho g_0 [0.67(h_s + \phi b) - 0.12\sqrt{H\phi b_t}]$
	Note 1)		$p_7 = \rho [3 - \frac{B}{100}] b_b$
Transverse bulkheads and longitudinal bulkheads at ends in long tanks	In tanks with length > 0.15 L		$p_8 = \rho g_0 [0.67(h_s + \theta l) - 0.12\sqrt{H\theta l_t}]$
	Note 2)		$p_9 = \rho [4 - \frac{L}{200}] l_b$
Longitudinal wash bulkheads			$p_7 = \rho [3 - \frac{B}{200}] b_b$
Transverse wash bulkheads			$p_9 = \rho [4 - \frac{L}{200}] l_b$
<p>1) To be used for strength members located less than $0.25b_b$ away from tank sides in tanks with no restrictions on their filling height. For tanks with free breadth (no longitudinal wash bulkheads) $b_b > 0.56 B$ the design pressure will be specially considered according to Sec.4 C305.</p> <p>2) To be used for strength members located less than $0.25l_b$ away from tank ends in tanks with no restrictions on their filling height. For tanks with free length (no transverse wash bulkheads or transverse web frames in narrow tanks) $l_b > 0.13 L$ the design pressure will be specially considered according to Sec.4 C305.</p>			

h_b : 하중 지점으로부터 손상 안정 계산을 고려하여 얻은 가장 깊은 waterline까지의 수직거리

a_v : vertical acceleration, 5.2.1 Bottom Structure 와 동일한 방식으로 구한 3.26 을 사용한다. (Sec.4 B600)

ρ_c : dry cargo 화물밀도

ρ : 액체 화물 밀도

$$K = \sin^2 \alpha \tan^2(45 - 0.5\delta) + \cos^2 \alpha$$

= cos a minimum

α : 해당하는 판넬과 수평면과의 각도 (degree)

δ : angle of repose of cargo in degrees, not to be taken greater than 20 degrees for light

bulk cargo (coal, grain) and not greater than 35 degree for heavy bulk cargo (ore)

h_s : 하중 지점으로부터 tank top 또는 hatch way까지의 수직거리 (m)

h_c : 하중 지점으로부터 hatchway 를 포함한 hold(화물창)의 가장 높은 부분까지의 수직거리(m)

h_p : 하중 지점부터 air pipe top까지의 수직거리 (m)

Δp_{dyn} : pressure drop

H: tank 의 높이 (m)

p_0 : 일반적으로 25, dry cargo vessels 의 ballast 창 의 경우 15

b: 하중지점으로부터 tank/hold 의 상부 코너까지의 수평거리 (m)

b_t : tank/hold 의 폭 (m)

l: tank 코너 상단으로부터 하중지점까지의 (선박 길이방향으로의) 최대 거리 (m)

l_t = tank top 의 길이

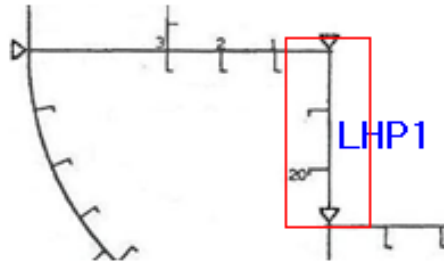
ϕ = roll angle (rad)

Θ = pitch angle (rad)

b_b = tank side 혹은 종격벽 사이의 유효 간격 (m)

l_b = 구조 부재가 위치해 있는 횡격벽(tank, wash bulkhead) 사이의 거리(m)

3.2. Bottom Bulkhead plating Pt.3 Ch 1. Sec. 9 C100



C101 측면 압력에 대응되는 두께는 다음보다 커야 한다.

$$\begin{aligned}
 t_1 &= \frac{15.8k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k \\
 &= \frac{15.8 \times 1 \times 0.87 \times \sqrt{168.6294}}{\sqrt{158.0751}} + 1 \\
 &= 15.19748(\text{mm})
 \end{aligned}$$

p 는 $p_1 \sim p_5$ 중에 관련된 것을 사용하되, Bulkhead Plating의 경우, 설계 하중에서 Ballast Water의 영향을 크게 받기 때문에 $p_3 \sim p_5$ 를 고려한다.

단, 그 중 p_4, p_5 는 overflow에 해당하는 경우이므로, p_3 의 영향을 가장 크게 받게 된다.

만약, Ballast Tank가 100% 채워진 경우를 상정하면,

$$\begin{aligned}
 p_3 &= \rho(g_0 + 0.5a_v)h_s \\
 &= 1.025 \times (9.81 + 0.5 \times 4.071894) \times 13.888 \\
 &= 168.6294
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_s &= (\text{2nd Deck}) - (\text{Inner Bottom}) \\
 &= 15.588 - 1.7 \\
 &= 13.888(\text{m})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_a &= \text{correction factor for aspect ratio of plate field} \\
 &= (1.1 - 0.25 \times s/l)^2 \\
 &= \text{maximum } 1.0 \text{ for } s/l = 0.4 \\
 &= \text{minimum } 0.72 \text{ for } s/l = 1.0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= \text{stiffener spacing in m, measured along the plating} \\
 &= 0.87(\text{m})
 \end{aligned}$$

¹⁷ h_s 의 경우, Ballast tank가 2nd Deck와 3rd Deck, 4th Deck가 모두 연결되어 있으므로 위와 같이 계산하였다.

l = stiffener span in m, measured along the topflange of the member

$$= 3.16(m)$$

$\sigma = 160 f_1$ (neutral axis 에서의 plating)

= 140 f_1 (0.4L amidships 내의 neutral axis 에서의 plating)

(하지만 P6, P7 을 사용할 때에는 160 f_1 을 사용한다.)

= 160 f_1 (0.05L from F.P and 0.1L from A.P and for transverse bulkheads in general)

= 120 f_1 (P1 을 사용할 때, Collision bulkhead 를 제외한 watertight bulkheads)

σ 의 값을 구하기 위해서는 Neutral Axis 를 알아야 하는데, 이 단계에서는 구할 수가 없다. 따라서 (Depth + Camber)/2 = (19.3+0.15)/2 = 9.725(m)를 N.A. 라 가정하고 선저의 값(120 f_1)과 Deck 의 값(120 f_1), N.A.에서의 값(140 f_1)을 이용하여 LHP1 의 Pressure Load Point 에서의 σ 를 선형 보간을 통해서 다음과 같이 구한다.

$$\begin{aligned} \sigma &= - \frac{(140 - 120)}{9.725} \times (\text{Distance from N.A.}) + 140 \\ &= - \frac{(140 - 120)}{9.725} \times (9.725 - 1.7) + 140 \\ &= 158.0751 \end{aligned}$$

Table D1 Corrosion addition t_k in mm		
Internal members and plate boundary between spaces of the given category	Tank/hold region	
	Within 1.5m below weather deck tank or hold top	Elsewhere
Ballast tank ¹⁾	3.0	1.5
Cargo oil tank only	2.0	1.0 (0) ²⁾
Hold of dry bulk cargo carriers ⁴⁾	1.0	1.0 (3) ⁵⁾
Plate boundary between given space categories	Tank/hold region	
	Within 1.5m below weather deck tank or hold top	Elsewhere
Ballast tank ¹⁾ / Cargo oil tank only	2.5	1.5 (1.0) ²⁾
Ballast tank ¹⁾ / Hold of dry bulk cargo carrier ⁴⁾	2.0	1.5
Ballast tank ¹⁾ / Other	2.0	1.0

category space ³⁾		
Cargo oil tank only / Other category space ³⁾	1.0	0.5 (0) ²⁾
Hold of dry bulk cargo carrier ⁴⁾ / Other category space ³⁾	0.5	0.5
<p>1) The term ballast tank also includes combined ballast and cargo oil tanks, but not cargo oil tanks which may carry water ballast according to Regulation 13(3), of MARPOL 73/78.</p> <p>2) The figure in brackets refers to non-horizontal surfaces.</p> <p>3) Other category space denotes the hull exterior and all spaces other than water ballast and cargo oil tanks and holds of dry bulk cargo carriers.</p> <p>4) Hold of dry bulk cargo carriers refers to the cargo holds, including ballast holds, of vessels with class notations Bulk Carrier and Ore Carrier, see Pt.5 Ch.2 Sec.5.</p> <p>5) The figure in brackets refers to webs and bracket plates in lower part of main frames in bulk carrier holds.</p>		

C102 두께는 다음 보다 작아서는 안 된다.

$$\begin{aligned}
 t_2 &= 5.0 + \frac{KL_1}{\sqrt{f_1}} + t_k \\
 &= 5.0 + \frac{0.01 \times 261.88}{\sqrt{1.28}} + 1 \\
 &= 8.314714
 \end{aligned}$$

K = 액체 화물 Tank 에서 cargo oil tank 와 ballast tank 의 bulkheads (double skin bulkheads 는 제외): 0.03
= 액체 화물 Tank 에서 cargo oil tank 와 ballast tank 의 double skin bulkheads: 0.02
= other bulkheads: 0.01

L_1 = 선박의 길이로서, 300m 보다 큰 값을 취해져서는 안 된다.

$$= 261.88$$

$f_1 = 1.28$ for NV-32 steel (::AH)

$$t_k = 1$$

C103 cargo area 안에 있는 bulkheads 두께는 다음보다 작아선 안 된다.

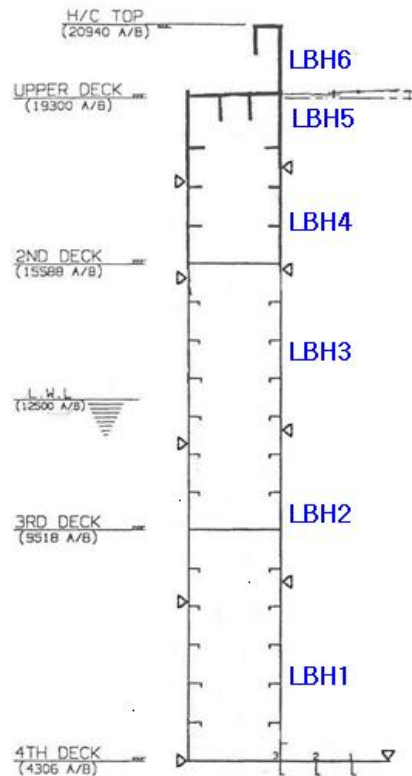
$$\begin{aligned}
 t_3 &= \frac{1000s}{120 - 3\sqrt{L_1}} + t_k \\
 &= \frac{1000 \times 0.87}{120 - 3\sqrt{261.88}} + 1 \\
 &= 13.17603
 \end{aligned}$$

위에서 구한 t_1, t_2, t_3 중 큰 것을 사용한다.

$$\begin{aligned}
 \text{Bottom Bulkhead LHP1의 두께} &= \max(t_1, t_2, t_3) \\
 &= 15(mm)
 \end{aligned}$$

구분	$z(m)$	$p(kN / m^2)$	N.A.로부터 거리(m)	σ	$t_1(mm)$	$t_2(mm)$	$t_3(mm)$	$T(mm)$
LHP1	1.7	168.6294	9.725	158.0751	15.197	8.314	13.176	15

3.3. Side Bulkhead plating Pt.3 Ch 1. Sec. 9 C100



(1) LBH1

C101 측면 압력에 대응되는 두께는 다음보다 커야 한다.

$$t_1 = \frac{15.8k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k$$

p 는 $p_1 \sim p_5$ 중에 관련된 것을 사용하되, Bulkhead Plating 의 경우, 설계 하중에서 Ballast Water 의 영향을 크게 받기 때문에 $p_3 \sim p_5$ 를 고려한다.

단, 그 중 p_4, p_5 는 overflow 에 해당하는 경우이므로, p_3 의 영향을 가장 크게 받게 된다.

만약, Ballast Tank 가 100% 채워진 경우를 상정하면,

$$\begin{aligned} p_3 &= \rho(g_0 + 0.5a_v)h_s \\ &= 1.025 \times (9.81 + 0.5 \times 4.071894) \times 11.182 \\ &= 135.7729 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_s &= (2\text{nd Deck}) - (4\text{th Deck} + 100\text{mm}) \\
 &= 15.588 - 4.406 \quad 18 \\
 &= 11.182(m)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_a &= \text{correction factor for aspect ratio of plate field} \\
 &= (1.1 - 0.25 \times s / l)^2 \\
 &= \text{maximum } 1.0 \text{ for } s / l = 0.4 \\
 &= \text{minimum } 0.72 \text{ for } s / l = 1.0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= \text{stiffener spacing in m, measured along the plating} \\
 &= 0.87(m)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 l &= \text{stiffener span in m, measured along the topflange of the member} \\
 &= 3.16(m)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma &= 160 f_1 \text{ (neutral axis 에서의 plating)} \\
 &= 140 f_1 \text{ (0.4L amidships 내의 neutral axis 에서의 plating)} \\
 &\quad \text{(하지만 P6, P7 을 사용할 때에는 } 160 f_1 \text{ 을 사용한다.)} \\
 &= 160 f_1 \text{ (0.05L from F.P and 0.1L from A.P and for transverse} \\
 &\quad \text{bulkheads in general)} \\
 &= 120 f_1 \text{ (P1 을 사용할 때, Collision bulkhead 를 제외한 watertight} \\
 &\quad \text{bulkheads)}
 \end{aligned}$$

σ 의 값을 구하기 위해서는 Neutral Axis 를 알아야 하는데, 이 단계에서는 구할 수가 없다. 따라서 $(\text{Depth} + \text{Camber})/2 = (19.3+0.15)/2 = 9.725(m)$ 를 N.A.라 가정하고 선저의 값($120 f_1$)과 Deck 의 값($120 f_1$), N.A.에서의 값($140 f_1$)을 이용하여 LHP1 의 Pressure Load Point 에서의 σ 를 선형 보간을 통해서 다음과 같이 구한다.

$$\begin{aligned}
 \sigma &= - \frac{(140 - 120)}{9.725} \times (\text{Distance from N.A.}) + 140 \\
 &= - \frac{(140 - 120)}{9.725} \times (9.725 - 4.406) + 140 \\
 &= 129.0612
 \end{aligned}$$

C102 두께는 다음 보다 작아서는 안 된다.

¹⁸ h_s 의 경우, Ballast tank 가 2nd Deck 와 3rd Deck, 4th Deck 가 모두 연결되어 있으므로 위와 같이 계산하였다.

$$\begin{aligned}
t_2 &= 5.0 + \frac{KL_1}{\sqrt{f_1}} + t_k \\
&= 5.0 + \frac{0.01 \times 261.88}{\sqrt{1}} + 1 \\
&= 8.6188(mm)
\end{aligned}$$

K = 액체 화물 Tank 에서 cargo oil tank 와 ballast tank 의 bulkheads (double skin bulkheads 는 제외): 0.03
= 액체 화물 Tank 에서 cargo oil tank 와 ballast tank 의 double skin bulkheads: 0.02
= other bulkheads: 0.01

L_1 = 선박의 길이로서, 300m 보다 큰 값을 취해져서는 안 된다.

$$= 261.88$$

$$f_1 = 1 \text{ for NV-NS}$$

$$t_k = 1$$

C103 cargo area 안에 있는 bulkheads 두께는 다음보다 작아선 안 된다.

$$\begin{aligned}
t_3 &= \frac{1000s}{120 - 3\sqrt{L_1}} + t_k \\
&= \frac{1000 \times 0.87}{120 - 3\sqrt{261.88}} + 1 \\
&= 13.17603
\end{aligned}$$

위에서 구한 t_1, t_2, t_3 중 큰 것을 사용한다.

$$\begin{aligned}
\text{Side Bulkhead LBH 1의 두께} &= \max(t_1, t_2, t_3) \\
&= 15(mm)
\end{aligned}$$

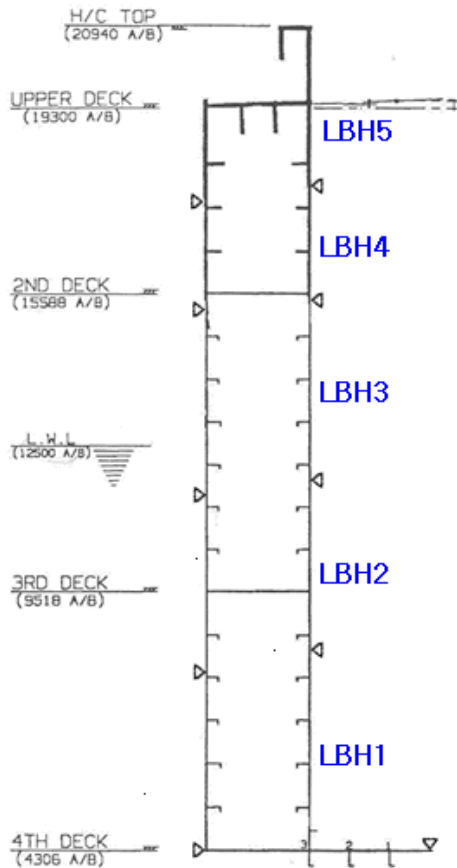
(2) LBH1~LBH5

위의 (1)번 과정처럼 다른 Longitudinal Bulkhead Plate 에 대해서도 Rule Scantling 을 행한 결과는 다음과 같다.

	z(m)	hs	P(kN/m2)	N.A 거리(m)	σ	t1(mm)	t2(mm)	t3(mm)	T(mm)	실제T(mm)
LBH1	4.406	11.182	135.7729	9.725	129.0612	15.0989	8.6188	13.17603	15	13
LBH2	8.363	7.225	87.72664	9.725	137.199	11.99175	8.6188	13.17603	13	11
LBH3	11.963	3.625	44.0151	9.725	144.6026	8.58384	8.6188	13.17603	13	11
LBH4	15.563	3.737	45.37501	9.725	152.0062	8.510245	8.6188	13.17603	13	20
LBH5	17.803	1.497	18.17672	9.725	156.6129	5.682959	8.6188	13.17603	13	50EH

LBH6 의 경우, Deck 위의 Hatch 구조이므로, 이 부분의 치수는 기준선의 값 55EH36 을 사용하고 나중에 전체적인 Rule Scantling 을 통해 수정하도록 한다. 또한 LBH4, LBH5 도 Torsion Tank 에 포함되는 곳으로 Rule Scantling 의 영역을 넘기에 구조해석을 통해 세부적인 수치를 조정해야 한다.

3.4. Longi. Pt.3 CH 1. Sec. 9 C200 - bottom, side



(1) Bottom Bulkhead Longi.

1) L20

Rule C201: Stiffener 와 Corrugation 의 요구되는 Section Modulus 는 아래처럼 주어진다.

$$\begin{aligned}
 Z &= \frac{83l^2 spw_k}{\sigma} (cm^3), \text{ min } 15cm^3 \\
 &= \frac{83 \times 2.96^2 \times 0.87 \times 158.1144 \times 1.15}{204.8} \\
 &= 559.1375 (cm^3)
 \end{aligned}$$

longi.계산의 경우 stiffener span 을 Frame 간격이 아닌 유효길이를 사용한다.

b_s : vertical stiffener 폭, 0.2m

따라서 $l = l - b_s = 3.16 - 0.2 = 2.96(m)$ 를 stiffener span 으로 사용한다.

w_k 는 Bottom Structure 에서와 마찬가지로 구한다.

$$w_k = 1 + 0.05(t_{kw} + t_{kf}) = 1 + 0.05(1.5 + 1.5) = 1.15 \text{ for flanged sections}$$

t_{kw} : corrosion addition of web

t_{kf} : corrosion addition of flange

$p = p_1 \sim p_9$, 위와 마찬가지로 p_3 를 사용한다.

$$\begin{aligned} p_3 &= \rho(g_0 + 0.5a_v)h_s \\ &= 1.025 \times (9.81 + 0.5 \times 4.071894) \times 13.022 \\ &= 158.1144 \end{aligned}$$

$$\sigma = 225f_1 - 130f_2 \frac{z_n - z_a}{z_n}, \text{ maximum } 160f_1 \text{ (within 0.4L amidships)}$$

$$f_1 = 1.28 \text{ (for AH)}$$

그런데, z_n 과 z_a 를 구하기 위해서는 N.A.의 위치를 알아야 하지만, 현재는 구할 수 없으므로, σ 는 최대 값 $160f_1$ 을 사용한다.

이렇게 계산한 Section Modulus 를 이용하여 그 값에 만족하는 longi. Type 을 선정한다. **within 0.4L amidship within 0.1L from perpendiculars**

Longi.	z(m)	Z require(cm ³)	Z(cm ³)	Plate thickness(cm)	Longi. Type
L20	2.566	559.1375154	539.1391	1.5	250×90×12/16 I.A AH
L21	3.436	524.1916066	539.1391	1.5	250×90×12/16 I.A AH

(2) Side Bulkhead Longi.

Rule C201: Stiffener 와 Corrugation 의 요구되는 Section Modulus 는 아래처럼 주어진다.(L23)

$$\begin{aligned} Z &= \frac{83l^2 spw_k}{\sigma} (cm^3), \text{ min } 15cm^3 \\ &= \frac{83 \times 2.96^2 \times 0.87 \times 125.2579 \times 1.15}{204.8} \\ &= 444.9935 (cm^3) \end{aligned}$$

longi.계산의 경우 stiffener span 을 Frame 간격이 아닌 유효길이를 사용한다.

b_s : vertical stiffener 폭, 0.2m

따라서 $l = l - b_s = 3.16 - 0.2 = 2.96(m)$ 를 stiffener span 으로 사용한다.

s 의 경우는 stiffener space 를 의미하며, side plate 의 Longi 의 경우에는 그 간격이 일정하지 않으므로, Z 계산 시, 이에 유의해야 하며, 좌우 간격이 다를 경우, 두 값 중 큰 값을 취해주는 것이 합리적이다.

$$s = 0.87 \text{ (for L23~L37)}$$

$$= 1.102 \text{ (for L38)}$$

w_k 는 Bottom Structure 에서와 마찬가지로 구한다.

$$w_k = 1 + 0.05(t_{kw} + t_{kf}) = 1 + 0.05(1.5 + 1.5) = 1.15 \text{ for flanged sections}$$

t_{kw} : corrosion addition of web

t_{kf} : corrosion addition of flange

$p = p_1 \sim p_9$, 위와 마찬가지로 p_3 를 사용한다.

$$p_3 = \rho(g_0 + 0.5a_v)h_s$$

$$= 1.025 \times (9.81 + 0.5 \times 4.071894) \times 10.316$$

$$= 125.2579$$

$$\sigma = 225 f_1 - 130 f_2 \frac{z_n - z_a}{z_n}, \text{ maximum } 160f_1 \text{ (within 0.4L amidships)}$$

$$f_1 = 1.28 \text{ (for AH)}$$

그런데, z_n 과 z_a 를 구하기 위해서는 N.A.의 위치를 알아야 하지만, 현재는 구할 수 없으므로, σ 는 최대 값 $160f_1$ 을 사용한다.

이렇게 계산한 Section Modulus 를 이용하여 그 값에 만족하는 longi. Type 을 선정한다.

within 0.4L amidship within 0.1L from perpendiculars

Longi.	z(m)	Zrequire(cm ³)	Z(cm ³)	판의 두께(cm)	Longi. Type
L23	5.272	444.9934672	491.4023	1.5	250×90×10/15 I.A AH
L24	6.142	407.4649371	491.4023	1.5	250×90×10/15 I.A AH
L25	7.012	369.936407	491.4023	1.5	250×90×10/15 I.A AH
L26	7.882	425.4820825	491.4023	1.5	250×90×10/15 I.A AH
L27	8.752	377.4455639	491.4023	1.3	250×90×10/15 I.A AH
L29	10.488	281.5933844	338.9007	1.3	250×90×9/14 I.A AH

L30	11.358	233.5568659	338.9007	1.3	250×90×9/14 <i>I.A AH</i>
L31	12.228	185.5203474	338.9007	1.3	250×90×9/14 <i>I.A AH</i>
L32	13.094	137.7046864	338.9007	1.3	250×90×9/14 <i>I.A AH</i>
L33	13.964	89.66816791	338.9007	1.3	250×90×9/14 <i>I.A AH</i>
L34	14.834	41.63164939	338.9007	1.3	250×90×9/14 <i>I.A AH</i>
L36	16.562	151.1769974	200	2.0	250×35 <i>FB AH</i>
L37	17.432	103.1404789	200	2.0	250×35 <i>FB AH</i>
L38	18.302	61.64256432	200	5.0	300×35 <i>FB AH</i>

L36~L38 의 경우, Torsion Tank 에 포함되는 곳으로 Rule Scantling 의 영역을 넘기에 구조해석을 통해 세부적인 수치를 조정해야 한다.

4. Deck Structure

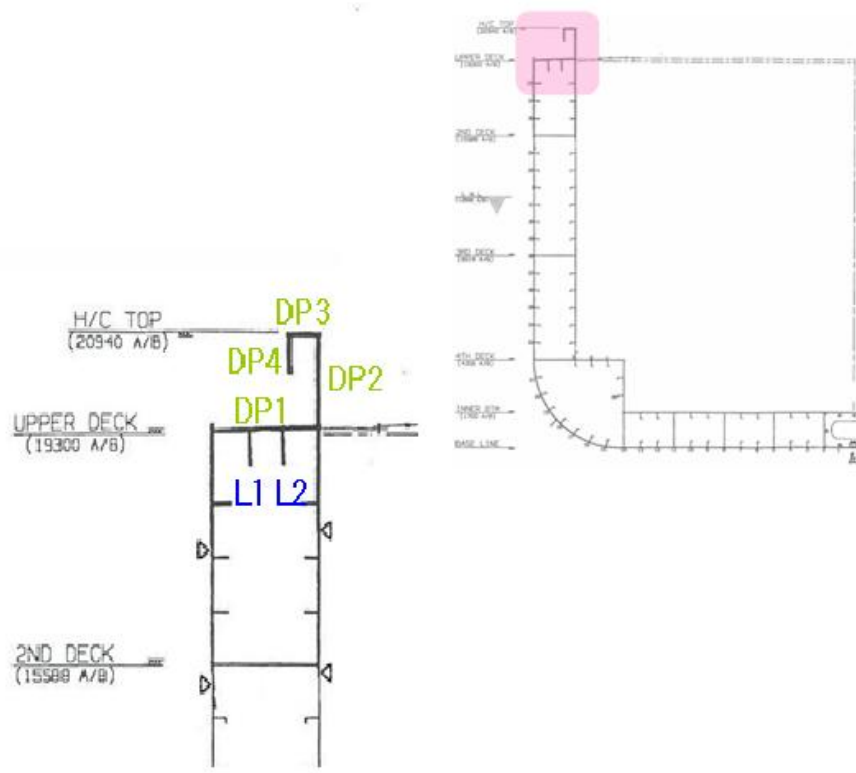


그림 8. 설계선의 Deck Structure

Deck Structure 의 경우도 DNV 룰을 적용하여 Rule Scantling 하여야 하지만 설계선의 경우 Deck 구조가 Torsion Tank 에 속하는 구조여서 Rule scantling 의 영역을 넘어서 구조해석을 통해 결정해야 한다. 따라서 이 부분은 기준선(3,700TEU 컨테이너선)의 수치를 그대로 가져와 사용하고 후에 전체적인 Rule Scantling 을 통해 세부적인 수치를 조종하기로 한다. 또한 Upper Deck 위의 Hatch 부분도 기준선(3,700TEU 컨테이너선)의 수치를 사용하기로 한다.

부재 명칭	Type
DP1	2080×50 EH
DP2	1640×55 EH 36
DP3	600×55 EH 36
DP4	650×55 EH 36
L1	500×50 FB AH
L2	500×50 FB AH

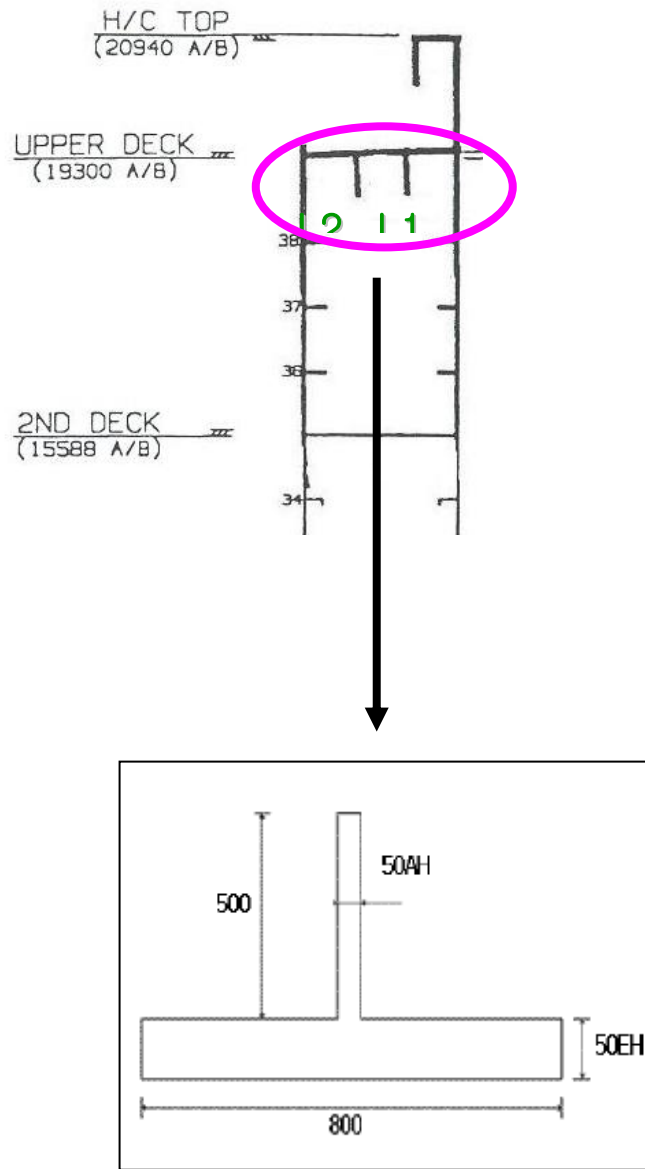
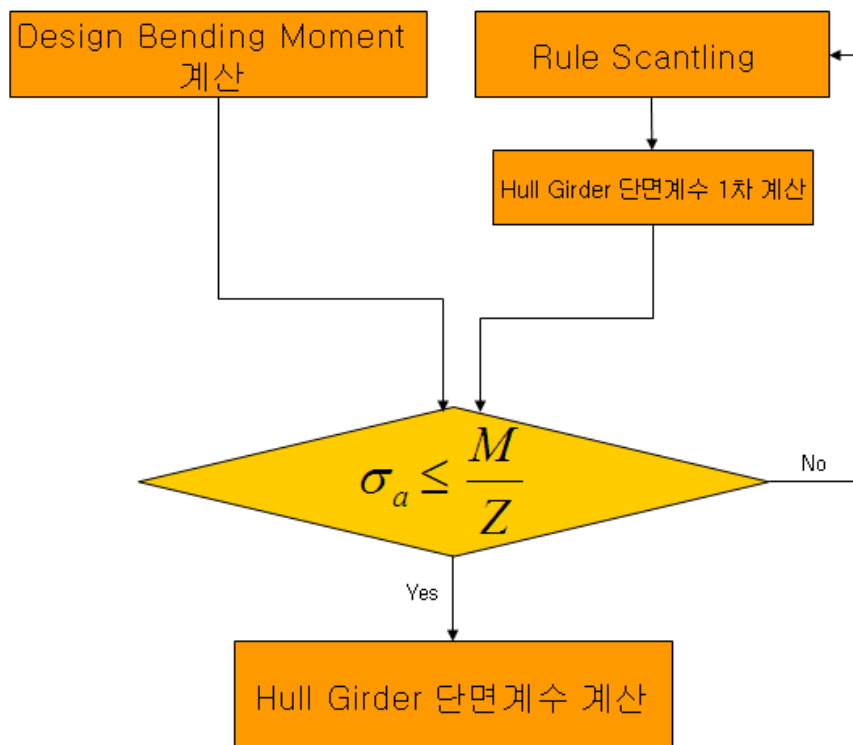


그림 9. 설계선의 Deck Structure Longi. size

III. 종강도 검토

설계선(4200TEU Container 선)의 종강도 계산을 위해서, 우선적으로 DNV Rule 에 따른 Design Bending Moment 를 계산하고, Rule Scantling 에 따라 결정된 Mid-ship Section 부재의 치수를 이용하여 Hull Girder 의 단면 계수(Z)를 구한다.

이렇게 구한 단면 계수와 Design Bending Moment 를 이용하여, 중립 축으로부터 가장 멀리 떨어진 곳에서의 응력을 계산하여, Rule 을 만족하는지 확인한다. 만약 만족하지 않는다면, 중앙 단면 부재의 치수를 변경시키면서, 위에서 Rule 에 따라 구한 Bending Moment 에 따른 Hull Girder 의 단면 계수를 구한다.



1. Design bending Moment 계산

실적선의 자료를 이용하여 다음과 같이 DNV rule(Pt.3 Ch.1 Sec.5)에 따라 M_s 와 M_w 를 구한다.

M_s : Still Water Bending Moment

M_w : Vertical Water Bending Moment

$$M = M_s + M_w$$

원래는 Hydrodynamics 에 따른 M_s (SWBM)과 M_w (VWBM)을 계산하여 DNV Rule 에 의한 값을 비교하여 큰 값을 사용하여야 하지만, 이번 단계에서는 DNV Rule 에 따른 값만을 사용한다.

1.1. 설계선(4200TEU Container 선)의 Bending Moment 계산

① Hogging

$$\text{Rule B106: } M_s = k_{sm} M_{SO} \text{ (kNm)}$$

$$= 1.0 \times 2539936$$

$$= 2539936 \text{ (kNm)}$$

$$- M_{SO} = C_{WU} L^2 B (0.1225 - 0.015 C_B) \text{ (kNm) (in hogging)}$$

$$= 10.486 \times 258.87^2 \times 32.2 \times (0.1225 - 0.015 \times 0.6836)$$

$$= 2539936$$

$$- k_{sm} = 1.0 \text{ within } 0.4L \text{ amidships}$$

$$= 0.15 \text{ at } 0.1L \text{ from A.P. or F.P.}$$

$$= 0.0 \text{ at A.P. and F.P.}$$

$$\text{Rule B202: } M_w = k_{wm} M_{WO} \text{ (kNm)}$$

$$= 1.0 \times 2939053$$

$$= 2939053 \text{ (kNm)}$$

$$- M_{WO} = 0.19 \alpha C_w L^2 B C_B \text{ (kNm) (in hogging)}$$

$$= 0.19 \times 1.0 \times 10.486 \times 258.87^2 \times 32.2 \times 0.6836$$

$$= 2939053$$

$$- k_{sm} = 1.0 \text{ between } 0.40L \text{ and } 0.65L \text{ from A.P.}$$

$$= 0.0 \text{ at A.P. and F.P.}$$

$$- \alpha = 1.0 \text{ for seagoing conditions}$$

$$= 0.5 \text{ for harbour and sheltered water conditions}$$

(enclosed fjords, lakes, rivers)

Bending Moment for Hogging:

$$- M = M_s + M_w$$

$$= 2539936 + 2939053$$

$$= 5478990 \text{ (kNm)}$$

Table B1 Wave Coefficient C_W	
L	C_W
$L \leq 100$	$0.0792L$
$100 < L < 300$	$10.75 - [(300 - L) / 100]^{3/2}$
$300 \leq L \leq 350$	10.75
$L > 350$	$10.75 - [(L - 350) / 150]^{3/2}$

② Sagging

Rule B106: $M_S = k_{sm} M_{SO} \text{ (kNm)}$
 $= 1.0 \times (-2035053)$
 $= -2035053 \text{ (kNm)}$

$-M_{SO} = -0.065 C_{WU} L^2 B (C_B + 0.7) \text{ (kNm) (in sagging)}$
 $= -0.065 \times 10.486 \times 258.78^2 \times 32.2 \times (0.6836 + 0.7)$
 $= -2035053$

$-k_{sm} = 1.0$ within 0.4L amidships
 $= 0.15$ at 0.1L from A.P. or F.P.
 $= 0.0$ at A.P. and F.P.

Rule B202: $M_W = k_{wm} M_{WO} \text{ (kNm)}$
 $= 1.0 \times (-3443936)$
 $= -3443936 \text{ (kNm)}$

$-M_{WO} = -0.11 \alpha C_W L^2 B (C_B + 0.7) \text{ (kNm) (in sagging)}$
 $= 0.19 \times 1.0 \times 10.486 \times 258.78^2 \times 32.2 \times 0.6836$
 $= -3443936$

$-k_{sm} = 1.0$ between 0.40L and 0.65L from A.P.
 $= 0.0$ at A.P. and F.P.

$-\alpha = 1.0$ for seagoing conditions
 $= 0.5$ for harbour and sheltered water conditions
(enclosed fjords, lakes, rivers)

Bending Moment for Sagging:

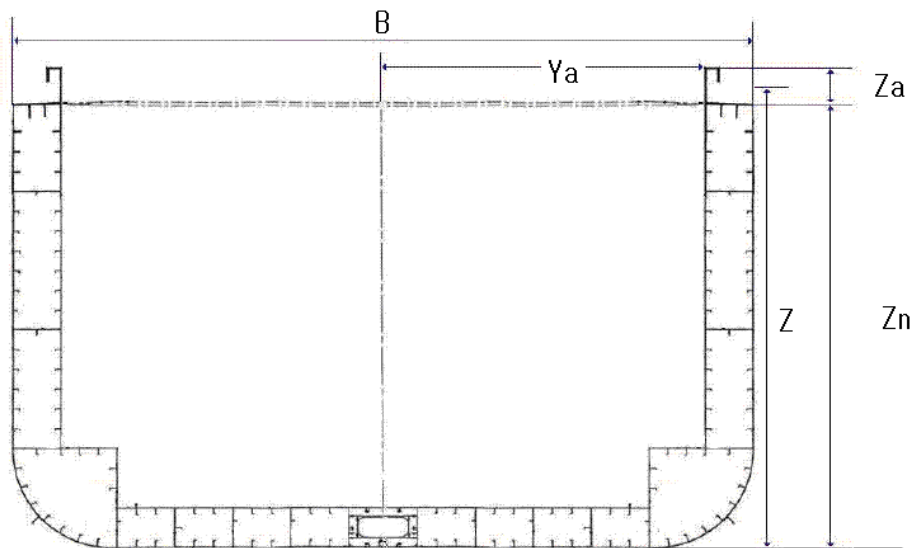
$-M = M_S + M_W$
 $= -2035053 + (-3443936)$
 $= -5478990 \text{ (kNm)}$

③ Design Bending Moment 결정

설계선(4200TEU Container 선)의 경우, DNV Rule 에 의한 Hogging 시의 Bending Moment 값과 Sagging 시의 Bending Moment 의 크기가 동일하다. 따라서 어느 것을 사용해도 상관없기에, Hogging 시의 Bending Moment 값을 Design Bending Moment 로 사용하기로 한다.

$$\text{Design Bending Moment} = 5478990(\text{kNm})$$

이제는 Design Bending Moment 에 의해 걸리는 응력이 가장 큰 부분을 고려 하기 위해서는 N/A 에서부터 선박의 상단까지의 거리를 구해야 한다. 이 때는 Hatch Coamings 에 의한 영향을 고려해야 하므로, 다음의 Rule 을 통해 거리를 계산 한다.

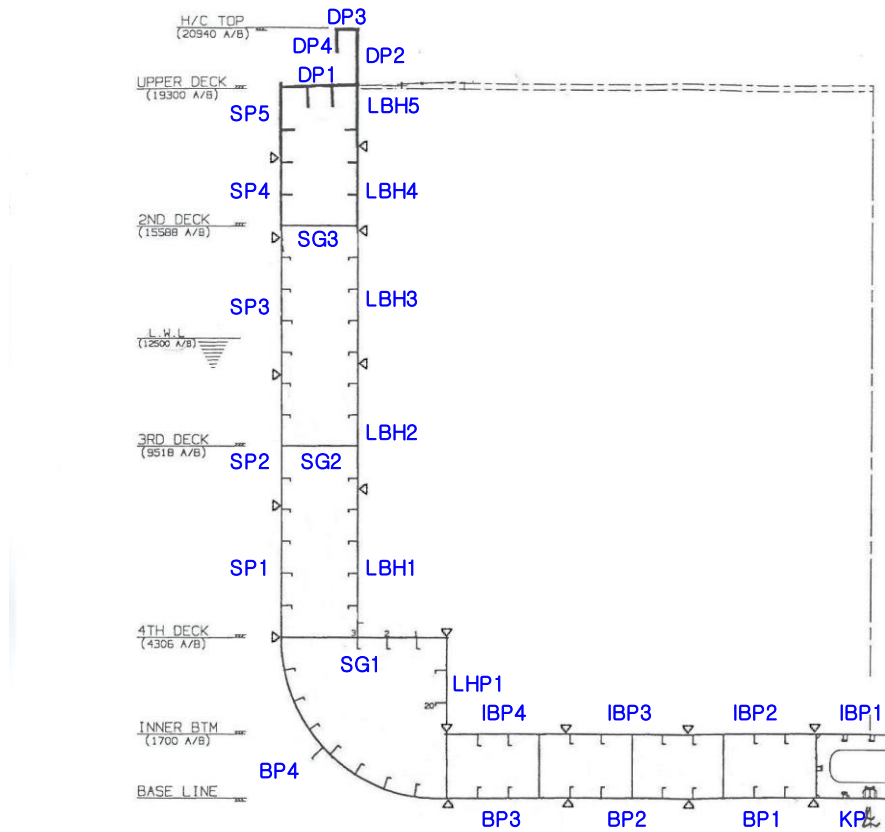


Z_{\max} : distance from B.L. to hatch coaming

$$Z_{\max} = 20.940m$$

2. Rule scantling 에 Mid-Ship 단면계수를 계산

Mid-Ship section modulus 를 구하기 위하여 우선 base line 에 대한 2차 모멘트를 Bottom, Side, Deck Structure 별로 나누어 계산을 하겠다.



2.1. 단면적 계산

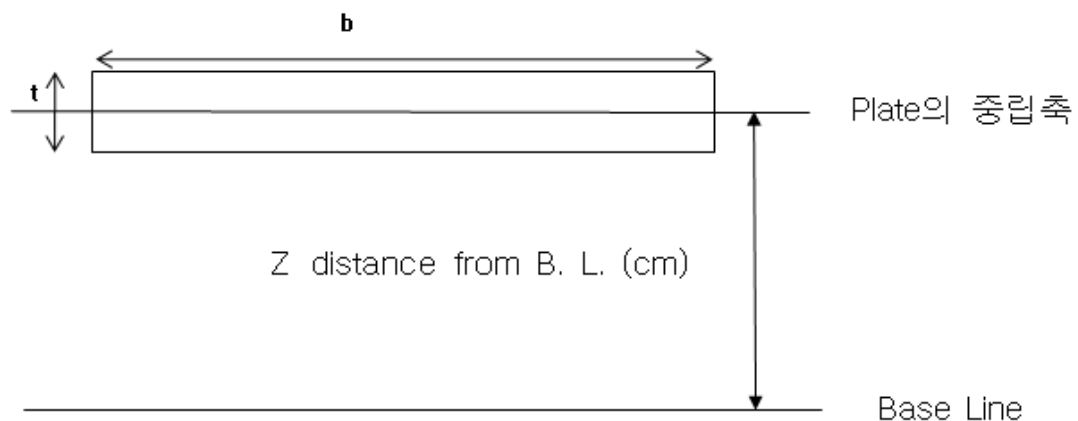
폭 방향의 배치된 Plate 와 side girder 의 단면적 경우 너비와 두께의 곱으로 구할 수 있다. 깊이 방향으로 설치된 bottom girder 와 side plate 의 단면적 경우 깊이와 두께의 곱으로 구할 수 있다. Bilge Plate 의 경우 곡면을 이루므로 원의 넓이를 계산하는 공식을 이용하였다.

분류	단면적
KP, BP1, BP2, BP3	너비와 두께의 곱
IBP1, IBP2, IBP3, IBP4	
Side girder	
Bottom girder	깊이와 두께의 곱
SP1, SP2, SP3, SP4, SP5	
LHP1, LBH1, LBH2, LBH3, LBH4, LBH5	
BP4	<p>1/4 원의 넓이 계산 (R:만곡부 반지름(cm), t:만곡부두께(cm))</p> $\frac{\pi}{4}(R_2^2 - R_1^1) = \frac{\pi}{4}\left(\left(R + \frac{t}{2}\right)^2 - \left(R - \frac{t}{2}\right)^2\right)$ $= \frac{\pi}{4} \times 2Rt = \frac{\pi Rt}{2}$

2.2. 1차 모멘트 계산

1차 모멘트의 경우 직사각형의 단면적을 가지는 plate 과 girder 의 중립축에 관한 1차 모멘트를 구한 후 bare line 에 대하여 평행축 이동 정리를 통하여 1차 모멘트를 계산하였다.

폭 방향 부재(or plate)는 다음과 같이 1차 모멘트(M)를 계산하였다.

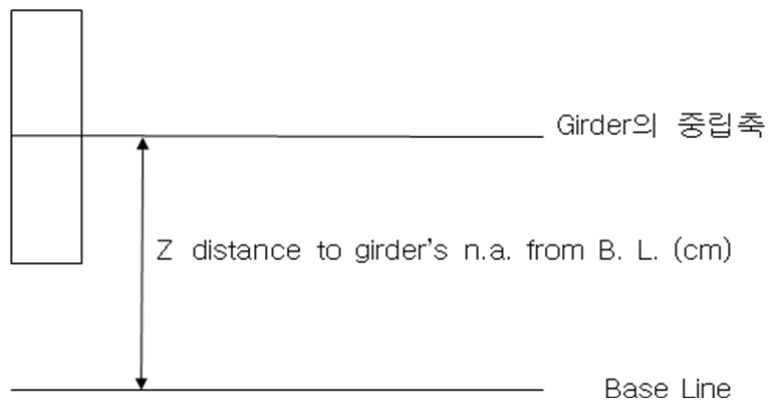


$$M_z = M_{n.a.} + A \times z \quad (n.a.: \text{plate의 중립축}, A: \text{plate의 단면적})$$

$$M_{n.a.} = 0 \text{이므로,}$$

$$M_z = A \times z$$

깊이 방향 부재(or plate)은 다음과 같이 1차 모멘트(M) 계산하였다.

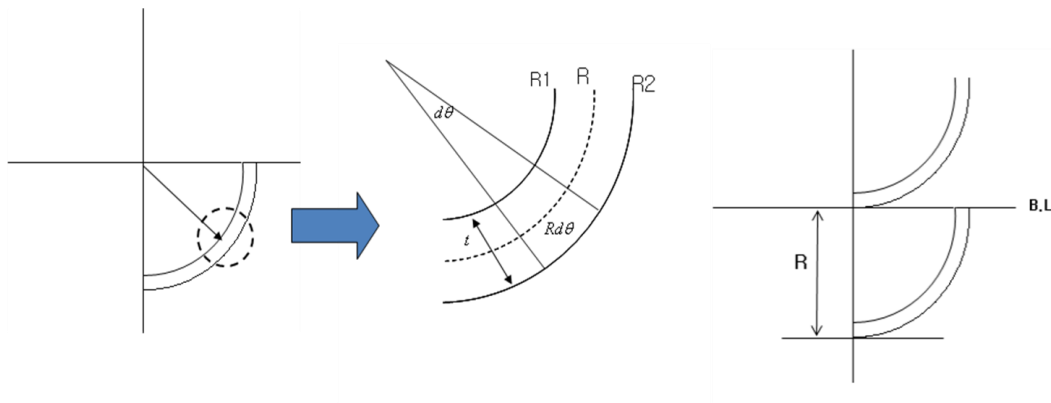


$$M_z = M_{n.a.} + A \times z \quad (n.a.: \text{girder의 중립축}, A: \text{girder의 단면적})$$

$$M_{n.a.} = 0 \text{이므로,}$$

$$M_z = A \times z$$

Bilge Plate의 경우 곡판이므로 다음과 같은 식에 의해 계산하였다.



위의 그림에서 1차 모멘트:

$$\int y dA = \int_{-\frac{\pi}{2}}^0 y R t d\theta \quad (y = R \sin \theta)$$

$$\int_{-\frac{\pi}{2}}^0 R \sin \theta R t d\theta = R^2 t \int_{-\frac{\pi}{2}}^0 \sin \theta d\theta = [-\cos \theta]_{-\frac{\pi}{2}}^0$$
$$= -R^2 t$$

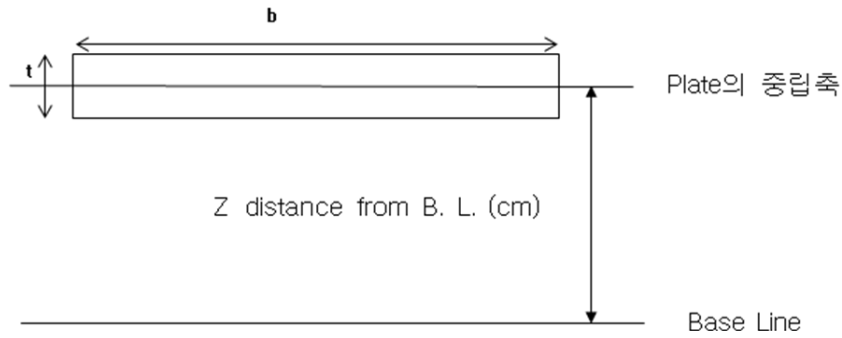
평행축 이동 정리에 의해,

$$M_z = -R^2 t + RA$$

2.3. 2차 모멘트 계산

2차 모멘트의 경우 직사각형의 단면적을 가지는 plate 과 girder 의 중립축에 관한 2차 모멘트를 구한 후 bare line 에 대하여 평행축 이동 정리를 통하여 2차 모멘트를 계산하였다.

폭 방향 부재(or plate)는 다음과 같이 2차 모멘트(I)를 계산하였다.

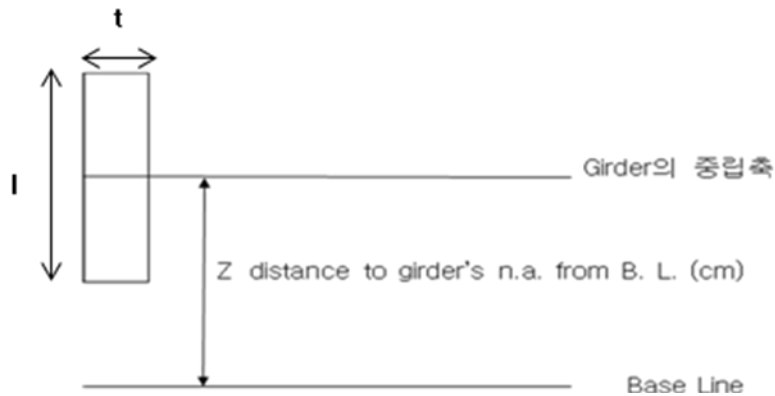


$$I_z = I_{n.a.} + A \times z^2 \quad (n.a.: \text{plate의 중립축}, A: \text{plate의 단면적})$$

$$I_{n.a.} = \frac{1}{12}bt^3 \text{이므로,}$$

$$I_z = A \times z^2$$

깊이 방향 부재(or plate)는 다음과 같이 2차 모멘트(I) 계산하였다.

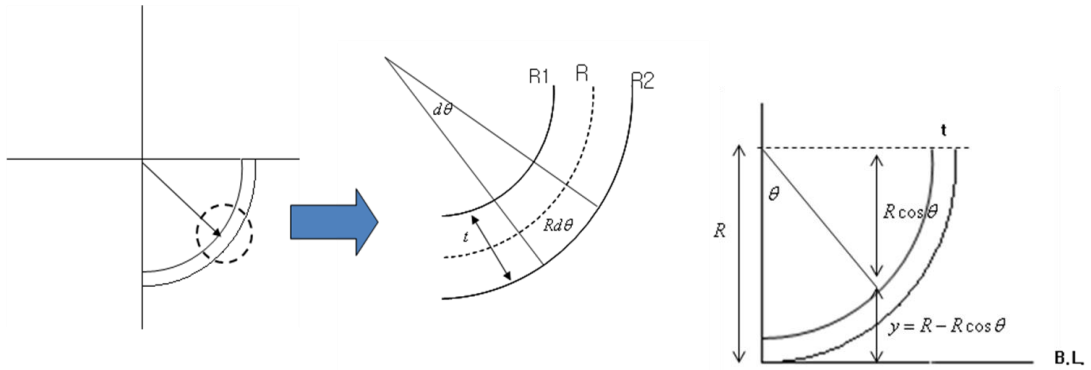


$$I_z = I_{n.a.} + A \times z^2 \quad (n.a.: \text{girder의 중립축}, A: \text{girder의 단면적})$$

$$I_{n.a.} = \frac{1}{12}tl^3 \text{이므로,}$$

$$I_z = I_{n.a.} + A \times z^2$$

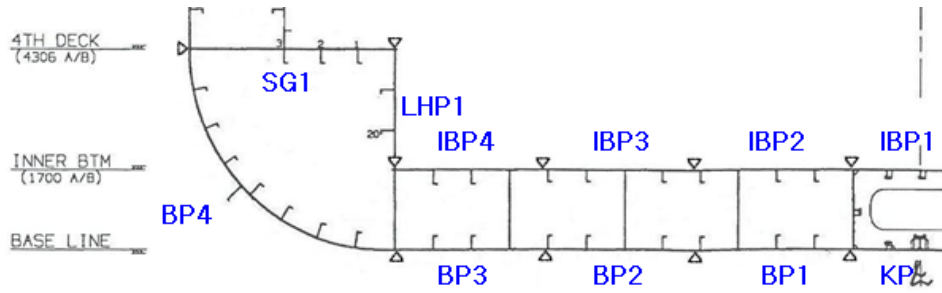
Bilge Plate 의 경우 곡판이므로 다음과 같은 식에 의해 계산하였다.



위의 그림에서 2차 모멘트:

$$\begin{aligned}
 I_z &= \int y^2 dA = \int_{-\frac{\pi}{2}}^0 y R t d\theta \quad (y = R(1 - \cos \theta), \quad dA = R t d\theta, \quad 0 < \theta < \frac{\pi}{2}) \\
 &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} R^2 (1 - \cos \theta)^2 R t d\theta = R^3 t \int_0^{\frac{\pi}{2}} (1 - 2 \cos \theta + \cos^2 \theta) d\theta \\
 &= R^3 t \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left(1 - 2 \cos \theta + \frac{1 + \cos 2\theta}{2} \right) d\theta = R^3 t \left[\frac{3}{2} \theta - 2 \sin \theta + \frac{1}{4} \sin 2\theta \right]_0^{\frac{\pi}{2}} \\
 &= R^3 t \left(\frac{3}{4} \pi - 2 \right)
 \end{aligned}$$

2.4. Bottom Structure



Bottom plate, Bilge Plate, Inner bottom plate, Bottom girder 의 단면적과 B.L.에 대한 1차 모멘트 및 2차 모멘트를 다음 표로 정리하였다. Bottom plate 는 B.L.에 가까우므로 1차 모멘트와 2차 모멘트가 매우 작아 0으로 가정하였다.(여기에서 plate thickness 는 앞서 구한 값이 아니라 I 를 위해 변경한 값이다)

		Bottom Structure				
		나비(cm)	두께(cm)	단면적(cm ²)	1차모멘트(cm ³) from B.L.	2차모멘트 (cm ⁴) from B.L.
PLATE	KP	155.7	1.95	303.615	0.00	1250.704041
	BP1	340	1.90	527	0.00	2526.398333
	BP2	333	1.90	516.15	0.00	2474.38425
	BP3	321.2	1.90	497.86	0.00	2386.703367
	BP4	699.5541441	1.70	1189.242045	192456.69	53486045.4
	IP1	155.7	0	210.195	35733.15	6074667.42
	IP2	340	0	459	78030.00	13265169.71
	IP3	333	0	449.55	76423.50	12992063.28
	IP4	333.7	0	450.495	76584.15	13019373.92
		길이(cm)	두께(cm)	단면적(cm ²)	1차모멘트(cm ³)	76584.15
GIRDER	L0	170	1.05	178.5	15172.50	1719550.00
	L2	170	1.3	221	18785.00	2128966.67
	L5	170	1.2	204	17340.00	1965200.00
	L8	170	1.2	204	17340.00	1965200.00
	L11	170	1.55	263.5	22397.50	2538383.33
	L14	170	1.2	204	17340.00	1965200.00

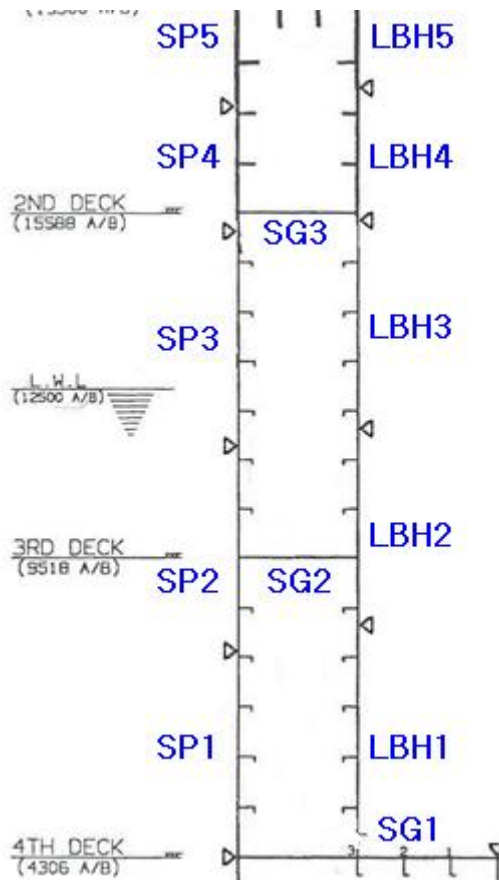
Longi 의 경우 플렌지(f), 플렌지 두께(t_1), 웹(w), 웹 두께(t_2) 를 이용하여 단면적을 구하였다. 그 후 Longi 의 제일 아래쪽에서부터 면적에 1차 모멘트를 계산하여 부재의 끝단에서 중립축의 거리를 구하였다. 그 후 부재의 중립축에 대한 2차 모멘트를 구하였고 부재의 중립축과 B.L. 의 거리를 이용하여 평행축 정리를 이용하였다. Bottom longi 는 B.L.에 가까우므로 2차 모멘트가 매우 작아 0 으로 가정하였다.(여기에서 longi 규격은 앞서 구한 값이 아니라 I 를 위해 변경한 값이다)

		Web (cm)	t1(cm)	flange(c m)	t2(cm)	단면적 (cm ²)	z(cm)	1차모멘트 (cm ³)	2차모멘트 (cm ⁴)
BOTTOM LONGI	L1	30	1.3	9	1.7	54.3	0.00	0.00	5689.36
	L3	30	1.3	9	1.7	54.3	0.00	0.00	5689.36
	L4	30	1.3	9	1.7	54.3	0.00	0.00	5689.36
	L6	30	1.3	9	1.7	54.3	0.00	0.00	5689.36
	L7	30	1.3	9	1.7	54.3	0.00	0.00	5689.36
	L9	30	1.3	9	1.7	54.3	0.00	0.00	5689.36
	L10	30	1.3	9	1.7	54.3	0.00	0.00	5689.36
	L12	30	1.3	9	1.7	54.3	0.00	0.00	5689.36
BILGE LONGI	L13	30	1.3	9	1.7	54.3	0.00	0.00	5689.36
	L15	30	1.3	9	1.7	54.3	8.56	464.66	7573.14
	L16	30	1.3	9	1.7	54.3	33.90	1840.78	65999.94
	L17	30	1.3	9	1.7	54.3	75.06	4075.49	309482.62
	L18	30	1.3	9	1.7	54.3	130.44	7082.89	927489.27
	L19	30	1.3	9	1.7	54.3	197.93	10747.43	2130800.33
INNER BOTTOM LONGI	L20	30	1.3	9	1.7	54.3	274.92	14928.26	4107703.28
	L21	30	1.3	9	1.7	54.3	358.47	19464.73	6981051.87
	L1'	30	1.1	9	1.6	44.4	170.00	6801.48	1052906.69
	L3'	30	1.1	9	1.6	44.4	170.00	6609.48	987626.69
	L4'	30	1.1	9	1.6	44.4	170.00	6609.48	987626.69
	L6'	30	1.1	9	1.6	44.4	170.00	6609.48	987626.69
	L7'	30	1.1	9	1.6	44.4	170.00	6609.48	987626.69
	L9'	30	1.1	9	1.6	44.4	170.00	6609.48	987626.69
	L10'	30	1.1	9	1.6	44.4	170.00	6609.48	987626.69
L12'	30	1.1	9	1.6	44.4	170.00	6609.48	987626.69	
L13'	30	1.1	9	1.6	44.4	170.00	6609.48	987626.69	

따라서 Botom Structure 에 계산된 결과는 다음과 같다.

Bottom Structure			
	단면적(cm ²)	1차모멘트 from B.L. (cm ³)	2차모멘트 차모멘트 from B.L. (cm ⁴)
Total	7494.48	685884.05	134663682.75

2.5. Side Structure



Side plate, Bulkhead Plate, Side girder(or deck plate)의 단면적과 B.L.에 대한 1차 모멘트 및 2차 모멘트를 다음 표로 정리하였다. (여기에서 plate thickness 는 앞서 구한 값이 아니라 I 를 위해 변경한 값이다)

		SIDE STRUCTURE					
		길이 (cm)	두께 (cm)	단면적 (cm ²)	z (cm)	1차모멘트 (cm ³)	2차모멘트
SIDE PLATE	SP1	362.80	1.70	616.76	440.60	383624.72	245379602.47
	SP2	363.80	1.70	618.46	803.40	609368.64	607232040.11
	SP3	363.80	1.70	618.46	1167.20	834364.39	1132462114.25
	SP4	214.00	2.00	428.00	1531.00	701064.00	1149976222.67
	SP5	185.00	6.00	1110.00	1745.00	2039625.00	3750976750.00
	LHP1	270.60	1.70	460.02	170.00	140444.11	45684641.40
	LBH1	395.70	1.55	613.34	440.60	391583.73	258009555.24
	LBH2	360.00	1.30	468.00	836.30	475628.40	488435542.92
	LBH3	360.00	1.10	396.00	1196.30	545014.80	754380669.24
	LBH4	224.00	2.00	448.00	1556.30	747398.40	1255582723.48
	LBH5	149.70	6.00	898.20	1780.30	1666295.73	3092905918.75
		나비 (cm)	두께 (cm)	단면적 (cm ²)	z (cm)	1차모멘트 (cm ³)	2차모멘트
GIRDER	22	452.60	1.15	520.49	430.60	224122.99	96507418.58
	28	208.00	1.15	239.20	951.80	227670.56	216696865.37
	35	208.00	1.20	249.60	1558.80	389076.48	606492446.98

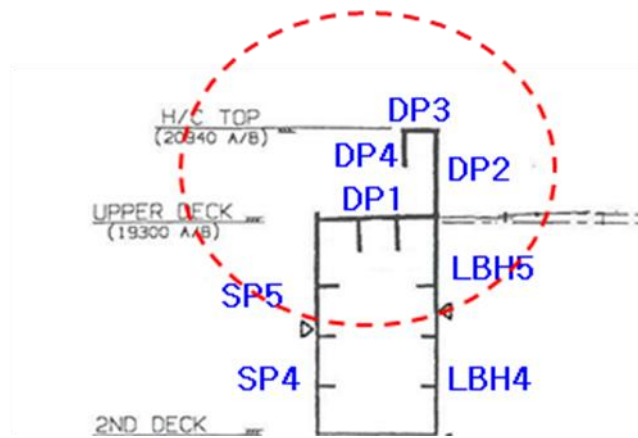
Side longi 의 경우 Bottom longi 와 똑 같은 방법으로 계산하였다. Side longi 의 1차 모멘트는 면적과 z(from B.L)의 곱을 이용하여 구하였다. 2차 모멘트는 부재의 중립축에 대한 2차 모멘트와 면적과 거리의 제곱의 합(평행축 정리)를 이용하여 구하였다. (여기에서 longi 규격은 앞서 구한 값이 아니라 I를 위해 변경한 값이다)

		Web (cm)	t1(cm)	flange(c m)	t2(cm)	단면적 (cm ²)	z(cm)	1차모멘트 (cm ³)	2차모멘트 (cm ⁴)
SIDE LONGI	L22	30.00	1.10	9.00	1.60	47.40		24515.28	12679704.93
	L23	25.00	1.20	9.00	1.60	44.40		26826.48	16208962.42
	L24	25.00	1.00	9.00	1.50	38.50		26611.20	18394034.27
	L25	25.00	1.00	9.00	1.50	38.50		29945.30	23291827.17
	L26	25.00	1.00	9.00	1.50	38.50		33294.80	28793715.87
	L28	25.00	1.00	9.00	1.50	38.50		39978.40	41513943.39
	L29	20.00	0.90	9.00	1.40	30.60		34437.24	38756014.96
	L30	20.00	0.90	9.00	1.40	30.60		37099.44	44979706.12
	L31	20.00	0.90	9.00	1.40	30.60		39749.40	51634815.66
	L32	20.00	0.90	9.00	1.40	30.60		42411.60	58782822.66
	L33	20.00	0.90	9.00	1.40	30.60		45073.80	66394052.46
	L35	32.00	3.50	0.00	0.00	112.00		184329.60	303370113.01
	L36	32.00	3.50	0.00	0.00	112.00		194073.60	336291191.41
	L37	50.00	5.00	0.00	0.00	250.00		454950.00	827920093.33
BULKHEAD LONGI	L20	30.00	1.10	9.00	1.60	47.40		12162.84	3121386.85
	L21	30.00	1.10	9.00	1.60	47.40		16286.64	5596491.61
	L23	25.00	1.00	9.00	1.50	38.50		20297.20	10701056.67
	L24	25.00	1.00	9.00	1.50	38.50		23646.70	14524175.97
	L25	25.00	1.00	9.00	1.50	38.50		26996.20	18930108.27
	L26	25.00	1.00	9.00	1.50	38.50		30345.70	23918853.57
	L27	25.00	1.00	9.00	1.50	38.50		33695.20	29490411.87
	L29	25.00	1.00	9.00	1.50	38.50		40378.80	42349658.27
	L30	25.00	1.00	9.00	1.50	38.50		43728.30	49666975.97
	L31	20.00	0.90	9.00	1.40	30.60		37417.68	45754684.16
	L32	20.00	0.90	9.00	1.40	30.60		40067.64	52464912.88
	L33	20.00	0.90	9.00	1.40	30.60		42729.84	59668293.64
	L34	20.00	0.90	9.00	1.40	30.60		45392.04	67334897.20
	L36	32.00	3.50	-	-	112.00		187286.40	313180432.41
L37	32.00	3.50	-	-	112.00		197030.40	346615994.01	
L38	50.00	5.00	-	-	250.00		463800.00	860442280.83	

Side Structure

	단면적(cm ²)	1차모멘트 from B.L. (cm ³)	2차모멘트 차모멘트 from B.L. (cm ⁴)
Total	13248.53	19218785.41	32196380684.46

2.6. Deck Structure



Deck Structure 의 Plate 와 Girder 의 1 차 모멘트와 2 차 모멘트를 Bottom 과 Side 에서와 똑같이 계산하였다.

DECK STRUCTURE							
		나비 (cm)	두께 (cm)	z (cm)	단면적 (cm ²)	1차 모멘트 (cm ³)	2차 모멘트 (cm ⁴)
PLATE	DP1	208.00	6.50	1930.00	1352.00	2609360.00	5036069560.17
	DP3	60.00	6.50	2094.00	390.00	816660.00	1710087413.13
		길이 (cm)	두께 (cm)	z (cm)	단면적 (cm ²)	1차 모멘트 (cm ³)	2차 모멘트 (cm ⁴)
	DP2	164.00	6.50	1930.00	1066.00	2144792.00	4317710765.33
	DP4	65.00	6.50	2034.00	422.50	845633.75	1804402155.83

		web (cm)	t1 (cm)	단면적 (cm ²)	z (cm)	1차 모멘트 (cm ³)	2차 모멘트 (cm ⁴)
GIRDER	250.00	50.00	5.00	250.00	1930.00	476250.00	907308333.33
	250.00	50.00	5.00	250.00	1930.00	476250.00	907308333.33

Deck Structure			
	단면적 (cm ²)	1차모멘트 from B.L. (cm ³)	2차모멘트 차모멘트 from B.L. (cm ⁴)
Total	3730.50	7368945.75	14682886561.13

2.7. Total 1차, 2차 모멘트

Bottom structure, Side structure, Deck structure 의 B.L.에 대한 1차 모멘트와 2차 모멘트는 다음과 같다.

TOTAL		
단면적(cm ²)	1차모멘트 from B.L. (cm ³)	2차모멘트 차모멘트 from B.L. (cm ⁴)
20743.00	19904669.46	32331044367

3. Buckling Strength 검토 - Buckling control 에 관한 rule, B201

<Buckling Strength 검토 방법>

1. 설계선의 탄성 좌굴 응력 계산
2. 각 판 부재에 대하여 임계 좌굴 응력 계산
3. Plating에 실제 작용하는 응력이 임계 좌굴 응력보다 작아야 한다.
4. 부재의 치수 변경, 중앙단면의 형상 변화
5. 새로운 중앙단면에 대한 moment of inertia N/A 구한다.
6. 다시 조건 검토

DNV Rule, B 201 조항에는 선박의 Plate 에서 Buckling stress 는 plating 은 다음과 같은 응력한도를 견딜 수 있도록 규정하고 있다.

$$\sigma_{el} < \frac{\sigma_f}{2} \text{ 일 때 } \sigma_c = \sigma_{el}$$

$$\sigma_{el} > \frac{\sigma_f}{2} \text{ 일 때 } \sigma_c = \sigma_f \left(1 - \frac{\sigma_f}{4\sigma_{el}}\right)$$

여기서,

σ_c = critical buckling stress

σ_f = minimum yield stress f

$$= 235 N / mm^2 \text{ (mild steel 경우)}$$

$$= 315 N / mm^2 \text{ (AH, DH, EH steel 의 경우)}$$

$$= 355 N / mm^2 \text{ (AH36, DH36, EH36 steel 의 경우)}$$

σ_{el} = elastic buckling stress

$$= 0.9kE \left(\frac{t-t_k}{1000s}\right)^2 \quad (N / mm^2)$$

$$E = 2.06 \times 10^5 \quad (N / mm^2)$$

s = 판 측면 길이의 짧은 부분 (m)

$$k = \frac{8.4}{\varphi+1.1}$$

여기서 ψ 는 Buckling stress correction factor 로 plating 에 작용하는
 응력분포를 선형으로 가정했을 때 가장 큰 값과 가장 작은 값 사이의 비를 뜻한다
 그러므로 Bottom Structure 및 Deck Structure 즉 가로 부재의 경우 ψ 값은 1 을
 사용하였고, Side Plate 와 bilge Plate 와 같은 세로 부재는 ψ 값으로 0.97 을
 사용하였다.

위의 식을 이용하여 계산한 결과는 다음과 같다.

부재 명칭	t(mm)	t_k (mm)	Steel Grade	s(m)	ψ	k	$\sigma_{ei}(N / mm^2)$	$\sigma_r(N / mm^2)$	$\sigma_c(N / mm^2)$	
Bottom Plate	KP	19.5	1	AH	0.741	1	4	462.2498	315	261.3358
	BP1	19	1	AH	0.841	1	4	339.7213	315	241.9806
	BP2	19	1	AH	0.841	1	4	339.7213	315	241.9806
	BP3	19	1	AH	0.841	1	4	339.7213	315	241.9806
	BP4	17	1	AH	0.876	0.97	4.057	250.9865	315	216.165
	BP5	17	1	AH	0.876	0.97	4.057	250.9865	315	216.165
Inner Bottom Plate	IBP1	13.5	1	AH	0.741	1	4	211.0344	315	197.454
	IBP2	13.5	1	AH	0.841	1	4	163.8316	315	163.5869
	IBP3	13.5	1	AH	0.841	1	4	163.8316	315	163.5869
	IBP4	13.5	1	AH	0.841	1	4	163.8316	315	163.5869
Side Plate	SP1	17	1.5	mild steel	0.866	0.97	4.057	241.0162	235	177.7165
	SP2	17	1.5	mild steel	0.866	0.97	4.057	241.0162	235	177.7165
	SP3	17	1.5	mild steel	0.866	0.97	4.057	241.0162	235	177.7165
	SP4	20	1.5	mild steel	0.866	0.97	4.057	343.3415	235	194.7886
	SP5	60	2	EH	0.87	0.97	4.057	3343.768	315	307.5813
Bulkhead	LHP1	17	1.5	AH	0.815	0.97	4.057	272.124	315	223.8421
	LBH1	15.5	1.5	mild steel	0.866	0.97	4.057	196.6251	235	164.7839
	LBH2	13	1.5	mild steel	0.866	0.97	4.057	132.6718	235	130.9368
	LBH3	11	1.5	mild steel	0.866	0.97	4.057	90.53783	235	90.53783
	LBH4	20	1.5	mild steel	0.866	0.97	4.057	343.3415	235	194.7886
	LBH5	60	2	EH	0.87	0.97	4.057	3343.768	315	307.5813
Deck Plate	DP1	65	1	EH	0.69	1	4	6380.159	315	311.112
	DP2	65	1	EH36	1.49	1	4	1368.224	355	331.9729
	DP3	65	1	EH36	0.65	1	4	7189.571	355	350.6178
	DP4	65	1	EH36	0.6	1	4	8437.76	355	351.266

각 Plate 는 다음의 조건을 만족해야 한다.

$$\sigma_c \geq \frac{\sigma_a}{\eta}$$

여기서,

$$\sigma_a = \sigma_{al} = \frac{M_s + M_w}{I_N} (z_n - z_a) \times 10^5 \quad (N / mm^2)$$

단, σ_a 는 다음의 최소값보다는 커야 한다. 이보다 작을 경우 다음의 최소값을 사용한다.

$$\sigma_a(\text{최소}) = 30f_1 \quad (N / mm^2)$$

f_1 의 경우 material factor 로 다음의 값을 사용한다.

$$\begin{aligned} f_1 &= \text{mild steel의 경우 } 1 \\ &= AH, DH, EH \text{의 경우 } 1.28 \\ &= AH36, DH36, EH36 \text{의 경우 } 1.39 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta &= 1.0 \text{ (deck, single bottom, longitudinally stiffened side plating)} \\ &= 0.9 \text{ (bottom, inner bottom, transversely stiffened side plating)} \\ &= 1.0 \text{ (local plate panels where an extreme load level is applied)} \\ &= 0.9 \text{ (local plate panels where an normal load level is applied)} \end{aligned}$$

그러므로 우리 선박의 경우 inner bottom 과 outer bottom 의 경우 1 을 사용하고, 나머지 plate 부분은 0.9 를 사용한다.

z_n 은 Baseline 또는 Deckline 으로부터 N.A 까지 이르는 거리 (m)로 N.A 밑에 부재중심이 위치하면 Baseline 으로부터의 거리, 위에 위치하면 Deckline 으로부터의 거리를 사용한다.

$$\begin{aligned} z_n &= 9.6921m \quad (\text{inner bottom, outer bottom, side plate(SP1),} \\ &\quad \text{BulkHead(LHP1, LBH1, LBH2)}) \\ &= 11.2480m \quad (\text{side plate(나머지), BulkHead(나머지), Deck plate)} \end{aligned}$$

I_N 은 Moment of Inertia 로 설계선의 경우 다음과 같다.

$$I_N = 31674770865 (cm^4)$$

M_s 와 M_w 는 정수중과 파중의 최대 굽힘 모멘트로 설계선의 모멘트는 다음과 같다.

$$M_s + M_w = 5529925.508 \text{ kNm}$$

부재 명칭		Steel Grade	z_n (cm)	η	σ_a	σ_a (min)	σ_a	$\frac{\sigma_a}{\eta}$	σ_c
Bottom Plate	KP	AH	0	0.9	162.616317	38.4	162.6163	180.6848	261.3358
	BP1	AH	0	0.9	162.616317	38.4	162.6163	180.6848	241.9806
	BP2	AH	0	0.9	162.616317	38.4	162.6163	180.6848	241.9806
	BP3	AH	0	0.9	162.616317	38.4	162.6163	180.6848	241.9806
	BP4	AH	0.66	0.9	162.50447	38.4	162.5045	180.5605	216.165
	BP5	AH	2.81	0.9	162.14012	38.4	162.1401	180.1557	216.165
Inner Bottom Plate	IBP1	AH	170	0.9	133.807218	38.4	133.8072	148.6747	197.454
	IBP2	AH	170	0.9	133.807218	38.4	133.8072	148.6747	163.5869
	IBP3	AH	170	0.9	133.807218	38.4	133.8072	148.6747	163.5869
	IBP4	AH	170	0.9	133.807218	38.4	133.8072	148.6747	163.5869
Side Plate	SP1	mild steel	440.6	1	87.94991	30	87.94991	87.94991	177.7165
	SP2	mild steel	803.4	1	56.0955872	30	56.09559	56.09559	177.7165
	SP3	mild steel	1167.2	1	-5.5558856	30	30	30	177.7165
	SP4	mild steel	1531	1	-67.207358	30	30	30	194.7886
	SP5	EH	1745	1	-103.47293	38.4	38.4	38.4	307.5813
Bulkhead	LHP1	AH	170	1	133.807218	38.4	133.8072	133.8072	223.8421
	LBH1	mild steel	440.6	1	87.94991	30	87.94991	87.94991	164.7839
	LBH2	mild steel	836.3	1	50.5201791	30	50.52018	50.52018	130.9368
	LBH3	mild steel	1196.3	1	-10.487326	30	30	30	90.53783
	LBH4	mild steel	1556.3	1	-71.49483	30	30	30	194.7886
	LBH5	EH	1780.3	1	-109.45506	38.4	38.4	38.4	307.5813
Deck Plate	DP1	EH	1930	1	-134.82401	38.4	38.4	38.4	311.112
	DP2	EH36	1930	1	-134.82401	41.7	41.7	41.7	331.9729
	DP3	EH36	2094	1	-162.61632	41.7	41.7	41.7	350.6178
	DP4	EH36	2034	1	-152.4484	41.7	41.7	41.7	351.266

위의 표를 보면 모든 plate가 $\sigma_c \geq \frac{\sigma_a}{\eta}$ 를 만족함을 알 수 있다.

4. Rule Scantling 재검토

Scantling 결과는 다음과 같다.

총 면적 (cm^2)	base line에 대한 1차 모멘트(cm^3)	base line에 대한 2차 모멘트(cm^4)	Hatch cover top까지 높이 (cm)
20743.00205	19904669.46	32331044367	20940

Midship 의 부재를 모두 배치하였으므로 최종적으로 응력을 만족하는지를 검토한다. 먼저 전체 중립축을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{midship 전체 중립축} &= \frac{\text{전체 1차 모멘트}}{\text{총 면적}} \\ &= \frac{19904669 \text{ cm}^3}{20743 \text{ cm}^2} = 959.6 \text{ (cm)} \end{aligned}$$

이를 이용하여 2차 모멘트를 구하면 다음과 같다

$$\begin{aligned} \text{중립축에 대한 2차 모멘트} &= I_{B.L.} - A_{total} \times \text{distance B.L. to N.A} \\ &= 32331044367 - 20743 \times 960^2 \\ &= 13230826109 \text{ (cm}^4\text{)} \end{aligned}$$

중립축에 대한 2차 모멘트를 구하였으므로 다음으로 Bottom 과 Deck 에 관한 2차 모멘트를 구한다

$$Z_{bottom} = \frac{I_{\text{중립축}}}{Y_{bottom}} = 2 \times \frac{13230826109}{960} = 27576148 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$Z_{Deck} = \frac{I_{\text{중립축}}}{Y_{Deck}} = 2 \times \frac{13230826109}{2094 - 960} = 23326249.7 \text{ (cm}^3\text{)}$$

마지막으로 응력을 비교하여 rule 을 만족하는지를 확인하여야 하는데 먼저 rule 의 응력 요구량은 다음과 같다. 단, bottom plate 의 경우 부재로 AH steel 을 사용하였으므로 f_1 로 1.28 을 사용하였고, Deck plate 는 부재로 EH36 steel 을 사용하였으므로 f_1 으로 1.39 를 사용한다.

$$\sigma_{bottom(req)} = 175 \times f_1 = 175 \times 1.28 = 224 \text{ (N / mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_{bottom(req)} = 175 \times f_1 = 175 \times 1.39 = 243.25 \text{ (N / mm}^2\text{)}$$

설계선에 대한 Bottom 과 Deck 의 응력을 계산하면 다음과 같다.

$$\sigma_{deck} = \frac{(M_S + M_W)_{\max}}{Z_{deck}} = \frac{5478990}{23326250} \times 1000 = 234.885 \text{ (kN / mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_{bottom} = \frac{(M_S + M_W)_{\max}}{Z_{bottom}} = \frac{5478990}{27576148} \times 1000 = 198.686 \text{ (kN / mm}^2\text{)}$$

	$\sigma_{bottom} (kN / mm^3)$	$\sigma_{Deck} (kN / mm^3)$
요구 값	224	243.25
계산 값	198.686	234.885

위의 표를 보면 양쪽 모두 rule 을 만족함을 알 수 있다.

D Discussion

<p>엄희동</p>	<p>한 학기 동안 많은 우여 곡절 끝에 보고서를 완성했다. 처음에는 막막함에 무엇부터 시작해야 하는지, 하나하나 결정하는 단계에서 이것이 합리적이고 논리적인지, 그리고 결과가 과연 타당한지에 대하여 조원들이 많은 고민을 하였다. 다행히 조교의 충고와 교수님의 강의로 프로젝트 진행에 많은 도움을 받을 수 있었다.</p> <p>마지막 보고서를 제출하면서 이제는 조금 선박에 대하여 알고 있고 누군가에게 선박에 대해 설명을 할 수 있을 것 같아 자부심을 느낀다. 비록 알고 있는 수준이 그렇게 높지 않지만 적어도 기초가 되어 훗날 선박을 직접 설계하는 날 큰 빛을 발하리라 생각된다.</p> <p>아울러 함께 고생한 조원들에게 고맙고 정말 매 모임마다 전원 참석해 준 것에 고마움을 느낀다.</p> <p>선박 설계 과목을 통해 배운 것을 정말 소중하게 생각하고 항상 배우려는 자세로 앞으로 더 발전할 수 있도록 노력할 것이다.</p>
<p>곽경래</p>	<p>rule scantling 작성을 마지막으로 드디어 창의적 선박설계가 끝났다. 함께 고생한 조원들에게 고맙다는 말을 하고 싶다. 그리고 우리를 위해서 수고한 조교님과 열정적인 교수님께 감사하다.</p> <p>창의적 선박 설계는 단순히 선박을 설계하는 과목이 아니다. 조선해양공학과 학도로 그 동안 배운 내용을 종합하는 과목이다. 그래서 그 동안 졸업하기 전에 그 동안 배운 내용을 정리할 수 있는 것이다. 앞으로 조선소에 취직할 생각인데, 이 과목을 통해서 조선소에서 일하는데 필요한 덕목을 많이 배운 것 같다.</p>
<p>박범진</p>	<p>드디어 설계 마지막 보고서를 작성하였다. 그 동안 4학년 1학기 동안 진행한 모든 것을 종합하는 것이었다. 뿐만 아니라 2학년부터 전공에서 배운 내용을 정리하는 것이기도 하였다. 전에 2차 종합 보고서를 제출할 때 많이 해 놓았기 때문에 비교적 수월하게 진행할 수 있었다. 1학년 때부터 힘들다고 들었던 과목인데 확실히 소문대로 힘들었다. 그러나 마냥 힘든 것이 아니라 그 동안 배운 내용을 종합하고, 적용해 보는 유익한 것이었기에 보람 있기도 하였다. 앞으로 후배들에게 꼭 이 과목을 추천하고 싶다.</p>
<p>안승호</p>	<p>비록 학기는 끝났지만 최종 보고서를 제출한 것이 미흡하였기에 이를 보완하여 수정 보완한 최종 보고서를 제출하게 되었다. 이제 정말 마지막이라는 생각으로 비록 학기가 끝나서 나태해진 면도 있지만 최선을 다하여 보고서를 수정하였다. 지난 번 발표에서 지적 당한 부분 및 스스로 많이 부족했다고 생각한 점을 중심으로 보고서</p>

	<p>수정 작업을 행하였다. 선박계산 부분이 많이 미흡하였기에 이 부분을 중점적으로 하였다. 이해할 수 없었던 부분도 있었고 많이 어려웠지만 조원들 및 다른 친구들의 도움을 받아 과제를 무사히 마칠 수 있었다. EZ Ship 프로그램이 평소에 사용해 본 적이 없는 프로그램이라 많이 어렵긴 했지만 실제 조선소에서 사용되기도 하며 중요한 프로그램인 만큼 하나라도 더 배우기 위해 노력하였다. 이제 최종 보고서도 제출하고 학점을 받으면 이번 설계 수업이 비로소 끝나게 될 것이다. 한 학기 동안 많이 힘들었지만 내가 힘든 만큼 배운 것이 있을 것이라 생각하며 이를 생각하면 좀 더 힘들었으면 좋았을 것이라는 생각이 든다. 남은 한 학기도 성실하게 임하여 잘 마무리할 수 있었으면 좋겠다.</p>
<p>양해상</p>	<p>드디어 종강이다. 다른 사람들은 계절 학기 수강이 한창이지만, 조선해양공학과 4학년들은 그들보다 2주 더 지난 지금에서야 1학기를 마무리 할 수 있었다. 돌이켜보면 한 학기 동안 많은 것을 듣고 경험했다. 특히 선박 설계를 하면서 학부 과정 동안 배운 모든 것들을 정리하고 적용하는 과정이 매우 중요했다. 조원 모두가 전체적인 과정을 완벽히 이해하고 작업을 분담하여 진행하는 것이 무엇보다도 필요했는데, 그 부분에서 조장 엄희동군의 노고가 특히 심했다고 생각한다. 교수님께서 항상 강조하시던 ‘창의적 선박설계: 실미도 2’의 결말은, 물론 학점이 나와봐야 알겠지만, 배운 내용을 정리, 종합하고 적용해보는 것에서 의미를 찾아야 한다고 생각한다. 매우 힘들었던 만큼 보람도 큰 학기였다. 그 동안 수고해준 조원들 및 교수님, 조교님들께 감사하다는 말을 전하고 싶다.</p>
<p>이제혁</p>	<p>이번 보고서를 끝으로 창의적 선박 설계가 끝이 났다. 비록 학기는 끝이 났지만, 설계는 아직 끝을 못 보았기에 계속 진행해야만 했다.</p> <p>특히나, 창의적 선박 설계 과목은 3년 동안 배운 정역학, 동역학, 공학수학, 유체역학, 선박 저항 추진론, 선체 구조 설계 시스템, 해양 환경 정보 시스템, 선박 운항 제어론 등의 과목을 총 정리할 수 있는 계기를 마련했다는 점에서 무엇보다 보람을 느꼈고, 우리가 그 동안 한 과정이 실제 설계의 기본 설계에 해당한다는 것을 아니, 그 동안 대단한 것을 했고, 이를 하도록 이끌어주신, 교수님의 노고가 정말 크다는 것을 깨달았다. 지난 4개월간, 창의적 선박 설계를 하느라 고생한, 조원들과 조장, 교수님과 조교에게 감사하다는 말을 전하고 싶다.</p>