충돌 및 좌초 사고에 의한 대형 상선의 손상 추정

정준모^{1,†} · 이민성¹ · 남지명¹ · 하태범²
인하대학교 조선해양공학과¹
한국선급 기술연구소²

Damage Estimation of Large-Sized Vessels due to Ship-to-Ship Collisions and Ship Groundings

Joonmo Choung^{1,†} · Min-Seong Lee¹ · Ji-Myung Nam¹ · Tae-Bum Ha²
Dept of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University¹
Research and Development Center, Korean Register of Shipping²

Abstract

For the assessment of ultimate longitudinal strengths of damaged hull girders, it is preliminarily necessary to determine the extents and locations of the damages due to severe accidents. This paper deals with the estimation of the damages from collisions and groundings of large-sized vessels where deterministic and probabilistic approaches are investigated. Deterministic damages estimated from MARPOL(or ICLL), ABS and DNV are compared with probabilistic damages from IMO guideline and some references including damage statistic data. Damages from MARPOL show largest one among all the investigated damage estimation, since it was developed not for the residual strength of hull girder but for the damage stability calculation. IMO guideline with high level probability of damage(eg. 95% probability level) also forecasts even severer damage extents than MARPOL. On the other hand, assuming average probability level of damage, the calculated damage sizes are around the one from deterministic approaches.

Keywords : Collision(충돌), Grounding(좌초), Damage(손상), Damage length(손상 길이), Damage penetration(손상 깊이), Damage depth(손상 높이), Residual strength(잔류 강도), Damage PDF(손상 확률 밀도 함수)

1. 서론

2000년대 이후 선박의 대형화와 다목적 운반을 위한 신선종의 개발로 인하여 선박의 안전성에 대한 문제가 제기되어 왔다. 또한 조선소의 원가절감을 위한 선박 구조의 최적화와 경량화는 통상적으로 강도 측면에서 유리한 방향으로의 설계를 유발하지는 않는 것이 현실이다.

국제해사기구(IMO, international maritime organization)는 이러한 문제점을 미연에 방지하고, 선박의 설계부터 폐선까지 종합적인 관리체계를 만들기 위하여 신개념 선박 건조 기준(GBS, goal based standard)을 개발하고 있다. IMO 해사안전위원회(MSC, maritime safety committee) 제77차 회의에서부터 논의된 GBS는 2010년 현재 GBS의 기본개념과 5단계로 구성된 골격(framework)을 완성하고 벌커(bulker)와 탱커(tanker)의 구조 설계에 기준의 통합화(harmonization)도 종료단계에 있다. 그러나 현재까지의 각 GBS 단계별 접근방법은 결정론적 접근방법(prescriptive approach, PA)에 기반하고 있으며, IMO는 향후 모든 선종에 적용 가능한 확률론적 접근방법 또는 안전수준 접근방법(SLA, safety level approach)에 기반한 GBS의 개발을 추진하

고 있다.

SLA의 경우 GBS 상위 단계에서의 안전 목표(top level safety objective)를 결정한 후 통계자료, 사회적/정치적/경제적/환경적 파급효과 등을 종합적으로 고려하여 허용가능 위험도(as low as reasonably practicable, ALARP)에 근거하여 기능적 요건의 허용기준이 결정된다. 선급과 조선소에서도 통계적 자료에 근거하여 기능적 요건을 만족하는 SLA 기반 규칙과 표준을 제정해야 한다.

PA에서 SLA로 이동하면서 기능적 요건의 큰 변화보다는 기능적 요건에 대한 심각성과 중요도가 순위화 될 가능성이 크다고 보여지며, 현재 PA 기반 기능적 요건은 설계, 건조, 운항 그리고 재활용의 4가지 카테고리과 설계에서 9개, 건조에서 3개, 운항에서 2개, 재활용에서 1개의 기능적 요건이 존재한다. 이 중에서 잔류 종강도(residual longitudinal strength)와 잉여강도(structural redundancy)는 PA에 기반한 현재의 공통구조규칙에서도 명확한 규정을 제공하고 있지 못하며, 향후 SLA 기반 공통구조규칙의 제정 시에도 상당한 어려움이 있을 것으로 예상된다.

통상적으로 충돌 또는 좌초와 같이 큰 손상(major damage)을 경험한 선박의 종강도를 잔류 종강도(residual longitudinal strength)로 정의하고, 부유물과의 충돌, 접안에 의한 버팅

(berthing)과 같이 작은 손상(minor damage)를 경험한 선박 국부 구조강도를 잉여강도(structural redundancy)로 정의한다. 본 논문에서는 작은 손상의 크기보다는 충돌에 의한 큰 손상의 크기를 여러 참고문헌으로부터 결정하여 보고자 한다.

연구 또는 설계의 측면에서 손상의 크기를 예측하는 방법은 유체역학적인 측면과 구조역학적인 측면, 그리고 환경적인 측면으로 나누어 진다.

유체역학적 측면은 주로 손상 후 안정성(damage stability)을 의미하며, 이를 평가하기 위하여 많은 연구자들이 손상의 범위를 추정하는 사례가 있다. Lee, et al.(2009)은 간이 손상 시뮬레이션, 벌커의 사고 데이터베이스(Skjong & Vanem, 2004), 국제 규정(IMO, 1997) 등으로부터 각각 손상의 범위를 추정하여 손상 후 안정성을 평가한 사례가 있다. Lee, et al.(2009)과 Lee and Lee(2008)는 국내외 사고사례를 수집/분석하여 손상 시나리오를 작성하고 손상 복원성과 구조 안전성 프로그램을 개발한 바 있다. Lee, et al.(2006)은 로로선의 손상 안정성에 대한 실험적 연구를, Cho, et al.(2005)도 손상된 로로선을 대상으로 안정성 수치해석을 수행한 바 있다.

구조역학적 측면은 손상 후 침수와 선체의 회전 등으로 인한 잔류 최종강도의 추정을 의미한다. Han, et al.(2007)은 손상 후 지속적인 외력으로 인한 손상의 전파(일종의 균열진전 개념)를 연속체 손상역학(CDM, continuum damage mechanics)을 이용하여 해결하고자 하였다. Cho and Lee(2005)는 각종 선박의 손상을 임의로 가정하여 손상선박의 잔류 최종강도를 평가한 바 있다. Paik, et al.(1998)은 ABS(1995)에서 제시한 손상의 크기에 대하여 잔류 최종강도를 해석적으로 예측한 바 있다. Wang, et al.(2002)도 ABS(1995)에서 제시한 손상을 가정하고 선박의 단면계수를 계산하여 잔류 종강도를 예측하였다.

환경적 측면에서 참고문헌을 살펴보면, IMO(1995)와 IMO(2003)는 탱커의 중대사고시 원유유출량을 산정하기 위한 손상의 크기를 정의한 바 있다. Pedersen and Zhang(2000)은 IMO(1995)에서 제시한 좌초 후 손상의 크기는 실적선 통계대비 상당히 작은 값을 가진다고 제시하기도 하였다.

이와 같이 유체역학적 관점에서 손상의 크기를 정량적으로 추정하기 위한 연구는 상당히 많이 수행된 바 있지만 구조역학적 관점에서는 잔류 종강도를 예측하는데 치중해왔다. 유체역학적 관점에서 손상의 예측은 침수 가능성을 극대화하기 위하여 엄청난 많은 부재의 손상을 가정하기 때문에 구조역학적 측면에서는 종강도를 평가할 수 없는 경우가 발생하는 문제점이 있었다. 따라서 본 연구에서는 각종 문헌을 통하여 제시된 결정론적 손상의 크기를 비교해보고, 논문의 연구사례를 기초로 확률론적인 손상의 크기를 예측하여 보고자 한다.

2. 손상의 추정

Fig. 1에 보인 바와 같이, 손상의 분포는 MARPOL, ICLL, ABS, DNV 등에서 제시하는 결정론적 방법에 의하여 결정되거나, 손상 사례 데이터베이스 또는 시뮬레이션에 근거한 확률론적 방법에

의하여 결정될 수 있다. 손상의 크기가 결정되면 손상 복원성 계산과정을 거쳐 잔류 종강도 평가를 수행한다.

Fig. 1 Estimation of hull girder residual strengths under assumed damages

2.1 결정론적 접근법

(1) MARPOL과 ICLL

IMO(1997)과 IMO(1966)에는 구획의 결정 및 복원성 계산을 위하여 손상의 크기를 제시하고 있다(이후 본 논문에서는 각각 MARPOL과 ICLL로 통칭). 이들 규칙은 탱커를 대상으로 225m 이상인 선박의 경우 충돌 위치를 전선에 걸쳐서 어떤 위치든 발생할 수 있다고 가정하며, 50m 이상 225m 이상인 선박의 경우 기관실 구획을 제외한 길이방향에 손상이 발생할 수 있는 것으로 가정한다. Table 1과 Table 2는 충돌 및 좌초에 의한 선측 및 선저 손상의 크기를 제시하고 있다.

Table 1과 Table 2에서 Damage depth는 충돌의 경우 Vertical extent of damage를 의미하며, 좌초의 경우 Vertical penetration of damage를 의미한다.

Table 1 Collision damages from MARPOL and ICLL

Damage length	$MIN(14.5m, \frac{1}{3}L_{BP}^{\frac{2}{3}})$
Damage penetration	$MIN(11.5m, \frac{B}{5})$
Damage depth	D

L_{BP} , B , D : 수선간장, 형폭, 형깊이

Table 2 Grounding damages from MARPOL and ICLL

	FP-0.3 L_{BP}	Other part
Damage length	$MIN(14.5m, \frac{1}{3}L_{BP}^{\frac{2}{3}})$	$MIN(5.0m, \frac{1}{3}L_{BP}^{\frac{2}{3}})$
Damage width	$MIN(10.0m, \frac{B}{6})$	$MIN(5.0m, \frac{B}{6})$
Damage depth	$MIN(6.0m, \frac{B}{15})$	$MIN(6.0m, \frac{B}{15})$

(2) ABS

ABS(1995)는 잔류 종강도를 예측하기 위하여 충돌로 인한 손상의 크기를 Fig. 2와 같이 제시하였다. Fig. 2를 정리하면 Table 3 및 Table 4와 같다.

(a) Collision

(b) Grounding

Fig. 2 Damage from ABS guideline(ABS, 1995)

Table 3 Collision damages from ABS guideline

Damage length	N/A
Damage penetration	$MIN(0.7h, b)$ for deck level $\frac{3}{4}b$ for below-back level
Damage depth	$h = MAX\left(\frac{D}{4}, 4m\right)$

b : 선측외판과 외측종격벽 사이의 간격

h : 선측외판의 수직 손상 크기

Table 4 Grounding damages from ABS guideline

Damage length	N/A
Damage width	$MAX\left(\frac{B}{6}, 4m\right)$
Damage depth	$\frac{3}{4}H$ for centerline area $\frac{1}{4}H$ for non-centerline area

H : 선저판과 이중저판 사이의 간격

(3) DNV

DNV(2009)의 선박건조규칙을 살펴보면 이중선체 유조선에 대하여 충돌과 좌초로 인한 손상의 크기를 각각 Table 5와 Table 6과 같이 제시하고 있음을 확인할 수 있다.

Table 5 Collision damages from ABS guideline

Damage length	$0.1L_{BP}$
Damage penetration	$B/16$
Damage depth	$0.6D$

Table 6 Grounding damages from ABS guideline

Damage length	$0.3L_{BP}$
Damage width	$0.55B$
Damage depth	$B/15$

2.2 확률론적 접근법

Lützen(2001)은 유럽 공동 프로젝트 HARDER에 사용되었던 각종 사고사례 2946건을 수집하였으며, 이중에서 충돌사고 1851건에 대한 무차원 손상의 길이 및 무차원 손상의 깊이 히스토그램을 Fig. 3 (a), (b)와 같이 제시하였다. 여기서 무차원 손상 길이는 손상의 길이를 피충돌선 선박의 길이로 나눈 값, 무차원 손상 깊이는 손상의 깊이를 피충돌선 선박의 폭으로 나눈 값을 의미한다. 그러나 Lützen(2001)은 충돌 사고시 손상의 높이에 대한 값을 제시하지는 않았다. Fig. 3에서 “Ship-ship collisions”는 선박-선박 충돌, “Other collisions”는 기타 충돌(선박-부유체 등)을 의미한다.

Tagg, et al.(2002)도 Lützen(2001)이 사용하였던 손상 자료와 대동소이한 손상 자료로부터 216건의 충돌 사고사례를 수집하여 충돌시 손상의 높이를 추정한 바 있으며 Fig. 3 (c)와 같이 흘수선으로부터 손상의 크기(높이)를 피충돌선 길이의 함수로 나타내었다. 무차원 수직 손상 크기는 손상의 수직 크기를 피충돌선 선박의 높이로 나눈 값을 의미한다.

Tagg, et al.(2002)는 흘수선 아래는 모두 손상된 것으로 간주하였다. 그는 손상의 높이를 정규분포로 간주하였으며, 평균 4m, 표준편차 4.8m로서 상당히 큰 손상을 예측한 바 있다.

Pedersen and Zhang(2000)은 IMO(1995)가 제시한 좌초로 인한 선저부 손상깊이는 비교적 저평가되었다고 주장한 바 있으나 IMO(1995)의 개정판인 IMO(2003)에서도 이에 대한 개정은 이루어지지 않았다.

어 지지 않았다. Zhu, et al.(2002)은 영국선급(LR)에서 제공받은 손상 데이터베이스에서 길이 100m 이상 자동차운반선(oro ship)의 좌초 사고를 수집하였으며, 무차원 손상의 길이 및 무차원 손상의 폭을 제시하였으나 무차원 손상의 높이를 보여주지는 않았다. Fig. 4에서 무차원 손상 길이는 손상의 길이를 좌초 선박의 길이로 나눈 값, 무차원 손상 폭은 손상의 폭을 좌초 선박의 폭으로 나눈 값, 무차원 손상의 높이는 손상의 높이를 좌초 선박의 높이로 나눈 값을 의미한다.

Fig. 3 Collision damage statistics

(1) 충돌에 의한 무차원 손상 길이

비선형 유한요소해석을 이용하여 손상 선박의 잔류 최종강도를 예측하기 위해서는 Fig. 11 또는 Fig. 12에 보인 바와 같은 한 개의 프레임에 상응하는 모델을 구성해야 한다. 그러나 대부분의 경우 충돌 또는 좌초로 인한 손상의 길이는 프레임 간격보다 훨씬 크게 산정된다. IACS(2010a) 및 IACS(2010 b) 등에서 최종 굽힘모멘트를 예측하기 위해서 권장하는 Smith법(Smith, 1977)을 이용할 경우에도 손상의 길이는 필요하지 않다. 따라서 본 논문에서는 무차원화된 손상의 길이를 별도로 제시하지는 않았다.

Fig. 4 Grounding damage statistics(Zhu, et al., 2002)

(2) 충돌에 의한 무차원 손상 깊이

Lützen(2001)의 자료를 바탕으로 디지털라이징(digitizing) 과정을 거쳐 충돌로 인한 손상의 깊이를 추정하여 Fig. 5와 같이 무차원 손상 깊이의 확률밀도함수(PDF, probability density function)를 나타내었다. 선박 충돌 데이터 및 및 전체 충돌 데이터에 대하여 각각 곡선의 적합구간을 0.5로 하여 선형 회귀분석을 실시하면 식 (1)과 같은 선형식을 얻을 수 있으며, 구간 0.0~0.5에서 적분한 후, 단위 누적확률밀도함수(CDF, cumulative probability density function)를 얻기 위하여 배수를 취하면 식 (2)를 얻을 수 있다.

Fig. 5에는 IMO(2003)에서 제시한 무차원 손상 깊이의 확률밀도함수를 두꺼운 흑색선으로 나타내었는데 작은 손상에 대한 확률을 향상시키기 위하여 식 (3)과 같이 4개의 구간으로 분할하여

Fig. 5 PDF of nondimensional damage penetration due to collision

확률밀도함수를 표현하였다(이후 본 논문에서는 IMO 가이드라인으로 통칭). 전반적으로 IMO 가이드라인에서 제시한 값이 데이터베이스에 근거한 값보다 작게 산정됨을 확인할 수 있다.

$$f'_{s3}(C_y) = -0.24C_y + 0.16 \quad (1)$$

$$f_{s3}(C_y) = -4.80C_y + 3.20 \quad (2)$$

$$f_{s3}(C_y) = \begin{cases} -399.20C_y + 24.96 & \text{for } 0.0 < C_y \leq 0.05 \\ -88.80C_y + 9.44 & \text{for } 0.05 < C_y \leq 0.1 \\ 0.56 & \text{for } 0.1 < C_y \leq 0.3 \\ 0.00 & \text{for } 0.3 < C_y \leq 1.0 \end{cases} \quad (3)$$

f_{s3} : 디지털타이핑을 거쳐 얻은 무차원 손상 깊이의 확률밀도함수

f_{s3} : 무차원 손상 깊이의 확률밀도함수

C_y : 손상의 깊이를 피충돌선의 폭으로 나눈 무차원 변수

(3) 충돌로 인한 무차원 수직 손상 크기

Fig. 3(c)에 나타난 정규분포 확률밀도함수를 이용하여 손상의 수직 크기를 예측해보면, 평균확률 수준(50% 생존 확률 수준)에서 흘수선으로부터 4m 정도의 손상을 예측하므로, 흘수선 아래 부분의 전체손상을 고려한다면, 너무 과도한 손상을 예측하게 된다. 반면 IMO 가이드라인은 손상데이터로부터 비교적 합리적 수준의 수직 손상크기를 제시한바 있다(Fig. 6과 식 (4) 참조).

$$f_{s4}(C_z) = \begin{cases} -11.00C_z + 3.83 & \text{for } 0.0 < C_z \leq 0.3 \\ 0.5 & \text{for } 0.3 < C_z \leq 1.0 \end{cases} \quad (4)$$

f_{s4} : 무차원 수직 손상 크기의 확률밀도함수

C_z : 손상의 수직 크기를 피충돌선의 높이로 나눈 무차원 변수

Fig. 6 PDF of nondimensional vertical damage depth due to collision from IMO guideline

(4) 충돌 위치

IMO 가이드라인에서는 선체 길이방향 충돌 위치는 항상 동일한 확률을 가지는 것으로 간주한다(식 (5) 참조). Lützen(2001)이 조사한 선박-선박 충돌의 경우에서 피충돌선의 손상분포를 Fig. 7에 나타내었는데, 길이방향으로 손상의 위치는 같은 확률이라고 보아도 무방할 것으로 판단된다. 선체의 잔류 종강도를 평가할 목적이라면, 선체의 중앙부 영역(midship area)를 대상으로하는 것이 바람직할 것이다.

Fig. 7 Nondimensional collision damage locations in longitudinal direction(Lützen, 2001)

수직방향 충돌의 위치는 선박의 크기, 충돌 당시의 흘수, 선루 (forecastle deck)의 높이 등에 의하여 결정된다. IMO(2003)는 손상 데이터로부터 식 (6)과 같은 무차원 수직 위치를 제시하였다. 식 (5)와 (6)은 직사각형 파공을 가정하였을 때 도형의 중심점을 의미한다.

$$f_{s1}(X) = 1.0 \text{ for } 0.0 \leq X \leq 1.0 \quad (5)$$

$$f_{s5}(Z) = \begin{cases} Z & \text{for } 0.0 < Z \leq 0.25 \\ 5.0Z - 1.0 & \text{for } 0.25 < Z \leq 0.5 \\ 1.50 & \text{for } 0.5 < Z \leq 1.0 \end{cases} \quad (6)$$

f_{s1} : 무차원 길이방향 위치의 확률밀도함수

f_{s5} : 무차원 수직방향 위치의 확률밀도함수

X : 충돌의 길이방향 위치를 L_{BP} 로 나눈 무차원 변수

Z : 충돌의 수직방향 위치를 D 로 나눈 무차원 변수

(5) 좌초에 의한 무차원 손상 길이

좌초의 경우에도 충돌의 경우와 동일하게, 손상이 한 개 프레임 이상에 걸쳐 발생할 가능성이 대부분이기 때문에 본 논문에서는 좌초에 의한 무차원화된 손상의 길이를 별도로 제시하지는 않았다.

6) 좌초에 의한 무차원 손상 폭

Zhu, et al.(2002)의 자료를 바탕으로 디지털라이징(digitizing) 과정을 거쳐 좌초로 인한 손상의 폭을 추정하여 Fig. 8과 같이 무차원 손상 폭의 확률밀도함수를 나타내었다. 선박 좌초 데이터에 대하여 각각 곡선의 적합구간을 0.5로 하여 선형 회귀분석을 실시하면 식 (7)과 같은 선형식을 얻을 수 있으며, 구간 0.0~0.5에서 적분한 후, 단위 누적확률밀도함수를 얻기 위하여 배수를 취하면 식 (8)을 얻을 수 있다.

Fig. 8에는 IMO(2003)에서 제시한 무차원 손상 폭의 확률밀도함수를 굵은 선으로 나타내었는데 작은 손상과 큰 손상에 대한 고려를 하기 위하여 식 (9)와 같이 3개의 구간으로 분할하여 확률밀도함수를 표현하였다. 전반적으로 IMO가이드라인에서 제시한 값이 데이터베이스에 근거한 값보다 작게 산정됨을 확인할 수 있다.

Fig. 8 PDF of nondimensional damage width due to grounding

$$f'_{b4}(G_y) = -0.80 G_y + 0.40 \quad (7)$$

$$f_{b4}(G_y) = -0.80 G_y + 0.40 \quad (8)$$

$$f_{b4}(G_y) = \begin{cases} -12.00 G_y + 4.00 & \text{for } 0.0 < G_y \leq 0.3 \\ 0.40 & \text{for } 0.3 < G_y \leq 0.9 \\ 12.00 G_y - 10.40 & \text{for } 0.9 < G_y \leq 1.0 \end{cases} \quad (9)$$

f_{b4} : 디지털라이징을 거쳐 얻은 무차원 손상 폭의 확률밀도함수

f_{b4} : 무차원 손상 폭의 확률밀도함수

G_y : 손상의 폭을 피충돌선의 폭으로 나눈 무차원 변수

(7) 좌초에 의한 무차원 수직 손상 크기

IMO 가이드라인은 손상데이터로부터 비교적 합리적 수준의 수직 손상크기를 제시한바 있다(Fig. 9와 식 (10) 참조).

$$f_{b3}(G_z) = \begin{cases} -134.00 G_z + 14.50 & \text{for } 0.0 < G_z \leq 0.1 \\ 1.10 & \text{for } 0.1 < G_z \leq 0.3 \\ 0.0 & \text{for } G_z > 0.3 \end{cases} \quad (10)$$

f_{b3} : 무차원 수직 손상 크기의 확률밀도함수

G_z : 손상의 수직 크기를 좌초 선박의 높이로 나눈 무차원 변수

Fig. 9 PDF of nondimensional vertical damage depth due to grounding from IMO 가이드라인

(8) 좌초 위치

IMO 가이드라인에서는 선체 길이방향 좌초 위치는 선수로 갈수록 발생할 확률이 큰 것으로 간주한다(식 (11) 참조). Zhu, et al.(2002)이 조사한 선박 좌초의 경우, 좌초의 길이방향 분포를 Fig. 10에 나타내었는데, 길이방향으로 손상의 위치는 선박의 길이에 따라 같다고 볼 수 없으며, 중앙부가 비교적 손상될 확률이 큰 것으로 보여진다.

횡방향 좌초 위치는 선박의 크기, 좌초 당시의 흘수, 암초의 형상 등에 의하여 결정된다. IMO 가이드라인은 식 (12)와 같이 폭에 걸쳐 동일한 확률로 가정하였다. 식 (11)과 (12)는 직사각형 파공을 가정하였을 때 도형의 중심점을 의미한다.

$$f_{b1}(Y) = \begin{cases} 0.80 X + 0.20 & \text{for } 0.0 \leq X \leq 0.5 \\ 4.00 X - 1.40 & \text{for } 0.5 < X \leq 1.0 \end{cases} \quad (11)$$

$$f_{b5}(Y) = 1.0 \text{ for } 0.0 \leq Y \leq 1.0 \quad (12)$$

f_{b1} : 무차원 길이방향 위치의 확률밀도함수

f_{b5} : 무차원 횡방향 위치의 확률밀도함수

X : 좌초의 길이방향 위치를 L_{BP} 로 나눈 무차원 변수

Y : 좌초의 횡방향 위치를 B 로 나눈 무차원 변수

Fig. 10 Nondimensional grounding damage locations in longitudinal direction(Zhu, et al., 2002)

3. 손상의 크기

VLCC($LBP=324m$, $B=60m$, $D=30m$, $b=3.5m$, $H=3.0m$)를 대상으로 충돌과 좌초에 의한 손상의 크기를 Table 7 및 Table 8에 나타내었다.

Table 7 Comparison of collision-induced damages(unit: m)

	Damage length	Damage penetration	Damage depth
MARPOL(ICLL)	14.50	11.50	30.00
ABS	N/A	3.50	7.50
DNV	32.40	3.75	18.00
IMO guideline(50%)	16.54	1.50	5.25
IMO guideline(95%)	57.70	12.64	27.03

Table 8 Comparison of grounding-induced damages (unit: m)

	Damage length	Damage width	Damage depth
MARPOL(ICLL)	14.50	10.00	4.00
ABS	N/A	4.00	1.88
DNV	97.20	33.00	3.75
IMO Guideline(50%)	45.44	10.00	1.29
IMO Guideline(95%)	226.70	57.83	7.64

충돌에 의한 손상을 살펴보면, MARPOL은 가장 큰 손상 깊이와 수직 손상을 예측하고 있음을 확인할 수 있으며, IMO 가이드라인 평균 수준의 경우, 가장 작은 손상 깊이와 수직 손상을 예측하고 있다. 반면 IMO 가이드라인 95% 수준의 경우(현재 예측한 손상의 크기보다 일부 선박(5%)에서의 손상은 크게 산정될 수 있음을 의미) MARPOL의 예측치와 거의 유사한 손상 깊이와 수직

손상을 보여준다. ABS와 DNV의 손상 깊이는 유사하며, 단지 수직 손상의 크기는 DNV의 예측이 현저하게 크게 나타났다. 충돌로 인한 선측외판의 손상은 종강도 측면에서 상당히 불리하게 작용할 것이므로, 큰 수직 손상을 나타내는 MARPOL과 결정론적예측 중에서 가장 작은 손상 깊이를 나타내는 ABS의 예측치를 Fig. 11 (a)와 (b)에 각각 도식적으로 나타내었다.

(a) MARPOL

(b) ABS

Fig. 11 Comparison of collision-induced damages

좌초에 의한 손상을 살펴보면, 반면 IMO 가이드라인 95% 수준은 가장 큰 손상 폭과 손상 깊이를 예측하고 있다. DNV의 예측은 손상의 폭을 상당히 크게 산정하고 있으며, 반면 ABS 예측은 가

장 작은 손상 폭을 보여준다. 좌초의 경우 손상의 폭 감소가 종강도에 가장 크게 영향을 미치기 때문에, DNV와 ABS의 예측치를 Fig. 12 (a)와 (b)에 각각 도식적으로 나타내었다.

(a) DNV

(b) ABS

Fig. 12 Comparison of grounding-induced damages

4. 결론

본 논문은 충돌 및 좌초와 같은 중대사고로 인하여 손상을 입은 선박의 잔류 강도를 평가하기 위한 선행 연구이며, 대형선의 충돌에 의한 손상의 크기를 결정론적 방법과 확률론적 방법에 근

거하여 제시하였다.

결정론적 방법으로서 ICLL(IMO, 1966) 또는 MARPOL(IMO, 1997), ABS(1995), 그리고 DNV(2009)에서 제시하는 손상의 크기를 고찰하여 보았으며, 확률론적 방법으로서 IMO(2003) 가이드라인, Lützen(2001), Tagg, et al.(2002) 등이 제시한 참고문헌을 인용하였다.

MARPOL에서 제시하는 손상의 크기는 손상 복원성의 관점에서 제시되었기 때문에 상당히 큰 손상을 예측하였다. 반면 ABS의 경우 손상 종강도를 목적으로 손상의 크기를 산정하였기 때문에 가장 작은 손상의 크기를 제시하였다. 반면 DNV의 경우에도 손상 종강도를 목적으로 손상의 크기를 제시하였음에도 상당히 큰 손상을 산출하였다.

IMO 가이드라인의 경우 손상의 크기뿐만 아니라 손상의 위치도 확률밀도함수 형태로 제공하기 때문에 확률 수준(생존 확률 수준)을 공학적으로 인정할 만한 수준에서 결정하여 손상의 크기를 결정할 수 있는 장점이 있는 반면 확률 수준값을 지나치게 보수적으로 설정하면 손상의 크기가 상당히 과도하게 평가될 수 있다.

후 기

본 논문은 한국선급의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 또한 인하대학교 연구비 지원에도 감사드립니다.

참 고 문 헌

- American Bureau of Shipping(ABS), 1995, *Guide for Assessing Hull-Girder Residual Strength for Tankers*, [Online] (Updated July 1995) Available at: <http://www.eagle.org/> [Accessed June 2010].
- Cho, S.R. & Lee, S.H., 2005. Residual Longitudinal Strength Analysis of Damaged Ships. *Proceeding of Autumn Meeting of the Society of Naval Architects of Korea(SNAK)*, 3-4 November, Yongin Korea, pp.405-412.
- Cho, S.K. et al., 2005. 24th ITTC Benchmark Study on Numerical Prediction of Damage Ship Stability. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 42(5), pp.435-447.
- Det Norske Veritas(DNV), 2009. *Rules for Classification of Ships Part 3 Chapter 1*. DNV.
- Han, D.S. et al., 2007. A Study of Strength of Damaged Ship Structures Using Damage Simulator. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 44(4), pp.439-444.
- International Association of Classification Societies(IACS), 2010a, *Common Structural Rules for Bulk Carriers*, [Online] (Updated July 2010) Available at: <http://www.iacs-data.org.uk/> [Accessed August 2010].
- International Association of Classification Societies(IACS),

- 2010b. *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers*. [Online] (Updated July 2010) Available at: <http://www.iacs-data.org.uk/> [Accessed August 2010].
- International Maritime Organization(IMO), 1966. *International Convention on Load Lines(ICLL) Annex B Annex I Chapter III*. IMO.
- International Maritime Organization(IMO), 1995. *Interim Guidelines for Approval of Alternative Methods of Design and Construction of Oil Tankers under Regulation 13F(5) of Annex I of MARPOL 73/78, Resolution MEPC. 66(37)*. IMO.
- International Maritime Organization(IMO), 1997. *MARPOL 73/78 & 1984 Amend Annex I Chapter III Requirement for Minimizing Oil Pollution from Oil Tankers due to Side and Bottom Damages*. IMO.
- International Maritime Organization(IMO), 2003. *Revised Interim Guidelines for the Approval of Alternative Methods of Design and Construction of Oil Tankers under Regulation 13F(5) of Annex II of MARPOL 73/78, Resolution MEPC.110(49)*. IMO.
- Lee, D. et al., 2009. A Study on the Damage Safety Assessment in Ship Design Stage. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 46(3), pp.343–350.
- Lee, S. & Lee, D., 2008. Development of Integrated System for Safety Assessment of Damaged Ship. *Journal of CAD/CAM Engineers of Korea*, 13(3), pp.227–234.
- Lee, S.S. Lee, D. & Kim, K.S., 2009. Development of Design Technology for Safety Enhancement of Damaged Ship. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 46(1), pp.69–77.
- Lee, D. Hong, S.Y. & Lee, K.J., 2006. Theoretical and Experimental Studies on Dynamic Behavior of a Damaged Ship in Waves. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 43(1), pp.1–14.
- Lützen, M., 2001. *Ship Collision Damage*. Ph.D Dissertation, Technical University of Denmark.
- Paik, J.K. Thayamballi, A.K. & Yang, S.H., 1998. Residual Strength Assessment of Ships after Collision and Grounding. *Marine Technology*, 35(1), pp.38–54.
- Pedersen, P.T. & Zhang, S., 2000. Effect of Ship Structure and Size on Grounding and Collision Damage Distributions. *Ocean Engineering*, 27, pp.1161–1179.
- Smith, C.S., 1977. Influence of Local Compression Failure on Ultimate Longitudinal Strength of a Ship Hull. *Proc. of International Symposium on Practical Design in Shipbuilding (PRADS)*, 18–20 October, Tokyo Japan, pp.73–79.
- Skjong, R. & Vanem, E., 2004. Damage Stability Evaluation in Collision of Bulk Carriers. *Proceedings of 3rd International Conference on Collision and Grounding of Ships(ICC GS)*, 25–27 October, Izu Japan, pp.97–103.
- Tagg, T. et al., 2002. Updated Vertical Extent of Collision Damage. *Marine Structures*, 15, pp.475–498.
- Wang, G. Chen, Y. Zhang, H. & Peng, H., 2002. Longitudinal Strength of Ships with Accidental Damages. *Marine Structures*, 15, pp.119–138.
- Zhu, L. James, P. & Zhang, S., 2002. Statistics and Damage Assessment of Ship Grounding. *Marine Structures*, 15, pp. 515–530.

정 준 모

이 민 성

남 지 명

하 태 범