

SOLAS 손상복원성 규정(Harmonized SDS) 변경에 따른 설계 영향 검토

염천환^{†*}, 이선택*, 권오익*

대우조선해양 주식회사*

A Research of the New Harmonized Requirements of SOLAS for Subdivision and Damage Stability

Cheon-Hwan Yeom^{†*}, Sun-Taek Lee* and Oh-Yig Kwon*

Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering Co. Ltd.

Abstract

Recently, the Session of MSC 80th has adopted the new harmonized requirements of damage stability for Passenger, Ro-Ro Passenger ship and Dry Cargo ship based on the probabilistic analyzing method reflecting the study of IMO for more than ten years.

This paper introduces what have been changed in the SOLAS requirements about SDS (Subdivision and Damage Stability) and the results of investigation for design effects according to the new rules.

1. 서론

IMO(국제해사기구)에선 1991년부터 long term plan으로 확률론적인 방법에 기초하여 IMO 내의 모든 손상복원성규칙을 harmonization하기로 결정한 이후 10여년에 걸친 연구조사와 논의 끝에 금년 5월에 있었던 MSC(해사안전위원회) 80차 회의에서 드디어 여객선과 건화물선의 손상 복원성 통합 규정을 마무리 짓고 채택하게 되었다.

규정 개발 과정 중에 도출된 문제점 (Safety Level의 설정, 손상통계자료가 1960년대 이전 자료, 부분적으로 경험이론에 의존하는 등)을 해소하여 신개념의 설계개념을 도입코자, 1999년 유럽 19개

단체를 중심으로 EU Consortium이 결성되어 3년 기간의 HARDER 프로젝트를 진행하여 그 결과를 SOLAS 개정에 반영하고자 하는 노력도 있었다.

이에 당 사는 HARDER 프로젝트 시작 시점부터 국내 조선소를 중심으로 결성된 대책반 성격의 HARDER 연구회에 참여하여 규정 개발 과정을 관찰하여 왔고, HARDER 프로젝트의 연구 결과가 신 규정 개발에 실제 반영됨에 따라 손상 통계자료의 최신화, 모형시험을 통한 생존확률 규정 및 선박 운항 항로의 특성 등 Risk Analysis를 통한 통계적 Parameter 등의 변화를 가져올 것으로 예상하여 Rule 확정 시점인 올 초부터 새로운 규정의 검토와 신규정의 영향 등에 대한 연구를 수행하였다.

당사에서는 기본설계팀, 종합설계팀과 정보기술 R&D팀이 공동 참여하는 CoP를 구성하고, 규정의

[†]교신저자, chyeom@dsme.co.kr, 02-2129-0522

검토에서부터 계산 프로그램의 개발, 당사의 건조 선종 중 주로 해당되는 컨테이너선과 로로선을 대상으로 선종별 SIZE별로 광범위한 Case Study를 수행하여, 현존선의 Design에 미치는 영향 및 새로운 규정을 만족하기 위한 최적 설계 방안 도출 작업을 수행하였다.

2. 규정 개발 과정

2.1 IMO의 목표

서론에서 언급하였듯이 IMO 내의 모든 손상 복원성 규정을 통합하는 첫번째 과제로 SOLAS Part B와 Part B-1을 통합함으로써 여객선, 로로선과 건화물선의 손상복원성 규정을 확률론적 방법으로 개발하는데 있었고, 또한 그 목적이 안전강화에 있지 않고 단지 동등 수준의 안전성을 요구하는 규정의 통합에 있다고 하였다.

그러나 개정안은 실질적으로 상당히 증가된 수준의 Safety Level을 요구하는 결과를 낳았고, 이에 따라 현존선의 Design의 상당한 변화가 불가피하게 되었다.

2.2 규정 개발 History

SLF 36 (1992) - 손상복원성에 대한 IMO 규정의 통합 논의

SLF 41 (1998) - First Draft Proposed
여객선(Part B)와 건화물선 (Part B-1)의 규정을 먼저 통합키로 함.

2000~2003년 - HARDER Project 진행 (유럽 19개 단체) 최신 손상 통계 Data와 모형시험을 통한 새로운 개념의 손상 복원성 규정
개발 목표는 P(x), S(x) 개발 및 동등 수준의 Required Index R 설정

SLF46(2003) - HARDER 연구결과 제출 후 Project 소멸, 작업을 1년 연기하고, 연구 결과의 문제점 개선을 위해 SDS Working Group 결성

SLF 47 (2004) - Draft 확정, MSC 79차 승인 요청
MSC79 (2004.12)- Draft 원칙적 승인 / 대형선 추가 검토를 위한 Working Group 결성

MSC80 (2005.6)- 채택, 2009년 1월 1일 이후 건조 선박에 적용

3. 기존 규정과 개정안의 비교

현행 SOLAS 1990 Chapter II-1, Part B-1과 MSC80차 승인안을 비교하면 다음과 같다 (본 논고에서는 여객선을 제외한 상선 위주로 비교 설명하고자 한다).

3.1 적용 선박

LS ≥ 100m Cargo ships



All passenger ships,

LS ≥ 80m Cargo ships

* LS 산정 시 수직손상을 제한하는 갑판 또는 Freeboard deck까지를 기준으로 함

3.2 Intact Condition(비손상조건)의 가정

1. S.L.W.L (ds) / level trim
2. partial load line(dp) / level trim

$$*dp = (ds - dl) \times 0.6 + dl$$

dl : Lightship Draft



1. S.L.W.L (ds) / level trim
2. partial load line(dp) / level trim
= (ds - dl) x 0.6 + dl
3. light service draft (dl) / actual trim
(Ballast Arr. condition for Cargo ship)

Level trim이란 even trim을 의미하며, SLF 49차 회의에서 논의된 Explanatory notes에 의하면,

Lightest Cond. (Ballast condition)을 제외한 여하 다른 서비스 Cond.의 트림이 0.5% Ls 이상이면 1% Ls Trim Condition에 대해서 각각 Deepest와 Partial Draft의 손상 복원성을 계산하여야 하며, 이 중에서 가장 Severe한 결과를 Attained Index로 취하게 되어 있음.

동일 GM 기준으로 할 때는 일반적으로 Trim 상태에서의 계산 결과는 더욱 나쁜 결과를 초래함.

3.3 요구 구획 지수 (Required Index "R")

$$R = (0.02 + 0.0009L_s) / 3$$



$$R = 1 - 128 / (L_s + 152)$$

for Cargo Ship over 100m Ls

Harder 제안과는 다른 양상을 나타내며, 기존 Rule 대비 전체적으로 10% 정도 증가된 R 요구 Ro-Ro 선종도 동일한 Safety Level 적용

3.4 획득 구획 지수 (Attained Index "A")

$$A = 0.5A_s + 0.5A_p$$



$$A = 0.4A_s + 0.4A_p + 0.2A_l$$

각 출수별로 Min Attained Index에 대해 화물선 0.5R / 여객선은 0.9R로 규정

3.5 손상 확률 P(x)

$$J_{max} = 48/L_s, \text{ but } 0.24 \text{ 이하}$$

$$y = J/J_{max}$$

$$a = 1.2 + 0.8E \quad (E = (X_1 + X_2 - L_s) / L_s)$$

$$p = F_1 \cdot J_{max}$$

$$q = 0.4 \cdot F_2 \cdot (J_{max})^2$$

$$F = 0.4 + 0.25E \cdot (1.2 + a)$$

$$F_1 = y^2 - (y^3/3) \quad (y < 1)$$

$$F_1 = y - (1/3) \quad (y \geq 1)$$

$$F_2 = (y^3/3) - (y^4/12) \quad (y < 1)$$

$$F_2 = (y^2/2) - (y/3) + (1/12) \quad (y \geq 1)$$

- 해당 구획의 후단이 AP와 일치할 경우

$$P_i = F + 0.5ap + q$$

- 해당 구획의 전단이 FP와 일치할 경우

$$P_i = 1 - F + 0.5ap$$

- 해당 구획이 사이에 있는 경우

$$P_i = ap$$

* E = 손상위치에 따른 손상확률 factor

* J = 손상범위에 따른 손상확률 factor



$$J_{max} = 10/33$$

$$P_k = 11/12$$

$$J_{kn} = 5/33$$

$$l_{max} = 60m$$

$$L^* = 260m$$

$$b_{11} = 4(1 - P_k) / (J_m - J_k) J_k - 2P_k / J_k^2$$

$$b_{21} = -2(1 - P_k) / (J_m - J_k)^2$$

$$b_{22} = -b_{21} J_m$$

$$b_{12} = 2(P_k / J_k - (1 - P_k) / (J_m - J_k))$$

$$J = (x_2 - x_1) / L_s, \quad J_n = \min(J, J_m)$$

Probability density at J=0 :

$$b_0 = 2 \left(\frac{P_k}{J_{kn}} - \frac{1 - P_k}{J_{max} - J_{kn}} \right)$$

When $L_s \leq L^*$

$$J_m = \min \left(J_{max}, \frac{l_{max}}{L_s} \right)$$

$$J_k = \frac{J_m}{2} + \frac{1 - \sqrt{1 + (1 - 2p_k) \cdot b_0 J_m + \frac{1}{4} b_0^2 J_m^2}}{b_0}$$

$$b_{12} = b_0$$

When $L_s > L^*$

$$J_m^* = \min\left(J_{max}, \frac{I_{max}}{L^*}\right)$$

$$J_k^* = \frac{J_m^*}{2} + \frac{1 - \sqrt{1 + (1 - 2p_k) \cdot b_o J_m^* + \frac{1}{4} b_o^2 J_m^{*2}}}{b_o}$$

$$J_m = \frac{J_m^* \cdot L^*}{L_s}$$

$$J_k = \frac{J_k^* \cdot L^*}{L_s}$$

$$b_{12} = 2 \left(\frac{P_k}{J_k} - \frac{1 - P_k}{J_m - J_k} \right)$$

- 구획의 전후단이 선박의 전후단과 일치 않는 경우
 $J \leq J_k$:

$$p(x1, x2) = p_1 = \frac{1}{6} J^2 (b_{11} J + 3b_{12})$$

$J > J_k$:

$$p(x1, x2) = p_2 = -\frac{1}{3} b_{11} J^3 + \frac{1}{2} (b_{11} J - b_{12}) J_k^2 + b_{12} J J_k - \frac{1}{3} b_{21} (J_n^3 - J_k^3) + \frac{1}{2} (b_{21} J - b_{22}) (J_n^2 - J_k^2) + b_{22} J (J_n - J_k)$$

- 구획의 전후단이 선박의 전후단과 일치하는 경우
 $J \leq J_k$:

$$p(x1, x2) = \frac{1}{2} (p_1 + J)$$

$J > J_k$:

$$p(x1, x2) = \frac{1}{2} (p_2 + J)$$

Working group report에 의하면 HARDER안에서 최대손상길이 조정이 필요하다고 판단, 이를 조정하였고 이에 따라 확률분포함수를 변경하였다고 함.

개정안에 따르면 손상 위치에 따른 확률 변화는 없고, One Compartment 손상확률이 10% 정도 높게 나오는데, 그것은 손상밀도함수가 $0.1 < J < 0.2$ 구간 사이에서 증가되었기 때문임.

- 중벽격 기여도 (Reduction Factor "r")

$J \geq 0.2b/B$ 인 경우 :

$$\frac{b}{B} \leq 0.2, r = \frac{b}{B} \left(2.3 + \frac{0.08}{J+2} + 0.1 \right)$$

$$\frac{b}{B} > 0.2, r = \left(\frac{0.016}{J+0.02} + \frac{b}{B} + 0.36 \right)$$

$J < 0.2b/B$ 인 경우 :

$r=1(J=0)$ 과 $J \geq 0.2b/B$ 인 경우에 대한 공식에 $J=0.2b/B$ 를 대입한 r값 사이에서 일차 보간법으로 구한다.



$$r(x1, x2, b) = 1 - (1 - C) \cdot \left[1 - \frac{G}{p(x1, x2)} \right]$$

$$C = 12 \cdot J_b \cdot (-45 \cdot J_b + 4), \quad J_b = \frac{b}{15 \cdot B}$$

- 해당 구획이 선박의 전 길이에 걸쳐 있는 경우

$$G = G_1 = \frac{1}{2} b_{11} J_b^2 + b_{12} J_b$$

- 해당 구획의 전후단이 선박의 전후단과 일치하지 않는 경우

$$G = G_2 = -\frac{1}{3} b_{11} J_0^3 + \frac{1}{2} (b_{11} J - b_{12}) J_0^2 + b_{12} J J_0$$

$$J_0 = \min(J, J_b)$$

- 해당 구획의 전후단이 선박의 전후단과 일치

$$G = \frac{1}{2} \cdot (G_2 + G_1 \cdot J)$$

Group Compartments의 손상확률 계산 방식은 기존과 동일하며, "b/B<0.1"에서는 확률값이 기존대비 감소하고 이상에서는 증가하는 경향을 가지며, 일반 Container 선의 "b/B=0.05~0.06"을 감안하면 손상확률 10%정도 감소하게 되는데 Wing Tank의 기여도가 현행 규정보다 떨어지게 되는 결과를 초래함.

3.6 생존 확률 S(x)

$$S_i = C \cdot \sqrt{0.5 \cdot GZ_{max} \cdot Range}$$

$$C = \sqrt{\frac{30 - \theta_e}{5}}$$

25 < θ_e < 30, if $\theta_e \leq 25$, C=1

단, $GZ_{max} > 0.1$ then, 0.1 m

Range > 20 then, 20 deg.



$$S_i = \min\{ S_{intermediate,i} \text{ or } S_{final,i} \cdot S_{mom,i} \}$$

- S_{inter} : 침수 중간 단계에서의 생존확률
(For Cargo ship $S_{inter}=1$)

- S_{final} : 침수 최종 단계에서의 생존확률

- S_{mom} : Heeling Moment를 고려한 생존확률
(For Cargo ship $S_{mom}=1$)

$$S_{final} = \min(S_{final}, S_{wod})$$

$$S_{final,i} = K \cdot \left[\frac{GZ_{max}}{0.12} \cdot \frac{Range}{16} \right]^{\frac{1}{4}} \quad K = \sqrt{\frac{\theta_{max} - \theta_e}{\theta_{max} - \theta_{min}}}$$

θ_{max} - passenger 15 deg. / cargo 30 deg.

θ_{min} - passenger 7 deg. / cargo 25 deg.

단 $GZ_{max} > 0.12$ then $GZ_{max} = 0.12$

Range > 16 then Range = 16

$$S_{intermediate,i} = \left[\frac{GZ_{max}}{0.05} \cdot \frac{Range}{7} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$S_{mom,i} = \frac{(GZ_{max} - 0.04) \cdot Displacement}{M_{heel}}$$

$$M_{heel} = \max [M_{passenger} \cdot M_{wind} \cdot M_{SurvivalCraft}]$$

- $M_{passenger} = 0.075 \cdot N \cdot (0.45 \cdot B)$ (ton-m)

- $M_{wind} = (P \cdot A \cdot Z) / 9806$ (ton-m)

- $M_{survivalcraft} = \text{Max. heeling moment due to launching of fully loaded survival craft}$

GZ_{max} 는 최대치가 20%증가하고, Range는 최대치가 25% 감소하였으나 실제산에서는 전반적으로 S_i 값을 증가시키는 영향을 미침.

- 수평격벽 기여도 (Probability Factor "v")

$$V = H - d / (H_{max} - d)$$

$$H_{max} = d + 0.056L_s \cdot (1 - L_s/500), \quad L_s \leq 250m$$

$$H_{max} = d + 7, \quad L_s > 250m$$



$$v(H, d) = 0.8 + 0.2 \left[\frac{(H - d) - 7.8}{4.7} \right] \quad \text{is less than or equal to 7.8 meters}$$

$$v(H, d) = 0.8 + 0.2 \left[\frac{(H - d) - 7.8}{4.7} \right] \quad \text{other cases}$$

$$dA = p_i \cdot [v_1 \cdot s_{min1} + (v_2 - v_1) \cdot s_{min2} + \dots + (1 - v_{m-1}) \cdot s_{minm}]$$

수평구획의 생존성 기여도를 기존 Rule 대비 70~60% 대로 낮추었고, Ro-Ro선의 생존성에 막대한 영향을 미치는 쪽으로 변경됨.

개정안에서는 H_{max} 의 개념이 없으나 "V=1"일 때의 $H-d = 12.5m$ 이므로 실질적인 수직 최대 손상

범위는 7m에서 12.5m로 증가한 것임.

3.7 침수율 (Permeability “μ”)

dry cargo space의 μ는 draft에 관계없이 0.7



dry cargo space의 μ는 draft (ds,dp,dl)에 따라, 화물의 종류에 따라 다름
일반적으로 0.7/0.8/0.95이고 Ro-Ro는 0.9/0.9/0.95임

흘수별 침수율의 변화는 실질적인 화물창의 적재 상태를 반영하는 것으로 Car Carrier에서는 화물창의 침수율 증가가 손상 후 Heeling을 감소시키는 효과를 나타내어 생존성에 긍정적 효과를 나타냄.

3.8 특별 요건 (Special Requirement)

선수 충돌격벽 앞쪽의 구역의 최대 흘수에서의 손상에 대한 생존성은 반드시 “1”이어야 함.



상기 조항은 삭제되었음.
여객선 및 화물선 모두에 대해 D/B Height = "B/20" or 2.0 m (whichever is less, min 760 mm) 이상으로 규정하고, 이를 따르지 않는 선박에 대해서만 Bottom damage 요건(결정론적 방법에 의한)을 만족할 것을 규정함.

4. Sample Ship 계산 결과

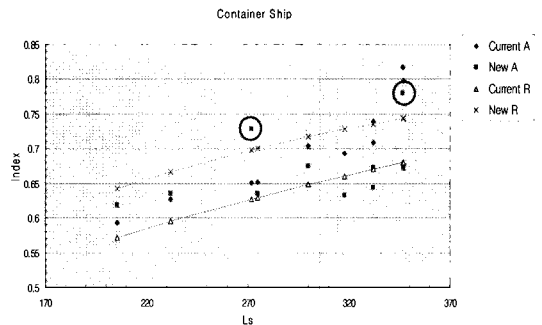
2,000 TEU에서부터 10,000 TEU 급까지 Container 10척, 4,500 Units부터 8,000 Units 급까지 Ro-Ro 4척의 당사 Design을 가지고 현행과 새로운 규정에 따라 계산을 수행하였으며, 먼저 Design 변경없이 신/규정에 따른 계산 결과를 비교하였으며 다음으로 개정안을 만족하기 위한 Case Study 결과를 나타내어 보았다.

4.1 Container Ship without Design Change

Ls	205.5	232.0	272.0	275.0	300.0
Current R	0.5718	0.5962	0.6273	0.6295	0.6479
New R	0.6420	0.6667	0.6981	0.7002	0.7168
R/R-(1)	1.1227	1.1202	1.1130	1.1123	1.1063
Current A	0.5928	0.6273	0.6508	0.6526	0.7046
New A	0.6188	0.6353	0.7278	0.6353	0.6997
A/A-(2)	1.0438	1.0127	1.1184	0.9735	0.9931
AR -(3)	1.0368	1.0540	1.0375	1.0366	1.0874
A/R -(4)	0.9639	0.9529	1.0425	0.9073	0.9761
(1)-(2)	0.0789	0.1075	-0.0054	0.1388	0.1132
(4)-(3)	-0.0729	-0.1011	0.0050	-0.1294	-0.1113

Ls	317.8	332.0	332.0	346.5	347.0
Current R	0.6604	0.6700	0.6700	0.6796	0.6799
New R	0.7275	0.7355	0.7355	0.7432	0.7435
R/R-(1)	1.1017	1.0978	1.0978	1.0936	1.0935
Current A	0.6935	0.7065	0.7389	0.8174	0.7979
New A	0.6248	0.6437	0.6728	0.7803	0.6717
A/A-(2)	0.9010	0.9085	0.9105	0.9546	0.8418
AR -(3)	1.0501	1.0575	1.1028	1.2028	1.1736
A/R -(4)	0.8588	0.8752	0.9148	1.0499	0.9034
(1)-(2)	0.2007	0.1892	0.1872	0.1390	0.2518
(4)-(3)	-0.1913	-0.1823	-0.1881	-0.1528	-0.2702

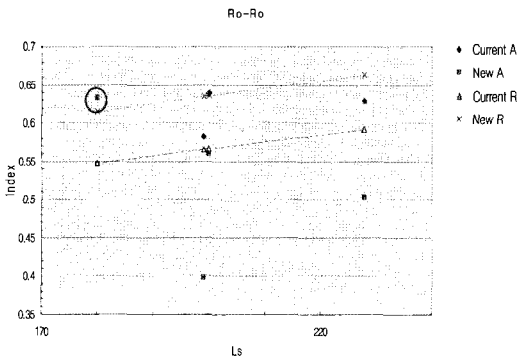
상기의 결과를 도표로 나타내어 보면 다음과 같고, Design 변경 없이 신규정을 만족할 수 있는 것은 2척에 불과함을 알 수 있다.



4.2 Ro-Ro without Design Change

Ls	179.9	199.9	199.0	227.8
Current R	0.5473	0.5666	0.5658	0.5918
New R'	0.6143	0.6363	0.6353	0.6630
R'/R - (1)	1.123	1.123	1.123	1.120
Current A	0.5477	0.6383	0.5821	0.6293
New A'	0.6327	0.5594	0.3977	0.5025
A'/A - (2)	1.155	0.876	0.683	0.799
A/R - (3)	1.001	1.127	1.029	1.063
A'/R' - (4)	1.030	0.879	0.626	0.758
(1)-(2)	-0.033	0.247	0.440	0.322
(4)-(3)	0.029	-0.247	-0.403	-0.305

앞선 규정 비교에서 수평격벽의 기여도가 30~40% 정도 낮아짐에 따라 Ro-Ro선에서의 생존성 확보가 크게 문제가 되었다고 설명한 바와 같이, 비교적 배 길이에 비해 수밀 Car Deck가 높은 4,500 Units 한 척만 신규정을 만족했고, 그 이상의 Size의 선박에서는 결과 값이 많이 부족한 모습을 보여 주고 있다.



4.3 신규정에 따른 Design Effect 검토

- SLF47 Draft안에 따른 계산 결과

Ls (m)	R	Design 변경 전		Design 변경 후		Remark
		A'	A'/R	A'	A'/R'	
- Container						
205.5	0.6420	0.6188	0.964	0.6573	1.024	Passage 2 → 4
232.0	0.6667	0.6353	0.953	0.6932	1.040	Passage 3 → 6
272.0	0.6981	0.7278	1.043	-	-	
275.0	0.7002	0.6353	0.907	0.7249	1.035	Passage 1 → 8, Partial GM +0.4
300.0	0.7168	0.6997	0.976	0.7399	1.032	Passage 1 → 4, Partial GM +0.1
317.8	0.7275	0.6248	0.859	0.7456	1.025	Passage 1 → 5, Partial GM +0.2 I/C Tight 0 → 10 Bay
332.0	0.7355	0.6437	0.875	0.7618	1.036	Passage 1 → 4 I/C Tight 0 → 9
346.5	0.7432	0.7803	1.050	-	-	
347.0	0.7435	0.6717	0.903	0.7674	1.032	Passage 1 → 5
- RoRo						
179.9	0.6143	0.6327	1.030	-	-	
199.9	0.6363	0.5594	0.879	0.6876	1.081	W/T Deck : No. 5 → No.5,7 Deck
199.0	0.6353	0.3977	0.626	0.6971	1.097	W/T Deck : No. 5 → No.5,8 Deck
227.8	0.6630	0.5025	0.758	0.7232	1.091	W/T Deck : No. 5 → No.5,8 Deck

- 길이 260m 이상 선박에 대한 손상확률 조정에 따른 비교

Ls (m)	R	Design 변경 전		Design 변경 후		확률변경 전후 차이		
		A'	A'/R	A'	A'/R	A260	A260/R	
- Container								
205.5	0.6420	0.6188	0.964	0.6573	1.024	0.6573	1.024	0.0%
232.0	0.6667	0.6353	0.953	0.6932	1.040	0.6932	1.040	0.0%
272.0	0.6981	0.7278	1.043	0.7278	1.043	0.7348	1.053	1.0%
275.0	0.7002	0.6353	0.907	0.7249	1.035	0.7323	1.046	1.1%
300.0	0.7168	0.6997	0.976	0.7399	1.032	0.7567	1.056	2.3%
317.8	0.7275	0.6502	0.894	0.7378	1.014	0.7658	1.053	3.8%
332.0	0.7355	0.6437	0.875	0.7618	1.036	0.7954	1.081	4.6%
346.5	0.7432	0.7523	1.012	0.7523	1.012	0.7868	1.059	4.6%
347.0	0.7435	0.6717	0.903	0.7674	1.032	0.81	1.089	5.7%
- RoRo								
179.9	0.6143	0.6327	1.030	-	-	-	-	
199.9	0.6363	0.5594	0.879	0.6876	1.081	0.688	0.782	
199.0	0.6353	0.3977	0.626	0.6971	1.097	0.697	1.114	
227.8	0.6630	0.5025	0.758	0.7232	1.091	0.723	0.954	

MSC 79차에서 결성된 SDS Working group에서는 대형 선박에서 신규정이 약간 불리하게 적용되었다고 결론을 내리고, 무차원 손상계수 계산에서의 최대 선박 길이의 한계를 260 m로 한정하는 안을 MSC 80차에 보고하여 채택되었는데, 상기 표에서와 같이 길이 260m 이상의 선박에서 대형선일수록 획득지수 값이 늘어난 것을 볼 수 있다.

상기의 계산은 Deepest와 Partial Draft에서 Trim 상태의 계산은 고려하지 않은 것임.

5. 설계 영향 검토 결과

5.1 Container Ship

- 대부분 Hatch Cover Tightness, Passage Deck의 추가 분할 및 Air Pipe의 변경 등으로 신규정을 만족할 수 있는 것으로 파악됨.
- 수평격벽의 기여도 "v" 가 비단 Car Carrier에 만 영향을 미치는 것이 아니라 Container 선에도 영향을 주는 것으로 파악됨.
- 또한 종격벽의 기여도 하향 조정으로 인해 기존 Design으로 신규정을 만족하기 어려운 결정적인 설계인자로 작용함.
- Wing Tank의 분할 형태에 따라 Attained Index의 값이 "0.01" 정도 차이를 보일 수 있으며, 종격벽 외부만 손상 시에 Heeling을 적게 유발할 수 있는 형태로 분할하는 것이 유리함.
- Light Draft에서는 획득지수 값이 최소 0.95 이상이 되도록 GM을 설정하였음.(Partial Draft

와 Ballast Draft 사이에서의 실제 Condition 상의 GM도 크기 때문에 Operating에 제약을 주지는 않는 것으로 파악)

- Partial Draft에서의 GM을 조정할 경우, 큰 Design 변경없이 획득지수 값을 증가시킬 수 있으나, 이는 빈번한 Operating Condition에서 선박의 Loadable Container 개수를 제한하게 되므로 조심스럽게 접근할 필요가 있음.
- Draft가 깊을수록 획득지수(attained index)는 적게 나오므로, Partial draft를 낮게 잡기 위해 Ballast draft를 낮게 만드는 것도 설계 변경없이 획득지수를 올리는 방안이 될 수 있음.
- Hold 내 동일한 Container 적재 능력을 갖는다는 조건하에서는, Wing Tank의 폭이 적으면 적을수록 (즉, 선포이 작은 경우) SDS 계산에는 약간 유리하게 작용함.
- Deepest 및 Partial Subdivision Draft에서 동일 GM을 갖는다는 가정하에 Trim 상태를 고려하면, 계산 결과는 나빠진다. 이는 Trim 상태의 KMT는 증가하는데 반해 GM을 동일하게 유지함으로 인해 비손상 Condition의 KG를 높게 잡는 결과를 초래함으로 인한 영향이 크기 때문임.
따라서, 가능한 모든 Condition의 Trim을 0.5% Ls 범위 내로 조정하는 것이 바람직함.

5.2 Ro-Ro

- Ro-Ro 선에 있어서는 신규정을 만족하기 위한 Design Criteria는 비교적 단순하고, 현 Freeboard deck (No.5 or 6 Deck) 상방에 추가적인 Water tight deck의 신설이 효율적인 것으로 판단됨.
- 기존 Freeboard Deck의 Head 결정 및 Air-pipe의 배치, Tank Bottom의 Scantling 증가 등도 검토되어 최적 설계가 이루어지도록 하여야 하며, 실제 필요한 Water Head를 계산하는 방법을 강구하여야 함.
- Ro-Ro 선종에서는 Wing tank 손상 시 Heeling으로 인한 Attained Index의 손실이 크게 나타나는 것으로 파악되며, 이러한 사실을 감안 시 수선상 상방까지 Wing Tank가 연장되어 배치되는 구조는 SDS 측면에서는 불리하나 선박 전체의 성능 측면에서 Project별로 검

토가 필요함.

6. 결 언

선박의 배치나 Draft, Depth 및 Midship Configuration에 따라 SDS 결과는 조금씩 상이해질 수 있으나, 앞서 검토한 신규정을 만족하기 위한 Design 변경의 발생은 손상확률이나 생존확률 계산 자체가 강화된 것이 아니라 요구되는 구역지수(Required Index R) 자체가 지나치게 높게 설정되었기 때문으로 파악된다.

즉, IMO의 본래의 목표와는 달리 신규정은 Ro-Ro 선 뿐만 아니라 전선종에 걸쳐 상당 수준의 Safety Level의 증가가 요구되도록 개정된 것이라 할 수 있다.

따라서, 최소의 Design 변경을 수반하며 Safety Level을 증가시킬 수 있도록, 각 Draft에서의 최적의 GM 조합, 구역배치의 조정 및 Main Dimension 변경 등의 심도 깊은 검토가 필요하다고 할 수 있겠다.

더불어 Fuel Tank Protection 요건 강화에 따른 HFO Tank들의 배치를 함께 고려한 최적의 일반 배치를 창출함으로써, IMO 주요 규정의 변화의 바람 속에서 조선 강국의 입지를 더욱 강화하는 기회로 삼을 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- SOLAS II-1 개정 Technical Report, KR
- Report of the Maritime Safety Committee on its 80th Session, IMO



< 영 천 환 >



< 이 선 택 >



< 권 오 익 >