大 韓 造 船 學 會 論 文 集
第 37 卷 第 2 號 2000年 5月
Journal of the Society of
Naval Architects of Korea
Vol. 37, No. 2, May 2000

이중 선각 유조선과 중간 갑판 유조선의 구조설계 비교 연구

나승수*, 염재선*

Comparative Studies on the Structural Design of Double Hull Tanker and Mid-deck Tanker

by

Seung-Soo Na* and Jae-Seon Yum*

요 약

근년에 들어 미국 의회와 국제 해사 기구에서 해상 오염 방지를 위해 기존의 MARPOL73/78 규정을 대폭 강화함에 따라 이중 선각 유조선이나 중간 갑판 유조선 등 새로운 선형의 개발이 필요하게 되었다.

지금까지 대부분의 연구가 선박의 충돌 사고시 유출되는 기름량에 관심이 있었지만 본 연구에서는 이들 선형간의 구조적인 특성을 비교하여 보다 효율적인 선형을 제시하기 위해 이중 선각 유조선과 중간 갑판 유조선의 구조 설계를 수행할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

개발한 프로그램을 이용하여 화물창 배치를 고려한 이중 선각 유조선과 중간 갑판 유조선의 최적 구조 설계를 수행하여 설계 치수 및 선각 중량을 상호 비교하였으며, 최소 중량을 주는 효율적인 선형을 제시하였다.

Abstract

As U. S. Congress and I. M .O. have recently adopted more strengthened MARPOL73/78 regulations on marine pollution, it is necessary to develop a new type of tankers such as Double hull tanker(D/H Tanker) and Mid-deck tanker(M/D Tanker) and so on.

Because most of researches are concentrated on the volume of oil spill due to collision of ship, in this paper, a structural design program for D/H Tankers and

접수일자 : 2000년 1월 10일, 재접수일자 : 2000년 3월 15일
*정회원, 목포대학교 선박해양공학과

M/D Tankers is developed to suggest the effective type of tankers by comparing structural characteristics between their types.

By this program, minimum hull weight designs of D/H tankers and M/D tankers considering tank arrangement are performed and the design results are compared each other. The efficient types of hull structures for the minimum weight design between D/H tankers and M/D tankers is proposed.

1. 서 언

근년에 들어 미국 의회 및 국제 해사 기구(IMO)에서 대형 유조선의 잦은 해상 사고로 인하여 해상 오염방지법을 강화하기 위해 기존의 MARPOL73/78 관련 법규를 대폭 개정[1,2]함에 따라 향후 건조될 유조선은 이중 선각 구조나 중간 갑판 구조를 갖는 새로운 방식이 되어야 하므로 이 분야의 구조 설계 방법을 정립하는 것이 절실히 요구되고 있다.

이에 부응하여 대부분의 조선소에서는 공해 방지 유조선으로 이중 선각 유조선(Double Hull Tanker : D/H Tanker)에 대해 집중적인 연구[3~6]를 수행하고 있으며, 일본 미쓰비시 중공업(MHI)에서도 중간 갑판 유조선(Mid-deck Tanker : M/D Tanker)에 대한 집중적인 연구[7,8]를 수행 중이다. 이 외에도 일본 Hitachi사에서 개발한 늑판이 없고 측판으로만 이루어진 Uni-Girder Tanker(일명 EPOCH MARK II) 등을 연구[9,10] 중에 있다.

그렇지만 대부분의 연구가 선박의 충돌시 발생되는 각 선형간의 기름 유출량 등 기본 설계 측면만을 비교하고 있으며 구조 설계 측면에서의 비교는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다.

본 연구에서는 다양한 공해 방지 유조선 중 많이 사용되고 있는 D/H Tanker 및 M/D Tanker만을 대상으로 하여 각 선형별로 선급 규정에 의한 종강도 부재의 최소 중량 설계, 직접 해석에 의한 횡강도 부재의 최소 중량 설계 및 화물창의 구획 배치를 고려한 선체 전체의 최소 중량 설계를 수행하고 각 부분별로 구조 설계 측면에서의 선각 중량을 비교하여 선각 중량면에서 효율적인 선형을 제시하고자 한다.

설계 대상으로는 300K DWT VLCC이며 화물창 형상으로는 화물창 중앙에 종격벽이 없는 경우(TYPE I), 종격벽이 1개인 경우(TYPE II) 및 종격벽이 2개인 경우(TYPE III)를 대상으로 하였으며 선급 규정으로는 DnV 및 LR 선급을 선정하였다.

횡강도 해석 방법으로는 일반화 경사처짐법[11,12]을 이용하였으며 최적화 기법인 Hooke & Jeeves 직접탐색법[13]과 결합하여 최소 중량 설계 프로그램을 구성하였다.

2. 기초이론

2.1 일반화 경사처짐법[11,12] 적용

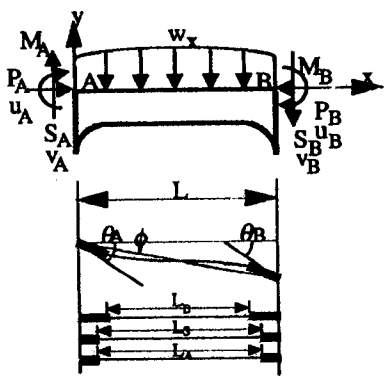

Fig. 1 Bracketed beam for GSDM(2-D)

Fig. 1에서 보는 바와 같이 브래킷이 붙은 보가 양단에서 축력, 전단력 및 굽힘 모멘트를 전달받고 부재 길이에 걸쳐 분포 하중이 작용할 때 Castigliano정리를 이용하여 양단에서의 굽힘 모멘트, 전단력 및 축력을 구하면 다음과 같이 된다.

$$M_A = \frac{EI_o}{L}\{2F_A\theta_A + G_A\theta_B - (2F_A + G_A)\phi\} - m_A$$
$$M_B = \frac{EI_o}{L}\{2F_B\theta_B + G_B\theta_A - (2F_B + G_B)\phi\} + m_B$$
$$P_A = \frac{EA}{L_A}(u_A - u_B) \quad (1)$$
$$P_B = P_A$$
$$S_A = -\frac{1}{L}(M_A + M_B) + \frac{W}{L}(L - a)$$
$$S_B = S_A - W$$

여기서, F_A, F_B, G_A, G_B는 2차원상에서 변단면 보를 표현하기 위한 상수들[11]이며, a는 분포 하중의 중심까지의 거리를 나타낸다.

2.2 Hooke and Jeeves 직접탐색법[13] 적용

a) local search

1) 출발점 $X_0 = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$에서 첫번째 설계 변수를 증분량 d_1 만큼 변화시킨다.

$P(x_1 \pm d_1, x_2, \ldots, x_n)$와 $P(x_1, x_2, \ldots, x_n)$의 세 값 중 가장 작은 값을 주는 x_{01} 점을 찾는다.

2) 같은 방법으로 (n-1)번을 수행하여 결정된 점 $\overline{X_0} = (x_{01}, x_{02}, \ldots, x_{0n-1}, x_n)$에서 마지막 설계 변수를 증분량 d_n 만큼 변화시킨다.

$P(x_{01}, x_{02}, \ldots, x_{0n-1}, x_n \pm d_n)$와 $P(x_{01}, x_{02}, \ldots x_{0n-1}, x_n)$의 세 값 중 가장 작은 x_{0n} 점을 찾는다.

3) 최종적으로 찾은 $\overline{X_0} = (x_{01}, x_{02}, \ldots, x_{0n})$ 점이 base point가 되어 pattern move 한다.

b) pattern move

base point를 중심으로 X_0에서 $\overline{X_0}$ 방향으로 투영시켜 새로운 점 X_1을 찾는다.

$$X_1 = X_0 + 2(\overline{X_0} - X_0) \quad (2)$$

3. 이중 선각 유조선(D/H Tanker)의 구조 설계

3.1 선급 규정에 의한 종강도 부재의 최소 중량 설계[3]

선급 규정에 의한 종강도 부재의 최소 중량 설계를 위해 갑판 부분을 제외한 나머지 치수를 선급 요구 최소 치수로 결정하고 종강도를 맞추기 위해 최적화 기법인 Hooke & Jeeves 직접탐색법을 적용하여 갑판 부분의 치수를 변화시켜 가며 중앙 단면적이 최소가 되도록 갑판 부분의 치수를 결정한다.

3.2 직접 해석에 의한 횡강도 부재의 최소 중량 설계[3]

직접 해석에 의한 횡강도 부재의 최소 중량 설계를 위해서는 선체 중앙부를 한 웨브 간격만큼 떼어내 프레임 구조물로 모델링한 후 일반화 경사처짐법에 의해 횡강도 해석을 수행하여 각 부재에 발생하는 응력을 계산하고 이 응력이 허용 응력 범위안에 있으면서 선각 중량이 최소가 되도록 부재 치수를 결정한다. Fig. 2는 TYPE III에 대한 모델링을 보여주고 있다.

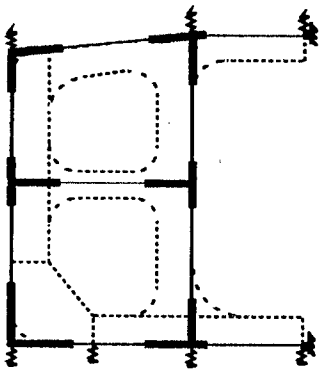

Fig. 2 Modeling(D/H Tanker)

3.3 Tank 배치를 고려한 선체 전체의 최소 중량 설계[3]

Fig. 3에서 보인 것같이 MARPOL 규정을 만족하는 배치를 이용하여 주요치수, 화물창 길이, 횡격벽 위치 및 종격벽 위치를 변화시켜 최적의 화물창 배치를 하기 위해 각 경우에 대해 최소 중량 설계를 수행한다.

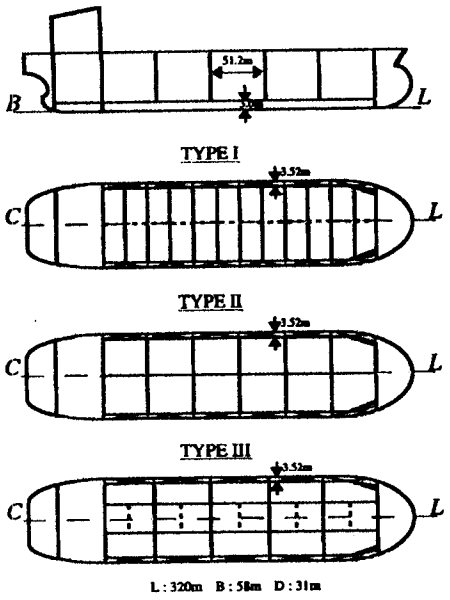

Fig. 3 Tank arrangement (D/H Tanker)

3.4 선체 전체의 중량 추정[3]

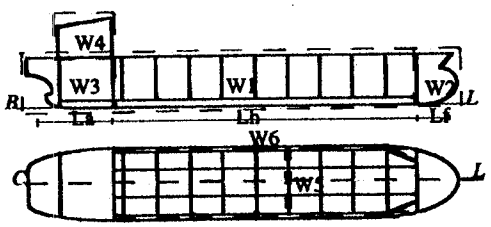

Fig. 4 Partition of ship structure for hullweight estimation

Fig. 4에서 보인 것같이 선체 전체를 화물창부, 선수 및 선미 부분으로 나누어 앞에서 구한 단위 길이당 종강도 부재의 중량(W_l)과 화물창 길이를 곱하고, center tank 및 wing tank 별로 한 web frame당 횡강도 부재의 중량(W_t)을 산출하고 각 tank 별 web 개수를 곱하여 화물창부의 종강도 및 횡강도 부재의 중량을 구한다.

또한, 횡격벽의 중량, 선수미부의 중량 및 선실 등의 중량은 다음의 중량 추정 공식을 이용하여 구하고 앞에서 구한 화물창부의 선각 중량을 합해 선체 전체의 선각 중량(W_{Total})을 구한다.

$$W_{Total} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 * N_{B1} + W_7 * N_{B2} + W_8 * N_{B3} + W_9 * N_{B4} \quad (3)$$

여기서,

$$W_1 = (W_l * L_h + W_{tc} * N_{tc} + W_{tw} * N_{tw}) * \{0.4 + 0.6(3 + C_B)/4\}$$

$$W_2 = 160 * (L_f * B * D * C_B/1000)^{0.728}$$

$$W_3 = 530 * (L_a * B * D * C_B/1000)^{0.469}$$

$$W_4 = 75 * (L_a * B * 5/1000)^{0.67}$$

$$W_5 = 15 * (L_a * B * 5/1000)$$

$$W_6 = 9 * (B * D/100)^{1.53} * (2B_1/B) * \sqrt{k}$$

$$W_7 = 9 * (B * D/100)^{1.53} * (2B_2/B) * \sqrt{k}$$

$$W_8 = 0.4 * W_6$$

$$W_9 = 0.4 * W_7$$

W_{tc} : center tank 내의 횡부재 중량

W_{tw} : wing tank 내의 횡부재 중량

N_{tc} : center tank 내의 횡부재 개수

N_{tw} : wing tank 내의 횡부재 개수

N_{B1} : center tank 내의 수밀격벽 개수

N_{B2} : wing tank 내의 수밀격벽 개수

N_{B3} : center tank 내의 비수밀격벽 개수

N_{B4} : wing tank 내의 비수밀격벽 개수

k : 재료상수

4. 중간 갑판 유조선(M/D Tanker)의 구조 설계

4.1 선급 규정에 의한 종강도 부재의 최소 중량 설계

이중 선각 유조선에서와 마찬가지로 갑판 부분을 제외한 나머지 치수를 선급 요구 최소 치수로 결정하고 종강도를 맞추기 위해 최적화 기법을 도입하여 갑판 부분의 치수를 변화시켜 가며 중앙 단면적이 최소가 되도록 갑판 부분의 치수를 결정한다.

4.2 직접 해석에 의한 횡강도 부재의 최소 중량 설계

이중 선각 유조선에서와 마찬가지로 선체 중앙부를 한 웨브 간격만큼 떼어내 프레임 구조물로 모델링한 후 일반화 경사처짐법에 의해 횡강도 해석을 수행하여 각 부재에 발생하는 응력을 계산하고 이 응력이 허용 응력 범위안에 있으면서 선각 중량이 최소가 되도록 부재 치수를 결정한다. Fig. 5는 TYPE II에 대한 모델링을 나타내고 있다.

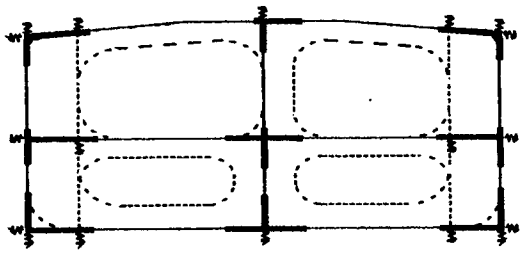

Fig. 5 Modeling(M/D Tanker)

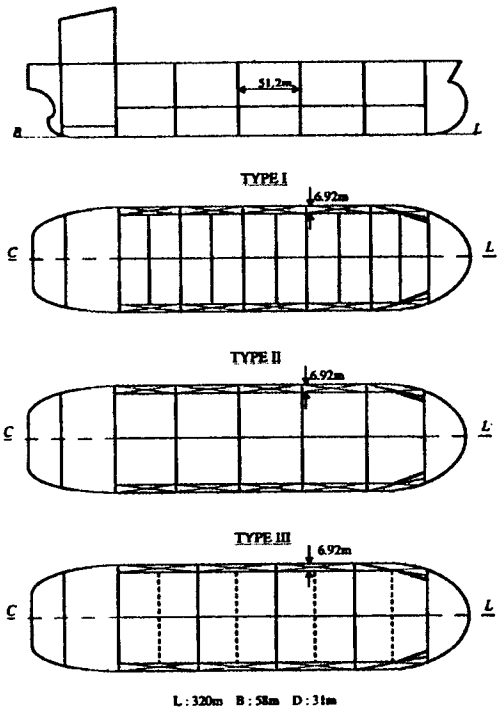

Fig. 6 Tank arrangement(M/D Tanker)

4.3 Tank 배치를 고려한 선체 전체의 최소 중량 설계

이중 선각 유조선에서와 마찬가지로 Fig. 6에서 보인 MARPOL 규정을 만족하는 배치를 이용하여 최소 중량 설계를 수행한다.

5. D/H Tanker와 M/D Tanker의 구조 설계 비교

5.1 종강도 부재의 비교

D/H Tanker와 M/D Tanker의 종강도 측면에서의 설계 치수 및 선각 중량을 비교하기 위해 각 유형에 대해 DnV 선급 및 LR 선급에 따라 최소 중량 설계를 수행하였다.

Fig. 7에서 보여 주듯이 D/H Tanker와 M/D Tanker의 종강도 부재의 치수 결정시 근본적인 차이는 중립축의 위치가 달라짐으로 종늑골의 치수 결정시 상당한 차이를 주게 되는데 M/D Tanker의 경우 선저에서 중립축까지의 거리가 D/H Tanker의 경우보다 커 선저 부분의 종늑골의 치수가 상대적으로 커지게 된다.

또한, 대부분의 철판 두께는 양 선형 모두 비슷한 치수를 주지만 D/H Tanker의 내저판의 두께는 M/D Tanker의 중간 갑판 두께보다 수두가 크므로 치수가 상대적으로 커지게 된다.

Table 1은 종강도 부재의 철판과 종늑골의 단면적을 나타낸 것으로 각 유형에 관계없이 M/D Tanker가 D/H Tanker보다 철판에 의한 단면적은 작지만 종늑골에 의한 단면적이 상대적으로 커져 전체적으로 약 5% 정도의 선각 중량이 크게됨을 알 수 있다.

또한, DnV 선급 및 LR 선급간의 종강도 부재의 단면적 차이는 별로 없는 것을 알 수 있다.

5.2 횡강도 부재의 비교

D/H Tanker와 M/D Tanker의 횡강도 측면에서의 설계 치수 및 선각 중량을 비교하기 위해 각 유형에 대해 DnV 선급 및 LR 선급을 대상으로 하여 최소 중량 설계를 수행하였다.

Fig. 8은 그 결과중 일부인 TYPE II에 대해

DnV 선급에 따라 D/H Tanker와 M/D Tanker의 횡강도 부재의 설계 치수를 보여 주고 있다.

Fig. 9에서 보여주듯이 M/D Tanker의 경우 중간 갑판이 화물창을 하부탱크와 상부탱크로 수밀 격벽으로 분리하고 있어 하부탱크 선저에서의 압력의 크기는 D/H Tanker와 같아진다. 따라서, 상하 탱크를 동시에 채우는 경우 상부탱크 내의 하중이 종격벽을 따라 선저 부분으로 전달해 내려오기 때문에 M/D Tanker의 선저 부분은 D/H Tanker 보다 하중을 더 받게 되어 응력을 크게 받게 됨을 알 수 있다.

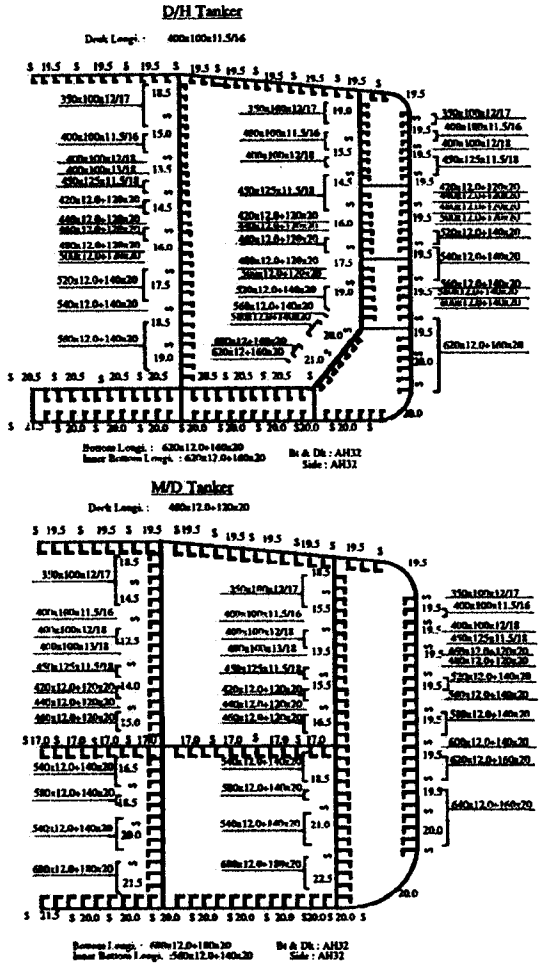

Fig. 7 Comparison of longi. member (TYPE III : DnV Base)

Table 1 Comparison of longi. area between D/H tanker and M/D tanker

		TYPE I		TYPE II		TYPE III	
		D/H	M/D	D/H	M/D	D/H	M/D
plate area (m^2)	btm.	2.518	2.082	2.206	2.082	2.284	2.082
		2.662	2.172	2.266	2.197	2.365	2.172
	side	2.147	2.589	2.878	3.351	3.386	3.865
		2.169	2.683	2.773	3.210	3.233	3.719
	deck	1.148	1.265	1.295	1.324	1.148	1.148
		1.236	1.354	1.354	1.383	1.177	1.236
longi. area (m^2)	btm.	1.038	1.007	1.075	0.635	1.021	0.635
		0.911	1.007	1.085	0.635	1.021	0.635
	side	1.046	1.487	1.202	1.720	1.383	1.996
		1.084	1.493	1.254	1.752	1.445	2.034
	deck	0.603	0.643	0.376	0.424	0.354	0.459
		0.492	0.519	0.354	0.354	0.354	0.354
Z (%)	btm.	132.0	115.0	133.0	111.4	134.3	115.9
		131.5	115.4	134.5	112.7	136.0	115.9
	deck	100.7	100.2	100.3	100.7	100.2	101.4
		100.7	100.6	100.9	100.2	100.1	100.3
total area(m^2)		8.499	9.073	9.031	9.537	9.577	10.18
		8.554	9.228	9.086	9.531	9.596	10.15

upper values : DnV base, lower values : LR base
Z : actual section modulus based on rule section modulus

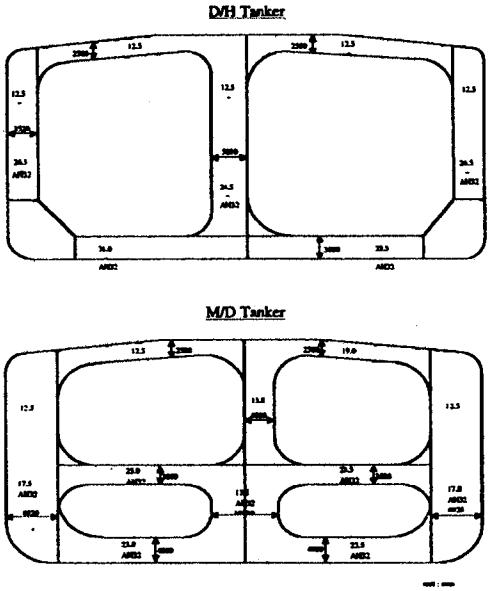

Fig. 8 Comparison of trans. member (TYPE II : DnV Base)

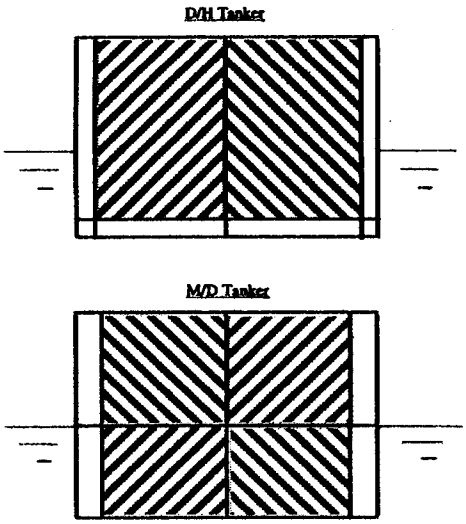

Fig. 9 Comparison of loading condition

Table 2는 D/H Tanker와 M/D Tanker의 각 유형에 대해 DnV 선급 및 LR 선급에 따라 단위 길이당 횡강도 부재의 선각 중량을 비교한 것으로 각 유형에 관계없이 M/D Tanker가 D/H Tanker보다 선각 중량이 상당히 커짐을 알 수 있다.

또한, DnV 선급 및 LR 선급간의 단위 길이당 횡강도 부재의 중량은 DnV 선급의 경우 abreast load condition을 고려한 TYPE II, III가 선각 중량이 커짐을 알 수 있다.

Table 2 Comparison of unit trans. weight between D/H Tanker and M/D Tanker

TYPE	Class	D/H	M/D
I	DnV	14.02	25.53
	LR	15.14	26.44
II	DnV	29.69	36.46
	LR	30.20	33.32
III	DnV	26.33	35.70
	LR	23.32	31.65

5.3 선체 전체의 중량 비교

D/H Tanker와 M/D Tanker의 선체 전체의 선각 중량을 비교하기 위해 각 유형별로 DnV 선급 및 LR 선급을 대상으로 하여 최소 중량 설계를 수행하였다.

Table 3 Comparison of hull weight between D/H tanker and M/D Tanker

	TYPE	Class	D/H	M/D
Longi. weight (Ton)	I	DnV	16603	18392
		LR	16657	18345
	II	DnV	17559	18156
		LR	17608	18020
	III	DnV	18597	19519
		LR	18651	19486
Trans. weight (Ton)	I	DnV	3024	5617
		LR	3276	5808
	II	DnV	6613	8617
		LR	6760	7792
	III	DnV	5598	7790
		LR	5000	6924
Etc. (Ton)	I	DnV	13792	10642
		LR	14696	11426
	II	DnV	8626	7632
		LR	8552	7628
	III	DnV	8096	7532
		LR	8205	7630
Net hull weight (Ton)	I	DnV	33419	34651
		LR	34629	35579
	II	DnV	32798	34404
		LR	32920	33440
	III	DnV	32291	34841
		LR	31855	34039

Table 3은 종강도 부재의 중량, 횡강도 부재의 중량과 선체 전체의 선각 중량을 비교한 것으로 각 유형에 관계없이 M/D Tanker의 선각 중량이 D/H Tanker보다 큼을 알 수 있다.

또한, 각 유형 변화에 따른 횡강도 측면에서의 선각 중량은 TYPE I이 가장 작고 TYPE II가 가장 크며 D/H Tanker와 M/D Tanker의 선각 중량은 M/D Tanker가 훨씬 큼을 알 수 있다. 선체 전체의 선각 중량을 비교하면 D/H Tanker의 경우 TYPE III가 작으며 M/D Tanker의 경우 TYPE II가 가장 작다. D/H Tanker와 M/D Tanker의 선각 중량은 각 유형에 관계없이 M/D Tanker가 D/H Tanker보다 약 5% 정도

의 선각 중량이 더 크다.

결론적으로 대형 유조선의 구조 설계시 D/H Tanker의 경우 TYPE III, M/D Tanker의 경우 TYPE II가 바람직하며, M/D Tanker가 D/H Tanker보다 선각 중량이 크게 되므로 화물창 유형은 D/H Tanker를 선택하는 것이 바람직하다고 생각된다.

6. 결 언

공해 방지 유조선의 선형 변화에 따른 구조 설계를 수행하고 효율적인 선형을 결정하기 위해 이중 선각 유조선(D/H Tanker)과 중간 갑판 유조선(M/D Tanker)에 대하여 DnV 및 LR 선급 규정에 따라 선급 규정에 의한 종강도 부재의 최소 중량 설계, 직접 해석에 의한 횡강도 부재의 최소 중량 설계 및 선체 길이 방향으로 확장시켜 화물창의 구획 배치를 고려한 선체 전체의 최소 중량 설계를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 선박 크기에 따라 화물창 유형 변화에 따른 구조 설계 비교 연구가 필요하며 대형 유조선에서의 화물창 유형은 D/H Tanker의 경우 TYPE III(화물창에 종격벽이 2개인 경우)가 좋으며 M/D Tanker의 경우 TYPE II(화물창에 종격벽이 1개인 경우)가 바람직하다.

2) 종강도 측면에서 볼 때 M/D Tanker의 철판 치수는 작지만 종늑골의 치수가 크게 되어 중앙 단면적이 D/H Tanker보다 크다.

3) 횡강도 측면에서 볼 때 M/D Tanker의 경우 상부탱크 내의 하중이 하부탱크로 전달되기 때문에 D/H Tanker보다 하중이 커져 선각 중량이 커진다.

4) 선체 전체의 선각 중량 측면에서 볼 때 각 유형에 관계없이 D/H Tanker가 M/D Tanker보다 선각 중량이 작으므로 더 효율적인 선형이다.

5) DnV 및 LR 선급간의 각 부재별 설계 치수 및 선체 전체의 선각 중량은 대체적으로 비슷하다.

참 고 문 헌

[1] United States Oil Spill Bill Legislation, 1990.

[2] Report of IMO MEPC - 32th session, 1992.

[3] 장창두, 나승수, "이중 선각 유조선의 최적구조 설계 시스템 개발", 대한조선학회논문집, 제37권, 제1호, 2000.

[4] 장창두, 나승수, "대형 이중 선각 유조선의 최적 구조 설계 System 개발", 대한조선학회 추계학술강연회, 1992.

[5] 봉현수, 김만수, 이종구, "초대형 이중 선체 유조선의 구조 설계", 대한조선학회 추계학술강연회, 1992.

[6] T. Grove, "Study on VLCC with D/B & D/S", DnV, 1990.

[7] MHI, "The Structural Aspects of Mid-Height Deck Tanker Design", Tanker Structure Co-Operative Forum , London, 1992.

[8] Thomas R., Hagner, "Mid-Deck Tankers", AMOCO Transport Company.

[9] 백점기, 봉현수 외, "Transverseless 구조를 가진 2중 선체 유조선의 확정론적 및 확률론적 안정성 평가", 대한조선학회 춘계학술강연회, 1992.

[10] 봉현수, 김만수 외, "Transverseless AFRAMAX 급 이중 선체 유조선 구조 부재의 안정성 평가", 대한조선학회 추계학술강연회, 1992.

[11] 나승수, "일반화된 경사 처짐법에 의한 선체의 횡강도 해석 및 최소 중량 설계에 관한 연구", 서울대학교 박사학위논문, 1988.

[12] 장창두, 나승수, "선체 구조의 해석 및 설계를 위한 일반화 경사 처짐법 개발에 관한 연구", 대한조선학회논문집, 제19권, 제4호, 1992.

[13] Hooke, R. and Jeeves, T. A., "Direct Search Solution of Numerical and Statistical Ploblems", J. of the Assoc. for Computing Machinery, Vol. 8, No. 4, 1961.

[14] 장창두, 나승수, "일반화 경사처짐법에 의한 유조선 횡강도 부재의 최소 중량 설계", 대한조선학회논문집, 제33권, 제3호, 1996.

[15] 장창두, 나승수, "Tank 배치를 고려한 유조선의 최소 중량 설계", 대한조선학회논문집, 제33권, 제4호, 1996.